

최 중
연구보고서

주요 채소류 연작지 영양스트레스 경감기술
개발

Study on the Development of Alleviating
Technique of Nutrient Stress in Successive
Cropping Area of Main Vegetable Crops

연구기관
고려대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “주요 채소류 연작지 영양스트레스 경감기술 개발에 관한 연구” 과제 (세부과제 “주요 채소류 연작장애 및 영양스트레스 경감기술 개발”, “실시간 토양과 작물의 영양진단 기술 개발” “생리생태 기능조절에 의한 연작장애 경감기술”, “비과과적 방법에 의한 영양스트레스 진단”, “연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법 기술개발”)의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 7월 5일

주관연구기관명:고려대학교

세부연구책임자 :박권우,임재현

정희돈,정순주,

김계원

협동연구기관명 : 원예연구소

협동연구책임자 : 임재현

협동연구기관명 : 영남대학교

협동연구책임자:정희돈

협동연구기관명 : 전남대학교

협동연구책임자 : 정순주

연구기관명 : 서울시립대학교

협동연구책임자 : 김계훈

요 약 문

I. 제 목

주요 채소류 연작지 영양스트레스 경감기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

가. 주요 채소류 연작장해 및 영양스트레스 경감기술 개발

- (1) 원예작물(채소) 종류별 토양 영양스트레스 패턴 구명
- (2) 영양스트레스 경감을 위한 real time 토양양분 진단기준 설정
- (3) 채소 종류별 영양스트레스 경감기술 개발

나. 실시간 토양과 작물의 영양진단 기술 개발

- (1) 염류집적에 의해 유기되는 박과채소의 장해발생의 실시간 특징 및 진단법
- (2) 토양의 영양조건에 따른 가지과작물의 장해발생 시기, 특징 및 경감대책 구명
- (3) 내염성 대목선발 및 접목한 채소작물의 염류농도에 따른 성장반응
- (4) 토양종류별 엽근채류의 영양스트레스 특성, 발생시기 및 장해의 경감대책

다. 생리 생태 기능조절에 의한 연작장해 경감기술

- (1) 채소류의 양액재배에 있어 근권 생리구명에 의한 영양스트레스 경감 기술개발
- (2) 채소류의 양액재배에 있어 생리적 영양스트레스 경감 및 성장관련 미생물 분리동정
- (3) 채소류의 양액재배에 있어 생리기능 진단 및 미생물의 이용에 의한 영양스트레스 대처기술개발

라. 비파괴적 방법에 의한 영양스트레스 진단

- (1) 작물의 비과괴적 영양 및 생육진단 기술개발
- (2) 리얼타임에 의한 영양진단법 개발
- (3) 화상계측이나 기타 방법에 의한 영양진단 기술개발

마. 연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법 기술개발

- (1) 연작지의 작부체계, 작물의 상호작용 파악 및 해외대처기술 조사
- (2) 연작지 새로운 작부체계 및 제염법에 의한 영양스트레스 경감기술개발
- (3) 영양스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 적용시험
- (4) 영양스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법개발

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

(1) 국내 채소류 영양스트레스 현황 파악 필요

- 국내 채소 및 시설 재배면적이 급증함에 따라 제한된 국토에서 연작장해에 따른 영양스트레스 출현이 불가피한 실정이나 여기에 관련된 현황 파악이 전무함
- 일본의 연구(平野, 1977)에 의하면 채소의 연작장해 피해는 최저 15%에서 최고 50% 범위에 있다고 보고한 바 있으나 국내에서는 연작장해 피해의 구체적 피해조사가 없어 전국적 실태 파악이 시급히 요구됨
- 최근 국내시설원예 수익이 벼농사를 크게 상회하고 있어 답전윤환방식보다 고정식 온실이 증가하므로써 연작의 피해가 늘어가고 있으나 이에 대한 구체적 조사가 없음
- 고령지 배추재배, 성주참외재배지역 등에 연작장해가 많아 피해가 늘고 있으나 구체적 조사가 없어 현황 파악 필요

(2) 국내 채소류 영양스트레스 대처기술 필요

- 연작장해의 유형은 크게 영양적, 병리적, 그리고 식물배출 유해 잔유물 등의 원인으로 나타나지만 대체적인 국내 지역별 현황 파악이 전무하다. 그 가운데 채소류 영양스트레스에 대한농가 대처기술지원에 크게 문제되고 있음
- 연작장해 측정을 위한 토양의 염류집적, 토양의 병충해 조사, 그리고 식물 잔유물 등에 의한 연작장해 유형별 진단기술이 체계화 되어있지 않은 실정임
- 도시근교의 고정하우스에서는 계분이나 화학비료 등의 장기사용으로 토양의 염류집적

이 심해 3-4년에 한번씩 토양을 2m 깊이까지 포크레인을 이용한 객토를 시도하고 있으며, 그 결과 많은 비료성분이 작업기간 중에 지하수로 빠져나가 지하수 오염을 야기시키고, 환경오염을 가중시키나 이에 대한 대책과 기술지도가 없음

- 토양 근권의 변화에 따른 실시간 영양진단과 그에 따른 적정 양분공급 기술이 외국의 절반수준도 안됨
- 비과피 영양측정에 따른 채소종류별 영양진단기술이 실용화와 연계되어 연구가 진행된 것이 없어 이 방향의 지속적 연구가 요구됨
- 비과피 영양진단에 의한 시비개선책 확립이 필요
- 21세기는 뿌리농사 시대인데 근권부의 생리활성 측정에 생화학적 접근방법이 되지 않아 이 분야 연구가 필요함
- 생리, 화학적인 영양생리측정 기술 개발이 되지 않아 이 분야 연구수준 향상이 필요함
- 간이토양, 작물영양 및 생육간이측정 진단기술 가운데 간이토양측정 기술보급이 농협을 통해 일부 이루어지나 농가차원에서 쉽게 이루어질 수 있는 대처기술이 부족한 상태임
- 최적 비료시비량 결정을 위한 토양분석 기술의 정립이 필요함

(3) 영양스트레스 대처기술 개발 시급

- 영양관리 부족에 따른 과채류의 영양스트레스 수확감소, 품질 열악화 증가
- 영양스트레스 원인 및 대처기술 개발 시급
- 영양스트레스의 비과피적, 생화학적 조사 기술확립 필요
- 영양스트레스 대처기술 지침서가 요구됨

나. 경제, 산업적 측면

(1) 국내 시설 설치 면적의 급속한 증가와 병행된 연작장해 증가로 경제적 손실이 큼

- 1996년 시설채소 약 80,000ha로 이는 1990년대에 비해 2배 이상 증가
- 외국연구에 따라 30%의 연작장해가 나타난다면 약 24000ha에 유형, 무형의 스트레스와 그에 따른 생산량 감소
- 연작장해 대책 기술 정립은 실제적 증수의 효과를 가져옴

(2) 소비자의 고품질 채소 요구도는 증가되나 생리적 연작 장해 등에 의한 고품질 생산의 감소

- 염류집적에 따른 생리장애로 고품질 채소 생산이 어려움
- 토양개량이나 기타 특수 비료의 이용을 통한 생리적 연관장애 극복이 필요하나 그러지 못해 기형과 발생 등이 나타나 농가소득에 크게 영향을 가져옴

(3) 연관장애를 극복한 관비농법 응용으로 고품질 채소 생산을 기하고 이들 산물의 수출증대

- 토양분석을 통한 N-min 방법의 도입으로 최적량 관비 공급기술 확립으로 비료과다 소비를 근절시켜 간접적 이익을 가져옴
- Trickle을 이용한 지속적 물과 양액 등의 적정 공급에 따른 연관장애극복 기술이 확립 되면 고품질 채소 생산이 증가해 수출증대를 기할 수 있음
- 새로운 독일의 KIWIDO SYSTEM의 원리를 한국형으로 변형하여 관비농법에 도입하면 적정 관비만을 제공하게 되므로 작물에는 최적 양수분 조건을 제공함으로써 염류집적을 극소화시키는 근권환경개선을 통한 고품질 최고산물생산이 가능함
- 비파괴적 간이 영양진단 시스템 개발에 의한 농가 기술 활용으로 작물 생산성 향상.
- 비파괴적으로 단기 영양분석을 함으로서 농가에게 편이성 제공을 하고 여가선용의 시간적 여유를 부여함

(4) 비파괴 영양진단법의 개발로 이 분야 산업기술 기여

- 채소류의 비파괴 영양측정이나 기타 기술의 개발과 이들의 응용은 계측분야 산업에 크게 기여하리라고 생각되며, 신기술의 산업화가 가능
- 기타 생화학적 기술을 응용하여 개발된 기술이 국내 측정분야 기술의 세계화에 기여할 수 있음

(5) 영양 스트레스 기작 파악 및 대책으로 고품질 채소생산

- 영양스트레스에 따른 품질 열악화로 많은 채소가 폐기되고 있는바, 이에 대한 기작 연구와 대책 마련으로 고품질 채소생산으로 실제 농가소득증대
- 영양스트레스 기작 해결 기술의 학문적 및 실제적 기술확립으로, 새로운 키트 등을 개발 시 수출 가능성이 있어 경제적 효과가 큼

다. 사회, 문화적 측면

(1) 청정농산물의 공급으로 국민 보건 향상

- 약 30%의 수량 감소원인이 연작장해인데 이들 연작장해 가운데 토양 전염균의 방제를 위해 토양 잔류성이 높은 농약을 사용하게 되는 것이 현실이다. 따라서 이를 억제할 수 있어 국민 모두가 농약 사용이 적은 채소류를 구입해서 먹을 수 있어 국민보건 향상에 기여할 수 있다고 생각됨.

(2) 환경오염을 극소화시키는 환경농업을 할 수 있음

- 21세기에는 토양의 시비량 증대는 환경론자들에 의해 저항을 받게 되는데 이때 지하수 오염을 극소화시키는 새로운 독일식 관비농법의 국내 적용으로 적정시비의 획기적인 환경농업을 할 수 있는 계기를 마련.
- 무계획적인 비료의 공급으로 토양 물리화학성 악화는 물론이고 다량시비에 필요한 과다 경비 등의 제 문제를 감소시키면서 생력적 환경농업을 기할 수 있는 관비농업 기술의 적용이 가능함

(3) 비파괴적 양분측정, 새로운 시비기술 개발 등의 제3국 수출

- 새로운 기술축적은 중국, 인도네시아 등의 농가에 기술전수를 할 수 있고, 그에 따라 우리가 개발한 기술을 해외에 수출 가능
- 채소류의 연작장해 측정을 위한 병리, 영양, 그리고 잔유물 등에 의한 유형 및 진단기술이 부족한 실정인데 이들 기술 확립과 제3국의 기술지도가 가능해서 한국농업의 세계 위상 제고 가능
- 연작장해의 대표적 유형인 영양과부족 등의 영양스트레스에 대한 구체적 농가차원의 실용적 진단체계가 부족해서 이 분야 기술개발이 시급함

(4) 도시근교지역 환경오염 감소로 지하수 이용의 안전성 증대

- 과도한 시비로 지하수가 오염되어 식수로 쓸수 없는 지역에서도 안심하고 먹을 수 있는 물 생산을 위해 염류장해 극소화를 통한 시비기술 정립은 국민보건에 크게 기여하리라고 생각됨
- 질소 적정시용으로 과다사용에 따른 환경오염을 극소화시킬 수 있어 환경농업이 가능해 국민들의 농업에 대한 새로운 인식 구축

(5) 영양스트레스 대처기술 개발로 농민의 영농 의욕 고취

- 원인을 알 수 없는 각종 영양스트레스 병해로 인한 폐농은 농민의 영농 의욕을 상실

케 하는바 대책이 수립될 시 영농 의욕 제고

라. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

(1) 지금까지의 연구개발 실적

가) 국내

- 국내에서는 1960-1970년에 걸쳐 FAO와 USDA의 도움으로 토양 등에 대한 전국적인 분석이 이루어져 토성에 대한 대략적인 보고가 이루어져 있으나 전국적인 채소재배지역의 세부적 토양현황에 따른 연작장해 등에 대한 연구 전무
- 최근 고령지 배추, 성주참외, 고창 수박 단지 등에서는 제한된 지역에서 연작장해에 따른 피해가 보고 되고 있으나, 실제적 전국적 피해는 집계되지 않고 있으며 일부 농가에 따른 토양전염병 등에 대해서만 보고
- 채소의 연작 장해에 대한 노지연구는 일부 시험장에서 연구된 바 있으나 종합적 방제 연구는 수행된 바 없다. 농가가 쉽게 응용할 수 있는 간이 영양진단 기술개발이 거의 이루어지지 않음
- 채소의 비과과적 영양 및 생육진단기술이 이스라엘의 기기 등을 도입해서 원예연구소 등에서 시도되고 있으나 이와 같은 기술이 농가차원의 실제지도에 응용이 아직까지 정립되고 있지 않음
- 채소의 관수와 시비기술의 체계화 연구가 관비농업의 형태로 본 연구팀이 1970년 국내 최초로 경기도 광주군 미사리와 고령 등지의 사질계 저위생산지에서 시험한 바 있으나 지금까지 후속 연구가 완벽하게 진행되지 않고 있어 토양분석과 식물체의 영양진단 자료를 결합한 새로운 형태의 관비 시비기술 체계화가 요구
- 지역별, 작물별, 연작장해 측정과 해결 방법을 모델화 할 수 있는 완벽한 시스템이 구축되어 있지 않아 모든 채소농가가 경험에 의존해서 대처
- 영양스트레스는 보이지 않는 수량감소를 가져오나 지금까지는 결핍증 연구만 했을 뿐, 이 분야에서 국내 연구는 수행되지 않고 있음

나) 국외

- 채소류의 염류집적에 대한 내성을 조사해서 보고하고 이를 재배시 참고자료로 응용하고 있다. 예로 배추과는 강하고 콩과는 약한 것을 분류했으며 딸기와 삼엽채는 염(NaCl) 1000ppm에서 수량이 반감했고, 상치, 양파, 완두, 오이 등은 2000-3000ppm에서

수량이 반감했으나, 양배추, 배추, 시금치, 무, 가지는 6000-9000ppm에서 생육이 반감했다고 보고한 바 있다(大澤, 1965).

- 독일의 경우에 연작장해경감을 위한 작부체계를 1930년대부터 연구해 작물별 윤작의 모델화를 만들어 일반작물에서 적용하고 있다(Klaus, 1939).
- 독일에서는 시비량에 따른 채소품질변화와 토양염류집적에 따른 품질저하에 대해 폭넓은 연구를 하여 다양한 보고서를 작성했고 그에 따른 시비기술 등을 제시하고 있다(Fritz, 1978).
- 일본의 경우에는 1950-1960년대에 걸쳐 연작장해에 대해 집중적으로 연구하여 토양간이 검정법 등을 1970년대 확립하고 농가에서 이용할 수 있는 질소간이검정기, 간이토양검정기를 만들어 토양의 질소 및 석회시용을 체계화시켰다(衫山, 1970).
- 기지현상에 대한 다양한 조사와 함께 연작장해에 대한 발현확률 등을 장기간 조사하여 연작경감기술을 확립해 윤작체계를 제시하고 있다(平野, 1975).
- 네덜란드에서는 채소의 생리, 생화학적 변화에 의한 영양생리장해 진단기술을 체계화시킴과 동시에 식물체 및 배지분석에 의한 생리장해 진단기술을 체계화시키고 있다.
- 최근 발달된 영상프로그램에 의해 잎을 채취해서 즉각적인 분석이 이루어지고 있어 시간대별 양분의 공급이 가능하게 되고 있다.
- 영양스트레스가 나타나는 식물별 엽 내의 무기원소함량이 제시되어 있으며, 최소 수확을 나타낼 수 있는 양분의 농도가 제시돼 있다.

(2) 현 기술 상태의 취약성

- 가) 이상에서 살펴보았듯이 외국에서는 상당한 수준의 연작장해 대책뿐만 아니라 환경에 부하를 걸리지 않게 관수와 시비를 하지만 국내에서는 그런 개념이 없음
- 나) 국내 연작장해가 수없이 야기되고 있으나, 체계적 연구나 기술지도체계가 이루어지지 않고 있으며 현황 파악도 제대로 이루어지지 않고 있음
- 다) 주요채소의 영양적인 연구는 활발하나 이들을 농가에 쉽게 적용시킬 수 있는 간이 영양진단기술 개발이 부족한 형상임.
- 라) 국가별로 다양한 채소류를 선호하며 토양과 기후조건이 다른 상태에서 국내 연작장해의 주요원인인 영양스트레스 경감기술이 문헌적으로만 이야기될 뿐 실제 기술개발이 부족한 현실임.
- 마) 각 지역의 농업기술원에서 영양 및 환경에 대해 연구하고 있으나 이들을 전국적으로 연계시켜서 체계화시킨 연구개발이 없음

- 바) 채소작물의 비과과영양 및 생육진단 기술개발이 아주 취약하며 초보적 단계에 있음.
- 사) 일부 관비농법이 이루어지나 주먹구구식과 식물체 생육을 보고 경험에 의한 관비공급을 함으로써 물, 비료소모는 극대화되고 생산량은 증대되지 않고 있어 모든 자료를 수집하여 이들 자료분석을 대상으로 한 관수와 시비의 체계화가 시급한 실정임
- 아) 결론적으로 연작장해의 주요 원인인 영양스트레스 경감기술이 시급하나 이에 대한 체계적 연구와 농민에게 보급할 기술이 매우 취약해서 국가적 차원에서 모델화 할 수 있는 연구가 요망 됨.

마. 앞으로의 전망

가) 21세기는 환경농업이 정착되는 시기로서 생산자는 환경론자와 수없이 부딪히는 현실이 될 것이다. 그러므로 식물의 영양스트레스를 최소화하면서 최대의 고품질 수량을 올릴 수 있는 과학적 영농법이 요구된다. 이를 위해서는 토양, 식물, 그리고 노지나 시설내 환경을 분석하여 최적의 관수와 시비를 할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 그러므로 국내에서 새로운 친환경적 시비기술 개발이 세계 속의 한국농업 존속을 위해 시급하게 연구 개발되어야할 시점에 있어 본 연구는 매우 중요하다.

나) 작물재배에 있어 21세기는 물부족의 시대가 도래하며 지금처럼 채소재배시에 마음대로 물을 공급할 수 있는 시기는 기대하기 어렵다. 이미 캘리포니아에서는 물세금이 크게 문제시되어 토양재배보다 양액재배가 21세기에는 유리한 경영적인 판단이 될 수 있음을 시사해주고 있다. 왜냐하면 순환식 양액재배는 물의 소모량을 극소화시키나 건조한 여름철 캘리포니아에서는 노지채소 시 막대한 물 공급이 필요하고 이것이 결국 수지와 직결되기 때문이다. 그러므로 합리적 시비와 물 관리는 비료소모와 관련해서 21세기를 대비한 농법으로 반드시 연구해야할 과제이다.

다) 식물의 생육단계에 따른 실시간적 양분공급은 사질계 토양재배에서 매우 중요하다. 급속한 성장시기에 있어 영양스트레스는 채소의 생육 특히 품질저하를 가져온다. 그럼으로써 수출원에 작물의 생산에서는 영양스트레스 경감기술을 통해 고품질 수출상품생산을 할 수 있어 매우 중요하다.

라) 국가정책을 수립함에 있어 채소의 연작장해의 유형과 지역별 문제를 파악함과 동시에 작물별 영양스트레스의 한계 구명이 매우 중요하나 전국적인 채소 연작장해와 채소작물

별 최소 생산 한계농도에 따라 정확한 조사 자료가 미흡함은 문제이며, 이런 자료 확보는 앞으로 대농민 고품질 채소 재배지도의 기초 자료로 매우 중요하다고 본다.

바. 기술도입의 타당성

- 가) 연작장해 대책기술은 다른 품종이나 기계도입 같은 것과 전혀 다른 병, 토양, 식물 잔유물 그리고 기타 지역적 원인 등으로 나타나므로 각각 국가별 연작장해 패턴이 다르다. 기본 원리는 누구나 알고 있는 것이 연작장해로써 국내의 품종, 재배지역의 여건 등을 감안해서 대처해야 하므로 기술도입이라는 것 자체가 의미가 없다.
- 나) 일부 비파괴 영양진단기술을 위한 기본적인 기기는 측정을 위해 수입해서 사용할 수도 있으나, 이는 본 참여기관에서 소유한 것을 대상으로 기술개발을 해야하기 때문에 기술도입이 아니라 기기 이용기술의 확립이다. 그러나 농가차원에서 이용할 수 있는 간이 방법개발도 국내기술로써 가능하기 때문에 차후 필요한 원료(예, 시약) 등만을 구입할 필요는 있을 것으로 사료된다.
- 다) 국제화시대이므로 국내에서 생산 못하는 일부 기기 구입의 수입이 예상되나 대부분 국내에서 생산이 가능하다고 생각된다.
- 라) 영양스트레스로 나타나는 한계농도는 품종과 재배방법에 따라 다른데, 참외, 오이, 토마토 등은 국내 품종과 달라서 이에 대한 범위 연구가 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 결핍의 한계농도도 구명돼 있지 않다. 그러나 외국의 기술을 도입할 필요는 없고, 정보수집이 필요하다고 본다.
- 마) 결론적으로 연작장해 기술개발은 국내기술진의 자력으로 연구수행이 가능하며 대책 마련의 모델화로 본 연구진이 충분히 제시할 수 있어 기술 도입은 필요 없다고 사료된다.

Ⅲ. 연구개발내용 및 범위

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|---|---|
| 제1과제: 주요 채 소류 연 작장해 및 영양 스트레 스 경감 기술 개 발 | 원예작물(채소) 종류 별 토양 영양스트레스 패턴 구명 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 채소재배 농가 대상 전국적 영양스트레스 관련 유형 조사 ○ 채소 종류별 토양 병해, 염류집적 문제점등에 의한 연작장해 패턴 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 조사대상 : 과채류 3종, 엽채류 2종 - 조사지역 : 채소 종류별 주산단지 |
| | 영양스트레스 경감을 위한 real time 토양 양분 진단기준 설정 | <ul style="list-style-type: none"> ○ Real time 토양양분진단 키트 선발 <ul style="list-style-type: none"> - 진단성분 : 수용성 질산, 인산, 칼리 등 - 수용성 양분 함량과 치환성 양분함량과의 상관 관계 비교 - 현장 적용 가능 진단 키트 선발 및 실용신안신청 ○ 영양스트레스 진단기준 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 처리내용 : 토양 염류농도 3수준 - 작물 생육, 수량 및 품질 조사 - 생육 단계별 식물체 및 토양 시료채취 분석 - 토양중 양분함량과 수량, 품질과의 상관분석 - 토양중 양분함량과 양분흡수량과의 상관분석 - 작물별 영양스트레스 한계농도 기준설정 |
| | 채소 종류별 영양스 트레스경감기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 토양베드재배에 의한 영양스트레스 경감기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 토양베드 양분조성별 작물수량 및 품질 비교 - 생육 단계별 식물체 및 토양 시료채취 분석 - 수확 후 토양베드 중 유기 및 무기성분 함량 조사 |
| | 채소 종류별 영양스 트레스 경감기술 개 발 및 지침서작성 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 토양베드재배에 의한 영양스트레스 경감기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 경감기술에 의한 작물수량 및 품질향상가능성 시험 비교 - 수확 후 토양베드 중 유기 및 무기성분 함량 조사 - 식물과 토양분석 및 소득법 등에 의한 영양스트레스 경감법 개발 ○ 영양스트레스 대책모델 개발 및 지침서 발행 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---------------------------------------|---|---|
| 제2과제 실시간토양과 작물의 영양진단기술 개발 | 염류집적에 의해서 유기되는 박과채소(오이, 수박)의 장애 발생의 실시간, 특징 및 진단 법 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 상토에 고농도 영양조건(질소, 칼리 및 칼슘의 농도) 부여시간과 생리장애 발생시기 구명 ○ 상토의 염류농도(EC 0.5~4.5 mS/cm) 및 pH(4~8)에 따른 영양장애의 발생정도, 특징 및 시기 구명을 통한 경감대책 조사 ○ 염류 농도에 따른 장애부위(생장점, 뿌리)의 조직학적 관찰 (SEM 및 TEM) ○ 장애발생의 경감 대책 : 대목의 종류에 따른 내염성 비교, 영양장애 발생 토양에 석회 및 유기물 시용에 따른 장애의 경감 정도 비교 |
| | 토양의 영양조건에 따른 가 지과 작물(토마토, 고추)의 장애발생 시기, 특징 및 경 감대책 구명 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 상토의 영양상태에 따른 장애발생 시기와 특징 구명 ○ 토양의 염류농도(EC 1.0~5.0 mS/cm) 및 저온조건 (5~20℃)에 따른 장애발생 특징 조사 ○ 장애발생의 특징을 조직학적(SEM 및 TEM) 관찰 비교 ○ 토마토의 대목(Joint, Vulcan, Kagemushia의 야생토마토 10종 등)에 따른 접목묘의 내염성 비교에 의한 내염성 대목선발 및 성장특징 ○ 비료종류별 및 관수량에 따른 EC의 변화조사 |
| | 내염성 대목선발 및 접목한 채소작물의 염류농도에 따른 성장반응 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 한국 재래종 박(39품종) 및 도입 박(20품종)의 고농도 염류에 대한 내성의 screen test에 의한 내염성 대목 선발 ○ 선발된 대목의 접목(수박)묘의 내염성 비교 ○ 영양부족(N과 Mg)에 따른 식물체내 양분농도, 장애발생 시기, 정도 및 특징 |
| | 토양종류별 엽근채류(배추, 시 금치, 부추)의 영양스트레스 특 성, 발생시기 및 장애의 경감대 책 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 염류가 집적된 토양조건에서 영양장애 발생 특징 ○ 토양에 부여한 염류농도에 따른 실시간대별 장애발생 패턴조사 ○ 토양의 영양상태에 따른 잎 및 근부의 발달 및 조직학적 특징 ○ 엽채류의 연작장애 경감대책 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 유기물(퇴비) 시용 - 석회시용 - 담수에 의한 염류 제거 등에 의한 생장, 근부발달 및 기간 분화에 대한 조사 비교 - 보리, 옥수수에 의한 염류제거 정도 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|--|--|
| 제3과제 생리생태 기능조절 에 의한 연작장해 경감기술 | 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 근권생리구명에 의한 영양스트레스 경감 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 환경요인(지상부, 지하부) 변화에 따른 동화산물 및 무기염류의 전류 및 배분에 미치는 영향 ○ 근권부 무기염류(N, P, K, Ca, Mg 및 기타 미량원소)가 식물체내 무기염류 함량변화, 뿌리 영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향 구명 ○ 근권 잔유물의 생화학적, 미생물적 연구 |
| | 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 생리적 영양스트레스 경감 및 성장관련 미생물 분리 동정 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 무기염류 및 동화산물과 뿌리 스트레스 관계 구명 ○ 영양스트레스에 따른 뿌리 활력저하(근사) 경감 기술 개발 ○ 유효근권미생물이 root mass 증가에 미치는 영향구명 ○ 유효 성장촉진 미생물의 분리, 동정 및 특성검정 ○ 토양중 B/F 치와 영양흡수 특성(보완사항) |
| | 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 생리기능 진단 및 미생물의 이용에 의한 영양스트레스 대처 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 양액재배시 각종 요인변화에 따른 오이와 토마토의 근삼출(root exudation)과 연작장해 관련 조사 ○ 지하부 성장과 뿌리 성장과의 관련성 검토 ○ 유효근권미생물의 동정 및 특성을 이용한 제독기술개발 ○ 유효근권 미생물을 이용한 생육기능조절 및 연작장해 경감기술 개발 ○ 생육조사 : 초장, 경경, 엽면적, 생체중, 건물중, 시굴체 각종스트레스 조사 ○ 무기성분 함량분석 : N, P, K, Mg, Mn, Fe, B, Zn 등 (양액, 식물체 즙액) ○ 생리, 생태적 특성조사 : 근호흡, 광합성, 근활력, 효소활성, 호르몬 분석 ○ 미생물의 분리, 동정, 특성검정 및 실용화 효과 측정 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|----------------------------|--|
| 제4과제 비과과적 방법에 의한 영양스트 레스 진단 | 작물의 비과과적 영양 및 생육 진단 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 수분이용 효율 및 CO₂ 이용효율에 따른 생육진단 ○ 광합성 활성 측정에 의한 생육진단 ○ 외관변화에 의한 계측 방법 개발 ○ Chlorophyll 측정에 의한 영양진단법 개발 |
| | 리얼타임에 의한 영양 진단법 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 식물체 배지분석에 의한 식물체내 이온 형태 분석 ○ 실시간 영양진단 지표 확립 ○ 간이 수용성 당 분석에 의한 생육진단 ○ 엽색의 진전도에 따른 생육진단 |
| | 화상계측이나 기타 방법에 의한 영양진단 기술개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 생체계측에 의한 비과과적 영양진단법 개발 ○ 생육속도 측정을 위한 모델식 개발 ○ 생체 계측에 의한 영양스트레스 및 생육 진단 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|--|
| 제 5과제 연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법 기술 개발 | 연작지의 작부체계, 작물의 상호작용 파악 및 해외 대처 기술 조사 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 연작 토양에서 작부체계 조사 ○ 연작지 토양에서 작물 상호작용 및 영양 스트레스 경감 기술 조사 ○ 염류제거를 위한 작물별 흡비력 비교시험 ○ 스페인 및 일본의 연작장해 회피 기술 조사분석 |
| | 연작지 새로운 작부체계 및 제염법에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 연작지 토양에서의 제염기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 방법 도입을 통한 제염기술을 확립 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 N-min방법 도입과 제염을 위한 관비농법 기술 적용 ○ 연작지 토양에서 영양스트레스 경감을 위한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 <ul style="list-style-type: none"> - Pilot 실험법에 의한 채소 및 기타 작물을 이용한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 토양개량제의 효과 구명 <ul style="list-style-type: none"> - 토양개량제: 목초액, 활성탄, 미생물제품 2종 |
| | 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 적용시험 | <ul style="list-style-type: none"> ○ N-min적용에 의한 생육단계별 합리적 관비 조성 비교 <ul style="list-style-type: none"> - 대상 작물: 오이, 토마토, 기타 쌈채소 ○ 자동 관수 시스템에 의한 관비의 효율적 적용 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 대상 작물: 오이, 토마토, 기타 쌈채소 ○ 연작지 토양에서 영양스트레스 경감을 위한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 <ul style="list-style-type: none"> - Pilot 실험법에 의한 채소 및 기타 작물을 이용한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 토양개량제의 효과 구명 <ul style="list-style-type: none"> - 토양개량제: 목초액, 활성탄, 미생물제품 2종 |
| | 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 개발 및 지침서 작성 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 새로운 작부체계 도입과 관비농법의 적용시험 <ul style="list-style-type: none"> - 작부체계에 따른 영양스트레스 감소와 관비 농법 적용에 따른 상승 효과 비교 시험 - 제 1, 2, 3과제에서 도출한 기술을 오이, 토마토에 적용 시험 ○ 대목 종류, 뿌리 영양스트레스 감소법과 관비적용을 통한 영양 스트레스 대처 기술 개발 ○ 영양 스트레스 대처 방안의 종합적 지침서 작성 |

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과 요약

가. 주요 채소류 연작장해 및 영양스트레스 경감기술 개발(제1과제)

우리나라 시설채소 재배단지의 연작장해 실태를 조사한 결과, 시설재배 년수별 하우스 분포비율은 총 302농가 중에서 7년 이상이 46%이었으며 대부분이 3년이 경과하였다. 전국 시설채소 토양의 화학성은 전체 조사 토양 중 48.9%가 EC 3.01 dS m⁻¹이상이므로 시설채소 재배지 토양의 약 절반가량이 작물생육에 불리한 염 농도를 나타내고 있으며, 질산태 질소, 유효인산, 치환성 석회 및 칼리 등은 적정함량을 초과하는 지역이 많았다.

토양용액은 생토용적추출법으로 토양용액 중 질산이온의 측정은 소형 reflectometer을 이용하여 토양 질산태질소의 실시간 간이진단 기술을 개발하여 작물별 실시간진단법에 의한 토양 중 질산태질소 진단기준을 다음과 같이 구명하여 제시하였다. 오이 70~110mg kg⁻¹, 고추 120~180mg kg⁻¹, 토마토 100~160mg kg⁻¹, 시금치 110~170mg kg⁻¹, 상추와 열무는 140~200mg kg⁻¹ 이었다.

연작으로 인하여 염류 스트레스가 극심한 시설 토양에서 효과적이며 또한 시설 외부로의 염류 유출을 방지 할 수 있는 친환경 채소재배기술로서 토양베드재배기술 지침서를 작성하였다. 토양베드재배기술은 토양 질산태 질소의 실시간 진단 시스템과 관비 시스템을 겸비하고 지면에서 격리된 제한량의 배지로 된 토양베드에 의한 채소재배시스템이다.

이들 결과는 우리나라 채소 연작장해에 대응하는 정책 수립의 자료를 제공하고, 채소류 연작장해 및 영양스트레스경감을 위한 실용화기술로서 활용 되리라고 본다.

나. 실시간 토양과 작물의 영양진단 기술 개발(제2과제)

오이는 EC가 1.5 이상부터 생리장해를 나타낸다. 2.5이상에서는 생육이 현저하게 억제된다. 따라서 EC 가 높은 곳에서는 관수 세척 유기물 사용 등 제염 처리가 필요하다. 호박대목 'HNSR' 는 EC 3.0에서도 EC 2.0에서와 같이 염류집적 장해의 극복을 위한 대목으로 이용이 가능했다.

토마토의 경우 EC가 2.0 이상이면 생육이 억제가 나타났으며 EC 1.5 보다 높아질수록 평균 과중이 감소하였다.

따라서 적정 EC를 유지하기 위한 경종적 조치가 필요하며 이것은 부단한 독농가 교육을 통해서 가능하다고 생각되었다.

고추도 EC가 2.0 이상이면 생장억제가 되었다.

내염성 대목 '카타루마를' 사용하면 EC 2.5 에서도 생장은 억제 되었으나 높은 착과율을 보였다.

따라서 내염성대목을 이용한 접목묘의 보급이 이루어져야 시설 내 염류집적지에서 고추 생산이 가능하리라 생각된다.

내염성 박대목을 선발하기 위하여 노력한 결과 '합천' 을 선발한바 내염성이 높고 역병에 대한 저항성도 높았다.

이결과로 미루어 한국재래종 박으로부터 내염성을 가진 내염성대목 선발의 가능성이 크므로 앞으로 많은 후속 연구가 필요하다.

다. 생리 생태 기능조절에 의한 연작장해 경감기술(제 3과제)

1) 근권 온도처리가 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향 구명

양액재배 오이의 생장과 탄수화물 대사에 미치는 근권온도(10, 18, 26℃)의 영향을 조사하기 위해 오이의 생장특성, hexose phosphate, gluceraldehyde phosphate(PGA) 와 주요 탄소 대사물질인 sugar, starch를 근권온도 처리 이후 2주 간격으로 조사하였다. 지상부 생장은 처리온도의 증가에 따라 증가하였으나, 뿌리의 생장은 4주까지는 큰차이를 보이지 않았다. 근활력은 18℃와 26℃에서 지속적으로 증가하였고, 반면 10℃처리에서는 4주후 급격히 감소하였다. 5엽의 클로로필함량은 10℃ 처리구가 45.6, 18℃는 45.0, 26℃는 42.7mg/gFW로 10℃ 처리구가 다소 높은 경향이였으나 근권온도처리의 영향을 크게 받지 않는 경향이였다.

Hexose phosphate의 양은 근권온도가 낮을수록 증가하였다. 10℃ 처리구에서 G6P(glucose-6-phosphate)는 121mg으로 26℃에 비해 2배, F6P(fructos-6-phosphate)는 76mg으로 1.4배가 높았다. Glyceraldehyde-phosphate(PGA)는 18℃에서는 조금 증가했으나 26℃에서는 급격히 감소하였다. 6주째 각처리구별sugar함량은 10℃가 43.7mg, 18℃가 34.5mg, 26℃가 33.8mg으로 10℃에서 22.6% 높았다. 뿌리의 경우 역시 10℃처리구가 다른 처리구보다 가용성당의 축적율이 훨씬 높았는데 온도처리 후 6주째 각처리구별 가용성 당함량을 살펴보면 10℃에서 41.1mg, 18℃에서 22.4mg, 26℃에서 21.2mg으로 10℃처리구가 다

른 처리구보다 대략 2배정도 높은 축적을 보였다. 10℃에서 전분의 함량은 잎에서 감소하였으나 뿌리에서는 전분의 축적이 일어났다. 온도처리 6주째 뿌리 내 전분함량을 보면 18℃ 및 26℃ 처리구의 경우 26.7mg과 25.9mg으로 10℃의 65.6mg에 비해 현저히 낮게 나타났다. 특히 10℃ 처리구는 온도처리 초기부터 전분함량이 지속적으로 증가하였고 이러한 축적현상은 온도처리 초기부터 증가폭이 뚜렷하게 나타났다.

근권온도 변화에 따른 질소동화와 xylem transport에 대한 영향을 조사하기 위해 목부액, 엽 및 뿌리에서 nitrate 및 protein을 분석하였다. 목부 삼출액량은 18℃ 및 26℃ 처리구에서는 초기 2주째까지는 큰 차이를 보이지 않았지만 4주째에 18℃ 처리구는 삼출액이 계속 증가하였고, 반면 26℃는 18℃에 비해 현저히 삼출액이 감소하는 경향이었다. 온도처리 6주째 엽중 질소함량은 10℃ 처리구가 14.1mg 인 반면 26℃ 처리구에서는 34.5mg으로 2.4배가 높았다. 뿌리 중 질소함량도 10℃처리구에서 56.6mg이고, 26℃처리구에서는 23.5mg으로 10℃처리구가 2.4배 가량 높았다. 목부삼출부에서 분석한 전질소와 질소의 농도는 10℃처리구가 다른 온도처리구에서 보다 현저히 낮았다. 이 같은 결과는 낮은 근권온도에 장기간 노출로 인하여 뿌리에서 질소의 축적을 유도하고 목부를 통한 질소의 수송을 억제하는 것을 알 수 있었다.

2) 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

다량과 미량원소의 과잉과 결핍구 대부분의 처리구에서 1배인 대조구가 초장, 경경, 엽수, 엽면적 및 생체중에서 모두 양호한 결과를 내었다. 그러나 인의 2배처리구에서는 초장, 엽면적, 생체중에서 대조구보다 양호한 성장을 나타냈다. 이는 P의 과잉으로 뿌리의 생장이 촉진되어 양수분의 흡수가 원활하여 생장이 증가된 것으로 보이나 인이 충분하면 성숙이 촉진되는 결점이 있다. 각 처리구의 생장이 대조구보다 저조한 것은 양분의 과잉과 결핍에서 오는 결과로서 특정 양분의 대소뿐만 아니라 무기 염류 간의 길항작용에 의한 양분 흡수의 불균형으로 초래된 것으로 보인다.

질소와 칼리의 과잉구에서는 시간이 지남에 따라 pH가 증가하는 경향을 보였지만 결핍구에서는 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다. 다량원소와 미량원소의 과잉 및 결핍구의 근활력에 있어서는 생장이 양호하였던 대조구(1배)의 근활력이 높을 것이라는 예상과 달리 대조구의 근활력이 다소 낮은 경향을 보였으며 농도가 낮은 1/4과 1/8배의 수준에서 상대적으로 높게 나타났다. 질소가 1/4 처리구의 경우 마그네슘 결핍증과 비슷한 증상을 나타내었다. 이러한 백변현상은 칼륨이 과다하게 잔류하여 이들이 서로 길항작용을 일으켜 마그네슘의 흡

수를 억제하기 때문으로 생각되며 토양 중에 치환성 칼리와 석회가 많이 존재하였을 때 나타날 수 있는 장애현상으로 간주된다. K는 Ca 흡수를 감소시켜 지상부의 Ca 농도를 감소시키며, K 시용량을 증가시켰을 때 유도된다고 한다. 낙하산 잎은 석회가 부족할 때 나타나는 증상으로 선단부에 가까운 어린잎의 가장자리부터 나타나기 시작하여 엽 가장자리가 고사하는 경향을 보였다. 양액의 농도를 낮게 관리할 경우에는 N와 K, Ca와 Mg, K와 Ca 등 길항작용을 갖는 무기원소의 균형도 흐트러지게 되는 위험성도 커진다. 과실 비대기에는 양액 농도를 다소 높게 관리하는 것이 보통이지만 양액농도가 지나치게 높을 경우에도 근권 k의 흡수량보다 잔류량이 많아져 Ca의 흡수가 저해 받게 된다.

생육초기에는 거의 문제가 없지만 중·후기에는 N은 다소 줄일 수 있도록 양액을 조성하고 후기에는 농도의 저하가 심한 K 농도를 높여서 관리하는 방법을 채용할 필요도 있다. K 함량의 증가는 Mg 결핍을 초래하고 잎에서 K 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 양액농도가 높을 경우에는 Mg의 과잉 증상이 다른 원소에 비해 심하게 나타나는데 Mg의 경우 Ca와 길항작용이 있어 양액중에 Ca 가 많을 때보다 적은 경우에 Mg 결핍증도 경감되며 Ca 농도를 높이면 Mg의 과잉해도 경감되는 결과를 보인다. 또한 뿌리에서 P의 과다는 엽맥사이의 Zn과 Fe를 침전시켜 철황화를 일으킨다.

3) 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 토마토의 성장과 발육에 미치는 영향

다량원소 과잉구의 경우 질소와 칼리는 원소과잉으로 인한 초장과 엽수, 엽면적 및 생체중의 감소와 같은 성장특성간의 차이가 뚜렷하게 나타났지만 인산의 과잉 처리에 대해 둔감하게 반응한 것으로 나타났다. 대조구의 경우에는 엽록소의 함량이 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나 N, P, K 과잉구는 다소 증가하는 비율이 낮거나 엽록소 함량이 낮아지는 경향을 나타냈다. 특히 K 과잉구의 경우 하위엽의 엽록소 함량이 40mg/gFW 이상 차이를 보이고 있어 육안으로도 확실한 과잉증상을 확인할 수 있었다. 다량원소의 결핍구 경우에는 대조구를 제외한 처리구에서 엽록소의 함량이 거의 일정한 경향을 보이고 있으며 특히 질소 결핍구에서 황화현상을 나타내었다. 또한 미량원소의 결핍구에서도 대조구와 비교하여 낮은 함량을 보이고 있으며 Mg와 N을 제외한 결핍구에서 대조구보다 더 높은 함량을 나타냄으로서 이동성이 큰 양분이 결핍되어 오래된 늙은 기관인 하위엽에서 황하 되는 증상을 나타낸 반면, 성장점 생식기관에 결핍증세는 잘 나타나지 않는 것으로 나타났다. 미량 원소의 엽위별 엽록소 함량을 보면 5엽에서는 대조구의 엽록소 함량이 낮았지만 15엽의 경우 대조구의 함량이 가장 높게 나타나 이동이 곤란한 미량원소 결핍으로

인한 성장점 조직의 엽록소 함량의 저하를 가져왔다.

과잉 처리로 인한 생장의 저해는 뿌리의 양분 흡수가 대조구에 비해 원활하지 못했기 때문으로 생각되며 뿌리의 양이나 활력이 곧 성장과 발육으로 연결됨을 짐작할 수 있다.

4) 배양액의 농도(1/2, 1/8, 4배)에 따른 근권잔유물의 생성경향과 재이용시 나타나는 오이와 토마토의 성장분석

배양액의 결핍 및 과잉의 조건에서 1, 2차 생육을 마친 후 이들 배양액을 재이용 하였을 때 양액의 과잉 및 결핍처리구에서의 성장특성은 대조구에 비하여 현저하게 낮은 성장특성을 보였다. 결핍처리구에서는 대조구에 비하여 60%이상의 초장억제가 나타났다. 처리구간의 엽록소의 함량은 대조구가 다른 결핍 및 과잉처리구에 비해 높게 나타났으며 결핍 및 과잉간의 엽록소 함량에서는 유의차를 나타내지 않았다.

5) 오이종자에 처리한 성장촉진형 선발균과 glucosamine의 성장촉진효과판정

120종류의 분리된 토양 미생물 배양액을 실험실 조건하에서 오이를 대상으로 종자에 처리하여 배양한 경우, 식물의 근권과 경경 및 하배축 성장촉진 및 억제에 관련한 유효미생물을 1차적으로 선발하였다. 결론적으로, 본 연구와 관련하여 성장촉진과 관련한 요인이 근권의 활력을 기본조건으로 설정하였기 때문에 초장, 하배축길이의 성장에 관련한 최적 분리균은 HWPD5와 B, 억제와 관련한 분리 미생물은 D2로 조사되었다. 본 연구에서 선발 사용한 유효균과의 비교를 위하여 *pseudomonas* sp. 계열과 관련한 primer를 이용하여, sequencing 데이터를 기반으로 genebank의 결과와 비교하여 오이의 성장과 억제에 관여하는 분리균의 nucleotide 특성을 검정하여 보았다. 동정결과 B는 *pseudomonas* sp., D2는 *pseudomonas* sp. 로 확인되었으며, 16S rRNA gene 동정결과는 차이도 매우 미미한 것으로 밝혀졌다. 결과적으로, B균과 D2균은 오이유묘에 처리한 경우 초장의 생장은 억제시키며, 뿌리의 활력은 증가시킴과 동시에 잎, 경 그리고 하배축의 성장 역시 증가시키는 것으로 확인되었다. 또한, B 및 D2균에 의해 초장생장의 활력을 천연무독성제제인 올리고당화-glucosamine의 처리에 의하여 생장을 추가적으로 촉진시킬 수 있음을 확인하였다.

6) 성장억제 오이묘에 처리한 성장촉진형 선발균과 glucosamine의 성장 회복효과 판정

성장억제묘에 화란 PBG 배양액만을 공급한 대조구에서는 초장이 54.20±9.20cm 이었던 반면, 상기 제제와 생기베드를 병행 사용한 처리구에서는 103.70±0.30cm 으로 그 신장이 100% 정도의 촉진효과를 나타내었다. 오이 성장억제유묘를 대상으로 한 예비실험결과에서

생기베드와 본 연구간 개발된 근 형성 및 지상부 성장촉진형 개발제제를 동시에 사용한 경우, 생장억제 오이묘에 대하여 근활력 촉진과 성장촉진효과가 도출되는 기본결과가 도출됨으로서 오이를 대상으로 양액재배 시 발생하는 생장억제 회복에 대한 시스템 및 적용공정과 사용제제의 개발이 동시에 확보되는 효과적인 결과를 얻었다. 결론적으로 오이유묘를 대상으로 전체 및 기관별 성장촉진과 억제에 미치는 효과는 미생물의 종류, 농도에 따라 효과는 달리 나타났으며, 동일종에 속하는 *pseudomonas sp.* 계열 균에 대한 유전자 차이는 오이의 성장촉진 및 생장억제 효과에 대하여 반대적인 결과를 나타내었으며, 최적 사용농도를 예방할 수 있는 대체제로서 사용할 수 있다고 판단되었으며, 0.00001%(w/v)의 농도와 올리 고당화 하였을 경우 식물의 체내 흡수 및 이용 등에 적절한 물성임이 확인되었다.

7) 근권미생물이 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향

초장은 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 초장이 급격히 증가하였다. CMB처리구는 무처리에 비해 다소 초장의 변화가 낮게 나타났다. 엽록소 함량도 초장과 유사한 경향으로 전반적으로 근권미생물 처리구가 무처리구에 비해 높게 나타났다. 엽면적의 경우도 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 엽면적이 급격히 증가하였으며 CMB처리구는 무처리에 비해 초장의 변화와 마찬가지로 낮게 나타났다. 근활력은 D2처리구의 경우 2주까지는 다소 낮게 나타나다가 미생물이 활착을 한 후부터는 다른처리구에 비해 높게 나타났다. 미생물을 bead로 처리한 양액에서 오이를 재배하면서 미생물에 의해서 오이의 저온 내성이 증가되는지를 조사하였다. 오이를 저온(10℃)에서 재배하여 root activity를 조사한 결과 저온처리에 의해 근활력이 다소 낮았지만 D₂ 처리구의 근활력이 대조군보다 높게 나타났고, 이 뿌리의 ion leakage를 비교해보아도 D2처리구가 훨씬 적다는 것을 알 수 있었다. 순수하게 원형질막만을 분리하여 H⁺-ATPase 활성도를 측정하였다. 그 결과 D2 처리군은 처리 1주에서 대조군과 CMB 처리군에 비하여 약 20%정도 높은 효소 활성도를 보였으며 조사 기간 동안 대조군보다 계속 높은 수준의 활성도를 유지하였다. CMB의 경우, 처리 1주에는 미처리군보다 활성도가 낮았으나 2주에 크게 증가하고 3주까지 가장 높은 효소 활성도를 유지하였다. 결론적으로 미생물 처리군에서 대조군에 비하여 실험 기간 3주 동안 H⁺-ATPase 활성도가 높았으며, 군주에 따라 효소의 활성화 양상이 달랐다. D2 처리군의 경우는 처리 초기에 효소 활성도가 증가한 반면 CMB 처리군은 2주에 효소활성도가 크게 증가한 후 3주에서도 높은 활성도가 지속되었다.

유효 근권미생물 처리에 따른 토마토의 초장, 엽록소함량, 엽면적 및 근활력 반응은 오이의 경우에서처럼 성장반응이 뚜렷하지는 않지만 근권미생물처리에 의한 토마토의 성장도 전

반적으로 높게 나타났다.

8) 유효근권미생물 처리에 따른 선충의 방제효과

분리된 선충에 대한 방제효과를 확인하기 위하여 알과 성충 두 분류도 정하여 이를 방제 효과 평가를 위한 실험재료로 사용하였다. 준비된 신규한 바실러스속(*Bacillus* sp.) CMB26 균 배양액(1×10^8 cfu/ml)을 0.1%(x1,000배, v/v), 1%(x100배), 5%(x20배) 그리고 10%(x10배) 되게 생리식염수에 첨가한 후, 여기에 성충과 알을 100개체씩 되게 투입하였고, 방제효과 비교를 위한 대조구로서는 일반 생리식염수만 첨가한 시험구로 구성하여 처리구와 비교하였다. 방제효과판정은 24시간단위로 3일 동안 일정경과 시, 소형시험관내의 선충 알과 성충의 외형형태의 변화와 생존률 등을 종합적으로 해부현미경으로 관찰하여 평가하였다.

대조구의 경우는 100% 생존하고 있었으나, 처리구의 경우는 48시간 이내에 모든 알과 성충은 사멸되었다. 그리고 신규한 바실러스속(*Bacillus* sp.) CMB26균과 그 생산물인 lipopeptide배양액을 농도별로 첨가한 처리구에서, 사멸순서는 24시간이내에 알의 외피막이 파괴되어 있었고, 48시간 이내에는 성충이, 48시간 경과시는 성충으로의 탈피하기 전단계의 선충 순서로 사멸되었다. 또한 농도별로 처리한 경우에는 다소 사멸시간은 차이가 있었으나, 농도가 높은 경우가 역시 사멸효과는 높게 나타났다.

9) 오이와 토마토의 재배기간에 따른 root exudate 분석 및 재이용시 토마토 및 오이의 생육에 미치는 영향

생육기간에 따라 양액재배 베드 내에서 양액을 채취하여 페놀의 함량을 분석한 결과 생육기간이 경과함에 따라 페놀의 함량이 증가하였다. 생육기간이 길어질수록 오이와 토마토의 지하부에서 배출되어지는 phenolic compound가 높아지는 것으로 생각되어진다. 생육기간별 배양액의 재 이용시 생육 1주후의 배양액에서 재 정식을 하였을 경우 4주 이상의 생육기간을 거친 처리구의 생육보다 양호한 것을 나타내었다. 생육기간이 길어지는 처리구일수록 차후 재배에서 생육이 저조한 경향을 나타내었다. 이러한 결과로 보아 생육기간이 길어질수록 지하부에서 생성되어지는 root exudate가 차기 재배시 동일 작목의 생육에 큰 영향을 타나낼 것으로 판단되었다. 생육기간별 폐양액을 이용하여 동일 작물을 재배한 결과 식물체내 다량원소의 함량은 처리구간 유의차를 나타내지 않았으나 오이의 경우 대체적으로 5주차 배지에서 재 정식을 하여 재배를 한 경우 다량원소의 함량이 전체적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 1주차의 배지에서는 전체생육에 필요한 무기영양분들이 고르게 흡수되어 식물생육에 적합하게 이용된 것으로 판단되었으나 3주차이상의 폐양액을 재이용한 경우 3주

차의 Mg의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 4주차의 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타냈었다.

토마토의 경우에도 오이와 같이 1주차의 폐양액을 재이용한 결과 식물체내에서 무기영양분이 고르게 분석되어지는 것을 알 수 있었으나 2주차에서 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타내었으며, Mg의 함량은 오이에 비하여 전체적으로 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

10) 오이와 토마토 연작재배가 배지 내 미생물, 균 및 root exudate의 함량에 미치는 영향

새로운 배지 및 재사용 배지에 미생물 첨가에 의한 작물의 전체적인 생육은 일반 대조구보다 미생물이 투입된 배지에서 성장촉진효과를 나타내었으나 식물체에 함유된 N, P, K, Ca, Mg의 함량에 있어서는 큰 유의차를 나타내지 않는 것으로 보아 투입된 미생물이 성장촉진형 미생물이라고 판단되어졌다. 이러한 내용은 근활력의 그래프에서 나타나는 것으로 보아 미생물은 성장촉진에 관여하는 미생물로 판단되어졌다. 미생물의 처리에 의한 배지 내 phenolic compound의 함량은 처음 작물을 재배하는 배지에서 약 10ppm을 나타내었고, 재사용한 배지에서는 대조구에 비하여 7배 이상의 phenolic compound 함량을 나타내었다. 2년차 실험에서 분리 동정되어진 D2, B의 미생물은 작물의 성장에 영향을 미치는 것으로 보아 작물성장촉진형 미생물인 것으로 판단되었으며, phenolic compound의 함량을 억제하는 부분에는 다소 억제하였으나 큰 효과를 나타내지는 않았다. 전체 phenolic compound의 함량은 오이와 토마토에서 D2보다는 B가 phenolic compound의 생성을 억제하는 것으로 판단되었다. Phenolic compound 함량의 억제를 위한 미생물의 제독 연구는 차후에 더 심도 깊게 연구해야 할 것으로 생각되어진다.

본 실험에서 특히 중요한 것은 유효 근권 미생물의 적절한 형성, 영양 관련 요인 및 지상부 지하부 불량환경에 대한 대응책을 마련하는 것이었다.

미생물의 적절한 형성을 위한 배양토의 형성이 연작장해 경감을 위한 최대의 관건이었으며 이는 고온 다습한 여름철에 수피, 유박 골분, 미강 및 요소를 일정량으로 배합하여 45일간 숙성한 배양토에서 특히 성장촉진 및 항균과 항충성을 갖는 근권성장촉진 미생물을 유효하게 형성시킬 수 있었으며 이들 미생물들은 D2, B로 분리 동정되었고 특성검정을 통하여 성장촉진 및 항충효과가 있다는 것이 인정되었다. 제조된 배양토에서 유효근권 미생물을 분리하여 처리할 시 성장을 촉진시킬 수 있었으며 토양의 염류농도 장해는 극복, 근삼출물에 대한 피해도 경감하는 등 생리, 생태적 기능의 변화를 유도할 수 있었다. 그러나 이들 미생물의 처리에 있어서는 균의 밀도를 높이는 집적화 과정이 필요하였고, 균에 따라 housing 기법을 도입해 본 결과 보다 효과를 증대시킬 수 있음이 판명되었다.

따라서 본 실험을 통해 시설을 이용한 토양 및 수경재배시 연작장해를 경감시키기 위해서는 식물생장촉진 및 항균, 항충성 유효 미생물의 형성과 집적화를 통한 기법의 적용이 매우 유효한 방법임을 알 수 있었고 본 연구를 통해 이와 관련된 유효 미생물의 생성기법과 관련 미생물의 분리 동정 및 특성검정을 통한 기작이 구명 되었으며, 이들의 실제 재배에서의 생리 장애 경감, 염류농도장해 회피, 저온신장성 증대 및 수량과 품질향상이 오이와 토마토에서 확인되었다. 그러나 이들 미생물들에 관한 연구는 앞으로 보다 심도 있게 수반되어 시설원에 산업현장에 광범위하게 적용될 수 있도록 추가적으로 수행해야하는 많은 연구들이 남아 있다.

라. 비파괴적 방법에 의한 영양스트레스 진단

오이를 이용한 실험결과 N의 공급량에 따른 엽병의 NO_3^- 의 함량 변화가 엽 내 total-N 함량의 변화보다 민감한 농도변화를 나타내었으며 토마토를 이용한 실험에서도 이와 같은 결과를 보였다. 이는 식물체내 N 함량의 진단에 즙액의 NO_3^- 측정이 더 유용한 지표가 될 수 있음을 나타내는 것이다. Test strip을 이용한 오이와 토마토의 즙액 내 NO_3^- , PO_4 , K 함량 측정치는 엽 내 total-N, P, K의 농도와 고도의 일차상관관계를 나타내어 두 변수간의 상호 추정이 가능할 것으로 생각된다. 따라서 지금까지 여러 연구를 통해 확립된 오이와 토마토의 엽 내 total-N, P, K의 적정함량을 회귀식에 대입하여 즙액의 NO_3^- , PO_4 , K의 적정함량을 계산하였다. 그 결과 오이 즙액에 대한 NO_3^- , PO_4 , K의 적정 범위는 각각 5.4~9.1, 0.2~0.5, 3.1~4.8 g L⁻¹였다. 또한 토마토 즙액의 적정 NO_3^- , PO_4 , K 범위는 각각 3.4~5.9, 0.3~0.5, 3.6~6.5 g L⁻¹였다.

Test strip을 이용한 오이의 즙액 측정시 합리적인 측정을 위한 적정 엽위 결정을 위해서 각 엽위의 농도 변화를 비교해 본 결과 정단부로부터 9~13번째 엽을 대상으로 측정하는 것이 유용할 것으로 판단된다. 또한 오이의 생육단계별 즙액의 NO_3^- 와 K의 함량 변화는 생육단계가 진행됨에 따라 다소 감소하는 경향을 보였고 PO_4 는 그와 반대로 생육단계가 진행됨에 따라 다소 증가하는 양상을 보였다. 토마토의 생육 단계별 농도 변화에서 NO_3^- 는 오이와 마찬가지로 생육단계가 진행하면서 감소하였으나 K의 농도는 오히려 증가하였으며 PO_4 는 개화기까지 증가한 후 착과기에 다시 감소하는 경향을 나타내었다.

Chlorophyll meter를 이용하여 측정된 SCDSV를 측정된 결과 오이와 토마토에서 모두 엽 내 total-N와 높은 상관관계를 나타내어 두 변수간의 상호 추정이 가능할 것으로 생각된다.

다. 따라서 기존에 연구된 오이와 토마토의 엽 내 total-N 함량을 회귀식에 대입하여 계산한 결과 적정 SCDSV는 각각 39.5~49.0과 36.0~40.0이었다.

본 연구 결과 식물체의 영양 진단에 test strip과 chlorophyll meter를 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 test strip을 이용하여 오이와 토마토의 즙액 내 NO₃, PO₄ 및 K의 적정함량을 구할 수 있었으며 이 결과를 바탕으로 합리적인 영양관리가 가능할 것으로 생각된다. 또한 오이와 토마토의 N 함량 추정에 chlorophyll meter를 이용하여 측정된 SCDSV를 이용할 수 있을 것으로 생각한다.

이 때 무기배지에서와 토양배지 간에 간이진단을 지표가 다소 다를 것으로 생각되었다. 그래서 무기배지와 토양배지 간의 차이를 규명하고 토양재배시 신속한 영양진단을 위한 자료를 마련하기 위해 실험을 했다. 본 연구를 위해 토양으로 충진한 포트에 오이와 토마토를 정식하고 N, P, K의 농도를 달리한 양액을 공급하여 재배시험을 하였다. 그 결과 N, P, K의 공급 농도를 높여 줌에 따라 어느 일정 농도까지는 오이와 토마토 엽병의 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 농도 변화가 거의 일어나지 않았으며 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량이 무기재배의 결과보다 낮게 측정되었다. 또한 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량과 엽내 total-N, P, K의 함량 간 각각의 직선 회귀식도 무기재배에서와 다소 달라 계산된 즙액 내 적정 NO₃, PO₄, K의 함량에도 무기재배 결과와 차이를 보였다.

마. 연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법 기술개발

5.1. 연작지 작부체계 조사

연작지 작부체계를 조사한 결과 농가들은 연작의 유무는 채소시장 가격과 큰 관계가 있었다. 광양지역은 박과채소의 연작이 전체의 50%를 차지했는데 오이-호박, 호박-호박, 체계가 각각 25%였다. 방울토마토-호박연작은 약 20%정도였다.

서울근교는 엽채류는 상추-(썩갓,비름,열무)-시금치, 열무연작 등이 많이 이루어졌다.

과채류는 오이-호박-엽채류(시금치,상추),토마토-호박-엽채류 작부체계가 많았다.

5.2. 연작지 식물 상호작용 조사

각종 식물의 고염도 토양에서 제염효과시험은 실시한바 다음과 같은 결과를 얻었다.

제염효과가 가장 큰 식물은 옥수수였으며 상추, 케일, 수수가 내염성이 있으면서 염류 감소 효과를 나타냈다.

오이 치커리 엔디브, 상추, 콜라비, 알타리 잎을 각각 500, 1000kg/10a 수준으로 포트에 뿌려서 혼합한 다음 오이와 토마토의 생육을 조사 하였다.

그 결과 발아율은 오이의 경우 보다 토마토가 더 억제적이 었다. 오이, 상추, 알타리 처리구에서 오이의 발아율이 10-30% 떨어졌다.

토마토는 이들 처리구에서 대조구보다 발아율이 낮았으며 특히 오이 잎의 처리구, 엔디브 잎처리구, 콜라비 잎의 처리구에서 50%이하의 발아율을 보였다.

유묘 생육에서 오이는 오이잔유물 처리구, 엔디브 잔유물 구에서 생육이 다소 억제되었다, 토마토 유묘는 오이, 엔디브, 알타리, 콜라비 잔유물에서 생육이 억제 되었다

5.3. 염류제거 기초방법 연구

고염토양에서 발아 및 생육을 조사한 결과, 옥수수, 수수, 케일이 가장 생육이 좋아서 이들 식물이 내염성이 강하고 제염 식물로서 가능성이 있음을 알았다.

5.4. 주요국가별 연작장해 회피 기술 조사분석

국가별연작 장해 회피기를 조사 분석 한 결과 스페인은 메칠브로마이드를 사용하기로 하나 주로 객토법을 많이 쓰는 것을 알 수 있다. 방법은 10cm 정도 모래를 연작지 토양위에 덮고 거기에 식물을 심어서 가꾸는 방법을 택했다.독일은 증기소독법을 많이 사용하며 N-min 방법을 통해 토양 중 가용질소 양을 계산해서 최적 비료를 시비함으로서 염류의 집적을 미리 막는 방법을 사용했었다. 일본은 알맞은 윤작으로 염류집적을 막고, 고염지에서는 옥수수를 재배해서 제염 하고 있었다.

5.5. 제염법에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발

여러 제염 방법(태양열처리, 담수, 담수+태양열, 벼재배, 택사재배)을 비교 연구한 결과 봄오이를 재배한 다음 벼나 택사를 심어 담수처리가 병행될 경우에 가장 효과적임을 알 수가 있었다

5.6. 영양 스트레스 경감을 위한 토양 개량제의 효과 구명

오이의 포장발아율은 포장에 배추과 잔유물을 처리하면 발아율은 억제적이었으나 가열하여 살포시는 억제효과가 완화되었다. 특히 가열하여 살포 시에 초기 생육도 촉진적이었다.

토마토에서는 과잔유물의 발아억제가 심했는데 가열한 잎파는 초기 생육을 오히려 촉진하였다. 이로 미루어 배추과와 백합과는 생체로 이용 시에 발아와 생육억제가 있음을 알 수가 있었다. 반면에 완전히 익힌다든지 하면 발아 억제나 생장억제물질이 파괴되고 오히려 촉진되는 것을 알 수가 있었다

미생물제제인 soil plus를 사용하면 오이잔유물이나 콜라비 잔유물에 의한 생장억제를 완화하는 작용이 강력하게 나타나는 현상을 보았다. 따라서 연작지에서 미생물제제를 사용하면 전작물 잔유물에 의한 피해를 줄일 수가 있다.

5.7. 녹비작물의 제염효과 시험

4가지 녹비작물(옥수수, 수수, 석결명, 숙마)을 2차례에 걸쳐 염류집적토양에서의 제염효과를 알아본 결과, 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후에 모든 처리구에서 EC와 무기성분 함량은 감소하였다. 녹비작물로 사용된 콩과작물(석결명, 숙마)보다 벼과 작물(옥수수, 수수)에서 토양 내 무기성분 함량의 감소 폭이 컸으며, 염류집적토양에서 개체 당 무기성분 흡수량도 많았다. 특히 고염류 집적토양 실험의 경우 지표식물인 오이묘의 무기성분 함량을 보면 콩과작물보다 화분과 작물에서, 특히 옥수수에서 가장 낮은 함량을 보였으며 무기성분 흡수량이 가장 많아 옥수수의 제염효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다.

5.8. 토양개량제의 제염효과 시험

본 실험에서는 염류집적 토양의 해소방안으로 토양개량제의 제염효과를 알아보고자 본 실험을 수행하였다. 토양개량제로는 활성탄, 목초액, 그리고 토양미생물제를 사용하였다.

염류집적토양에서 제염효과를 알아보기 위해 3가지 토양개량제를 처리한 토양에 지표식물로 오이를 파종하여 그 효과를 알아본 결과, 토양 내 무기성분 함량의 변화는 활성탄 처리시 낮은 함량을 보였으나 처리간 유의성은 없었다. 지표식물인 오이의 생육에서도 처리간에 차이를 찾아볼 수 없었으며 오이의 무기성분 함량 또한 토양개량제 처리에 의한 함량 변화를 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 실험에 사용된 3가지 토양개량제인 활성탄, 목초액과 토양미생물제에 의한 뚜렷한 제염효과는 나타나지 않았다.

토양개량제로 광합성균(Photomicrobe), soil plus, 목초액, 활성탄등 4가지들을 사용하여 오이와 토마토를 재배한 결과 활성탄 처리구에서 수량과 뿌리생육이 좋았다.

또한 토마토의 배꼽썩음병의 발생도 활성탄 처리구에서 가장 낮았다. 당도는 soil plus 처리구에서 높았고 nitrate 함량은 처리 간에 차이가 없었다

5.9. 엽근채류 잔유물에 따른 작부 체계 확립 시험

오이와 토마토의 발아에 미치는 전작물 잔유물(양배추, 무, 파, 상추)의 효과를 포트에서 시험하였다. 그 결과 파가 발아를 가장 억제 시켰으며 무, 양배추, 상추의 순서였다. 다만 오이의 경우에 상추는 발아를 억제 시키지 않았다.

채소잔유물의 오이, 토마토의 발아억제는 약 20일간 지속되었고 그 후에는 오히려 생육을 촉진시켰다. 촉진은 억제의 반대 순서로 파, 무, 양배추, 상추의 순서였다.

이상의 결과로 파, 무, 양배추의 잔유물이 후작으로 심는 오이와 토마토의 발아를 억제하나 20일이 지나면 오히려 촉진한다는 것을 알 수가 있었다.

파, 무, 양배추, 상추의 추출물을 5, 10, 17, 23, 35, 50, 65 %로 희석하여 오이와 토마토의 발아와 유근 신장에 미치는 시험을 실시한바 다음과 같은 결과를 얻었다.

오이 발아는 추출물의 저농도인 5, 10, 17, 23%에서는 모든 처리가 억제되지 않았다. 상추 추출물의 35, 50, 65% 고농도 처리구에서는 전혀 발아가 이루어지지 않았다. 잎과는 50% 처리구에서 만 오이 발아 억제현상을 보였다. 오이의 유근 신장은 다만 잎과의 추출물의 경우에 저농도인 17, 23%에서 억제적이었다. 고농도에서는 35%를 제외하고는 모두 유근 신장을 억제하였다.

토마토의 발아는 저농도 상추 추출물만 억제현상을 나타냈으며 고농도인 35, 50, 65%에서는 모든 처리가 발아억제 현상을 나타냈다. 특히 50% 이상 처리구에서는 전혀 발아가 되지 않았다. 유근의 신장은 토마토의 경우 파와 상추추출물이 23%이상에서 강하게 억제하였다.

이상의 결과로 미루어 엽근체의 추출물도 오이보다 토마토의 발아 억제를 심하게 하고 고농도에서는 유근의 신장을 억제하였다.

5.10. 녹비작물과 접목재배에 의한 영양스트레스 대처시험

녹비작물인 옥수수를 여름철 2개월간 시설 내에 재배할 경우에 토양전기전도도를 약 $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도 내릴수 가 있었다. 제염의 효과를 시험하기 위하여 오이를 재배한 결과 제염구에서 무제염구보다 수량이 2배정도 증가되었다.

토마토 내염성 접목묘를 이용할 경우에 무제염구에서 25%가 심한 생리장해나 죽는 현상을 나타내지만 제염구에서는 100% 활착이 이루어졌다. 수량도 제염구에서 내염성대목을 이용한 재배에서 수량이 증가되었다.

따라서 제염식물을 재배하거나 내염성대목을 이용하면 염류집적의 피해를 많이 경감할 수가 있었다.

5.11. N-min 적용과 합리적 관비조성비교

Merck strip test에 나타난 토양중의 질산염을 다음 공식에 적용하면 실시간 10a당 가용 질소함량을 알 수가 있다.

현재 토양 중 N함량(kg/10 a) = 질산함량(ppm) x 0.226 x 0.3

시설 내 N 시비량 = 현재 토양 중 N함량(kg/10a) - 작물별 N표준시비량(kg/10 a)

실제 적용가능성을 보고자 전기전도도가 $4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양에서 Yamazaki 상추액을 0.5배, 1.0배, KNO_3 단용구(4me), 미량요소구(야마자기액의 미량요소만 시비)처리 시험을 하였다. 공시작물은 쌈채소(red mustard, red chicory, endive, bowl red, red romaine) 5가지를 택하여 재배하였다. 그 결과 2주까지는 생육의 차이가 없었으며 그 이후에 적겨자와 적치커리는 1배액에서 수량이 많았고, 엔디브는 무비료구와 관비처리구 간에 차이가 없었으며 적로메인은 0.5 배액, 그리고 bowl red는 무처리구에서 오히려 수량이 많았다. KNO_3 와 미량원소구에서는 수량이 모든 쌈채소구에서 낮았다.

이로 미루어 토양 내 질소의 함량을 분석해서 관비를 적용하면 엔디브, 볼레드상추는 무비료재배도 가능하며, 적로메인은 상추 0.5배액에서, 그리고 비교적 흡비력이 강한 적겨자와 적치커리는 1배액에서도 알맞은 수량을 올릴 수가 있었다.

5.12. 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 개발

관행적인 두상관수보다 텐시오미터를 사용한 완전자동 점적관수 방법식으로 pF 2를 2.0으로 조절하여 작물을 재배하였을 때 잎상추인 bowl red를 제외하고 적겨자채, 적치커리, 엔디브, 적로메인의 수량을 증진 시켰다.

질산염의 함량은 두상관수구에서 점적자동관수구보다 높았다. 무기함량도 자동관수구에서 대체로 높게 나타났다. 이는 점적관수를 실시하므로써 토양용액내의 염농도를 일정하게 하여 근권의 활력을 촉진시켜 생육과 품질을 좋게 한 결과라고 생각된다.

2. 실 적

가. 논문 발표

(1) 논문투고 및 출판

- 1) 김권래. 2003. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 오이와 토마토의 신속한 영양진단. 석사학위논문. 서울시립대학교.
- 2) 김권래, 김계훈. 2003. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 오이와 토마토의 신속한 영양진단. 한국토양비료학회 36(5):272-279.
- 3) 김권래, 전영수, 김계훈. 2002. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 오이의 엽내 N, P, K 함량 진단. 한국원예학회지 43(2):159-162.
- 4) 김권래, 정한울, 김계훈. 2003. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 토마토의 신속한 영양진단. 한국농화학회지 46(2):140-143.
- 5) Chung, H.D., T.S. Ryu, and Y.J. Choi. 2003. Selection of salt-tolerant bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) rootstock for watermelon graft. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:588-594.
- 6) Choi, Y.J. and Chung, H.D. 2003. Effects of soil EC on emergence rate, seedling growth and physiological disorders of leafy and root vegetable crops, and diminishing effect of soil EC level by washing with water or manure adding.. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:578-581.
- 7) Choi, Y.J. and Chung, H.D. 2003. Ultrastructural changes of cells in chinese cabbage [*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour.) Rupr.] leaf and radicle tissues of radish (*Raphanus sativus* L.) grown in high soil EC. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:582-587.
- 8) Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2002. Enhancement of salt tolerance of pepper

plants (*Capsicum annuum*) by grafting. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:556-564.

9) Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2002. Growth responses on varying soil EC and selection on salt-tolerant rootstock of tomato (*Lycopersicon* spp.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:536-544.

10) Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2001. Morphological changes of tissue in cucumber seedlings grown in high soil EC. Kor. J. Hort. Sci. & Tech. 19:501-504.

11) Chung, H.D., I.S. Jang, and Y.J. Choi. 2001. Effects of soil EC on seed germination, seedling growth, initiation of female flower and fruit growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. Kor. J. Hort. Sci. & Tech. 19:495-500.

(2) 학술논문 발표

박은희, 김권래, 이재황, 김계훈. 2004. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 토양재배 오이와 토마토의 신속한 영양진단. 한국토양비료학회 학술발표회 논문 초록집 pp.280-281.

정희돈, 최영준. 2003. 높은 토양 EC에서 엽, 근채류의 종자발아, 유묘생장, 생리장해 및 조직의 미세구조 변화. 원예과학기술지 21권 별호 1. 28.

정희돈, 최영준. 2003. 한국재래종 박(*Lagenaria siceraria*)의 내염성 대목선발. 원예과학기술지 21권 별호 1. 40.

정희돈, 최영준. 2002. 토양의 EC에 따른 고추와 토마토의 발아율, 이식 후 생장 및 장해발생. 원예과학기술지 20권 5호. 56.

정희돈, 최영준. 2001. 토양의 염류농도가 오이와 수박묘의 생장에 미치는 영향. 원예과학기술지. 19권 별호 1. 61.

임재현 등 3명, 2002.10.31 오이관비재배를위한 적정 관수점 및 질소 관비 농도 한국토양비료학회 추계학술대회전남대학교

임재현 등3명 2002.5.24 토마토 관비재배를 위한 적정 시비 기준설정 2002년 춘계정기총회 및 제79차 학술발표회 원예과학기술지제20권별호1 경상대학교

홍종운, 임재현, 곽한강 2003.10.16 발토양중 질산태질소의 현장실시간 분석법 한국토양비료학회 추계학술대회 2003 추계학술대회발표논문초록집; 36별호(2). 속리산레이크힐호텔

김홍림, 임재현, 이중섭 2003.10.16염류집적과 선충에 의한 복합 피해발생 연작지의 토양관리 기술한국토양비료학회 추계 학술대회 2003추계학술대회발표논문초록집; 36별호(2) 속리산레이크힐호텔

홍종운, 정병간, 임재현 2004.5.13 몇가지있을 먹는 채소류의 잎 중 질산태 질소농도에 관한 고찰한국토양비료학회 제66차정기총회 및 춘계학술대회 2004춘계학술대회발표논문초록집; 37별호(1)충남농업기술원

박권우, 백준필, 박지현, 2001. 채소잔유물이 오이와 토마토 생육에 미치는 영향. 원과지. 19.S.I. 53

박권우. 박지현. 2001 채소잔유물과 미생물중균제 soil puls가 오이의 유묘생장에 미치는 영향. 원과지. 19. S. II. 38

박권우, 박성욱, 이상협, 2002. 미생물제과 활성탄이 토양개량과 식물생육에 미치는 영향. 원과지. 20. S.I. 49

박권우, 박지현, 정지영, 한나리, 김미란. 2002. 고염류토양에서 녹비작물과 토양개량제가 오이생육에 미치는 영향.원과지.20. S.II. 51

박권우, 박성욱, 한나리, 백준필, 이상엽, 2002. 곤비와 미생물등의 사용방법이 오이 생육과 토양에 미치는 효과. 원과지. 20 S.II. 51

박권우, 박지현, 한나리, 박혜란, 2003. 몇가지 녹비작물과 토양개량제가 고염류토양에서 후작물인 오이의 생육에 미치는 영향. 원과지. 21. S.II. 36.

(3) 농민 교육 등

| 교육명칭 | 교재명 | 일시 | 장소 | 참석 대상 | 인원 | 주요내용 | 기대효과 |
|-----------------|------------|-----------|-----------|----------|-----|------------------|--|
| 전문교육 | 첨단시설 채소 | 2001년 | 한국농업 전문학교 | 농촌진흥 공무원 | 40 | 시설채소연작장애대책 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 전문교육 | 오이, 수박, 참외 | 2001년 | 한국농업 전문학교 | 농촌진흥 공무원 | 40 | 박과채소연작장애대책 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 시설원예 연작장애대책 워크숍 | 특강 | 2001.8 | 경남농업 기술원 | 공무원, 농업인 | 200 | 시설원예연작장애대책 신기술 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 최고기술 아카데미 | 수박 | 2003.8.26 | 농협 안성교육원 | 농업인 | 20 | 수박시설재배토양관리 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 소득작목전문 기술교육 | 시설 오이 | 2003 | 한국농업 전문학교 | 농업인 | 40 | 오이시비 및 토양관리 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 전문교육 | 첨단시설 채소 | 2004년 | 한국농업 전문학교 | 농촌진흥 공무원 | 40 | 박과채소 연작장애 원인과 대책 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |
| 전문교육 | 고추 | 2004년 | 한국농업 전문학교 | 농촌진흥 공무원 | 40 | 연작 장애 대책 | 시설채소의 효율적시비관리로 시비량 절감과 과채류 품질향상으로 농가소득증대 |

정책활용 내역(영농활용자료, 농정시책 반영 및 정책건의)

| 시책(영농)명 | 주관부처 | 일시 | 시책추진실적 및 계획 | 기대효과 |
|---|-------|-------|-------------|------|
| 1. 백침계 오이의 적정 관수점 | 농촌진흥청 | 2001년 | 영농활용자료 | |
| 2. Test strip법을 이용한 시설 오이토양의 질산이온 간이진단 기준 | 농촌진흥청 | 2001년 | 영농활용자료 | |
| 3. 오이 재배시 토양 EC값을 기준으로한 질소관비 기술 | 농촌진흥청 | 2002년 | 영농활용자료 | |

홍보 실적(신문, 방송, 저널 등)

| 홍보유형 및 매체 | 제 목 | 내 용 | 일시 | 홍보면(채널) |
|-----------|----------------------|---|-----------|-----------|
| 전문지 게재 | 시설채소염류장해 예방 | 관비재배로 토마토수량 33% 은 관비재배가 효과적 증가 | 2000 | 농업기술(농진청) |
| 신문 | 새농민영농사례 | 유황으로시설토양산도낮춘다 | 2001.5.21 | 농민신문 |
| 신문 | 토마토관비재배시적정 시비기준설정 | 염류과다집적 사전방지, 생 육저해요인이있는 경우 격리 베드 이용 | 2001.8.29 | 원예산업신문 |

나. 사업재산권 출원 및 등록

| 품목 | 출원자 | 고안자 | 출원번호(출원일) |
|----|-----|-----|-----------|
| | | | |

다. 산업체 기술이전

라. 연구개발 결과의 활용에 대한 건의(활용계획, 제 5장 참조)

SUMMARY

I . Introduction

The purpose of this experiment were better understanding of the basic principles of successive cropping injury in greenhouse soil environments and to establish the efficient methods to reduce successive cropping injury.

II. Development of technique for alleviating the physiological stress of continuous cropping and salinization.

The first part of this project, cooperation project-1, was performed to develop a technique for effectively alleviating the injury of continuous cropping and the salt stress on rhizosphere for vegetable production in greenhouses. Several experiments were conducted to investigate the present status of vegetable cropping systems and soil chemical properties in protected cultivation, to develop a real-time diagnosis method of soil nitrate-nitrogen and soil-bed cultivation system for alleviating salts stress on rhizosphere for vegetable production.

For providing the present status of cropping system and soil chemical properties for vegetable production under protected cultivation in Korea, a total of 302 replies submitted to the questionnaire and 603 soil samples from 8 provinces were collected and analysed. Most of vegetables are cultivated in the plastic film houses operated more than 3 years, where they are subjected to the application of large amounts of fertilizers and there is no leaching of nutrients from natural rainfall. The combination of these effects leads to the accumulation of nutrients, especially in nitrate-nitrogen, available phosphate, and extractable potassium and calcium, over the optimum quantity in the soil of vegetable cultivation.

To develop a real-time diagnosis method of soil nitrate-nitrogen for accurate management of fertilization, kits for measuring the nitrate content in soil as well as methods for collecting the soil solution were investigated. As a result, the portable reflectometer for nitrate measurement and the volumetric mixture of wet

soil and water(soil : water=1:2) for collecting the soil solution was suggested as the real-time nitrate diagnosis kit that a farmer can use rapidly, conveniently and accurately for nitrate analysis in the field. For determining the standard value of nitrate based on the real-time nitrate diagnosis kit, the nitrate content in the soil solution of plots with a different quantity of nitrogen was measured for cucumber, tomato, pepper, spinach, young radish and Altari radish in protected cultivation.

Based on the relation between the nitrate content in the soil solution and the crop yields, the standard value of nitrate of some vegetables crops are as follows; cucumber 90 mg/ℓ, pepper, spinach, and young radish 150 mg/ℓ, tomato 200 mg/ℓ, lettuce 170 mg/ℓ and Altari radish 180 mg/ℓ.

An isolated soil bed was designed for alleviating salt stress of vegetables and minimizing leachate from the protected cultivation area, that was composed with a isolated soil bed and a fertigation system with the real-time nitrate diagnosis kit. The bed was constructed by 30cm width and 30cm depth and packed with soil mixes. To achieve an adequate cultivation system of the isolated soil bed, the effects of several organic materials as a soil mixes component and mixing ratios on the growth and yield of cucumber, tomato and lettuce were examined.

Among the organic materials, such as sphagnum peat, norman peat, mushroom spent compost and rice straw, sphagnum peat was proved the most suitable materials as a soil mixes component for the growth and yield of cucumber, tomato and lettuce. And the combination of 200 liters of sphagnum peat per cubic meter of soils was more effective for plant growth than the other combinations.

It was suggested that the isolated soil bed cultivation system including fertigation system and real-time nitrate diagnosis kit provide an alternative fertilizer management for reduction of salt stress on the rhizosphere and nitrogen losses to the environment.

III. Technical Development for Diagnosis of Nutrition Condition of Vegetable Crops and Soils in Realtime

Seed germination, seedling growth, plant establishment after transplanting, set of

female flowers, and subsequent fruit growth were examined in cucumbers grown in soils having varying electrical conductivities (EC) of 1.0~5.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ adjusted by adding different amount of a commercial compound fertilizer (N:P:K=21:17:17). Slower seed germination was recorded in soils having EC value of 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ or higher and little or no germination took place in soils with EC 4.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ until 8 days after sowing. Suppression of seedling growth was apparent in soils having EC level of 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and all the seedlings were eventually died at EC level of 3.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Leaf color became progressively dark green with the increase in EC from 1.0 to 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. The first female flower was formed at higher node and the number of days required for the first flowering of female flower increased with the increase in EC values up to 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Occasionally, leaf yellowing and self-topping symptoms appeared in plants grown in soils having EC level of 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Number of trichomes on leaf upper epidermis increased with the increase in soil EC from 1.0 to 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, but the shape and number of stomata on lower epidermis remained unchanged. Epidermal cells of cucumbers grown in EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ soil was occupied mostly by large vacuole whereas those grown in EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ soil were filled with a nucleus, mitochondria, chloroplast and other micro-organelles. Sponge parenchima cells were also larger and contained fewer chloroplasts at EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ than those grown at EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Leaf thickness decreased at high EC and the color of epidermal cells became significantly darker on the photograph of optical microscope. Normal tissue differentiation was greatly suppressed in plants grown in soils with 3.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ or higher EC. Emergence of tomato seedlings under several soil EC of 0.5~5.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ was different in 'Danju No. 2' and 'Seonmyeong'. The emergency rate was markedly decreased in soils having EC 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and the highest emergence rate was observed at EC 0.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. The seedling growth was significantly retarded in soils having EC level of 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and the same tendency was observed in transplanted seedlings. The flowering time of the first truss was delayed with increase in soil EC and the fruit set rate was only 6.3% in soils with EC of 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Fruit weight was markedly decreased as the soil EC became higher than 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. The placenta was abnormally developed and the number of trichomes on the abaxial surface of leaf was

increased with the increase in soil EC from 1.0 to 3.0 dS·m⁻¹. Tomato seedlings grafted onto *Lycopersicon hirsutum*, a salt tolerant rootstock, showed favorable growth even in soils with EC 3.0 dS·m⁻¹. Growth responses of pepper plants (*Capsicum annuum*) in soils having varying electrical conductivity (EC) were examined in intact seedlings or those grafted onto salt tolerant rootstock. Seedling emergence, growth, branching, fruit set, and fruit development were investigated in plants grown in soils having varying EC levels of 1.0 to 5.0 dS·m⁻¹ adjusted with a compound fertilizer (N:P:K=21:17:17). Emergence rate was 8.3% for 'Buchon' in soil EC of 1.5 dS·m⁻¹ as compared to 60.4% in 'Cheongbok' in soil EC of 2.0 dS·m⁻¹ at 11 days after sowing. Seedlings of 'Buchon' were more sensitive to high soil EC than 'Cheongbok'. 'Kataguruma' rootstock exhibited the strongest salt tolerance. Seedling growth was significantly retarded in soils having EC of 2.0 dS·m⁻¹ in 'Buchon', whereas only slight growth inhibition and high fruit-set rate were observed in plants grafted onto 'Kataguruma' grown at 2.5 dS·m⁻¹. In soils with higher EC, poor fruit growth, abnormal development of placenta, and reduced number of seeds were observed. At higher soil EC, leaf chlorophyll content increased. Nitrogen content in the leaves of grafted pepper plants also increased with the increases in soil EC. From these results, we concluded that 'Kataguruma' carries a good tolerance to high salt conditions. Total of 65 genotypes of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) including 27 local accessions and 38 imported ones were evaluated for salt-tolerance by comparing the seedling emergence and the growth of both intact and grafted seedlings with watermelon scions. Two of local cultivars, 'Hapcheon' and 'Cheongdo', showed 75% or higher emergence rate in salty soil having electrical conductivity (EC) value of 3.0dS·m⁻¹, whereas most of the imported ones failed to show any emergence at EC 3.0dS·m⁻¹. When seedlings having 2 expanded leaves were transplanted into soils having different EC values adjusted with a commercial compound fertilizer (N:P:K=21:17:17), 'Hapcheon' exhibited only slight growth inhibition even in soil with EC 3.0dS·m⁻¹. When watermelons were grafted onto 'Hapcheon' rootstocks, higher salt tolerance was still maintained. 'Hapcheon' exhibited good tolerance to phytophthora root rot (*Phytophthora*

drechsleri), thus suggesting the possibility of selection for salt tolerance as well as for phytophthora root rot from the local bottle gourd collections. Seedling emergence of chinese cabbage and leaf lettuce was markedly reduced in soils with EC values $2.5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ or higher. Onions, welsh onions, and chinese chives showed emergence rate of 30% or lower at $EC 1.5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$, though considerable differences were observed among cultivars of chinese chive. Radish exhibited good tolerance whereas carrot showed poor tolerance to high EC. Best growth of chinese cabbage and cabbage was obtained with $EC 1.5 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$ whereas leafy lettuce and spinach showed best growth at $EC 1.0 \text{ dS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Various phytotoxicity symptoms, such as stunted leaves, chlorosis and necrosis of leaf margins, and root tip dieback, appeared in soils with EC 2.5 or higher. Draining with ample amount of water was proven to be the best means to overcome the high salt problems. Addition of organic substances completely decomposed animal manure also promoted plant growth even though the soil EC was somewhat increased. Phytotoxicity symptoms in root tissues such as breakdown of epidermis cell layers in radish root, inhibition of root hair development from branch roots, and swelling of root tips were observed through electron microscopic images. Prolonged growing in high EC soil ($3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) resulted in large number of branch roots rather than the hypocotyl enlargement in radish. Dramatic accumulation of large-sized starch granules and lack of grana in chloroplast, disappearance of middle lamella and breakdown of cell walls, and cristae breakdown and vacuolation of mitochondria were observed in leaves of chinese cabbage. Numerous thread like crystalline objects were also found in vacuole. Plants grown at higher EC exhibited higher number of trichomes on the leaf surface and most of the stomata remained closed. The cell wall of gourd cell was more than 6 times thicker than those grown at low EC ($1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), thus resulting in closure of stomata. These increases in trichome numbers and gourd cell wall thickness appeared to be closely associated with the response of plants against high salt environment.

IV. Development of Reducing Technology of Continuous Cropping Injury by Functional Control of Physio-Ecology.

1) Effects of root zone temperature on the growth and development of cucumber plants grown in hydroponics.

Root zone temperature(RZT) affected on nitrate assimilation and xylem transport was investigated in hydroponically grown cucumber plants. Shoot growth was significantly affected by RZT treatment, but not root until 4 weeks. Root activity at 10°C RZT sharply decreased after 4 weeks, while that of 18 and 26°C was continuously increased throughout experimental period. After 6 weeks at 10°C RTZ, leaf wilting and early fruiting were generally observed. AT 10°C RZT, xylem exudation was remarkably depressed throughout experimental period. There was no significant difference between 18°C and 26°C RZT for the first 2 weeks, while a significant decrease of exudation rate at 26°C RZT was observed after 4 weeks. The concentration of total N and nitrate in xylem exudate were significantly lower than those that 18°C and 26°C throughout experimental period. No significant difference in either total N or nitrate concentration between 18 and 26°C RZT was observed. The proportion nitrate in xylem exudates at 10, 18 and 26°C was 43.7, 19.8 and 19.0%, respectively, at 6 weeks after RZT treatment.

Higher accumulation of nitrate in root was marked under 10°C. At 6 weeks after RZT treatment, nitrate concentration in root at 10°C was at least 2 times higher than those at 18 and 26°C. However, nitrate in leaves tended to increase with increasing RZT. At 10°C RZT, protein concentration in shoot was less varied and that in root slightly decreased. Protein concentration at both 18 and 26°C proportionally increased throughout experiment period.

2) Surplus and deficiency of macro and microelements and mineral imbalance affecting growth and development of cucumber plants growth in hydroponics.

Growth and development of cucumber plants grown in hydroponics was affected by the surplus and deficiency of macro and microelements. In regardless of macro and micro elements doubled ionic strength of nutrient solution growth characteristics in terms of each organ were shown best than that of standard ionic

strength of nutrient solution.

P surplus led to promote the water and other nutrients uptake but accelerate the maturation. Mineral imbalance based on surplus and deficient treatment affected harmfully in regardless of macro and micro element. Surplus and deficient symptoms were followed general trends however some differences were shown according to the ionic strengths. Interaction effects such as antagonistic action were discussed.

3) Surplus and deficiency of macro and micro elements and mineral imbalance affecting growth and development of tomato plants grown in hydroponics.

Some results in tomato plants were shown like cucumber plants except for the surplus treatment which is less sensitive responses. Chlorophyll contents were increased in the plot of N,P,K surplus treatment but in the plot of deficient treatment of macro elements chlorosis was shown.

Most of the deficient symptoms of mobile micro elements shown severely in the upper most leaves and growing point. Interactions and detailed relationship among macro and micro elements were discussed. Especially, shoot and root growth root activity as affected by the surplus and deficient treatment of selected minerals.

4) Formation of root exudates as affected by the concentrations of nutrient solution and growth analysis of cucumber and tomato plants in recycled nutrient solution.

Growth characteristics as affected by treatments were evaluated in both surplus and deficient treatment. Generally reduced growth was shown. Especially, deficient plot was lowered 60% in plant height than that of control. Chlorophyll content was not affected among treatment.

Root exudates secreted from root regardless of crops grown and significantly reduced the root growth and root activity. This results demonstrated that growth inhibiting substances such as phenol compounds should be removed in the reused nutrient solution.

5) Selection of growth promoting microorganisms when it treated to cucumber seeds and evaluation of the growth promotion effects of oligo-glucosamine.

Recently, under the experimental pressure the application of agrochemical and synthetic growth regulators is gradually limited and efforts is focussed on the development of natural growth regulators which are nontoxic to the plants in the aspects of horticultural production.

This experimental was conducted to select the effectives microorganisms such as plant growth promoting rhizobacteria(PGPR) and inhibition of deleterious rhizosphere microorganisms (PMRO) that affect plant metabolism or alter the supply of water, ions or plant growth regulating substances from soil and to investigate the feasibility for application in growth promotion of cucumber seedlings. 120 strains were isolated from soil and identified. Among these 13 strains were selected in laboratory test which has growth promoting effects. Based on these results cucumber seeds were sowed in the substrate of the coir dust and then applied with 30ml solution of culture broth of selected microorganisms respectively. The solution of culture broth diluted with 0.5% using distilled water. Growth characteristics in term of plant height, hypocotyl length, root length, leaf area and fresh weight of each organs were recorded and analyzed. After 14 days the plants treated with beneficial strains showed a significant growth promoting effected.

This results suggested that microorganisms selected could be used as growth promoters in transplant production of cucumber seedlings and commercial production in artificial substrates in glasshouse cropping. Seed treatment of nontoxic natural product, oligo-glucosamine was also recognized as a growth promotor.

6) Selection of growth promoting microorganisms when it treated to seeds and evaluation of the effect of growth recovery of oligo-glucosamine.

Both PGPR reduced the plant height but increased the root activity. Leaf, stem and hypocotyl growth was increased. Oligo-glucosamine was also increased the

growth characteristics in terms of plant height and leaf area.

Accordingly, this results demonstrated that different microorganisms and non-toxic natural product, oligo-glucosamine have a specific function to plant growth. Further trials should be followed for the in situ application.

7) Effects of plant growth promoting rhizobacteria on the growth and development of cucumber and tomato plants growth in hydroponics.

No differences in plant height observed at 2 weeks after treatment of microorganisms but after 3 weeks increased rapidly in the plot of *pseudomonas sp.* D2. The treated plot of CMB was not affected in plant height compared with control.

same trends appeared in leaf area. Root activity was also increased in the plant of D2 treatment after 3 weeks. Concentrated treatment of D2 as a bead was very interested in increasing root activity and H⁺-ATPase activity under the low temp(10°C). Consequently, this results were demonstrated that PGPR *pseudomonas sp.* D2 could be increased the effectiveness by mean of bead making.

8) Effects of PGPR on the nematode suppression.

The effects of a novel bio-nematicide based on a strain of *bacillus sp.* CMB26 was investigated in a laboratory study. *Bacillus substilis* can colonize the roots and produce antibiotics like bacilysin and iturin-like lipopeptides active against various phytopathogenic fungi in the range of 5-10µg/ml, which is similar to that of fungicidal agents.

Bacillus sp. CMB26 significantly suppressed the nematodes. The higher the concentration of inoculants, the higher the death rate of nematodes. This results indicate the novel bio-nematicide offers a satisfactory and environ mentally friendly solution for the control of nematodes.

9) Analysis of root exudates during growing period and it's reusing effects on cucumber and tomato plant grown in hydroponics.

Nutrient solution samples taken from cucumber and tomato growing bed were

analyzed to the phenolic compounds in the course of growing period. The longer growing period and times of reuse of nutrient solution were higher the content of phenol compounds in the nutrient solution .

Phenol compounds in nutrient solution affected severely in shoot and root growth. Linear reduction was observed according to the phenol compounds. Same results were obtained in both cucumber and tomato plants. One of the main factors of autotoxicity of root zone in solution culture was demonstrated.

10) Microorganisms and root exudates as affected by the continuous cropping of cucumber and tomato plants grown in hydroponics.

Addition of effective microorganisms seems to be a alternative counter -measure in hydroponics and cucumber and tomato plants. The modes of action of plant growth promoting rhizobacteria and microbial inoculants divide into three parts but detailed mechanisms are not yet well unknown, ① Enhanced mineral and water uptake(growth promotion), ② Antibiotic activity through production of antibiotic compounds, production of siderophores and competition in the rhizosphere, ③ Production of growth regulators.

Especially in hydroponics, reduction in phenol compounds(root exudate) in nutrient solution, increase in nutrient availability, pH and EC stability, increase in root activity under low temperature in root zoon, were associated with effective microorganisms used in our experiments. With further research of beneficial microorganisms to horticultural plant, biological control with reduce the agro-chemicals application in hydroponics would be feasible.

V. Study of nutrient stress diagnosis using nondestructive methods.

This study was performed to develop a more rapid and simple nutrient diagnosis method of plants than the conventional leaf analysis method. Rapid nutrient diagnosis is important in terms of plant management and prevention of physiological damages. There are several index related with plant nutrient status. Transpiration rate, photosynthetic rate, diffusion resistance, chlorophyll content and

NO₃, PO₄, and K in petiole sap were measured to find plant nutrient status indirectly. Among them, specific color different sensor values (SCDSV) measured by the chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta, Japan) were closely related to total-N concentration in the leaves measured by the conventional method. Nitrate, PO₄ and K concentrations in petiole sap measured by test strips (Reflectoquant[®], Merck, Germany) showed a significant relationship with total-N, P and K concentrations in leaves.

The linear regression equations between NO₃, PO₄ and K concentrations in petiole sap and total-N, P and K concentrations in the leaves were prepared. The optimum levels of NO₃, PO₄ and K in petiole sap were obtained by plugging the optimum concentrations of total-N, P and K in the leaves by other researchers into the equations. The optimum SCDSV was also calculated by the linear regression equations between SCDSV and total-N in leaf obtained from this study.

It is common knowledge that there were differences in physicochemical properties between artificial media and soil. The linear regression equations, therefore, obtained from artificial media experiment was compared with those from soil experiment. As expected, there was considerable difference in linear regression equations obtained from soil and artificial media experiment. For this reason, it was concluded that independent linear regression equations for both plants raised in soil and artificial media should be applied for rapid nutrient diagnosis.

In conclusion, the SCDSV by the chlorophyll meter and concentrations of NO₃, P and K in petiole sap measured by the test strips would be suitable for rapid estimation of plant nutrient status.

VI. Establishment of cropping system and development of minimization of nutrient stress for fertigation in successive cropping areas.

5.1. Investigation of cropping system

Cropping system in green house was decided by market price in every year. In Kwangyang in Chunnam Province, successive cropping of cucurbitacea was more than 50%. Pumpkin culture after cucumber or pumpkin culture after

pumpkin were main cropping system in this areas. Some times pumpkin was mono cultured.

In suburban areas of Seoul, cropping system of leaf vegetables was leaf lettuce-(edible chrysanthemum, amaranthus, leaf radish)-spinach or leaf radish monoculture. For fruit culture, cucumber-pumpkin-leaf vegetables or tomato-pumpkin-leaf vegetable system were cultivated.

5.2. Reciprocal effects of crops at successive cropping areas

Levels of 500 and 1000 kg/10a of fresh materials of cucumber leaf, chicory, endive, leaf lettuce, kohlrabi and leaves of Altari-radish were dressed in pot and cucumber and tomato were cultured after normal culture methods. Plant growth of cucumber was prohibited more than tomato. by treatment. The germination rate was decreased about 10-30% in treatment of cucumber leaf, leaf lettuce and Altari-radish.

The germination rate of tomato was decreased about 50% in treatment of cucumber, leaf, endive, and kohlrabi.

For prohibition of seedling growth, treatment of cucumber leaf and endive for cucumber and cucumber leaf, endive, Altari-radish and kohlrabi for tomato were effective.

5.3. Salt reducing effect of several crops in saline soil.

Germination and plant growth of corn, sorghum, and kale were very acceptable in saline soil. So we concluded that three crops were very good for desalinization in protected areas..

5.4. Investigation of desalinization technique in some countries

In Spain, methylbromide treatment was the main practical method for decreasing of injury of successive cropping before several years, but now they used mainly soil dressing about 10 cm depth with sand in greenhouse.

In Germany, steam sterilization method was one of accepted method for small greenhouse, but soil NO₃ analysis with N-min method was used in recently

years.

In Japan, adequately method of rotation was accepted with farmer related their experiences. Corn was cultivated for desalinization.

5.5. Practical desalinization method in saline soils for decreasing of nutrient stress.

Many different desalinization methods were used in protected culture areas in Korea.

For decreasing of nutrient stress, rice or *Alisma canaliculatum* culture after spring in green house were very effective.

5.6. Effects of treatment of residues of preceding crops and soil conditioner.

Heat treatment on the residues of several preceding crops did not effect on the germination rate of tomato and cucumber during raw material decreased germination rate. Mixed raw materials in pot after heat treatment of Chinese cabbage, cabbage and welsh onion promoted seedling growth of cucumber and tomato in pot condition.

Soil plus(Microbial materials) was treated in pot mixed with raw materials of cucumber and kohlrabi. Soil plus promoted cucumber seedling growth during it inhibited in non treated pot. So using of microbial materials in successive cropping areas was very useful.

5.7. Effects of green manure crops to alleviate salinization of soil

The 4 green manure crops(maize, sorghum, fedegosa, sunn hemp) were grown twice in slight and severe salinized soil to find out reducing effect on salinization.

The EC and mineral content of soil preceding 4 green manure crops planting were decreased regardless of kind of crops remarkably.

The decreased rate of mineral contents was higher in the soil grown grasses crops, such as maize and sorghum than legume crops such as fedegosa and sunn hemp.

And uptake mineral content calculated by a green manure crop was also higher in grasses crops. Particularly, in severe salinized soil, the mineral content of cucumber seedling, as indicator plant, cultured after harvesting maize, as preceding crop, was lower than any other treatment, and the mineral uptake of maize was shown higher. So the effect of maize, as green manure crops, on reducing salinization was better than any other manure crops.

5.8. Salt reducing effect of soil conditioner in saline soil

To investigate effect of soil conditioner on salt reducing effect, saline soil were treated with Photomicrobe, soil plus, crosote and active charcoal and cucumber and tomato were grown. Yield and root development were enhanced in active charcoal treatment overall and tomato blossom end rot frequency was lowest in active charcoal treatment. Total sugar content was highest in soil plus treatment and nitrate content was not significantly different within 4 treatments.

5.9. Effects of previous leaf and root vegetables residue in soil on growth of following crops.

Effects of cucumber and tomato seed germination by previous leaf and root vegetables (cabbage, chinese radish, welsh onion, lettuce) residue in soil were tested in pot condition. Overall, suppression effect of green onion residue was the greatest in 4 tested crop residues and followed by chinese radish, cabbage and lettuce, but lettuce residue didn't have effect on cucumber germination. Suppression effects were maintained ca. 20 days but after the time point, growth of cucumber and tomato were enhanced. Enhancing effect welsh onion residue was the greatest in 4 tested crop residue and followed by chinese radish, cabbage and lettuce. As a conclusion, residue of welsh onion, chinese radish and cabbage were suppressed the germination of cucumber and tomato but enhanced growth after 20 days of treatment.

To verify the effective concentration of residue on suppression of germination and growth of young root of cucumber and tomato, plant extract of welsh onion,

chinese radish, cabbage and lettuce were diluted as 5, 10, 17, 23, 35, 50, 65 % and tested.

In low concentration treatment, 5, 10, 17, 23%, all 4 crop extracts didn't suppress cucumber germination. High concentration of lettuce extract, 35, 50, 65%, cucumber didn't germinate at all. In case of green onion extract, only 50% treatment suppressed cucumber germination. In low concentration treatment, 17, 23%, only the green onion extract suppressed young root growth. In case of high concentration treatment, except 35%, all four plant extracts suppressed cucumber young root growth.

In low concentration treatment, tomato germination was suppressed by lettuce extract only but in high concentration treatment, 35, 50, 65%, all extracts suppressed germination. Especially higher than 50% treatment, tomato didn't germinate at all. Young root growth was highly suppressed in green onion and lettuce extract, higher than 23% concentration. As conclusion, leaf and root vegetable extracts suppressed cucumber and tomato germination and in high concentration, also suppressed young root growth.

5.10. Effect of cover crop and salt tolerant grafting on reducing the salt accumulation injury.

As a cover crop, corn plants were growed 2 months in summer season in green house and soil EC was reduced $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. To test the salt reducing effect of cover crop, cucumber were grown and yield increased double in salt reduced soil than saline control soil.

When tomato were grafted to salt tolerant scion and tested in salt reducing soil and saline control soil, 25% were heavily damaged or dead in saline soil but 100% were survived in salt reduced soil. Yield were increased in salt reduced soil than control also. Therefore, combination of salt uptaking cover crop plantation and salt tolerant scion grafting greatly reduced salt injury.

5.11. Application of N-min and fertigation to reduce successive cropping injury.

Actual active nitrogen salt content in 10a soil were calculated with Merk strip

test nitrogen content results and following equations.

Actual N content(kg/10 a)=nitrogen salt content(ppm) x 0.226 x 0.3
amount of N fertilization= actual soil N content(kg/10a) - suggested standard N fertilization of the crop(kg/10 a)

To investigate actual application of this calculation, 0.5X, 1.0X Yamazaki lettuce solution, micro nutrient (only the micro nutrient of Yamazaki) and KNO_3 (4me) were treated in $\text{EC } 4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ soil and five leaf vegetables (red mustard, red chicory, endive, bowl red, red romaine) were grown.

There were no growth different until 2 weeks after treatments but yield of red mustard and red chicory were increased in 1X Yamazaki treatment. No differences were found between control and fertigation treatment on endive growth and yield of red romaine were increased in 0.5X Yamazaki treatment and in case of bowl red yield were increased in control treatment. Yield of micro nutrient and KNO_3 treatment were greatly reduced. therefore, if total N content in soil is not properly analyzed before fertigation and apply N fertilizer, fertilization effect on yield of crop could not be achieved.

5.12. Reducing effect of successive cropping injury with automated fertigation system

When using the fully automated drip irrigation system with tensiometer to control the pF 2 as 2.0, yield of red mustard, red chicory, endive and red romaine were increased when compared with traditional overhead irrigation.

Nitrogen contents in soil were higher in overhead irrigation treatment then drip irrigation treatment and mineral contents in soil were also higher in overhead irrigation treatment. These results suggested that drip irrigation system can control salt contents in soil solution constantly and increased activity of root zone to gain better yield and quality.

Contents

| | |
|--|-----|
| Chapter 1. Introduction..... | 95 |
| Chapter 2. Status of technique development in domestic and foreign countries | 104 |
| Chapter 3. Contents and results of research..... | 108 |
| 1. Development of technique for alleviating the physiological stress of continuous cropping and salinization..... | 108 |
| 2. Technical development for diagnosis of nutrient condition of vegetable crops and soils in realtime..... | 163 |
| 3. Development of reducing technology of continuous cropping injury by functional control of physio-ecology..... | 274 |
| 4. Study of nutrient stress diagnosis using nondestructive methods..... | 397 |
| 5. Establishment of cropping system and development of minimization of nutrient stress for fertigation in successive cropping areas..... | 457 |
| Chapter 4. Rate of pass the target and contribution of related field..... | 594 |
| Chapter 5. Plan of utilization of research results..... | 596 |
| Chapter 6. Collected scientific information during research and development. | 597 |
| Summary..... | 692 |

목 차

| | |
|---|-----|
| 요약문 /..... | 2 |
| SUMMARY /..... | 35 |
| CONTENTS /..... | 51 |
| 목차 /..... | 52 |
| 표차례 /..... | 53 |
| 그림차례 /..... | 64 |
| | |
| 제 1 장 연구개발과제의 개요..... | 95 |
| | |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황..... | 104 |
| | |
| 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과..... | 108 |
| 제 1 절 : 주요채소류 연작장해 및 영양스트레스 경감기술 개발..... | 108 |
| 제 2 절 : 실시간 토양과 작물의 영양진단 기술개발..... | 163 |
| 제 3 절 : 양액재배에 있어서 근권 생리 규명의 의한 영양 스트레스 경감기술 개발 | 274 |
| 제 4 절 : 비파괴적 방법에 의한 영양스트레스 진단..... | 397 |
| 제 5 절 : 연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법 기술 개발 | 457 |
| | |
| 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도..... | 594 |
| | |
| 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획..... | 596 |
| | |
| 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보..... | 597 |
| | |
| 참고문헌..... | 692 |

List of Tables

| | | |
|------------|---|-----|
| Table 1-1. | The causes for deteriorated soil fertility | 114 |
| Table 1-2. | Major injuries occurred in continuous cropping sites of horticultural crops | 114 |
| Table 1-3. | Practice method of farmers to avoid continuous cropping injuries | 115 |
| Table 1-4. | Soil properties for some horticultural cropping site | 116 |
| Table 1-5. | Average chemical properties of soil according to cropping year | 121 |
| Table 2-1. | Equation and determination coefficient between some methods (x) and ion chromatography method (y) for nitrate analysis | 133 |
| Table 2-2. | Equation and determination coefficient between some methods (x) and ion chromatography method (y) for nitrate analysis | 134 |
| Table 2-3. | Yield and fruit characteristics of cucumber by different rates of nitrogen application under greenhouse cultivation | 137 |
| Table 2-4. | Yield and fruit characteristics of cucumber grown in pot soil containing different nitrogen levels | 140 |
| Table 2-5. | Optimum levels of soil nitrate-N for real-time diagnosis of horticultural crops using a soil to water (1:2, v/v/) extraction method | 143 |
| Table 3-1. | Marketable yield of cucumber according to soil bed | 150 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| | types | |
| Table 3-2. | Growth of cucumber according to soil bed types | 150 |
| Table 3-3. | Mineral content in stem-leaves of cucumber (in transplanting 50 day) | 151 |
| Table 3-4. | Mineral amount absorbed by cucumber and uptake rate of other minerals compared to nitrogen (in transplanting 50 day) | 151 |
| Table 3-5. | Chemical properties of soil after this experiment | 152 |
| Table 3-6. | Manufacture cost of soil bed being used in automatic house of 10a | 156 |
| Table 3-7. | Yield of tomato by mixing rates of organic growing media | 157 |
| Table 3-8. | Height of tomato plant by mixing rates of organic growing media | 158 |
| Table 3-9. | Mineral content of tomato leaves by mixing rates of organic growing media(g kg^{-1}) | 159 |
| Table 3-10. | Growth and yield of lettuce by mixing rates of organic growing media | 160 |
| Table 3-11. | Chemical properties of soil by mixing rates of organic growing media | 161 |
| Table 4-1 | Effect of soil EC on emergence rate of cucumber seeds. | 167 |
| Table 4-2 | The change of mineral content in soil treated soil | 168 |

conditioners to alleviate salinization.

| | | |
|------------|--|-----|
| Table 4-3 | The growth of cucumber as indicator plant in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil at 26 days after sowing. | 169 |
| Table 4-4 | Effect of EC on initiation of female flower and fruit growth of cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L. cv Euinchim-baegdadagi) plants. | 172 |
| Table 4-5 | 토양염류에 따른 수박종자의 시간별 출현율 | 175 |
| Table 4-6 | 토양 EC에 따른 수박이식모종의 생육 비교. | 178 |
| Table 4-7 | 서로 다른 토양 EC에서 슈퍼금천 수박의 시간별 초장과 엽장의 변화 ^z | 179 |
| Table 4-8 | 서로 다른 토양 EC에서 슈퍼금천 수박의 시간별 초장과 엽장의 변화 ^z | 181 |
| Table 4-9 | List of tomato seeds used for the rootstocks in this experiment. | 193 |
| Table 4-10 | Effect of soil EC on emergence rate of tomato seeds. ^z | 195 |
| Table 4-11 | Growth of tomato seedlings grown for 30 days after sowing on different soil EC conditions. ^z | 196 |
| Table 4-12 | Growth responses of tomato seedlings transplanted on the different soil EC. ^{z,y} | 199 |
| Table 4-13 | Growth responses of rootstocks and wild tomato seedlings transplanted on the different on the different soil EC. | 200 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Table 4-14 | Flowering habit of the first truss of tomato plants grown in soils having various EC of 1.0~3.0 dS·m ⁻¹ . ^z | 202 |
| Table 4-15 | Effects of soil EC on fruit set and fruit growth of the first truss of tomato plants. ^z | 202 |
| Table 4-16 | Effect of rootstocks on growth of grafted tomato seedlings grown in soil having varying EC of 1.0~3.0 dS·m ⁻¹ . ^{z,y} | 206 |
| Table 4-17 | Effect of soil EC on emergence rate of pepper (<i>Capsicum annuum</i>) seeds. | 214 |
| Table 4-18 | Growth of pepper seedlings grown for 30 days after sowing on different soil EC. ^z | 215 |
| Table 4-19 | Growth of pepper seedlings after transplanting on different soil EC. ^{z,y} | 216 |
| Table 4-20 | Growth response of pepper rootstocks on soil EC. ^{z,y} | 217 |
| Table 4-21 | Growth response of grafted pepper seedlings grown in different soil EC conditions. ^z | 219 |
| Table 4-22 | Effect of soil EC on no. of flower buds and fruit set on the 3rd branching of grafted- and non-grafted pepper seedlings. ^z | 222 |
| Table 4-23 | Effect of soil EC on fruit growth of grafted- and non-grafted pepper plants. ^z | 223 |
| Table 4-24 | Effect of soil EC on mineral content in leaves of | 227 |

grafted pepper plants.^z

| | | |
|------------|---|-----|
| Table 4-25 | Growth of gourd (<i>Lagenaria siceraria</i>) seedlings grown for 10 days after sowing on different soil EC conditions. ^z | 236 |
| Table 4-26 | Degree of disease symptoms of infected leaves at 10 days after inoculation of <i>Colletotricum orbiculare</i> , <i>Phytophthora capsici</i> , and <i>Phytophthora drechsleri</i> , respectively, in the Korean native bottle gourd seedlings. | 240 |
| Table 4-27 | Growth of gourd seedlings after transplanting in the different soil EC. ^{z,y} | 241 |
| Table 4-28 | List of vegetable crops used for experiment. | 248 |
| Table 4-29 | Growth of various vegetable seedlings grown for 40days after sowing on different soil EC condition. | 253 |
| Table 4-30 | Effect of manure supply on growth of chinese cabbage plants in high soil EC (3.0dS·m ⁻¹). ^z | 261 |
| Table 4-31 | Effect of soil EC on no. of trichomes and no. of stomata on the leaf abaxial surface and no. of starch grains in a single chloroplast in cells of chinese cabbage leaf. ^z | 265 |
| Table 5-1. | Treatment of macro elements. | 280 |
| Table 5-2. | Treatment of micro elements. | 280 |
| Table 5-3. | Treatment of macro elements. | 281 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Table 5-4. | Treatment of micro elements. | 282 |
| Table 5-5. | Effect of root zone temperature on xylem exudation rate of excised roots. Xylem exudate was collected at the same temperature. Values are given the mean \pm s.e. | 293 |
| Table 5-6. | Effect of root zone temperature on the composition of nitrogenous compound in xylem sap. Xylem exudate was collected at the same temperature during treatment. Values are given the mean \pm S.E. for n=3 | 294 |
| Table 5-7. | Growth characteristics as affected by mineral element at 30days after transplanting. | 304 |
| Table 5-8. | Growth characteristics as affected by the surplus and deficient of macro and micro element at 25days after transplanting. | 314 |
| Table 5-9. | Growth characteristics of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution. | 329 |
| Table 5-10. | Growth characteristics of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution. | 329 |
| Table 5-11. | 유효근권미생물 배양토양의 시용에 따른 연작지 토성의 변화 | 338 |
| Table 5-12. | Glucosamine분자량 분포도를 검정하기 위한 GPC(Gel permeation chromatography) | 341 |
| Table 5-13. | Comparison of height hypocotyl and root length of cucumber seeding with 1st selected microorganisms. | 346 |
| Table 5-14. | The regulating effect of final selected microorganisms | 348 |

during raising seedlings after seed soaking.

| | | |
|-------------|--|-----|
| Table 5-15. | 대표적인 페놀화합물의 종류 | 375 |
| Table 5-16. | Growth characteristics of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution. | 379 |
| Table 5-17. | Growth characteristics of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution. | 379 |
| Table 6-1. | 공급 양액의 원소 함량 | 397 |
| Table 6-2. | 공급 양액의 원소 함량 | 409 |
| Table 6-3. | Concentration of P determined by sequential fractionation. | 414 |
| Table 6-4 | Feed concentrations of N, P and K for the second and the third cucumber experiment. | 419 |
| Table 6-5 | Sufficient ranges of total-N, P, K in cucumber leaves and those of NO ₃ , PO ₄ , K in petiol sap calculated by regression equations. | 421 |
| Table 6-6 | Sufficient ranges of total-N in cucumber leaves and those of SCDSV calculated by regression equations. | 425 |
| Table 6-7. | Feed concentrations of N, P and K for tomato experiment. | 428 |
| Table 6-8 | Sufficient ranges of total-N, P, K in tomato leaves and those of NO ₃ , PO ₄ , K in petiol sap calculated by regression equations. | 430 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Table 6-9. | Sufficient ranges of total-N in tomato leaves and those of SCDSV calculated by regression equations. | 433 |
| Table 6-10. | Chemical properties of the soil used in this study. | 439 |
| Table 6-11. | Feed concentrations of N, P and K for the second and the third cucumber experiments. | 439 |
| Table 6-12. | Regression equation between NO_3 , PO_4 and K of petiole sap and total-N, P, K of leaf, respectively and calculated sufficient range of NO_3 , PO_4 , K in cucumber raised in artificial-and soil-medium. | 443 |
| Table 6-13. | Regression equation between SCDSV and total-N in leaf and sufficient SCDSV value in cucumber raised in artificial-and soil-media. | 444 |
| Table 6-14. | Feed concentrations of N, P and K for tomato experiment. | 445 |
| Table 6-15. | Regression equation between NO_3 , PO_4 and K of petioles sap and total-N, P, K of leaf, respectively and calculated sufficient range of NO_3 , PO_4 , K in tomato raised in artificial-and soil-medium. | 448 |
| Table 6-16. | Sufficient ranges of total-N in tomato leaves and those of SCDSV calculated by regression equation. | 449 |
| Table 6-17. | Comparison of precision and accuracy among injection volume. | 450 |
| Table 6-18. | 질소결핍 판정 | 452 |
| Table 6-19. | 인산결핍 판정 | 454 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Table 6-20. | 칼륨결핍 측정 | 455 |
| Table 6-21. | 오이 질소 영양상태 판정 | 456 |
| Table 6-22. | 토마토 질소 영양상태 판정 | 456 |
| Table 7-1 | 전남 광양지역 작부체계 실태 조사 집계표 | 458 |
| Table 7-2 | 남부 광주지역 오이재배 농가의 작부체계 실태 조사 | 459 |
| Table 7-3 | 전남지역 연작년수 | 459 |
| Table 7-4 | 서울 근교 지역 엽채류 및 과채류 작부 체계 | 460 |
| Table 7-5 | Effects of different level of vegetable residues on the fresh and dry weight of cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.) grown in pot. | 465 |
| Table 7-6 | Effects of different level of vegetable residues on the growth and development of tomato (<i>Lycopersicum esculentum</i> MILL.) grown in pot. | 467 |
| Table 7-7 | Plant growth in salt accumulated soil ^Z . | 472 |
| Table 7-8 | 주요 채소의 질소 필요량. | 476 |
| Table 7-9 | 수수를 이용한 가지의 수량성 비교(오사까 농림기술 센터) | 477 |
| Table 7-10 | 오이재배지 제염처리 방법 | 479 |
| Table 7-11 | 제염후 토양 화학성 조사 | 482 |
| Table 7-12 | 잔유물과 잔유물 가열시 오이 유묘 생장에 미치는 영향. | 487 |
| Table 7-13 | 잔유물과 잔유물 가열시 토마토 유묘 생장에 미치는 영향. | 488 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Table 7-14 | 잔유물과 soil-plus가 오이 유묘 생장에 미치는 영향. | 492 |
| Table 7-15 | 잔유물과 soil-plus가 토마토 유묘 생장에 미치는 영향. | 493 |
| Table 7-16 | 각 처리구에서 오이 25일 재배 후 토양 분석 | 494 |
| Table 7-17 | The composition of nutrient solution for herb plants developed by European Vegetable R&D Center in Belgium. | 497 |
| Table 7-18 | The mineral content of green manure crops cultivated to alleviate slight salinization of soil. | 503 |
| Table 7-19 | The uptake mineral content of green manure crops grown in slight salinization of soil. | 504 |
| Table 7-20 | The mineral content of green manure crops cultivated to alleviate severe salinization of soil. | 510 |
| Table 7-21 | The uptake mineral content of green manure crops grown in severe salinization of soil. | 511 |
| Table 7-22 | The mineral content of cucumber in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil. | 516 |
| Table 7-23 | The mineral content of cucumber, as indicator plant, in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil. | 527 |
| Table 7-24 | Effect of soil conditioners on the cucumber fruit. | 528 |
| Table 7-25 | The composition of nutrient solution for herb plants developed by European Vegetable R&D Center in Belgium. | 549 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Table 7-26 | The composition of nutrient solution for cucumber by Yamazaki. | 551 |
| Table 7-27 | Characteristics of cucumber plant grown in salinized and desalinized soil at 120 days after sowing. | 553 |
| Table 7-28 | Characteristics of cucumber root and fruit grown in salinized and desalinized soil at days after sowing. | 553 |
| Table 7-29 | Optimum level of NO ₃ ⁻ content in soil solution for vegetables | 562 |
| Table 7-30 | Effect of cucumber fruit growth on irrigation method | 563 |
| Table 7-31 | The mineral contents of several stuffed vegetables grown in different fertigation nutrient solution. | 578 |
| Table 7-32 | composition of nutrient solution for lettuce by Yamazaki. | 579 |
| Table 7-33 | Effect of irrigation method on the cucumber fruit growth. | 582 |
| Table 7-34 | The mineral contents of cucumber fruit grown in different irrigation systems. | 582 |
| Table 7-35 | The mineral contents of tomato fruit grown in different irrigation systems. | 587 |
| Table 7-36 | The mineral contents of several stuffed vegetables grown in different irrigation systems. | 593 |

List of Figures

| | | |
|-----------|---|-----|
| Fig. 1-1. | % distribution of cropping year of plastic film house | 111 |
| Fig. 1-2. | The present crop productivity compared to that of 5 years ago. | 111 |
| Fig. 1-3. | Causes of yield decrease. | 112 |
| Fig. 1-4. | Cause of yield increase. | 113 |
| Fig. 1-5. | % distribution of chemical properties for vegetable house soil. | 117 |
| Fig. 1-6. | Changes of available P_2O_5 . by increase of cropping year. | 119 |
| Fig. 1-7. | Changes of soil salt by increase of cropping year. | 120 |
| Fig. 1-8. | Changes of Ex. cation by increase of cropping year. | 120 |
| Fig. 2-1. | Correlation between NO_3-N concentration of soil by volume extraction and 2M KCL extraction of fresh soil as measured with a Kjeldahl distillation method. | 129 |
| Fig. 2-2. | Correlation between NO_3-N concentration in soil solution by porous and by volume extraction of fresh soil as measured with a Kjeldahl distillation method. | 130 |
| Fig. 2-3. | Correlation between NO_3-N concentration in soil solution by porous cup and by 2M KCL extraction of dry soil as measured with a Kjeldahl distillation method. | 131 |
| Fig. 2-4. | Nitrate concentration of soil solution collected by porous | 132 |

cup in different soil depth, and in different distance from dripper

| | | |
|-----------|---|-----|
| Fig. 3-1. | Changes of porosity in soil layers according to soil bed types. | 152 |
| Fig. 3-2. | Changes of EC of soil solution during cucumber cultivation according to soil bed types. | 153 |
| Fig. 3-3. | Changes of NO ₃ -N of soil solution during cucumber cultivation according to soil bed types. | 153 |
| Fig. 3-4. | Cross-sectional view of soil bed. | 155 |
| Fig. 3-5. | Arrangement plan of soil bed in automatic house for farming. (10a basis) | 156 |
| Fig. 3-6. | Changes of soil CEC by mixing rates of organic growing media. | 162 |
| Fig 4-1. | Changes in EC (1:5) by adding complex fertilizer (N:P ₂ O ₅ :K ₂ O=21:17:17) on the sandy loam soil. | 166 |
| Fig 4-2 | Growth responses on the soil EC cucumber (<i>Cucumis sativus</i> cv. Euninchim-baegdadagi) seedling after transplanting. | 170 |
| Fig 4-3 | Summary of the growth responses on soil EC (1:5) in cucumber | 171 |
| Fig 4-4 | Fruit growth of cucumber plants (<i>Cucumis sativus</i> L. cv Euninchim-baegdadagi) grown at different soil EC (1:5) conditions. | 173 |
| Fig 4-5 | Physiological disorders of cucumber plants grown at soil | 174 |

with high EC (1:5) $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

| | | |
|----------|---|-----|
| Fig 4-6 | EC농도가 다른 토양에 이 식한 수박(품종: 아폴로)의 시간경과에 따른 생장비교. | 177 |
| Fig 4-7 | 토양EC에 따른 수박(슈퍼금천)의 실시간 변화. | 180 |
| Fig 4-8 | 고농도염류(EC 4.0) 토양에서 석회첨가에 따른 수박묘의 반응. 30일 육묘한 묘를 EC 4.0인 토양에 이식하였는데 이때 석회를 토양kg당 5, 10, 20, 40, 60g을 각각 첨가한 후 7일 경과한 다음 촬영. | 181 |
| Fig 4-9 | 고농도 염류(EC 4.0) 토양에서 완숙퇴비첨가에 따른 수박묘의 반응30일 육묘한 묘를 EC 4.0인 토양에 이식하였는토양kg당 25, 50, 100, 250, 500g을 각각 첨가한 후 7일 경과한 다음 촬영. | 182 |
| Fig 4-10 | 서로 다른 토양 EC에서 토양종류에 따른 수박묘의 반응. 사질양토와 점질토를 복합비료로 EC 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0으로 조절한 다음 30일 육묘한 수박묘를 이식후 20일에 촬영. | 183 |
| Fig 4-11 | Effect of soil EC on the morphological properties of trichome (left) and stomata (right) of upper and lower epidermis in cucumber leaves. | 186 |
| Fig 4-12 | Effect of soil EC on cell shape of upper epidermis of cucumber seedling leaf. | 187 |
| Fig 4-13 | Effect of soil EC on shape of spongy parenchyma cells of cucumber seedling leaf. | 187 |
| Fig 4-14 | Comparison of profile of leaf tissues of cucumber seedling grown in different soil EC conditions. | 189 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Fig 4-15 | Effect of soil EC on differentiation of shoot tip of the cucumber seedling. | 190 |
| Fig 4-16 | Effect of soil EC on growth of tomato seedling. 20-day-old seedlings were transplanted on soil having varying EC of 0.5~4.0dS ⁻¹ respectively and photographed at 20 days after transplanting. | 197 |
| Fig 4-17 | Effect of soil EC on development of placenta of tomato fruits. | 203 |
| Fig 4-18 | Effect of soil EC on formation of trichomes on the abaxial surface of tomato leaves (4 th leaf from cotyledon). Bar=300 μ m. | 204 |
| Fig 4-19 | Development of ovary in tomato plants grown at different soil EC of 1.0~3.0 dS \cdot m ⁻¹ . Ov; Ovary, Pl; Placenta, An; Anther, Ol; Ovule. | 205 |
| Fig 4-20 | Effect of rootstocks on growth of grafted tomato seedlings grown in soils having EC level of 3.0 dS \cdot m ⁻¹ . | 208 |
| Fig 4-21 | Summary of growth responses in tomato plants grown in soils having varying EC of 1.0~5.0 dS \cdot m ⁻¹ . | 210 |
| Fig 4-22 | Effect of soil EC on growth of grafted pepper seedlings. | 220 |
| Fig 4-23 | Effect of soil EC on branching and abscission of first flower bud of grafted pepper seedlings. Grafting (Scion/Rootstock). | 221 |
| Fig 4-24 | Effect of soil EC on branching, fruit set and root growth of grafted pepper plants (Buchon/Kataguruma). | 224 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Fig 4-25 | Effect of soil EC on fruit growth and seed formation of grafted pepper plants (Buchon/Kataguruma). | 225 |
| Fig 4-26 | Effect of soil EC on chlorophyll content in leaves of grafted pepper plants. ^z Values were measured by chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta). | 228 |
| Fig 4-27 | Summary of the growth response on soil EC (1:5) in pepper (<i>Capsicum annuum</i> cv. Buchon). ^z | 228 |
| Fig 4-28 | Emergence rate of the Korean native bottle gourd seeds on different soil EC conditions. | 234 |
| Fig 4-29 | Emergence rate of gourd seeds (introduced variety) on different soil EC conditions. | 235 |
| Fig 4-30 | Effect of high soil EC (3.0 dS·m ⁻¹) on growth of hypocotyl and radicles of bottle gourd seeds. ^z | 238 |
| Fig 4-31 | Comparison of hypocotyl cavity size of the Korean native bottle gourd (<i>Lagenaria siceraria</i>) seedlings (10 days after sowing). ^z | 239 |
| Fig 4-32 | Effect of soil EC on growth of bottle gourd seedlings after transplanting (Upper : Seonsan, Lower : Hapcheon). | 244 |
| Fig 4-33 | Effect of rootstocks (Korean native bottle gourd) on the plant height of grafted watermelon seedling after transplanting in the different soil EC. ^{z,y} | 245 |
| Fig 4-34 | Effect of rootstocks (Korean native bottle gourd) on | 245 |

growth and flowering of grafted watermelon seedling after transplanting in the different soil EC.

| | | |
|----------|---|-----|
| Fig 4-35 | Effect of soil EC on emergence rate of various vegetable seeds. ^z | 251 |
| Fig 4-36 | Radicle growth and root hair formation of chinese cabbage and radish seeds at different EC conditions. ^z | 252 |
| Fig 4-37 | Effect of soil EC on growth of leafy vegetable plants (40 days after sowing). Photographs showing difference of optimum EC level between chinese cabbage and leaf lettuce | 255 |
| Fig 4-38 | Physiological disorders of leafy vegetables crops grown in high soil EC (2.5 dS·m ⁻¹). | 256 |
| Fig 4-39 | ^v Effect of soil EC on development of root system of radish (<i>Raphanus sativus</i>) plant. Cracking of epidermal layer (arrow). | 256 |
| Fig 4-40 | Effect of soil washing with distilled water on soil EC change. ^z ^z Values indicate the means±SD (n=3). | 259 |
| Fig 4-41 | Effect of soil washing on emergence rate of some Cruciferae vegetable seeds in high EC soils (3.0dS·m ⁻¹). ^z | 259 |
| Fig 4-42 | Effect of completely decomposed animal manure supply on changes of soil EC. | 260 |
| Fig 4-43 | Effect of manure supply on disorder of chinese cabbage leaves in high soil EC (3.0dS·m ⁻¹). ^{z,y} | 261 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Fig 4-44 | Scanning electronic microscopes (SEM) showing the radicle growth of radish (<i>Raphanus sativus</i> L.) grown at different soil EC. | 264 |
| Fig 4-45 | Effect of soil EC on no. of trichomes on leaf surface of chinese cabbage plant. Left: EC 1.0, Right: 3.0 dS·m ⁻¹ . | 267 |
| Fig 4-46 | Effect of soil EC on no. of stomata and opening or closing of stoma (arrow) on abaxial surface of chinese cabbage leaf. | 268 |
| Fig 4-47 | Photograph showing a typical shape of stoma of the chinese cabbage leaf. | 268 |
| Fig 4-48 | Effect of soil EC on cell wall thickness of guard cell of stoma in chinese cabbage leaf. ^z | 269 |
| Fig 4-49 | Effect of soil EC on cell wall thickness of guard cell of stoma in chinese cabbage leaf. | 269 |
| Fig 4-50 | Effect of soil EC on shape of cell wall of chinese cabbage leaf. ^z | 271 |
| Fig 4-51 | Effect of soil EC on formation of crystalline structure in the vacuole of chinese cabbage leaf tissue. ^z | 271 |
| Fig 4-52 | Effect of soil EC on starch grain accumulation in the chloroplast of chinese cabbage leaf tissue. ^z | 273 |
| Fig 4-53 | Effect of soil EC on cristae breakdown and vacuolation of mitochondria in chinese cabbage leaf tissue. ^z | 273 |
| Fig. 5-1. | 근권 온도 실험을 위한 정식 후의 모습 | 277 |
| Fig. 5-2. | 근권 온도 조절을 위한 온수 및 냉수 장치 | 277 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 5-3. | Temp. controller | 278 |
| Fig. 5-4. | 무기염류 과잉 및 결핍실험 포장전경 | 280 |
| Fig. 5-5. | 토마토 정식 후 포장 | 282 |
| Fig. 5-6. | Comparison of dry weight as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 287 |
| Fig. 5-7. | Changes in plant height as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 288 |
| Fig. 5-8. | Changes in leaf area as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 288 |
| Fig. 5-9. | Comparison of Root activity as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 289 |
| Fig. 5-10. | Changes in the cumulative number of fruit and fruit weight as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 290 |
| Fig. 5-11. | Hexose phosphate and Glyceraldehyde-3-phosphate content in cucumber leaves at 2 weeks after treatment. | 291 |
| Fig. 5-12. | Changes in sugar content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 292 |
| Fig. 5-13. | Changes in starch content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 293 |
| Fig. 5-14. | Changes in nitrate content in root(A) and leaf(B) as | 295 |

affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 5-15. | Changes in protein content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 295 |
| Fig. 5-16. | Comparison of sugar, starch, protein and nitrate content as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants. | 296 |
| Fig. 5-17. | pH and EC in the nitrogen surplus and deficient plot. | 305 |
| Fig. 5-18. | pH and EC in the phosphorus surplus and deficient plot. | 305 |
| Fig. 5-19. | pH and EC in the potassium surplus and deficient plot. | 306 |
| Fig. 5-20. | pH and EC in the calcium surplus and deficient plot. | 306 |
| Fig. 5-21. | pH and EC in the magnesium surplus and deficient plot. | 307 |
| Fig. 5-22. | Root activity in nitrogen surplus and deficient plot. | 307 |
| Fig. 5-23. | Root activity in phosphorus surplus and deficient plot. | 308 |
| Fig. 5-24. | Root activity in potassium surplus and deficient plot. | 308 |
| Fig. 5-25. | Root activity in calcium deficient plot. | 308 |
| Fig. 5-26. | Root activity in magnesium deficient plot. | 309 |
| Fig. 5-27. | Root activity in Fe deficient plot. | 309 |
| Fig. 5-28. | Root activity in Mn deficient plot. | 309 |
| Fig. 5-29. | Root activity in Zn deficient plot. | 310 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 5-30. | Root activity in Cu deficient plot. | 310 |
| Fig. 5-31. | N 1/4 처리구 (30일 경과) | 310 |
| Fig. 5-32. | K 2배 처리구 (30일 경과) | 310 |
| Fig. 5-33. | 칼슘 1/8배 처리구 (30일 경과) | 311 |
| Fig. 5-34. | 미량원소의 1/8배 처리구의 뿌리생육(정식후 30일) | 311 |
| Fig. 5-35. | Content of K and Ca in 15th leaf as affected by K surplus and deficient. | 312 |
| Fig. 5-36. | Content of K and Ca in 20th leaf as affected by K surplus and deficient. | 312 |
| Fig. 5-37. | Content of K and Mg in 15th leaf as affected by K surplus and deficient. | 313 |
| Fig. 5-38. | Content of K and Mg in 20th leaf as affected by K surplus and deficient. | 313 |
| Fig. 5-39. | Changes in plants height in the surplus treatment of N, P and K. | 315 |
| Fig. 5-40. | Changes in plants height in the deficient treatment of macro elements. | 315 |
| Fig. 5-41. | Changes in plants height in the surplus treatment of micro elements. | 316 |
| Fig. 5-42. | Changes in plants height in the surplus and deficient treatment of N, P and K. | 317 |
| Fig. 5-43. | Changes in chlorophyll content in the surplus treatment of | 318 |

macro elements.

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 5-44. | Changes in chlorophyll content in the deficient treatment of macro elements. | 318 |
| Fig. 5-45. | Changes in chlorophyll content in the deficient treatment of micro elements. | 319 |
| Fig. 5-46. | Chlorophyll content in the surplus treatment of macro elements. | 320 |
| Fig. 5-47. | Chlorophyll content in the deficient treatment of macro elements. | 320 |
| Fig. 5-48. | Chlorophyll content in the surplus treatment of micro elements. | 321 |
| Fig. 5-49. | Changes in pH in the surplus and deficient treatment of macro elements. | 321 |
| Fig. 5-50. | Changes in pH in the deficient treatment of micro elements. | 322 |
| Fig. 5-51. | Changes in EC in the surplus and deficient treatment of macro elements. | 323 |
| Fig. 5-52. | Changes in EC in the deficient treatment of micro elements. | 323 |
| Fig. 5-53. | Morphological characteristics as affected by the surplus treatment of N, P and K at 20days after transplanting. | 324 |
| Fig. 5-54. | Root morphology in surplus treatment of macro elements at 20days after transplanting. | 324 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 5-55. | Root morphology in deficient treatment of macro elements at 20days after transplanting. | 325 |
| Fig. 5-56. | Root morphology in surplus treatment of micro elements at 20days after transplanting. | 325 |
| Fig. 5-57. | Root activity in surplus treatment of macro elements. | 326 |
| Fig. 5-58. | Root activity in deficient treatment of macro elements. | 327 |
| Fig. 5-59. | Root activity in deficient treatment of micro elements. | 327 |
| Fig. 5-60. | 오이 대조구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 330 |
| Fig. 5-61. | 오이 1/8 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 330 |
| Fig. 5-62. | 오이 1/2 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 331 |
| Fig. 5-63. | 오이 4배 과잉 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 331 |
| Fig. 5-64. | 토마토 대조구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 332 |
| Fig. 5-65. | 토마토 1/8 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 332 |
| Fig. 5-66. | 토마토 1/2 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 332 |
| Fig. 5-67. | 토마토 4배 과잉 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부) | 333 |
| Fig. 5-68. | Effect of growth promoting(<i>P. sp.</i> D2) and inhibiting(<i>P. sp.</i> B) effect(B) of microorganism selected(A) | 343 |
| Fig. 5-69. | Combining effect of microorganism and glucosamine on the seeding growth of cucumber. | 344 |
| Fig. 5-70. | The results of nucleotide sequence of gene 16S rRNA (D2 ; <i>Pseudomonas sp.</i> D2, B ; <i>Pseudomonas sp.</i> B) | 349 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 5-71. | 오이의 생장촉진효과를 갖는 올리고당화-glucosamine제제의 GPC 분석결과(A: 표준검량선, B: 실험용 올리고당화-glucosamine) | 350 |
| Fig. 5-72. | Plant height of growth inhibition cucumber plant by the combining treatment of <i>Pseudomonas sp.</i> D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite. | 351 |
| Fig. 5-73. | Number of leaves and leaf area of growth inhibition cucumber plant by the treatment of <i>Pseudomonas sp.</i> D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite. | 351 |
| Fig. 5-74. | Growth responses of senescent cucumber plant by the combining treatment of <i>Pseudomonas sp.</i> D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite. | 352 |
| Fig. 5-75. | Changes in plant height and chlorophyll content as affected by D2 and CMB temperature of hydroponically grown cucumber plant. | 355 |
| Fig. 5-76. | Changes in leaf area and root activity as affected by D2 and CMB temperature of hydroponically grown cucumber plant. | 356 |
| Fig. 5-77. | Analysis of root (cucumber that was cultured in Low temperature)activity by TTC (2,3,5-Triphenyl-1-tetrazolium Chlorides) method. TTC was reduced by dehydrogenase and formed water-insoluble red formazan which was measured by spectrophotometer on 484nm. In other words, TTC red formazan formation is relate with enzyme activity. | 357 |
| Fig. 5-78. | Analysis of root (cucumber that was cultured in Low | 357 |

temperature 10°C) ion-conductivity. It showed clearly different ion leakage value by EC meter.

- Fig. 5-79. Effect of microorganisms on plasma membrane H^+ -ATPase activity of cucumber roots. 358
- Fig. 5-80. Effect of microorganisms on plasma membrane H^+ -ATPase activity of cold treated(10°C) cucumber roots. 359
- Fig. 5-81. Changes in plant height and chlorophyll content as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown tomato plant. 361
- Fig. 5-82. Changes in leaf area and root activity as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown tomato plant. 361
- Fig. 5-83. 바실러스속균(*Bacillus sp.*) CMB26의 형태적 분석을 위한 전자현미경 사진 363
- Fig. 5-84. 바실러스속균(*Bacillus sp.*) CMB26균이 내는 해충방제 물질 Lipopeptide의 향미생물성 구명 HPLC스펙트럼 363
- Fig. 5-85. 신규한 바실러스속균(*Bacillus sp.*) CMB26균이 내는 해충제 물질 Lipopeptide 물질분석(MALI-TOF profile, HPLC, fraction No.29, main pick : 1465 Da) 364
- Fig. 5-86. 신규균 바실러스속균(*Bacillus sp.*) CMB26균의 생장에 미치는 질소원의 영향 364
- Fig. 5-87. 뿌리혹 선충을 대상으로 하여 신규한 바실러스속균(*Bacillus sp.*)을 처리시 사멸되는 과정 365

| | | |
|-------------|--|-----|
| Fig. 5-88. | 생육촉진 근권세균의 처리에 따른 기대효과 | 370 |
| Fig. 5-89. | Housing 체제 | 373 |
| Fig. 5-90. | 실험포장 전경 | 377 |
| Fig. 5-91. | 미생물 처리 의한 생육실험 전경 | 377 |
| Fig. 5-92. | Changes in phenolic content as affected by growth period. | 378 |
| Fig. 5-93. | Root activity of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution. | 378 |
| Fig. 5-94. | Root activity of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution. | 380 |
| Fig. 5-95. | Nitrogen content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution. | 380 |
| Fig. 5-96. | Phosphorous content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution. | 381 |
| Fig. 5-97. | Potassium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution. | 381 |
| Fig. 5-98. | Calcium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution. | 382 |
| Fig. 5-99. | Magnesium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution. | 382 |
| Fig. 5-100. | Nitrogen content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, | 383 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| | con2 : reused medium). | |
| Fig. 5-101. | Phosphorous content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con2 : reused medium). | 383 |
| Fig. 5-102. | Potassium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, con2 : reused medium). | 384 |
| Fig. 5-103. | Calcium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, con2 : reused medium). | 384 |
| Fig. 5-104. | Magnesium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, con2 : reused medium). | 385 |
| Fig. 5-105. | Root activity of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, con2 : reused medium). | 386 |
| Fig. 5-106. | Phenolic compound content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 :new medium, con2 : reused medium). | 387 |
| Fig. 6-1. | 개화기의 N공급량과 광합성량과의 상관관계 | 387 |
| Fig. 6-2. | 착과기의 N공급량과 광합성량과의 상관관계 | 387 |
| Fig. 6-3. | 개화기의 P공급량과 광합성량과의 상관관계 | 387 |
| Fig. 6-4. | 착과기의 P공급량과 광합성량과의 상관관계 | 387 |
| Fig. 6-5. | 개화기의 K공급량과 광합성량과의 상관관계 | 387 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 6-6. | 착과기의 K공급량과 광합성량과의 상관관계 | 399 |
| Fig. 6-7. | 개화기의 N공급량과 확산저항과의 상관관계 | 400 |
| Fig. 6-8. | 착과기의 N공급량과 확산저항과의 상관관계 | 400 |
| Fig. 6-9. | 개화기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계 | 401 |
| Fig. 6-10. | 착과기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계 | 401 |
| Fig. 6-11. | 개화기의 K공급량과 확산저항과의 상관관계 | 401 |
| Fig. 6-12. | 착과기의 K공급량과 확산저항과의 상관관계 | 401 |
| Fig. 6-13. | 개화기의 N공급량과 증산량과의 상관관계 | 402 |
| Fig. 6-14. | 착과기의 N공급량과 증산량과의 상관관계 | 402 |
| Fig. 6-15. | 개화기의 P공급량과 증산량과의 상관관계 | 402 |
| Fig. 6-16. | 착과기의 P공급량과 증산량과의 상관관계 | 402 |
| Fig. 6-17. | 개화기의 K공급량과 증산량과의 상관관계 | 403 |
| Fig. 6-18. | 착과기의 K공급량과 증산량과의 상관관계 | 403 |
| Fig. 6-19. | Test strip를 이용한 N의 표준곡선 | 403 |
| Fig. 6-20. | Test strip를 이용한 P의 표준곡선 | 403 |
| Fig. 6-21. | Test strip를 이용한 K의 표준곡선 | 404 |
| Fig. 6-22. | 생육초기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO ₃ 함량과의 상관 관계 | 405 |
| Fig. 6-23. | 개화기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO ₃ 함량과의 상관관 | 405 |

| | | |
|------------|--|-----|
| | 계 | |
| Fig. 6-24. | 착과기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO ₃ 함량과의 상관관계 | 405 |
| Fig. 6-25. | 생육초기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 405 |
| Fig. 6-26. | 개화기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 406 |
| Fig. 6-27. | 착과기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 406 |
| Fig. 6-28. | 생육초기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 407 |
| Fig. 6-29. | 개화기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 407 |
| Fig. 6-30. | 착과기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 407 |
| Fig. 6-31. | Minolta로 측정함 SCDSV와 표준분석 방법에 의해 분석한 엽 록소 함량과의 상관관계 | 408 |
| Fig. 6-32. | 개화기의 SCDSV와 엽 내 Total-N 함량과의 상관관계 | 408 |
| Fig. 6-33. | 착과기의 SCDSV와 엽 내 Total-N 함량과의 상관관계 | 408 |
| Fig. 6-34. | 생육초기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO ₃ 함량과의 상관 관계 | 410 |
| Fig. 6-35. | 개화기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO ₃ 함량과의 상관관 계 | 410 |
| Fig. 6-36. | 생육초기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-37. | 4화방기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-38. | 5화방기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 411 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 6-39. | 착과기의 엽 내 P 함량와 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-40. | 생육초기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-41. | 4화방기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-42. | 5화방기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 411 |
| Fig. 6-43. | 착과기의 엽 내 K 함량와 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 | 412 |
| Fig. 6-44. | 생육초기의 SCDSV와 엽 내 Tatal-N 함량과의 상관관계 | 413 |
| Fig. 6-45. | 4화방기의 SCDSV와 엽 내 Tatal-N 함량과의 상관관계 | 413 |
| Fig. 6-46. | 5화방기의 SCDSV와 엽 내 Tatal-N 함량과의 상관관계 | 413 |
| Fig. 6-47. | 착과기의 SCDSV와 엽 내 Tatal-N 함량과의 상관관계 | 413 |
| Fig. 6-48. | Relationship between soluble and loosely bound P in soil and PO_4 in petiole sap. | 415 |
| Fig. 6-49. | Relationship between aluminum phosphate P in soil and PO_4 in petiole sap. | 415 |
| Fig. 6-50. | Relationship between iron phosphate P in soil and PO_4 in petiole sap. | 416 |
| Fig. 6-51. | Relationship between reductant-soluble P in soil and PO_4 in petiole sap. | 416 |
| Fig. 6-52. | Relationship between residue P in soil and PO_4 in petiole sap. | 417 |
| Fig. 6-53. | Relationship between total-N in soil and NO_3 in petiole sap. | 417 |
| Fig. 6-54. | Relationship between K in soil and K in petiole sap. | 418 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 6-55. | Relationship between NO_3 contents of petiole sap and total-N contents of leaf. | 420 |
| Fig. 6-56. | Relationship between PO_4 contents of petiole sap and P contents of leaf. | 420 |
| Fig. 6-57. | Relationship between K contents of petiole sap and those of leaf. | 421 |
| Fig. 6-58. | Changes of NO_3 concentration in petiole according to leaf position. | 422 |
| Fig. 6-59. | Changes of PO_4 concentration in petiole according to leaf position. | 423 |
| Fig. 6-60. | Changes of K concentration in petiole according to leaf position. | 423 |
| Fig. 6-61. | Comparison of NO_3 , PO_4 and K in petiole sap according to sampling time (BF, before flowering; F, flowering; FD, fruit development). | 424 |
| Fig. 6-62. | Relationship between SCDSV and total-N in leaves. | 425 |
| Fig. 6-63. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and total-N in leaf. | 426 |
| Fig. 6-64. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and P in leaf. | 426 |
| Fig. 6-65. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and K in leaf. | 427 |
| Fig. 6-66. | Relationship between NO_3 contents of petiole sap and | 429 |

total-N contents of leaves.

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 6-67. | Relationship between PO ₄ contents of petiole sap and P contents of leaves. | 429 |
| Fig. 6-68. | Relationship between K contents of petiole sap and those of leaves. | 429 |
| Fig. 6-69. | Changes of NO ₃ in petiole sap according to leaf position. | 431 |
| Fig. 6-70. | Changes of PO ₄ in petiole sap according to leaf position. | 431 |
| Fig. 6-71. | Changes of K in petiole sap according to leaf position. | 431 |
| Fig. 6-72. | Comparison of NO ₃ , PO ₄ and K in petiole sap according to sampling time (BF: before flowering; F: flowering; FD: fruit development). | 432 |
| Fig. 6-73. | Relationship between SCDSV and total-N in leaves. | 433 |
| Fig. 6-74. | Changes of SCDSV according to leaf position. | 434 |
| Fig. 6-75. | Changes of SCDSV according to measurement time (BF: before flowering; FD: fruit development). | 434 |
| Fig. 6-76. | Relationship between NO ₃ contents of petiole sap and total-N contents of cucumber leaf cultivated in soil. | 435 |
| Fig. 6-77. | Relationship between PO ₄ contents of petiole sap and P contents of cucumber leaf cultivated in soil. | 435 |
| Fig. 6-78. | Relationship between K contents of petiole sap and K contents of cucumber leaf cultivated in soil. | 436 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 6-79. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and total-N in leaf. | 437 |
| Fig. 6-80. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and P in leaf. | 437 |
| Fig. 6-81. | Relationship between sucrose contents of petiole sap and K in leaf. | 437 |
| Fig. 6-82. | Changes of NO ₃ (a), PO ₄ (b) and K(c) in petiole sap of cucumber raised in artificial- and soil-media. | 442 |
| Fig. 6-83. | SCDSV changes of cucumber cultivated in artificial- and soil-media. | 444 |
| Fig. 6-84. | Changes of NO ₃ (a), PO ₄ (b) and K(c) in petiole sap of tomato raised in artificial- and soil-media. | 447 |
| Fig. 6-85. | SCDSV changes of tomato raised in artificial- and soil-media. | 449 |
| Fig. 6-86. | Merck RQflex [®] plus | 450 |
| Fig. 6-87. | (a) NO ₃ test strip set, (b) PO ₄ test strip set, (c) K test strip set | 451 |
| Fig. 6-88. | Squeeze | 451 |
| Fig. 6-89. | Measurement method of NO ₃ | 452 |
| Fig. 6-90. | Measurement method of PO ₄ | 453 |
| Fig. 6-91. | Measurement method of K | 455 |
| Fig. 6-92. | Chlorophyll meter | 456 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 7-1. | Effect of pre-cultured crop on cucumber seedling growth in pot culture. | 461 |
| Fig. 7-3. | Effect of different level of vegetable residues on the field germination ratio of cucumber grown in pot. | 463 |
| Fig. 7-4. | Effect of different level of vegetable residues on the plant shape of cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.) seedling at 40 days after sowing | 466 |
| Fig. 7-5. | Effect of different level of vegetable residues on the plant shape of tomato(<i>Lycopersicum esculentum</i> MILL.) seedling at 40 days after sowing. | 468 |
| Fig. 7-6. | Plant growth in salt accumulated soil. | 471 |
| Fig. 7-7. | 스페인 농가가 대부분 사용하는 재배 형태. | 474 |
| Fig. 7-8. | 오이 수확 직후 방입. | 479 |
| Fig. 7-9. | 오이 수확 후 태양열 소독. | 480 |
| Fig. 7-10. | 오이 수확 후 담수+태양열소독 | 480 |
| Fig. 7-11. | 잔유물과 잔유물 가열시 오이 포장밭아울에 미치는 영향 | 485 |
| Fig. 7-12. | 잔유물과 잔유물 가열시 토마토 포장밭아울에 미치는 영향 | 485 |
| Fig. 7-13. | 잔유물과 soil-plus가 오이 포장밭아울에 미치는 영향 | 490 |
| Fig. 7-14. | 잔유물과 soil-plus가 토마토 포장용수량에 미치는 영향. | 491 |
| Fig. 7-15. | The growth of green manure crops selected the testing crops. | 496 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Fig. 7-16. | The change of electrical conductivity in soil grown green manure crops to alleviate slight salinization of soil. | 500 |
| Fig. 7-17. | The change of pH in soil grown green manure crops to alleviate slight salinization of soil. | 501 |
| Fig. 7-18. | he effect of green manure crops on the germination percentage of cucumber seeds in slight salinized soil. | 506 |
| Fig. 7-19. | The change of electrical conductivity in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil. | 507 |
| Fig. 7-20. | The change of pH in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil. | 508 |
| Fig. 7-21. | The effect of green manure crops on the germination percentage of cucumber seeds in severe salinized soil. | 513 |
| Fig. 7-22. | The effect of green manure crops on the cucumber seedling growth in severe salinized soil at 17 days after sowing. | 514 |
| Fig. 7-23. | The effect of green manure crops on the chlorophyll content of cucumber leaves in severe salinization of soil. | 515 |
| Fig. 7-24. | The change of electrical conductivity in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil. | 521 |
| Fig. 7-25. | The change of pH in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil. | 522 |

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 7-26. | The effect of soil conditioners on the germination percentage of cucumber seeds in salinized soil. | 524 |
| Fig. 7-27. | The effect of soil conditioners on the cucumber seedling growth in salinized soil at 17 days after sowing. | 525 |
| Fig. 7-28. | The effect of soil conditioners on the chlorophyll content of cucumber leaves in salinized soil. | 526 |
| Fig. 7-29. | Effect of soil conditioners on the plant height of cucumber in salinized soil. | 529 |
| Fig. 7-30. | Effect of soil conditioners on the leaf length of cucumber in salinized soil. | 529 |
| Fig. 7-31. | Effect of soil conditioners on the growth of cucumber roots. | 530 |
| Fig. 7-32. | Effect of soil conditioners on the top and root fresh weight of cucumber plant grown in salinized soil. | 531 |
| Fig. 7-33. | Effect of different soil conditioners ^Z on the yield in the salinized soil. | 532 |
| Fig. 7-34. | Germination rate of cucumber seed sown in soil contained several preceeding crops according to treated duration Vertical bars presented mean \pm SD (n=5) | 536 |
| fig. 7-35. | Germination rate of tomato seed sown in soil contained several preceeding crops according to treated duration | 536 |
| Fig. 7-36. | Growth characteristics of cucumber plants in soils mixed with preceeding crops residues. | 538 |
| Fig. 7-37. | Growth characteristics of tomato plants in soils mixed with | 538 |

preceeding crops residues.

- Fig. 7-38. Growth characteristics of cucumber plants in soils mixed with preceeding crops residues; cabbage, radish, green-onion and lettuce, for 0, 10, 20, 30 days. These results were obtained at 20 days after sowing. 539
- Fig. 7-39. The change of plant height of tomato seedlings sown at immediately (0 day), 10, 20, 30 days after treatments with preceeding crops residues, such as cabbage, radish, green-onion, lettuce, 540
- Fig. 7-40. Growth characteristics of tomato plants in soils mixed with preceeding crops residues; cabbage, radish, green-onion and lettuce, for 0, 10, 20, 30 days. These results was shown at 20 days after sowing. 541
- Fig. 7-41. Germination rate of cucumber according to diluted crude extracts of several preceeding crops residues. 543
- Fig. 7-42. Germination rate of tomato according to diluted crude extracts of several preceeding crops residues. 543
- Fig. 7-43. Root length of cucumber according to diluted crude extracts of several preceeding crops residues. 544
- Fig. 7-44. Root length of tomato according to diluted crude extracts of several preceeding crops residues. 544
- Fig. 7-45. Germination rate of cucumber according to concentrated crude extracts of several preceeding crops residues. 546
- Fig. 7-46. Germination rate of tomato according to concentrated crude 546

| | | |
|------------|---|-----|
| | extracts of several proceeding crops residues. | |
| Fig. 7-47. | Root length of cucumber according to concentrated crude extracts of several proceeding crops residues. | 547 |
| Fig. 7-48. | Root length of tomato according to concentrated crude extracts of several proceeding crops residues. | 547 |
| Fig. 7-49. | Root length of tomato according to concentrated crude extracts of several proceeding crops residues. | 547 |
| Fig. 7-50. | Electric conductivity and pH of soil were before grown corn and after grown corn as preceeding crop. | 522 |
| Fig. 7-51. | The plant height and fruit yield of cucumber grown in salinized soil and desalinized soil used corn as preceeding crop. | 553 |
| Fig. 7-52. | The death rate and plant height of tomato seedlings at 45 days after planting. | 556 |
| Fig. 7-53. | The fruit yield of tomato according to truss order Tomato seedlings were whether grafted or not and grown in soil treated corn as preceeding crop or not. ^z See 7-52 | 557 |
| Fig. 7-54. | The soluble solids of tomato fruits according to truss order. | 557 |
| Fig. 7-55. | The percentage of marketable fruit of tomato according to truss order. | 558 |
| Fig. 7-56. | Effect of different nutrient solutions on the plant height of cucumber in salinized soil | 564 |
| Fig. 7-57. | Effect of different nutrient solutions on the leaf length | 564 |

of cucumber in salinized soil

- Fig. 7-58. Effect of different nutrient solutions on the stem diameter of cucumber in salinized soil 565
- Fig. 7-61. Effect of different nutrient solutions on the leaf length of toma in salinized soil 566
- Fig. 7-62. Effect of different nutrient solutions on the stem diameter of tomato in salinized soil 567
- Fig. 7-63. Effect of different nutrient solutions on the chlorophyll content of tomato in salinized soil 568
- Fig. 7-64. Effect of different nutrient solutions^Z on the leaf length and leaf width of red chinese mustard in salinized soil. 569
- Fig. 7-65. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of red chicory in salinized soil. 569
- Fig. 7-66. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of endive in salinized soil. 570
- Fig. 7-67. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of red romaine lettuce in salinized soil. 571
- Fig. 7-68. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of bowl red lettuce in salinized soil. 572
- Fig. 7-69. The effect of different nutrient solutions on the yield of red chinese mustard in salinized soil. 572
- Fig. 7-70. The effect of different nutrient solutions on the 573

yield of red chicory in salinized soil.

| | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 7-71. | The effect of different nutrient solutions on the yield of endive in salinized soil. | 574 |
| Fig. 7-72. | The effect of different nutrient solutions on the yield of red romaine in salinized soil. | 575 |
| Fig. 7-73. | The effect of different nutrient solutions on the yield of bowl red in salinized soil. | 575 |
| Fig. 7-74. | The nitrate contents of several stuffed vegetables grown in salinized soil with different nutrient solutions. | 577 |
| Fig. 7-75. | Effect of irrigation method on the plant height of cucumber. | 582 |
| Fig. 7-76. | Effect of irrigation method on the leaf length of cucumber. | 583 |
| Fig. 7-77. | Effect of irrigation method on the stem diameter of cucumber. | 583 |
| Fig. 7-78. | Effect of irrigation method on the chlorophyll content of cucumber. | 584 |
| Fig. 7.79. | Effect of irrigation method on the plant height of tomato. | 585 |
| Fig. 7-80. | Effect of irrigation method on the leaf length of tomato. | 586 |
| Fig. 7-81. | Effect of irrigation method on the stem diameter of tomato. | 586 |
| Fig. 7-82. | Effect of irrigation method on the chlorophyll content of | 587 |

tomato.

- | | | |
|------------|---|-----|
| Fig. 7-83. | Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of redb chinese mustard in salinized soil. | 588 |
| Fig. 7-84. | Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of red romaine lettuce in salinized soil. | 589 |
| Fig. 7-85. | Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of bowled red lettuce in salinized soil. | 589 |
| Fig. 7-86. | Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of red chicory in salinized soil. | 590 |
| Fig. 7-87. | Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of endive in salinized soil. | 590 |
| Fig. 7-88. | Effect of irrigation methods on the average yield of several stuffed vegetables in salinized soil. | 591 |
| Fig. 7-89. | The nitrate contents of several stuffed vegetables irrigated conventionally or automatically in salinized soil. | 592 |

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 목표와 내용

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|--|---|
| 제 1 과 제 주 요 채 소 류 연 작 장 해 미 트 레 스 경 감 기 술 개 발 | 1차년도 (2000~ 2001) 원예작물(채소) 종류별 토양 영양스트레스 패턴 구명 | ○ 채소재배 농가 대상 전국적 영양스트레스 관련 유형 조사 ○ 채소 종류별 토양 병해, 염류집적 문제점등에 의한 연작장해 패턴 조사 - 조사대상 : 과채류 3종, 엽채류 2종 - 조사지역 : 채소 종류별 주산단지 |
| | 2차년도 (2001~ 2002) 영양스트레스 경감을 위한 real time 토양양분 진단 기준 설정 | ○ Real time 토양양분진단 키트 선발 - 진단성분 : 수용성 질산, 인산, 칼리 등 - 수용성 양분 함량과 치환성 양분함량과의 상관 관계 비교 - 현장 적용 가능 진단 키트 선발 및 실용신안신청 ○ 영양스트레스 진단기준 설정 - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 처리내용 : 토양 염류농도 3수준 - 작물 생육, 수량 및 품질 조사 - 생육 단계별 식물체 및 토양 시료채취 분석 - 토양중 양분함량과 수량, 품질과의 상관분석 - 토양중 양분함량과 양분흡수량과의 상관분석 - 작물별 영양스트레스 한계농도 기준설정 |
| | 3차년도 (2002~ 2003) 채소 종류별 영양스트레스 경감기술 개발 | ○ 토양베드재배에 의한 영양스트레스 경감기술 개발 - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 토양베드 양분조성별 작물수량 및 품질 비교 - 생육 단계별 식물체 및 토양 시료채취 분석 - 수확 후 토양베드 중 유기 및 무기성분 함량 조사 |
| | 4차년도 (2003~ 2004) 채소 종류별 영양스트레스 경감기술 개발 및 지침서 작성 | ○ 토양베드재배에 의한 영양스트레스 경감기술 개발 - 공시작물 : 과채류, 엽채류 - 경감기술에 의한 작물수량 및 품질향상가능성 시험 비교 - 수확 후 토양베드 중 유기 및 무기성분 함량 조사 - 식물과 토양분석 및 소독법 등에 의한 영양스트레스 경감법 개발 ○ 영양스트레스 대책모델 개발 및 지침서 발행 |

| 구분 | 연구개발목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|-------------------------|---|
| 제 2 과 제 실 시 간 토 양 과 작 물 의 영 양 진 단 기 술 개 발 | 1차년도 (2000~ 2001) | <p>염류 집적에 의해서 유기되는 박과채소(오이, 수박)의 장해발생의 실시간, 특징 및 진단법</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 상토에 고농도 영양조건(질소, 칼리 및 칼슘의 농도) 부여시간과 생리장해 발생시기 구명 ○ 상토의 염류농도(EC 0.5~4.5 mS/cm) 및 pH(4~8)에 따른 영양장해의 발생정도, 특징 및 시기 구명을 통한 경감대책 조사 ○ 염류 농도에 따른 장해부위(생장점, 뿌리)의 조직학적 관찰(SEM 및 TEM) ○ 장해발생의 경감 대책 : 대목의 종류에 따른 내염성 비교, 영양장해 발생 토양에 석회 및 유기물 시용에 따른 장해의 경감 정도 비교 |
| | 2차년도 (2001~ 2002) | <p>토양의 영양 조건에 따른 가지과 작물(토마토, 고추)의 장해 발생 시기, 특징 및 경감대책 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 상토의 영양상태에 따른 장해발생 시기와 특징 구명 ○ 토양의 염류농도(EC 1.0~5.0 mS/cm) 및 저온조건(5~20℃)에 따른 장해발생 특징 조사 ○ 장해발생의 특징을 조직학적((SEM 및 TEM) 관찰 비교 ○ 토마토의 대목(Joint, Vulcan, Kagemushia의 야생토마토 10종 등)에 따른 접목묘의 내염성 비교에 의한 내염성 대목 선발 및 성장특징 ○ 비료종류별 및 관수량에 따른 EC의 변화조사(보완사항) |
| | 3차년도 (2002~ 2003) | <p>내염성 대목 선발 및 접목한 채소작물의 염류농도에 따른 성장 반응</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 한국 재래종 박(39품종) 및 도입 박(20품종)의 고농도 염류에 대한 내성의 screen test에 의한 내염성 대목 선발 ○ 선발된 대목의 접목(수박)묘의 내염성 비교 ○ 영양부족(N과 Mg)에 따른 식물체내 양분농도, 장해 발생 시기, 정도 및 특징 |
| | 4차년도 (2003~ 2004) | <p>토양종류별 엽근채류(배추, 시금치, 부추)의 영양스트레스 특성, 발생 시기 및 장해의 경감대책</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 염류가 집적된 토양조건에서 영양장해 발생 특징 ○ 토양에 부여한 염류농도에 따른 실시간대별 장해발생 패턴조사 ○ 토양의 영양상태에 따른 잎 및 근부의 발달 및 조직학적 특징 ○ 엽채류의 연작장해 경감대책 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 유기물(퇴비) 시용 - 석회시용 - 담수에 의한 염류 제거 등에 의한 성장, 근부발달 및 기간 분화에 대한 조사 비교 - 보리, 옥수수에 의한 염류제거 정도 |

| 구분 | 연구개발목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|---|---|
| 제 3차 과제 생리생태 기능 조절 에 의 한 연 작 장 해 경 감 기 술 | 1차년도 (2000 2001) 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 근권생리구명에 의한 영양스트레스 경감 기술 개발 | ○ 환경요인(지상부, 지하부) 변화에 따른 동화산물 및 무기염류의 전류 및 배분에 미치는 영향 ○ 근권부 무기염류(N, P, K, Ca, Mg 및 기타 미량원소)가 식물체내 무기염류 함량변화, 뿌리 영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향 구명 ○ 근권 잔유물의 생화학적, 미생물적 연구 |
| | 2차년도 (2001 ~ 2002) 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 생리적 영양스트레스 경감 및 성장관련 미생물 분리 동정 | ○ 무기염류 및 동화산물과 뿌리 스트레스 관계 구명 ○ 영양스트레스에 따른 뿌리 활력저하(근사) 경감 기술 개발 ○ 유효근권미생물이 root mass 증가에 미치는 영향구명 ○ 유효 성장촉진 미생물의 분리, 동정 및 특성검정 ○ 토양중 B/F 치와 영양흡수 특성(보완사항) |
| | 3차년도 (2002 ~ 2003) 오이와 토마토의 양액재배에 있어서 생리기능 진단 및 미생물의 이용에 의한 영양스트레스 대처 기술 개발 | ○ 양액재배시 각종 요인변화에 따른 오이와 토마토의 근삼출(root exudation)과 연작장해 관련 조사 ○ 지하부 성장과 뿌리 성장과의 관련성 검토 ○ 유효근권미생물의 동정 및 특성을 이용한 제독기술개발 ○ 유효근권 미생물을 이용한 생육기능조절 및 연작장해 경감기술 개발 |
| 조사내용 | ○ 생육조사 : 초장, 경경, 엽면적, 생체중, 건물중, 시골체 각종스트레스 조사 ○ 무기성분 함량분석 : N, P, K, Mg, Mn, Fe, B, Zn 등 (양액, 식물체 즙액) ○ 생리, 생태적 특성조사 : 근호흡, 광합성, 근활력, 효소활성, 호르몬 분석 ○ 미생물의 분리, 동정, 특성검정 및 실용화 효과 측정 | |
| 상관관계분석 | ○ 각조사 Parameter간 상관관계 분석 ○ 생리적 근사방지를 통한 생육촉진 및 연작장해 경감기술 개발 | |

| 구분 | | 연구 개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|-----------------------|----------------------------|--|
| 제 4 과 제 비 과 적 방 법 에 의 한 영 양 스트 레 스 진 단 | 2차년도 (2001 ~ 2002) | 작물의 비과괴적 영양 및 생육 진단기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 수분이용 효율 및 CO₂ 이용효율에 따른 생육진단 ○ 광합성 활성 측정에 의한 생육진단 ○ 외관변화에 의한 계측 방법 개발 ○ Chlorophyll 측정에 의한 영양진단법 개발 |
| | 3차년도 (2002 ~ 2003) | 리얼타임에 의한 영양진단법 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 식물체 배지분석에 의한 식물체내 이온 형태 분석 ○ 실시간 영양진단 지표 확립 ○ 간이 수용성 당 분석에 의한 생육진단 ○ 엽색의 진전도에 따른 생육진단 |
| | 4차년도 (2003 ~ 2004) | 화상계측이나 기타 방법에 의한 영양진단 기술개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 생체계측에 의한 비과괴적 영양진단법 개발 ○ 생육속도 측정을 위한 모델식 개발 ○ 생체 계측에 의한 영양스트레스 및 생육 진단 |

| 구분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--|-----------------------------|--|
| 제 5 과 제 연 작 지 의 작 부 체 계 설 정 및 영 양 스 트 레 스 극 소 화 를 위 한 관 비 농 법 기 술 개 발 | 1차년도 (2000 ~ 2001) | 연작지의 작부 체계, 작물의 상호작용 파악 및 해외 대처 기술 조사 ○ 연작 토양에서 작부체계 조사 ○ 연작지 토양에서 작물 상호작용 및 영양 스트레스 경감 기술 조사 ○ 염류제거를 위한 작물별 흡비력 비교시험 ○ 스페인 및 일본의 연작장해 회피 기술 조사분석 |
| | 2차년도 (2001 ~ 2002) | 연작지 새로운 작부체계 및 제염법에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발 ○ 연작지 토양에서의 제염기술 확립 - 국내외 방법 도입을 통한 제염기술을 확립 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 N-min방법 도입과 제염을 위한 관비농법 기술 적용 ○ 연작지 토양에서 영양스트레스 경감을 위한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명(보완사항) - Pilot 실험법에 의한 채소 및 기타 작물을 이용한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 토양개량제의 효과 구명(보완사항) - 토양개량제: 목초액, 활성탄, 미생물제품 2종 |
| | 3차년도 (2002 ~ 2003) | 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 적용시험 ○ N-min적용에 의한 생육단계별 합리적 관비 조성 비교 - 대상 작물: 오이, 토마토, 기타 쌈채소 ○ 자동 관수 시스템에 의한 관비의 효율적 적용 시험 - 대상 작물: 오이, 토마토, 기타 쌈채소 ○ 연작지 토양에서 영양스트레스 경감을 위한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명(보완사항) - Pilot 실험법에 의한 채소 및 기타 작물을 이용한 새로운 작부체계 확립 및 효과 구명 ○ 영양 스트레스 경감을 위한 토양개량제의 효과 구명(보완사항) - 토양개량제: 목초액, 활성탄, 미생물제품 2종 |
| | 4차년도 (2003 ~ 2004) | 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 개발 및 지침서 작성 ○ 새로운 작부체계 도입과 관비농법의 적용시험 - 작부체계에 따른 영양스트레스 감소와 관비 농법 적용에 따른 상승 효과 비교 시험 - 제 1, 2, 3과제에서 도출한 기술을 오이, 토마토에 적용 시험 ○ 대목 종류, 뿌리 영양스트레스 감소법과 관비적용을 통한 영양 스트레스 대처 기술 개발 ○ 영양 스트레스 대처 방안의 종합적 지침서 작성 |

2. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

(1) 국내 채소류 영양스트레스 현황 파악 필요

- 국내 채소 및 시설 재배면적이 급증함에 따라 제한된 국토에서 연작장해에 따른 영양스트레스 출현이 불가피한 실정이나 여기에 관련된 현황 파악이 전무함
- 일본의 연구(平野, 1977)에 의하면 채소의 연작장해 피해는 최저 15%에서 최고 50% 범위에 있다고 보고한 바 있으나 국내에서는 연작장해 피해의 구체적 피해 조사가 없어 전국적 실태 파악이 시급히 요구됨
- 최근 국내시설원예 수익이 벼농사를 크게 상회하고 있어 답전윤환방식보다 고정식 온실이 증가하므로써 연작의 피해가 늘어가고 있으나 이에 대한 구체적 조사가 없음
- 고령지 배추재배, 성주참외재배지역 등에 연작장해가 많아 피해가 늘고 있으나 구체적 조사가 없어 현황 파악 필요

(2) 국내 채소류 영양스트레스 대처기술 필요

- 연작장해의 유형은 크게 영양적, 병리적, 그리고 식물배출 유해 잔유물 등의 원인으로 나타나지만 대체적인 국내 지역별 현황 파악이 전무하다. 그 가운데 채소류 영양스트레스에 대한농가 대처기술지원에 크게 문제되고 있음
- 연작장해 측정을 위한 토양의 염류집적, 토양의 병충해 조사, 그리고 식물 잔유물 등에 의한 연작장해 유형별 진단기술이 체계화 되어있지 않은 실정임
- 도시근교의 고정하우스에서는 계분이나 화학비료 등의 장기사용으로 토양의 염류집적이 심해 3-4년에 한번씩 토양을 2m 깊이까지 포크레인을 이용한 객토를 시도하고 있으며, 그 결과 많은 비료성분이 작업기간 중에 지하수로 빠져나가 지하수 오염을 야기시키고, 환경오염을 가중시키나 이에 대한 대책과 기술지도가 없음
- 토양 근권의 변화에 따른 실시간 영양진단과 그에 따른 적정 양분공급 기술이 외국의 절반수준도 안됨
- 비파괴 영양추정에 따른 채소종류별 영양진단기술이 실용화와 연계되어 연구가 진행된 것이 없어 이 방향의 지속적 연구가 요구됨
- 비파괴 영양진단에 의한 시비개선책 확립이 필요
- 21세기는 뿌리농사 시대인데 근권부의 생리활성 측정에 생화학적 접근방법이 되

지 않아 이 분야 연구가 필요함

- 생리, 화학적인 영양생리측정 기술 개발이 되지 않아 이 분야 연구수준 향상이 필요함
- 간이토양, 작물영양 및 생육간이측정 진단기술 가운데 간이토양측정 기술보급이 농협을 통해 일부 이루어지나 농가차원에서 쉽게 이루어질 수 있는 대처기술이 부족한 상

태입

- 최적 비료시비량 결정을 위한 토양분석 기술의 정립이 필요함

(3) 영양스트레스 대처기술 개발 시급

- 영양관리 부족에 따른 과채류의 영양스트레스 수확감소, 품질 열악화 증가
- 영양스트레스 원인 및 대처기술 개발 시급
- 영양스트레스의 비파괴적, 생화학적 조사 기술확립 필요
- 영양스트레스 대처기술 지침서가 요구됨

나. 경제, 산업적 측면

(1) 국내 시설 설치 면적의 급속한 증가와 병행된 연작장해 증가로 경제적 손실이 큼

- 1996년 시설채소 약 80,000ha로 이는 1990년대에 비해 2배 이상 증가
- 외국연구에 따라 30%의 연작장해가 나타난다면 약 24000ha에 유형, 무형의 스트레스와 그에 따른 생산량 감소
- 연작장해 대책 기술 정립은 실제적 증수의 효과를 가져옴

(2) 소비자의 고품질 채소 요구도는 증가되나 생리적 연작 장해 등에 의한 고품질 생산의 감소

- 염류집적에 따른 생리장해로 고품질 채소 생산이 어려움
- 토양개량이나 기타 특수 비료의 이용을 통한 생리적 연작장해 극복이 필요하나 그러지 못해 기형과 발생 등이 나타나 농가소득에 크게 영향을 가져옴

(3) 연작장해를 극복한 관비농법 응용으로 고품질 채소 생산을 기하고 이들 산물의 수출 증대

- 토양분석을 통한 N-min 방법의 도입으로 최적량 관비 공급기술 확립으로 비료 과다 소비를 근절시켜 간접적 이익을 가져옴
- Trickle을 이용한 지속적 물과 양액 등의 적정 공급에 따른 연작장해극복 기술이 확립되면 고품질 채소 생산이 증가해 수출증대를 기할 수 있음

- 새로운 독일의 KIWIDO SYSTEM의 원리를 한국형으로 변형하여 관비농법에 도입하면 적정 관비만을 제공하게 되므로 작물에는 최적 양수분 조건을 제공함으로써 염류집적을 극소화시키는 근권환경개선을 통한 고품질 최고산물생산이 가능함
 - 비파괴적 간이 영양진단 시스템 개발에 의한 농가 기술 활용으로 작물 생산성 향상.
 - 비파괴적으로 단기 영양분석을 함으로서 농가에게 편이성 제공을 하고 여가선용의 시간적 여유를 부여함
- (4) 비파괴 영양진단법의 개발로 이 분야 산업기술 기여
- 채소류의 비파괴 영양측정이나 기타 기술의 개발과 이들의 응용은 계측분야 산업에 크게 기여하리라고 생각되며, 신기술의 산업화가 가능
 - 기타 생화학적 기술을 응용하여 개발된 기술이 국내 측정분야 기술의 세계화에 기여할 수 있음
- (5) 영양 스트레스 기작 파악 및 대책으로 고품질 채소생산
- 영양스트레스에 따른 품질 열악화로 많은 채소가 폐기되고 있는바, 이에 대한 기작 연구와 대책 마련으로 고품질 채소생산으로 실제 농가소득증대
 - 영양스트레스 기작 해결 기술의 학문적 및 실제적 기술확립으로, 새로운 키트 등을 개발시 수출 가능성이 있어 경제적 효과가 큼

다. 사회, 문화적 측면

- (1) 청정농산물의 공급으로 국민 보건 향상
- 약 30%의 수량 감소원인이 연작장해인데 이들 연작장해 가운데 토양 전염균의 방제를 위해 토양 잔류성이 높은 농약을 사용하게 되는 것이 현실이다. 따라서 이를 억제할 수 있어 국민 모두가 농약 사용이 적은 채소류를 구입해서 먹을 수 있어 국민보건 향상에 기여할 수 있다고 생각됨.
- (2) 환경오염을 극소화시키는 환경농업을 할 수 있음
- 21세기에는 토양의 시비량 증대는 환경론자들에 의해 저항을 받게 되는데 이때 지하수 오염을 극소화시키는 새로운 독일식 관비농법의 국내 적용으로 적정시비의 획기적인 환경농업을 할 수 있는 계기를 마련.
 - 무계획적인 비료의 공급으로 토양 물리화학성 악화는 물론이고 다량시비에 필요

한 과다 경비 등의 제 문제를 감소시키면서 생력적 환경농업을 기할 수 있는 관비농업 기술의 적용이 가능함

(3) 비과과적 양분측정, 새로운 시비기술 개발 등의 제3국 수출

- 새로운 기술축적은 중국, 인도네시아 등의 농가에 기술전수를 할 수 있고, 그에 따라 우리가 개발한 기술을 해외에 수출 가능
- 채소류의 연작장해 측정을 위한 병리, 영양, 그리고 잔유물 등에 의한 유형 및 진단기술이 부족한 실정인데 이들 기술 확립과 제3국의 기술지도가 가능해서 한국농업의 세계 위상 제고 가능
- 연작장해의 대표적 유형인 영양과부족 등의 영양스트레스에 대한 구체적 농가차원의 실용적 진단체계가 부족해서 이 분야 기술개발이 시급함

(4) 도시근교지역 환경오염 감소로 지하수 이용의 안전성 증대

- 과다한 시비로 지하수가 오염되어 식수로 쓸수 없는 지역에서도 안심하고 먹을 수 있는 물 생산을 위해 염류장해 극소화를 통한 시비기술 정립은 국민보건에 크게 기여하리라고 생각됨
- 질소 적정시용으로 과다시용에 따른 환경오염을 극소화시킬 수 있어 환경농업이 가

해 국민들의 농업에 대한 새로운 인식 구축

(5) 영양스트레스 대처기술 개발로 농민의 영농 의욕 고취

- 원인을 알 수 없는 각종 영양스트레스 병해로 인한 폐농은 농민의 영농 의욕을 상실케 하는바 대책이 수립될 시 영농 의욕 제고

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내 · 외 관련기술의 현황과 문제점

(1) 지금까지의 연구개발 실적

(가) 국내

- 국내에서는 1960-1970년에 걸쳐 FAO와 USDA의 도움으로 토양통에 대한 전국적인 분석이 이루어져 토성에 대한 대략적인 보고가 이루어져 있으나 전국적인 채소재배지역의 세부적 토양현황에 따른 연작장해 등에 대한 연구 전무
- 최근 고령지 배추, 성주참외, 고창 수박 단지 등에서는 제한된 지역에서 연작장해에 따른 피해가 보고되고 있으나, 실제적 전국적 피해는 집계되지 않고 있으며 일부 농가에 따른 토양전염병 등에 대해서만 보고
- 채소의 연작 장해에 대한 노지연구는 일부 시험장에서 연구된 바 있으나 종합적 방제 연구는 수행된 바 없다. 농가가 쉽게 응용할 수 있는 간이 영양진단 기술 개발이 거의 이루어지지 않음
- 채소의 비과과적 영양 및 생육진단기술이 이스라엘의 기기 등을 도입해서 원예 연구소 등에서 시도되고 있으나 이와 같은 기술이 농가차원의 실제지도에 응용이 아직까지 정립되고 있지 않음
- 채소의 관수와 시비기술의 체계화 연구가 관비농업의 형태로 본 연구팀이 1970년 국내 최초로 경기도 광주군 미사리와 고령 등지의 사질계 저위생산지에서 시험한 바 있으나 지금까지 후속 연구가 완벽하게 진행되지 않고 있어 토양분석과 식물체의 영양진단 자료를 결합한 새로운 형태의 관비 시비기술 체계화가 요구
- 지역별, 작물별, 연작장해 측정과 해결 방법을 모델화 할 수 있는 완벽한 시스템이 구축되어 있지 않아 모든 채소농가가 경험에 의존해서 대처
- 영양스트레스는 보이지 않는 수량감소를 가져오나 지금까지는 결핍증 연구만 했

을 뿐, 이 분야에서 국내 연구는 수행되지 않고 있음

(나) 국외

- 채소류의 염류집적에 대한 내성을 조사해서 보고하고 이를 재배시 참고자료로 응용하고 있다. 예로 배추과는 강하고 콩과는 약한 것을 분류했으며 딸기와 삼엽채는 염(NaCl) 1000ppm에서 수량이 반감했고, 상치, 양파, 완두, 오이 등은 2000-3000ppm에서 수량이 반감했으나, 양배추, 배추, 시금치, 무, 가지는 6000-9000ppm에서 생육이 반감했다고 보고한 바 있다(大澤, 1965).
- 독일의 경우에 연작장해경감을 위한 작부체계를 1930년대부터 연구해 작물별 윤작의 모델화를 만들어 일반작물에서 적용하고 있다(Klaus, 1939).
- 독일에서는 시비량에 따른 채소품질변화와 토양염류집적에 따른 품질저하에 대해 폭넓은 연구를 하여 다양한 보고서를 작성했고 그에 따른 시비기술 등을 제시하고 있다(Fritz, 1978).
- 일본의 경우에는 1950-1960년대에 걸쳐 연작장해에 대해 집중적으로 연구하여 토양간이 검정법 등을 1970년대 확립하고 농가에서 이용할 수 있는 질소간이검정기, 간이토양검정기를 만들어 토양의 질소 및 석회시용을 체계화시켰다(衫山, 1970).
- 기지현상에 대한 다양한 조사와 함께 연작장해에 대한 발현확률 등을 장기간 조사하여 연작경감기술을 확립해 윤작체계를 제시하고 있다(平野, 1975).
- 네덜란드에서는 채소의 생리, 생화학적 변화에 의한 영양생리장해 진단기술을 체계화시킴과 동시에 식물체 및 배지분석에 의한 생리장해 진단기술을 체계화시키고 있다.
- 최근 발달된 영상프로그램에 의해 잎을 채취해서 즉각적인 분석이 이루어지고 있어 시간대별 양분의 공급이 가능하게 되고 있다.
- 영양스트레스가 나타나는 식물별 엽 내의 무기원소함량이 제시되어 있으며, 최

소 수확을 나타낼 수 있는 양분의 농도가 제시돼 있다.

(2) 현 기술 상태의 취약성

- (가) 이상에서 살펴보았듯이 외국에서는 상당한 수준의 연작장해 대책뿐만 아니라 환경에 부하를 걸리지 않게 관수와 시비를 하지만 국내에서는 그런 개념이 없음
- (나) 국내 연작장해가 수없이 야기되고 있으나, 체계적 연구나 기술지도체계가 이루어지지 않고 있으며 현황과약도 제대로 이루어지지 않고 있음
- (다) 주요채소의 영양적인 연구는 활발하나 이들을 농가에 쉽게 적용시킬 수 있는 간이 영양진단기술 개발이 부족한 형상임.
- (라) 국가별로 다양한 채소류를 선호하며 토양과 기후조건이 다른 상태에서 국내 연작장해의 주요원인인 영양스트레스 경감기술이 문헌적으로만 이야기될 뿐 실제 기술개발이 부족한 현실임.
- (마) 각 지역의 농업기술원에서 영양 및 환경에 대해 연구하고 있으나 이들을 전국적으로 연계시켜서 체계화시킨 연구개발이 없음
- (바) 채소작물의 비과피영양 및 생육진단 기술개발이 아주 취약하며 초보적 단계에 있음.
- (사) 일부 관비농법이 이루어지나 주먹구구식과 식물체 생육을 보고 경험에 의한 관비공급을 함으로써 물, 비료소모는 극대화되고 생산량은 증대되지 않고 있어 모든 자료를 수집하여 이들 자료분석을 대상으로 한 관수와 시비의 체계화가 시급한 실정임
- (아) 결론적으로 연작장해의 주요 원인인 영양스트레스 경감기술이 시급하나 이에 대한 체계적 연구와 농민에게 보급할 기술이 매우 취약해서 국가적 차원에서 모델화할 수 있는 연구가 요망 됨.

2. 앞으로의 전망

(가) 21세기는 환경농업이 정착되는 시기으로써 생산자는 환경론자와 수없이 부딪히는 현실이 올 것이다. 그러므로 식물의 영양스트레스를 최소화하면서 최대의 고품질 수량을 올릴 수 있는 과학적 영농법이 요구된다. 이를 위해서는 토양, 식물, 그리고 노지나 시설내 환경을 분석하여 최적의 관수와 시비를 할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 그러므로 국내에서 새로운 친환경적 시비기술 개발이 세계 속의 한국농업 존속을 위해 시급하게 연구 개발되어야 할 시점에 있어 본 연구는 매우 중요하다.

(나) 작물재배에 있어 21세기는 물부족의 시대가 도래하며 지금처럼 채소재배시에 마 음대로 물을 공급할 수 있는 시기는 기대하기 어렵다. 이미 캘리포니아에서는 물 세금이 크게 문제시되어 토양재배보다 양액재배가 21세기에는 유리한 경영적인 판단이 될 수 있음을 시사해주고 있다. 왜냐하면 순환식 양액재배는 물의 소모량을 극소화시키나 건조한 여름철 캘리포니아에서는 노지채소 시 막대한 물 공급이 필요하고 이것이 결국 수지와 직결되기 때문이다. 그러므로 합리적 시비와 물 관리는 비료소모와 관련해서 21세기를 대비한 농법으로 반드시 연구해야 할 과제이다.

(다) 식물의 생육단계에 따른 실시간적 양분공급은 사실계 토양재배에서 매우 중요하다. 급속한 성장시기에 있어 영양스트레스는 채소의 생육 특히 품질저하를 가져온다. 그럼으로써 수출원에 작물의 생산에서는 영양스트레스 경감기술을 통해 고품질 수출상품생산을 할 수 있어 매우 중요하다.

(라) 국가정책을 수립함에 있어 채소의 연작장해의 유형과 지역별 문제를 파악함과 동시에 작물별 영양스트레스의 한계 구명이 매우 중요하나 전국적인 채소 연작장해와 채소작물별 최소 생산 한계농도에 따라 정확한 조사 자료가 미흡함은 문제이며, 이런 자료 확보는 앞으로 대농민 고품질 채소 재배지도의 기초 자료로 매우 중요하다고 본다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 주요 채소류 연작장해 및 영양스트레스 경감기술 개발

1.1. 서 언

채소 생산은 경지 면적이 협소하고 경영규모가 영세한 실정에도 불구하고 수익성이 높은 작목의 시장점유율 확보를 위하여 특정작목의 전업화 및 단지화가 심화되고 있으며 이에 따라서 연작이 늘어나고 있는 실정이다. 또한 채소 소비량의 증가와 년중 수요의 확대로 채소 생산에서 시설이 점유하는 비율이 매년 증가하여 2002년도 우리나라의 시설면적은 48,535 ha 에 달하여 1990년도의 23,698 ha에 비하여 약 2배나 증가하였다. 시설이용률을 보면 80년대 초에는 250%로 대단히 높았지만 점차 답전윤환 이동식 시설의 과채류 재배가 증가하면서 이용률이 감소되다가 최근에 와서는 엽채류의 다기작 재배가 증가하면서 이용률이 다시 증가하는 추세를 보여서 2001년에 177%에 달하고 있다. 또한 최근에는 시설의 대형화, 난방기, 다층피복 등 시설 내부의 고정 장치가 늘어남에 따라 고정화 시설이 늘어나고 있다. 이러한 결과는 동일한 장소에서 연작을 강행하게 되어 연작장해로 인한 작물 생산성의 악화가 우려되고 있는 실정이다. 이와 같이 국내 채소 및 시설 재배면적이 급증함에 따라 제한된 국토에서 연작장해에 따른 영양스트레스 출현이 불가피한 실정이나 여기에 관련된 현황 파악이 거의 없는 상태이다.

시설재배지에서 채소 생산은 일반적으로 과잉비료를 투입하는 경향이 있고 피복된 환경 하에서 강우가 차단되기 때문에 노지와는 다르게 토양에 염류가 집적되기 쉽다. 시비량이 많아지면 작물이 비료분을 흡수하는 능력에는 한계가 있기 때문에 흡수하고 남은 비료분이 토양에 집적되어 염류장해를 초래하게 된다(Jung 등, 1998; Lee 등, 1993). 염류대책으로서는 일반적으로 사용하는 염류의 시설외계로 배제하는 방식은 이들 염류에 의한 환경오염의 위험성도 지적되고 있다(Bilbao 등, 2004; Nakano, 2002; Nonaka, 1996; Pang 등, 1997). 또 과잉염류 스트레스에 의한 활성이 저하된 근계는 병해에 감염되기 쉽고, 이의 방제를 위해서 일반적으로 약제를 이용한 토양소독 등의 대처요법이 행해지고 있다. 홍(1998)과 홍 등(1998)은 염류집적에 대한 근본적인 대응 방안으로서 토양비옥도를 고려한 시비량 조절 방안이 타당하다고 강조하였으며, 국외에서는 작물생산성을 유지하는 동시에 환경오염을 경감하기 위한 시비관리 방안으로

서 토양 중 적정 양분상태를 유지하는 방법 또는 작물자체의 양분 상태를 기준으로 시비량과 시비시기를 결정하는 방안(Joiner 등, 1983; Jones, 1985; Roppongi, 1998; Roppongi와 Yamazaki, 1998) 등이 검토되고 있다. 시설 채소의 지속적 발전을 위해서 해결해야할 최우선 과제는 고품질 다수확과 균일한 규격품 생산을 유지하면서 토양의 염류집적을 방지 할 수 있는 시비관리법이 확립되어야 하며, 환경문제가 대두되면서 시설원예에서도 환경을 고려한 재배시스템, 관수기술, 시비기술이 요구되므로 차세대 재배기술은 연작장애가 없는 친환경 채소생산 시스템의 개발이 중요한 과제이다. 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 시설 토양 스트레스의 본질을 해명하고 그를 극복하기 위한 기술의 확립이 필요하다.

본 연구에서는 전국 주요 시설 채소 재배단지의 토양을 분석하여 스트레스 실태를 구명하는 일을 첫째 과제로 설정하고 그 결과 전체적으로 공통되는 문제로서 토양이 전반적으로 염류의 과잉집적과 이온조성이 불균형한 문제점을 구명하고자 하였다. 다음으로 이러한 문제에 대한 기술적 대책으로서 본 연구에서는 2개의 접근 방식을 설정하였다. 첫째는 염류 스트레스를 양적으로 제어하기 위한 개선책으로서 종래의 기비시용을 액비로 식물이 필요로 하는 양을 소량씩 공급하는 관비재배기술의 실용화를 촉진하기 위하여 필요한 토양 질산태질소의 현장 간이진단기술 개발이고, 둘째 토양 베드재배에 의한 연작장애 극복기술 개발을 목적으로 연구를 수행하였다.

1.2. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서는 채소류 연작장애 및 영양스트레스 경감기술 개발을 주 연구 내용으로 한다. 먼저 연작장애 실태파악은 설문조사와 토양 화학성분 분석에 의한 시설채소 재배지의 연작장애 발생 실태와 토양화학성을 조사 분석한다. 토양 질산태질소의 현장 간이진단기술 개발은 토양용액채취법 및 토양용액 중 질산태질소 실시간 간이진단 기술들을 비교 분석하여 최적 진단기술을 고안하고, 개발한 간이진단법을 영농 현장에서 실용화 할 수 있는 작물별 진단기준을 설정하여 제시한다. 토양베드재배에 의한 연작장애 극복 기술 개발연구는 국내 시설재배지의 최대 문제점인 염류장애문제를 해결하는 방안으로서 토양베드를 이용한 격리재배기술의 이용 체계를 확립하기 위하여 적정 토양베드의 설계, 작물별 이용효과 등을 구명 한다.

1.3. 연구개발 결과

1.3.1. 연작장해 실태 조사

가. 연구수행방법

우리나라의 채소 생산은 경지 면적이 협소하고 경영규모가 영세한 실정에도 불구하고 수익성이 높은 작목의 시장점유율 확보를 위하여 특정작목의 전업화 및 단지화가 심화되고 있으며 이에 따라서 연작이 늘어나고 있는 실정이다. 또한 채소 소비량의 증가와 년중 수요의 확대로 채소 생산에서 시설이 점유하는 비율이 매년 증가하여 2002년도 시설면적은 48,535 ha 에 달하여 1990년도의 23,698 ha에 비하여 약 2배나 증가하였다. 최근에는 시설의 대형화, 난방기, 다층피복 등 시설 내부의 고정 장치가 늘어남에 따라 고정화 시설이 늘어나고 있다. 이러한 결과는 동일한 장소에서 연작을 강행하게 되어 연작장해로 인한 작물 생산성의 악화가 우려되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 시설채소 재배지의 실정에 맞는 연작장해 대책기술을 개발하기 위한 선행 연구과제로서 시설채소 재배지의 연작장해 실태를 조사하였다. 전국 규모의 주요채소류 연작장해 실태를 파악하기 위하여 붙임1과 같은 설문서를 작성하여 작물별 주산단지별로 농가를 방문하여 설문조사를 실시하였다.

설문조사결과는 작물별 연작장해에 따른 수량감소정도, 연작에 의한 수량감소원인, 연작지에서 주로 발생하는 병해충 및 생리장해 유형 및 현재사용하고 있는 연작장해 대책기술의 적용실태 등을 조사 분석하였다.

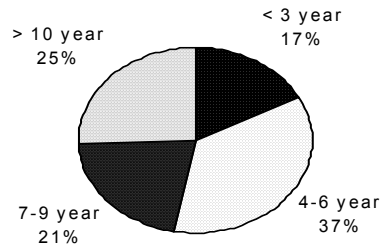
시설 채소 연작지의 토양화학성 변동 상황을 조사하기 위하여, 설문조사 농가를 포함한 전국 주요 시설채소 재배지의 토양 603점을 채취하여 pH, EC, 유기물, 유효인산, 치환성 염기, 질산태질소 등을 분석하였다.

토양분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH meter(Orion 720 A⁺)로 측정하였고, 유기물은 Trurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘은 1N Ammonium acetate로 침출하여 ICP(Inductively Coupled Plasma, GBC Integra XM2)로 분석하였다.

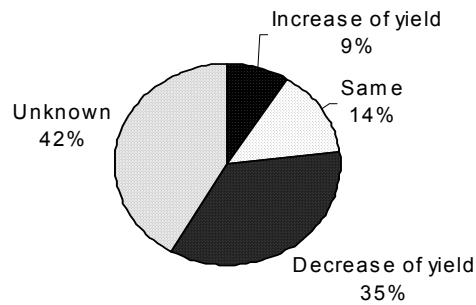
질산태 질소는 2M-KCl로 침출하여 BUCHI-339를 이용하여 분석 하였으며, 전기전도도는 토양 : 증류수를 1 : 5로 하여 침출한 토양용액의 비전도도를 측정하여 표시하였다.

나. 연구결과

주요채소류의 연작장해 실태를 파악하기 위하여 2000년 8월부터 2001년 4월까지 전국 채소재배단지 농가에 현지 방문하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사 내용은 붙임1과 같다. 조사 작물은 참외, 수박, 오이, 토마토, 고추, 배추, 상추 등 7개 작물이었으며 조사지역은 부여 등 17개 지역에서 실시하였다. 현장 방문 설문조사 농가수는 302농가이었으며 토양 화학성 분석을 위한 시료수는 603점이었다. 시설재배 년수별 하우스 분포비율은 총 302농가 중에서 10년 이상 연작이 25%, 7~9년이 21%, 4~6년이 37%, 3년 이하가 17%의 분포비율을 보였으며, 7년 이상이 46%를 점하고 있었다.

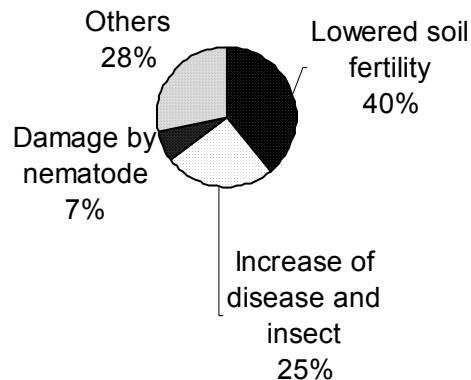


<Fig. 2-1> % distribution of cropping year of plastic film house



<Fig. 1-2> The present crop productivity compared to that of 5 years ago.

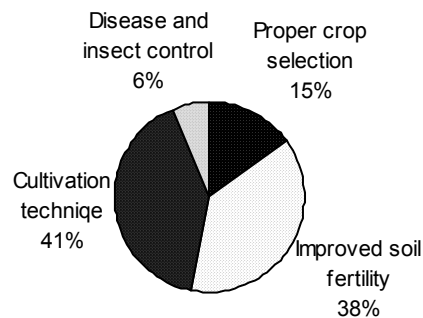
과거 5년 전과 현재의 수량을 비교하여 그 변동 여부를 묻는 질문에 응답한 결과를 보면, 무응답이 42%로 가장 많았고 수량이 감소되었다가 35%, 변동 없음이 14%이었으나 수량이 증가되었다고 느끼는 응답자는 9%에 지나지 않았다<그림 1-3>. 연작에 의한 작물수량 변동은 여러 가지 원인이 복합적으로 관여하여 나타나는 결과이므로 이를 정확하게 판정하기는 어려우나 응답자의 대부분은 연작으로 인하여 수량이 감소되는 것으로 느끼고 있었으며, 연작에 의한 수량 감소의 원인은 지력 감퇴가 총 응답자의 57%로 가장 많았고, 병해충 피해가 35%이었으며, 그밖에 선충 피해 발생이 8%이었다<그림 1-4>.



<Fig. 1-4> Causes of yield decrease.

농촌진흥청에서 1980년에 실시한 연작장해 피해 원인에 대한 설문 조사 결과를 보면, 병에 의한 피해가 70%로 가장 많았고, 다음은 토양의 이화학성 불량으로 20%, 선충 피해 및 기타가 10% 정도로 나타났으며, 일본의 야채시험장 조사 자료에 의하면 연작장해 발생원인별 비율은 병해 65%, 유사병해 6%, 충해 6%, 생리장해 5%, 토양화학성 불량 9%, 토양물리성 불량 5%, 기지(忌地)현상 1%, 원인불명 2%로 되어 있어 연작장해는 주로 병해에 기인되고 있음을 알 수 있는데 이들 병의 대부분이 토양전염성 병해에 원인이 있는 것으로 알려져 있다. 본연구의 조사결과와는 차이가 있었는데 이는 과거에 비하여 시설의 고정화가 증가 되었고 다수확을 위한 화학비료 사용량의 증가와 가축분 발효퇴비의 과다한 사용으로 인한 토양 화학성의 악화가 증가되었기

때문으로 생각된다. 채소의 연작장해는 전반적으로 볼 때 토양물리성과 화학성 악화에서 유래된 장해는 병해에 비해 적지만, 토양환경의 악화는 병해 발생을 유발시키는 경우가 많다. 예를 들면 과잉염류 등에 의한 뿌리의 활성저하는 양분흡수량을 억제시켜서 작물이 토양병원균에 감염되기 쉬워서 병해 발생을 조장한다고 지적하였다(Nakano, 2002). 따라서 토양환경의 건전화가 채소의 지속적 생산에 있어서 중요 기술적 과제이다.



<Fig. 1-5> Cause of yield increase.

수량이 증가된 요인은 재배기술향상이 41%, 지력증진이 38%, 작물선택이 15% 그리고 병해충발생이 적었다고 응답한 것이 6%이었다<그림 1-5>. 재배기술의 향상은 시설환경조절 시스템의 개발보급과 점적관수시설의 보급 확대 등으로 인한 기술향상으로 생각되며, 지력증진은 화학비료 및 유기질 비료의 사용으로 인한 수량증대를 그 요인으로 들 수 있다.

지력이 나빠진 원인은 무응답이 36%로 가장 많았으며 화학비료과다사용에 의한 토양염류 장해가 26%, 볏짚 등 질류 유기물의 사용 감소가 11%, 가축분퇴비 사용량이 많다가 13%, 미량원소 등 양분결핍이 10% 및 토양배수 불량에 4%로 나타났다<표 1-1>. 지력 감퇴의 원인은 화학비료 및 가축분 발효퇴비의 과다한 사용이라고 생각하는 농가가 대부분으로서, 비료 과다 사용에 의한 양분불균형 및 염류 농도 장해가 심각한 수준임을 알 수 있다.

<Table 1-1> The causes for deteriorated soil fertility

| Major causes | No of farmers | % |
|--|---------------|-----|
| Salt accumulation of soil by excess application of mineral fertilizers | 69 | 26 |
| Low input amount of plant-origin organic matter as rice straw | 29 | 11 |
| Much application of animal manure compost | 34 | 13 |
| Nutrient deficiency by insufficiency minor elements | 28 | 10 |
| Poor drainage of soil | 12 | 4 |
| Others or unknown | 95 | 36 |
| Total | 267 | 100 |

<Table 1-2> Major injuries occurred in continuous cropping sites of horticultural crops

| Crops | Physiological disorders | Damage by disease | Damage by insect |
|-----------------|-----------------------------|---|--------------------------|
| Melon | Fermented fruit | Downy mildew, Anthracnose, Powdery mildew | Nematode, Mite, Thrip |
| Water melon | Wilting symptom | Black rot(Gummy stem rot), Bacterial spot | Nematode, Mite |
| Cucumber | Chlorosis in lower leaves | Downy mildew, Fusarium wilt, Powdery mildew | Whitefly, Nematode, Mite |
| Tomato | Blossom-end rot | Fusarium wilt, Phytophthora blight | Nematode, Whitefly |
| Pepper | Disorder by lime deficiency | Phytophthora blight Anthracnose | Thrip |
| Chinese cabbage | - | - | Armyworm, Snail & Slug |
| Lettuce | Disorder by excess salt | Downy mildew Sclerotinia rot | Nematode, Thrip |

연작지에서 문제가 되는 생리장애 및 병해충의 발생유형을 보면<표 1-2>, 모든 작물에 공통적으로 문제가 되는 병해충으로서는 노균병, 역병, 선충 등이 었으며 작물별로 문제가 되는 생리장애 및 병해충 발생유형은 참외의 경우 발효과와 선충피해, 수박은 시들음증상, 만고병, 선충, 오이는 마그네슘결핍 등 염류장애와 노균병, 토마토는 배꼽썩이와 시들음증상, 고추는 석회결핍증과 역병이 었으며 배추, 상추에서는 토양염

류장해와 노균병이 가장 심각한 문제였다. 토마토의 풋마름병과 시들음병은 시설내의 온도가 높은 6월부터 9월 사이에 많이 발생하고, 잎마름역병과 균핵병은 밤과 낮의 기온교차가 큰 3~5월, 9~11월에 많이 발생이 많다. 또 박과 작물의 수박, 오이, 멜론, 참외에서 최근에 가장 발생이 심한 것은 급성시들음증상과 덩굴쪼김병 피해였다. 급성시들음 증상은 최근에 급격히 증가하였다. 접목 재배한 포장에서 주로 발생하고 있는데 수박에서 발생이 가장 심하고 다음이 참외였으며 오이접목 재배지에서도 급성시들음 증상이 발생하였다. 발생시기는 주로 2월부터 9월 사이였고, 여름철 고온기에 재배되는 작형에서 피해가 가장 컸다. 그 원인은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만 토양악화에 따른 뿌리의 활력이 떨어져 나타나는 생리장해와 병원균에 의한 복합장해로 추정하고 있다. 멜론이나 수박, 오이, 참외를 접목하지 않고 재배하는 지역에서는 덩굴쪼김병이 많았다.

<Table 1-3> Practice method of farmers to avoid continuous cropping injuries

| Methods | No of farmers | % |
|--|---------------|-------|
| ○ Soil nutrient-considering fertilization | 45 | 6.8 |
| ○ Amendment of rice straw | 108 | 16.2 |
| ○ Deeper plowing | 99 | 14.9 |
| ○ Drainage improvement | 50 | 7.5 |
| ○ Waterlogging and irrigation for salt removal | 61 | 9.2 |
| ○ Nutrient injection and foliar spraying | 105 | 15.7 |
| ○ Crop rotation to rice | 19 | 2.8 |
| ○ Crop rotation and field migration | 29 | 4.4 |
| ○ Disease and insect control | 92 | 13.8 |
| ○ Soil sterilization using solar heat | 29 | 4.3 |
| ○ Soil sterilization using pesticides | 22 | 3.3 |
| ○ Others | 7 | 1.1 |
| ○ Total | 666 | 100.0 |

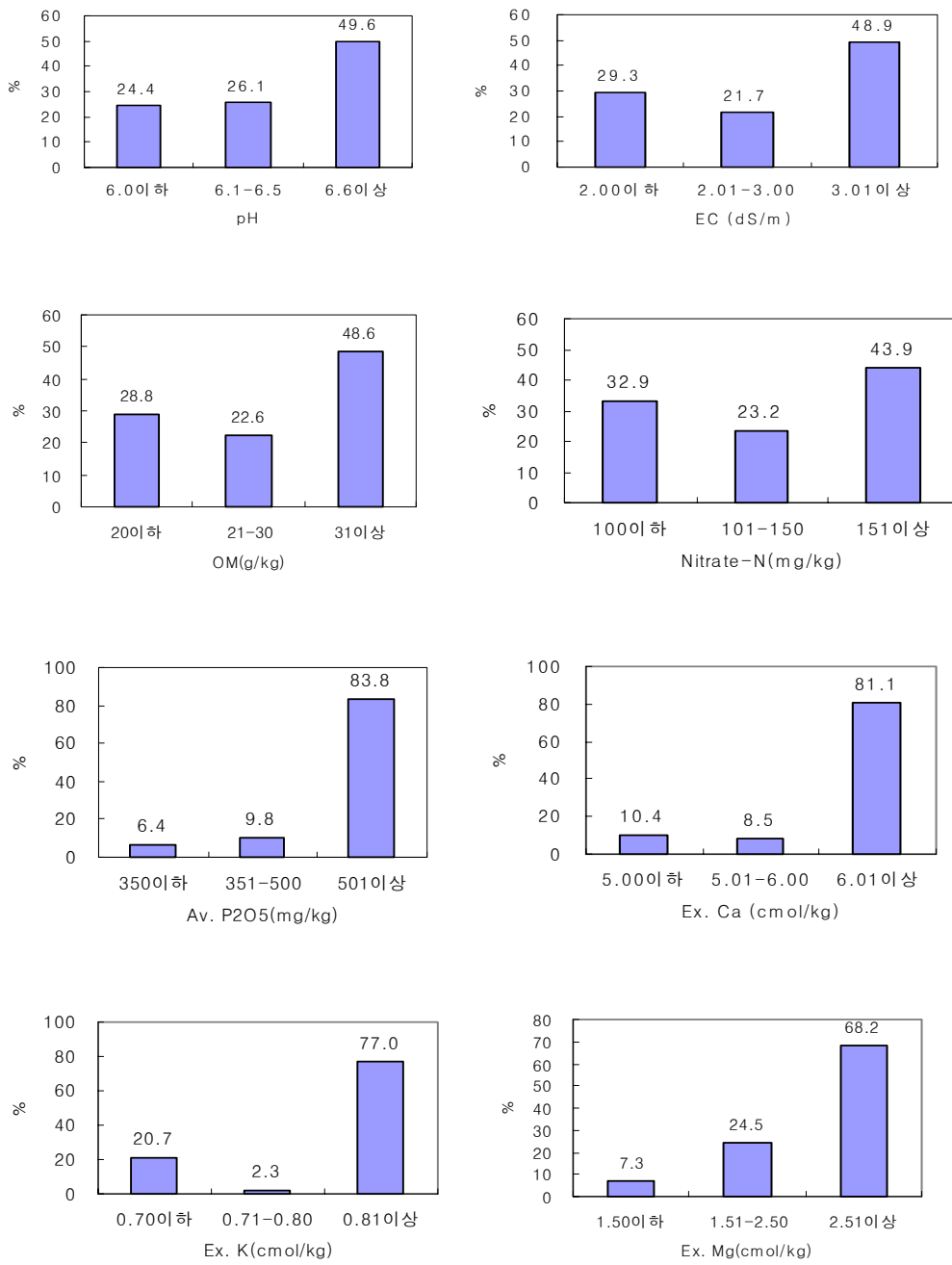
연작장해 극복을 위하여 농가현장에서 투입되고 있는 대처기술을 조사한 결과<표 1-3>, 생볏짚 및 볏짚퇴비 시용이 총 응답자의 16.2%로 가장 많았고 그 다음이 영양제 관주 및 엽면시비, 깊이갈이, 병해충방제, 염류제거를 위한 담수 및 관수처리, 토층 개량 및 배수증진, 토양검정시비, 돌려짓기(포장이동) 및 태양열 토양소독 등의 순이었다. 토양 염류과다집적 경감을 위한 염류제거에 대한 기술들이 주로 활용되고 있는 것으로 나타났다. 영양제 관주 및 엽면시비 농가가 예상외로 많은 것으로 나타났는데

이는 다양한 영양제의 종류가 시판되고 그 효능도 다양하게 선전되고 있어서 이들의 사용이 증가되고 있는 것으로 보인다. 그러나 연작지에서 생리장해 경감을 위한 이들 영양제의 이용에 대해서는 앞으로 많은 검토연구가 되어야 할 것으로 생각된다.

<Table 1-4> Soil properties for some horticultural cropping sites

| Crops | pH (1:5) | OM (gkg ⁻¹) | Av.P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹) | Ex. cations(cmo&kg ⁻¹) | | | EC (dSm ⁻¹) | No of farmers | Location |
|--------------------|-------------|----------------------------|---|------------------------------------|------|------|----------------------------|------------------|---------------------------------------|
| | | | | K | Ca | Mg | | | |
| Melon | 6.45 | 23.5 | 679 | 1.18 | 8.86 | 3.24 | 3.42 | 36 | S u n g j u , Uiryung, Jangsung |
| Water melon | 6.23 | 30.0 | 760 | 1.24 | 7.10 | 2.09 | 2.76 | 89 | Haman, Jinju, Youngam |
| Cucumber | 6.19 | 50.0 | 1021 | 2.28 | 7.96 | 2.94 | 2.54 | 183 | Gurye, Jinju, Gwangyang |
| Tomato | 6.46 | 33.3 | 832 | 1.68 | 9.63 | 3.66 | 4.02 | 92 | B u y e o , Gangjin, Damyang |
| Pepper | 6.27 | 27.3 | 984 | 1.23 | 7.21 | 2.34 | 2.53 | 86 | M i l y a n g , Youngam, Haman |
| Chinese cabbage | 6.22 | 37.2 | 589 | 1.15 | 6.63 | 2.33 | 2.21 | 54 | G u r i , Siheung, Pusan |
| Lettuce | 6.06 | 39.5 | 769 | 1.07 | 8.08 | 2.54 | 2.53 | 63 | Guri, Yangju, Siheung |
| Average | 6.27 | 34.4 | 805 | 1.41 | 7.92 | 2.73 | 2.85 | 603 | |

시설채소 연작지의 토양화학성을 파악하기 위하여 주산단지별, 연작 년수별로 603 점의 토양시료를 채취, 수집하여 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 염기, 전기전도도 등을 분석한 결과<표1-4>, 전 조사토양의 평균 화학성분 함량은 pH 6.27, 유기물 34.4 g kg⁻¹ 유효인산 805 mg kg⁻¹, 치환성 칼리, 석회 및 마그네슘은 각각 1.41, 7.92, 2.73 cmol⁺kg⁻¹이었으며 전기전도도는 2.85 dS m⁻¹이었다. 유효인산, 치환성 염기 및 전기 전도도가 채소류 재배지 토양의 적정양분함량보다 높은 편이었으며 작물별 전기전도도는 토마토 4.02 dS m⁻¹로 가장 높았고 그 다음이 참외, 수박, 오이, 상추, 배추의 순이었다. 이러한 결과는 Jung 등(1998)이 조사 보고한 우리나라 시설재배지 표토의 화학성분 함량과 비슷한 결과를 보였으나 pH와 치환성 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량은 본 조사에서 약간 높아졌고 대신 유효인산 함량은 낮아지는 경향을 보였다. 이는 충북, 경남지역에서 조사한 성적과 비슷한 경향을 보였다(Lee 등, 1987 ; Kang 등, 1997).



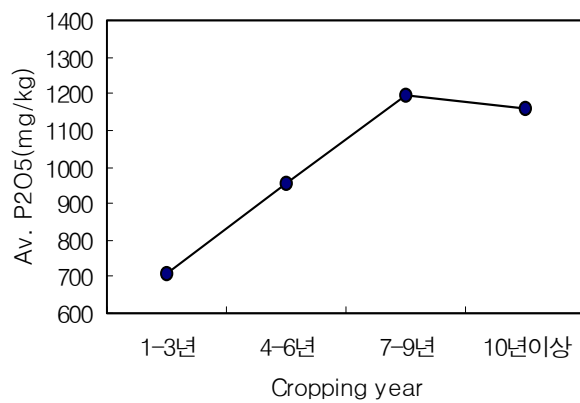
<Fig. 1-5> % distribution of chemical properties for vegetable house soil.

작물별로는 과채류재배지에서 보면 토마토는 pH, 전기전도도, 치환성 석회 및 마그네슘함량이, 오이재배지는 유기물, 유효인산 및 치환성 칼리 함량이 다른 과채류재배지보다 각각 높았으며, 엽채류 재배지에서 살펴보면 배추 재배지에 비하여 상추재배지에서 유기물, 유효인산함량, 치환성 석회 및 마그네슘, 전기전도도가 높은 것으로 나타났다.

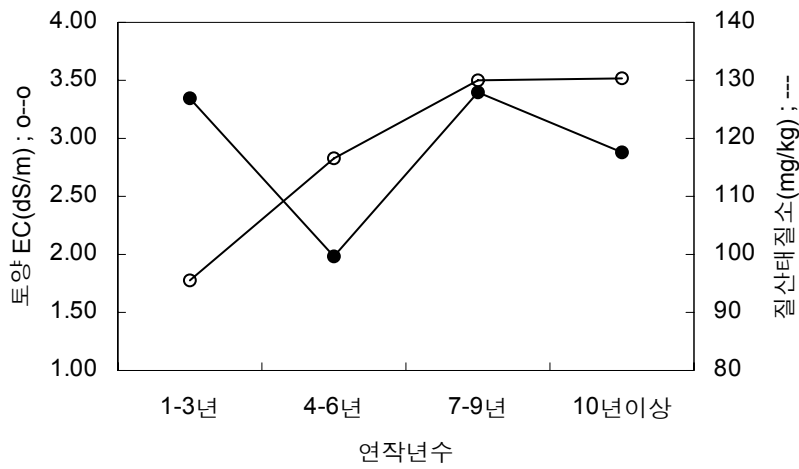
시설 채소재배지의 토양화학성분의 수준별 분포 비율을 보면 <그림 1-4>에서와 같다. pH의 분포비율은 채소재배에 적정 pH 범위로 알려져 있는 pH 6.0~6.5 범위는 전체 조사 시료 중 26.1 %에 지나지 않았으며, pH 6.6 이상이 49.6% 이었고, pH 6.0 이하가 24.6% 로서 시설채소재배지의 토양 pH는 알칼리성 쪽으로 나타나고 있었다. 이러한 결과는 석회질 비료의 사용이 과다하고 또 석회함량이 높은 돈분발효퇴비의 과다한 사용이 원인이라고 생각된다. 토양 유기물 함량은 31 g kg^{-1} 이상이 48.6% 로 가장 많고 20 g kg^{-1} 이하가 28.8% 이었으며, $21 \sim 30 \text{ g kg}^{-1}$ 이 22.6%를 차지하였다. 토양 유효인산 함량은 적정범위인 $350 \sim 500 \text{ mg kg}^{-1}$ 이 9.8% 에 지나지 않고 501 mg kg^{-1} 이상이 83.8% 로 대부분 토양이 유효인산 함량이 과다하게 집적되어 있었다. 시설토양에서 유효인산의 과다한 집적은 채소재배에서 석회나 붕소 및 철 등의 양분 결핍증상을 초래하여 작물 생육을 불량하게 하고 수량을 저하시키는 원인이 되며 과잉의 인산은 수계 유입될 경우 부영양화의 원인이 될 수도 있다. 토양 유효인산의 과다한 집적은 역시 가축 분 발효퇴비의 과다한 사용과 복합비료의 사용이 그 주 요인이라고 할 수 있다. 치환성 석회함량은 적정범위인 $5.01 \sim 6.00 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 의 범위가 겨우 8.5% 이었으며 81.1% 가 과다한 실정이었다. 치환성 칼리도 적정범위를 초과하는 $0.81 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 이상이 77.0% 이었으며 치환성 마그네슘도 적정범위를 초과하는 $2.51 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 이상이 68.2%를 나타내고 있었다. 토양 중 질산태질소 함량은 100 mg kg^{-1} 이하가 32.9%, $101 \sim 150 \text{ mg kg}^{-1}$ 이 23.2%이었으나 150 mg kg^{-1} 이 43.9%로서 조사지역의 절반 정도가 질산태 질소 과다 집적으로 나타났다.

토양염류 농도를 나타내는 EC(전기전도도)는 3.01 dS m^{-1} 이상이 48.9%를 나타내어 우리나라 시설채소 재배지의 약 절반가량이 작물생육에 불리한 염농도를 나타내고 있었다. 이상의 결과에서 보는 바와 같이 우리나라 시설채소 재배지의 토양은 질소, 인산 및 칼리 함량이 채소류 생육에 필요한 적정범위를 훨씬 상회하고 있는 실정이다. 이들 비료 양분의 토양 과다 집적은 화학비료와 가축 분 퇴비의 과잉 사용이 주요인이라고 할 수 있다. 시설 재배지에 염류가 많이 집적되는 원인으로는 다비재배, 강우차단 등의 특수 환경과 시설원에 작물은 수확후기 까지 토양 중에 어느 정도 양

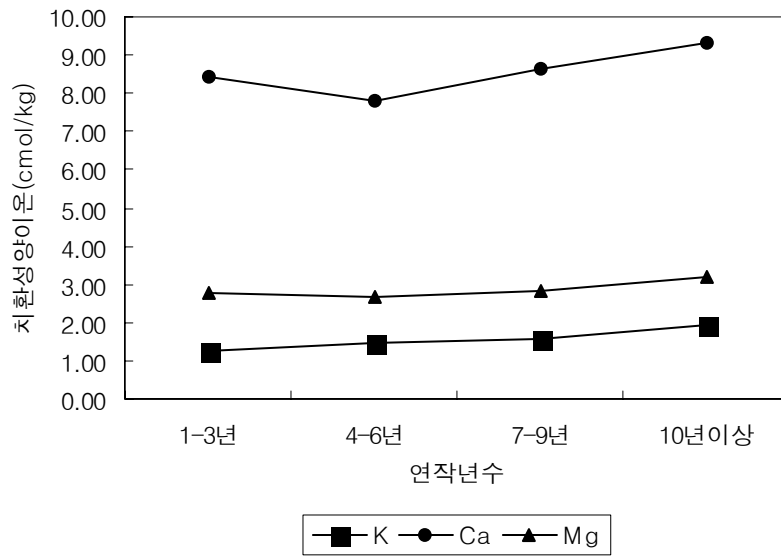
분이 필요한 경우가 많기 때문에 생산자는 시비량을 줄이면 수량과 품질이 떨어지는 것을 경계하여 적정량 이상으로 비료를 시용 하는 경향이 강하다. 한편 시설에서는 빗물에 의한 양분의 용탈이 없고 노지에서 오는 반대로 하층의 양분이 물의 이동과 함께 표층으로 집적되기 때문에 질소, 인산, 칼리 및 염기류가 작토에 축적하게 된다. Jung 등(1998)의 우리나라 시설재배지의 토양 화학성을 조사한 결과에서도 토양의 염류농도가 작물생육에 적당한 2.0 dS m^{-1} 이상을 나타내는 시설재배지가 61.2%나 되어 염류장애에 의한 수량 및 품질 저하가 심각한 실정이라고 하였다. 질소, 인산 및 칼리의 과잉 축적은 뿌리와 근권 토양과의 침투압의 차이를 축소시켜서 흡수력이 저하되고, 과잉양분자체에 의한 장애와 과잉양분에 의한 특정 양분의 흡수장애를 일으켜서 작물에 다양한 결핍증상을 나타낸다. 六本木와 加藤(2000)은 시설채소에서 자주 나타나는 염류장애 증상으로서, 질소과잉에 의한 EC상승과 흡수력 저하를 일으켜서 발생하는 석회결핍을 유발하고 토양 pH상승으로 철, 망간, 붕소 등 미량원소의 결핍이 발생되며, 칼리와 석회의 과잉은 석회/고토 비의 상승과 고토/칼리 비 저하 등 염기 균형의 교란에 의한 고토결핍이 발생되기 쉽다고 하였고 또한 인산과잉에 의한 칼리, 고토, 철, 아연, 망간의 흡수장애를 초래 한다고 하였다. 이와 같이 최근에는 과잉양분이 문제가 되어 특정 양분간의 불균형으로 인하여 발생하는 장애가 많고 생리장애의 발생원이 복잡해지고 있다.



<Fig. 1-5> Changes of available P₂O₅. by increase of cropping year.



<Fig. 1-6> Changes of soil salt by increase of cropping year.



<Fig. 1-7> Changes of Ex. cation by increase of cropping year.

시설 채소의 연작년수와 토양 화학성의 관계를 분석해 본 결과, 연작 7~9년까지는 토양 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 염기, 전기전도도 및 질산태 질소 함량이 증가되는 경향을 보이다가 10년 이상 연작지에서는 그 증가폭이 약간 둔화되었다. 성분별로

보면 유효인산함량은 연작 7~9년 사이에서 1196 mg kg⁻¹으로서 가장 높았으며 10년 이상에서는 1158 mg kg⁻¹으로 약간 증가되는 것을 보였다. 유기물 함량도 연작 7~9년 사이에서 43.6 g kg⁻¹으로 가장 높았으며 토양전기전도도 연작 4~6년 사이에 2.82 dS m⁻¹, 7~9년 사이에 3.50 dS m⁻¹, 10년 이상이 3.51 dS m⁻¹로서 연작 3년째부터 벌써 토양의 염류농도가 작물생육 저해농도인 2.0 dS m⁻¹를 초과하는 현상을 보이고 있었다.

<Table 1-5> Average chemical properties of soil according to cropping year

| Cropping year | No. of farmer | pH (1:5) | OM (gkg ⁻¹) | Av. P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹) | Ex. Cation (cmol ⁺ kg ⁻¹) | | | EC (dSm ⁻¹) | NO ₃ ⁻ -N (mgkg ⁻¹) |
|---------------|---------------|----------|-------------------------|---|--|------|------|-------------------------|---|
| | | | | | K | Ca | Mg | | |
| 1-3 | 61 | 5.95 | 35.31 | 708 | 1.24 | 8.45 | 2.75 | 1.78 | 127.0 |
| 4-6 | 127 | 6.01 | 37.12 | 953 | 1.46 | 7.82 | 2.66 | 2.82 | 99.6 |
| 7-9 | 76 | 6.23 | 43.60 | 1196 | 1.59 | 8.66 | 2.84 | 3.50 | 128.0 |
| 10 < | 90 | 6.33 | 38.79 | 1158 | 1.93 | 9.33 | 3.21 | 3.51 | 117.6 |

이상의 조사 결과를 보면, 우리나라 시설 채소 재배지의 경작년수별 하우스 분포 비율은 총 302농가 중 10년 이상이 25%, 7~9년이 21%, 4~6년이 37%, 3년 이하가 17%로서 시설하우스 재배 7년 이상이 46%를 점하고 있었다. 시설 재배의 작물 생산성은 점차 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 작물 생산성이 저하되는 요인은 연작으로 인한 지력감퇴가 57%로 가장 많았으며 지력감퇴의 원인은 화학비료 및 가축 분뇨발효퇴비의 과다한 사용이라고 생각하는 농가가 대부분이었다. 시설 채소 재배지의 토양화학성은 PH 6.27 유기물 34.4 g kg⁻¹, 유효인산 805 mg kg⁻¹, 치환성 칼리, 석회, 마그네슘이 각각 1.41, 7.92, 2.7 mg kg⁻¹ 이었으며 전기 전도도는 2.85 dS m⁻¹ 이었다. 토양화학성분의 수준별 분포 비율을 보면 질산태 질소 함량은 채소류 재배에 적당한 토양중 적정양분 함량범위를 초과하는 토양이 50%이상 이었으며 토양 염류농도를 나타내는 EC는 적정범위인 EC 2.0 ~ 3.00 ds m⁻¹ 이상을 나타내는 토양이 48.9%로써 우리나라 시설채소 재배지 토양의 약 절반가량이 채소 생육에 장애를 일으키는 염농도를 나타내고 있었다. 시설채소 토양에서 양분부하가 현저하게 높은 성분은 인산과 질산태 질소 이었으며 이들 성분의 과다집적은 채소류에 발생하는 각종 영양장애의 원인이 되며 작물이 흡수하고 남은 과잉 성분이 경작지 외부로 유출될 경우에는

지하수나 하천오염의 원인이 될 가능성도 있다.

시설채소의 연작장해는 전반적으로 볼 때 토양 물리성과 화학성에 유래된 장해는 병해에 비해 낮지만 토양환경의 악화가 병해 발생을 유발시키는 경우가 많다. 예를 들면 과잉염류 등에 의한 뿌리의 활성저하는 양분흡수량을 억제시켜서 작물이 토양병원균에 감염되기 쉬워서 병해 발생을 조장한다고 볼 수가 있다. 따라서 토양환경의 건전화가 채소의 지속적 생산에 있어서 중요한 기술적 과제이다. 한편 토양화학성의 악화는 환경문제와도 밀접한 관련이 있다. 농업이 식량 생산 이외의 역할은 '환경보전 기능의 중요성'이 인식되고 그 효과에 관한 경제적 시산되고 있으나, 그러나 농업생산이 환경오염의 원인이 되는 경우도 있다. 그 첫째는 비료에 의한 수자원의 오염이 있다. 최근 일본 환경청은 질산태질소 및 아질산태 질소, 불소, 붕소 등의 성분을 수질오탁법의 환경기준 항목에 추가했다. 지금까지 24개 항목 중 비료에 함유된 성분은 없었으나 비료 성분이 추가된 것은 금후, 농업에 대해서도 구체적으로 규제할 전망이라고 하였다(Nakano, 2002).

따라서 앞으로는 토양중 유효인산과 질산태 질소의 함량을 작물 생육에 적합한 수준으로 유지하고 경작지 외부로의 유출을 방지 할 수 있는 친환경 토양관리기술 개발에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

<붙임-1>

연작장해 실태조사 설문서

이 설문조사는 채소생산 현장에서 문제가 되고 있는 연작장해에 대한 정확한 실태를 파악하여 연작장해 대책 기술을 개발하기 위하여 실시하는 것입니다. 따라서 귀하의 협조는 연작장해 경감을 위한 대책기술 개발 연구에 크게 보탬이 될 것입니다. 귀하의 응답지는 본 연구이외의 목적에는 일체 사용되지 않을 것이며 비밀을 지켜드릴 것을 약속합니다.

2000년 월 일

원 예 연구 소 원 예 환 경 과 임재현 올림
전화 : 031-290-6280, e-mail : jhim@nhri.go.kr

| | | | |
|-------|--|------|--|
| 성 명 | | 전화번호 | |
| 주 소 | | | |
| 포장지번 | | | |
| 재배작물명 | | 재배면적 | |

1. 현재 재배하고있는 작물의 재배년수를 기입하여 주십시오: _____
2. 현재 재배하고 있는 시설의 형태는?
 ① 유리온실() ② 경질판온실() ③비닐하우스()
 ④ 노지() ⑤ 기타 : _____
3. 같은 포장에서 지난 10년 동안 재배한 주요작물을 기입하여 주십시오

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| | | | | | | | | | |

4. 같은 포장에서 1년 동안에 몇가지 작물을 돌려짓기를 하는 경우 작물명을 순서대로 기입하여 주십시오

| 작 기 | 작 물 명 | 재 배 기 간 |
|-----|-------|---------|
| 1 작 | | 월 ~ 월 |
| 2 작 | | 월 ~ 월 |
| 3 작 | | 월 ~ 월 |

5. 현재 재배하고 있는 주요작물 3종에 대하여 처음 재배시의 수량, 최고수량 및 최근 수량을 기입하여 주십시오

| 작물명 | 첫해수량 (kg/10a) | 최고수량 (kg/10a) | 최근수량 (kg/10a) | 수량이 변화되는 이유는 무엇입니까? |
|-----|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

6. 과거 5년 전과 현재의 작황을 비교해서 표시해주십시오

- ① 수량이 증가했다()
- ② 수량의 변동이 없다()
- ③ 수량이 감소되었다()

7. 수량이 증가된 이유는?

- ① 작물선택이 좋았다()
- ② 지력이 증진되었기 때문이다()
- ③ 재배기술이 향상되어서이다()
- ④ 병해충의 발생이 적었다()
- ⑤ 기타 : _____

8. 수량이 감소된 이유는?

- ① 지력이 떨어졌다()
- ② 병해충 피해가 증가했다()
- ③ 선충 피해가 증가했다()
- ④ 기타 : _____

9. 지력이 나빠졌다면 그 이유는?

- ① 화학비료 과다사용으로 토양 염류집적이 심하다()
- ② 볏짚퇴비와 같은 질류의 유기물 사용량이 적다()
- ③ 가축분퇴비의 사용량이 많다()

④ 미량원소 부족에 의한 양분결핍 증상이 많다()

⑤ 토양 배수가 매우 불량하다()

⑥ 기타 : _____

10. 병해충 피해 중에서 가장 많이 발생하고 피해가 심한 병해충명 3가지를 적어 주십시오, 병명을 알 수 없을 경우에는 그 증상을 적어 주십시오.

[병 해충 명] ① _____

② _____

③ _____

[증상] ① _____

② _____

③ _____

11. 귀하의 포장이 연작으로 인하여 정상적인 작물재배가 어렵다면 이를 극복하기 위하여 어떠한 조치를 하였습니다습니까? 해당되는 것은 모두 ○ 표를 하여 주십시오.

① 적어도 1년에 한번이상은 농업기술센터로 부터 토양검정에 의한 시비처방서를 받아서 시비관리를 하고있다()

② 짚류가 많은 양질의 퇴비를 사용하여 토양유기물함량을 늘린다()

③ 깊이 갈이를 하여 토심을 깊게 한다()

④ 토층을 개량하여 토양 배수를 좋게한다()

⑤ 토양에 과도한 염류를 제거하기 위하여 관수나 물테기를 한다()

⑥ 영양제를 관주 하거나 엽면살포 한다()

⑦ 2~3년 마다 벼를 재배한다()

⑧ 다른 작물로 돌려짓기를 하거나 포장을 옮긴다()

⑨ 병충해 방제를 철저히 한다()

⑩ 태양열 토양소독을 한다()

⑪ 농약으로 토양소독을 한다()

⑫ 아무런 조치를 하지 않는다()

⑬ 기타 : _____

바쁘신 가운데에도 설문조사에 응해 주심을 진심으로 감사 드립니다.

1.3. 2. 토양 질산태질소 실시간 진단기술 개발

많은 연구를 통해서도 여전히 시설재배지에서의 토양염류집적 문제를 해결하지 못하는 가장 큰 원인은 무기질 비료의 낮은 비료 이용율에 있다. 즉 시용한 비료중 작물에 이용되고 남은 양분은 토양내에 지속적으로 축적되므로 연작연수의 증가는 곧 토양내 염류증가로 이어지기 때문이다. 이러한 관점에서 관비재배는 시설재배지내 토양 염류집적 현상을 완화하기 위한 최선의 대안이 될 것이다. 관비재배는 작물의 양분흡수 특성과 생육단계에 따라 합리적이고 효과적인 시비가 가능하여 양분축적에 따른 생육장해 및 연작장해를 회피할 수 있을 뿐 아니라, 고품질 생산과 균일 규격의 작물 생산이 가능하기 때문이다(Hartz and Hochmuth 1996). 그러나 관비재배를 통한 건전한 토양관리의 성공 여부는 재배시스템(하드웨어)의 개발과 양분의 공급시기를 결정하기 위한 다양한 진단기술(소프트웨어)간의 조화로운 발전에 달려 있다. 특히, 작물의 생육단계에 따라 양분공급 시기를 결정하기 위한 신속한 진단기술은 매우 중요하며, 농민과 같은 비전문가도 현장에서 실시간으로 신속하고 편리하게 토양과 작물의 양분상태를 확인할 수 있어야 할 뿐 아니라 측정값에 대한 재현성과 신뢰성 또한 높아야 한다. 관비재배를 보다 정밀하게 실현하기 위한 이 같은 시비관리 방안들은 주로 질산태 질소 또는 암모니아태 질소와 같은 무기태 질소에 관심이 모아지고 있다. 무기태 질소는 작물의 생산성 뿐 아니라 토양의 염류집적 및 수자원 오염과 밀접한 상관성이 있기 때문이다(Hong and Park, 2000). 이러한 간이진단기술이 실용화되기 위해서는 현장에서 편리하게 적용할 수 있는 식물체나 혹은 토양 중 질산태 질소 추출방법의 표준화가 필요하고, 시비량과 시비시기를 결정하기 위한 토양과 작물 중 적정 질산태 질소 농도 기준이 설정되어야만 한다.

농가현장에서 토양질산태 질소를 간이적으로 추출하는 방법으로는 생토용적침출법 또는 porous cup을 이용한 토양용액 침출법 등이 알려져 있고, 식물체의 간이진단은 즙액이 많은 엽병이나 줄기를 착즙하여 그 추출액을 이용한다. 이렇게 추출된 토양이나 식물체중 무기태 질소들은 compact ion meter, NO₃ ion meter, NO₃ reflectometer 등을 이용하여 영농현장에서 간단한 절차에 따라 비교적 정밀한 수준에서 확인이 가능한 것으로 알려져 있다(홍 등, 2001; Hartz 1994; Roppongi, 1998; Roppongi와 Yamazaki, 1998).

본 연구는 시설 채소재배 현장에서 질산태 질소를 간이적으로 측정하여 실시간으로 토양용액 및 작물양분을 진단함으로써 시비시기를 결정할 수 있도록 하기 위하여 토양용액 및 식물체중 질산태 질소의 실시간 간이진단 기술을 개발하고, 개발된 진단

기술을 이용한 작물별 질산태질소 간이진단기준을 설정하기 위하여 실시하였다.

가. 토양용액 침출법 및 질산태질소 실시간 진단키트 선발

1) 시험방법

일반적으로 토양양분진단을 위해서는 채취한 시료를 실험실로 옮겨 토양을 풍건하여 2mm 체로 거른 후 분석에 사용하고, 엽의 양분진단을 위해서는 식물체를 건조 후 분쇄하여 각각의 양분을 측정하고 있다. 그러나 이러한 과정들은 일반 농가현장에서 이용이 어려울 만큼 번거롭고 시간이 오래 걸리며 또한 양분분석을 위해서는 작동이 복잡한 고가 장비가 요구되는 단점이 있었다. 따라서 본 연구는 정밀한 관비재배 실행을 목표로 농가 현장에서 비전문가가 쉽게 이용 가능한 간단한 양분진단 기술을 개발하고자 실시하였다.

본 연구에서는 토양 중 질산태질소의 정량을 위한 토양용액 추출법으로서 생토중량법(2M KCl 침출법), 생토용적침출법 및 porous cup을 이용한 토양용액 채취법을 비교하였다. 여기서 생토중량법(生土重量法)은 기존의 실험실 측정방법으로서 2M KCl 용액으로 질산태질소를 침출한 다음 켈달증류장치를 사용하여 정량하였으며(농업과학기술원, 2000), 생토용적침출법(生土容積浸出法)은 林勇 (1978)의 방법에 따라 용기에 우선 100 ml의 증류수를 넣은 다음, 증류수가 담긴 용기에 현장에서 채취한 토양시료를 150 ml 높이까지 가한 후 용기의 마개를 봉하고 10분 간격으로 각각 1분씩 2회 손으로 흔든 다음 여과하여 여과액 중 질산태질소를 켈달증류법으로 정량하는 순서로 실시하였다. 토양용액 침출법을 비교하기 위하여 사용된 12 농가 토양의 입자비중($g\ cc^{-1}$)과 수분함량(%)의 평균값은 각각 2.36 ± 0.11 과 19.8 ± 2.7 이었다. 이때 토양과 물의 추출비율은 중량비로서 0.863 ± 0.074 이었으며, 생토용적추출법에 의해 측정된 질산이온함량은 중량환산 없이 측정된 값을 그대로 사용하였다. porous cup에 의한 토양용액 채취법은 Roppongi(1998)의 방법에 따라 관수 실시 1일후 점적호스로부터 10 cm 떨어진 거리의 토심 15cm 깊이에 porous cup을 설치하여 주기적으로 채취하였다. 침출한 토양용액의 질산태 질소함량은 켈달증류법으로 분석하였다.

토양 중 질산태질소의 측정 장비별 정밀도를 비교하기 위하여 실험실 정밀 측정방법으로서 IC법을 기준으로 하여 질산이온메타, compact ion meter법, reflectometer (RQflex)를 이용한 test strip법 등과 비교하였다. 질산태질소 측정방법간 상관성을 조사하기 위하여 $25\sim 400\text{mgkg}^{-1}$ 범위의 질산태질소를 함유하는 20개 이상의 토양을 생토용적침출법으로 추출후 그 여액 중 질산태질소 함량은 이온크로마토그래피(IC, Dionex model DX-500)법을 이용한 측정값을 대조로 하여 질산이온메타(SPAD

NOS-120형), compact ion meter(C-141 model), 휴대용reflectometer (RQflex, Merck Co.)를 이용한test strip법 등과 비교분석하였다.

2) 연구결과

12개의 시설오이재배 토양을 사용하여 생토중량법(2M KCl 침출법), 생토용적침출법, porous cup을 이용한 토양용액 중의 질산태질소 함량을 각각 비교 한 결과는 그림 2-1, 2-2 및 2-3과 같다. 2M KCl 추출법과 생토용적침출법간 1차 회귀식의 결정계수는 0.936으로서 높은 상관성을 보였다(그림 2-1). 그러나 두 추출방법간 slope가 0.74로서 생토용적침출법에 의한 질산태 질소함량은 2M KCl 침출법에 비하여 낮게 평가되었다. 이는 용적추출 측정값에 토양시료의 중량환산이 고려되지 않았고, 토양에 대한 증류수의 추출비율이 낮기 때문으로 생각되었다. 즉, 토양과 증류수의 중량추출 비율인 0.863을 고려하여 계산할 경우 그 slope값은 0.74에서 0.86으로 증가하나 이러한 slope는 여전히 1보다 낮은 값이다. 또한 NO_3^- 이온이 비흡착성 이온으로서 추출용액의 비율이 증가할수록 용액중 NO_3^- 이온의 침출량이 증가하기 때문이며 (Rowell, 1994; Lee 등, 2000), 생토용적침출법의 경우 토양과 증류수의 추출비율은 1:1.16(w/v) 이지만 2M KCl 침출법의 경우는 그 비율이 1:5(w/v)로서 생토용적침출법에 비하여 현저히 높다. 더욱이 생토용적침출법은 질산이온을 증류수로 침출하는 반면, 2M KCl 용액의 Cl^- 이온은 토양 입자중 NO_3^- 이온을 치환시킴으로서 질산이온의 침출을 용이하게 한다.

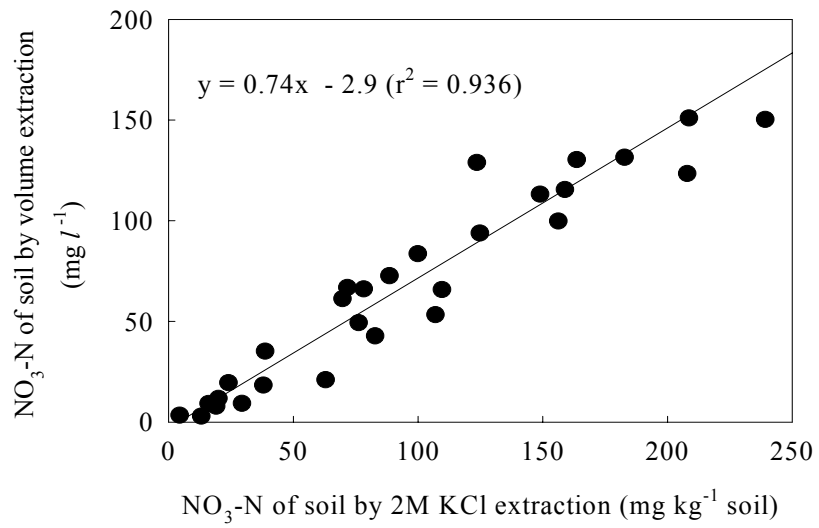


Fig.2-1. Correlation between NO₃-N concentration of soil by volume extraction and by 2M KCl extraction of fresh soil as measured with a Kjeldahl distillation method .

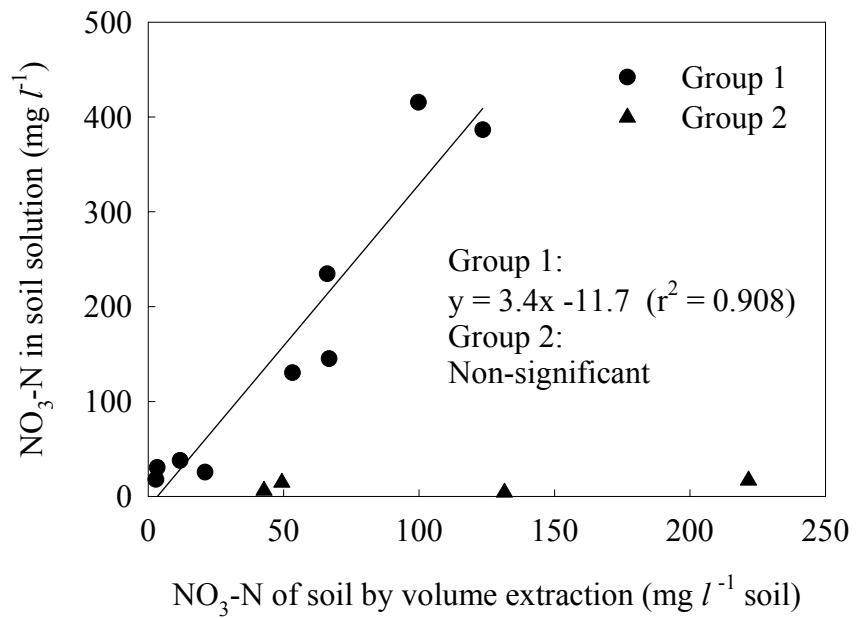


Fig.2-2. Correlation between NO₃-N concentration in soil solution by porous cup and by volume extraction of fresh soil as measured with a Kjeldahl distillation method.

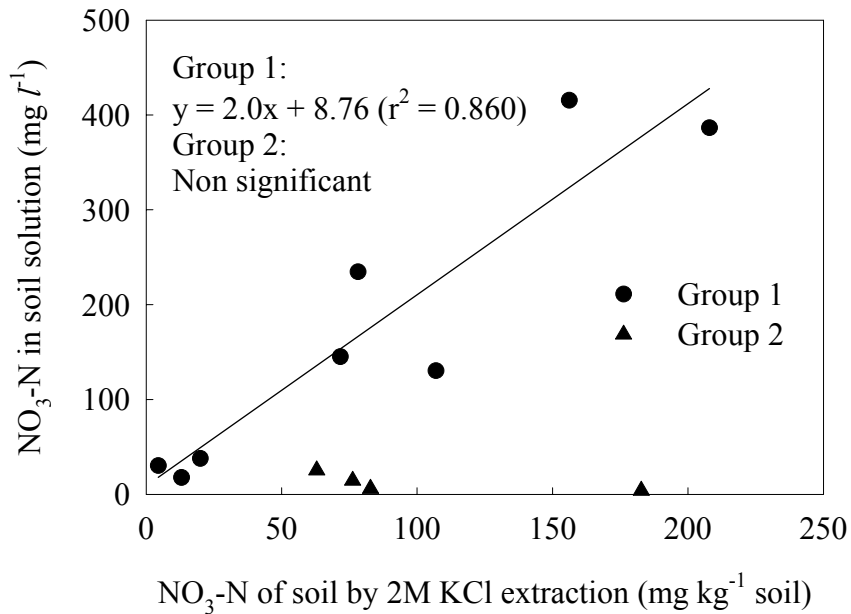


Fig.2-3. Correlation between NO₃-N concentration in soil solution by porous cup and by 2M KCl extraction of dry soil as measured with a Kjeldahl distillation method.

porous cup을 이용한 토양용액채취법에 의한 토양용액 중 질산이온함량은 각각 생토용적침출법(그림 2-2), 2M KCl 침출법(그림 2-3)에 의한 분석값과 비교되었다. 그림 2-2와 2-3에서 group 1은 관수 후 1일 또는 2일 경과 후 porous cup으로 채취한 토양용액이며, group 2는 관수당시 또는 관수후 몇 시간이 경과되지 않은 토양에서 채취한 토양용액의 질산이온함량이다. Group 1 토양에서 porous cup 추출용액과 생토용적침출법에 의한 질산이온농도간 결정계수는 0.908이었고, porous cup 추출용액과 2M KCl 침출법에 의한 질산이온농도간 결정계수는 0.860으로서 비교적 높은 유의성을 나타내었다. 반면에 관수 후 시간이 얼마 되지 않은 group 2 토양에서의 생토용적 침출법 경우 질산이온함량이 50~220 mg kg⁻¹ 범위이었고, 2M KCl 침출법의 경우 질산이온 농도는 60~180 mg kg⁻¹ 범위였으나 토양용액채취법에 의한 질산이온농도는 20 mg l⁻¹ 미만을 나타내 토양용액채취법은 관수후 경과시간에 크게 의존적인 것으로 나타났다.

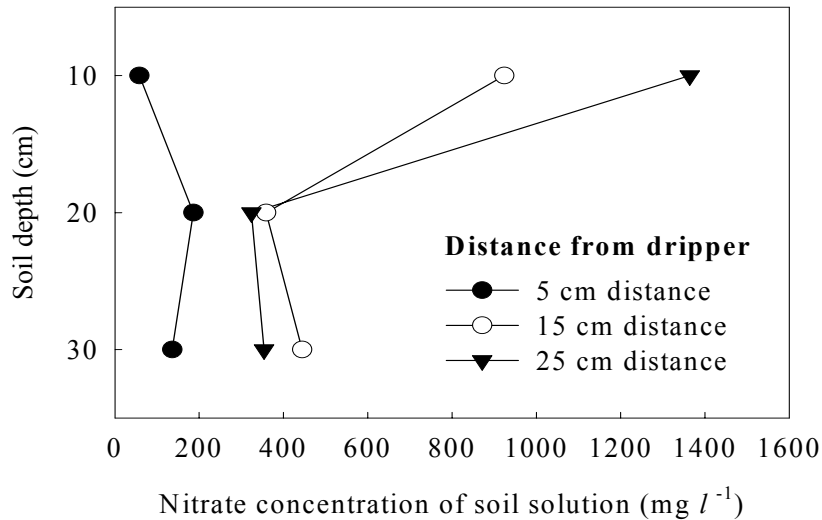


Fig.2-4. Nitrate concentration of soil solution collected by porous cup in different soil depth, and in different distance from dripper.

더욱이 porous cup을 이용하여 점적거리와 토양깊이에 따라 토양용액을 채취하여 질산이온을 분석한 결과, 토양층위별 질산이온농도는 점적호스로부터의 거리가 멀수록 급격하게 증가하였다(그림 2-4). 이는 토양중 질산이온의 이동성이 매우 높아 관수시 물과 동반하여 물이 이동하는 선단에 질산이온이 집적되었기 때문이다. 또한 20 cm 토양깊이에서는 점적거리별 질산이온의 농도차가 10 cm 토양깊이에 비하여 현저하게 감소하였고, 30 cm 토양깊이에서는 질산이온의 용탈작용으로 20 cm 토양깊이에서의 질산이온보다 다소 높은 경향이였다. 결과적으로 토양용액채취기를 이용한 질산이온 분석법은 관수시 토양내 물의 분포에 따라 질산이온의 공간적 분포가 매우 변동적 이어서 간이진단법으로 활용하기에는 정밀도가 떨어지는 것으로 판단되었다. 반면에 생토용적추출법은 그 추출조작이 간편할 뿐 아니라 2M KCl 침출법에 의한 토양중 질산함량과 높은 상관성을 보여 토양 양분관리를 위한 간이기술로서 유망하였다.

토양 중 질산태질소의 측정 장비별 정밀도를 비교하기 위하여 실험실 정밀 측정방법으로서 IC법을 기준으로 하여 질산이온메타, compact ion meter법, reflectometer (RQflex)를 이용한 test strip법 등과 비교하였다. 질산태질소 측정 방법간 상관성을 조사하기 위하여 25~400 mg kg⁻¹ 범위의 질산태질소를 함유하는 20개 이상의 토양을 생토용적침출법으로 추출후 그 여액 중 질산태질소 함량은 이온크로마토그래피(IC,

Dionex model DX-500)법을 이용한 측정값을 대조로 하여 질산이온메타(SPAD NOS-120형), compact ion meter(C-141 model), 휴대용 reflectometer (RQflex, Merck Co.)를 이용한 test strip법 등과 분석 비교한 결과는 표 2-1과 같다.

Table 2-1. Equation and determination coefficient between some methods (x) and ion chromatography method (y) for nitrate analysis

| NO ₃ measurement tools | Equation | Determination coefficient (r ²) |
|-------------------------------------|------------------|---|
| Kjeldahl distillation | y = 1.06x + 4.2 | 0.961 |
| NO ₃ selective electrode | y = 1.19x - 33.9 | 0.900 |
| Compact ion meter | y = 1.56x - 17.8 | 0.918 |
| Test strip with RQflex | y = 1.13x - 3.1 | 0.996 |

IC 측정법과 가장 밀접한 상관성을 가지는 측정방법은 reflectometer를 이용한 test strip법이었고, 그 결정계수가 0.996으로서 고도의 상관성을 보였다. 이는 많은 연구자들(Hong and Park, 2000; Bishoff 등, 1996; Holden과 Scholefield, 1995; Hartz, 1994)의 보고와 일치하는 결과로서, reflectometer를 이용한 test strip법이 토양중 질산태질소를 비교적 정확하게 측정할 수 있음을 의미한다. 더욱이 Hong and Park(2000)은 질산태질소 분석도구들간의 측정 소요시간을 비교한 결과 test strip법의 경우 20개의 분석시료를 측정하는데 소요되는 시간이 불과 50분으로서 그 신속성과 편리성이 다른 분석방법들과 비교하여 매우 뛰어날 뿐 아니라 반복분석간 표준편차와 변이계수는 Kjeldahl법보다 낮아 측정값에 대한 정밀도 또한 높다고 하였다. 유사한 결과로서 IC 측정값과 켈달 측정값 사이에서 얻어진 1차 회귀식의 slope와 절편은 IC 측정값과 test strip법 사이에서 얻어진 결과와 현저한 차이가 없었던 반면, 1차 회귀식에 대한 각각의 결정계수는 켈달법의 0.961과 비교하여 test strip법이 0.996으로서 test strip법이 실제 분석값에 보다 근접하는 정확성을 보였다.

나. 토양 질산태질소 실시간 간이진단법의 실용성검정 시험

1) 시험방법

개발 한 토양질산태질소 실시간 간이진단법의 실용성을 검정하기 위하여, 토양 질산태질소 함량을 다양한 수준으로 조절한 하우스 토양과 포트에서 오이 재배기간 중 토양용액 및 오이 엽병 즙액 중의 질산태 질소 함량을 비교 분석 하였다.

시험에 사용된 오이품종은 은성 백다다기이며, 3월 중순에 파종하여 묘상에서 3주간 치상후 4월 상순에 정식하였다. 시험에 사용된 토양 특성은 표 2-2와 같다.

Table 2-2. Chemical properties of experimental soils for plastic film house and pot

cultivation

| Soils | pH (1:5) | EC (dS m ⁻¹) | NH ₄ -N NO ₃ -N | | Ava. P (mg kg ⁻¹) | OM (g kg ⁻¹) | Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹) | | | |
|---------|-------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----|----------------------------------|-----------------------------|--|-----|-----|-----|
| | | | (mg kg ⁻¹) | | | | K | Ca | Mg | Na |
| House-1 | 6.9 | 4.5 | 49 | 100 | 375 | 35 | 2.0 | 7.9 | 4.3 | 0.9 |
| House-2 | 7.0 | 2.3 | 42 | 52 | 234 | 23 | 1.5 | 5.8 | 3.5 | 0.6 |
| Pot | 7.6 | 0.4 | 33 | 5 | 43 | 5 | 1.2 | 5.0 | 3.5 | 0.2 |

* 'House-1' is surface soil, 0~20 cm soil depth, and 'House-2' is subsoil, 20~40 cm soil depth.

하우스 재배시험은 토양 내 질소함량을 다양한 수준으로 조절하기 위하여 표토 10 cm 객토처리구(질소 무시용구) 및 50, 200, 400, 800 kg ha⁻¹ 비율의 질소를 처리하였으며, 질소 처리량 중 50%는 정식 전 기비로서 20 cm 작토층과 충분히 혼합하였고, 나머지 50%의 질소는 5월말과 6월말에 각각 25%씩 추비로 사용하였다. 여기서 표토 10 cm 객토에 사용한 토양의 pH는 7.6, EC는 0.9 dS m⁻¹, NH₄-N은 15 mg kg⁻¹, NO₃-N은 10 mg kg⁻¹, P₂O₅는 630 mg kg⁻¹, OM은 2.4% 이었으며, 이러한 처리는 표 2-2에 나타난 바와 같이 시험에 사용된 토양의 염류도가 4.5 dS m⁻¹로서 다소 높은 수준이었기 때문에 염류농도가 낮은 토양처리구를 설정하기 위하여 표토를 객토하였다. 표토객토 및 기비를 처리하고 5일 경과한 후 토양채취기를 이용하여 토양깊이 0~15cm 층위의 토양시료를 구당 10개소에서 채취하여 토양중 2M KCl 침출성 질산태 질소를 분석한 결과, 표토 10 cm 객토 및 50, 200, 400, 800 kg N ha⁻¹ 비율의 질소 처리구 중 질산태질소 함량은 각각 75, 100, 135, 153, 191 mg kg⁻¹ 이었다. 기비 사용 후, 묘상에서 3주간 육묘한 오이의 육묘는 6 m² 규모의 시험구에 2줄 재배하였으며, 재배 줄간격 75 cm, 재식거리 40 cm 간격으로 구당 20주씩 정식한 후 토양표면은 흑색비닐로 멀칭 하였다. 관수는 tensiometer를 사용하여 토양수분장력 -10 kPa 수준에서 제어하였다. 오이재배는 4월 하순에서 7월 중순까지 실시하였다. 시험은 3반복 완전임의배치법으로 수행하였다.

Pot 재배는, 시험에 사용한 pot는 바닥에 배수구가 있는 1/2000a Wagner pot였으며, pot당 15 kg의 토양을 충전하였다. Pot 토양중 질소는 KNO₃와 Ca(NO₃)₂를 이용하여 0, 100, 200, 500, 1000, 2000 mg kg⁻¹ 농도가 되도록 조절하였으며, KNO₃-N과 Ca(NO₃)₂-N의 비율은 1:1로 하였다. 모든 pot의 K와 Ca 함량은 KCl과 CaCl₂를 이용하여 같은 함량의 K와 Ca가 함유되도록 조절하였으며, pot에 토양을 충전하기 전에 토양과 비료는 수작업으로 충분히 혼합하였다. 재배기간 중 pot의 온도변화가 극심하

지 않도록 pot는 비닐하우스내 토양에 묻었다. 오이는 5월 상순에 pot 당 1주씩 정식하였고, 관수는 -10 kPa 수준에서 제어하였다. 시험은 5반복 완전임의배치법으로 수행하였으며, pot내 오이의 재배관리는 하우스 시험과 동일한 방법으로 실시하였다. 재배기간중 관수에 따른 용탈로 시험전 0, 100, 200, 500, 1000, 2000 mg kg⁻¹ 농도로 조절된 pot 토양 중 질산태질소 함량은 수확 후 각각 43, 67, 128, 257, 437 mg kg⁻¹ 수준으로 감소하였다.

하우스재배기간 중 토양 중 질산태질소는 porous cup을 이용한 토양용액채취법(20 cm 토양깊이)과 생토용적침출법으로 각각 추출하였고, 토양용액채취법은 관수후 1일이 경과한 다음 실시하였다. 오이 엽병 즙액 중 질산태질소 분석을 위하여 6월 중순 각 처리구의 오이 5주를 선발하여 엽 위치별 엽병을 압착기로 착즙하였으며, 토양 및 엽병 즙액 중 질산태질소 함량은 휴대용 reflectometer (RQflex, Merck Co.)를 이용한 test strip법으로 측정하였다. 하우스 및 pot 재배동안 오이 수량, 과실수, 상품율 등을 조사하였다.

시험에 사용된 토양 pH는 1:5법, EC는 포화용액침출법, 유기물 함량 Walkely-Black법, 인산은 Bray-1법, NH₄-N 및 NO₃-N은 2M KCl 침출후 켈달 증류법으로 측정하였고, 치환성양이온함량은 1N NH₄OAc용액 침출후 ICP-AES로 정량하였다 (NIAST, 2000).

2) 연구결과

토양 내 질산이온함량을 기준으로 한 관비 재배시 양분제어의 가능성을 검토하기 위하여 토양 내 질소수준이 서로 다른 하우스환경 하에서 오이의 재배 기간동안 토양용액채취법과 생토용적침출법에 의한 토양중 질산이온농도는 주기적으로 monitoring 하였고, 엽병중 질산이온농도는 엽병 위치별로 분석하였으며, 토양과 식물체중 질산이온 농도들은 오이의 최종 수량과 관련하여 2차 회귀식으로 plotting 하였다. 그러한 간이진단기술의 가능성 검토 후 몇 가지 주요 원예작물들에 대한 토양 내 질산태질소 진단기준을 설정하였다.

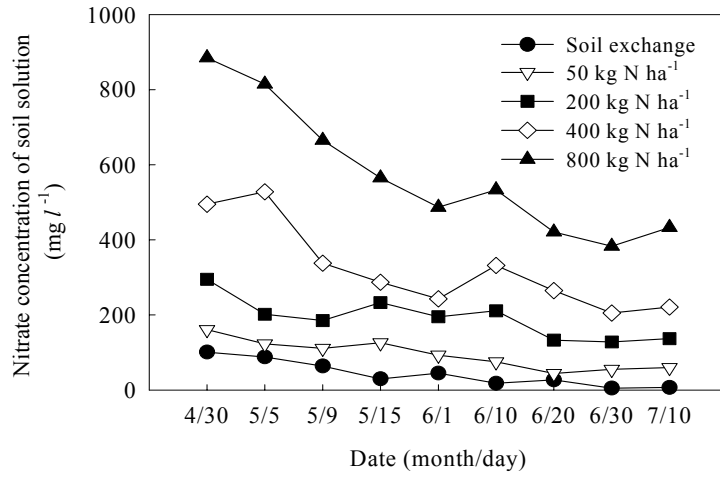


Fig.2-5. Change of nitrate concentration in soil solution by the level of nitrogen application.

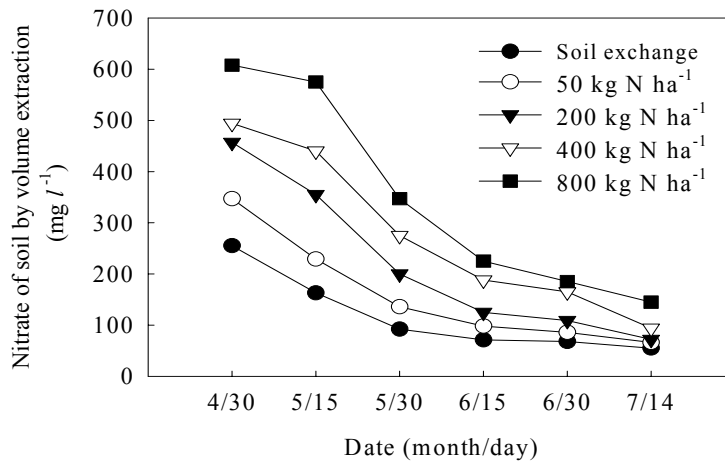


Fig.2-6. Change of nitrate concentration as measured by a volume extraction of fresh soil in different nitrogen application levels.

질산이온의 간이검정에 의한 시설 오이의 건전한 시비관리를 위하여 토양용액채취 법과 생토용적침출법에 의해 추출한 질산이온은 test strip법으로 측정하였다. 토양중 질산이온은 재배초기에 관수의 영향으로 급격히 감소하였고, 재배기간이 지속될수록 그 감소 폭은 적어지는 경향이있다(그림 2-5와 2-6). 토양중 질소수준이 증가할수록 엽병즙액중 질산이온농도는 증가하는 경향이있으나, 엽병즙액중 질산이온농도는 같은

질소수준 처리구내에서도 엽 위치에 따라 현저한 차이를 보였다(그림 2-7). 엽위치 6번 이상의 상위 엽과 18번 이하의 하위 엽중 엽병즙액의 질산농도는 토양내 질소수준에 비 의존적인 반면, 엽 위치 7~16번 사이의 엽병 즙액 중 질산이온농도는 대체로 토양 내 질소수준에 의존적인 변화를 나타내었다. 그러나 엽 위치 7~10번 사이의 엽병 중 질산농도는 엽 위치에 따라 급격한 변화를 보여 이 위치의 엽병즙액들은 양분간이진단 시료로 이용하기가 곤란하였다. 결과적으로 엽병즙액을 이용한 양분간이진단을 위한 엽 위치는 11~16번 사이의 엽병시료를 대상으로 하는 것이 적절하다고 판단되었다.

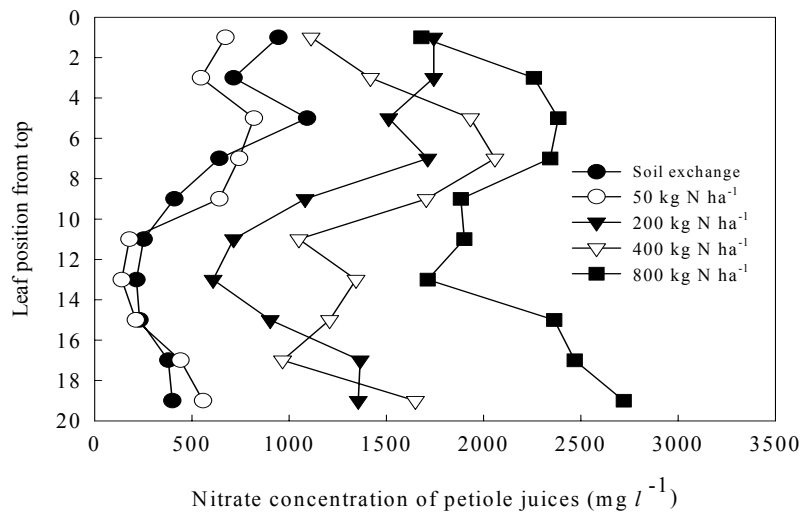


Fig.2-7. Nitrate concentration of petiole juices collected at the different leaf position of cucumber grown in greenhouse.

Table 2-3. Yield and fruit characteristics of cucumber by different rates of nitrogen application under greenhouse cultivation

| Treatment | Fruit weight (f.w. g fruit ⁻¹) | Fruit No. (10 ³ No. ha ⁻¹) | % of marketable fruit | Yield of fruit (f.w. ton ha ⁻¹) |
|----------------------------|--|---|-----------------------|---|
| Soil exchange ^a | 176 | 487 a | 82.0 | 85.6 a |
| 50 kg N ha ⁻¹ | 174 | 533 ab | 83.1 | 92.6 ab |
| 200 kg N ha ⁻¹ | 173 | 561 ab | 85.8 | 96.4 ab |
| 400 kg N ha ⁻¹ | 180 | 604 b | 83.4 | 108.6 b |
| 800 kg N ha ⁻¹ | 172 | 588 b | 82.7 | 101.2 b |

a: The surface soil of soil exchange treatment was displaced with low salt-containing soil.

* DMRT for the number and the yield of cucumber fruit were statistically analysed by SAS.

토양내 질소 처리량의 증가로 오이의 수량은 점차로 증가하여 ha당 400 kg 질소를 시비시 최대 수량을 나타냈으며, ha당 800 kg을 사용한 처리구에서는 감소하였다(표 2-3). 토양내 질소수준에 따른 오이의 개당 과중은 현저한 차이가 없었고, 수확한 오이의 상품율은 표준시비 처리량인 ha당 200 kg 질소시비시 가장 높았다.

질소처리 수준별 오이 수량은 토양용액채취법, 생토용적침출법, 그리고 엽병즙액중 질산이온농도와 관련하여 plotting하였다. 토양용액채취법(그림2-8)과 생토용적침출법(그림2-9)으로 추출한 질산농도는 재배기간동안 주기적으로 분석한 평균농도를 기준으로 하였고, 엽병즙액(그림 10)중 질산농도는 11~16번 사이에서 측정된 값의 평균을 취하였다. 토양용액채취법에 의한 질산이온농도와 수량간 2차 회귀식은 고도의 유의성이 인정되었으며, 토양용액중 400 mg l⁻¹의 질산이온농도 수준에서 최대수량을 보였다(그림2-8).

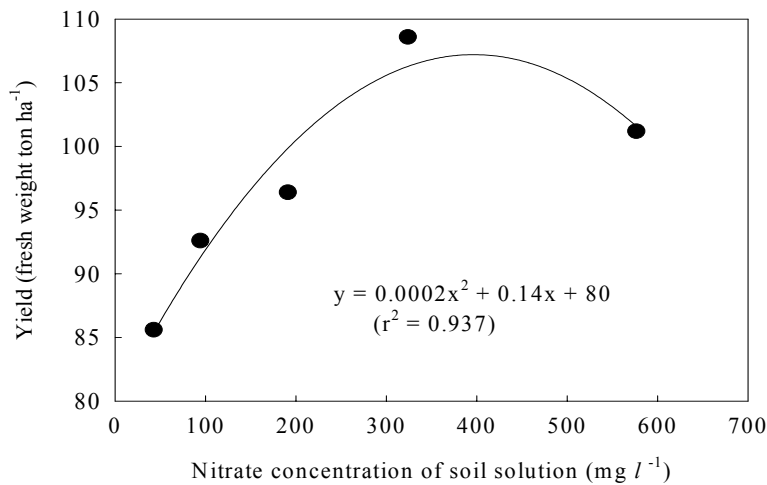


Fig.2-8. Relationship of fruit yield and nitrate concentration of soil solution collected by porous cup.

이는 Roppongi(1998)가 기술한 오이재배 토양용액중 질산이온 간이진단기준치인 400~800 mg l⁻¹ 범위의 하한선에 해당하는 결과이다. 생토용적침출법에 의한 질산이온농도의 경우는 300 mg l⁻¹ 수준에서 최대수량을 나타내었으며(그림 2-9), 이러한 결과는 Hayashi(1990)가 제안한 장미재배토양의 생토용적추출법의 질산농도 목표치인

220~660 mg l^{-1} 범위에 속한다. 7월경 본엽 11~16번 사이에서 채취한 엽병즙액중 질산이온농도는 1400 mg l^{-1} 수준에서 최대수량을 보였다(그림 2-10). 이는 본엽 14~16번에 위치한 엽병즙액의 6월 하순 진단기준치인 500~1500 mg l^{-1} 수준과 유사한 결과(Roppongi, 1998)이다. 작물의 양분흡수는 계절에 크게 의존적이며, 고온기인 여름으로 갈수록 그 흡수량이 감소하기 때문에 본 엽병즙액 진단기준을 오이재배 전 기간에 적용하기는 곤란할 것으로 판단되었다. 그러나 하절기 엽병즙액의 진단기준이 본 결과와 유사하였던 Roppongi(1998)의 보고를 고려할 때 4월 상순과 5월~6월의 진단기준인 3500~5000과 900~1800 mg l^{-1} 질산농도 기준을 국내 오이재배에 적용하여도 무방할 것으로 판단되었다.

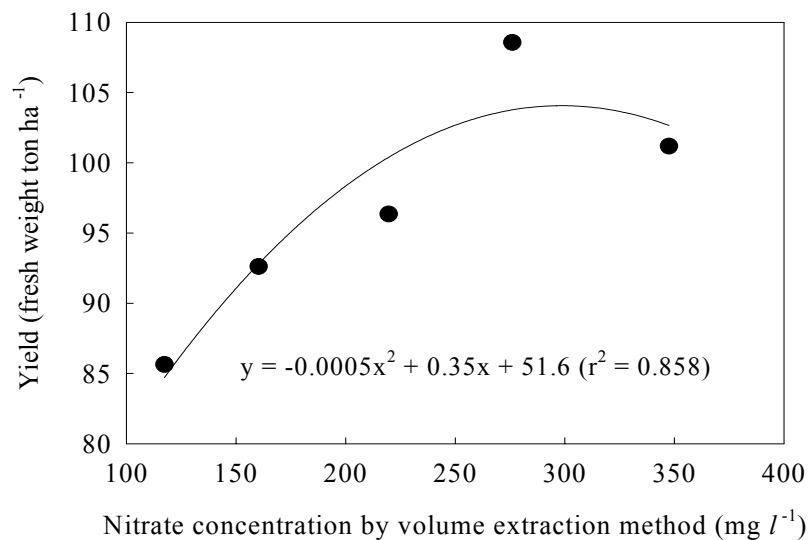


Fig.2-9. Relationship of fruit yield and nitrate concentration of fresh soil using a volume extraction method.

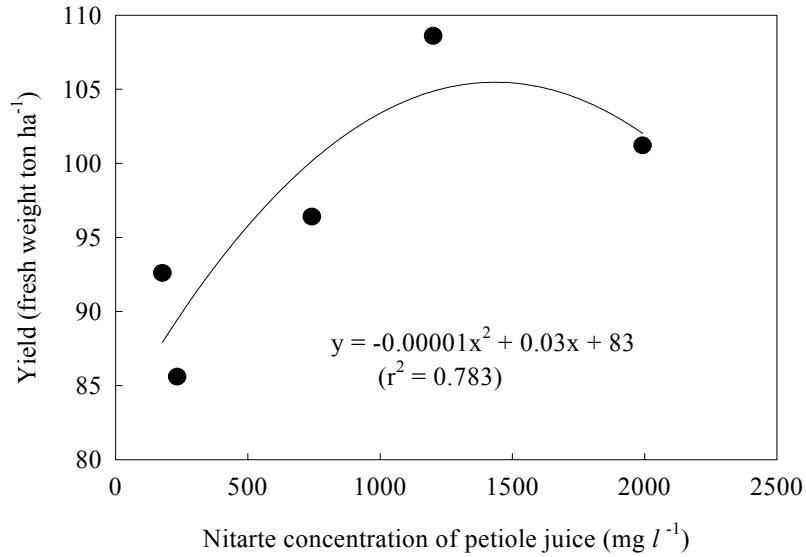


Fig.2-10. Relationship of fruit yield and nitrate concentration of petiole juice.

Pot 재배시험의 결과, 과실의 개당 중량은 토양중 질소 100 mg l⁻¹ 수준에서 가장 높은 결과를 보였으나, 주당 과실수, 상품율 및 수량은 200 mg l⁻¹ 토양 질소수준에서 가장 높아 오이재배를 위한 토양질소 수준은 100~200 mg l⁻¹ 범위가 적절한 것으로 판단되었다(표 2-4).

Table 2-4. Yield and fruit characteristics of cucumber grown in pot soil containing different nitrogen levels

| Treatment | Fruit weight (f.w. g fruit ⁻¹) | Fruit No. (No. plant ⁻¹) | % of marketable fruit | Yield of fruit (f.w. kg plant ⁻¹) |
|----------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------|---|
| 0 mg N kg ⁻¹ | 180 | 9.3 a | 76.4 | 1.79 a |
| 100 mg N kg ⁻¹ | 199 | 11.3 ab | 78.5 | 2.03 ab |
| 200 mg N kg ⁻¹ | 174 | 15.7 b | 80.8 | 2.70 b |
| 500 mg N kg ⁻¹ | 183 | 14.3 b | 79.5 | 2.54 b |
| 1000 mg N kg ⁻¹ | 177 | 14.0 b | 77.4 | 2.46 b |
| 2000 mg N kg ⁻¹ | 156 | 9.0 a | 72.5 | 1.46 a |

* DMRT for the number and the yield of cucumber fruit were statistically analysed by SAS.

질소수준이 낮은 토양조건하에서 엽병중 질산농도는 상위엽에서 높고, 토양중 질소수준이 높은 경우에는 하위 엽병중 질산농도가 증가하는 경향이였다(그림 2-11). 토양내 질소수준 500 mg l^{-1} 이상에서는 토양내 질소수준의 증가로 엽병 즙액 중 질산이온 농도가 증가하는 경향을 보였으나, 200 mg l^{-1} 미만에서는 토양 내 질소수준과 엽병 즙액 중 질산 이온농도간 뚜렷한 차이가 없었다. 낮은 토양질소 수준들에서 토양중 질소수준과 엽병 즙액 중 질산농도간 상관성이 낮아 11~16번째 엽병중 평균 질산농도와 오이 수량간 2차 회귀식의 결정계수는 0.585로 낮았다(그림 12). 그림 12에 나타난 바와 같이 엽병 즙액 중 질산농도 $250 \sim 2300 \text{ mg l}^{-1}$ 범위에서의 오이수량은 현저한 차이가 없어 오이수량과 엽병 즙액 간 2차 회귀식으로 부터 최고 수량을 보이는 엽병 즙액 중 질산농도는 1500 mg l^{-1} 으로 나타나 하우스재배시험 결과와 매우 유사하였다. 그럼에도 불구하고 엽병즙액진단법은 질산농도 적용범위가 매우 넓고, 오이 엽병위치에 따라 질산이온의 농도 변화가 심하고, 계절에 따른 작물의 양분 흡수량에 현저한 차이가 있을 뿐 아니라 토양중 질산농도와 엽병 즙액 중 질산 농도 간 낮은 상관성으로 인하여 간이진단을 위한 질산농도 적용범위가 넓어 관비재배를 위한 간이진단기술로 사용하기에는 토양분석을 통한 간이진단법에 비하여 그 정밀도가 낮을 것으로 사료된다.

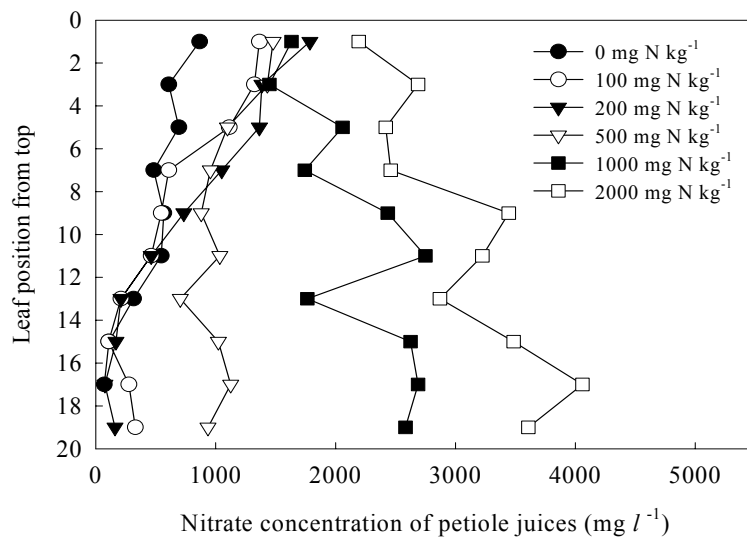


Fig.2-11. Nitrate concentration of petiole juices collected at the different leaf position of cucumber grown in pot.

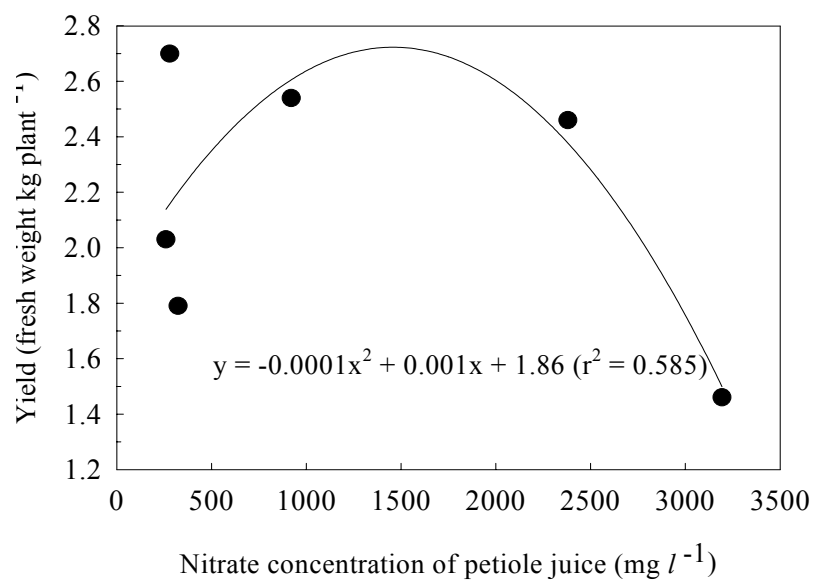


Fig.2-12. Relationship of fruit yield and nitrate concentration of petiole juice of cucumber grown in pot.

라. 작물별 토양 질산태질소 실시간 진단기준 설정

1) 연구방법

개발 한 토양질산태질소 실시간 간이진단법을 이용한 작물별 진단기준을 설정하기 위하여 토양 질산태 질소 함량을 다양한 수준으로 조절한 포트에서 토마토, 고추, 시금치, 상추, 열무 등의 5개 작물을 재배하여 작물 생장량과 실시간 간이진단법을 이용한 토양 질산태 질소 함량 간의 상관 관계를 분석 하여 작물별 실시간진단기준을 설정하였다. 오이에 대한 진단기준은 앞선 검정시험의 성적을 적용하였다.

재배기간중 토양중 질산태질소는 생토용적침출법으로 추출하였고, 토양용액 중 질산태질소 함량은 휴대용 reflectometer (RQflex, Merck Co.)를 이용한 test strip법으로 측정하였다. 2) 연구결과

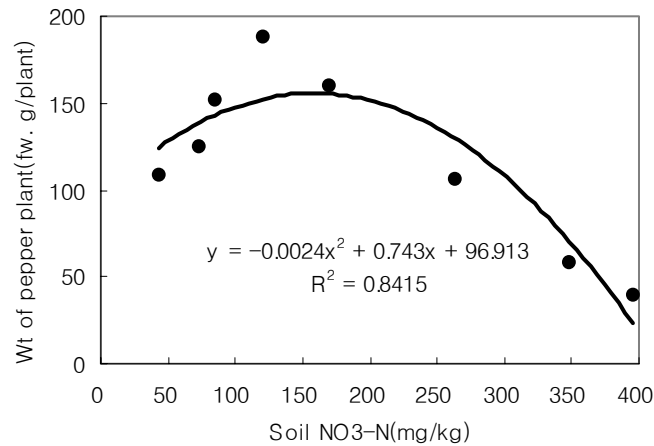
관비재배시 양분의 공급시기를 결정하기 위한 토양질산태질소 진단기준치를 설정하기 위하여, 오이를 포함하여 5종의 주요 원예작물에 대한 생토침출용액 중 질산태 질소 함량과 작물 생육량 간 관계를 조사한 결과는 <그림 2-13>~<그림 2-18>와 같다. 토양 질산태 질소 함량과 작물 생육량 간 관계는 2차 회귀식으로 작성되었으며, 토양 내 무기태 질소 함량이 적정치를 상회하는 경우에는 점차적으로 생육량이 감소하는 경향이였다. 작물별로 토양 질산태 질소 함량과 작물 생육량 간 관계를 2차 회귀식으로 작성 제시 된 결과로부터 각 작물별로 최대 생산성을 확보하기 위한 토양 질산태질소 수준은 표 2-5와 같다.

Table 2-5. Optimum levels of soil nitrate-N for real-time diagnosis of horticultural crops using a soil to water (1:2, v/v/) extraction method

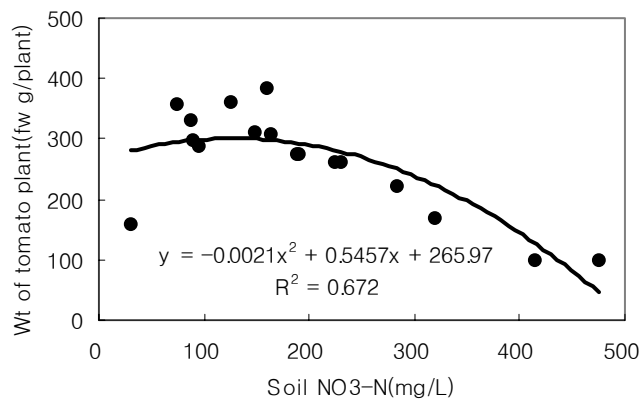
| Crops | Optimum level of soil nitrate-N (mg kg ⁻¹) |
|--------------|--|
| Cucumber | 70~110 |
| Pepper | 120~180 |
| Tomato | 100~160 |
| Spinach | 110~170 |
| Lettuce | 140~200 |
| Young radish | 140~200 |

오이의 경우 생토용적침출법에 의한 토양 중 질산태 질소 함량의 적정 범위는 70~110 mg kg⁻¹ 이였으며, 이는 관비재배 시 질소 비료의 공급 기준으로 이용할 수 있다. 즉 생토용적침출법에 의한 토양 중 질산태 질소 함량이 70mg kg⁻¹ 이하이면 관

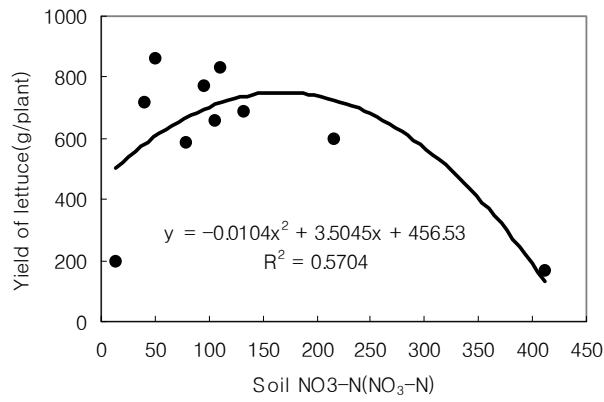
수시 질소비료를 공급하고, 110mg kg^{-1} 이상에서는 관수시 질소비료의 관주를 차단하여 토양 질산태질소의 간이진단 결과에 따라서 작물 생육을 조절 할 수 있는 시스템 개발의 기준이 될 수 있다. 작물별 생토용적침출법에 의한 토양 중 질산태질소 진단 기준은 고추 $120\sim 180\text{mg kg}^{-1}$, 토마토 $100\sim 160\text{mg kg}^{-1}$, 시금치 $110\sim 170\text{mg kg}^{-1}$, 상추와 열무는 $140\sim 200\text{mg kg}^{-1}$ 이었다.



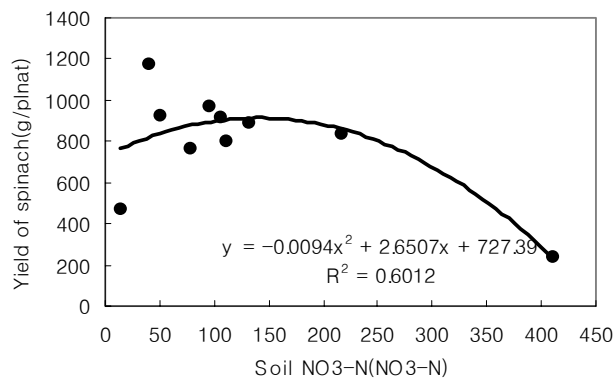
<Fig. 2-13> Relationship between weight of pepper plant and soil NO₃-N by a soil volume extraction.



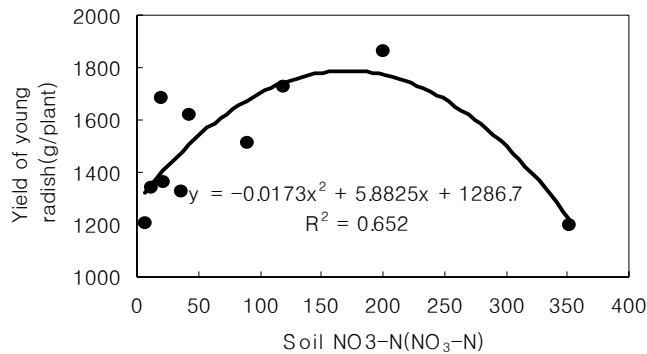
<Fig. 2-14> Relationship between weight of tomato plant and soil NO₃-N by a soil volume extraction.



<Fig. 2-15> Relationship between yield of lettuce and soil NO₃-N by a soil volume extraction.



<Fig. 2-16> Relationship between yield of spinach and soil NO₃-N by a soil volume extraction.



<Fig. 2-17> Relationship between yield of young radish and soil NO₃-N by a soil volume extraction.

Kang and Hong(2004)은 시설재배 토양의 염류집적과 그로 인해 발생하는 여러 문제에 대한 근본적인 해결책은 토양 비옥도를 평가하여 알맞은 시비량을 결정하는 합리적인 시비법을 도입하는 것이라고 하였으며, 시설재배지 토양에 대한 배추와 토마토의 적정시비량 추정에 대한 연구에서 작물 생산력에 절대적인 영향을 미치는 토양의 지표는 무기태 질소 (NO₃-N + NH₄-N) 이며, 시설재배 토양 조건에서 질산태 질소는 무기태질소와 고도로 유의성 있는 정의 상관관계가 있는 것으로 확인되었다 (Hong, 1998, Hong 등, 1998 ; Kwak 등., 1997 ; Park and Hong, 2000). 그리고 이것은 시설재배 토양 조건에서 질산태 질소는 질소시비량을 추천할 수 있는 효율적인 지표라는 것을 시사하고 있다(Song 등, 1996). Kwak 등(1997)은 배추 시설재배시 질소 무시비 재배가 가능한 토양 질산태 질소 기준 농도는 311mg kg⁻¹ 이라고 하였으며, Park and Hong(2000)은 더 낮은 수준인 200mg kg⁻¹ 으로 평가되었다고 보고하였다. 이러한 기준을 고려해 볼 때, 질산태 질소가 과다 축적된 상당수의 시설재배 토양은 질소비료를 사용하지 않고도 작물재배가 가능하다는 것을 예측할 수 있다. 특히, 유효인산과 치환성 칼리가 적정 함량 이상으로 높게 집적된 시설재배 토양조건에서 질산태 질소의 실시간검정에 의한 질소 시비의 결정은 염류집적을 방지하는데 효율적이라 생각된다. 우리나라의 작물이 재배되고 있는 밭의 경우, 토양 중의 질산태질소의 함량을 현장에서 실시간으로 파악하는 것은 매우 중요한 뜻을 지니며, 특히 경제성이 높은 채소류를 재배하는 포장의 경우에 더욱 그렇다. 우리나라의 채소류를 재배하는 포장의 경우 유효인산, 치환성 칼리, 칼슘, 마그네슘 등의 함량은 대체로 부족한 경우가 드물며 이들 성분은 한 작기 동안에 그 함량이 크게 변동하지 않는다. 둘째, 토양 중

질산태질소의 함량은 작물이나 잡초에 의한 흡수와 토층을 통한 물의 이동에 따라 민감하게 변한다. 따라서 현재 재배되고 있는 작물을 전 생육기간 동안 잘 자라게 하고 수확물의 질산태질소의 함량을 적절하게 관리하려면 작물이 자라고 있는 동안 토양 중의 질산태 질소 함량을 현장에서 실시간으로 파악하여 질소비료주기에 대한 의사결정을 해야 할 것이다.

Bilbao 등(2004)은 적정량의 질소비료는 작물의 수량 증대에 유익 할 뿐만 아니라 비료의 환경 영향을 줄이는 데에도 매우 중대한 사항 일 뿐만 아니라 사탕수수 재배에서 질소는 특히 영양생장에 주된 비료이지만 과잉 시비량과 생육 후기의 질소비료 사용은 사탕수수의 품질을 저하 시키는 요인이 된다고 하였으며, 사탕수수 정식 전 토양 질산태질소의 한계점은 39 mgkg^{-1} 이라고 하였다. Spalding 등(2001)은 스프링클러 관개와 질소 관비의 조합으로 질소의 용탈량이 감소된다고 하였다.

1.3.3. 토양베드재배 기술개발

채소의 주년소비와 수요확대로 채소 생산에서 시설이 점유하는 비율이 매년 증가하고 있다. 최근에는 시설의 대형화, 난방기, 다층피복 등 내부 장치화가 진행됨에 따라서 고정화 시설이 늘고 있다. 이러한 결과는 동일 장소에서 연작을 강행하게 되어 연작장애 발생이 증가하고 이에 따라서 생산이 불안정하게 된다. 연작장애의 주원인은 토양전염성 병해충의 만연, 토양이화학성의 악화이다. 연작장애의 대책으로서는 토양소독, 내병성 품종 및 대목의 사용, 유기물증시, 심경, 작부체계 변경 등이 행하여지고 있다. 토양소독은 약제소독, 증기소독 및 태양열이용 소독 등이 있으나 표층 20cm 정도가 한계로서 심층까지 소독이 곤란하다. 한편 내병성 품종 대목의 이용에 의한 방제는 병원균에 대하여 유효성에 한계가 있다. 품종, 대목을 침해하는 새로운 레이스 발생한다. 또 토양이화학성의 악화방지를 위한 대책으로서는 일반적으로 시설에서는 유기물의 증시를 권장하고 있으나 하우스 내의 토양전체를 개량하고 지력을 영구히 유지하기 위해서는 매년 다량의 유기물을 투입 할 필요가 있으나 유기물의 구입에 애로가 많고 실제로 충분한 시용이 되지 못하고 있다. 따라서 현재 시설에서 연작장애 대책으로서는 여러 가지 방법이 시도되고 있으나 이러한 문제를 완전히 해결하지는 못하고 있다. 시설채소 재배지에서 연작장애에 대한 대책으로서는 적정량의 양분과 수분을 적시에 공급할 수 있는 관비재배법을 적극적으로 권장하고 있다. 관비재배법의 효과를 한층 더 끌어올리기 위해서는 토양의 배수성과 미생물상을 양호하게 조성할 필요가 있다. 토양의 이화학성 개량이 용이한 방법으로서 토양베드 재배법을 들

수가 있다. 토양베드재배는 기존의 장해유발 토양과 격리시켜 한정된 좁은 근권(베드)에서 재배하는 것이 특징이다. 토양베드재배는 배지량이 적기 때문에 토양병해충 소독이 쉽고 토양이화학성 개량이 용이하여, 연작장해 발생지, 토양 물리성 불량지, 지하수위가 높아서 토양수분 제어가 어려운 곳, 담전유회환지 등에서도 채소 재배가 가능하다(森田, 1999; 森田, 2001). 鈴木(1982)은 기존의 지면으로부터 격리된 토양베드는 지하에서부터 상승하는 염류를 차단시켜 시용한 비료 양분은 작물이 충분히 흡수하여 기존 토양에 비하여 양분집적이 적고 지면에서 격리된 제한량의 배지로 된 격리배지에 의한 시설 채소의 재배는 소독을 완전히 할 수 있고, 소량의 유기물로 제염을 행할 수 있는 이점이 있다고 하였다.

또한 농경지에서 문제가 될 수 있는 질소의 과다한 용탈에 의한 환경 부하문제(Meisinger and Delgado, 2002)의 해결 대안으로서도 토양베드재배가 더욱 요구 될 것으로 본다. 기존 토양과 격리된 토양베드는 베드 바닥에 설치된 배수관으로 침출수를 수집처리 할 수 있고 작물 재배 기간 중에는 점적관을 통한 적정 관수와 비료 공급으로 비료성분의 침출량을 줄일 수 있기 때문에 환경 부하를 크게 감소시킬 수가 있다.

본 연구에서는 염류장해대책기술로서 토양베드재배기술 체계를 개발하기 위하여, 오이에 대한 토양 베드재배 효과를 검토하고 토양혼합배지의 혼합자재 종류 및 혼합 비율을 구명하기 위한 시험을 수행 하였다.

가. 피트머스혼합 토양베드가 오이 생육 및 수량에 미치는 영향

1) 연구수행 방법

본 연구에 사용한 토양베드는 피트머스혼합 토양베드와 피트머스를 혼합하지 않고 기존 시설토양의 흙만 채운 토양베드 2가지 종류를 설계 제작하여 시험에 사용하였다. 토양베드는 밑면을 기존의 토양 바닥을 이용하고 높이 30cm, 폭이 150cm가 되는 합판으로 제작한 베드이며 베드는 기존하우스 토양 표토(5cm이내)를 제거한 심토로 충전 하였다. 피트머스 혼합 토양베드는 높이 30cm, 폭 150cm가 되는 베드를 만들고 베드 내부에는 비닐을 깔아서 기존의 토양과 격리가 되도록 하였으며 베드 밑바닥 중앙에는 직경 100mm 유공관을 매설하여 배수가 잘되도록 하였으며 베드 내에는 피트머스를 베드용적 1m³당 200리터를 토양과 혼합하여 충전 하였다. 처리내용은 토양베드, 피트머스혼합베드 및 관행재배구를 설치하여 완전임의배치 3반복으로 하였다. 시험작물은 오이(은성백다다기)를 사용하였으며 유리온실에 2003년 2월25일 정식하여 4

월17일부터 5월23일까지 40일간 수확하였다. 베드에 충진한 시험토양은 원예연구소 유리온실 토양으로서 염류가 과다하게 집적된 사양토로서 그 화학적 특성은 pH 5.7, 유기물 26.2 g kg⁻¹, 유효인산 863 mg kg⁻¹, 질산태질소 397 mg kg⁻¹, 치환성 칼리, 석회 및 고토 각각 1.90, 7.83, 1.83 cmol⁺ kg⁻¹이고 EC 5.96 dS m⁻¹ 이었다. 시비량은 시설 오이에 대한 표준시비량(NIAST, 1999) 225-170-110 kg ha⁻¹로 하고 질소와 칼리 질 비료는 요소와 염화칼리를 사용하였고 전량을 점적관수를 통하여 물에 녹여서 추비로 사용하였다. 인산은 용성인비를 전량 기비로 전층 시비하였다. 점적관수는 텐시오메타를 이용한 자동관수로 하였으며, 관수점은 토양 10cm 깊이에서 수분장력 -10 kPa로 하였다. 재배기간 중 오이 초장, 경경, 주당과수, 주당과중, 생체중, 건물중 등을 조사하였다. 토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(2000)에 준하였으며, 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1: 5로 하여 pH meter(Orion 720 A⁺)로 측정하였고, 유기물은 Trurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 칼리, 칼슘 및 마그네슘은 1N Ammonium acetate로 침출하여 ICP(Inductively Coupled Plasma, GBC Integra XM2)로 분석하였다. 질산태 질소는 2M-KCl로 침출하여 BUCHI-339를 이용하여 분석 하였으며, 전기전도도는 토양 : 증류수를 1:5로 하여 침출한 토양용액의 비전도도를 측정하여 표시하였다. 토양 중 무기 성분 함량 변화는 처리별로 월 1회 토양용액 분석을 실시하여 추적하였으며, 토양용액은 세라믹컵을 이용한 토양용액 채취기로 채취하여 수용성 성분을 분석하였으며, 토양용액의 EC는 전기전도도계(YSI Model 35)를, 질산태질소는 휴대용 reflectometer (RQflex, Merck Co.)를 이용한 test strip법으로 현장에서 측정하였다.

2) 연구결과

토양베드처리별 오이 수량은 피트머스혼합 토양베드에서 9,660 kg/10a로서 가장 많았으며 관행재배에 비하여 상품수량 9% 증수되는 효과를 보였다. 기존 하우스 토양으로 충진한 토양베드재배구는 관행재배에 비하여 효과가 인정되지 않았다. 피트머스혼합 토양베드에서 상품수량의 증가는 주당 수확과수의 증가에 기인하였다(표3-1).

<Table 3-1> Marketable yield of cucumber according to soil bed types

| Treatments | No of fruit (No/plant) | Wt per fruit (fw g) | Wt per plant (fw g) | Marketable yield (kg/10a) | Yield index |
|--------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------|
| Conventional soil | 19.7 | 151.0 | 2986 | 8840 | 100 |
| House soil bed | 20.0 | 148.3 | 2973 | 8801 | 99 |
| Peatmoss mixed bed | 22.2 | 146.9 | 3263 | 9660 | 109 |

* Harvest period: 2003. 4. 14 - 5. 23 (40 days)

정식후 50일경 처리별 오이 생육상황은 관행재배에 비하여 피트머스혼합 토양베드 처리에서 초장, 절간장, 엽장, 엽폭 및 건물중이 크게 증가하는 경향을 보였다(표3-2). 피트머스혼합 토양베드 처리로 오이의 초장은 180cm 로서 관행 재배에 비하여 27cm 가 길었으며, 지상부 식물체의 건물 중도 피트머스혼합 토양베드에서 주당 57.3g 으로 관행재배에 비하여 13% 가 증가되었다.

<Table 3-2> Growth of cucumber according to soil bed types

| Treatments | Stem diameter (mm) | Plant height (cm) | Length of node (cm) | Largest leaf(cm) | | Dry wt. (g plant ⁻¹) | Dry wt index |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|-------|--|--------------------|
| | | | | Length | Width | | |
| Conventional soil | 18.4 | 153 | 7.85 | 29.8 | 23.3 | 50.9 | 100 |
| House soil bed | 18.1 | 155 | 8.70 | 29.9 | 22.1 | 50.1 | 98 |
| Peatmoss mixed bed | 18.1 | 180 | 8.90 | 31.5 | 23.8 | 57.3 | 113 |

* Investigated date: 2003. 4. 17 (in transplanting 50 day)

정식후 50일째 오이 경엽 중 무기성분 함량은 관행재배에 비하여 피트혼합 토양베드 처리구에서 질소, 칼리 및 석회 함량은 감소하였으며 그 외 인, 마그네슘은 두 처리간에 큰 차이가 없었다. 정식후 50일경 수확 개시기의 오이 양분흡수량은 처리간에 차이를 볼 수 없었으며, 피트머스혼합 토양베드 처리구에서 주당 양분흡수량(g plant⁻¹)은 질소 2.22, 인 0.44, 칼리 2.63, 석회 1.66, 마그네슘 0.31이었고, 질소 대비 여타 양분원소의 흡수량 비율은 인 21.8, 칼리 133, 석회 84.2, 마그네슘 15.6을 나타내었다.

<Table 3-3> Mineral content in stem-leaves of cucumber (in transplanting 50 day)

| Treatments | T-N (gkg ⁻¹) | P (gkg ⁻¹) | K (gkg ⁻¹) | Ca (gkg ⁻¹) | Mg (gkg ⁻¹) | Fe (mgkg ⁻¹) | Mn (mgkg ⁻¹) |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Conventional soil | 4.22 | 0.88 | 5.77 | 3.78 | 0.60 | 212 | 160 |
| House soil bed | 3.90 | 0.72 | 5.70 | 3.56 | 0.56 | 172 | 113 |
| Peatmoss mixed bed | 3.94 | 0.85 | 5.26 | 3.32 | 0.61 | 168 | 148 |

<Table 3-4> Mineral amount absorbed by cucumber and uptake rate of other minerals compared to nitrogen (in transplanting 50 day)

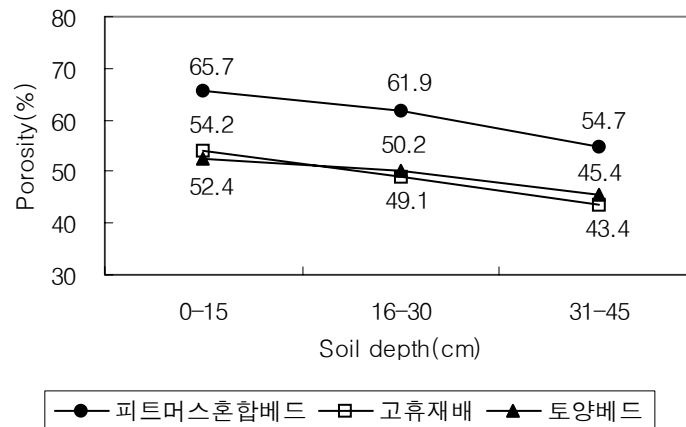
| Treatments | Mineral amount absorbed (g plant ⁻¹) | | | | | Uptake rate based on nitrogen (%) | | | | |
|--------------------|---|------|------|------|------|--------------------------------------|------|-----|------|------|
| | T-N | P | K | Ca | Mg | T-N | P | K | Ca | Mg |
| Conventional soil | 2.14 | 0.44 | 2.91 | 1.95 | 0.31 | 100 | 20.9 | 137 | 89.6 | 14.3 |
| House soil bed | 1.64 | 0.32 | 2.39 | 1.60 | 0.24 | 100 | 18.7 | 146 | 91.8 | 14.5 |
| Peatmoss mixed bed | 2.22 | 0.44 | 2.63 | 1.66 | 0.31 | 100 | 21.8 | 133 | 84.2 | 15.6 |

토양베드처리별 시험 후 토양 pH 는 관행이 5.6 토양베드가 6.4 피트머스혼합토양베드가 6.2로서 관행재배에서 가장 낮았다. 유효인산 함량은 관행재배에서 1092 mg/kg로서 가장 높았으며 피트머스혼합베드에서 가장 낮았다. 또한, 질산태 질소함량, 치환성 석회, 마그네슘 및 칼리의 함량과 토양 전기전도도(EC)는 피트머스혼합토양베드에서 크게 감소하였다. 이와 같은 결과는 피트머스 처리에 의한 토양 CEC가 증가하여 토양염기포화도를 감소시키고 한편, 토양 공극량의 증가에 의한 투수성증대에 기인한 것으로 생각된다. 토양 염기치환용량은 관행재배에서 12.8 cmol+kg⁻¹이었으며 토양베드에서도 비슷한 값을 보였으나 피트머스혼합 토양베드에서는 21.4로 크게 증가되었다. 염기포화도는 관행재배와 토양베드에서는 각각 112와 128%에 달했으나 피트머스혼합 토양베드에서는 55%로 크게 감소되어 토양용액의 염농도가 낮아진 것으로 보인다.

<Table 3-5> Chemical properties of soil after this experiment

| Treatments | pH (1:5) | EC (ds/m) | OM (g/kg) | Av. P ₂ O ₅ (mg/kg) | Ex. Cation(cmol/kg) | | | CEC (cmol/kg) | BS (%) | NO ₃ -N (mg/kg) |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|--|---------------------|-----|-----|------------------|-----------|-------------------------------|
| | | | | | Ca | Mg | K | | | |
| Conventional soil | 5.6 | 7.7 | 23 | 1092 | 10.3 | 1.8 | 2.4 | 12.8 | 112 | 232 |
| House soil bed | 6.4 | 6.5 | 20 | 887 | 10.7 | 2.3 | 2.9 | 12.5 | 128 | 330 |
| Peatmoss mixed bed | 6.2 | 2.1 | 37 | 545 | 9.4 | 1.6 | 0.9 | 21.4 | 55 | 45 |

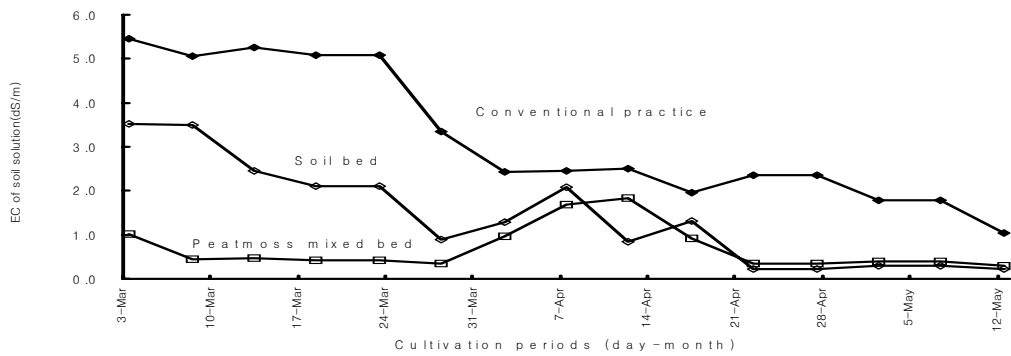
Oda et al(1985)은 야채의 시설재배에서 염류고농도장해 대책의 하나로서 유기물의 다량 사용에 의한 토양 중 질산태질소의 농도를 저하시키는 방법을 구명하기 위하여 유기물의 종류, 사용시기, 사용량 및 사용방법 면에서 검토 한 결과에 의하면, 볏짚 왕겨 및 톱밥에 의하여 토양 질산태질소농도가 크게 저하되고 토양 중 질산태질소농도가 최저로 되는 시기는 유리온실 조건에서는 볏짚 사용 후 49일이었고, 항온기 조건에서는 15일이었다. 볏짚을 1~3% 사용 했을 때 토양 중 질산태질소 농도는 22~36mg/건토100g으로 저하되었다. 토양 중 치환성칼리 함량은 볏짚 사용량에 비례하여 증가하며 1%당 8~11mg/건토100g 씩 증가 하였으나 인산, 석회, 고토에 대한 볏짚사용의 영향은 적었다고 하였다.



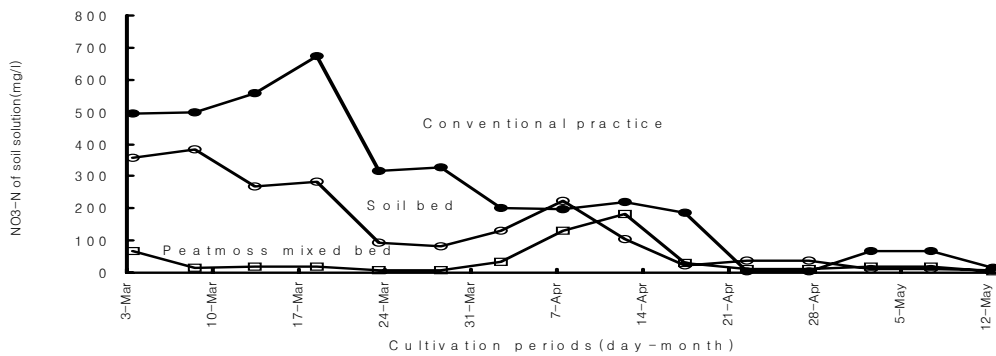
<Fig. 3-1> Changes of porosity in soil layers according to soil bed types.

토양 깊이별 토양공극률은 모든 처리에서 공히 표토에서 심토로 갈수록 낮아졌으며, 표토에서 처리별 공극률은 관행 재배에서 54.2%, 토양베드 52.4%, 피트머스혼합 토양베드 65.7%로 피트머스혼합 토양베드에서 가장 높았다. 피트머스혼합에 의한 토

양공극률의 증가는 표토층에 과잉으로 집적되어있는 염류의 수직 이동을 조장하여 작물 근권의 염류농도 스트레스를 경감시키는 요인이 된 것으로 보인다. Jung(2001)은 시설재배지에서 잦은 경운과 정지작업으로 발생하는 표층 15내지 20cm 아래에 위치하는 심토 층 내에서의 다져짐 현상과 잦은 관수로 인한 표토 층의 점토와 같은 미세한 토양입자가 심토 층 내에 집적하여 심토 층의 용적밀도를 높여서 토양수와 용존물질의 수직이동을 어렵게 하고 이러한 현상이 시설토양 염류이온의 집적에 직접적인 원인으로 작용 한다고 하였다. 피트머스혼합 토양배지는 공극률의 증대로 심토 층의 다져짐 현상을 크게 완화 시킬 수 있으리라고 생각된다.



<Fig. 3-2> Changes of EC of soil solution during cucumber cultivation according to soil bed types.



<Fig. 3-3> Changes of NO₃-N of soil solution during cucumber cultivation according to soil bed types.

오이재배 기간 중 토양용액의 전기전도도 및 질산태질소는 전 생육기간을 통하여 관행재배>토양베드>피트머스혼합토양베드의 순으로 피트머스혼합토양베드 처리에서 가장 낮았고 시기별 변화 폭이 적은 안정된 농도를 유지하였다(그림3-2~3-3).

대부분 채소의 생육 초기의 최적 토양용액 EC는 4.0 dS m^{-1} 정도이라고 하였으며, 이 이상에서 뿌리는 침투압 스트레스를 받고 또 잔류이온의 불균형에 따른 화학 스트레스도 뿌리에 부하를 준다고 하였다(Nakano, 2002). 본 연구의 피트머스혼합토양베드 처리에서는 오이재배 기간 중 토양용액의 전기전도도는 2.0 dS m^{-1} 이하로 유지되었다. 六本木(2000)은 토양용액의 양분농도가 급격히 변동되지 않도록 하기 위해서는 시비 간격을 짧게 하고 소량의 비료양분을 사용하는 것이라고 하였으며, 토양용액의 양분농도 증감을 단기간에 컨트롤이 가능한 관비에 의한 시비기술을 확립하는 것이 중요하다고 하였다.

나. 작물별 적정 배지종류 및 배지량 구명 시험

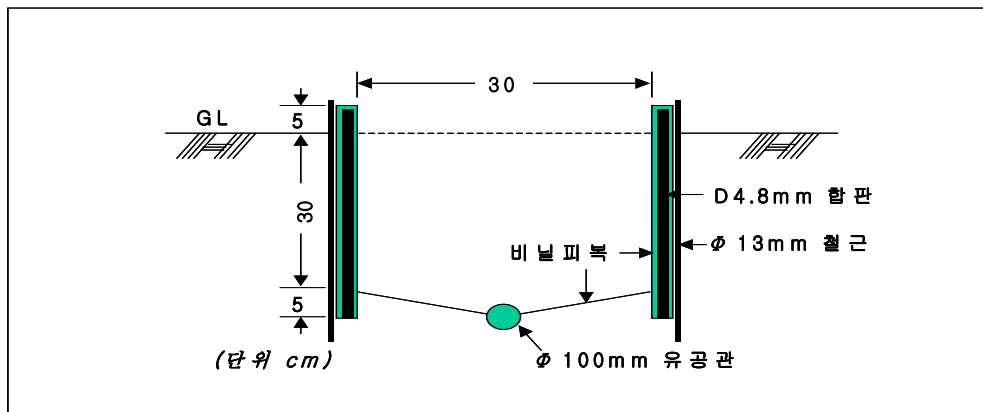
1) 연구수행방법

토양베드는 가격이 저렴하고 자가 제작이 가능하며 내구성이 있고 재배관리상 사용 편리한 점 등을 갖추어야 한다. 토양베드재배 시 작물 1주당 배지량은 토마토와 오이의 경우 10에서 30 L 까지는 배지량이 증가 할수록 수량이 급격히 증가하였으나 30 L 이상에서는 서서히 감소한다고 하였으며, 멜론도 30 L에서 양호한 결과를 보였다고 하였다(鈴木義彦, 1982). 이상의 연구결과들을 검토하여서 본 연구에서도 오이, 토마토 등 과채류의 적정 배지량은 1 주당 30 L 정도를 기준으로 하였으며, 토양베드 설계에서도 이를 고려하여 주당 30 L가 되도록 베드규모를 설계한 결과, 폭 30cm, 깊이 30cm 의 베드에 작물을 40cm 간격으로 재배하게 되면 1주당 배지량은 약 36 L가 되었다. 토양베드는 높이 30cm, 넓이 30cm 로 하여 양쪽 벽면은 0.5cm 두께의 합판으로 세워서 설치하고 베드 내부는 하우스피복용 비닐을 깔아서 기존 토양바닥과 차단을 시켰다(그림3-4). 토양베드에 충전되는 배지는 기존의 토양과 피트머스 등 4종의 유기물자재를 처리별로 혼합하여 사용하였다. 피트머스 혼합배지는 토양 1m^3 당 100L, 200L, 300L를 각각 혼합하여 3처리로 하였으며 볏짚, 피트 및 양송이 퇴비는 토양 1m^3 당 10kg, 20kg, 및 30kg 씩 혼합하였다. 시험에 사용한 작물은 토마토(서광토마토)와 상추(적치마상추)로 하였다. 토마토는 2004년 9월 30일에 포기간격 40cm로

정식하여 동년 1월 13일부터 2월 19일까지 40일간 2단 수확하여 수량을 비교하였다. 상추는 토마토 수확이 끝난 뒤 연속하여 동년 2월 25일에 정식하였다. 재식거리는 폭 15cm×포기사이 20cm 로 하였다.

2) 연구결과

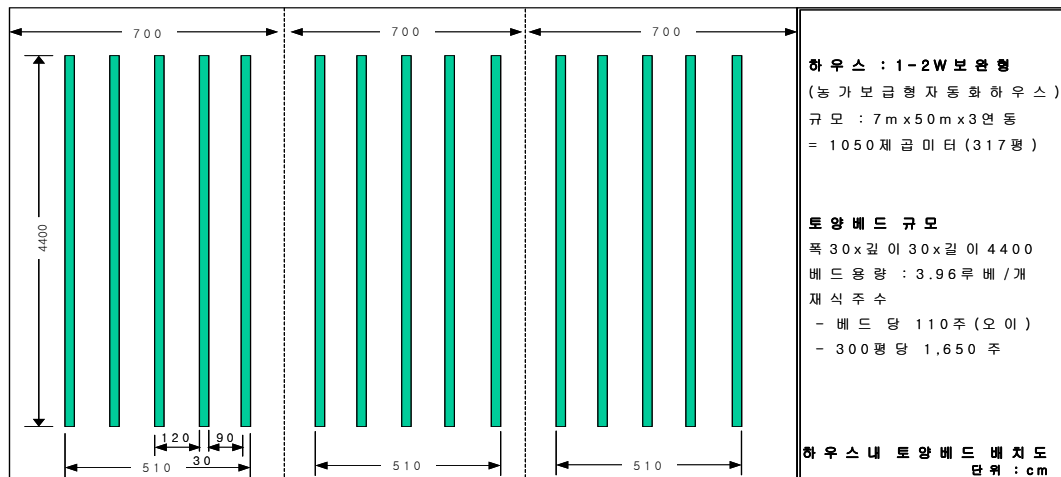
토양베드의 설계는 설치비용이 싸고, 만들기가 용이하여 자가 제작이 가능하며, 3~4년 이상 연속 사용이 될 수 있고, 작물 특히 과채류의 생육을 양호하게 할 수 있도록 하는 조건을 만족시키는 데 중점을 두었다. 토양베드의 규모는 폭 30cm, 깊이 30cm 로 하였으며 오이, 토마토 등의 과채류는 일렬로 재배하고 재식거리를 40cm 로 할 때에 작물 1주당 배지용량이 36liter 가 되게 하였다. 농가보급형 자동화 하우스 (1~2W 보완형) 300평당 토양베드 설치 규모는 <그림 3-6>에서 보는 바와 같이 설치할 때 용량 3.96m³ (폭 30cm × 깊이 30cm ×길이 4400cm) 규모의 토양베드 15개가 설치되고 오이를 40cm 간격으로 재식할 경우 베드당 110주를 재식할 수 있어 하우스 300평당 1650 주를 재배할 수 있다. 토양베드 설치에 필요한 소요자재 및 자재비용은 <표 3-6>에서와 같이 농가보급형자동화 하우스 300평 기준으로 1,665,784 원이 소요되었다. 토양베드의 내구년한을 최소한 3년으로 본다면 년



<Fig. 3-4> Cross-sectional view of soil bed.

간 추가자재 비용은 56만원 정도 소요된다고 볼 수 있다. 토양베드 설계의 기초 자료를 얻기 위하여 토양혼합배지의 유기성 자재 종류와 혼합비가 토마토 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사하였다. 토양혼합배지용 유기성 자재로서 갖추어야 할 조건은 우선 작물 재배에 적합한 물리성을 가지면서 다년간 연속 재배가 가능한 자재로서 난분해성 이며 가격이 저렴하고 구입이 용이한 자재이어야 한다. 본 연구에서 사용한 유

기성 자재는 피트머스, 피트, 볏짚, 양송이퇴비 4종이었다. 토마토는 제 2 화방에 열매가 맺은 후에 12마디에서 순지르기를 하여 2단 재배를 하였으며 완숙기에 토마토를 수확하였다. 피트머스 처리구 평균이 2,601g/주 로서 관행재배에 비하여 33% 정도 증수되었으며 그 다음이 피트 혼합 배지 28%, 양송이 퇴비 혼합 배지에서 17%, 볏짚 혼합 배지에서 12% 증수되었다.



<Fig. 3-5> Arrangement plan of soil bed in automatic house for farming. (10 a basis)

<Table 3-6> Manufacture cost of soil bed being used in automatic house of 10a

| Materials | Specification | Amount | Unit cost(Won) | Sum amount(Won) |
|--------------|--------------------|-----------|----------------|-----------------|
| Veneer board | D4.8mm,1200x2440mm | 180 sheet | 7,000 | 1,260,000 |
| Square bar | As pine tree | 60 ea | 1,000 | 60,000 |
| Iron bar | φ13mm | 149 m | 616 | 91,784 |
| Vinyl | D0.05mm PE film | 0.5box | 300,000 | 150,000 |
| 유공간 | φ100mm 4m/ea | 20 ea | 5,200 | 104,000 |
| Total | | | | 1,665,784 |

* Unit cost : April 2004, 'Price information of commodities'

토양 혼합 배지의 토양 1 m³ 당 유기성 자재 혼합 비율에 따른 토마토 수량은 피트머스 100L/m³ 처리와 200L 처리에서 300L/m³ 처리보다 각각 12%, 18% 씩 증가하여

피트머스의 적정 혼합비율은 200L/m³ 이었다. 피트를 사용한 경우에는 피트혼합율이 30kg/m³까지 증가 할수록 토마토 수량은 증가하는 경향을 보였으며 벚짚과 양송이퇴비도 30 kg/m³ 까지도 계속해서 증가하는 경향을 보였다.

<Table 3-7> Yield of tomato by mixing rates of organic growing media

| Materials | Mixing rate | No of marketable fruit (No/plant) | Wt per fruit (fw g) | Wt per plant (fw g) | Yield index |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Peatmoss | 100 ℓ /m ³ | 8.19 | 322.9 | 2,644 | 112 |
| | 200 ℓ /m ³ | 8.24 | 339.9 | 2,801 | 118 |
| | 300 ℓ /m ³ | 7.35 | 321.2 | 2,360 | 100 |
| | Average | 7.93 | 328.0 | 2,601(133) | |
| Rice straw | 10 kg/m ³ | 7.71 | 255.0 | 1,967 | 83 |
| | 20 kg/m ³ | 8.75 | 256.5 | 2,246 | 95 |
| | 30 kg/m ³ | 7.89 | 299.8 | 2,364 | 100 |
| | Average | 8.12 | 270.4 | 2,192(112) | |
| Peat | 10 kg/m ³ | 8.57 | 307.8 | 2,640 | 98 |
| | 20 kg/m ³ | 8.58 | 256.6 | 2,204 | 81 |
| | 30 kg/m ³ | 8.44 | 320.7 | 2,708 | 100 |
| | Average | 8.53 | 295.0 | 2,517(128) | |
| Mushroom compost | 10 kg/m ³ | 8.97 | 248.8 | 2,231 | 95 |
| | 20 kg/m ³ | 8.05 | 285.6 | 2,299 | 98 |
| | 30 kg/m ³ | 7.71 | 301.8 | 2,327 | 100 |
| | Average | 8.24 | 278.7 | 2,285(117) | |
| Soil(control) | - | 7.75 | 252.9 | 1,959(100) | 100 |

* Harvest periods : 2004. 1.13-2.19(40days), second-truss cultivation.

<Table 3-8> Height of tomato plant by mixing rates of organic growing media

| Materials | Mixing rate | Plant height by lapsed time after transplanting(cm) | | | |
|------------------|-----------------------|---|--------|--------|---------|
| | | 30 day | 60 day | 90 day | 120 day |
| Peatmoss | 100 ℓ /m ³ | 54.6 | 145 | 146 | 148 |
| | 200 ℓ /m ³ | 55.3 | 144 | 146 | 147 |
| | 300 ℓ /m ³ | 57.0 | 143 | 144 | 146 |
| | Average | 55.6 | 144 | 145 | 147 |
| Rice straw | 10 kg/m ³ | 55.3 | 137 | 138 | 139 |
| | 20 kg/m ³ | 58.4 | 140 | 142 | 143 |
| | 30 kg/m ³ | 57.0 | 141 | 142 | 143 |
| | Average | 56.9 | 139 | 140 | 141 |
| Peat | 10 kg/m ³ | 56.6 | 139 | 141 | 142 |
| | 20 kg/m ³ | 58.6 | 142 | 143 | 145 |
| | 30 kg/m ³ | 63.4 | 142 | 143 | 145 |
| | Average | 59.5 | 141 | 142 | 144 |
| Mushroom compost | 10 kg/m ³ | 57.6 | 141 | 141 | 142 |
| | 20 kg/m ³ | 56.4 | 135 | 136 | 138 |
| | 30 kg/m ³ | 57.6 | 137 | 139 | 140 |
| | Average | 57.2 | 138 | 139 | 140 |
| Soil(control) | - | 55.2 | 134 | 136 | 137 |

<표 3-8 >은 토양혼합배지 자재의 종류와 혼합비율별 토마토 생육상황을 초장의 변화를 나타낸 것이다. 토마토 초장은 관행재배구에 비하여 유기성자재 혼합처리구들에서 증가하였으며 정식 후 30일 경의 생육초기에는 피트혼합배지에서 가장 높았으며 생육 후기로 갈수록 피트머스 혼합배지에서 초장이 증가하는 경향을 보였다. 유기성 자재의 혼합비율별 생육초기(정식 후 30일경) 토마토 초장은 각 자재별로 모두 혼합비율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. < 표3-9 >는 토마토 정식 후 110일경 엽 중 무기성분 함량을 나타내는 것이다. 관행토양재배에서 칼리 함량을 제외한 모든 무기성분 함량이 가장 높았으며 관행토양재배시 토마토 엽 중 질소, 인, 칼리, 석회 및 마그네슘 함량은 각각 30.9, 7.8, 35.2, 50.7 및 2.7g kg⁻¹ 이었다. 피트머스 혼합처리의 토마토 경엽 중 무기성분 함량은 질소 25.9g kg⁻¹ 인 6.9g kg⁻¹, 칼리 32.0kg⁻¹, 칼슘 47.4g kg⁻¹, 마그네슘 3.0g kg⁻¹ 피트머스 혼합비율별로는 피트머스 200L/m³ 혼합처리에서 가장 높았다.

<Table 3-9> Mineral content of tomato leaves by mixing rates of organic growing media(g kg⁻¹)

| Materials | Mixing rate | T-N | P | K | Ca | Mg |
|------------------|-----------------------|------|-----|------|------|-----|
| Peatmoss | 100 ℓ /m ³ | 26.1 | 6.9 | 29.7 | 41.8 | 3.1 |
| | 200 ℓ /m ³ | 25.2 | 8.2 | 30.6 | 50.4 | 3.6 |
| | 300 ℓ /m ³ | 26.3 | 5.5 | 35.7 | 49.9 | 2.4 |
| | Average | 25.9 | 6.9 | 32.0 | 47.4 | 3.0 |
| Rice straw | 10 kg/m ³ | 26.3 | 6.4 | 31.0 | 41.6 | 2.6 |
| | 20 kg/m ³ | 29.1 | 7.3 | 37.7 | 50.8 | 3.4 |
| | 30 kg/m ³ | 26.5 | 5.9 | 27.6 | 38.7 | 2.3 |
| | Average | 27.3 | 6.5 | 32.1 | 43.7 | 2.8 |
| Peat | 10 kg/m ³ | 27.5 | 6.9 | 35.3 | 48.4 | 2.7 |
| | 20 kg/m ³ | 26.8 | 7.9 | 35.6 | 37.9 | 2.5 |
| | 30 kg/m ³ | 25.3 | 6.1 | 28.9 | 35.5 | 2.1 |
| | Average | 26.5 | 7.0 | 33.3 | 40.6 | 2.4 |
| Mushroom compost | 10 kg/m ³ | 27.3 | 7.8 | 32.2 | 40.4 | 2.4 |
| | 20 kg/m ³ | 29.7 | 7.7 | 39.7 | 44.3 | 3.2 |
| | 30 kg/m ³ | 28.7 | 7.2 | 38.5 | 44.2 | 3.1 |
| | Average | 28.6 | 7.6 | 36.8 | 43.0 | 2.9 |
| Soil(control) | - | 30.9 | 7.8 | 35.2 | 50.7 | 2.7 |

* Investigation date: Jan. 29, 2004 (110 day after transplanting).

토양혼합배지의 자재별 상추 수량은 관행재배에 비하여 유기성 자재를 혼합한 토양 배드재배에서 9~45%정도 증가하였다. 토양혼합배지별 상추수량은 피트> 양송이퇴비> 피트머스> 볏짚의 순으로 많았다. 혼합비율별 상추수량은 피트머스, 볏짚, 피트 등의 자재는 처리 간에 큰 차이가 없었으나 양송이 퇴비의 경우에는 20kg/m³처리에 서 가장 높은 수량을 보였다.

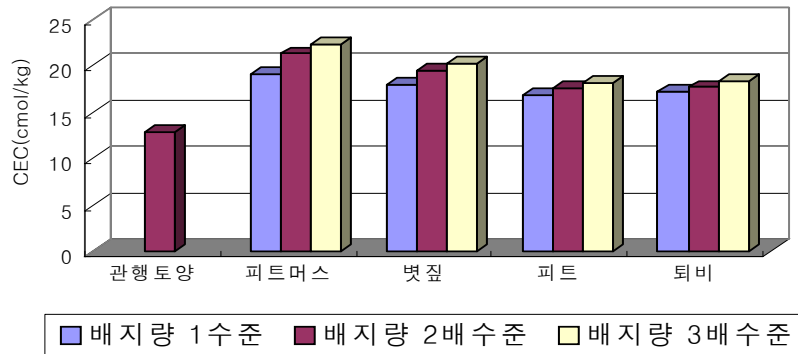
<Table 3-10> Growth and yield of lettuce by mixing rates of organic growing media

| Materials | Mixing rate | No of leaves (No/plant) | Largest leaves(cm) | | Wt per plant (fw g) | Yield (fw g m ⁻²) |
|---------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------|-------|---------------------------|----------------------------------|
| | | | Length | Width | | |
| Peatmoss | 100 ℓ /m ³ | 12.3 | 19.5 | 23.3 | 81.9 | 2,702 |
| | 200 ℓ /m ³ | 12.1 | 19.8 | 23.2 | 82.8 | 2,757 |
| | 300 ℓ /m ³ | 11.9 | 18.9 | 22.8 | 81.4 | 2,710 |
| | Average | 12.1 | 19.4 | 23.1 | 82.0 | 2,730(119) |
| Rice straw | 10 kg/m ³ | 11.0 | 18.2 | 21.5 | 73.4 | 2,444 |
| | 20 kg/m ³ | 9.6 | 18.6 | 21.5 | 75.0 | 2,487 |
| | 30 kg/m ³ | 10.7 | 19.3 | 22.7 | 76.9 | 2,560 |
| | Average | 10.4 | 18.70 | 21.9 | 75.1 | 2,500(109) |
| Peat | 10 kg/m ³ | 12.6 | 18.6 | 22.8 | 99.4 | 3,310 |
| | 20 kg/m ³ | 11.7 | 18.3 | 24.5 | 97.9 | 3,260 |
| | 30 kg/m ³ | 11.5 | 19.1 | 24.0 | 102.0 | 3,960 |
| | Average | 11.9 | 18.7 | 23.8 | 99.8 | 3,323(145) |
| Mushroom compost | 10 kg/m ³ | 11.1 | 18.2 | 23.8 | 90.3 | 3,006 |
| | 20 kg/m ³ | 10.6 | 19.3 | 24.4 | 98.1 | 3,266 |
| | 30 kg/m ³ | 10.5 | 19.3 | 23.6 | 84.7 | 2,820 |
| | Average | 10.7 | 18.9 | 23.9 | 91.0 | 3,030(132) |
| Soil(control) | - | 9.5 | 16.9 | 21.4 | 68.9 | 2,294(100) |

<Table 3-11> Chemical properties of soil by mixing rates of organic growing media

| Materials | Mixing rate | pH (1:5) | EC (dsm ⁻¹) | OM (gkg ⁻¹) | Av. P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹) | Ex. Cation(cmolkg ⁻¹) | | | NO ₃ -N (mgkg ⁻¹) |
|---------------------|----------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|--|-----------------------------------|------|------|---|
| | | | | | | Ca | Mg | K | |
| Peatmoss | 100 ℓ/m ³ | 6.76 | 1.21 | 35.6 | 417 | 10.88 | 1.85 | 0.65 | 28 |
| | 200 ℓ/m ³ | 5.52 | 2.94 | 51.3 | 682 | 11.82 | 2.63 | 0.66 | 63 |
| | 300 ℓ/m ³ | 6.01 | 0.79 | 42.0 | 379 | 8.81 | 1.77 | 0.91 | 24 |
| | Average | 6.10 | 1.65 | 43.0 | 493 | 10.50 | 2.08 | 0.74 | 39 |
| Rice straw | 10 kg/m ³ | 6.36 | 0.79 | 34.4 | 500 | 9.97 | 1.71 | 0.66 | 20 |
| | 20 kg/m ³ | 6.64 | 0.85 | 42.5 | 745 | 9.32 | 1.96 | 0.64 | 28 |
| | 30 kg/m ³ | 6.55 | 0.71 | 35.3 | 469 | 7.85 | 1.50 | 1.05 | 20 |
| | Average | 6.52 | 0.78 | 37.4 | 571 | 9.05 | 1.72 | 0.78 | 23 |
| Peat | 10 kg/m ³ | 6.50 | 2.54 | 34.7 | 637 | 9.55 | 1.85 | 0.96 | 129 |
| | 20 kg/m ³ | 6.32 | 1.66 | 21.9 | 805 | 7.08 | 1.42 | 0.82 | 78 |
| | 30 kg/m ³ | 6.36 | 1.06 | 24.3 | 549 | 5.43 | 1.03 | 1.40 | 21 |
| | Average | 6.39 | 1.75 | 26.9 | 664 | 7.35 | 1.43 | 1.06 | 76 |
| Mushroom compost | 10 kg/m ³ | 6.49 | 3.76 | 26.8 | 730 | 8.73 | 1.83 | 1.44 | 123 |
| | 20 kg/m ³ | 6.25 | 4.07 | 23.1 | 790 | 7.75 | 1.94 | 1.26 | 173 |
| | 30 kg/m ³ | 6.69 | 2.68 | 21.4 | 671 | 7.09 | 1.35 | 1.96 | 74 |
| | Average | 6.48 | 3.50 | 23.7 | 730 | 7.86 | 1.71 | 1.55 | 123 |
| Soil(control) | - | 6.19 | 3.05 | 24.3 | 1184 | 8.13 | 1.31 | 0.97 | 179 |

시험 후 처리별 토양화학성 변화는 < 표 3-11 >과 같다. 피트머스혼합배지의 pH는 6.10으로서 관행재배의 pH6.19에 비하여 낮아졌으나 그 밖의 볏짚, 피트, 양송이퇴비 처리에서는 관행재배에 비하여 증가하였다. 토양전기전도도는 양송이퇴비 혼합배지에서 3.50dSm⁻¹로 관행재배의 3.05dSm⁻¹보다 높아졌으나 그 외 피트머스, 피트, 볏짚 처리에서는 낮아지는 경향을 보였다. 토양 중 유효인산과 질산태 질소 함량은 관행재배에서 각각 1184mg kg⁻¹와 179mg kg⁻¹로 높았으나 피트머스, 피트, 볏짚 및 양송이 퇴비 혼합배지에서는 큰 폭으로 감소되었다.



<Fig 3-6> Changes of soil CEC by mixing rates of organic growing media.

토양염기치환용량은 관행재배에 비하여 유기성 자재 혼합배지에서 크게 증가하였으며 자재별로는 피트머스>볏짚>피트>양송이폐상퇴비의 순으로 높았다. 유기성 자재 혼합비율별 토양염기치환용량은 혼합비율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다.

시설재배에서 각종 유기물 자재가 다량으로 사용되고 있다. 이전에는 주로 볏짚을 사용하여 왔으나 근년에 톱밥 등의 목질자재의 사용이 증가되고 있다. 이러한 자재들의 사용효과는 불명확한 점이 많다. Araki et al(1985)은 이러한 유기물자재들의 장기연용이 시설 토마토의 생육수량 및 토양이화학성 및 미생물상에 미치는 영향을 검토한 결과, 10년 평균수량은 볏짚구 100일 때 톱밥 107, 바-크 99, 피트머스 110이었으며 청고병발생은 톱밥 및 피트머스 구에서 상대적으로 낮았고, 전 탄소함량은 각구에서 모두 사용 5년째까지 높아지다가 6년째부터 일정한 수준을 유지하는 경향을 보였다고 하였다. 시설재배지의 유기물 공급원으로서 피트머스의 장기간 사용이 가능함을 시사 하였다.

제 2 절. 실시간 토양과 작물의 영양진단 기술개발

- Technical Development for Diagnosis of Nutrition Condition of Crops and Soils in Realtime -

1. 염류집적에 의하여 유기되는 박과채소(오이, 수박)의 장해발생의 실시간 특징 및 진단

- Diagnosis and characteristics of injuries induced by salt accumulation in Cucurbitaceae crops(Cucumber and Watermelon) -

1) 토양 EC가 오이 및 수박의 종자발아, 유묘의 성장, 자화착생 및 과실비대에 미치는 영향

(1) 서언

작물 생육에 적절한 토양 전기전도도(EC, electrical conductivity)는 $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하인 것으로 알려져 있는데(Lorenz와 Maynard, 1980) 우리나라 시설재배지는 70%가 EC $2.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상이고(Lee 등, 1993) 경북 성주, 고령지역의 참외재배단지에서는 82%가 과잉의 염류농도를 나타내었으며 이중 상당수의 포장은 최고 $7.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 올라갔다고 한다(Park, 2000). 또 지역 또는 재배작물의 종류에 따라 차이가 있으나 고농도(EC $3.39\sim 5.04 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)의 염류가 집적되어 있다는 사실이 보고되어 있다(Choi, 1997; Rhee 등, 1992).

식물은 근권의 EC가 높아지면 삼투농도의 조절에 의한 내염성을 높이기 위하여 proline이나 polyamine과 같은 물질의 생성을 증가시킨다고 한다(Crozier 등, 2000; McCue와 Hanson, 1990; Rhodes와 Handa, 1989). 그러나 EC가 일정수준 이상이 되면 세포신장억제(Volkmar 등, 1998), 광합성 감소(Lee 등, 1998)에 이어 생장이 억제된다(Grieve 등, 1994; Munns, 1994). EC에 대한 반응은 식물의 종류(Munns, 1994; Schmidt와 Schikora, 2001), 생장기(Johnson 등, 1992; Shannon, 1985), 염의 종류

(Bhivare 등, 1988; Ono와 Mori, 1996)에 따라 차이가 있으나 그 농도가 한계에 이르면 결국 식물은 죽게 된다. 그런데 어느 농도범위에서는 작물의 생육은 진행되나 생리적 장애발생(Bennett, 1994; Mizrahi와 Pasternak, 1985; Sonneveld와 van den Ende, 1975)과 과채류의 경우 과실비대에 이상(Bernstein, 1975; Shin, 1998)을 초래한다.

작물의 생육과 수량 및 품질에 미치는 영향은 염류농도에 따라 다양하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 그런데 실제로 어느 EC에서 작물이 어느 시기에 어떤 증상을 나타내며 그 형태적 특징과 생리적 장애발생이 어떤지에 대한 추적 실험이 많지 않다. 이제까지 발표된 토양의 염분도(salinity)에 관한 실험의 대부분은 NaCl처리에 대한 식물의 반응이지 일반 경작지 토양에서처럼 화학비료의 과다 사용에 의하여 나타난 높은 EC에 대한 작물의 반응을 조사한 예는 드물다.

본 실험은 시설재배를 많이 하고 염류농도에 민감한 오이에 대해 화학비료를 이용하여 토양 EC를 인위적으로 조절된 조건에서 종자발아에서부터 묘의 생장, 이식후 활착, 생장상태, 자화착생 및 과실의 발달에 대하여 조사하였다.

(2) 재료 및 방법

토양 EC 조절: 작물을 전혀 재배하지 않은 사질 양토를 채취하여 1 mm 체로 쳐서 그늘에서 말린 후 잘 혼합하였다. 이 토양은 EC가 $0.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이었으므로 가루로 만든 복합비료(N:P₂O₅:K₂O=21:17:17)를 첨가하여 EC를 1.0~5.0까지 0.5씩 차이가 있게 만들었다. 이때 EC는 토양 : 물을 1 : 5로 하여 EC meter(CM-53, Takemura)로 측정하였고 동시에 pH도 조사하였다.

공시품종: 오이 품종은 '겨울살이 청장'과 '은침 백다다기'(세미니스 코리아), 수박 품종은 '슈퍼금천'과 '아폴로'를 사용하여 발아 및 초기생장을 조사하였다. 오이의 후기 생장 및 개화 결실에 대한 반응은 '은침 백다다기'에 대해서만 조사하였다.

출현율 및 유묘의 생장: 오이와 수박 종자를 20℃의 물에 3시간 침지한 후 건져서 수분을 제거하고 EC별로 조절된 흙을 넣은 72공 plug tray의 각 cell에 한 개씩 파종하였다. 이 tray를 26℃±2℃의 온실에 두면서 자엽이 상토위로 올라오는 수를 조사하여 출현율로 하였다. 한 반복에 100립을 파종하여 3반복으로 실험 하였다. 유묘의 생장은 EC별로 출현한 상태에서 본엽이 2매가 전개되기 시작한 상태의 묘와 육묘상토(TKS-2)를 넣은 plug tray에서 본엽 2~3매 전개될 때까지 키운 묘를 EC가 다른 토양에 이식하였을 때 활착후 생장을 조사하였다.

생육 및 과실비대: 직경 30cm의 포트에 EC 1.0~3.0 dS·m⁻¹으로 조절된 흙을 넣고 본엽 3매가 전개된 오이묘를 이식하여 생장, 암꽃 착생 및 과실비대를 조사하였다. 이때 토양과 같은 농도로 EC를 조절한 수돗물을 관수하여 생육기간중 같은 EC가 유지되도록 하였다.

(3) 결과 및 고찰

상토의 EC 및 pH: 최초 EC가 0.5인 사질양토에 복합비료를 첨가하여 EC를 1.0~5.0 dS·m⁻¹까지 조절하였는데 Fig. 4-1에서 볼 수 있는 바와 같이 비료 첨가량의 증가에 따른 EC의 변화는 상관계수 $r=0.999$ ($y=0.25x+0.594$)로 아주 높은 正의 상관을 보였다. 비료의 공급량에 따른 EC의 변화는 실측치와 이론치가 거의 일치하였다. 이 결과는 강우에 의한 용탈이 거의 일어나지 않은 시설재배 토양의 경우 시비량에 따라 토양 EC가 직접 영향을 받을 수 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 그러나 토양 pH는 EC와 관계없이 5.5~5.7 사이를 유지하였고 실험이 끝날 때까지 같은 경향을 보였다.

종자의 출현율 및 유묘의 생장: EC가 다른 토양에 파종한 오이종자의 자엽이 지상부로 올라온 출현율을 시간별로 조사하였다(Table 4-1). 오이 ‘겨울살이 청장’(이하 청장)의 파종후 출현까지 소요된 기간은 EC 0.5 dS·m⁻¹에서는 파종 후 2일째 벌써 11%의 출현율을 보였으나 EC가 높아질수록 출현일수가 늦어지는 경향을 보였다. EC 3.0 dS·m⁻¹까지는 파종 후 6일에 94~96%, EC 3.5 dS·m⁻¹에서는 파종후 8일에 81.5%의 출현율을 보였고 12일째가 되어서야 98.1%의 높은 출현율을 보였다. 그러나 EC 4.0 dS·m⁻¹이상이 되면 파종후 8일까지 거의 출현하지 않다가 12일째에 겨우 38.9%의 출현율을 보였는데 EC 5.0 dS·m⁻¹에서는 13.0%였다. 한편 ‘은침백다다기’는 출현일수가 약간 빨랐고 출현율도 높았으나 전체적인 경향은 ‘청장’과 비슷하였다. 그러나 EC 4.0 dS·m⁻¹에서는 파종후 6일째에 83.3%, 4.5 dS·m⁻¹에서 51.9%의 출현율을 보여 ‘청장’보다는 다소 내염성이 강한 것으로 보였다. 파종후 16일째 본엽 2매가 나오기 시작한 유묘의 생장을 조사한 결과(Table 4-2) 두품종 다같이 묘의 생체중 및 건물중, 배측과 뿌리의 길이는 EC 2.0 dS·m⁻¹에서 가장 좋았고 다음이 EC 2.5 dS·m⁻¹였다. 그러나 EC 3.0 dS·m⁻¹부터는 EC가 높아질수록 모든 생장이 현저하게 감소하였고 EC 4.5 dS·m⁻¹이상이 되면 뿌리의 발달은 거의 볼 수 없었다.

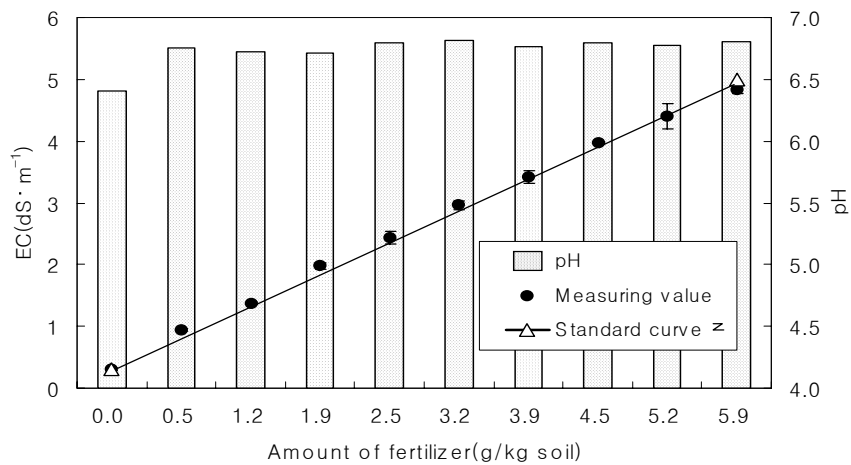


Fig.4-1. Changes in EC (1:5) by adding complex fertilizer (N:P₂O₅:K₂O=21:17:17) on the sandy loam
 $r=0.999$, $y=0.25x+0.594$

이식묘의 생장: 오이는 육묘하여 이식하는 것이 관행이므로 육묘상토에서 보다 포장의 EC가 주로 문제가 된다. 그래서 이식 후의 생장반응을 조사하기 위하여 육묘용 상토(TKS-2)를 넣은 plug tray에서 30일간 육묘한 것을 EC 1.0~3.0 dS·m⁻¹까지 조절된 토양에 이식하였다. 이식후 20일에 묘생장을 조사한 결과(Table 4-3) 지상부와 뿌리의 생장은 EC 1.5 dS·m⁻¹와 2.0 dS·m⁻¹이 비슷하였으나 EC 2.0 dS·m⁻¹도 1.5 dS·m⁻¹에 비하여 생장이 약간씩 억제되는 경향을 보였고, EC 2.5 dS·m⁻¹이상이 되면 현저히 억제되었다. Fig. 2를 보면 EC 2.5 dS·m⁻¹까지는 잎이 진한 녹색을 띄었으나 2.5 dS·m⁻¹부터 생장억제가 나타났고 EC 3.0 dS·m⁻¹은 자엽과 본엽이 시들기 시작하였다.

Fig. 4-3은 EC가 다른 토양에 이식한 오이묘의 생장반응을 실시간별로 조사하여 요약한 것이다. EC 2.5 dS·m⁻¹에서는 이식후 10일이 지나면 생장이 진전되지 않고 자엽이 시들기 시작하였고 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 이식후 7일부터 생장이 느리게 진행되었다. 그리고 EC 3.5 dS·m⁻¹이상이 되면 처음부터 생장이 중지되었다. 이번 실험의 결과로 미루어 보아 오이는 토양 EC가 2.5 dS·m⁻¹이상이 되면 실제 포장재배에서는 문제가 될 수 있다는 것을 다시 확인할 수 있었다. 또 EC 0.5 dS·m⁻¹에서는 양분부족에 의한 생장지연과 엽색의 황화현상이 나타났다.

Table 4-1가로표

Table 4-2가로표

Table 4-3가로표

Fig. 4-2가로그림

| EC (dS·m ⁻¹) | Days after transplanting | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 1.0 | | | | | | | ● |
| 1.5 | | | | | | | |
| 2.0 | | | | | | | |
| 2.5 | | | | ⊙ | ⊙ | △ | △ |
| 3.0 | | ⊙ | ⊙ | △ | △ | △▲ | △▲ |
| 3.5 | ⊙ | ⊙ | △ | △▲ | △▲ | ▲□ | ▲▣ |
| 4.0 | ⊙ | ⊙ | △ | ▲□ | ▲□ | ▲▣ | |
| 4.5 | ⊙ | △ | ▲ | ▲□ | ▲▣ | | |
| 5.0 | △ | ▲□ | ▲▣ | | | | |

Fig. 4-3. Summary of the growth responses on soil EC (1:5) in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants.^z

^z⊙; retardation of growth, ●; poor growth by malnutrition, △; drooping of cotyledons, ▲; withering of cotyledons, □; drooping of main leaves, ▣; withering of main leaves, ■; whole plant withered.

자화착생 및 과실비대: 오이(은침 백다다기) 파종 후 제 1번 자화의 개화까지의 소요일수는 EC 1.0 dS·m⁻¹은 약 20일인데 비하여 EC 3.0 dS·m⁻¹은 약 65일로 EC가 높아질수록 개화소요일수가 현저히 증가하였다. 그리고 주지에서 제 1번 자화 착생절위도 EC 1.0 dS·m⁻¹은 둘째마디부터 착생되었으나 EC 3.0 dS·m⁻¹은 6.5마디로 현저히 지연되었고(Table4-4) 여기에 착생된 자화는 과실이 비대하지 못하였다. 과실의 무게와 과폭은 EC 1.0 dS·m⁻¹에서 EC 2.0 dS·m⁻¹까지 계속 증가하다가 EC 2.5 dS·m⁻¹에서는 감소하였고 과장은 EC가 높아질수록 감소하는 경향이였으며 곡과가 발생하였다(Fig.4-4). EC 2.5 dS·m⁻¹이상에서는 상위절의 자화착생이 매우 불안정하였다.

생리적 장애: EC가 다른 토양에 파종하여 본엽이 전개될 때까지 성장시킨 결과 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 제 1본엽부터 황화현상이 일어났으며 이 묘는 조기에 생장이 중지되었다. 그리고 성장속도가 느리나 정상적인 생육을 하던 묘도 약 15~20마디가 전개된 후 성장점의 분화에 이상을 초래하여 순땀이 현상이 나타났다. 묘의 황화현상과 순땀이는 일률적으로 나타나지 않았으나 어린묘에서 황화현상이 약 30%, 순땀이도 불규칙적으로 발생하였고 이때 착생된 어린 과실의 성장도 정지되었다(Fig.4-5). 높은 EC에서 나타나는 황화현상과 순땀이 등 생리장애 현상은 정규실험설계에 의한 결과가 아니고 실험기간 중 육안으로 관찰한 것으로 실험시기, 온실내의 온도 등 환경에 따라 다르게 나타났으며 같은 온도에서도 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 4-4. Effect of EC on initiation of female flower and fruit growth of cucumber (*Cucumis sativus* L. cv Euinchim-baegdadagi) plants.

| EC (dS·m ⁻¹) | No. of nodes to the 1 st female flower | Days to flowering of the 1 st female flower | Fruit ^y | | |
|-----------------------------|---|--|--------------------|----------------|------------------|
| | | | Weight (g) | Length (cm) | Diameter (cm) |
| 1.0 | 1.9±0.1 | 50.0±1.0 | 159.6±23.8 | 23.4±0.7 | 2.83±0.1 |
| 1.5 | 3.4±0.5 | 57.3±2.1 | 174.1±32.3 | 22.6±0.6 | 3.34±0.3 |
| 2.0 | 4.9±0.1 | 63.5±1.5 | 182.2±12.9 | 21.6±1.2 | 3.46±0.1 |
| 2.5 | 4.5±0.5 | 67.5±3.5 | 131.7±22.2 | 19.3±1.6 | 3.44±0.2 |
| 3.0 | 6.5±0.7 | 74.0±1.0 | - | - | - |

^yMean



EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)

Fig.4-4. Fruit growth of cucumber plants (*Cucumis sativus* L. cv Euinchim-baegdadagi) grown at different soil EC (1:5) conditions.

토양의 염류농도가 증가하면 식물의 성장을 저해하는 요인으로는 뿌리의 호흡증가 (Schwarz와 Gale, 1981), 세포벽의 신장성 감소(Neumann 등, 1994), 항산화효소의 활성(Lechno 등, 1997) 등 다양한 생리적 원인을 제시하고 있다. 그리고 식물이 염류장해를 입는 것이 세포의 삼투조절의 기능상실(McCue와 Hanson, 1990; Volkmar, 1998)에 의하여 조직의 탈수가 원인(Flowers 등, 1991; Munns, 1988)이라고 하였으며 Munns(1994)는 인공적으로 근압을 높여도 잎 생장이 회복되지 않았다고 하였다. 이번 실험을 통하여 관찰한 결과도 무엇보다 세포내외의 염류농도 차이에 따른 뿌리세포의 팽압상실에 의한 것으로 생각되었다. 즉 EC가 $2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상이 되는 토양에 이식하면 먼저 자엽부터 아래로 처지기 시작하여 상위엽까지 결국 위조하는 것을 보아도 알 수 있다.

오이는 염농도에 아주 민감한 작물(Sonneveld와 Kreij, 1999)로 토양 EC(1:2)가 사토는 $0.6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 식양토는 $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 가 생육장해의 한계농도라고 하였고(Aoba, 1990) 일반 토양에서는 EC(1:5) $2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인 것으로 알려져 있는데(Hwang 등, 1999) 이 농도가 넘으면 각종 장애가 발생한다고 하였다(Bennet, 1994). 단자엽 식물은 높은 EC에서 생식조직의 발달촉진(Grieve 등, 1994) 또는 개화기 단축(Romero와 Maranon, 1994)이 된다고 하였으나 오이에서는 오히려 자화의 착생 및 개화가 늦어졌

고 황화현상, 과실의 발육부진과 곡과발생 및 순뺏이 현상이 일어났다. 황화와 순뺏이는 같은 EC에서 모든 식물체에서 일률적으로 발생하는 것이 아니라 개체에 따라 달리 나타났는데 저온과 같은 환경조건에 따라 차이가 있었는 것으로 생각되었다.



Fig.4-5. Physiological disorders of cucumber plants grown at soil with high EC (1:5) $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Leaf yellowing (upper) and self-topping and blossom-end topping of female flower (arrow, lower).

오이 포장의 염류축적은 재배에 치명적이 될 수 있으므로 관수에 의한 세척 또는 유기물 시용 등 제염처리(Shin, 1998)가 반드시 필요하다고 생각된다. 그리고 오이도 대부분 접목재배를 하므로 대목에 대한 내염성 반응을 조사하여 이의 실용화에 관한 실험도 요망된다.

토양 EC에 따른 수박묘의 성장반응

○ 종자의 출현율 : 수박은 오이에 비하여 최초 출현시기가 늦어 파종 6일째부터 급속히 출현하기 시작하였는데 Table 4-5를 보면 ‘슈퍼금천’은 EC 0.5에서는 파종 후 6일째 출현율이 77.8%였고 10일째는 92.6%였다. 그러나 EC 2.0과 2.5에서는 초기 출현율이 각각 겨우 29.6%와 18.5%였으나 10일에는 94%의 출현율을 나타내었다. 그러나 EC 3.0은 66.7%, EC 4.0은 13.0%였다. 그런데 ‘아폴로’는 EC가 0.5이상이면 출현이 아주 높고 총출현율도 감소하였다. 이것은 ‘아폴로’가 본래 낮은 발아율을 가진 품종이 아니라는 것은 EC 0.5에서 94.4%로 ‘슈퍼금천’과 같은 것을 보아도 알 수 있으므로 ‘아폴로’는 토양 EC에 매우 민감하게 반응한다는 것을 의미한다는 것을 알 수 있다.

표 4-5. 토양염류에 따른 수박종자의 시간별 출현율

| 작 물 | 품 종 | EC (mS·m ⁻¹) | 파종 후 일수(일) | | | | | |
|-----|------|-----------------------------|------------|-----|------|------|------|------|
| | | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 수박 | 슈퍼금천 | 0.5 | 0 | 3.7 | 77.8 | 92.6 | 92.6 | 92.6 |
| | | 2.0 | 0 | 0 | 29.6 | 94.0 | 94.0 | 94.0 |
| | | 2.5 | 0 | 0 | 18.5 | 94.4 | 94.4 | 94.4 |
| | | 3.0 | 0 | 0 | 9.3 | 40.7 | 66.7 | 72.2 |
| | | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 27.8 | 51.9 | 72.0 |
| | | 4.0 | 0 | 0 | 0 | 5.6 | 13.0 | 35.2 |
| | | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.7 | 22.2 |
| | | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.4 |
| | 아폴로 | 0.5 | 0 | 0 | 44.4 | 94.4 | 94.4 | 94.4 |
| | | 2.0 | 0 | 0 | 1.2 | 35.7 | 80.0 | 90.0 |
| | | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 20.1 | 81.5 | 85.2 |
| | | 3.0 | 0 | 0 | 0 | 11.1 | 33.3 | 48.1 |
| | | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 5.6 | 33.3 | 38.9 |
| | | 4.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 7.4 |
| | | 4.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 3.7 |
| | | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.7 |

○ 이식묘의 활착 및 성장 : 육묘용 상토(TKS 2)를 넣은 플러그 묘판에서 본엽 3매가 전개될 때까지 성장시킨 묘를 EC가 다른 토양에 이식한 후 20일째 묘의 성장상태를 조사하였다. 표 6을 보면 수박(슈퍼금천)은 EC 2.5이상에서 성장억제 현상을 보여 오이보다는 토양염류에 대한 내성이 약간 높다는 것을 알 수 있었고 EC 3.0에 이식한 것은 거의 생장이 중지되었고 근계의 발달도 억제되었다. 그림 6은 EC 1.5와 EC 3.5

에 이식한 수박묘의 시기별 생장을 본 것인데 EC 1.5에서는 이식 3일째 벌써 활착하여 7일째부터 새로운 생장이 시작되어 12일째는 상당히 자란 모습을 보여 주었다. 그러나 EC 3.5에서는 이식 후 5일째부터 황화하기 시작하여 7일째는 자엽이 시들고 본엽이 뒤틀리며 위조하기 시작하였다.

그림 4-6자료

표 4-6. 가로

표 4-7. 서로 다른 토양 EC에서 슈퍼금천 수박의 시간별 초장과 엽장의 변화²

| 조사항목 | EC (mS·cm ⁻¹) | 이식 후 경과일(일) | | | | | | | |
|------|------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| 초장 | 1.0 | 3.5±0.3 | 4.6±0.1 | 4.6±0.3 | 4.7±0.2 | 4.8±0.1 | 5.0±0.2 | 5.3±0.2 | 5.6±0.3 |
| | 1.5 | 4.4±0.2 | 5.2±0.2 | 5.4±0.2 | 5.5±0.2 | 6.1±0.3 | 6.3±0.6 | 6.6±0.6 | 7.3±0.5 |
| | 2.0 | 5.4±0.2 | 6.6±0.6 | 6.6±0.6 | 6.7±0.5 | 6.9±0.8 | 7.1±0.7 | 7.6±0.8 | 8.0±0.8 |
| | 2.5 | 4.6±0.1 | 5.5±0.4 | 5.5±0.6 | 5.6±2.7 | 6.2±0.8 | 6.2±0.1 | 6.6±0.5 | 7.0±0.5 |
| | 3.0 | 4.8±0.1 | 5.1±0.4 | 5.2±0.1 | 5.3±0.5 | 5.3±0.4 | 5.5±0.4 | 5.8±0.1 | 6.0±0.4 |
| 엽장 | 1.0 | 1.4±0.5 | 2.2±0.3 | 2.8±0.2 | 3.2±0.5 | 3.8±0.6 | 4.1±0.5 | 4.3±0.7 | 4.4±0.5 |
| | 1.5 | 1.4±0.2 | 2.3±0.2 | 2.6±0.3 | 2.9±0.5 | 3.2±0.7 | 3.9±0.5 | 4.2±0.5 | 4.5±0.5 |
| | 2.0 | 1.6±0.3 | 2.3±0.4 | 2.8±0.1 | 3.4±0.2 | 4.0±0.2 | 4.4±0.3 | 4.9±0.6 | 4.9±0.2 |
| | 2.5 | 1.8±0.1 | 2.6±0.2 | 3.0±0.1 | 3.3±0.5 | 3.6±0.3 | 4.0±0.1 | 4.2±0.1 | 4.3±0.2 |
| | 3.0 | 1.6±0.1 | 2.0±0.3 | 2.0±0.2 | 2.1±0.5 | 2.6±0.6 | 2.7±0.6 | 2.8±0.7 | 3.1±0.7 |

²3포기 평균±SD, 1월 9일 파종, 2월 10일부터 조사.

○ EC가 다른 토양에서 성장한 수박묘의 생장의 실시간 변화 : 파종후 30일에 EC가 다른 토양에 이식한 후 5일부터 17일 사이에 있어서 수박묘의 성장을 실시간별로 조사하여 요약한 것이 그림 7이다. 수박은 EC 3.5에서 이식 후 17일에 자엽이 시들어 마르기 시작하였고 EC 4.5에서 본엽이 말랐다. 그 시기와 증상에 차이는 있지만 EC 2.5 이상에서는 오이와 수박 다같이 EC장해가 일어났고 더 시간이 지나면 EC 2.0도 약간의 성장억제증상을 보였다.

| 이식후 일수 (일) EC(mS·cm ⁻¹) | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 1.0 | | | | | | | |
| 1.5 | | | | | | | |
| 2.0 | | | | | | | |
| 2.5 | | | | | | ※ | ※ |
| 3.0 | | | | ※ | ※ | ※ | ※ |
| 3.5 | | | ※ | ※ | ※ | ※ | ▲□ |
| 4.0 | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | △ | ▲□ |
| 4.5 | ※ | ※ | ※ | △ | ▲ | ▲□ | ▲▨ |
| 5.0 | ※ | ※ | △ | ▲ | ▲□ | ▲▨ | |

그림 4-7. 토양 EC에 따른 수박(슈퍼금천)의 실시간 변화.^z

^z전체 모종의 50%이상이 아래증상일 경우 표시를 함.

△: 자엽처짐, ▲: 자엽마름, □: 본엽처짐, ▨: 본엽마름, : 전체마름, ※, 생장중지
1월 10일 파종, 2월 8일 이식, 2월 13일부터 조사.

○ 내염성에 대한 접목의 효과 : 수박묘를 3가지 다른 박대목에 접목하여 EC별 생장을 조사한 결과(Table 4-8) 모든 박 대목이 EC 3.0이상이 되면 생장이 현저히 억제되는 결과를 가져왔다. 그리고 호박대목(Table 4-8)도 3품종을 이용하였으나 EC 3.0 이상에서 생장이 억제되는 현상은 비슷하여 접목에 의한 염류장해를 극복하는 것은 어려운 것으로 생각되었다. 다만 호박대목 'HNSR 2'는 EC 3.0에서도 EC 2.0과 유사한 생장을 보여 염류집적장해의 극복에 이용될 수 있는 대목으로서 이용가치를 고려할 필요성이 있다고 생각되었다.

○ EC가 높은 토양에 있어 석회와 퇴비의 첨가 : EC가 4.0인 토양에 수박묘를 이식한 후 소석회를 첨가한 결과(그림 4-8) 석회첨가는 바로 뿌리의 발달을 억제시켰고

석회첨가 농도가 증가할수록 잎이 타버리는 엽소(葉燒)현상이 빠르고 심하였다. 그러나 퇴비는 뚜렷한 회복현상을 보였고 EC 4.0인 토양 1kg에 500g 완숙퇴비를 넣은 결과 거의 회복하였고 성장량도 현저히 증가하였다(그림 4-9). 그러나 너무 많은 시용량이라 실용성에는 의문이 생긴다. 수박은 EC 4.0에서는 이식 후 15일 이내에 고사하였다.

○ 토성(토성)별 EC 차이에 따른 성장반응 : 토양의 EC값은 같으나 토성이 다른 경우에 있어서 수박묘의 성장반응을 조사한 결과(그림 4-10) EC 1.0~2.0까지는 점토질에서 생장이 현저히 좋았으나 EC가 2.5이상이 되면 사질양토가 오히려 EC장해가 적은 것으로 나타났다. 토성에 따라 EC에 대한 반응에 차이가 있었다.

표 4-8. 서로 다른 토양 EC에서 슈퍼금천 수박의 시간별 초장과 엽장의 변화²

| 조사항목 | EC (mS·cm ⁻¹) | 이식 후 경과일(일) | | | | | | | |
|------|------------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 0 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| 초장 | 1.0 | 3.5±0.3 | 4.6±0.1 | 4.6±0.3 | 4.7±0.2 | 4.8±0.1 | 5.0±0.2 | 5.3±0.2 | 5.6±0.3 |
| | 1.5 | 4.4±0.2 | 5.2±0.2 | 5.4±0.2 | 5.5±0.2 | 6.1±0.3 | 6.3±0.6 | 6.6±0.6 | 7.3±0.5 |
| | 2.0 | 5.4±0.2 | 6.6±0.6 | 6.6±0.6 | 6.7±0.5 | 6.9±0.8 | 7.1±0.7 | 7.6±0.8 | 8.0±0.8 |
| | 2.5 | 4.6±0.1 | 5.5±0.4 | 5.5±0.6 | 5.6±2.7 | 6.2±0.8 | 6.2±0.1 | 6.6±0.5 | 7.0±0.5 |
| | 3.0 | 4.8±0.1 | 5.1±0.4 | 5.2±0.1 | 5.3±0.5 | 5.3±0.4 | 5.5±0.4 | 5.8±0.1 | 6.0±0.4 |
| 엽장 | 1.0 | 1.4±0.5 | 2.2±0.3 | 2.8±0.2 | 3.2±0.5 | 3.8±0.6 | 4.1±0.5 | 4.3±0.7 | 4.4±0.5 |
| | 1.5 | 1.4±0.2 | 2.3±0.2 | 2.6±0.3 | 2.9±0.5 | 3.2±0.7 | 3.9±0.5 | 4.2±0.5 | 4.5±0.5 |
| | 2.0 | 1.6±0.3 | 2.3±0.4 | 2.8±0.1 | 3.4±0.2 | 4.0±0.2 | 4.4±0.3 | 4.9±0.6 | 4.9±0.2 |
| | 2.5 | 1.8±0.1 | 2.6±0.2 | 3.0±0.1 | 3.3±0.5 | 3.6±0.3 | 4.0±0.1 | 4.2±0.1 | 4.3±0.2 |
| | 3.0 | 1.6±0.1 | 2.0±0.3 | 2.0±0.2 | 2.1±0.5 | 2.6±0.6 | 2.7±0.6 | 2.8±0.7 | 3.1±0.7 |

²3포기 평균±SD, 1월 9일 파종, 2월 10일부터 조사.



그림4-8 고농도염류(EC 4.0) 토양에서 석회첨가에 따른 수박묘의 반응.
 30일 육묘한 묘를 EC 4.0인 토양에 이식하였는데 이때 석회를 토양
 kg당 5, 10, 20, 40, 60g을 각각 첨가한 후 7일 경과한 다음 촬영.



그림4- 9. 고농도 염류(EC 4.0) 토양에서 완숙퇴비첨가에 따른 수박묘의 반응.
 30일 육묘한 묘를 EC 4.0인 토양에 이식하였는데 이때 완숙퇴비를 토양
 kg당 25, 50, 100, 250, 500g을 각각 첨가한 후 7일 경과한 다음 촬영.



그림4- 10. 서로 다른 토양 EC에서 토양종류에 따른 수박묘의 반응.

사질양토와 점질토를 복합비료로 EC 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0으로 조절
다음 30일 육묘한 수박묘를 이식후 20일에 촬영.

(4) 초록

복합비료로 EC(1:5)를 1.0~5.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 조절한 토양에서 오이 및 수박종자의 발아, 유묘생장 및 이식후의 묘생장과 암꽃의 착생 및 과실비대에 대하여 조사하였다. 종자발아는 EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서는 발아속도가 매우 늦었고 EC 4.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서부터는 과중 8일까지 거의 발아하지 않았다. EC 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상이 되면 유묘의 생장이 억제되기 시작하였고 3.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서는 고사하였다. 이식묘에서도 같은 결과였다. EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 잎이 농록색이 되었다. 오이의 경우 EC가 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 높아질수록 제 1번 자화 개화소요일수가 늘어났고 자화 착생절위도 높아졌다. EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 유묘의 잎의 황화현상과 순뻗이가 발생하였으나 매우 불균일하였다.

2) 높은 토양 EC에서 자란 오이묘 조직의 형태적 변화

(1) 서언

식물이 높은 염농도를 만나게 되면 과잉의 염을 배출 또는 희석하므로써 농도를 조절하든가 세포질과 액포의 삼투농도를 높여 저항성을 증진시키는 방법으로 적응한다

(McKersie와 Leshem, 1994). 담배의 경우 염 stress를 받으면 정상적인 조건에서보다 세포내 proline 함량을 80배나 증가시킴으로써 삼투농도를 높여 외부 농도에 대하여 저항성을 높이는데 이와같은 생리적 반응은 많은 연구에서 밝혀져 있다(Edward 등, 1994; Rhodes와 Handa, 1989). 이러한 적응 능력은 작물의 종류에 따라 현저한 차이가 있는데(Larcher, 1995; Munns, 1994) 특히 내염성 식물은 일반 작물에 비해 월등히 높은 염을 세포내에 축적시킬 수 있다(Rozema 등, 1985). 그러나 보통 재배 작물은 높은 염농도에서 stress를 받으면 왜화, 뿌리생장억제, 줄기생장단축, 잎의 왜소화, 잎과 줄기 끝의 괴사 및 잎의 황화현상이 일어나고 결국 조기에 고사한다(Larcher, 1995; Volkmar 등, 1998). 우리나라의 시설재배지 토양 EC가 평균 $2.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 를 상회하고 최고 $7.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 올라가며(Lee 등, 1993) 참외재배지의 경우 82%가 EC $3.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 라고 한다(Park, 2000). 이러한 염농도는 일반적인 작물의 적정 EC인 $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 을 기준으로 할때 대부분의 시설 토양은 과잉의 염류가 집적되었다고 할 수 있다. 염류의 과잉 집적에 의한 작물의 생리장애는 이미 잘 알려져 있으나(Mizrahi와 Pasternak, 1985; Sonneveld와 van den Ende, 1975) 조직이나 세포의 형태적 변화특성에 대한 보고는 많지 않다. 이것은 염농도에 대한 작물의 반응과 생리적 기작을 연구하는 지표로서 매우 중요할 것으로 생각된다. 그래서 본 실험에서는 염농도에 매우 민감한 오이(Sonneveld와 De Kreij, 1999; Lechno 등, 1997)에 대하여 묘가 생존할 수 있는 한계라고 보이는 EC $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 일정기간 성장시켜 잎과 성장점의 형태 및 세포의 크기와 내용물이 EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 성장한 것에 비하여 어떤 변화가 있는가를 조사하였다.

(2) 재료 및 방법

토양 EC조절 및 육묘: 처너지의 사질양토를 1 mm 체로 쳐서 그늘에서 말린 후 EC(1:5)를 측정할 결과 $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 였다. 이 토양에 분말로 만든 복합비료 (N:P₂O₅:K₂O=21:17:17)를 첨가하여 EC를 $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 씩 높여 $1.0\sim 3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 되도록 하였다. 이 때 pH는 5.6~5.8 정도였으며 시험이 끝날 때까지 유지되었다.

이 토양에 오이(*Cucumis sativus* L. cv. Eunchim-baekdadagi, Seminis Korea)종자를 파종하여 본엽 2매가 전개될 때까지 성장시켰다. 성장기간 중에는 증류수에 같은 복합비료를 녹여 토양의 EC와 같은 농도로 만든 액비로 관수하였다.

조직촬영: 성장점과 제2본엽을 채취하여 OsO₄로 고정하여 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM, Hitachi S-4100)으로 촬영하였고 세포는 2.5% glutaraldehyde로 고정

한 후 EtOH의 탈수과정을 거쳐 uranyl acetate와 lead citrate로 염색하여 투과 전자현미경(TEM, Hitachi H-7600)으로 관찰하였다. 잎의 단면은 FAA(formalin:acetic acid:ethanol=5:5:90)의 용액으로 고정시킨 후 탈수시켜 만든 절편을 Hematoxylin-Safranin-Fast Green으로 3중 염색한 다음 광학현미경으로 관찰하였다. 각 조직의 명칭은 Soule(1985)과 Raven 등(1999)을 참고하였다.

(3) 결과 및 고찰

오이 묘를 토양 EC 1.0~3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 사이에서 20일간 성장시킨 후 제2엽을 채취하여 잎의 기공과 모용을 관찰하였다(Fig. 4-11). 잎 표면의 침은 EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 높아질수록 침의 수가 많아졌고 EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 침의 길기가 긴 것이 많았다. 엽 이면의 기공은 형태나 수에 있어서 변화가 없었다. 잎 표피세포(Fig.4-12)의 크기와 형태는 EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 성장한 오이는 세포의 대부분을 액포가 차지하였고 각종 미세구조는 세포벽 쪽에 치우쳐 있었다. 그러나 EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 성장한 잎에는 액포는 거의 찾아볼 수 없고 세포질에는 핵, 미토콘드리아, 엽록체 등 다양한 미세구조가 짝 들어차 있어 EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 잎의 세포와 큰 차이를 보였다. 그리고 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 오이의 해면유조직세포(Fig. 4-13)는 크고 내부는 액포가 대부분 차지하고 있었고 엽록체와 기타 미세구조는 세포벽 쪽에 밀려나 있었다. 그러나 EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 성장한 오이는 세포의 크기가 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것보다 작았고 액포가 세포중간에 크게 차지하고 있는 것은 같았으나 차지하는 비율도 낮았으며 엽록체의 밀도도 높았다. 또 잎의 두께(Fig.4-14)는 토양의 EC가 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 높아질수록 현저히 얇아졌다. EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 표피조직, 책상조직, 해면조직 및 하부 표피세포가 잘 발달되어 있는 것을 볼 수 있으나 EC가 높아질수록 모든 조직이 같은 비율로 단축되었다. 그런데 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 책상조직은 매우 검은 색을 띠었는데 이것은 엽록체의 수가 많기 때문에 진하게 보이는 것으로 생각되었다.

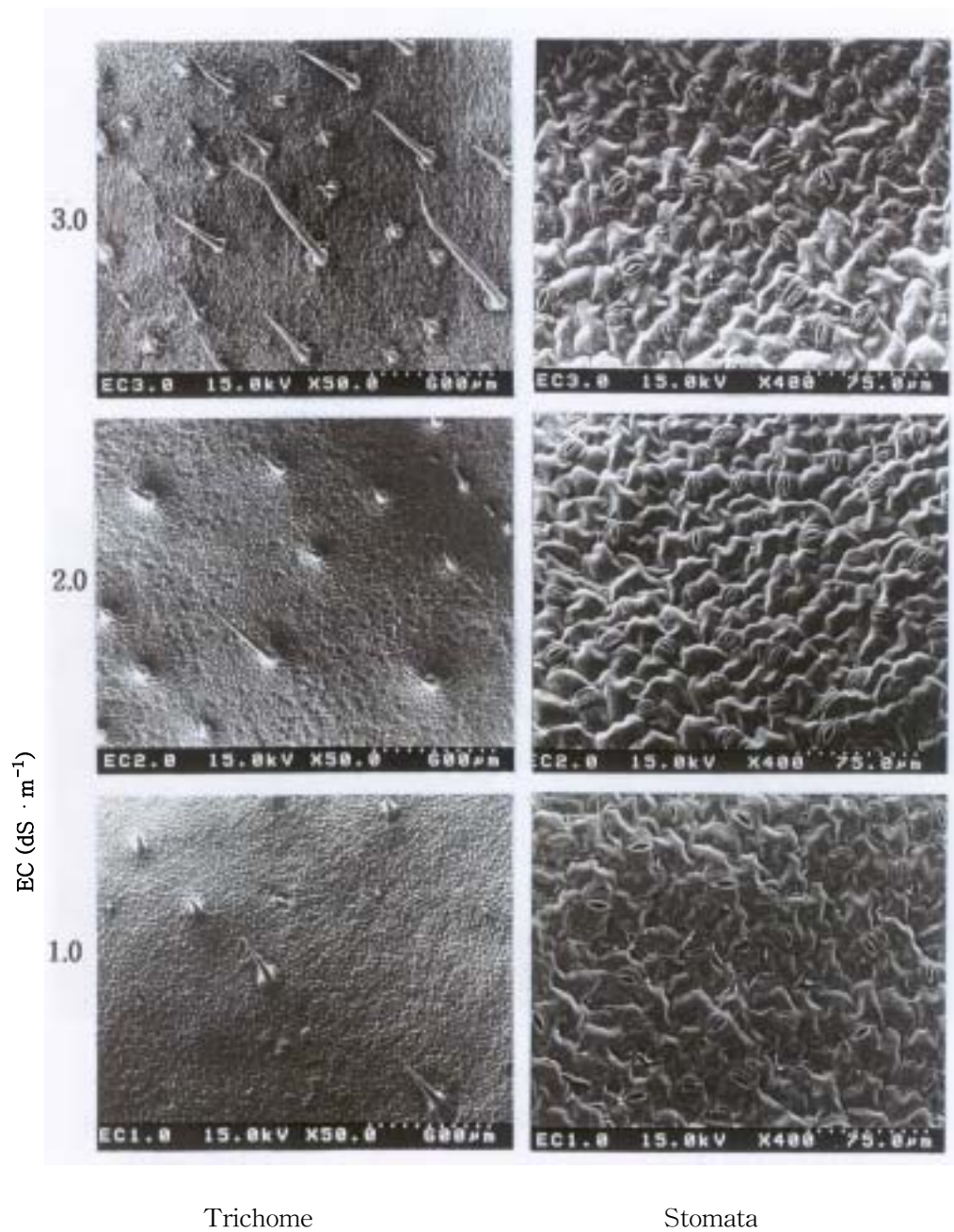


Fig.4-11. Effect of soil EC on the morphological properties of trichome (left) and stomata (right) of upper and lower epidermis in cucumber leaves.

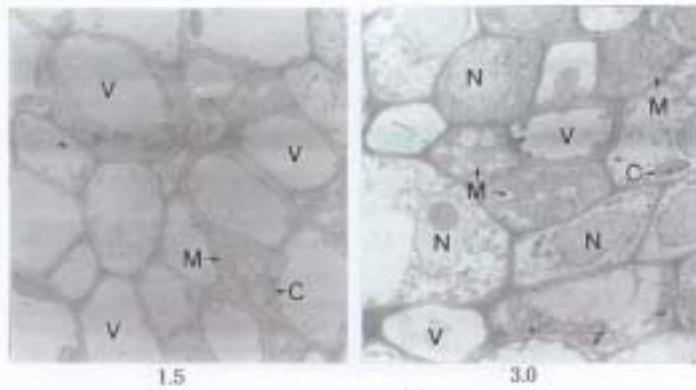
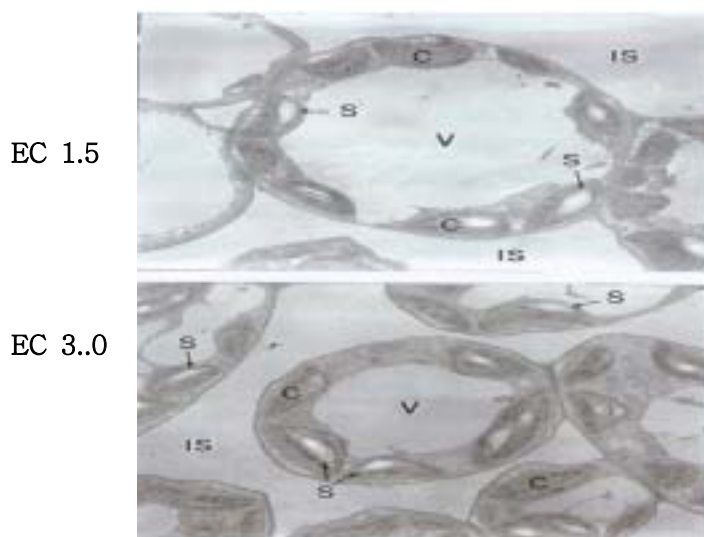


Fig.4-12. Effect of soil EC on cell shape of upper epidermis of cucumber seedling leaf, Left : EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Right : EC $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$
 V : vacuole, N : nucleus, M : mitochondrion, C : chloroplast



EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

Fig. 4-13. Effect of soil EC on shape of spongy parenchyma cells of cucumber seedling leaf.
 Upper : EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Lower : EC $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$,
 V : vacuole, C : chloroplast, S : starch grain, IS : Intercellular space.

오이묘를 EC 2.0 dS·m⁻¹과 생장이 현저히 억제되는 EC 3.0 dS·m⁻¹에서 20일간 생장시킨 후 성장점의 조직분화를 전자현미경으로 관찰하였다(Fig.4-15). EC 2.0 dS·m⁻¹에서 자란 묘는 성장점, 엽원기, 결눈의 발생이 정상적으로 발달하였고 잎의 모용도 컸으며 성장점도 EC 3.0 dS·m⁻¹에서 자란 묘보다 훨씬 컸다. 그러나 EC 3.0 dS·m⁻¹에서 자란 묘는 성장점을 위시한 모든 조직의 분화가 일그러져 있었다. 엽원기에 붙어 있는 모용도 아주 짧았고 성장점도 작았다. 실제로 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 식물체가 위축되었으며 순뿔이도 일어났다.

잎 이면의 기공형태와 수는 처리간 변화가 없었으나 표피의 모용 크기와 수가 증가하였는데 이것은 모용이 세포내에 염을 축적하므로써 일종의 제염효과를 나타내는 작용(Salisbury와 Ross, 1992)이 있는 것으로 생각되었다. 토양수분이 부족하면 기공의 수가 적어지고 기공을 닫게 하는 ABA와 같은 물질의 생성도 촉진되는데(Ristic과 Cass, 1991) EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 기공의 변화가 관찰되지 않았다. 그런데 EC 3.0 dS·m⁻¹에서 자란 묘의 표피세포에 핵과 미토콘드리아를 비롯한 미세구조가 꼭 들어차 있는 것은 이들 조직은 액포에 비하여 용질의 농도가 높기 때문에 외부의 높은 삼투압에 견딜 수 있는 기능이 높기 때문일 것으로 생각된다(Flores, 1990; Rhodes와 Handa, 1989). 염 stress는 원형질막의 H⁺의 투과 및 광합성에도 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Niu 등, 1995). 본 실험에서도 EC가 어느 수준까지 증가할 경우 엽록체 수가 증가하는 경향을 보였고 엽색도 매우 진하게 되었다.

높은 EC에서 조직의 괴사나 tip burn과 같은 생리적 장애발생(Mizrahi와 Pasternak, 1985; Sonneveld와 van den Ende, 1975)에 대해서 이미 보고되었으나 성장점 분화에 대한 자료는 찾을 수 없었다. 다만 단자엽식물의 경우 莖頂의 발달촉진(Grieve 등, 1994), 개화기간단축(Romero와 Maranon, 1994), 花歷(phenology)의 변화(Rawson, 1986)와 쌍자엽 식물에 있어서 나이트가 좁아지는(Lipschitz와 Waisel, 1970) 등 생육기의 변화에는 관여하는 것으로 보고되어 있다. 이번에 줄기의 신장과 생식기관의 발달의 기본이 되는 줄기선단의 분열조직을 관찰한 결과 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 심한 이상분열이 관찰되는데 이것이 순뿔이의 시초인 것으로 생각되었다. 즉 높은 EC에서는 성장점 분열이상에 의해서 줄기신장이 단축되어 왜화현상이 일어나며 심하면 순뿔이나 선단고사현상이 나타날 수 있음을 알 수 있었다. 내염식물은 염 stress가 가해지면 식물이 성장할수록 多肉조직이 발달하고 잎이 두꺼워지고 세포가 커진다고 하였는데(Larcher, 1995) 오이는 EC가 증가할수록 현저히 엷어졌는데 그 이유에 대해서 잘 알

수 없었다. 다만 높은 EC에서 잎의 신장억제는 세포벽의 산성화(Neves-Piesturn과 Bernstein, 2001)나 세포막의 신장성(Neumann 등, 1994)과 관련이 없다

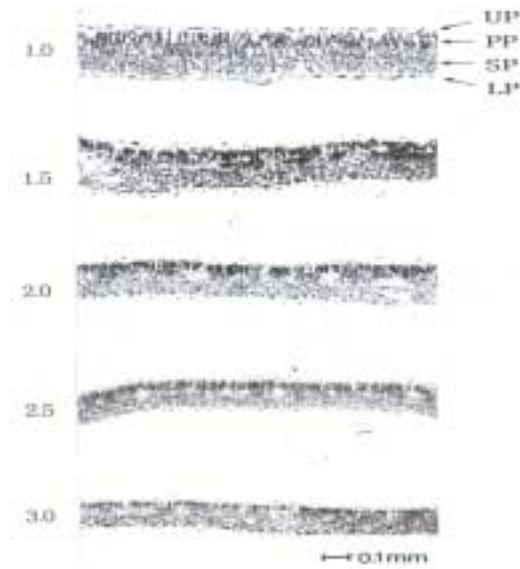


Fig. 4-14. Comparison of profile of leaf tissues of cucumber seedling grown in different soil EC conditions.

UP: upper epidermis, PP: palisade parenchyma, SP: spongy parenchyma, LP: lower epidermis

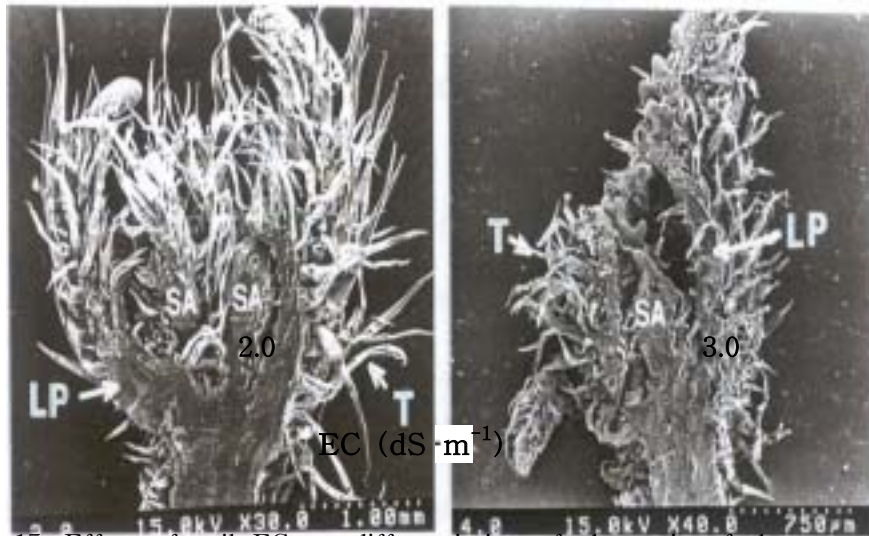


Fig.4-15. Effect of soil EC on differentiation of shoot tip of the cucumber seedling.

Left : EC 2.0 dS·m⁻¹, Right : EC 3.0 dS·m⁻¹

LP : leaf primodium (young leaf), SA : shoot apex, T : trichome

고 하는 보고에서 보듯이 염 stress는 뿌리에서의 양분흡수저해 및 세포분열억제(Volkmar 등, 1998) 등에 의한 세포의 기능저하에 의한 programmed cell death (Dangl 등, 2000)의 한 과정인 것으로 생각되었다. 염 stress에 따른 조직학적 연구가 매우 미진한 상태이므로 앞으로 보다 상세한 연구가 요망된다.

(4) 초 록

토양 EC가 다른 조건에서 성장시킨 오이묘의 잎과 성장점에 대한 형태적 변화를 관찰하였다. EC가 1.0 dS·m⁻¹에서 3.0 dS·m⁻¹까지 높아질수록 잎 표면의 모용의 수가 많아지고 길이가 길어졌으나 뒷면의 기공형태와 수는 변화가 없었다. EC 1.5 dS·m⁻¹에서 자란 오이묘의 표피세포는 대부분 액포가 차지하고 있었으나 EC 3.0 dS·m⁻¹에서 자란 것은 핵, 미토콘드리아, 엽록체와 기타 미세구조가 대부분의 공간을 채우고 있었다. 잎의 해면유조직세포는 EC 1.5 dS·m⁻¹에서는 세포는 크고 엽록체가 적었으나 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 세포와 액포의 크기가 적었고 상대적으로 엽록체함량이 많았다.

잎의 두께는 EC가 증가할수록 얇아졌고 EC 1.5~2.0 dS·m⁻¹에서는 책상조직세포가 아주 진한 색을 띠었다. EC 3.5 dS·m⁻¹이상에서는 성장점 조직의 분화가 정상적으로 일어나지 않았다.

2. 토양의 영양조건에 따른 가지과 작물(토마토, 고추)의 장해발생시기, 특징 및 피해경감 대책

- Characteristics, time of occurrence, and reducing counterplan of injuries appeared according to the soil nutrient conditions in Solanaceae crops(Tomato and Pepper) -

1) 토양 EC에 대한 토마토(*Lycopersicon* spp.)의 성장반응 및 耐鹽性 대목 선발

(1) 서 언

토양에 염류농도가 높아지는 것은 몇가지 원인에 의해서 일어난다. 즉 간척지나 해안 가까이 위치한 토양이 지하로부터 NaCl의 상승, 시설재배 토양에 있어서 표층토의 염류집적 그리고 鹽농도가 높은 관개수를 이용하는 경우이다. 특히 집약적인 시설재배가 많은 지역은 비료성분의 잔류에 의한 토양 EC의 상승이 문제가 된다. 우리나라에서도 대부분의 시설재배지 토양 EC가 작물생육의 적정치보다 훨씬 높은 것으로 알려져 있다(Lee 등, 1993; Park, 2000; Rhee 등, 1992). 더욱이 토마토는 가장 긴 재배기간을 가진 작물이므로 시설내 토양의 염류집적이 일어날 소지가 높다. 토마토(*Lycopersicon* spp.)는 염농도에 비교적 강한 것으로 알려져 있고(Maas, 1985; Kinett와 Peet, 1997), 어느 정도의 염농도 증가는 토마토 품질 특히 당함량의 증가와 같은 품질향상을 증가시킨다고 한다(Balibrea 등, 1997; Martines 등, 1987). 그러나 염농도가 일정수준 이상 높아지면 생장억제와 수량감소를 초래한다(Li 등, 2001; Martinez 등, 1987).

토양의 높은 염류집적을 회피하는 방법으로 담수에 의한 제염, 흡비력이 강한 작물 재배 또는 객토와 퇴비시용 등이 있으나 이 모두가 간편한 방법이 아니다. 현재 토마토는 뿌리썩음시들음병과 각종 토양전염성병 및 TMV에 강한 대목이 야생종 토마토로부터 개발되어 있고 접목재배도 널리 실용화되어 있다(Chung 등, 1997). 그래서 만일 내염성 대목이 있다면 이에 접목하므로써 높은 토양 EC를 어느 정도 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 토마토는 많은 야생종이 있는데 이 가운데 내염성 품종이 있는 것으로 보고되어 있다(Mahmoud 등, 1986; Rajasekaran 등, 2000; Saranga 등,

1991). 그래서 이들 내염성이 강한 대목을 이용한 접목재배의 가능성에 대하여 실험을 실시하였다.

본 실험에서는 먼저 재배 토마토 2품종에 대하여 토양 EC에 따른 종자출현율, 유묘생장 및 EC가 다른 토양에 이식한 묘의 생장과 화방의 발달 등의 반응을 조사하였다. 그리고 시판중인 내병성 대목 2 품종과 야생종 토마토 14계통을 이용하여 토양 EC에 대한 screening test를 실시하여 민감성과 내염성품종을 선발하였다. 선발된 품종을 대목으로 하여 재배토마토를 각각 접목하여 토양 EC에 따른 생육과 화방발육, 과실비대 등을 조사하므로써 내염성 대목을 이용한 접목재배의 가능성을 검토하였다.

(2) 재료 및 방법

토양 EC조절 : 작물을 전혀 재배하지 않았는 사질양토($EC\ 0.5\ dS \cdot m^{-1}$)에 분말로 만든 복합비료(N:P:K=21:17:17, 동부화학)를 첨가하여 EC를 $0.5\ dS \cdot m^{-1}$ 차이가 있게 하여 $1.0 \sim 5.0\ dS \cdot m^{-1}$ 까지 조절하였다. 토양과 비료는 혼합기(Benford RG2, UK)를 이용하여 혼합하였고 EC(Electrical Conductivity)는 토양 : 물을 1 : 5(W/V)로 하여 EC meter(Takemura, CM-53)로 측정하였다(Chung 등, 2001). 이 상토에 과종 또는 이식한 후 관수는 같은 농도로 EC가 조절된 물을 실험이 끝날때까지 주었다.

공시품종 : 토마토 품종은 대과종인 '선명'(농우종묘)과 방울토마토 '단주 2호'(Seminis Korea)를 이용하였고 대목은 뿌리썩음시들음병(race J₃)에 저항성으로 시판중인 'Joint'와 'Vulcan'(Sakata Seeds)과 농촌진흥청으로부터 분양받은 야생종 토마토 *Lycopersicon cheesmanii*의 7種 14變種과 *L. esculentum* 2품종 총 16계통(Table 4-9)을 사용하였다.

Table 4-9. List of tomato seeds used for the rootstocks in this experiment.

| Type | IT number | Species | Remarks |
|---------|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Wild | 173936 | <i>Lycopersicon cheesmanii</i> | |
| | 199484 | " | |
| | 199486 | " var. minor | High sugar content(Brix, Max. 15.9) |
| | 199488 | <i>chilense</i> | |
| | 173738 | " | |
| | 173823 | <i>hirsutum</i> | Cherry |
| | 199480 | <i>hirsutum</i> glabratum | var. |
| | 199481 | <i>hirsutum</i> | |
| | 173831 | <i>peruvianum</i> | Shape and plant vigor unique |
| | 173891 | " | Fusarium wilt sensitive, cherry |
| | 199469 | " dentatum | var. |
| | 199470 | <i>peruvianum</i> | |
| Currant | 173839 | <i>pimpinellifolium</i> | Fusarium resistance |
| | 173857 | " | |
| Common | 1788129 | <i>esculentum</i> | Fusarium resistance, large fruit |
| | 1788130 | " | Fusarium resistance, large fruit |

出現率 및 幼苗生長 : 플러그 트레이(72공)에 EC별로 조절된 흙을 넣고 건전한 종자를 1개씩 파종하였는데 한 품종당 50개씩을 한 반복으로 하여 3반복하였다. 매일 오전 10시에 자엽이 완전히 전개된 것을 출현으로 간주하여 출현율을 조사하였다. 출현된 것은 파종후 30일간 성장시켜 고사율, 지상부 및 지하부 발달을 조사하였다.

이식묘의 성장 : 원예용 상토(TKS 2)를 넣은 72공 플러그 트레이에 파종하여 본엽 3매가 완전 전개될때까지 육묘하였다. 이 묘를 EC 1.0 및 3.0 dS·m⁻¹인 토양을 넣은 포트(직경 15cm)에 심은 후 같은 농도의 물을 주면서 활착 및 성장을 조사하였다. 이식후 20일까지 EC차이에 따른 식물의 반응을 실시간으로 조사하였고 식물체의 지상부 및 지하부의 생체 및 건물중도 측정하였다. 이 이식묘의 성장반응 실험은 재배 토마토, 토마토용 대목 및 Table 1에 있는 야생토마토의 모든 품종에 적용하여 EC에 대한 반응을 비교하였다. 여기서 토양의 높은 EC(3.0 dS·m⁻¹)조건에서 야생토마토 가운데 내성을 나타낸 두 품종과 민감성인 것으로 보이는 한 품종을 일반 토마토에 접목하였다. 이 묘를 앞에서와 같이 EC가 다른 토양에 이식하여 성장반응을 조사하였

다.

착과 및 형태적 변화 : EC를 1.0~3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지의 토양을 넣은 포트(직경 20cm)에 한포기씩 심어 제 5화방이 분화될 때까지 생육시키면서 꽃눈분화의 속도, 화방당 꽃눈수 및 착과수를 조사하고 과실의 크기를 측정하였다. 각기 다른 EC조건에서 자란 식물체의 잎 이면에 있는 털의 수와 자방의 발달을 전자현미경으로 관찰하였다. 잎의 모용(trichome)은 제4 본엽을 채취하여 2.5% glutaraldehyde로 고정한 후 EtOH의 탈수과정을 거쳐 OsO_4 로 고정하였다. 이 시료를 ion coater로 백금 코팅한 후 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM, Hitachi S-4100)으로 촬영하였다. 그리고 자방은 제 1화방 가운데 발생시기가 같은 것에 건전한 것 하나를 채취하여 같은 방법으로 관찰하였다.

접목묘의 생장 : 원예용 상토(TKS 2)를 넣은 플러그 트레이(72공)에 토마토와 대목종자를 1개씩 파종하여 온실에서 추비를 하지 않고 육묘하였다. 이 묘가 본엽 3매 정도 자랐을 때 핀접목(Chung 등, 1997)을 하여 활착된 것을 온실에서 10일간 생장시켰다. 이 묘를 EC 1.0 및 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양을 넣은 포트(직경 15cm)에 이식하여 생장반응을 조사하였다. 각 처리당 10주를 한 반복으로 하여 3반복으로 하였다.

(3) 결과 및 고찰

出現率 및 幼苗生長 : 최아시키지 않은 종자를 토양 EC가 0.5~3.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양에 파종하여 지상부로 자엽이 완전히 전개된 것을 조사하였다(Table 4-10). 토마토 '단주 2호'와 '선명' 두 품종 가운데 '선명'이 초기 출현율은 빨라서 파종후 5일에 EC 0.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 56.3%였고 EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 33.3%에 이르고 파종후 11일 및 13일에 93.8%와 95.8%의 출현율을 보였다. 그러나 EC가 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상으로 증가하면 현저히 출현율이 감소하여 EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 최고 72.9%였으나 EC 3.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 는 31.3% 밖에 되지 않았다. 한편 '단주 2호'는 초기 출현은 '선명'보다 늦었으나 파종후 9일에 EC 0.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 가 97.9%, EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 95.8%로 출현속도가 매우 빨랐다. 그러나 높은 EC(3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)에서의 출현율은 '단주 2호'가 '선명'보다 낮았다.

출현된 묘를 같은 EC조건에서 계속 성장시켜 파종 후 30일에 유묘의 생장을 조사한 결과(Table 4-11) '선명'과 '단주 2호' 두 품종 다같이 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 지상부와 뿌리생장이 가장 좋았다. 그러나 EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상이 되면 심한 생장억제현상이 나타났는데 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에 비하여 '선명'은 EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 18%, EC 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$

에서는 43%나 초장이 억제되었고, ‘단주 2호’는 10%와 28%로 각각 초장이 단축되었다. 그리고 EC 2.5 dS·m⁻¹ 이상에서는 하엽부터 잎 가장자리가 마르기 시작하여 ‘단주 2호’는 EC 3.5 dS·m⁻¹에서는 이식 후 20일만에 완전 고사하였다(Fig.4-16).

Table 4-10. Effect of soil EC on emergence rate of tomato seeds.^z

| Cultivar | EC ^y (dS·m ⁻¹) | Days after sowing | | | | | | | | |
|--------------|--|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | |
| | | Emergence rate(%) | | | | | | | | |
| | 0.5 | | | | | | | 100±0. | | |
| | 1.0 | 33.3±8.6 | 68.8±9.7 | 97.9±2.0 | 100±0.0 | 100±0.0 | 100±0.0 | 0 | 100±0.0 | |
| | 1.5 | 25.0±4.6 | 66.7±7.6 | 95.8±1.3 | 97.9±0.6 | 97.9±1.0 | 98.4±0.5 | 100±0. | 100±0.0 | |
| | 2.0 | 14.6±1.2 | 52.1±8.8 | 79.2±6.5 | 91.7±1.2 | 95.8±2.4 | 95.8±1.6 | 0 | 97.9±0.6 | |
| 'Danju II' | 2.5 | 14.6±3.5 | 58.3±5.4 | 81.3±4.4 | 85.4±3.6 | 91.7±5.2 | 91.7±2.7 | 97.9±1.3 | 91.7±1.8 | |
| | 3.0 | 10.4±1.0 | 50.0±1.2 | 60.4±8.5 | 66.7±8.6 | 70.8±8.8 | 70.8±6.5 | 91.7±2.5 | 82.1±2.1 | |
| | 3.5 | 4.2±1.2 | 16.7±0.5 | 20.8±1.3 | 31.3±4.5 | 35.4±6.3 | 41.7±3.4 | 77.1±6.9 | 48.3±6.7 | |
| | | 2.1±0.8 | 8.3±2.0 | 12.5±3.2 | 12.5±2.5 | 12.5±2.7 | 14.6±2.0 | 47.9±4.5 | 16.2±2.9 | |
| | | | | | | | | 14.6±4.2 | | |
| | 0.5 | 56.3±6.4 | 79.2±8.8 | 87.5±5.6 | 91.7±2.0 | 95.8±2.0 | 95.8±2.1 | 97.9±0.9 | 97.9±0.8 | |
| | 1.0 | 33.3±2.0 | 75.0±1.6 | 87.5±5.4 | 93.8±1.4 | 93.8±2.8 | 97.9±0.6 | 97.9±0.6 | 97.9±0.6 | |
| | 1.5 | 16.7±1.6 | 54.2±4.2 | 68.8±7.8 | 81.3±6.5 | 87.5±6.3 | 87.5±2.8 | 87.5±2.5 | 87.5±1.6 | |
| 'Seonmyeong' | 2.0 | 20.8±8.0 | 60.4±9.1 | 64.6±7.2 | 70.8±3.5 | 75.0±6.5 | 79.2±4.6 | 79.2±6.8 | 79.2±6.3 | |
| | 2.5 | 12.5±4.2 | 56.3±2.3 | 60.4±3.6 | 66.7±7.9 | 72.9±4.1 | 72.9±6.9 | 75.0±6.2 | 75.0±2.6 | |
| | 3.0 | 4.2±1.3 | 31.3±3.6 | 47.9±1.4 | 70.8±9.4 | 70.8±8.9 | 72.9±3.2 | 72.9±2.4 | 72.9±8.8 | |
| | 3.5 | 8.3±2.2 | 16.7±3.1 | 25.0±1.5 | 25.0±2.8 | 25.0±6.5 | 31.3±2.8 | 31.3±3.6 | 31.3±4.1 | |

^zMean±SE, n=50 seeds.

^yAdjusted by adding a commercial compound fertilizer (N:P:K=21:17:17) in loam soil

Table 4-11. Growth of tomato seedlings grown for 30 days after sowing on different soil EC conditions.^z

| Cultivar | EC ^x (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Fresh wt. (g/seedling) | | Cotyledon | | No. of leaves (ea) | Root length (cm) |
|--------------|--|-------------------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|--------------------------|------------------------|
| | | | Top | Root | Length (cm) | Width (cm) | | |
| 'Danju II' | 0.5 | 2.63±0.1 | 0.07±0.01 | 0.02±0.01 | 1.25±0.22 | 0.78±0.33 | 5.7±0.5 | 4.93±0.2 |
| | 1.0 | 3.23±0.2 | 0.18±0.01 | 0.02±0.01 | 2.48±0.11 | 2.10±0.13 | 7.0±0.0 | 4.10±0.6 |
| | 1.5 | 3.27±0.1 | 0.20±0.01 | 0.03±0.01 | 2.23±0.45 | 2.23±0.45 | 6.7±0.5 | 5.03±0.3 |
| | 2.0 | 2.93±0.2 | 0.13±0.03 | 0.01±0.00 | 1.83±0.09 | 0.90±0.08 | 6.7±0.5 | 2.57±0.2 |
| | 2.5 | 2.35±0.1 | 0.06±0.01 | 0.01±0.00 | 0.48±0.08 | 0.25±0.05 | 6.0±0.0 | 1.95±0.1 |
| | 3.0 | 1.93±0.2 | 0.04±0.01 | - ^y | - | - | 5.0±0.8 | 1.45±0.2 |
| 'Seonmyeong' | 0.5 | 2.90±0.2 | 0.11±0.05 | 0.03±0.02 | 1.67±0.29 | 1.23±0.19 | 5.7±0.5 | 5.10±1.5 |
| | 1.0 | 3.95±0.3 | 0.29±0.03 | 0.04±0.01 | 3.30±0.12 | 2.58±0.05 | 7.3±0.5 | 5.43±1.2 |
| | 1.5 | 4.27±0.3 | 0.38±0.10 | 0.05±0.02 | 2.60±0.37 | 2.60±0.37 | 7.7±0.5 | 6.10±1.9 |
| | 2.0 | 3.50±0.2 | 0.21±0.03 | 0.05±0.01 | 2.53±0.41 | 2.27±0.21 | 7.0±0.5 | 4.00±0.1 |
| | 2.5 | 2.43±0.1 | 0.08±0.01 | 0.01±0.00 | 1.18±0.11 | 0.53±0.08 | 6.7±0.5 | 2.23±0.3 |
| | 3.0 | 2.20±0.2 | 0.05±0.01 | 0.01±0.01 | 0.43±0.05 | 0.23±0.05 | 6.0±0.8 | 2.00±0.2 |

^zMean±SE, n=10 seedlings.

^yNot available.

^xSee Table 2.

이식묘의 생장 : 원예용상토에서 20일간 육묘한 유묘를 EC가 다른 토양에 이식한 후 20일째에 생장반응을 조사하였다. 토마토는 두품종 다같이 EC 1.0~1.5 dS·m⁻¹에서 가장 좋은 생장을 보였고 EC 2.0 dS·m⁻¹ 이상이 되면 생장이 급격히 감소하였다 (Table 4-12). 생장의 감소에 비하여 엽수는 큰 차이가 없었는데 이는 이미 분화된 잎이 전개되었기 때문인 것으로 보인다. 한편 야생토마토 14품종 및 *L. esculentum* 두 품종과 시판 대목 두품종에 대하여서는 EC 1.0 dS·m⁻¹ 및 3.0 dS·m⁻¹의 토양에 이식한 후 생장반응을 조사한 결과(Table 4-13) *L. peruvianum* (IT 199470)이 EC 1.0 dS·m⁻¹에 비하여 3.0 dS·m⁻¹이 37.4%나 초장이 억제되어 가장 민감한 품종으로 나타났다 IT 188130 (*L. esculentum*)과 IT 173823 (*L. hirsutum*)이 각각 12.7% 및 13.1%의 생장억제를 보여 비교적 내성이 있는 것으로 판단되었고 대목 'Joint'도 11.3%밖에 억제되지 않아서 강한 내염성을 보였다. 실제 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 모든 토마토 묘가 잎 가장자리가 마르고 줄기는 심한 위축현상을 보이는데 비하여 이 3품종은 장애정도가 현저히 적었다.

착과 및 과실비대 : 토양 EC별 제 1화방의 개화수를 조사한 결과(Table 4-14) EC가 낮을수록 개화속도가 빨랐고 EC 3.0 dS·m⁻¹에서는 화방은 형성되었으나 개화는 되지 않았다. 제 1화방의 꽃눈수 및 착과수를 보면 EC 2.0 dS·m⁻¹에서는 5개의 꽃눈이 분화되어 2.8개가 착과되어 평균 55.2%의 착과율을 보였으나 EC 2.5 dS·m⁻¹는 같은 수의 꽃눈이 형성되었으나 착과율은 6.3%에 불과하였다(Table 4-15). 온실내에서 착과제를 처리하지 않고 화방을 약간 두들겨 주는 방법으로 착과시킨 것인데 높은 염농도에서는 결실율이 매우 낮았다. 착과된 토마토의 평균과중은 EC 1.5 dS·m⁻¹와 2.0 dS·m⁻¹은 84.7~87.0g으로 거의 같은 중량을 보였으나 EC 2.5 dS·m⁻¹에서는 36.8g이었다. 과실의 태좌와 종자형성을 보면 EC 1.5 dS·m⁻¹는 태좌의 격막이 잘 발달하였고 종자형성도 정상이었으나 EC가 2.0 dS·m⁻¹로 높으면 태좌발달이 비정상적이었다 (Fig.4-17).

자방 및 모용의 형태 : 잎의 이면의 모용수와 형태를 관찰한 결과(Fig. 4-18) EC 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 농도가 높아질수록 모용수가 현저히 증가하였다. 그러나 모용의 형태나 길이에 있어서는 차이를 보이지 않았다. 자방의 발달(Fig. 4-19)은 EC 1.0~2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 정상적으로 발달하였고 배주의 종자도 잘 형성되어 있는 것을 볼 수 있으나 EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 자방의 크기가 작았다. EC 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 토마토는 자방내 태좌의 표면에서 씨가 될 부분이 분리되는 비정상적인 발달을 보였다.

접목묘의 생장 : 토마토 가운데 내염성인 것으로 보인 IT 188130(*L. esculentum*) 과 야생토마토로서 IT 173823(*L. hirsutum*)과 민감성으로 나타난 IT 199470(*L. peruvianum*)에 토마토 '선명'을 각각 접목하여 EC 1.0~3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 조건에서 생장을 관찰하였다(Table 8). 묘의 생장이 가장 좋은 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 를 기준으로 생장억제가 심하게 일어나는 EC 2.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서의 생장을 비교하여 보면 무접목묘는 초장은 19.2cm에서 12.9cm로 32.8%나 낮았고 지상부 생체중은 14.4g에서 8.3g으로 42.4%나 감소하였다. 뿌리의 생체중은 72.5%나 적어 높은 EC에서는 근계발달이 거의 일어나지 못하였다.

Table 4-12. Growth responses of tomato seedlings transplanted on the different soil EC.^{z,y}

| Cultivar | EC ^x (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Top | | Root | | Leaf | | | Stem diamet er (cm) | Root length (cm) |
|------------------|--|-------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------|---------------|-------------|------------------------------|------------------------|
| | | | Fresh weight (g) | Dry weight (g) | Fresh weight (g) | Dry weight (g) | Length (cm) | Width (cm) | No. (ea) | | |
| 'Danju II' | 0.5 | 9.8±0.6 | 3.5±0.6 | 0.6±0.1 | 0.75±0.1 | 0.07±0.00 | 8.0±0.5 | 8.1±0.7 | 5.3±0.5 | 3.9±0.1 | 15.7±1.5 |
| | 1.0 | 12.8±0.4 | 7.2±1.4 | 0.8±0.1 | 1.21±0.3 | 0.11±0.02 | 11.6±1.2 | 10.4±1.5 | 7.0±0.5 | 4.6±0.5 | 18.8±4.4 |
| | 1.5 | 13.4±3.5 | 6.2±1.5 | 0.7±0.2 | 0.85±0.2 | 0.08±0.01 | 10.0±1.1 | 9.5±1.3 | 6.7±0.1 | 6.0±2.3 | 18.4±0.4 |
| | 2.0 | 10.0±1.1 | 5.4±1.8 | 0.5±0.2 | 0.72±0.3 | 0.06±0.01 | 9.3±1.4 | 8.0±1.0 | 6.7±0.5 | 4.1±0.5 | 17.3±3.7 |
| | 2.5 | 9.4±0.7 | 4.1±0.6 | 0.4±0.1 | 0.53±0.1 | 0.05±0.01 | 7.9±0.4 | 7.3±1.0 | 6.3±0.4 | 3.6±0.2 | 12.9±3.3 |
| | 3.0 | 7.5±1.1 | 2.6±1.4 | 0.2±0.1 | 0.30±0.2 | 0.02±0.00 | 6.3±1.8 | 5.6±1.7 | 6.0±1.6 | 3.1±0.7 | 16.2±0.9 |
| 'Seonmy eong' | 0.5 | 11.5±0.8 | 4.3±0.5 | 0.6±0.1 | 1.14±0.1 | 0.10±0.01 | 9.7±0.9 | 8.6±1.6 | 5.7±0.5 | 4.0±0.1 | 22.2±1.4 |
| | 1.0 | 14.7±1.5 | 10.9±3.2 | 1.3±0.4 | 2.10±0.4 | 0.21±0.01 | 14.6±2.1 | 13.5±2.3 | 7.3±0.4 | 5.2±0.6 | 19.1±4.9 |
| | 1.5 | 14.2±0.9 | 10.0±2.1 | 1.0±0.2 | 1.89±0.4 | 0.16±0.02 | 13.9±1.1 | 12.2±0.9 | 7.7±0.5 | 5.0±0.5 | 18.2±1.4 |
| | 2.0 | 12.3±1.2 | 8.2±2.2 | 0.8±0.2 | 1.28±0.5 | 0.11±0.02 | 11.9±1.6 | 11.2±2.2 | 7.0±0.8 | 4.3±0.9 | 16.5±2.5 |
| | 2.5 | 11.7±0.2 | 7.9±1.2 | 0.7±0.1 | 0.99±0.2 | 0.09±0.01 | 11.0±0.4 | 10.2±0.6 | 7.3±0.5 | 4.3±0.1 | 17.5±1.1 |
| | 3.0 | 10.3±1.2 | 4.5±2.5 | 0.5±0.3 | 0.51±0.4 | 0.05±0.01 | 8.6±2.0 | 7.5±2.4 | 6.0±0.8 | 3.6±0.8 | 10.1±2.8 |

^zMean±SE, n=10 seedlings.

^y20-day-old seedlings were transplanted on the soils having differing soil EC, and measurements taken at 20 days after transplanting.

^xSee Table 2.

Table 4-13가로표

Table 4-13연결

Table 4-14. Flowering habit of the first truss of tomato plants grown in soils having various EC of 1.0~3.0 dS·m⁻¹.^z

| EC ^x (dS·m ⁻¹) | Flowering time(Days after sowing) | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 67 | 70 | 73 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 | 91 | 94 |
| 1.0 | 0.8 _y ±0.8 | 1.0±0.7 | 1.3±0.4 | 1.8±0.4 | 0.8±0.8 | 0.3±0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.5 | 0 | 0.3±0.5 | 1.3±0.4 | 1.8±0.8 | 1.0±0.7 | 0.8±0.4 | 0.5±0.5 | 0.3±0.4 | 0 | 0 |
| 2.0 | 0 | 0 | 0.8±0.4 | 1.8±0.4 | 1.5±0.4 | 1.0±0.0 | 0.8±0.4 | 0 | 0 | 0 |
| 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3±0.4 | 0.3±0.4 | 1.0±0.7 | 1.3±0.4 | 0.5±0.5 | 0.5±0.5 |
| 3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

^zMean±SE, n=4 plants.

^yNo. of flowering flowers on the first truss.

^xSee Table 2.

Table 4-15. Effects of soil EC on fruit set and fruit growth of the first truss of tomato plants.^z

| EC ^y (dS·m ⁻¹) | Rate of fruit set ^x (%) | Fruit | | |
|--|---------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Weight (g) | Hight (cm) | Width (cm) |
| 1.0 | 37.1±4.2 | 58.7±6.5 | 4.5±0.2 | 4.8±0.2 |
| 1.5 | 44.4±7.4 | 87.0±13.8 | 4.7±0.3 | 5.3±0.4 |
| 2.0 | 55.0±2.6 | 84.7±18.2 | 4.7±0.3 | 5.3±0.5 |
| 2.5 | 6.3±2.1 | 36.8±9.4 | 3.0±0.9 | 3.2±0.5 |
| 3.0 | 0 | - | - | - |

^zMean±SE, n=5 plants, or 5 fruits.

^ySee Table 2.

^xInvestigated only until flowering stage of 5 truss.



Soil EC($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)

Fig. 4-17. Effect of soil EC on development of placenta of tomato fruits.

A: 15 days after flowering, B: 20 days after flowering.

그리고 EC에 민감성을 나타낸 IT 199470도 EC $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에 비하여 EC $2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 는 초장이 30.3%, 생체중은 40.7%나 적어 무집목과 같은 생장억제현상을 보였다. 그러나 내염성인 IT 173823은 초장이 EC $1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 가 19.9cm였고 $2.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서는 18.1cm로 9%, 지상부 생체중은 17.7g에서 12.1g으로 31.6%정도 감소하여 무집목이나 IT 199470보다는 좋은 생장

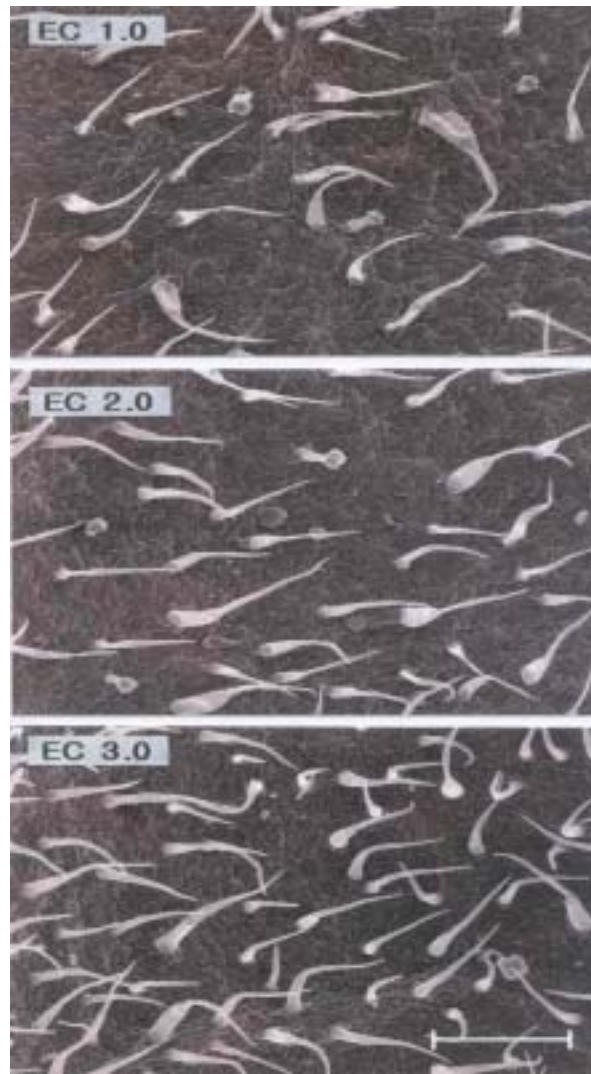


Fig. 4-18. Effect of soil EC on formation of trichomes on the abaxial surface of tomato leaves (4th leaf from cotyledon). Bar=300 µm.

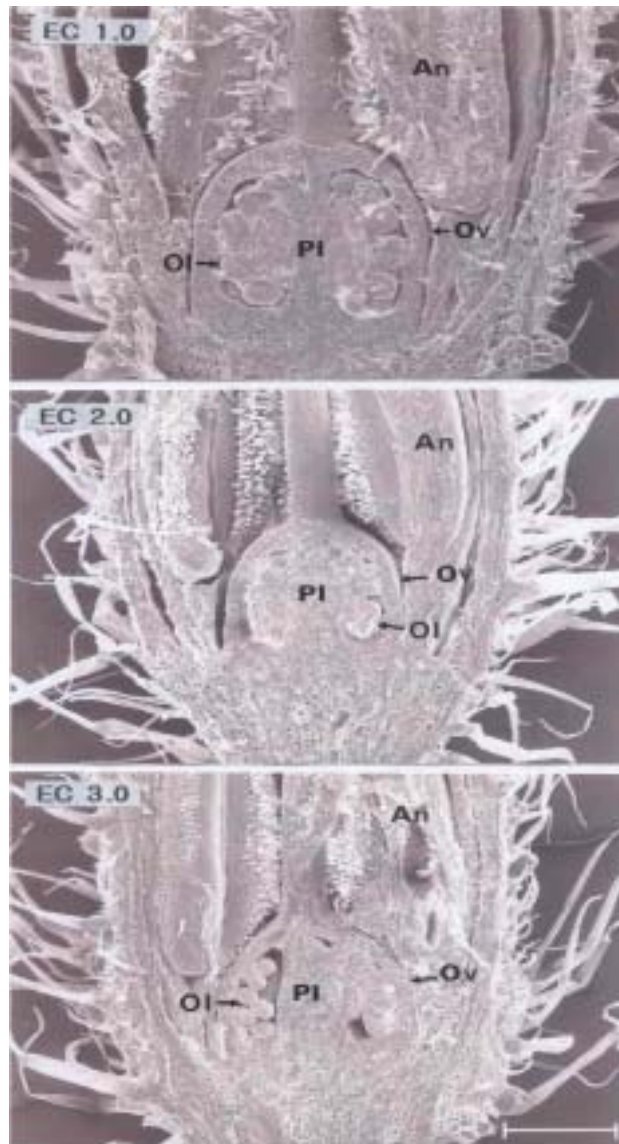


Fig. 4-19. Development of ovary in tomato plants grown at different soil EC of 1.0~3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Ov; Ovary, Pl; Placenta, An; Anther, Ol; Ovule.
Bar=600 μm .

Table 4-16가로표

을 보였다. 또 일반 토마토(*L. esculentum*)로서 내염성 계통으로 보이는 IT 188130은 높은 EC에서 무접목 또는 민감성 품종보다 좋은 생장을 보였으나 IT 173823에는 미치지 않았다.

Fig. 4-20은 무접목 및 접목묘를 작물이 거의 생존하지 못하는 EC 3.0 dS·m⁻¹의 토양에 이식하여 20일간 생장시켜 촬영한 것이다. 무접목과 민감성 품종(IT 199470)은 거의 고사직전에 있었으나 내염성 계통인 IT 173823은 하엽의 가장자리가 약간 마른 증상을 보일 뿐 건전한 생장을 하였고 뿌리의 발달도 좋았다. 그리고 IT 188130은 초장신장은 정상적으로 이루어졌으나 하엽의 잎끝마름이 심하게 일어났고 잎의 생장이 위축되었다. 그리고 뿌리의 발달도 IT 173823에 비하여 감소하였다.

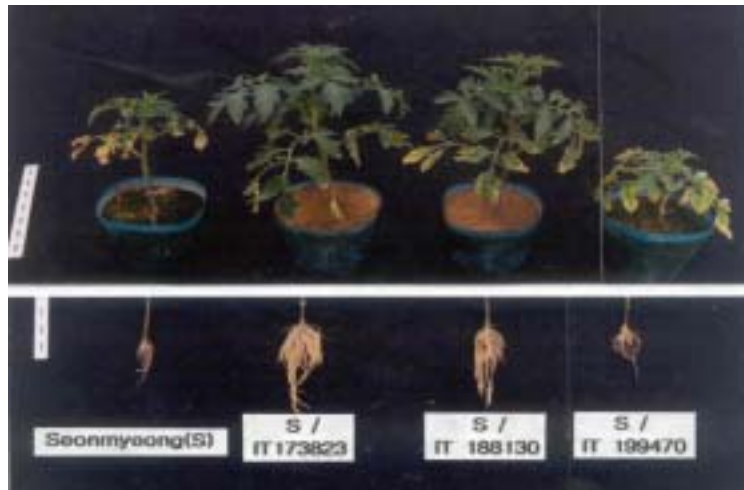
생장반응의 실시간 측정 : 토양 EC 1.0~4.0 dS·m⁻¹의 토양에 이식한 무접목 토마토묘의 생장반응을 실시간으로 조사한 것이 Fig. 6이다. EC 1.5 dS·m⁻¹에서는 정상적으로 생장하였으나 EC 2.0 dS·m⁻¹은 이식후 13일째부터 생장이 다소 지연되기 시작하였으며 EC 2.5 dS·m⁻¹은 7일째 벌써 생장이 상당히 억제되었고 하엽의 가장자리가 마르기 시작하였다. EC 3.0 dS·m⁻¹은 이식후 15일이 되면 하엽이 전부 말랐고 생장이 중지되었는데 성장점만 살아 있었는데 EC 3.5 dS·m⁻¹가 되면 이식후 2주내에 완전 고사하였다.

토마토종자의 출현속도 및 출현율에 있어서 '선명'은 EC 3.0 dS·m⁻¹에서도 70.8%의 출현율을 보여 '단주 2호'(35.4%)보다 높은 내염성을 보였다. 이것은 토마토의 종자 발아에 있어 내염성은 100% 유전적 일치성을 보이고 후대까지 유전된다는 실험결과(Foolad, 1996)에 비취 볼 때 출현율은 내염성 검정에 매우 중요한 지표가 될 수 있다고 생각된다. 그런데 출현한 묘를 계속 생장시켜 파종후 30일에 묘생장을 조사한 결과 높은 EC에서 '단주 2호'가 오히려 '선명'보다 생장억제정도가 적어 출현율과 일치하지 않았다. 작물의 토양염농도에 대한 반응은 성장기에 따라 현저히 다르고(Jones, 1986; Shannon, 1985) 한시기에 있어서 내염성은 다른 생육기의 내염성과 무관하다고 하였다(Johnson 등, 1992). 이로 미루어 보면 토마토의 출현율과 성장기의 내염성과는 서로 연관이 없는 것이 아닌가 하는 생각이 든다. 따라서 토마토의 경우 내염성 검정은 여러 가지 방법으로 검토할 필요가 있을 것으로 보인다.

토마토는 대부분 육묘하여 이식하므로 포장의 EC가 매우 중요하다. 그래서 원예용 상토에서 20일간 육묘하여 EC별로 이식한 묘는 '선명'이 높은 EC(3.0 dS·m⁻¹)에서 생장감소율이 적어 육묘의 생장과 일치하지 않았다. 그러나 어떤 조건에서도 EC 2.0 dS·m⁻¹에서부터 생장이 약간씩 억제되었고 그 정도는 EC가 증가할수록 기하급수적으로

로 심한 영향을 주었다. 따라서 토마토는 염농도에 중간정도의 내염성을 가진 것으로 알려져 있으나(Kinet과 Peet, 1997) 일반 작물과 같이(Lorenz와 Maynard, 1980) EC(1:5)가 $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하인 토양조건에서 재배하는 것이 안전하다는 것을 알 수 있었다.

토양 salinity는 작물의 개화기(Romero와 Maronon, 1994) 또는 花歷(Rawson, 1986)의 변화를 가져온다고 하였다. 본 실험에서도 EC가 $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 제 1화방의 꽃눈수는 차이가 없었으나 개화는 EC가 증가할수록 늦어졌다. 제 1화방의 꽃눈수에 있어서는 이미 육묘기 때 완전 분화되었기 때문인 것으로 보인다. 염 농도는 과실의 수량은 감소하나 품질은 향상된다고 하였는데(Carl 등, 1993; Martinez 등, 1987) 본 실험에서는 품질까지는 조사하지 못하였고 평균 과중만 조사한 결과 EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 보다 높아질수록 과중이 감소하였는데 이것은 식물체의 전반적인 성장불량에도 원인이 있지만 지방내 배주조직의 발달이 정상적이지 못한 것도 하나의 원인이라는 것을 알 수 있었다. 식물이 높은 염농도를 극복하는 방법은 여러 가지 있는데 그 가운데 하나가 염의 제거이다. 토양 EC가 높아질수록 토마토 잎 뒷면



Soil EC $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$

Fig. 4-20. Effect of rootstocks on growth of grafted tomato seedlings grown in soils having EC level of $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Scion; *Lycopersicon esculentum*, cv. 'Seonmyeong', Rootstock: Salt tolerance; *L. hirsutum* (IT173823), *L. esculentum* (IT188130): Salt sensitive, *L. peruvianum* (IT199470)

의 모용수가 증가하였는데 오이(Chung과 Choi, 2001)에서도 같은 현상을 보였다. 이것은 많은 모용을 발달시켜 그 모용속에 염이 재분배되어 채워지면 그 모용이 떨어져 나가게 하므로써 체내의 염을 감소시키는 방법에 이용하는 것으로 볼 수 있다 (Lechno 등, 1997; Salisbury와 Ross, 1992).

토마토는 재배종에 비하여 야생종이 강한 내염성을 가진 종이 많다고 하였다 (Saranga 등, 1991; Shannon 등, 1987). 본 실험에서 5種(species)의 야생종에서 14개 변종, 2개의 시판 토마토 대목(시들음병, TMV 저항성)과 2 종류의 *L. esculentum*에 대한 내염성 검정을 통하여 선발한 대목에 접목재배하여 확인한 결과 *L. hirsutum*(IT 173823)이 가장 내염성이 강한 것으로 확인되었다. 야생종 가운데 *L. cheesmanii*가 내염성인 것으로 보고되어 있는데(Mahmoud 등, 1986; Rajasekaran 등, 2000) 본 실험에서도 3종류의 *L. cheesmanii*를 공시하였으나 내염성 계통은 발견하지 못하였다. Saranga 등(1991)에 따르면 내염성이 있는 야생종의 F₁은 더욱 내염성이 증가한다고 하였다. 이번 실험에서 내염성 대목에 접목 하므로써 높은 토양 EC를 극복할 수 있는 가능성을 확인하였으므로 앞으로 따라서 내염성 대목의 실용화를 위하여는 이번에 선발된 품종을 대목으로 하여 보다 긴 생육기간동안의 생장, 수량 및 접목친화유무에 따라 장애발생 등을 조사할 필요가 있다. 이번에 접목재배에 있어서 내염성대목으로 잘 알려진 'Joint'는 제외하였는데 앞으로 이 품종에 대하여서도 더욱 정밀한 조사가 요구된다. 그리고 다른 내염성 계통과 교배를 시켜 새로운 F₁을 얻는 것도 한 방법으로 생각할 수 있다.

Fig. 4-21. Summary of growth responses in tomato plants grown in soils having

| EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) | Days after transplanting | | | | | | |
|---|--------------------------|---|----|----|----|----|----|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 1.0 | | | | | | | |
| 1.5 | | | | | | | |
| 2.0 | | | | | △ | △ | ◎ |
| 2.5 | | △ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| 3.0 | △ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎▲ | ◎▲ |
| 3.5 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎▲ | ◎▲ | ▲ | |
| 4.0 | ◎ | ◎ | ◎▲ | ▲ | | | |

varying EC of $1.0\sim 5.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

△ Slightly growth retarding, ◎ growth suppression and marginal burning from lower leaves. ▲ whole leaves burned, ■ whole plant withered or died.

(4) 초록

복합비료로 EC를 $1.0\sim 5.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 조절한 토양에서 토마토 종자의 출현율, 유묘생장, 착과 및 과실발달에 미치는 영향에 대하여 실험하였다. 토양 EC에 따라 토마토 품종간 출현속도에 차이가 있었고 EC $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 최대출현을 보였고 EC $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서 현저히 낮아졌다. 유묘의 생장은 EC $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서 현저한 억제를 보였고 이식묘에서도 같은 경향을 보였다. 제 1화방의 개화속도는 EC가 증가할수록 늦어졌고 착과율은 EC $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 6.3%에 불과하였다. 평균과중은 EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 높아질수록 감소하였다. 높은 EC에서는 과실의 태좌발달이 비정상적이었고 잎 뒷면의 모용수가 증가하였다. 야생종토마토에서 내염성인 *Lycopersicon hirsutum*(IT 173823)을 선발하였다. 이를 대목으로 접목한 묘는 EC $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 비교적 건전한 생장을 보였다.

2) 接木에 의한 고추(*Capsicum annuum*)의 耐鹽性 向上

(1) 서 언

시설 재배는 집약적인 관리를 하는데 비하여 사용한 비료의 용탈이 적기 때문에 필연적으로 염류의 집적을 초래하게 된다. 이미 많은 보고(Lee 등, 1993; Nakano, 2002; Park, 2000)에서 시설재배단지의 토양이 적정 염류농도를 훨씬 초과하고 있음을 지적한 바 있다.

현재 대부분의 채소작물은 노지보다 시설재배면적이 증가하고 있는데 그 대표적인 작물이 고추이다. 고추는 본래 노지에서 완숙고추를 재배하는 것이 기본 작형이었으나 최근 10년간 노지 재배면적은 늘어나지 않은 반면 풋고추용 시설재배는 배이상 증가하여 2001년에는 5,517ha(MAF, 2002)에 이르고 있다. 고추는 생육기간이 긴 작물이므로 시설내에서 재배기간의 연장에 따른 수량의 증가가 다른 작물에 비하여 현저히 높고 수익성도 좋은 것이 시설재배면적의 급속한 증가의 원인이라 할 수 있다. 고추의 시설재배시 역병 등 토양전염성병의 예방 또는 시설환경이 생장 및 수량에 미치는 영향에 대한 연구는 많다(Choe 등, 1985; Choi 등, 2001; Jeong 등, 1995; Kim 등, 2001). 그러나 고추는 우리나라에서 시설재배역사가 가장 오래된 작물임에도 불구하고 토양염류에 대한 반응을 조사 또는 연구한 자료가 거의 없다.

가지과 작물은 박과에 비하여는 다소 鹽 스트레스에 대하여 높은 내성이 있다고 하였으나(Larcher, 1995) 고추의 경우 NaCl의 농도가 25mM을 넘으면 모든 생장이 현저히 억제되고 10mM이상이 되어도 품종에 관계없이 수량이 현저히 감소되었다고 하였다(Chartzoulakis와 Klapaki, 2000). 이로 보아 고추는 토양염류에 매우 민감한 작물임을 알 수 있다.

토양에 집적된 과잉의 염을 제거하는 방법은 관수에 의한 용탈, 흡비력이 강한 작물의 재배, 객토, 퇴비시용 등이 제시되어 있으나 모두가 간단하게 시행될 수 있는 방안이 되지 못한다. 고추의 접목재배는 주로 토양전염성 병해를 회피하는 방안으로 이용되고 있는데 병해의 예방에 매우 효과적이므로 농가에 널리 이용되고 있다(Kim 등, 1995). 그래서 본 실험에서는 내염성이 강한 대목을 선발하여 접목에 의한 염류장해의 극복방안을 모색하고자 실시하였다. 먼저 토양 EC가 일반 고추의 발아 및 유묘의 생장에 미치는 영향과 고추의 내염성 대목으로 개발된 대목에 대하여 염 스트레스에 대한 반응을 조사하였다. 그리고 가장 내염성이 강한 것으로 선발된 대목에 고추를 접목하여 토양 EC별로 재배하면서 생장, 분지, 꽃눈 분화 및 과실비대 등을 조사하므로써 실용화의 가능성을 검토하였다.

(2) 재료 및 방법

토양 EC조절 : 작물을 재배하지 않은 사질 양토를 채취하여 직경 1mm체로 쳐서 음건한 후 잘 혼합하여 EC(Electrical Conductivity)를 측정된 결과 $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 였다. 이 흙에 분말로 만든 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 첨가하여 토양 EC를 $0.5\sim 5.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 $0.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 씩 차이가 있게 10단계로 조절하였다. 이때 EC측정은 건조토양과 물이 1 : 5(W/V)가 되게 하여 EC meter(CM-53, Takemura)로 측정하였고 pH도 측정하였으나 EC에 따른 차이는 없었다(Chung 등, 2001).

고추 및 대목종자 : 고추(*Capsicum annuum*)는 '부춘'과 '청복'(Seminis Korea)를 이용하였고, 대목은 시판중인 '카타구루마'(역병, TMV저항성, 청원종묘), '코네시안'(중양종묘) 및 'R-세이프'(Seminis Korea)를 이용하였다.

出現率 및 성장조사 : EC가 다른 흙을 넣은 72공 플러그 트레이에 최아시킴지 않은 종자를 한 개씩 파종하였다. 한 반복에 100립씩 3반복으로 파종하여 지상으로 자엽이 완전히 올라온 것을 평균하여 出現率로 나타내었다. 파종 후 관수는 같은 농도로 조정된 물을 공급하고 $27\pm 1^\circ\text{C}$ 의 성장실에서 발아시켰다. 파종 후 매일 관수하면서 출아된 것을 조사하여 파종후 17일에 완료하였다. 그리고 출현된 것은 온실에서 파종 후 30일까지 성장시킨 후 초장, 지상부 및 근부의 발달을 조사하였다.

한편 같은 종자를 상토(TKS 2)를 넣은 72공 플러그 트레이에 파종하여 발아시킨 후 20일간 성장시켰다. 이 묘를 EC가 다른 흙을 넣은 플라스틱 포트(직경 12cm)에 옮겨서 EC가 같은 농도의 물을 관수하면서 활착, 성장, 장애의 발생시기와 특징 및 정도를 조사하였다. 이상의 실험은 고추와 대목 다같이 실시하였다. 대목종자도 같은 방법으로 파종하여 육묘한 것을 접목하지 않은 묘와 고추 '부춘'에 각각 접목한 묘를 EC 1.0 및 $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 토양에 이식하여 성장반응을 조사하여 상대적으로 내염성인 품종을 선발하였다. 그리고 이 품종에 토양 EC에 민감성으로 조사된 고추 '부춘'을 접목하여 토양 EC에 따른 성장, 개화 및 결실에 대하여 조사하였다.

접목방법 : 대목종자는 72공 플러그 묘판에 TKS 2호 상토를 넣고 한립씩 파종하고 접수종자는 같은 상토를 넣은 육묘판에 1cm 간격으로 줄뿌림하여 파종한 후 충분히 수분을 공급하였다. 그리고 $28\pm 1^\circ\text{C}$ 로 조정된 성장실에 파종상을 넣어 완전 발아할 때까지 두었다. 발아가 완료된 파종상은 주/야, $25^\circ\text{C}/18^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ 로 조절되는 온실에 옮겨 접수(고추)는 본엽 4매가 전개되었을 때 면도날로 대목의 자엽 바로 위를 잘라내

고 세라믹편을 꽃고 같은 부위에서 자른 접수를 그 위에서 꽃아 연결시키는 핀 접목을 실시하였다. 접목한 것은 온도 $27^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도 85~95%로 조절된 생장실에 넣어 4일간 두었다. 이때 12시간 조명(광도 $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)하였다. 접목묘가 활착이 완료된 후 상기 온실에서 새로운 잎이 나올 때까지 생장시켜 EC가 다른 토양을 넣은 직경 15cm 플라스틱 포트(직경 15cm)에 옮겨 심었다.

착과 및 과실비대 : 각 분지마다 착생되는 꽃눈, 낙뢰, 착과수 및 과실비대를 조사하고 과실을 해부하여 태좌 및 종자형성을 관찰하였다.

무기성분 및 엽록소 측정 : 식물체의 잎을 80°C 의 건조기에서 2일간 건조하여 마쇄한 다음 95% H_2SO_4 을 첨가하고 250°C 의 열판위에서 태웠다. 여기에 H_2O_2 10mL로 완전 연소시킨 다음 회석하여 Toyo NO. 2 여과지로 여과한 후 원자흡광분광기(Perkin-Elmer)로 분석하였다. 엽록소의 측정은 각 처리당 제 5엽 전후의 잎을 chlorophyll meter(SPAD-502, Minolta)를 이용하여 측정하였다..

(3) 결과 및 고찰

토양 EC별 종자의 출현율 : 고추 종자를 최아시키지 않고 EC가 다른 흙에 파종하여 출현율을 조사한 결과 ‘부촌’이 ‘청복’에 비하여 월등히 EC에 민감한 반응을 보였다(Table 4-17). ‘부촌’의 경우 EC $2.0\ \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (이하 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 생략)에서는 파종후 11일까지 전혀 출현하지 않았고 EC 2.5에서는 20일째에도 18.8%에 불과하였다. 한편 대조구 토양(EC 0.5)에서는 파종후 13일에 66.7%, 15일에 97.9%의 출현율을 나타냈는데 EC가 1.0에서 증가할수록 출현율이 감소하여 EC 2.0에서 파종후 15일의 출현율이 39.6%에 불과하였고 EC 2.5이상에서는 거의 출현하지 않았다. 그런데 ‘청복’은 토양 EC에 대한 반응이 현저히 달라서 EC 1.5까지 파종후 5일째부터 출현하기 시작하여 7일에 EC 0.5에서 39.6%, EC 1.5에서는 52.1%의 높은 출현율을 보였다. 그리고 파종후 11일에는 EC 1.5까지는 100%, EC 2.0에서도 81.3%나 출현하였고 EC 3.5에서도 14.6%가 출현하여 ‘부촌’ 보다는 높은 내염성을 나타내었다.

Table 4-17. Effect of soil EC on emergence rate of pepper(*Capsicum annuum*) seeds.

| Cultivar | EC (dS·m ⁻¹) | Days after sowing | | | | | | |
|-----------|-----------------------------|--------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| | | Emergence rate(%) ^z | | | | | | |
| Buchon | 0.5 | 0 | 0 | 4.2±2.1 | 33.3±4.6 | 66.7±3.2 | 97.9±1.0 | 100±0.0 |
| | 1.0 | 0 | 0 | 8.3±1.8 | 7.1±9.6 | 41.7±4.8 | 66.7±5.8 | 97.9±1.2 |
| | 1.5 | 0 | 0 | 2.1±0.4 | 8.3±1.8 | 18.8±2.3 | 39.6±6.3 | 62.5±8.8 |
| | 2.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.2±2.8 | 12.5±4.3 | 22.9±2.4 |
| | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.1±2.1 | 12.5±6.5 |
| | 3.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cheongbok | 0.5 | 2.0±1.2 | 39.6±3. | 87.5±2.5 | 97.9±0.2 | 97.9±1.4 | 97.9±1.0 | 97.9±0.4 |
| | 1.0 | 0 | 37.5±8. | 81.3±6.9 | 100±0.0 | 100±0.0 | 100±0.0 | 100±0.0 |
| | 1.5 | 8.3±2.7 | 52.1±4. | 89.6±8.7 | 100±0.0 | 100±0.0 | 100±0.0 | 100±0.0 |
| | 2.0 | 0 | 14.6±1. | 60.4±1.3 | 81.3±6.3 | 91.7±2.0 | 97.9±1.2 | 97.9±0.2 |
| | 2.5 | 0 | 0 | 12.5±1.2 | 16.7±4.2 | 35.4±8.7 | 47.9±8.7 | 58.3±9.4 |
| | 3.0 | 0 | 0 | 4.2±0.6 | 0.4±2.1 | 22.9±2.9 | 29.2±6.8 | 39.6±5.7 |
| | 3.5 | 0 | 0 | 12.5±6.2 | 14.6±6.5 | 22.9±4.5 | 22.9±7.5 | 22.9±0.8 |

^zMean±SE, n=100 seeds.

고추의 육묘생장 : 토양 EC별로 과중하여 출현한 묘를 계속하여 같은 EC의 물을 관수하면서 과중 후 30일까지 성장시켜 묘의 생존과 성장을 조사하였다(Table 4-18). 고추 ‘부춘’의 뿌리는 EC 2.0에서는 고사하였고 EC 1.5에서도 EC 1.0에 비하여 초장과 근장이 약간 감소하였으며 생장이 현저히 지연되기 시작하였다. ‘청복’은 EC 1.5에서 지상부 생장은 가장 좋았으나 뿌리의 생장은 EC 1.0에 비하여 감소하였다. EC 1.5 이상에서는 고추의 뿌리끝이 갈변하는 등 근계발달이 억제되는 것이 관찰되었다.

EC가 다른 토양에 이식한 묘의 생장 : 육묘상토인 TKS 2호를 넣은 72공 플러그 판에 과중하여 20일간 육묘하여 EC가 다른 토양에 이식한 후 20일째에 활착 및 성장을 조사하였다. ‘부춘’, ‘청복’ 모두 EC 1.5에서 지상부 생장은 가장 좋았으나 지하부의 생체중은 감소하였고 EC 2.0이상으로 높아질수록 생장이 억제되었는데 ‘부춘’이 더욱 심하였다(Table 4-19). EC 2.5에서부터는 잎끝이 마르는 전형적인 염류장해 현상을 나타내기 시작하였고 EC 3.0에서는 이식 후 20일에 황변(‘부춘’) 및 고사(‘청복’)현상을

보였다. 그리고 EC 0.5에서는 초장이 현저히 억제되었고 황화현상을 보였으며 EC 1.0에서도 엽색이 연하게 보였다. 그런데 종자출현율에서와 같이 EC 2.0이상에서의 생장과 장해발생시기 및 정도를 비교할 때 ‘청복’이 ‘부춘’보다 내성이 있는 것으로 나타났다. 우선 초장을 보면 ‘부춘’은 EC 1.5에서 16.3cm였으나 EC 2.0에서는 12.9cm로 21%나 감소하였으나 ‘청복’은 EC 1.5와 2.0에서는 거의 비슷하였고 EC 2.5에서도 EC 1.5에 비하여 17%정도 억제되었다. 이러한 경향은 생장을 나타내는 모든 항목에서도 같은 경향을 보였다.

대목의 토양 EC에 대한 반응 : 내염성이 강한 대목을 선발하여 접목재배를 하므로 높은 EC를 극복하고자 고추 대목으로 쓰이고 있는 ‘카타구루마’, ‘R-세이프’, ‘코네시안’ 등 3품종에 대하여 EC별 생장 반응을 조사하였다.

토양 EC를 1.0과 3.0으로 조절한 후 일반 육묘용 상토에서 20일 육묘한 것을 이식하여 생장반응을 조사한 결과 EC 1.0에 비하여 EC 3.0에서 모든 품종에서 현저한 생장억제를 보였다(Table 4-20). 초장을 보면 ‘코네시안’은 EC 1.0은 26.8cm였는데 EC 3.0은 20.0cm로 26%나 감소하였고, ‘R-세이프’는 29%, ‘카타구루마’는 14%의 생장억제를 보였다. Table 3에서 볼 수 있듯이 ‘부춘’은 EC 1.5에 비하여 EC 3.0에서는 초장이 51.5%, ‘청복’은 25.9%나 억제되었고 계속 두면 EC 3.0에서는 고추의 생장이 정지되고 얼마 안 있어 고사하는 염농도인데도 불구하고 모든 대목은 상당한 저항성을 보였는데 특히 ‘카타구루마’가 더욱 높은 내염성이 있는 것으로 나타났다.

Table 4-18. Growth of pepper seedlings grown for 30 days after sowing on different soil EC.^z

| Cultivar | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Fresh weight (g/seedling) | | No. of leaves (ea) | Root length (cm) |
|-----------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|----------------|--------------------------|---------------------|
| | | | Top | Root | | |
| Buchon | 0.5 | 2.18±0.1 | 0.05±0.01 | 0.03±0.01 | 2.0±0.0 | 5.8±1.3 |
| | 1.0 | 3.05±0.2 | 0.16±0.02 | 0.04±0.02 | 3.3±0.4 | 6.2±0.6 |
| | 1.5 | 2.73±0.5 | 0.15±0.01 | 0.04±0.01 | 3.5±0.9 | 5.2±1.0 |
| | 2.0 | 1.98±0.3 | 0.07±0.01 | - ^y | 2.0±0.0 | 2.7±0.7 |
| | 2.5 | 1.67±0.2 | 0.02±0.01 | - | 2.0±0.0 | 0.8±0.4 |
| | 3.0 | - | - | - | - | - |
| Cheongbok | 0.5 | 2.90±0.1 | 0.08±0.00 | 0.02±0.01 | 2.7±0.5 | 4.1±0.4 |
| | 1.0 | 3.23±0.2 | 0.18±0.02 | 0.05±0.01 | 3.8±0.4 | 8.1±0.4 |
| | 1.5 | 3.43±0.1 | 0.21±0.01 | 0.06±0.02 | 4.0±0.0 | 6.0±0.3 |
| | 2.0 | 2.33±0.2 | 0.08±0.01 | 0.02±0.00 | 2.0±0.0 | 2.8±0.7 |
| | 2.5 | 2.06±0.2 | 0.05±0.00 | - | 2.0±0.0 | 2.1±0.2 |
| | 3.0 | 1.30±0.4 | 0.03±0.01 | - | 2.0±0.0 | 0.9±0.1 |

^zMean±SE, n=10 seedlings.

^yNot available, roots died.

Table 4-19. Growth of pepper seedlings after transplanting on different soil EC.^{z,y}

| Culti var | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Top weight (g/seedling) | | Root weight (g/seedling) | | Leaf growth (cm) | | No. of leaves (ea) | Stem diamet er (mm) | Root length (cm) |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------|-----------------------------|-------|---------------------|-----------|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| | | | Fresh | Dry | Fresh | Dry | Length | Widt h | | | |
| Buch on | 0.5 | 10.1±1. | 1.32±0. | 0.23±0. | 0.82± | 0.08± | 6.0±1.0 | 2.7± | 10.3±0 | 1.7±0. | 21.3±1. |
| | | 2 | 4 | 1 | 0.2 | 0.01 | | 0.4 | .8 | 2 | 5 |
| | 1.0 | 15.4±2. | 4.94±1. | 0.75±0. | 1.86± | 0.20± | 9.2±1.5 | 4.5± | 14.6±1 | 2.7±0. | 17.0±3. |
| | | 5 | 4 | 2 | 0.7 | 0.02 | | 0.8 | .6 | 3 | 2 |
| | 1.5 | 16.3±4. | 6.35±0. | 0.85±0. | 1.45± | 0.11± | 10.1±0. | 5.8± | 13.0±0 | 3.4±0. | 17.9±1. |
| | | 0 | 4 | 1 | 0.2 | 0.00 | | 0.4 | .8 | 2 | 4 |
| | 2.0 | 12.9±2. | 5.54±1. | 0.78±0. | 1.45± | 0.12± | 9.3±0.5 | 4.9± | 12.0±1 | 3.8±0. | 18.0±4. |
| | | 6 | 1 | 0 | 0.5 | 0.01 | | 0.2 | .5 | 1 | 5 |
| | 2.5 | 10.1±1. | 3.28±0. | 0.43±0. | 0.44± | 0.03± | 6.9±0.6 | 4.3± | 10.7±0 | 2.8±0. | 14.6±3. |
| | | 7 | 1 | 2 | 0.3 | 0.00 | | 0.2 | .5 | 4 | 3 |
| | 3.0 | 7.9±0.5 | 1.18±0.. | 0.28±0. | 1.20± | 0.02± | 5.0±0.5 | 2.6± | 8.7±0. | 1.8±0. | |
| | | 2 | 0 | 0.1 | 0.01 | 0.7 | | 0 | 1 | 7.1±2.4 | |
| Cheo ngbo k | 0.5 | 10.9±0. | 1.06±0. | 0.20±0. | 0.68± | 0.07± | 5.0±0.5 | 4.4± | 9.7±0. | 1.7±0. | 21.4±2. |
| | | 8 | 3 | 1 | 0.1 | 0.02 | | 0.4 | 7 | 4 | 5 |
| | 1.0 | 17.1±0. | 4.58±1. | 0.59±0. | 2.02± | 0.18± | 9.4±0.6 | 6.0± | 15.0±0 | 2.8±0. | 16.8±2. |
| | | 3 | 4 | 3 | 0.4 | 0.03 | | 0.6 | .8 | 5 | 6 |
| | 1.5 | 17.0±1. | 6.58±0. | 0.84±0. | 1.38± | 0.11± | 9.4±0.9 | 5.7± | 14.0±1 | 3.5±0. | 19.3±0. |
| | | 1 | 5 | 1 | 0.2 | 0.01 | | 0.1 | .0 | 0 | 3 |
| | 2.0 | 16.3±2. | 5.82±0. | 0.76±0. | 1.22± | 0.10± | 9.7±0.1 | 5.1± | 12.7±0 | 3.6±0. | 17.7±0. |
| | | 5 | 4 | 2 | 0.3 | 0.00 | | 0.3 | .0 | 1 | 2 |
| | 2.5 | 14.2±2. | 3.93±1. | 0.37±0. | 0.46± | 0.05± | 8.3±0.0 | 4.2± | 11.0±0 | 3.0±0. | 16.0±0. |
| | | 1 | 0 | 0 | 0.3 | 0.01 | | 0.4 | .8 | 3 | 6 |
| | 3.0 | 12.6±1. | 2.55±0. | 0.32±0. | 0.34± | 0.04± | 6.7±0.7 | 4.1± | 8.7±0. | 2.4±0. | 13.4±3. |
| | | 6 | 8 | 1 | 0.2 | 0.00 | | 0.4 | 9.3±1. | 3 | 3 |

^z20-day-old seedlings grown on a bed soil(TKS 2) were transplanted on different soil EC.

^yMean±SE, n=10 seedlings.

Table 4-20. Growth response of pepper rootstocks on soil EC.^{z,y}

| Cultivar | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Top weight (g/seedling) | | Root weight (g/seedling) | | Leaf area (cm ²) | No. of leaves (ea) | Root length (cm) |
|------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | | Fresh | Dry | Fresh | Dry | | | |
| Konecian | 1.0 | 26.8±0.9 | 5.46±0.6 | 0.67±0.4 | 1.15±0.1 | 0.21±0.1 | 147.0+ | 15.3±0.8 | 15.0±2.5 |
| | 3.0 | 20.0±0.5 | 2.64±0.1 | 0.37±0.2 | 0.41±0.0 | 0.06±0.0 | 62.9±0.2 | 10.7±0.4 | 7.6±0.3 |
| R-safe | 1.0 | 23.4±0.3 | 7.10±0.5 | 0.78±0.3 | 2.27±0.1 | 0.24±0.0 | 185.5±6.9 | 14.3±0.2 | 18.0±1.2 |
| | 3.0 | 16.8±0.6 | 3.50±0.3 | 0.39±0.0 | 0.43±0.0 | 0.07±0.0 | 93.2±4.3 | 11.3±0.8 | 12.6±1.5 |
| Kataguruma | 1.0 | 18.9±0.4 | 5.10±0.4 | 0.54±0.0 | 1.90±0.2 | 0.20±0.0 | 149.0±3.9 | 15.7±0.2 | 18.5±1.3 |
| | 3.0 | 16.4±0.3 | 3.88±0.1 | 0.38±0.0 | 0.59±0.0 | 0.08±0.0 | 113.9±2.6 | 12.7±0.2 | 12.7±0.2 |

^z30-day-old seedling grown on a bed soil (TKS 2) were transplanted, and data obtained from 5 plants at 20 days after transplanting.

^yMean±SE, n=5 seedlings.

대목별 접목한 고추묘의 생장 : 고추 두 품종 가운데 상대적으로 염농도에 약한 것으로 나타난 ‘부촌’을 3가지 고추대목에 접목하였다. 이 접목묘가 완전히 활착되어 생장이 진행되는 시기에 토양 EC 1.0~3.0에 이식하여 제 1화방이 전개되기 시작했을 때까지 생장을 조사하였다. 접목 및 무접목 다같이 EC 1.5에서 가장 좋은 생장을 보였고 EC가 높을수록 모든 묘에서 생장억제 현상이 나타났으며 EC 3.0에서는 황화 및 엽선단 고사 현상이 심하게 나타났다(Table 4-21). 그러나 대목 ‘카타구루마’에 접목한 것은 EC 3.0에서도 초장은 약간 단축되었으나 비교적 정상적인 생장을 보였다. Fig. 1은 고추 ‘부촌’을 대목별로 접목하여 EC 1.0과 3.0의 토양에 이식한 후 20일째의 생장 반응을 촬영한 것이다. EC 1.0에 심은 것은 대목에 관계없이 생장이 정상적으로 일어났다. 다만 ‘카타구루마’에 접목한 것은 초장이 낮았으나 이것은 품종의 특성인 것으로 보인다. 그런데 EC 3.0에 이식한 것은 무접목을 포함하여 ‘R-세이프’와 ‘코네시안’에 접목한 것은 잎끝과 가장자리가 타들어가는 현상을 보였고 심한 황화현상(R-세이프 대목)이 일어났다. 그러나 ‘카타구루마’에 접목한 것은 하엽의 끝이 약간 마른 것

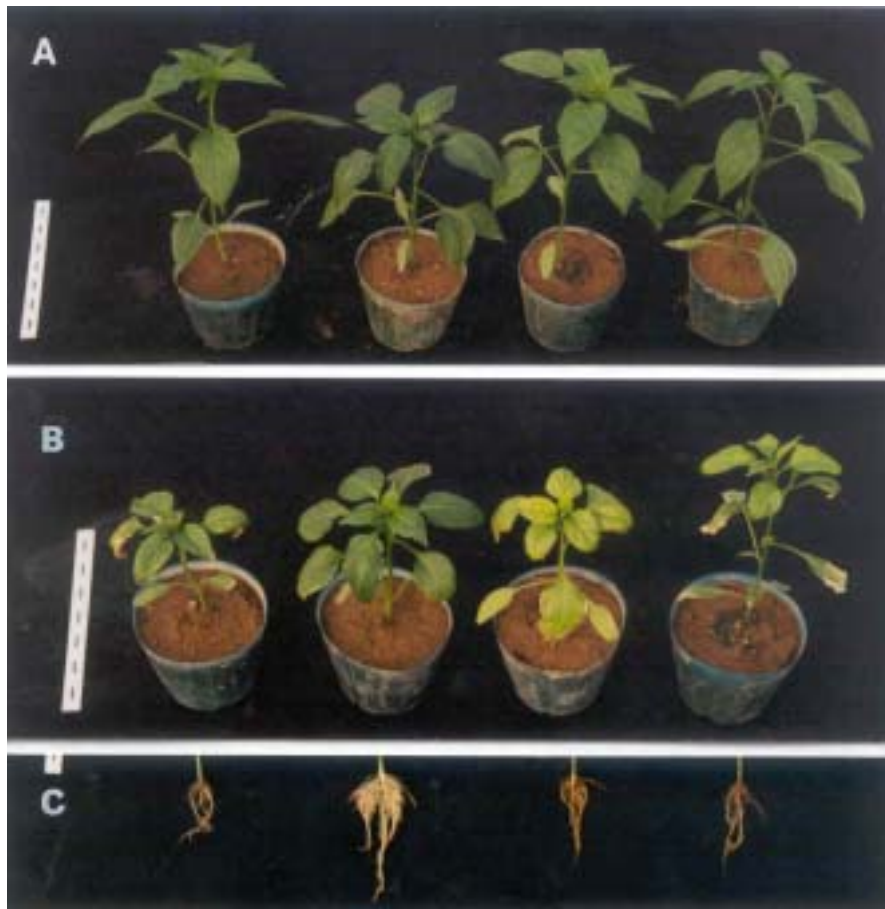
이외에는 아주 건전한 성장을 보여 강한 내염성을 나타내었다.

접목고추묘의 분지, 착화 및 과실비대 : Fig. 2는 고추 '부촌'을 3가지 다른 대목에 접목한 후 토양 EC별로 이식하여 분지 및 꽃눈분화를 촬영한 것이다. 무접목한 것은 EC 1.0에서는 제 1번화의 낙뢰가 일어났으나 EC 1.5에서 가장 튼튼한 꽃눈이 착생되었는 것에 비하여 EC가 증가할수록 꽃눈의 발달정도가 약하였고 EC 3.0에서는 분지도 일어나지 않았고 꽃눈분화도 없었다. 그리고 '코네시안'과 'R-세이프'에 접목한 것은 EC 1.0과 EC 2.5까지는 분지는 잘되었으나 첫 번째 꽃눈이 전부 낙뢰가 되었다. 그러나 '카타구루마'에 접목한 것은 분지도 확실하게 되었고 EC 3.0을 제외한 모든 EC에서 제 1번 꽃눈이 잘 맺힌 것을 볼 수 있다. 그래서 '카타구루마'에 접목한 것을 제 3마디까지의 낙뢰, 착과 및 과실비대를 조사하였다. 제 3화방에서의 꽃눈수 및 착과율을 보면 접목 및 무접목 다같이 꽃눈이 4개씩 착생되었으나 착과된 것은 토양 EC농도에 따라 현저한 차이가 있었다(Table 4-22). 무접목은 EC 1.5에서는 64.3%의 착과율을 보였으나 EC 2.0에서는 28.6%, EC 2.5에서는 12.5%로 거의 낙뢰되었으나 접목묘는 EC 2.0에서 51.5%, EC 2.5에서도 31.3%의 착과율을 보였다. 이후 접목묘를 제 7분지가 일어날 때까지 성장시키면서 무접목묘와 성장, 착과 및 뿌리 성장을 비교하여 보았다. Fig. 3을 보면 무접목은 EC 1.5에서 가장 많은 착과를 보였고 성장도 좋았으나 EC가 높아질수록 착과수가 적어지고 초장도 현저히 억제되었다. 그러나 '카타구루마'에 접목한 것은 EC 2.5까지 착과 수에서는 큰 차이가 없었고 EC 3.0에서도 하위절에서는 거의 착과되지 않았을 뿐 초장의 신장에는 차이가 없었고 다만 분지수가 적었다. 근계의 발달도 접목묘는 EC 2.5이상에서도 무접목에 비하여 훨씬 좋았다.

Table 4-21. Growth response of grafted pepper seedlings grown in different soil condition.

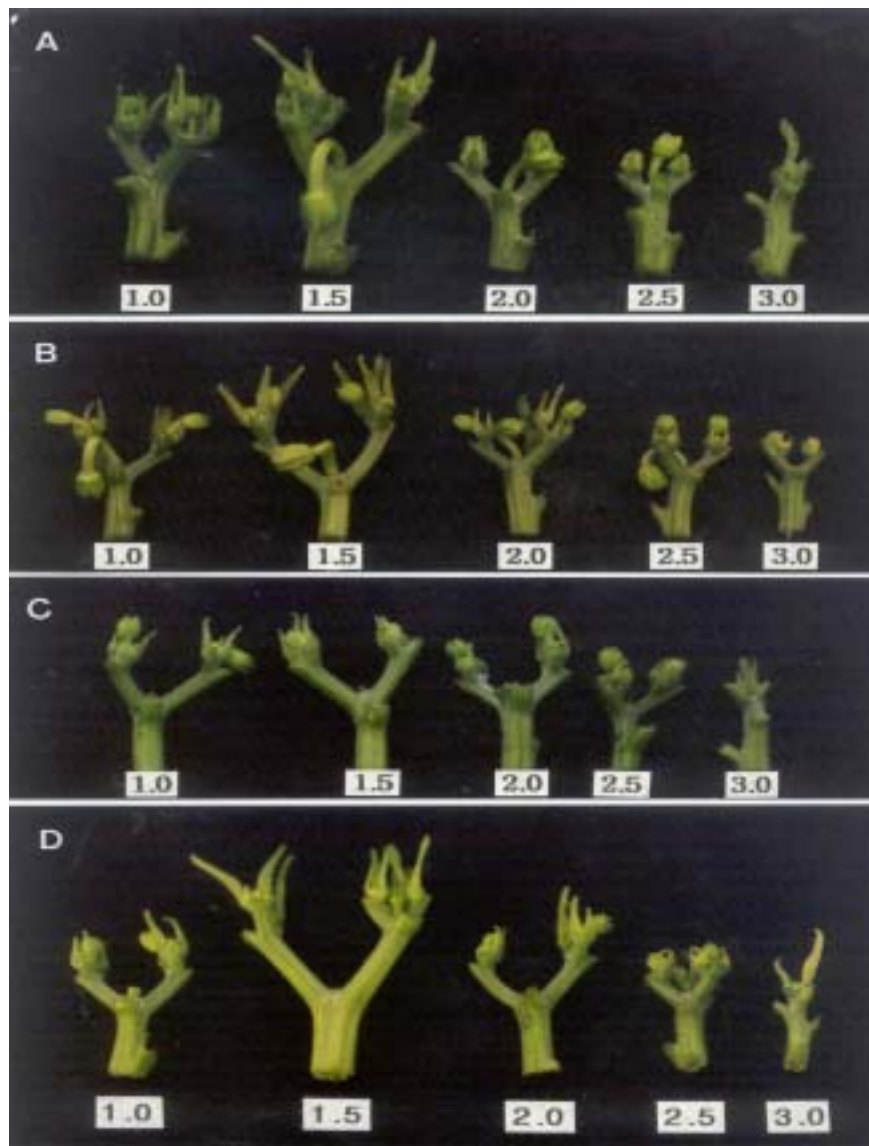
| Grafting (Scion/Root stock) | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Top weight (g/seedling) | | Root weight (g/seedling) | | Leaf area (cm ²) | No. of leaves (ea) | Root length (cm) |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | | Fresh | Dry | Fresh | Dry | | | |
| Buchon(B) (non-graft) | 1.0 | 23.7±1.8 | 6.63±0.4 | 0.89±0.02 | 1.29±0.2 | 0.21±0.01 | 193.6±31.4 | 13.3±2.0 | 14.7±0.5 |
| | 1.5 | 25.1±1.8 | 9.63±1.6 | 1.05±0.05 | 1.41±0.3 | 0.26±0.02 | 247.6±17.7 | 15.3±0.5 | 14.8±2.6 |
| | 2.0 | 23.2±0.8 | 7.44±2.3 | 0.96±0.02 | 1.26±0.1 | 0.16±0.01 | 200.5±25.2 | 14.7±2.1 | 13.2±1.1 |
| | 2.5 | 13.1±0.5 | 4.01±0.6 | 0.51±0.01 | 0.53±0.2 | 0.07±0.00 | 124.7±26.5 | 10.0±0.8 | 11.9±2.4 |
| | 3.0 | 13.0±0.2 | 3.28±0.6 | 0.39±0.01 | 0.36±0.1 | 0.05±0.00 | 87.1±13.2 | 9.0±2.0 | 8.5±1.2 |
| B/Konecian | 1.0 | 21.1±1.7 | 5.27±0.76. | 0.64±0.04 | 1.04±0.2 | 0.16±0.02 | 161.8±19.1 | 13.3±1.2 | 14.8±1.4 |
| | 1.5 | 23.9±2.9 | 80±0.9 | 0.83±0.07 | 1.22±0.3 | 0.19±0.04 | 222.3±38.5 | 15.0±1.4 | 14.5±3.4 |
| | 2.0 | 21.4±1.9 | 6.03±0.3 | 0.66±0.03 | 0.95±0.1 | 0.16±0.01 | 187.7± 9.6 | 12.3±0.5 | 10.2±1.1 |
| | 2.5 | 15.6±1.3 | 5.71±0.8 | 0.63±0.05 | 0.66±0.2 | 0.10±0.00 | 169.6±10.7 | 10.7±1.7 | 9.9±0.7 |
| | 3.0 | 13.0±0.9 | 2.56±0.7 | 0.40±0.02 | 0.34±0.1 | 0.05±0.00 | 118.3± 8.3 | 9.7±0.5 | 9.2±0.8 |
| B/R-safe | 1.0 | 21.8±3.1 | 6.36±1.3 | 0.78±0.03 | 1.24±0.1 | 0.23±0.02 | 214.4±54.1 | 13.0±1.4 | 18.2±1.9 |
| | 1.5 | 27.1±1.5 | 10.72±0.5 | 0.99±0.05 | 1.62±0.3 | 0.25±0.01 | 255.2±30.3 | 16.0±2.2 | 14.4±0.7 |
| | 2.0 | 23.2±1.4 | 7.40±1.9 | 0.80±0.02 | 1.42±0.5 | 0.18±0.01 | 209.1±36.7 | 14.3±1.9 | 15.2±1.4 |
| | 2.5 | 16.5±0.9 | 4.78±0.4 | 0.57±0.03 | 0.71±0.1 | 0.10±0.00 | 143.4±21.3 | 11.0±0.8 | 9.9±1.0 |
| | 3.0 | 12.1±0.2 | 2.62±0.1 | 0.33±0.01 | 0.36±0.1 | 0.06±0.00 | 91.5±15.5 | 6.5±0.5 | 11.5±0.1 |
| B/Kataguru ma | 1.0 | 17.3±2.1 | 4.47±0.6 | 0.59±0.05 | 1.08±0.3 | 0.21±0.02 | 148.5±37.2 | 12.3±2.1 | 16.2±1.2 |
| | 1.5 | 18.3±2.5 | 6.36±0.2 | 0.65±0.07 | 1.54±0.3 | 0.23±0.01 | 203.6± 9.9 | 14.0±1.4 | 17.0±0.9 |
| | 2.0 | 17.4±0.1 | 5.21±0.8 | 0.61±0.03 | 1.13±0.3 | 0.21±0.01 | 186.4±41.0 | 13.3±1.2 | 15.5±0.8 |
| | 2.5 | 15.3±0.9 | 3.82±0.7 | 0.54±0.02 | 1.03±0.1 | 0.19±0.01 | 159.4±28.1 | 12.7±0.5 | 15.1±1.4 |
| | 3.0 | 12.5±0.7 | 3.43±0.5 | 0.43±0.04 | 0.63±0.1 | 0.09±0.02 | 130.5± 8.5 | 12.3±1.3 | 15.6±1.0 |

^zSeedling growth measured at 20 days after transplanting of grafted seedlings (30-day-old).



| | | | |
|---------------------------|------------|--------|----------|
| Buchon(B) | B / | B / | B / |
| Non-graft | Kataguruma | R-safe | Konecian |
| Grafting(Scion/Rootstock) | | | |

Fig. 4-22. Effect of soil EC on growth of grafted pepper seedlings.
 A: EC(1:5) $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, B: EC(1:5) $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, C: Root of B
 Note burning of leaf tip or margins and yellowing of leaves of pepper plants grown on soil EC of $3.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.



Soil EC($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)

Fig. 4-23. Effect of soil EC on branching and abscission of first flower bud of grafted pepper seedlings. Grafting (Scion/Rootstock).

A: Non-grafting (Buchon), B: B/Kataguruma,
C: B/Konecian, D: B/R-safe

Table 4-22. Effect of soil EC on no. of flower buds and fruit set on the 3rd

| Grafting (Scion/Rootstock) | Soil EC (dS·m ⁻¹) | Fruit | | |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | | Weight(g) | Length(cm) | Width(cm) |
| Buchon(B) (non-graft) | 1.0 | 4.3±2.4 | 6.5±2.2 | 1.3±0.3 |
| | 1.5 | 5.8±2.3 | 7.8±1.7 | 1.5±0.2 |
| | 2.0 | 6.3±1.0 | 7.3±1.7 | 1.5±0.1 |
| | 2.5 | 3.6±1.9 | 5.4±1.9 | 1.3±0.2 |
| | 3.0 | - | - | - |
| B/Kataguruma | 1.0 | 4.4±1.5 | 6.4±1.1 | 1.5±0.1 |
| | 1.5 | 6.2±3.0 | 7.0±2.0 | 1.6±0.1 |
| | 2.0 | 7.0±2.6 | 7.4±1.8 | 1.6±0.2 |
| | 2.5 | 4.4±1.5 | 5.8±1.3 | 1.4±0.2 |
| | 3.0 | 1.5±1.0 | 3.9±1.7 | 0.8±0.4 |

branching of grafted- and non-grafted pepper seedlings.^z

^zMean±SE, n=10 plants.

과실의 비대는 EC 1.5와 2.0사이에는 과중 및 과장 다같이 큰 차이가 없었으나 EC 2.5이상에서는 접목묘의 것이 무거웠고 무접목은 EC 3.0이 되면 아예 착과되지 않았다(Table 4-23). 그리고 무접목은 EC 2.0 이상이 되면 곡과 또는 기형과가 발생하였으나 ‘카타구루마’에 접목한 것은 EC 2.0까지 정상과가 달렸고 EC 2.5이상에서 기형과 발생이 일어났다(Fig.4-24). 토양 EC별로 착과된 과실을 해부한 결과 EC가 1.5이상 높아질수록 태좌의 발달이 빈약하고 종자의 수도 현저히 감소하였다.

Table 4-23. Effect of soil EC on fruit growth of grafted- and non-grafted pepper plants

| Grafting (Scion/Rootstock) | Soil EC (dS·m ⁻¹) | No. of flower buds (ea) | Percent fruit set |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Buchon(B) (non-graft) | 1.0 | 4.0±0.2 | 33.3±2.9 |
| | 1.5 | 4.7±0.9 | 64.3±4.2 |
| | 2.0 | 4.7±0.9 | 28.6±3.0 |
| | 2.5 | 4.0±0.2 | 12.5±2.1 |
| | 3.0 | - | - |
| B/Kataguruma | 1.0 | 4.0±0.1 | 50.0±3.1 |
| | 1.5 | 4.0±0.0 | 66.2±4.3 |
| | 2.0 | 4.0±0.0 | 51.5±5.1 |
| | 2.5 | 4.0±0.0 | 46.1±2.5 |
| | 3.0 | 4.0±0.0 | 8.1±3.1 |

.²Mean±SE, n=10 plants.



Fig. 4-24. Effect of soil EC on branching, fruit set and root growth of grafted pepper plants (Buchon/Kataguruma).

A:Non-grafting(Buchon),B:Grafting (Scion/Rootstock, Buchon/Kataguruma).

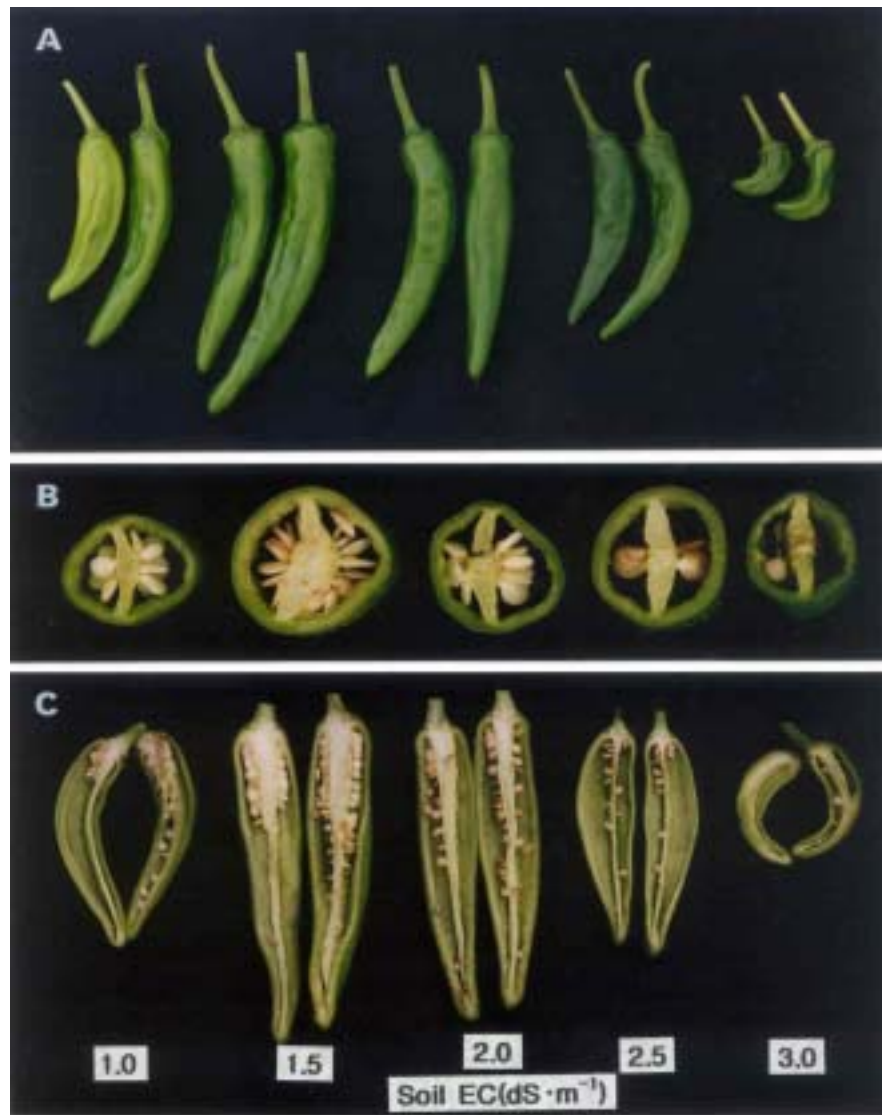


Fig. 4-25. Effect of soil EC on fruit growth and seed formation of grafted pepper plants (Buchon/Kataguruma).
A: whole fruits, B: cross section, C: longitudinal section.

접목한 고추묘의 무기성분 및 엽록소함량 : 고추 대목으로 시판되고 있는 3가지 품종(‘카타구루마’, ‘R-세이프’, ‘코네시안’)에 대하여 고추 ‘부춘’을 접목하여 토양 EC 1.0~3.0까지 조절된 토양에 20일간 생장시킨 후 잎을 채취하여 무기성분 함량을 조사하였다.

Table 4-24을 보면 무접목 및 접목묘 다같이 질소함량(%), 건물중)은 접목 및 무접목 다같이 EC가 증가할수록 다소 높아지는 경향을 보였으나 인산은 EC 농도 사이에 큰 차이가 없었다. 그러나 Ca은 ‘카타구루마’에 접목한 것을 제외하면 무접목 및 접목묘 다같이 EC가 높아질수록 감소하는 경향을 보였는데 무접목묘에서 가장 심하였다. 그런데 ‘카타구루마’에 접목한 것은 EC 1.0에 비하여 EC가 증가할수록 오히려 높은 함량을 보였다. 그러나 Mg와 K함량은 접목 및 무접목간 또는 EC 농도사이에 있어서 일정한 경향이 없었다. 다만 EC 2.5이상에서는 현저히 낮은 함량을 보였다.

접목한 고추(부춘/카타구루마) 잎의 엽록소함량은 EC가 2.0까지 높아질수록 증가하였으나 EC 2.5부터는 감소하였으나 EC 0.5보다는 현저히 많았다(Fig. 5). 토양 EC가 높아지면 잎은 생장이 중지되면서 진한 녹색으로 변하였다.

토양염류농도 증가에 따른 실시간 장해발생 : 상토(TKS 2호)에 파종하여 30일간 육묘한 후 EC가 달리 조절된 토양에 이식하여 20일간 생장시키면서 식물체에 발생하는 각종 장해현상을 실시간으로 조사하여 기록한 것이 Fig. 4-27이다. 고추 ‘부춘’은 EC 1.5까지는 건전하였으나 EC 2.0에서는 이식한 후 13일 경부터 잎 가장자리가 약간 마르는 증상이 일어나고 잎의 생장이 진행되지 않았다. 그리고 EC 2.5가 되면 이식 후 7일째부터 잎끝마름증이 나타나고 이것이 확대되어 결국 잎전체가 마르게 되며 생장이 억제되었다. 그리고 EC 3.0에서는 이식 후 바로 잎이 마르기 시작하고 확대되면서 결국 식물체 전체가 고사한다. 이후 EC 농도가 높아질수록 그 진행속도가 빨라졌다.

본 실험에 사용한 고추 두 품종중 출현율에 있어서 ‘청복’이 ‘부춘’에 비하여 내염성이 매우 높은 것으로 나타났는데 이것은 품종의 특성인 것으로 보인다. Foolad(1996)에 의하면 토마토의 경우 종자발아에 있어 내염성은 100% 유전적 일치성을 보이고 후대에 유전된다고 하였고, 염농도와 발아와는 種間內 상관이 있다고 하였다(Jones, 1986). 고추종자가 지상부로 出現한 후의 생장을 조사한 결과 ‘부춘’과 ‘청복’ 모두 EC 2.0 이상에서는 현저히 억제되었고 그 정도는 높은 EC에서 낮은 출현율을 보인 ‘부춘’이 더욱 심하였다. EC에 대한 반응은 출현율 및 생장에 있어서 모두 일치하였다.

고추는 주로 육묘하여 이식재배하는 것이 관행이므로 상토의 EC만 조절하면 발아 및 출현에는 문제가 없다. 그러나 묘를 정식했을 때는 포장의 토양 EC에 따라 활착 및 생장에 크게 영향을 받을 수 있으므로 원예용 상토에서 20일간 육묘한 것을 EC가 다른 토양에 이식하고 20일 후에 조사한 결과 EC 2.0부터 생장이 억제되었는데 ‘부춘’이 ‘청복’보다 매우 민감하게 반응 하였다.

Table 4-24. Effect of soil EC on mineral content in leaves of grafted pepper plants.^z

| Grafting (Scion/Rootstock) | EC (dS·m ⁻¹) | N | P | K | Ca | Mg |
|-------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | %, DW. | | |
| Buchon(B) (Non-graft) | 1.0 | 3.76±0.2 | 0.88±0.1 | 3.85±0.1 | 2.11±0.1 | 0.78±0.0 |
| | 1.5 | 5.01±0.1 | 0.97±0.0 | 4.51±0.2 | 1.81±0.0 | 0.42±0.1 |
| | 2.0 | 5.01±0.1 | 1.02±0.1 | 5.18±0.4 | 1.15±0.1 | 0.65±0.0 |
| | 2.5 | 6.67±0.3 | 0.94±0.0 | 3.76±0.1 | 0.82±0.1 | 0.28±0.0 |
| | 3.0 | 6.24±0.1 | 0.96±0.0 | 3.03±0.0 | 1.27±0.0 | 0.25±0.0 |
| B/Kataguruma | 1.0 | 4.32±0.1 | 0.87±0.0 | 4.37±0.2 | 1.37±0.1 | 0.75±0.1 |
| | 1.5 | 5.34±0.2 | 1.09±0.0 | 4.70±0.1 | 1.76±0.2 | 0.56±0.0 |
| | 2.0 | 4.91±0.1 | 0.89±0.1 | 4.32±0.3 | 2.25±0.3 | 0.76±0.1 |
| | 2.5 | 5.01±0.2 | 0.91±0.1 | 4.18±0.1 | 2.17±0.1 | 0.49±0.0 |
| | 3.0 | 5.47±0.1 | 0.98±0.1 | 3.98±0.1 | 1.49±0.1 | 0.41±0.0 |
| B/R-safe | 1.0 | 4.72±0.3 | 0.89±0.0 | 4.31±0.1 | 2.30±0.1 | 0.72±0.0 |
| | 1.5 | 4.43±0.6 | 1.08±0.1 | 4.71±0.7 | 1.43±0.2 | 0.36±0.2 |
| | 2.0 | 4.04±0.1 | 0.92±0.0 | 5.00±0.2 | 2.11±0.1 | 0.62±0.1 |
| | 2.5 | 5.93±0.3 | 0.93±0.1 | 3.52±0.1 | 0.70±0.0 | 0.33±0.1 |
| | 3.0 | 6.44±0.1 | 1.08±0.0 | 3.50±0.1 | 0.87±0.1 | 0.25±0.0 |
| B/Konecian | 1.0 | 4.68±0.1 | 1.14±0.1 | 4.16±0.1 | 2.29±0.1 | 0.56±0.0 |
| | 1.5 | 4.99±0.1 | 1.09±0.2 | 5.33±0.2 | 1.63±0.1 | 0.55±0.1 |
| | 2.0 | 5.07±0.1 | 0.90±0.2 | 4.76±0.1 | 1.53±0.1 | 0.55±0.0 |
| | 2.5 | 5.47±0.1 | 1.03±0.2 | 4.32±0.2 | 1.14±0.1 | 0.37±0.1 |
| | 3.0 | 5.36±0.2 | 0.89±0.2 | 4.44±0.1 | 0.78±0.0 | 0.35±0.0 |

^zMean±SE, n=3.

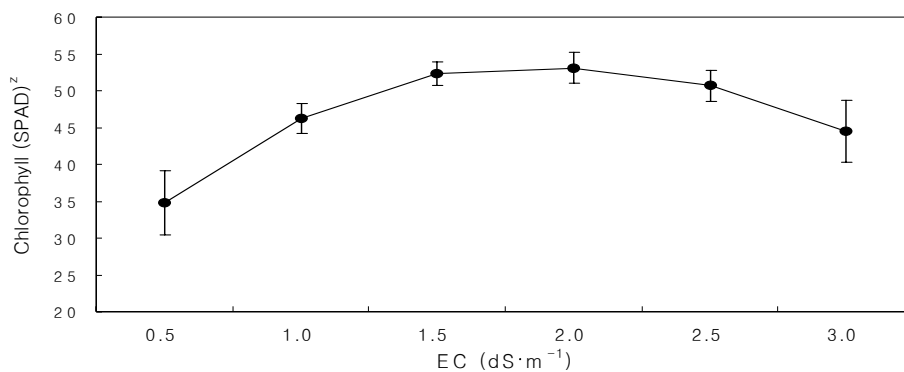


Fig. 4-26. Effect of soil EC on chlorophyll content in leaves of grafted pepper plants.

^zValues were measured by chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta).

The bars represent the mean±SE(n=3).

| EC (dS·m ⁻¹) | Days after transplanting | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|----|---|----|----|----|----|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 1.0 | | | | | | | |
| 1.5 | | | | | | | |
| 2.0 | | | | | △ | △ | △ |
| 2.5 | | △ | △ | △ | △ | △ | ■ |
| 3.0 | △ | △ | △ | △ | ■ | | |
| 3.5 | △ | △ | ■ | | | | |
| 4.0 | △ | △▲ | ■ | | | | |
| 4.5 | △ | △ | ■ | | | | |
| 5.0 | △▲ | | | | | | |

Fig. 4-27. Summary of the growth response on soil EC (1:5) in pepper (*Capsicum annuum* cv. Buchon).^z ^z△: burning of leafblade margins, ▲: whole leaf withered, whole plant withered or died.

민감하게 반응하였다. 이상의 결과에서 고추는 토양 EC가 2.0 이상이 되면 출현율 및 생장에 영향을 주는데 그 정도는 품종간 차이가 있었지만 어느 품종도 EC가 2.0 이상이 되면 재배가 어려운 것으로 판단되었다.

토양의 염농도(Salinity)에 대한 실험은 대부분 NaCl을 이용하여 그 반응을 조사한 것인데(Volkmar 등, 1998) 그 결과는 토양에 시용한 각종 비료의 잔류효과에 대한 반응과 같다고 할 수 없다. 실제로 토양에 존재하는 이온의 종류에 따라 식물에 미치는 영향이 다르다고 하였다(Awad 등, 1990; Ono와 Mori, 1996).

본 실험에서는 원예용 복합비료를 이용하여 EC를 조절하였기 때문에 농가 시설포장에서 일어날 수 있는 반응과 같다고 볼 수 있다. 토양의 염농도가 높으면 직접 생리적 피해를 입고 민감하게 영향을 받는 부위가 뿌리인데(Baligar 등, 1998; Niu 등, 1995; Neumann 등, 1994) 높은 염농도에서는 과실의 생장억제(Bernstein, 1975; Chung 등, 2001), 花歷의 변화(Rawson, 1986) 등 다양한 생리적 변화도 일어나는 것으로 알려져 있다.

채소작물에서 아직 시도된 바는 찾지 못했으나 고추 역병예방용 대목으로 개발한 ‘카타구루마’, ‘코네시안’, ‘R-세이프’ 등의 3가지 품종에 대하여 토양 EC에 대한 반응을 조사한 결과 ‘카타구루마’가 가장 내염성이 있는 것으로 나타났다. 고추에서도 EC가 2.0 이상이 되면 뿌리의 끝부분부터 갈변이 일어나 근계발달이 억제되었고, 하위절의 낙뢰(落蕾)와 상위절의 꽃눈분화의 불완전이 관찰되었으며 과실의 발달이 불량하였고 기형과 발생이 많았으나 ‘카타구루마’에 접목한 고추는 EC 2.0에서도 정상적이었고 착과는 EC 2.5에서도 비교적 잘되어 내염성 대목으로써 실용화가 가능할 것으로 생각되었다. 앞으로 이 대목에 대하여 다양한 조건에서 다시 확인하는 동시에 내염성을 나타내는 생리적 기작을 밝히는 연구가 요망된다.

(4) 초 록

토양 EC에 대한 고추(*Capsicum annuum*)의 성장반응과 함께 내염성 대목에 접목하여 접목효과에 대하여 실험하였다. 복합비료로 EC를 0.5~5.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 인위적으로 조절한 토양에서 종자출현, 유묘생장 및 접목후 생장, 분지, 착화수, 결실을 및 과실비대를 조사하였다. 고추 종자의 출현율은 토양 EC 1.5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 ‘부춘’은 과종후 11일에 8.3%였으나 ‘청복’은 EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 60.4%로 품종간 차이가 있었다. 이 식후의 묘생장에 있어서도 ‘부춘’이 토양 EC에 대하여 매우 민감하게 반응하였다. 토

양 EC에 대한 고추 대목의 성장반응에 있어서 '카타구루마'가 높은 耐鹽性을 보였다. 고추 '부춘'은 EC 2.0 dS·m⁻¹에서 생장이 현저히 억제되었으나 '카타구루마'에 접목한 것은 EC 2.5 dS·m⁻¹에서도 생장이 약간 억제되었으나 높은 착과율을 보였다. 토양 EC가 높을수록 과실의 성장과 태좌의 발달이 억제되었고 종자수가 감소하였다. 토양 EC가 높아지면 잎의 엽록소와 질소함량이 증가하였다. 이 실험결과 고추 대목 '카타구루마'는 내염성 대목으로 실용가능성이 높은 것으로 나타났다.

3. 내염성 대목선발 및 접목한 채소작물의 염류농도에 따른 성장반응

- Selection of salt-tolerance rootstocks and growth response of grafted vegetable crops on varying soil salt concentration -

1) 土壤 EC에 대한 박(*Lagenaria siceraria* Standl.)의 出現率 및 幼苗의 生長反應과 耐鹽性 臺木選拔

(1) 서 언

박(*Lagenaria siceraria*)은 미숙과를 식용으로 이용하기 위하여 재배하였지만 요즘은 대목용 종자생산을 위한 채종재배가 경제적 가치가 높다. 박은 주로 수박의 대목으로 이용되는데 우리나라에서 수박은 과채류중 가장 넓은 재배면적을 차지하고 있다. 그리고 노지보다 시설재배면적이 배이상 많다(MAF, 2003). 이 시설재배에서 문제되는 것 중의 하나가 염류집적에 의한 생리적 장애발생인데 많은 보고에서 우리나라의 시설내 토양의 염류집적과 작물의 피해에 대해서는 조사되어 있으나 아직 수박에서 염류장애에 대한 연구는 별로 없다. 박과류 작물인 오이(Chung 등, 2001; Sonnevelt와 De Kreij, 1999)와 멜론(Kim 등, 1991)은 토양 EC에 매우 민감하여 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서는 생장억제는 물론 과실의 품질이 현저히 저하된다고 하였다. 수박은 역시 천근성 작물이므로 표토의 염류농도에 매우 민감하게 반응할 것으로 생각된다. 그런데 수박은 거의 접목재배를 하므로 대목으로 사용하는 박종자의 토양 EC에 반응이 더욱 중요한데 이에 대한 반응을 실험한 결과 또한 거의 없다. 그리고 현재 사용중인 박 종자는 대부분 수입에 의존하고 있는데 2002년도에만 42,930kg의 수입 박종자를 세관 검역하였다. 이 수입 박종자는 국내용을 외국에서 채종하여 들어온 것도 상당량이나 품종은 모두 외국에서 개발된 것이다. 따라서 대목용으로 우수한 국산 박 품종의 개발이 절실한 실정이다. 지금까지 대목은 주로 내병성에 중점을 두었으나 이제는 내염성도 매우 중요한 요인으로 인식되고 있다. 그런데 과수(McKersie와 Leshem, 1994)에 대해서는 내염성 대목에 접목하여 토양의 높은 염농도를 극복한 연구는 있으나 아직 채소작물을 접목에 의하여 내염성을 향상시켜 염해를 극복하였다는 보고는 거의 없다. 다만 최근 고추(Chung과 Choi, 2002a)와 토마토(Chung과 Choi, 2002b)에서 우수한 내염성 대목을 선발하여 접목재배한 결과 실용가능성이 있음을 보고한 바 있을 뿐이다. 그래서 본 실험에서는 우리나라에서 수집된 재래종 박 품종(Chung 등, 1999)과 도입종 박 38품종을 이용하여 토양 EC에 대한 반응을 조사하여

내염성 박 대목의 선발을 시도하였다. 이 실험에서 내염성이 있는 것으로 반응한 품종을 대목으로 하여 수박을 접목하여 토양 EC에 대한 성장반응을 조사하였다.

(2) 재료 및 방법

박 및 수박품종 : 국내에서 수집한 한국재래종 박을 과형별로 분류하여 유전적으로 고정되어 있음이 확인되었고 생리, 생태적 특성이 이미 조사된 한국 재래종 박 27개 지방 재래종(Chung 등, 1999)과 농촌진흥청으로부터 분양받은 38개 수집종을 재료로 하였다(Fig. 1과 Fig. 2). 본 실험에 사용한 재래종 박과 도입종 박 모두 본 대학 실험포장에서 재배하여 인공수분에 의하여 착과시켜 완숙한 과실로부터 채종한 당년산 종자를 사용하였고 수박도 종묘사에서 익년에 채종한 것을 이용하였다.

토양의 EC 조절 : 전보(Chung 등, 2001)에서와 같이 작물이 전혀 재배된 적이 없는 사질양토를 채취하여 1mm 체로 쳐서 음건한 후 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 분말로 만들어 일정량씩 흙과 비료를 혼합기(Benford RG2, UK)로 섞어 EC(Electrical Conductivity, $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)를 조절하였다. 최초 흙의 EC는 $0.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었는데 이를 $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 부터 0.5단계씩 하여 $0.5\sim 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지의 토양을 만들었다. 이때 흙과 물은 1:5(w/v)로 하여 EC meter (Takemura, CM-53)로 측정하였고 파종 후 또는 작물재배 중에는 같은 EC 농도로 조절된 물을 만들어 관수하므로써 실험중 EC의 변화가 없도록 하였다.

출현율 조사 : 최아시키지 않은 종자를 EC 농도가 다른 흙을 넣은 72공 플러그 트레이에 한 개씩 파종하고 같은 EC 농도의 물을 주었다. 한 품종당 50립씩 파종하여 한 반복으로 하여 3반복으로 하였다. 이 파종상을 최적온도 $27^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Chung 등, 1999)로 유지되는 식물생장실(광도 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 8h)에서 발아시켰다. 파종 후 10일에 자엽이 완전히 지상부로 나타난 것을 조사하여 출현율을 계산하였다. 그리고 이때 묘의 성장도 조사하였다.

이식후 활착 : 수박과 박종자를 육묘용 상토(TKS 2)에서 본엽 2매가 전개될 때까지 육묘하여 EC가 다른 토양에 이식한 후 성장반응을 조사하였다.

내병성 검정 : 본 실험의 주목적은 내염성 박 대목 선발이지만 내염성과 내병성이 동시에 있는 품종이 더욱 좋을 것이므로 수박에 주로 발생하는 탄저병과 역병에 대한 내성을 조사하여 기초자료로 이용하고자 하였다.

① 균 배양 - 경북대학교 원예학과 식물병리학연구실로부터 분양받은 수박탄저병균(*Colletotrichum orbiculare*)과 역병균(*Pytophthora drechsleri*, *Pytophthora capsici*)

을 이용하였는데 탄저병균은 PSA(potato sugar agar)배지에, 역병균은 V-8 juice agar배지에 접종한 후 25°C, 12h 형광조명조건 하에서 배양하였다. 탄저병균은 7일간, 역병균은 10일간 배양한 후 접종원으로 이용하였다.

② 병원균 접종 - 최아된 박 종자를 플러그관에 파종하여 본엽 1매가 나올 시기(파종 후 10일)에 직경 12cm 포트에 이식하여 본엽 1매가 전개되었을 때 균을 접종하였고 탄저병균과 역병균은 같은 날 해질무렵에 접종하였다.

③ 탄저병(*Colletotrichum orbiculare*)균 접종 - 배양된 탄저병균을 $5\sim 8\times 10^6$ 농도의 포자현탁액을 만들어 해질 무렵 식물전체에 분무하였다. 접종 후에는 습도유지를 위해 비닐을 덮었고 다음날 해뜨기 전 비닐을 벗기고 식물체 주위가 습하도록 바닥에 자주 물을 뿌려 주었다. 접종 후 10일째에 자엽과 본엽에 나타난 병징을 점수화하였다.

④ 역병(*Pytophthora drechsleri*)균 접종 - 10일간 배양한 후 유주자낭 현탁액을 만들어 직경 12cm 포트에 10ml 씩 관주하였다. 관주후에는 충분히 물을 주고 비닐을 덮어두었다. 다음날 해뜨기 전 비닐을 벗기고 수분이 일정하게 유지되도록 하였다. 접종후 2일부터는 지저부에 나타나는 병징과 줄기가 꺾이는 정도를 조사하였고 접종후 6일째에는 접종한 식물전체에 나타난 병징을 점수화하였다.

⑤ 역병(*Pytophthora capsici*)균 접종 - 10일간 배양한 후 유주자낭 현탁액을 만들어 포트에 10ml씩 관주하였고, *P. drechsleri*균 접종후의 경우와 마찬가지로 관리하였다. 접종 후 10일째에 병징을 조사하였다.

접목 : 내염성이 다른 박 품종을 대목으로 하여 수박(품종: 삼복꿀수박, 세미니스코리아)을 합접법으로 접목하여 토양 EC별로 이식한 후 성장반응을 조사하였다. 초기 생장은 직경12cm 포트에 이식한 것을 관찰하였고 별도로 직경 25cm 대형 포트에 이식하여 대조구에서 제1번 암꽃의 개화기까지 생육을 조사하였다.

(3) 결과 및 고찰

EC에 따른 출현율 : 토양 EC가 1.0 및 $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 상토에 파종한 박 종자의 출현율을 조사한 결과(Fig. 4-28) 한국 재래박은 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 대부분 60%이상의 출현율을 보였고 80%이상으로 나타난 것도 8품종이었다. 그러나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 공시한 27개 지방재래종(이하 품종) 가운데 12품종은 전혀 출현하지 못하였고 6품종은 10%전후였다. 그런데 합천(16번)은 80%이상의 출현율을 보여 가장 내염성이 강한 것으로 나타났고 청도(14번)도 70%이상의 출현율을 나타내었다. 그리고 선산(8

변)을 비롯한 4 품종은 30%미만의 출현율을 보였다.

도입종 밖의 출현율(Fig.4-29)은 EC 1.0dS·m⁻¹에서는 공시한 38품종중 90%이상 출현한 것은 5종에 불과하였고 40%이하의 출현율을 보인 것도 11품종으로 출현율의 차이가 심하였다. 그런데 EC 3.0dS·m⁻¹에서는 거의 대부분(28 품종)이 전혀 출현되지 않았고 그 나머지도 10% 미만의 아주 낮은 출현율을 보여 도입종은 전부 내염성이 없는 것으로 나타났다. 그래서 내염성향상을 위한 접목용 대목으로서는 도입종은 전혀 가치가 없는 것으로 판단되어 접목실험에서는 제외하였다.

박 유묘의 생장 : 최아시키지 않은 박 종자를 EC가 다른 토양에 파종한 후 지상으로 출현하여 자엽이 완전 전개하고 본엽이 나오기 시작할 때 즉 파종후 10일에 유묘의 생장(Table 4-25)을 조사하였다. 공시한 모든 품종의 유묘생장을 표기하기에는 너무 많아 출현율에서 내염성이 강한 것으로 나타난 ‘합천’, ‘청도’ 그리고 약간의 출현이 된 ‘선산’과 EC 3.0dS·m⁻¹에서 발아는 하였으나 출현하지 못한 ‘곡성’에 한해서 EC 2.5dS·m⁻¹까지 유묘의 생장을 비교하였다.

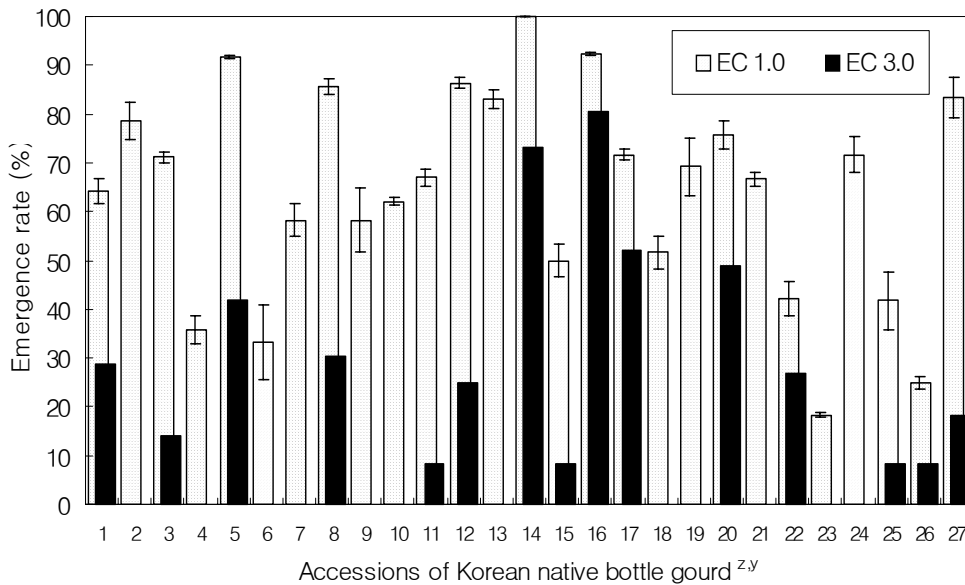


Fig. 4-28. Emergence rate of the Korean native bottle gourd seeds on different soil EC conditions.

^z 1: Kyeongsan, 2: Koseong, 3: Kogseong, 4: Naju, 5: Danyang, 6: Muan, 7: Seocheon, 8: Seonsan, 9: Andong, 10: Anseong, 11: Yeongyang, 12: Yeongworl, 13: Yeongcheon, 14: Cheongdo, 15: Ulreung, 16:

Hapcheon17: Wonju, 18: Jecheon, 19: Jindo, 20: Jinan, 21: Yecheon, 22: Chilgok,
 23: Taean, 24: Jeongseon, 25: Jeju, 26: Kimhae, 27: Ueiryung.

^yData were obtained at 10 days after sowing.

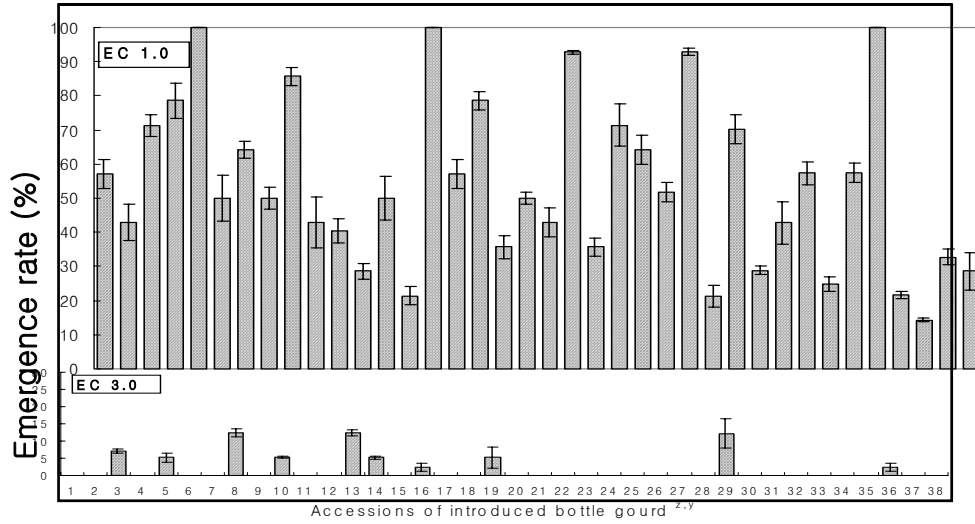


Fig. 4-29. Emergence rate of gourd seeds (introduced variety) on different soil EC conditions.

- ^z1: IT 207039, 2: IT 207041, 3: IT 207042, 4: IT 207047, 5: IT 207048,
 6: IT 207051, 7: IT 207052, 8: IT 207054, 9: IT 207055, 10: IT 207056,
 11: IT 207057, 12: IT 207067, 13: IT 207071, 14: IT 207072, 15: IT 207073,
 16: IT 207074, 17: IT 207077, 18: IT 207080, 19: IT 207082, 20: IT 207087,
 21: IT 207092, 22: IT 207095, 23: IT 707100, 24: IT 707101, 25: IT 207104,
 26: IT 207108, 27: IT 207109, 28: IT 207114, 29: IT 207122, 30: IT 207125,
 31: IT 801330, 32: IT 209295, 33: IT 903724, 34: IT 904401, 35: IT 907937,
 36: IT 907938, 37: IT 909337, 38: IT 909338

^yData were obtained at 10 days after sowing.

Table 4-25. Growth of gourd (*Lagenaria siceraria*) seedlings grown for 10 days after sowing on different soil EC conditions.^z

| Accessions | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Fresh weight (g) | | Leaf | | Root length (cm) |
|------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|-----------|----------------|---------------|------------------------|
| | | | Top | Root | Length (cm) | Width (cm) | |
| Kogseong | 0.5 | 9.6±0.4 | 2.1±0.2 | 0.32±0.08 | 4.8±0.1 | 3.0±0.2 | 10.9±1.5 |
| | 1.0 | 7.3±0.5 | 2.1±0.3 | 0.19±0.02 | 4.5±0.3 | 2.9±0.1 | 6.5±0.8 |
| | 1.5 | 5.5±0.6 | 1.4±0.0 | 0.15±0.02 | 4.3±0.4 | 2.0±0.1 | 4.0±0.5 |
| | 2.0 | 5.2±0.2 | 1.2±0.1 | 0.12±0.01 | 3.4±0.2 | 2.0±0.1 | 3.0±0.3 |
| | 2.5 | 3.2±0.4 | 0.7±0.1 | 0.11±0.04 | 2.2±0.0 | 1.4±0.3 | 1.4±0.5 |
| | 3.0 | 1.1±0.3 | 0.6±0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seonsan | 0.5 | 8.8±0.2 | 1.4±0.1 | 0.20±0.03 | 5.0±0.1 | 2.5±0.2 | 10.3±0.9 |
| | 1.0 | 7.5±0.5 | 1.7±0.2 | 0.17±0.03 | 5.5±0.2 | 2.7±0.2 | 6.5±0.3 |
| | 1.5 | 6.2±0.4 | 1.2±0.1 | 0.10±0.01 | 4.5±0.3 | 2.2±0.1 | 4.2±0.9 |
| | 2.0 | 4.2±0.4 | 0.8±0.1 | 0.06±0.01 | 3.0±0.2 | 1.5±0.1 | 3.2±0.9 |
| | 2.5 | 4.5±1.0 | 0.6±0.1 | 0.06±0.02 | 2.5±0.3 | 1.1±0.1 | 1.3±0.4 |
| | 3.0 | 2.1±0.6 | 0.5±0.1 | 0 | 1.5±0.2 | 0.6±0.1 | 0 |
| Cheongdo | 0.5 | 10.6±0.3 | 1.6±0.1 | 0.26±0.04 | 5.1±0.1 | 2.6±0.1 | 11.7±1.4 |
| | 1.0 | 8.0±0.1 | 1.5±0.1 | 0.18±0.06 | 5.1±0.2 | 2.5±0.1 | 6.6±0.4 |
| | 1.5 | 6.7±0.4 | 1.4±0.3 | 0.16±0.02 | 4.7±0.7 | 2.5±0.3 | 4.7±0.2 |
| | 2.0 | 5.8±0.1 | 1.0±0.0 | 0.13±0.02 | 3.7±0.2 | 2.0±0.2 | 3.9±0.6 |
| | 2.5 | 5.0±0.2 | 0.7±0.1 | 0.12±0.02 | 3.0±0.2 | 1.5±0.1 | 3.0±0.6 |
| | 3.0 | 5.0±0.8 | 0.7±0.0 | 0.10±0.02 | 2.8±0.0 | 1.5±0.1 | 0.9±0.3 |
| Hapcheon | 0.5 | 8.7±0.6 | 1.6±0.1 | 0.28±0.05 | 5.6±0.0 | 2.7±0.1 | 12.4±1.3 |
| | 1.0 | 8.0±0.4 | 1.9±0.2 | 0.21±0.05 | 5.9±0.4 | 2.9±0.1 | 9.1±0.8 |
| | 1.5 | 6.1±0.1 | 1.6±0.1 | 0.16±0.01 | 4.9±0.2 | 2.6±0.1 | 6.0±0.8 |
| | 2.0 | 5.8±0.2 | 1.2±0.2 | 0.10±0.03 | 4.2±0.4 | 2.3±0.2 | 3.6±0.3 |
| | 2.5 | 5.6±0.3 | 1.2±0.2 | 0.11±0.03 | 4.4±0.6 | 2.3±0.3 | 4.4±1.2 |
| | 3.0 | 5.2±0.5 | 0.9±0.2 | 0.11±0.04 | 3.1±0.9 | 1.6±0.5 | 1.8±0.3 |

^zMean±SD, n=10 seedlings.

모든 품종에서 EC $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 EC가 높아질수록 초장(배축장)이 짧아지고 근계의 발달이 억제되었다. 조사한 27개 품종 가운데 ‘곡성’과 ‘선산’ 품종은 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 전혀 뿌리의 발달을 하지 못하였고 이들 품종은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 뿌리의 생장이 현저히 억제되었다.(Table 4-25) 그러나 ‘합천’과 ‘청도’와 같은 품종은 초장이 EC $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 8.7cm였는데 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 5.2cm로 상당히 길었고 뿌리의 길이도 EC $0.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 12.4cm였는데 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 4.4cm로 어느 정도 생장하였으며 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 1.8cm로 현저히 억제되기는 하였으나 뿌리의 발달이 계속되어 다른 품종에 비하여 상당한 내염성을 보였다. 이와같이 어느 정도 내염성을 보인 품종은 ‘합천’, ‘청도’ 외에 ‘원주’, ‘예천’ 등이 있었다.

Fig. 4-30을 보면 EC에 민감성을 보인 ‘선산’과 내염성 ‘합천’의 파종 후 10일째 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 배축 및 유근의 성장상태를 나타낸 것이다. ‘합천’은 뿌리의 생장이 다소 억제되기는 하였으나 어느 정도 자랐고 측근도 많이 발생하였는데 비하여 ‘선산’은 배축만 보였고 근단조직은 갈변하여 전혀 신장하지 못하였다.

Fig. 4-31는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 토양에 파종 후 10일이 지난 유묘의 자엽 바로 밑의 하배축을 절단하여 배축내 공동의 크기를 비교한 것이다. ‘경산’, ‘영양’이 비교적 공동의 크기가 적었고, ‘제주’ 등이 큰 것으로 나타났다. 박의 경우 삼접을 할 경우 공동의 크기는 접목의 활착에 크게 작용하는데 공동의 크기가 적은 것일수록 유리하다고 할 수 있다. 내염성인 ‘합천’은 중간정도였다. 이외에도 공동이 큰 것으로는 ‘곡성’, ‘단양’, ‘무안’, ‘서천’, ‘안동’, ‘진도’ 등이었고, 중간이었던 것은 ‘김해’, ‘영천’, ‘원주’, ‘예천’, ‘정선’, ‘제천’, ‘진도’, ‘청도’, ‘태안’ 등이었으며, 적었던 것은 ‘고성’, ‘나주’, ‘선산’, ‘영월’, ‘울릉’, ‘의령’, ‘진안’으로 조사되었다.

품종간 내병성 차이 : Table. 4-26은 탄저병균과 역병균의 접종에 의한 박 모종의 피해정도를 조사한 것인데 탄저병균인 *Colletotricum orbiculare*에는 ‘영천’이 가장 내병성이 있었고 ‘무안’, ‘예천’이 다음으로 접종에 의한 피해가 적었다. 그리고 내염성인 ‘합천’은 공시품종중 중간정도의 내병성을 보였다. 그리고 ‘서천’은 가장 약한 품종으로 나타났다. 한편 역병 병원균 가운데 *Phytophthora drechsleri*에 대한 반응은 내염성인 ‘합천’은 전혀 피해가 없어 내염성인 동시에 내병성 품종으로 간주되었다. 그런데 다른 품종은 매우 높은 피해정도를 보였다. 또 다른 역병균인 *P. capsici*에 대한 반응은 전혀 다른 양상을 보였다. 탄저병에 가장 약한 반응을 보인 ‘서천’이 이 병원균에는 강한 것으로 나타났고, 내염성으로 보이는 ‘합천’은 비교적 높은 내병성으로 나타났다. 본 실험결과 병원균에 대한 반응은 병종류나 품종에 따라 현저한 차이를 보였으나 *P.*

*drechsleri*는 '합천'에서 내염성과 같이 내병성이 있는 것으로 관찰되었다.

EC가 다른 토양에 이식한 묘의 성장반응 : 박종자의 출현을 및 유묘생장에서 내염성차이를 보인 '선산'과 '합천'을 일반 상토에서 육묘하여 토양 EC가 다른 토양에 이식한 후 20일이 지나서 묘의 성장을 조사(Table 4-27)하였다. '선산'은 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 초장이 53.7cm였으나 EC가 증가할수록 감소하여 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 22.1cm로 59%나 억제되었다. 실제 이식시 이미 10cm 이상의 성장을 한 것이므로 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 거의 생장이 일어나지 않은 것으로 볼 수 있다. 그리고 뿌리의 성장도 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 25.8cm였는데 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 12.1cm로 46.8%밖에 성장하지 않았다

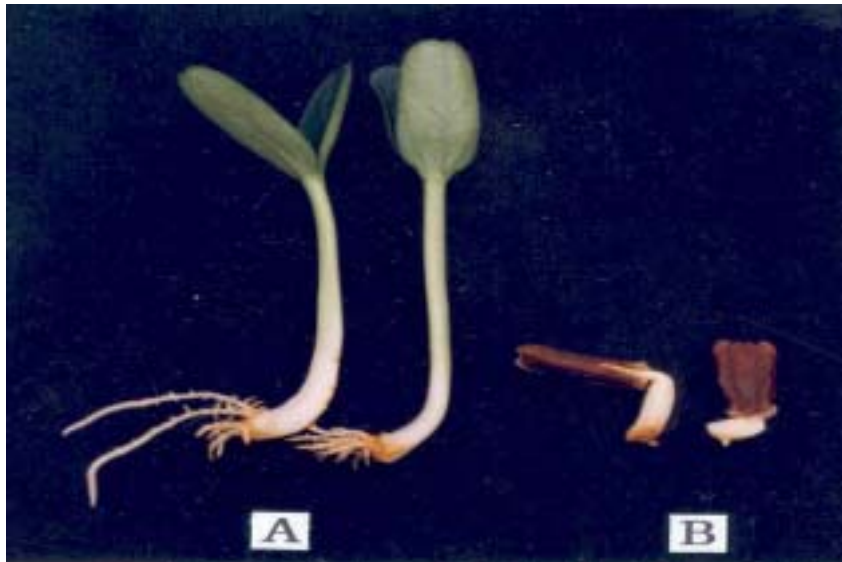


Fig. 4-30. Effect of high soil EC ($3.0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) on growth of hypocotyl and radicles of bottle gourd seeds.^z

^zAccessions A: 'Hapcheon', B: 'Seonsan'

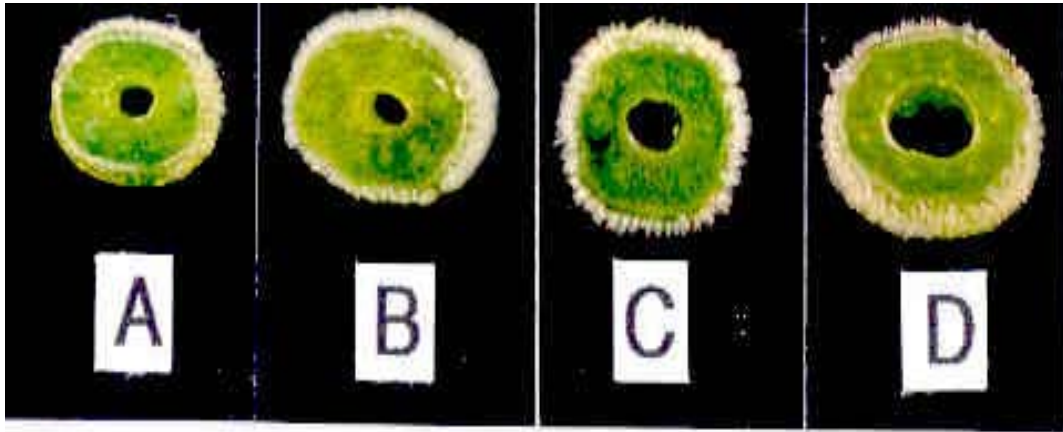


Fig. 4-31. Comparison of hypocotyl cavity size of the Korean native bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) seedlings (10 days after sowing).^z

^zA: Kyeongsan, B: Yeongyang, C: Hapcheon, D: Anseong

Table 4-26 Degree of disease symptoms of infected leaves at 10 days after inoculation of *Colletotricum orbiculare*, *Phytophthora capsici*, and *Phytophthora drechsleri*, respectively, in the Korean native bottle gourd seedlings.

| Accessions | Pathogen | | |
|------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| | <i>Colletotricum orbiculare</i> | <i>Phytophthora capsici</i> | <i>Phytophthora drechsleri</i> |
| | Score of disease symptom ^z | | |
| Kyeongsan | 2.3±0.2 | 3.3±0.8 | 1.7±0.3 |
| Koseong | 1.7±0.2 | 5.0±0.0 | 1.0±0.4 |
| Kogseong | 2.3±0.1 | 2.0±0.7 | 4.0±0.0 |
| Naju | 3.0±0.2 | 4.0±0.4 | 1.0±0.4 |
| Danyang | 1.7±0.0 | 2.3±0.5 | 4.0±0.2 |
| Muan | 0.7±0.2 | 3.0±0.2 | 2.3±0.4 |
| Seocheon | 4.3±0.2 | 0.5±0.2 | 3.0±0.5 |
| Seonsan | 2.0±0.3 | 2.3±0.7 | 2.0±0.0 |
| Andong | 2.0±0.2 | 2.3±0.2 | 1.3±0.6 |
| Anseong | 2.3±0.2 | 3.3±0.3 | 3.0±0.4 |
| Yeongyang | 2.7±0.0 | 4.0±0.2 | 4.5±0.5 |
| Yeongworl | 2.0±0.4 | 2.0±0.3 | 2.0±0.0 |
| Yeongcheon | 0.3±0.2 | 2.3±0.2 | 2.7±0.2 |
| Cheongdo | 1.3±0.4 | 3.0±0.5 | 2.5±0.0 |
| Ulreung | 1.7±0.2 | 2.7±0.2 | 3.7±0.3 |
| Hapcheon | 1.3±0.2 | 3.3±0.4 | 0 |
| Wonju | 3.3±0.2 | 4.7±0.0 | 2.3±0.3 |
| Jecheon | 3.0±0.4 | 3.5±0.5 | 2.0±0.6 |
| Jindo | 1.0±0.2 | 2.0±0.6 | 1.5±0.2 |
| Yecheon | 0.7±0.2 | 4.7±0.2 | 2.3±0.6 |
| Chilgok | 1.7±0.1 | 5.0±0.0 | 2.0±0.0 |
| Jeongseon | 1.0±0.2 | 2.0±0.4 | 1.7±0.5 |
| Jeju | 2.3±0.5 | 3.3±0.2 | 4.0±0.5 |
| Kimhae | 2.0±0.4 | 5.0±0.0 | 1.5±0.0 |

^z0: no symptom (healthy), 1: water-soaked and browning of hypocotyl at soil surface, 2: infected 50% on cotyledon, 3: infected

on main leaves and hypocotyl broked, 4: withered infected leaves,
5: whole plant wilted and died.

Table 4-27. Growth of gourd seedlings after transplanting in the different soil EC.^{z,y}

| Accessions | EC (dS·m ⁻¹) | Plant height (cm) | Fresh weight(g) | | No. of leaves (ea) | Root length (cm) |
|------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|---------|--------------------------|------------------------|
| | | | Top | Root | | |
| Seonsan | 1.0 | 53.7±8.4 | 26.9±2.8 | 3.9±0.5 | 6.3±0.5 | 25.8±2.3 |
| | 1.5 | 52.2±3.4 | 31.7±1.7 | 3.1±0.1 | 6.0±0.0 | 20.8±1.8 |
| | 2.0 | 49.7±5.9 | 29.1±5.4 | 3.1±0.2 | 6.7±0.5 | 16.7±1.7 |
| | 2.5 | 34.7±5.8 | 14.8±3.5 | 1.3±0.1 | 5.3±0.5 | 10.8±0.2 |
| | 3.0 | 22.1±2.6 | 9.2±2.7 | 1.0±0.2 | 4.7±0.5 | 12.1±2.8 |
| Cheongdo | 1.0 | 20.5±2.7 | 30.5±1.6 | 7.2±0.3 | 5.0±0.0 | 29.7±4.9 |
| | 1.5 | 25.0±1.4 | 28.4±4.4 | 5.4±0.5 | 5.7±0.5 | 23.3±0.5 |
| | 2.0 | 20.8±4.5 | 26.8±3.1 | 4.4±1.1 | 5.7±0.5 | 25.8±0.5 |
| | 2.5 | 16.0±1.4 | 18.5±2.8 | 2.5±0.5 | 4.3±0.5 | 16.5±1.1 |
| | 3.0 | 10.7±1.4 | 14.5±3.3 | 2.2±0.9 | 4.0±0.5 | 19.6±3.1 |
| Hapcheon | 1.0 | 17.5±1.5 | 25.6±3.7 | 4.6±0.6 | 5.0±0.0 | 20.5±2.3 |
| | 1.5 | 22.2±0.3 | 26.4±4.5 | 4.8±0.7 | 5.3±0.0 | 20.1±2.2 |
| | 2.0 | 22.0±0.8 | 32.4±4.3 | 4.8±0.5 | 5.0±0.5 | 15.7±2.9 |
| | 2.5 | 18.2±1.0 | 24.1±2.9 | 3.6±0.3 | 5.3±0.5 | 19.2±1.8 |
| | 3.0 | 14.1±1.4 | 18.3±6.1 | 2.1±0.7 | 5.0±0.0 | 9.3±1.7 |

^z27-day-old seedlings were transplanted on different soil EC, and
seedling growth measured at 20 days after transplanting.

^yMean±SD, n=5 seedlings.

그러나 ‘합천’의 경우 EC 1.0dS·m⁻¹에서 초장이 17.5cm였는데 EC 3.0dS·m⁻¹에서는 14.1cm로 EC 1.0dS·m⁻¹과 비교해도 80%의 생장을 보였다. ‘청도’는 ‘합천’보다는 못하였지만 다른 민감성 품종보다는 생장이 좋았다. 이들 품종은 지하부 생장도 지상부와

같은 경향을 보였다.

Fig. 5는 민감성인 '선산'과 내염성인 '합천'을 토양 EC별로 이식하여 성장시킨 후 그 반응을 촬영한 것이다. '선산'은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서부터 생장이 억제되기 시작하여 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 자엽과 하엽(下葉)의 가장자리부터 마르기 시작하여 생장이 현저히 억제되었고, EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 생장억제와 하엽고사가 심하였다. 그런데 '합천'은 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 생장이 약간 억제되었으나 잎의 고사는 전혀 없어 내염성 품종을 확인할 수 있었다.

접목묘의 EC별 성장반응 : EC의 농도가 다른 토양에서 박 종자의 출현율, 유묘생장, 이식묘의 생장 등을 조사한 결과 비교적 내염성인 품종으로 생각되는 '합천'과 민감성인 '선산' 그리고 그 중간인 '청도'에 수박을 접목한 후 토양 EC별로 성장시켜 그 반응을 조사하였다. Fig. 4-33은 접목묘를 이식한 후 40일 후에 식물체의 생장을 조사한 것이다. 초장은 토양 EC가 증가할수록 감소하였지만 '합천'은 초장의 억제가 가장 적었고 다음이 '청도'였으며 민감성인 '선산'은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 부터 거의 성장하지 못하였고 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 고사하였다. Fig. 4-34은 접목후 개화상태를 본 것인데 '합천'은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 암꽃이 착생되었으나 '선산'은 그렇지 못하였다. 이때 대조구인 무접목(Fig. 4-34)은 본엽 2매의 묘를 EC가 다른 토양에 이식한 후 20일에 생장을 조사한 것인데 EC 2.0 이상에서는 이때 이미 잎이 마르고 뿌리가 갈변하여 생장이 정지되었다. 접목묘는 이식 후 40일에 조사한 것으로 '합천'도 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 부터 심한 생장억제 현상을 보였으나 잎의 고사 등 생리적 장애나 화기구조의 변형은 관찰되지 않았다.

본 실험에서는 영양분이 거의 없는 사질양토에 복합비료만 첨가하여 토양 EC를 조절하였고 또 생육기간 중 EC의 변화를 주지 않기 위하여 수시로 EC를 조사하면서 같은 EC의 물을 계속 관수하였기 때문에 순전히 EC의 반응만 나타낸 것이다. 앞으로 미량요소와 유기물을 첨가하면 접목묘는 높은 EC에서도 성장반응이 달라질 수 있을 것으로 생각된다. 토양의 높은 염농도에 대한 식물생장반응은 매우 다양하다(Volkmar 등, 1998). 이들 반응은 세포신장억제(Zidan 등, 1990), 광합성능 감퇴(Evans와 Caemerer, 1996), 세포내 미세구조의 변형(Koyro, 2002), 뿌리의 신장억제(Colmer 등, 1994) 등 많은 원인과 그 기능에 대하여 보고되어 있다. 그런데 염농도에 대한 가장 직접적인 영향은 근계의 발달억제에 있다. 염농도가 어느 수준으로 높으면 세포의 삼투압에 영향을 미쳐 물의 potential을 변화시킴으로서 뿌리생장이 억제되지만(Baligar 등, 1998; Yeo, 1983), 일정농도 이상이 되면 뿌리세포의 치사에 이르게 되므로 갈변피

사한다. 즉 어느 이상의 농도에서는 역삼투에 의하여 즉시 위조고사한다. 그러므로 내염성 향상은 근부가 염에 강한 것이라야 한다. 그러므로 접목재배작물의 경우대목이 내염성이면 보다 높은 염농도의 토양에서도 재배가 가능할 것으로 기대된다. 과수에서는 내염성대목에 접목하므로써 높은 염농도를 극복할 수 있다고 하였지만 (Behdoudian 등, 1986; Mickelbart와 Arpia, 2002) 채소작물은 접목에 의한 내염성향상에 대한 보고는 매우 드물다. 특히 채소작물의 경우 접목재배를 하는 나라가 많지 않으므로 더욱 내염성대목실험에 대한 연구는 없는 것으로 생각된다. 그런데 최근 우리나라에서 고추(Chung과 Choi, 2002a)는 기존 내병성대목에서, 토마토(Chung과 Choi, 2002b)는 야생종에서 내염성이 높은 대목을 선발하여 접목실험을 한 결과 매우 실용성이 있음이 보고되었다. 이번 실험에서도 우리나라 재배종 박 가운데 ‘합천’은 실생묘와 접목묘 생장에 있어서 다같이 내염성을 나타내었다.



Soil EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)

Fig. 4-32. Effect of soil EC on growth of bottle gourd seedlings after transplanting (Upper : Seonsan, Lower : Hapcheon). Arrow : cotyledon and main leaf margin withering.

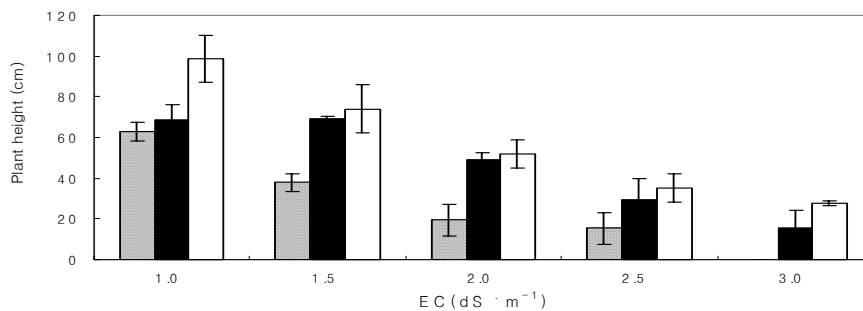


Fig. 4-33. Effect of rootstocks (Korean native bottle gourd) on the plant height of grafted watermelon seedling after transplanting in the different soil EC.^{z,y}

^z▨:Seonsan, [■]:Cheongdo, [□]:Hapcheon. ^yValues indicate the means \pm SD (n=5).



Fig. 4-34. Effect of rootstocks (Korean native bottle gourd) on growth and flowering of grafted watermelon seedling after transplanting in the different soil EC.

A: Non-grafted watermelon seedlings (2 main leaves expanded) were transplanted on different soil EC conditions, and photographed at 20 days after transplanting. Note the withering of leaves and browning of roots in high EC condition, B: Seonsan (salt-sensitive), C: Hapcheon (salt-tolerant).

Arrow: female flowers .

이상의 실험결과 한국재래종 박 품종 ‘합천’은 상당한 내염성이 있는 것으로 확인되었고 이 품종은 역병(*Phytophthora drechsleri*)에도 매우 강한 것으로 나타나 수박 대목으로서의 가치가 인정되어 실용화를 위하여 앞으로 더욱 정밀한 실험이 요구되었다.

(4) 초 록

내염성 박대목을 선발하기 위하여 우리나라에서 수집한 재래종 박 27개 품종과 도입종 38개 품종을 공시하여 복합비료(N:P:K=21:17:17)로 EC(Electrical conductivity)를 조절한 토양에서 출현율과 유묘 및 접목묘의 생장을 조사하였다. 재래종 박 품종중 ‘합천’과 ‘청도’는 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 75%이상의 출현율을 보였으나 도입종은 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 거의 출현하지 않았다. 육묘용 상토에서 성장시킨 묘(본엽 2매 전개)를 토양 EC별($1.0\sim 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)로 이식하였을 때 ‘합천’은 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 약간의 생장억제만 보였다. 이 ‘합천’을 대목으로 하여 수박을 접목한 묘를 재배한 결과 높은 내염성이 유지되었다. ‘합천’은 역병균(*Phytophthora drechsleri*)에 대한 저항성도 매우 높았다. 이 실험결과 한국 재래종 박으로부터 내병성을 가진 내염성 대목 선발의 가능성을 보였다.

4. 토양종류별 엽근채류(배추, 시금치, 부추)의 영양스트레스 특성, 발생시기, 및 장애의 경감대책

- Characteristics, Occuring Time and Reducing Counterplan of Nutrient Stress in Leafy and Root Vegetable Crops(Chinese Cabbage, Spinach, Chinese Chive) -

1) 葉, 根 菜蔬作物의 種子出現率, 幼苗生長 및 生理障害에 미치는 土壤 EC의 影響과 洗滌 및 有機物 施用에 의한 EC 低下效果

(1) 서 언

최근 배추, 양배추 및 상추는 육묘재배로 이행되고 있지만 대부분의 엽, 근채류는 직파재배가 관행이다. 육묘재배도 아주 어린 묘를 이식하기 때문에 토양의 이화학적 특성에 매우 민감하게 반응한다. 그리고 노지재배를 위주로 하던 이들 채소작물도 시설재배면적이 현저히 늘어나고 있고 상추와 시금치와 같은 엽채류는 오히려 시설재배

면적이 더욱 많은 실정이다(MAF, 2003).

채소작물의 재배는 병해충의 방제와 비배관리가 가장 중요한 요인인데 엽, 근채류의 경우 속성재배를 위하여 화학비료의 사용이 많다. 이것은 필연적으로 토양내 염류의 집적을 초래하고 이것이 생리적 장애의 유발원인이 될 것으로 예상된다. 그런데 많은 보고들이 시설토양내의 염류집적 즉 EC(electrical conductivity)의 증가와 이로 인한 작물의 생장 및 수량감소를 지적하였으나 엽, 근채류에 대한 보고는 거의 없다(Choi, 1997; Rhee 등, 1992). 엽, 근채류는 비교적 염도에 대하여 약한 것으로 알려져 있고(Läuchli와 Lüttge, 2002; McKersie와 Leshem, 1994), 염농도가 높은 下水를 관개한 실험에서 엽채류 가운데 근대와 치코리는 비교적 강한 편이나 시금치, 케일, 파초이 등은 매우 약한 것으로 조사되었다(Shannon 등, 2000). 특히 양과의 경우 한계(threshold) EC가 $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 보리의 $8.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에 비하면 매우 민감하다는 것을 알 수 있다(Läuchli와 Lüttge, 2002). 이와 같이 엽, 근채류는 이미 토양에 집적된 염류에 의하여 먼저 영향을 받고, 염농도가 높은 관계수에 의하여도 채소작물의 종류에 따라 상당한 장애를 받는 것으로 알려져 있다(Tanji, 1990). 이들 모든 실험은 NaCl에 대한 반응 즉, 鹽分度(salinity)를 기준으로 한 실험으로 여러 가지 염류가 집적된 토양 EC와는 작물에 대한 반응이 다를 것으로 생각된다(Yeo, 1983). 그래서 본 실험에서는 아직 기초자료가 부족한 엽, 근채류 채소작물에 대하여 토양 EC에 대한 반응을 조사하기 위하여 우리나라에서 재배되는 주요 엽채류 3종류, 파속 작물 2종류 및 근채류 2종류에 대하여 각 2품종씩을 공시하여 EC를 인위적으로 조정된 토양을 이용하여 종자의 출현율, 묘의 생장 및 생리장애 등을 조사하였다. 이와함께 물에 의한 토양세척, 유기물 시용에 의한 토양 EC의 변화 및 채소작물의 생장반응도 함께 검토하였다.

(2) 재료 및 방법

공시품종 : 본 실험에 이용한 작물과 품종은 Table 4-28과 같다.

토양 EC 조정 : 처너지의 사질양토($\text{EC } 0.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)를 1mm체로 쳐서 음건한 후 원예용 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 분말로 만들어 토양에 첨가하여 EC가 $0.5\sim 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이 되도록 조정하였다. 이때 흙과 물을 1:5(w/v)로 하였고 EC meter(CM-53, Takemura)로 측정하였다. EC 변화에 따른 pH의 변화는 없었다(Chung 등, 2001).

Table 4-28. List of vegetable crops used for experiment.

| Vegetable | Scientific name | Cultivar(Mark) |
|-----------|--|---|
| Leafy | <i>Brassica campestris</i> L. ssp. <i>pekinensis</i> (Chinese cabbage) | Gorangjiyeoreuim(Bc-A), Garakjunggari (Bc-B) |
| | <i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> (Cabbage) | Ujin-No.1 (Bo-A), Daeworl (Bo-B) |
| | <i>Spibacea oleracea</i> L. (Spinach) | Ddangddali (So-A), Paruk (So-B) |
| | <i>Lactuca sativa</i> L. (Lettuce) | Ddukseum (Ls-A), Jeokchima (Ls-B) |
| Bulb | <i>Allium cepa</i> L. (Onion) | Cheonjuguhyeong (Ac-A), Cheonjudaegu (Ac-B) |
| | <i>Allium fistulosum</i> L. (Welsh onion) | Seokchangoedae (Af-A), Geumjangoedae (Af-B) |
| | <i>Allium tuberosum</i> Rottl. (Chinese chive) | Greenbelt (At-A), Heungnonggreen (At-B) |
| Root | <i>Raphanus sativus</i> L. (Radish) | Gwandongyeoreuim (Rs-A), Sokseongdae hyeongbom (Rs-B) |
| | <i>Daucus carota</i> L. (Carrot) | Jochunochon (Dc-A), Yeoreuimobok (Dc-B) |

토양 EC 조정 : 처너지의 사질양토($EC\ 0.3dS \cdot m^{-1}$)를 1mm체로 쳐서 음건한 후 원예용 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 분말로 만들어 토양에 첨가하여 EC가 $0.5 \sim 3.0dS \cdot m^{-1}$ 이 되도록 조정하였다. 이때 흙과 물을 1:5(w/v)로 하였고 EC meter(CM-53, Takemura)로 측정하였다. EC 변화에 따른 pH의 변화는 없었다(Chung 등, 2001).

출현율 및 묘의 생장 : 시판 익년산 종자를 구입하여 최아시키지 않은 상태로 EC 농도가 다른 흙을 넣은 72공 플러그 트레이에 한립씩 파종한 후 실험이 끝날때까지 같은 EC농도의 물을 주어 EC의 변화가 없도록 하였다. 한 품종당 100립씩을 한 반복으로 하여 3반복으로 하였고 출현율은 지상부로 배축이 완전히 올라오고 자엽이 전개가 정상적으로 된 것을 백분율로 표시하였는데 파종 후 10일까지 조사하였다. 이 실험과는 별도로 직경 12cm의 플라스틱 포트에 파종하여 40일 후에 식물체의 생장과 생리적 장애 발생 및 특징을 조사하였다. 생장은 생체중, 엽수 및 초장을 측정하였다.

세척 및 유기물 첨가에 따른 EC변화 및 종자 출현율: EC $3.0dS \cdot m^{-1}$ 의 토양에 대하여 증류수로 토양무게의 1/2량과 동량(v/w)을 첨가하여 용출시킨 후 토양 EC를 측정하고 그 토양에 종자를 파종하여 출현율을 조사하였다. 한편 같은 토양에 완숙한 퇴비를 분말로 만들어 토양 단위 중량에 대하여 2%씩 범위를 달리하며 0~10%(w/w)

까지 첨가한 후 시간별 즉 10, 20 및 40일에 토양 EC의 변화와 유기물 첨가 후 20일이 된 토양에 파종한 종자의 출현율을 조사하였다. 본 실험에서 사용한 퇴비는 소외양간에서 나온 구비(廢肥)로 1년간 비를 맞지 않게하여 완숙시킨 것을 사용하였다.

(3) 결과 및 고찰

출현율 : 각 작물마다 2품종씩 공시하여 토양 EC별 종자의 출현율을 조사하였다 (Fig. 4-35). 엽채류중 배추는 두 품종 다같이 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 거의 100% 출현하였으나 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서부터 현저히 감소하여 ‘고냉지여름’(Bc-A)은 60%, ‘가락중갈이숙음’(Bc-B)은 30%이하로 급감하였다. 한편 양배추는 ‘우진1호’(Bo-A)는 배추와 같이 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 100%가까이 출현하였으나 ‘대월’(Bo-B)은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 이미 60%이하의 출현율을 보여 품종간 차이가 많았으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 40~50%로 출현율이 비슷하였다. 그런데 시금치 ‘땅딸이’(So-A)는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 는 90% 이상의 출현율을 보였으나 EC가 $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상으로 높아질수록 약간씩 출현율이 감소하였고 ‘파루크’(So-B)는 EC $1.0\sim 2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 60%전후의 출현율을 보여 ‘땅딸이’보다는 처음부터 출현율이 낮았는데 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 ‘땅딸이’는 70%가 출현된 반면 ‘파루크’는 거의 출현하지 않았다. 상추는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 보다 EC가 증가할수록 출현율이 감소하였고 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 부터는 아주 낮은 출현율을 보였고 품종간 차이가 거의 없었다. 파속 채소의 출현율을 보면 양파는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 70~80%의 출현율을 보였으나 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 는 거의 출현되지 않았다. 이러한 경향은 과에서도 같았다. 그런데 부추는 ‘홍농그린’(At-B)은 EC $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 거의 100%, EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 70%이상의 출현율을 보였으나 ‘그린벨트’(At-A)는 채종연도가 ‘홍농그린’과 같은 것을 확인하였음에도 불구하고 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 34%의 출현율을 보여 종자의 품질에 문제가 있는 것인지 본래 염도에 약한지는 알 수 없다. 그러나 두 품종 다같이 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 전혀 출현하지 않았다. 파속 식물은 엽채류에 비하여 토양 EC에 더욱 민감하다는 것을 알 수 있었다. 근채류인 무와 당근은 매우 차이가 심하였다. 무는 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 ‘관동여름’(Rs-A)은 100%, ‘속성대형봄’(Rs-B)은 90%이상의 출현율을 보였고, EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 60%이상의 출현을 보여 아주 높은 내염성을 보였다. 그러나 당근은 두 품종 다같이 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 60~70%가 출현되었으나 EC $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 10%밖에 출현되지 않았다. 이 결과를 보면 같은 근채류라도 당근은 무보다 토양 EC에 더욱 민감하다는 것을 알 수 있었다.

공시한 모든 채소작물에서 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상이 되면 거의 출현되지 않았는데 실제

로 흠을 파보면 발아는 하였으나 지상부로는 올라오지 못하였다. 그 원인을 알아보기 위하여 발아종이에 배추와 무 종자를 파종하여 같은 농도의 EC로 조절된 물을 공급 하면서 발아시켜보았다. 그 결과 Fig. 3-36에서 볼 수 있듯이 무, 배추 다같이 배축이 완전 낚시바늘모양 즉 hook형태(화살표)로 되어있으나 EC 4.0dS·m⁻¹에서는 이것이 7자 또는 완전 퍼져있는 상태였다. 높은 EC에서 발아후 출현되지 않은 종자는 흠을 파보면 모두 이런 형태를 하고 있었다. 이것은 높은 EC(3.0dS·m⁻¹)는 세포의 분열과 신장을 현저히 억제시키는데 배축이 지상부로 올라오지 못하는 것은 배축세포의 신장력억제에 기인하는 것으로 보인다(Volkmar 등, 1998)

식물체의 성장 : 토양 EC별로 파종하여 같은 EC농도를 유지하면서 40일간 성장시킨 결과 각 작물의 품종별 지상부 및 지하부의 생장은 Table 2와 같다. 배추의 생체중을 보면 ‘고랭지 여름’은 EC 1.5dS·m⁻¹에서 17.2g, ‘가락중같이 쪽음’은 EC 2.0dS·m⁻¹에서 14.17g으로 가장 무거웠고 엽수도 많았으나 초장은 EC 2.0dS·m⁻¹에서 모두 길었다. 양배추는 ‘우진1호’, ‘대월’ 두 품종 다같이 EC 1.5dS·m⁻¹에서 생체중이 5.8g과 6.6g으로 가장 무거웠고 EC 2.0dS·m⁻¹에서는 1.5g과 1.0g으로 현저한 중량감소를 보였다. 상추는 ‘뚝섬적측면’과 ‘적치마’ 다같이 EC 1.0dS·m⁻¹에서는 5.1g과 8.3g인 반면에 EC 1.5dS·m⁻¹에서는 0.4g과 0.5g으로 거의 자라지 못하였고 엽수나 근장도 같은 경향을 보였다. 시금치도 상추와 같이 EC 1.0dS·m⁻¹에서 ‘땅딸이’(3.2g)와 ‘파루크’(3.2g) 다같이 좋은 성장을 보였으나 EC 1.5dS·m⁻¹에서는 생체중이 0.4g과 0.8g으로 심한 성장 억제를 보였다. 근채류인 무와 당근은 품종에 관계없이 EC 1.5dS·m⁻¹에서 가장 생체중은 무거웠고 근장도 길었다. 그런데 무는 EC가 증가할수록 생체중이나 근장의 감소가 뚜렷하였으나 어느 정도 생장은 일어나는데 비하여 당근은 EC 2.0dS·m⁻¹부터 거의 자라지 못하였다. 파속 작물인 양파와 파는 EC 1.0dS·m⁻¹에서 생장이 가장 좋았고 EC 2.0dS·m⁻¹이상에서는 거의 성장하지 못하고 고사하였다. 본 실험에서 부추는 품종간 출현율과 생장의 차이가 심하여 성장조사에서 제외하였다.

토양 EC에 대한 성장반응은 작물에 따라 차이가 있는데 같은 엽채류에서도 배추와 양배추보다 상추와 시금치는 더욱 민감하게 반응하였다.

작물간 EC에 대한 내성의 차이는 Shannon 등(2000)이 9가지 엽채류에 대하여 염농도가 다른 관계수를 공급한 실험에서도 근대와 치코리 등이 강하다는 것을 보고한 바 있다.

본 실험에서 공시한 작물중 파속식물과 시금치가 가장 토양 EC에 대하여 민감하게 반응하였고 모든 채소작물이 EC 2.5dS·m⁻¹이상에서는 생장의 현저한 억제를 보였고

EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 고사하였다. 토양의 염농도증가에 의한 가장 직접적인 영향은 뿌리의 생장억제인데(Niu 등, 1995; Newmann 등, 1994) 처음에는 세포의 삼투 potential 이 낮아지는데 따른 생장지연(Baligar 등, 2002; Läuchli와 Lüttge, 2002; Volkmar 등, 1998)이 일어나나 더욱 높은 농도가 되면 뿌리는 갈변하고 고사한다.

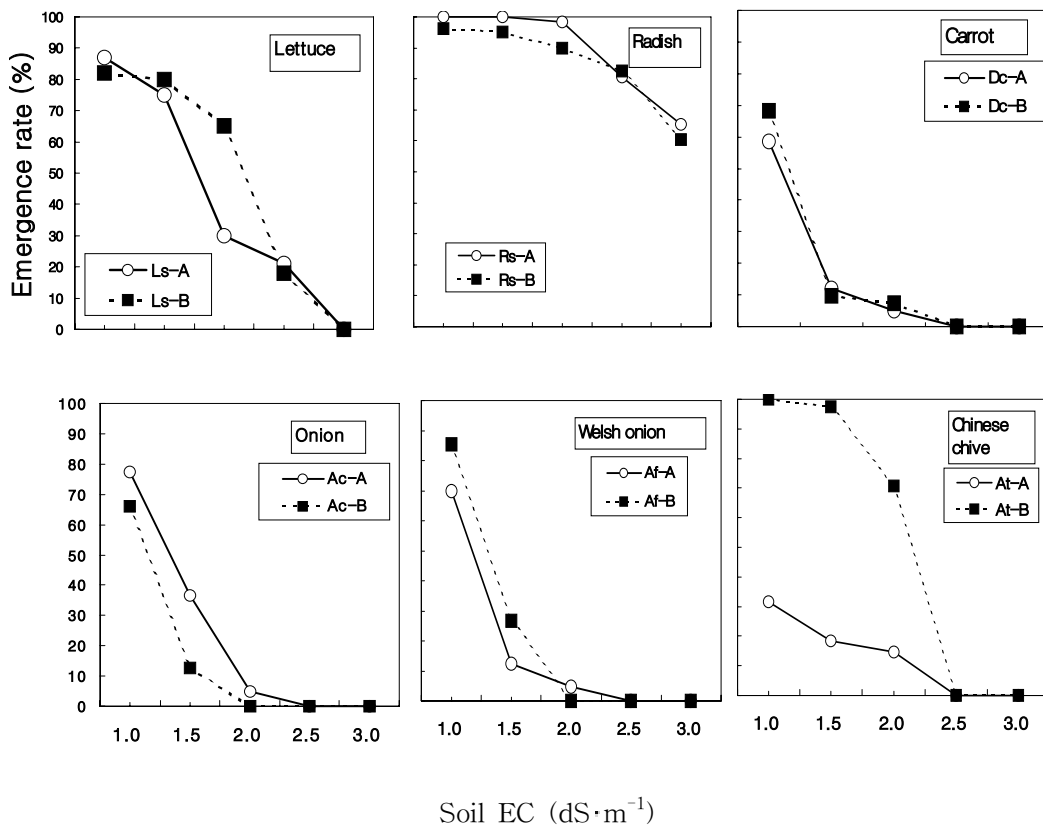


Fig. 4-35. Effect of soil EC on emergence rate of various vegetable seeds.^z

^zCultivar : See Table 1.

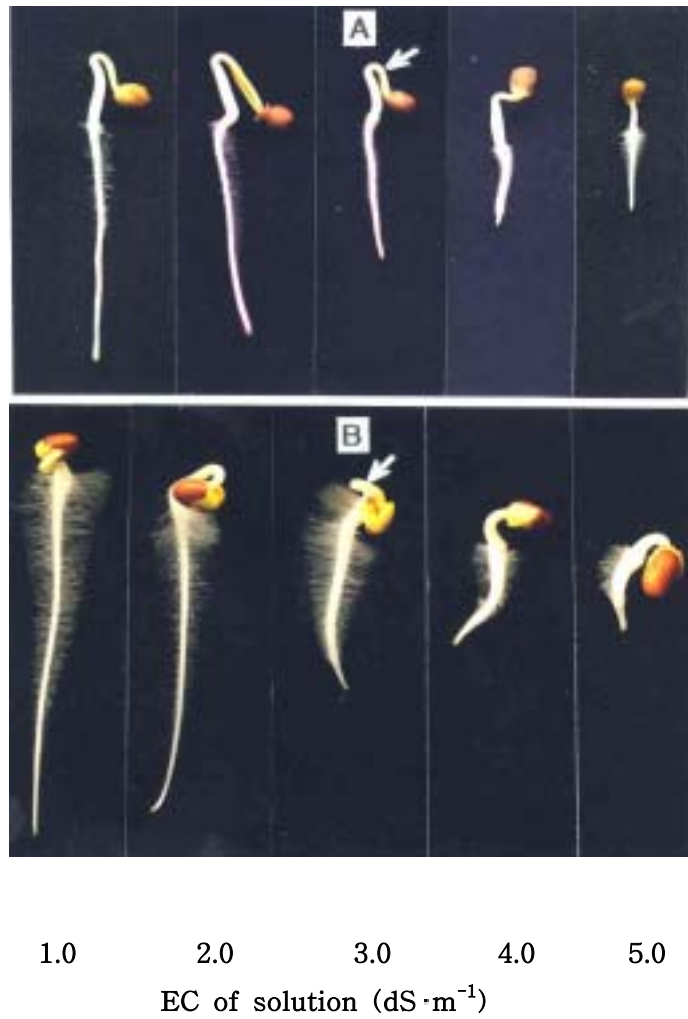


Fig. 4-36. Radicle growth and root hair formation of chinese cabbage and radish seeds at different EC conditions.^z

^zA: Chinese cabbage, B: Radish, Hypocotyl hook (Arrow).

Table 4-29가로표

Table 4-29연결

Fig. 4-37을 보면 EC에 따른 근계의 발달과 지상부생장이 일치하는 것을 볼 수 있고 작물에 따라 최대생장의 EC농도가 다를 수 있음을 같은 염채류에서도 볼 수 있다. 즉 배추는 $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 상추는 $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었다.

Fig. 4-38는 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서 나타나는 생리적 장애현상인데 배추는 잎이 농록색으로 되고 잎 가장자리의 결각이 매우 거칠어지고 엽장이 짧아졌고, 양배추는 생장이 위축되면서 잎 가장자리가 황색으로 변하고 오그라 들어갔다. 상추는 식물체가 황변고사하였고 시금치는 근단세포가 갈변하고 잎끝이 마르고 식물체는 황변후 고사하였다. 과채류에서는 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지는 잎이 농록으로 되다가 잎끝이 갈변고사하였는데(Chung 등, 2001, Chung과 Choi, 2002) 엽근채류는 배추를 제외한 다른 작물은 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서부터 황변이 일어났다. Fig. 4-39는 토양 EC에 따른 무의 근계 발달의 차이를 본 것인데 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 근비대가 정상적이었으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 세근의 발달만 왕성하였고 배축의 비대는 일어나지 않았고 표피가 갈라지는 현상을 보였다.



Soil EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)

Fig. 4-37. Effect of soil EC on growth of leafy vegetable plants (40 days after sowing). Photographs showing difference of optimum EC level between chinese cabbage and leaf lettuce

Upper : Chinese cabbage, Lower : Lettuc

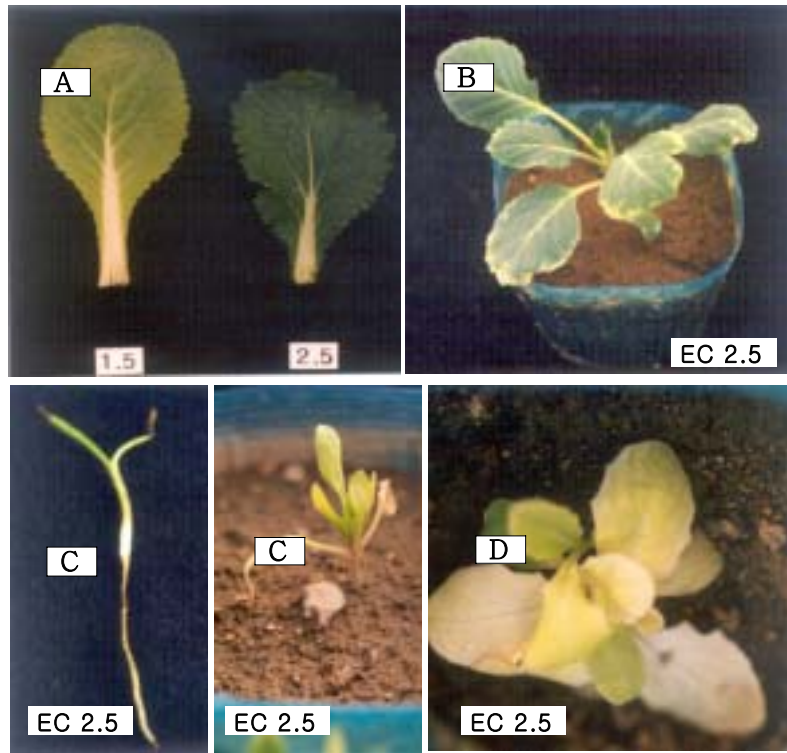


Fig. 4-38. Physiological disorders of leafy vegetables crops grown in high soil EC($2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$).

A: Chinese cabbage, B: Cabbage, C: Spinach, D: Lettuce



Fig. 4-39. Effect of soil EC on development of root system of radish (*Raphanus sativus*) plant. Cracking of epidermal layer (arrow).

세척 및 유기물첨가에 의한 EC변화 및 성장 : Fig. 4-50은 EC가 1.0, 2.0 및 $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양에 토양 중량의 1/2 및 같은 량의 증류수로 한번 세척한 후의 토양 EC를 측정된 것이다. 세척한 물의 량이 토양의 반량일 때 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었던 것도 EC가 거의 $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 가까이로 낮아졌고 동량의 물로 세척한 것은 모두 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하로 내려갔다. 이것은 사질양토이고 원통형의 유리관에 넣어 물을 흘러내리는 식으로 세척한 것인데 세척효과가 매우 높다는 것을 알 수 있었다.

당초 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양을 물로 세척하여 음건한 후 여기에 과종하여 종자의 출현율(Fig. 4-51)을 조사하였다. EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양은 배추는 10% 미만, 무는 62%, 양배추는 전혀 출현되지 않았으나 1/2량의 물로 세척한 토양에서는 배추 52%, 무 83%의 출현율을 보였고 이때 EC가 $1.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도(Fig. 6)였으나 양배추는 역시 출현하지 못하였다. 토양과 같은 량의 물로 세척한 토양은 배추 80%, 무 97%의 출현율을 보여 세척의 효과가 매우 큼을 알 수 있었는데 양배추는 겨우 15%의 출현율을 보였다. 이것은 Fig. 1에서 양배추는 EC $1.0\sim 1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 품종에 관계없이 거의 100% 출현하였는데 본 실험에서 세척 후 EC가 $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하로 내려갔음에도 불구하고 양배추는 출현율이 크게 증가하지 않았다. 이것은 토양의 염이온은 토양입자에 전기적으로 붙어 있는 것, 공극사이의 토양수에 녹아 있는 것과 유기물 속에 흡착되어 존재하는데(Larcher, 1995) 이번 실험에서 한번 세척한 후에 EC가 $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하로 내려가도 아직 상당량의 염이온이 토양입자에 흡착되어 있기 때문에 땅속에서 발아한 종자의 유근과 근모가 이 토양표면에 접촉되면서 염에 약한 양배추의 뿌리가 장해를 받아 자라지 못하였기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 4-52는 EC가 다른 토양에 퇴비(구비)첨가에 따른 EC의 변화를 조사한 것이다. EC $2.0\sim 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양에 토양 중량당 2~10%의 유기물을 넣었을 때 시용량이 증가할수록 EC가 증가하여 10일 후에 모든 토양의 EC가 $5.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 높아졌다. 이 EC 상승은 첨가후 20일 째는 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이 EC $7.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 증가하였으나 40일 후에는 EC $4.0\sim 6.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도까지 다소 안정되었다. 퇴비의 첨가에 의한 EC의 상승은 본 실험에서 사용한 퇴비는 구비(廐肥)를 1년간 완숙시킨 것으로 그 안에 많은 비료성분이 들어 있었기 때문인 것으로 보인다. 이 토양에 배추와 양배추를 과종하여 재배한 결과(Table 4-30) EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 토양의 배추의 개체중량이 4.6g이던 것이 4%첨가구는 9.4g으로 높은 EC에도 불구하고 배 가까이 성장량이 증가하였고 양배추는 2.2g에서 5.6g으로 2.5배이상의 중량증가율을 보였으나 그 이상 시용하여도 성장량

의 증가는 거의 없었다. Fig. 4-53를 보면 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 잎이 전부 고사하였으나 퇴비 2%를 첨가한 것은 하엽 가장자리가 마르는 증상이 약간 보였으나 4% 첨가구는 잎의 색과 모양이 정상적인 것을 볼 수 있다. 엽, 근채류의 생장에 대한 토양 EC의 영향을 실험한 자료가 매우 부족한 실정에서 본 실험은 한가지 토양(사질양토)에서 복합비료만 첨가한 상태의 한정된 조건에서 조사하였으나 공시채소작물의 한계 토양 EC를 짐작할 수 있었고 작물의 종류와 품종에 따라 EC에 대한 반응이 다르며 물에 의한 세척은 염농도감소에 매우 효과적임을 확인하였다. 이미 토양의 염제거는 물에 의한 세척이 효과적이며 토성(土性)이나 토양의 깊이 등에 차이가 있음이 보고되어 있고(Hoffman, 1980; Rhoades, 1972), 세척량에 대한 많은 공식도 유도되어 있다(Läuchli와 Lüttge, 2002). 따라서 앞으로 토양 EC를 낮추기 위해서는 담수방법을 권장하여야 할 것 같다. 퇴비의 첨가는 오히려 EC를 상승시킴에도 불구하고 작물생장을 증가시켜 유기물은 염에 대하여 높은 완충력이 있음을 알 수 있다.

토양 EC가 작물의 수량을 지배하는 요인으로 $Y_r=100-b(EC_e-a)$ 의 공식(Tanji, 1990)을 발표하였는데 즉 상대수량(Y_r)은 최대수량(100)에서 EC증가에 의한 수량감소 기울기(b)를 뺀 것인데 이 기울기는 근권(根圈)의 평균 염도(EC_e)에서 EC_e 의 역치(threshold)인 a 를 제한 값을 곱한 것이라고 하였다. 이것은 근권의 염류농도가 최대수량(100)에 가깝게 될수록 상대수량이 증가 할수 있다는 것이다. 그러나 본 실험에서 퇴비시용의 경우 이 공식에는 맞지 않았다. 그러므로 토양 EC에 대한 작물생장의 반응은 각종 환경조건 즉 염이온의 종류, 토성, 토양 및 공기의 습도, 온도, 유기물종류와 함량 등에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. 따라서 앞으로 주요 엽, 근채류에 대해서는 본 실험의 결과를 토대로 하여 각종 조건이 부여된 상태에서 나타나는 반응을 더욱 상세히 조사할 필요성이 있다.

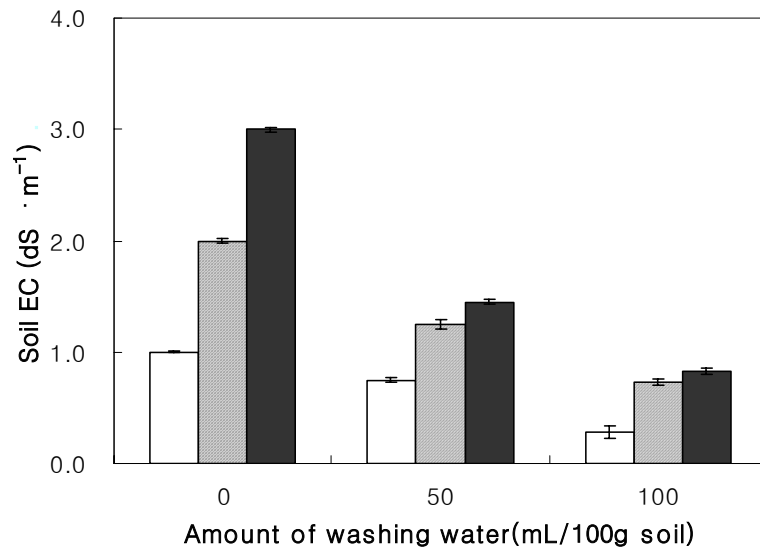


Fig. 4-40. Effect of soil washing with distilled water on soil E change.^z

^zValues indicate the means \pm SD (n=3).

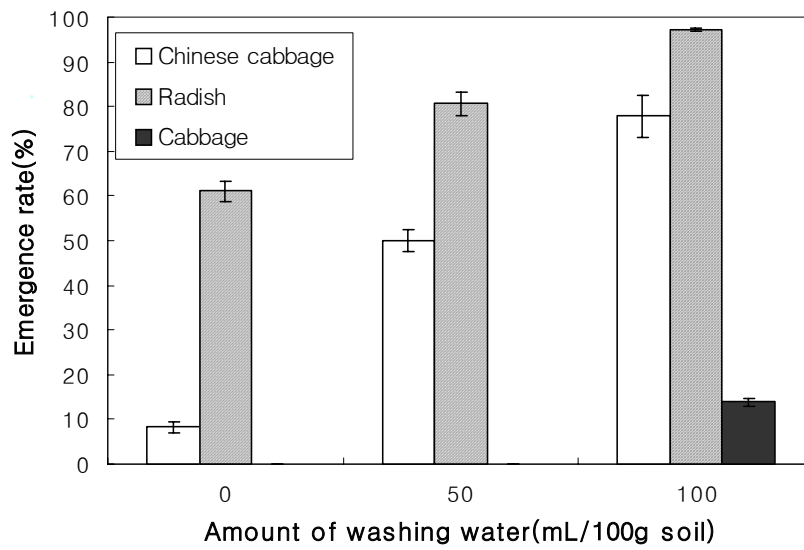


Fig. 4-41. Effect of soil washing on emergence rate of some Cruciferae vegetable seeds in high EC soils ($3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$).^z

^zValues indicate the means \pm SD (10 days after seeding). n=3

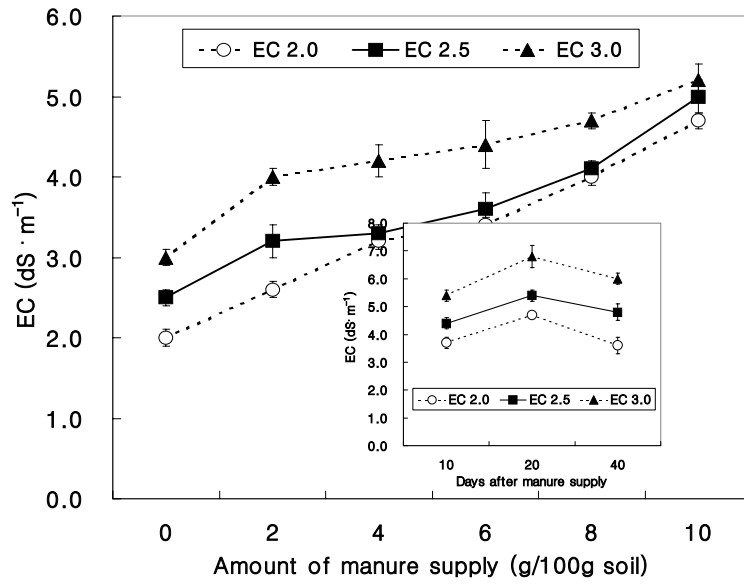


Fig. 4-42. Effect of completely decomposed animal manure supply on changes of soil EC.

Table 4-30. Effect of manure supply on growth of chinese cabbage plants in high soil EC ($3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$).^z

| Crops ^y (cv.) | Manure supply (%) | Fresh weight | | No. of leaf (ea) | Root length (cm) | No. of injured leaf (ea) |
|------------------------------|-------------------------|--------------|-------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| | | Top (g) | Root (g) | | | |
| Chinese cabbage (Bc-A) | 0 | 4.6±1.0 | 0.4±0.06 | 8.3±0.5 | 0.40±0.06 | 7.3±0.5 |
| | 2 | 7.1±0.2 | 0.7±0.03 | 9.0±0.2 | 0.68±0.03 | 2.7±0.2 |
| | 4 | 9.4±0.7 | 0.8±0.02 | 9.7±0.2 | 0.75±0.02 | 0.7±0.5 |
| | 6 | 10.4±0.7 | 0.7±0.07 | 10.3±0.5 | 0.71±0.07 | 0 |
| | 8 | 10.1±0.3 | 0.7±0.09 | 10.7±0.7 | 0.71±0.09 | 0 |
| | 10 | 11.1±0.5 | 0.8±0.02 | 10.7±0.5 | 0.75±0.02 | 0 |
| Cabbage (Bo-A) | 0 | 2.2±0.5 | 0.4±0.12 | 7.3±0.2 | 0.37±0.12 | 5.3±0.5 |
| | 2 | 5.1±0.1 | 1.2±0.21 | 7.7±0.2 | 1.17±0.21 | 0 |
| | 4 | 5.6±0.1 | 1.7±0.21 | 7.7±0.5 | 1.67±0.21 | 0 |
| | 6 | 5.6±0.3 | 1.9±0.09 | 8.3±0.5 | 1.93±0.09 | 0 |
| | 8 | 5.5±0.3 | 2.1±0.29 | 8.7±0.3 | 2.07±0.29 | 0 |
| | 10 | 5.7±0.1 | 2.5±0.25 | 8.7±0.7 | 2.53±0.25 | 0 |

^zMean±SD, n=10 plants.

^ySee Table 1.



Fig. 4-43. Effect of manure supply on disorder of chinese cabbage leaves in high soil EC ($3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$).^{z,y}

^z10 days after transplanting.

^yAmount of manure addition: A; 0, B: 2%, C; 4%.

(4) 초록

주요 엽, 경제류 9작물 18품종을 이용하여 토양 EC에 따른 종자의 출현율, 유묘생장, 및 생리장애에 대하여 조사하였다. 배추, 상추, 시금치 종자는 토양 EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서부터 출현율이 현저히 감소하였고, *Allium*속(양파, 파, 부추)은 EC $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 30% 미만의 출현율을 보였는데 부추는 품종간 차이가 많았다. 무는 높은 내염성을 보였으나 당근은 그렇지 않았다. 배추, 양배추는 EC $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서, 상추와 시금치는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 양호한 생장을 보였다. EC $2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서부터 잎의 성장억제, 잎끝마름, 황화, 및 근단고사 등 생리적 장애가 나타났다. 높은 EC를 극복하는데는 물을 이용한 토양세척이 가장 효과적이었고 유기물(구비)첨가는 EC의 상승을 초래했으나 작물생장은 촉진되었다.

2) 높은 土壤 EC에서 자란 배추잎과 무 幼根組織의 微細構造 變化

(1) 서언

토양의 염도(salinity)에 대한 적응력은 식물의 종류에 따라 차이가 많다. 일반 재배작물의 한계 염농도는 $4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이하인데 비하여 내염성 식물인 mangrove는 바닷물과 같은 염도($44\sim 55\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)에서도 성장한다(Larcher, 1995; McKersie와 Leshem, 1994). 식물이 높은 염농도를 견디는 방법은 염의 배출, 제거, 희석, 액포내에 저장, 저항성향상 등이 있는데 이들의 방법은 식물의 유전적 또는 생태적 조건에 따라 다르다(Flowers 등, 1977). 이런 내염성 식물은 막의 삼투압조절력과 같은 생리적 또는 잎표면에 염 저장용 水泡形 모용발생과 같은 구조적으로 높은 염농도조건에서 생존할 수 있도록 생태화되어 있다(Flowers 등, 1977; Läuchli와 Lüttge, 2002; Schmidt 등, 1993).

그런데 일반 식물도 염농도가 높아지면 그 환경을 이겨내기 위하여 여러 가지 변화가 일어나는데 담배(Rhodes와 Handa, 1989)에 염 stress를 주면 평상시보다 80배나 많은 proline을 생성시키므로써 세포의 삼투농도를 높여 저항하도록 하는 등의 생리적 및 조직학적 변화가 일어나고 어느 농도이상이 되면 세포내 미세구조의 형태와 기능에 손상을 입는다는 것은 이미 많은 보고서에서 밝혀져 있다(Delfine 등, 1998; Koyro, 2002; Smith 등, 1982).

Chung과 Choi(2001)는 염농도에 약한 작물인 오이(Chung 등, 2001; Sonnevelt와 De Kreij, 1999)에 대하여 토양에 EC를 높였을 때 잎의 두께가 얇아지고, 잎표면의 모용수 증가, 액포의 감소, 성장점 분화의 이상초래 등 여러 가지 조직학적 변화가 있

었다고 하였다.

그래서 본 실험에서는 토양 EC가 채소작물에 미치는 생리적 기작의 연구를 위한 기초자료를 얻기 위하여 염농도에 민감하고 직파재배를 하므로써 발아에서부터 토양 염농도의 영향을 받는 배추와 무에 대하여 토양 EC차이가 조직의 발달 및 세포의 미세구조의 변화에 어떤 영향을 미치는가를 관찰하였다.

(3) 재료 및 방법

토양 EC 조정 및 육묘 : EC(Electrical conductivity)가 $0.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도인 사질양토에 분말로 만든 원예용 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 첨가하면서 토양 EC를 $0.5\sim 3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 만들어서(Chung 등, 2001) 배추(품종: 가락중같이배추)와 무(품종: 속성대형봄무)를 파종하여 20일 후에 무의 유근생장과 배추 잎 세포의 미세구조 변화에 대하여 전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

전자현미경 관찰 : 배추는 4번째 본엽, 무는 파종한 후 20일 된 뿌리를 시료로 이용하였다. 시료를 증류수로 세척한 다음 OsO_4 로 고정하여 이온 코팅한 후 전계방사형 주사전자현미경(FE-SEM, Hitachi S-4100)으로 촬영하였고, 조직의 세포관찰은 시료를 2.5% glutaraldehyde로 고정한 후 EtOH의 탈수과정을 거쳐 uranyl acetate와 lead citrate로 염색하여 투과 전자현미경(TEM, Hitachi H-7600)으로 관찰하였다.

(4) 결과 및 고찰

무의 幼根 : 무는 다른 엽근류와 달리 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 60%이상의 출현율을 보였으나 뿌리의 비대는 거의 일어나지 않았고 세근만 왕성하게 발달하였으며 뿌리의 껍질이 갈라지는 현상을 보였다(Chung, 2003). 그래서 이 무 종자를 EC1.0과 $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 토양에서 발아시킨 후 유근생장을 관찰한 것이 Fig. 4-44이다.

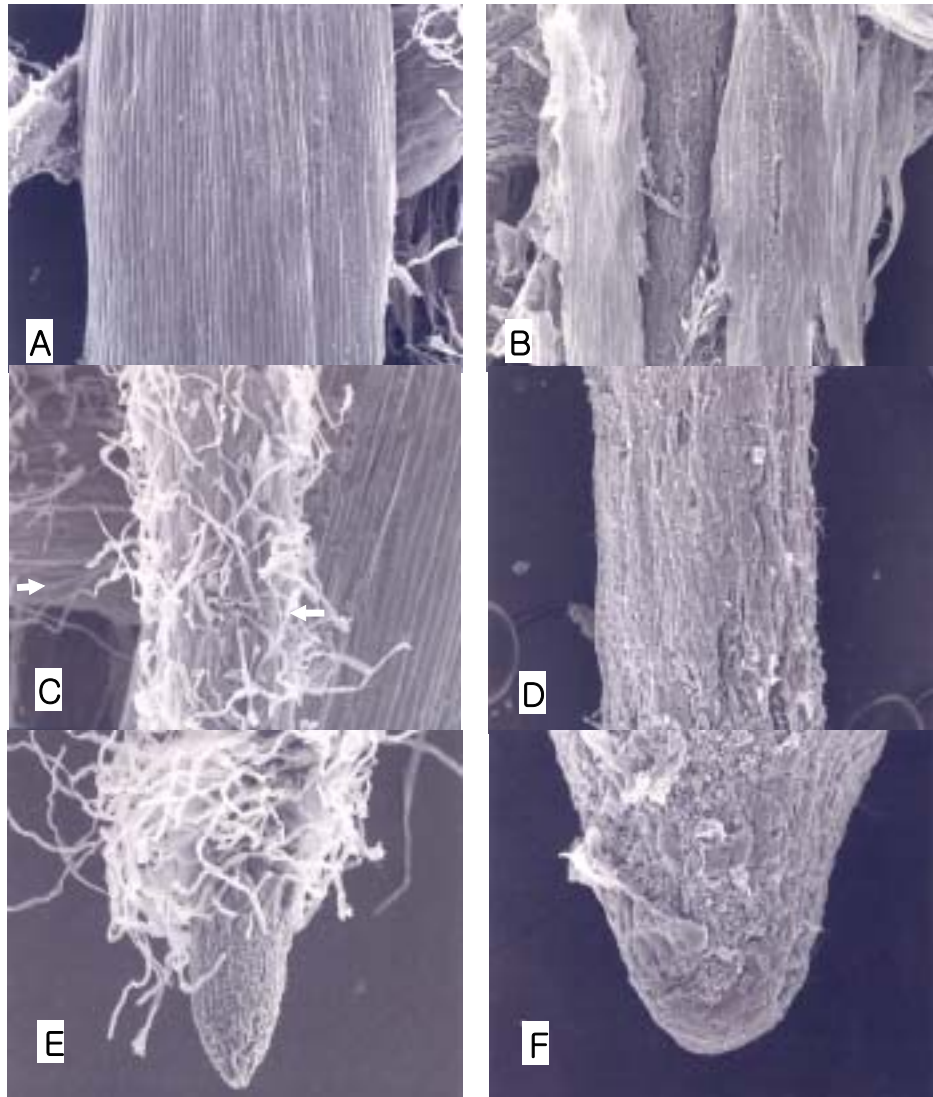


Fig. 4-44. Scanning electronic microscopes (SEM) showing the radicle growth of radish (*Raphanus sativus* L.) grown at different soil EC. Left (A, C, E) : EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, Right (B, D, F) : EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$
 A and B : meristematic zone, C and D : lateral root (arrow; root hair),
 E and F : root tip tissue.

유근의 근관 상부의 분열조직에 해당하는 중간부(A)를 보면 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 표피조직이 매끈하나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 표피조직(B)이 갈라지고 찢어져서 내부 중심부가 드러나 보였다. 이 파열된 조직은 나중에 성숙해도 표피가 갈라지는 흠으로 남았다. 그리고 측근(C)은 낮은 EC($1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)에서는 가늘고 많은 근모가 발달하였으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (D)에서 자란 측근은 뿌리털이 거의 없고 표피가 거칠고 약간 균열이 생긴 것을 볼 수 있었다. 한편 근단 조직의 발달을 보면 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (E)에서 자란 것은 근관이 뾰족하고 주름이 잡혀있으며 위쪽에는 근모가 잘 발달되어 있었으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (F)은 근관이 둥글며 팽대하였고 표피가 상처를 입은 것처럼 찢어져 있었으며 이 뿌리는 더 신장하지 못하고 나중에는 갈변하였다.

염농도에 대하여 가장 직접적이고 민감하게 반응하는 부위가 뿌리이고 생장이 억제되는 직접적인 원인이 뿌리의 생장억제 때문인데(Baligar 등, 1998; Volkmar 등, 1990; Zidan 등, 1990) 특히 근단세포내에 큰 액포가 형성되어 세포신장을 억제시키기 때문이라고 하였다(Kramer, 1983). 토양 EC가 증가함에 따라 지상부의 하엽부터 마르기 시작하는데 이것은 근단조직과 측근이 갈변하고 생장이 저지되기 때문이라고 하였다(Chung 등, 2001; Chung 등, 2002).

배추의 잎 표면에 돌아난 모용의 수를 보면(Table 4-31) EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 단위면적당 2개인 반면 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 6개로 3배 가까이 많았는데 이런 현상은 오이(Chung 과 Choi, 2001)에서도 관찰되었고 모용의 형태도 높은 EC에서 자란 배추의 것은 좀 크고 통통하였다(Fig. 4-45). 모용은 일정시간 후에 떨어져 버리는데 아마 세포내 많은 염을 이 모용으로 이동시켜 제거하기 위한 것으로 생각된다(Flowers 등, 1997; Troughton과 Donaldson, 1972).

Table 4-31. Effect of soil EC on no. of trichomes and no. of stomata on the leaf abaxial surface and no. of starch grains in a single chloroplast in cells of chinese cabbage leaf.^z

| Soil EC (dS·m ⁻¹) | Mean no. of trichomes /unit area | Mean no. of starch grains /chloroplast | Mean no. of somata /unit area |
|----------------------------------|--|--|----------------------------------|
| 1.0 | 2.2±0.5 | 3.75±0.8 | 17 |
| 3.0 | 6.4±1.1 | 1.24±0.2 | 23 |

^zMean±SE, n=3.

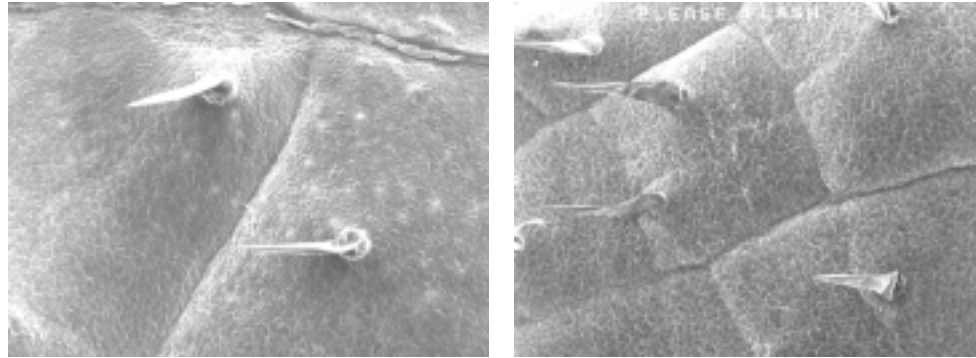


Fig. 4-45. Effect of soil EC on no. of trichomes on leaf surface of chinese cabbage plant.

Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

氣孔 : 배추잎 이면의 기공수를 보면(Table 4-31) EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 단위면적당 17개 정도였는데 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 23개로 기공수가 많았다. 이것은 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 표피세포의 크기가 적어 단위면적당 세포의 수가 많았기 때문인 것으로 보인다. 그리고 높은 EC에서는 표피세포의 골이 깊고 기공이 없는 것이 많았다. 그런데 가장 특징적인 것은 같은 조건에서 시료를 채취한 것인데 Fig. 3을 보면 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 기공이 전부 크게 열려 있었는데 반해서 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 거의가 닫혀있었다. 그래서 그 이유를 알아보기위하여 배추기공의 단면을 촬영한 결과 Fig. 4와 같은 형태를 하고 있었는데 이 형상 구조는 EC농도에 따라 차이가 없었다. 그러나 공변세포의 세포벽두께를 측정된 결과 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 배추잎 뒷면의 기공은 평균 $0.24\pm 0.07\mu\text{m}$ 인데 비하여 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 $1.28\pm 0.1\mu\text{m}$ 로 6배이상 두꺼웠다(Fig.4-48, 49). 이 실험결과로 보아 높은 EC에서 기공이 닫혀있는 것은 공변세포의 세포벽이 지나치게 비대하므로서 조직적으로 기공이 폐쇄된 것으로 생각되었다.

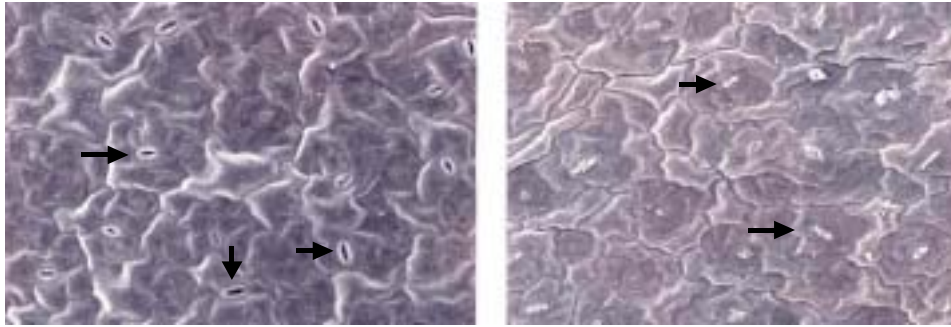


Fig. 4-46. Effect of soil EC on no. of stomata and opening or closing of stoma (arrow) on abaxial surface of chinese cabbage leaf.
 Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

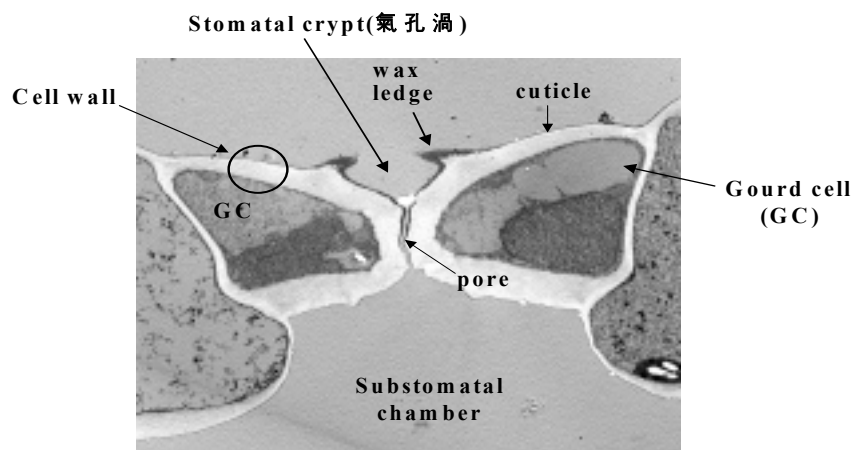


Fig. 4-47. Photograph showing a typical shape of stoma of the chinese cabbage leaf.

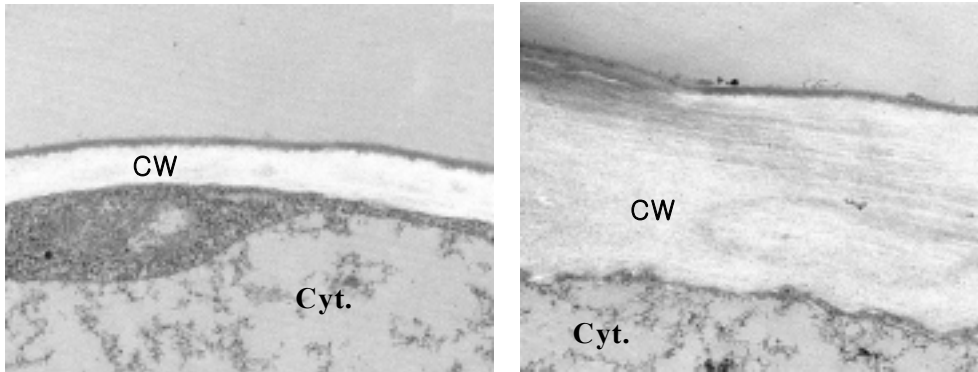


Fig. 4-48. Effect of soil EC on cell wall thickness of guard cell of stomchinese cabbage leaf.^z

^zCyt: cytoplasm, CW: cell wall.

Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

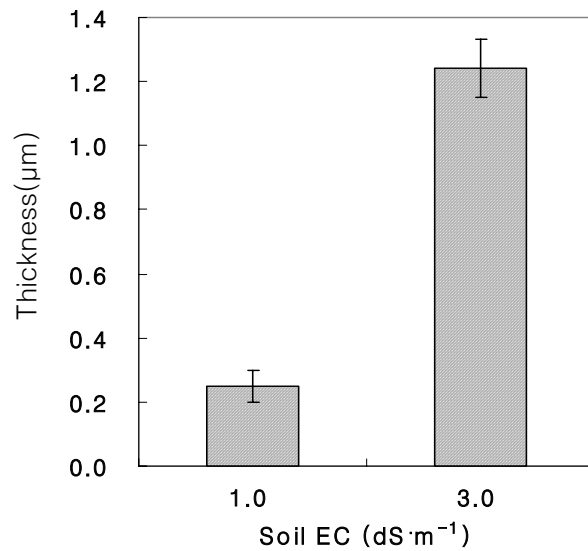


Fig. 4-49. Effect of soil EC on cell wall thickness of guard cell of stoma in chinese cabbage leaf.

기공의 구조는 생태적으로 증산속도 조절과 밀접하게 연관되어 있어서 다습조건에서 자라는 식물은 개방적이고 건생식물은 매우 폐쇄적으로 발달되어 있는데 (Mauseth, 1998) 염 stress를 받은 식물도 엽육세포의 형태적 변화(Delfine 등, 1998)에 따른 투과성의 변화가 일어나는데 두꺼워진 엽육세포는 CO₂의 확산을 억제하므로 광합성 감소로 이어진다고 한다(Evans와 Caemmerer, 1996). 이러한 실험결과들로 미루어 볼 때 본 실험에서 공변세포벽의 비대도 결국 기공을 닫히게 하므로 증산을 억제하여 수분손실을 방지하고자 하는 기계적 작용을 하기 위한 것으로 생각된다.

細胞壁과 液胞 : Fig. 4-50은 잎 세포의 세포벽 형태인데 EC 1.0dS·m⁻¹에서 자란 것은 세포벽의 두께가 일정하고 중층의 발달도 선명하게 나타나 있으나 EC 3.0dS·m⁻¹의 것은 벽의 두께가 두껍고 두께가 일정하지 않았으며 특히 세포벽 곳곳에 물방울 모양으로 부풀어 오른 것을 볼 수 있고 이것은 원형질막까지 파괴시키고 액포막까지 상처를 주었다. 그리고 이 세포벽에서는 중층의 발달은 볼 수 없었다.

Fig. 4-51은 액포내 결정체를 촬영한 것으로 EC 1.0dS·m⁻¹은 큰 액포가 액포막으로 싸여있고 몇 개의 구조물이 있었고 다른 결정체는 없었으나, EC 3.0dS·m⁻¹에서 자란 배추는 액포내에 여러 형태의 실근모양의 결정체가 여러 겹으로 형성된 것을 볼 수 있다. 이 결정체 본질을 조사하지 못하였으나 액포의 기능은 여러 가지 염과 중금속 기타 노폐물의 저장이라고 알려져 있는데(Läuchli와 Lüttge, 2002) 실제 식물에 K⁺의 시용을 높이면 높일수록 액포속의 K⁺농도는 비례하여 증가하나 세포질의 K⁺이온농도는 변화가 없었다고 하였다(Walker 등, 1996). 이로 볼 때 EC 3.0dS·m⁻¹에서 자란 식물체 액포내의 많은 결정체는 높은 EC에서 자란 식물이 다량으로 흡수된 여러 가지 염류들이 농축되어 만들어진 결정체인 것으로 추측된다. 앞으로 이 액포를 별도로 분리추출하여 염농도와 종류 및 pH 등을 조사할 예정이다.

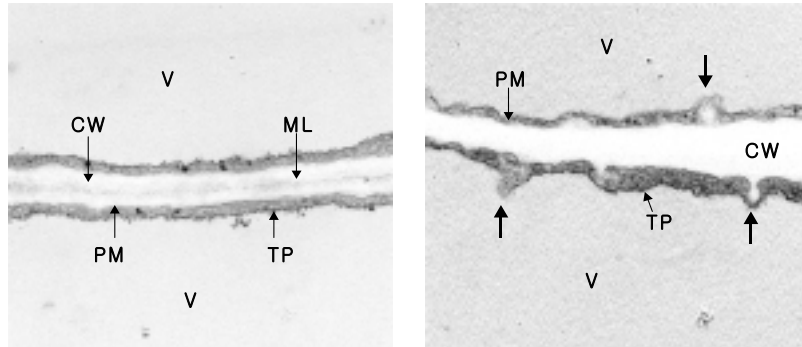


Fig. 4-50. Effect of soil EC on shape of cell wall of chinese cabbage leaf.^z

^zCW: cell wall, ML: middle lamella, PM: plasma membrane,

TP: tonoplast, V: vacuole, Thick arrow (right side): breakdown of PM and TP.

Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

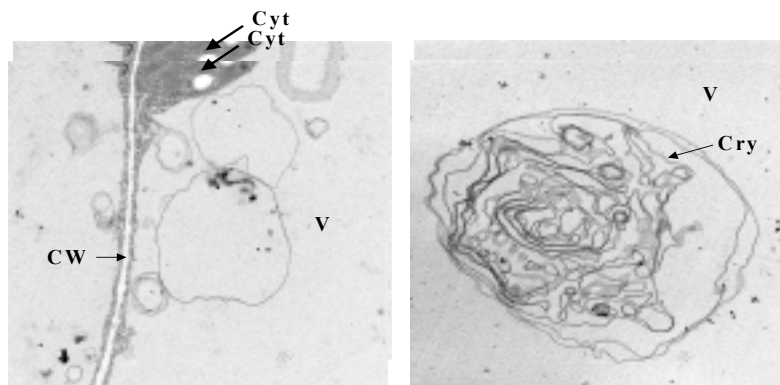


Fig. 4-51. Effect of soil EC on formation of crystalline structure in the vacuole of chinese cabbage leaf tissue.^z

^zCW: cell wall, Cry: crystalline structure, Cyt: cytoplasm V: vacuole.

Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

葉綠體 : 높은 염농도에서 자란 식물의 특징중 하나가 세포질 내에 전분의 축적이 현저히 증가하였고 thylakoid와 grana의 수가 감소된다고 하였다(Chung과 Choi, 2002; Hajibagheri와 Flowers, 1985; Keiper 등, 1998). 본 실험에서도 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 것은 엽록체내에 한두개의 아주 작은 전분립을 볼 수 있는데 비해서(Fig. 4-52) EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 엽록체내에 거의 전분이 꽉 차 있고 전분립수도 엽록체당 평균 3-4개였고 엽록체의 거의 전공간을 차지하고 있었다. 이를 엽록체 하나를 확대해서 보면 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 엽록체내에 thylakoid가 뚜렷하고 grana가 잘 발달하여 있으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 은 엽록체가 거의 전분립으로 가득 차 있고 stroma thylakoid가 약간씩 존재하나 granum도 형성되어 있지 못하였다. 그리고 큰 油滴이 많이 있다는 것이 특징이었다. 이와같이 엽록체의 전분립의 과다한 축적과 grana의 미발달는 광합성을 감소시켜 잎과 식물체의 성장을 저해시킨다고 하였다(Keiper 등, 1998).

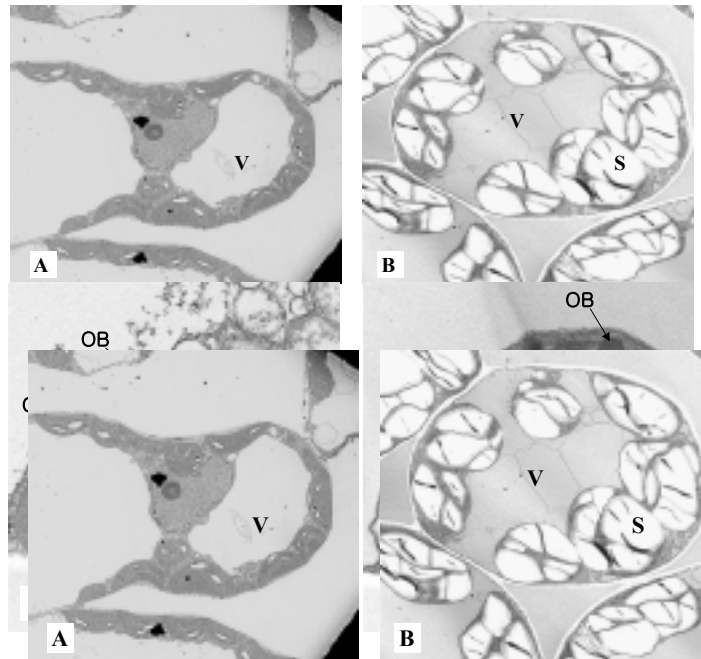


Fig. 4-52. Effect of soil EC on starch grain accumulation in the chloroplast of chinese cabbage leaf tissue.^z

^zS: starch grain, V: vacuole, G: Granum, ST: Stroma thylakoid, OB: Oidbody, A and B: single cell, C and D: single chloroplast.
Left: EC 1.0, Right: 3.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

미토콘드리아 : Fig. 4-53은 EC의 농도 차이에 따른 미토콘드리아의 형태를 본 것인데 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 자란 것은 이중막이 뚜렷하고 특히 cristae의 형태가 명확하였으나 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 것은 막이 얇고 cristae가 손상을 입어 명확하지 않으며 미토콘드리아의 내부가 공동화되어 있었다. 높은 염농도는 식물체의 미토콘드리아의 cristae에 큰 손상을 주고 부풀게 하여 공동화시킨다고 한 보고(Blumental-Goldsmidt와 Poljakoff-Mayber, 1968; Smith 등, 1982)와 일치하였다. 그러나 염stress는 뿌리세포의 미토콘드리아 수를 증가시킨다고 하였으나 (Koyro, 1997) 본 실험의 잎세포에서는 관찰되지 않았다. 이와같은 미토콘드리아의 구조적 손상은 세포에 산화적 stress를 유발하는 superoxide의 생성(Hernandez 등, 1993)이 많아 세포의 노화를 촉진시키는 원인이 되는 것으로 생각할 수 있다.

이상의 실험에서 크게 높지 않은 염농도인 EC $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서도 식물의 뿌리의 조직에 대한 손상 및 근단세포신장의 심한 억제와 잎의 엽록체에서는 광합성과 관련이 있는 grana의 형성이 저해되고 미토콘드리아의 cristae에 손상과 공동화를 일으켜 식물생장에 가장 큰 기능인 광합성과 호흡에 이상을 초래하므로써 성장억제를 유발하는 것으로 해석할 수 있다.

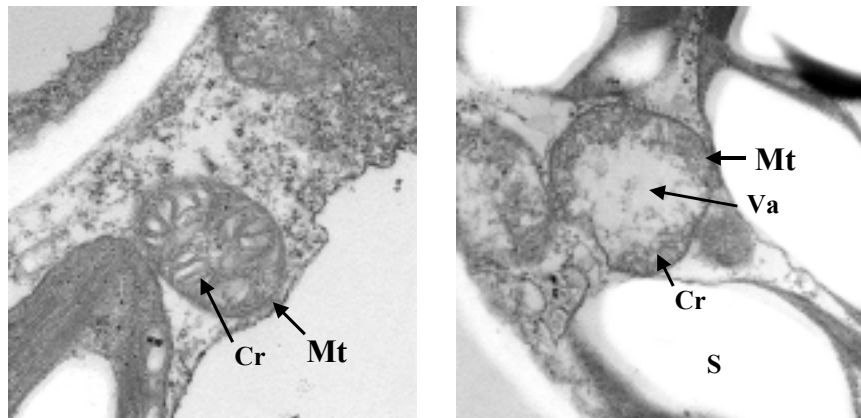


Fig. 4-53. Effect of soil EC on cristae breakdown and vacuolation of mitochondria in chinese cabbage leaf tissue.^z

^zMt:mitochondria, Cr:cristae, Va:vacuolated in a mitochondrion, S: starch grain.

Left: EC 1.0, Right: $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

제 3 절 양액재배에 있어서 근권생리 규명에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발

3.1. 근권환경 구명에 의한 영양스트레스 경감 기술 개발

3.1.1. 서론

연작장해(replant failure, injury by continuous cropping)란 동일한 작물을 연속하는 경우에 생육이나 수량이 저하되는 현상을 말한다.

시설원에 보급이나 원예작물의 생산이 대규모 단지화로 되면서 온실 또는 플라스틱 하우스 내에 연작장해, 주산지에 있어서 연작장해 등의 용어가 널리 사용되고 있다. 이러한 시설내의 연작장해라는 말은 물론 동일 온실에 동종의 작물을 연속하는 것을 포함하고 있으나 동일 종류가 아니라도 시설 내 동일 토양에 장기간 작물을 재배한 경우에 일어나는 장해를 포함하는 경우가 많다. 또한 채소의 연작장해 또는 연작지대 등이라고 해도 같은 내용이다.

원래 연작장해 혹은 기지란 동일한 내병충성이나 흡비성을 갖는 동종작물을 동일 재배양식으로 연속한 경우에 일어나는 장해이다. 채소류는 일반 작물과는 달라 다비 재배를 하고 공통의 병충해에 걸리기 쉬운 성질을 갖고 있다. 따라서 종류가 달라도 공통성질을 갖는 채소류를 매년 동일 포장에 재배한 경우에 일어나는 장해도 채소류에 관해서는 연작장해라고 하고 있다.

이것은 시설 내와 같은 온도, 수분 등에 관해서 자연 상태와 다른 조건하에서 오랫동안 재배를 반복하는 경우에 나타난다. 이 경우에 일어나는 장해를 시설재배에 있어서 연작장해라고 말해도 잘못된 것은 아니다. 그러나 이것은 시설내의 연작장해가 염류의 농도장해로 말해지는 것 같이 처음부터 원인이 비교적 확실하며 게다가 기지와 같은 뜻의 연작장해와는 원인과 대책이 다른 경우가 많다. 따라서 이들은 타종의 후작물에 미치는 영향과 같이 기지유사현상이 있으나 본래 동일종의 연작시에 일어나는 현상과는 구별할 필요가 있다. 그 때문에 상기 두번째의 경우는 연작장해라고 말하지 않는다.

동일한 작물을 연속하면 수량이 서서히 감소하는 현상은 유럽에서는 De Candolle (1832), 일본에서는 宮崎安貞(1967) 시대부터 관심을 가졌던 과제였다. 유럽에서는 18세기경부터 토지의 고도이용을 위해 시작된 윤작 또는 간작에서 재배자는 경험적으로

어떤 종의 작물에 관계없이 동일작물을 다시 재배하면 다른 작물을 윤작할 때보다 생육이 나쁘고 수량도 감소하는 종류가 있다는 것이 알려졌다.

일본에 있어서도 두과, 가지과, 박과 등의 작물을 연작하면 현저히 감수하는 것이 기지현상으로서 재배자간에 오래 전부터 알려져 완두, 수박 등은 1회 재배하면 그 포장에는 몇 년 동안 동일한 작물을 재배하지 않는다는 것이 지켜지게 되었다.

따라서 농업기술의 과학적인 연구가 시작된 19세기 후반부터 이 현상의 해명을 위해 많은 노력을 기울인바 어떤 작물이 어느 정도의 연작장해를 받는가를 알아보기 위한 시험이 많이 이루어 졌다. 그 경우 생육 또는 수량을 지표로 하는 일이 많으나 근채류 등에서는 품질에 대해서도 검토했다. 연작장해를 잘 일으킨다고 인정되는 작물 중에 풋콩, 토마토, 가지 등은 5-7년의 장기간 휴경을 필요로 한다고 기술하고 있다. 한편 오이는 1-2년을 휴경해야 하는 것으로 보고되고 있다.

연작장해의 증상으로는 생장량 및 수량감소에 영향하며 생리적으로는 뿌리의 생리 기능 저하(TTC 반응), 단위 근량 당 호흡량도 낮은 것으로 보고되고 있다. 뿌리의 생리 기능 저하는 양수분 흡수에 지장을 준다. 작물에 관계없이 엽으로부터 증산량의 감소가 인정되고 있다. 증산억제정도는 구름이 낀 날보다도 맑은 날에 더 크게 나타났 다.

Cook(1921)은 오이 뿌리로부터 분비하는 독물질이 인접해있는 토마토나 감자를 위 조시킨다는 것을 관찰했다. 이것은 뿌리의 흡수능력 감퇴를 나타내는 것이며 양수분 흡수감소 등과 함께 식물체중의 전분 전이작용의 정체(大工原, 1904)등을 유발시켜 결국 생장을 억제하는 것이라고 추정하고 있다.

따라서 연작장해중의 일부는 토양중의 양분부족이나 병충해의 피해가 아니라 뿌리의 생리 기능 저하가 원인인 경우가 있다. 연작에 의한 생장억제는 지상부 보다도 지하부가 더 심하다고 보고하는 경우가 많고 일반 농가에서도 그렇게 믿고 있다(渡辺, 1963). 그러나 반드시 그렇지는 않다.塚本(1956)는 비파에서 연작장해를 받으면 T/R 율이 적어진다고 했고 平井(1957)는 복숭아를 수경액 중에서 키운 뿌리나 근 분비물을 첨가해 생육을 비교한 결과 생육은 어느 것도 억제되었으나 지하부에 비하여 지상부의 억제편이 컸다고 했다.

연작장해의 원인으로서로는 첫째 토양의 악화, 즉 토양양분의 과다, 토양산도 그리고 토양의 물리성 악화를 들 수 있으며 둘째로는 병원균, 해충발생 셋째로는 독물질의 영향, 넷째로는 상기원인들의 상호작용을 들 수 있다. 토양병해는 아니지만 오이반점 세균병의 경우 오이가 암모니아태 질소를 다량으로 흡수하여 오이 체내에 가용성 질

소화합물이 증가함으로써 병이 심해진다. 어떤 요인이 연작장애의 주인인가 또는 많은 원인중의 1개의 요인 때문에 상기 3요건을 모두 볼 필요가 있다.

이와 같이 연작장애로 인하여 작물의 성장 및 발육을 제한하는 요인은 다양하지만 특히 동계 오이의 시설 내 양액재배시 온도, 수분, 광 등의 환경스트레스가 식물의 성장과 수량에 미치는 영향은 크다. 재배 작물은 생육장소를 바꿈으로서 환경의 변화에 대처할 수 없기 때문에 이들 환경요인을 신속하게 감지하여 적절히 대응하는 고도의 능력을 갖추고 있다고 여겨진다. 이런 여러 가지 환경요건이 적절하여야 작물의 생육이 바람직하게 되지만 실제 작물의 재배에서 완벽한 환경제어를 해주기는 대단히 어렵다.

이러한 환경요인들 중 온도는 조절이 가능하나 겨울철에는 난방비 문제로 인하여 일반농가의 오이 시설재배에 있어서 적절한 온도조절을 해주기는 상당히 어려운 실정이다. 시설재배토양에서 근권 가온으로 인한 수량의 증수 및 고품질의 효과는 이미 보고되어진 바 본 실험에서도 근권 및 지상부에 적정 온도 이상과 이하로 처리할 때 오이의 대사상의 변화과정을 추적하고 각각의 온도조건에서 오이의 수량 및 품질에 미치는 영향과 오이의 양액재배시 근권생리 구멍과 영양스트레스를 경감하기 위한 노력의 일환으로 온도를 달리하여 실험을 수행하고자 하였다.

3.1.2. 재료 및 방법

1) 환경요인 변화에 따른 동화산물, 무기염류의 전류 및 배분

가. 근권 온도처리가 오이의 성장과 발육 미치는 영향 구명

본 실험은 상이한 근권온도 처리가 양액재배 오이의 성장과 발육에 미치는 영향을 구명하기 위해 2000년 10월부터 2001년 1월까지 전남대학교 농과대학 원예학과 시설 원예학 실험온실에서 실시하였다. 공시품종은 겨울나기 청장(홍농종묘)을 사용하였다. 2000년 10월 5일에 50공 트레이에 파종하여 10월 25일에 7cm 포트에 이식하였으며 11월 1일 코코피트와 펄라이트 1:1 혼용배지로 충진한 성형베드에 정식하였다. 배양액은 화란의 PBG배양액을 사용하였으며 관수는 2t용 양액탱크를 설치하고 점적튜브를 사용하여 관수하였다. 베드의 규격은 30×100cm이고 정식간격은 30cm로 각 베드 당 3주씩 정식하였다. 온도처리는 heat belt(동남전자)를 물탱크(100ℓ)에 설치하여 가온하였고, handy cooler(Jeio Tech, Korea)를 물탱크에 설치하여 냉각시켰으며 가온과 냉각된 물을 베드내부에 순환하게 하였다. 온도의 조절을 위해 digital thermo controller

를 사용하였고 근권온도를 10, 14, 18, 22 및 26℃로 각각 조절하였다(Fig. 5-1, 2, 3). 생육조사는 온도처리시부터 측정하였으며 생장특성을 알아보기 위해 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중 등을 조사하였고 근활력을 측정하여 뿌리생리특성을 조사하였으며 식물체 분석을 통하여 sugar, starch, fructan 및 soluble protein, nitrate content 등을 측정하여 비교하였다.



Fig. 5-1. 근권온도 실험을 위한 정식 후의 모습



Fig. 5-2. 근권 온도 조절을 위한 온수 및 냉수 장치



Fig. 5-3. Temp. controller

2) 근권부 무기염류(N, P, K, Ca, Mg 및 기타 미량원소)가 식물체내 무기염류 함량 변화, 뿌리 영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향 구명

오이에 있어서 양액, 기온 그리고 태양방사에 따른 수분, 질소, 인 및 칼슘의 흡수에 대해 연구를 보면 수분, 질소, 칼슘 흡수량의 일중 변화는 광도($<3\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$)와 기온 (19~26.5. C)의 변화와 아주 밀접한 관련이 있으며, 최고 흡수율은 기온과 광도가 최고일 때 역시 이와 유사하다. 반면 인 흡수의 일중 변이는 광도의 직접적인 영향은 적었으며 양액 온도가 큰 영향을 미치는데(22.1~27.2°C), 양액의 온도가 최고일 때 흡수율도 가장 높았으며, 질소와 칼슘의 흡수도 수분흡수와 함께 연관성이 깊다. 따라서 배양액내 다량원소 및 미량원소 흡수를 파악하여 상호작용으로 인한 성장반응과 체내 무기염류 함량변화, 뿌리영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다.

양액재배에 있어서 양액은 가장 중요한 요소로서 작물별, 품종별 양액의 조성 및 농도의 합리적인 관리여부는 재배의 승패를 좌우하게 된다. 또한 토경에 비교하여 근권환경의 완충력이 작기 때문에 양액관리에 세심한 주의가 필요하다. (糠谷1992) 양액의 이온농도를 조절 하는데는 작물의 종류, 생육단계, 기상조건, 작형, 고품배지의 유무나 그 성질 및 양액의 공급방법에 따라 차이가 있으며, 양액내에서 이온균형을 이루어 전기적으로 중성을 지키려는 식물자체의 적응특성을 고려한 이온농도의 조절이 요구된다.(Clack1982, Keltjens 1981)

특히 영양생장과 생식생장간의 균형을 요구하는 토마토의 경우 양액재배에 의한 빠

른 생장은 과도한 영양생장을 유도할 수 있으며 그 결과로서 작물 수관내부로의 광투과율을 감소시키고 과실수량과 품질을 저하시킬 우려가 있다(Kageyama1988, Charbonneau1988, Devonald 1984). 이러한 이유 때문에 토경재배에서 수분과 양분의 공급을 조절하여 토마토의 생장을 억제하려는 노력이 행해지고 있다. 그러나 양액재배에서는 지속적인 수분과 양분의 공급 때문에 영양생장을 조절한다는 것은 특별한 기술을 요구한다. 양액재배에서 토마토의 생장을 조절하는 주요 요인은 양액 농도이며 양액농도가 기준농도보다 높거나 낮을 때 영양생장은 억제된다고 한다.(Chi1991, Kato1987)

노 등(1995)은 토마토의 펄라이트경 양액재배시 육묘기 때에 양액농도를 EC 0.5mS/cm에서 3.0mS/cm로 높임에 따라 육묘의 광합성속도가 증가하였으나 그 이상의 범위에서는 오히려 감소하였으며, 초장, 엽장, 엽폭, 경경 및 지상부 건물중은 양액농도를 0.5mS/cm에서 5.0mS/cm로 높임에 따라 계속 증가한다고 보고하였다. 또한, 육묘기 뿐만 아니라 정식후의 양액농도는 과실의 총수량, 상품수량 및 당도에 결정적인 영향을 미친다고 하였다.

北條 등(1996)은 토마토의 양액재배에 있어 상단과방의 수량, 품질을 확보하고 근의 활성을 높게 유지하기 위해서는 배양액농도를 서서히 상승시켜 관리하는 것이 바람직하지만 초기부터 배양액을 고농도로 관리하여도 급격한 농도변화를 피한다면 고품질 과실생산이 가능하다고 하였으며, 宇田川(1987)도 배양액을 변경하는 경우 EC값의 변동폭에 대해서 설정치의 1/4이내가 바람직하다고 하였다.

가. 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

본 실험은 전남대학교 농과대학 시설원에 실험실에서 수행 하였으며 공시재료는 겨우살이 청장오이(홍농종묘)로서 10월 10일에 침종하여 10월 11일 50공 트레이에 과종(Coirdust : Perlite = 1 : 1)한 후 10월 25일에 이식하였고, 11월 10일에 본엽이 6-7매된 건실한 묘를 정식하였다. 재배시스템은 DFT로 하였고 처리구당 5반복씩 처리하여 air-Stone을 이용하여 배양액내 산소를 공급하였다. 처리구는 무기염류 중 다량원소인 N, P, K의 과잉구(표 5-1)인 2배와 4배 조절구와 다량원소(N, P, K, Ca, Mg)와 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu, B)의 결핍구(표 5-2)N 1/8배와 1/4배로 조성하였다.

오이의 무기염류의 과잉과 결핍실험의 생장은 정식후 20, 27, 34일에 초장, 경경, 엽수, 엽록소를 조사하였고, 파괴조사를 실시하여 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 생체중과 건

물중과 근활력을 조사하였다. 배양액의 pH와 EC는 배양액 조성시 pH 5.8~6.2 로 보정해준후 3-4일 간격으로 조사하였다.

Table 5-1. Treatment of macro elements. (단위: mg/L)

| | Macro element | | | | |
|---------|--------------------|------|-------|-----|------|
| | NO ₃ -N | P | K | Ca | Mg |
| 1/8 결핍구 | 26.5 | 5.75 | 39.13 | 18 | 4.38 |
| 1/4 결핍구 | 52.5 | 11.5 | 78.25 | 36 | 8.75 |
| 표준액(1배) | 210 | 46 | 313 | 144 | 35 |
| 2배과잉구 | 420 | 92 | 626 | - | - |
| 4배과잉구 | 840 | 184 | 1252 | - | - |

Table 5-2. Treatment of micro elements. (단위: mg/L)

| | Micro element | | | | |
|----------|---------------|------|------|-------|-------|
| | Fe | Mn | Zn | Cu | B |
| 1/8배 결핍구 | 4.38 | 0.84 | 0.19 | 0.025 | 0.015 |
| 1/4배 결핍구 | 1.68 | 0.43 | 0.38 | 0.05 | 0.03 |
| 표준액(1배) | 6.7 | 1.7 | 1.5 | 0.2 | 0.12 |



Fig. 5-4. 무기염류 과잉 및 결핍실험 포장전경

나. 다량 및 미량(다량원소: N, P, K, Ca, Mg와 미량원소: Fe, Mn, Zn, Cu, B)의 과잉, 결핍 및 imbalance가 토마토의 성장과 발육에 미치는 영향

본 실험은 전남대학교 농과대학 시설원에 실험실에서 수행 하였으며 공시재료는 방울토마토 “꼬꼬”(홍농종묘)로서 7월 25일에 침종하여 7월 26일 50공 트레이에 과종(coir dust : perlite = 1 : 1)한 후 8월 8일에 이식하였고, 8월 17일에 제 1화방이 개화한 묘를 정식하였다. 재배시스템은 DFT로 하였고 처리구당 5반복씩 처리하여 Air-Stone을 이용하여 배양액내 산소를 공급하였다. 처리구는 화란 PBG 양액 1배를 기준으로 무기염류 중 다량원소인 N, P, K의 과잉구(표 5-3)인 2배와 다량원소(N, P, K, Ca, Mg)와 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu, B)의 결핍구(표 5-4) 1/4배로 조성하였다.

토마토의 무기염류의 과잉과 결핍실험의 성장특성을 알아보기 위해 정식 후 20일에 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 기관별 생체중 및 건물중을 조사하였고, 근활력을 측정하였으며, 8월 20일부터 3-4일 간격으로 초장, 경경, 엽수 및 엽록소를 조사하였다. 배양액의 pH와 EC는 배양액 조성시 pH 5.8-6.2 로 보정해준 후 3-4일 간격으로 조사하였다. 앞으로 반복실험을 통해 광합성과 root exudate 및 미생물상을 조사할 것이며 양분분석을 통한 이온간의 길항작용, 과잉 결핍의 증상들을 토대로 양분 집적으로 인한 식물 스트레스를 경감하고 타파하는 기술을 만들 토대로 삼고자 한다. 또한 엽면시비를 통한 영양스트레스를 경감시키고 노화를 방지하며 재생장을 유도하기 위한 방안을 모색하고자 한다.

Table 5-3. Treatment of macro elements.

(단위: mg/L)

| | Macro element | | | | |
|---------|--------------------|-----------------------------------|--------|--------|------|
| | NO ₃ -N | 가. H ₂ PO ₄ | K | Ca | Mg |
| 결핍구 | - | - | - | - | - |
| 표준액(1배) | 147.3 | 61.9 | 371.7 | 123.00 | 36.5 |
| 4배과잉구 | 589.2 | 247.6 | 1486.8 | | |

Table 5-4. Treatment of micro elements.

(단위: mg/L)

| | Micro element | | | | |
|---------|---------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Fe-EDTA | MnSO ₄ ·H ₂ O | ZnSO ₄ ·7H ₂ O | CuSO ₄ ·5H ₂ O | H ₃ BO ₃ |
| 결핍구 | - | - | - | - | - |
| 표준액(1배) | 6.7 | 1.709 | 1.450 | 0.200 | 1.509 |



Fig. 5-5. 토마토 정식 후 포장

3) 근권 잔류물의 생화학적, 미생물적 연구

작물의 뿌리는 여러 가지 물질을 분비하고 이 분비물이 미생물 성장을 위한 에너지 공급원이 되며 이에 의해 병원균의 활동의 활발해지고 병해 발생으로 이어진다. 예를 들어 배추, 당근의 연부병 세균, 가지나 토마토의 청고병 세균은 각각의 작물 뿌리에 이끌려 모이고 증식하여 많은 때는 뿌리가 없는 토양의 수백에서 5천배에 달한다. 이것도 뿌리의 분비 작용에 의한 것이다. 오이, 토마토, 피망 등에 입고병을 일으키는 역병균이나 피시움균의 난포자(내구체)는 작물 뿌리의 분비물에 자극받아 발아하고 유주자를 방출한다. 연작하면 병해의 발생이 심해지는 것은 그 작물을 좋아하는 특정 병원균의 활동이 한층 왕성하게 조장되기 때문이다.

근권 미생물은 뿌리에서 유기물이 공급되기 때문에 뿌리 표면과 뿌리의 주위에 모이게 된다. 인공적으로 무균 상태로 만든 모래나 토양에서 재배한 식물은 필요한 양분의 공급과 다른 조건을 인공적으로 잘 유지 해주면, 살균하지 않는 유균 배지에서

생육한 뿌리보다도 뿌리의 양, 길이, 분기가 많아진다. 즉 근권에 미생물이 집적하면 뿌리의 생육이 저하하는 것이다. 이 원인은 유균 상태에서는 뿌리에서의 유기물 방출량이 무균 상태에 비해 2배로 증가하며 작물이 광합성으로 동화한 탄소의 12~40%가 뿌리에서 소실되어 버리기 때문이다. 유균에서는 무시겔과 다른 분비물의 양이 증가하여 작물로 보면 여분의 광합성 산물을 잃고 생육량이 저하하게 된다. 유균 상태에서는 지상부의 중량도 저하한다. 그러나 지상부 중량은 뿌리 중량만큼은 저하하지 않는다. 즉 유균 상태에서는 뿌리가 지탱하는 지상부의 중량은 무균 상태보다도 상대적으로는 증가한다.

이러한 현상을 보면 일반적으로 근권 미생물은 작물체의 유기물을 뺏는데 빼앗은 유기물을 사용하여 뿌리의 활성을 다소는 높이고 있다고 볼 수 있다. 그 방법은 근권 미생물에 의한 양분의 가급화와 생리활성물질의 생성 등이 있다. 근권에서는 뿌리가 양분, 물, 산소를 흡수하는 한편 유기물과 이산화탄소를 방출하며, 뿌리에 집적된 미생물이 물질 대사를 하고 있다. 이러한 작용들이 종합적으로 일어나고 있기 때문에 근권의 환경 조건은 비근권과는 다르다. 그 하나가 근권의 pH(수소 이온 농도)이다.

뿌리는 스스로 유기산을 분비하고 있는데 그 양은 작물의 종류에 따라 다르다. 분비량이 많은 작물에는 대두가 있다. 반대로 적은 작물로서는 소맥, 그레인 소르غم, 상추, 호박, 자소가 있다. 중간 작물로서는 양배추, 시금치, 배추, 가지, 오이, 토마토, 옥수수 등이 있다. 유기산의 분비량이 많은 작물일수록 뿌리 표면의 pH가 낮다.

최근 연구들에 의하면 폐쇄형 순환 양액재배시 배양액에서 오이의 녹색반점 모자이크 바이러스(green mottle mosaic virus ; CGMMV), 토마토 모자이크 바이러스(tomato mosaic virus ; ToMV), 담배 괴저 바이러스(tobacco necrosis virus ; TNV), Lettuce big vein agent(LBVA) 등이 발견되었다고 보고하였다. 또한 이러한 시스템에서 바이러스인 TNV와 LBVA가 배양액내의 식물병원 진균류인 *Olpidium brassicae* (양배추 모잘록병 유발)이라는 매개체에 의해서 전이됨이 보고되었고, NFT시스템에서 재배된 상추의 LBVA발병율이 99-100%에 이른다는 사실도 발견되었다. 이외에도 폐쇄형 순환양액재배 시스템을 이용하는 암면재배에 있어서도 역병균인 *Phytophthora cryptogea*를 인위적으로 감염시킨 거베라를 재배하였을때, 접촉하지 않은 식물체들도 모두 감염되어 있음을 발견하였다.

순환식 양액재배 시스템을 이용한 온실 채소류 생산은 수년간에 걸쳐 전세계적으로 광범위하게 진행되어 왔다. 이러한 양액재배 시스템의 장점중 하나가 뿌리 전염성 병해의 회피이다. 폐쇄적인 재배환경 내에서 작물을 재배하면 발생하는

전염성 병해종류의 종류는 감소하지만, 병해의 발생 및 피해정도는 심각하다. 개방형 포장재배시 작물병해의 단기간 내 급속한 발달은 일반적으로 엽전염성 병해 및 지상부 전염성 병원균의 특징이라고 여겨진다. 그러나 순환식 양액재배 시스템에서는 위에서 언급한 이러한 특성들이 뿌리 전염성 병원균이나 지하부 전염성 병원균의 특성으로 나타난다. 전염성 병원균이 일단 재배시스템내로 들어가면 ① 유전학적으로 동일한 기주 ② 온도, 습도 등 지속적으로 균일한 물리적 환경 ③ 재배시스템내 뿌리 전염성 병원균의 급속하고도 균일한 확산 메카니즘 등에 의하여 병해 발생이 양액재배에서 용이하게 이루어진다.

가. 배양액의 농도(1/2, 1/8, 4배)에 따른 근권잔유물의 생성경향과 재이용시 나타나는 오이와 토마토의 성장분석

본 실험은 2002년 8월부터 전남대학교 시설원예실험실의 유리온실에서 행해졌으며, 실험에 사용한 공시작물로는 오이(품종 : 겨울나기 청장, 흥농종묘)와 토마토(품종 : 수퍼도태랑, 흥농)를 8월 20일에 침종하여 21일에 50공 트레이에 파종(coir dust : perlite = 1 : 1)한 후 9월 5일에 이식하였고, 9월 10일에 본엽이 3~4매 전개된 묘를 정식하였다. 재배시스템은 DFT(deep flow technique, 강제통기식)을 이용하여 작물을 재배하였고, 실험은 정식 후 5주 생육을 기준으로 하여 매주 양액재배 베드에서 양액을 채취하여 재배기간에 따른 root exudate를 분석하였다. 처리구는 배양액의 농도를 1/8, 1/2, 대조구, 4배로 적정하여 실험을 수행하였다. 또한 재배 후 이들의 양액에 무기원소를 재충진하여 동일 작물을 연속으로 재배하였을 경우 오이와 토마토의 생육에 나타나는 영향을 조사하였다.

3.1.3. 결과 및 고찰

1) 환경요인 변화에 따른 동화산물, 무기염류의 전류 및 배분

가. 근권 온도처리가 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향 구명

많은 연구 결과에서 근권부의 온도를 생육 적온 범위로 유지해주면 온도 스트레스에 의한 오이는 세계적으로 광범위하게 재배되는 작물로 박과 작물 중 생육 적온이

비교적 높은 것으로 알려져 있다. 오이의 생육 적온은 낮기온 25℃~28℃, 밤기온 15℃~18℃(Lee, 1994)로 여름철의 고온과 겨울철의 저온은 생산성을 저하시키는 가장 큰 환경 요인이 되고 있다.

지상부 생육 및 생식 성장에 가장 직접적인 영향을 주는 환경요인은 기온이지만 피해를 상당히 경감시킬 수 있다고 하였다(Sasaki and Itagi, 1989). Hori 등(1970)은 저온에 의한 작물의 생육 감소현상은 기온보다는 근권온도의 영향을 많이 받는다고 하였으며, Tachibana(1996)는 고온에서 오이의 뿌리 생육, 엽면적, 잎의 양·수분 함량, 광합성 등이 감소하는데 기온보다는 근권온도의 영향이 크다고 하였다. 특히 겨울철 오이 시설재배에서 지중가온구는 무가온구 보다 생육과 수량이 현저히 증가할 뿐만 아니라 에너지 비용도 절감할 수 있었다고 하여(Lee, 1994; Lee 등, 1997) 효율적인 근권온도 관리의 중요성을 시사하였다. 오이는 근권이 15cm 이내에 집중되어있는 천근성 작물로서 지하부 환경 변화에 매우 민감하다. 겨울철 시설 내의 근권온도는 15℃ 이하로 내려가는 경우가 많고, 여름철 배지경에서는 근권온도가 대개 30℃ 이상 올라가고 낮에는 35℃를 상회하기도 하여 근권부의 적온범위를 크게 벗어나므로 오이의 여름철과 겨울철의 생육 및 수량 감소에는 근권온도의 영향도 클 것으로 생각된다.

저온 생육조건에서 성장률의 감소는 당 및 저장 유기물이 축적되는 반면 새로운 조직의 성장에 이용되는 비율이 현저히 감소되는 생리적 현상(Koster 와 Lynch, 1992; Pollock와 Engles, 1988)과 밀접한 관련이 있다. 온도가 감소할수록 hexose-phosphate의 함량이 증가하는 것은 밀의 엽(Kobza and Edwards, 1987), 보리의 엽(Labate 등, 1990) 그리고 시금치의 엽(Leegood, 1985)에서 관측되었다.

저온조건에서 PGA(glyceraldehyde-3-phosphate)는 급격히 감소하는데 이는 sucrose 합성에 의해 Pi 가 부족하게 됨으로서 ATP생산의 제한을 일으키고 차례로 PGA에서 triose-p로 전환되는 것이다. 낮은 근권온도에서 sucrose를 합성하기 위해서는 hexose-phosphate나 triose-phosphate 같은 대사산물의 축적이 있어야 한다(Labate 등, 1990).

낮은 근권온도에서 인산화된 중간산물의 반응을 고려해보면, 가용성 당함량의 증가는 호흡경로의 활성증가와 관련지어 생각할 수 있고(Lambers, 1985), 저온처리에 의해 Rape의 잎에 가용성 당이 높게 축적되는 것 또한 호흡경로의 자극에 의한 결과이다(Rychter 등, 1988). 특히 저온처리는 전분함량이 지속적으로 증가하는데 이러한 축적현상은 온도처리 초기에 증가폭이 뚜렷하였다. 이러한 결과는 고온 스트레스(Xu

and Huang, 2000), 건조 스트레스(Schellenbaum 등, 1999) 그리고 인산결핍 스트레스 (Qiu and Israel, 1992)등과 같이 스트레스 조건에서 전분의 축적이 증가하는 것과 같다.

낮은 근권온도에서 오이 묘에 대한 가장 두드러진 영향은 목부수송의 현저한 감소인데 낮은 근권온도는 오이묘의 증산에 심각한 억제요인으로 작용한다(Bowen, 1991). 증산의 감소는 막의 투과성과 연계되어 수분흡수의 장애에 기인한 것으로 사료된다 (Raison, 1985). 낮은 근권온도가 막의 투과성을 변화시키면 초기 2주까지는 뿌리 내 높은 질소농도가 배지로부터 질소의 흡수를 강하게 억제한다(Larsson 등, 1991). 지상부와 뿌리는 신호전달에 의해 저장물질의 분해와 물질전이를 하는데(Clarkson 등, 1986), 이같은 뿌리 내 질소축적현상은 지상부의 낮은 생장과 요구도로 인해 Xylem의 양분전이의 감소와 Phloem에서의 저장조직으로의 동화산물전이의 증가(Cooper and Clarkson, 1989; Engels 등, 1992)와 관련된 것으로 사료된다.

온도 스트레스에 의한 식물체의 피해를 경감시키기 위한 효율적인 방안으로 고온 또는 저온 내성 품종과 대목의 이용 및 육성, 그리고 재배기간 중 발생하는 여러 가지 생리장애에 적절히 대응하기 위해서도 근권온도에 따른 식물체의 다양한 생리적 반응 기작에 관한 구체적인 정보가 요구된다.

본 연구는 저온과 고온에 따른 오이의 잎과 뿌리에서 질소, 탄수화물의 기관별 배분과 성장반응을 검토하여 오이의 양액재배 재배방법 개선을 위한 기초 자료를 얻는 것을 목적으로 하였다.

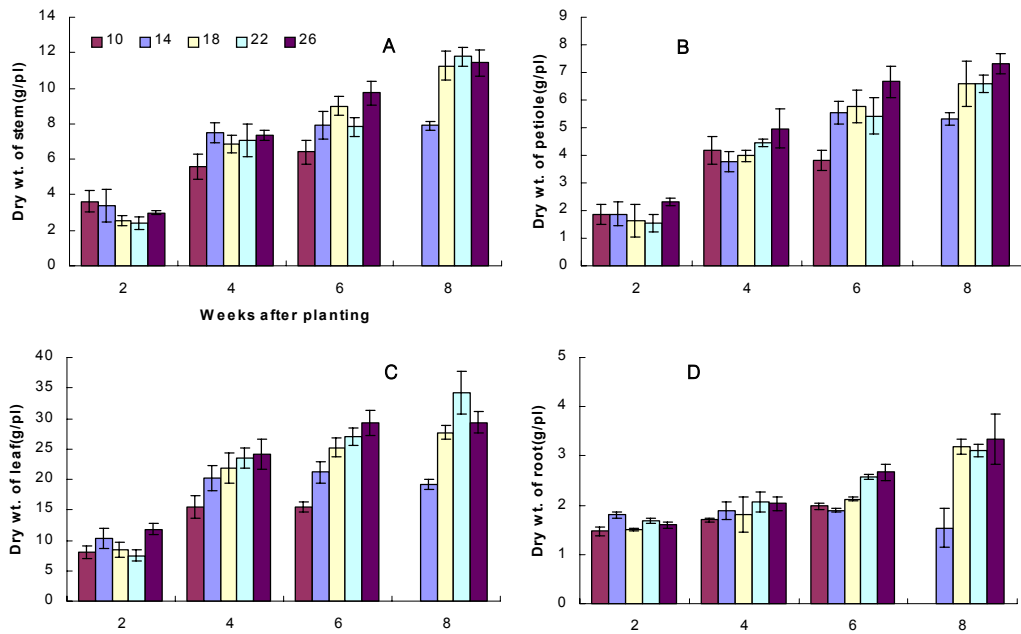


Fig. 5-6. Comparison of dry weight as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-6는 근권온도에 대한 양액재배오이의 각 기관별 건물중을 비교한 것이다. 정식직후 온도처리를 시작하여 초기 2주간은 유의차를 보이지 않고 다소 저온처리구에서 높은 경향이었으나 4주경부터는 엽으로의 건물분배량이 현저히 나타났고 특히 22, 26°C 처리구에서 공히 기관별 건물축적이 높았다. 특히 10°C 처리구의 경우 온도처리 6주후에 심한 위조현상을 보였고 이후 고사하였으며 14°C 처리구는 온도처리 8주경에 위조현상을 보였다. 이러한 저온 생육조건에서 성장률의 감소는 당 및 저장 유기물이 축적되는 반면 새로운 조직의 성장에 이용되는 비율이 현저히 감소되는 생리적 현상(Koster 와 Lynch, 1992; Pollock와 Engles, 1988)과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각된다.

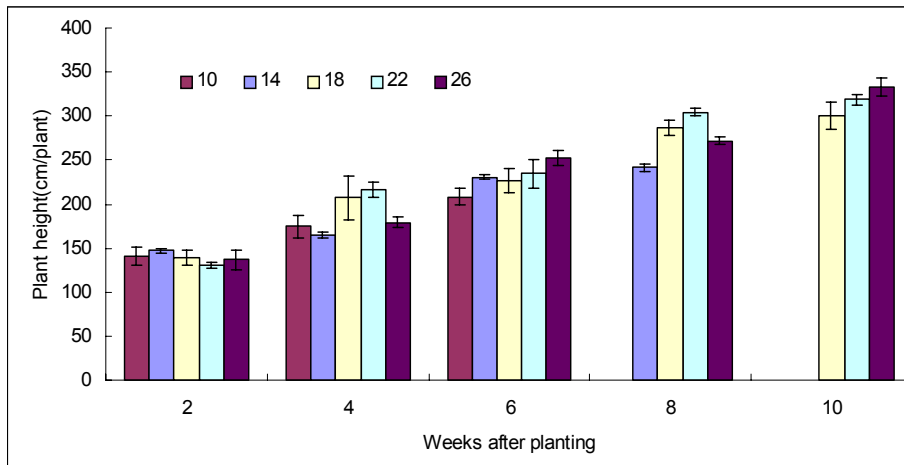


Fig. 5-7. Changes in plant height as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

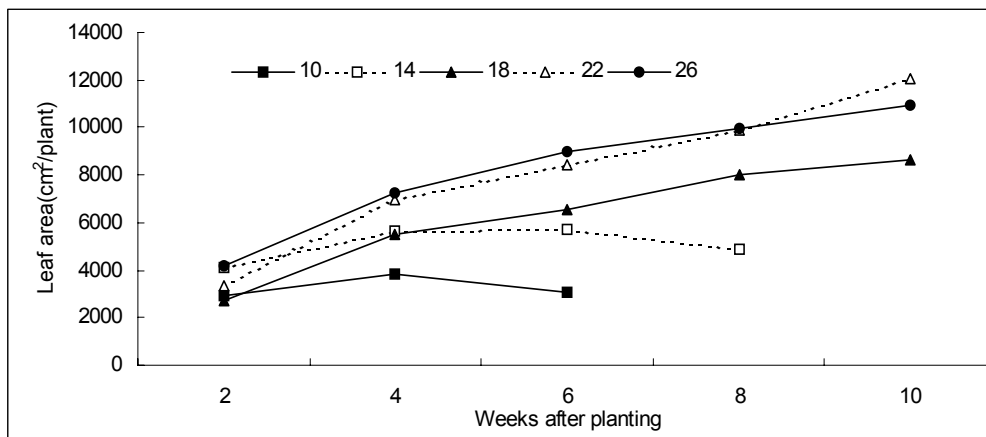


Fig. 5-8. Changes in leaf area as affected by different root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-7과 5-8은 온도처리에 따른 오이의 초장 및 엽면적의 변화를 나타낸 것이다. 초장의 경우 온도처리 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 4주경부터 18, 22°C 처리에서 현저한 성장을 나타냈고 26°C 처리구는 초기 생장이 다소 느렸으나 생육후반기에는 가장높은 성장율을 나타냈다. 엽면적도 초장과 유사한 경향이었고 10, 14°C 처리에서 엽면적이 감소한 것은 저온처리에 대한 반응으로 생장이 정지하고 서서히 위조

를 보인결과일 것으로 사료된다.

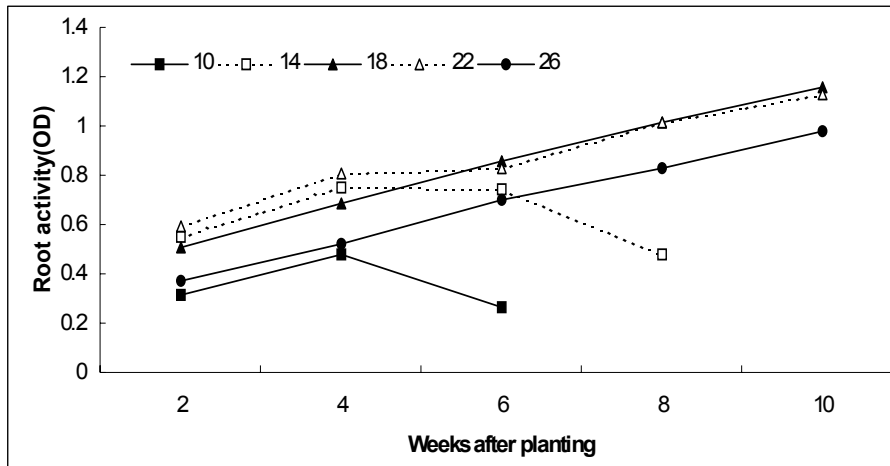


Fig. 5-9. Comparison of Root activity as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-9는 온도처리에 따른 근활력을 나타낸 것으로 지상부생장과 같은 경향이있지만 26°C처리는 18 및 22°C처리보다는 낮은 경향을 나타냈고 또한 온도처리 초기 14°C에서 활력이 높게 나타났는데 이는 10°C는 한계저온이므로 인해 활력이 가장 낮은 반면 14°C처리는 저온스트레스 초기반응으로 사료된다.

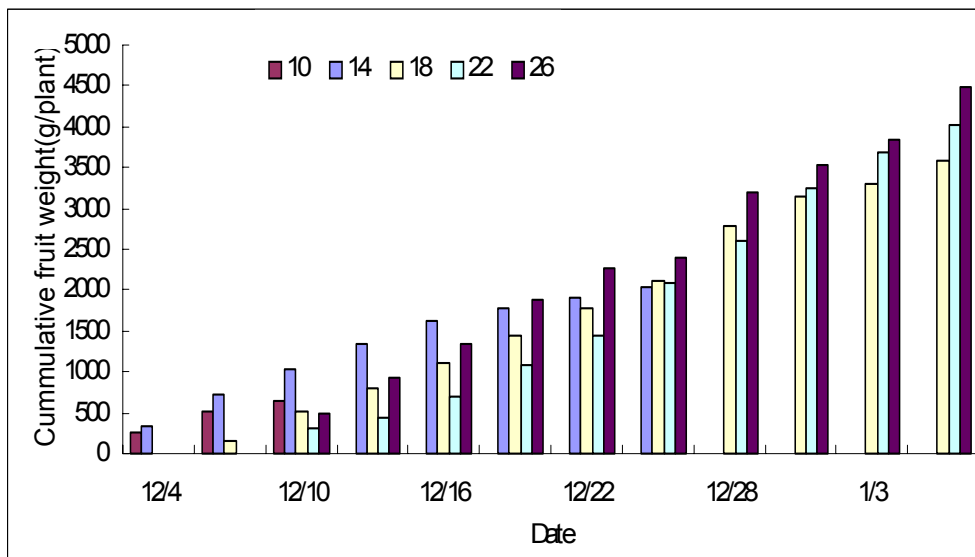
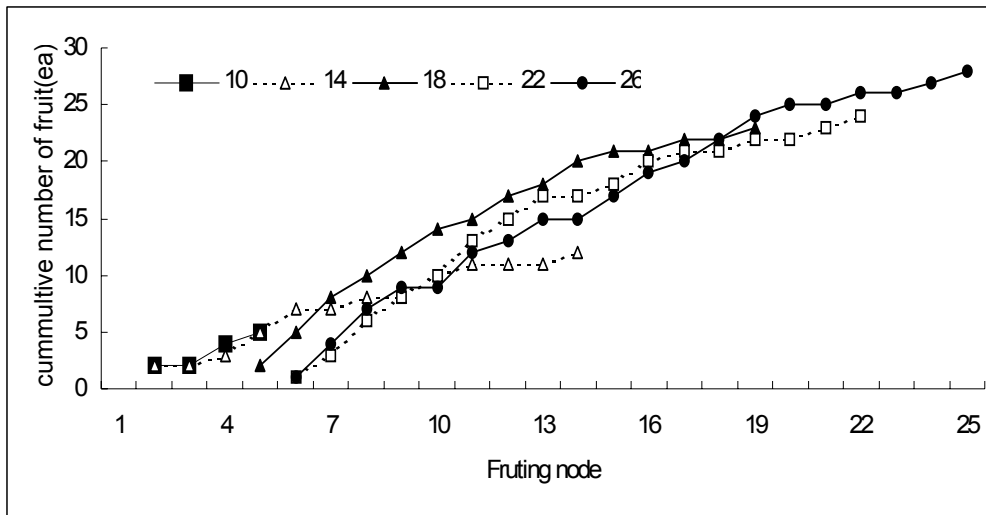


Fig. 5-10. Changes in the cumulative number of fruit and fruit weight as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-10은 근권온도에 따른 오이의 누적과실수 및 누적과실중을 나타낸 것이다. 10, 14°C 처리구에서는 다른 온도 처리구에 비해 과실이 더 빨리 착과하였고 또한 착과

절위도 2절위에서부터 시작하는 것을 볼수 있었다. 이러한 조기착과는 저온에 의해 충분한 영양생장이 이루어지지 못하고 생식생장으로 상전환이 되어 생장이 정지하고 동화산물의 분배가 저장조직으로 이루어진 것으로 사료된다. 다른 처리구에서는 지속적으로 증가하는 경향이었고 특히 26℃의 경우 착과가 늦었지만 과실중 및 과실수에 있어서 현저한 증가를 나타내었다.

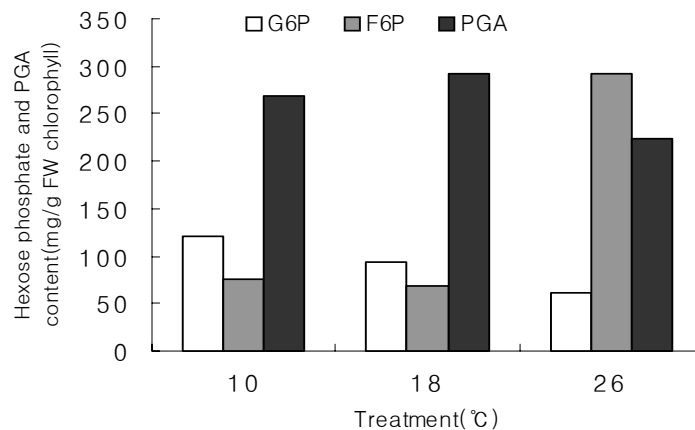


Fig. 5-11 Hexose phosphate and Glyceraldehyde-3-phosphate content in cucumber leaves at 2 weeks after treatment.

그림 5-11은 온도처리에 따른 Hexose phosphate와 PGA의 함량을 온도처리 2주째에 엽을 채취하여 측정된 것이다. Hexose phosphate는 근권온도가 높아질수록 감소하였다. 10℃ 처리구에서 G6P(glucose-6-phosphate)는 121mg으로 26℃에 비해 2배, F6P(fructose-6-phosphate)는 76mg으로 1.4배가 높았다. G6P나 F6P 둘다 근권온도가 높을수록 감소하였고, 온도의 감소할수록 hexose-phosphate의 함량이 증가하는 것은 밀의 엽(Kobza and Edwards, 1987), 보리의 엽(Labate 등, 1990) 그리고 시금치의 엽(Leegood, 1985)에서 나타난다고 보고되고 있다.

PGA(glyceraldehyde-3-phosphate)는 18℃에서 천천히 증가하였고 10℃ 및 26℃에서는 급격히 감소하였다. 10℃에서 감소하는것은 sucrose 합성에 의해 Pi가 부족하게 됨으로서 ATP생산의 제한을 일으키고 차례로 PGA에서 triose-p로 전환되는 것이다. 낮은 근권온도에서 sucrose를 합성하기 위해서는 hexose-phosphate나 triose-phosphate

같은 대사산물의 축적이 있어야 한다(Labate 등, 1990). 저온조건에서 PGA의 함량이 감소하는 것은 해당과정에서 에너지 생산이 제한된 것과 전분과 당의 합성에 의한 결과이다(Salisbury and Ross, 1985). 또한 Ribulose -1,5-biphosphate 재생의 제한은 낮은 근권온도에 의한 ATP나 NADPH 공급의 감소로 인한것이다(Dietz and herber, 1986).

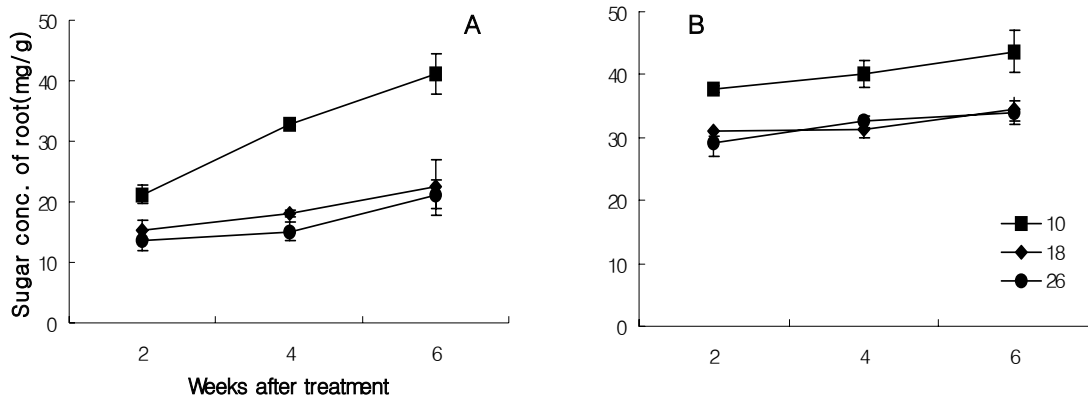


Fig. 5-12. Changes in sugar content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-12은 온도처리에 따른 잎과 뿌리의 당함량을 나타낸 것이다. 잎과 뿌리 공히 10°C처리구에서 당축적량이 높았고 특히 뿌리에서의 당축적량이 현저하게 나타났다. 이러한 결과는 저온처리에 의해 잎과 뿌리조직내에 가용성당의 축적이 일어나며, 저온처리에 따른 가용성당의 축적율은 잎보다 뿌리에서 보다 높음을 보여주었다.

그림 5-13은 온도처리 후 엽과 뿌리 내 전분함량을 나타낸 것으로서 뿌리의 경우 온도처리 초기 10°C에서 가장 높은 축적율을 보였으며 엽에서는 반대로 나타났다. 이러한 다당류의 축적현상은 저온스트레스로 인해 근활력 및 양분흡수의 현저한 감소, 광합성의 감소에 따라 외부적에너지 공급이 어렵게 되므로 저장조직으로의 당분 축적이 일어남과 동시에 생장기관에서는 저장당이 즉시 이용 가능한 환원당으로 전환되어 요구되는 에너지를 공급하기 위한 반응으로 사료된다.

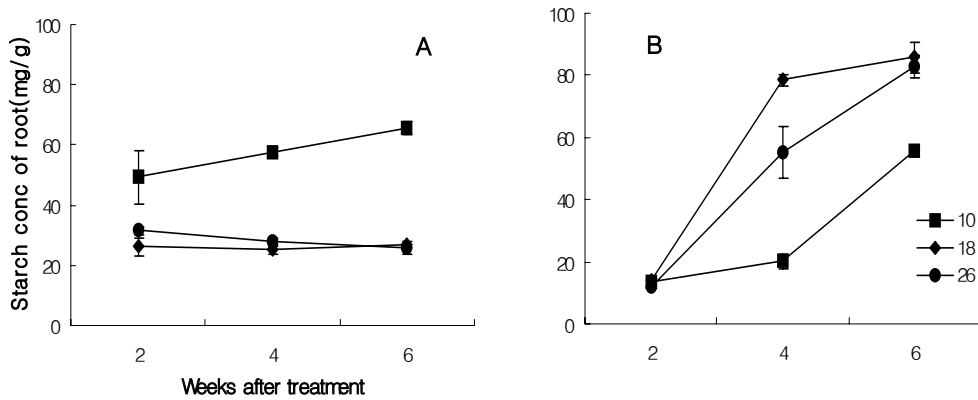


Fig. 5-13. Changes in starch content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

Table. 5-5. Effect of root zone temperature on xylem exudation rate of excised roots. Xylem exudate was collected at the same temperature. Values are given the mean \pm s.e.

| Root zone temperature | Weeks after temperature treatment | | |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| | 2 | 4 | 6 |
| 10°C | 264 \pm 18 | 349 \pm 14 | 361 \pm 26 |
| 18°C | 389 \pm 16 | 441 \pm 21 | 462 \pm 21 |
| 26°C | 394 \pm 21 | 402 \pm 16 | 398 \pm 11 |

표 5-5는 근권온도에 따른 뿌리의 목부 삼출액을 나타낸 것이다. 10°C 처리구는 실험기간동안 목부 삼출액이 증가하였지만 다른 처리구에 비해 수송량이 현저히 저하되는 것을 알수 있었다. 18°C 및 26°C 처리구에서는 초기 2주째까지는 큰 차이를 보이지 않았지만 4주째에 18°C 처리구는 삼출액이 계속 증가하였고, 반면 26°C는 18°C

그에 비해 현저히 삼출액이 감소하는 경향이였다. 낮은 근권온도에서 오이 묘에 대한 가장 두드러진 영향은 목부수송의 현저한 감소였다. 낮은 근권온도는 오이묘의 증산에 심각한 억제요인으로 작용한다(Bowen, 1991). 증산의 감소는 막의 투과성과 연계되어 수분흡수의 장애에 기인한 것으로 생각된다.

Table. 5-6. Effect of root zone temperature on the composition of nitrogenous compound in xylem sap. Xylem exudate was collected at the same temperature during treatment. Values are given the mean \pm S.E. for n=3

| | | Weeks after temperature treatment | | |
|--------------|------|-----------------------------------|----------------|----------------|
| | | 2 | 4 | 6 |
| Nitrate (mM) | 10°C | 16.5 \pm 1.2 | 14.1 \pm 1.3 | 18.9 \pm 1.8 |
| | 18°C | 25.4 \pm 1.1 | 26.9 \pm 1.4 | 32.4 \pm 1.7 |
| | 26°C | 26.5 \pm 1.6 | 28.8 \pm 1.2 | 33.6 \pm 1.3 |
| Total N (mM) | 10°C | 30.5 \pm 1.7 | 32.2 \pm 1.8 | 33.6 \pm 1.1 |
| | 18°C | 36.9 \pm 1.0 | 37.9 \pm 1.4 | 40.4 \pm 1.6 |
| | 26°C | 38.7 \pm 1.6 | 37.2 \pm 2.0 | 41.5 \pm 2.1 |

표 5-6은 근권온도가 목부삼출액의 질소화합물 조성에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 목부 삼출액에서 total-N 과 nitrate의 농도는 18°C 및 26°C에 비해 10°C 처리구가 현저히 낮았다. 18°C 및 26°C 처리구에서 total-N 및 nitrate의 농도는 별다른 차이가 보이지 않았다. 그림 5-14은 온도처리에 따른 잎과 뿌리의 NO₃-N의 축적율의 변화를 나타낸 것으로서 뿌리의 질소함량은 10°C처리가 다른 처리구에 비해 월등히 높았고 잎의 질소함량은 이와는 반대로 26°C에서 가장 높은 축적을 보여주었다. 이는 저온조건하에서 성장 및 대사적 특성은 잎과 뿌리 생장에 제한을 받게 되며 뿌리 내 질소가 축적되는 현상이 나타난다. 지상부와 뿌리는 신호전달에 의해 저장물질의 분해와 물질전이를 하는데 이 같은 뿌리 내 질소축적현상은 지상부의 낮은 성장과 요구도로 인해 Xylem의 양분전이의 감소와 Phloem에서의 저장조직으로의 동화산물 전이의 증가와 관련된 것으로 사료된다.

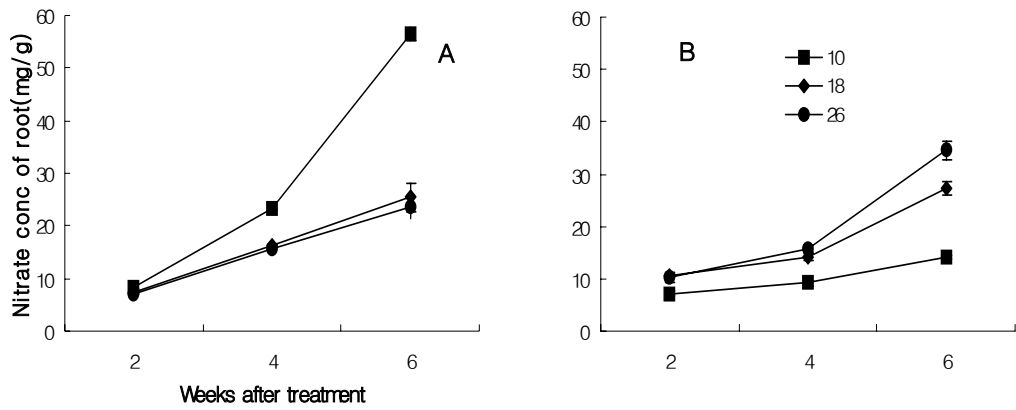


Fig. 5-14 Changes in nitrate content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

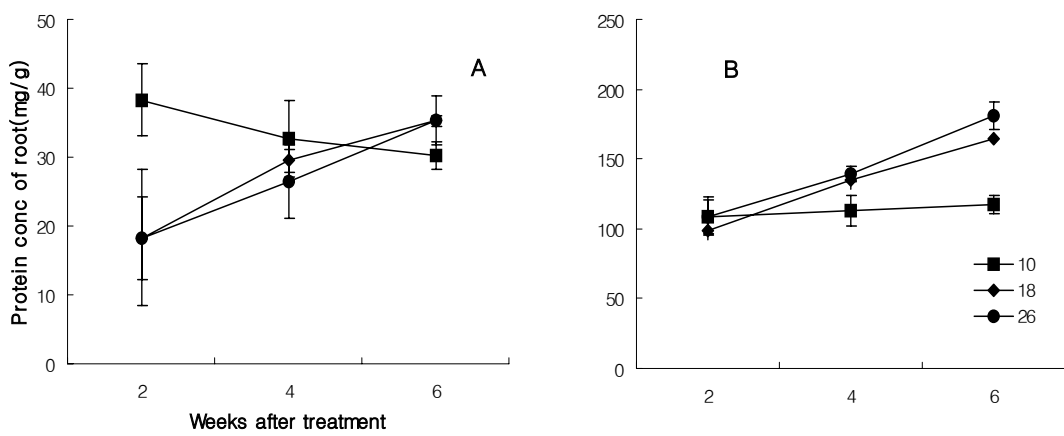


Fig. 5-15. Changes in protein content in root(A) and leaf(B) as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-15는 온도처리에 따른 잎과 뿌리의 단백질 함량을 나타낸 것이다. 뿌리에서는 온도처리 초기 10℃에서 단백질의 함량이 다른 처리구에 비해 2배 이상 높게 나타났는데 이는 저온에 관한 많은 연구에서 보여지는 바와 같이 저온 스트레스로 인하여 저온내성 유전자를 발현시키기 위한 일종의 생리적 반응이라고 보여진 반면 처리일수가 경과할수록 감소하는 경향이었으며 잎의 경우에는 26℃에서 함량이 가장 높았다.

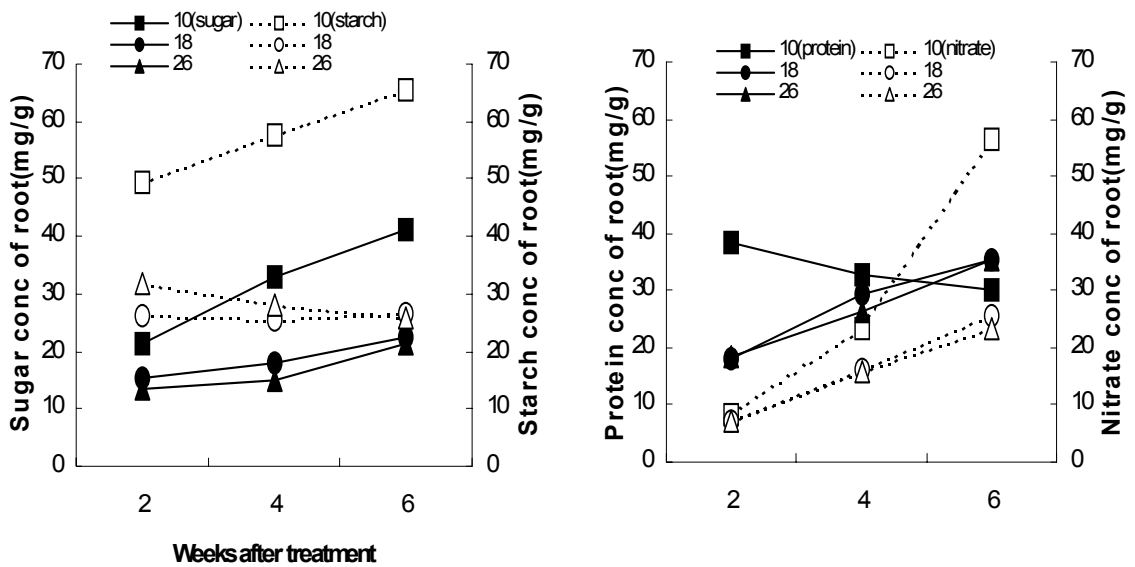


Fig. 5-16. Comparison of sugar, starch, protein and nitrate content as affected by root-zone temperature of hydroponically grown cucumber plants.

그림 5-16는 뿌리내 당과 전분 그리고 질소와 단백질의 상관관계를 나타낸 것으로서 당, 전분과 같은 동화산물은 공히 10℃에서 축적이 높았는데 당보다는 전분의 축적량이 보다 높게 나타나므로 오이에서의 다당류 축적은 주로 전분형태이고 당은 즉시 이용 가능한 환원당이므로 보다 축적이 낮은 결로 사료된다. 질소와 단백질을 보면 18, 26℃에서는 질소의 축적이 증가할수록 단백질함량도 높아지는 경향이었으나 10℃에서는 질소함량이 낮은 초기에 단백질의 함량이 현저히 높았으며 처리일수가 경

과할수록 질소의 축적이 현저히 증가한 반면 단백질의 함량은 감소하는 것을 보여주었다. 이는 저온에 의해 양분흡수 및 이동에 제한을 받게 된 뿌리에 질소가 높게 축적은 되지만 질산환원효소의 활력이 낮아 단백질합성이 감소된 것으로 사료된다.

오이는 과채류 중에서도 온도에 대한 생육 반응이 비교적 민감하기 때문에 온도 관리 여부가 생육을 좌우하는 경우가 많다. 겨울동안에 오이 생산에 영향을 미치는 가장 제한적인 요인 중의 하나는 근권온도(Root Zone Temperature)이다. 작물의 생육에 있어 근권온도는 뿌리의 신장 및 양수분의 흡수에 관여하여 생육에 영향을 미치고, 특히 뿌리의 발달에 관여하여 생육에 영향을 미치지만 뿌리가 요구하는 적정 근권온도는 작물의 종류와 생육의 단계에 차이가 있다. 적절한 근권온도와 작물생육과의 관계를 이해하여 알맞은 지하부 온도를 유지하여 주는 게 매우 중요하다. 오이의 생육에 적당한 근권온도는 20~23℃ 내외로, 12~13℃ 이하에서는 생육이 정지되나 25℃ 이상이 되면 줄기와 잎이 웃자라게 되고 노화를 촉진시켜 재배기간을 단축시킨다.

낮은 근권온도는 뿌리의 활성(Bowen, 1991)과 줄기의 생장(Bugbee and White, 1984; Adams, 1988), 뿌리의 호흡(Masuda and Gomi, 1984), 무기양분의 흡수(Clarkson, 1991), 광합성(Labate 등, 1990) 및 과실의 품질과 수량(Tachibana, 1987)에 영향을 미치며, 이는 식물의 대상에 있어서 근권온도의 광범위한 영향력을 나타낸다. 식물생산시설에서 재배되는 거의 모든 작물들이 근권온도가 13~25℃의 범위를 벗어나면 생육이 불량해지게 된다. 이는 근권온도가 13℃보다 낮아지면 근으로의 수분 및 양분의 흡수가 억제되고 또한 25℃를 넘게되면 근의 호흡속도가 상승하고 동화산물의 소모가 촉진되기 때문이다(高橋, 1983). 예를들면 토마토의 경우 생육에 최적인 근권온도는 21~22℃이며, 이는 최적 주간기온과 최적 야간기온의 사이가 된다. 근권온도가 15℃이하로 되면 근의 기능이 저하하고 지상부의 생육이 억제된다. 8℃에서는 근모의 발생이 정지되고, 6℃에서는 근의 신장이 정지되며, 4℃가 되면 근의 양수분 흡수가 정지된다(田中, 1984).

근권온도가 식물생육에 미치는 영향의 정도는 작물의 종류에 따라 다르지만 근권온도가 낮아질수록 증산속도도 저하하게 되는데 이것은 낮은 근권온도하에서 근으로부터의 수분흡수가 억제되는 것과 관계가 있으며(Kramer, 1983), 온도저하에 따라 조직의 흡수저항이 증가하는 것과 함께 물의 점도가 증대되어 근의 수분흡수를 억제하는 요인이 된다.

시설내에서 오이의 근권온도를 12~36℃ 범위로 재배하였을 때, 지상부 생육과 엽면적은 24℃와 30℃ 범위에서 가장 좋았으며, 토마토 박막재배시 14, 18, 22, 26℃로

조절하여 10주 재배하였을 때 초기에는 근권온도가 높을수록 건물중은 증가하였으나 10주후에는 18℃에서 건물중이 가장 무거워 14~26℃ 범위에서는 재배시기에 따라 적온범위가 다르다고 하였다(Adams, 1988; Gosselin and Trudel, 1983). 이와 같이 근권온도는 지상부 온도와 더불어 작물생육에 많은 영향을 주며 양분흡수에도 지대한 영향을 미쳐 14℃ 이하의 저온에서 오이의 수분흡수는 심하게 저하되었고 무기양분의 흡수는 17℃ 및 20℃이하에서도 크게 저해를 받았다고 하였다(Tachibana, 1987). 일반적으로 무기양분의 흡수는 일정온도까지는 지온이 높아짐에 따라 증가되며 저온하에서 무기양분 흡수저해는 다량원소의 경우 인산이 가장 크고 다음으로 칼륨, 질산태 질소순이라고 하였다(Bower, 1991; Mackay and Barber, 1984).

근권온도에 따른 작물의 지하부 및 지상부 생육, 양분 및 수분 흡수, 광합성의 증가는 수량 향상에 직결되는 요인들로 토마토 양액재배시 지온 13℃하에서 전체수량은 무가온구의 1m² 15.9kg에 비하여 25℃에서 18.9kg으로 증가되었다고 한다(Maher, 1978). 또한 겨울철 토마토 재배시 야간기온을 5℃ 및 9℃로 낮게 유지하면서 근권온도를 25℃로 유지하는 경우 토양을 가온하지 않고 야간온도를 13℃로 재배하였을 때와 동등한 수량을 보였다(Jones 등, 1978).

오이는 20~25℃의 기온에서 23~25℃의 토양온도가 생장이 가장 양호한 것으로 보고되고 있다. 그래서 토양난방장치를 사용할 필요가 있다. 낮은 토양온도의 생장억제 효과를 극복하기 위한 접근으로 접목을 실시하고 있으며, 이러한 접근은 현재 한국과 일본에서 널리 쓰여지고 있다. 그래서 시설재배의 약 80%는 접목을 시켜 무가온 재배를 하고 있다. 접목의 또 다른 이점은 대목이 감수성이 아니기 때문에 토양병해 문제를 회피할 수 있다.

근권온도에 따른 작물의 성장반응을 살펴보면 지상부의 성장을 나타내는 건물중 혹은 엽면적, 과채류에서의 과실수량이나 품질 등 보는 관점에 따라 근부 적온범위가 다르게 나타남을 알 수 있는데, Cooper(1973)는 근권온도에 관한 연구논문을 정리하면서 상반되는 결과들을 발견하고 작물종이나 품종 또는 성장조건 등에 따라 연구결과에 차이가 있음을 보고하였다.

Fujishige와 Sugiyama(1968)는 10℃에서 35℃범위 내에서 근권온도를 조절하여 토마토 유묘를 7~10일간 성장시킨 결과 지온상승으로 유묘엽의 신장과 생체중이 증가하였으며, 토마토 유묘의 지상부 성장을 위한 적정 온도범위는 20~30℃라고 하였다. Tachibana(1987)는 근권 저온하 뿌리의 생리기능 연구에서 액온이 상승하면 T/R율은 증대되는데 증대되기 시작하는 온도는 오이가 12~14℃, 온실메론은 14℃, 수박은 1

4~17℃라 하였으며, 그 이하의 액온에서는 뿌리의 생장이 현저히 불량하게 되어 T/R 율이 반대로 증대하는 경향이었으며, 또한 저액온에서는 가끔 신엽에서 엽중 엽록소 함량 감소와 함께 白花現象(chlorosis)이 발생하였는데, 여름오이는 14℃이하, 봄 오이는 12℃이하, 수박은 17℃이하에서 발생하였고 엽의 함수율이 저하하였다고 하였다. Newton 등(1988)은 평균기온이 18℃일대 액온을 18℃에서 28℃까지 높여주면 오이 뿌리의 건물중이 증가한다고 보고하였으며 Hogue와 Neilsen(1986)도 어린 사과묘에 대해 동일한 결과를 보고하였다.

양액재배 오이의 기온, 액온관리는 기본적으로 토경의 경우에 준하여 실시하게 되는데, 겨울철의 양액가온과 여름철의 양액냉각이 필요하다. NFT에서 양액의 근권온도가 한계온도까지 내려가더라도 주간에 근권온도가 18℃까지 상승한다면 저온장해를 보상할 수 있지만 액온변화가 적은 담액수경이나 암면재배에서는 가온을 하지 않는다면 정상적인 생육을 바랄 수 없다고 하였다(農山漁村文化協會, 1989).

근권의 가온효과는 작물의 생육시기에 따라서도 다르다. Bugbee와 White(1984)는 어린 토마토의 생장에 알맞는 근권온도는 처음 4주째는 25~30℃이며 5~6주째는 20~25℃이었다고 하였으며, Graves(1986)는 토마토의 품질을 좋게하기 위해서는 첫 수확 전까지 15~18℃로 유지시켜주는 것이 좋으며, 뿌리 및 지상부 생장이나 과실수량 증가를 위해서는 계속해서 25℃까지 액온을 올려주는 것이 좋다고 하였다. Tachibana(1983)는 과채류는 생육초기에 30℃에서도 정상적으로 생육하지만 생육이 진전되면 과채류나 엽근채류에서는 30℃의 액온이 고온에 속한다고 하였다.

약광조건하에서 오이 유묘생장은 적절한 근권온도에 의존하는데 이기간에는 근권배지의 보온효과를 기대하기는 힘들다. 근권온도가 16℃나 그 이하가 되면 근사(root death)나 빈약한 지상부 생장으로 나타나고, 이들 저온에서 오이의 근생장이나 양수분 흡수는 급격히 감소한다(Tachibana, 1982, 1987).

한편 수경재배에 있어서 배양액의 적극적인 가온으로 야간 저기온시의 생육억제작용을 어느 정도 억제할 수 있다고 알려져 있는데(Janes and Mcavoy, 1983), Gosselin과 Trudel(1983)은 낮의 광조건 하에서는 상대적으로 근권 온도의 작용보다도 광조건이 크게 생장에 영향을 미치지만 빛이 없는 야간에는 근권 온도의 상승으로 인한 생장 촉진 효과가 매우 클 것이라고 하였다. 또한 Maher (1978)는 주간기온이 20℃이고 야간기온이 13℃로 낮을 때 양액 온도를 25℃로 가온하면 토마토의 뿌리가 굵어지고 토마토의 과실이 커지지만 야간기온이 높을때(18℃) 양액온도가 높으면 과실수가 감소한다고 하여 야간온도가 높을 경우에 근권온도를 높

이는 것은 오히려 작물의 성장을 저해할 수 있음을 시사하였다.

근권온도는 뿌리의 성장뿐만 아니라 가스교환, 수분흡수, 양분흡수 등 뿌리의 생리적 기능에 큰 영향을 미치는데, Yoshida와 Eguchi(1989)는 오이유묘의 근권온도가 가스교환과 수분흡수에 미치는 영향을 살펴본 결과, 16°C 이상 28°C 이하의 근권온도 범위에서는 온도가 증가함에 따라 산소흡수와 수분흡수는 서로 평행적인 sigmoidal curve를 보이며 증가하나, 12°C 이하의 근권온도에서는 가스교환 및 수분흡수가 감소한다고 하였다. Udagawa 등(1989)은 높은 근권온도는 식물체의 수분흡수와 신엽에서의 증산량을 더욱 많게 하지만 근권온도가 신엽의 수분포화에 미치는 영향은 적었다고 하였다. Tachibana(1987)는 12~30°C의 온도범위내에서 오이뿌리의 온도를 조절하여 수분흡수와 양분흡수를 본 결과 17~20°C 이하의 온도에서는 수분 및 양분의 흡수가 저해되며, 특히 양분의 흡수가 크게 저해된다고 하였다. 일반적으로 무기양분흡수는 근권온도 상승과 함께 증가하는 것으로 알려져 있다.

Papadopoulos와 Tiessen(1987)은 근권온도는 양분흡수와 전이에 영향을 미쳐 식물의 영양상태를 직접 좌우한다고 하였는데, 그 원인으로서 Kramer(1983)는 미생물 활성, 근계의 크기 및 길이의 차이에 따른 원소의 이용율변화, 동화산물의 산화나 전이의 조절차이에 따른 양분흡수력의 변화, 물이나 세포막의 점성차이에 의한 막투과력의 변화를 들고 있다. Rudd-Jones와 Winsor(1978)도 양분흡수는 수분흡수와 고도의 상관관계가 있다고 했으며, Yelle 등(1987), Perby와 Jensen(1986), 西野(1987) 등도 양액온도에 따른 양수분 흡수와 전이, 생육 및 수량차이를 보고하였다.

토마토에서 근권저온은 NO_3 흡수를 저해하고 NH_4 흡수를 촉진하며, 낮은 기온에서 양액을 가온하면 상추의 생장은 양호하나 NO_3 농도가 높아진다고 한다(Boon et al., 1990). 토마토 잎의 P(Gosselin and Trudel, 1984a; Locascio and Warren, 1960)와 K(Gosselin and Trudel, 1984b) 함량은 높은 근권온도에서 많았다. 오이에서도 뿌리의 온도가 17°C 일 때는 NO_3^- 흡수가 저해되며, NH_4^+ 의 흡수가 많아진다고 하였다. 잎의 Mg 함량은 근권온도의 상승에 따라 증가하지만 잎의 Ca 함량은 영향을 받지 않는다(Gosselin and Trudel, 1984a), Mg과 Ca간의 길항작용은 근권온도의 영향을 받지 않는다고 하였다.(Gosselin and Trudel, 1984b). Gosselin과 Trudel(1986)도 고온에서 고추 식물체내의 N, P, K 함량은 증가하지만 Mg와 Ca 함량은 감소한다고 하였다.

Adams(1988)는 토마토에서 근권온도 14~26°C 범위에서는 온도가 상승함에 따라 수분, N, P, K 흡수는 증가하였으나 Ca, Mg 흡수는 단지 22°C까지만 증가하였고, 엽의 N, P, K, Ca, Mg 함량은 22°C 이상의 근권온도에서는 더 이상 증가하지 않았다고 보고

하였다.

식물이 광합성을 행할수 있는 온도범위는 매우 크다. 정상적인 온도의 증가는 물의 광분할이나 잎으로의 CO₂ 확산에 거의 영향을 미치지 않지만 CO₂ 고정 및 환원의 생화학적 반응에는 크게 영향을 준다. 일반적으로 캘빈회로나 그밖에 다른 대사과정에서의 온도의존도에 의한 광합성은 다르게 나타난다(Leegood and Walker, 1983). 근권온도가 작물생장과 대사(Masuda and Gomi, 1984)에 막대한 영향을 미치는 중요한 요인중 하나임에도 불구하고 오이가 장시간 동안 온도로 인한 스트레스를 받게 될 때 일어나는 탄소대사의 변화에는 여전히 무지하다.

한편 질소는 식물체를 구성하는 여러가지 물질속에 들어있으나 그 대부분이 단백질 분자내에 존재하고, 토양으로부터 산화형으로 흡수된 다음 체내에서 에너지를 소비하는 대사과정을 통하여 환원된 후 단백질을 비롯한 다른 세포 구성물질 합성에 통합된다. 질소동화의 경로는 고등식물에서 확립됐지만 오이의 근권온도에 대한 질소대사의 영향은 아직까지 정확히 밝혀지지 않았다.

근권온도에 따른 LAI는 온도의 증가에 따라 비례적으로 증가하였고 NAR도 같이 증가하였으나 26℃가 18℃보다 낮은 것은 잎의 상호 차폐로 인해 잎이 받는 광도가 줄어들기 때문이라고 하였다(Akock 등, 1990). 이러한 저온 생육조건에서 성장률의 감소는 당 및 저장 유기물이 축적되는 반면 새로운 조직의 성장에 이용되는 비율이 현저히 감소되는 생리적 현상(Koster 와 Lynch, 1992; Pollock와 Engles, 1988)과 밀접한 관련이 있다고 보고하였다.

Hexose phosphate는 근권온도가 높아질수록 감소하였는데 Kobza 등은(1987) G6P나 F6P 둘다 근권온도가 높을수록 감소하였고, 온도의 감소할수록 hexose-phosphate의 함량이 증가하는 것은 밀의 엽, 보리의 엽 그리고 시금치의 엽에서 관측되었다고 하였다. PGA(glyceraldehyde-3-phosphate)는 저온조건에서 감소하는데 이는 sucrose 합성에 의해 Pi가 부족하게 됨으로서 ATP생산의 제한을 일으키고 차례로 PGA에서 triose-p로 전환되는 것이다. 낮은 근권온도에서 sucrose를 합성하기 위해서는 hexose-phosphate나 triose-phosphate 같은 대사산물의 축적이 있어야 한다(Labate 등, 1990). 저온조건에서 PGA의 함량이 감소하는 것은 해당과정에서 에너지 생산이 제한된 것과 전분과 당의 합성에 의한 결과이다(Salisbury and Ross, 1985). 또한 Ribulose-1,5-biphosphate 재생의 제한은 낮은 근권온도에 의한 ATP나 NADPH 공급의 감소로 인한것이다(Dietz and herber, 1986).

낮은 근권온도에서 가용성 당함량의 증가는 호흡경로의 활성증가와 관련지어 생각

할 수 있고(Lambers, 1985), 저온처리에 의해 Rape의 잎에 가용성 당이 높게 축적되는 것 또한 호흡경로의 자극에 의한 결과라고 보고하였다(Rychter 등, 1988). 이러한 결과는 저온처리에 의해 잎과 뿌리조직내에 가용성당의 축적이 일어나며, 저온처리에 따른 가용성당의 축적율은 잎보다 뿌리에서 보다 높음을 보여주었다.

특히 저온처리구는 온도처리 초기부터 전분함량이 지속적으로 증가하고 이러한 축적현상은 온도처리 초기에 증가폭이 뚜렷하게 나타나는데 이러한 결과는 고온 스트레스(Xu and Huang, 2000), 건조 스트레스(Schellenbaum 등, 1990) 그리고 인산결핍 스트레스(Qiu and Israel, 1992)등과 같이 스트레스 조건에서 전분의 함량이 증가하는 것과 같은 결과이다.

낮은 근권온도에서 오이 묘에 대한 가장 두드러진 영향은 목부수송의 현저한 감소인데 Bowen(1991)은 낮은 근권온도는 오이묘의 증산에 심각한 억제요인으로 작용한다고 보고하였고 Raison(1985)은 증산의 감소는 막의 투과성과 연계되어 수분흡수의 장애에 기인한다고 하였다. 낮은 근권온도가 막의 투과성을 변화시키면 초기 2주까지는 뿌리내 높은 질소농도가 배지로부터 질소의 흡수를 강하게 억제한다고 하였다(Larsson 등, 1991). 저온조건하에서 성장 및 대사적 특성은 잎과 뿌리 생장에 제한을 받게되며 뿌리 내 질소가 축적되는 현상이 나타난다는 것을 알 수 있었다. 지상부와 뿌리는 신호전달에 의해 저장물질의 분해와 물질전이를 하는데(Clarkson 등, 1986) 이 같은 뿌리 내 질소축적현상은 지상부의 낮은 성장과 요구도로 인해 Xylem의 양분전이의 감소와 Phloem에서의 저장조직으로의 동화산물전이의 증가와 관련된 것으로 사료된다(Cooper and Clarkson, 1989; Engels 등, 1992)

2) 근권부 무기염류(N, P, K, Ca, Mg 및 기타 미량원소)가 식물체내 무기염류 함량변화, 뿌리 영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향 구명

가. 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

표5-7은 정식 후 30일후의 무기염류의 과잉 및 결핍구의 성장특성을 나타낸 것이다. 다량과 미량원소의 과잉과 결핍구 대부분의 처리구에서 1배인 대조구가 초장, 경경, 엽수, 엽면적 및 생체중에서 모두 양호한 결과를 내었다. 그러나 인의 2배처리구에서는 초장, 엽면적, 생체중에서 대조구보다 양호한 성장을 나타냈다. 이는 P의 과잉

으로 뿌리의 생장이 촉진되어 양수분의 흡수가 원활하여 생장이 증가된 것으로 보이
나 인이 충분하면 성숙이 촉진되는 결점이 있다. 각 처리구의 생장이 대조구보다 저
조한 것은 양분의 과잉과 결핍에서 오는 결과로서 특정 양분의 대소뿐만 아니라 무기
염류간의 길항작용에 의한 양분 흡수의 불균형으로 초래된 것으로 보인다. 오이에 있
어서 양액, 기온 그리고 태양방사에 따른 수분, 질소, 인 및 칼슘의 흡수에 대해 연구
를 보면 수분, 질소, 칼슘 흡수량의 일중 변화는 광도($<3\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$)와 기온 ($19\sim$
 26.5 . C)의 변화와 아주 밀접한 관련이 있으며, 최고 흡수율은 기온과 광도가 최고일
때 역시 이와 유사하다. 반면 인 흡수의 일중 변이는 광도의 직접적인 영향은 적었으
며 양액 온도가 큰 영향을 미치는데($22.1\sim 27.2^\circ\text{C}$), 양액의 온도가 최고일 때 흡수율도
가장 높으며, 질소와 칼슘의 흡수도 수분흡수와 함께 연관성이 깊다. 따라서 배양액내
다량원소 및 미량원소 흡수를 파악하여 상호작용으로 인한 성장반응과 체내 무기염류
함량변화, 뿌리영양스트레스 및 생리활성에 대하여 조사가 필요하다.

그림 5-17, 18, 19는 다량원소의 과잉과 결핍구의 배양액 내 pH와 EC의 변화를 나
타낸 것이다. 질소와 칼리의 과잉구에서는 시간이 지남에 따라 pH가 증가하는 경향을
보였지만 결핍구에서는 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다. EC의 경우 질소와 칼리
의 과잉결핍구에서는 거의 처리구별로 일정한 경향을 나타내었으나 인과 칼슘 및 마
그네슘은 처리구별로 일정한 경향을 보이진 않았다.

Table 5-7. Growth characteristics as affected by mineral element at 30days after transplanting.

| | | Plant height (cm) | No. of leaves (ea/plant) | Stem diameter (mm) | Leaf area (cm ²) | Fresh wt.(g/plant) | | | | |
|----|-----|-------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|--------------|------|------|-----------------|
| | | | | | | Leaf | Leaf petiole | Stem | Root | Total fresh wt. |
| N | 1/8 | 70.5 | 18.0 | 5.87 | 560 | 6 | 5.5 | 16 | 5 | 32.5 |
| | 1/4 | 128.0 | 21.5 | 7.49 | 1907 | 46 | 19.0 | 40 | 15 | 120.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| | 2 | 213.5 | 14.0 | 8.87 | 6053 | 126 | 60.0 | 88 | 87 | 361.0 |
| | 4 | 167.0 | 9.0 | 7.49 | 3470 | 75 | 29.0 | 53 | 60 | 217.0 |
| P | 1/8 | 226.5 | 20.0 | 7.82 | 6650 | 150 | 74.0 | 85 | 85 | 394.0 |
| | 1/4 | 231.0 | 22.0 | 7.99 | 5834 | 124 | 62.0 | 96 | 69 | 351.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| | 2 | 240.5 | 21.5 | 8.39 | 7535 | 168 | 88.0 | 104 | 114 | 474.0 |
| | 4 | 200.5 | 22.5 | 7.51 | 5115 | 107 | 60.0 | 79 | 86 | 332.0 |
| K | 1/8 | 228.5 | 19.5 | 7.75 | 5908 | 140 | 66.0 | 94 | 91 | 391.0 |
| | 1/4 | 210.0 | 18.0 | 7.40 | 6255 | 132 | 70.0 | 88 | 67 | 357.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| | 2 | 183.5 | 22.0 | 7.37 | 4406 | 105 | 49.0 | 71 | 52 | 277.0 |
| | 4 | 185.5 | 22.0 | 6.79 | 4197 | 107 | 38.0 | 75 | 56 | 276.0 |
| Ca | 1/8 | 206.5 | 20.5 | 7.33 | 4683 | 116 | 55.0 | 142 | 80 | 393.0 |
| | 1/4 | 223.0 | 21.5 | 7.65 | 6523 | 152 | 74.0 | 106 | 88 | 420.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| Mg | 1/8 | 150.0 | 17.5 | 6.73 | 3997 | 91 | 45.0 | 57 | 47 | 240.0 |
| | 1/4 | 235.0 | 23 | 7.98 | 7545 | 177 | 89.0 | 115 | 127 | 508.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| Fe | 1/8 | 145.0 | 16.0 | 6.30 | 2389 | 51 | 19.0 | 46 | 29 | 145.0 |
| | 1/4 | 209.5 | 21.0 | 7.87 | 6020 | 147 | 73.0 | 97 | 109 | 426.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| Mn | 1/8 | 161.5 | 18.5 | 6.54 | 3278 | 64 | 27.0 | 49 | 42 | 182.0 |
| | 1/4 | 193.0 | 21.0 | 7.75 | 5296 | 128 | 63.0 | 84 | 97 | 372.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| Zn | 1/8 | 159.5 | 17.0 | 7.72 | 4006 | 81 | 34.0 | 60 | 41 | 216.0 |
| | 1/4 | 214.0 | 21.0 | 6.87 | 5809 | 128 | 62.0 | 85 | 81 | 356.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| Cu | 1/8 | 176.0 | 17.5 | 6.31 | 4367 | 102 | 42.0 | 62 | 41 | 247.0 |
| | 1/4 | 183.0 | 18.0 | 7.43 | 4509 | 110 | 48.0 | 71 | 60 | 289.0 |
| | 1 | 220.0 | 21.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 98 | 64 | 372.0 |
| B | 1/8 | 180.5 | 16.5 | 6.52 | 4907 | 101 | 75.0 | 72 | 65 | 313.0 |
| | 1 | 220.0 | 19.5 | 8.53 | 6186 | 137 | 73.0 | 68 | 64 | 372.0 |

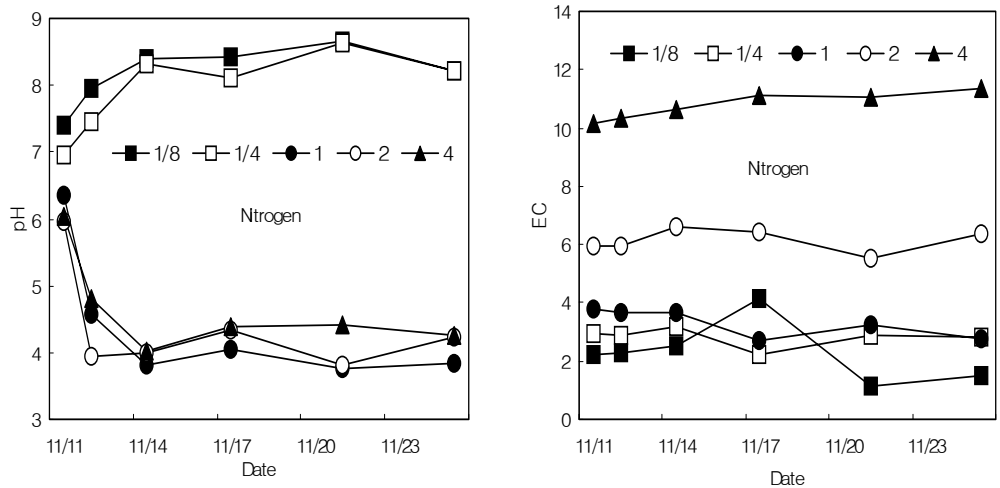


Fig. 5-17. pH and EC in the nitrogen surplus and deficient plot.

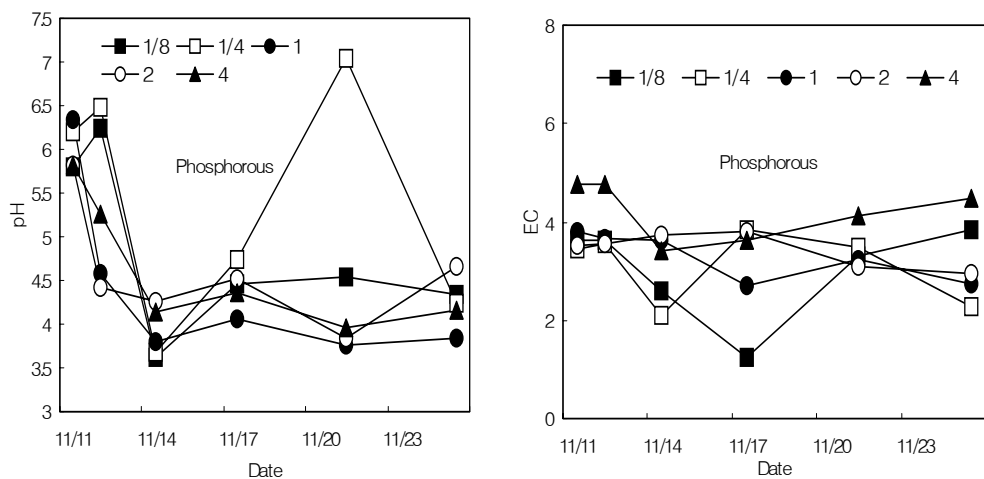


Fig. 5-18. pH and EC in the phosphorous surplus and deficient plot.

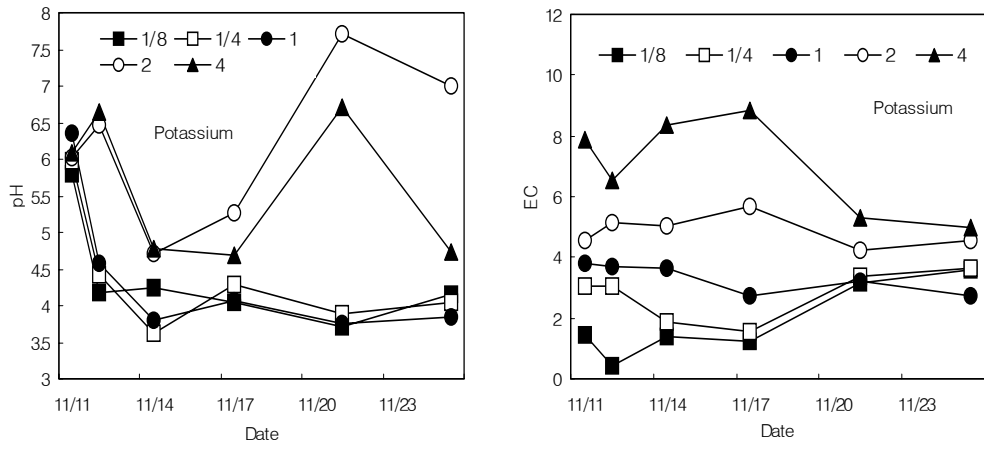


Fig. 5-19. pH and EC in the potassium surplus and deficient plot.

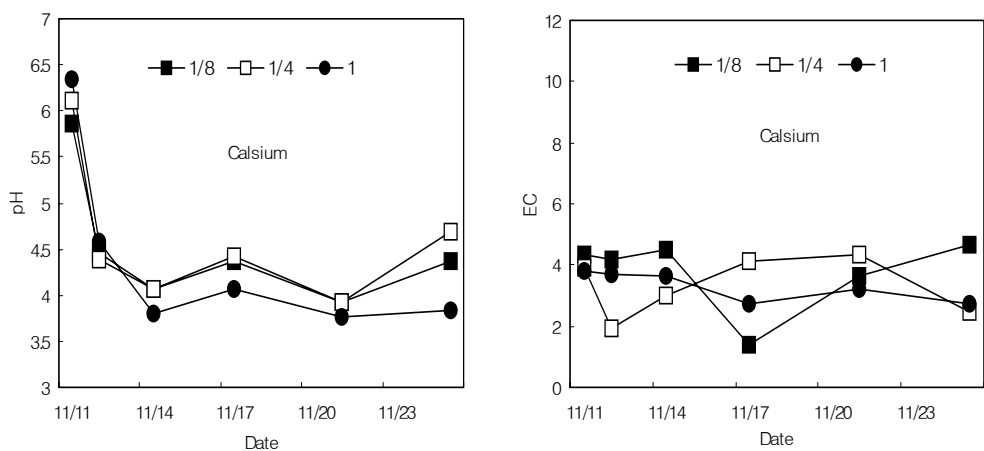


Fig. 5-20. pH and EC in the calcium surplus and deficient plot.

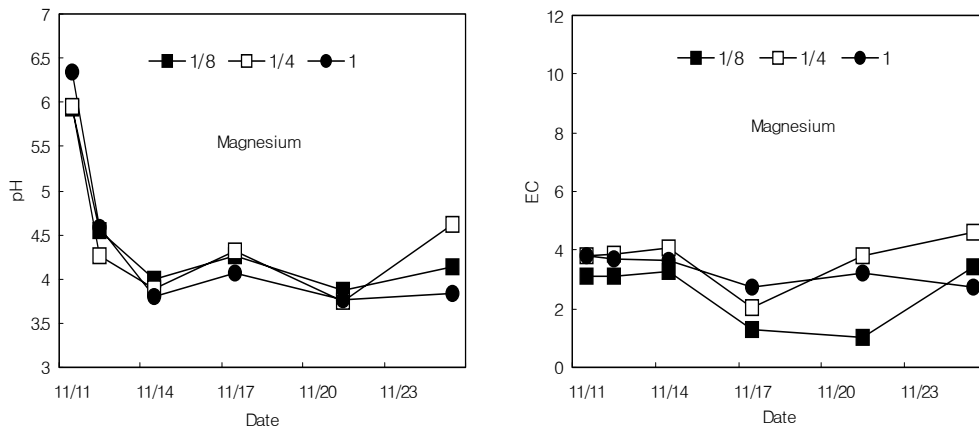


Fig. 5-21. pH and EC in the magnesium and deficient plot.

그림 5-22~30의 다량원소와 미량원소의 과잉 및 결핍구의 근활력에 있어서는 생장이 양호하였던 대조구(1배)의 근활력이 높을 것이라는 예상과는 달리 대조구의 근활력이 다소 낮은 경향을 보였으며 농도가 낮은 1/4과 1/8배의 수준에서 상대적으로 높은 함량을 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때 심도 있는 측정이 요구된다.

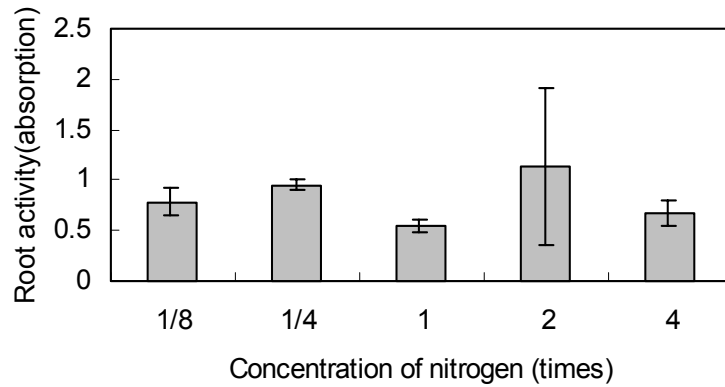


Fig. 5-22. Root activity in nitrogen surplus and deficient plot.

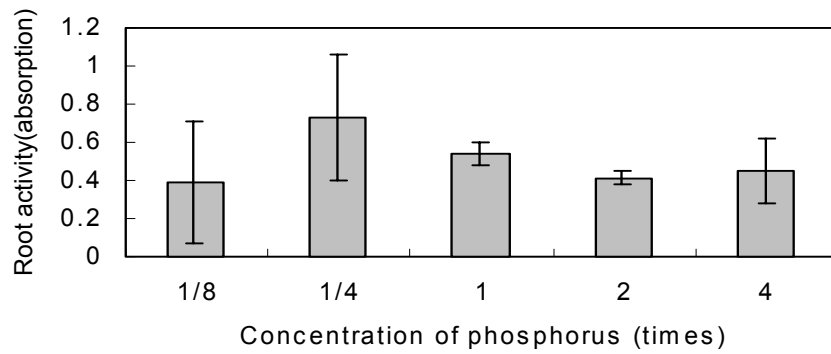


Fig. 5-23. Root activity in phosphorus surplus and deficient plot.

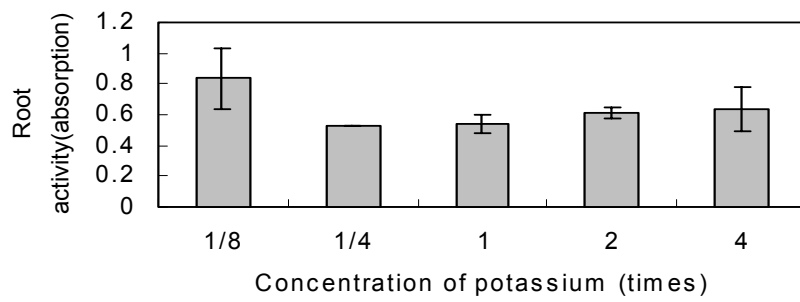


Fig. 5-24. Root activity in potassium surplus and deficient plot.

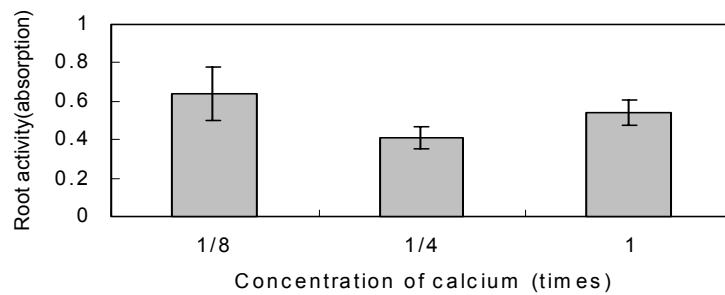


Fig. 5-25. Root activity in calcium deficient plot.

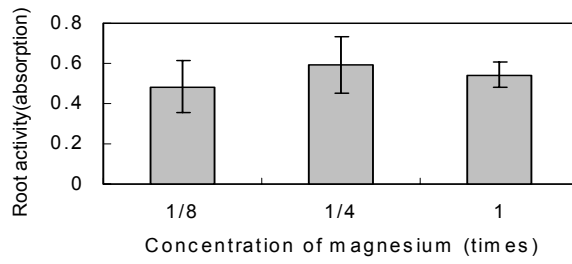


Fig. 5-26. Root activity in magnesium deficient plot.

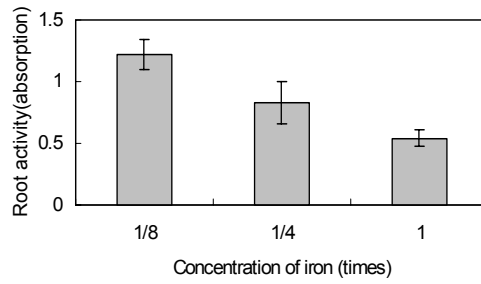


Fig. 5-27. Root activity in Fe deficient plot.

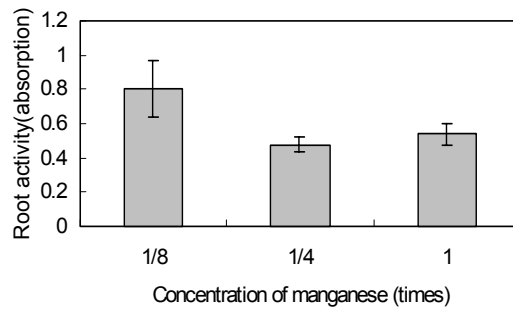


Fig. 5-28. Root activity in Mn deficient plot.

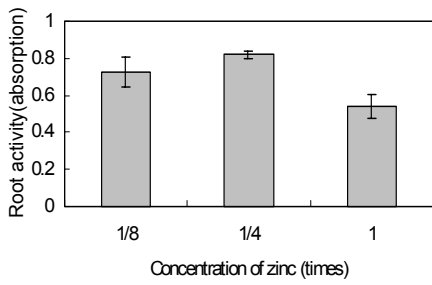


Fig. 5-29. Root activity in Zn def -icient plot.

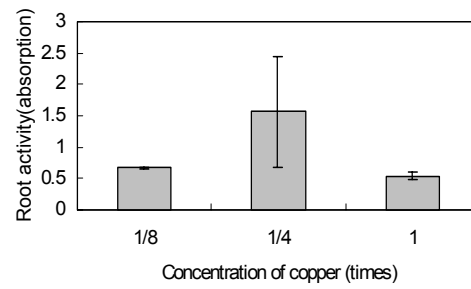


Fig. 5-30. Root activity in Cu def -icient plot.



Fig. 5-31. N 1/4 처리구(30일 경과)



Fig. 5-32. K 2배 처리구 (30일 경과)

질소가 1/4 처리구(그림 5-31)의 경우 아래쪽에 있는 잎은 다소 말라 비틀어지고 심함 경우 식물 전체가 고사하는 경향을 보였다. 칼리의 2배 처리구(Fig. 5-32)에서는 과잉증은 일반적으로 잎줄기 사이의 녹색이 없어지면서 마그네슘 결핍증과 비슷한 증상을 나타내었다. 이러한 백변현상은 칼륨이 과다하게 잔류하여 이들이 서로 길항작용을 일으켜 마그네슘의 흡수를 억제하기 때문으로 생각되며 토양중에 치환성 칼리와 석회가 많이 존재하였을 때 나타날 수 있는 장애현상으로 간주된다.



Fig. 5-33. 칼슘 1/8배 처리구
(30일 경과)



Fig. 5-34. 미량원소의 1/8배 처리구의
뿌리생육(정식후 30일)

칼슘의 경우 1/8배 결핍처리구에서는 처음에 어린잎이 구부러지면서 마침내 끝과 가장자리가 죽는 경향을 보였다. 칼슘 흡수는 다른 양이온과의 길항으로 흡수가 억제되는 것으로 알려져 있다. K는 Ca 흡수를 감소시켜 지상부의 Ca 농도를 감소시키며 K시용량을 증가시켰을 때 유도된다고 한다. 그림 2-32와 같이 낙하산 잎은 석회가 부족할 때 나타나는 증상으로 선단부에 가까운 어린잎의 가장자리부터 나타나기 시작하여 엽 가장자리가 고사하는 경향을 보였다.

그림 5-34의 경우 정식 후 30일의 뿌리의 생장모습을 나타낸 것이다. 대조구(1배)에 비해 생장이 저해됨을 알 수 있으며 특히 철과 구리의 결핍은 뿌리의 생장에 해로운 작용을 하는 것으로 나타났다.

그림 5-35, 36은 K 원소의 과잉과 결핍에 따른 오이의 Ca와 K의 양분함량의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 양액의 농도를 낮게 관리할 경우에는 N과 K, Ca와 Mg, K와 Ca 등 길항작용을 갖는 무기원소의 균형도 흐트러지게 되는 위험성도 커진다. 과실 비대기에는 양액농도를 다소 높게 관리하는 것이 보통이지만 양액농도가 지나치게 높을 경우에도 근권 K의 흡수량보다 잔류량이 많아져 Ca의 흡수가 저해 받게 된다. 생육초기에는 거의 문제가 없지만 중·후기에는 N은 다소 줄일 수 있도록 양액을 조성하고 후기에는 농도의 저하가 심한 K 농도를 높여서 관리하는 방법을 채용할 필요도 있다. 특히, 양액의 농도를 낮게 관리할 경우에는 N과 K, Ca와 Mg, K와 Ca 등 길항작용을 갖는 무기원소의 균형도 흐트러지게 되는 위험성도 커진다. .

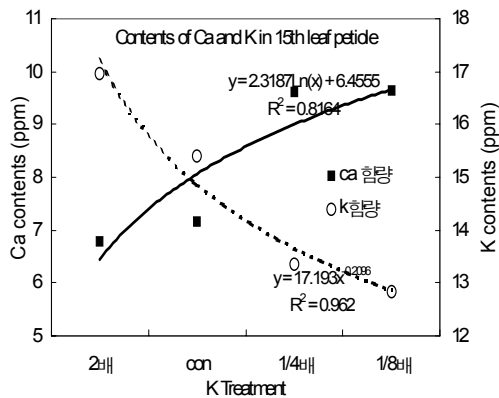


Fig. 5-35. Content of K and Ca in 15th leaf as affected by K surplus and deficient.

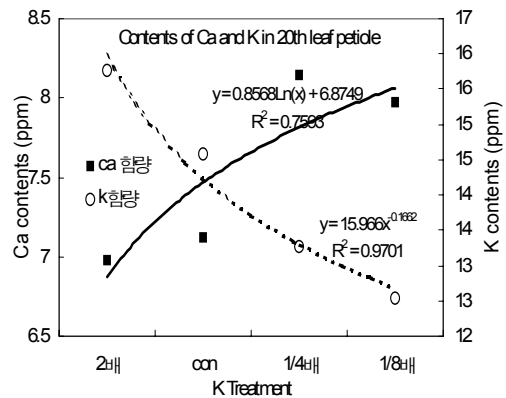


Fig. 5-36. Content of K and Ca in 20th leaf as affected by K surplus and deficient.

그림 5-37, 38과 같이 K 수준 증가는 Mg 결핍 초래하고 앞에서 K 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 양액 농도가 높을 경우에는 Mg의 과잉 증상이 다른 원소에 비해 심하게 나타나는데 Mg의 경우 Ca와 길항작용이 있어 양액 중에 Ca가 많을 때보다 적은 경우에 Mg 결핍증도 경감되며 Ca 농도를 높이면 Mg의 과잉해도 경감되는 결과를 보인다. 또한 뿌리에서 P의 과다는 엽맥사이의 Zn과 Fe을 침전시켜 철황화를 일으키기도 한다.

오이는 양액재배 기간동안 양액중의 이온농도가 큰폭으로 변동하고 있는 상황에서 재배되고 있는 상황이다. 예를들면, 일본 원예시험장 양액 0.5단위로써 약 EC 1.1mS/cm로 재배할 경우 생육초기에는 N, P의 농도가 저하한다. 생육 중·후반기에는 N, Ca, Mg의 농도는 상승하게 되며 K는 생육후기에 현저하게 저하된다.

일본 야마자키양액으로 재배하게 되면 생육초기에 N의 저하가 많으며, 중·후기에는 K가 저하하며 N, Mg의 농도도 저하하는 것으로 보고하고 있어 전체적으로 이온 균형이 흐트러지는 경우는 비교적 적지만 후기에는 원소의 종류에 따라서 상당히 농

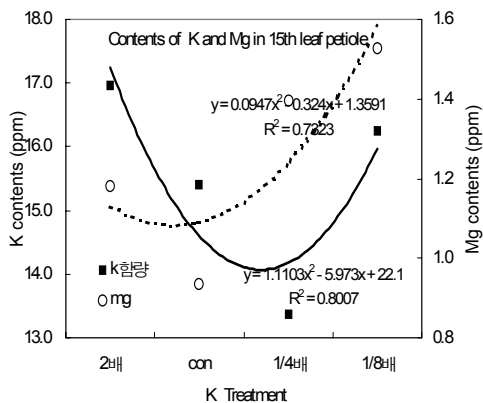


Fig. 5-37. Content of K and Mg in 15th leaf as affected by K surplus and deficient.

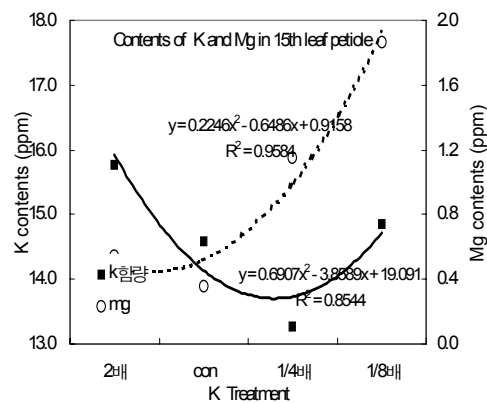


Fig. 5-38. Content of K and Mg in 20th leaf as affected by K surplus and deficient.

도 변화가 심해지는 양상을 보인다. 이처럼 실제 재배에서 양액중의 이온농도가 변동하므로써 수량에 직접적으로 영향하는가는 실증된 바 없지만 보다 높은 수량, 품질을 지향하기 위해서는 이론적으로 균형있는 양액조성과 급액관리가 고려되는 것이 적절할 것으로 생각된다. 또한 영양생장기에는 생리적으로 질소의 흡수량도 증가하므로써 근권의 산도도 함께 증가하여 pH가 6.5 이상으로 높아지게 되며 철, 망간, 붕소, 아연 등의 흡수나 이용도도 불량해진다. 이 경우에는 급액되는 양액의 pH를 5.0~5.5 수준으로 낮추어 줄 필요가 있다. 특히, 양액이 저농도일 경우에는 pH 변화가 극심해지므로 작물체를 고농도에 적응시키는 것도 한가지 방법이 된다.

반면에 과실의 비대·발육기에는 K의 흡수량이 많아지면서 근권 pH도 저하하는 경향을 보이며 pH가 5.5 이하로 낮아지게 되면 N, P, K, Ca, S 및 Mo 등의 흡수가 불량해진다. 그 결과 Ca 흡수장애가 쉽게 발생하며 K 결핍 증상도 많아져 엽연 부위가 타들어가거나 배꼽썩이 과실의 발생, 과실의 착색이 지연 또는 불량 등의 생리장애가 많아진다. 이 경우에는 급액 pH를 6.0 내외로 관리하면서 암모니아태질소(NH₄-N) 대신에 질산태질소(NO₃-N) 비료를 질소 급원으로 하는 것이 유리하다.

양액재배에서 비교적 많이 발생하는 생리장애 중에서 영양 결핍증으로 발생하는 것은 Ca, Mg, K 등의 다량원소와 Fe, B, Mn 등의 미량원소 결핍이 많다. 이 경우에도 환경요인과 관련하여 가장 많이 발생하는 것이 Ca 결핍이며 배꼽썩이 과실의 발생원인으로 밝혀지고 있다.

나. 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

Table 5-8. Growth characteristics as affected by the surplus and deficient of macro andmicro elements at 25days after transplanting.

| | Plant height (cm) | Stem diameter (mm) | No. of leaves (ea/plant) | Leaf area (dm ²) | Fresh weight (g/plant) | | |
|-------|-------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|------|------|
| | | | | | Leaf | Stem | Root |
| CON | 88.25 | 7.01 | 21.75 | 61.70 | 39.5 | 32.5 | 29.5 |
| N 과잉 | 67.50 | 6.79 | 18.50 | 55.36 | 26.0 | 19.0 | 25.0 |
| P 과잉 | 82.00 | 5.80 | 20.00 | 48.40 | 28.0 | 23.0 | 26.0 |
| K 과잉 | 48.50 | 6.56 | 17.50 | 24.61 | 20.0 | 12.0 | 18.0 |
| N 결핍 | 55.50 | 5.52 | 16.00 | 22.94 | 16.0 | 12.0 | 19.0 |
| P 결핍 | 76.00 | 6.17 | 19.50 | 43.81 | 27.0 | 22.0 | 28.0 |
| K 결핍 | 75.00 | 5.95 | 20.00 | 35.53 | 26.0 | 19.0 | 23.0 |
| Ca 결핍 | 79.00 | 6.72 | 19.00 | 59.73 | 28.0 | 24.0 | 18.0 |
| Mg 결핍 | 80.00 | 6.83 | 19.50 | 40.89 | 24.0 | 21.0 | 16.0 |
| Fe 결핍 | 71.00 | 6.84 | 19.50 | 29.08 | 24.0 | 21.0 | 20.0 |
| B 결핍 | 82.50 | 6.90 | 20.50 | 36.18 | 33.0 | 24.0 | 20.0 |
| Mn 결핍 | 81.00 | 7.21 | 21.00 | 53.54 | 27.0 | 25.0 | 15.0 |
| Zn 결핍 | 84.50 | 6.51 | 21.00 | 53.26 | 30.0 | 25.0 | 19.0 |
| Cu 결핍 | 82.50 | 6.60 | 19.00 | 37.89 | 25.0 | 23.0 | 17.0 |

표 5-8는 정식 후 25일의 성장특성을 비교한 것이다. 초장의 경우 대조구가 가장 왕성한 생육을 보여주었고 다량보다는 미량 원소의 결핍구에서 초장, 경경, 엽수, 엽면적 및 생체중을 보았을 때 결핍의 영향을 적게 받는 것으로 나타났다. 다량원소의 과잉구의 경우 질소와 칼리는 원소 과잉으로 인한 초장과 엽수, 엽면적 및 생체중의 감소와 같은 성장특성간의 차이가 뚜렷하게 나타났지만 인산의 과잉 처리에 대해 둔감하게 반응한 것으로 나타났다. 그러나 경경에 있어서는 다른 과잉 처리구에 비하여 얇은 경향을 나타냈으며 대조구보다 연약한 줄기를 갖는 것으로 나타났다. 다량원소의 결핍처리구는 식물체가 다소 작아지는 왜화현상과 함께 연약한 줄기와 엽면적과 생체중을 갖는 것으로 나타났다.

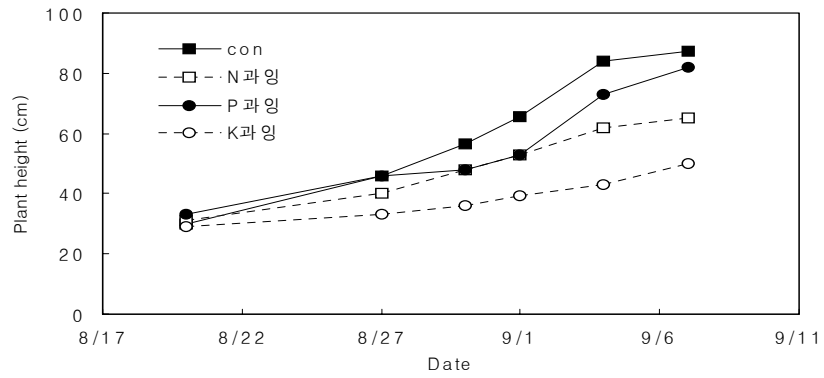


Fig. 5-39. Changes in plant height in the surplus treatment of N, P and K.

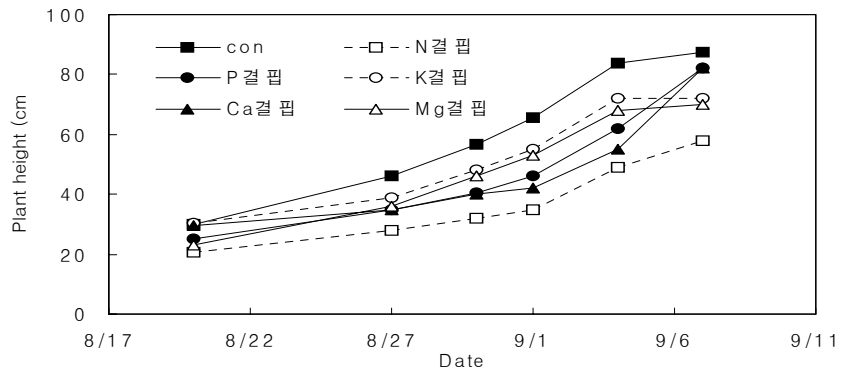


Fig. 5-40. Changes in plant height in the deficient treatment of macro elements.

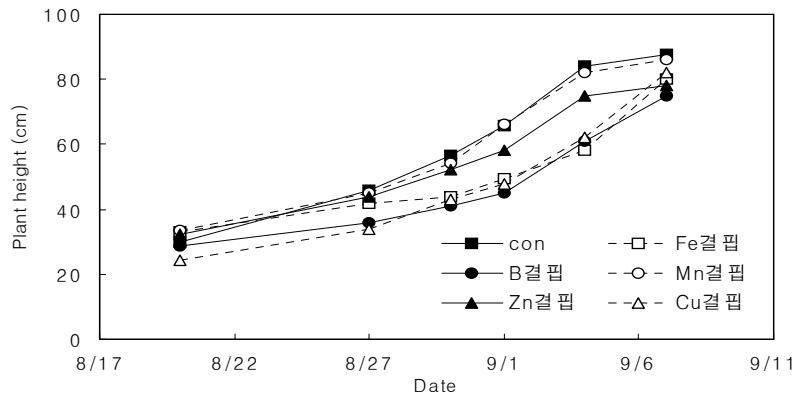


Fig. 5-41. Changes in plant height in the surplus treatment of micro elements.

그림 5-39는 다량원소 과잉구의 초장변화를 나타낸 것이다. 인산처리구가 대조구와 비슷한 경향을 나타내고 있으며 다음으로 질소 과잉구에 이어 K 과잉구에서 가장 저조한 생육을 나타내고 있다. 또한 그림 5-40에서는 다량원소의 결핍처리구로서 대조구에 비해 인산 결핍 처리구가 가장 양호한 초장을 나타내고 있으며 Mg와 N 결핍 처리구의 토마토의 생장이 다소 불량함을 알 수 있다. 그림 5-41은 미량 원소의 결핍 처리구이다. 가자 민감하게 생장의 변화를 보이는 처리는 붕소 결핍 처리구이며 가장 둔감한 처리구는 망간 결핍구로 나타났다.

그림 5-42는 N, P, K 과잉구와 결핍구의 초장의 변화를 나타낸 것이다. 모든 처리구에서 대조구보다 저조한 생육을 나타내고 있는데 다른 과잉, 결핍구에 비해 인산과 잉과 결핍 처리구는 대조구와의 현저한 초장의 차이를 보이지는 않았다. 인산의 경우 결핍이나 과잉의 증상이 가장 둔감하게 영향을 미침을 알 수 있다.

그림 5-43은 다량원소 과잉구의 5엽의 엽록소 함량 변화이다. 대조구의 경우에는 엽록소의 함량이 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나 N, P, K 과잉구는 다소 증가하는 비율이 낮거나 엽록소 함량이 낮아지는 경향을 나타냈다. 특히 K 과잉구의 경우 하위엽의 엽록소 함량이 40mg/gFW 이상 차이를 보이고 있어 육안으로도 확실한 과잉증상을 확인할 수 있었다.

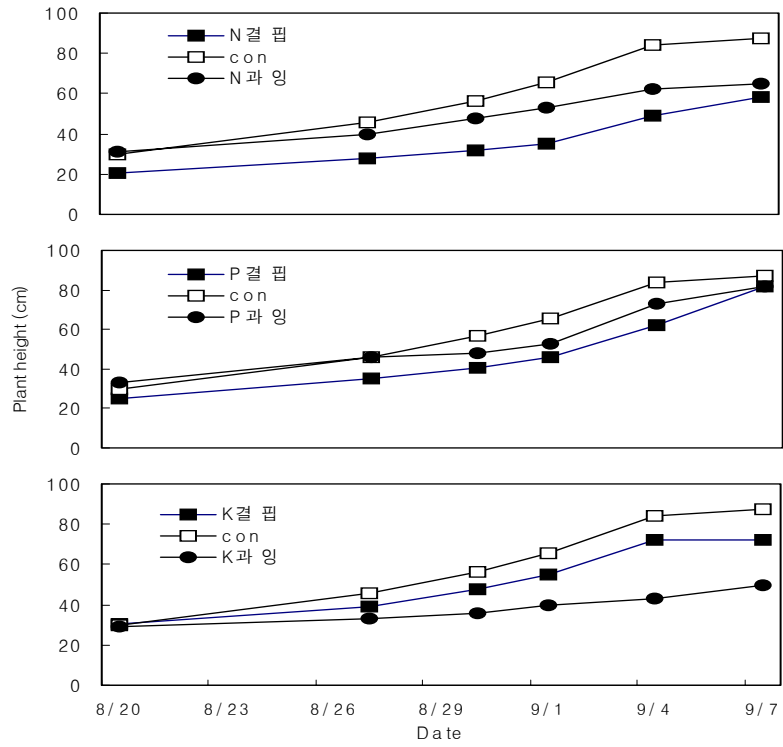


Fig. 5-42. Changes in plant height in the surplus and deficient treatment of N, P and K.

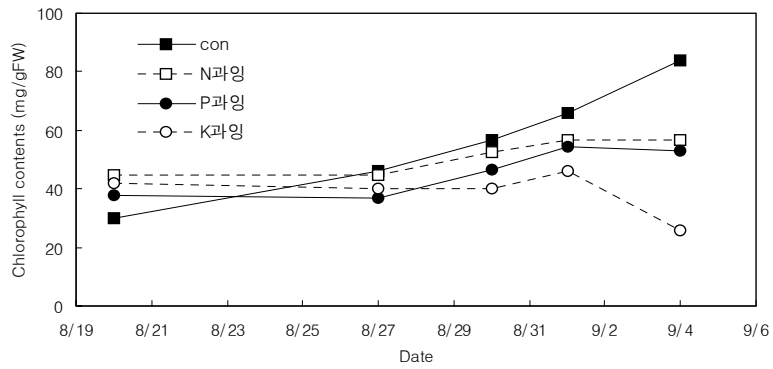


Fig. 5-43. Changes in chlorophyll content in the surplus treatment of macro elements.

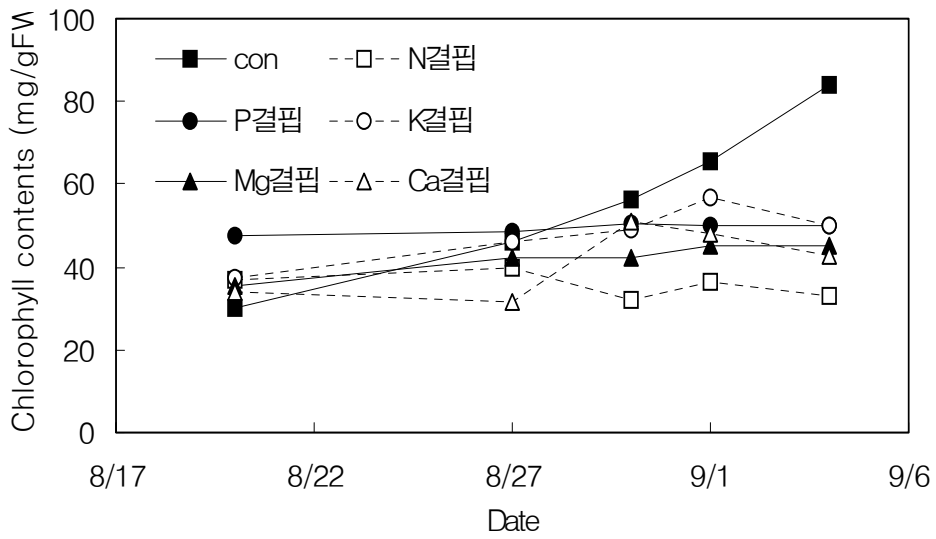


Fig. 5-44. Changes in chlorophyll content in the deficient treatment of macro elements.

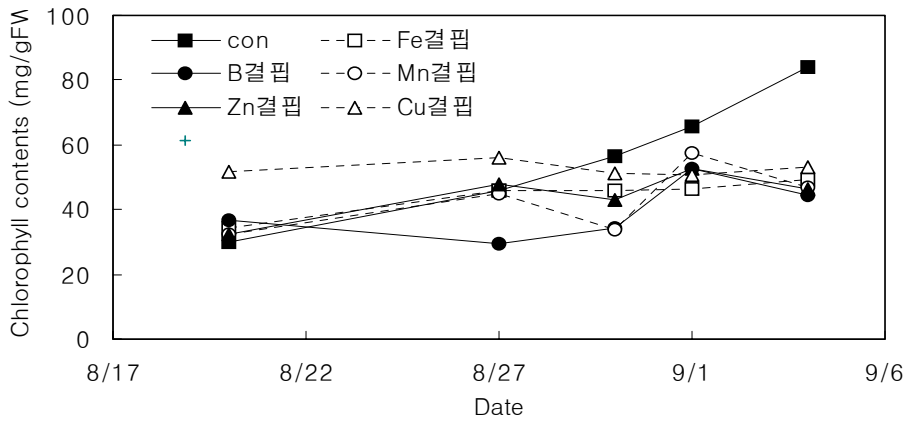


Fig. 5-45. Changes in chlorophyll content in the deficient treatment of micro elements.

다량원소의 결핍구의 경우(그림 5-44)에는 대조구를 제외한 처리구에서 엽록소의 함량이 거의 일정한 경향을 보이고 있으며 특히 질소 결핍구에서 황화현상을 나타내었다. 또한 미량 원소의 결핍구(그림 5-45)에서도 대조구와 비교하여 낮은 함량을 보이고 있으며 구리의 경우 초기에도 대조구보다 높은 함량을 보였으나 생육이 진행되면서 낮아지는 경향을 나타내었다.

그림 5-46은 다량원소 과잉 처리구의 엽위별 엽록소 함량을 나타낸 것이다. 질소 과잉구는 5엽의 경우 가장 진한 녹색을 띠는 반면 K 과잉구는 30mg/gFW 미만의 함량을 나타내어 과잉증상이 가장 확연히 드러났고 이러한 증상은 10엽과 15엽에서도 함량이 다소 증가되긴 하였지만 유사한 경향을 유지하였다.

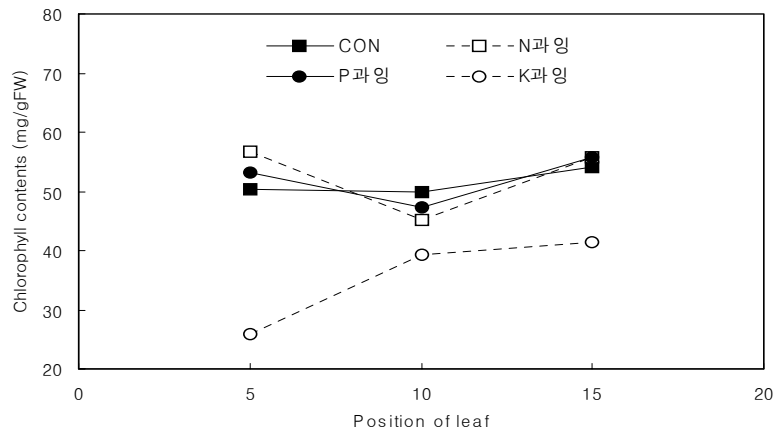


Fig. 5-46. Chlorophyll content in the surplus treatment of macro elements.

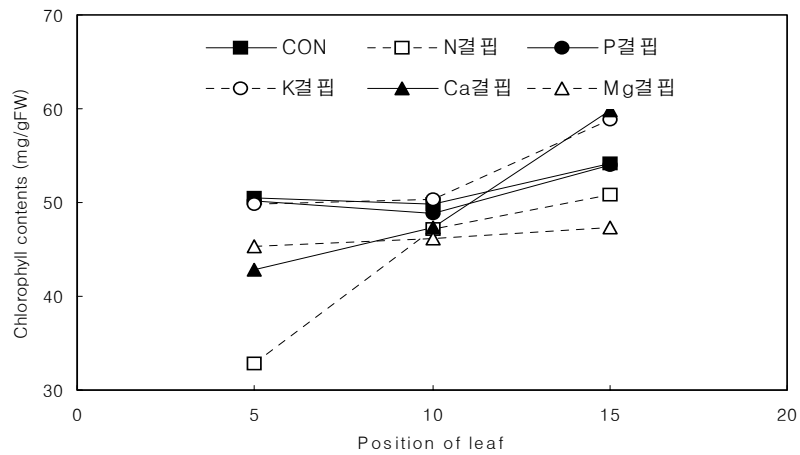


Fig. 5-47. Chlorophyll content in the surplus treatment of macro elements.

다량 원소 결핍구의 엽위별 엽록소 함량은(그림 5-47) 질소를 결핍시킨 구에서 5엽의 엽록소 함량이 낮게 나타났으며 엽록소의 구성성분이 되는 Mg의 결핍구에서 15엽의 엽록소 함량이 낮게 나타났다. 15엽의 경우 Mg와 N을 제외한 결핍구에서 대조구보다 더 높은 함량을 나타냄으로서 이동성이 큰 양분이 결핍되어 오래된 늙은 기관인

하위엽에서 황화 되는 증상을 나타낸 반면, 성장점 생식기관에 결핍증세는 잘 나타나지 않은 것으로 나타났다.

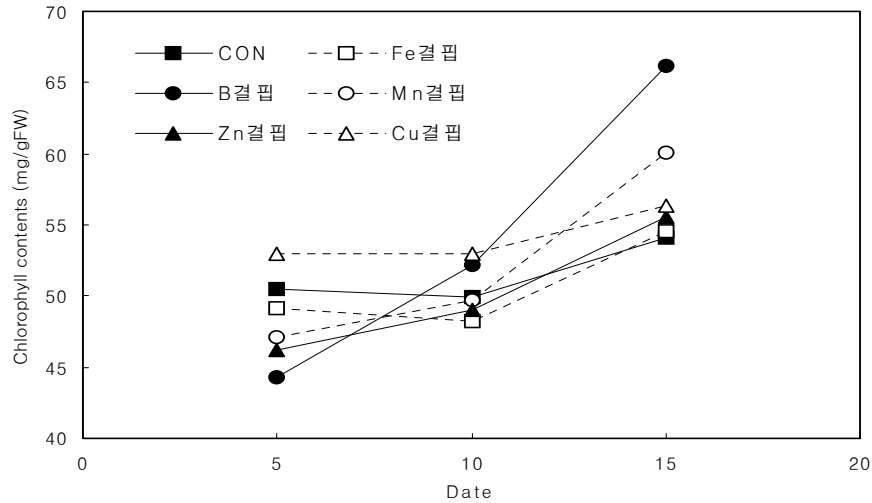


Fig. 5-48. Chlorophyll content in the surplus treatment of micro elements.

미량 원소의 엽위별 엽록소 함량(그림 5-48)을 보면 5엽에서는 대조구의 엽록소 함량이 낮았지만 15엽의 경우 대조구의 함량이 가장 높게 나타나 이동이 곤란한 미량원소 결핍으로 인한 성장점 조직의 엽록소 함량의 저하를 가져왔다.

다량원소의 과잉구와 결핍구(그림 5-49)의 pH를 살펴보면 대부분의 처리구가 5.5 ~ 6.5를 유지하고 있으나 P결핍 처리구의 pH는 7이상을 유지하고 있고 P 과잉 처리구는 시간이 지나면서 pH가 상승하는 경향을 보였다. 토마토의 양액재배시 양액 내 음, 양 및 미량요소의 원활한 흡수를 위해서는 양액의 pH가 6.0~6.5 범위로 유지되는 것이 좋은데, 지하수, 배지, 비료염 등의 pH가 6.5내외이므로 조절장치 없이 6.0이하로 관리하기에 어려움이 뒤따르고 신물질 투입하자니 부성분들의 배지 내 축적에 의한 장애가 우려되어 산물질의 투입을 최소화하면서도 작황 안정이 가능한 범위인 pH 6.5 정도로 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

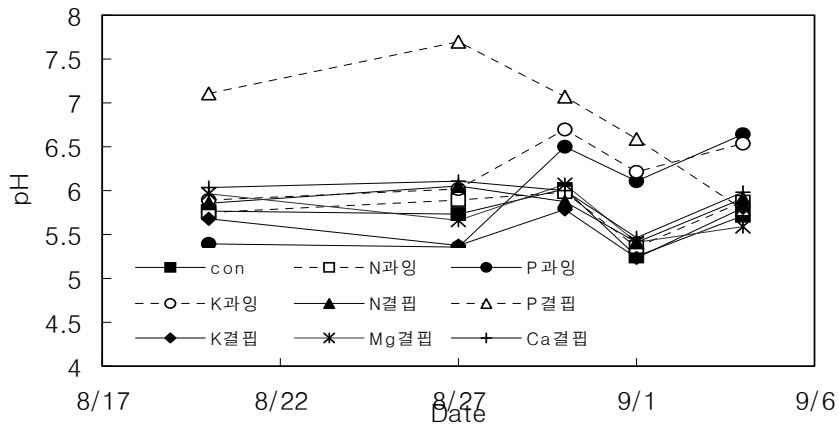


Fig. 5-49. Changes in pH in the surplus and deficient treatment of macro elements.

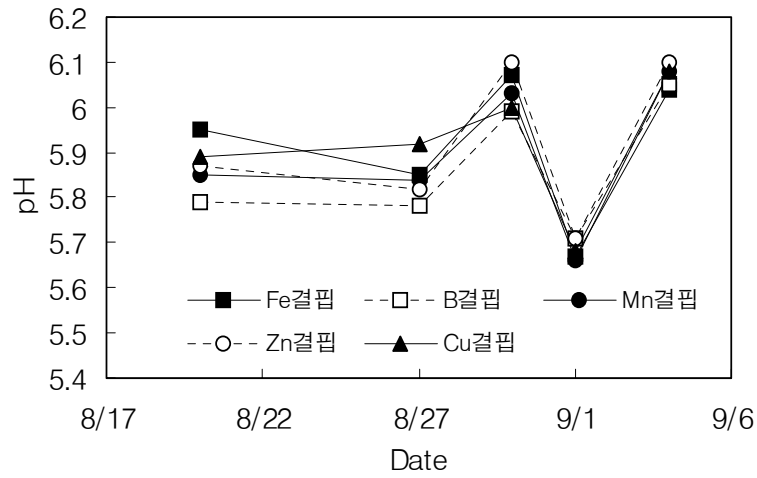


Fig. 5-50. Changes in pH in the deficient treatment of micro elements.

미량원소의 결핍구(그림 5-50)의 경우에는 전체적으로 pH의 변화율이 유사한 경향

을 나타내었으며 9월 1일에 약간 감소하는 경향을 보였으나 회복하는 것으로 나타났
다.

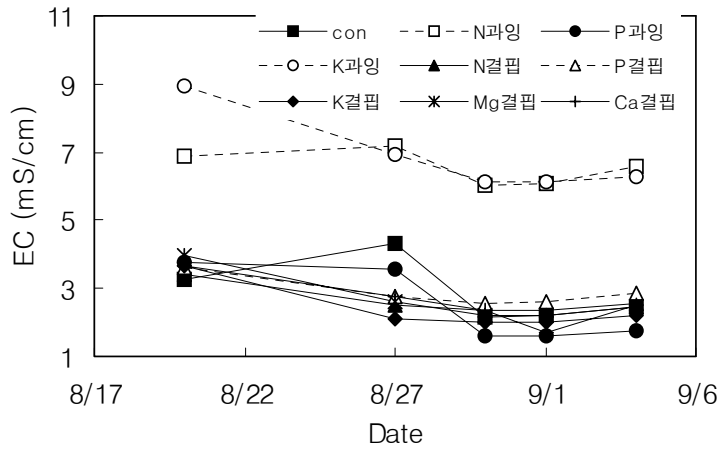


Fig. 5-51. Changes in EC in the surplus and deficient treatment of macro elements.

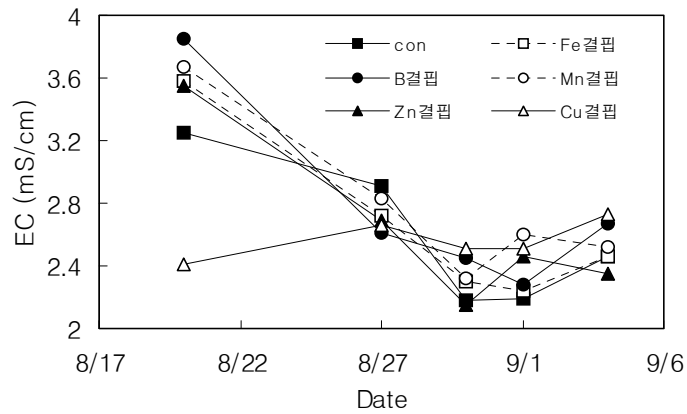


Fig. 5-52. Changes in EC in the deficient treatment of micro elements.

다량 원소의 과잉 결핍구(그림 5-51)의 EC는 질소와 카리 과잉구의 경우를 제외하

고 2 ~ 4 mS/cm를 유지하였다. 다소 EC가 높게 나타난 것은 여름철 고온과 다습으로 전기전도도가 다소 상승하였던 것으로 생각된다. 또한 미량 원소 결핍구(그림 5-52)의 EC는 시간이 지날수록 다소 낮아지는 경향을 나타냈으며 9월에는 다소 안정적인 경향을 보이고 있다.



Fig. 5-53. Morphological characteristics as affected by the surplus treatment of N, P and K at 20days after transplanting.



Fig. 5-54. Root morphology in surplus treatment of macro elements at 20days after transplanting.

그림 5-53, 54는 다량원소 과잉구의 지상부와 지하부의 모습을 나타낸 것이다. 앞에서 언급했듯이 과잉 처리로 인한 생장의 저해는 뿌리의 양분 흡수가 대조구에 비해 원활하지 못했기 때문으로 생각되며 뿌리의 양이나 활력이 곧 성장과 발육으로 연결됨을 짐작할 수 있다. 다량원소 결핍구의 뿌리(그림 5-55)의 경우 뿌리의 양이나 색깔 등으로 판단했을 때 과잉구와 비교하여 결핍구에서 상당히 성장저해 현상이 확연히 일어남을 알 수 있다. 그러므로 과잉보다 결핍은 식물체의 성장에 더 큰 피해를 가져올 수 있는 문제가 될 수 있다고 생각된다.



Fig. 5-55. Root morphology in deficient treatment of macro elements at 20days after transplanting.



Fig. 5-56. Root morphology in surplus treatment of micro elements at 20days after transplanting.

그러나 지상부 생장의 경우에 미량원소의 결핍구는 다량원소의 결핍구보다 생장이 더 양호하였지만 뿌리의 생체중이나 근사와 연결시켜 보았을 때 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 미량원소 결핍(그림5-56)의 경우 육안으로도 확인할 수 있듯이 뿌리의 색깔이 갈변하고 양이 적어지며 괴사하고 있음을 볼 수 있다. 이로 인한 뿌리삼출물의 이상으로 생장에 저해요인이 될 수 있을 것이다. 앞으로 근삼출물에 대한 연구가 계속되어야 할 것이며, 뿌리 자가독성물질의 여부에 대한 연구도 필요하다.

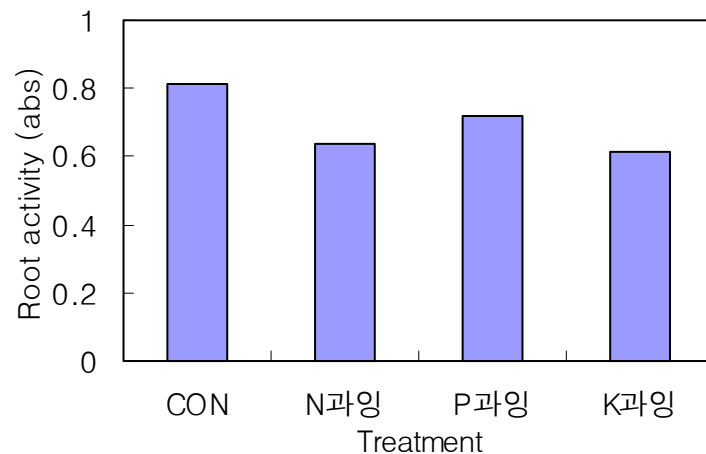


Fig. 5-57. Root activity in surplus treatment of macro elements.

근활력(그림 5-57, 58, 59)의 경우에는 대조구의 활력이 가장 높았으며 생육과 마찬가지로 다량원소의 경우 과잉구 보다는 결핍구에서 더 민감한 반응을 보였으며 근사의 모습이 많이 나타난 미량원소 결핍구의 근활력은 다소 높은 수치를 나타내었다.

뿌리로부터의 영양흡수경로는 대체로 3가지 단계로 나눌 수 있다첫째는 무기 양분이 뿌리의 표면에 공급되는 것으로서 이 단계는 주로 토양 용액 중에 있어서의 확산에 의한다. 둘째는 뿌리의 세포 원형질을 무기 양분이 투과하는 것으로 이 단계에서는 원형질막의 투과성과 관계된다. 셋째는 염류나 이온이 세포내에 축적되는 것으로 이 단계는 세포의 액포 내의 무기양분 농도가 높아진다. 무기양분이 뿌리로부터 흡수 될 때 그 선택성과 흡수되는 양은 특히 원형질막의 성질에 지배된다.

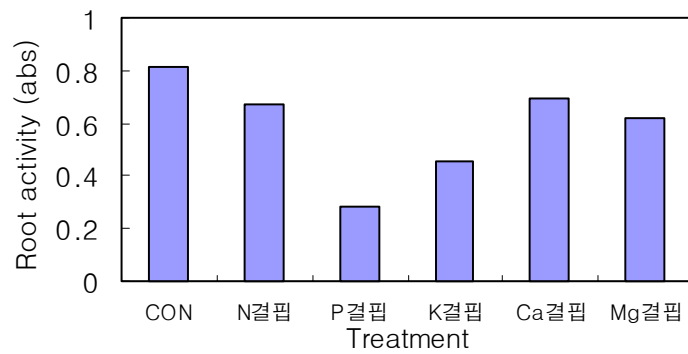


Fig. 5-58. Root activity in deficient treatment of macro elements.

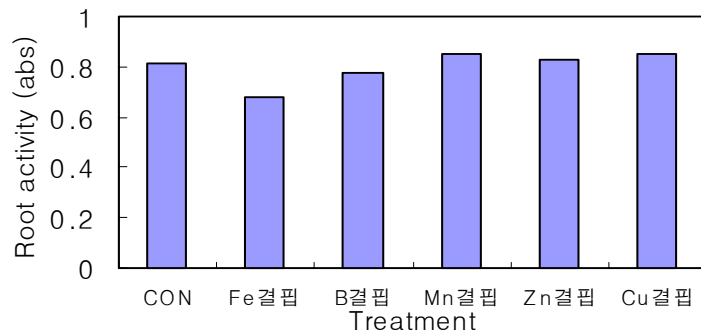


Fig. 5-59. Root activity in deficient treatment of micro elements.

작물은 뿌리에서 뿐만 아니라 엽에서도 필요한 성분을 흡수할 수 있다는 것은 미량 요소의 엽면살포 등으로 오래 전부터 알려진 사실인데 현재는 비료요소에 대해서도 많이 실시되고 있다. 외국에서는 이미 여러해 전부터 엽면살포를 실시해 왔고 많은 성과를 거두고 있다.

엽면살포는 토양중에서 흡수되기 어려운 무기 양분의 시용에 이롭고(Mn, Zn, Cu, F등 미량요소), 적은 양으로 비효가 빨리 나타나므로 작물의 영양을 조절할 수 있으며 지효성 무기양분의 시용에 좋다. 토양조건이 나쁜 경우나 병충해로 뿌리의 기능이

쇠약했을 때 엽면에서의 양분공급은 매우 유리하다(서리의 피해나 풍해를 입었을때도 영양을 회복시키는데 좋으며 노후화답, 가뭄, 과습 등으로 양분 흡수가 감퇴되었을 때). 또한 품질 향상에 유리하며(화훼, 과실, 차나무 잎, 뿌리 등의 품질향상과 밀종의 단백질 함량 증대 등을 꾀하는데 응용된다.) 농약(일부품목 제외)과 혼용할 수 있음으로 노력이 절감되며 경제적이고 시비기를 조정 할 수 있다. (비에 대한 이삭거름, 밀의 개화기에 살포하면 단백질 함량이 증대된다)

작물이 양분을 흡수하기 위해서는 여러 가지 환경인자와 밀접한 관계가 있음이 알려져 있다. 양분 흡수에 관계하는 환경인자로는 온도, 광, 산소, 탄산가스, 염류의 농도, 양분의 존재양식 등에 영향을 받게 되는데 온도가 낮으면 뿌리의 호흡작용이 낮아지고 물과 염류의 흡수도 감소한다. 그리고 광, 산소, 탄산가스 등이 부족하면 광합성이 원활히 이루어지지 못하므로 역시 양분 흡수가 저해되며 염류농도가 어느 한계를 넘으면 뿌리의 생리작용이 저해되어 염류의 흡수도 저해되지만 어느 한계까지는 일반적으로 높은 쪽의 흡수량이 많다. 그 경향은 이온의 종류에 따라서 다르다. 또 양분의 존재 양식에 따라서도 흡수정도가 현저하게 달라지는 것이다. 그러므로 근본적으로는 영양흡수가 용이하도록 환경을 개선하여야 하겠으며 나아가서 시비방법을 연구 개선해 나가는 것이 중요하다.

작물의 영양소는 토양산도에 따라서 각 원소의 흡수 변화가 생긴다. 예를 들면 토양 산성이 강할 때에는 인산, 석회, 마그네슘, 몰리브덴은 흡수되기 곤란하나 망간, 철은 과잉흡수가 될 수도 있다. 토양이 강 알카리성일때는 마그네슘, 칼슘, 몰리브덴은 잘 흡수되도록 되지만 붕소, 망간, 아연은 흡수가 곤란하게 된다.

토양에 있는 양분은 일단 수분에 의해서 용해되어 작물에 흡수가 되는데 수분이 없으면 토양에 아무리 양분이 있다 하더라도 흡수가 어려우며 반면에 토양에 수분이 너무 많아 침수된 상태에서도 식물뿌리가 정상적인 호흡을 할 수 없으므로 역시 흡수가 저해된다. 또한 토양중에 유기물이 풍부하면 시용된 무기성분이 가급태로 변하여 흡수되거나 유기물이 부족한 토양에서는 쉽게 불용화 되어 결핍을 일으킨다.

영양소 가운데 공존함으로서 흡수를 돕는 상호현상과 서로 흡수를 방해하는 길항현상이 있는데 길항현상이 일어났을 경우는 양분이 결핍되는 경우도 있다. 작물의 영양은 토양에 시비되어 뿌리로 흡수되는 것이 보통이나 토양조건이나 환경조건이 적합하지 않을 때는 토양에 있는 영양분은 고정되거나 불용화 되어 충분히 흡수할 수 없으므로 엽면 살포에 의한 시비방법이 중요하다.

3) 배양액의 농도(1/2, 1/8, 4배)에 따른 근권잔유물의 생성경향과 재 이용시 나타나는 오이와 토마토의 성장분석

Table 5-9. Growth characteristics of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution

| Conc. | Plant height(cm) | No. of leaves(ea/plant) | Stem diameter(mm) | Leaf length(cm) | Leaf width(cm) | Chlorophyll |
|-------|------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 1/8 | 26.33 | 10.3 | 5.53 | 10.66 | 11.66 | 27.16 |
| 1/2 | 36.26 | 12.3 | 6.46 | 11.66 | 12.33 | 36.26 |
| con. | 51.33 | 11.3 | 8.58 | 15.33 | 14.66 | 44.50 |
| 4 | 47.00 | 14.0 | 7.21 | 14.66 | 15.66 | 34.40 |

Table 5-10. Growth characteristics of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution

| Conc. | Plant height(cm) | No. of leaves(ea/plant) | Stem diameter(mm) | Leaf length(cm) | Leaf width(cm) | Chlorophyll |
|-------|------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 1/8 | 56.00 | 10.33 | 5.66 | 16.66 | 16.66 | 34.4 |
| 1/2 | 54.67 | 11.33 | 5.20 | 12.66 | 12.66 | 33.0 |
| con. | 60.33 | 12.00 | 6.48 | 16.66 | 16.66 | 45.8 |
| 4 | 44.33 | 9.33 | 5.25 | 10.00 | 10.00 | 33.2 |

표 5-9, 10은 배양액의 결핍 및 과잉의 조건에서 1, 2차 생육을 마친 후 이들 배양액을 재이용하였을 때 나타나는 오이와 토마토의 성장특성을 나타낸 것이다. 양액의 과잉 및 결핍처리구에서의 성장특성은 대조구에 비하여 현저하게 낮은 성장특성을 보였다. 결핍처리구에서는 대조구에 비하여 60%이상의 초장억제효과를 나타내었으나 엽수는 대조구에 비해 1엽이 더 많이 출엽한 것으로 나타났다. 결핍처리구가 과잉처리구에 비하여 성장특성이 좋은 경향을 나타내었다. 처리구간의 엽록소의 함량은 대조구가 다른 결핍 및 과잉처리구에 비해 높게 나타났으며 결핍 및 과잉간의 엽록소 함량에서는 유의차를 나타내지 않았다.



Fig. 5-60. 오이 대조구(좌 : 지상부, 우: 지하부)

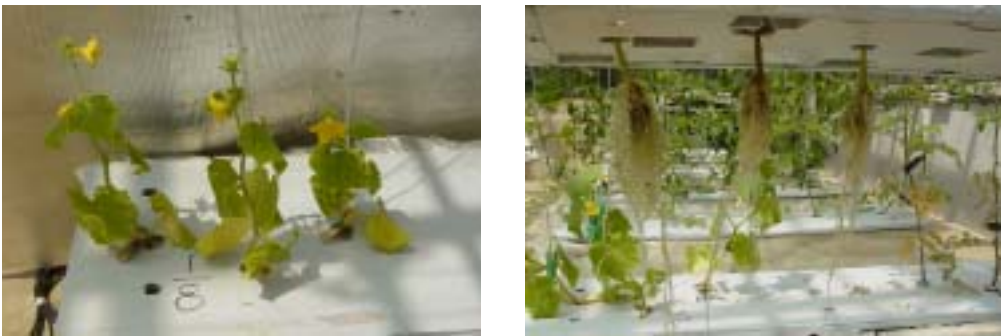


Fig. 5-61. 오이 1/8처리구(좌 : 지상부, 우: 지하부)



Fig. 5-62. 오이 1/2 처리구(좌 : 지상부, 우: 지하부)



Fig. 5-63. 오이 4배 과잉처리구(좌 : 지상부, 우: 지하부)

그림 5-61~63에서와 같이 대조구의 지상부 및 지하부의 생육은 양호한 경향을 보였으나 4배 과잉처리구에서는 지상부의 생육이 저조하고 지하부도 갈변하는 증상을 보였으며 뿌리의 활력도 떨어지는 경향을 나타내었다. 결핍처리구인 1/2, 1/8처리구에서도 대조구에 비하여 뿌리의 활성도가 저조하게 나타났으나 과잉처리구와 비교하였을 때 갈변하는 증상은 보이지 않았으며 지하부의 활성도 또한 과잉처리에 대하여 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 결핍처리구에서의 지상부의 생육은 무기영양분의 부족으로 인한 결핍증상을 관찰할 수 있었으며 엽색 또한 대조구에 비하여 옅게 나타나는 경향을 보였다.



Fig. 5-64. 토마토 대조구(좌 : 지상부, 우: 지하부)

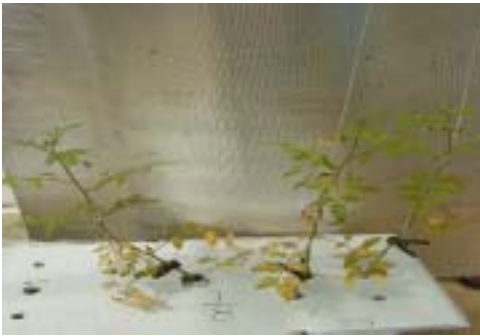


Fig. 5-65. 토마토 1/8배 처리구(좌 : 지상부, 우: 지하부)



Fig. 5-66. 토마토 1/2배 처리구 (좌 : 지상부, 우: 지하부)



Fig. 5-67. 토마토 4배 과잉 처리구(좌 : 지상부, 우 : 지하부)

그림 5-64~6에서 나타내어지는 결과를 보면 오이의 생육특성과 마찬가지로 대조구에 비하여 4배과잉 처리구에서 지상부의 생육이 매우 저조하게 나타나는 것을 알 수 있었으며 지하부 역시 오이와 같이 갈변하여 근사하는 경향을 나타내었다. 오이와 대조적으로 결핍처리구에서도 지하부가 갈변하여 근사하는 경향을 나타내었다. 토마토는 오이와는 달리 무기영양분에 대해 매우 민감하게 반응하는 것으로 판단되었다.

3.2. 양액재배에 있어서 영양스트레스 경감 및 생장관련 미생물 분리 동정

3.2.1. 서 론

환경부하가 적은 양액재배를 이용한 배양액의 환경오염 방지, 락울에 대한 대체배지로서 각종 유기물질 농업부산물의 이용, 길항성 유용미생물과 천적을 이용한 생물학적 방제 및 식물생장촉진 근권미생물을 통한 양분이용의 효율화 등에 관한 새로운 기술개발이 진행되고 있으며, 이러한 측면에서 유용미생물의 원예분야로의 도입이 절실히 요구되고 있다. 지금까지 농업분야에서 유용미생물의 이용을 보면 길항성 미생물을 이용한 살균 및 살충성 생물농약의 이용으로 화학약제를 대체하는 것과 발효미생물 균총을 음식물 쓰레기, 축산폐기물 및 농업부산물 등에 처리하여 퇴비화를 촉진하는 측면에서 주로 연구가 진행되어 왔다. 미생물을 이용한 생물농약의 개발은 원예작물에 병해충을 유발하는 병원성 사상균과 곤충 등에 대하여 병원성이나 독성을 갖는 세균, 사상균, 바이러스, 원생동물 및 선충 등을 이용하는 것이다. 또한, 퇴비화 및 토양부숙제로 이용되는 미생물은 세균, 곰팡이, 방선균, 효모 및 원생동물균인 protozoa 등이 활용되고 있다.

최근에는 식물의 생장을 촉진하는 근권미생물에 관한 연구가 토양재배를 중심으로 보고되고 있다. 토양에서 선별한 유용미생물의 현탁액을 토경의 작물뿌리나 종자에 처리하여 병원균의 발생과 생장을 억제하고, 작물의 양분이용성을 향상시켜 생육을 촉진시키는 측면에서 연구가 진행되고 있는데 주로 세균류가 많이 이용되고 있다. 식물의 생장을 촉진시키는 유용한 근권미생물을 Kloepper는 식물생장촉진 근권미생물 (plant growth promoting rhizobacteria ; PGPR)이라고 칭하였는데, 이러한 근권미생물의 생장촉진 메커니즘을 보면 양수분의 흡수 촉진, 항생작용 및 식물생장조절물질의 생산 등으로 이루어진다.

근권미생물을 접종하여 양수분 흡수를 촉진시키려는 연구는 양수분이용성의 향상과 촉진이라는 측면에서 주로 이루어지고 있으며, 특히 용인균을 이용한 토양 내 불용성 인의 분해 및 흡수 등에 좋은 연구결과를 보이고 있다.

생물농약의 항균작용은 antibiotic compounds의 생산, siderophore 생산 및 근권에서 병원균과의 경쟁작용 등에 의해 병원균 발생을 억제한다. 또한, 미생물에 의한 식물생장조절물질의 생산은 식물의 생장을 촉진시키는 각종 호르몬을 생산하여 식물의 생장 촉진을 향상시키는 것으로 생각되고 있다. 그러나 유용미생물을 양액재배 근권에서

이용하는 것에는 많은 문제가 남아 있다. 양액재배는 토양을 대체하여 무기성 고형 및 비고형배지에서 무기양분을 영양원으로 공급하여 작물을 생산하는 방식이기 때문에 주로 유기물을 영양원으로 살아가는 근권미생물에게는 생육에 매우 불리한 환경이다. 양액재배 근권에 있는 유용 미생물 및 병원성 미생물은 이러한 무기성 근권환경에서 무기물뿐만 아니라 뿌리 분비물이나 파편, 뿌리조직 등의 유기물을 영양원으로 이용하여 생육하고 있다. 양액재배에서 유용미생물의 이용은 균주라는 단일요인 뿐만 아니라 식물, 근권미생물 및 영양원이라는 복합적인 관련성에서 연구하고 개발해야 할 필요성이 있다.

근권미생물상은 동식물의 사체 유기물이 분해될 때의 미생물상과는 달리 살아 있는 뿌리와 관계로 조성되는 특이점이 있다. 근권 미생물은 이들이 뿌리로부터 발생하는 유기물과 분비물을 이용하기만 하는 것이 아니고, 역으로 근권 미생물의 분비물과 용균물질이 작물 뿌리에 주는 영향도 크다. 그 영향은 작물 뿌리에 유익한 작용만을 하는 것이라야 이상적인데 실제로 공생관계를 유지하면서 상부상조할 수 있는 관계로 조성된다. 최근 작물과 미생물관계를 이용하여 부식의 증가 및 입단구조의 촉진 등 토질 개량도 시도하고 있는 추세이다. 이 문제에 있어서는 각 작물 뿌리의 생리, 특성, 근근의 발달 상태가 중요한 의미를 가지며, 뿌리와 근권 미생물의 관계가 토양의 물리적, 화학적 특성에 미치는 효과도 간과할 수 없는 것으로 주목받고 있다. 한 예로 *Lacto Bacillus*는 자급비료인 유기물과 동시에 시용해야 한다. 토양에 유기물을 공급하는 것은 미생물학적인 관점과 물리적 관점에서 모두 좋은 영향을 주는 것으로 발효 분해작용으로 시작하여 불용성 무기물의 가급태화까지 진행되어 토양의 화학성 변화에도 영향을 미치는 것이다. 결국은 토양이 개량되어 가급태 양분이 증가하고, 미량요소도 증가하여 작물의 생리상태가 자연적으로 호전되는 특징이 있다.

일반적으로 양액재배를 하고 있는 근권에는 미생물이 거의 없다고 생각하고 있으나, 실제로는 토양에 비해서 적은 양이지만 다수의 세균 및 진균류들이 고형배지, 배양액, 양액재배 시스템 및 뿌리 등에 존재하고 있다. 이러한 근권미생물들은 육묘자재, 공기 및 재배시스템 등에서 유입되어 주로 유기물 배지, 뿌리파편과 분비물 등을 영양원으로 살아간다. 잎에서 합성되는 전체 광합성산물 중 약 20% 정도가 뿌리에서 유기물 상태로 분비된다. 이 중에는 탄수화물이 주를 이루고 있는데 아미노산을 기초로 하여 뿌리분비물중 탄소/질소의 비율(carbon/nitrogen ratio)을 계산한 경우 약 30/1 정도에 해당한다. 근권미생물이 뿌리에 서식하는 밀도는 오래된 뿌리일수록 높는데, 이것은 뿌리의 분비물질이 많은 결과로 생각된다. 토양재배와 고형배지를 이용하

는 양액재배의 경우 뿌리가 성장하여 새로운 근권배지내로 성장함에 따라 각 배지 위치별로 존재하고 있는 새로운 근권미생물을 만나게 된다. 그러나, 일종의 세균류, 특히 *Pseudomonas* 등은 토양 및 고행배지에서 우점 세균류로 남아있다.

양액재배에서 근권미생물의 조성은 토양재배에 비하여 미생물의 종류와 농도가 상대적으로 낮은 밀도로 구성되어 있는 것으로 알려져 있다. 근권의 미생물이 뿌리와 공생하며 작물의 양수분 흡수를 촉진하고, 뿌리전염성 병원균의 생육을 억제하는 미생물상으로 구성되어 있으면 작물의 생육을 촉진하고 뿌리전염성 병원균의 발생을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 토양에 비하여 미생물의 조성이 단순하고 근권완충력이 낮은 양액재배에 유해미생물이 유입되면 뿌리전염성 병원균이 급속히 확산하여 다른 식물에 감염 및 전염될 수 있는 위험성이 항상 내재되어 있는 특성도 있다.

본 연구에서는 생리적 영양 스트레스를 경감시키기 위해 양액재배에서 발생하는 뿌리전염성 병원균에 대하여 항생물질을 생산하는 길항성세균과 식물의 성장을 촉진하는 유용미생물을 자연계에서 순수분리하여 동정하고, 유용미생물의 배양적 최적조건을 조사하여 균주의 대량생산체제를 확립하고, 이들과 양액재배작물과의 상호연관성을 고찰하였다. 또한 식물성장촉진 근권미생물을 오이와 토마토의 유묘 및 양액재배 근권에 처리하여 식물의 성장촉진 효과와 뿌리전염성 병원균에 대한 생물학적 방제효과를 연구하여 장래에 유용미생물을 이용한 환경친화적 양액재배의 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

3.2.2 재료 및 방법

1) 유효근권미생물이 오이와 토마토의 성장에 미치는 영향 과 미생물의 분리, 동정 및 특성검정

플러그묘의 보급이 급격히 확산되면서 주로 근권(rhizosphere)의 통제방법의 정립 차이를 부여하여 성장을 조절하는 효과적인 생산방법이 많아지고 있다. 현재 육묘생산에 적용되는 성장조절방법에는 상토 내 수분과 양분 조절법, 주야간의 온도차이 절제방법(Lim et al, 1997), 자외선 이용법(Inamoto et al., 1995), 성장조절제 이용방법(Gilbertz, 1992; Kacia, 1997)과 미생물을 이용하는 방법(Schippers et al., 1987)등을 사례로 들 수 있다. 그리고 근권미생물을 이용한 묘의 생산과 관련하여 현재 Schroth 과 Hancock(1982)는 토양미생물 524균주 중에서 병원균에 길항력이 우수하고 식물생장에 유리하게 작용한 균주는 2%정도에 불과하다고 하였으며, Schippers와

Baker(1987)은 식물의 근권에 군집하여 유해미생물이 증식하는 것을 억제하고, 식물의 근권부를 보호하고, 대사작용을 원활 하게 해줌으로서 양수분의 흡수를 도와주는 식물 성장 촉진 미생물(plant growth promoting rhizobacteria; PGPR)이 존재하는 반면에, 뿌리에 기생하여 병해를 유발시키거나 대사산물이 뿌리의 활동을 억제하는 식물에 유해한 미생물(deleterious rhizosphere microorganisms ; DRMO)도 동시에 존재한다고 보고하였다.

식물생장 및 억제작용을 나타내는 근권미생물중에서 경합력이 우수한 미생물은 다음과 같은 특성을 보유하고 있다. 종자에 입식할 수 있어야 하고, 운동성(motility), 뿌리 침출물에 대한 주화성(chemotaxis to root exudates)등을 갖고 있어야 한다(Seymour and Doetsch, 1973). 뿌리에 대한 입식능력은 기주식물과의 상호작용 및 다른 근권 미생물들과의 경합작용에 필수적인 요인이며, 식물생장촉진 미생물중에서 *Azospirillum*의 식물뿌리에 대한 입식을 보면 표피세포층(epidermal cells)사이의 longitudinal contact에서 발견되고 있는데, 주로 근 성장부위의 표면에 섬유질 물질을 하고 있다고 보고되고 있다(Hadas et al., 1987). 식물뿌리에 입식하는 미생물들은 전구물질(precursors)의 첨가유무와 관계없이 auxins, gibberellins 및 cytokinines등의 호르몬을 생산하고, 근권미생물의 처리에 의해서 유기되는 식물생장 촉진 효과중에서 그 일부는 IAA 또는 gibberellin류의 호르몬 활성화에 의한 것으로 보고되고 있다(Brown, 1974).

또한, 식물생장촉진에 관여하는 일반적인 기작에 관한 발표내용으로서, 우선 미생물 상호간의 길항작용에서 생산되는 항생물질에 의한 것(Brown, 1974; Scher and Baker, 1980)과, 일부 근권 미생물은 길항 미생물이 없는 상태에서도 식물의 생장을 직접적으로 촉진하는지를 확인한 결과에서 근권 미생물인 *P. putida*균주를 canola종자에 침지 후 배양시 식물의 지상부의 생장이 현저하게 증가하였다고 최근 보고된 바 있다(Lifshitz et al., 1987). 즉, 근권의 생장과 억제는 균 자체가 분비하는 항생물질에 의한 효과와 호르몬 조절작용을 유발하는 효과를 나타낸다는 것과 미생물 자체가 근권부를 직접 제어하여 지상부의 생장 및 억제에 영향을 미친다고 할 수 있다.

이점에 착안하여, 본 연구에서는 육묘 생산과정에서 식물의 도장의 억제제로서 사용되는 화학합성제의 독성등의 문제를 해결하고, 무독성 대체제로서의 친환경 농업에 적용할 수 있는 PGPR균과 DMRO균의 선발을 위해 다종의 토양 미생물중 식물의 성장촉진과 억제효과를 나타내는 근권 통제형 유효미생물을 선발하고 이를 이용하여 식물생장의 조절이 가능한지를 검정하였다.

Table 5-11. 유효근권미생물 배양토양의 시용에 따른 연작지 토성의 변화

| 구분 | 산도 (1:5) | 유기물 (%) | 유효인산 (mg/Kg) | 치환성(Cmol+/Kg) | | | EC (dS/m) | 유효규산 (mg/Kg) | CEC (Cmol+/Kg) | 질산태질소 (mg/Kg) |
|------|-------------|------------|-----------------|---------------|-------|-------|--------------|-----------------|-------------------|------------------|
| | | | | 칼리 | 칼슘 | 마그네슘 | | | | |
| 적정치 | 6-7 | 2.5-3.5 | 350-500 | 0.7-0.8 | 5-7 | 1.5-2 | -2.0 | - | 10-15 | - |
| 대조구 | 5.06 | 0.94 | 72.87 | 0.17 | 3.57 | 0.88 | 0.70 | - | 6.62 | 12.12 |
| 처리-1 | 6.34 | 4.85 | 459 | 1.58 | 12.96 | 3.12 | 3.04 | - | 10.78 | 169.95 |
| 처리-2 | 6.46 | 4.00 | 407 | 0.84 | 13.44 | 3.22 | 2.81 | - | 10.56 | 117.64 |
| 처리-3 | 7.22 | 5.01 | 512 | 1.61 | 16.84 | 3.49 | 4.67 | - | 9.46 | 217.50 |

대조구 : 배양토 혼합전의 토양분석결과, 처리-1: 잡초 무형성 토양(배양토 1회 혼용 처리후(1년 경과), 처리-2: 배양토 1회 혼용처리후 (2년경과), 처리-3: 배양토 1년 단위 1회 혼용, 2회 처리 후(2년경과)

배양토 조성 : 혼합배양토 기준량(수피 6,000kg, 유박 400kg, 미강 450kg, 골분 500kg/400평)

— 처리조건 : 하절기(장마), 배양토 토양 혼합후 45일 밀폐 숙성

- 영양약 공급 : 복합비료만 관행처리

가. 오이종자에 처리한 성장촉진형 선발균과 억제균 선발

본 연구에서 토양유래 미생물이 작물의 성장촉진 및 억제효과에 미치는 효과를 검증하기 위해 사용된 종자로서 오이(*Cucumis sativus* L. cv Heugjinju)를 사용하였다. 토양 내 존재하는 Soil microorganisms 분리하기 위하여 표층에서 5-10cm범위에서 토양을 채취한 후 LB agar plate를 사용하여 단일 콜로니 분리과정을 일반적인 방법으로 수차례 반복 실시하여 120 different strains을 분리하였다. 우선 선발된 120종의 분리균들을 LB배지에서 37°C로 shaking incubator에서 교반하면서 optical density 1.2가 되게 배양한 후 이를 3차 탈이온수에 0.1%, 0.5%, 1% 그리고 10%로 희석한 배양액을 조성하였다. 그리고 일반 페트리디쉬 내에 무균처리 한 일반 페이퍼를 깔고 50개씩 오이종자를 분산하여 위치시킨 뒤, 3차 탈이온수만(30ml)을 투여한 대조군, 희석 배양균액을 30ml씩 1회 투여(0.1%, 0.5%, 1% 그리고 10%처리군, v/v)한 후 7일동안 25°C, 암실에서 배양하였으며, 배양간 양액은 3차 탈이온수 만을 30ml씩(1회/1일) 첨가하여 배양하였다.

7일이 경과 후, 초장, 하배축 길이 및 근장을 확인하여 오이종자의 발아 및 유묘의 성장촉진과 억제에 관여하는 균을 선발하였다. 성장촉진과 억제에 관여하는 인자

로서 전체 실험구에서 뿌리의 크기를 증가시키는 조건 하에서 하배축길기와 초장이 증가하는 것을 성장촉진으로, 하배축 길기와 초장이 감소하는 것을 성장억제효과가 있는 것으로 설정하였다. 이상의 결과를 토대로 성장촉진형 미생물 4종, 성장억제형 미생물 1종을 선별하였다.

나. 고품배지를 이용한 분리균의 오이 성장촉진 및 억제효과 판정

100구 Tray에 Mixlite(cocovita 1 : perlite 1)를 충전시킨 후 1구에 1개씩 오이종자를 위치시킨 뒤, 3차 탈이온수만을 투여한 대조군, 희석 배양균액을 30ml씩 1회 투여(0.1%, 0.5%, 1% 그리고 10%처리군, v/v)한 후 25℃ 조건에서 3일 동안은 암실조건에서, 이후 4일 동안은 일반조건에서 배양하였다. 배양 양액으로서 최초 3일동안은 3차 탈이온수만을 30ml씩(1주당, 1회/1일), 그 후 4일 동안은 오이용 양액(1/2배, 1회/1일)을 관주로 투여하여 배양하였다. 결과는 7일이 경과 후 초장, 하배축길이, 근장, 상배축길이, 엽장, 엽폭, 엽면적, 경경 및 기관별 생체중과 건물중을 조사하였다. 성장촉진과 억제에 관여하는 인자로서 전체 실험구에서 root mass를 증가시키는 조건하에서, 하배축 길기와 초장이 증가하는 것을 성장촉진으로, 하배축 길기와 초장이 감소하는 것을 성장억제효과가 있는 것으로 설정하였다. 이상의 결과를 토대로 성장촉진형 미생물 1종, 성장억제형 미생물 1종을 선별하였다.

다. Nucleotide sequence of gene 16S rRNA

오이종자를 실험실 및 고품배지에서 발아 및 유묘의 성장촉진 및 억제효과가 확인된 유용세균에 대하여 nucleotide sequence of gene 16S rRNA를 검정하였다. 각 세균들을 LB broth에서 culture한 후 각각 2ml을 취하여 harvesting하였다. 이를 genomic DNA isolation kit(QIAGEN Co. Germany)를 이용하여 total DNA를 분리한 후 16S rRNA gene primer(4종)와 분리한 염색체를 template로 하여 PCR을 수행하였다. 본 연구에서 선발 사용한 유효균과의 비교를 위하여 *Pseudomonas*계열과 관련한 primer 4종은 16S universal primer, B-I, B-II 그리고 B-III를 구입(bionix사, Korea)하여 사용하였다(Weisbrug et al., 1991). 이 PCR 산물들을 1.5% agarose gel에 전기영동한 후 각각의 band를 gel elution kit(QIAGEN Co. Germany)를 이용하여 elution하였다. 그리고 이 PCR 산물들을 T-easy vector(promega.USA)에 ligation한 후 이를 *E.coli* DH5α에 transformation하였다. 이를 X-gal과 ampicilin이 포함된 LB-agar배지에서 14시간을 키운 후 나온 white colony를 다시 ampicilin이 포함된 LB 배지에서 12시간을

키웠다. 이 host를 plasmid mini prep kit (QIAGEN Co. Germany)를 이용하여 plasmid를 prep한 후 sequencing을 실시하였다(Song et al., 2001).

라. 성장촉진제로서의 올리고당화 glucosamine의 적용성 검토

화학합성제 및 토양미생물을 이용하여 작물의 생장억제효과를 인위적으로 유발 시, 예상되는 식물 근의 활력손실을 회복시키기 위한 또 다른 방법으로, 지상부 및 지하부의 생장이 억제된 오이묘에 대하여 성장촉진 효과가 있도록 물성을 조절한 올리고당화 glucosamine를 통해 조절함으로서 추가적으로 사용한 결과 작물의 지상부 및 지하부의 생장회복 효과를 확인하였다. 이를 위하여 glucosamine제제는 (주)NIN(한국)에서 구입하여 사용하였으며, 올리고당화-glucosamine의 물성확인절차는 다음과 같이 실시하였다. 원료처리과정중 고분자로서의 성격을 보유할 시의 분자량의 감소 수치인 점도는 Brookfield점도계(모델 DV-RV++, 미국)를 사용하여 100rpm으로 측정하였고, 측정시 사용하는 Glucosamine 용액은 600ml가 되도록 1% 염산용액에 0.5%(W/W) 고분자-glucosamine을 완전 용해하여 기포가 제거된 후 25℃ 조건에서 측정하였으며, 측정간 측정 스피들은 1~7번을 사용하여 측정하였다. 사용 원료인 올리고당화-glucosamine의 분자량의 조성확인을 위한 분자량 분포도 분석은 GPC(gel permeation chromatography) 분석시스템(JASCO, Model LC-90, Jasco Co., 일본)을 이용하였고 그 분석조건은 Table 5-12와 같은 조건으로 분석하였다. 그리고 pH는 100ml 탈이온수에 1g의 원료를 투여하고 1분 교반 후 상온에서 pH메타로 측정하였다. 고분자-glucosamine의 경우에서 순도는 Terayama방법(*J. Polym. Sci.*, 8, 243, 1952)을 사용하여 측정하였다.

Table 5-12. Glucosamine분자량 분포도를 검정하기 위한 GPC(Gel permeation chromatography)분석조건.

1. 장치

System : JASCO GPC, Model(LCSS-905)

Pump : PU-980

Detector : RI-930

Injector : Rheodyne 7125

Oven : CO-965

2. 조건

Column : Asahipak GS-220 HQ+GS-320 HQ+ GS-520HQ +GS- 620 HQ (7.6mm ID x 300mm L)

Moble phase : 탈이온수에 0.1M NaCl 첨가용액을 사용

Flow rate : 1ml/min

Column Temp. : 40°C

Injection volumn : 200 L

3. 샘플분석

MW maker : Pullulan(MW 853000, 95400, 23700, 5800), oligo sac -charides(MW 322.32, 483, 706, 876)

유도체 샘플 : 0.1% (W/V) 용액(0.45 L membrane여과후 사용)

오이의 생장 및 억제에 미치는 glucosamine의 효과를 검정하기 위하여, 작물의 생장촉진효과가 인정된 *Pseudomonas sp* B와 억제효과가 확인된 *Pseudomonas sp*. D2를 투여한 실험구와 각각의 실험구에 올리고당화 glucosamine용액을 투여시의 지상부 및 지하부의 생장효과를 비교하였다. 즉, 실험구로서 일반 배양한 배양구(대조구), *Pseudomonas sp*. B만을 처리한 B실험구 그리고, *Pseudomonas sp*. D2만을 처리한 D2처리구를 비교구로 하여, 올리고당 glucosamine 용액(5%, w/v)을 3차 탈이온수에 5,000배 희석(% , v/v)하여, 대조구에 올리고당 glucosamine을 처리한 실험군(Con+G처

리구), B실험구에 처리한 군(B+G처리구), 그리고 D2실험구에 처리한 군(D2+G처리구)으로 총 6개 실험군으로 설정하였다. 올리고당화Glucosamine 사용방법으로서 고품배지내에서 오이를 배양하는 과정에서 1주당 20ml씩 관주방법으로(1회/1일) 7일 동안 실시하였다.

마. 생장억제 오이묘에 처리한 생장촉진형 선발균과 glucosamine의 생장 회복 효과 판정

본 실험은 2001년 9월 1개월간 전남대학교 농과대학 시설원예학 실험포에서 수행하였으며 “일향청장오이”를 공시재료로 하였다. 육묘단계시 수분공급 중단하는 등 더 이상의 생육을 기대할 수 없을 정도로 유발된 오이묘를 본엽이 4~5매 정도 전개시 산소베드(30×25×100cm)에 3plant/bed 정식하였다. 배지의 유실을 최소화하기 위하여 베드내 한랭사를 설치한 다음 coir dust와 perlite를 7:3(v/v)의 비율로 혼합하여 충전하였다. 또한 유발된 노화 묘의 생육을 회복·촉진시키기 위하여 전남대학교와 NIN社사에서 개발된 NIN solution과 glucosamine solution 및 *Pseudomonas sp.* D2(O.D 1.2) 용액을 0.5%(v/v) 혼합하여 배지 내 조성하였다. 배양액은 화란 PBG으로 실험기간 중 1배액으로 조절하였으며, 배액률이 10~30%가 유지되도록 타이머에 의한 급액조절 방법을 채택하였다. 전 실험기간동안 대조구는 오이전용 양액만을, 처리구의 경우는 glucosamine제제(5%, w/v)용액을 양액에 5,000배 희석하여 관주하여 오이의 회복정도를 정식 후 15일째 기본 생육조사를 통하여 그 결과를 나타냈다.

2) 유효근권미생물 처리에 따른 선충의 방제효과

본 실험목적은 작물재배 시 피해를 일으키는 뿌리 선충에 대한 (주)NIN에서 개발한 미압의 해충방제효과 검정을 하기위해서 실시하였다. 실험은 2001년 4월부터 5월 중에 오이를 대상으로 하여 전남곡성 오이 재배농가에서 실시하였다. 선충의 실실 검정 및 미압의 제조는 전남대학교 농업생명과학대학 유전공학전공 분자유전학실험실에서 하였다.

실험방법은 아래와 같다.

- 실험실 검정 : 알부터 -선충까지 분리하여 미압의 살충 효과 검정
- 포장시험: 토양재배 (90일재배)->뿌리선충 발생 ->미압 농도조절 및 관주 처리 후 일정별 선충에 대한 피해 억제 및 사멸효과확인
- M9에서 배양한 미압을 1차 증류수로 500배 희석하여 관주 실시

3.2.3. 결과 및 고찰

1) 유효근권미생물이 Root mass 증가에 미치는 영향구명 및 유효 성장 촉진 미생물의 분리, 동정 및 특성검정

가. 오이종자에 처리한 성장촉진형 선발균과 glucosamine의 성장촉진효과판정

그림 5-68은 120종류의 분리된 토양 미생물 배양액을 실험실 조건하에서 오이를 대상으로 종자에 처리하여 배양한 경우, 식물의 근권과 경경 및 하배축 성장촉진 및 억제에 관련한 유효미생물을 1차적으로 선별하였다. 그 결과 *Paenibacillus* sp. CMB100(이하 CMB 100), *Pseudomonas* sp. CMB62(이하 CMB62), *Pseudomonas* sp. HWPD6(이하 HWPD 6), *Pseudomonas* sp. D2(이하 D2), *Pseudomonas* sp. B(이하 B), *Breribacterium* sp. CMB44(이하 CMB44), *Rhodococcus* sp. CMB13(이하 CMB13), *Rhodococcus* sp. HWPD5(이하 HWPD5) 그리고 *Melhylobacterium fusisawaqens* CMB635(이하 CMB635)가 선별되었다. 이중 오이의 성장억제효과를 나타내는 *Pseudomonas* sp. B를 제외한 전체균주는 성장촉진효과를 나타내었다. 또한, 성장촉진 및 억제된 오이묘에 대하여 올리고당화 Glucosamine을 추가적으로 관주방법으로 배양한 결과, 각각 대조 실험군에 대하여 올리고당 glucosamine을 처리한 경우, 지상부 및 지하부의 성장촉진효과가 확인되었다(Fig. 5-69).



Fig. 5-68. Combining effect of microorganism and glucosamine on the seedling growth of cucumber.

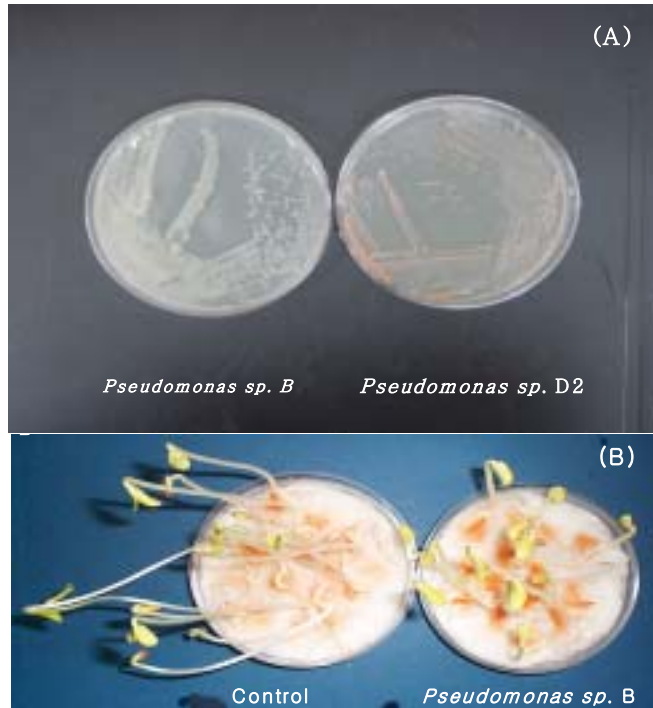


Fig. 5-69.. Effects of growth promoting(*P. sp. D2*) and inhibiting(*P. sp. B*) effect(B) of microorganism selected(A)

Table 5-13는 토양 미생물에서 분리한 균배양액을 이용하여 균종류별, 농도별 조절한 실험실내에서 오이종자를 침지시켜 7일 동안 배양 후 지상부 및 근권부의 성장촉진 및 억제효과를 확인하였다. 처리구별 지상부의 성장 비교결과, 균배양액을 처리하지 않은 대조구(100%기준)에 비하여, 10%를 처리한 경우는 대조구에 비하여 균처리구는 9%에서 32%까지 지상부의 생장이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 CMB 13와 CMB44의 경우는 10%농도로 처리시 2.1%에서 17.5%까지 지상부의 성장촉진을 유발시키는 것으로 조사되었다. 0.1%에서 1%까지의 균농도 구배를 부여한 결과 D2처리구를 제외한 대부분의 선발균이 성장촉진을 유발하는 것으로 인정되었다. 즉, 1%를 처리한 경우 대조구(100% 기준)에 비하여 4.5%에서 약 34%, 0.5%의 경우는 15.3%에

서 26%, 0.1%를 처리한 경우는 16.9%에서 34%의 지상부의 성장촉진효과를 유발하였으나, D2 처리구는 오히려 0.5% 처리구에서 16%가 억제 되었다.

하배측의 생장에 관련된 결과로서, 대조구는 4.55cm(100%기준)와 비교시, 10%의 선발균은 최저 111%에서 최대 199%의 성장촉진효과를, 1%의 경우에는 최저 123%에서 224%, 0.5%의 경우 최저 128%에서 최대 198% 그리고, 0.1%균용액을 처리한 경우 최저 156%에서 최대 209%까지 성장을 촉진하는 것으로 조사되었다. 그러나, D2의 경우는 오히려 46%가 성장 억제하는 것으로 확인되었다.

근권의 성장촉진효과를 조사한 결과, 전체 선발균 배양액을 0.5%에서 10%까지 처리한 경우, 대조구(100%기준)과 비교시 선발균 중 HWPD5와 B 및 D2를 제외한 균처리구는 근권의 성장억제효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 10% 처리균의 경우 최대 62%에서 최저 29%까지 근권 성장을 억제하였다. 또한, 0.5%에서 1% 선발균 처리시 21.9%에서 9.1%의 근권 성장억제 효과를 나타내었다. 그러나 D2와 B를 처리시는 102%와 117% 성장증가효과가 나타났다. 또한, 0.1%처리균에서 CMB62의 경우 13%, CMB44는 15%, CMB635는 13%의 근권 성장억제효과를 나타내었으나, CMB 100와 CMB13는 101%, 100%의 근권 성장촉진효과를 유발하는 것으로 인정되어 균의 종류 및 농도에 따라 성장 과 억제에 미치는 효과는 차이가 있는 것으로 인정되었다.

결론적으로, 본 연구와 관련하여 성장촉진과 관련한 요인이 근권의 활력을 기본조건으로 설정하였기 때문에 초장, 하배측길이의 생장에 관련한 최적 분리균은 HWPD5와 B, 억제와 관련한 분리 미생물은 D2로 조사되었다.

Table 5-13. Comparison of plant height, hypocotyl and root length of cucumber seedling with 1st selected microorganisms.

| Characters | Plant ht.(Cm) | | | | | Hypocotyl Length(Cm) | | | | | Root Length(Cm) | | | | |
|------------|---------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|------|-------|------|-----------------|------|------|------|------|
| | Con. | 0.1% | 0.5% | 1% | 10% | Con. | 0.1% | 0.5% | 1% | 10% | Con. | 0.1% | 0.5% | 1% | 10% |
| Control | 12.37 | - | - | - | - | 4.55 | - | - | - | - | 7.73 | - | - | - | - |
| CMB100 | - | 15.43 | 14.26 | 15.61 | 8.35 | - | 7.60 | 7.28 | 8.42 | 5.42 | - | 7.83 | 6.96 | 7.19 | 2.93 |
| CMB62 | - | 16.22 | 15.54 | 16.29 | 10.18 | - | 9.51 | 9.04 | 10.21 | 7.10 | - | 6.71 | 6.51 | 6.08 | 3.08 |
| CMB44 | - | 14.46 | 14.75 | 15.37 | 12.64 | - | 7.90 | 8.54 | 8.57 | 7.69 | - | 6.56 | 6.21 | 6.79 | 4.94 |
| CMB13 | - | 16.61 | 14.56 | 15.06 | 14.54 | - | 8.88 | 8.53 | 9.23 | 9.05 | - | 7.73 | 6.03 | 6.15 | 5.49 |
| CMB635 | - | 16.07 | 15.34 | 16.52 | 11.24 | - | 9.34 | 8.54 | 9.55 | 7.17 | - | 6.73 | 6.79 | 7.02 | 4.07 |
| HWPD5 | - | 14.96 | 14.82 | 12.93 | 8.53 | - | 7.13 | 5.82 | 5.57 | 5.06 | - | 7.83 | 8.99 | 7.36 | 3.47 |
| B | - | - | 16.36 | - | - | - | - | 7.34 | - | - | - | - | - | 9.02 | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| D2 | - | - | 10.37 | - | - | - | - | 2.44 | - | - | - | - | - | 7.93 | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Con. 0.1%, 0.5%, 1% and 10% : Concentration of Rhizobacterias(v/v), Dilution of bacterial culture broth using 0.85% saline solution.(CMB 100: *Paenibacillus sp.*, CMB62:*Pseudomonas sp.*, HWPD6: *Pseudomonas sp.*, D2: *Pseudomonas sp.*, B:*Pseudomonas sp.*, CMB44:*Breribacterium sp.*, CMB13:*Rhodococcus sp.*, HWPD5:*Rhodococcus sp.*, CMB635 ; *Melhylobacterium fusisavaqens*)

Table 5-14은 오이종자를 대상으로 하여 성장촉진 및 억제 효과가 인정된 분리균을 대상으로 고품배지에 오이종자를 파종한 후 선발균을 1%(v/v)되게 투입하였다. 그리고 7일이 경과시 오이유묘의 성장 및 억제효과를 확인함과 동시에 올리고화 glucosamine 처리시 생장이 억제된 근 및 지상부의 성장회복제제로서 적용 가능성 여부를 확인하였다. 선발균에 의한 초장 성장촉진 및 억제효과를 확인결과, 대조구 대비 (100%기준) 선발균 B를 처리한 경우 성장효과는 7% 감소, D2균을 처리한 경우 38%의 유의한 감소효과를 나타내었다. 억제된 초장생장을 회복시키기 위한 목적으로 사용한 올리고화-glucosamine제제는 생장이 억제된 유묘에 대하여 성장력을 회복시킬 수 있는 것으로 판정되었다. 즉, 대조구에 처리한 올리고화-glucosamine제제 7.3%의 성장촉진효과를, B균 처리구의 경우는 8%, D2균처리구의 경우에는 13%의 성장회복효과를 나타내었다. 그러나 전체처리구에서 대조구에 비해 초장을 제외한 다른 성장특성은 낮게 나타나 올리고화-glucosamine제제는 초장의 성장촉진에만 역할을 나타내는 것으로 조사되었다. 초장, 엽, 경의 크기변화를 살펴본 결과, 대조구(100% 기준)

와 비교시 B군과 D2군 처리구에서 전체적으로 초장의 생장은 억제되는 것과 비교시 전체 처리구에서 엽, 경의 크기가 증가되는 것으로 확인되었다. 즉, 엽장, 엽폭, 엽면적의 크기는 B군 처리구시 102.8%, 107.4% 그리고 110.7%, D2군 처리구는 104.8%, 108%, 117.5%의 증가결과를 나타내었다. 또한, 경경의 변화를 대조구(100% 기준)와 확인하여 본 결과, B군 처리구의 경우 106.2%, D2군 처리구의 경우는 117%의 성장 촉진효과를 나타내었다. 엽록소함량의 변화를 살펴본 결과, B+G의 처리구를 제외하고, 전반적으로 대조군(100% 기준)대비 최저 1%에서 최대 6.5%까지 감소하는 것으로 나타났으나, B+G처리구의 경우 101.9% 증가하는 것으로 조사되었다. 뿌리의 신선중을 대조구(100% 기준)와 비교 조사하여, 근권에 B군과 D2군을 처리시 뿌리활력에 미치는 효과를 조사하였다. 신선중을 분석한 결과, B군 처리구는 154%, D2군 처리구의 경우 165%의 증가를 나타내었다. 잎, 경, 하배축의 신선중을 대조구(100% 기준)와 비교하여, 근권의 B군과 D2군을 처리시 변화를 조사한 결과, 잎의 경우 B군 처리구는 136%, D2군 처리구의 경우 149%의 증가를 나타내었으며, 경의 경우, B군 처리구는 107%증가하였으나, D2군 처리구의 경우 11.4%의 감소효과를 나타내었으나, D2군 처리구의 경우 초장이 38% 억제된 결과와 비교하면 실질적으로 27%이상이 증가된 것으로 나타났다. 또한, 하배축의 무게변화를 확인하여 본 결과, B군 처리구는 147%, D2군 처리구의 경우 163%의 증가를 나타내었다. 엽, 경, 하배축의 건물중을 대조구(100% 기준)와 비교 조사하여, 신선중 결과와 비교하여 보았다. 잎의 경우 B군 및 D2군 처리구 공히 150%의 증가를 나타내었으며, 경의 경우, 대조군 과 실험군 공히 0.03g을 나타내었다. 또한, 하배축의 무게변화를 확인하여 본 결과, B군 처리구는 138%, D2군 처리구의 경우 144%의 증가를 나타내었으며, 그 외의 처리구는 con.+G처리구의 경우 31.3%의 감소결과를 제외한 전체는 104%에서 106%까지 증가 효과를 나타내었다. 결과적으로, B군과 D2군은 오이유묘에 처리한 경우 초장의 생장은 억제시키며, 뿌리의 활력은 증가시킴과 동시에 잎, 경 그리고 하배축의 성장 역시 증가시키는 것으로 확인되었다. 또한, B 및 D2군에 의해 초장생장의 활력을 천연무독성제제인 올리고당화-glucosamine의 처리에 의하여 생장을 추가적으로 촉진시킬 수 있음을 확인하였다.

Table 5-14. The regulating effect of final selected microorganisms during raising seedlings after seed soaking.

| Characters | Plant | Leaf | | | Stem | Chlorophyll |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-------------|
| | | height(Cm) | Length(Cm) | width(Cm) | | |
| Control | 14.15±0.05 | 7.03±0.29 | 7.73±0.15 | 31.56±1.80 | 3.06±0.27 | 26.03±0.57 |
| Con.+G | 15.18±1.10 | 6.30±0.20 | 6.25±0.15 | 22.84±1.12 | 2.44±0.31 | 24.33±0.55 |
| Only B | 13.15±0.95 | 7.23±0.68 | 8.30±0.56 | 34.94±5.50 | 2.25±0.30 | 25.87±2.39 |
| B + G | 14.20±0.90 | 5.63±1.01 | 6.70±0.85 | 22.22±6.68 | 3.08±0.11 | 26.53±0.55 |
| Only 2 | 8.85±0.05 | 7.37±0.23 | 8.35±0.35 | 37.09±0.76 | 3.57±0.35 | 25.90±0.70 |
| D2 +G | 10.03±0.08 | 6.83±0.15 | 7.17±0.47 | 29.44±1.83 | 3.33±0.31 | 25.65±1.25 |

| Characters | Fresh weight(g) | | | | Dry weight(g) | | |
|------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------------|--------------|
| | Leaf | Root | Stem | Hypocotyl | Leaf | Stem | Hypocotyl |
| Control | 0.45±0.05 | 0.26±0.01 | 1.14±0.06 | 0.62±0.06 | 0.04±0.005 | 0.03±0.0005 | 0.048±0.004 |
| Con.+ G | 0.26±0.05 | 0.24±0.04 | 0.90±0.09 | 0.49±0.03 | 0.03±0.005 | 0.02±0.0005 | 0.033±0.002 |
| Only B | 0.61±0.15 | 0.40±0.14 | 1.22±0.15 | 0.91±0.24 | 0.06±0.01 | 0.03±0.0005 | 0.066±0.01 |
| B + G | 0.33±0.10 | 0.28±0.06 | 1.15±0.08 | 0.81±0.06 | 0.03±0.002 | 0.03±0.001 | 0.050±0.001 |
| Only D2 | 0.67±0.02 | 0.43±0.02 | 1.01±0.15 | 1.01±0.07 | 0.06±0.002 | 0.03±0.003 | 0.069±0.002 |
| D2 + G | 0.44±0.02 | 0.24±0.03 | 0.96±0.02 | 0.87±0.05 | 0.04±0.004 | 0.03±0.001 | 0.051±0.0005 |

Control ; only mixlite배지, 일반배양, Con.+ G ; Mixlite배지, 0.0001% Glucosamine용액(1회/20ml) 관주 처리 후 일반배양, Only B ; Mixlite고형배지, 오이 1주당 1% B균 20ml(1회) 관주처리 후 일반배양, B+G ; Mixlite배지, 오이 1주당 1% B균 20ml(1회) 관주처리 후, 0.0001% Glucosamine용액 20ml(1회/1일) 7일동안 관주처리배양, only D2 ; Mixlite고형배지, 오이 1주당 1% D2균 20ml(1회) 관주처리 후 일반배양, D2+G ; Mixlite배지, 오이 1주당 1% D2균 20ml(1회) 관주처리 후, 0.0001% Glucosamine용액 20ml(1회/1일) 7일동안 관주처리배양

- D2 ; *Pseudomonas sp.*D2, B ; *Pseudomonas sp.*B, G ; Oligomer-Glucosamone

그림 5-70은 본 연구에서 선발 사용한 유효균과의 비교를 위하여 *Pseudomonas sp* 계열과 관련한 primer를 이용하여, Sequencing 데이터를 기반으로 genebank의 결과와 비교하여 오이의 성장과 억제에 관여하는 분리균의 nucleotide 특성을 검정하여 보았다. 동정결과 B는 *Pseudomonas sp*, D2는 *Pseudomonas sp.*로 확인되었으며, 16S rRNA gene 동정결과는 차이도 매우 미미한 것으로 밝혀졌다. 즉, 두 균의 차이는 단 하나의 nucleotide에서만 차이가 남을 알게 되었다. 즉, 1.5kb 중에서 단지 1,490bp위치에서 B는 ...A-GG...이었으나 D2는 ...AGGG...였으며 99.9%의 homology로 나타나 0.1%의 차이가 오이의 성장촉진과 억제에 관여하는 것으로 사료되었다.

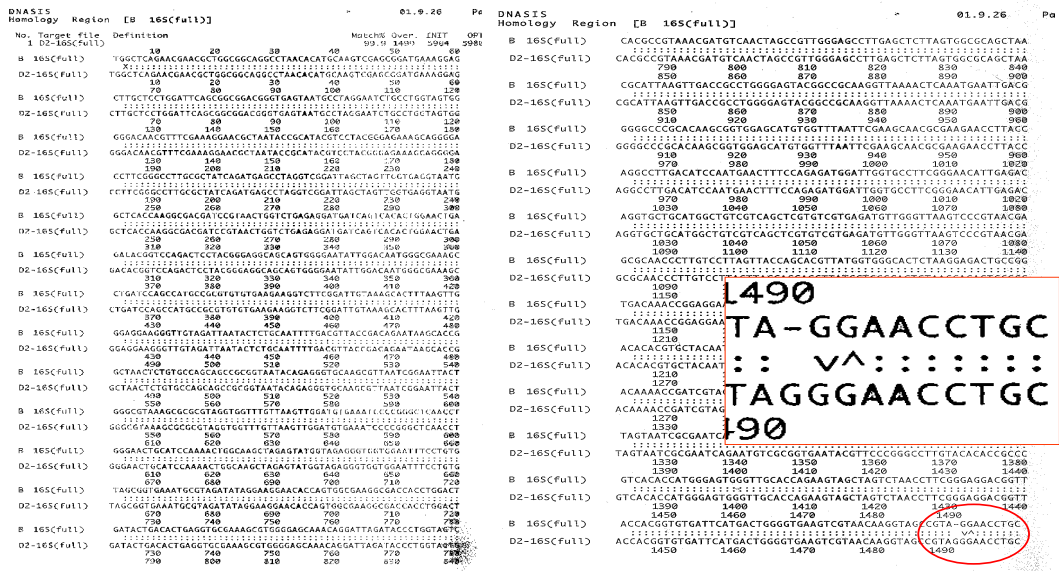


Fig. 5-70. The results of nucleotide sequence of gene 16S rRNA (D2 ; *Pseudomonas sp.*D2, B ; *Pseudomonas sp.* B)

그림 5-71는 오이의 성장촉진효과를 검정하기 위해 사용한 glucosamine올리고당의 물성분석 결과이다. 본 연구에 사용된 glucosamine올리고당의 점도를 Brookfield점도계(모델 DV-RV++, 미국)를 사용하여 100rpm으로 측정한 결과 점도는 2.2centi poise로 나타났다. 그리고 glucosamine이 보유한 기본 물성치인 Deacetylation ratio는 92%를 나타내어 일반적으로 올리고당화-glucosamine으로의 제조시 탈아세틸화도(Deacetylation Ratio, %)가 50%이상일 때 glucosamine이라고 함과 비교시 본 연구에 사용한 glucosamine의 순도는 높은 것으로 확인되었다. 본 연구에 사용된 Glucosamine 올리고당의 구성성분을 GPC분석을 실시하여 검정한 결과는 다음과 같다(Fig. 5-72). 우선 GPC분석에 앞서 분석기기의 객관성을 부여하기 위하여 표준정량을 실시하였다(Fig. 3-5, A). 그 결과, 표준체로서 Pullulan(MW 1,660,000, 380,000, 186,000, 100,000, 48,000, 23,700, 12,200, 5,800, 966)과 oligosaccharides(MW 805, 644, 483, 322, 161) 14개체를 검정한 결과 분석기기의 측정오차는 최저 -10.5%~최대 24.98%의 범위를 나타내었으나, 본 연구의 재료로 사용한 올리고당화-glucosamine올

리고당의 정량분석에는 문제가 없는 것으로 인정되었다(Fig. 3-5, A). 올리고당화-glucosamine의 분석조건은 Table 3과 같은 조건으로 실시하였으며, 결과는 다음과 같다(Fig. 3-5, B). 평균분자량은 1,357, 수평균(Mn)의 경우는 731, 분석간 분포지수는 1.86이었다. 분자량의 조성은 최저 292에서 최대 15,962의 범위를, 1~10당체의 올리고당의 함유량이 78.5%함유되어 있었고, 저분자화-glucosamine은 21.5%의 범위를 보유하고 있어 본 연구에 사용된 glucosamine는 올리고당의 성격을 보유한 적절한 물질임이 확인되었다

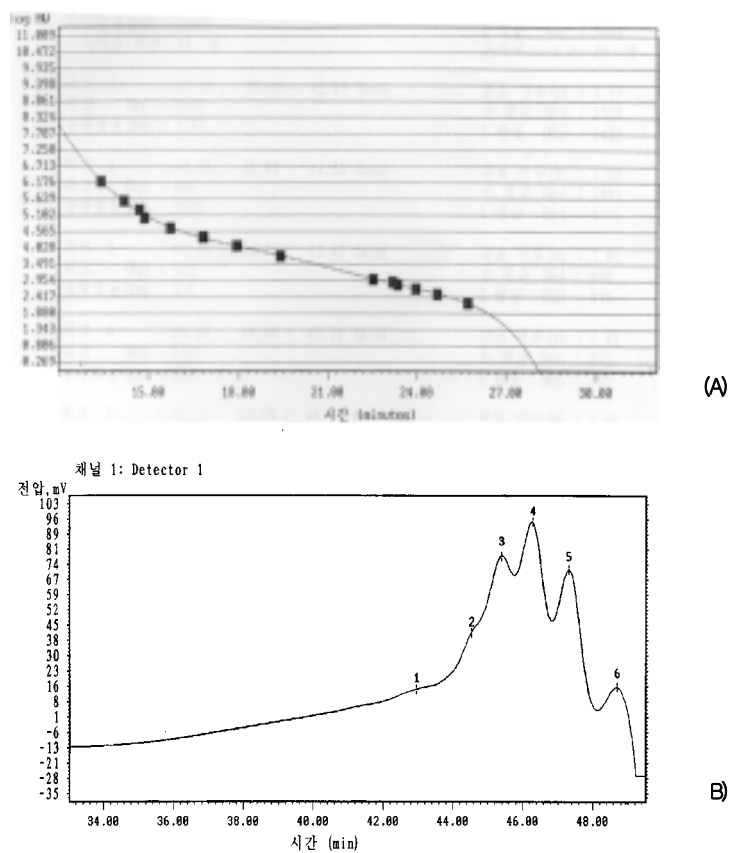


Fig. 5-71. 오이의 성장촉진효과를 갖는 올리고당화-glucosamine제제의 GPC 분석 결과(A: 표준검량선, B: 실험용 올리고당화-glucosamine)

나. 생장억제 오이묘에 처리한 생장촉진형 선발균과 glucosamine의 생장 회복효과 판정

본 실험은 극도로 유도된 생장억제묘에 NIN solution, glucosamine 및 *Pseudomonas sp.* D2 등을 사용하여 과실 수확 이전단계까지의 그 회복정도를 파악하여 sink/source의 경합이 활발히 이루어지는 과실 수확단계에서의 그 회복 가능성에 대한 예비실험으로서 그림 5-72는 생장억제 오이묘의 정식 15일째의 초장을 나타낸 것이다. 생장억제묘에 화란 PBG 배양액만을 공급한 대조구에서는 초장이 $54.20 \pm 9.20\text{cm}$ 이었던 반면, 상기 제제와 생기베드를 병행 사용한 처리구에서는 $103.70 \pm 0.30\text{cm}$ 으로 그 신장이 100% 정도의 촉진효과를 나타내었다.

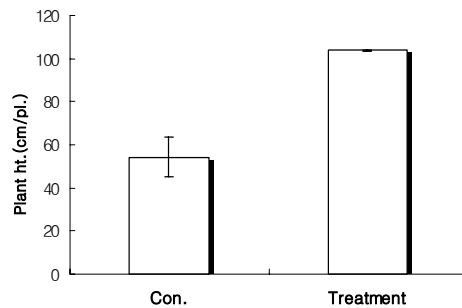


Fig. 5-72. Plant height of growth inhibition cucumber plant by the combining treatment of *Pseudomonas sp.* D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite.

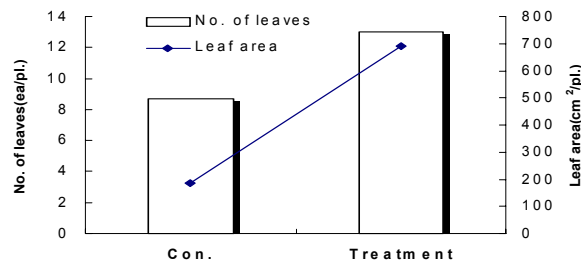


Fig. 5-73. Number of leaves and leaf area of growth inhibition cucumber plant by the treatment of *Pseudomonas sp.* D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite.

그림 5-73은 생육조사시기까지 적엽하지 않았던 엽수와 엽면적을 나타낸 것으로 초장 신장이 잘 이루어졌던 처리구에서 엽의 전개 또한 잘 이루어졌으며 $186.6 \pm 72.7\text{cm}^2$ (대조구), $691.0 \pm 213.0\text{cm}^2$ (처리구)으로 엽면적에서도 확연한 차이가 이루어졌다.

그림 5-74는 유묘 단계에서 인위적으로 생장억제를 유발시킨 후, 생기베드와 생장촉진형 제제를 사용한 후 15일동안의 결과를 무게비 대비로 요약한 결과이다. 일반조건으로 배양한 대조군 생장억제 오이묘에 대하여 처리군의 경우 엽면적의 변화는 212.7%, 줄기는 106.9%, 그리고 근중의 무게는 98.5%가 더 무게 차이가 나는 것으로 조사되었다.

결론적으로, 현장실험을 전개하기 전, 오이 생장억제유묘를 대상으로 한 예비실험결과에서 생기베드와 본 연구간 개발된 근 형성 및 지상부 생장촉진형 개발제제를 동시에 사용한 경우, 생장억제 오이묘에 대하여 근 활력 촉진과 생장촉진효과가 도출되는 기본결과가 도출됨으로서 오이를 대상으로 양액재배 시 발생하는 생장억제 회복에 대한 시스템 및 적용공정과 사용제제의 개발이 동시에 확보되는 효과적인 결과를 얻었다.

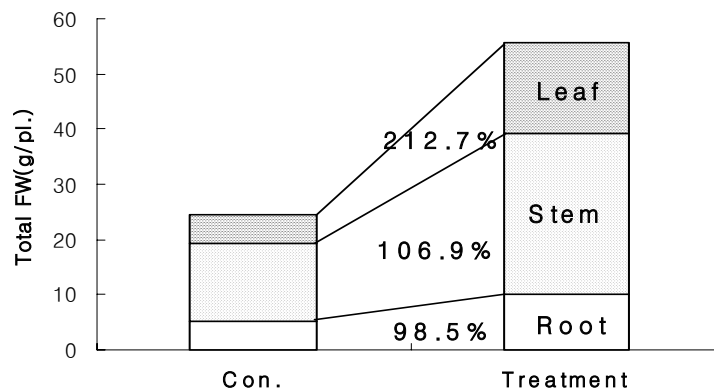


Fig. 5-74. Growth responses of senescent cucumber plant by the treatment of *Pseudomonas sp.* D2, NIN solution and glucosamine solution grown in perlite.

화학합성제의 경우 일정이상의 농도를 사용하였을 경우, 전체적으로 길이 생장을 억제하나, 줄기와 뿌리의 직경은 증가한다는 결과와 비교시, 선발균을 처리시 균종류별 처리에 따라 길이생장, 뿌리 및 하배축에 미치는 영향은 화학합성제와 다른 기작과 효과를 나타내는 것으로 확인되어 화학합성제를 사용 시 나타나는 Negative결과를 예방 및 대체할 수 있다고 판정되었다. 즉, 균의 종류 및 농도에 따라 생장 과 억제에 미치는 효과는 차이가 있는 것은 선발균의 종류별 특징과 기작이 다르게 존재하기 때문인 것으로 생각되어, 작물별, 유효세균별 및 농도별로 적용방법에 대한 지속적인 연구가 반드시 필요하다고 생각되었다. 본 연구와 관련하여 토양 내 존재하는 미생물을 분리하여 작물의 생육촉진 기작에 대한 연구결과를 살펴보면, *Bacillus sp.* 등은 균체에 의하여 합성된 다양한 배출물질 및 생리활성물질이 식물에게 공급됨으로써 식물의 생장이 촉진된다고 보고된 바 있다(Ra, 1997). 이 보고에서 *Bacillus sp.*의 경우는 저농도의 GA를 생산, 항생물질 생산에 의한 병원균의 생물학적 방제에 따른 식물생장촉진, 다양한 영양물질의 생산에 의하여 식물의 생장이 촉진되는 것으로 알려지고 있다(Brown, 1974). 또한, *Azospirillum sp.*의 경우는 영양물질의 생산 및 이용성 향상 측면에서 식물의 생장을 양호하게 하는데, 특히, 질소원의 이용성을 현저하게 증가시켜 식물의 생장을 촉진하는 것으로 보고되어지고 있다(Kapulnik, 1983; Lin et al., 1983; Morgennstern et al., 1987). 이를 근거로 볼 때, 본 연구의 실험실 및 고형배지에 적용한 결과에서 오이 유묘의 생장이 촉진된 결과는, 이러한 영양원 및 다양한 생리활성물질의 이용성 증대라는 측면에서 이루어졌을 것이라고 생각되었다. 미생물 제제를 사용하여 근권 및 길이생장이 억제되었을 경우 이를 회복시킬 수 있는 천연제제의 개발과 그의 이용성에 대하여도 검토하였다(Table 5-2). 효소가수분해법으로 제조한 glucosamine를 처리할 경우 식물의 생장에 관련한 보고를 살펴보면, Hirano(1987)의 연구에서 분자량을 300-1,300으로 조절된 물성의 제제를 사용 시, 한천배지 상의 조직배양 결과 대조군에 비하여 생장률이 120%에서 150%까지 증가하였음을 보고한 바 있으며, 감자를 대상으로 하여 토양 300평당 1Kg의 고분자 glucosamine을 사용한 결과를 발표한 바 있는데, 감자를 침적 및 토양에 혼합하여 배양한 경우는 대조군 대비 142% 정도의 증수효과가 나타났으며, 1주당 중량의 변화는 143%, 지상부의 무게는 158%에서 161%까지, 근권부의 147%에서 150%의 생장 촉진 효과를 나타내었다고 발표한 보고하였다(Chang, 1995). 이러한 증수 효과에 미치는 결과는 우선 Glucosamine의 구성이 세균의 구성성분인 N-acetyl glucosamine과 유사함에 따라 식물에 접촉하는 경우, 식물은 병원균에 오염된 것으로 오판하여 자기방어기작을 가동시킬 것이라

는 설과 이러한 방어기작과 동시에 식물의 효소활성이 증가된다고 하였으며, 동시에 토양에 혼합된 glucosamine은 토양 미생물중 방선균의 영양원으로 사용되는 과정 중에 올리고당으로 분해되어 최종 식물의 영양공급원으로 사용됨과 동시에 토양 내 유익미생물의 증가를 도모한다고 하였다. 그리고 아미노기를 보유하고 있으므로 glucosamine은 토양 내에 존재하는 미량광물질과 흡착되고 식물이 우선 영양원으로 섭취 시 동시에 흡수됨으로써 전체적으로 식물의 생장에 관여 할 것이라고 언급하였다. 이러한 보고내용에 근거하여, 선발균을 사용하여 근권 및 길이 생장을 억제시킨 glucosamine을 처리한 경우, 오이 유묘에 대하여 생장회복효과가 있는지를 검토한 결과, 대조구의 경우는 뿌리 14.1%, Stem 61.6% 그리고 잎의 점유율은 24.3%로 나타나 생장에 관련한 순위는 줄기, 잎 그리고 뿌리순으로 확인되었다. 그러나 D2균처리구의 경우는 뿌리의 점유율이 20.4%, 잎 31.8% 그리고 줄기는 47.9%로 나타나 D2균은 전체 생장부위 중 뿌리와 잎의 생장에 주로 관여하고, 상대적으로 줄기의 생장은 유의하게 억제시킴을 알 수 있었다. 또한, B균 처리구의 경우도 뿌리의 점유율은 17.9%, 잎 27.4% 그리고 줄기는 54.7%로 나타나 역시 D2균의 처리경우와 유사한 결과를 나타내었다. 올리고화-Glucosamine제제가 생장촉진 및 억제에 관여하는 요인을 분석하여 본 결과, 대조구의 경우는 뿌리 14.1%, 줄기 61.6% 그리고 잎의 점유율은 24.3%로 나타나 생장에 관련한 순위는 줄기, 잎 그리고 뿌리순으로 확인되었으며, 올리고화-glucosamine제제(Con.+G처리구)를 처리시, 줄기의 점유율은 27%, 뿌리의 점유율은 3%증가함에 비하여 잎의 점유율은 5.7%가 감소하여 올리고화-glucosamine제제는 줄기와 뿌리의 생장에 주로 관여함을 알 수 있었다. 그러나 B균과 D2균 처리구에 올리고화-glucosamine제제를 고품배지에 처리한 경우는 줄기의 점유율이 10.6% 증가하는 반면에 잎은 8.6%, 5% 그리고 뿌리의 점유율은 2%와 5.8%감소하는 결과로 나타났다. 이는 올리고화-glucosamine제제는 전체적인 생장촉진과 관여하고 원인으로서는, 1)미생물과의 상호관계, 2) 식물의 호르몬과 효소의 변화의 유도과 이에 의한 생장효과도 유발할 가능성도 배제할 수 없어 이에 대한 추가적인 연구도 진행되어야 할 것으로 사료되었다. 즉, 기존 발표 내용과 비교시 올리고화-glucosamine제제는 식물의 근권활력 촉진, 영양원으로서의 효과, 생리활성증가 및 식물면역체제의 효과를 동시에 나타냄으로써, 전체적인 생장촉진을 유발되는 것으로 생각되었다. 본 연구에서 선발 사용한 유효균의 유전자 차이를 확인하기 위하여, *Pseudomonas* sp 계열과 관련한 primer를 이용하여, sequencing 데이터를 기반으로 genbank의 결과와 비교하여 오이의 생장과 억제에 관여하는 분리균의 nucleotide 특성을 검정하여 보았다. 동정결과 B는

Pseudomonas sp, D2는 *Pseudomonas* sp.로 확인되었고 16S rRNA gene 동정결과는 차이도 매우 미미한 것으로 밝혀졌다. 즉, 두 균의 차이는 단 하나의 nucleotide에서만 차이가 남을 알게 되었다. 즉, 1.5kb 중에서 단지 1,490bp위치에서 B는 ...A-GG...이었으나 D2는 ...AGGG...였으며 99.9%의 homology로 나타나 0.1%의 차이가 오이의 성장 효과에 다르게 관여하는 것으로 사료되었다. 결론적으로 오이유묘를 대상으로 전체 및 기관별 성장촉진과 억제에 미치는 효과는 미생물의 종류, 농도에 따라 효과는 달리 나타났으며, 동일 종에 속하는 *Pseudomonas* sp. 계열 균에 대한 유전자 차이는 오이의 성장촉진 및 생장억제 효과에 대하여 반대적인 결과를 나타내었으며, 최적 사용농도는 0.5%로 확인되었다. 천연올리고당-glucosamine의 적용은 합성억제제의 피해를 예방할 수 있는 대체제로서 사용할 수 있다고 판단되었으며, 0.0001%(w/v)의 농도와 올리고당화 하였을 경우 식물의 체내 흡수 및 이용등에 적절한 물성임이 확인되었다.

다. 유효근권미생물이 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향

(1) 근권미생물이 오이의 생육에 미치는 영향

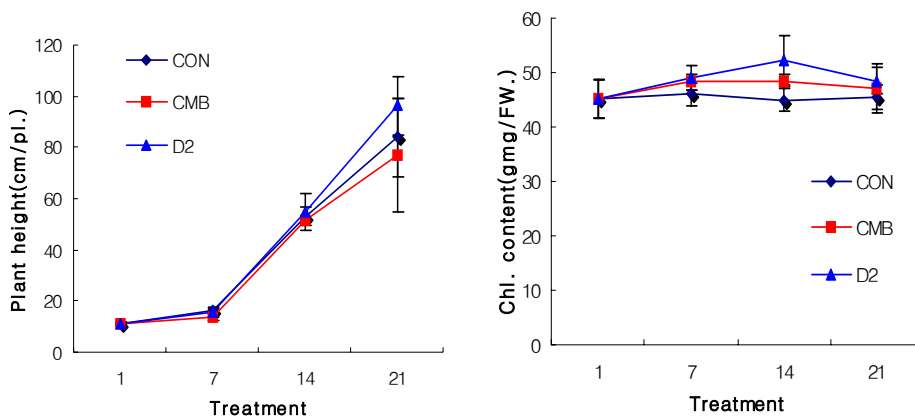


Fig. 5-75. Changes in plant height and chlorophyll content as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown cucumber plant.

그림 5-75은 유효 근권미생물 처리에 따른 오이의 초장 및 엽록소함량 변화를 나타

낸 것이다. 초장의 경우 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 초장이 급격히 증가하였다. CMB처리구는 무처리에 비해 다소 초장의 변화가 낮게 나타났다. 엽록소 함량도 초장과 유사한 경향으로 전반적으로 근권미생물 처리구가 무처리구에 비해 높게 나타났다.

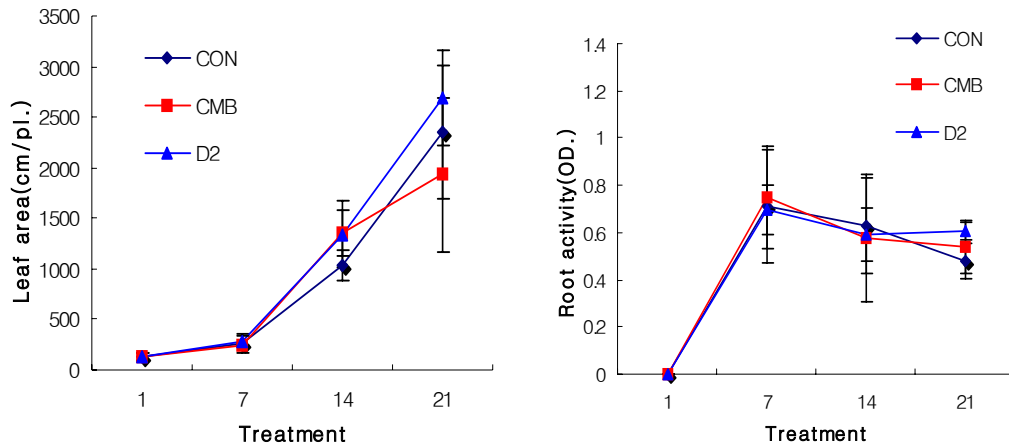


Fig. 5-76. Changes in leaf area and root activity as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown cucumber plant.

그림 5-76는 유효 근권미생물 처리에 따른 오이의 엽면적변화 및 근활력 반응을 나타낸 것이다. 엽면적의 경우도 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 엽면적이 급격히 증가하였으며 CMB처리구는 무처리에 비해 초장의 변화와 마찬가지로 낮게 나타났다. 근활력은 D2처리구의 경우 2주까지는 다소 낮게 나타나다가 미생물이 활착을 한 후 부터는 다른처리구에 비해 높게 나타났다.

그림 5-77과 78은 저온처리에 따른 오이의 근활력 및 ion leakage를 나타낸 것이다. 미생물을 bead로 처리한 양액에서 오이를 재배하면서 미생물에 의해서 오이의 저온 내성이 증가되는지를 조사하였다. 오이를 저온(10℃)에서 재배하여 root activity를 조사한 결과 저온처리에 의해 근활력이 다소 낮았지만 D2 처리구의 근활력이 대조구보다 높게 나타났고, 이 뿌리의 ion leakage를 비교해보아도 D2처리구가 훨씬 적다는 것을 알 수 있었다.

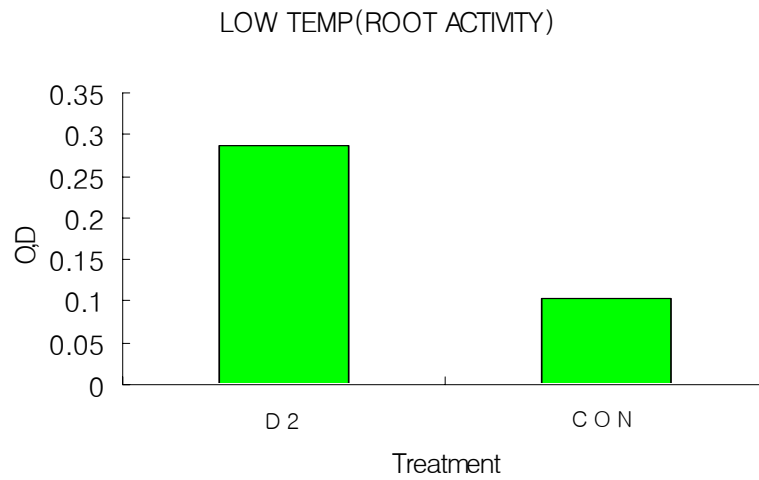


Fig. 5-77. Analysis of root (cucumber that was cultured in Low temperature) activity by TTC (2, 3, 5 - Triphenyl-tetrazolium Chlorides) method . TTC was reduced by dehydrogenase and formed water-insoluble red formazan which was measured by spectrophotometer on 484nm. In other words, TTC red formazan formation is relate with enzyme activity.

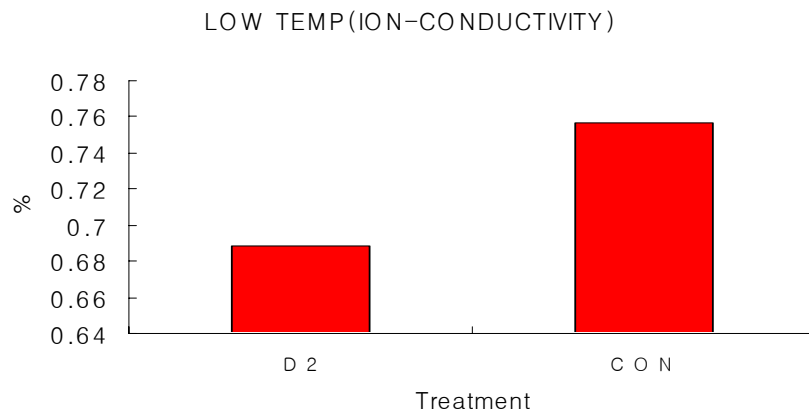


Fig. 5-78. Analysis of root(cucumber that was cultured in Low Temperature 10°C) ion-conductivity. It showed clearly different ion leakage value by EC meter

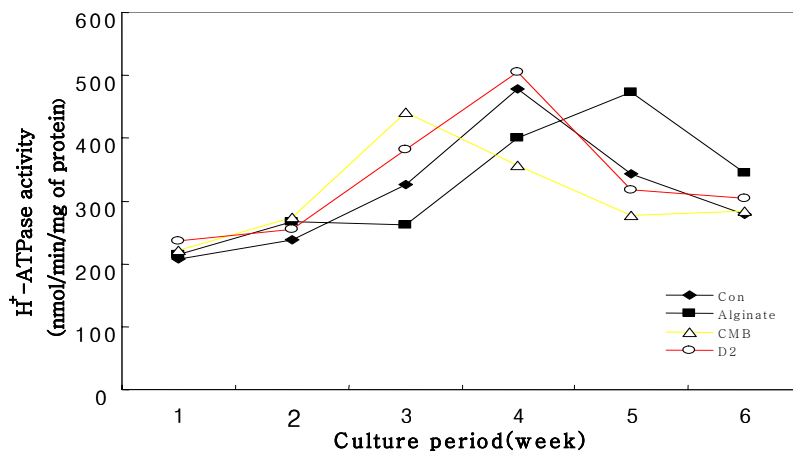
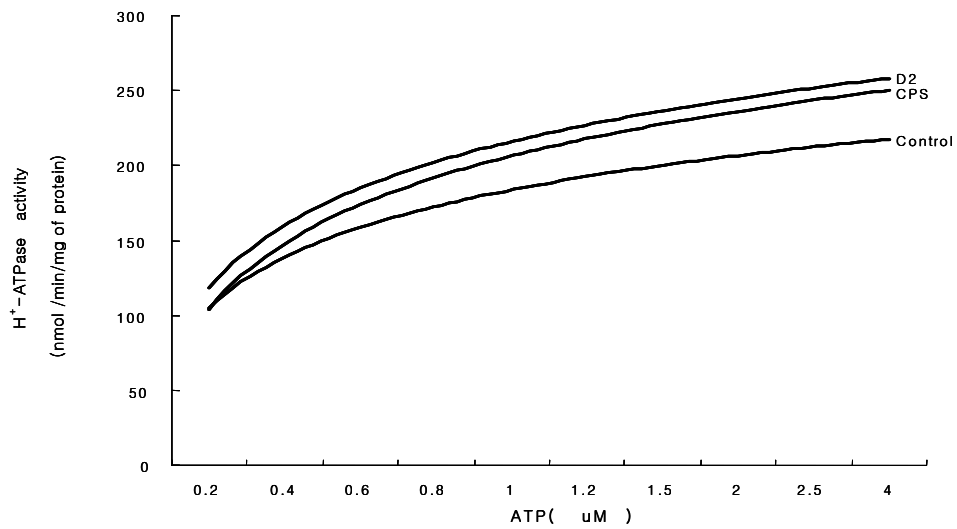


Fig. 5-79. Effect of microorganisms on plasma membrane H⁺-ATPase activity of cucumber roots

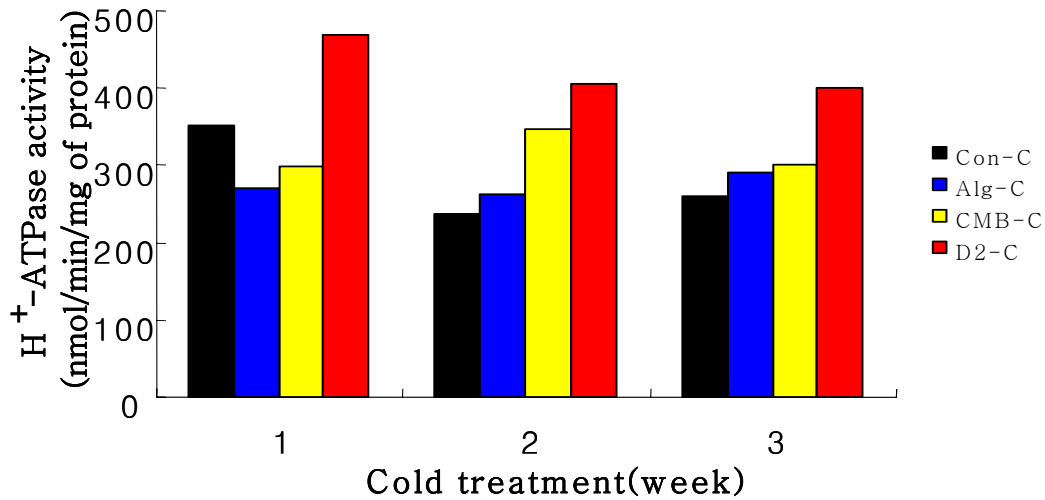


Fig. 5-80. Effect of microorganisms on plasma membrane H^+ -ATPase activity of cold treated($10^{\circ}C$) cucumber roots.

· 본엽이 2매 인 유묘를 정식한 후 균주를 1회 처리하고 3주 동안 재배하면서 주간격으로 뿌리 조직을 취하였다. · 미생물 처리군과 무처리군의 오이 뿌리 50-60g을 사용하여 6.2% PEG/6.2% Dextran two phase partitioning 방법으로 순수한 원형질막을 분리하였다. Bradford 정량법으로 막 단백질을 정량한 후 분주하여 액체질소에 보관하였다. · 뿌리 원형질막의 H^+ -ATPase 활성도를 측정하기 위하여 $20\mu g$ 단백질에 해당하는 원형질막 시료를 사용하고 ATP를 기질로 삼았다. 반응 혼합체를 $30^{\circ}C$ 에서 30분간 반응시킨 후, 10mM $CuSO_4$ 가 섞인 1% ascorbic acid 로 $30^{\circ}C$ 에서 30분간 발색시켰다. Mg^{+2} 의존성이고 K^+ 에 활성화되는 H^+ -ATPase 활성도를 720nm에서의 흡광도로 측정하였다(Fig. 5-79-80).

· 순수하게 원형질막만을 분리하여 H^+ -ATPase 활성도를 측정하였다. 그 결과 D2 처리군은 처리 1주에서 대조군과 CMB 처리군에 비하여 약 20%정도 높은 효소 활성도를 보였으며 조사 기간 동안 대조군보다 계속 높은 수준의 활성도를 유지하였다. CMB의 경우, 처리 1주에는 미처리군보다 활성도가 낮았으나 2주에 크게 증가하고 3주까지 가장 높은 효소 활성도를 유지하였다. · 결론적으로 미생물 처리군에서 대조군에 비하여 실험 기간 3주 동안 H^+ -ATPase 활성도가 높았으며, 균주에 따라 효소의 활성화 양상이 달랐다. D2 처리군의 경우는 처리 초반에 효소 활성도가 증가한 반

면 CMB 처리군은 2주에 효소활성도가 크게 증가한 후 3주에서도 높은 활성도가 지속되었다. 그러나 가장 중요한 결론은 미생물들, D2와 CMB가 서로 다른 기작으로 오이 뿌리의 생리활성을 조절한다는 점이다.

· 원형질막 H^+ -ATPase 활성도의 조절은 다양하게 이루어지고 있다. 원형질막 H^+ -ATPase의 C-terminal domain에 존재하는 auto-inhibitory domain의 modification에 의한 조절과 유전자 발현의 증가에 따른 효소 활성도 증가, 또한 효소가 존재하는 막 환경의 변화 즉 막 구성 지질의 불포화로 인한 효소 활성도 조절 등이 있다. 효소 단백질 구조의 변화로 auto-inhibitory domain의 인산화/탈인산화에 의한 또는 trypsin에 의한 auto-inhibitory domain의 절단, 그리고 14-3-3 조절 단백질에 의한 효소 활성도 증가 등이 알려져 있다.

미생물 처리군은 저온 처리 3주까지 생존하였으며 H^+ -ATPase 활성도도 일정 수준으로 유지된것으로 미루어 저온 민감성인 오이도 미생물 처리로 일정기간 내성을 갖게 될 수 있음을 확인하였다.

오이 뿌리가 저온 내성을 지니게 된 원인으로 미생물 처리로 저온에서 뿌리의 H^+ -ATPase 활성도가 일정 수준으로 유지되었으며, 저온에 의한 막의 손상도 회복 가능한 범위로 약화되었기 때문으로 확인되었다.

미생물 처리에 의한 H^+ -ATPase 활성도 증가는 막지질의 불포화와 무관하며 저온에서 막지질의 불포화가 이루어지지 않는 현상이 오이 뿌리의 내성 결핍과 연관된 것으로 판단된다.

(2) 근권미생물 처리가 토마토의 생육에 미치는 영향

그림 5-81와 82는 유효 근권미생물 처리에 따른 토마토의 초장, 엽록소함량, 엽면적 및 근활력 반응을 나타낸 것이다. 오이의 경우에서처럼 성장반응이 뚜렷하지는 않지만 근권미생물 처리에 의한 토마토의 성장도 전반적으로 높게 나타났다.

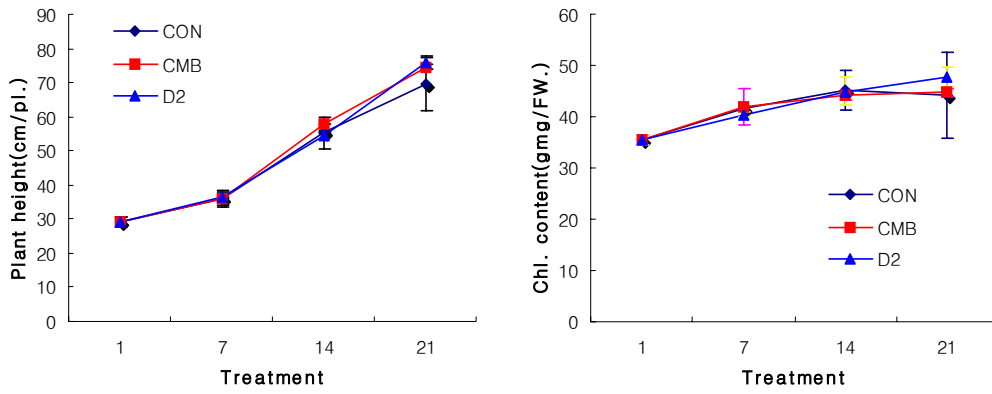


Fig. 5-81. Changes in plant height and chlorophyll content as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown tomato plant.

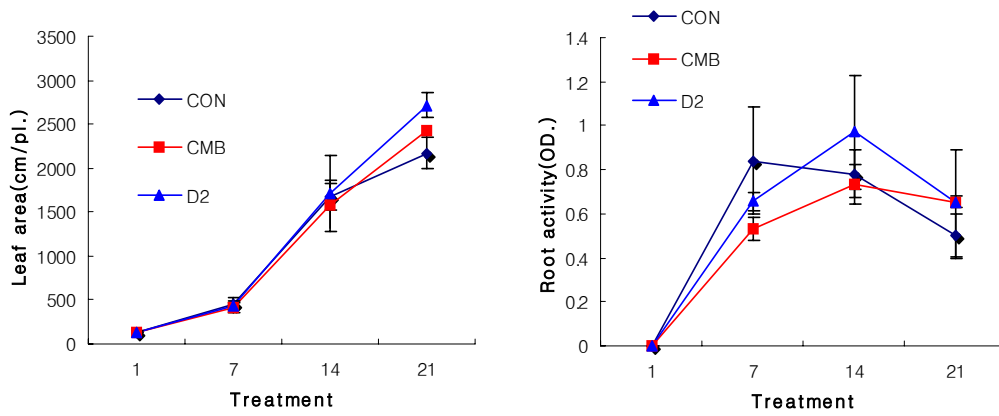


Fig. 5-82. Changes in leaf area and root activity as affected by D2 and CMB treatment of hydroponically grown tomato plant.

2) 유효근권미생물 처리에 따른 선충의 방제효과

뿌리혹선충 뿌리에서 기생하면 뿌리의 조직이 혹 모양으로 된다. 이 혹에는 여러 개의 작은 뿌리가 분지하지만 기생이 적을 때는 문제가 되지 않는다. 토양 중에 선충 밀도가 높으면 뿌리혹이 많이 생기며, 뿌리의 자람이 나빠져 잎이 누렇게 변색되고 생육이 정지되며 덩굴이 말라죽는다. 암성충은 서양배 모양으로 길이는 0.5mm내외, 최장폭은 0.35mm 정도이다. 수컷은 뿌리 주위나 토양중에 있으며, 회충 모양으로 길이는 1.0-1.4mm, 폭은 0.03mm정도이다. 유충은 길이가 0.4mm 전후이며, 끝이 뾰족한 회충 모양이다. 추운 지방에서 발생이 많으나 따뜻한 지방에서도 많이 발생한다. 알에서 부화한 2기 유충은 새뿌리 선단부위에서 조직속으로 침입하여 정착한 후 양분을 흡수한다. 암컷은 점차 비대해져 소시지 모양에서 서양배 모양으로 되며, 수컷은 성충이 되어도 회충 모양이며 뿌리 조직에서 토양으로 나온다. 발생이 좋은 조건에서는 1세대를 경과하는 데 25-30일 정도가 소요되며, 연간 수세대를 경과한다. 암성충은 알주머니 안에 산란을 하고 몸 밖으로 배출한다. 암컷 1마리당 평균 500-600개의 알을 낳는다. 건조한 조건이나 저온과 같은 불량한 조건에 대해 알이 가장 저항력이 강하며, 대부분 알로서 월동한다. 또한 3-4년간 재배하지 않거나 비기주작물을 재배하여도 그 후에 기생이 쉬운 작물을 재배하면 수년 내에 밀도를 회복한다.

선충의 방제대책은 모상이나 본포에 선충이 없는 곳을 택하여 재배하는 것이 중요하므로 재배하기 전에는 포장의 선충 유무를 조사하여 선충이 없는 것을 확인하고 재배한다. 앞에 재배한 작물의 뿌리에 뿌리혹선충의 피해가 발견되면 살선충제를 뿌리고 경운하거나, 경운 후에 비닐을 피복하여 밀봉하고, 태양열을 이용하여 토양온도를 높게 유지하면 토양내 밀도를 낮출 수 있다. 작물을 재배하기 전에 포장에 물을 대고 며칠간 유지하면 선충밀도가 낮아진다.

본 실험은 항충성 효과를 내는 미생물 바실러스속균(*Bacillus* sp.)을 이용한 선충 사멸형 미생물 농약을 개발하기 위해 수행하였다.

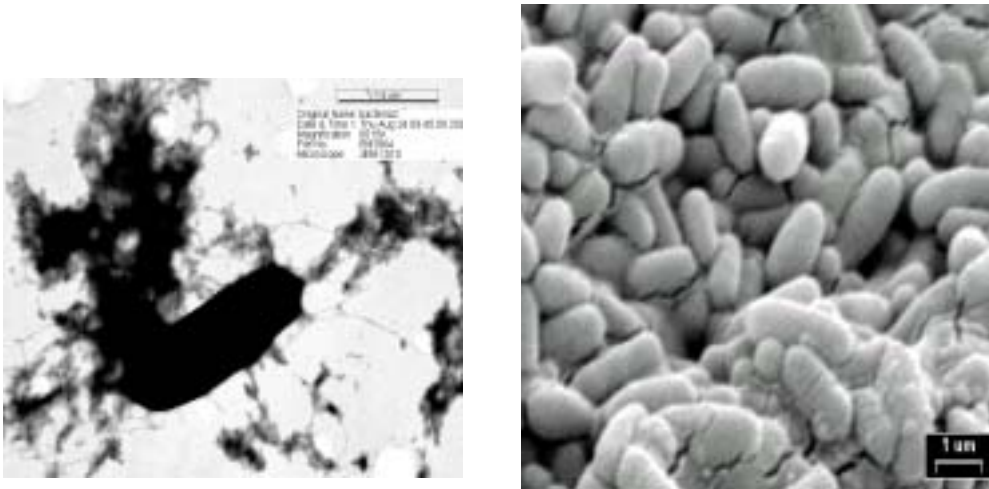


Fig. 5-83. 바실러스속균(*Bacillus* sp.)CMB26의 형태학적 분석을 위한 전자현미경 사진

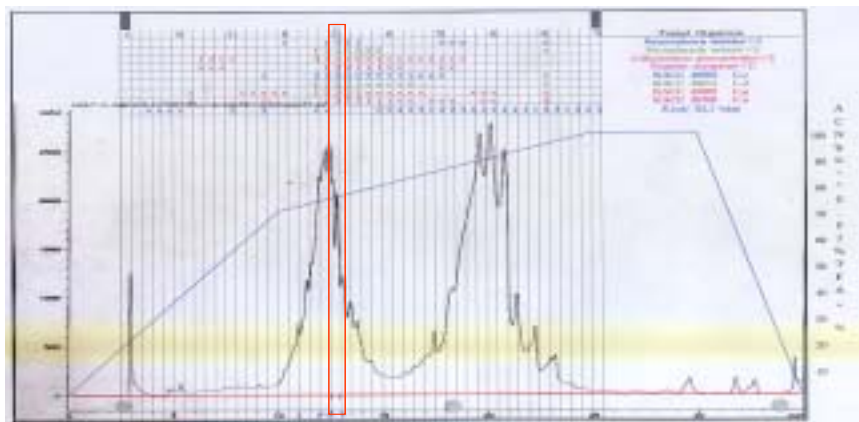


Fig. 5-84. 바실러스속균(*Bacillus* sp.)CMB26균이 내는 해충방제 물질 Lipopeptide의 향미생물성 구멍 HPLC스펙스럼

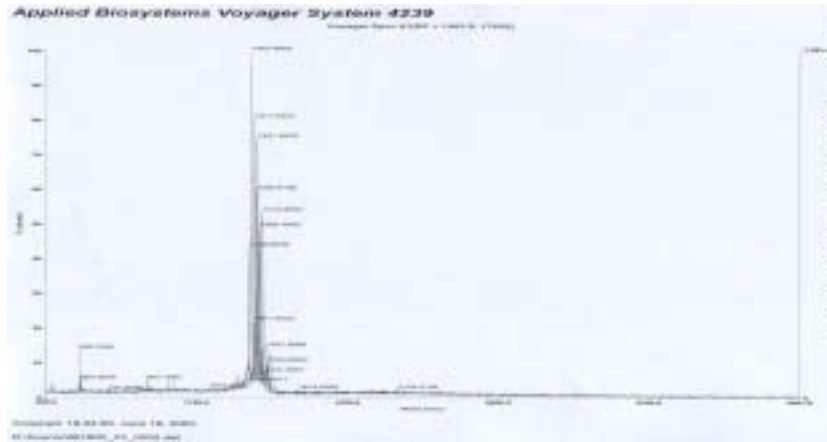


Fig. 5-85. 신규균 바실러스속균(*Bacillus* sp.)CMB26균이 내는 해충방제 물질 Lipopeptide 물질분석(MALDI-TOF profile, HPLC, fraction No.29, main pick : 1465 Da)

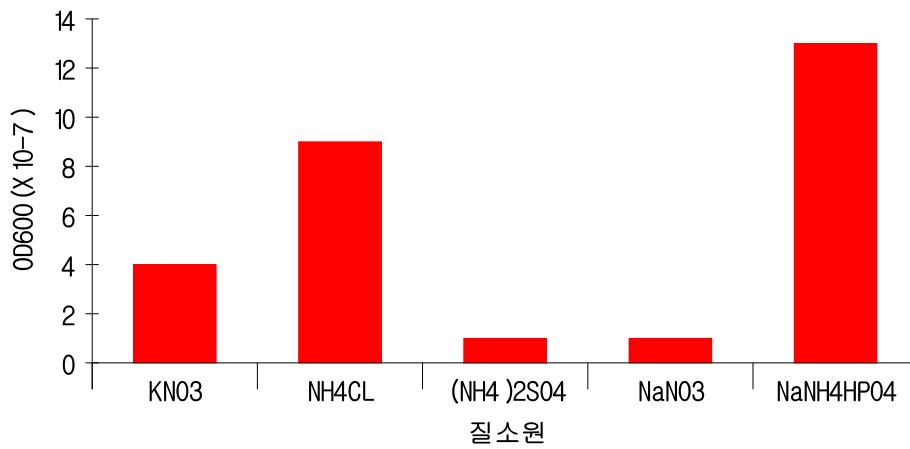


Fig. 5-86 신규균 바실러스속 (*Bacillus* sp.) CMB26균의 생장에 미치는 질소원의 영향

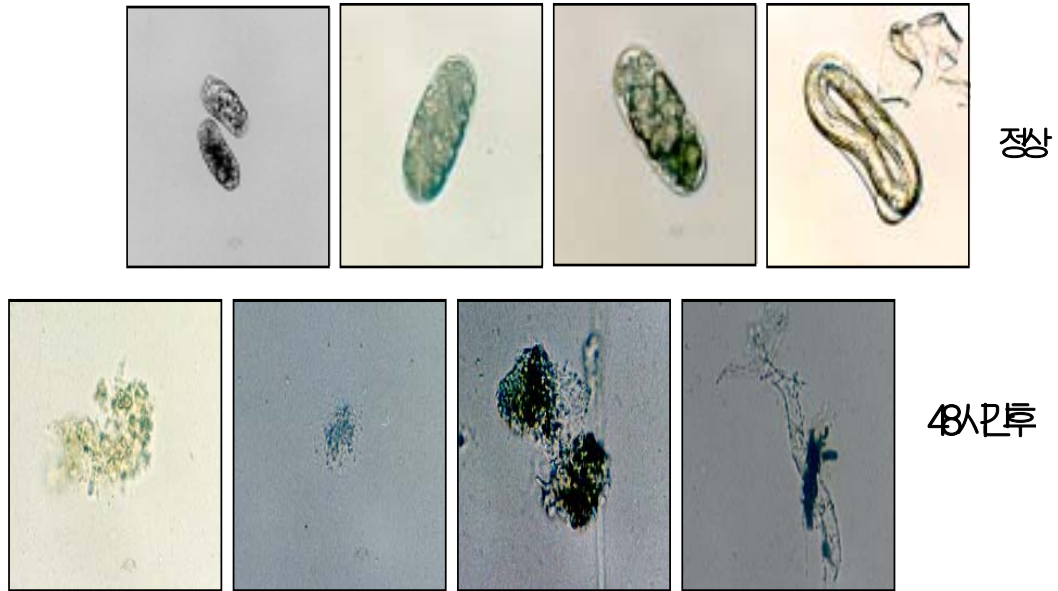


Fig. 5-87. 뿌리혹 선충을 대상으로 하여 신규한 바실러스속균(*Bacillus* sp.)을 처리시 사멸되는 과정

신규한 바실러스속 (*Bacillus* sp.) CMB26균과 그 생산물인 lipopeptide배양액이 채소, 화훼 및 과수재배중 뿌리에 기생하여 가해를 일으키는 선충(*Meloidogyne incognita*)에 대하여 방제효과가 있는지를 실험실 조건에서 확인하였다. 오이를 재배하는 하우스에서 뿌리선충에 의하여 피해를 일으키고 있음이 확인된 오이 뿌리를 분리하여 실험실로 운반한 후, 이를 전남대학교 농업생명과학대학 유전공학전공 분자유전학실험실에서 분리하고, 이를 시료로 하여 방제효과를 검정하였다.

오이뿌리에 감염된 선충의 분리와 동정은 다음과 같이 실시하였다. 이를 위한 오이 묘는 수확기에 있는 묘를 대상으로 하였으며, 토양은 포장내 10개지점씩 무작위로 채취하여 한곳에 모은 후 혼합하여 1kg 정도 채취하였고, 선충분리는 300g씩 평량한 후 Baermann funnel 및 centrifugal sugar floatation method로 분리하여 80℃로 가열한 F.G.4-1 고정액으로 고정한 후 실체현미경으로 밀도를 조사하였다.

선충을 seinhorst rapid glycerin법으로 탈수하여 glycerin으로 선충을 옮겨서

paraffin ring method, aluminum double cover glass로 표본을 만들어 광학현미경 (x1,000)으로 분리동정 하였다.

뿌리혹선충 종류를 주로 동정하기 위하여 감염된 식물체의 뿌리를 5mm정도씩 잘라서 tap water와 혼합하여 mixer에서 30초간 분쇄한 후 원심분리하여 실체현미경하에서 선충을 선별한 후 45%의 lactic acid에 넣어 보관하면서 현미경하에서 perineal pattern을 제작하여 광학현미경으로 동정하여 재료로 사용하였다. 분리 및 동정한 선충은 *Meloidogyne incognita*으로 확인되었다.

분리된 선충에 대한 방제효과를 확인하기 위하여 알과 성충 두분류로 정하여 이를 방제효과 평가를 위한 실험재료로 사용하였다. 준비된 신규한 바실러스속 (*Bacillus* sp.)CMB26균 배양액(1×10^8 cfu/ml)을 0.1%(x1,000배, v/v), 1%(x100배), 5%(x 20배) 그리고 10%(x10배)되게 생리적식염수에 첨가한 후, 여기에 성충과 알을 100개체씩 되게 투입하였고, 방제효과 비교를 위한 대조구로서는 일반 생리적식염수만 첨가한 시험구로 조성하여 처리구와 비교하였다. 방제효과판정은 24시간단위로 3일 동안 일정 경과 시, 소형시험관내의 선충 알과 성충의 외형형태의 변화와 생존률 등을 종합적으로 해부현미경으로 관찰하여 평가하였다.

대조구의 경우는 100% 생존하고 있었으나, 처리구의 경우는 48시간 이내에 모든 알과 성충은 사멸되어 있었다. 그리고 신규한 바실러스속 (*Bacillus* sp.) CMB26균과 그 생산물인 lipopeptide배양액을 농도별로 첨가한 처리구에서, 사멸순서는 24시간이내의 알의 외피막이 파괴되어 있었고, 48시간 이내에는 성충이, 48시간 경과시는 성충으로의 탈피하기 전단계의 선충 순서로 사멸되었다. 또한 농도별로 처리한 경우에는 다소 사멸시간은 차이가 있었으나, 농도가 높은경우가 역시 사멸효과는 높게 나타났다.

원예작물 재배 현장에서 농약 등에 내성을 보유함으로써 작물재배 중 큰 피해를 일으키고 있는 해충과 토양내 존재하며, 작물의 뿌리에 기생하며 역시 피해를 일으키고 있는 해충사멸제로서의 특효가 있는 신종으로 분리되고 동정된 토양미생물을 용하여 엽면시비, 관주 등의 방법으로 지하부의 선충에 길항성을 지니는 식물 병해에 길항성을 지니는 바실러스속중에서 신종(NCBI 신종분류번호 : AY048851)으로 확인된 미생물 바실러스 균(*Bacillus* sp. CMB26 : 기탁번호 KFCC11289호)을 배지에서 성장 발육시키고, 희석배율 약 100 ~ 1,000배 정도로 희석시켜 제조된 식물 해충에 대하여 길항성을 지니는 미생물 제제를 처리하였다. 토양내 존재하면서 작물의 뿌리에 기생하여 가해함으로써 피해를 일으키는 선충의 경우는 관주방법으로 피해를 감소시킬 수 있었다.

3.3. 양액재배에 있어서 생리기능 진단 및 미생물 이용

3.3.1. 서론

1) 양액재배 근권 미생물상

근권(rhizosphere)이라는 용어는 Hiltner(1904)가 처음으로 사용하였는데, 처음에는 뿌리혹(nodules)이 분비하는 질소화합물로 인해 콩과식물(legumes)주변에서 세균의 생장이 촉진되는 지역을 의미하였다. 그러나, 현재는 식물의 뿌리에서 분비되는 탄소원과 질소원(carbon and nitrogen sources) 및 에너지원 등으로 모든 근권 미생물의 생장이 이루어지는 지역을 포함하고 있다. 병원균과 비병원성 미생물(Darbyshire와 Greaves, 1973; Old와 Nicholson, 1978)이 입식하고 있는 뿌리 표피와 피층 사이의 지역을 Balandreau와 Knowles는 뿌리내생 근권이라고 칭하였다.

토양재배에서 근권 미생물상에 관한 연구를 보면 Broadbent 등(1971)은 토양 미생물로는 *Pseudomonas* 속, *Bacillus* 속, *Streptomyces* 속 등 3,500개의 균주 중에서 기내실험의 경우 뿌리전염성 병원균에 대한 길항성 균주는 40% 정도이고, 포장실험에서 병원균을 억제시킨 균주는 겨우 4%에 불과하다고 하였다. Suslow와 Schroth(1982)는 토양미생물 524 균주 중에서 불과하다고 하였다. 이처럼 토양미생물 중에는 식물 근권에 미생물이 군집하여 유해미생물이 증식하는 것을 방지하여 식물의 근부를 보호하고 대사작용을 원활하게 해 줌으로써 식물의 양수분 흡수를 도와주는 식물생장촉진 근권 미생물(plant growth promoting rhizobacteria ; PGPR)이 있는 반면, 뿌리에 기생하여 병해를 유발시키거나 대사산물이 뿌리의 활동을 억제하는 식물에 유해한 미생물(deleterious rhizosphere microorganisms ; DRMO)도 존재한다고 보고하였다(Baker와 Scher, 1986). 이러한 토양 근권 미생물상의 변화는 재배환경, 토양성질 및 토양 내의 유해미생물의 밀도와 구성비율에 따라 다르며, 식물생장촉진 근권 미생물의 작용 역시 이러한 환경요인에 따라서 활성이 다르게 나타난다(공, 1996; Zhang 등, 1997; Lazarovits와 Nowak, 1997).

일반적으로 양액재배를 하고 있는 근권에는 미생물이 거의 없다고 생각하고 있으나 실제로는 토양에 비해서 적은 양이지만 다수의 세균 및 진균류들이 고품배지, 배양액, 양액재배시스템 및 뿌리 등에 존재하고 있는 것으로 보고되고 있다(山崎, 1991). 이러한 근권 미생물들은 육묘자재, 공기 및 재배시스템 등으로 유입되어 유기물 배지, 뿌리 파편과 분비물 등을 영양원으로 살아간다(Barber와 Martin, 1976; Sauerbeck과 John, 1977). 앞에서 합성되는 전체 광합성산물 중 약 20% 정도가 뿌리에서 유기물

상태로 분비된다(Baber와 Lynch, 1977). 이 중에는 탄수화물이 주를 이루고 있는데 아미노산을 기초로 하여 뿌리 분비물 중 탄소/질소의 비율(carbon/nitrogen ratio)을 계산한 경우 약 30/1 정도에 해당한다고 Barber와 Gunn(1974)은 보고하였다. 근권 미생물이 뿌리에 서식하는 밀도는 오래된 뿌리일수록 높는데, 이것은 뿌리의 분비물질이 많은 결과로 생각된다(Barber와 Gunn, 1974). 토양재배나 고품배지경의 경우 정식 후 새로운 뿌리가 배지 내에 성장함에 따라 각 배지에 위치별로 새로운 근권 미생물층이 형성된다. 그러나, 일종의 세균류, 특히 *Pseudomonas* 등은 토양 및 고품배지에서 우점 세균류로 남아 있다(Rouatt와 Katznelson, 1961). Newman 등(1981)의 보고에 의하면 영국의 40개 지역에서 채취한 *Plantago lanceolata*의 뿌리 표면에 있는 세균류에 대한 진균류의 비율(the fungal to bacterial ratios)은 약 0.28~14.0 정도였다고 보고하였다.

양액재배에서 근권 미생물의 조성은 토양재배에 비하여 미생물의 종류와 농도가 상대적으로 낮은 밀도로 구성되어 있는 것으로 알려져 있다(Prices, 1976; Lynch, 1982; 공, 1996). 근권의 미생물이 뿌리와 공생하고 작물의 양수분 흡수를 촉진하며, 뿌리전염성 병원균의 생육을 억제하는 미생물상으로 구성되어 있으면 작물의 생육을 촉진하고 뿌리전염성 병원균의 발생을 줄일 수 있다는 장점이 있다(Van Peer와 Schippers, 1989; 山崎, 1991; 高野, 1992; 이, 1995; 최, 1995; Vogt와 Buchenaver, 1997). 그러나 토양에 비하여 미생물의 조성이 단순하고 근권 완충력이 낮은 양액재배에 유해미생물이 유입되면 뿌리전염성 병원균이 급속히 확산하여 다른 식물에 감염 및 전염될 수 있는 위험성이 항상 내재되어 있는 특성도 있다(Schroth와 Hancock, 1982; 池田, 1988).

2) 식물생장촉진세균(PGPR)의 종류 및 작용 메카니즘

Arthrobacter, *bacillus*, *enterobacter*, *penicilium*, *serratia*, *pseudomonas* 등에 속하는 토양미생물 등이 대두와 배추 등의 생장에 직접적으로 유효한 작용을 갖는 것으로 보고되고 있다(Brown, 1974; Zhang 등, 1997; Lzarovits와 Nowak, 1997; Dashti 등, 1997; Whitelaw 등, 1997). 그러나 감자와 사탕수수의 근권에서 분리한 미생물 중에서 식물생장을 촉진하는 능력을 갖고 있는 미생물은 겨우 1~4% 정도로서 극히 적은 것으로 보인다(Suslow 등, 1979). 이러한 식물생장촉진 근권미생물인 대부분이 *Pseudomonas fluorescens*와 *pseudomonas putida* 그룹에 속하는데(Brown, 1974), 형광성 *pseudomonas* sp.가 식물생장촉진 근권미생물로서 좋은 이유는 다음과 같다.

pseudomonas sp.는 뿌리에 입식할 수 있는 능력이 있으며, 다양한 대사작용(verstible metbolism)을 갖고 있고, 세대(genertion times)가 짧아 식물의 뿌리에서 분비되는 다양한 물질들을 이용할 수 있다. 또한, *Pseudomonas* sp.는 식물생장조절물질과 항생물질(antibiotic compounds) 등을 포함한 많은 범위의 제 2차 대사산물을 생합성할 수 있다(Klopper와 Schroth, 1978; Schroth와 Hencock, 1982; Schipers 등, 1987). 질소를 고정하는 *Azospirilla* sp.는 밀, 옥수수, 콩과식물 및 토마토 등의 생장과 수량에 직접적으로 관련되는 식물생장촉진 근권미생물로 보고되고 있다(Okon 등, 1988; Shabayev 등, 1996) 유용 균주에 의해서 식물의 생장이 촉진되는 메카니즘은 단일 요인 또는 복합적으로 유기되는 데 양수분 흡수 촉진 및 이용성 향상(Eklund, 1970; Martin, 1973; Lin 등, 1983; Shabayev 등, 1980; Howie와 Suslow, 1986; 이, 1995) 및 식물생장조절물질의 생산(Brown, 1972) 등이 이에 관련되는 것으로 보고되고 있다.

근권미생물을 접종하여 식물의 양수분 이용성을 향상시키려는 연구는 식물의 양수분 흡수촉진의 측면에서 주로 진행되고있다(Duff 등, 1963; Kapulnik 등, 1983). 식물은 토양 중의 전체 인(phosphate)함량 중에서 5% 미만을 이용하고 있다. 현재 인을 용해하여 식물의 인 이용성을 향상시킬 수 있는 용인균을 토양에서 분리하고 동정하는 연구가 많이 수행되고 있다(Defreitas 등, 1997)

*B. megaterium*과 *P. fluorescens* 등을 식물체의 뿌리나 배지에 접종했을 경우 나타나는 식물생장촉진 효과는 재배환경의 조건에 따라 다양하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Gerresten, 1948; duff 등, 1963; Martin, 1973). 이러한 종류의 유용미생물 처리는 첫째, 유기물 상태의 인(organic phosphate)을 phosphatase를 통해 용해하거나, 둘째, 이용이 곤란한 무기성 인을 유기산으로 용해함으로써 식물의 인 이용성을 향상시킨다.

Sarig 등(1988) 포장 실험시 식물생장촉진 근권미생물을 처리하여 식물체의 수분 이용성을 향상시켰다는 보고를 하였는데, *A. brasilense*를 접종하면 사탕수수의 수분 이용성이 향상되어 잎의 수분포텐셜이 높아지고, 수관(canopy)온도가 낮아지며, 기공전도도(stomatal conductivity)와 증산율이 증가되었는데, 이 경우 미생물을 접종한 토양 내 총 수분함량은 미생물을 접종하지 않은 대조구의 토양수분함량에 비해 약 15% 정도 많았던 것으로 보고하였다.

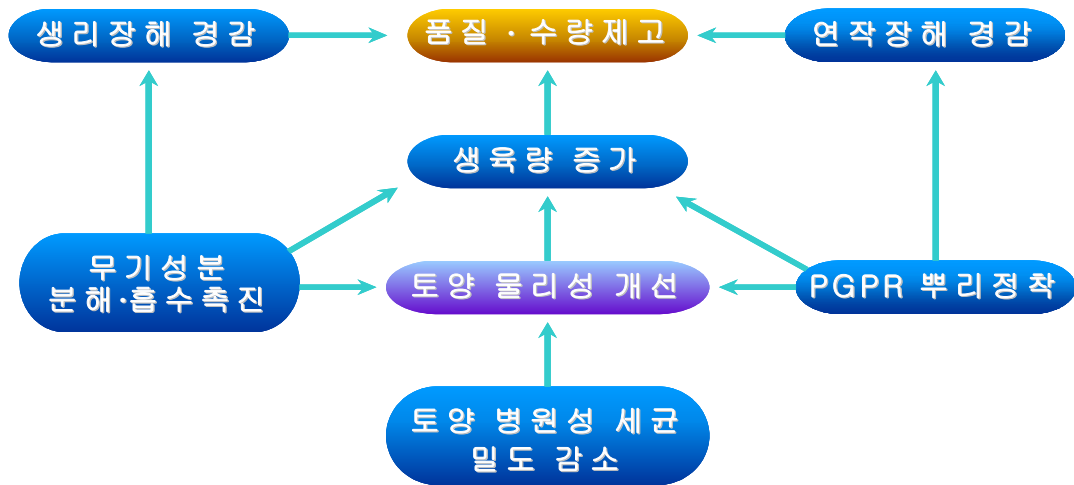


Fig. 5-88 생육촉진 근권세균의 처리에 따른 기대효과

3) 양액재배에 있어서 PGPR의 이용

양액재배시 식물생장촉진 근권미생물(PGPR)의 이용에 관한 연구를 보면 주로 *pseudomonas* sp.와 질소고정균을 처리하여 양수분의 효율적 이용(Sarig 등, 1988)과 생물학적 방제를 실시(van Peer 등, 1988)하는 측면에서 주로 실시되고 있다.

양액재배에 적합한 PGPR이 구비해야 할 가장 중요한 요건은 근권에 처리 후 장기간 지속적으로 생존하며, 뿌리에 생리활성적으로 유용한 효과를 미쳐야 한다는 것이다(Brown, 1974; Klopper 등, 1988). 근권에 미생물을 처리 후 생장이 저하되는 균주는 뿌리 주위에 있는 토착미생물에 비해 경쟁력이 낮기 때문이다(Klopper 등, 1988). 그 다음으로 중요한 점은 효율적으로 뿌리 표면(epidermal cell)에 입식할 수 있는 능력을 소유하여 식물생장에 직·간접적으로 유용한 생리적 작용을 할 수 있어야 한다는 점이다(Suslow, 1982; Suslow와 Schroth, 1982).

Anderson과 Guerra(1985)에 의하면 콩의 양액재배시 뿌리에 *P. Putida*를 처리한 후 18일 동안 근권 미생물 수를 측정한 결과 뿌리 1g당 $0.6 \sim 1.8 \times 10^5$ colony forming unit(cfu) $\cdot g^{-1}$ 정도였다고 보고하였다. 대조구에 비하여 미생물을 처리한 콩의 엽 내 철함량이 저하하였고, 뿌리의 리그닌(lignin) 함량은 17~93% 정도 높아졌다고 하였다. 배양액에 *P. putida*와 *F. solani* f. sp. *phaseoli*를 *fusarium* 균에 의한 잎의 위조와 병반(lesion)의 형성이 약 2~3일 정도 지연된다고 보고하였다. 이는 유묘기에 *P. putida*에 의한 병원균의 방제 기작은 뿌리조직 내 리그닌 함량의 증가로 식물의 병해

방어력(plant's defense potential)변화와 관련성이 있는 것으로 보인다고 하였다.

식물의 생장을 촉진하고 생산량을 증대시키기 위하여 작물의 종자에 *P. fluorescensputida* group을 처리하는 방법이 이용되고 있다(Klopper 등, 1980). PGPR은 토양재배의 감자, 옥수수 등의 뿌리에 급속히 정착하여 작물의 생산량을 144% 정도까지 증대시키는 효과를 보인다. PGPR은 뿌리 양수분 이용의 효율화(Duff 등, 1963; Martin, 1973; Kapulink 등, 1983; Okon 등, 1988; Cho, 1998)와 근권에 있는 유해 진균류와 세균류를 억제하는 길항작용(Howell과 Stipanovic, 1979;Klopper 등, 1980; Baker와 Scher, 1986)에 의하여 식물의 생장을 촉진시키는데, 길항작용의 정확한 메커니즘에 대해서는 아직까지도 명확하게 밝혀지지 않았다. Klopper 등(1980)에 의하면 식물생장촉진 활성은 근권 토착미생물의 철 흡수 및 이용을 제한하므로써 이루어진다고 하였는데, PGPR은 세포 밖으로 siderophores (microbial iron transport agents)를 분비하여 토착 근권미생물의 철 이용성을 불가능하게 한다.

토양에서 분리한 미생물의 기내 실험시 길항력은 배지 종류에 따라서 각각 다르게 나타나기도 한다. Van Peer 등(1988)은 카네이션 재배토양에서 분리한 105종의 *pseudomonas* 중에서 KB배지에서는 92%가 *F. oxysporum* f. sp. *dianthi* (F.o.d.)에 대하여 길항성을 보이지만 KB배지와 PDA배지에서 모두 길항성을 보이는 미생물은 13%였다고 보고하였다. 위조병원균의 길항성에는 항생물질과 siderophores가 관련된다고 하였다. 위조병에 대한 내성이 서로 다른 카네이션 2품종을 박막수경(nutrient film technique; NFT)으로 재배하면서 길항미생물과 Fe-EDTA 처리에 다른 병원균의 발생 정도를 측정된 결과 위조병의 발생이 없거나 지연되었다고 보고하였다.

Xu 등(1987)에 의하면 KB배지에서 길항성 미생물의 길항력 시험시 *P. putida* WSC358과 *pseudomonas* sp. WCS417, X13 등은 *F. oxysporum* f. sp. *dianthi*(F.o.d)의 균사 생장을 억제하였다고 보고하였다. *P. spp.* X13.은 PDA배지와 철을 첨가한 KB 배지를 사용한 길항력 실험에서 곰팡이(진균류)의 생장을 억제하였다. 이러한 결과를 보아서 *pseudomonas*에 의해서 분비되는 siderophores와 항생물질(antibiotics)에 의하여 F.o.d의 생장이 WSC358과 WCS에 의해 50% 이상 억제된 반면, X.13에 의해서는 22% 정도가 억제되었다고 하였다. F.o.d는 KB배지(F.o.d가 12~17% 정도 억제)보다는 철이 결핍된 카네이션 영양액(glucose를 2% 정도 첨가)에서 F.o.d의 생장억제율이 감소하였다. 병원균에 저항성이 약한 카네이션 품종 'Lena'와 병원균 저항성이 중간 정도인 'Pallas'의 발근된 삽수에 미생물 WCS358, WCS417, X.13 등을 처리하여 NFT시스템에서 재배하였다. 처리 후 19주에 WCS417에 의해서 'Lena'의 병해 발생률

은 대조구에 비해 13% 정도 줄어들었다. 반면에 'Pallas' 품종에 있어서 WCS417의 처리는 병증의 발생을 6주 이상이나 지연시켰다. WCS358과 X.13처리는 'Pallas' 품종의 병해 감염 식물체 수를 각각 10%와 7% 정도 줄인 것으로 보고되었다.

양액재배 작물의 성장과 근권미생물의 관계를 보면 Van peer와 Schipper(1988)는 양액재배 작물의 근권 배양액에 미생물 배양액을 처리했을 경우 세균의 수, 특히 뿌리 내생근균인 *pseudomonas*의 수와 작물의 생장은 부의 상관관계(negative correlation)가 있다고 하였다. 그러나 PGPR인 *pseudomonas sp.* WCS417의 처리는 *pseudomonas*에 의한 식물의 성장저하를 방지한다. 이러한 식물의 성장촉진은 *P. sp.* WXS417이 뿌리 내생미생물로서 적은 밀도로 서식함으로써 미생물 처리 전에 뿌리 내부에 서식하고 있는 *pseudomonas*와의 치환(displacement)작용에 의한 것으로 보고되고 있다. 이러한 결과로 미루어 보아 식물의 성장을 억제하는 유해 *pseudomonas* 등이 양액재배시스템, 특히 뿌리 내부의 근권 미생물로서 쉽게 발생할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

Van Peer와 Schippers 등(1988)에 의하면 토마토, 오이, 상추 및 감자 등의 양액재배시 식물성장촉진 근권미생물인 *pseudomonas* 균주들의 처리된 지상부 및 지하부의 생체중을 증가시켰다고 하였다. 식물의 성장촉진은 근권의 유해미생물, 특히 유해한 뿌리 내생미생물의 억제에 따른 성장촉진 결과이다. NFT와 암면경 등 인공배지 내의 미생물 군락의 조성은 토양재배에 비하여 비교적 덜 복잡한 것으로 생각된다. 그러므로 식물의 성장에 유해한 근권미생물의 발생 및 전염이 더욱 더 급속하게 발생할 위험성이 있다. 양액재배시 근권의 길항성 미생물의 처리는 이러한 유해미생물의 발생을 억제한다. 식물의 성장저하는 뿌리 내생미생물인 형광성 *pseudomonas*의 입식 정도와 관련성을 가지며, 식물성장촉진 근권미생물인 *pseudomonas sp.* WCS417r의 근권 처리는 이러한 유해미생물의 식물성장 저하를 방지하여 억제시킨다. 이러한 식물의 성장촉진은 *pseudomonas sp.* WCS417r이 뿌리 내생미생물로서 밀도가 낮게 입식하고 있는 것과 비례하여 발생하며, 그 결과 토착 근권 내생미생물은 *pseudomonas*와의 입식이 치환됨에 따라서 식물의 생장이 촉진되는 작용을 한다.

지금까지 농업분야에서 유용미생물의 이용을 보면 길항성 미생물을 이용한 살균 및 살충성 생물농약의 이용으로 화학약제를 대체하는 것(Brown, 1974 ; 이, 1995 ; Whitelaw 등, 1977 ; Whipps, 1977)과 발효미생물 균총을 음식물 쓰레기, 축산폐기물 및 농업부산물 등에 처리하여 퇴비화를 촉진하는 측면(Kobayashi, 1972 ; Brown, 1974 ; 김, 1992 ; 오, 1994 ; 공, 1996)에서 주로 연구가 진행되어왔다. 최근에는 식물

의 성장을 촉진하는 근권미생물에 관한 연구가 토양재배를 중심으로 보고되고 있다.(Zhang 등, 1997). 토양에서 선별한 유용미생물의 현탁액을 토경의 작물뿌리나 종자에 처리하여 병원균의 발생과 성장을 억제하고(Orlikowski, 1987 ; Zehnder 등, 1997), 작물의 양분이용성을 향상시켜 성장을 촉진시키는 측면에서 연구가 진행되고 있는데(Willy 등, 1983 ; Defreitaas 등, 1997 ; Glick 등, 1997), 주로 세균류가 많이 이용되고 있다(Barber 와 Lynch, 1977 ; Lazarovits와 Nowak, 1997).

4) 미생물(D2, B) housing 제조

본 연구에 앞서 분리되고 있는 D2와 B를 농축화시켜 housing한 후 배양액내에 첨가한 경우 작물의 근생장 촉진효과를 검정한 예비실험에서 housing한 경우가 근권의 성장과 지속력에서 유의한 결과를 확인하여, 본 연구에서도 이를 적용하여 보았다. 이를 위하여, 우선 D2와 B배양액을 삼구 플라스크에 증진한 다음, 온도를 35℃로 가온한 후 여기에 고분자 알긴산[1% 용액(w/v), 320cps]을 5%(w/v)되게 투여한 후 교반시켜 충분히 용해시켰다. 이 D2와 B 균용액이 함유된 알긴산 용액을 1%CaCl₂(w/v) 용액이 증진된 비이커에 점적하여 Housing하였으며, 1개의 housing제제는 함유된 미생물의 균체수는 5×10⁵cfu/ea로 조절하였다. 최종 완성된 housing은 멸균된 3차 탈이온수에서 세척한 후 이를 냉장 보관하여 본 실험에 사용하였다.

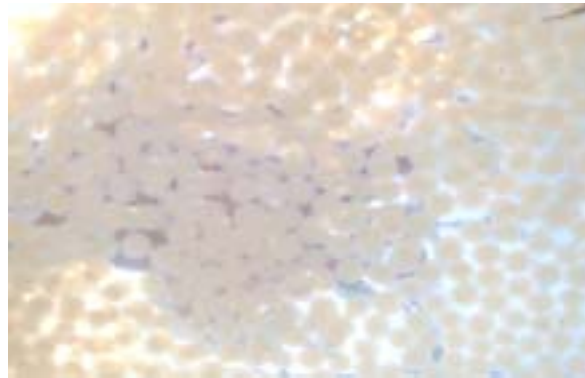


Fig. 5-89. Housing 제제

5) 양액재배시 근삼출물과 연작장해

식물체내에서 분비 또는 잔여물에서 용출되는 화학물질이 다른 식물에 직접 또는

간접적으로 억제작용을 미치는 식물간의 상호작용을 allelopathy라 하는데 작물의 연작장애, 토양 내 유해물질적, 초지생태계의 천이 등이 작물의 생육 및 수량에 영향을 미친다. Allelopathy는 상호억제작용을 나타내는 것으로 종간에 있는 것이 대부분이나 autotoxicity라 하여 종내에 존재하는 것도 있다. Allelopathy를 일으키는 물질은 주로 phenol compounds로 알려져 있고, 그 외 tannin, alkaloid compounds로 allelopathy작용을 하는 것으로 보고되고 있다.

Phenolic compounds는 치환될 수 있는 수산기를 가진 방향족고리구조를 가지고 있는 이차대사산물의 총칭으로 화학적으로 이질적인 것이 많이 있는데, 지용성, 수용성, 중합체 등 여러 가지 형태로 나타난다. 페놀화합물은 대부분 shikimic acid pathway에 의해서 합성된 방향족물질, 일부는 manolic acid pathway에 의해서 합성되어지며 페놀화합물의 합성에서 중요한 조절부위는 PAL(Phenylalanine ammonia-lyase)에 의해 촉매되는 반응(phenylalanine→(PAL)→trans-cinnamic acid→phenolics)이며 PAL은 여러 가지 생물적 비생물적 내적 외적 요인에 의해서 조절된다. 대표적인 페놀화합물의 종류는 다음의 Table 5-15과 같다.

Table 5-15. 대표적인 페놀화합물의 종류

| group | | function |
|-----------------|--------------------------|--|
| simple phenolic | phenylpropanols | 초식성 곤충과 균류의 공격에 대한 방어작용, 타감작용 (allelopathy) |
| | coumarins | 푸노쿠마린은 광독성이 있어서 DNA 전사회복을 방해하여 세포를 죽게함 두통치료제 아스피린은 살리실산의 초산에스테르인데 살리실산은 신호전달에서 매우 중요한 기능을 수행하므로 이에 대한 연구가 많이 진행됨. |
| | benzoic acid derivatives | 카페인산, 페룰산은 인접식물의 발아와 생장을 억제 |
| lignin | | phenylpropane alcohol로 구성된 분지가 많은 중합체 기본구성물질은 coniferin alcohol etc. cinamic acid 유도체가 peroxidase 에 의해 중합됨 셀룰로즈 다음으로 풍부한 유기화합물 세포벽의 주요성분 지지기능과 물관부의 장력에 대한 저항성을 유지하는데 기여. |
| flavonoids | 안토시아닌 | 3번 탄소에 당이 결합한 배당체. 이 당의 종류에 따라서 색이 다양하게 나타남. 꽃과 과일의 색(적, 분홍, 자주, 청)을 나타내는 색소 → attractant |
| | 플라본 | 꽃에 들어있는 것으로 안토시아닌 보다 짧은 파장을 흡수. 이 색소는 사람의 눈에는 보이지 않으나 곤충의 눈에는 보임 → attractant로서 작용 |
| | 플라보놀 | 잎에서는 자외선으로부터 식물을 보호하는 기능 |
| | 이소플라본 | B고리의 위치가 이동된 플라보노이드 에스트로겐과 비슷한 이소플라보노이드는 가축에게 불임을 유도함 rotenoid → insecticidal function phytoalexin → bacteria, fungi에 대한 방어기능. elicitor가 phytoalexin의 합성을 촉진함. 이것은 phytoalexin의 합성에 관여하는 유전자의 전사를 촉진하기 때문 → phytoalexin은 거의 모든 스트레스에 대한 방어물질로 작용하는 것으로 추정됨. |
| tannins | flavonoids를 단량체로 하는 페놀물질 | 박테리아, 곰팡이에 대한 저항성, 초식동물에 대한 독성(생존력 감소) gallic acid와 결합한 형태인 gallotannin은 타감작용을 나타냄. |

자연계에는 수많은 식물들이 이러한 물질을 함유하고 있으며 특히 맥류인 호밀, 보리, 밀, 수수 및 알팔파에 이러한 allelopathy 물질이 함유되어 있다고 알려지고 있다. 알팔파 재배지에서의 연작장해는 토양 이화학적 특성의 악화와 토양 미생물상의 변화 등으로 밝혀지고 있으며 토양의 이화학적인 원인으로서는 동일작물의 연작재배시 특정 성분을 계속하여 다량 흡수 이용하기 때문에 뿌리로부터 분비되는 유해물이나 作物遺

體에서 나온 유독물질이 연작에 의해 토양내에 축적되면 동일종이나 근연종 작물생육에 지장을 초래하는 원인이 발생한다는 것이다. 따라서 본 실험은 오이 및 토마토를 연속재배를 하였을 때 이들 식물체에서 발생하는 물질들이 allelopathy물질과 유사한지 구명하고 이들 Allelopathy물질이 오이, 토마토의 초기생육에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 특성을 조사하고 표준 물질과 분석 실험으로 활성물질의 유무를 밝히고자 실시하였다.

3.3.2. 재료 및 방법

가. 오이와 토마토의 재배기간에 따른 root exudate 분석 및 재이용시 토마토 및 오이의 생육에 미치는 영향

본 실험은 2002년 8월부터 전남대학교 시설원예실험실의 유리온실에서 행해졌으며, 실험에 사용한 공시작물로는 오이(품종 : 겨울나기 청장, 홍농종묘)와 토마토(품종 : 수퍼도태랑, 홍농)를 8월 20일에 침종하여 21일에 50공 트레이에 파종(coir dust : perlite = 1 : 1)한 후 9월 5일에 이식하였고, 9월 10일에 본엽이 3~4매 전개된 묘를 정식하였다. 재배시스템은 DFT(deep flow technique, 강제통기식)을 이용하여 작물을 재배하였고, 처리구당 5반복씩 처리하여 air-stone을 이용하여 배양액 내 산소를 공급하였다. 배양액은 네덜란드 PBG 배양액을 이용하였고 배양액의 pH와 EC는 pH는 5.8~6.2, EC는 1.8dS/m²로 보정해준 후 3~4일 간격으로 조사하였다. 실험은 정식후 5주 생육을 기준으로 하여 매주 양액재배 베드에서 양액을 채취하여 재배기간에 따른 root exudate를 분석하였다. 또한 재배 후 이들의 양액에 무기원소를 재충진하여 동일 작목을 연속으로 재배하였을 경우 오이와 토마토의 생육에 나타나는 영향을 조사하였다. 조사항목으로는 양액재배 베드 내에 존재하는 root exudate, 양액의 pH, EC를 측정하여 재배기간에 따른 오이 및 토마토의 생육상태를 비교하고 생육기간에 따른 root exudate의 함량과 종류를 분석하였다.



Fig. 5-90 실험포장 전경

나. 오이, 토마토 연속재배시 배지내 미생물, 균 및 root exudate의 함량에 미치는 영향

본 실험은 오이 및 토마토의 연속재배시 배지내에 미생물과 토양균근의 밀도 및 지하부로부터 배출되어지는 root exudate를 조사하고 배지의 재이용시 오이와 토마토의 성장 특성에 대해 알아보려고 수행하였다.

실험은 2003년 1월부터 전남대학교 시설원예실험실의 유리온실에서 행해졌으며, 실험에 사용한 공시작물로는 오이(품종 : 겨울나기 청장, 흥농종묘)와 토마토(품종 : 수피도태랑, 흥농)를 1월 6일에 침종하여 8일에 50공 트레이에 파종(coir dust : perlite = 1 : 1)한후 1월 28일에 이식하였고, 2월 14일에 본엽이 3~4매 전개된 묘를 정식하였다. 재배시스템은 DFT(deep flow technique)을 이용하여 작물을 재배하였고, 처리구당 5반복씩 처리하여 air-stone을 이용하여 배양액 내 산소를 공급하였다. 배양액은 네덜란드 PBG 배양액을 이용하였고 배양액의 pH와 EC는 pH는 5.8~6.2, EC는 1.8dS/m²로 보정해준 후 3~4일 간격으로 조사하였다. 실험은 정식 후 5주 생육을 기준으로 하여 매주 양액재배 베드에서 양액을 채취하여 재배기간에 따른 root exudate를 분석하였다. 또한 재배 후 이들의 양액에 무기원소를 재충진하여 동일작목을 연속으로 재배하였을 경우 오이와 토마토의 생육에 나타나는 영향을 조사하였다. 조사항목으로는 양액재배 베드내에 존재하는 root exudate, 양액의 pH, EC를 측정하여 재배기간에 따른 오이 및 토마토의 생육상태를 비교하고 생육기간에 따른 root exudate의 함량과 종류를 분석하였다.



Fig. 5-91 미생물 처리에 의한 생육실험 전경

3.3.3. 결과 및 고찰

가. 오이와 토마토의 재배기간에 따른 root exudate 분석 및 재이용시 토마토 및 오이의 생육에 미치는 영향

그림 5-92은 오이와 토마토의 생육기간에 따른 배양액내 페놀함량을 분석한 그래프이다.

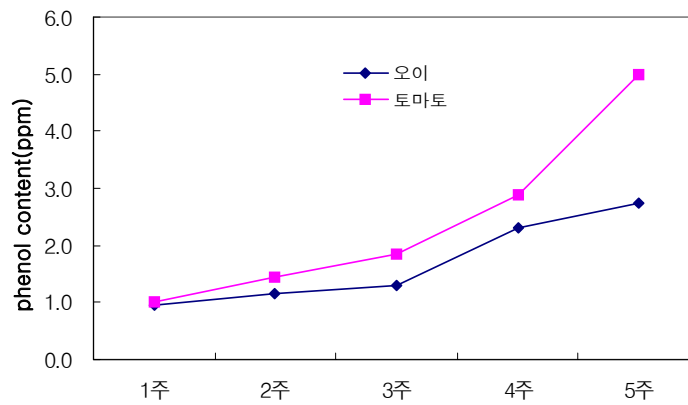


Fig. 5-92. Changes in phenolic content as affected by growth period.

생육기간에 따라 양액재배 베드 내에서 양액을 채취하여 페놀의 함량을 분석한 결과를 보면 생육기간이 경과함에 따라 페놀의 함량이 증가하였다. 정식 1주후의 양액에서 분석되어진 페놀의 함량은 오이와 토마토 각각 0.947ppm과 1.006ppm을 나타내었으나 정식 후 5주후의 페놀의 함량은 오이 2.73ppm, 토마토 4.99ppm으로 증가하는 경향을 나타내었다. 생육기간이 길어질수록 오이와 토마토의 지하부에서 배출되어지는 phenolic compound가 높아지는 것으로 사료되어진다.

Table 5-16. Growth characteristics of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution

| week | Plant height(cm) | No. of leaves(ea/plant) | Stem diameter(mm) | Leaf length | Leaf width | Chlorophyll |
|---------|------------------|-------------------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| 1 week | 113.75 | 14.0 | 12.94 | 27.55 | 25.87 | 43.52 |
| 2 weeks | 103.30 | 14.0 | 12.13 | 27.35 | 26.55 | 52.00 |
| 3 weeks | 95.25 | 12.7 | 11.70 | 25.07 | 23.05 | 51.15 |
| 4 weeks | 91.25 | 12.7 | 10.86 | 23.65 | 23.17 | 52.37 |
| 5 weeks | 79.75 | 11.7 | 8.72 | 19.88 | 15.63 | 49.97 |

Table 5-17. Growth characteristics of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution

| Week | Plant height(cm) | No. of leaves(ea/plant) | Stem diameter(mm) | Leaf length | Leaf width | Chlorophyll |
|---------|------------------|-------------------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| 1 week | 83.75 | 15.3 | 7.82 | 39.5 | 37.00 | 50.97 |
| 2 weeks | 66.50 | 13.5 | 7.80 | 33.5 | 23.25 | 47.80 |
| 3 weeks | 65.25 | 12.5 | 6.92 | 29.5 | 19.75 | 46.25 |
| 4 weeks | 64.75 | 13.7 | 6.70 | 26.5 | 18.75 | 46.12 |
| 5 weeks | 63.50 | 11.7 | 6.07 | 26.0 | 16.50 | 42.82 |

표 5-16과 5-17은 오이와 토마토의 재배시 생육기간에 각각의 시기별로 생육을 시킨 후 이들의 배양액을 재이용하여 동일 작목을 재배하였을 때 나타나는 성장특성을 나타낸 것이다. 생육기간별 배양액의 재이용시 생육 1주후의 배양액에서 재정식을 하

였을 경우 4주 이상의 생육기간을 거친 처리구의 생육보다 양호한 것을 나타내었다. 생육기간이 길어지는 처리구일수록 차후 재배에서 생육이 저조한 경향을 나타내는 것으로 보아 나타내었다. 이러한 결과로 보아 생육기간이 길어질수록 지하부에서 생성되어지는 root exudate가 차기 재배시 동일 작목의 생육에 큰 영향을 나타낼 것으로 판단되었다.

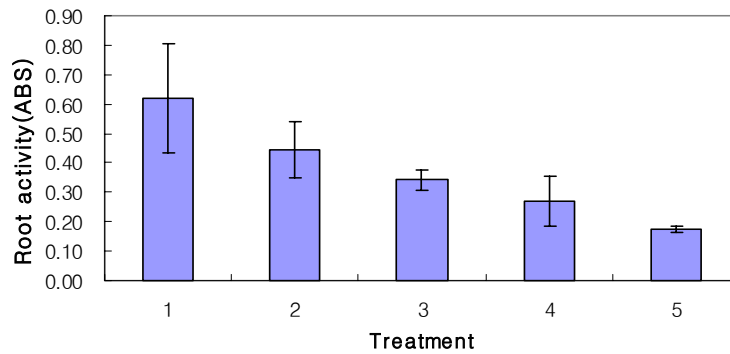


Fig. 5-93. Root activity of hydroponically grown cucumber plant as affected by reuse of nutrient solution

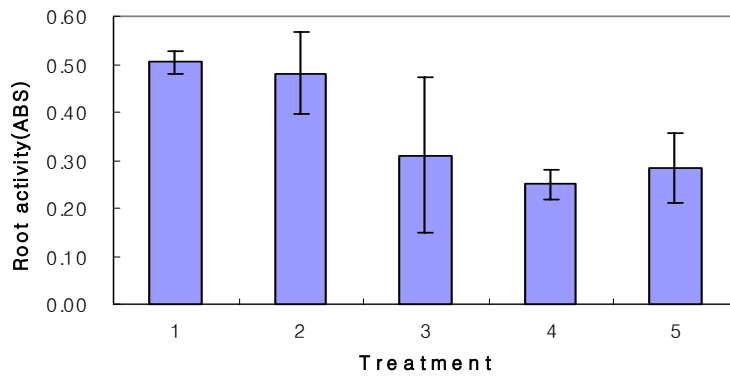


Fig. 5-94. Root activity of hydroponically grown tomato plant as affected by reuse of nutrient solution

Fig 5-93의 생육기간에 따른 배양액의 재이용시 나타나는 오이의 근활력에 있어서는 생장이 좋았던 1주 처리구에서 근활력이 높게 나타났으며 생육기간이 길어질수록 근활력도 낮아지는 경향을 나타내었으며 토마토의 생육기간에 따른 근활력에서도 오이와 같이 유사한 경향을 나타내었다. 오이의 경우 생육기간이 길어질수록 근활력이 떨어지는 것을 확인할 수 있었으나 토마토의 경우에는 3주 생육기간 이후의 근활력은 큰 유의차를 나타내지 않는 경향을 보였다.

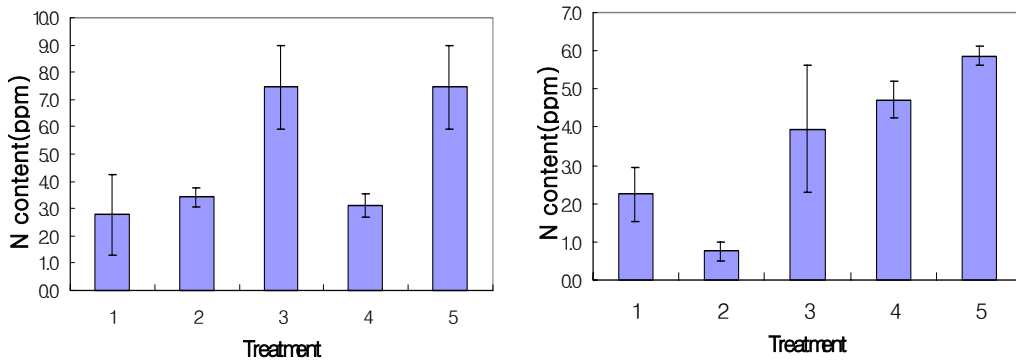


Fig. 5-95. Nitrogen content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution.

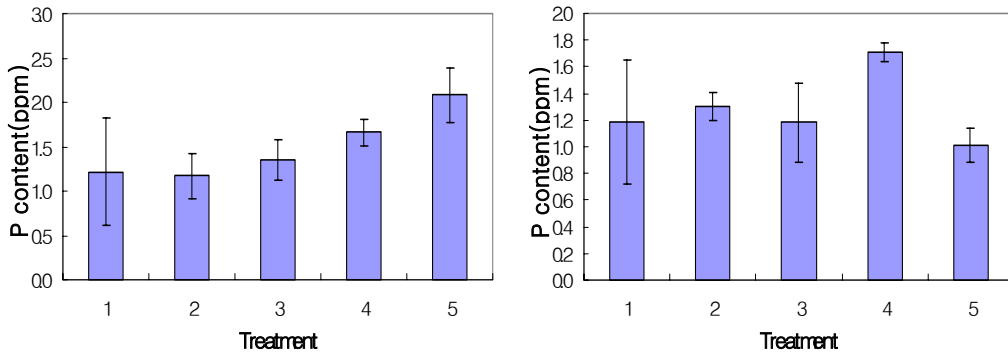


Fig 5-96. Phosphorous content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution.

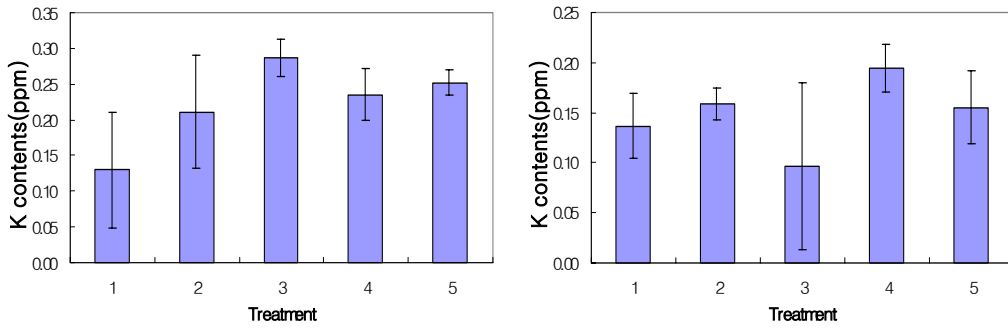


Fig. 5-97. Potassium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution.

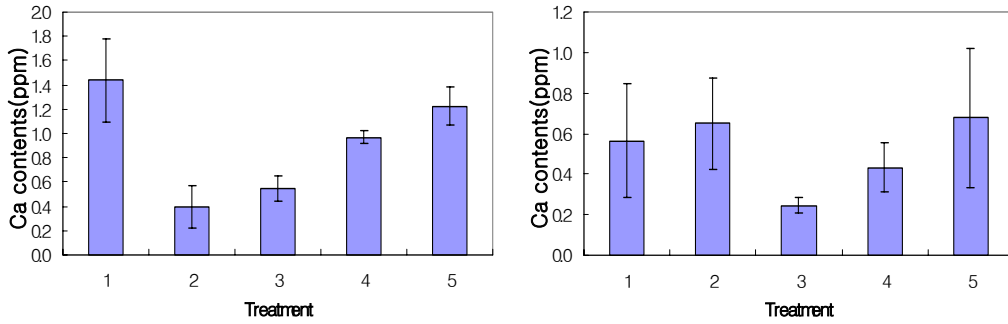


Fig. 5-98. Calcium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution.

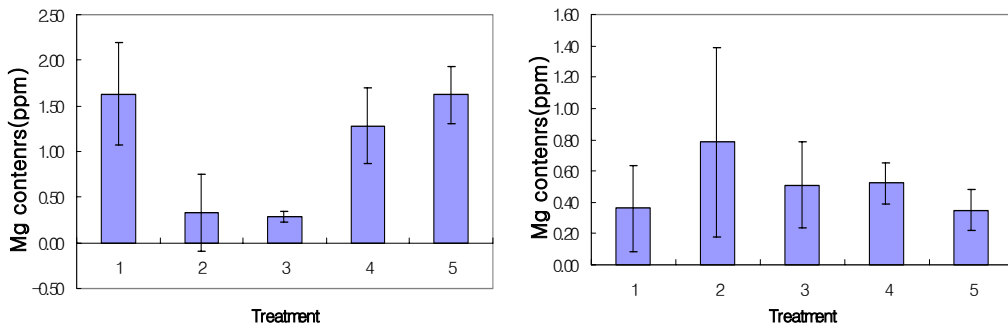


Fig. 5-99. Magnesium content of cucumber(left) and tomato(right) plant as affected by reuse of nutrient solution.

그림 5-94~99는 폐양액의 재이용시 나타나는 오이 및 토마토의 식물체내 다량원소를 분석한 그래프이다. 생육기간별 폐양액을 이용하여 동일 작물을 재배한 결과 식물체내 다량원소의 함량은 처리구간 유의차를 나타내지 않았으나 오이의 경우 대체적으로 5주차 배지에서 재정식을 하여 재배를 한 경우 다량원소의 함량이 전체적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 1주차의 배지에서는 전체생육에 필요한 무기영양분들이 고르게 흡수되어 식물생육에 적합하게 이용된 것으로 판단되었으나 3주차 이상의 폐양액을 재이용한 경우 3주차는 Mg의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 4주차는 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타내었다.

토마토의 경우에서도 오이와 같이 1주차의 폐양액을 재이용한 결과 식물체내에서 무기영양분이 고르게 분석되어지는 것을 알 수 있었으나 2주차에서 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타내었으며, Mg의 함량은 오이에 비하여 전체적으로 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

나. 오이와 토마토 연속재배가 배지내 미생물, 균 및 root exudate의 함량에 미치는 영향

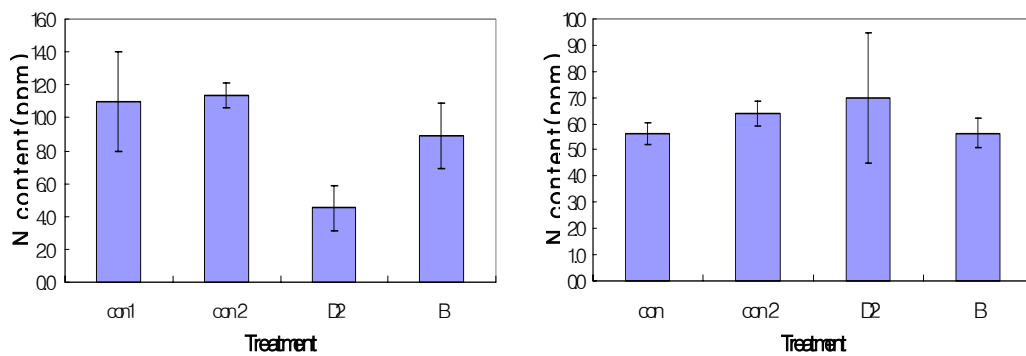


Fig. 5-100. Nitrogen content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

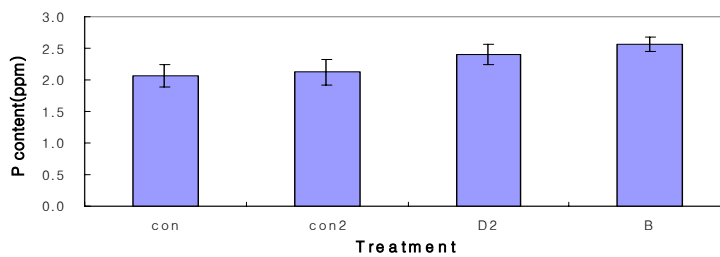
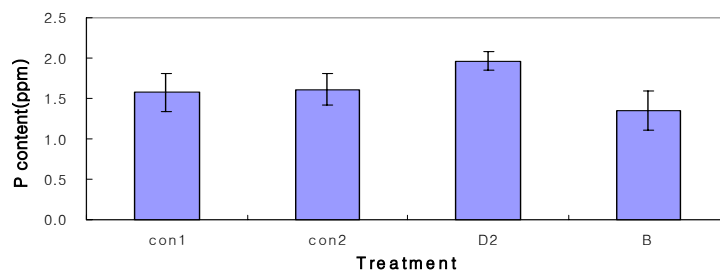


Fig. 5-101. Phosphorous content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

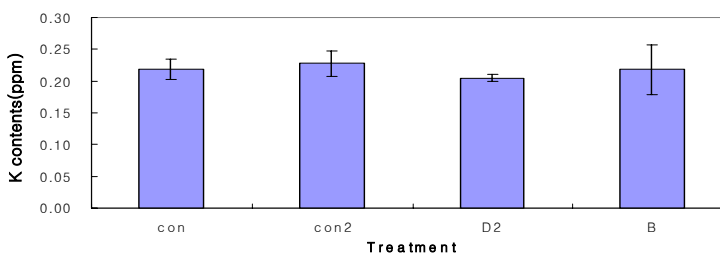
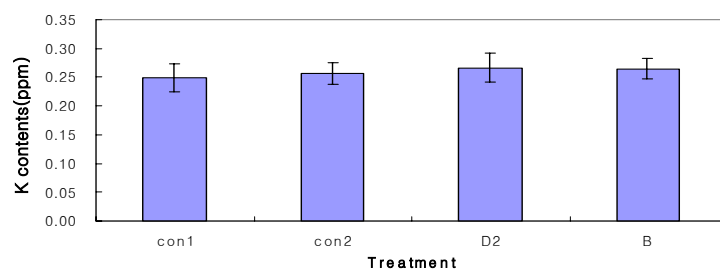


Fig. 5-102. Potassium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

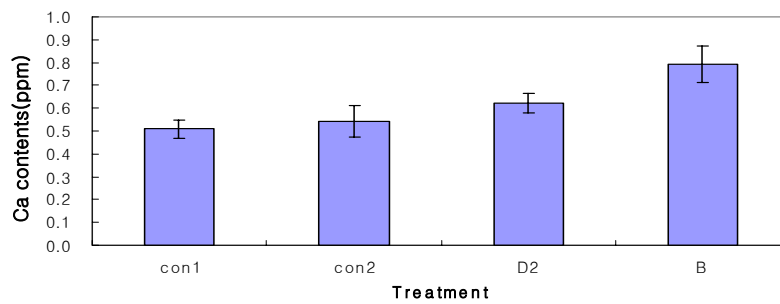
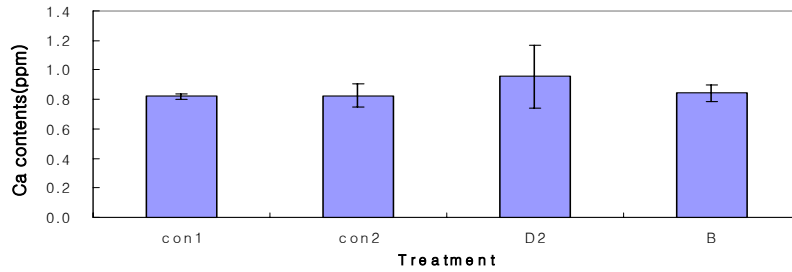


Fig. 5-103. Calcium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

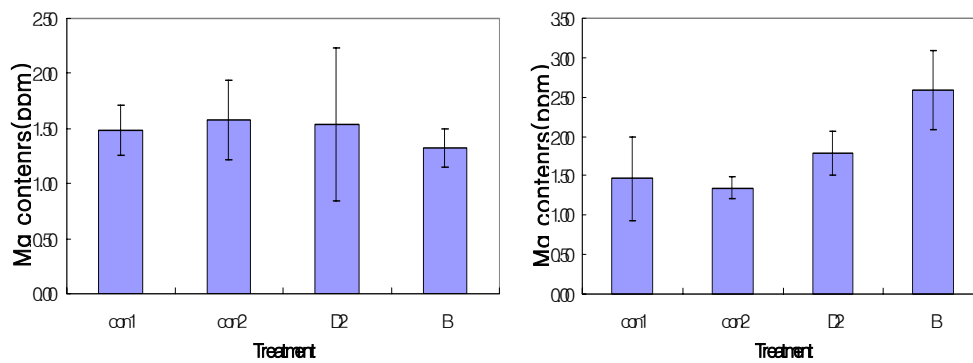


Fig. 5-104. Magnesium content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

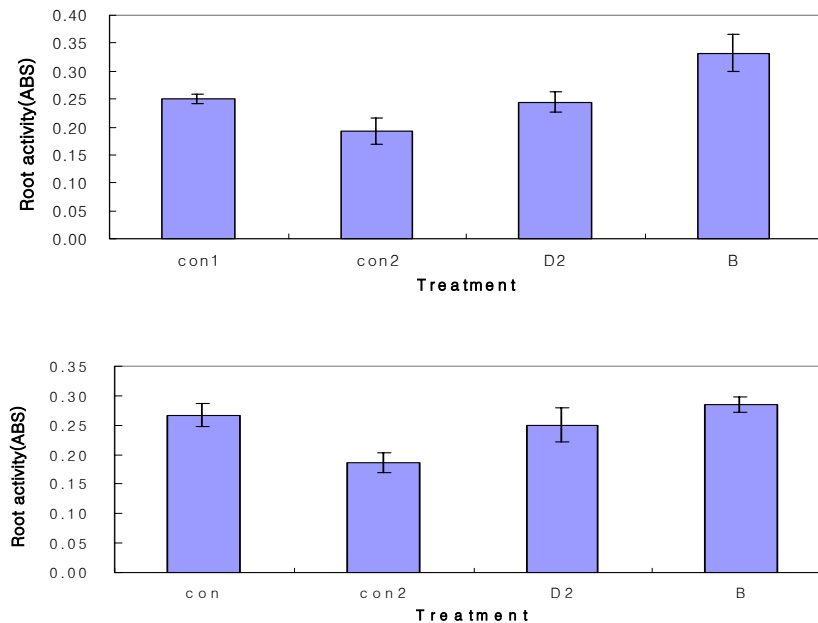


Fig. 5-105. Root activity of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

그림 4-95~105는 새로운 배지 및 재사용 배지에 미생물 첨가에 의한 작물의 성장 특성을 나타낸 그래프이다. 전체적인 생육은 일반 대조구보다 미생물이 투입된 배지에서 성장촉진효과를 나타내었으나 식물체에 함유된 N, P, K, Ca, Mg의 함량에 있어서는 큰 유의차를 나타내지 않는 것으로 보아 투입된 미생물이 성장촉진형 미생물이라고 판단되어졌다. 이러한 내용은 근활력의 그래프에서 나타난 데이터와 같이 미생물이 투입된 처리구에서 근활력이 높게 나타나는 것으로 보아 미생물은 성장촉진에 관여하는 미생물로 판단되어졌다. 미생물의 처리에 의한 배지내 phenolic compound의 함량은 처음 작물을 재배하는 배지에서 약 10ppm을 나타내었고, 재사용한 배지에서는 대조구에 비하여 7배 이상의 phenolic compound 함량을 나타내었다(Fig. 5-106). 2년차 실험에서 분리 동정되어진 D₂, B의 미생물은 작물의 생장에 영향을 미치는 것으로 보아 작물성장촉진형 미생물인 것으로 판단되었으며, phenolic compound의 함량을 억제하는 부분에는 다소 억제하였으나 큰 효과를 나타내지는 않았다. 전체 phenolic compound의 함량은 오이와 토마토에서 D₂보다는 B가 phenolic compound의 생성을 억제하는 것으로 판단되었다. phenolic compound 함량의 억제를 위한 미생물

의 제독 연구는 차후에 더 심도 깊게 연구해야 할 것으로 사료되어진다.

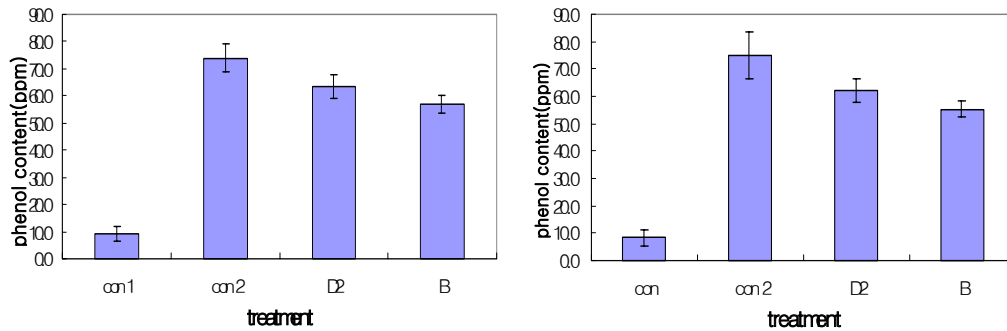


Fig. 5-106. Phenolic compound content of cucumber(up) and tomato(down) plant as affected by microorganism(con1 : new medium, con 2 : reused medium).

3.4. 결론

본 연구는 수경재배 작물의 연작장해에 대한 생리, 생태적 기능조절 및 유용 근권 미생물의 적용을 통한 경감기술을 개발하고자 하였다.

I 양액재배에 있어서 근권생리 구명에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발

1) 환경요인 변화에 따른 동화산물, 무기염류의 전류 및 배분

가. 근권 온도처리가 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향 구명

양액재배 오이의 성장과 탄수화물 대사에 미치는 근권온도(10, 18, 26℃)의 영향을 조사하기 위해 오이의 성장특성, hexose phosphate, glyceraldehyde -phosphate(PGA) 와 주요 탄소 대사물인 sugar, starch를 근권온도 처리 이후 2주간격으로 조사하였다. 지상부 생장은 처리온도의 증가에 따라 증가하였으나, 뿌리의 생장은 4주까지는 큰차이를 보이지 않았다. 근활력은 18℃와 26℃에서 지속적으로 증가하였고, 반면 10℃ 처

리에서는 4주후 급격히 감소하였다. 5엽의 클로로필 함량은 10℃ 처리구가 45.6, 18℃는 45.0, 26℃는 42.7mg/gFW로 10℃ 처리구가 다소높은경향이였으나 근권온도처리의 영향을 크게 받지 않는 경향이였다.

Hexose phosphate의 양은 근권온도가 낮을수록 증가하였다. 10℃ 처리구에서 G6P(glucose-6-phosphate)는 121mg으로 26℃에 비해 2배, F6P(fructose-6-phosphate)는 76mg으로 1.4배가 높았다. Glyceraldehyde-phosphate(PGA)는 18℃에서는 조금 증가했으나 26℃에서는 급격히 감소하였다. 6주째 각처리구별 sugar 함량은 10℃가 43.7mg, 18℃가 34.5mg, 26℃가 33.8mg으로 10℃에서 22.6% 높았다. 뿌리의 경우 역시 10℃처리구가 다른처리구보다 가용성당의 축적율이 훨씬 높았는데 온도처리후 6주째 각처리구별 가용성 당함량을 살펴보면 10℃에서 41.1mg, 18℃에서 22.4mg, 26℃에서 21.2mg으로 10℃처리구가 다른 처리구보다 대략 2배정도 높은 축적을 보였다. 10℃에서 전분의 합성은 잎에서 감소하였으나 뿌리에서는 전분의 축적이 일어났다. 온도처리 6주째 뿌리내 전분함량을 보면 18℃ 및 26℃ 처리구의 경우 26.7mg과 25.9mg으로 10℃의 65.6mg에 비해 현저히 낮게 나타났다. 특히 10℃ 처리구는 온도처리 초기부터 전분함량이 지속적으로 증가하였고 이러한 축적현상은 온도처리 초기부터 증가폭이 뚜렷하게 나타났다.

근권온도 변화에 따른 질소동화와 xylem transport에 대한 영향을 조사하기 위해 목부액, 엽 및 뿌리에서 nitrate 및 protein을 분석하였다. 목부 삼출액량은 18℃ 및 26℃ 처리구에서는 초기 2주째까지는 큰 차이를 보이지 않았지만 4주째에 18℃ 처리구는 삼출액이 계속증가하였고, 반면 26℃는 18℃에 비해 현저히 삼출액이 감소하는 경향이였다. 온도처리 6주째 엽중 질소함량은 10℃ 처리구가 14.1mg인 반면 26℃ 처리구에서 34.5mg으로 2.4배가 높았다. 뿌리중 질소함량도 10℃처리구에서 56.6mg이고 26℃처리구에서는 23.5mg으로 10℃처리구가 2.4배 가량 높았다. 목부삼출물에서 분석한 전질소와 질소의 농도는 10℃처리구가 다른 온도처리구에서 보다 현저히 낮았다. 이 같은 결과는 낮은 근권온도에 장기간 노출로 인하여 뿌리에서 질소의 축적을 유도하고 목부를 통한 질소의 수송을 억제하는 것을 알 수 있었다.

2) 근권부 무기염류(N, P, K, Ca, Mg 및 기타 미량원소)가 식물체내 무기염류 함량변화, 뿌리 영양스트레스 및 생리활성에 미치는 영향 구명
가. 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

다량과 미량원소의 과잉과 결핍구 대부분의 처리구에서 1배인 대조구가 초장, 경경, 엽수, 엽면적 및 생체중에서 모두 양호한 결과를 내었다. 그러나 인의 2배처리구에서는 초장, 엽면적, 생체중에서 대조구보다 양호한 성장을 나타냈다. 이는 P의 과잉으로 뿌리의 생장이 촉진되어 양수분의 흡수가 원활하여 생장이 증가된 것으로 보이나 인이 충분하면 성숙이 촉진되는 결점이 있다. 각 처리구의 생장이 대조구보다 저조한 것은 양분의 과잉과 결핍에서 오는 결과로서 특정 양분의 대소뿐만 아니라 무기염류간의 길항작용에 의한 양분 흡수의 불균형으로 초래된 것으로 보인다. 질소와 칼리의 과잉구에서는 시간이 지남에 따라 pH가 증가하는 경향을 보였지만 결핍구에서는 지속적으로 낮아지는 경향을 보였다. 다량원소와 미량원소의 과잉 및 결핍구의 근활력에 있어서는 생장이 양호하였던 대조구(1배)의 근활력이 높을 것이라는 예상과는 달리 대조구의 근활력이 다소 낮은 경향을 보였으며 농도가 낮은 1/4과 1/8배의 수준에서 상대적으로 높은 함량을 나타냈다. 질소가 1/4 처리구의 경우마그네슘 결핍증과 비슷한 증상을 나타내었다. 이러한 백변현상은 칼륨이 과다하게 잔류하여 이들이 서로 길항작용을 일으켜 마그네슘의 흡수를 억제하기 때문으로 생각되며 토양중에 치환성 칼리와 석회화 많이 존재하였을 때 나타날 수 있는 장애현상으로 간주된다. K는 Ca 흡수를 감소시켜 지상부의 Ca 농도를 감소시키며 K시용량을 증가시켰을 때 유도된다고 한다. 낙하산 잎은 석회화 부족할 때 나타나는 증상으로 선단부에 가까운 어린잎의 가장자리부터 나타나기 시작하여 엽 가장자리가 고사하는 경향을 보였다. 양액의 농도를 낮게 관리할 경우에는 N와 K, Ca와 Mg, K와 Ca 등 길항작용을 갖는 무기원소의 균형도 흐트러지게 되는 위험성도 커진다. 과실 비대기에는 양액농도를 다소 높게 관리하는 것이 보통이지만 양액농도가 지나치게 높을 경우에도 근권 K의 흡수량보다 잔류량이 많아져 Ca의 흡수가 저해 받게 된다.

생육초기에는 거의 문제가 없지만 중·후기에는 N은 다소 줄일 수 있도록 양액을 조성하고 후기에는 농도의 저하가 심한 K 농도를 높여서 관리하는 방법을 채용할 필요도 있다. 특히, 양액의 농도를 낮게 관리할 경우에는 N과 K, Ca와 Mg, K와 Ca 등 길항작용을 갖는 무기원소의 균형도 흐트러지게 되는 위험성도 커진다. K 수준 증가는 Mg 결핍 초래하고 잎에서 K 함량은 증가하는 것으로 나타났다. 양액 농도가 높을 경우에는 Mg의 과잉 증상이 다른 원소에 비해 심하게 나타나는데 Mg의 경우 Ca와 길항작용이 있어 양액 중에 Ca가 많을 때보다 적은 경우에 Mg 결핍증도 경감되며 Ca 농도를 높이면 Mg의 과잉해도 경감되는 결과를 보인다. 또한 뿌리에서 P의 과다는 엽맥사이의 Zn과 Fe을 침전시켜 철황화를 일으킨다.

나. 다량 및 미량원소의 과잉 및 결핍과 무기염류의 imbalance가 오이의 성장과 발육에 미치는 영향

다량원소의 과잉구의 경우 질소와 칼리는 원소 과잉으로 인한 초장과 엽수, 엽면적 및 생체중의 감소와 같은 성장특성간의 차이가 뚜렷하게 나타났지만 인산의 과잉 처리에 대해 둔감하게 반응한 것으로 나타났다. 그러나 경경에 있어서는 다른 과잉 처리구에 비하여 얇은 경향을 나타냈으며 대조구보다 연약한 줄기를 갖는 것으로 나타났다. 대조구의 경우에는 엽록소의 함량이 시간이 지남에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보였으나 N, P, K 과잉구는 다소 증가하는 비율이 낮거나 엽록소 함량이 낮아지는 경향을 나타냈다. 특히 K 과잉구의 경우 하위엽의 엽록소 함량이 40mg/gFW 이상 차이를 보이고 있어 육안으로도 확실한 과잉증상을 확인할 수 있었다. 다량원소의 결핍구의 경우에는 대조구를 제외한 처리구에서 엽록소의 함량이 거의 일정한 경향을 보이고 있으며 특히 질소 결핍구에서 황화현상을 나타내었다. 또한 미량 원소의 결핍구에서도 대조구와 비교하여 낮은 함량을 보이고 있으며 Mg와 N을 제외한 결핍구에서 대조구보다 더 높은 함량을 나타냄으로서 이동성이 큰 양분이 결핍되어 오래 된 늙은 기관인 하위엽에서 황화 되는 증상을 나타낸 반면, 성장점 생식기관에 결핍 증세는 잘 나타나지 않은 것으로 나타났다. 미량 원소의 엽위별 엽록소 함량을 보면 5엽에서는 대조구의 엽록소 함량이 낮았지만 15엽의 경우 대조구의 함량이 가장 높게 나타나 이동이 곤란한 미량원소 결핍으로 인한 성장점 조직의 엽록소 함량의 저하를 가져왔다. 과잉 처리로 인한 생장의 저해는 뿌리의 양분 흡수가 대조구에 비해 원활하지 못했기 때문으로 생각되며 뿌리의 양이나 활력이 곧 성장과 발육으로 연결됨을 짐작할 수 있다.

다량원소 결핍구 뿌리의 경우 뿌리의 양이나 색깔 등으로 판단했을 때 과잉구와 비교하여 결핍구에서 상당히 성장저해 현상이 확연히 일어남을 알 수 있다. 그러므로 과잉보다 결핍은 식물체의 성장에 더 큰 피해를 가져올 수 있는 문제가 될 수 있다고 생각된다.

3) 배양액의 농도(1/2, 1/8, 4배)에 따른 근권잔유물의 생성경향과 재이용시 나타나는 오이와 토마토의 성장분석

배양액의 결핍 및 과잉의 조건에서 1, 2차 생육을 마친 후 이들 배양액을 재이용하였을 때 양액의 과잉 및 결핍처리구에서의 성장특성은 대조구에 비하여 현저하게 낮

은 성장특성을 보였다. 결핍처리구에서는 대조구에 비하여 60%이상의 초장억제효과를 나타내었으나 엽수는 대조구에 비해 1엽이 더 많이 출엽한 것으로 나타났다. 결핍처리구가 과잉처리구에 비하여 성장특성이 좋은 경향을 나타내었다. 처리구간의 엽록소의 함량은 대조구가 다른 결핍 및 과잉처리구에 비해 높게 나타났으며 결핍 및 과잉구간의 엽록소 함량에서는 유의차를 나타내지 않았다.

II 양액재배에 있어서 영양스트레스 경감 및 성장관련 미생물 분리 동정

1) 유효근권미생물이 Root mass 증가에 미치는 영향구명 및 유효 성장 촉진 미생물의 분리, 동정 및 특성검정

가. 오이종자에 처리한 성장촉진형 선발균과 glucosamine의 성장촉진효과판정

120종류의 분리된 토양 미생물 배양액을 실험실 조건하에서 오이를 대상으로 종자에 처리하여 배양한 경우, 식물의 근권과 경경 및 하배축 성장촉진 및 억제에 관련한 유효미생물을 1차적으로 선별하였다. 결론적으로, 본 연구와 관련하여 성장촉진과 관련한 요인이 근권의 활력을 기본조건으로 설정하였기 때문에 초장, 하배축길이의 성장에 관련한 최적 분리균은 HWPD5와 B, 억제와 관련한 분리 미생물은 D2로 조사되었다. 본 연구에서 선발 사용한 유효균과의 비교를 위하여 *Pseudomonas* sp 계열과 관련한 primer를 이용하여, Sequencing 데이터를 기반으로 genebank의 결과와 비교하여 오이의 성장과 억제에 관여하는 분리균의 nucleotide 특성을 검정하여 보았다. 동정결과 B는 *Pseudomonas* sp, D2는 *Pseudomonas* sp.로 확인되었으며, 16S rRNA gene 동정결과는 차이도 매우 미미한 것으로 밝혀졌다. 결과적으로, B균과 D2균은 오이유묘에 처리한 경우 초장의 생장은 억제시키며, 뿌리의 활력은 증가시키고 동시에 잎, 경 그리고 하배축의 성장 역시 증가시키는 것으로 확인되었다. 또한, B 및 D2균에 의해 초장생장의 활력을 천연무독성제제인 올리고당화-glucosamine의 처리에 의하여 생장을 추가적으로 촉진시킬 수 있음을 확인하였다.

나. 성장억제 오이묘에 처리한 성장촉진형 선발균과 glucosamine의 성장과 판정

성장억제묘에 화란 PBG 배양액만을 공급한 대조구에서는 초장이 54.20 ± 9.20 cm 이었던 반면, 상기 제제와 생기베드를 병행 사용한 처리구에서는 103.70 ± 0.30 cm 으로 그 신장이 100% 정도의 촉진효과를 나타내었다. 오이 성장억제유묘를 대상으로 한 예비

실험결과에서 생기베드와 본 연구간 개발된 근 형성 및 지상부 성장촉진형 개발제제를 동시에 사용한 경우, 생장억제 오이묘에 대하여 근 활력 촉진과 성장촉진효과가 도출되는 기본결과가 도출됨으로서 오이를 대상으로 양액재배 시 발생하는 생장억제 회복에 대한 시스템 및 적용공정과 사용제제의 개발이 동시에 확보되는 효과적인 결과를 얻었다. 결론적으로 오이유묘를 대상으로 전체 및 기관별 성장촉진과 억제에 미치는 효과는 미생물의 종류, 농도에 따라 효과는 달리 나타났으며, 동일 종에 속하는 *Pseudomonas sp.* 계열 균에 대한 유전자 차이는 오이의 성장촉진 및 생장억제 효과에 대하여 반대적인 결과를 나타내었으며, 최적 사용농도는 0.5%로 확인되었다. 천연 올리고당-glucosamine의 적용은 합성억제제의 피해를 예방할 수 있는 대체제로서 사용할 수 있다고 판단되었으며, 0.0001%(w/v)의 농도와 올리고당화 하였을 경우 식물의 체내 흡수 및 이용등에 적절한 물성임이 확인되었다.

다. 유효근권미생물이 오이와 토마토의 생육에 미치는 영향

(1) 근권미생물이 오이의 생육에 미치는 영향

초장은 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 초장이 급격히 증가하였다. CMB처리구는 무처리에 비해 다소 초장의 변화가 낮게 나타났다. 엽록소 함량도 초장과 유사한 경향으로 전반적으로 근권미생물 처리구가 무처리에 비해 높게 나타났다. 엽면적의 경우도 미생물처리 후 2주차까지는 별다른 차이가 없다가 3주경부터 D2의 엽면적이 급격히 증가하였으며 CMB처리구는 무처리에 비해 초장의 변화와 마찬가지로 낮게 나타났다. 근활력은 D2처리구의 경우 2주까지는 다소 낮게 나타나다가 미생물이 활착을 한 후 부터는 다른처리구에 비해 높게 나타났다. 미생물을 bead로 처리한 양액에서 오이를 재배하면서 미생물에 의해서 오이의 저온 내성이 증가되는지를 조사하였다. 오이를 저온(10℃)에서 재배하여 root activity를 조사한 결과 저온처리에 의해 근활력이 다소 낮았지만 D2 처리구의 근활력이 대조구보다 높게 나타났고, 이 뿌리의 ion leakage를 비교해보아도 D2처리구가 훨씬 적다는 것을 알 수 있었다. 순수하게 원형질막만을 분리하여 H⁺-ATPase 활성도를 측정하였다. 그 결과 D2 처리군은 처리 1주에서 대조군과 CMB 처리군에 비하여 약 20%정도 높은 효소 활성도를 보였으며 조사 기간 동안 대조군보다 계속 높은 수준의 활성도를 유지하였다. CMB의 경우, 처리 1주에는 미처리군보다 활성도가 낮았으나 2주에 크게 증가하고 3주까지 가장 높은 효소 활성도를 유지하였다. 결론적으로 미생물 처리군에서 대조군에 비하여 실험 기간 3주 동안 H⁺-ATPase 활성도가 높았으며, 군주에 따

라 효소의 활성화 양상이 달랐다. D2 처리군의 경우는 처리 초반에 효소 활성도가 증가한 반면 CMB 처리군은 2주에 효소활성도가 크게 증가한 후 3주에서도 높은 활성도가 지속되었다.

(2) 근권미생물 처리가 토마토의 생육에 미치는 영향

유효 근권미생물 처리에 따른 토마토의 초장, 엽록소함량, 엽면적 및 근활력 반응을 나타낸 것이다. 오이의 경우에서처럼 성장반응이 뚜렷하지는 않지만 근권미생물 처리에 의한 토마토의 생장도 전반적으로 높게 나타났다.

2) 유효근권미생물 처리에 따른 선충의 방제효과

분리된 선충에 대한 방제효과를 확인하기 위하여 알과 성충 두분류로 정하여 이를 방제효과 평가를 위한 실험재료로 사용하였다. 준비된 신규한 바실러스속 (*Bacillus* sp.)CMB26균 배양액(1×10^8 cfu/ml)을 0.1%(x1,000배, v/v), 1%(x100배), 5%(x 20배) 그리고 10%(x10배)되게 생리적식염수에 첨가한 후, 여기에 성충과 알을 100개체씩 되게 투입하였고, 방제효과 비교를 위한 대조구로서는 일반 생리적식염수만 첨가한 시험구로 조성하여 처리구와 비교하였다. 방제효과판정은 24시간단위로 3일 동안 일정 경과 시, 소형시험관내의 선충 알과 성충의 외형형태의 변화와 생존률 등을 종합적으로 해부현미경으로 관찰하여 평가하였다.

대조구의 경우는 100% 생존하고 있었으나, 처리구의 경우는 48시간 이내에 모든 알과 성충은 사멸되어 있었다. 그리고 신규한 바실러스속 (*Bacillus* sp.) CMB26균과 그 생산물인 lipopeptide배양액을 농도별로 첨가한 처리구에서, 사멸순서는 24시간이내의 알의 외피막이 파괴되어 있었고, 48시간 이내에는 성충이, 48시간 경과시는 성충으로의 탈피하기 전단계의 선충 순서로 사멸되었다. 또한 농도별로 처리한 경우에는 다소 사멸시간은 차이가 있었으나, 농도가 높은경우가 역시 사멸효과는 높게 나타났다.

III 양액재배에 있어서 생리기능 진단 및 미생물 이용

가. 오이와 토마토의 재배기간에 따른 root exudate 분석 및 재이용시 토마토 및 오이의 생육에 미치는 영향

생육기간에 따라 양액재배 베드 내에서 양액을 채취하여 페놀의 함량을 분석한 결과 생육기간이 경과함에 따라 페놀의 함량이 증가하였다. 생육기간이 길어질수록 오

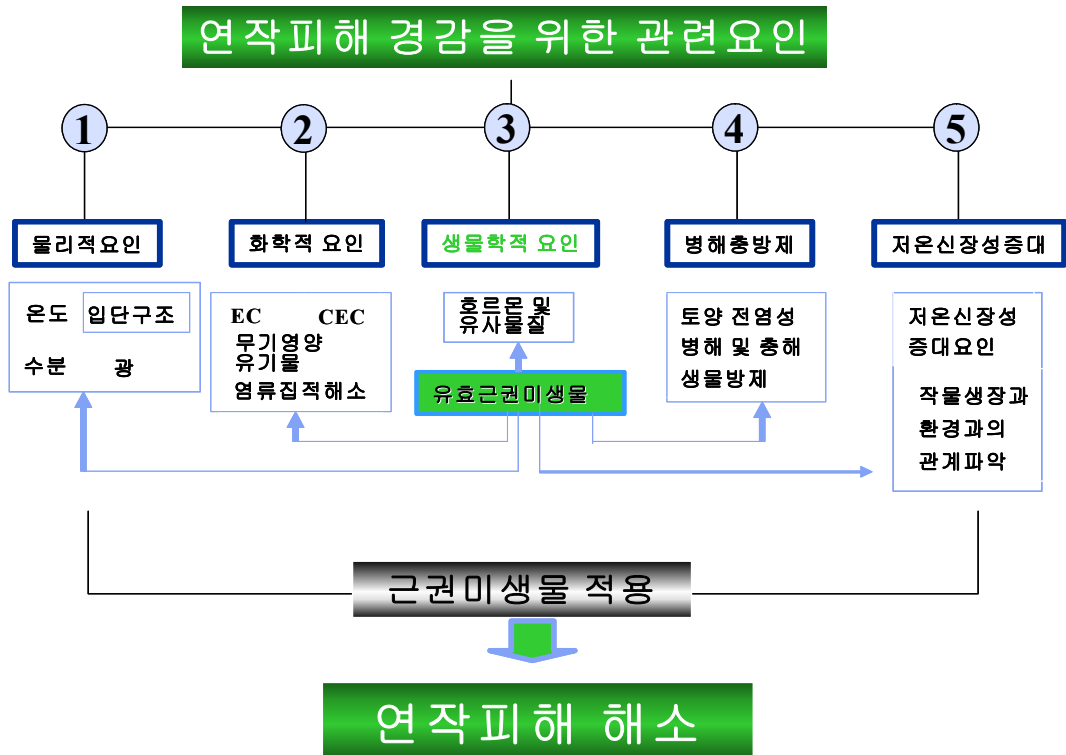
이와 토마토의 지하부에서 배출되어지는 phenolic compound가 높아지는 것으로 생각되어진다. 생육기간별 배양액의 재이용시 생육 1주후의 배양액에서 재정식을 하였을 경우 4주 이상의 생육기간을 거친 처리구의 생육보다 양호한 것을 나타내었다. 생육기간이 길어지는 처리구일수록 차후 재배에서 생육이 저조한 경향을 나타내는 것으로 보아 나타내었다. 이러한 결과로 보아 생육기간이 길어질수록 지하부에서 생성되어지는 root exudate가 차기 재배시 동일 작목의 생육에 큰 영향을 나타낼 것으로 판단되었다. 생육기간별 폐양액을 이용하여 동일 작물을 재배한 결과 식물체내 다량원소의 함량은 처리구간 유의차를 나타내지 않았으나 오이의 경우 대체적으로 5주차 배지에서 재정식을 하여 재배를 한 경우 다량원소의 함량이 전체적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 1주차의 배지에서는 전체생육에 필요한 무기영양분들이 고르게 흡수되어 식물생육에 적합하게 이용된 것으로 판단되었으나 3주차 이상의 폐양액을 재이용한 경우 3주차는 Mg의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났으며, 4주차는 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타내었다.

토마토의 경우에서도 오이와 같이 1주차의 폐양액을 재이용한 결과 식물체내에서 무기영양분이 고르게 분석되어지는 것을 알 수 있었으나 2주차에서 질소의 함량이 가장 낮은 경향을 나타내었으며, Mg의 함량은 오이에 비하여 전체적으로 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

나. 오이와 토마토 연작재배가 배지내 미생물, 균 및 root exudate의 함량에 미치는 영향

새로운 배지 및 재사용 배지에 미생물 첨가에 의한 작물의 성장 특성을 나타낸 그래프이다. 전체적인 생육은 일반 대조구보다 미생물이 투입된 배지에서 성장촉진효과를 나타내었으나 식물체에 함유된 N, P, K, Ca, Mg의 함량에 있어서는 큰 유의차를 나타내지 않는 것으로 보아 투입된 미생물이 성장촉진형 미생물이라고 판단되어졌다. 이러한 내용은 근활력의 그래프에서 나타난 데이터와 같이 미생물이 투입된 처리구에서 근활력이 높게 나타나는 것으로 보아 미생물은 성장촉진에 관여하는 미생물로 판단되어졌다. 미생물의 처리에 의한 배지내 phenolic compound의 함량은 처음 작물을 재배하는 배지에서 약 10ppm을 나타내었고, 재사용한 배지에서는 대조구에 비하여 7배 이상의 phenolic compound 함량을 나타내었다. 2년차 실험에서 분리 동정되어진 D₂, B의 미생물은 작물의 성장에 영향을 미치는 것으로 보아 작물성장촉진형 미생물인 것으로 판단되었으며, phenolic compound의 함량을 억제하는 부분에는 다소 억제

하였으나 큰 효과를 나타내지는 않았다.. 전체 phenolic compound의 함량은 오이와 토마토에서 D₂보다는 B가 phenolic compound의 생성을 억제하는 것으로 판단되었다. phenolic compound 함량의 억제를 위한 미생물의 제독 연구는 차후에 더 심도 깊게 연구해야 할 것으로 생각되어진다.



연작피해 관련요인은 그림과 같이 나타낼 수 있다. 본 실험에서 특히 중요한것은 유효 근권 미생물의 적절한 형성, 영양 관련 요인 및 지상부 지하부 불량환경에 대한 대응책을 마련하는 것이었다..

미생물의 적절한 형성을 위한 배양토의 형성이 연작장해 경감을 위한 최대의 관건이었으며 이는 고온 다습한 여름철에 수피, 유박 골분, 미강 및 요소를 일정량으로 배합하여 45일간 숙성한 배양토에서 특히 성장촉진 및 향균과 향충성을 갖는 근권생장촉진 미생물을 유효하게 형성시킬수 있었으며 이들 미생물들은 D₂, B로 분리 동정되었고 특성검정을 통하여 성장촉진 및 향충효과가 있다는 것이 인정되었다. 제조된 배

양토에서 유효근권 미생물을 분리하여 처리할 시 생장을 촉진시킬 수 있었으며 토양의 염류농도 장해는 극복, 근삼출물에 대한 피해도 경감하는 등 생리, 생태적 기능의 변화를 유도할 수 있었다. 그러나 이들 미생물의 처리에 있어서는 균의 밀도를 높이는 집적화 과정이 필요하였고, 균에 따라 housing 기법을 도입해본 결과 보다 효과를 증대시킬 수 있음이 판명되었다.

따라서 본 실험을 통해 시설을 이용한 토양 및 수경재배시 연작장해를 경감시킬 수 있는 데는 식물생장촉진 및 항균, 항충성 유효 미생물의 형성과 집적화를 통한 기법의 적용이 매우 유효한 방법임을 알 수 있었고 본 연구를 통해 이와 관련된 유효 미생물의 생성기법과 관련 미생물의 분리 동정 및 특성검정을 토한 기작이 구명되었으며, 이들의 실제 재배에서의 생리 장해 경감, 염류농도장해 회피, 저온신장성 증대 및 수량과 품질향상이 오이와 토마토에서 확인되었다. 그러나 이들 미생물들에 관한 연구는 앞으로 보다 심도 있게 수반되어 시설원에 산업현장에 광범위하게 적용될 수 있도록 추가적으로 수행해야하는 많은 연구들이 남아 있다.

제 4절 비파괴 방법에 의한 영양스트레스 진단

4.1. 생체반응에 의한 비파괴 영양진단

4.1.1. 오이의 비파괴 생육진단

1) 재료 및 방법

본 연구를 위해 이용한 공시 작물은 장일 반백 오이로서 본엽이 3매가 되었을 때 정식하고 2001년 8월 10일 본엽이 4~5매가 되었을 때 농도별 양액 공급 처리를 개시하였다. 배지는 펄라이트와 암면을 1:1로 혼합하여 사용하였고 재배는 비순환식 양액 재배 방식을 택하였으며 오이에 대한 야마자키 양액을 조성하여 점적관수 형식으로 공급하였다.

본 실험을 위해서 조성된 양액의 N, P, K에 대한 처리 농도는 표 1과 같으며 처리당 반복수는 4주로 하였다. 측정항목은 광합성량, 확산저항, 증산량, 엽평비, 엽색, 엽내 엽록소 함량, Test strip을 이용한 엽병의 즙액 내 NO₃, P, K의 함량이었다. 광합성 측정은 광합성 측정기(LI-COR, Li-6200)를 이용하여 측정하였고 증산량 및 확산저항은 Porometer(LI-COR, Li-1600)를 이용하여 측정하였으며 엽색측정은 Colorimeter(Minolta, CR-210)를 이용하여 측정하였다. 엽록소는 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta)를 이용하여 최근에 완전 전개된 위에서 8~9번째 엽을 대상으로 처리당 4반복, 반복당 10회 SCDSV(specific color difference sensor value)를 측정하여 평균 처리했다. 엽병의 즙액 내 NO₃, P, K의 측정은 SCDSV를 측정한 엽의 엽병을 착즙기를 이용하여 즙액을 채취한 후 Test strip의 측정 범위에 들도록 희석하여 RQ reflextoquant meter로 측정하였다.

표 6-1. 공급 양액의 원소 함량

| 처 리 | 원 소 (mg L ⁻¹) | | |
|-----|---------------------------|-------------------|----------------------|
| | N | P | K |
| N | 2/43/84/126/213/261 | 29 | 197 |
| P | 126 | 0.5/8/18/29/56/90 | 197 |
| K | 126 | 29 | 0/34/107/197/367/537 |

측정은 개화기 이전, 개화기, 착과기에 각각 실시하였다. 측정이 끝난 엽은 표준 분석 방법에 의한 엽록소 함량을 측정하고 나머지는 total-N, P, K의 함량을 측정하기 위해서 65°C에서 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 이용하였다. 표준 분석 방법에 의한 엽록소 함량은 신선한 잎 0.5 g을 80% 아세톤으로 24시간 동안 냉장실에서 침출시킨 후 Mackinney법(Committee of plant analysis. 1976)을 이용하여 분석하였으며 total-N는 Kjeldahl법으로 P는 Vanadate법으로 K는 AAS로 각각 분석하였다. 표준 분석 방법으로 분석된 결과는 Test strip을 이용하여 측정한 수치 및 SCDSV와 각각 상관관계를 구하였다. 또한 공급한 양액의 N, P, K의 농도를 측정하여 광합성, 증산량, 확산저항, 엽평비 및 엽색 정도와의 상관관계를 구하였다.

2) 결과

① 광합성과 공급된 양분의 농도와의 관계

광합성 측정은 개화기와 착과기에 각각 실시하였으며 맑은날 오전 9시에서 11시 사이에 최근에 완전 전개한 엽을 대상으로 측정하였다. N 처리구에서 오이의 광합성량은 개화기와 착과기의 측정에서 모두 공급된 N 농도가 증가함에 따라 증가였고 N 공급농도가 과잉으로 더욱 높아지면서 다시 감소하는 2차의 상관을 보였으며 R^2 이 각각 0.7533, 0.6796으로 높은 상관을 보였다(그림 6-1) (그림 2). P 처리구에서 광합성량은 P의 공급농도와 높은 상관을 보이지는 않았다. 다만 착과기의 측정에서 R^2 이 0.3425 정도인 이차 상관을 보였다(그림 3) (그림 6-4). K 처리구에서도 공급된 K의 농도에 따른 광합성량의 관계는 높은 상관을 보이지는 않았으나 착과기의 측정에서 R^2 이 0.4932로 이차 상관을 보였다(그림 6-5) (그림 6-6). 종합해보면 공급된 N, P, K의 농도에 따른 광합성량은 착과기의 측정에서 모두 이차 상관관계를 보여 그 관계가 인정되기는 하였으나 특정 원소의 함량이나 공급량을 알아내야 하는 영양진단 방법으로는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

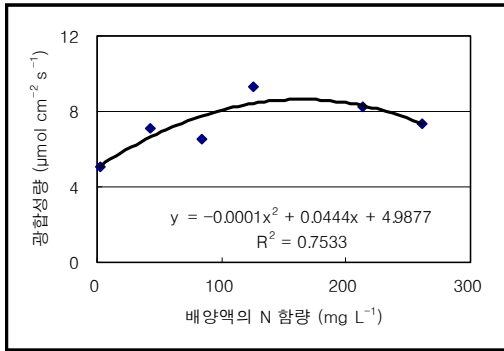


그림 6-1. 개화기의 N공급량과 광합성량과의 상관 관계

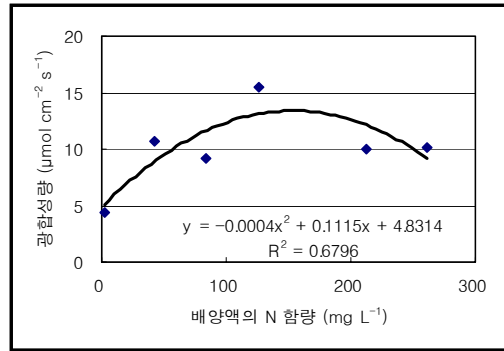


그림 6-2. 착과기의 N공급량과 광합성량과의 상관 관계

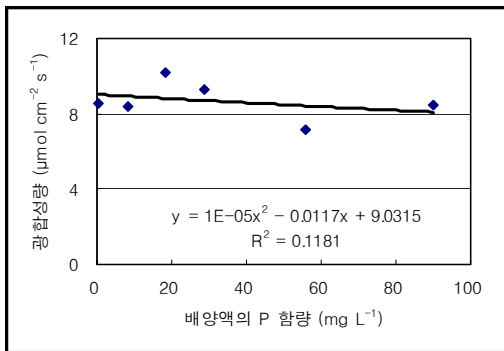


그림 6-3. 개화기의 P공급량과 광합성량과의 상관 관계

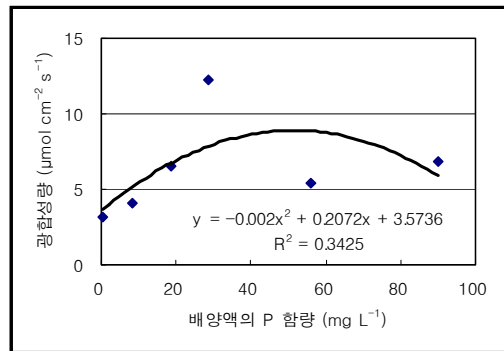


그림 6-4. 착과기의 P공급량과 광합성량과의 상관 관계

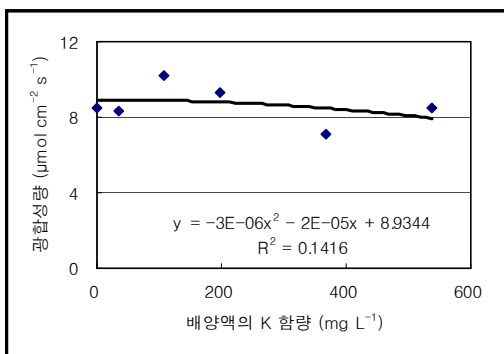


그림 6-5. 개화기의 K공급량과 광합성량과의 상관 관계

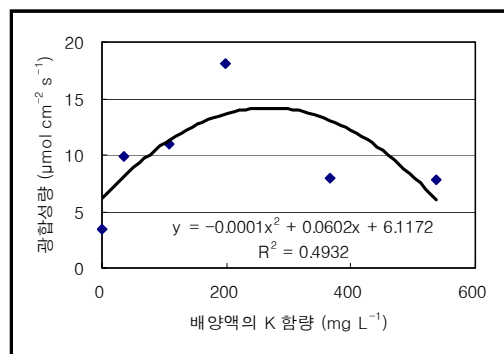


그림 6-6. 착과기의 K공급량과 광합성량과의 상관 관계

② 확산저항과 공급된 양분 농도와의 관계

확산저항은 개화기와 착과기에 각각 측정하였으며 맑은날 오전 9시에서 11시 사이에 최근에 완전 전개한 엽을 대상으로 측정하였다. N 처리구에서 오이의 확산저항은 개화기와 착과기의 측정에서 모두 공급된 N 농도가 증가함에 따라 감소하였고 N 공급농도가 과잉으로 더욱 높아지면서 다시 증가하는 2차의 상관을 보였으며 R^2 이 각각 0.8375, 0.8387로 높은 상관을 보였다(그림 6-7) (그림 6-8). P 처리구에서 확산저항은 그림 9와 그림 10에서와 같이 N 처리구와 K 처리구와는 반대의 결과를 나타내었으며 R^2 은 각각 0.5421과 0.2939를 나타내었다. K 처리구에서 오이의 확산저항은 개화기와 착과기의 측정에서 모두 공급된 K 농도가 증가함에 따라 감소하였고 K 공급농도가 과잉으로 더욱 높아지면서 다시 증가하는 2차의 상관을 나타내는 N와 같은 결과를 보였다. R^2 은 각각 0.6838, 0.4381이었다(그림 11) (그림 6-12). 종합해보면 공급된 N와 K의 농도에 따른 확산저항은 개화기와 착과기에 모두 이차 상관관계를 보여 그 관계가 인정되었으며 전체적인 양분함량에 따른 생체 정보를 수집하는 수단으로 확산저항을 측정하는 방법이 이용될수 있다고 판단되나 특정 원소의 함량이나 공급량을 알아 내야 하는 영양진단 방법으로는 적절하지 않은 것으로 생각된다.

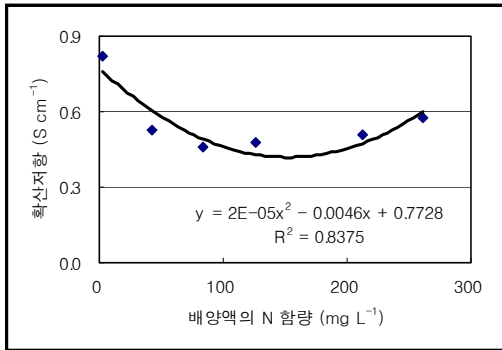


그림 6-7. 개화기의 N공급량과 확산저항과의 상관 관계

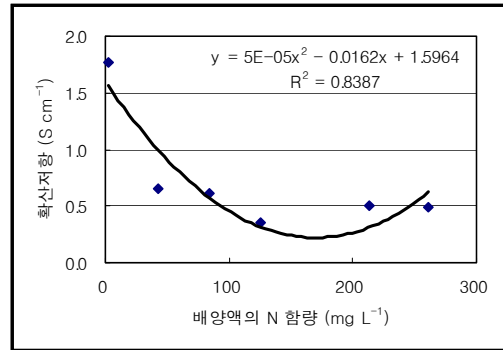


그림 6-8. 착과기의 N공급량과 확산저항과의 상관 관계

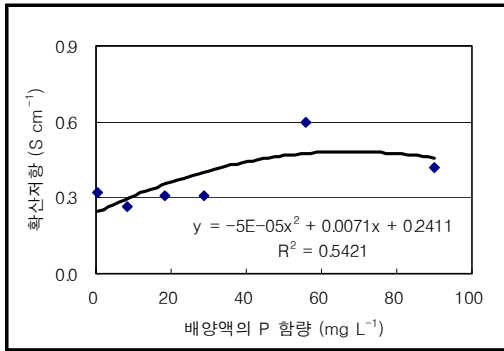


그림 6-9. 개화기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계

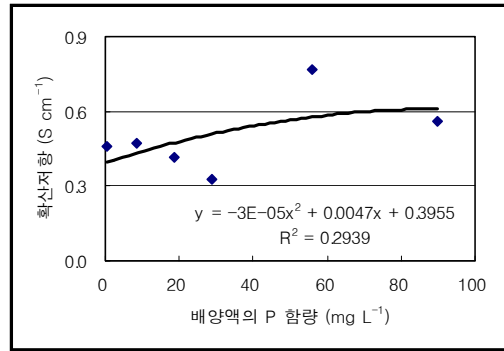


그림 6-10. 착과기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계

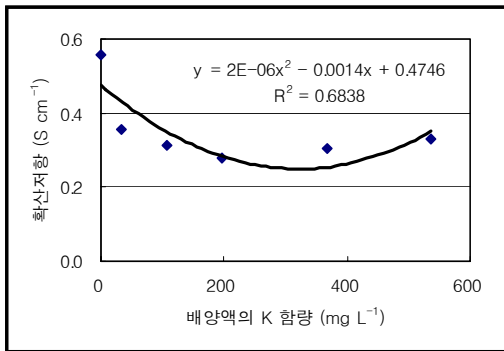


그림 6-11. 개화기의 K공급량과 확산저항과의 상관관계

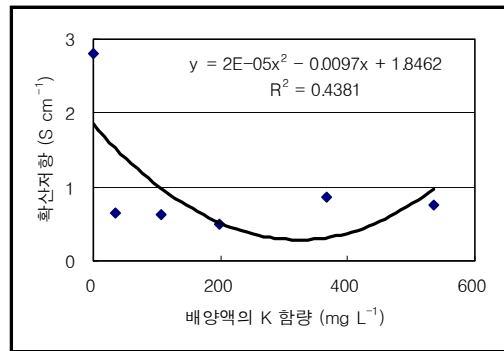


그림 6-12. 착과기의 K공급량과 확산저항과의 상관관계

③ 증산량과 공급된 양분 농도와의 관계

증산량도 역시 개화기와 착과기에 각각 측정하였으며 맑은날 오전 9시에서 11시 사이에 측정하였다. N 처리구에서 오이의 증산량은 개화기에는 N 공급농도가 증가함에 따라 감소했다가 증가하는 이차 상관을 보였으며 착과기에는 N 공급농도가 증가함에 따라 증가했다가 감소하는 상관관계를 나타내었다(그림 6-13) (그림 6-14). 이와 같이 개화기와 착과기의 상반된 결과에 대한 것은 좀 더 정밀한 실험이 필요할 것으로 생각된다. P 처리구에서 증산량은 P 공급량과 높은 상관관계를 나타내지 않았으며 R²은 각각 0.5421과 0.2939를 나타내었다(그림 6-15) (그림 16). K 처리구에서 오이의 증산량은 K 공급량에 따라 개화기에는 R²이 0.8514인 이차의 상관관계를 나타내며 착과기에는 R²이 0.4955인 상관관계를 나타내었다(그림 6-17) (그림 18).

이와 같은 결과로 볼 때 광합성량, 확산저항, 증산량은 모두 N, P, K의 공급량에 따른 변화를 보이고 있다. 그러나 이 변화를 N, P, K에 각각 특정하게 관계짓기는 어려울 것으로 보인다. 따라서 광합성량, 확산저항, 증산량은 식물의 생체 내 변화에 관한 대략적인 정보를 수집하는 수단으로는 이용될 수 있으나 특정 양분에 대한 진단을 위해서는 이용이 어려울 것으로 판단된다.

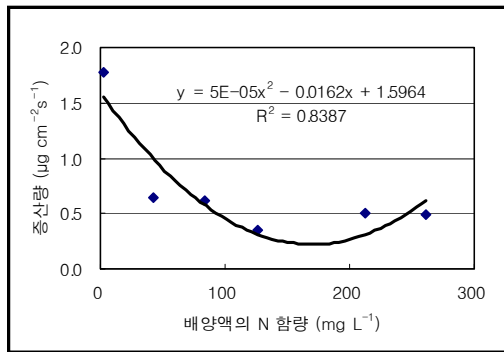


그림 6-13. 개화기의 N공급량과 증산량과의 상관관계

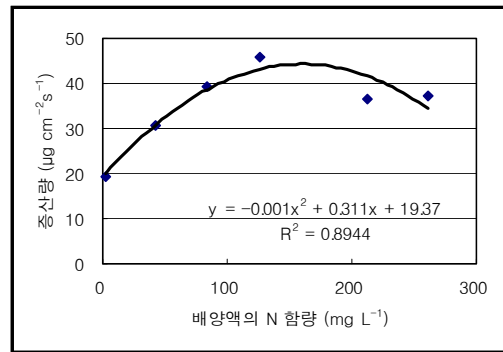


그림 6-14. 착과기의 N공급량과 증산량과의 상관관계

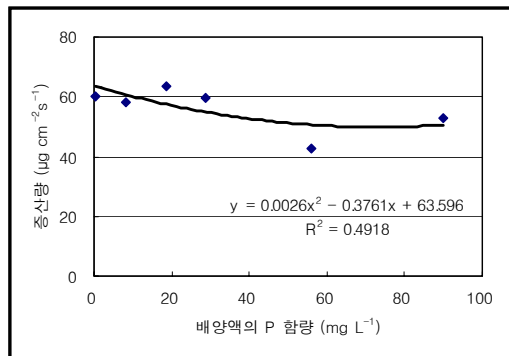


그림 6-15. 개화기의 P공급량과 증산량과의 상관관계

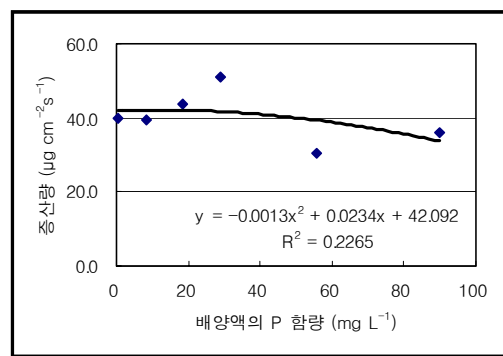


그림 6-16. 착과기의 P공급량과 증산량과의 상관관계

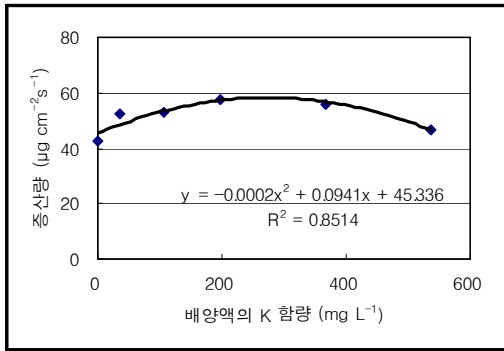


그림 6-17. 개화기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계

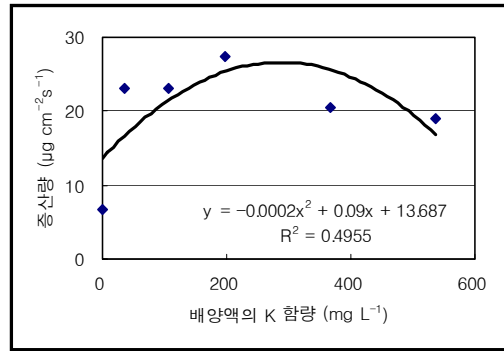


그림 6-18. 착과기의 P공급량과 확산저항과의 상관관계

④ 엽평비와 공급된 양분함량과의 관계

각 생육단계별 엽평비와 공급된 양분의 함량사이에는 상관관계가 없어 영양진단에 적합하지 않은 것으로 판단된다.

⑤ 엽색측정과 공급된 양분함량과의 관계

각 생육단계별 측정된 각각의 양분 공급량과 엽색의 변화 사이에 상관관계가 인정되지 않았으므로 영양진단에 적합하지 않은 것으로 판단된다.

⑥ Test strip를 이용한 엽병의 즙액 측정

- Test strip의 표준곡선

Test strip은 수용액 상태의 원소 함량을 측정하기 위해서 개발된 기구로서 이를 식물체의 즙액 측정에 이용하였다. 먼저 Test strip의 정확성을 알아보기 위하여 N, P, K에 대한 표준용액을 제조한 후 이를 Test strip으로 측정하였다. 그 결과는 그림 6-19, 그림 6-20, 그림 6-21에 나타나는 바와 같이 매우 정확하다고 판단된다.

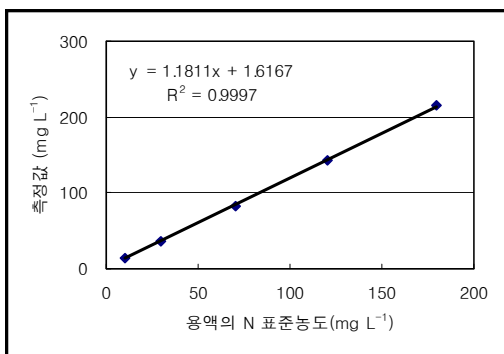


그림 6-19. Test strip를 이용한 N의 표준곡선

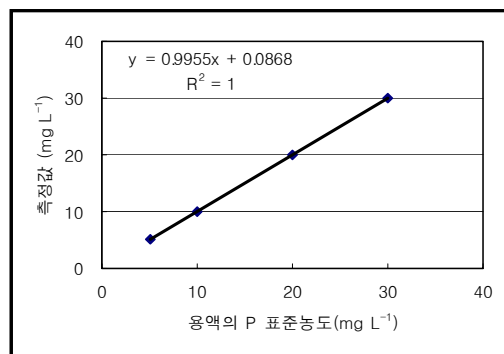


그림 6-20. Test strip를 이용한 P의 표준곡선

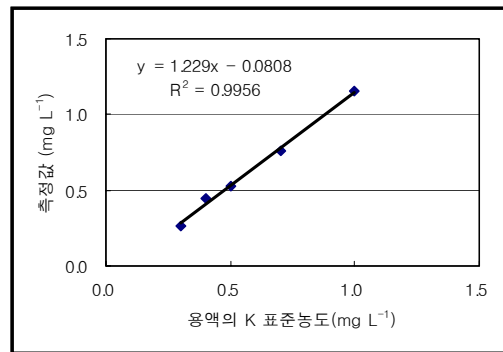


그림 6-21. Test strip를 이용한 K의 표준곡선

- 엽내 Total-N와 엽병의 즙액 내 NO₃ 함량과의 관계

엽병의 즙액 내 양분의 함량과 엽 내 양분의 함량은 생장초기, 개화기, 착과기에 각각 측정하였다. N 처리구에서 질소의 공급량과 엽 내 total-N의 함량은 로그상관 ($R^2=0.86$)을 보여 본 실험에 쓰인 오이에 대한 야마자키 양액을 정상적으로 처리한 처리 4번까지는 엽 내 Total-N의 함량이 증가하다가 그 이후로는 큰 변화 없이 유지되었다. 생육초기, 개화기, 착과기 모두 엽 내 total-N의 함량과 엽병 즙액 내 NO₃의 함량간에는 고도의 1차 상관을 보여 Test strip으로 즙액 내 NO₃를 측정하여 엽 내 total-N의 함량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다(그림 6-22) (그림 6-23) (그림 6-24). 홍 등(1996)은 이미 오이에 대한 엽 내 total-N 함량에 대한 연구를 실시하여 그 적정 농도는 건물중당 3.0~4.5%, 결핍농도는 2.5%이하라고 하였다. 이를 이용하면 엽병 즙액 내 NO₃ 함량을 측정하여 엽 내 Total-N의 함량을 추정하고 그 결과를 바탕으로 시비 관리가 가능할 것으로 판단된다. 또한 질소 공급량과 엽병의 즙액 내 NO₃의 함량 사이에도 높은 상관($R^2=0.87$)을 보여 엽병의 즙액 내 NO₃ 함량에 대한 기준이 마련된다면 이 결과를 바로 시비관리에 이용할 수 있을 것으로 판단된다

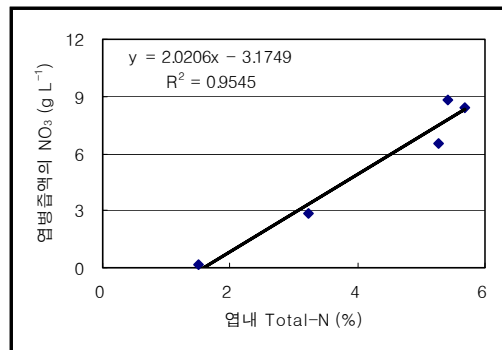
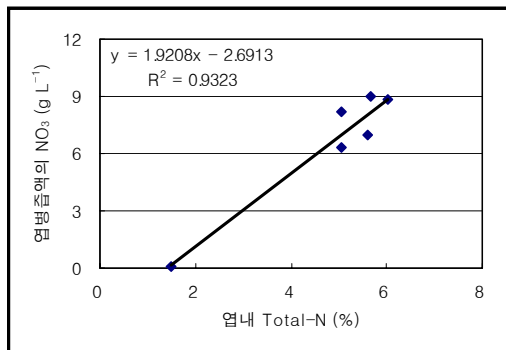


그림 6-22. 생육초기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO₃ 함량과의 상관관계 그림 6-23. 개화기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO₃ 함량과의 상관관계

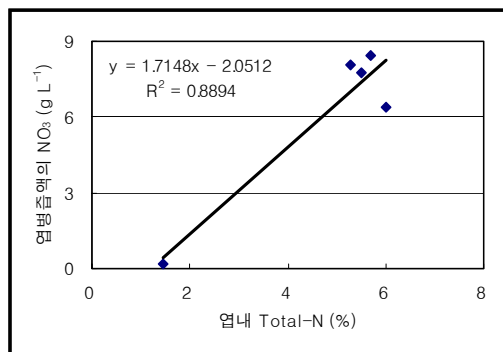


그림 6-24. 착과기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO₃ 함량과의 상관관계

- 엽 내 P 함량과 엽병의 즙액 내 P 함량과의 관계

P도 N와 비슷한 양상을 보여 정상 농도로 처리한 처리 4번까지는 공급량에 따라 엽 내 P의 함량이 증가하다가 그 이후로는 일정 수준으로 유지되는 로그상관 ($R^2=0.88$)을 나타내었다. 각 측정단계별 엽 내 P의 함량과 엽병의 즙액 내 P의 함량간에도 역시 모두 높은 1차 상관을 보여 엽 내 P의 함량을 즙액의 P 함량으로부터 추정할 수 있을 것으로 생각된다(그림 6-25) (그림 6-26) (그림 27). 홍 등(1996)은 오이의 P에 대한 엽 내 적정 농도는 건물중의 0.3~1.0 %이며 결핍농도는 0.2% 이하라고 하였다. 따라서 엽병의 즙액 내 P 함량으로부터 추정된 엽 내 P 함량과 이 기준치를 이용하면 시비관리가 가능할 것으로 판단된다. P 공급량과 즙액 내 P 함량 사이에도 높은 상관($R^2=0.89$)을 보여 즙액 내 P 함량에 대한 기준치 마련 후 시비 관리에 직접

이용할 수 있는 것으로 판단된다.

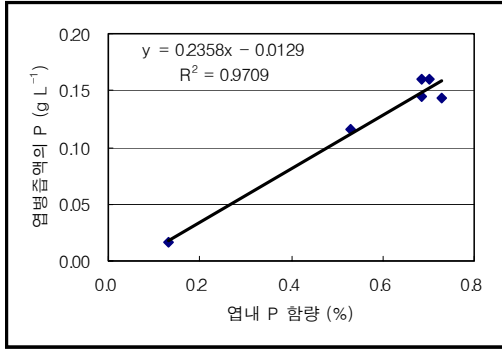


그림 6-25. 생육초기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

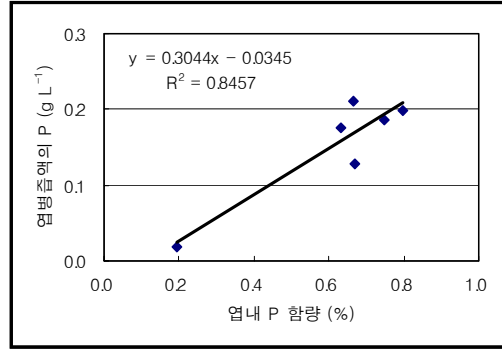


그림 6-26. 개화기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

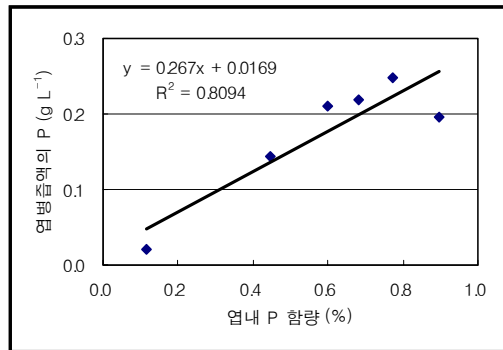


그림 6-27. 착과기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

- 엽 내 K 함량과 엽병의 즙액 내 K 함량과의 관계

K의 처리구에서 K는 공급량에 대한 엽 내 함량 변화가 2차 상관($R^2=0.66$)을 보여 과일 농도 처리시 흡수율이 낮아짐을 알 수 있다. K도 역시 생육초기, 개화기, 착과기 모두 엽 내 K의 함량과 즙액 내 NO_3 의 함량이 고도의 1차 상관을 나타내며(그림 6-28, 29, 30) 공급된 K의 양과 즙액내 NO_3 의 함량 사이에도 높은 상관($R^2=0.70$)을 나타내었다. 오이에 대한 엽 내 K의 적정농도는 건물중당 3.0~5.0 %이며 결핍농도는 2.4 % 이하로서(Hong 등, 1996) Test strip을 이용하여 엽 내 K 함량을 추정하고 이

를 이용하여 시비 관리를 할 수 있을 것으로 본다.

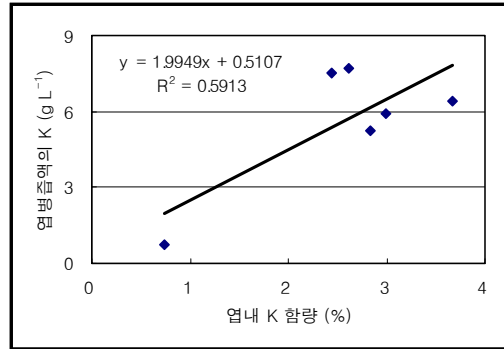
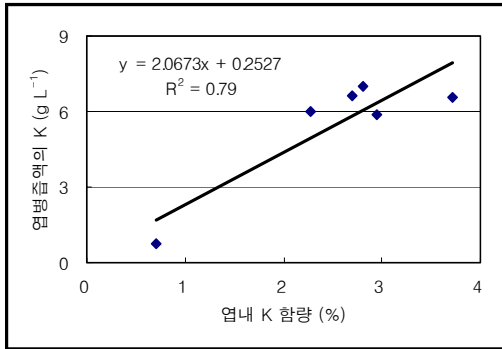


그림 6-28. 생육초기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계 그림 6-29. 개화기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

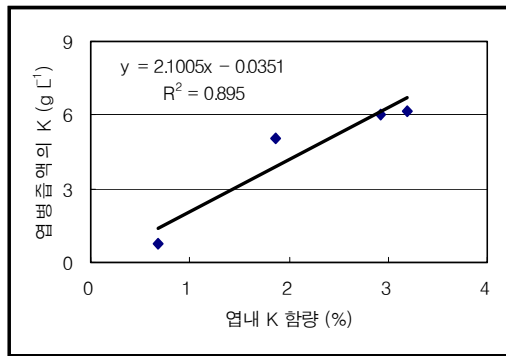


그림 6-30. 착과기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

⑦ 엽록소의 함량과 엽 내 Total-N와의 상관관계

식물 잎의 광학적 특성은 식물 생육장해 진단에 매우 유용한 수단임이 많은 연구 결과로 보고 된 바 있다(Buschmann 등, 1994; Carter, 1994; Jackson 등, 1986). 엽록소 함량 측정기는 이를 이용한 대표적인 기기로 처음에는 벼를 대상으로 개발되었으며 광파장 430 nm와 760 nm에서 잎의 광투과율을 측정하여 간접적인 방법으로 엽록소 함량을 측정하는 기기이다(Stone 등, 1996). 식물 잎의 엽록소 함량은 N 함량에 따

라 변하므로 이를 이용하면 엽록소 함량 측정으로 엽의 N 함량을 추정해 낼 수 있다.

본 실험에서 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta)를 이용하여 측정한 질소 처리구의 SCDSV(specific color difference sensor)는 표준 분석 방법중의 하나인 Mekinney 법을 이용하여 측정한 엽록소 함량과 고도의 1차 상관을 보였으며 재현성도 좋은 것으로 나타났다(그림 6-31) 또한 생육초기, 개화기, 착과기에 측정한 SCDSV는 각각 엽내 Total-N와 높은 상관관계를 나타내므로 엽록소 측정기를 이용한 SCDSV로 엽내 엽록소 함량을 추정할 수 있다(그림 6-32,33). 앞에서 살펴보았듯이 공급된 N의 양에 따라 엽 내 total-N 함량이 변하고 엽 내 total-N의 함량과 엽록소 함량간에 고도의 1차 상관을 나타내며 SCDSV와도 고도의 1차 상관을 나타내므로 엽록소 함량 측정기를 이용한 SCDSV를 이용하여 엽 내 total-N의 함량을 추정할 수 있고 이에 따라 N의 공급량을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

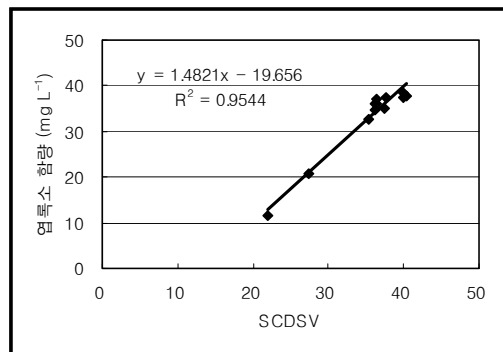


그림 6-31. Minolta로 측정한 SCDSV와 표준분석 방법에 의해 분석한 엽록소 함량과의 상관관계

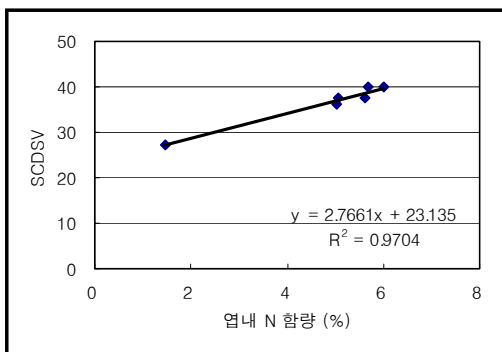


그림 6-32. 개화기의 SCDSV와 엽 내 Total-N 함량과의 상관관계

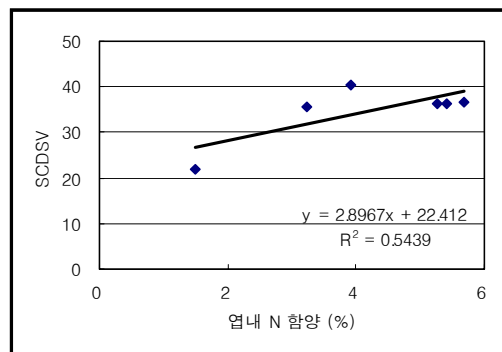


그림 6-33. 착과기의 SCDSV와 엽 내 Total-N 함량과의 상관관계

4. 1. 2 토마토 의 비과피 생육진단

1) 재료 및 방법

본 연구를 위해 이용한 공시 작물은 슈퍼 도태랑 토마토로서 본엽이 5매가 되었을 때 정식하고 6일이 지난 후 농도별 양액 공급 처리를 개시하였으며 그 외 실험방법은 앞서 설명한 오이의 경우와 같다.

본 실험을 위해서 조성된 양액의 N, P, K에 대한 처리 농도는 표 1과 같으며 각 생육 단계별 엽록소, 엽병의 즙액내 양분함량을 측정하여 엽내 함량과의 상관관계를 구하였다.

표 6-2. 공급 양액의 원소 함량

| 처 리 | 원 소 (mg L ⁻¹) | | |
|-----|---------------------------|------------------|------------------------|
| | N | P | K |
| N | 4/15/32/63/133/20 8 | 21 | 148 |
| P | 133 | 0.2/2/4/10/21/38 | 148 |
| K | 133 | 21 | 4/23/43/80/148/20 2 |

2)결과

① Test strip를 이용한 엽병의 즙액 측정

- 엽내 Total-N와 엽병의 즙액 내 NO₃ 함량과의 관계

측정은 생육초기, 4화방기, 5화방기, 착과기 등 4번 실시하였다. 측정부위는 생육초기에는 완전 전개한 위에서 8번째 엽을 대상으로 하였고 4화방기에는 3화방 주위의 엽을 대상으로 하였으며 5화방기에는 4화방 주변의 엽을 대상으로 측정하였다. 그리고 착과기에는 5화방 주변의 엽을 측정하였다. 측정결과 생육초기와 5화방기의 측정에서 엽 내 Total-N 함량과 엽병즙액의 NO₃ 함량간에 높은 상관을 보였다(그림 6-34) (그림 6-35). 홍 등(1996)은 토마토의 N에 대한 엽 내 적정 농도는 건물중의 3.0~4.0 %이며 결핍농도는 2.0 %이하라고 하였다. 따라서 엽병즙액의 NO₃함량으로부터 엽내 Total-N 함량을 추정하여 질소 시비에 이용할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 앞으로 엽병내 정적 NO₃함량이 마련되면 시비관에 Test strip을 이용하는 방법을 직접 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

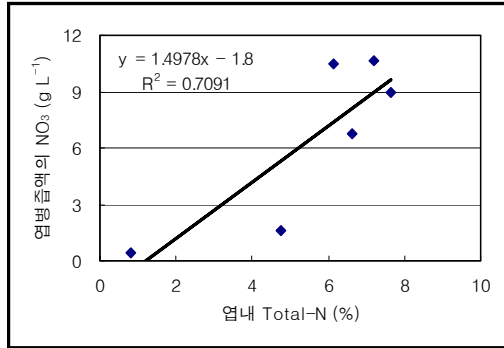


그림 6-34. 생육초기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO₃ 함량과의 상관관계

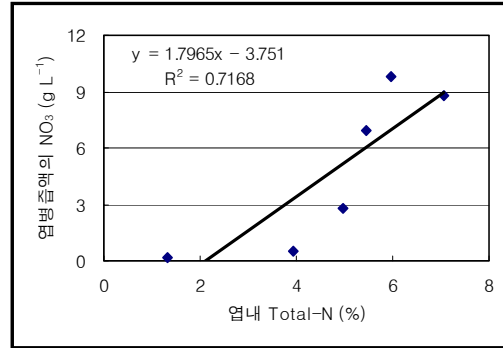


그림 6-35. 개화기의 엽 내 Total-N와 엽병즙액의 NO₃ 함량과의 상관관계

- 엽 내 P 함량과 엽병의 즙액 내 P 함량과의 관계

측정은 생육초기, 4화방기, 5화방기, 그리고 착과기에 측정하였다. 측정부위는 생육초기에는 완전 전개한 위에서 8번째 엽을 대상으로 하였고 4화방기에는 3화방 주위의 엽을 대상으로 하였으며 5화방기에는 4화방 주변의 엽을 대상으로 측정하였다. 그리고 착과기에는 5화방 주변의 엽을 측정하였다. 각 측정단계별 엽 내 P의 함량과 엽병의 즙액 내 P의 함량간에 모두 높은 1차 상관을 보여 엽 내 P의 함량을 즙액의 P 함량으로부터 추정할 수 있을 것으로 생각된다(그림 6-36-39). 홍 등(1996)은 토마토의 P에 대한 엽 내 적정 농도는 건물중의 0.3~0.8 %이며 결핍농도는 0.25%이하라고 하였다. 따라서 엽병 즙액 내 P 함량으로부터 추정된 엽 내 P 함량과 이 기준치를 이용하면 시비관리가 가능할 것으로 판단된다. 또한 엽병의 즙액 내 P 함량의 기준치가 마련되면 시비 관리에 Test strip을 이용하는 방법을 직접 이용할 수 있는 것으로 판단된다.

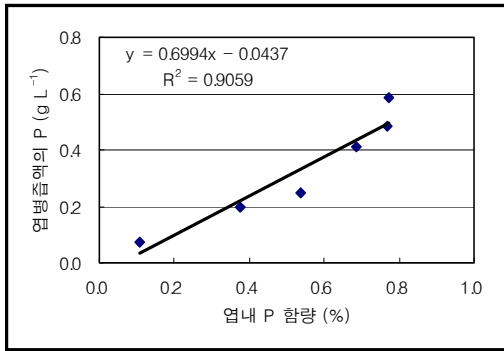


그림 6-36. 생육초기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

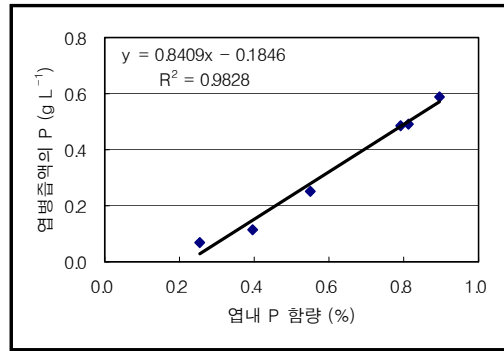


그림 6-37. 4화방기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

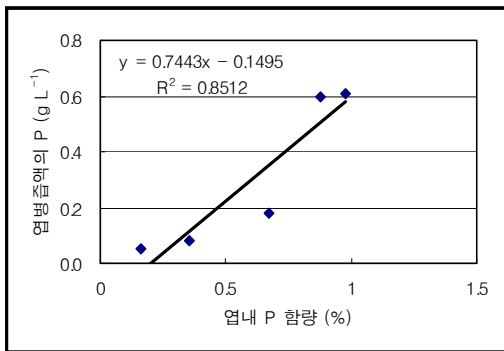


그림 6-38. 5화방기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

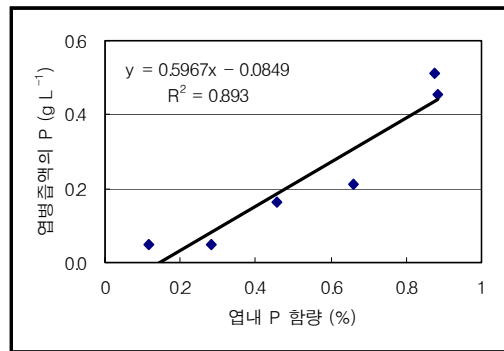


그림 6-39. 착과기의 엽 내 P 함량과 엽병즙액의 P 함량과의 상관관계

- 엽 내 K 함량과 엽병의 즙액 내 K 함량과의 관계

측정시기 및 측정부위는 P 함량 측정시와 동일하다. K도 역시 생육초기, 4화방기, 5화방기, 착과기 모두 엽 내 K의 함량과 즙액 내 K의 함량이 고도의 1차 상관을 나타내었다(그림 6-40) (그림 6-41, 42, 43). 토마토에 대한 엽 내 K의 적정농도는 건물중당 3.0~5.0 %이며 결핍농도는 2.0 % 이하로서(Hong 등, 1996) Test strip을 이용하여 엽 내 K 함량을 추정하고 이를 이용하여 시비 관리를 할 수 있을 것으로 본다.

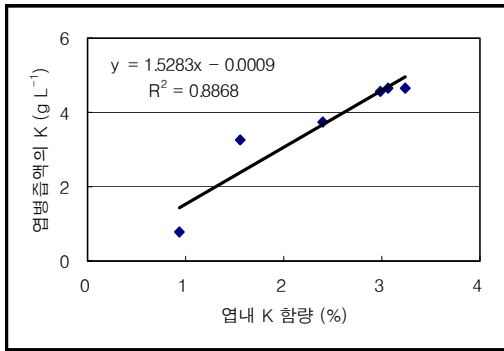


그림 6-40. 생육초기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

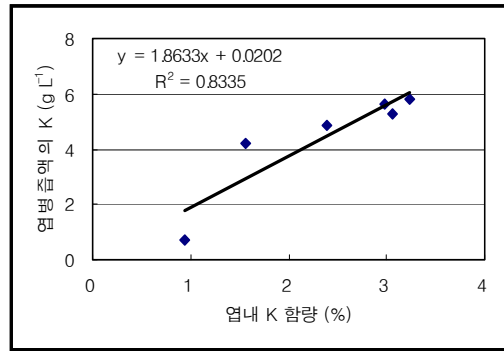


그림 6-41. 4화방기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

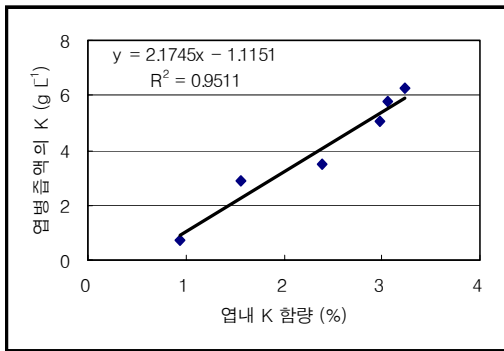


그림 6-42. 5화방기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

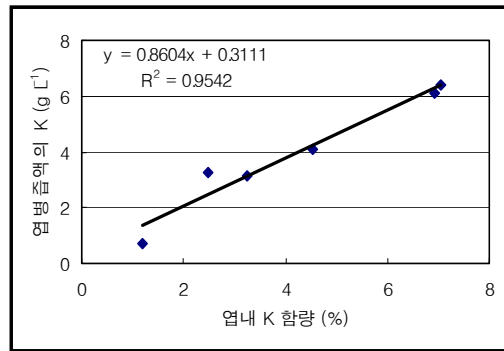


그림 6-43. 착과기의 엽 내 K 함량과 엽병즙액의 K 함량과의 상관관계

⑦ 엽록소의 함량과 엽 내 Total-N와의 상관관계

엽내 Total-N의 함량과 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta)를 이용하여 측정된 SCDSV 값과의 상관관계를 알아보려고 생육단계별로 SCDSV를 측정하였다. 측정부위는 즙액추적을 한 엽과 동일한 엽을 대상으로 하였으며, 측정시기 역시 즙액추정과 동일하였다. 실험결과 생육초기, 4화방기, 5화방기, 착과기에 측정된 SCDSV는 각각 엽내 Total-N와 높은 상관관계를 나타내므로 엽록소 측정기를 이용한 SCDSV로 엽내 엽록소 함량을 추정할 수 있다(그림 6-44, 45, 46, 47). 공급된 N의 양에 따라 엽내 total-N 함량이 변하고 엽내 total-N의 함량과 SCDSV와 고도의 1차 상관을 나타내므로 엽록소 함량 측정기를 이용한 SCDSV를 이용하여 엽내 total-N의 함량을 추정할 수 있고 이에 따라 N의 공급량을 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

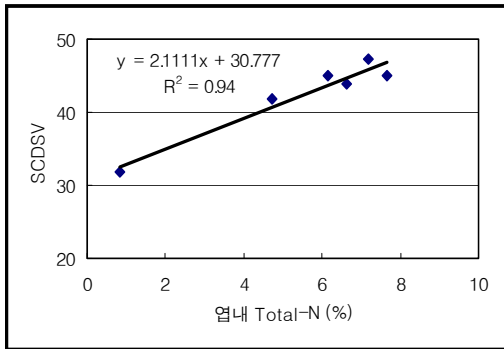


그림 6-44. 생육초기의 SCDSV와 업 내 Total-N 함량과의 상관관계

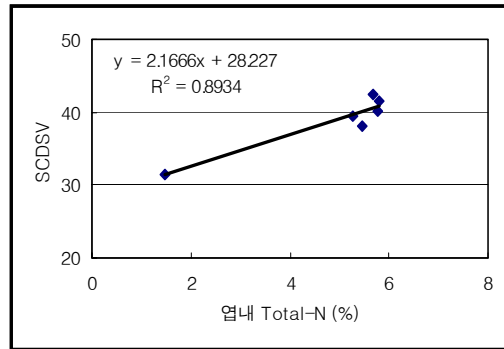


그림 6-45. 4화방기의 SCDSV와 업 내 Total-N 함량과의 상관관계

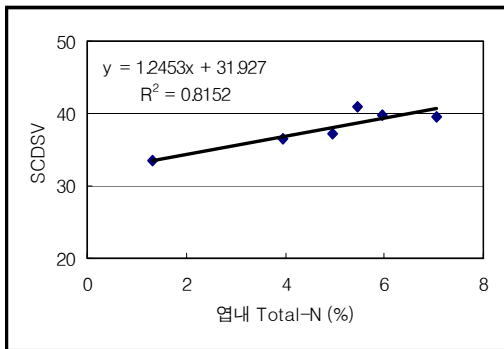


그림 6-46. 5화방기의 SCDSV와 업 내 Total-N 함량과의 상관관계

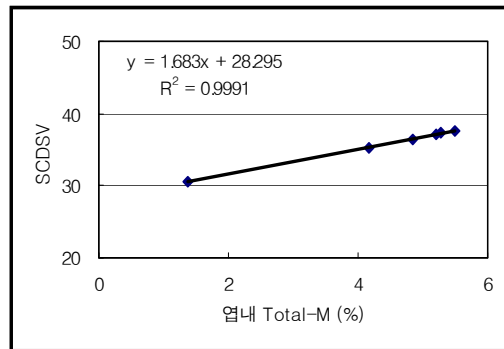


그림 6-47. 착과기의 SCDSV와 업 내 Total-N 함량과의 상관관계

4.2. 배지의 Sequential fractionation에 의한 식물체내 양분 진단

1) 재료 및 방법

토양배지 내의 인의 존재 형태와 오이 즙액 내의 PO₄ 함량간의 상호 관계를 알아보기 위하여 오이가 재배되고 있는 토양을 채취하여 연속 침출을 실시하여 인의 토양중 존재 형태를 알아보았다. 시료의 채취는 농업과학기술원 산하의 원예연구소와 남양주 농업기술센터 그리고 남양주에 위치한 농가에서 실시하였으며 시료의 점수는 연속 침출에 이용한 시료는 총 16점이었다. 시료채취 시기는 남양주 농업기술센터의 경우 개화기였으며 그 외는 오이의 수확이 종결되기 직전이었다.

토양중 인은 soluble and loosely bound P, Aluminum phosphate(AlPO₄), Iron phosphate(FePO₄), reductant-soluble P, residue P의 형태로 존재한다. 이들을 연속적

으로 침출하기 위하여 먼저 준비된 토양시료 1g을 원심분리관에 넣고 1M NH₄Cl로 진탕 후 원심분리하여 soluble and loosely bound P를 침출하였고(침출액 A) 이어서 0.5M NH₄F(pH 8.2)를 넣고 원심분리하여 Aluminum phosphate P를 침출하였다(침출액 B). Iron phosphate P는 0.1M NaOH를 이용하여 침출하였으며(침출액 C), reductant-soluble P의 침출을 위해서 0.3M Na₃C₆H₅O₇과 1M NaOHCO₃를 넣고 진탕 후 원심분리하였다(침출액 D). 그리고 나머지 residue P를 침출하기 위하여 0.25M H₂SO₄를 이용하였다(침출액 E). 각 침출액 A, B, C, D, E 중 일부를 채취하여 토양 중 형태별 인의 함량을 정량하였다. 그리고 각각의 분석 결과는 오이의 즙액 내 PO₄의 함량과의 상관관계를 알아보기 위하여 상관분석을 실시하였다.

토양 중 total-N의 함량과 K의 함량도 분석하여 즙액 내 NO₃ 및 K의 함량과 각각 상관관계를 알아보았다.

2) 결과

시료채취 지역 4곳 P의 각 형태별 평균값과 비율은 Table 6-3과 같다. 토양 중 P은 residue P의 형태로 가장 많이 존재하며 그 다음으로 Aluminum phosphate P 형태로 많이 존재함을 알 수 있다. 그리고 soluble and loosely bound P와 Iron phosphate P의 형태는 토양의 종류에 따라 다소 다르게 나타났다.

Table 6-3. Concentration of P determined by sequential fractionation.

| Sampling site | Soluble and loosely bound P | Aluminum phosphate P | Iron phosphate P | Reductant-soluble P | Residue P | Sum* |
|---------------|-----------------------------|----------------------|------------------|---------------------|-----------------|----------------|
| | (mg kg ⁻¹) | | | | | |
| Site 1 | 12.2 (2.8**) | 104.9 (24.6) | 43.1 (10.0) | 72.1 (17.0) | 199.9 (45.6) | 432.1 (100) |
| Site 2 | 90.6 (10.2) | 297.7 (33.0) | 97.5 (10.6) | 110.9 (12.8) | 330.4 (33.4) | 927.0 (100) |
| Site 3 | 87.6 (14.1) | 148.8 (23.6) | 21.1 (3.2) | 65.9 (11.0) | 296.8 (48.1) | 620.0 (100) |
| Site 4 | 64.5 (9.7) | 201.7 (30.2) | 46.0 (6.9) | 116.3 (17.6) | 240.8 (35.6) | 669.2 (100) |

* Sum of each fraction

** % of sum

토양 중 인의 존재 형태와 오이 즙액의 PO_4 함량간의 상관관계를 알아본 결과 토양중 인이 aluminum phosphate와 iron phosphate의 형태로 존재할 때와 오이 즙액의 PO_4 함량간에 가장 높은 상관관계를 보이고 있다(Fig. 6-48-52). 토양 중 식물이 쉽게 이용할 수 있는 인의 형태는 soluble and loosely bound P임에도 불구하고 본 조사에서는 이 형태와 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 따라서 이를 구명하기 위한 차후의 연구가 필요할 것으로 보인다.

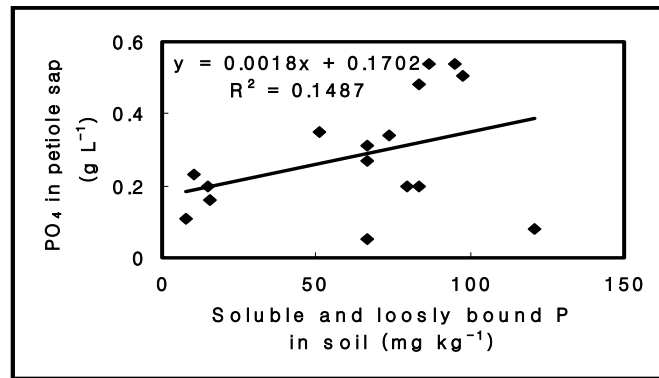


Fig. 6-48. Relationship between soluble and loosely bound P in soil and PO_4 in petiole sap.

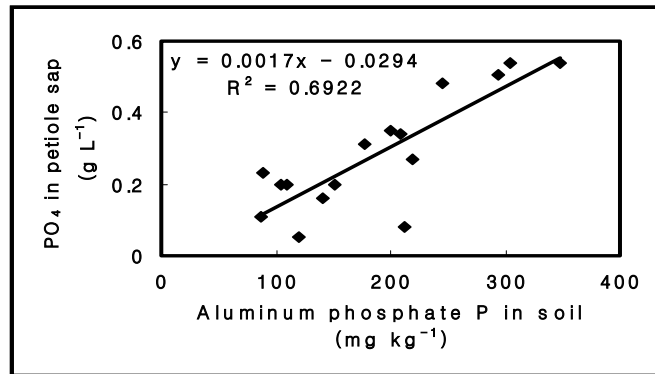


Fig. 6-49. Relationship between aluminum phosphate P in soil and PO_4 in petiole sap.

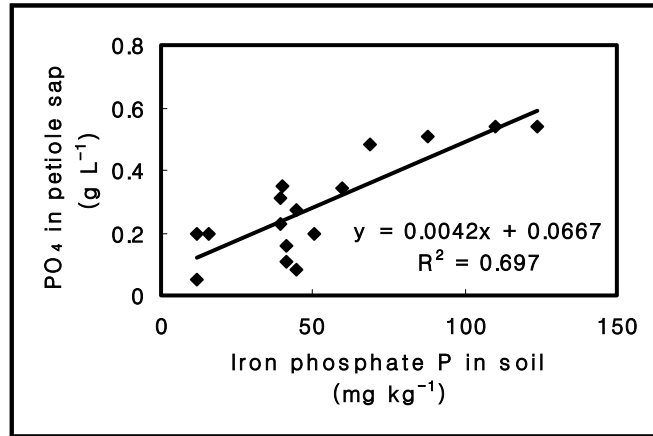


Fig. 6-50. Relationship between iron phosphate P in soil and PO₄ in petiole sap.

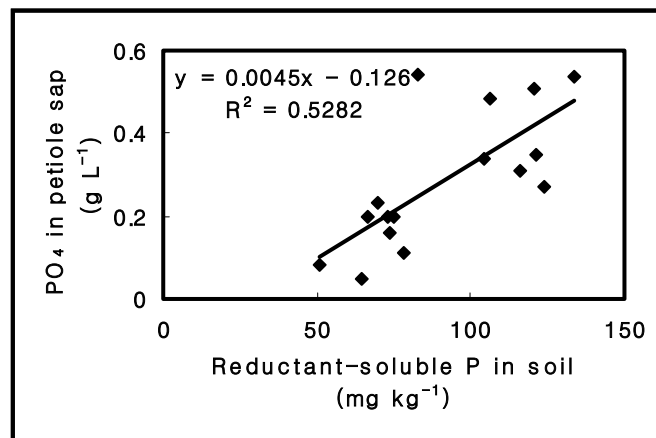


Fig. 6-51. Relationship between reductant-soluble P in soil and PO₄ in petiole sap.

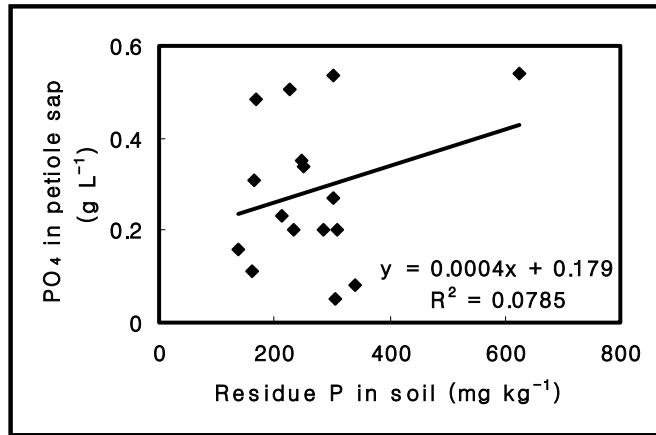


Fig. 6-52. Relationship between residue P in soil and PO₄ in petiole sap.

토양 중 total-N의 함량과 즙액 중의 NO₃ 함량간의 상관관계 및 토양 중 K의 함량과 즙액 중 K의 함량간의 상관관계는 유의하게 나타나지 않았다(Fig. 6-53, 54). 이는 무기 배지 재배에서와 상당한 차이를 보이고 있다. 따라서 동일한 환경 제어를 통한 정밀한 토양 재배 실험이 추후 필요한 것으로 생각된다.

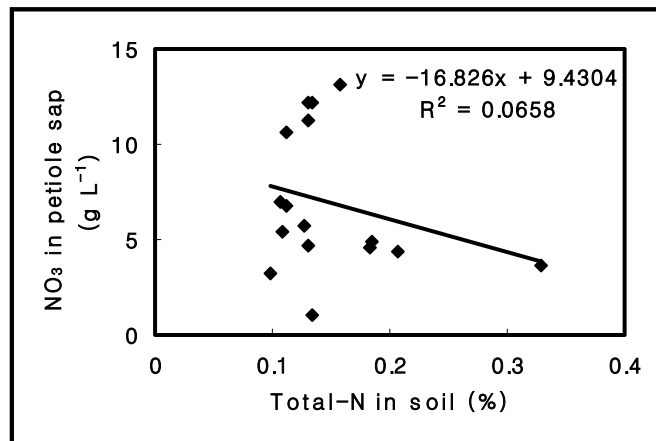


Fig. 6-53. Relationship between total-N in soil and NO₃ in petiole sap.

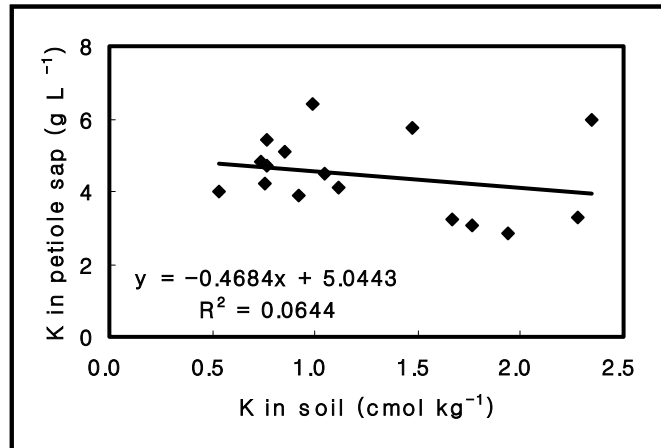


Fig. 6-54. Relationship between K in soil and K in petiole sap.

4. 3 생체계측에 의한 영양진단법 개발-

4.3.1. 오이의 간이영양 진단을 위한 지표 확립

1) 재료 및 방법

2차년도에 실시한 오이의 1차 재배실험을 통한 다양한 간이 영양진단 방법들의 검토결과 이용이 가능할 것으로 판단되는 test strip과 chlorophyll meter를 이용하여 오이의 영양진단을 위한 자료를 구축할 목적으로 2차 재배실험(2002년 5월 2일 ~ 2002년 6월 4일)과 3차 재배실험(2002년 5월 27일 ~ 2002년 7월 12일)을 실시하였다. 공시작물은 1차 재배 실험에서 이용했던 장일 반백 오이(*Cucumis sativus* L. cv. jangil banbaek)를 이용하였다. 과종 후 본엽이 3매가 되었을 때 실험 pot에 이식하였고 본엽이 4매가 되었을 때 N, P, K 농도별 양액을 공급하였다. 당해연도 실시한 2차 실험과 3차 실험에 이용된 양액의 처리별 농도는 다음 Table 6-4와 같다.

Table 6-4. Feed concentrations of N, P and K for the second and the third cucumber experiment.

| Treatment | Element (mg L ⁻¹) | | | |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|--------------|------------------|
| | N | P | K | |
| 2 nd | N | 9/45/80/213/261 | 32 | 322 |
| | P | 213 | 0/5/18/32/64 | 322 |
| | K | 213 | 32 | 5/82/143/322/640 |
| 3 rd | N | 4/24/80/213/454 | 36 | 324 |
| | P | 213 | 0/5/14/36/66 | 324 |
| | K | 213 | 36 | 5/52/149/324/572 |

2차 실험에서는 오이를 개화기까지 생육시킨 후 정단부 바로 아래 엽을 1번 엽으로 정하고 그 아래 3번부터 9번까지의 홀수 번째 엽을 측정대상으로 하여 즙액의 NO₃, PO₄, K의 함량을 test strip을 이용하여 측정하였다. 당시 엽수는 총 11개였으며 5번째 마디에 과실비대가 이루어지는 단계였다. 3차 실험에서는 오이를 1차 수확기까지 생육시킨 후 역시 정단부 바로 아래 엽을 1번 엽으로 하고 그 아래 3번부터 21번까지의 홀수 번째 엽을 측정 대상으로 하였으며 측정 당시 엽수는 총 28~30개였다. 기존에 연구된 결과들에 따르면 일일 시간별 즙액 내 양분의 농도 변화가 인정되지 않았으나 측정 시간을 오전 10시에서 오후 2시 사이에 하는 것을 추천하고 있다. 따라서 본 실험에서는 오전 9시에서 11시 사이에 즙액 측정을 실시하였다. 시료의 조제는 측정 대상이 되는 엽의 엽병을 잘라내어 착즙기로 즙액을 착즙하여 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량을 test strip을 이용하여 측정하였으며 4반복 처리구에서 같은 엽위의 엽병을 합하여 하나의 시료로 이용하였다. 또한 즙액의 당함량 변화와 엽내 영양원소 함량간의 관계를 알아보기 위하여 당함량 측정기를 이용하여 즙액 내 당함량을 측정하였다. 즙액을 측정된 엽의 엽신은 chlorophyll meter를 이용하여 SCDSV를 측정한 후 건조·분쇄하여 표준 분석방법에 의한 분석시료로 이용하였다. 분석 결과는 test strip을 이용한 즙액의 측정 결과 및 SCDSV 그리고 당함량과 각각 비교하여 직선회귀식과 결정계수(R²)를 구하는데 이용되었다.

2) 결과

① Test strip 이용 방법

이미 2차년도 실험에서 test strip을 이용한 즙액의 NO₃, PO₄, K의 함량이 엽내 Total-N, P, K의 함량과 고도의 일차상관을 나타냄을 알 수 있었다. 3차년도에는 같

은 재배실험을 통해 데이터의 개수를 증가시켜 상관의 신뢰도를 높이고자 하였다. 그 결과 질소, 인, 칼륨에서 모두 높은 일차의 상관관계를 보였으며 그림에서 보는바와 같이 각각의 일차 회귀식을 구할 수 있었다(Fig.6-55, 56, 57). 이와 같은 높은 상관관계를 나타내는 직선 회귀식을 이용하면 즙액의 NO_3 , PO_4 , K의 함량을 측정하여 엽 내 Total-N, P, K의 함량을 추정할 수 있으며 반대로 엽 내 함량을 이용하여 즙액의 원소 함량을 추정할 수 있다.

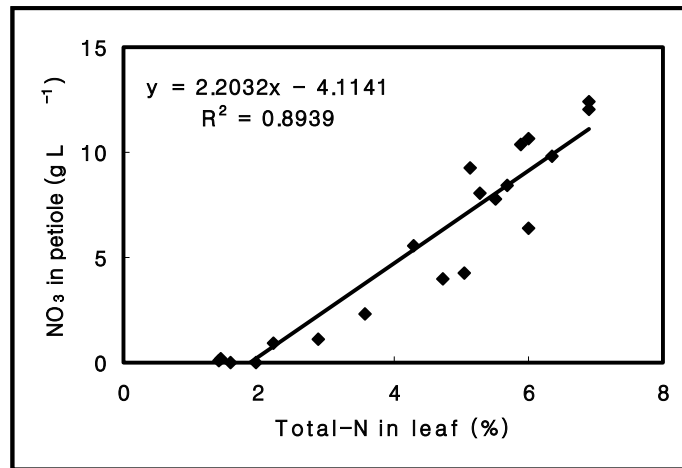


Fig. 6-55. Relationship between NO_3 contents of petiole sap and total-N contents of leaf.

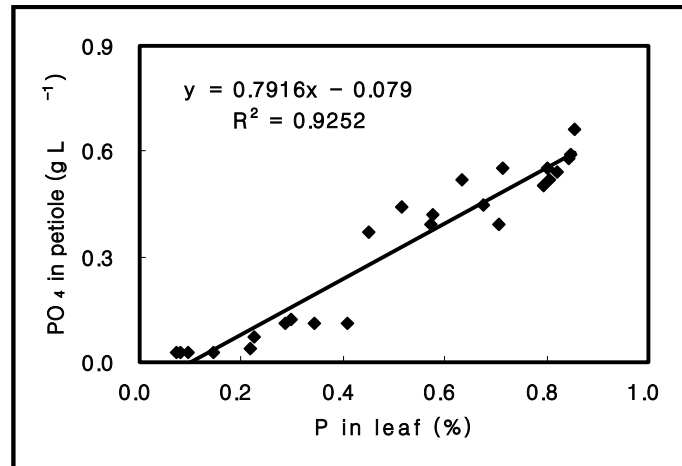


Fig. 6-56. Relationship between PO_4 contents of petiole sap and P contents of leaf.

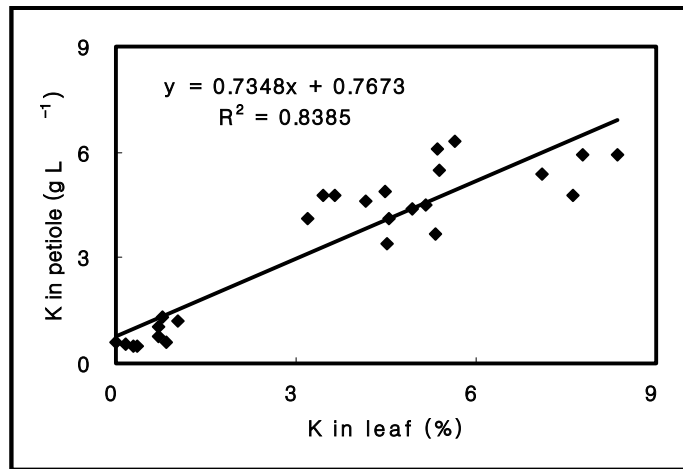


Fig. 6-57. Relationship between K contents of petiole sap and those of leaf.

지금까지 많은 연구를 통해서 오이의 엽 내 total-N, P, K의 적정함량이 결정되었고 양분관리에 이를 이용하고 있다. 따라서 이미 연구 보고된 엽 내 적정함량을 앞에서 구한 회귀식에 대입하여 엽병의 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 적정함량을 계산해 내었다. 그 결과는 Table 6-5과 같으며 이 적정범위는 재배자가 test strip을 이용하여 오이의 영양상태를 파악하는데 비교자료로 이용될 수 있으며 시비관리에도 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

Table 6-5. Sufficient ranges of total-N, P, K in cucumber leaves and those of NO₃, PO₄, K in petiole sap calculated by regression equations.

| Element | Leaf* (%) | Petiole (g L ⁻¹) |
|-----------------|--------------|---------------------------------|
| Total-N | 4.3-6.0 | - |
| NO ₃ | - | 5.4-9.1 |
| P | 0.3-0.7 | - |
| PO ₄ | - | 0.2-0.5 |
| K | 3.1-5.5 | 3.1-4.8 |

* Mills와 Jones (1996).

작물의 체내 영양원소 농도는 엽의 위치 및 생육시기에 따라 다르다고 하였다. 따라서 본 연구에서도 즙액 측정에 이용될 적정 위치의 엽을 결정하기 위하여 엽위별로 농도 변화를 알아보았다. NO_3 농도의 엽위별 변화는 질소 과잉 처리구, 정상구, 결핍 처리구에서 모두 낮은 엽위로 갈수록 농도가 높아지는 경향을 나타내었다. 특히 정상구와 과잉구에서는 하위엽과 상위엽의 농도 차이가 두 배에 달하는 것으로 나타나 정확한 영양진단을 위하여 적정 엽위를 결정하는 것이 중요한 것으로 생각된다(Fig. 6-58). Coltman(1987)은 엽병 즙액의 측정을 위해서 최근에 완전 전개한 엽을 대상으로 할 것을 추천하고 있으며 최근에 완전 전개한 엽이란 엽신의 확장이 최대가 된 상태이며 밝은 초록의 엽색이 짙은 녹색으로 변화하는 엽이라고 정의하였다. 본 연구 결과 이와 같은 완전 전개엽은 9번이나 10번엽으로 나타났다. 그러나 가시적으로 이를 파악하는 것은 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다. 특히 실제 재배자가 이용할 수 있는 즙액측정 방안 모색을 위해서는 가시적 판단이 어려운 단일 엽 위치를 결정하는 것보다 적정 범위의 엽위를 결정하는 것이 이용의 편의를 도모하기 위해서 더 나은 것으로 생각된다. Scaife와 Stevens(1983)는 같은 농도 처리에서 하위엽의 변이계수(coefficient variation, CV)가 가장 높게 나타난다고 하였으며 변이계수가 가장 적은 중위엽 이용을 추천하고 있다. 본 연구 결과 NO_3 와 PO_4 의 엽위별 변화에서 공통적으로 9번부터 13번까지의 엽위에서 처리 농도에 따른 즙액 내 농도차가 뚜렷하였으며 엽위별 변화도 안정적이라고 판단되었다. 따라서 이 위치의 엽을 측정대상으로 하는 것이 좋을 것으로 보인다(Fig. 6-59). 칼륨의 경우 엽위별 농도 변화에 뚜렷한 양상은 없지만(Fig. 6-60) 영양진단으로 인한 재배 식물의 파괴를 최소화 하고 측정 기준 마련을 위해서 역시 NO_3 와 PO_4 측정에 이용된 동일한 즙액을 이용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

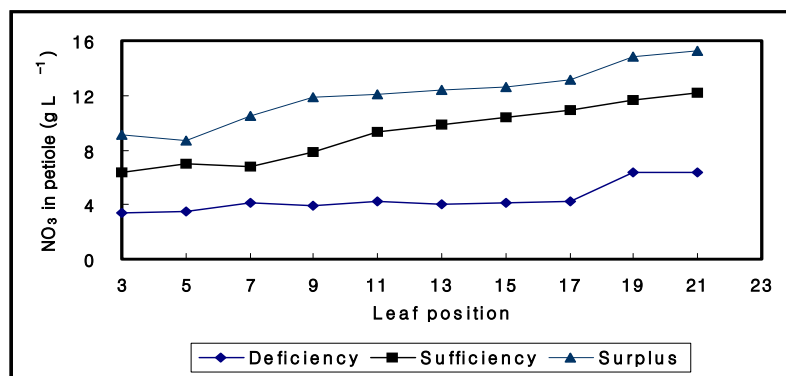


Fig. 6-58. Changes of NO_3 concentration in petiole according to leaf position.

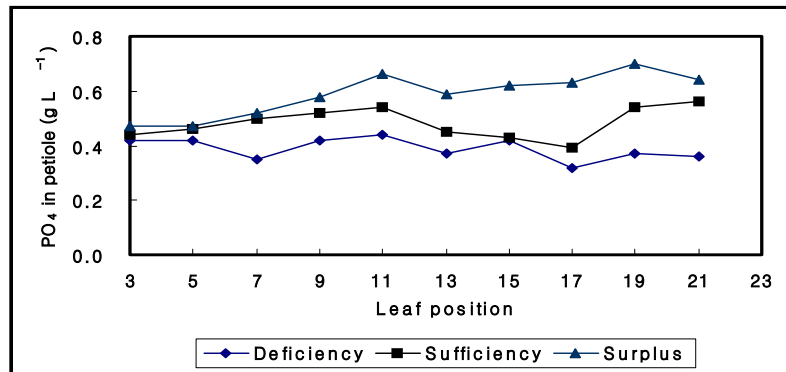


Fig. 6-59. Changes of PO₄ concentration in petiole according to leaf position.

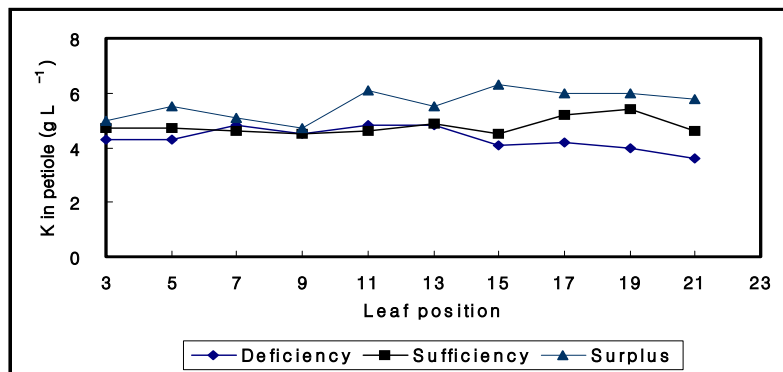


Fig. 6-60. Changes of K concentration in petiole according to leaf position.

Hochmuth(1994)는 토양 재배 실험을 통해서 작물의 생육이 진행됨에 따라 체내 질소와 칼륨의 함량이 감소한다고 하였다. 또한 미국이나 호주 등에서는 test strip을 이용한 많은 연구결과 각 작물의 생육시기별 적정 함량을 달리 정하고 있다. 본 연구에서도 엽병의 즙액 내 NO₃의 농도가 개화기 이전, 개화기, 과실비대기를 거치면서 다소 감소하였으며 K도 생육 단계가 진행됨에 따라 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다(Fig. 6-61). 반면 PO₄의 함량은 개화기 이전보다 개화기에 다소 높은 수치를 보였으며 과실비대기에는 개화기와 같은 수치를 나타내었다(Fig. 6-61). 그러나 이들의 농도 변화에 어떤 경향은 나타났으나 그 변화량의 유의차를 알아보기 위해서는 좀 더 많은 자료가 필요할 것으로 생각된다. 또한 Hochmuth (1994)는 test strip을 이용한 영양진단 연구를 평가하면서 토양재배와 같이 시비 전량을 기비로 주는 경우에는 생육시기별 농도 변화가 뚜렷이 나타나 생육시기별 적정함량 기준치가 필요하다고 하였

으나 점적관수와 같이 생육기간 동안 꾸준히 양분을 공급해 주는 경우에는 생육시기별 농도 변화 양상이 토양 재배와 다를 것이라고 하였다. 따라서 본 연구에서와 같은 양액 재배 실험에서도 생육시기별 농도 변화가 토양재배실험과 다소 다를 것으로 여겨진다.

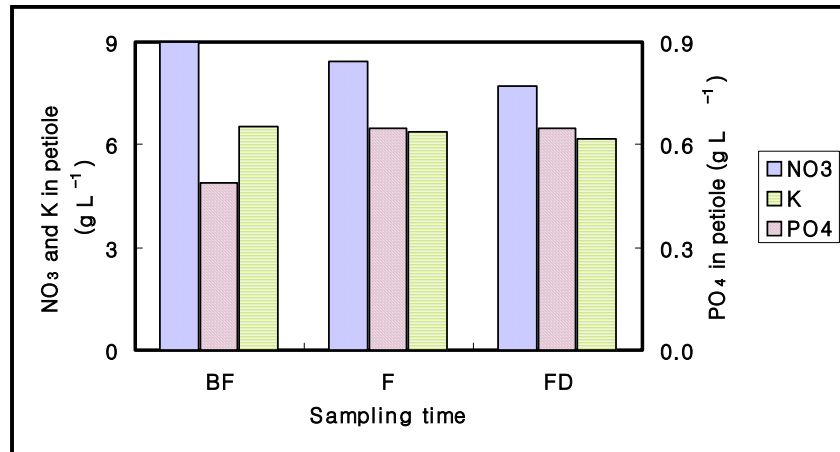


Fig. 6-61. Comparison of NO₃, PO₄ and K in petiole sap according to sampling time (BF, before flowering; F, flowering; FD, fruit development).

② Chlorophyll meter 이용 방법

식물 잎의 광학적 특성은 식물 생육장애 진단에 매우 유용한 수단임이 많은 연구 결과로 보고된 바 있다. Chlorophyll meter는 이를 이용하는 대표적인 기기로 처음에는 벼를 대상으로 개발되었으며 광파장 430 nm와 760 nm에서 잎의 광투과율을 specific color difference sensor(SCDS)로 측정하여 간접적인 방법으로 엽록소 함량을 측정하는 기기이다(Store 등, 1996). 식물 잎의 엽록소 함량은 N 함량에 따라 변하므로 이를 이용하면 엽록소 함량 측정으로 엽 내 N 함량을 추정해 낼 수 있다. 이미 전년도 실험을 통해서 specific color difference sensor value(SCDSV)는 엽 내 total-N 함량과 높은 일차상관을 나타냄을 알 수 있었다. 3차년 실험에서는 상관의 신뢰성을 높이기 위해 좀 더 많은 자료를 확보하여 두 변수간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 chlorophyll meter를 이용하여 측정한 SCDSV는 표준분석 방법에 의해 분석한 엽 내 total-N와 고도의 일차상관을 나타내었으며 이때의 두 변수간의 직선 회귀식을 구

하였다(Fig. 6-62). 이 회귀식을 이용하면 chlorophyll meter를 이용하여 측정된 SCDSV를 바탕으로 엽 내 total-N의 함량을 추정할 수 있으며 오이의 엽 내 적정 total-N의 함량을 이용하여 적정 SCDSV를 계산할 수 있을 것으로 생각된다. Table 5는 엽 내 적정 total-N의 함량을 본 연구에서 구한 회귀식에 대입하여 계산한 오이의 적정 SCDSV를 나타낸 것이다. 엽 위치에 따른 SCDSV의 변화는 뚜렷이 나타나지 않았으며 생육단계가 진행됨에 따라 SCDSV의 수치가 다소 감소하는 경향을 보였으나 그 유의성 검정을 위해서는 좀 더 많은 자료가 필요할 것으로 판단된다.

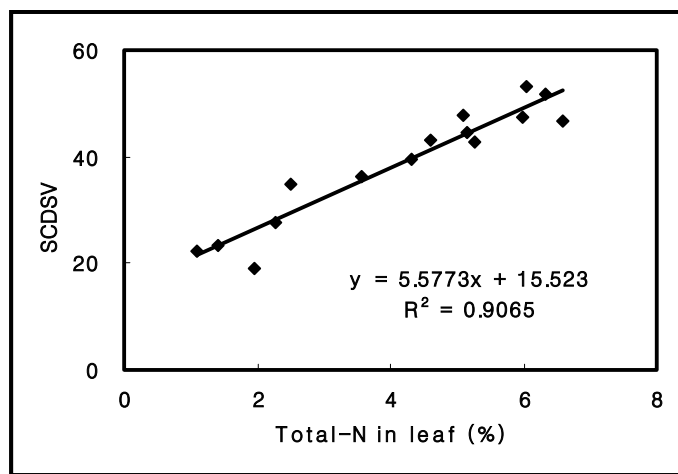


Fig. 6-62. Relationship between SCDSV and total-N in leaves.

Table 6-6. Sufficient ranges of total-N in cucumber leaves and those of SCDSV calculated by regression equation.

| Element | Leaf* |
|-------------|-----------|
| Total-N (%) | 4.3-6.0 |
| SCDSV | 39.5-49.0 |

* Mills와 Jones(1996).

③ 당도계 이용 방법

식물체내 당 함량의 변화는 식물 영양 상태의 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 질소, 인, 칼륨의 공급량에 따른 엽 내 영양원소의 함량을 측정하고 이때 즙액의 당 함량 변화를 측정하여 각 변수간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 질소 체내 함량과 즙액의 당함량간에는 상관관계를 인정할 수 없었으며(Fig. 6-63) 칼륨의 경우는 다소 낮은 부의 상관관계를 나타내었다(Fig. 6-64). 그러나 엽내 인의 함량이 증가함에 따라 즙액의 당 함량은 낮아지는 부의 상관관계를 보였으며 결정계수도 0.77정도로 높게 나타나 두 변수간의 상관관계 결정을 위해서 연구를 더 진행해야 할 것으로 생각된다(Fig. 6-65).

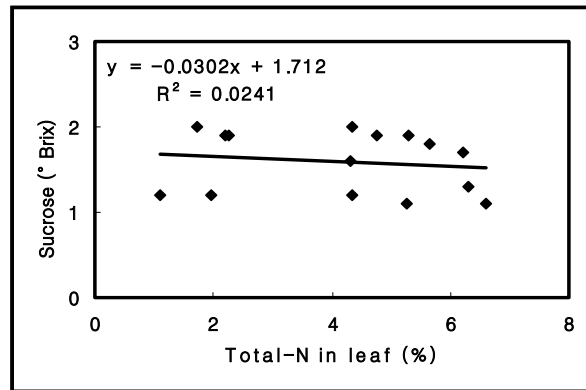


Fig. 6-63. Relationship between sucrose contents of petiole sap and total-N in leaf.

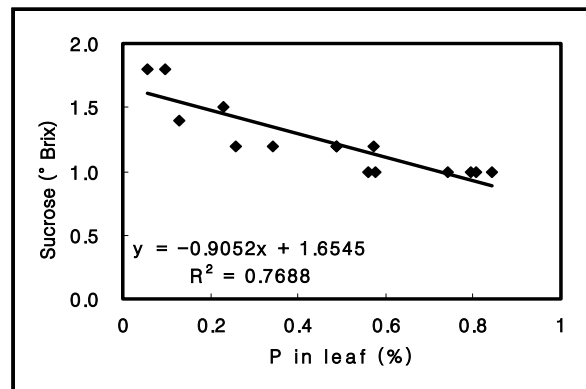


Fig. 6-64. Relationship between sucrose contents of petiole sap and P in leaf.

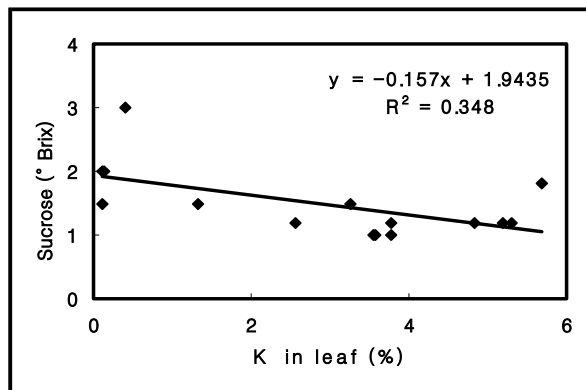


Fig. 6-65. Relationship between sucrose contents of petiole sap and K in leaf.

4.3.2. 토마토의 간이 영양진단을 위한 지표 확립

1) 재료 및 방법

Test strip과 chlorophyll meter를 이용하여 토마토의 영양진단을 위한 자료를 축적할 목적으로 토마토 재배실험을 2002년 9월 5일 ~ 2002년 11월 17일 기간에 실시하였다. 본 연구에 이용된 공시 작물은 2차년과 같은 슈퍼 도태랑 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. super momotaro)를 이용하였으며 배지는 펄라이트와 암면을 1:1로 혼합하여 사용하였고 재배는 비순환식 양액재배 방식을 택하였으며 오이에 대한 야마자키 양액을 조성하여 점적관수 형식으로 공급하였다. 본엽이 4매가 되었을 때 실험 pot에 정식하고 5매가 되었을 때 농도별 양액 공급 처리를 개시하였으며 공급된 양액의 농도는 Table 6과 같다.

당해년도 실험에서는 토마토를 과실 비대기까지 생육시킨 후 정단부 바로 아래 엽을 1번 엽으로 하고 그 아래 방향으로 차례로 번호를 붙여 3, 7, 11, 15, 19번 엽을 측정대상으로 하였으며 각 번호에 해당하는 엽의 바로 아래엽을 합하여 하나의 시료로 하였다. 측정 당시 엽수는 총 22~24개였다. 각 처리당 4개의 주를 반복으로 하였으며 그 중 하나의 식물체는 생육초기, 개화기, 과실비대기 등 3회에 걸쳐 7번 엽을 대상으로 측정을 실시하였다. 즙액의 착즙 및 test strip을 이용한 NO₃, PO₄, K의 측정과 chlorophyll meter를 이용한 SCDSV의 측정은 오이 재배 실험과 동일하게 이루어졌으며 역시 표준 분석 방법에 의한 엽 내 total-N, P, K의 함량과의 상관관계를 이용하여 직선회귀식 및 결정계수(R²)를 구하였다.

Table 6-7. Feed concentrations of N, P and K for tomato experiment.

| Treatment | Element (mg L ⁻¹) | | |
|-----------|-------------------------------|-------------|-----------------|
| | N | P | K |
| N | 4/16/63/127/320 | 24 | 221 |
| P | 146 | 0/3/9/22/46 | 221 |
| K | 122 | 23 | 4/17/68/183/373 |

2)결과

① Test strip 이용 방법

1차년도 실험을 통해서 이미 test strip과 chlorophyll meter를 이용하여 토마토의 영양상태를 파악할 수 있음이 확인되었다. 당해년도 실험에서는 2차년도에 구해진 test strip을 이용하여 측정된 즙액의 NO₃, PO₄, K의 함량과 표준분석 방법을 이용하여 측정된 엽 내 total-N, P, K의 함량간의 상관관계 및 직선회귀식의 신뢰성 및 정확성을 높이기 위하여 좀 더 많은 데이터를 확보하여 각 변수들간의 상관관계 및 직선 회귀식을 구하였다. 또한 SCDSV와 엽 내 Total-N과의 관계에서도 위와 같은 목적으로 데이터를 확보하여 상관관계 및 직선회귀식을 구하였다. 그 결과 질소, 인, 칼륨에서 모두 고도의 일차 상관관계를 나타내었으며 각각의 직선회귀식을 구할 수 있었다(Fig. 6-66, 67, 68).

또한 이미 연구 보고된 토마토의 엽 내 적정 total-N, P, K의 함량을 본 연구에서 구한 직선 회귀식에 대입하여 토마토의 엽병 즙액의 적정 NO₃, PO₄, K의 함량을 구할 수 있었다(Table 6-8).

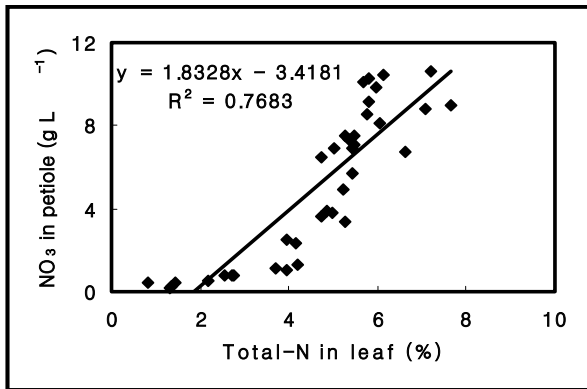


Fig. 6-66. Relationship between NO₃ contents of petiole sap and total-N contents of leaves.

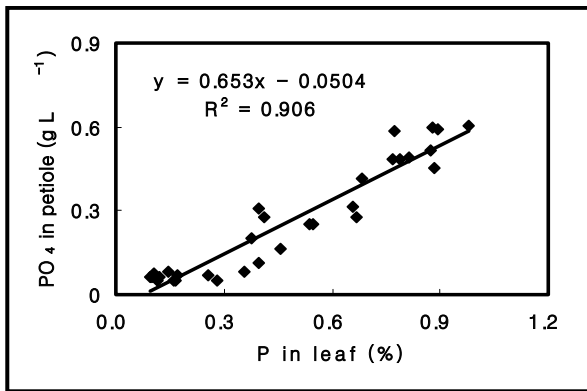


Fig. 6-67. Relationship between PO₄ contents of petiole sap and P contents of leaves.

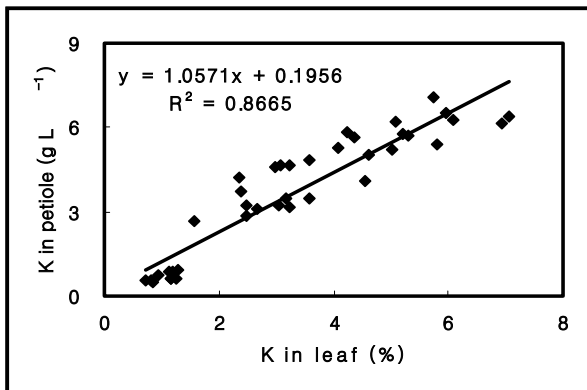


Fig. 6-68. Relationship between K contents of petiole sap and those of leaves.

Table 6-8. Sufficient ranges of total-N, P, K in tomato leaves and those of NO₃, PO₄, K in petiole sap calculated by regression equations.

| Element | Leaf* (%) | Petiole (g L ⁻¹) |
|-----------------|--------------|---------------------------------|
| Total-N | 3.5-5.0 | - |
| NO ₃ | - | 3.0-5.7 |
| P | 0.5-0.8 | - |
| PO ₄ | - | 0.3-0.5 |
| K | 3.0-6.0 | 3.4-6.5 |

* Mills와 Jones(1996).

본 연구에서도 즙액 측정에 이용될 적정 위치의 엽을 결정하기 위하여 엽위별로 농도 변화를 알아보았다. NO₃ 농도의 엽위별 변화는 질소 과잉 처리구와 정상구에서는 낮은 엽위로 갈수록 농도가 높아지는 경향을 나타내었으며 결핍 처리구에서는 이와 반대로 하위엽으로 갈수록 다소 낮아지는 경향을 보였다. 뿐만 아니라 NO₃의 경우 정상구와 과잉구에서 하위엽과 상위엽의 농도차이가 두배에 달하는 것으로 나타나 정확한 영양진단을 위하여 적정 엽위를 결정하는 것이 중요한 것으로 생각된다(Fig. 22). 본 연구 결과 NO₃, PO₄, K의 엽위별 변화에서 공통적으로 11번부터 15번까지의 엽위에서 처리 농도에 따른 즙액 내 농도차가 뚜렷하였으며 엽위별 변화도 안정적이라고 판단되었다. 따라서 이 위치의 엽을 측정대상으로 하는 것이 좋을 것으로 보인다(Fig. 69, 70, 71). Coltman(1989)은 최근 완전 전개한 엽을 측정 대상으로 할 것을 추천하고 있다. 본 연구 결과 11번 위치의 엽이 최근 완전 전개한 엽으로 보이나 이를 육안으로 정확하게 구분해 내는 것은 매우 어렵다고 생각된다. 또한 현장에서 간이 진단 방법을 재배자가 직접 이용하기 위해서는 적정 엽위를 범위로 선발하는 것이 더 좋을 것으로 판단된다.

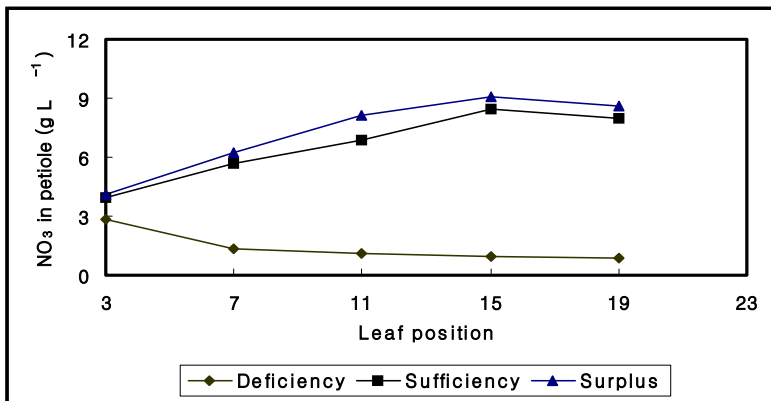


Fig. 6-69. Changes of NO₃ in petiole sap according to leaf position.

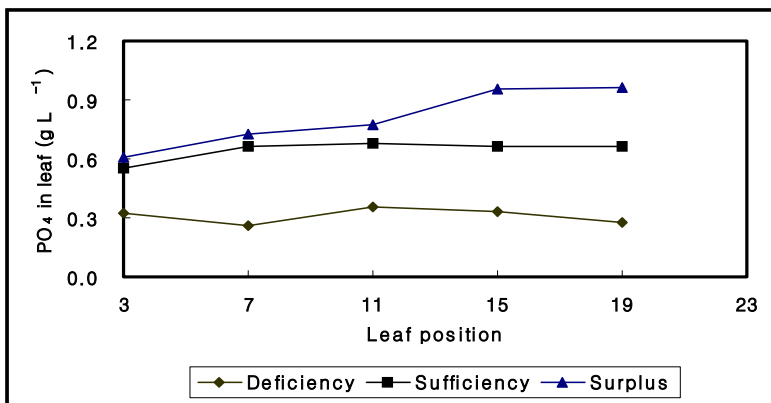


Fig. 6-70. Changes of PO₄ in petiole sap according to leaf position.

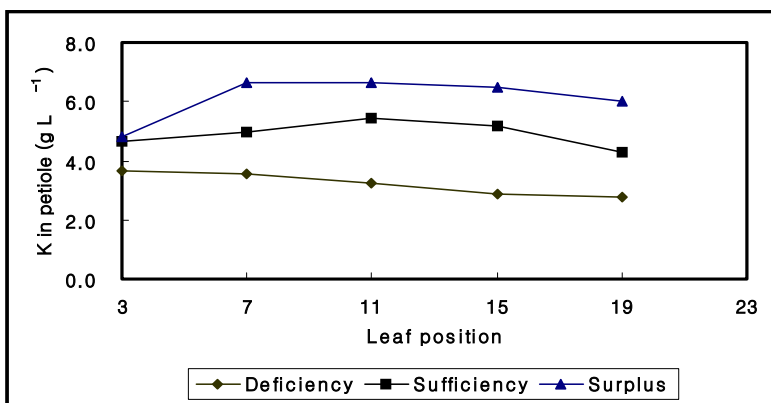


Fig. 6-71. Changes of K in petiole sap according to leaf position.

토마토의 생육 단계별 즙액의 NO_3 , PO_4 , K의 농도 변화는 Fig. 19와 같다. 즙액의 NO_3 농도는 생육 단계가 진행될수록 뚜렷이 감소하는 경향을 보였으며 이는 즙액의 적정 NO_3 농도 결정시 각 생육단계를 고려한 수치가 마련되어야 함을 나타내는 것이다. 즙액의 PO_4 는 개화이전보다 개화기에 증가하였다가 착과기에는 다시 감소하는 경향을 보였으며 칼륨의 경우 오이재배실험과는 반대로 생육단계가 진행됨에 따라 다소 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6-72).

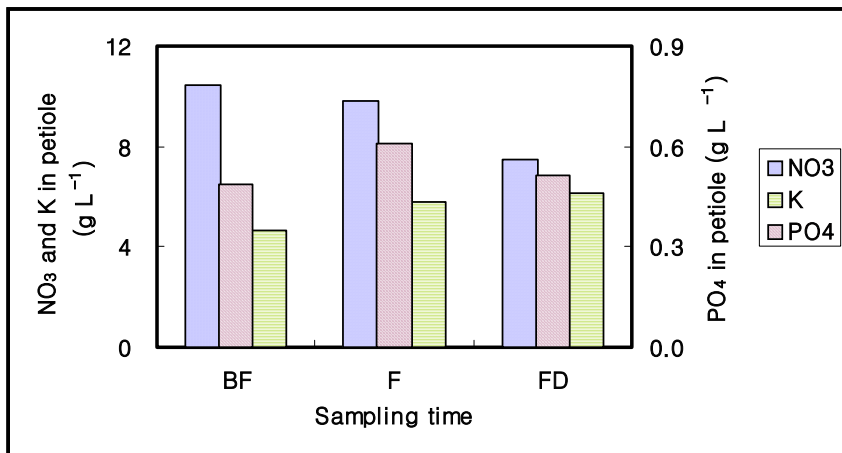


Fig. 6-72. Comparison of NO_3 , PO_4 and K in petiole sap according to sampling time (BF: before flowering; F: flowering; FD: fruit development).

② Chlorophyll meter 이용 방법

2차년도에 확보한 데이터와 당해연도에 추가로 확보된 데이터를 이용하여 SCDSV와 엽내 total-N과의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 Chlorophyll meter를 이용하여 측정된 토마토 엽의 SCDSV는 엽 내 total-N의 농도와 높은 일차상관관계를 보였으며 Fig. 6-73과 같은 회귀식을 구할 수 있었다. 따라서 SCDSV를 측정하여 토마토의 엽 내 total-N의 농도를 추정할 수 있을 것으로 판단되었고 이미 연구 보고된 토마토의 엽 내 total-N의 적정 함량을 본 연구에서 구한 회귀식에 대입하여 토마토의 적정 SCDSV를 Table 8과 같이 구할 수 있었다.

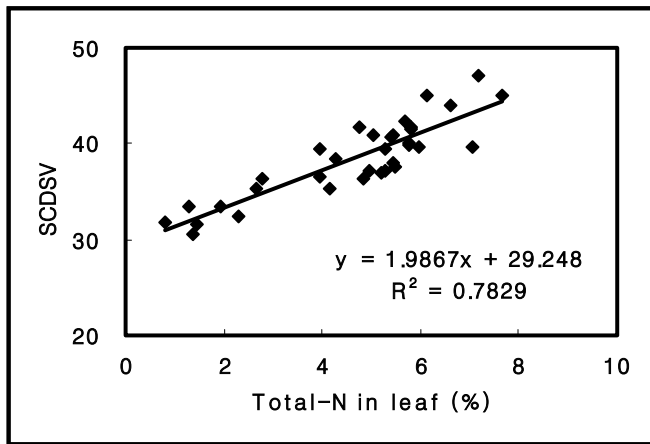


Fig. 6-73. Relationship between SCDSV and total-N in leaves.

Table 6-9. Sufficient ranges of total-N in tomato leaves and those of SCDSV calculated by regression equation.

| Element | Leaf* |
|-------------|----------|
| Total-N (%) | 3.5-5.0 |
| SCDSV | 36.-40.0 |

* Mills와 Jones (1996).

엽 위치에 따른 SCDSV는 질소를 공급하지 않은 처리구를 제외하고는 모두 중위엽에서 가장 높게 나타났다. 상위엽(3~4번)에서는 처리별 SCDSV의 변화가 중위엽(11~13번) 및 하위엽(19~21)보다 뚜렷하지 않았으며 모든 처리구의 하위엽에서는 노화가 진행되는 상태였다(Fig. 6-74). 따라서 SCDSV를 측정하기 위해서는 중위엽 즉, 11~13번 위치의 엽을 측정하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 측정 시기별 SCDSV는 모든 처리구에서 개화기 이전과 과실비대기간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(Fig. 6-75).

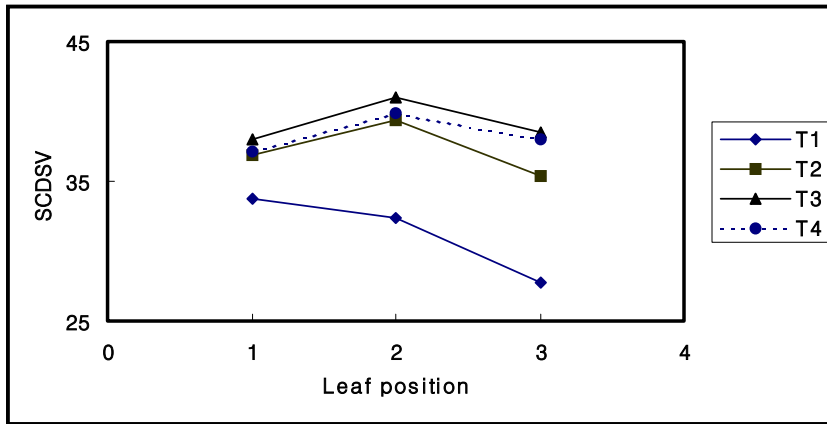


Fig. 6-74. Changes of SCDSV according to leaf position.

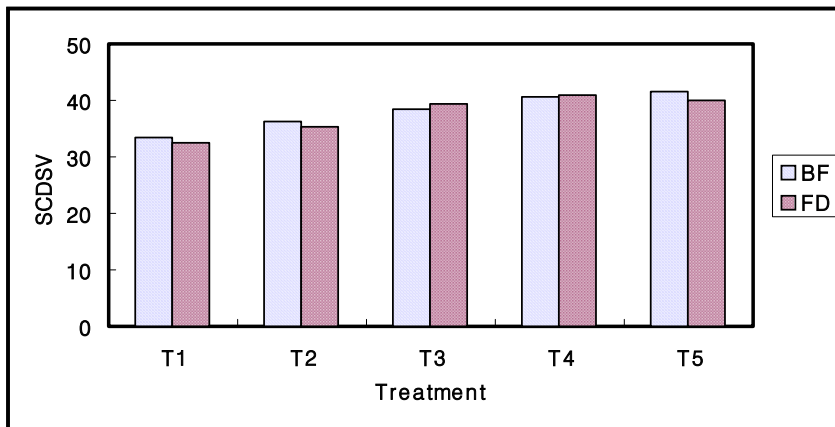


Fig. 6-75. Changes of SCDSV according to measurement time (BF: before flowering; FD: fruit development)

4.3.3. 토양 재배 오이의 간이 영양진단을 위한 지표 확립

1) 재료 및 방법

양액재배 실험으로 구해진 본 연구의 결과를 토양재배 오이의 영양진단에 이용하기 위한방안을 마련하기 위하여 토양재배되고 있는 오이의 즙액 및 엽을 채취하여 분석하고 각 측정 원소들간의 상관관계를 알아보았다. 시료의 채취는 농업과학기술원 산하의 원예연구소와 남양주 농업기술센터 그리고 남양주에 위치한 농가에서 실시하였으며 시료의 점수는 총 54점이었다. 시료채취 시기는 남양주 농업기술센터의 경우 개

화기였으며 그 외는 오이의 수확이 종결되기 직전이었다.

즙액의 채취는 육안으로 판단했을 때 최근에 완전전개한 엽을 대상으로 실시하였으며 같은 엽의 엽신은 표준 분석 방법을 이용한 분석에 시료로 사용하였다.

2) 결과

채취된 즙액을 test strip을 이용하여 NO_3 , PO_4 , K의 함량을 측정하고 이 결과를 표준 분석 방법으로 분석한 엽의 total-N, P, K의 함량과 비교하였다(Fig. 6-76, 77, 78). 그 결과 질소, 인산, 칼륨에 대한 각각의 결정계수가 0.5027, 0.7274, 0.6321로 양액 재배 실험에서 보다는 다소 낮은 상관관계를 나타내었으나 역시 뚜렷한 상관관계를 보였다. 따라서 토양에서 재배되는 작물에서도 이와 같이 test strip을 이용하는 영양진단 방법이 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 토양에서 재배되는 오이의 시료를 이용하여 구해진 직선 회귀식과 양액 재배 실험에서 얻어진 직선 회귀식과 상당한 차이를 보이기 때문에 양액 재배 실험에서 얻어진 직선회귀식을 토양재배 오이에 직접 이용할 수는 없을 것으로 보인다. 또한 토양 재배 오이의 시료채취시 여러 가지 환경 조건이나 시료의 채취시기 및 오이의 품종 등이 일정하지 않아 본 연구결과 나온 아래의 상관관계에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서 여러 가지 조건을 동일하게 유지하면서 재배실험을 실시하여 영양상태에 따른 측정이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

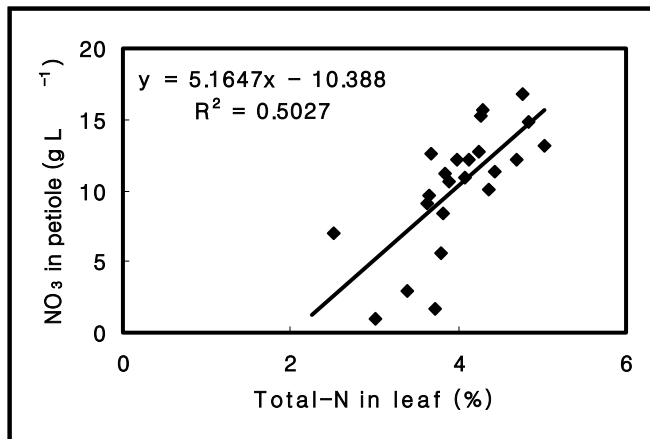


Fig. 6-76. Relationship between NO_3 contents of petiole sap and total-N contents of cucumber leaf cultivated in soil.

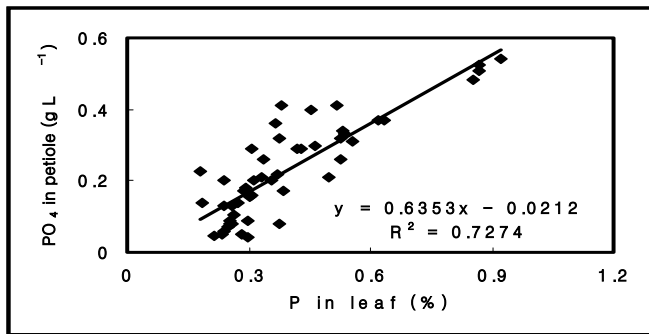


Fig. 6-77. Relationship between PO₄ contents of petiole sap and P contents of cucumber leaf cultivated in soil.

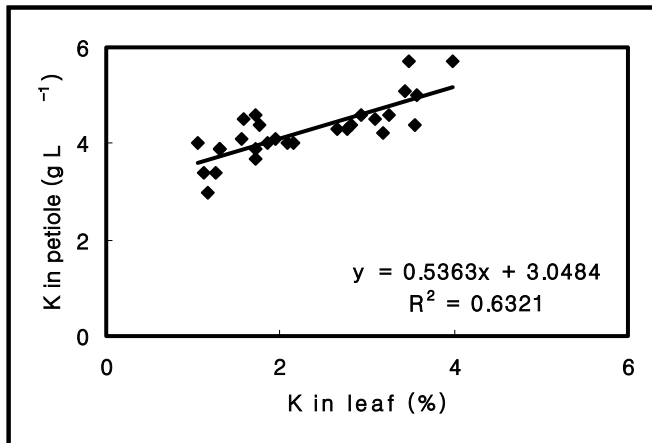


Fig. 6-78. Relationship between K contents of petiole sap and K contents of cucumber leaf cultivated in soil.

- 수용성 당 분석에 의한 생육진단 -

식물체내 당 함량의 변화는 식물 영양 상태의 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 질소, 인, 칼륨의 공급량에 따른 엽 내 영양원소의 함량을 측정하고 이때 즙액의 당 함량 변화를 측정하여 각 변수간의 상관관계를 알아보았다. 그 결과 질소 체내 함량과 즙액의 당함량간에는 상관관계를 인정할 수 없었으며(Fig. 6-79) 칼륨의 경우는 다소 낮은 부의 상관관계를 나타내었다(Fig.6-80). 그러나 엽내 인의 함량이 증가함에 따라 즙액의 당 함량은 낮아지는 부의 상관관계를 보였으며 결정계수도 0.77정도로 높게 나타나 두 변수간의 상관관계 결정을 위해서 연구를 더 진행해야 할 것으로 생

각된다(Fig. 6-81).

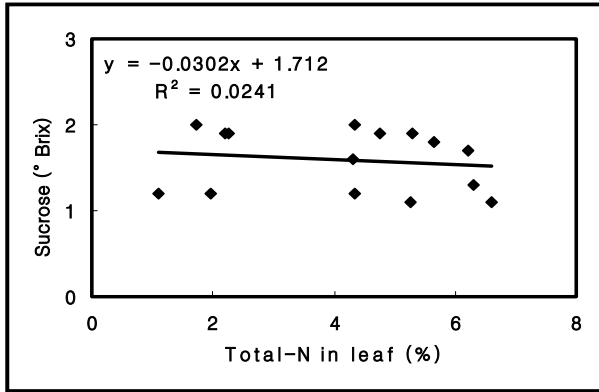


Fig. 6-79. Relationship between sucrose contents of petiole sap and total-N in leaf.

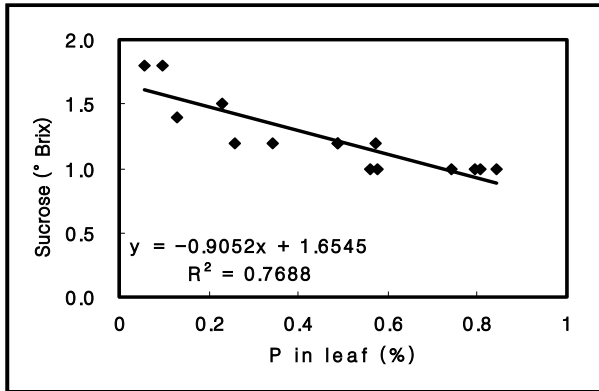


Fig. 6-80. Relationship between sucrose contents of petiole sap and P in leaf.

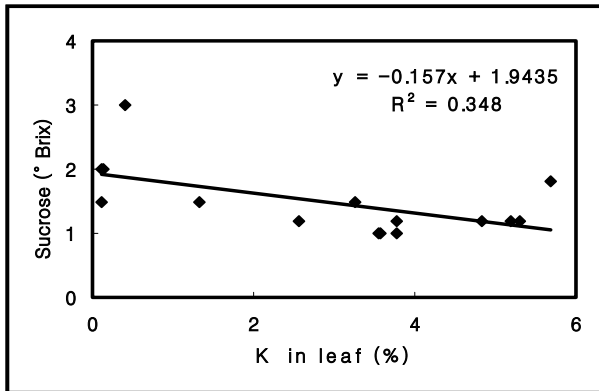


Fig. 6-81. Relationship between sucrose contents of petiole sap and K in leaf.

-엽색의 진전도에 따른 생육진단

1. 디지털 카메라를 이용한 오이와 토마토의 영양 상태 파악

지금까지 화상 계측을 통하여 식물의 생육상태를 파악하고자 하는 연구가 여러 작물을 대상으로 실시되었다. 그러나 화상 계측에 소요되는 장비는 고가이며 전문가가 필요하다는 단점이 있다. 따라서 이를 간이적인 방법으로 접근해 보고자 최근 급속도로 발달하고 있는 디지털 카메라를 이용하였다.

1) 재료 및 방법

최근 디지털 카메라의 접사 기술 발달로 육안으로 쉽게 관찰하기 어려운 식물의 피해 증상을 접사로 촬영한 후 컴퓨터를 통하여 분석하면 증상의 특징을 보다 쉽게 파악할 수 있을 것으로 생각하였다. 따라서 Test strip을 이용한 오이와 토마토의 영양진단과 동일한 재배실험에서 각 영양분의 처리별 엽에 나타나는 증상을 디지털 카메라로 접사 촬영하여 관찰하였다. 그 결과는 다음 링크된 사진과 같다.

오이

| | | | | | | |
|-------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|------|
| 질소처리구 | 4 ppm N-1 | 24 ppm N-2 | 80 ppm N-3 | 213 ppm 정상구 | 454 ppm N-4 | N-종합 |
| 인처리구 | 0 ppm P-1 | 5 ppm P-2 | 14 ppm P-3 | 36 ppm 정상구 | 66 ppm P-4 | P-종합 |
| 칼륨처리구 | 5 ppm K-1 | 52 ppm K-2 | 149 ppm K-3 | 324 ppm 정상구 | 572 ppm K-4 | K-종합 |

토마토

| | | | | | | |
|-------|--------------|---------------|---------------|----------------|----------------|------|
| 질소처리구 | 4 ppm N-1 | 16 ppm N-2 | 63 ppm N-3 | 127 ppm 정상구 | 320 ppm N-4 | N-종합 |
| 인처리구 | 0 ppm P-1 | 3 ppm P-2 | 9 ppm P-3 | 22 ppm 정상구 | 46 ppm P-4 | P-종합 |
| 칼륨처리구 | 4 ppm K-1 | 17 ppm K-2 | 68 ppm K-3 | 183 ppm 정상구 | 373 ppm K-4 | K-종합 |

※사진은 별첨파일(사진) 참고

본 실험 결과 당초 기대와는 달리 극단적인 결핍구나 극단적인 과잉구를 제외하고는 생리장해 증상을 파악하기가 쉽지 않았다. 질소, 인, 칼륨의 결핍이나 과잉 증상은 이미 선 연구자들에 의해서 많은 보고가 있었으며 본 실험에서도 그와 같은 피해 증상이 나타났다. 그러나 본 연구 과제의 목적에 부합되는 작물 체내의 영양상태의 실시간 변화에 대한 파악을 위한 방법으로 디지털 카메라의 접사를 이용하는 방법이 용이하지 않은 것으로 판단된다.

4.3.3. 토양 재배 오이의 간이영양 진단을 위한 지표 확립

3.1.1.1 재료 및 방법

본 연구를 위해 이용한 공시 작물은 장일 반백 오이로서 본엽이 3매가 되었을 때 정식하고 2003년 5월 10일 본엽이 4~5매가 되었을 때 농도별 양액 공급 처리를 개시하였다. 배지는 토양을 이용하였고 재배는 비순환식 양액 재배 방식을 택하였으며 오이에 대한 야마자키 양액을 조성하여 점적관수 형식으로 공급하였다. 본 실험에 이용된 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같으며, 조성된 양액의 N, P, K에 대한 처리 농도는 Table 2와 같다. 각 처리 당 반복수는 3주로 하였다.

Table 6-10. Chemical properties of the soil used in this study.

| | pH _{1:5} | Na | Ca | Mg | K | Avail. P | Total-N | O.M. | Soil texture |
|------|-------------------|------|------|------|-------|----------|---------------|------|--------------|
| |cmol/kg..... | | | | mg/kg | |(%)..... | | |
| Soil | 6.31 | 0.16 | 0.02 | 2.39 | 0.75 | 307.53 | 0.35 | 6.42 | Si.L. |

Table 6-11. Feed concentrations of N, P and K for the second and the third cucumber experiments.

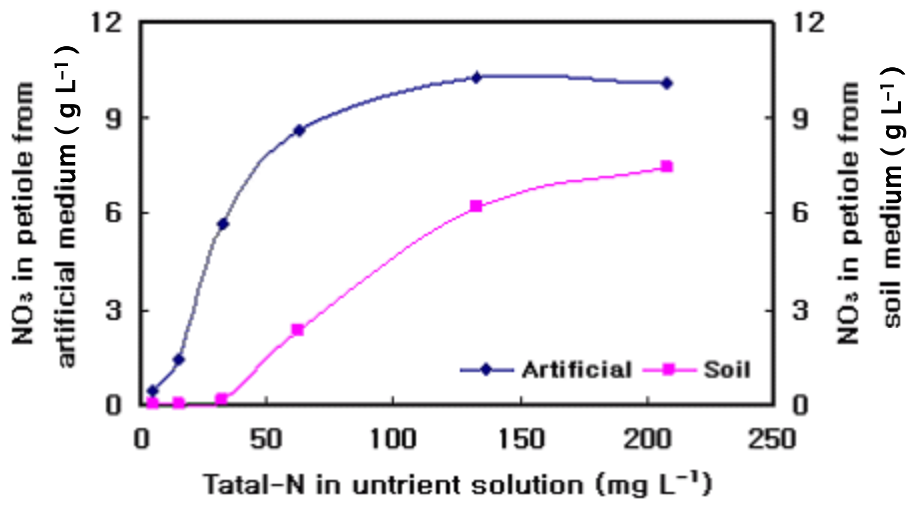
| Treatment | Nutrient (mg L ⁻¹) | | |
|-----------|--------------------------------|-------------------|--------------------|
| | N | P | K |
| N | 9/43/84/126/213/26 | 29 | 197 |
| Cucumber | 1 | 0.5/8/18/29/56/90 | 197 |
| P | 126 | | 0/34/107/197/367/5 |
| K | 126 | 29 | 37 |

오이를 1차 수확기까지 재배하고 각 필요한 측정을 실시하였다. 시료의 조제는 측정 대상이 되는 엽(정단부에서 8번째 엽)의 엽병을 잘라내어 착즙기로 즙액을 착즙하여 즙액 내 NO_3 , PO_4 , K의 함량을 test strip을 이용하여 측정하였으며 3반복 처리구에서 같은 엽위의 엽병을 합하여 하나의 시료로 이용하였다. 측정은 개화기 이전, 개화기, 착과기에 각각 실시하였다. 즙액을 측정된 엽의 엽신은 chlorophyll meter를 이용하여 SCDSV(specific color difference sensor value)를 측정된 후 total-N, P, K의 함량을 측정하기 위해서 65°C 에서 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 이용하였다. Total-N는 Kjeldahl법으로 P는 Vanadate법으로 K는 AAS로 각각 분석하였다. 분석 결과는 test strip을 이용한 즙액의 측정 결과 및 SCDSV와 각각 비교하여 직선회귀식과 결정계수(R^2)를 구하는데 이용하였다.

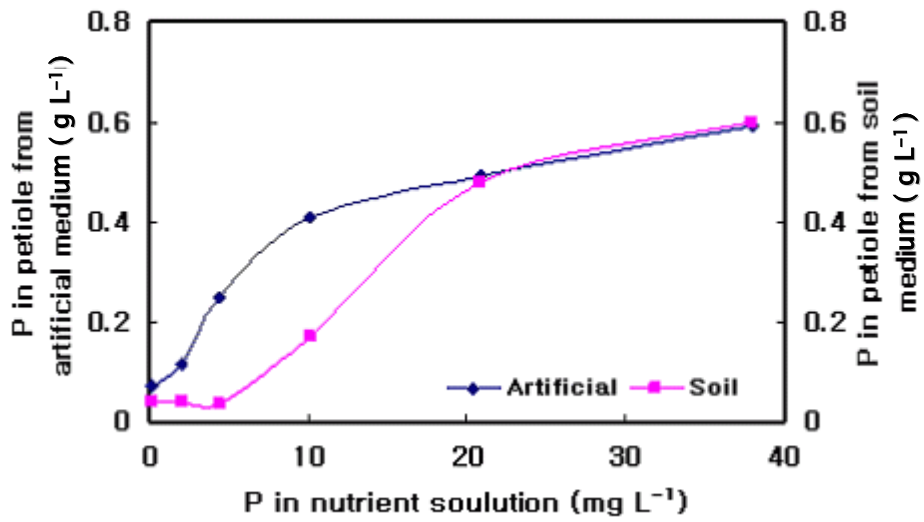
3.1.1.2 결과

① Test strip 이용 방안

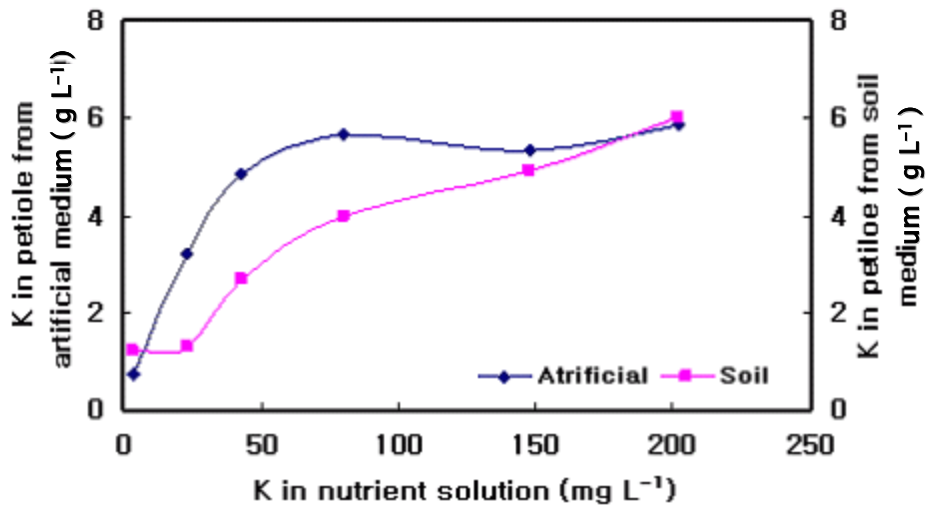
토양 재배에서 오이의 즙액 내 NO_3 , PO_4 , K의 함량이 무기배지에서 재배한 결과와 차이를 보였다. Fig. 1에서 보는바와 같이 토양에서 재배한 오이의 즙액 내 NO_3 함량이 모든 처리구에서 무기배지에서 재배한 함량보다 낮은 수치를 보였다. 특히 토양 재배에서는 낮은 농도의 N를 공급해 주었을 때 즙액에서의 NO_3 함량 변화 거의 일어나지 않았다. 즙액 내 PO_4 와 K의 함량도 이와 비슷한 경향을 나타내어 저농도의 P와 K를 공급해 주었을 때 즙액 내 PO_4 와 K의 농도가 민감하게 변하지 않았으며 P와 K를 과잉으로 공급한 처리구 이외에는 모든 처리구에서 즙액 내 PO_4 와 K의 농도가 무기배지 재배에서보다 낮게 측정되었다. 이는 토양의 양분 흡착 특성으로 인해 오이 체내로의 양분공급 효율이 무기배지에서 보다 떨어짐을 나타내 주는 것으로 생각되었다. 따라서 이런 토양의 양분 흡착 특성을 고려할 때 무기배지에서 마련된 간이진단 지표를 토양재배에 도용하는 것은 신뢰할 수 없을 것으로 판단되었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6-82. Changes of NO₃(a), PO₄(b), and K(c) in petiole sap of cucumber raised in artificial- and soil-media.

따라서, 무기배지 재배에서 구해진 직선회귀식과 비교하기 위하여 당해연도에 토양 배지에서 재배된 오이의 엽 내 total-N, P, K의 함량과 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량을 이용하여 직선회귀식을 구하였다. 그 결과는 Table 6-12과 같으며, 이용된 배지에 따라 구하여진 직선 회귀식의 기울기 및 Y절편 값에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 지금까지 연구 보고 된 엽 내 total-N, P, K의 적정함량을 회귀식에 대입하여 계산한 엽병의 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 적정함량에도 큰 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 농가에서 이 자료를 이용할 때 무기배지와 토양재배에서 각각의 독립된 자료를 활용해야 함을 시사한다.

Table 6-12. Regression equation between NO₃, PO₄, and K of petiole sap and total-N, P, and K of leaf, respectively and calculated sufficient range of NO₃, PO₄, K in cucumber raised in artificial- and soil-medium.

| | Artificial media | | Soil medium | |
|-----------------|---|--|--|--|
| | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) |
| NO ₃ | y=2.2032x-4.1141 (R ² =0.8939) | 5.4 ~ 9.1 | y=1.6012x-3.1093 (R ² =0.8208) | 3.8 ~ 6.5 |
| PO ₄ | y=0.7916x-0.079 (R ² =0.9252) | 0.2 ~ 0.5 | y=0.9903x-0.2309 (R ² =0.8641) | 0.1 ~ 0.5 |
| K | y=0.7389x+ 0.7673 (R ² =0.8385) | 3.1 ~ 4.8 | y=1.2683x-0.2563 (R ² =0.7439) | 3.7 ~ 6.7 |

② Chlorophyll meter 이용 방법

SCDSV 측정에 있어서도 토양재배와 무기배지 재배 간에 차이가 있었다 (Fig.6-83). 무기배지에서는 N의 공급 농도를 높여줌에 따라 SCDSV에 큰 변화를 보이지 않은 반면, 토양재배에서는 N의 공급량을 높여줌에 따라 SCDSV가 비례적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 토양재배에서 질소 공급량에 따라 엽록소 함량이 무기배지보다 민감하게 변한 것을 나타내는 것으로 질소의 간이 진단을 위해 chlorophyll meter를 이용하는 것이 무기배지에서보다 활용가치가 있음을 나타내 주는 것이다. 두 배지에서 도출된 결과를 바탕으로 구해진 직선회귀식 및 계산된 적정 SCDSV는 Table 4와 같다. 이와 같이 두 배지에서 각각 재배된 오이의 엽내 SCDSV의 변화 특성이 다르므로, chlorophyll meter를 간이진단에 활용함에 있어서도 test strip과 마찬가지로 토양재배와 무기배지 재배 간에 독립된 지표를 활용해야 할 것으로 생각된다.

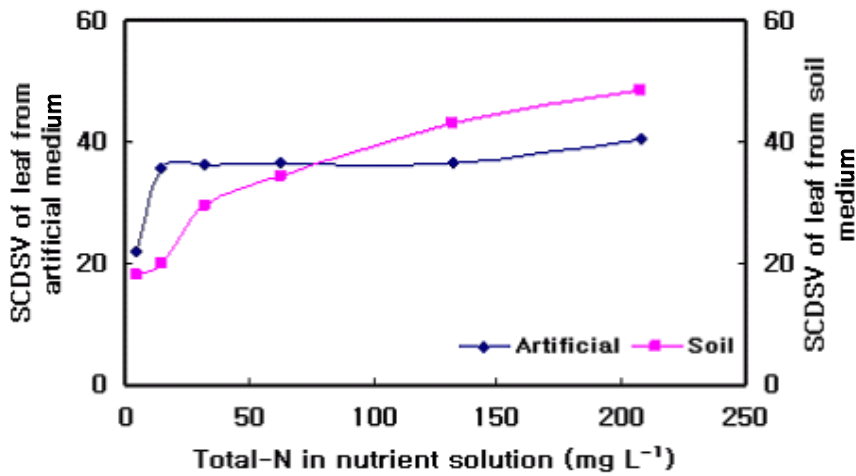


Fig 6-83. SCDSV changes of cucumber cultivated in artificial- and soil-media.

Table 6-13. Regression equation between SCDSV and total-N in leaf and sufficient SCDS value in cucumber raised in artificial- and soil-media.

| | Artificial medium | | Soil medium | |
|-------|--|--|---|--|
| | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) |
| SCDSV | $y=5.5773x+15.523$ (R ² =0.9065) | 39.5 ~ 49.0 | $y=5.6644x+12.57$ (R ² =0.8729) | 36.9 ~ 46.6 |

4.3.4 토양재배 토마토의 간이 영양진단을 위한 지표 확립

3.1.2.1 재료 및 방법

Test strip과 chlorophyll meter를 이용하여 토양재배 토마토의 영양진단을 위한 자료를 축적할 목적으로 토마토 재배실험을 2003년 9월 3일 ~ 2003년 11월 10일 기간에 실시하였다. 본 연구에 이용된 공시 작물은 전년도 실험과 같은 슈퍼 도태랑 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. super momotaro)를 이용하였으며 배지는 오이 재배 실험에서 이용한 것과 같은 토양으로 하였고 재배는 비순환식 양액재배 방식을

택하였으며 오이에 대한 야마자키 양액을 조성하여 점적관수 형식으로 공급하였다. 본엽이 4매가 되었을 때 실험 pot에 정식하고 5매가 되었을 때 농도별 양액 공급 처리를 개시하였으며 공급된 양액의 농도는 Table 5와 같다.

토마토를 과실비대기까지 재배하고 측정은 개화기, 착과기, 과실비대기에 각각 실시하였다. 시료의 조제는 측정 대상이 되는 엽(정단부에서 7번째 엽)의 엽병을 잘라내어 착즙기로 즙액을 착즙하여 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량을 test strip을 이용하여 측정하였으며 3반복 처리구에서 같은 엽위의 엽병을 합하여 하나의 시료로 이용하였다. 즙액을 측정한 엽의 엽신은 chlorophyll meter를 이용하여 SCDSV(specific color difference sensor value)를 측정한 후 total-N, P, K의 함량을 측정하기 위해서 65°C에서 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 이용하였다. total-N는 Kjeldahl법으로 P는 Vanadate법으로 K는 AAS로 각각 분석하였다. 분석 결과는 test strip을 이용한 즙액의 측정 결과 및 SCDSV와 각각 비교하여 직선회귀식과 결정계수(R²)를 구하는데 이용하였다.

Table 6-14. Feed concentrations of N, P and K for tomato experiment.

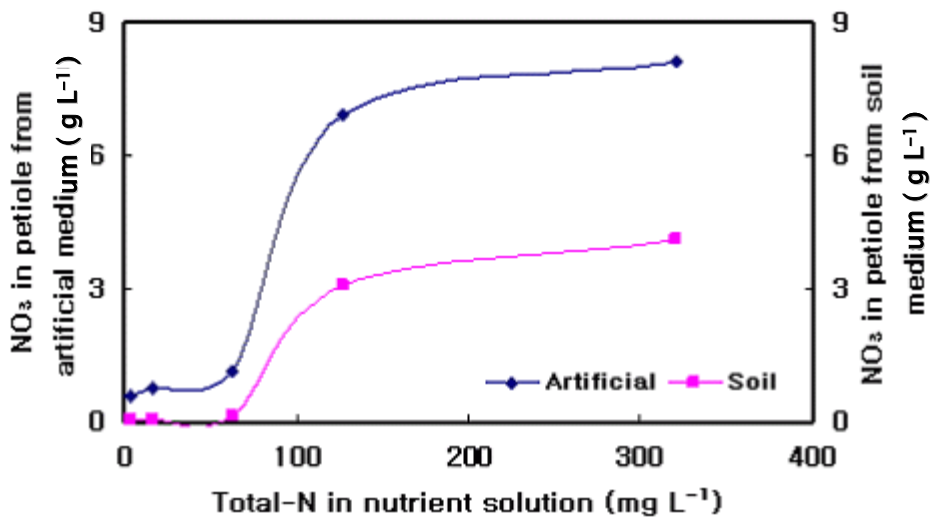
| Treatment | Nutrient (mg L ⁻¹) | | |
|-----------|--------------------------------|-------------|-----------------|
| | N | P | K |
| N | 4/16/63/127/320 | 23 | 183 |
| Tomato P | 127 | 0/3/9/23/46 | 183 |
| K | 127 | 23 | 4/17/68/183/373 |

2)결과

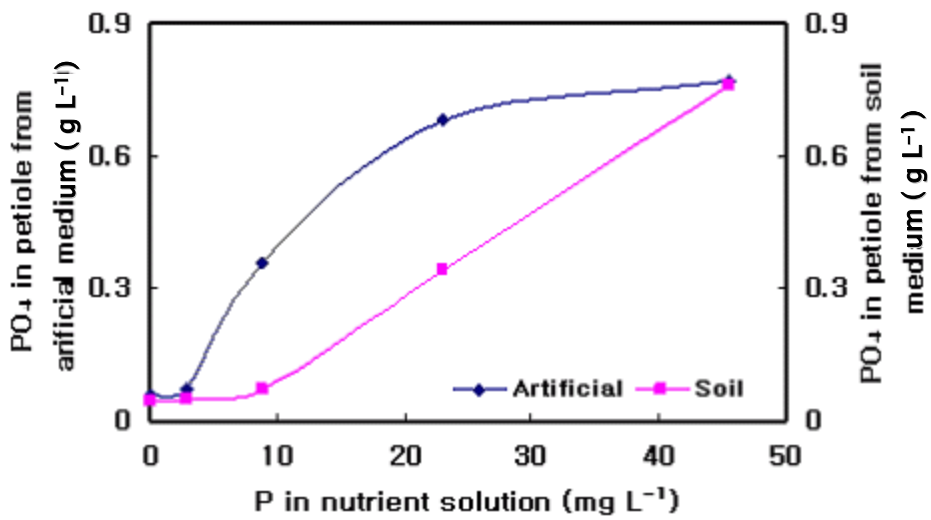
① Test strip 이용 방법

오이재배에서 보여준 결과와 마찬가지로, 토양 재배에서 토마토의 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량이 무기배지에서 재배한 결과와 차이를 보였다. Fig. 3에서 보는바와 같이 토양에서 재배한 토마토의 즙액 내 NO₃ 함량이 모든 처리구에서 무기배지에서 재배한 함량보다 낮은 수치를 보였으며, 정상구 처리구 간에 비교를 하였을 때, 무기배지에서 재배한 토마토의 즙액 내 NO₃ 함량이 토양에서 재배한 토마토의 즙액 내 NO₃ 함량의 두 배에 달하였다. 토양 배지에서 재배된 토마토의 즙액 내 PO₄의 함량은 저농도의 P를 공급해 주었을 때 즙액 내 PO₄ 농도가 민감하게 변하지 않았으며

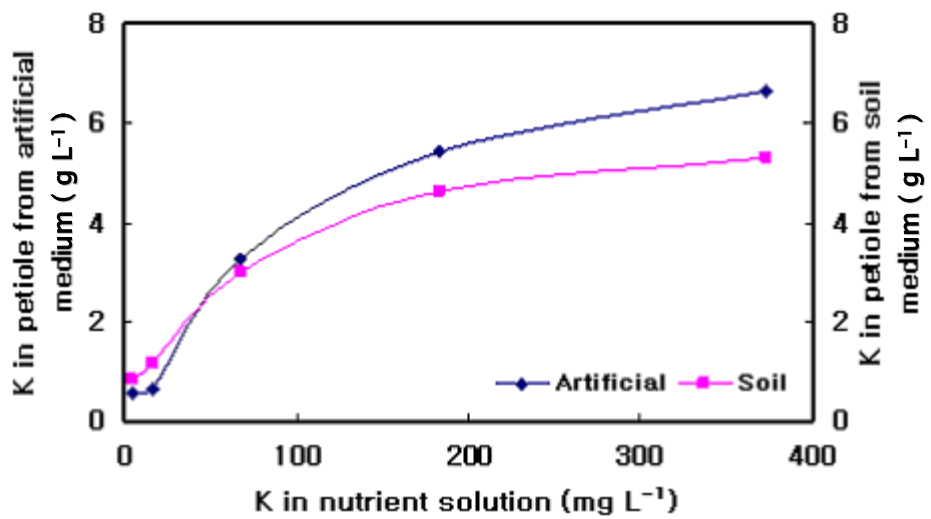
그 후 공급농도를 높여줌에 따라 비례적으로 증가하여 과잉 공급 처리구에서는 무기 배지에서 재배된 토마토의 PO_4 와 비슷한 농도를 나타내었다. K의 경우 다른 처리구와는 달리 토양재배와 무기배지 재배 간에 큰 차이를 보이지는 않았다. 그러나 K의 공급 농도가 높아질수록 토양에서 재배된 토마토의 즙액 내 K의 농도 변화 정도가 무기배지에서 재배된 토마토의 즙액 내 K의 농도 변화보다 둔감해 지는경향이 있었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 토마토 재배에서도 오이재배의 경우와 마찬가지로 토양의 양분 흡착 특성으로 토마토 체내로의 양분공급 효율이 토양 재배의 경우가 무기배지에서 보다 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 이런 토양의 양분 흡착 특성을 고려할 때 무기배지에서 마련된 간이진단 지표를 토양재배에 적용하는 것은 신뢰 할 수 없을 것으로 판단되었다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6-84. Changes of NO₃(a), PO₄(b), and K(c) in petiole sap of tomato raised in artificial- and soil-media.

따라서, 무기배지 재배에서 구해진 직선회귀식과 비교하기 위하여 당해연도에 토양 배지에서 재배된 오이의 엽 내 total-N, P, K의 함량과 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 함량을 이용하여 직선회귀식을 구하였다. 그 결과는 Table 6과 같으며, 이용된 배지에 따라 구하여진 직선회귀식의 기울기 및 Y절편 값에 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 지금까지 연구 보고 된 엽 내 total-N, P, K의 적정함량을 회귀식에 대입하여 계산한 엽병의 즙액 내 NO₃, PO₄, K의 적정함량에도 큰 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 농가에서 이 자료를 이용할 때 무기배지와 토양재배에서 각각의 독립된 자료를 활용해야 함을 시사한다.

Table 6- 15. Regression equation between NO₃, PO₄, and K of petioles sap and total N, P, and K of leaf, respectively and calculated sufficient range of NO₃, PO₄, K in tomato raised in artificial- and soil-medium.

| | Artificial medium | | Soil medium | |
|-----------------|--|--|--|--|
| | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) |
| NO ₃ | y=1.8328x-3.4181 (R ² =0.7683) | 3.0 ~ 5.7 | y=1.3406x-2.1145 (R ² =0.7428) | 2.6 ~ 4.7 |
| PO ₄ | y=0.653x-0.0504 (R ² =0.906) | 0.3 ~ 0.5 | y=0.921x-0.0439 (R ² =0.8882) | 0.4 ~ 0.7 |
| K | y=1.0571x+0.1956 (R ² =0.8665) | 3.4 ~ 6.5 | y=2.3512x-0.0412 (R ² =0.703) | 7.0 ~ 14.0 |

② Chlorophyll meter 이용 방법

SCDSV는 토양재배의 경우가 무기배지 재배의 경우보다 공급된 N의 농도가 높아짐에 따라 큰 변화를 보였으나 그 변화 경향은 비슷하였다.(Fig. 6-85) 하지만 오이 실험 결과와 마찬가지로 토양에서 재배된 토마토에서 더 높은 SCDSV를 나타내었다. 두 배지에서 도출된 결과를 바탕으로 구해진 직선회귀식 및 계산된 적정 SCDSV는 Table 7과 같다. 이와 같이 두 배지에서 각각 재배된 토마토의 엽 내 SCDSV의 변화 특성이 다르므로, chlorophyll meter를 간이 진단에 활용함에 있어서도 test strip과 마찬가지로 토양재배와 무기배지 재배 간에 독립된 지표를 활용해야 할 것으로 생각된다.

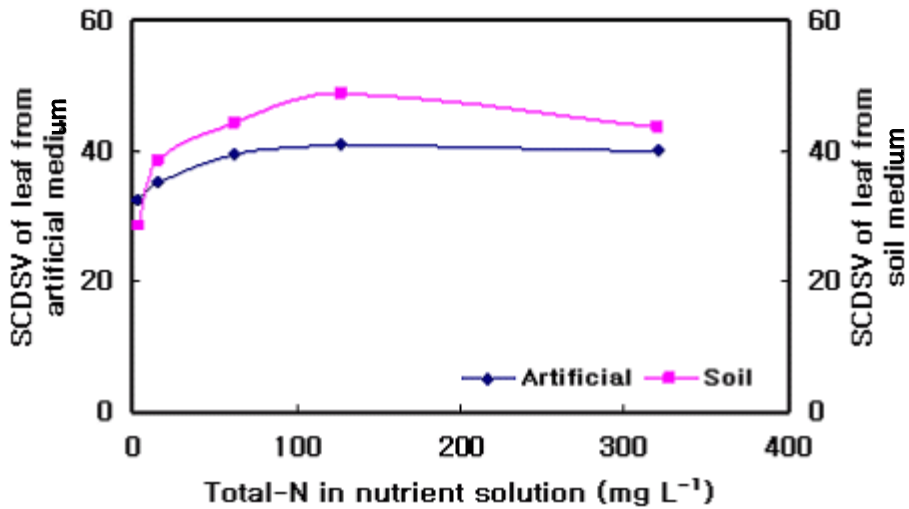


Fig. 6-85. SCDSV changes of tomato raised in artificial- and soil-media.

Table 6-16. Sufficient ranges of total-N in tomato leaves and those of SCDSV calculated by regression equation.

| | Artificial medium | | Soil medium | |
|-------|---|--|--|--|
| | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) | Regression equation | Sufficiency range (g L ⁻¹) |
| SCDSV | y=1.9867x+ 29.248 (R ² =0.7829) | 36.0 ~ 40.0 | y=4.4978x+ 29.045 (R ² =0.615) | 44.8 ~ 51.5 |

③ 주사기 부피의 정확성 및 정밀성 측정

간이진단을 하기 위해서는 부피를 측정할 기구가 필요하다. 그러나 실험실에서 사용하는 오토피펫이나 디스펜서는 구입과 사용이 용이하지 않지 않고 가격도 비싸서 농가에서 이용하기 부적절하다. 그래서 오토피펫과 디스펜서 대체 기구로 주사기를 이용할 수 있다.

이 때 주사기의 부피가 오토피펫과 디스펜서처럼 정확성과 정밀성이 있는지를 확인 하기 위해서 각 기구의 부피를 측정해 보았다.

Table 6-17. Comparison of precision and accuracy among injection volume.

| | 0.5ml | 1.0ml | 10.0ml | 20.0ml |
|-------------|-----------|----------|----------|----------|
| Syringy 1 | 0.50916ab | 1.02532a | 9.65982b | 20.2487a |
| Syringy 2 | 0.51128a | 1.02402a | 9.62348b | 20.2477a |
| Autopipette | 0.50268b | 0.99938b | - | - |
| Dispenser | - | - | 9.9136a | 19.7863b |

Table 6-17을 보면 알 수 있듯이 주사기 1, 2와 오토피펫의 0.5ml에서는 유의성이 없다. 그러나 1ml, 10ml, 20ml에서는 유의성이 있었다. 그러나 그 유의성 차이가 미비하기 때문에 농가에서 오토피펫이나 디스펜서 대용으로 주사기를 사용해도 무방할 것이다.

4.4 비파괴 영양 진단의 실제

4.4.1. Test strip을 이용한 토마토와 오이의 영양진단 방법

목적: 토마토와 오이 잎의 엽병에서 착즙한 즙액을 이용하여 영양 상태를 진단

준비물: RQreflectoquant meter(Merck, Merck RQflex[®] plus, Germany, Fig. 6-86), NO₃ test strip set, PO₄ test strip set, K test strip set(Merck, Germany)(Fig. 6-87), 주사기(1ml, 10ml, 50ml), 착즙기(Fig. 6-88), 작은 용기(필름통, 작은 종이컵 등), 큰 용기(큰 종이컵 등), 증류수.

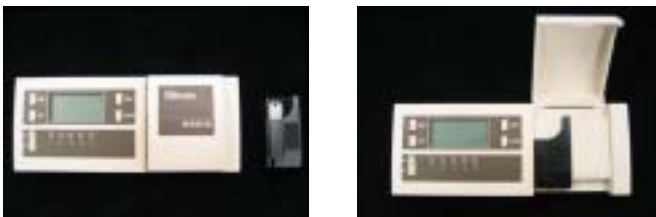


Fig. 6-86. Merck RQflex[®] plus

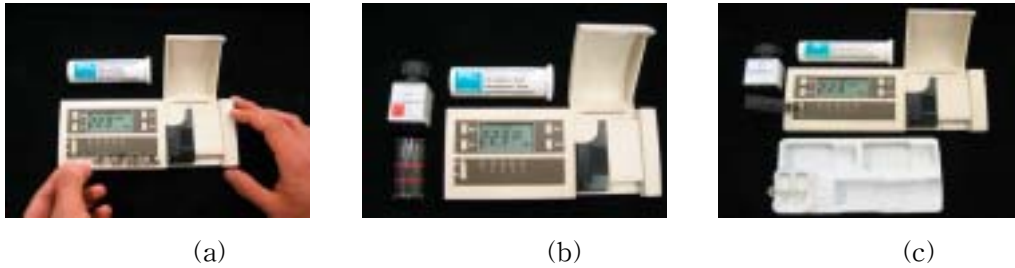


Fig. 6-87. (a) NO₃ test strip set, (b) PO₄ test strip set, (c) K test strip set



Fig. 6-88 Squeeze

(1) 즙액의 준비

- 오이: 최근에 완전 전개한 엽(정단부에서 9번째에서 11번째 사이의 잎)을 엽병과 함께 잘라내어 엽신은 제거한 후 착즙기를 이용하여 엽병의 즙액을 짜내어 준비된 용기에 모은다(필름통의 4분의 1정도). 이 때 한 주에서 여러 잎을 채취하지 말고, 한 주당 하나의 잎을 채취하고 필요한 양의 즙액을 얻기 위해 측정 주수를 늘린다.

- 토마토: 최근에 완전 전개한 엽(정단부에서 7번째에서 9번째 사이의 잎)을 주맥과 함께 잘라내어 측엽은 잘라내고 착즙기를 이용하여 주맥의 즙액을 짜내어 준비된 용기에 모은다(필름통의 4분의 1정도). 이 때 한 주에서 여러 잎을 채취하지 말고, 한 주당 하나의 잎을 채취하고 필요한 양의 즙액을 얻기 위해 측정 주수를 늘린다.

1. 즙액내 NO₃ 측정법

- (1) 준비된 즙액에서 주사기(1ml)를 이용하여 작은 용기에 1ml를 옮긴다.
- (2) 즙액 1ml가 들어있는 용기에 주사기(50ml)를 이용하여 증류수 50ml를 섞는다(A액).

- (3) RQreflex를 NO₃ 측정 모드로 세팅한다.
- (4) NO₃ test strip set에서 1개의 test strip을 꺼내어 세팅된 RQreflex의 start 버튼을 눌러 반응시간(60초)을 확인하고, 다시 한번 start 버튼을 누름과 동시에 test strip을 A액에 약 2초간 담그고 꺼내어 여액을 흘뿌린다.
- (5) 반응시간 종료 5초전에 RQreflex에서 알람이 울리면 즉시 검색 아답터에 test strip을 삽입하고 측정결과를 읽는다.(Fig. 6-89)

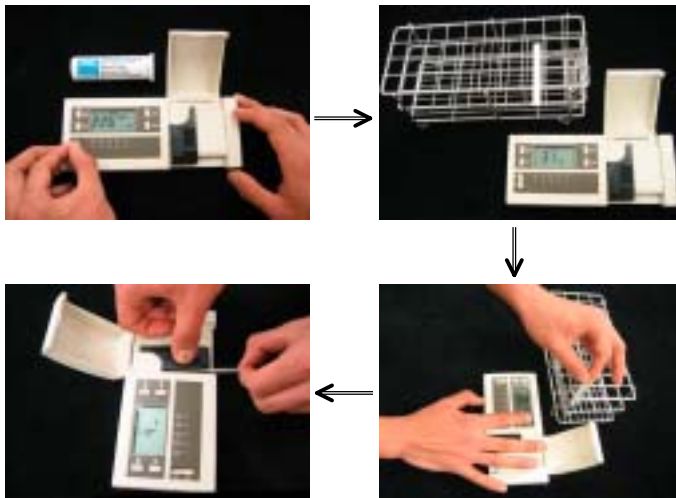


Fig. 6-89. Measurement method of NO₃

- (6) 계산: 측정결과 × 51 ÷ 1000
- (7) 측정 결과를 다음 표 6-18과 비교하여 질소결핍, 정상, 질소과잉 상태를 판단한다.

표 6-18. 질소결핍 판정

| | | 질소결핍 | 정상 | 질소과잉 |
|-----|------|---------------|-----------|----------------|
| 오이 | 토양배지 | Too low, <3.8 | 3.8 - 6.5 | Too high, >6.5 |
| | 인공배지 | Too low, <5.4 | 5.4 - 9.1 | Too high, >9.1 |
| 토마토 | 토양배지 | Too low, <2.6 | 2.6 - 4.7 | Too high, >4.7 |
| | 인공배지 | Too low, <3.0 | 3.0 - 5.7 | Too high, >5.7 |

2. 즙액내 PO₄ 측정법

- (1) 준비된 즙액에서 주사기(1ml)를 이용하여 작은 용기에 1ml를 옮긴다.
- (2) 즙액 1ml가 들어있는 용기에 PO₄ test strip set에 있는 보조시약 20방울을 떨어뜨린다.
- (3) 여기에 주사기(10ml)를 이용하여 증류수 10ml를 섞는다(A액).
- (3) RQreflex를 PO₄ 측정 모드로 세팅한다.
- (4) PO₄ test strip set에서 1개의 test strip을 꺼내어 세팅된 RQreflex의 start 버튼을 눌러 반응시간(90초)을 확인하고, 다시 한번 start 버튼을 누름과 동시에 test strip을 A액에 약 2초간 담그고 꺼내어 여액을 흡수시킨다.
- (5) 반응시간 종료 5초 전에 RQreflex에서 알람이 울리면 즉시 검색 아답터에 test strip을 삽입하고 측정결과를 읽는다.(Fig. 6-90)

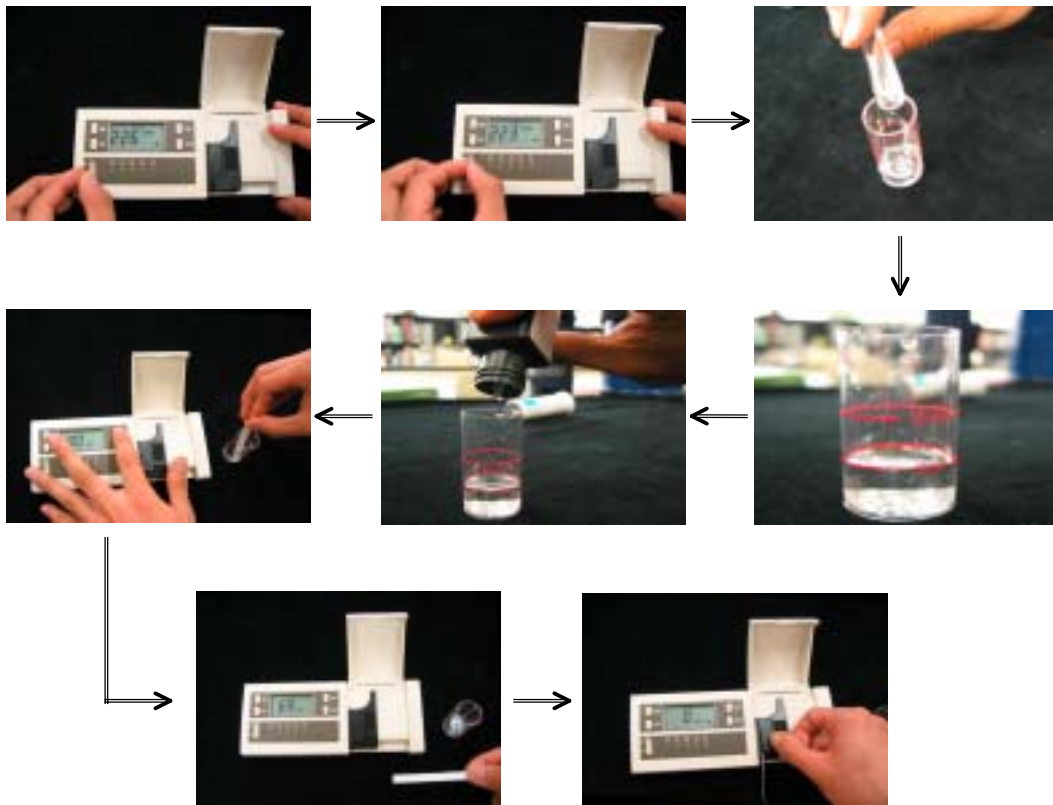


Fig. 6-90. Measurement method of PO₄

(6) 계산: 측정결과 × 11 ÷ 1000

(7) 측정 결과를 다음 표 6-19와 비교하여 인산결핍, 정상, 인산과잉 상태를 판단한다.

표. 6-19. 인산결핍 판정

| | | 인산결핍 | 정상 | 인산과잉 |
|-----|------|---------------|-----------|----------------|
| 오이 | 토양배지 | Too low, <0.1 | 0.1 - 0.5 | Too high, >0.5 |
| | 인공배지 | Too low, <0.2 | 0.2 - 0.5 | Too high, >0.5 |
| 토마토 | 토양배지 | Too low, <0.4 | 0.4 - 0.7 | Too high, >0.7 |
| | 인공배지 | Too low, <0.3 | 0.3 - 0.5 | Too high, >0.5 |

3. 즙액내 K 측정법

- (1) 준비된 즙액에서 주사기(1ml)를 이용하여 작은 용기에 1ml를 옮긴다.
- (2) 여기에 주사기(10ml)를 이용하여 증류수 10ml를 섞는다(A액).
- (3) K test strip set에 있는 보조시약을 같은 set에 있는 작은 튜브에 따른다(약 튜브의 3분의 2정도)(B액).
- (3) RQreflex를 K 측정 모드로 세팅한다.
- (4) K test strip set에서 1개의 test strip을 꺼내어 A액에 약 2초간 담그고 꺼내어 여액을 흘뿌린다.
- (5) 세팅된 RQreflex의 start 버튼을 눌러 반응시간(60초)을 확인하고 이 test strip을 B액에 담금과 동시에 start 버튼을 누른다.
- (6) 반응 시간 60초가 끝나면 test strip을 꺼내어 여액을 흘뿌리고 RQreflex의 검색 아답터에 삽입하고 start 버튼을 누른다.
- (7) 5초 후 측정이 종료되면 측정결과를 읽는다.(Fig. 6-91)

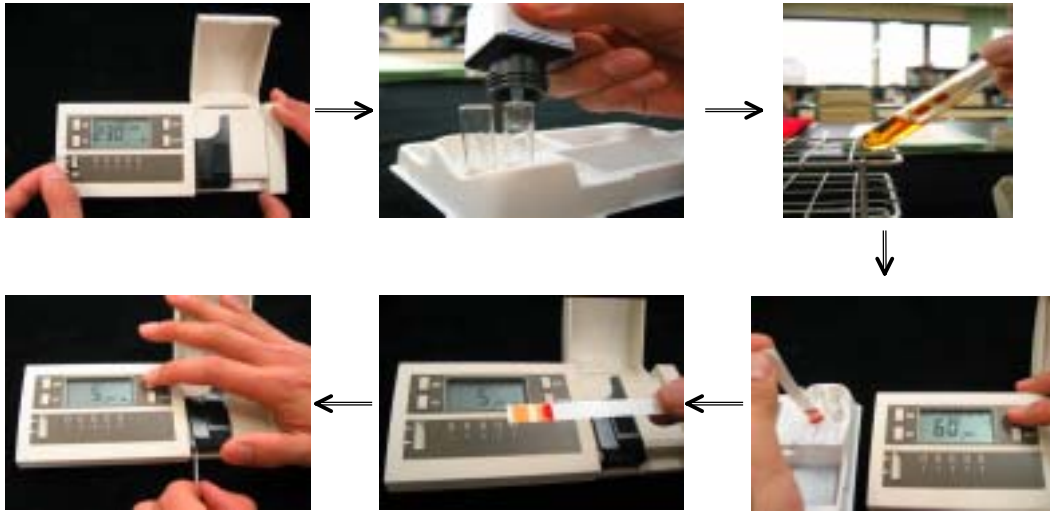


Fig. 6-91. Measurement method of K

(8) 계산: 측정결과 × 11

(9) 측정 결과를 다음 표 6-20과 비교하여 칼륨결핍, 정상, 칼륨과잉 상태를 판단한다.

표 6-20. 칼륨결핍 측정

| | | 칼륨결핍 | 정상 | 칼륨과잉 |
|-----|------|---------------|------------|-----------------|
| 오이 | 토양배지 | Too low, <3.7 | 3.7 - 6.7 | Too high, >6.7 |
| | 인공배지 | Too low, <3.1 | 3.1 - 4.8 | Too high, >4.8 |
| 토마토 | 토양배지 | Too low, <7.0 | 7.0 - 14.0 | Too high, >14.0 |
| | 인공배지 | Too low, <3.4 | 3.4 - 6.5 | Too high, >6.5 |

4.4.2. Chlorophyll meter를 이용한 토마토와 오이의 질소 영양상태 진단

목적: Chlorophyll meter를 이용하여 토마토와 오이 잎의 specific color difference sensor value(SCDSV)를 측정하여 질소상태 파악

준비물: Chlorophyll meter (SPAD-502, Japan)(Fig. 7)



Fig. 6-92. Chlorophyll meter

1. 진단방법

- 오이 -

- (1) 최근에 완전 전개한 엽(정단부에서 9번째에서 11번째 사이의 잎)을 Chlorophyll meter로 SCDSV를 각 잎에서 10번 찍어서 평균값을 측정한다.
- (2) 위와 같은 측정을 5주에서 반복한다.
- (3) 반복한 결과의 평균을 구한다.
- (4) 평균값을 다음 표 6-21과 비교하여 질소영양 상태를 파악한다.

표 6-21. 오이 질소영양상태 판정

| | 질소결핍 | 정상 | 질소과잉 |
|------|-------|-------------|-------|
| 토양배지 | <44.8 | 44.8 - 51.5 | >51.5 |
| 인공배지 | <36 | 36 - 40 | >40 |

- 토마토 -

- (1) 최근에 완전 전개한 엽(정단부에서 7번째에서 9번째 사이의 잎)을 Chlorophyll meter로 SCDSV를 각 엽에서 10번 찍어서 평균값을 측정한다.
- (2) 위와 같은 측정을 5주에서 반복한다.
- (3) 반복한 결과의 평균을 구한다.
- (4) 평균값을 다음 표6-22와 비교하여 질소영양 상태를 파악한다.

표 6-22 토마토 질소 영양상태 판정

| | 질소결핍 | 정상 | 질소과잉 |
|------|-------|-------------|-------|
| 토양배지 | <36.9 | 36.9 - 46.6 | >46.6 |
| 인공배지 | <39.5 | 39.5 - 49.0 | >49.0 |

제 5 절 연작지의 작부체계 설정 및 영양스트레스 극소화를 위한 관비농법기술 개발

5.1 연작지 작부체계 조사

5. 1. 1. 재료 및 방법

연구계획서에는 서울 근교 지역의 연작 작부체계를 조사하기로 되어 있으나 서울 근교 지역에서는 과채류 재배가 많이 이루어지지 않아서 1차적으로 전라남도 광양, 광주, 및 서울 근교 지역의 작부체계나 연작 년 수를 현지에 나가서 농민들에게 물어 조사하였다.

5. 1. 2. 결과 및 고찰

전남 광양지역에서 원예 조합원을 대상으로 조사한 결과 31개 작부체계 가운데 58%에 해당되는 18 농가가 박과 채소를 연작 하였다(표 7-1).일반적으로 오이 재배 후에는 호박을 많이 재배하며, 호박도 연작하는 것을 볼 수 있다(표 7-1).

엽채류인 깻잎은 봄, 여름철에 걸쳐 1기작으로 재배하는 것으로 나타났으며 양상추는 비교적 연작을 하는 것을 알 수 있었다. 지금까지 서울 근교에서도 상추는 특별한 이유가 없는 한 연작한다고 알려져 있다.

예외적으로 오이-오이-수박, 또는 호박-호박-수박 같이 박과 채소만 재배하는 농가를 볼 수 있었다.그러나 작목반에 문의한 결과 대부분 일정한 작부체계 보다는 시장 가격의 변동에 따라 연작에 관계가 없이 알맞은 작부체계를 결정한다고 조사되었다.

전남 광주지역의 작부 체계는 Table 7-2과 같다. 광주만 하더라도 광양보다 기온이 낮아 1기작 하고 벼를 재배하면서 담수 관리하는 경우가 많이 조사에 나타났다.

다수확을 하는 상위권의 오이 재배농가는 대부분 광폭 단동형 재래식 하우스 구조에 2중비닐+내부 부직포 커튼시설이나 3중 비닐 구조로서 1년 농사를 오이 작목 하나만을 재배하는 형태이다. 특이할 만한 것은 2작기 이후에는 벼농사를 짓고 3~4년 재배 후에는 반드시 새 재배지로 옮긴다는 점이다.

Table 7-1. 전남 광양지역 작부체계 실태 조사 집계표

(2000년 10월 31일 현재)

| 작목반 | 1기작 | 2기작 | 3기작 | 비고 |
|-----|-----|------------|-----|----|
| 1 | 오이 | 오이 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| | 방울 | 오이, 호박 | - | |
| 2 | 오이 | 호박 | - | |
| | 가지 | 가지 | - | |
| | 방울 | 호박, 방울, 가지 | - | |
| 3 | 오이 | 호박 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| 4 | 오이 | 오이 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| | 방울 | 오이, 호박 | - | |
| 5 | 오이 | 오이, 호박 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| | 방울 | 가지, 호박 | - | |
| 6 | 오이 | 호박 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| | 방울 | 호박, 벼 | - | |
| 7 | 오이 | 호박 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| | 방울 | 호박 | - | |
| 8 | 오이 | 호박, 벼 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| 9 | 오이 | 호박 | - | |
| | 호박 | 호박 | - | |
| 10 | 오이 | 오이, 호박 | 수박 | |
| | 호박 | 호박 | 수박 | |
| | 방울 | 방울 | 수박 | |
| | 양상추 | 양상추, 벼 | 수박 | |
| 11 | 깻잎 | 벼 | - | |
| | 부추 | 벼 | - | |
| 12 | 오이 | 벼 | - | |

주) 광양원예협동조합과 공동으로 방문 조사함

Table 7-2. 남부 광주지역 오이재배 농가의 작부체계 실태 조사

(2000년 5월 ~ 12월 현재)

| 구분 | 1기작 | 2기작 | 3기작 | 비고 |
|----|-----|-----|-----|------|
| 1 | 오이 | - | - | 무관리 |
| 2 | 오이 | - | - | 담수관리 |
| 3 | 오이 | 오이 | - | |
| 4 | 오이 | 벼 | - | |
| 5 | 오이 | 멜론 | - | |
| 6 | 오이 | 토마토 | - | |
| 7 | 오이 | 엽채소 | - | |

연작 년 수에 관해 전남지역의 순천(17), 여천(10), 광양(15), 나주(3), 고흥(18), 해남(6), 영암(4), 강진(3), 무안(3), 보성(3), 곡성(3) 등 총 100농가를 대상으로 조사한 결과 6년 이상 연작이 35%, 4-5년 연작이 27%, 2-3년 연작이 27%, 1년이 11%로 나타났다. 이들 연작지에서 오이 재배 후 담수 제염관리가 62%를 차지하고 있으며 후작으로 토마토 및 오이 재배가 주 작부체계를 이루고 있었다(Table 7-3).

연작연수는 6년 이상 연작이 35%로 2~3년이나 4~5년 연작보다 많은 경향을 보이고 있어 제염과 토양 병해충 등을 위한 토양관리가 요망된다고 볼 수 있다. 최근의 영농 패턴은 일반적인 경향이 없이 소득을 쫓아가는 농심이 그때그때 작물을 바꾼다. 물론 시설농가들이 보편적인 과채류, 엽채류 등 재배기술이 상당수준 향상되었기 때문이기도 하다.

Table 7-3. 전남지역 연작년수

(2000년 12월 현재)

| 연작 년수 | 계 |
|-------|------|
| 1년 | 11% |
| 2-3년 | 27% |
| 4-5년 | 27% |
| 6년 이상 | 35% |
| 합계 | 100% |

서울 근교 지역은 일산(경기북부)과 광주군(경기남부)의 토마토 재배 단지를 주축으로 조사를 해 본 결과 작부 체계는 다음 Table 7-4와 같았다.

엽채류는 상추를 겨울에 심고 여름에는 쑥갓, 비름, 열무, 근대 등을 심고 겨울에는

시금치 농사를 주로 짓고 있었다.

이들 엽채류는 거의 단일작목을 수확 동씩 짓는데 과거에는 상추가 주를 이루었으나 잎상추 채취 노동력과 관리를 고려해서 최근, 겨울에는 시금치나 잎파 등이 많이 재배된다고 한다.

이와 같은 추세는 앞으로 겨울에 난방을 하지 않고 이중 물커튼 방식을 이용하는 방법 하에서는 시금치의 엽채류 가격을 계산해서 재배가 가장 쉬운 시금치를 가꾸고 그 외 요즘에 인기 있는 갯이나 썩갯, 기타 쌈채소를 가꾸는 것으로 나타났다.

과채류는 오이(가온)를 재배하고 여름에는 놀리거나 호박을 재배하는 경우가 많았다. 계속 난방을 하고자 하는 농가는 억제나 축성 오이를 다시 재배하는데 그렇지 않은 농가는 겨울에 월동비를 감안해서 시금치를 선호했다.

토마토 재배 농가도 유사한 경향을 보였다. 그러나 조사 농가 대부분이 과채류는 금년 겨울에는 재배하지 않는 방향으로 생각하고 엽채류를 심겠다고 하였다. 따라서 겨울 동안의 작부 체계를 조사해서 많은 작물 가운데 연작 장애가 나올 수 있는 식물을 골라서 상호 기지 현상도 추가로 조사해 보고자 한다.

Table 7-4. 서울 근교 지역 엽채류 및 과채류 작부 체계 (2000년 8월-12월)

| 작부체계 | |
|--------------|----------------|
| 엽채류 (일산) | 상추-썩갯-상추 |
| | 상추-비름-상추 |
| | 상추-열무-시금치 |
| | 시금치-열무-시금치-시금치 |
| | 시금치-근대-시금치-썩갯 |
| | 열무-열무-열무-열무 |
| | 상추-상추-열무-상추 |
| 과채류 (광주군) | 오이-휴경-오이 |
| | 오이-호박-시금치 |
| | 토마토-휴경-토마토 |
| | 토마토-호박-상추(시금치) |

5.1.3. 적 요

연작지 작부체계를 조사한 결과 농가들은 연작의 유무는 채소시장 가격과 큰 관계가 있었다. 광양지역은 박과채소의 연작이 전체의 50%를 차지했는데 오이-호박, 호박-호박, 체계가 각각 25%였다. 방울토마토-호박연작은 약 20%정도였다.

서울근교는 엽채류는 상추-(썩갯,비름,열무)-시금치, 열무연작 등이 많이 이루어졌다.

과채류는 오이-호박-엽채류(시금치,상추),토마토-호박-엽채류 작부체계가 많았다.

5.2. 연작지 식물 상호작용 조사

5.2.1. 재배전작물의 영향

5.2.1.1. 재료 및 방법

연작지에서 전작물과 후작물과의 상호작용을 보기 위해 포트(Ø12cm)에 각종 엽채류를 재배하고 나서 오이를 파종해서 생육을 조사했다. 대조구는 같은 토양 조성의 포트에 일반포트와 동일하게 관수만 실시하였다. 물론 관수만 함으로서 식물에 의한 양분의 흡수는 적었으리라 본다. 아울러 식물의 흡수에 따라 후작물의 생육에 영향을 미치리라는 점을 감안했다.

5.2.1.2. 결과 및 고찰

그림 7-1에서 나타난바와 같이 전작물로 엔디브를 재배한 것이 가장 오이 유묘의 생육이 저조하였으며 적겨자, 치커리, 케일을 재배 포트에서 식물의 생체중이 낮았다.

물론 전작물을 재배한 모든 구가 대조구(식물을 기르지 않은 흙)보다 생육이 저조했다. 그래서 2 차년도 에서는 각 식물의 분쇄물을 일정량 주입해서 다양한 과채류나 엽채류를 파종하여 유식물의 생육을 비교해서 연작 장애 시 나타나는 기지 현상에 대해 보다 구체적으로 연구를 실시하였다.

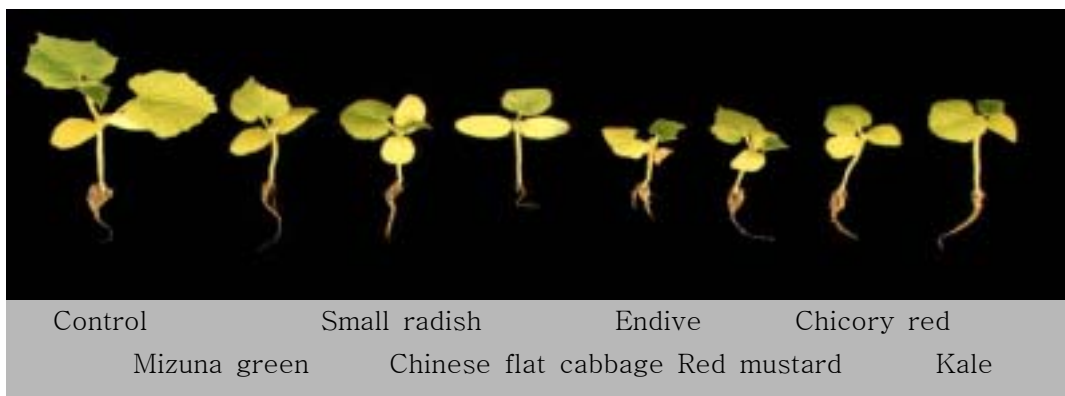


Fig. 7.1. Effect of pre-cultured crop on cucumber seedling growth in pot culture.

5.2.1.3. 적요

전작물로 다양한 채소를 재배한 다음 오이를 파종하여 생육을 비교한 결과 엔디브, 적겨자, 치커리, 케일 등이 오이유묘생장을 억제하였다.

5.2.2. 전작 채소 잔유물과 오이와 토마토의 생육 관계

1 차 실험에서 재배 전작물의 영향을 확인하고 2차 시험에서는 인위적으로 신선한 채소 종류를 토양 속에 주입하고서 생육 억제 현상이 어떻게 나타나는가를 조사하였다.

5.2.2.1. 재료 및 방법

소형 와그너포트(1/2000a)에 발흙(사질계, 3L)을 넣고 오이잎, 치커리잎, 엔디브잎, 상추잎, 콜라비잎, 알타리잎, 각각 500kg/10a, 1000kg/10a 수준으로 잘게 절단하여 화분에 넣고 잘 섞어주었다. 다만 오이와 알타리에서는 1500kg/10a 수준을 그리고 엔디브구에서는 250kg/10a 수준을 설치하였다.

공시 품종으로 오이는 ‘은성백다다기 오이’를 그리고 토마토는 ‘서광토마토’를 3월 20일 파종하였다. 파종 후 관수는 포트의 하단에 물이 흘러나오지 않을 정도의 수준으로 관수 하였으며 관수량은 발아 후 본엽이 나오기 전까지는 초기에 2-3일 간격으로 그리고 그후에 잎이 1매 까지는 2일 간격으로 그 이후에는 매일 관수 하였다.

파종후 ISTA방법에 의거하여 포장발아율을 조사하였다. 생육은 파종 후 10일째인 떡잎 높이까지만 키를 조사하였고 15일째부터는 5일 간격으로 최장 잎의 엽폭, 엽장, 엽병 길이, 초장, 그리고 지체부 줄기 굵기를 조사 하였다. 그리고 최종 생육 조사는 파종 후 30일째인 4월 19일 조사하였다. 화분에는 10립씩의 종자를 파종하고 도중에 습아주고 최종조사시기는 5그루의 유식물 만을 남겨두고 사진 촬영하였다.

5.2.2.2. 결과 및 고찰

오이의 발아율에는 오이는 처음 1차 시험에서와는 달리 엔디브에서 발아율 억제는 크게 나타나지 않고 오이잎 자체에서 그리고 상추, 알타리 등에서 발아율이 10-30% 까지 떨어지는 것을 알 수 있었다(Fig7- 2) 아울러 토마토에서는 치커리 1000kg/10a 이외에는 포장 발아율이 매우 저조한 것으로 나타났다.

특히 새로운 사실은 오이가 오이 잔유물에서 발아 억제가 되는 것보다는 오이 잔유물

이 토마토의 발아를 크게 억제했고 다음으로 엔디브, 콜라비의 순서로 억제되었다. 이것으로 미루어 토마토는 부숙되지 않은 생채소를 밑거름으로 쓸 경우에 상당한 발아 억제가 되는 것을 알 수 있었다(Fig. 7-3).

그래서 각각 어떤 물질이 억제의 요인이 되는가를 정밀 조사하기 위하여 식물을 갈아서 petridish에 넣고 발아율을 조사해 보았다. 생장에 지표가 되는 식물의 초장은 오이의 경우에 모든 구가 과종 후 20일 까지 초장의 억제 현상이 나타났으며 30일째에 가서 엔디브, 콜라비, 상추 등을 제외하고 생육의 반전이 이루어졌다.

이는 토양내의 미생물이 채소 잔유물을 분해 시키는데 약 1개월의 시간이 필요하다는 것을 의미 한다. 따라서 유기물 시용과 질소 공급 또는 채소 잔유물을 생분해 시킬수 있는 미생물과의 관계 등에 대해 재차 실험을 진행 중에 있다.

과종 후 30일째 오이의 최종 생육 조사에서 보면 치커리, 엔디브, 상추에서 신선중.

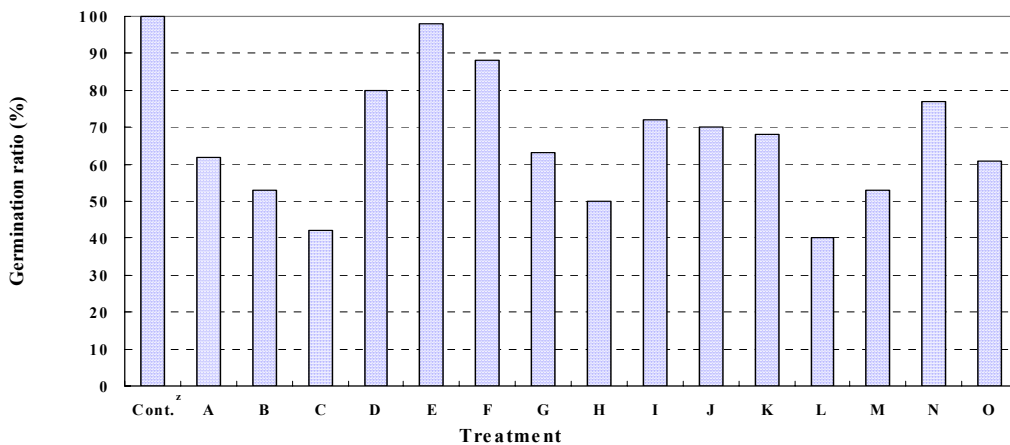


Fig. 5.34. Effects of different level of vegetable residues on the field germination ratio of tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL.) grown in pot.

^z See table 5.13.

의 감소를 볼 수 있었다(Table 7-5.). 초기에 발아와 생육 억제를 가져 왔던 오이 잔유물은 오히려 생육이 회복된 것을 알 수 있다. 이는 본 실험에서 따로 추비를 사용하지 않고 비교하였던 결과이므로 유기물의 분해 효과가 나오는 것으로 사료되며, 특히 배추과인 알타리 구에서 생육이 좋았다. 이는 이들 속에 함유되어 있는 glucoside 등이 미생물의 작용에 의하여 분해되면서 발아억제나 생육 억제현상이 해소된 것으로

추측된다. 따라서 앞서에서도 언급했지만 이들 물질의 동정을 통한 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

토마토의 결과는 Table 7.6(Fig. 7-5)과 같은데 모든 구에서 생육이 저조하였다. 특히, 생육의 억제 정도는 오이잎 1000kg/10a, 알타리잎 1000kg/10a, 엔디브잎 1000kg/10a, 콜라비 1000kg/10a 구에서 크게 나타났다. 따라서 앞으로 보다 자세한 생리 작용에 대한 연구가 필요하다고 생각되며 본 결과를 가지고 계속 시험을 수행하고자 한다.

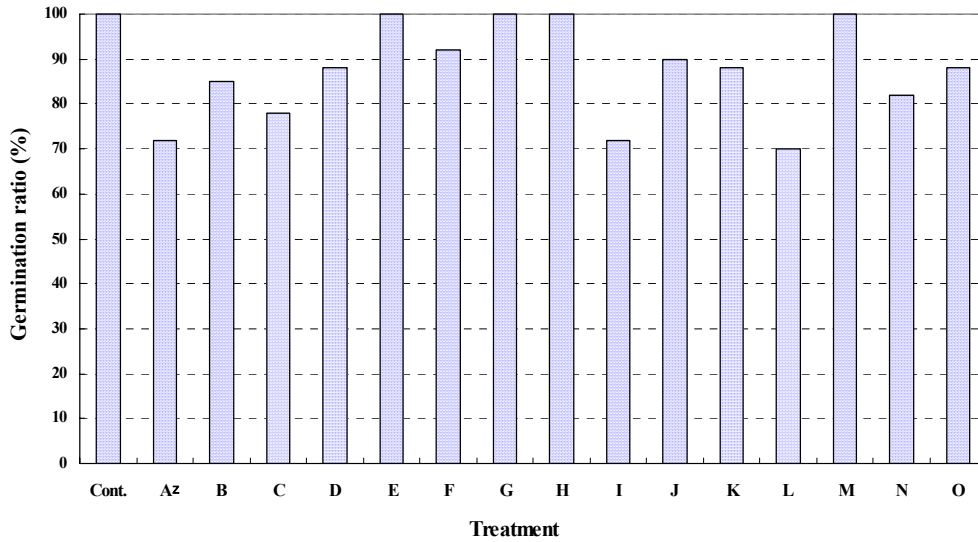


Fig. 5.33. Effect of different level of vegetable residues on the field germination ratio of cucumber(*Cucumis sativus* L.) grown in pot.

^z See table 5.13.

Table 7-5. Effects of different level of vegetable residues on the fresh and dry weight of cucumber(*Cucumis sativus* L.) grown in pot.

| Treatment (kg · 10a ⁻¹) ^z | Abbrev -iation | Top | | Root | | Total fresh wt. (g/plant) |
|---|-------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|---------------------------------|
| | | Fresh wt. (g/plant) | Dry wt. ratio (%) | Fresh wt. (g/plant) | Dry wt. ratio (%) | |
| Control | | 6.36 | 13.99 | 1.40 | 10.71 | 7.76 |
| | 500 (A) | 6.69 | 11.36 | 0.91 | 10.99 | 7.60 |
| Cucumber leaf | 1000 (B) | 6.18 | 10.68 | 1.01 | 8.91 | 7.19 |
| | 1500 (C) | 6.97 | 11.05 | 1.36 | 9.56 | 8.33 |
| | 500 (D) | 4.80 | 13.13 | 1.00 | 9.00 | 5.80 |
| Chicory leaf | 1000 (E) | 5.60 | 13.39 | 1.07 | 9.35 | 6.67 |
| | 250 (F) | 5.63 | 12.97 | 0.91 | 9.89 | 6.53 |
| Endive leaf | 500 (G) | 3.62 | 13.26 | 0.76 | 7.89 | 4.38 |
| | 1000 (H) | 5.09 | 12.18 | 1.45 | 7.59 | 6.54 |
| | 500 (I) | 2.22 | 9.91 | 1.26 | 6.35 | 5.45 |
| Lettuce leaf | 1000 (J) | 4.83 | 9.32 | 0.62 | 8.06 | 3.48 |
| | 500 (K) | 5.35 | 12.90 | 1.25 | 10.40 | 6.60 |
| Kohlrabi leaf | 1000 (L) | 8.78 | 12.98 | 1.52 | 8.55 | 10.30 |
| | 500 (M) | 7.73 | 12.16 | 1.34 | 11.19 | 9.07 |
| Altari leaf | 1000 (N) | 7.42 | 11.86 | 1.25 | 10.40 | 8.67 |
| | 1500 (O) | 8.58 | 11.66 | 0.86 | 9.30 | 9.44 |

^z Amount of application using fresh materials before sowing.

^y Sowing 20. March, Investigated 30, April



Fig. 7.4. Effect of different level of vegetable residues on the plant shape of cucumber(*Cucumis sativus* L.) seedling at 40 days after sowing

Table 7-6. Effects of different level of vegetable residues on the growth and development of tomato(*Lycopersicum esculentum* MILL.) grown in pot.

| Treatment (kg·10a ⁻¹) ^z | Plant height (cm) | Stem diameter (cm) | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | Leaf stalk (cm) | |
|---|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------|
| Control | 17.95 | 0.42 | 9.03 | 9.70 | 4.60 | |
| Cucumber leaf | 500 | 11.50 | 0.29 | 8.28 | 7.75 | 2.13 |
| | 1000 | 6.75 | 0.18 | 4.20 | 4.45 | 1.95 |
| | 1500 | 7.20 | 0.19 | 3.75 | 3.60 | 1.20 |
| Chicory leaf | 500 | 16.00 | 0.34 | 8.38 | 8.73 | 3.95 |
| | 1000 | 18.00 | 0.38 | 9.88 | 9.15 | 4.33 |
| Endive leaf | 250 | 16.48 | 0.39 | 9.20 | 9.13 | 4.10 |
| | 500 | 11.15 | 0.33 | 7.43 | 7.48 | 2.35 |
| | 1000 | 11.25 | 0.30 | 8.45 | 7.38 | 3.05 |
| Lettuce leaf | 500 | 12.38 | 0.38 | 8.65 | 8.93 | 3.55 |
| | 1000 | 10.00 | 0.39 | 7.50 | 7.85 | 3.38 |
| Kohlrabi leaf | 500 | 15.93 | 0.37 | 8.75 | 9.05 | 3.00 |
| | 1000 | 7.20 | 0.22 | 5.55 | 5.35 | 2.60 |
| Altari leaf | 500 | 10.93 | 0.33 | 7.85 | 7.95 | 2.85 |
| | 1000 | 12.38 | 0.33 | 7.88 | 8.13 | 2.68 |
| | 1500 | 11.43 | 0.32 | 7.83 | 7.83 | 3.05 |

^z Amount of application using fresh materials before sowing.

Fig. 7.5. Effect of different level of vegetable residues on the plant shape of tomato (*Lycopersicum esculentum* MILL.) seedling at 40 days after sowing.



5.2.2.3. 적요

각종 식물의 고염도 토양에서 제염효과시험은 실시한바 다음과 같은 결과를 얻었다.

제염효과가 가장 큰 식물은 옥수수 였으며 상추, 케일, 수수가 내염성이 있으면서 염류 감소 효과를 나타냈다.

오이 치커리 엔디브, 상추, 콜라비, 알타리 잎을 각각 500, 1000kg/10a 수준으로 포트에 뿌려서 혼합한 다음 오이와 토마토의 생육을 조사 하였다.

그 결과 발아율은 오이의 경우 보다 토마토가 더 억제적이 었다. 오이, 상추, 알타리 처리구에서 오이의 발아율이 10-30% 떨어졌다.

토마토는 이들 처리구에서 대조구보다 발아율이 낮았으며 특히 오이 잎의 처리구, 엔디브 잎처리구, 콜라비 잎의 처리구에서 50%이하의 발아율을 보였다.

유묘 생육에서 오이는 오이잔유물 처리구, 엔디브 잔유물 구에서 생육이 다소 억제되었다, 토마토 유묘는 오이, 엔디브, 알타리, 콜라비 잔유물에서 생육이 억제 되었다.

5.3. 염류제거 기초방법 연구

5.3.1. 각종 식물의 고염도 토양에서 제염효과 비교

5.3.1.1. 재료 및 방법

염류 제거를 위한 기초 연구를 하고자 1차로 서울 근교 지역에서 연작이 주로 이루어지는 쌈채소 종류로서 근대(백경근대), 비트(제일비트), 케일, 경수채, 상추 등 4종류의 엽채류와 오이(은성백다다기오이), 토마토(서광토마토), 가지(흑산호가지) 등 3가지 과채류, 그리고 옥수수(수원16호)와 수수를 공시 작물로 택하였다. 이들 작물을 염류 집적이 높은 토양(EC 7.0dS · m⁻¹)에 담긴 Wagner pot(1/2000)에 2000년 11월 25일에 파종하였다.

파종 후 1개월째와 3개월째 생육조사를 하였다.

관수는 염이 씻겨 내려가지 않게 저면 관수를 하여 염이 상승하도록 유도했다. 다만 3개의 pot 에는 식물을 심지 않고 보통 다른 식물에 주는 양과 동일한 양을 관수 하였다.

5.3.1.2. 결과 및 고찰

이렇게 하여 발아 한 것을 조사한 결과 옥수수가 90%로 가장 발아가 잘되었고 토마토 80%, 수수가 75% 그리고 가지, 케일, 오이 등은 비슷하게 불량하였다. 그의 식

물은 발아가 매우 낮아 20-30% 수준이었다(Table 7.7).

그러나 토마토는 발아후 1개월째 평균적으로 각 포트마다 2-3개체가 살아남고 나머지는 모두 녹아서 죽어버렸다. 그래서 이때부터 매일 500ml의 물을 두상관수하였다. 결국 파종 3개월째 살아남은 식물은 옥수수과 수수, 오이 그리고 케일 만 남고 그 외는 생육조사를 할 수가 없을 정도로 생육되었다. 이는 직접 파종에 따른 초기 유식물의 생육이 저조한 원인이라고 추측된다.. 그러나 우리가 실제 농가에서 제염을 위해서는 제염 가능 식물을 온실 내에 직파해야 효과를 볼 수 있다고 사료되었기에 억제제가 예상됨에도 직파 시험을 수행한 것이다.

그 결과 수확시기인 2월 25일에는 옥수수가 가장 높은 생체 수확(10a당 1600kg 수준)을 할 수 있었고 다음이 케일, 수수, 오이, 상추 순서였다.

이들 작물의 제염효과를 초기 토양 EC가 $7.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인데 옥수수가 수확 후 토양 내 EC가 $1.40 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 가장 낮았다. 상추도 $1.45 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 낮았는데 이는 관수에 따른 용탈 효과라고 생각된다. 초기에 상추의 생육이 억제되면서 정식 후 매일 옥수수와 같은 동량의 물을 공급해 염이 용탈되었기 때문으로 EC가 낮게 나타났다고 사료된다. 그러나 본 실험에서 제염을 위한 작물은 채소류 보다는 옥수수가 좋다고 사료된다. 물론 충분하게 장기 관수를 한다면 기존에 알려진대로 제염이 작물 재배보다 쉬운 것을 알 수 있었다. 즉 500ml 씩 2개월 관수 시 EC는 $0.7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에 불과 했기 때문에 즉, 제염 작물을 심지 않는다면 이에 잘 알려진대로 지속적 관수를 통한 제염이 필요하다. 다만 제거된 염이 지하수를 오염시키므로 이점은 앞으로 환경오염의 문제로 남을 수 있다고 본다. 독일에서는 염이 지하수로 내려가지 않게 관수 방법이 연구되고 있다. 그런 이유로 지하수 발달이 좋은 국내의 환경에서 관수에 의한 제염 방법은 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

5.3.1.3. 적요

고염토양에서 몇 가지 식물을 직파하여 발아 및 생육을 조사한 결과, 옥수수, 수수, 케일이 가장 생육이 좋아서 이들 식물이 내염성이 강하고 제염 식물로서 가능성이 있음을 알았다. 그 외 근대, 비트, 가지, 상추 등은 생육이 되지 않았다.



Corn Chard Cucumber Eggplant Kale
African millet Beet Tomato Mizuna green Lettuce

Fig. 7.6. Plant growth in salt accumulated soil.

Table 7.7.. Plant growth in salt accumulated soil^Z.

| Crops | 26. Dec. 2000 | | | 25. Feb. 2001 | | | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|----------|---------------------|
| | Plant height(cm) | Number of leaves | Germination rate(%) | Plant height(cm) | Root length(cm) | Number of leaves | Total fw | EC after harvesting |
| Corn | 72.0 | 4 | 90 | 138.1 | 9.2 | - | 80.0 | 1.40 |
| African millet | 23.5 | 3 | 76 | 104.5 | 8.7 | - | 31.5 | 2.35 |
| Chard | 7.7 | 3 | 20 | 7.7 | - | 3 | - | |
| Beet | 6.6 | 2 | 15 | 6.6 | - | 2 | - | |
| Cucumber | 9.1 | 2 | 40 | 9.9 | - | 7.5 | 16.6 | 2.70 |
| Tomato | 4.8 | 2 | 80 | 4.8 | - | 2 | - | |
| Eggplant | 0.8 | 0 | 45 | 0.8 | - | 0 | - | |
| Mizuna green | 1.7 | 0 | 20 | 1.7 | - | 0 | - | |
| Kale | 4.8 | 1 | 38 | 25.9 | - | 10.3 | 74.3 | 2.20 |
| Lettuce | 5.5 | 4 | 27 | 21.6 | - | 10 | 15.9 | 1.45 |
| Non-irrigated pot | | | | | | | | 7.00 |
| Irrigated pot (500ml/day) 3 Month | | | | | | | | 0.70 |

^Z Soil pH 5.04 , EC 7.0 ds · m⁻¹

• Sowing : 25. Nov

• Investigate : 26. Dec. 2000 , 25. Feb. 2001

5.4. 주요 국가별 연작장해 회피기술 조사 분석

5.4.1. 재료 및 방법

연작장해 회피기술에 관해서는 유럽국가 중에 독일이 가장 많은 연구를 한 바 있다. 그러나 이들 대부분이 원예작물을 대상으로 한 것이 아니라 일반작물을 대상으로 하였다. 따라서 본 연구는 유럽에서 우리나라와 같이 플라스틱 온실이 가장 많은 스페인을 대상으로 연작장해 대책을 조사해보고 아울러 독일, 일본 등의 연작장해, 특히 시설원예에서 문제가 되는 염류집적대책에 대해 방문 및 문헌적으로 조사한 바를 정리하고자 한다.

5.4.2. 스페인의 연작장해 회피기술

2001년 2월말에 스페인 현지를 방문하여 여러 연구소와 농가를 다니면서 연작지 토양대책을 조사한바 다음과 같이 요약할 수 있다.

토양소독에 의한 병충해 방제는 이스라엘처럼 주로 메틸브로마이드를 사용하고 일부에서는 점적관을 이용해서 살균제를 토양에 관주하는 경우가 있었다. 그러나 메틸브로마이드 사용금지에 대한 대책은 아직 세우고 있지 않았다.

염류장해 대책은 실제 병발생을 줄이고 관리의 편의성을 위하여 인공적으로 유기질이 섞인 흙을 (토양용적대비 유기물=10% v/v) 제조하여 25-30cm 깊이로 깔고 그 위에 10cm정도 왕모래(직경 1-2mm)를 멀칭해 주는 형태가 주를 이루었다. 관수는 점적관 수법을 주로 사용하고 있었다. 지중해성 기후라서 강이 별로 없으므로 모래 채취가 어려워 사질계 산흙을 채로 쳐서 사용하였다.

식물을 심는 방법은 유기물과 흙이 섞인 곳에 식물을 심고 어느 정도 자라면 모래를 덮어 주는 형식(Fig. 7.7. 참조)을 취하고 있었다. 심토가 인조토로 되어 있으므로 적당량을 관수 할 경우에 메틸브로마이드 소독을 병행하면 10여년간 별 문제 없이 모든 과채류를 재배 할 수 있다고 하였다. 이는 표토 10cm가 건조한 모래로 되어 있어서 식물 잔유물을 잘 제거할 경우에 만할병이나 기타 병의 전파를 막을 수 있는 장점이 있기 때문이라고 생각된다. 다만 인조토를 만들기 위해 많은 산을 무자비하게 절단 내고 있어 생태적인 문제가 많이 발생하고 있었다

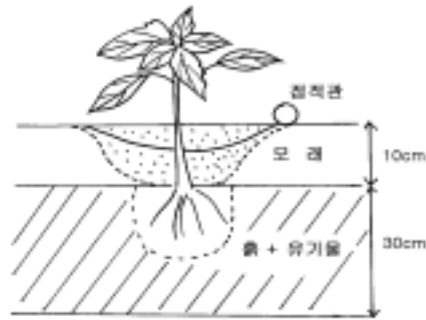


Fig. 7.7. 스페인 농가가 대부분 사용하는 재배 형태.

5.4.3. 독일의 연작장해 회피 기술

유럽국가 가운데 가장 환경친화적으로 식물을 재배하는 독일의 시설내 연작장해 대책은 다음과 같다.

독일은 토양소독을 크게 증기소독과 화염방사기 이용 소독으로 나누고 있었다. 과거에는 메틸브로마이드를 썼으나 2000년대에 들어오면서 이를 전면적으로 기피하고 증기소독기와 화염방사기 소독을 실시하고 있었다. 증기소독은 100℃ 되는 증기를 토양표면에 두꺼운 비닐을 덮고 가장자리에 모래주머니를 올린 후 여기에 공급하는 방식과 증기날(steam blade)을 이용한 winch 방식을 취하고 있었다. 이 방식은 증기가 땅속으로 들어가면서 뒤쪽에서는 비닐을 덮어 온실을 소독하는 방식으로 처리 시간은 총 30분 정도를 소요하고 있었다.

우리나라도 앞으로 증기소독에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하다고 사료되었다. 염류장해 대책은 독일에서는 온실 구조적 측면에서 염류집적을 회피하는 방식을 우선 채택하고 있었다. 이는 온실 지붕이 완전히 열리는 full open 형식의 온실을 택하여 빗물로 염류를 제거하는 방법이며 이때 지붕이 가운데를 중심으로 모아지는 형(카프리오형)과 완전히 open되는 온실(프츄라 온실)로 구분되었다. 이 경우에 비교적 비가 많이 오는 시기에 온실을 열어서 제염을 시킨다고 하나 실제 우리나라처럼 비가 많이 오지 않아서 큰 효과가 없다고 한다. 그래서 이런 온실은 여름철 고온기의 환기를 겸해서 사용하는 것이 보다 효과가 있다고 하였다. 그 외 약 10a(300평)되는 온실의 하부 양면에 레일을 깔고 1년 재배 후에 옆으로 옮겨가는 이동식온실을 일부 택하

고 있었다.

토양 내 염류집적에 따른 시비법 개선은 N-min 방법을 택하는데 이 방법은 알맞은 질소비료를 시비함으로서 채소내 질산태 질소의 집적을 막을 뿐만 아니라 전체적으로 알맞은 시비로서 토양의 염류집적을 막는 방법이다. 계산방법을 요약하면 다음 Table 7.8과 같다.

토양을 분석해서 질소가 0.03 ~ 0.3%(유기물이 95%라고 가정)라고 하고, 여기에 30,000을 곱하면 1ha당 900-9,000kg의 질소가 0-20cm 땅 속에 들어 있다고 계산됨.

◦ 연간 1-3%의 유기물이 분해(온도, 습도에 따라 다름)된다면 약 10-300kg의 질소가 토양에서 공급되며 이 가운데 다시 30%만 식물이 이용할 때 3-100kg/ha의 질소가 공급된다. 이와 같이 계산된 질소의 양을 기준으로 다음 제시한 표를 기준으로 해서 채소 재배 토양에 질소 시비량을 계산한다.

시비량 = 필요량 - N-min방법에 의한 토양내 가용 질소량

염류 용탈 방지 연구를 조사한바, 독일에서는 토양 30cm, 60cm, 90cm 에 tensiometer를 설치하고 점적 관수된 양액이 60cm 이하로 내려가지 않고 식물의 근권에서 양분이 모두 흡수 되도록 하는 연구를 하고 있었다. 즉, 식물이 필요한 양만 공급해서 비료 성분의 지하수 오염을 막을수가 있어서 앞으로 국내에서도 적극적인 연구를 통한 실용화의 필요성이 매우 크다고 생각이 된다.

Table. 7. 8. 주요 채소의 질소 필요량(Schwermann)

| 채 소 종 류 | 필 요 량(kg/ha) | 채 소 종 류 | 필 요 량(kg/ha) |
|-----------|--------------|-----------|--------------|
| 방울다다기 양배추 | 300 | 시 금 치 | 220 |
| 꽃양배추 | 300 | 강 남 콩(고성) | 120 |
| 브로콜리 | 300 | 강 남 콩(왜성) | 140 |
| 콜 라 비 | 180 | 완 두 | 80 |
| 양 배 추 | 270 | 양 과 | 180 |
| 양 배 추(봄) | 200 | 당 근 | 200 |
| 양 배 추(가을) | 325 | 리 크 | 220 |
| 양 배 추(여름) | 275 | 비 트 | 160 |
| 케 일 | 180 | 서양부추 | 200 |
| 무(20일) | 100 | 셀 러 리 | 250 |
| 무 | 200 | 아스파라거스 | 150 |
| 배 추 | 220 | 토 마 토 | 250 |
| 치 커 리 | 80 | 오 이 | 200 |
| 엔 디 브 | 120 | 쥬키니 호박 | 200 |
| 결구상추 | 120 | 옥 수 수 | 150 |

5.4.4. 일본의 연작장해 회피 기술

일본에서는 토양소독을 지금까지 메틸브로마이드를 썼으나 2004년부터 쓸 수 없어서 새로운 토양소독법을 찾고 있다. 크게 두 가지 방법으로 나누는데, 하나는 여름철 고온기에 우리나라처럼 물과 약간의 석회를 토양에 뿌리고 비닐로 피복을 하고 온실을 밀폐시킨 후 자연광을 이용한 장기(1개월) 소독법이다. 다른 하나는 열탕수 이용법으로 100℃물을 온실에 충분히 뿌려주는 방법을 사용하는데 문제는 어떻게 토양 깊숙히 들어가 토양 속까지 소독을 할 수 있는냐에 달려 있다. 열탕법은 병균을 죽이면서 많은 열탕수를 이용 시에 염류를 다소 용탈시킬 수 있는 장점이 있다.

일본에서는 염류제거법으로 여름 고온기에 사료작물을 이용한 방법을 이용하고 있었다. 이는 2000년 12월 일본농업기술센터에 1주일간 머물면서 여러분들의 의견을 듣고 자료를 모아 온 것으로 주로 수수류를 사용한다고 한다. 주로 파종기는 4-7월로 10a당 3kg을 뿌린 후 약 1-2개월 기른 후 잎을 제거하면 효과가 있다고 한다. 하우스 멜론의 후작이나 토마토 억제 전작에 알맞다.

이 방법을 사용하면 다음 표에서와 같이 가지의 반신위조증 발생 온실 지역에서 사

료용 수수의 여름철 재배 수량을 대조구 보다 20% 증가시키면서 발병율은 거의 나타나지 않았다고 한다. 국내에서도 앞으로 이런 분야에 대한 연구가 기대 된다.

Table 7.9. 수수를 이용한 가지의 수량성 비교(오사까 농림기술 센터)

| 처 리 구 | 연작년수 | 가지수량 (kg/10a) | 수량지수 | 불량과율 (%) | 발병율 (%) |
|-------|------|------------------|------|-------------|------------|
| 수 수 | 7 | 8.71 | 122 | 35.7 | 0 |
| 수 수 | 4 | 9.26 | 130 | 16.8 | 0 |
| 무 처 리 | 5 | 7.13 | 100 | 27.8 | 100 |

일본 시설원예에서도 우리나라처럼 선충이 문제가 되고 있다. 우리나라의 경우에 담전윤환식을 이용한 방법으로 선충을 예방하기도 한다. 일본에서는 문헌적 조사에 의하면 선충의 밀도억제에 몇 가지 식물이 유효하다고 한다. 우리에게는 다소 생소한 식물이나 콩과식물 네마그린(일본명)이 모든 채소식물에 피해를 주는 선충밀도 억제에 매우 효과적이라고 보고되고 있다. 아울러 수단그래스는 오이, 수박, 메론 등에 기생하는 고구마선충에 특히 효과가 있다고 한다.

그리고 엽·근채류인 무, 당근, 상추의 선충(*Meloidogyne*)에는 결명자와 메리골드가 아주 특효인 것으로 조사 되었다. 이들은 휴한기인 여름에 기르는 것이 좋으며 정식 전에 식물전체에 로타리를 치는 것이 좋다.

5.4.5. 적 요

국가별연작 장애 회피기를 조사 분석 한 결과 스페인은 메칠브로마이드를 사용하기로 하나 주로 객토법을 많이 쓰는 것을 알 수 있다. 방법은 10cm 정도 모래를 연작지 토양위에 덮고 거기에 식물을 심어서 가꾸는 방법을 택했다.

독일은 증기소독법을 많이 사용하며 N-min 방법을 통해 토양 중 가용질소 양을 계산해서 최적 비료를 시비함으로서 염류의 집적을 미리 막는 방법을 사용했었다. 일본은 알맞은 윤작으로 염류집적을 막고, 고염지에서는 옥수수를 재배해서 제염 하고 있었다.

5.5. 제염법에 의한 영양 스트레스 경감 기술 개발

5.5.1 연작지 토양에서의 제염기술 확립

5.5.1.1. 연구 목적

본 연구는 연작에 의한 염류직적을 극소화시킬 수 있는 실제적인 방법을 찾기 위해 농가에서 실시하는 관행적 살균시험과 비교해서 새로운 제염기술을 확립하기 위하여 실시하였다. 연작에 의한 염류직적은 숙명적이지만 비료형태와 시비량에 주의하면 집적 속도를 지연시킬 수 있다. 일반적으로 제염방법으로는 크게 나누어 물을 이용한 제염, 작물을 이용한 제염, 환토, 객토 등에 의한 제염방법 그리고 유기물 시용에 의한 제염이 있다. 따라서 이번 실험은 국내외 방법들을 통하여 제염기술을 확립하는데 있다.

5.5.1.2. 재료 및 방법

본 제염방법 구명 실험은 전남구례오이시험장과 인근 구례군 용방면을 대상으로 실시하였다. 처리구는 오이수확 직후 방임구, 오이 수확 후 태양열 소독구, 오이 수확 후 담수+태양열 소독구, 봄오이 수확 후 벼 재배구, 봄오이 수확 후 택사 재배구, 봄오이 수확 후 여름오이 재배구 등 6 처리구를 설정하였다(Table 7.10).

오이 수확 후 방임구(Fig. 7.8)와 태양열 소독구(Fig. 7.9)는 6월 30일까지 오이를 재배하였다. 방임구는 측창을 개폐하였고, 태양열 소독구는 하우스문만을 닫아 두었다. 담수 후 태양열 소독구(Fig. 7.10)는 봄오이 수확 후에 1회 담수한 다음 비닐을 덮어서 소독처리 하였다. 벼재배구와 택사재배구는 오이를 6월 10일까지 재배한 다음 후작으로 재식하였다. 봄오이 수확 후 여름 오이구는 6월 10일까지 봄오이를 재배 후 여름오이를 6월 20일 정식하였다. 토양채취는 가을재배가 시작되는 9월 10일에 모두 실시했다. 농업진흥청 방법에 의해 토양을 채취 후에 70℃ 건열건조기에 건조하여 토양 pH, EC, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ 등을 조사하였다.

Table 7.10. 오이재배지 제염처리 방법

| 번호 | 시 험 구 | 위 치 | 비 고 |
|-----|---------------------|-----------|------------------------|
| I | 봄오이 수확 직후 방임구 | 구례 오이시험장 | 벗짚 시용 후 30일간 관개 및 비닐멀칭 |
| II | 봄오이 수확 후 태양열 소독구 | 구례 오이시험장 | 비닐멀칭 |
| III | 봄오이 수확 후 담수+태양열 소독구 | 구례 오이시험장 | 1회 담수 후 전면 멀칭 |
| IV | 봄오이 수확+벼 재배구 | 구례 용방면 용정 | 담수재배 |
| V | 봄오이 수확+택사 재배구 | 구례 용방면 신기 | 담수재배 |
| VI | 봄오이 수확+여름오이 재배구 | 구례 용방면 사림 | 관비재배 |



Fig. 7. 8. 오이 수확 직후 방임.



Fig. 7.9. 오이 수확 후 태양열 소독.



Fig. 7.10. 오이 수확 후 담수+태양열소독

5.5.1.3. 결과 및 고찰

첫째, 담수와 태양열 소독에 의한 제염 방법(I, II, III)의 효과를 비교해 보았다 (Table 7.-11).

pH에는 서로 큰 차이가 없었으나, EC에서 1회 담수 처리구가 약간 낮은 결과가 나왔다. 또한 치환성 양이온인 Mg^{2+} 도 담수 처리구에서 다소 낮게 나왔다. 따라서, 태양열 소독은 토양내 세균을 소독해 줄지는 몰라도 제염에는 전혀 효과가 없는 것으로 나왔다. 담수 처리구에서 EC가 다소 낮아지긴 하였는데 이는 1회 담수 처리 후 비닐만 피복하였기 때문에 기대만큼 낮아지지는 않았다. 이는 보비력이 낮은 모래땅은 염류가 적게 집적되어도 바로 염류장해가 발생하고, 담수하면 비교적 빨리 제염되지만, 점토함량이 높은 토양은 모래땅 보다 염류집적이 느리고 담수하여도 제염효과가 느린데 기인하는 것으로 보인다. 특히 본 실험에서는 소독을 위해 1회 담수 후 비닐 피복을 덮었기 때문에 만일 계속 담수를 한다면 제염의 효과가 증대하리라 생각된다. 담수 처리 시 하층으로 침투가 잘되지 않는 곳에서는 다시 염류가 표층으로 상승할 우려가 있어, 담수에 의한 제염의 효과를 증대시키기 위해서는 사전에 명거 또는 암거 배수 시설이 필요하다. 태양열 소독의 경우에는 제염 효과가 없었으므로 살균의 효과를 측정해 보고자 한다.

둘째, 흡비작물 재배에 의한 제염 방법(IV,V,VI)의 효과를 비교하였다.

재배의 휴한기를 이용하여 단기간 흡비력이 큰 작물을 재배하는 방법이 효과적이다. 1차연도 연구결과에 의하면 시설재배지에서 토마토를 재배한 후 7월초에 옥수수를 파종하여 8월에 수확한 후 토양의 염류 제염효과를 분석한 결과 여러 가지 작물 중에 옥수수 재배의 효과가 가장 좋은 것으로 나타났다. 이번에 제염 작물로 시험된 것은 벼, 택사, 여름오이였다. 이들 EC의 변화를 측정 결과, 벼와 택사 처리구에서는 6월 10일 재식 후 조사시점인 3개월 동안 담수상태가 지속적으로 유지되어 낮은 EC를 보였고 치환성 양이온 Mg^{2+} 함량도 50%가 감소되었다. 또한 이들 처리구는 I, II, III 보다 3배 더 낮은 EC를 나타내었다. 일반적으로 보급되어 있는 제염기술에서 담수처리보다 흡비력 작물을 재배하는 것이 제염에 효과적이며, 이 방법을 사용 시 작물의 휴한기를 잘 파악하고 있어야 하며, 흡비력 작물 선발시 후작물과의 길항작용을 잘 고려해야 한다. 본 실험에서 사용된 벼와 택사의 논밭 윤환식 제염방법은 제염용탈과 식물체의 흡수로 인하여 가장 효과가 큰 것으로 나타났다.

Table 7.11. 제염후 토양 화학성 조사

| Treatment (kg/10a) | pH | EC(dS·m ⁻¹) | | Exchangeable cation (cmol·kg ⁻¹) | | |
|-----------------------|------|-------------------------|------------------|--|------------------|----------------|
| | | Before culture | After culture | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ |
| I ^z | 6.73 | 1.23 | 2.45 | 6.65 | 1.12 | 2.00 |
| II | 6.39 | 1.21 | 2.42 | 6.76 | 1.05 | 2.74 |
| III | 6.76 | 1.18 | 2.24 | 6.65 | 0.93 | 1.99 |
| IV | 5.98 | 1.27 | 0.70 | 7.26 | 0.59 | 0.97 |
| V | 6.17 | 1.24 | 0.71 | 7.15 | 0.56 | 2.67 |
| VI | 6.75 | 1.22 | 1.34 | 7.48 | 0.82 | 2.54 |

^z Table 5. 1 참조.

5.5.1.4. 적요

여러 제염 방법(태양열처리, 담수, 담수+태양열, 벼재배, 택사재배)을 비교 연구한 결과 봄오이를 재배한 다음 벼나 택사를 심어 담수처리가 병행될 경우에 가장 효과적임을 알 수가 있었다

5.6. 영양 스트레스 경감을 위한 토양 개량제의 효과 규명

5.6.1. 전작물 잔유물이 후작식물의 생육에 미치는 역할

5.6.1.1. 연구 목적

국내 채소류 및 시설재배면적이 2000년 시설채소면적을 기준으로 약 90,000ha로 이는 1990년대에 비해 2배 이상 증가함에 따라 제한된 국토에서 연작장해에 따른 영양 스트레스의 출현이 불가피한 실정이다. 따라서 최근 국내에서 전작물과 후작물 사이의 작물 상호작용과 특정양분의 소실 집적에 따른 영양 스트레스에 의한 연작 피해가 많이 나타나고 있다. 1차년도 연구결과 오이와 토마토 유묘기시 전작물의 영향을 보았을 때 초기에 생육을 억제시키다가, 뿌리가 왕성히 생성된 이후부터 생육상의 차이가 나타나지 않았다. 따라서, 이번 실험은 연작지에서 잔유물이 채소류 생육에 억제 요인인지, 아니면 영양 공급원이지를 구분하기 위하여 시행되었다.

5.6.1.2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 공시작물은 오이 '은성백다다기'(홍농종묘)와 토마토 '서광'(홍농

종묘)을 사용하였다. 처리구는 상추, 배추, 양배추, 그리고 파 잎이 각각 10a당 1000kg 이 담겨진 잔유물 처리구와 상추, 배추, 양배추, 그리고 파 잎을 소독한 잔유물 소독 처리구이다. 잔유물 처리구는 소형 Wagner pot(1/2000a)에 발효(사질계)을 3kg을 충전하여서 상추, 배추, 양배추, 그리고 파 잎 잔유물을 각각 1000kg/10a을 토양과 균일하게 섞어 주었다. 그리고 잔유물 소독 처리구는 위 4가지의 잔유물을 100℃ 물에 5분간 가열하여 토양과 균일하게 섞어 주었다. 그리고 공시작물인 오이와 토마토를 파종하였다. 관수는 하루에 250±50ml씩 표면관수를 실시하였다. 생육조사는 파종 7일 후 포장발아율과 파종 후 30일 후에 초장, 엽장, 엽폭, 근장 그리고 생체중을 조사하였다.

5.6.1.3. 결과 및 고찰

(1). 포장발아율

오이의 포장발아율은 전반적으로 전작물 처리구에서 대조구 보다 발아율이 저조하였다(Fig. 5. 4). 특히 배추과인 배추와 양배추 처리구에서 각각 50%, 30%의 발아율을 보였다. 이 결과는 전작물이 오이의 발아에 영향을 미침을 나타내준다. 더욱 더 확실한 것은 전작물 열처리시 발아율이 향상됨을 보였다. 따라서 전작물에 있는 미생물 또는 어떤 물질이 오이의 발아를 억제시키는 것으로 보인다. 결론적으로 오이 파종시나 초기 육묘시 전작물의 부숙이나 독성물질 제거가 매우 중요하다고 본다.

토마토의 포장발아율은 전작물 처리구와 전작물 열처리구간에 발아율 차이는 없었지만, 전작물의 종류에 따라 발아율 차이를 나타냈다(Fig. 5. 5). 특히 백합과인 파 처리구에서 모두 50% 낮은 발아율을 보였다. 이런 경우 작부체계 설정시 전작물에 따른 발아상태를 고려해서 계획을 해야 한다.

(2). 생육

오이의 생육은 포장발아율에서 저조했던 양배추 처리구 모두에서 가장 좋은 결과를 나타냈다(Fig. 7-11). 또한 다른 처리구 들도 생육상의 큰 차이를 나타내지 않았다. 이는 1차년도 연구결과와 비슷하게 초기의 생육은 저조하였으나, 뿌리가 왕성하게 생성된 이후부터는 처리구간에 생육상의 큰 차이가 없었다. 그리고, 대부분 처리구에서 대조구보다 양호한 생육을 보였다. 이 결과는 잔유물이 생육 초기 이후부터는 영양공급원으로서 역할을 한다고 사료된다. 그러나, 같은 전작물 처리간에서는 열처리구 보다 무열처리구가 생육이 양호하였다. 이 결과는 무열처리구에서 포장발아율이 저조하여,

재식 밀도가 커지게 되었다. 이 결과로 생육이 회복되는 생육초기 이후부터는 열처리 구보다 무기물 흡수량에서 더 좋은 조건이 되어 다음과 같은 결과가 나오는 것으로 생각된다.

토마토의 생육은 토마토의 포장발아율과 비슷한 결과가 나왔다. 전작물의 종류에 따라 생육의 차이를 보였다(Table 7.12-13). 오이의 생육과 유사하게 전작물 처리구들이 대조구보다 더 좋은 결과를 보이는 것으로 보아, 토마토의 경우도 전작물이 영양 공급원으로서 역할을 하는 것으로 보인다.

위 결과들을 종합해 본 결과, 전작물은 과채류의 초기 생육, 특히 발아 억제에 영향을 미치고, 초기 이후부터는 생육억제 보다는 영양 공급원으로서 생육 증진에 기여했다. 과거에는 기지현상이 단순히 영양분 부족에서 오는 것이라고 보았으나, 지금은 영양분을 인위적으로 충분히 공급할 수 있기 때문에 그 중요도가 낮아진 반면 독소, 충해, 병해 등을 중시하게 되었다. 그러나 독소, 충해, 병해의 원인은 토양의 물리화학적 변화에서 오는 것을 잊어서는 안 된다. 왜냐하면 토양의 통기성이나 통수성(물빠짐)이 좋으면 자연히 해충이나 병원성균의 증식도 저지되기 때문이다. 또한 토양의 물리화학적 성질이 건전하게 유지되면 독성물질이 생성되더라도 과다하게 축적될 수 없고, 미생물이 원활히 활동하여 쉽게 분해되어 해를 일으킬 수 없기 때문이다. 그러나 토양의 물리성이 불량하면 식물체에서 분비하는 독성물질이나 분해생성물질들이 독성물질이 되기 쉽다. 유기물이 분해될 때 생성되는 독성물질은 호기적 상태에서는 발생되지 않고 혐기적 상태에서 많이 발생되는데 산의 생성이 그 예이다. 작물의 잔존물이나 생체에서 나오는 물질들이 같은 작물이나 유연작물 생육에 피해를 주는 일이 있다. 이를 타감작용이라고 한다. 이는 1937년에 Molish가 명명하였는데 그 후 작용물질들이 밝혀졌다. 이들 물질과 유독물이 집적되면 기지현상이 발현되지만 이들 물질이 유실되거나 분해되면 기지현상이 없어진다. 토마토 농사를 잘 짓는 독농가에서는 1년에 1작기만 재배하고 담수를 함으로써 해마다 좋은 수확을 하는데, 이는 유독물질이 담수에 의하여 제거되므로 기지현상이 나타나지 않게 된 데 연유한 것으로 보인다. 그리고, 타감작용에 있어서는 보리, 귀리, 밀, 벳치, 브로콜리, 수단그라스 등의 잔재물이 분해된 토양침출액에서 상추의 발아생장에 영향을 미치는 것을 보면 아직 밝혀지지 않았으나 시설하우스 재배작물 간에도 영향이 없지는 않은 것 같다. 상추와 무에 대

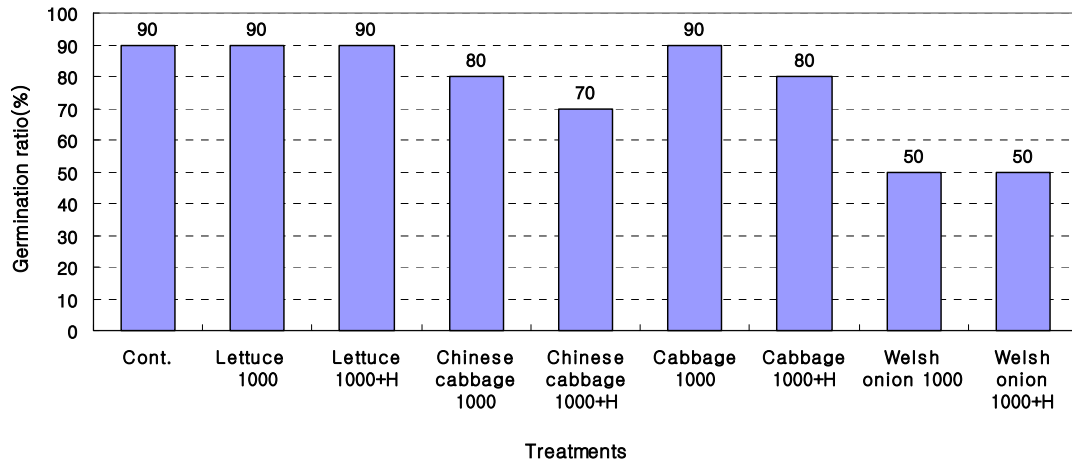


Fig. 7.11. 잔유물과 잔유물 가열시 오이 포장발아율에 미치는 영향

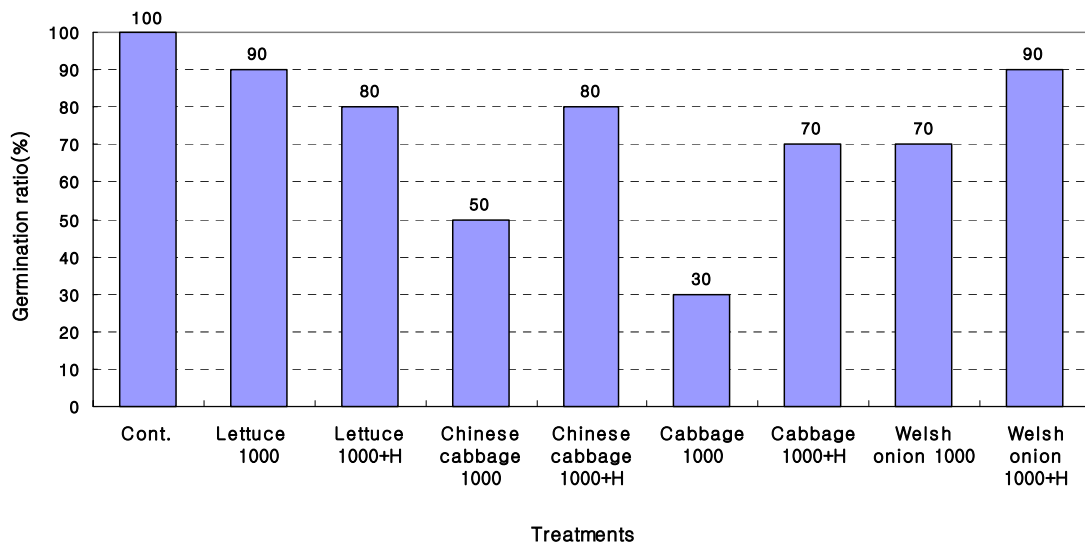


Fig. 7.12. 잔유물과 잔유물 가열시 토마토 포장발아율에 미치는 영향

한 시험결과를 인용하면, 알팔파 연작장해에 관여하는 타감작용 물질의 탐색 및 생물검정 연구결과에 의하면 알팔파의 타감작용은 종자추출물에서도 타감작용이 있고, 알

팔과 재배지 토양추출물도 무종자 발아와 생육에 영향을 주었다. 알팔과 재배지 토양과 비재배지 토양에 무를 재배한데서도 종자발아와 생육에 영향을 주어 타감작용이 있다고 하였다. 이때 작용하는 타감작용 물질로는, salicylic acid, p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, syringic acid, p-coumaric acid, ferulic acid 등을 분리 동정하였고 하였다. 한편 알팔과에서는 타감작용 물질 뿐만 아니라 자기독성 물질도 동시에 포함되었음을 시사하였다. 각종 작물재배 시 토양 침출물과 작물 잔류물의 추출물이 상추의 발아와 생육에 영향을 미치는데, 보리와 브로콜리에서는 뿌리신장에 저해가 있었다. 이와 같이 전 후작 영향에 대해서는 질소의 고정과 같은 유용한 면이 있는가 하면 타감작용 물질에 의한 나쁜 영향일 수도 있다. 이 결과를 통해, 연작지에서의 영양스트레스 감소를 위해서는 건실한 육묘를 이용하는 것이 바람직하다. 또한 미생물 제제, 활성탄, 목초액을 통해 전작물의 부숙을 가속화하여, 초기의 영양스트레스를 극복하고, 영양 공급원으로 기능을 하리라 본다.

5.6.1.4. 적요

오이의 포장발아율은 포장에 배추과 잔유물을 처리하면 발아율은 억제적이었으나 가열하여 살포시는 억제효과가 완화되었다. 특히 가열하여 살포 시에 초기 생육도 촉진적이었다.

토마토에서는 과잔유물의 발아억제가 심했는데 가열한 잎과는 초기 생육을 오히려 촉진하였다. 이로 미루어 배추과와 백합과는 생체로 이용 시에 발아와 생육억제가 있음을 알 수가 있었다. 반면에 완전히 익힌다든지 하면 발아 억제나 생장억제물질이 파괴되고 오히려 촉진되는 것을 알 수가 있었다

Table 7.12. 잔유물과 잔유물 가열시 오이 유묘 생장에 미치는 영향.

| Treatment (kg/10a) | Plant height (cm) | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | Stem diameter (cm) | Root length (cm) | Fresh weight (g) | Dry weight (g) |
|-----------------------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----------------|
| Cont. | 5.40 ab ^z | 5.71 a | 4.00 a | 2.77 b | 14.45 a | 6.53 ab | 0.33 ab |
| Lettuce 1000 | 6.18 a | 6.14 a | 4.98 a | 3.19 ab | 14.15 a | 7.47 a | 0.35 a |
| Lettuce 1000+H ^y | 4.56 b | 5.28 a | 4.15 a | 2.34 b | 16.31 a | 5.52 b | 0.28 b |
| Chinese cabbage 1000 | 6.00 a | 6.69 a | 5.28 a | 3.76 a | 16.81 a | 7.26 a | 0.36 a |
| Chinese cabbage 1000+H | 6.17 a | 6.11 a | 5.34 a | 2.93 ab | 12.87 a | 7.46 a | 0.39 a |
| Cabbage 1000 | 5.50 ab | 6.63 a | 4.58 a | 2.75 b | 23.75 a | 6.66 ab | 0.33 ab |
| Cabbage 1000+H | 4.38 b | 5.66 a | 4.06 a | 2.54 b | 16.53 a | 5.29 b | 0.26 b |
| Welsh onion 1000 | 5.04 ab | 6.06 a | 4.32 a | 2.68 b | 20.92 a | 6.10 ab | 0.31 ab |
| Welsh onion 1000+H | 5.26 ab | 6.01 a | 4.77 a | 2.81 b | 18.79 a | 6.37 ab | 0.35 a |

^z DMRT, P < 0.05.

^y H: 잔유물을 100°C 물에 5분간 가열.

Table 7.13. 잔유물과 잔유물 가열시 토마토 유묘 생장에 미치는 영향.

| Treatment (kg/10a) | Plant height (cm) | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | Stem diameter (cm) | Root length (cm) | Fresh weight (g) | Dry weight (g) |
|-----------------------------|---------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----------------|
| Cont. | 5.56 c ^z | 2.71 b | 1.56 b | 1.93 e | 19.13 ab | 7.57 c | 0.38 c |
| Lettuce 1000 | 8.30 ab | 3.69 a | 2.34 abc | 2.71 abcd | 19.15 ab | 11.29 ab | 0.58 ab |
| Lettuce 1000+H ^y | 8.15 ab | 3.94 a | 2.44 abc | 3.09 ab | 17.88 ab | 11.08 ab | 0.53 ab |
| Chinese cabbage 1000 | 6.67 bc | 3.33 ab | 2.63 a | 2.42 cde | 15.90 ab | 9.07 bc | 0.45 bc |
| Chinese cabbage 1000+H | 9.29 a | 4.21 a | 2.56 ab | 3.16 a | 17.19 ab | 12.64 a | 0.61 a |
| Cabbage 1000 | 7.28 bc | 3.48 ab | 2.14 abcd | 2.91 abc | 22.75 a | 9.89 b | 0.49 b |
| Cabbage 1000+H | 5.41 c | 2.66 b | 1.81 cd | 2.25 de | 13.09 b | 7.36 c | 0.32 c |
| Welsh onion 1000 | 6.83 bc | 3.40 ab | 2.07 abcd | 2.60 bcd | 20.17 ab | 9.29 bc | 0.46 bc |
| Welsh onion 1000+H | 6.63 bc | 3.33 ab | 1.96 bcd | 2.48 cd | 14.79 b | 9.01 bc | 0.47 bc |

^z DMRT, P < 0.05.

^y H: 잔유물을 100°C 물에 5분간 가열.

5.6.2. 미생물제제가 전작물의 독성물질 활력저하에 미치는 영향

5.6.2.1. 연구 목적

Soil-plus((주)바이오 베스트)는 미생물 종균제로서 토양 내 미생물을 공급하고 유용미생물의 서식처를 제공함으로써 토양 내의 식물 잔유물이나 미숙 퇴비의 부숙을 촉진시키며, 이들의 독성 물질들을 제거시켜주는 작용을 한다. 따라서 본 실험은 채소 연작지에서 전작물의 잔유물과 미생물 종균제 soil-plus를 처리하여 후작유식물의 생육을 비교함으로써 미생물 종균제의 영향을 알아보기 위하여 수행하였다.

5.6.1.2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 공시작물은 오이 '은성백다다기'(홍농종묘)와 토마토 '서광'(홍농종묘)을 사용하였다. 처리구는 치커리, 오이, 엔디브, 상추 잎 잔유물을 각각 10a당 500kg, 그리고 오이 잎을 10a당 1500kg이 담겨진 잔유물 처리구와 위 처리구와 동일한 조건에서 10a당 9kg 수준으로 토양에 첨가한 미생물 제제 처리구이다. 소형 Wagner pot(1/2000a)에 발효(사질계)을 3kg을 충전하여 잔유물과 미생물제제를 처리 후 하루에 250±50ml씩 저면관수를 실시하였다. 생육조사는 파종 7일 후 포장발아율과 파종 후 25일 후에 초장, 엽장, 엽폭, 근장 그리고 생체중을 조사하였다.

5.6.1.3. 결과 및 고찰

(1). 포장발아율

오이의 포장발아율은 전체적으로 포장발아율이 좋았으나, 치커리 500kg 처리구에서 85%의 포장발아율로 대조구보다 10% 낮았다. 그러나, 치커리 500kg 처리구에 soil-plus를 첨가시 100%의 포장발아율로 발아율이 개선되었다. 이는 미생물 제제를 이용하여 치커리에서 유출된 독성을 제거해 준 것으로 보인다(Fig. 7.13).

토마토의 포장발아율은 대부분 처리구에서 soil-plus 처리구가 무처리구보다 발아율이 높았으며, 특히 콜라비에서 30% 개선효과를 보였다(Fig. 7.14). 이 결과 역시 오이에서와 마찬가지로 전작물에서 분비된 독성물질들의 집적을 인하여 토양의 기지현상이 일어났으나, 미생물제제를 통하여 이들 물질의 유실과 제거가 이루어진 것으로 보인다.

(2). 생육

오이는 생육의 지표가 되는 초장은 대조구에서 가장 저조하였고, 토양에 채소를 분

쇄하여 넣은 처리구보다 채소 잔유물에 soil-plus를 처리한 구의 생육이 좋았다. 따라서 초기의 타감작용에 의한 기지현상이 soil-plus의 작용성에 의해 타파되어 생육이 저해되지 않았다. 오히려, 부식된 전작물이 영양공급원으로서 생육을 촉진시키는 역할을 한 것으로 보인다(Table 7.14).

토마토의 생육은 오이 1000kg 처리구, 콜라비 1000kg 처리구에서는 토양에 채소를 분쇄하여 넣은 처리구보다 이들 잔유물에 soil-plus를 처리한 구가 생육이 양호하였다 (Table 7.15). 이 원인은 오이에서와 동일한 것으로 보인다.

(3). 토양분석

Soil-plus 처리구에서 EC가 감소하는 경향을 보였다. 특히, 치환성 양이인 Mg^{2+} 가 감소하였다. 이는 soil-plus가 미숙 퇴비의 부숙을 촉진시켜 식물체에 영양분 공급을 원활히 한 것으로 사료된다 (Table 5. 5).

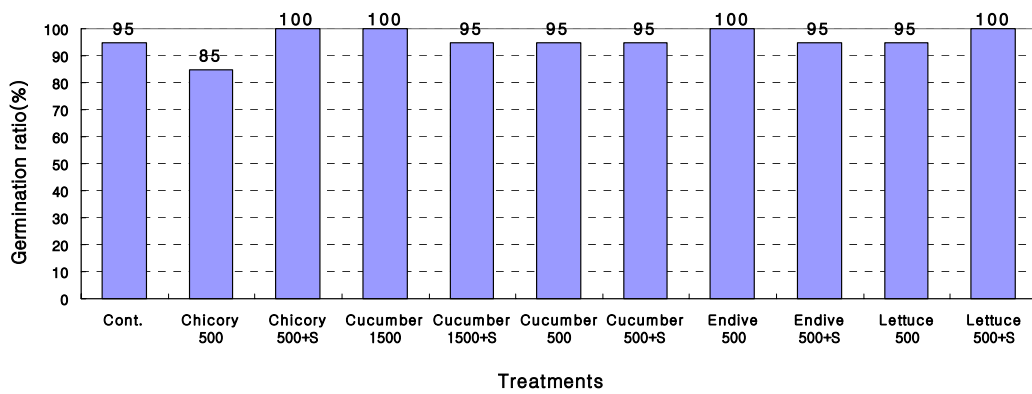


Fig. 7.13. 잔유물과 soil-plus가 오이 포장밭아울에 미치는 영향.

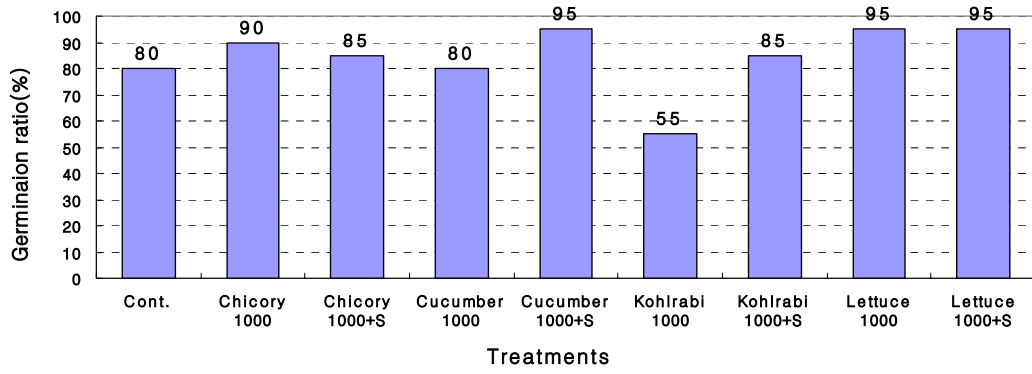


Fig. 7.14. 잔유물과 soil-plus가 토마토 포장용수량에 미치는 영향.

Table 7.14. 잔유물과 soil-plus가 오이 유묘 생장에 미치는 영향.

| Treatment (kg/10a) | Plant height (cm) | Leaf width (cm) | Leaf length (cm) | Leaf stalk (cm) | Stem diameter (cm) | Fresh weight (g) | Dry wt. ratio (%) |
|----------------------------|----------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Cont. | 22.71 e ^z | 14.13 bc | 10.99 b | 7.00 c | 0.45 a | 14.68 b | 5.69 c |
| Chicory 500 | 24.30 de | 14.76 abc | 12.24 ab | 8.68 abc | 0.51 a | 16.50 ab | 7.24 a |
| Chicory 500+S ^y | 32.90 a | 15.45 ab | 12.23 ab | 10.50 a | 0.51 a | 17.15 ab | 6.89 a |
| Cucumber 1500 | 31.70 ab | 14.83 abc | 12.01 ab | 9.54 ab | 0.50 a | 19.39 a | 7.16 a |
| Cucumber 1500+S | 33.69 a | 15.78 a | 12.23 ab | 9.13 ab | 0.46 a | 19.58 a | 6.57 ab |
| Cucumber 500 | 23.49 de | 14.61 abc | 11.44 ab | 8.13 bc | 0.47 a | 15.11 b | 5.83 bc |
| Cucumber 500+S | 26.99 cde | 15.08 ab | 11.96 ab | 8.23 bc | 0.46 a | 18.02 ab | 8.63 c |
| Endive 500 | 25.40 de | 13.44 c | 10.96 b | 8.76 abc | 0.46 a | 13.88 b | 7.36 a |
| Endive 500+S | 32.48 a | 15.73 a | 12.34 a | 9.99 ab | 0.50 a | 16.49 ab | 6.95 a |
| Lettuce 500 | 27.84 bcd | 14.73 abc | 11.80 ab | 9.16 ab | 0.49 a | 16.59 ab | 6.70 a |
| Lettuce 500+S | 30.75 abc | 14.93 ab | 11.94 ab | 9.78 ab | 0.51 a | 15.85 ab | 7.37 a |

^z DMRT, P < 0.05.

^y S : soil-plus

Table 7.15. 잔유물과 soil-plus가 토마토 유묘 생장에 미치는 영향.

| Treatment (kg/10a) | Plant height (cm) | Leaf width (cm) | Leaf length (cm) | Leaf stalk (cm) | Stem diameter (cm) | Fresh weight (g) | Dry wt. ratio (%) |
|-----------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------------|------------------|-------------------|
| Cont. | 11.60 de ^z | 7.43 bc | 7.15 ab | 2.94 ab | 0.33 ³ abc | 2.92 bc | 7.22 a |
| Chicory 1000 | 11.36 def | 4.80 abc | 7.41 ab | 3.25 ab | 0.32 ² bc | 3.35 bc | 6.63 a |
| Chicory 1000+S ^y | 10.09 ef | 6.86 c | 6.70 b | 2.66 b | 0.29 c | 2.41 c | 7.71 a |
| Cucumber 1000 | 13.91 abc | 8.31abc | 7.80 ab | 3.35 ab | 0.36 ⁶ abc | 4.13 ab | 6.58 a |
| Cucumber 1000+S | 15.20 a | 9.58 a | 8.44 ab | 3.76 a | 0.39 a | 4.96 a | 6.62 a |
| Kohlrabi 1000 | 9.33 f | 7.14 bc | 7.36 ab | 2.67 b | 0.29 c | 2.93 bc | 5.78 a |
| Kohlrabi 1000+S | 14.46 ab | 9.00 ab | 8.56 a | 3.64 ab | 0.38 ab | 5.03 a | 6.33 a |
| Lettuce 1000 | 12.66 ⁶ bcd | 8.41 abc | 7.85 ab | 2.89 ab | 0.34 ⁴ abc | 3.74 ab | 5.91 a |
| Lettuce 1000+S | 12.13 cde | 7.69 abc | 8.89 a | 2.83 ab | 0.35 ⁵ abc | 4.15 ab | 6.98 a |

^z DMRT, P < 0.05.

^y S : soil-plus

Table 7.16. 각 처리구에서 오이 25일 재배 후 토양 분석

| Treatment (kg/10a) | pH | EC | Exchangeable cation (cmol · kg ⁻¹) | | |
|----------------------------|------|------|--|------------------|----------------|
| | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ |
| Cont. | 5.25 | 0.35 | 2.69 | 0.53 | 1.29 |
| Chicory 500 | 5.15 | 0.57 | 2.98 | 1.06 | 1.59 |
| Chicory 500+S ^z | 5.10 | 0.41 | 1.72 | 0.84 | 1.64 |
| Cucumber 1500 | 5.17 | 1.27 | 3.96 | 1.54 | 1.59 |
| Cucumber 1500+S | 5.05 | 0.54 | 4.09 | 0.96 | 1.83 |
| Cucumber 500 | 5.10 | 0.66 | 3.99 | 1.02 | 0.92 |
| Cucumber 500+S | 5.04 | 0.98 | 4.10 | 0.79 | 0.94 |
| Endive 500 | 5.04 | 0.89 | 4.30 | 1.36 | 0.94 |
| Endive 500+S | 4.87 | 0.91 | 3.46 | 1.16 | 1.17 |
| Lettuce 500 | 4.92 | 1.25 | 5.03 | 1.45 | 0.69 |
| Lettuce 500+S | 5.12 | 0.67 | 4.92 | 0.99 | 0.87 |

^z S : soil-plus

5.6.1.4. 적요

미생물제제인 soil plus를 사용하면 오이잔유물이나 콜라비 잔유물에 의한 생장억제를 완화하는 작용이 강력하게 나타나는 현상을 보았다. 따라서 연작지에서 미생물제제를 사용하면 전작물 잔유물에 의한 피해를 줄일 수가 있다고 생각되었다.

5.7. 녹비작물의 제염효과 시험

5.7.1. 연구목적

본 실험에서는 시설재배시 문제시되고 있는 염류집적으로 인한 피해를 줄이고자 그 염류집적 해소방안으로 녹비작물의 제염효과를 알아보기 위한 실험이다.

5.7.2. 재료 및 방법

녹비작물로는 화본과작물인 옥수수 '수원19호'(Zea mays)와 사카타코리아(주)에서 제공받은 벼과작물 수수(Sorghum vulgare), 그리고 콩과작물인 석결명(Cassia occidentalis), 숙마(Crotalaria juncea)를 이용하였다(Fig. 7.15).

화본과작물인 옥수수는 겨울철의 저장사료로서 수량이 많고 영양가가 가장 풍부한 청예작물 중 가장 중요한 작물이라 할 수 있다(Park, 1982). 수수는 흡비력이 왕성한 벼과작물로 녹비용이지만 토양의 구조를 단립화시켜 통기성, 보수력 등 물리성을 좋게 하며 화학적으로는 양분유실을 방지하여 산도교정 효과를 발휘하는 토양개선의 효과를 갖는다.

석결명은 뿌리썩이선충을 억제하는 데 탁월한 효과가 있어 근채류 생산지에 가장 적당한 콩과의 녹비작물이다. 숙마 또한 콩과작물인데, 비교적 고온성작물로 유해한 뿌리혹선충의 밀도를 억제하는 효과가 매우 높다. 한밭에 강하고 산성, 척박지에서 잘 자라지만 배수불량지에서는 좋지 않다.

염류집적토양에서 녹비작물의 제염효과에 대해 2회에 걸쳐 실험하였다.

첫 번째 실험은 정확한 실험을 위해 1/5,000a Wagner pot와 용적이 같은 직경 20cm pot에 연작지 밭토양(약 4.8kg)을 담고 2002년 4월 4일에 옥수수, 수수, 석결명, 숙마 종자를 25개/pot씩 파종하였으며 각각 4반복 처리하여 배치하였다.

관수방법으로는 염류제거 실험이므로 물로만 토양 상부에 비커를 이용하여 100mL/day 관수하였고, 본 실험은 pot 내 토양개량제의 제염효과를 보기 위한 실험이므로 pot의 밖으로 나오는 폐수가 없도록 관리하였다.

녹비작물을 55일 재배한 후인 2002년 5월 28일에 각 처리구당 20주씩 임의선택하여 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등 생육조사를 하고 식물체의 뿌리까지 완전히 제거하였다. 녹비작물을 제거한 pot에 제염효과를 알아보기 위해 지표식물로 오이 종자를 20개/pot씩 2002년 6월 3일에 파종하였다. 관수방법으로는 염류제거 실험이므로 물로만 두상관수 하였으며 100mL/day 관수하였다.

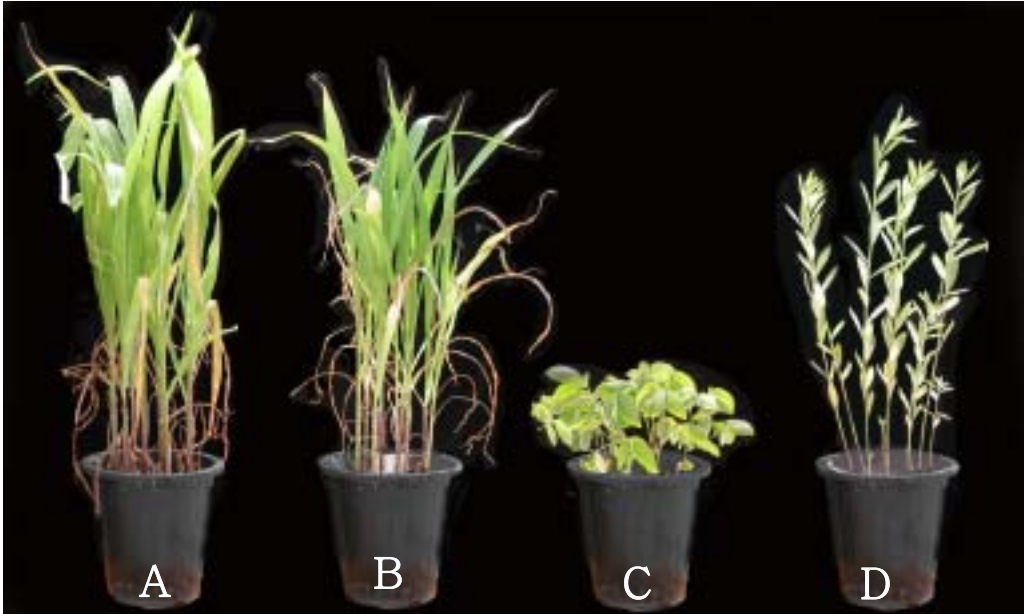


Fig. 7.15 The growth of green manure crops selected the testing crops in this experiment.

- A: Maize (*Zea mays*)
- B: Sorghum (*Sorghum vulgare*)
- C: Fedegosa (*Cassia occidentalis*)
- D: Sunn hemp (*Crotalaria juncea*)

지표식물로 파종한 오이 종자의 발아율은 발아 후 매일 오전에 1회씩 조사하였고 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등 생육조사를 파종 후 10일부터 5일 간격으로 실시하였다. 오이 종자를 파종한 지 25일째인 2002년 6월 28일에 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등을 조사하고 수확하였다.

두 번째 실험은 첫 번째 실험과 동일한 처리방법이었으며, 염류집적토양에서 녹비 작물의 제염효과를 확실히 구명하기 위해 Table 7.17에 나타난 허브양액($EC\ 2.4dS \cdot m^{-1}$)을 25배로 제조하여 700mL/pot씩 관주하여 인위적으로 EC를 조절하였다.

허브양액은 EC가 $0.85dS \cdot m^{-1}$ 인 야마자키 상추용 배양액에 비해 NO_3-N 는 3배, PO_4-P 는 1.3배, K는 2.8배, Ca는 4.5배, Mg는 2배 높으며, EC가 $2.0dS \cdot m^{-1}$ 인 야마자

키 오이용 배양액에 비해 NO₃-N는 1.4배, K는 1.8배, Ca는 1.3배 높았다. 따라서 본 실험에서는 인위적으로 염류집적토양을 만들기 위해 야마자키 배양액보다 EC와 NO₃-N, PO₄-P, K, Ca, Mg 함량이 많은 허브양액을 사용하였다.

Table 7.17 The composition of nutrient solution for herb plants developed by European Vegetable R&D Center in Belgium. (Benoit, F. and N. Ceusternans, 1994)

| | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|
| Macro elements (mmol) | NO ₃ -N 18.0 | PO ₄ -P 2.0 | K 11.0 | Ca 4.5 | Mg 1.0 | SO ₄ -S 1.0 |
| Micro elements (μmol) | Fe 100.0 | Mn 5.0 | Cu 0.4 | Zn 3.7 | B 26.5 | Mo 0.5 |

양액으로 EC를 조절한 토양을 건조시킨 후 2003년 1월 8일에 옥수수, 수수, 석결명, 숙마 종자를 25개/pot씩 파종하였으며 각각 4반복 처리하여 배치하였다. 관수방법으로는 염류제거 실험이므로 물로만 100~200mL/day를 두상관수로 공급하였다.

녹비작물을 58일 재배한 후인 2003년 3월 7일에 각 처리구당 20주씩 임의선택하여 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등 생육조사를 하고 식물체의 뿌리까지 완전히 제거하였다.

녹비작물을 제거한 pot에 제염효과를 알아보기 위해 지표식물로 오이 종자를 20개/pot씩 2003년 3월 15일에 파종하였다. 관수방법으로는 염류제거 실험이므로 물로만 두상관수 하였으며 100mL/day 관수하였다.

지표식물로 파종한 오이 종자의 발아율은 발아 후 매일 오전에 1회씩 조사하였고 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등 생육조사를 파종 후 12일부터 일주일 간격으로 실시하였다.

오이 종자를 파종한 지 26일째인 2003년 4월 10일에 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중, 엽록소함량 등을 조사하고 수확하였다.

토양의 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, 녹비작물 재배 전과 재배 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후 토양의 EC, pH와 무기성분인 전질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등을 각각 조사하였다. 각각의 조사방법은 실험 1.과 동일하였다.

녹비작물의 제염효과에 대한 첫 번째 실험에서 토양분석은 EC는 EC meter(Cond 315i, WTW, Germany)로 측정하고, pH는 pH meter(C535, Consort, Belgium)로 측정하였다. 전질소는 켈달증류장치(Vapodest 40, Gerhardt, Germany), 인산은

spectrophotometer(DR-4000, Hach, U.S.A.), 그리고 치환성양이온은 atomic absorption spectrophotometer(AAS; Buck, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다.

두 번째 실험에서 EC, pH, 전질소 분석은 실험 1과 동일하였으며, 유효인산은 spectrophotometer(U-3010, Hitachi, Japan), 그리고 치환성양이온은 ICP (Plasmalab 8440, Labtam, Australia)를 이용하여 측정하였다.

식물체 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, 녹비작물과 지표식물인 오이의 전질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 무기성분과 오이의 엽록소함량을 조사하였다. 각각의 조사방법은 실험 1과 동일하였다.

5.7.3. 결과 및 고찰

(1). 녹비작물을 재배한 토양의 화학성 변화

녹비작물의 재배 전과 재배 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후 총 3차례에 걸쳐 토양 EC를 조사하였는데(Fig. 7), 녹비작물을 재배한 후 토양 EC가 재배 전 토양에 비해 모두 감소하는 경향을 보였다. 콩과작물보다 화본과 작물, 특히 옥수수 재배시 가장 우수한 경감효과를 나타내었다.

Richards(1954)의 보고에 의하면 EC가 해리된 이온의 농도에 비례하므로 EC 측정치가 염류농도의 지표로 사용되는데, 본 실험의 EC 감소로 보아 옥수수 재배구에서의 재염효과가 가장 좋았음을 알 수 있었다.

토양 pH는 모든 처리구에서 녹비작물의 재배 전에 비해 재배 후에 다소 높아지는 결과로 이는 토양개량제 처리와 비슷한 경향을 보였다(Fig. 8). Hwang 등(1993)의 보고와 동일하게 본 실험에서도 녹비작물 재배 후 토양 내 pH는 상승하고 EC는 감소하였다고 하였다. 이는 염류가 지상부로 흡수 이동되고 음이온과 잔뿌리 등이 토양에 남아 pH를 상승시킨 것으로 사료된다.

녹비작물 재배 전과 재배 후, 지표식물인 오이를 재배한 후의 토양 내 무기성분 함량 변화를 보면(Table 7-18), 전체적으로 모든 처리구에서 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후에 무기성분 함량이 감소하였다.

녹비작물 재배 후 무기성분 함량을 보면, 전질소는 화본과 작물인 옥수수와 수수 처리구에서 약간 낮은 함량을 보였으나 통계적 차이가 없었다.

유효인산은 숙마를 제외한 3가지 녹비작물에서 19~37% 정도의 경감효과를 보였는데, 유효인산 역시 화본과 작물인 옥수수와 수수 처리구에서 콩과작물보다 더 큰 감

소를 보였다.

칼륨은 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후에 모든 처리구에서 감소하여 다른 무기성분 함량 변화에 비해 크게 감소하였는데, 콩과작물에 비해 화분과 작물인 옥수수과 수수에서 그 감소폭이 더욱 컸다. 칼슘은 녹비작물 재배 전과 후의 감소폭이 0.6~5.8%로 작았으며 마그네슘도 재배 전과 후의 차이가 크지 않았는데 그 중 옥수수 처리구가 15%로 가장 큰 감소폭을 보였다.

지표식물인 오이 재배 후 무기성분 함량을 보면, 전질소의 경우는 처리간에 차이가 나타나지 않았으나, 유효인산의 경우 녹비작물 재배 후 낮은 함량을 보인 옥수수과 수수에서 오이 재배 후에도 낮은 수치를 나타내었다. 토양 내 치환성양이온의 함량 변화는 칼륨, 칼슘, 마그네슘 모두 옥수수 처리구에서 가장 낮은 수치를 보였으며 그 차이에도 유의성이 있었다. 마그네슘은 재배 전에 비해 재배 후에 감소하였는데, 다른 처리구에 비해 옥수수 재배시 가장 많이 감소하였으나 처리간 큰 차이를 보이지 않았다.

염류집적토양에서 녹비작물의 제염효과를 알아보기 위해 녹비작물을 재배하기 전과 재배한 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후의 토양의 화학성 변화를 조사하였는데, EC와 무기성분 함량의 경감 정도로 보아 전체적으로 콩과작물인 석결명과 숙마보다 화분과 작물인 옥수수과 수수의 제염효과가 다소 좋음을 알 수 있었다.

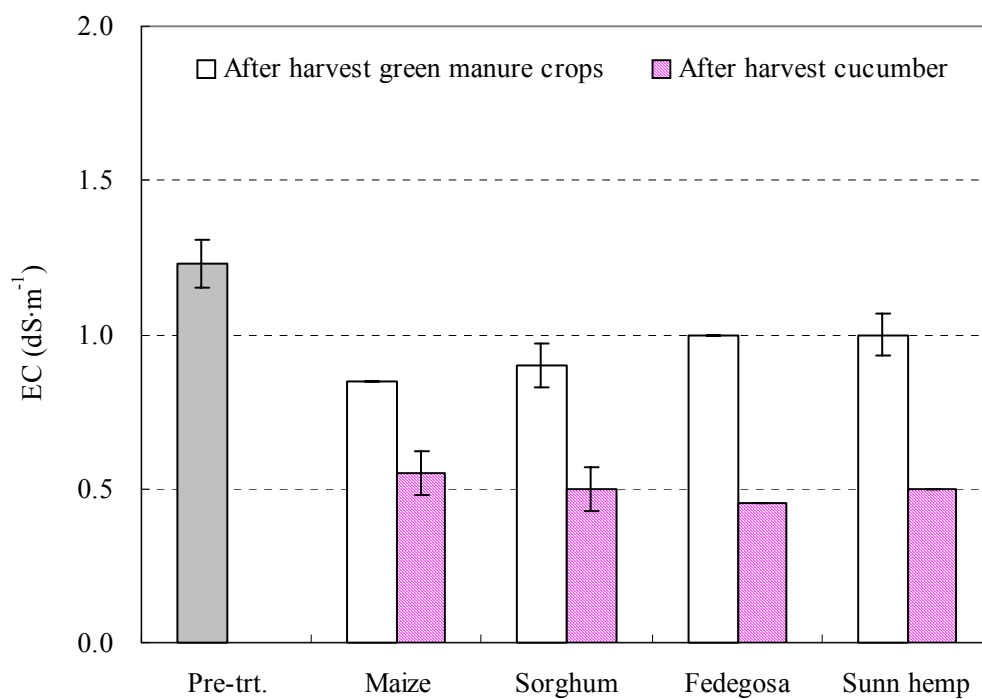


Fig. 7.16. The change of electrical conductivity in soil grown green manure crops to alleviate slight salinization of soil. The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

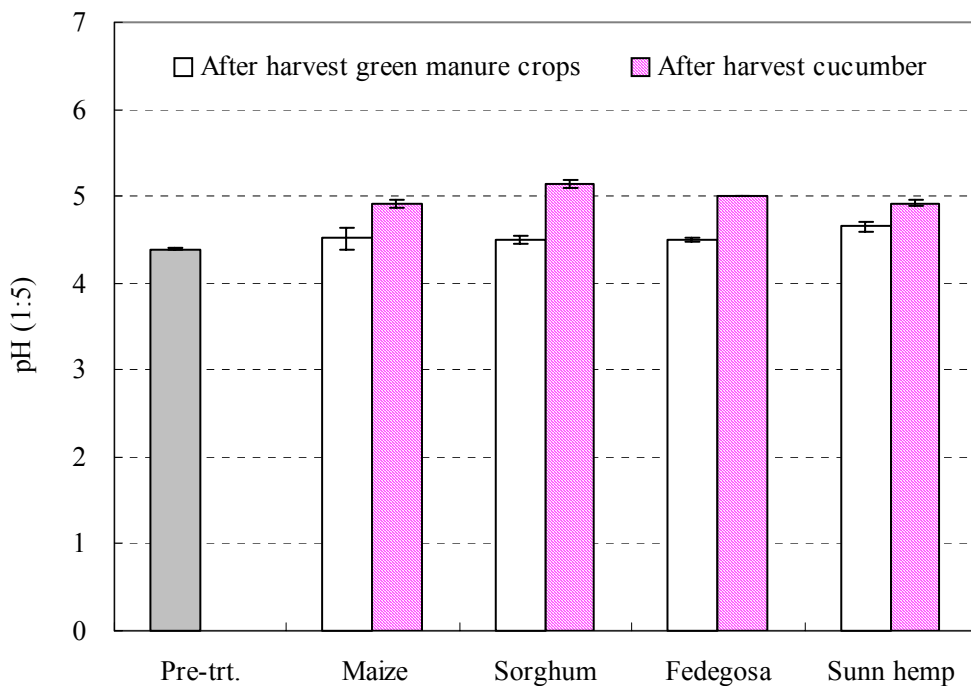


Fig. 7.17. The change of pH in soil grown green manure crops to alleviate slight salinization of soil.

The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

(2). 녹비작물의 생육 및 무기성분

염류집적토양에서 제염효과를 알아보기 위해 재배한 녹비작물의 생육은 각각의 특성에 따라 다르며 Table 7-19와 같다.

4가지 녹비작물의 건물당 무기성분 함량을 살펴보면(Table 7-19), 콩과작물인 석결명과 숙마의 함량이 높게 나타났다. 녹비작물의 지상부에 함유된 무기성분의 함량을 보면, 전질소는 콩과작물이 화본과 작물보다 2배 이상 높았고, 유효인산은 화본과 작물인 수수의 함량이 다소 낮았으나 큰 차이를 보이지 않았다. 칼륨은 콩과작물의 함량이 화본과 작물보다 다소 높았고, 칼슘은 콩과작물이 화본과 작물보다 2배 정도 높았으며, 마그네슘은 처리간 큰 차이를 보이지 않았으나 수수의 마그네슘 함량이 약간 낮았다.

녹비작물의 지하부에 함유된 무기성분 함량을 보면, 전질소는 콩과작물의 함량이

화분과 작물의 함량보다 3~4배 정도 높았으며 유효인산은 2배 정도 높았다. 칼륨은 콩과작물이 화분과 작물보다 2배 이상 많았고, 칼슘은 처리간 차이를 보이지 않았으며 마그네슘은 콩과작물에서 화분과 작물보다 많이 함유되어 있었다.

위의 결과에서 보면 제염효과가 좋았던 화분과 작물인 옥수수에서 무기성분 함량이 낮았는데 이는 건물에 대한 %로 표시한 수치였기 때문으로 사료된다. 실질적으로 하나의 pot에서 녹비작물이 흡수해버린, 즉 제염된 각각의 무기성분 함량을 비교하는 것이 4가지 녹비작물의 제염효과를 무기성분 함량으로 비교하는데 있어서 더 적당한 방법이라 생각된다. 따라서 녹비작물 지상부와 지하부로 나누어 작물 한 개체 당 무기성분 흡수량을 비교해 보았다(Table 7-19).

녹비작물의 지상부에서 흡수한 전질소량은 처리구간에 큰 차이를 보이지 않았으나 옥수수가 15.3mg/plant로 가장 높았고, 유효인산도 옥수수에서 42.5mg/plant로 가장 우수한 흡수량을 보였다. 칼륨 또한 옥수수에서 53.8 mg/plant로 가장 많이 흡수하여 가장 낮은 숙마에 비해 약 9.8배나 높은 흡수량을 보였다. 칼슘은 다른 무기성분 함량에 비해 비교적 소량 흡수되었는데 처리별로 옥수수에서 1.9mg/plant로 다른 처리구에 비해 2~6배의 흡수량을 보였다. 마그네슘은 옥수수 흡수량이 7.49mg/plant로 숙마의 10배 이상의 높은 흡수량을 보였다.

지하부에서 흡수한 전질소량은 화분과 작물이 콩과작물보다 2배 정도 높았고, 유효인산은 3배 정도 높았다. 칼륨은 흡수량이 가장 낮은 숙마의 0.3 mg/plant에 비해 옥수수가 7.7mg/plant로 약 30배 높았고, 칼슘은 옥수수 흡수량이 숙마 흡수량에 비해 무려 84.6배나 높았으며, 마그네슘은 옥수수에서 숙마에 비해 60배의 흡수량을 보였다.

녹비작물의 지상부와 지하부 모두 전질소, 유효인산과 치환성양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 무기성분 흡수량이 콩과작물보다 화분과 작물에서 높았다. 이러한 결과로 보아 콩과작물보다 화분과작물의 제염효과가 더 큰 것을 알 수 있었다.

Table 7.18 The mineral content of green manure crops cultivated to alleviate slight salinization of soil. (unit: %)

| Parts | Crops | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------------|--------------------|--------|--------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Maize | 0.48 c ^z | 1.34 b | 1.75 c | 0.06 d | 0.24 b |
| | Sorghum | 0.53 c | 1.21 c | 1.74 c | 0.07 c | 0.20 c |
| | Fedegosa | 1.84 a | 1.47 a | 2.05 b | 0.12 b | 0.24 b |
| | Sunn hemp | 1.27 b | 1.32 b | 2.16 a | 0.13 a | 0.27 a |
| Root | Maize | 0.36 c | 0.48 c | 0.59 c | 0.03 b | 0.18 d |
| | Sorghum | 0.24 d | 0.51 b | 0.82 b | 0.03 c | 0.21 c |
| | Fedegosa | 0.93 a | 0.85 a | 1.74 a | 0.04 a | 0.47 a |
| | Sunn hemp | 0.83 b | 0.85 a | 1.72 a | 0.03 b | 0.25 b |

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 7.19 The uptake mineral content of green manure crops grown in slight salinization of soil. (unit: mg/plant)

| Parts | Crops | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|-----------|------------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|------------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Maize | 15.3±1.86 ^z | 42.5±0.80 | 53.8±0.88 | 1.86±0.0559 | 7.49±0.126 |
| | Sorghum | 8.2±0.13 | 19.0±0.62 | 21.1±0.55 | 0.86±0.0253 | 2.40±0.074 |
| | Fedegosa | 14.9±0.68 | 11.9±0.13 | 6.7±0.05 | 0.38±0.0033 | 0.78±0.003 |
| | Sunn hemp | 13.1±0.21 | 13.6±0.18 | 5.5±0.16 | 0.32±0.0070 | 0.68±0.020 |
| Root | Maize | 4.9±0.03 | 6.6±0.11 | 7.7±0.03 | 0.42±0.0024 | 2.40±0.038 |
| | Sorghum | 2.8±0.39 | 6.0±0.14 | 2.7±0.09 | 0.09±0.0014 | 0.70±0.040 |
| | Fedegosa | 1.8±0.04 | 1.6±0.02 | 0.7±0.01 | 0.02±0.0002 | 0.19±0.001 |
| | Sunn hemp | 2.5±0.02 | 2.5±0.02 | 0.3±0.00 | 0.01±0.0000 | 0.04±0.000 |

^z Standard deviation of sixteen replicates.

(3). 녹비작물 재배 후 오이의 생육

염류집적토양에서 녹비작물을 재배했던 토양에 제염효과를 알아보기 위한 지표식물로 파종한 오이 종자 발아율은 모든 처리간에 통계적 유의차를 보이지 않았다(Fig. 7-18).

파종한 후 25일 동안 재배한 오이묘의 생육을 보면(Table 7-20), 전작물로 콩과작물을 재배한 토양보다 화분과작물을 재배한 토양의 오이묘 생육이 더 저조한 것을 초장과 지상부 생체중으로 확연히 알 수 있었는데, 제염효과의 지표식물이었던 오이묘의 생육에서 옥수수에 의한 제염효과를 다시 한번 확인할 수 있었다.

4). 녹비작물을 재배한 토양의 화학성 변화

첫 번째 실험과 동일한 처리방법이지만 녹비작물의 제염효과를 더 뚜렷하게 알기 위하여 인위적으로 EC를 조절하여 실험하였다.

토양의 EC를 살펴보면(Fig. 7-19), 재배 전에 9.01로 높았으나 58일간의 녹비작물 재배 후 EC가 재배 전에 비해 62~86%로 급격히 감소한 것을 볼 수 있는데, 특히 옥수수는 86%의 감소를 보였다.

이에 따라 녹비작물의 제염효과를 알 수 있었으며, 콩과작물에 비해 화본과 작물에서, 특히 옥수수를 재배했던 구에서 가장 뚜렷한 효과를 볼 수 있어 옥수수의 제염효과가 가장 우수함을 EC 감소를 통해 알 수 있었다.

토양 pH의 경우 저염류 집적토양에서와 달리 콩과작물에서 처리 후 감소하는 경향을 보였다(Fig. 7-20).

녹비작물 재배 전과 재배 후, 지표식물인 오이를 재배한 후의 토양 내 무기성분 함량 변화를 보면(Table 7-20), 전체적으로 모든 처리구에서 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후에 무기성분 함량이 감소하였다.

녹비작물 재배 후의 전질소 함량은 토양개량제 처리와 녹비작물의 첫 번째 실험에서와 같은 결과로 처리간에 큰 차이를 보이지 않았으나 재배 전에 비해 재배 후에 다소 감소하였다.

유효인산은 녹비작물 재배 전에 시설원에 재배시 작물생육 적정수준인 $350\sim 500\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Jung 등, 1998)보다 높은 함량인 $577\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이었으나, 녹비작물 재배 후 2배 정도 감소하여 적정수준 또는 적정수준 이하로 떨어져 녹비작물 재배의 제염효과가 있음을 알 수 있었다. 콩과작물보다 화본과 작물의 경감효과가 우수했으며, 특히 옥수수의 유효인산 함량이 가장 많이 감소하였다.

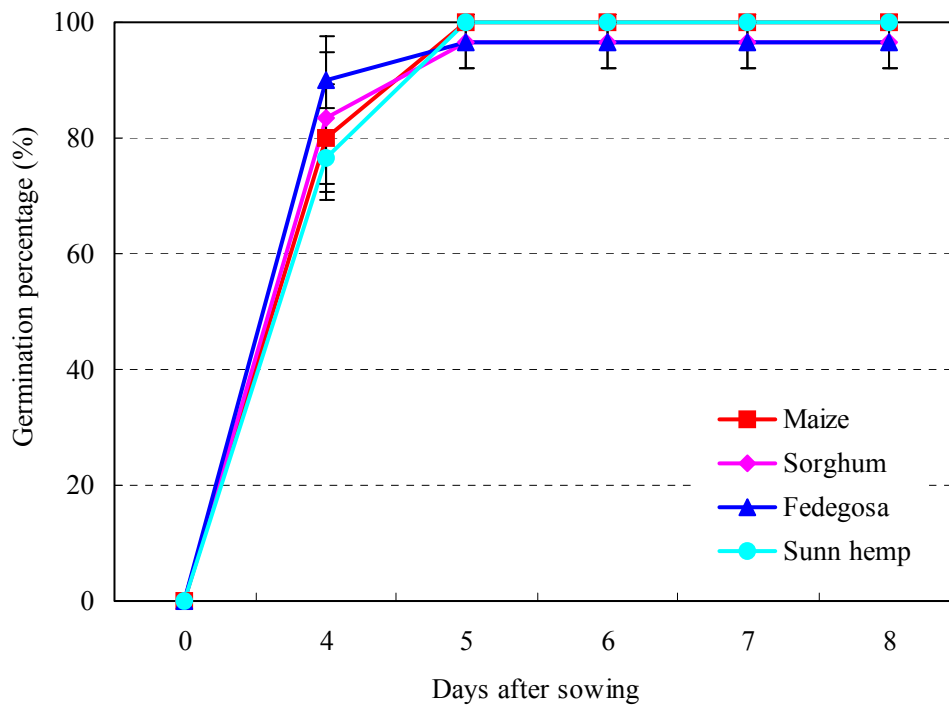


Fig. 7.18. The effect of green manure crops on the germination percentage of cucumber seeds in slight salinized soil. The vertical line associated with each data point is the standard deviation about that mean.

칼륨은 녹비작물 재배 후에 4~5배 정도 줄어들었고, 칼슘은 다소 감소하였으나 처리간 차이는 없었다. 마그네슘은 칼륨과 비슷한 수준으로 감소하여 제염효과를 볼 수 있었다.

지표식물인 오이를 재배한 후의 무기성분 함량을 보면, 전질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 모두 재배 전에 비해 재배 후에 감소하였으며 처리간 차이는 크지 않았다.

본 실험을 통해서 녹비작물을 재배한 토양의 무기성분 함량 변화를 전체적으로 살펴보면, 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후에 많은 경감효과를 보여 고염류 집적토양에서 녹비작물 재배로 인한 제염효과가 있음을 확실하게 보여주었다.

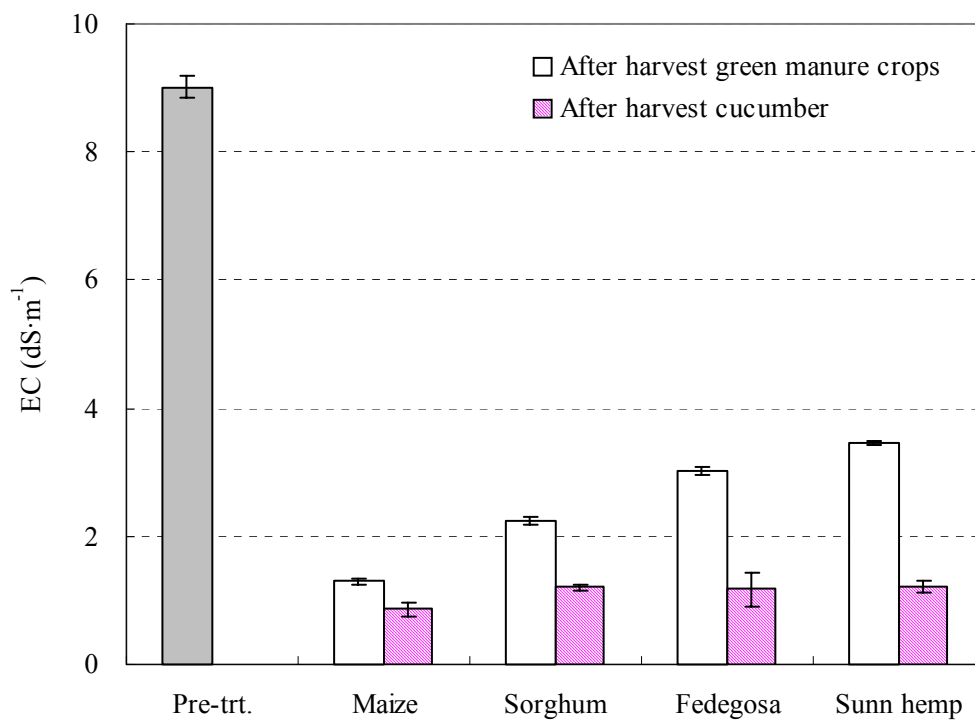


Fig. 7.19. The change of electrical conductivity in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil. The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

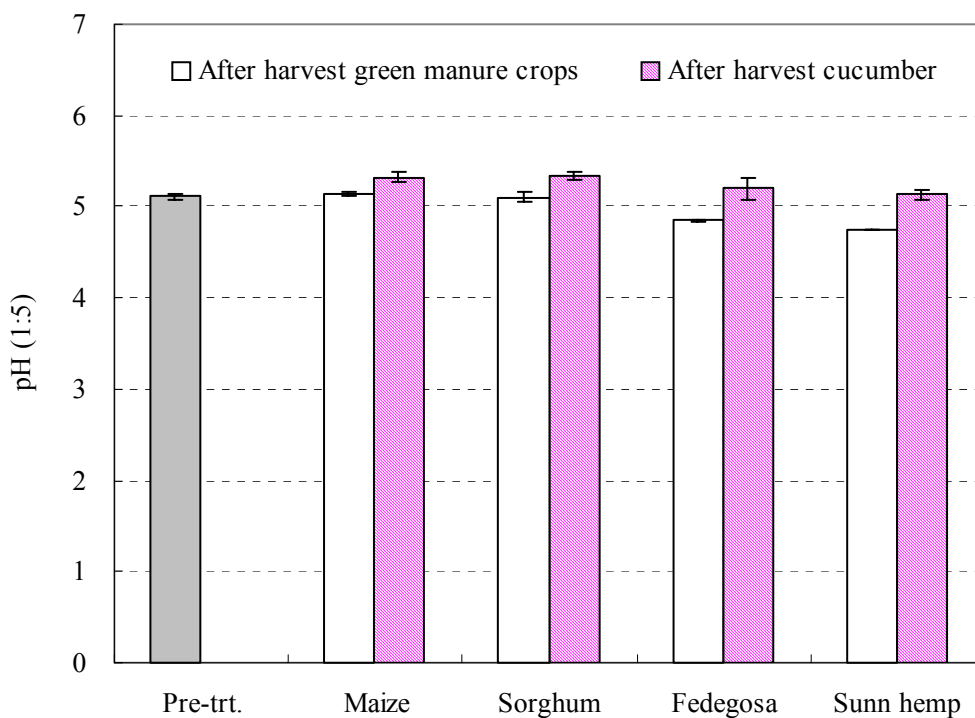


Fig. 7.20. The change of pH in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil.

The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

(5). 녹비작물의 생육 및 무기성분

고염류 집적토양에서 제염효과를 알아보기 위해 재배한 녹비작물의 생육은 각각의 특성에 따라 다르며 Table 11와 같다.

녹비작물을 58일 동안 재배한 후에 식물체에 함유된 무기성분의 함량을 지상부와 지하부로 분류하여 분석하였다. 4가지 녹비작물 지상부의 무기함량을 살펴보면, 전질소는 콩과작물이 화분과 작물에 비해 1.2~2.4배 정도 높았고, 유효인산은 옥수수에서 가장 낮았으나 처리간 통계적 차이를 보이지 않았다. 칼륨은 처리간에 차이가 없었으며 통계적으로도 유의차가 없었다. 칼슘은 콩과작물인 숙마에서 높은 함량을 보였으며 다른 처리구간에는 차이가 없었다. 마그네슘 또한 숙마에서 높은 함량을 보였으며 다른 처리구간에는 차이가 없었다.

녹비작물 지하부의 무기함량을 살펴보면, 전질소는 콩과작물인 석결명에서 다른 처리구에 비해 2배 정도 높은 함량을 보였고, 유효인산도 석결명에서 다른 처리구에 비해 2배 정도 높은 함량을 보였다. 칼륨은 콩과작물인 숙마에서 가장 높은 함량을 보였으나 칼슘과 마그네슘은 각 처리간에 통계적 차이를 보이지 않았다.

실험 2.1의 결과(Table 7-20)와 마찬가지로 제염효과가 가장 우수하였던 옥수수의 무기성분 함량을 건물에 대한 함량으로 표시하여 가장 낮게 나타나서 녹비작물을 지상부와 지하부로 나누어 작물 한 개체 당 무기성분 흡수량을 비교해 보았다(Table 7-21).

녹비작물의 지상부에서 흡수한 전질소량은 옥수수가 42.9mg/plant로 가장 낮은 흡수량을 가진 숙마의 8.2mg/plant에 비해 5.2배 높았고, 유효인산도 옥수수에서 28.5mg/plant로 가장 우수한 흡수량을 보였다.

칼륨 또한 옥수수에서 9.7mg/plant으로 가장 많이 흡수하였으며 가장 낮은 숙마의 0.7mg/plant에 비해 약 14배나 높은 흡수량이었다. 칼슘도 옥수수에서 다른 처리구에 비해 약 4배의 높은 흡수량을 보였고, 마그네슘 또한 옥수수 흡수량이 1.15mg/plant로 미량이지만 숙마에 비해 4.2배 이상의 높은 흡수량을 보였다.

지상부에 비해 지하부의 무기성분 흡수량은 극히 적은 양이었으나 녹비작물의 전질소 흡수량은 화분과 작물이 콩과작물보다 무려 98배 높았고, 유효인산은 가장 높은 옥수수의 흡수량이 가장 낮은 숙마 흡수량에 비해 111배나 높았다.

칼륨은 흡수량이 가장 낮은 숙마의 0.04mg/plant에 비해 옥수수 흡수량이 1.57mg/plant로 약 39.2배 높았고, 칼슘은 옥수수 흡수량이 숙마 흡수량에 비해 64배나 높았다. 마그네슘은 옥수수 흡수량이 숙마 흡수량에 비해 89배나 높았다.

녹비작물의 지상부와 지하부 모두 전질소, 유효인산과 치환성양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 무기성분 흡수량이 콩과작물보다 화분과 작물에서, 특히 옥수수에서 높았다.

토양의 무기성분 감소량과 식물체내의 흡수량으로 보아 콩과작물보다 화분과작물의 제염효과가 더 큰 것을 뚜렷하게 알 수 있었다.

Table 7.20. The mineral content of green manure crops cultivated to alleviate severe salinization of soil. (unit: %)

| Parts | Crops | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------------|--------------------|--------|--------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Maize | 1.40 b ^z | 0.93 b | 0.32 a | 0.07 b | 0.04 b |
| | Sorghum | 2.75 ab | 1.26 ab | 0.34 a | 0.13 b | 0.05 b |
| | Fedegosa | 3.37 a | 1.36 a | 0.30 a | 0.16 b | 0.06 b |
| | Sunn hemp | 3.23 a | 1.36 a | 0.28 a | 0.38 a | 0.11 a |
| Root | Maize | 0.60 bc | 0.51 c | 0.12 d | 0.05 a | 0.03 a |
| | Sorghum | 0.67 b | 0.60 b | 0.14 c | 0.04 b | 0.03 a |
| | Fedegosa | 1.25 a | 1.07 a | 0.18 b | 0.04 b | 0.03 a |
| | Sunn hemp | 0.54 c | 0.42 d | 0.31 a | 0.05 a | 0.03 a |

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 7.21. The uptake mineral content of green manure crops grown in severe salinization of soil. (unit: mg/plant)

| Parts | Crops | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|-----------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|------------|-------------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Maize | 42.91±4.08 ^z | 28.52±2.43 | 9.73±0.214 | 2.14±0.039 | 1.148±0.018 |
| | Sorghum | 33.29±13.9 | 15.27±4.04 | 4.13±0.606 | 1.56±0.907 | 0.660±0.253 |
| | Fedegosa | 11.05±3.46 | 4.45±0.79 | 1.00±0.124 | 0.51±0.213 | 0.211±0.064 |
| | Sunn hemp | 8.23±0.01 | 3.48±0.04 | 0.70±0.002 | 1.97±0.003 | 0.269±0.001 |
| Root | Maize | 7.84±1.03 | 6.66±0.35 | 1.57±0.049 | 0.64±0.026 | 0.354±0.017 |
| | Sorghum | 2.20±0.09 | 1.97±0.10 | 0.47±0.018 | 0.13±0.005 | 0.089±0.003 |
| | Fedegosa | 0.50±0.00 | 0.43±0.03 | 0.07±0.001 | 0.02±0.001 | 0.011±0.000 |
| | Sunn hemp | 0.08±0.00 | 0.06±0.00 | 0.04±0.001 | 0.01±0.000 | 0.004±0.000 |

^z Standard deviation of sixteen replicates.

(6). 녹비작물 재배 후 오이의 생육 및 무기성분(2)

녹비작물을 재배했던 토양에서 제염효과를 알아보기 위해 지표식물로 파종한 오이 종자의 발아율은 전작물로 숙마를 재배했던 토양이 89%로 다른 처리구에 비해 다소 높았으나 모든 처리구에서 통계적 유의차를 보이지 않았다(Fig. 12).

오이 종자를 파종한지 17일째 되는 생육모습을 나타낸 사진에서 볼 수 있듯이(Fig. 13) 왼쪽의 콩과작물인 숙마와 석결명 처리구에 비해 오른쪽의 화분과 작물인 수수와 옥수수 처리구의 생육이 저조함을 육안으로 확인할 수 있으며, 특히 옥수수 처리구의 생육이 가장 저조한 것을 알 수 있다.

지표식물인 오이묘를 파종한 후 26일간 재배하고 생육을 조사한 결과를 살펴보면 (Table 14), 사진에서 본 것과 같이 전작물로 옥수수를 재배한 토양의 지표식물인 오이묘 생육이 초장, 엽장과 엽폭 뿐 아니라 전체적으로 다른 처리구에 비해 좋지 않음

을 수치상으로도 알 수 있었다.

Hwang 등(1993)이 전작과 후작 사이에 흡비력이 강한 옥수수를 무비재배하면 잔여 비료분을 흡수하여 제염효과가 크다고 보고한 바 있는데, 본 실험의 결과로 미루어볼 때 초장을 포함한 지표식물인 오이묘의 생육저하는 전작물로 재배한 녹비작물인 옥수수의 제염효과가 다른 처리구에 비해 뛰어나 지표식물의 생육에 필요한 양분부족에 의한 결과라고 사료된다.

지표식물인 오이묘의 하엽 3번째 잎의 엽록소 함량을 측정한 결과(Fig. 7-23), 각 처리간에 차이가 컸으며 숙마>석결명>수수>옥수수 순으로 엽록소 함량이 많았다. 생육이 저조하였던 화본과 작물에서 엽록소 함량도 콩과작물에 비해 상당히 낮은 수준을 보였다.

제염효과를 알아보기 위한 지표식물로 26일간 재배한 오이묘에 함유된 무기성분의 함량을 분석한 결과를 지상부와 지하부로 나누어 보았다(Table 7-22).

지상부의 무기성분 함량을 보면, 전질소는 옥수수에서 다른 처리구보다 1/2 정도의 낮은 함량을 보였으며 다른 처리간에는 유의차가 없었다. 칼륨과 칼슘은 처리 간에 큰 차이를 보이지 않았으나 옥수수 처리구에서 가장 낮은 함량을 보였고, 마그네슘은 처리 간에 통계적 차이를 보이지 않았다.

지하부를 보면, 전질소는 콩과작물에 비해 화본과 작물에서 낮은 함량을 보였고 칼륨은 옥수수에서 다른 처리구에 비해 낮은 함량을 보였다.

녹비작물 재배 후 제염효과를 알아보기 위해 지표식물로 재배한 오이 식물체의 무기성분 함량을 비교해 본 결과, 콩과작물보다 화본과 작물 처리구에서, 특히 옥수수 처리구에서 가장 낮은 함량을 보여 옥수수의 제염효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다.

실험 2.1.과 실험 2.2.의 녹비작물 생육을 비교해 보면, 화본과작물인 옥수수와 수수는 염류집적 정도에 상관없이 양호한 생육과 뚜렷한 제염효과를 보였다.

이에 반해 뿌리혹선충의 억제 효과가 있는 콩과작물의 생육이 저염류 집적토양에서는 양호했으나 EC 9이상의 고염류 집적토양에서는 작물 자체가 정상적인 생육을 보이지 않아 제염효과를 나타내지 못한 것으로 보인다.

본 연구에서는 석결명과 숙마의 제염효과 이외의 선충밀도 감소 등에 대한 연구를 수행하지 못하였으며 pot 시험인 관계로 포장에서와는 다른 결과가 예상되어 선충다발 시설 내 토양에서의 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

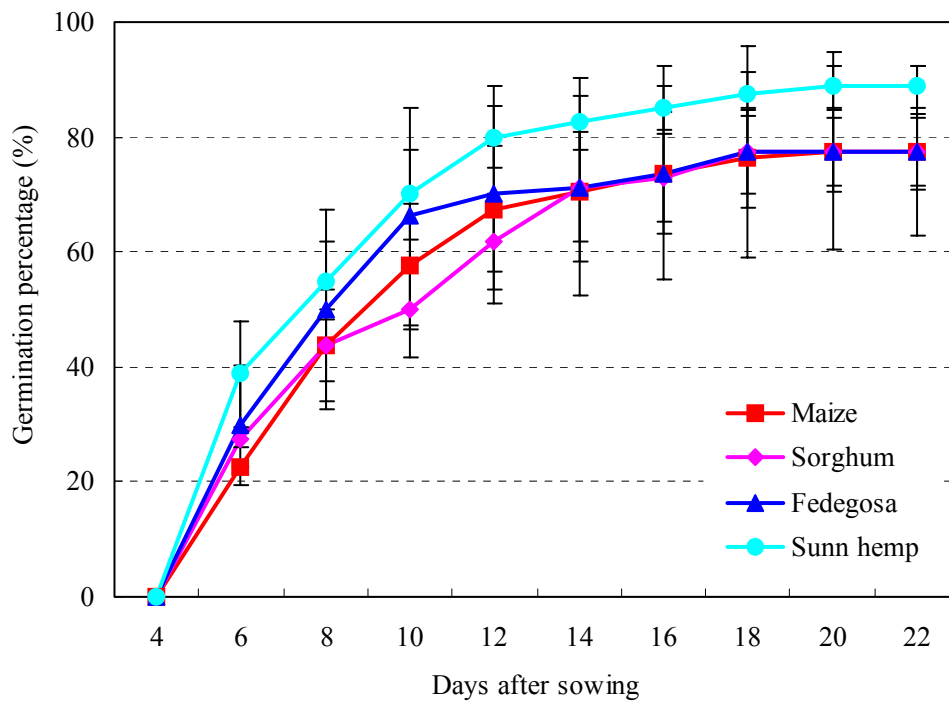


Fig. 7.21. The effect of green manure crops on the germination percentage of cucumber seeds in severe salinized soil. The vertical line associated with each data point is the standard deviation about that mean.

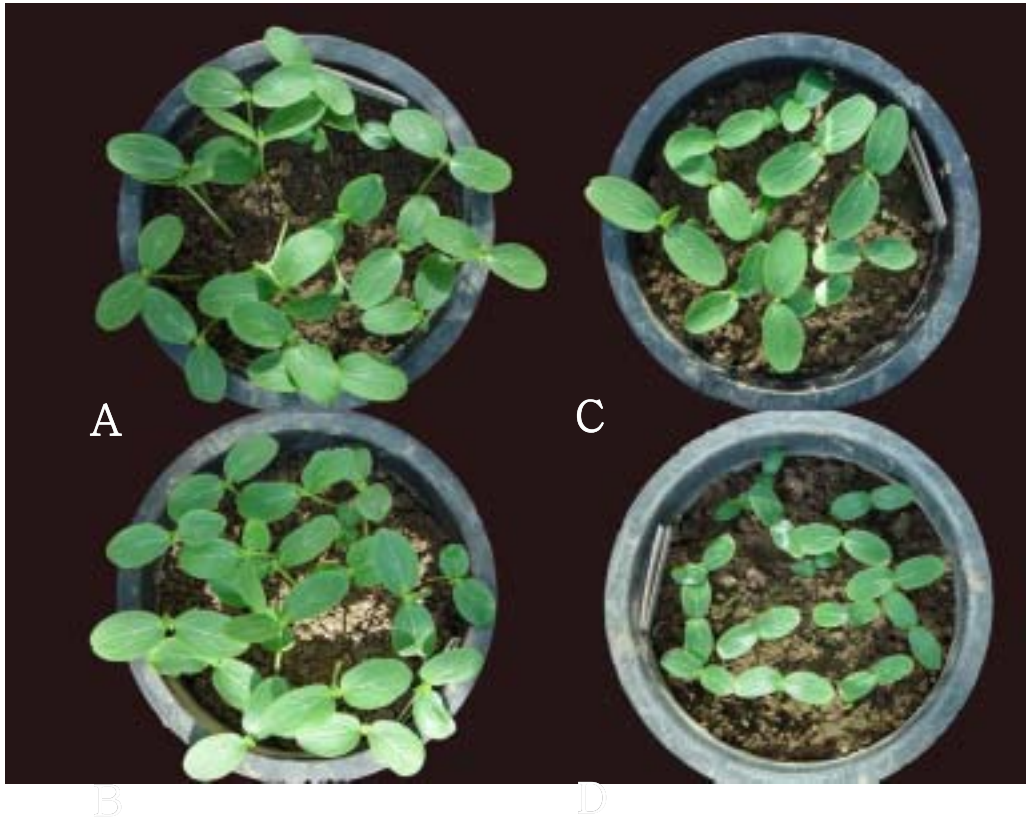


Fig. 7.22. The effect of green manure crops on the cucumber seedling growth in severe salinized soil at 17 days after sowing.

A: Sunn hemp

C: Sorghum

B: Fedegosa

D: Maize

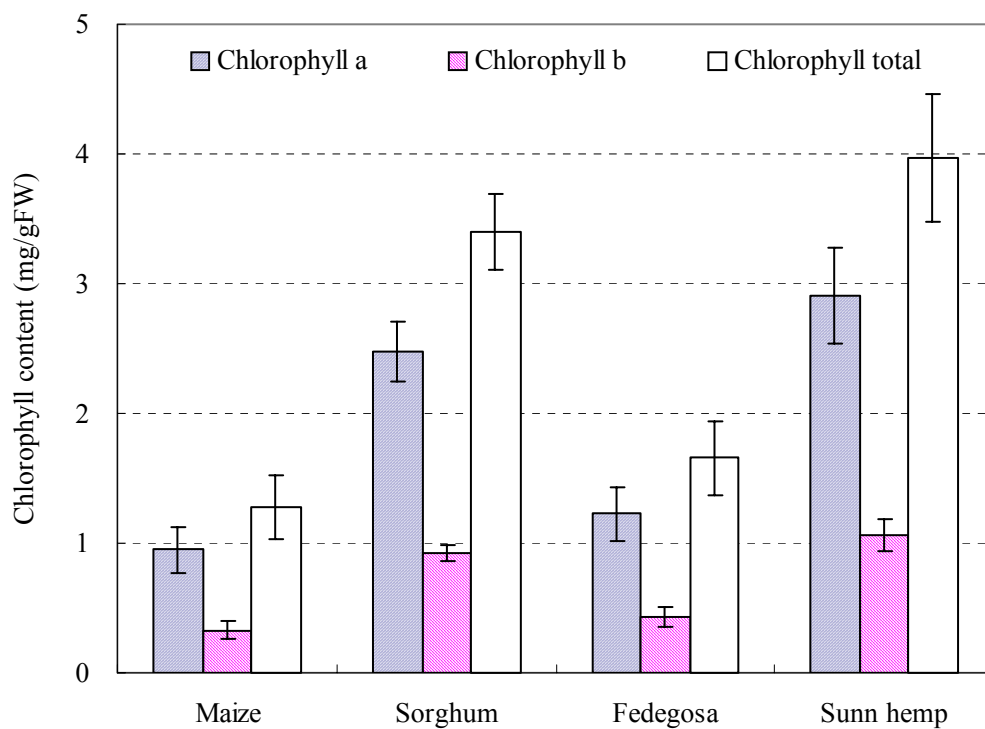


Fig. 7.23. The effect of green manure crops on the chlorophyll content of cucumber leaves in severe salinization of soil. The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

Table 7.22 The mineral content of cucumber in soil grown green manure crops to alleviate severe salinization of soil. (unit: %)

| Parts | Crops | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------------|--------------------|---------|--------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Maize | 0.92 b ^z | 1.22 ab | 0.14 c | 0.19 a | 0.07 a |
| | Sorghum | 1.69 a | 1.54 a | 0.25 a | 0.25 a | 0.08 a |
| | Fedegosa | 1.83 a | 0.96 b | 0.20 b | 0.21 a | 0.07 a |
| | Sunn hemp | 2.12 a | 0.93 b | 0.23 ab | 0.25 a | 0.08 a |
| Root | Maize | 1.01 c | 1.86 a | 0.22 c | 0.07 a | 0.08 a |
| | Sorghum | 0.97 c | 1.32 b | 0.31 b | 0.07 ab | 0.05 c |
| | Fedegosa | 1.54 a | 1.10 c | 0.35 a | 0.06 c | 0.05 c |
| | Sunn hemp | 1.36 b | 0.91 d | 0.31 b | 0.06 bc | 0.06 b |

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

5.7.4. 적요

4가지 녹비작물(옥수수, 수수, 석결명, 숙마)을 2차례에 걸쳐 염류집적토양에서의 제염효과를 알아본 결과, 녹비작물 재배 전에 비해 재배 후에 모든 처리구에서 EC와 무기성분 함량은 감소하였다. 녹비작물로 사용된 콩과작물(석결명, 숙마)보다 벼과 작물(옥수수, 수수)에서 토양 내 무기성분 함량의 감소 폭이 컸으며, 염류집적토양에서 개체 당 무기성분 흡수량도 많았다. 특히 고염류 집적토양 실험의 경우 지표식물인 오이묘의 무기성분 함량을 보면 콩과작물보다 화본과 작물에서, 특히 옥수수에서 가장 낮은 함량을 보였으며 무기성분 흡수량이 가장 많아 옥수수의 제염효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다.

5.8. 토양개량제의 제염효과 시험

5.8.1. 연구목적

본 실험에서는 시설재배 시 문제시되고 있는 염류집적으로 인한 피해를 줄이고자 그 염류집적 해소방안으로 토양개량제의 제염효과를 알아보기 위한 실험으로 활성화탄

(Activate carbon), 목초액(Pyroligneous liquor)과 토양미생물제(Soil-plus)를 토양개량제로 이용하여 실험하였다.

5.8.2. 재료 및 방법

(1)오이의 초기 생육에 미치는 영향

활성탄(extra carbon activated powder, Yakuri, Japan)은 250~350mesh의 크기로 1급 분말활성탄을 사용하였다.

목초액(제일참숯, Korea)은 pH가 3.3이고 편량은 4.88%, 살균효과가 강하며 용액타르는 0.35인 것을 사용하였다.

토양미생물제(soil-plus, Biobest, Korea)는 *Bacillus*와 *Trichoderma* 그리고 zeolite가 주요성분인 soil-plus를 사용하였다.

처리구를 보면 활성탄은 $50\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$ 수준으로 10g/pot와 물 300mL, 목초액은 75L/a 수준으로 원액을 200배 희석하여 300mL/pot, 토양미생물제는 24kg/a 수준으로 4.8g/pot와 물 300mL, 그리고 무처리한 대조구에는 물만 300mL 처리하여 각각 4반복으로 배치하였다.

2003년 3월 15일, 정확한 실험을 위해 1/5,000a Wagner pot와 용적이 같은 직경 20cm plastic pot에 연작지 밭토양(약 4.8kg)을 토양개량제 처리구와 무처리구에 담고 각각의 토양개량제로 처리한 후 제염효과를 알아보기 위한 지표식물로 오이 종자를 20개/pot씩 파종하였다.

본 실험에서 지표식물로 이용된 ‘은성백다다기’ 오이(*Cucumis sativus* L.)는 반백색이 선명하고 과형이 H형이며, 과실의 비대가 빠르고 조기수량이 많다. 육질이 아삭아삭하고 맛이 좋으며 암꽃 착생률은 80% 정도이나 온도에 따라 변한다. ‘은성백다다기’ 오이는 내병성과 내한성에 강하고 절성은 88%, 과장은 24.0cm, 수량지수는 115, 불량과율은 8%이다.

관수방법은 염류제거 실험이므로 물로만 토양 상부에 비커를 이용하여 100mL/day 관수하였고, 본 실험은 pot 내 토양개량제의 제염효과를 보기 위한 실험이므로 pot의 밖으로 나오는 폐수가 없도록 관리하였다.

밭아울은 밭아 후 매일 오전에 1회씩 조사하였고 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중 등 생육조사를 파종 후 12일부터 일주일 간격으로 실시하였다.

오이는 파종한 지 26일째인 2003년 4월 10일에 초장, 엽폭, 엽장, 엽병길이, 경경, 지

상부와 지하부의 생체중과 건물중, 엽록소함량 등을 조사하고 수확하였다.

토양의 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, 토양개량제의 처리전과 처리한 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후의 EC, 토양 pH와 무기성분인 전질소, 유효인산, 치환성양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등을 각각 조사하였다.

EC와 pH는 1:5 H₂O법에 의해서 각각 EC meter(Cond 315i, WTW, Germany)와 pH meter(C535, Consort, Belgium)로 측정하였고, 전질소는 Block digester를 이용하여 켈달증류장치(Vapodest 40, Gerhardt, Germany)로 측정하였다.

유효인산은 Lancaster법으로 spectrophotometer(U-3010, Hitachi, Japan)를 사용하여 720nm에서 비색측정하였으며, 치환성양이온은 1N NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 Ion chromatography(ICP: Plasmalab 8440, Labtam, Australia)를 이용하여 측정하였다.

식물체 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였는데, 지표식물인 오이의 전질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 무기성분과 엽록소함량을 조사하였다.

식물체를 분석하기 전에 H₂SO₄-HClO₄ 분해법으로 시료를 분해하였다. 전질소는 켈달증류장치(Vapodest 40, Gerhardt, Germany)로 측정하였고, 유효인산은 spectrophotometer(U-3010, Hitachi, Japan)로 파장 470nm에서 흡광도를 측정하였다. 치환성양이온은 H₂SO₄-HClO₄ 분해액을 ICP(Plasmalab 8440, Labtam, Australia)를 이용하여 측정하였다.

엽록소 함량 측정은 DMF법으로 하였는데, 오이 잎의 생체 0.2g을 DMF (*N,N*-Dimethylformamide) 10mL에 넣고 일주일동안 암소, 저온에서 보관한 후 상등액 1.5mL을 취해서 DMF 6mL에 5배로 희석한다. chlorophyll *a*는 664.5nm, chlorophyll *b*는 647.0nm 파장에서 spectrophotometer(DU650, Beckman, U.S.A.)로 측정하여 계산식에 의해 chlorophyll *a*와 *b*, 그리고 전체 함량을 계산하였다(Inskeep과 Bloom, 1985).

(2) 오이 및 토마토의 수량에 미치는 영향

오이의 초기 생육에 이어서 수량과 품질에 미치는 영향을 보고자 육묘시험과 동일

한 방법으로 실시하였다. 오이 양액은 Yamazaki(1978)오이양액을 공급하였다. 착과수, 수량, 과중, 과실의 크기 등을 조사하였다.

토마토는 농우종묘 '선명'을 이용하여 관행적 방법으로 육묘한 다음에 1/5000 Wagner pot에 재배하면서 실험하였다. 양액은 Yamazaki(1978) 토마토액을 공급하였다

5.8.3. 결과 및 고찰

(1). 토양개량제를 처리한 토양의 화학성 변화

토양의 염류집적 정도를 알아보는 지표가 되는 EC의 변화를(Fig. 2) 토양개량제의 처리 전과 처리 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후에 조사하였다. 그 결과 토양개량제 처리 후의 EC는 활성탄 처리구를 제외한 무처리구와 목초액, 토양미생물제 처리구에서 다소 증가한 후 지표식물인 오이를 재배한 후의 EC는 모든 구에서 감소하였다.

토양 pH는 모든 실험구에서 처리 전 토양에 비해 처리 후 토양 pH가 다소 높아지는 경향이었는데, 처리간에는 차이를 보이지 않았다(Fig. 3). Kang 등(2000)도 부산물 비료, 지렁이분, 목탄분말(활성탄), 벚짖, 부엽토 등을 이용하여 염류집적지에 대한 토양개량제 시용효과를 비교한바 시험 전에 비해 시험 후 토양에서 모든 처리구의 pH 상승이 상승되었다고 보고한 바 있다. 토양개량제 처리 후에 pH가 높아지는 것은 활성탄 자체의 pH가 8~9로 높은 것에서 기인된 것으로 생각되는데, Park 등(1993)도 같은 결과로 보고한 바 있으며, 토양개량제 시용이 산성화된 토양을 개량해준다(Lee 등,2001)고 하였다.

토양개량제 처리 전과 처리 후, 지표식물인 오이를 재배한 후 토양의 무기성분 함량 변화를 분석한 결과는 Table 2과 같다.

토양개량제 처리 후 토양 내 무기성분 함량 변화를 보면, 전질소는 활성탄 처리구에서 처리 전에 비해 감소하였으나 다른 처리와의 차이에 유의성은 없었다.

유효인산은 토양개량제 처리에 의한 감소효과를 보이지 않았으며 처리간 차이가 없었다.

치환성양이온은 전체적으로 토양개량제 처리 전에 비해 처리 후에 감소하는 경향을 보였었는데, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 모두 활성탄 처리구에서 가장 큰 감소를 보였다. 칼륨은 활성탄 처리구가 처리 후의 50% 이하로 감소하여 목초액 처리구에 비해 2.2배의 적은 함량을 보였고, 칼슘은 각 처리간 큰 차이를 보이지 않았으나 활성탄 처리구에

서 가장 낮은 수치를 보였다. 마그네슘 함량도 활성탄에서 처리전의 60% 이하의 함량을 보이며 가장 많이 감소하였다.

오이재배 후 토양 내 전질소와 인산함량은 모두 감소하였는데 이 또한 각 처리간 차이에 유의성은 없었다.

치환성양이온 역시 칼륨을 제외하고 활성탄 처리구에서 가장 낮은 함량을 보였다. 칼륨의 경우 활성탄과 미생물제 처리에서 가장 낮은 구치를 보였는데 특히 미생물제의 경우 재배전의 15% 미만의 낮은 함량을 보였다.

이는 미생물제를 처리한 토양에서의 오이묘의 지하부 생육이 가장 양호하였던 결과와 관련지을 수 있다.

일반적으로 근채류 재배 시 칼륨 시비가 우선시되고 근채류의 무기성분 함량에서도 칼륨의 함량이 월등히 높아 지하부 생육에 있어 칼륨의 중요성은 이미 알려진 사실인데(Nonnecke, 1989), 본 실험에서도 지하부 생육이 가장 좋았던 미생물제 처리에서 오이재배시 칼륨의 흡수가 가장 많았다.

Park 등(1993)은 활성탄을 100, 300, 500kg/10a 처리하여 실험한 결과, 활성탄의 시용량이 많을수록(500kg/10a) 수량이 증가하고 생육이 좋아지는 경향을 보였다고 보고하였는데, 본 실험에서도 이와 같이 양이온 흡착능이 큰 활성탄 처리 시 다른 처리구에 비해 무기성분의 함량이 감소한 것으로 보아 활성탄이 염류집적 해소에 효과가 있음을 알 수 있었다.

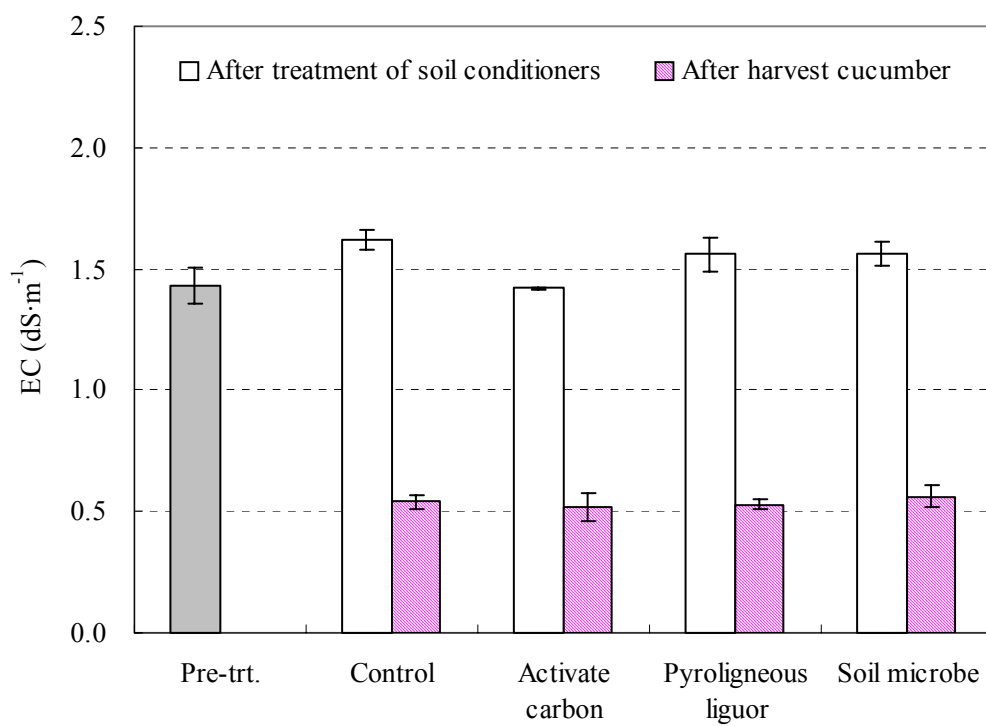


Fig. 7.24. The change of electrical conductivity in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil. The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

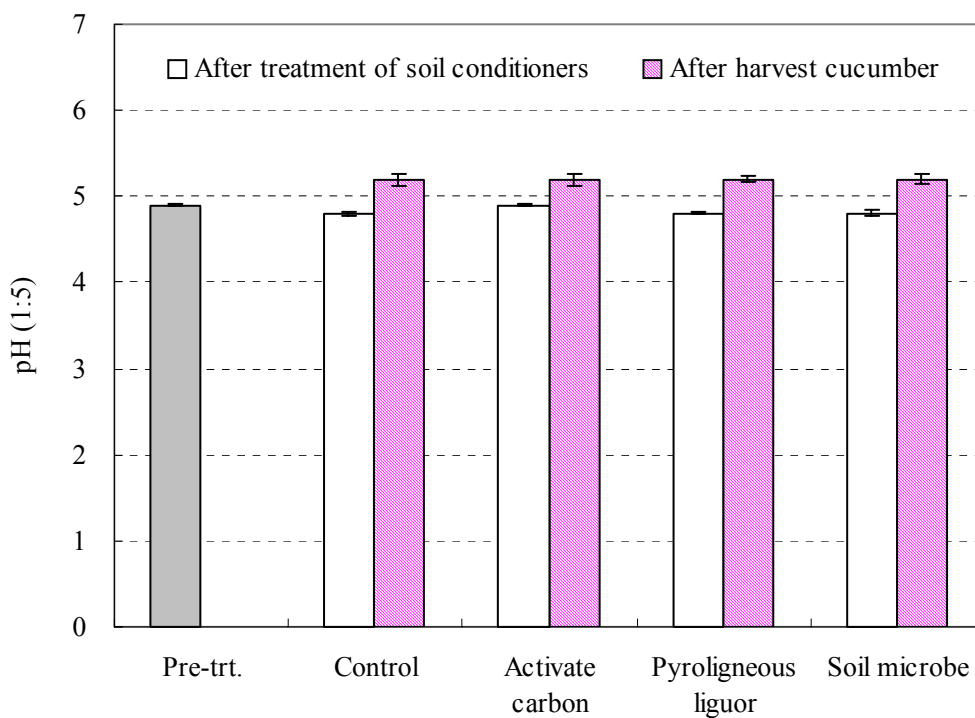


Fig. 7.25. The change of pH in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil.

The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

(2). 토양개량제를 처리한 토양에서 재배한 오이의 초기생육 및 무기성분변화

토양개량제를 처리한 토양에서 제염효과를 알아보기 위해 지표식물로 오이 종자를 파종하여 26일 동안 재배하였다.

오이의 발아율을 조사한 결과를 보면(Fig. 7-26) 오이 종자는 파종한지 6일째부터 발아하기 시작했는데 무처리구와 목초액 처리구는 98%, 토양미생물제 처리구는 94% 인 반면에 활성탄 처리구는 다른 구에 비해 다소 저조한 75%의 발아율을 보였다. 그러나 다른 처리간 통계적 유의차는 보이지 않았다. 이는 활성탄 처리 농도가 높았거나, 활성탄에 어떤 발아억제물질이 있지 않았나 추측된다.

오이 종자를 파종한지 17일째 되는 오이묘의 생육모습을 사진으로 보면(Fig. 7-27), 육안으로 보기에 무처리구와 목초액, 토양미생물제 처리구간에 오이묘의 생육에 큰

차이가 없으나 활성화탄 처리구는 다른 처리구에 비해 생육이 저조하였다.

그러나 26일째 오이 생육에서는(Table 7-24) 활성화탄 처리구의 초장만이 다른 처리구에 비해 작았고 다른 조사항목에서는 차이를 보이지 않았다. 또한 활성화탄 처리구의 짧은 초장은 다소 저조하였던 발아율과 관련이 있었던 것으로 사료된다. 토양미생물제 처리구의 오이묘 생육은 대조구에 비해 초장이 작았지만 엽 크기나 경경, 생체중 등이 다른 처리구보다 좋은 편이었다. 그리고 미생물제 처리구에서 특히 지하부의 생체중과 건물율이 다른 처리구에 비해 높은 수치를 보이는 것은 Kim(2001)과 Yun 과 Shin(2001)의 연구에서 미생물제 시용으로 작물의 생육 촉진 및 수량 증가 효과가 있다는 보고하였다. 미생물제는 토양 내 유용미생물을 공급하므로 작물의 뿌리 생육과 깊은 상관관계에 있다고 사료된다.

그러나 전체적인 오이묘의 생육은 초장 외에 처리 간에 큰 차이가 없었다. 제염효과에 대한 지표식물이었던 오이의 생육에 처리 간 차이가 없었다는 것은, 본 실험에서 사용한 3가지 토양개량제에 의한 제염효과가 뚜렷하지 않음을 보여주었다.

또한 지표식물인 오이묘의 하엽에서 3번째 잎을 채취해 측정된 엽록소 함량은 목초액 처리구에서 다소 낮은 수치를 보였으나 처리구간에 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 7-27).

지표식물로 26일간 재배한 오이묘의 지상부와 지하부에 함유된 전질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘과 마그네슘 등의 무기성분 함량 또한 처리간에 통계적인 차이가 없었다 (Table 7-23)).

이상의 처리 토양의 화학성 변화와 오이 생육과 무기성분 함량의 결과로 보아, 본 실험에 사용된 3가지 토양개량제인 활성화탄, 목초액과 토양미생물제에 의한 뚜렷한 제염효과는 나타나지 않았다고 사료된다.

다만 여기서는 측정치 않았으나 토양의 물리성 개선 등이 있을 수 있음을 감안해서 추후의 실험이 더 필요하다고 본다.

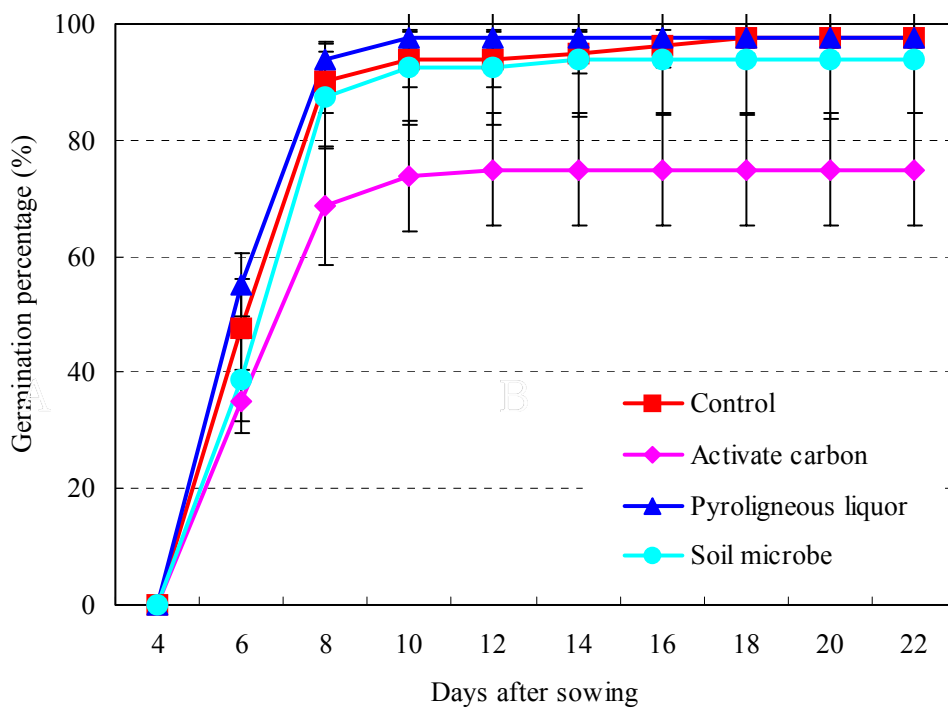


Fig. 7.26 The effect of soil conditioners on the germination percentage of cucumber seeds in salinized soil.

The vertical line associated with each data point is the standard deviation about that mean.



Fig. 7.27. The effect of soil conditioners on the cucumber seedling growth in salinized soil at 17 days after sowing.

A: Soil microbe(upper, left) C: Pyroligneous liquor(upper, right)

B: Activate carbon(down, left) D: Control(down, right)

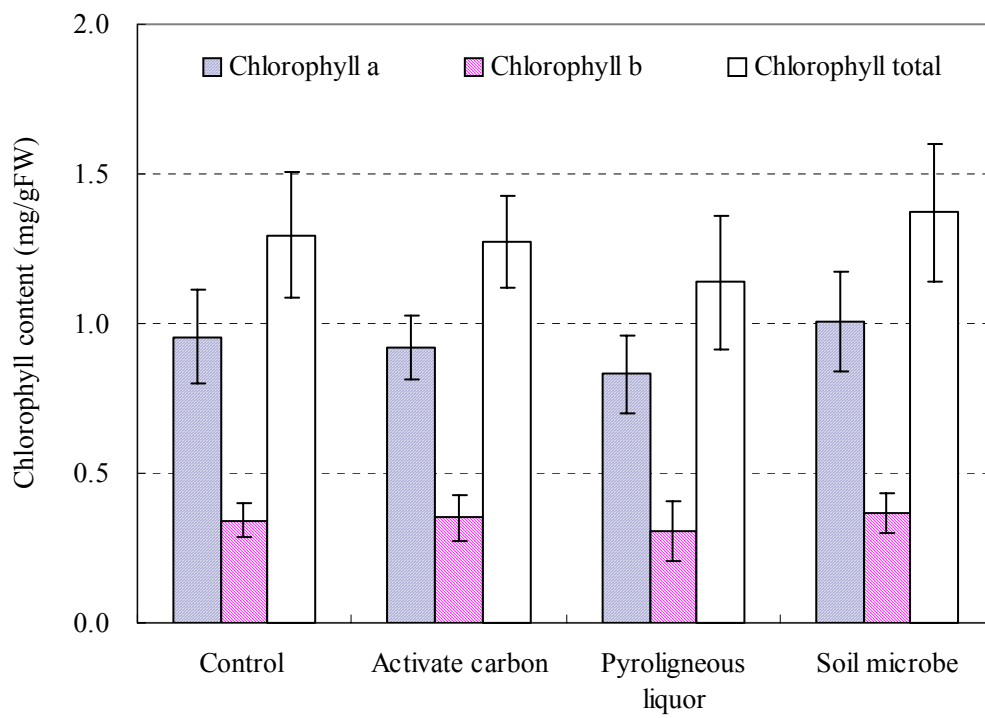


Fig. 7.28. The effect of soil conditioners on the chlorophyll content of cucumber leaves in salinized soil.

The vertical line atop each bars is the standard deviation for that mean.

Table 7.23. The mineral content of cucumber, as indicator plant, in soil treated soil conditioners to alleviate salinization of soil. (unit: %)

| Parts | Treatments | Total N | P ₂ O ₅ | Exchangable cation | | |
|-------|---------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|--------|---------|
| | | | | K | Ca | Mg |
| Shoot | Control | 0.77 a ^z | 1.01 a | 0.15 a | 0.14 a | 0.04 a |
| | Activate carbon | 0.80 a | 0.98 a | 0.13 ab | 0.15 a | 0.04 a |
| | Pyroligneous liquor | 0.77 a | 0.96 a | 0.13 b | 0.15 a | 0.04 a |
| | Soil microbe | 0.89 a | 1.08 a | 0.14 ab | 0.17 a | 0.04 a |
| Root | Control | 0.89 b | 1.51 ab | 0.25 b | 0.08 a | 0.04 bc |
| | Activate carbon | 0.99 b | 1.41 b | 0.26 ab | 0.08 a | 0.04 c |
| | Pyroligneous liquor | 1.00 a | 1.62 a | 0.25 b | 0.07 a | 0.04 b |
| | Soil microbe | 1.12 a | 1.66 a | 0.29 a | 0.08 a | 0.05 a |

^z Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

(3). 토양개량제가 염류집적 토양에서 오이생육에 미치는 영향

오이의 수확량은 soil-plus, 활성탄 처리구에서 가장 좋았으며 그 다음이 광합성 촉진 미생물 처리구였다(Table 7-24). 반면에 목초액은 대조구보다도 약간 낮게 나왔다. 이것으로 보아 목초액의 처리 시에 적정 함량을 조절하는 실험을 추가로 실시해야 할 것으로 사료되었다.

과실의 무게를 비교해 보면 역시 활성탄구가 98g으로 가장 높았으며, 광합성 처리구에서 96.2g으로 soil-plus 87.3g보다 좋게 나타났다

외적품질의 기준이 될 수 있는 과형은 모든 처리구에서 대조구 보다 고르게 생육된 것으로 나타났다. 이는 미생물제가 토양의 물리적·화학적 성질의 개선을 촉진했기 때문이라 사료된다.

Table 7.24. Effect of soil conditioners on the cucumber fruit.

| Treatment | No. of fruits (ea) | Yield (g/plot) | Average weight (g/fruit) | Fruit length (cm) | Fruit width(cm) | | |
|------------------------------|--------------------|----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|--------|--------|
| | | | | | Top | Middle | Bottom |
| Control | 33 | 587 | 89.0 | 18.5 | 2.62 | 2.26 | 2.06 |
| Photo microbe ^z | 34 | 654 | 96.2 | 19.0 | 2.59 | 2.35 | 2.10 |
| Soil plus ^y | 38 | 664 | 87.3 | 17.9 | 2.55 | 2.31 | 2.16 |
| Wood vinegar ^x | 32 | 574 | 89.7 | 18.7 | 2.58 | 2.28 | 2.12 |
| Active charcoal ^w | 37 | 725 | 98.0 | 18.8 | 2.67 | 2.36 | 2.14 |

^z 4.8g/pot mixed in 300ml water.

^x 300ml mixed 200 times

^y 75L/a (mixed 200 times)

^w 10g/pot mixed 300ml water

오이의 초장(Fig. 7-29)은 처리 간에 큰 차이를 보이지는 않았으나, 활성탄에서 가장 길었고, 그 다음이 soil-plus 구였으며, 광합성 촉진 미생물과 대조구가 같았고, 오히려 목초액은 대조구 보다도 낮게 나타났다. 이는 과실의 수확량이나 수량과 같은 양상을 보였다. 표에는 나타나 있지 않지만 실험을 하면서 관찰해보면 전체적으로 목초액 처리구에서 생육이 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 목초액은 재료에 따라 성분이 일정하지 않고 실제 사용시 산도의 조절 등에 문제가 있기 때문으로 생각 된다. 그러나 일부 농가에서는 목초액의 효과를 인정하고 있어서 염류집적 토양에서 계속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

오이의 엽장은 수확단계에서는 큰 차이가 없었으나 정식 한달 후를 보면 활성탄, 광합성, soil-plus, 대조구, 목초액 순으로 생육이 차이가 남을 알 수 있다(Fig. 7-30). 이는 엽장과 생육관계는 정의 관계가 있음을 의미한다.

오이의 지하부 생장의 경우 역시 활성탄 처리구에서 무게와 길이가 가장 좋았다. 활성탄 처리구에서 주근에 따른 세근의 고른 발달을 보였으며 soil-plus가 그 다음이었다(Fig. 7-31).

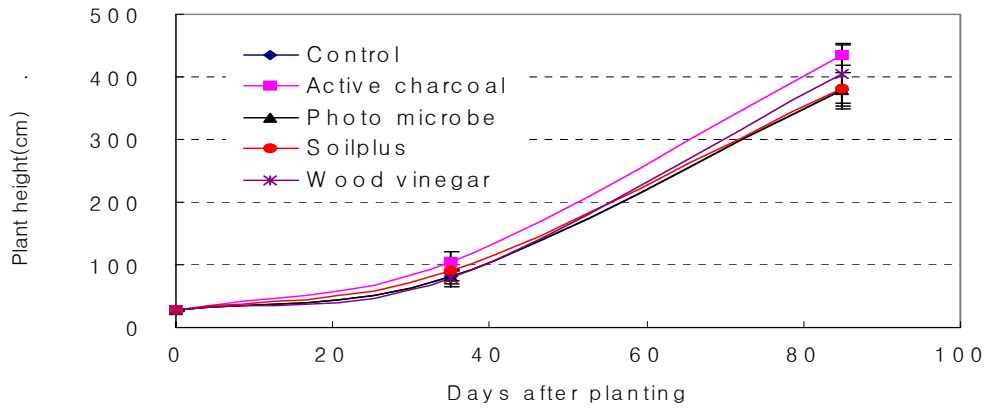


Fig. 7.29. Effect of soil conditioners on the plant height of cucumber in salinized soil.
z. see table 6.

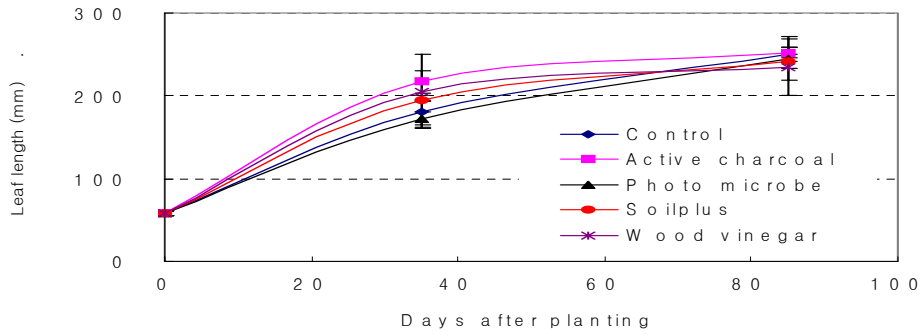


Fig. 7.30. Effect of soil conditioners on the leaf length of cucumber in salinized soil.
z. see table 6.



Fig. 7-31. Effect of soil conditioners on the growth of cucumber roots.

z. see table 6.

지하부 생장은 지상부와 비슷한 경향을 보였다(Fig. 7-32). 이는 미생물제 등에 의한 식물 뿌리의 생육촉진(Hadas and Okon, 1987), 옥수수과 수수의 무기염류 흡수 촉진(Lin and Okon, 1983) 등에서의 보고와 유사한 결과를 나타낸 것으로 사료되었다. 앞으로 국내 토양에서 분리한 새로운 미생물을 응용한 연작장해 경감 기술에 대한 계속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

지금까지 염류토양에서 토양개량제 연구 결과로 미루어, 오이 재배 시에 활성탄을 이용하는 것이 토양의 이·화학적인 특성을 향상시켜 오이의 생육을 좋게 하는 것으로 나타났다. 그러나 활성탄의 가격이 다소 고가인 것이 사용 시 고려할 점이라 사료된다. 다만 연작지에서 고농도의 염류제거에 활성탄을 이용하는 것이 좋은 결과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

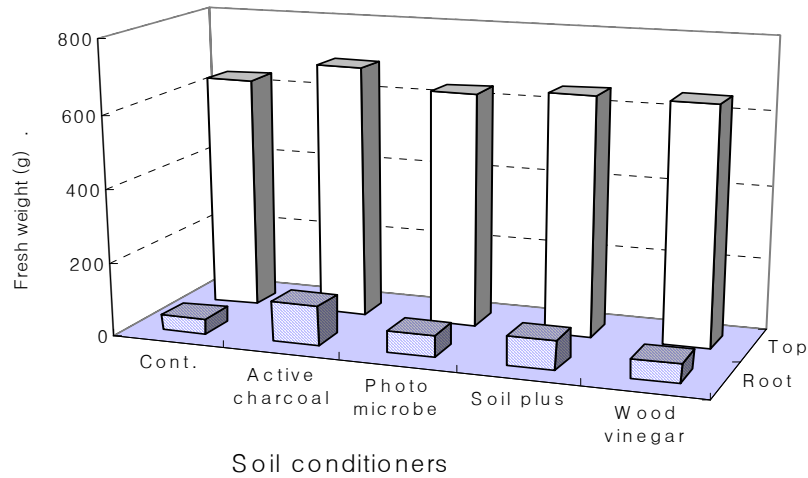


Fig. 7.32. Effect of soil conditioners on the top and root fresh weight of cucumber plant grown in salinized soil.
z. see table 6.

(4) 토양개량제가 토마토의 생육에 미치는 영향

토마토 과실의 주당 총 수확량은 활성탄을 처리한 구에서 가장 높았고, Soil Plus 가 그다음으로 높은 수량성을 보였다(Fig. 7-33). 광합성 미생물제와 목초액 처리구는 비교적 낮은 수량성을 보였는데, 이것은 수량성과 정반대의 결과를 보이는 배꼽썩음과울 때문인 것으로 사료된다(Fig. 7-34).

배꼽썩음과는 Ca 부족으로 일어나기 쉬운데 이것은 토양이나 양액에 의한 공급이 충분하더라도 염류 농도(EC)가 높을 경우 Ca의 흡수가 저해되어 발생한다. 본 실험에서는 최초 재배 토양의 표토 EC가 4.0-4.5 mS·cm⁻¹ 수준으로 고농도의 염류였기 때문에 초기 성장 시에 배꼽썩음과가 발생한 것으로 사료된다. 또한 질소나 칼리질의 비료 성분이 많이 포함되어 있을 경우 비료성분의 길항 작용으로 Ca의 흡수가 저해된 것으로 사료된다. 활성탄의 경우 목재 갈탄·이탄(泥炭) 등을 활성화제인 염화아연이나 인산과 같은 약품으로 처리하여, 건조시키거나 목탄을 수증기로 활성화시켜 만든 것으로, 탄소물질 또는 탄소를 함유한 물질을 활성 시킨 것으로 내부 표면적이

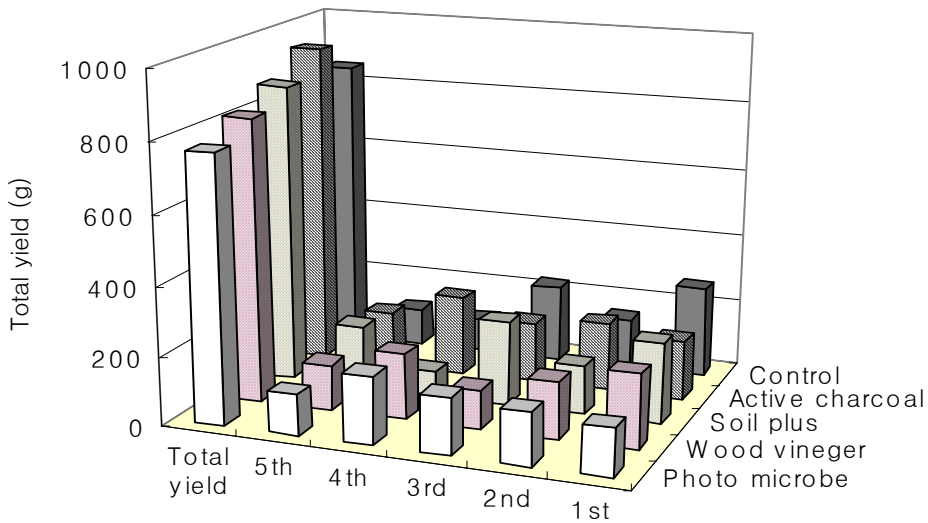


Fig. 7.33. Effect of different soil conditioners^z on the yield in the salinized soil.

z. see table 6.

크고 흡착력이 매우 강한 무정형 탄소의 집합체이다. 활성탄의 흡착능력은 비표면적이 좌우하며, 활성탄소 1g은 1,000 - 1,700m²의 표면적을 가지고 있는 다공성 물질이다(Fig 7-35). 이 같은 특징 때문에 고농도의 염류 토양에서 토양내의 주요한 양분을 흡착하고 있어 생육의 증진과 함께 양분 부족시에 양분의 고른 방출로 수량성을 향상시킨 것으로 사료된다.

토양미생물제제인 광합성 미생물은 근권환경을 개선하는 미생물이다. 이들은 주로 부숙액비를 제조하는데 많이 사용되어 근권 내의 병원성 미생물의 서식을 억제함으로써 근권부의 생육을 촉진하며, 토양내의 유기물을 분해하여 식물이 필요로 하는 무기물을 공급하는 역할을 주로 하는 미생물이다. 본 실험에 사용된 미생물이 비교적 저조한 수확량을 보인 것은 근권에 잔존하고 있던 다양한 유기물을 분해하여 많은 무기물을 만들어 주었으나 기본적으로 고염류 토양인 본 실험 토양에서 이러한 무기물 분해 효과는 오히려 근권내의 무기물 함량 증가를 유도해 식물의 양분 흡수 길항작용으로, Ca의 흡수를 저해하여 배꼽썩음과를 증가시키고 수량 증가에 크게 역할을 하지 못한 것으로 사료된다. 이러한 경향은 Soil plus에서도 같은 효과가 있었으리라 예상

된다. 그러나 Soil plus는 공급 방식이 과립형태로 상당한 양의 유기물을 포함하고 있고, 또한 미생물이 쉽게 서식할 수 있는 환경을 만들어 줌으로써 비교적 우수한 결과를 보인 것으로 판단된다. 본 실험에 다양한 유기물을 첨가하여 미생물 제제를 이용한 실험을 실시하였다면 좀 더 우수한 결과를 얻을 수 있었으리라 판단된다. Hanan(1998)은 온실에서 고염토양에서는 mychorrizae 의 역할이 크지 않지만 상업적 이용 등에 대한 적용을 제시 하고 있다. 따라서 다양한 유용 미생물제제를 국내 토양에서 양산해서 이용할 필요는 있다고 생각된다.

5.8.4. 적요

본 실험에서는 염류집적 토양의 해소방안으로 토양개량제의 제염효과를 알아보고자 수행하였다. 토양개량제로는 활성탄, 목초액, 그리고 토양미생물제를 사용하였다.

염류집적토양에서 제염효과를 알아보기 위해 3가지 토양개량제를 처리한 토양에 지표식물로 오이를 파종하여 그 효과를 알아본 결과, 토양 내 무기성분 함량의 변화는 활성탄 처리시 낮은 함량을 보였으나 처리간 유의성은 없었다. 지표식물인 오이의 생육에서도 처리간에 차이를 찾아볼 수 없었으며 오이의 무기성분 함량 또한 토양개량제 처리에 의한 함량 변화를 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 실험에 사용된 3가지 토양개량제인 활성탄, 목초액과 토양미생물제에 의한 뚜렷한 제염효과는 나타나지 않았다.

토양개량제로 광합성균(Photomicrobe), soil plus, 목초액, 활성탄등 4가지들을 사용하여 오이와 토마토를 재배한 결과 활성탄 처리구에서 수량과 뿌리생육이 좋았다.

또한 토마토의 배꼽썩음병의 발생도 활성탄 처리구에서 가장 낮았다. 당도는 soil plus 처리구에서 높았고 nitrate 함량은 처리 간에 차이가 없었다

5.9. 엽근채류 잔유물에 따른 작부 체계 확립 시험

5.9.1. 재료 및 방법

(1). 엽근채류 잔유물의 오이와 토마토의 발아 및 생육억제 효과

오이와 토마토 재배 전작물로 배추, 무, 파, 상추 잔유물의 영향을 보고자 생체를 구입하여 2mm 이하로 크기로 절단하여 시험에 이용하였다. 잔유물을 투입하지 않은 구를 대조구로 하고 처리구는 절단한 전작물을 1000kg*10a⁻¹ 수준으로 처리하고자 구당 50g의 파쇄 전작물 각각을 일반 발흙(EC 0.9 dS*m⁻¹, pH 5.8)이 들어있는 포트(Ø12cm)에 혼합하였다. 이렇게 처리한 발흙에 처리 당일, 처리 10일, 20일, 30일, 40

일, 50일 후 오이와 토마토 종자를 10립씩 파종하여 5반복 처리하였다. 대조구를 포함하여 모든 처리구에 동일한 양의 물을 주었다. 기타 재배관리는 일반 육묘법에 준하였다. 조사사항은 포장 발아율을 관행적인 기준 (떡잎이 완전히 표토 밖으로 나오는 시기)으로 조사 했으며 그 외 엽폭, 엽장, 초장을 조사 비교 하였다.

(2). 엽근채류 추출물 농도가 오이와 토마토의 발아 및 유묘생장에 미치는 영향

앞선 실험에서 이용한 배추, 무, 파, 상추의 5, 10, 17, 23%(g/mL)의 증류수 추출용액을 만들어 오이와 토마토의 기내 발아실험을 하였다. 그러나 생육억제가 뚜렷하지 않아서 2차 시험에서는 고농도로 35, 50, 65 %(g/mL)로 처리하였다. 각 농도별로 측량한 전작물을 증류수에 넣고 homogenizer로 마쇄한 후 24시간동안 120 rpm에서 현탁하여 여과한 여과액을 사용하였다. 각 처리는 petridish (Ø 12cm)에 여지(Whatman No. 2)를 2장 깔고 추출용액을 5mL씩 주입하여 종자를 토마토 50립, 오이 20립씩 치상한 다음 incubator (25℃)에서 치상했다. 발아율 조사 기간동안 추출액을 부족 할 때마다 일정량을 주입해주면서 매일 발아율, 유근의 길이 등을 조사하였다. 유근의 길이는 2mm 이상인 것을 조사하였다.

5.9.2. 결과 및 고찰

(1). 엽근채류 잔유물의 오이와 토마토의 발아 및 생육억제 효과

전작물로서 배추, 무, 파, 상추 등 4 작물의 잔유물을 화분에 혼합한 후에 처리당일 파종, 10일 후 파종, 20일 후 파종, 30일 후 파종을 하여 발아율을 조사한 결과는 Fig. 7-34, 35와 같다. 초기에는 상당한 발아억제 효과를 가져 왔으나 20일 지나면서 발아율에는 차이가 없었다.

채소류를 분해하여 흙에 혼합 후에 오이를 바로 파종하면 가장 발아율을 억제시키는 작물은 파이며 다음이 무였다. 그러나 배추와 상추는 발아율에 영향을 크게 미치지 않았다. 그러나 토마토에서 발아율 억제효과는 전혀 다른 양상을 나타냈다(Fig. 7-34,35). 즉 대조구에 비해서 분해물을 넣은 당일 파종의 경우에 파, 배추, 무, 상추 등 4 가지 처리 식물 모두가 토마토의 발아를 억제하였다. 이와 같은 억제 효과는 10일째까지 지속되었다. 그러나 20일이 지나면서 파종한 경우에는 발아 억제 효과가 감소하였다. 30일째에는 처리간에 다소 억제가 되었으나 큰 차이가 없었다. 이로 미루어 백합과인 파가 가장 큰 발아 억제효과를 보였으며, 다음이 배추과인 무, 배추였으며 상추는 토마토 발아만 억

제하였고, 오이에는 효과가 없었다. 그리고 이와 같은 억제효과는 20일이 지나면 효과가 없어지는 것을 알 수가 있었다.

시설의 연작장해는 토양의 물리화학적 변화, 병해충의 해, 독성물질의 해, 기타원인으로 분석되고 있음은 이미 잘 알려져 있기 때문에 여기서 나타난 과의분쇄물이 오이와 토마토의 발아억제에 미치는 효과는 일종의 식물독소(phytotoxin)을 가진 것으로 생각된다. Fritz 등 (1989)은 독일의 연구결과를 기초로 양배추, 꽃양배추, 케일, 방울다다기 양배추 다음에 시금치, 상추, 당근, 꼬투리용 강낭콩을 심으면 생육이 좋지 않다고 보고했고 이들 배추과 식물의 다른 식물 생육억제 효과는 주로 매운 맛 성분인 mustard oil에 기인한 것이라고 하였다. Mustard oil의 주성분은 allyl-isothiocyanate로서 일종의 glucoside group이다(Friedman, 1995). 과에도 유사한 매운 맛 성분이 들어 있어서 이들이 발아억제를 했다고 본다. 특히 과의 allyl-isothiocyanate의 함량은 배추과보다 높다고 한다. 그러나 상추의 억제효과 물질에 대해서는 알 수 없으나 이들 역시 phenolic acid가 존재해서 그런 억제 작용을 나타내는 것으로 추측된다. Phenolic acid로서 후작물 생육억제물질은 caffeic acid, chlorogenic acid, P-coumarin, ellagic acid, ferulic acid, garlic acid, P-hydroxybenzoic acid, syringic acid, vanillic acid 등이 있다. Friedman (1995)은 여러 연구 결과를 바탕으로 토양에서는 phenolic acid가 크게 발아억제나 초기 생육에 억제를 보지 못했다고 하면서 많고 지속적인 연구를 권장하고 있다. 그러나 본 시험에서 억제는 인위적으로 일정량을 갈아서 주입하므로써 기내 petridish 실험에서와 같은 고농도 처리 시 억제효과를 나타내지 않았다고 생각되어 앞으로 실제 포장에서의 시험도 필요하다고 생각된다. 특히 지금까지 연구에서는 이들 억제 물질의 발아억제 지속기간의 구멍이 보고된 바 없어서 20일이 지나면 발아에 큰 영향이 없다는 것은 큰 연구결과로 생각된다. 이와 같이 20일 지나면 억제효과 감소가 되는 것은 알맞은 관수에 따른 토양 미생물의 분해 때문에 나타난 결과로 추측이 된다. 이는 유묘 시험에서의 결과를 바탕으로 다시 고찰해 보고자 한다.

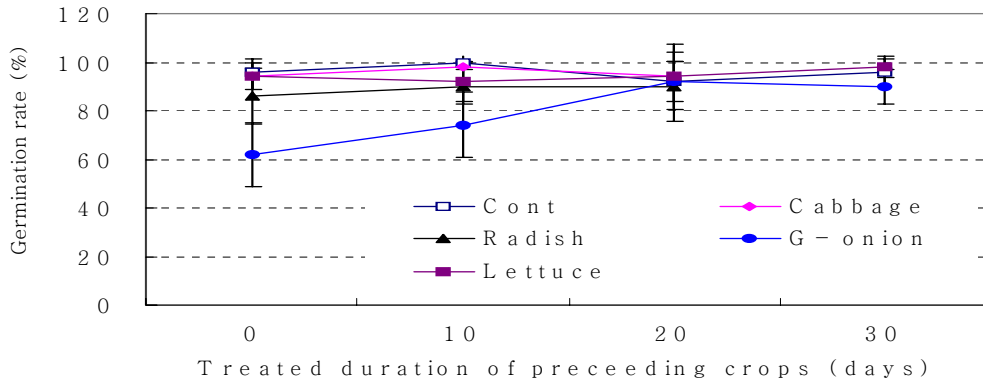


Fig.7.34. Germination rate of cucumber seed sown in soil contained several preceding crops according to treated duration. Vertical bars presented mean \pm SD (n=5).

z .Fine-cut 50g fresh materials were mixed in pot
y .G-onion : Welsh onion

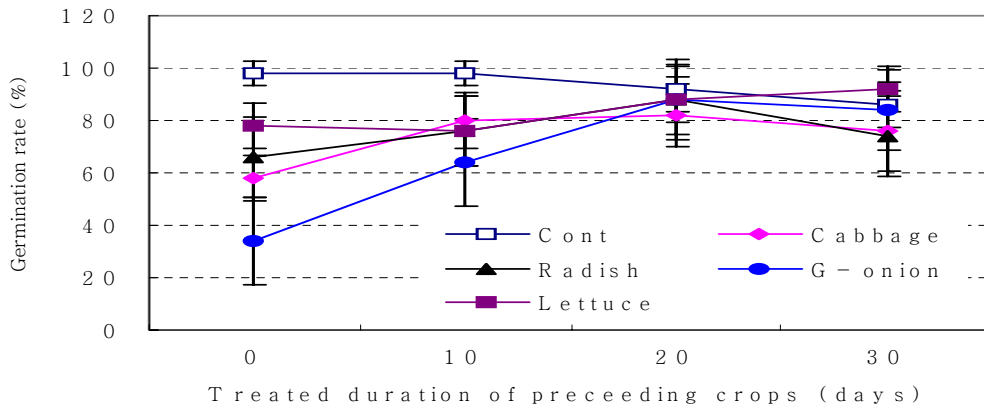


Fig. 7.35. Germination rate of tomato seed sown in soil contained several preceding crops according to treated duration. Vertical bars presented mean \pm SD (n=5).

(2). 잔유물이 유묘생장 억제 지속기간 구명시험

소형화분에 각각 50g의 파쇄한 4가지 채소를 혼합한 다음에 당일 파종, 10, 20, 30일 후 파종 등 4처리 하여 떡잎이 완전히 전개되고 본잎이 나오는 시기에 포트 당 파종한 후에 발아율을 조사한 다음 1주씩 남겨서 20일째 생육도 조사를 하였다. 파종하지 않은 화분도 식물이 이미 자라는 화분과 동일하게 파종 전까지 관수해 주었다. 이는 온실 내에서 첫째 동일한 수분조건을 부여하며 둘째, 대체로 화분이 너무 건조하면 잔유물의 분해가 잘 이루어지지 않기 때문이다. 미생물의 활동에 의한 분해작용을 촉진시키기 위함이었다.

그 결과 오이는 Fig. 7-36, 37에서 나타난 바와 같다. 대체로 초장은 파쇄 직후 파종한 처리구에서 10, 20, 30일 후 파종 처리구보다 초장, 엽장이 길었다. 이는 처리 당일 파종한 구는 발아율이 낮아서 포트 내 유식물에 의한 양분의 흡수가 적은 원인이 있었기 때문으로 사료된다. 즉 10, 20, 30일 후 파종 처리구는 어느 정도 생육억제 현상도 있었으나 발아한 개체수가 당일 파종한 구 보다 많아서 한 그루만 남기고 제거하는 과정에서 양분이 제거된 때문으로 사료된다. Fig. 3에서와 같이 30일째가 되면 오이 초장의 경우에 거의 모든 처리구에서 생육억제 현상이 없어지고 초장은 비슷하게 된다. 50일째 생육을 보면 10일 후 파종구를 제외하고 모든 처리구에서 전작물을 주입한 구가 생육이 양호하였다. 이는 앞서 언급했듯이 잔유물이 오이의 초기 생육을 20 ~ 30일까지 억제하나 그 후에는 오히려 촉진하는 것을 알 수 있었다.

토마토의 결과는 Fig. 7, 8 과 같다. 토마토는 식물체의 크기가 작기 때문에 유식물 제거에 의한 포트내의 양분 용탈이 적어서 초장의 경우에 20일까지 억제되다가 30일째부터 Fig. 4와 같이 채소 잔유물 처리구 초장이 대조구와 같아지며 이후 40, 50일이 되면서 가장 발아가 억제되었던 파 처리구가 가장 양호한 생육을 나타냈다. 이로 미루어 토마토의 경우에는 전작물의 성분이 토양 내에서 약 20일까지 생육억제 효과를 나타내는 것을 알 수가 있었다.

따라서 실제 재배에서는 어떤 채소 잔유물을 기계로 로타리를 쳐서 심더라도 온실 조건에서는 20일이 지나서 파종하거나 유식물을 심으면 생육억제 현상을 막을 수 있으며 오히려 분해된 물질이 후작 식물의 생육을 촉진 한다는 결론을 얻을 수 있다. 이는 오이나 토마토의 경우에 엽채류 재배 후에 정식을 할 때는 반드시 고려해야할 사항이라고 생각이 된다. 특히 겨울에 온실에 파를 심고 봄에 과채류를 심는 중부지방에서는 약 20일간 분해되는 과정을 거친 다음에 과채류를 정식해야 정상적인 생육을 가져 올수가 있다고 하겠다. 물론 토양온도, 토양 수분조건에 따라 잔유물의 분해속도가 다를 수 있다



10 days after sowing



30 days after sowing

Fig. 7.36 Growth characteristics of cucumber plants in soils mixed with preceding crops residues.

A : Control B : Cabbage C : Radish D : Welsh onion E : Lettuce



10 days after sowing



30 days after sowing

Fig. 7.37 Growth characteristics of tomato plants in soils mixed with preceding crops residues.

A : Control B : Cabbage C : Radish D : Welsh onion E : Lettuce

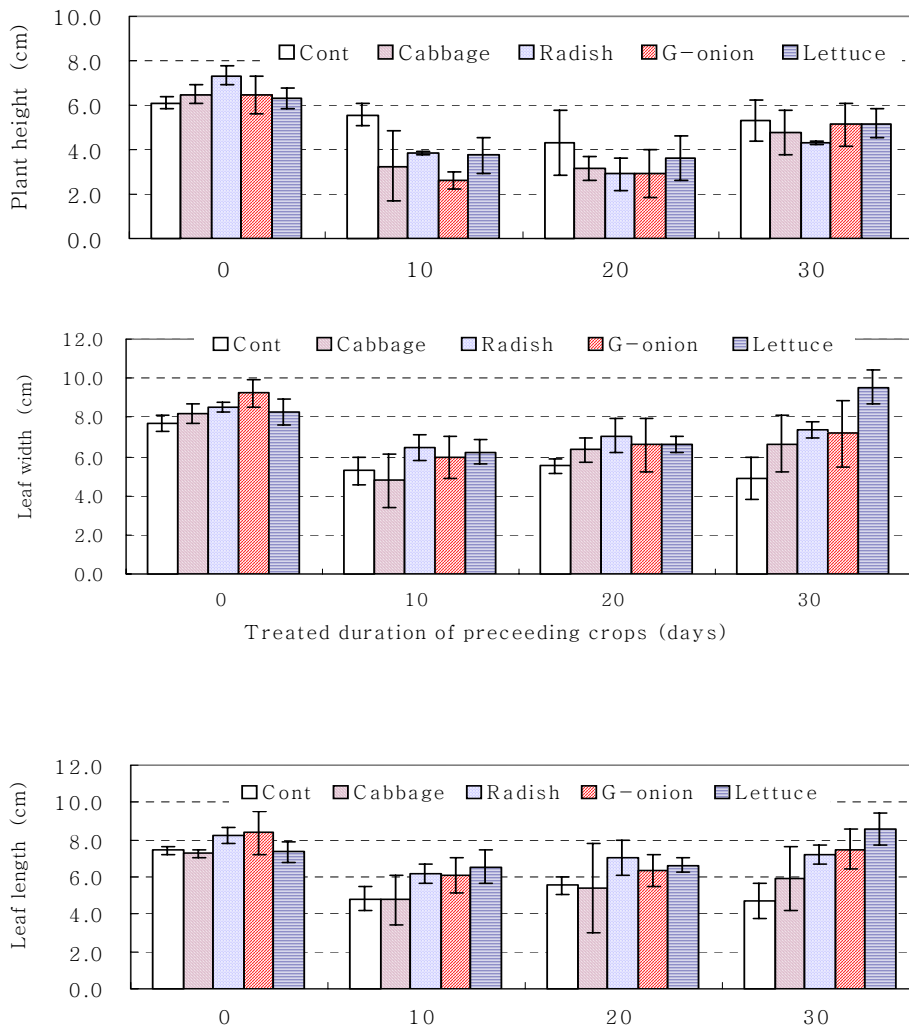


Fig. 7.38. Growth characteristics of cucumber plants in soil mixed with preceding crops residues:cabbage, radish, green-onion, and lettuce, for 0, 10, 20, 30days. These results were obtained at 20 days after sowing.

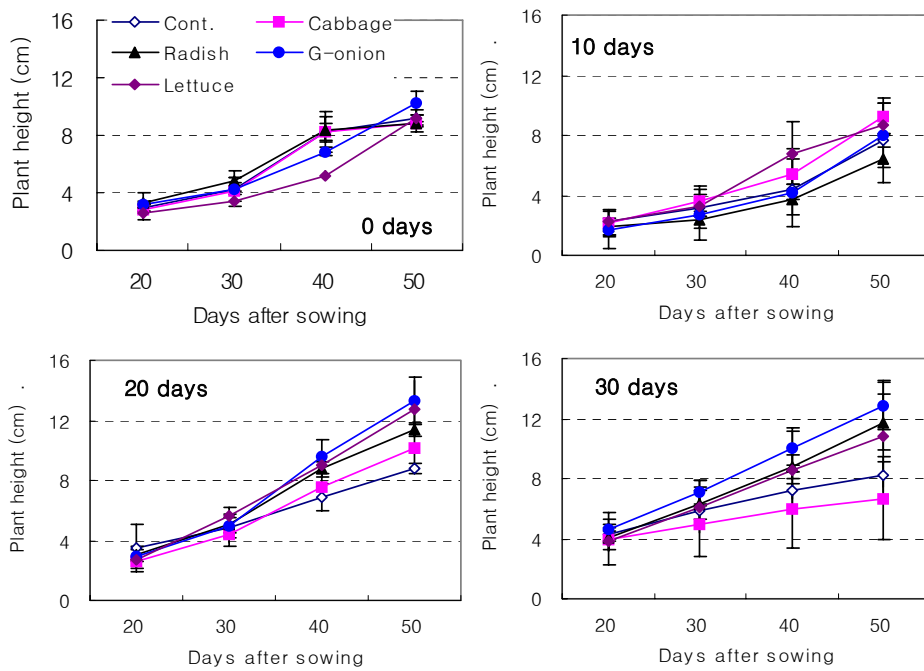


Fig. 7.39. The change of plant height of tomato seedlings sown at immediately(0day), 10, 20, 30 days after treatments with preceding crops residues, such as cabbage, radish, green-onion, lettuce,

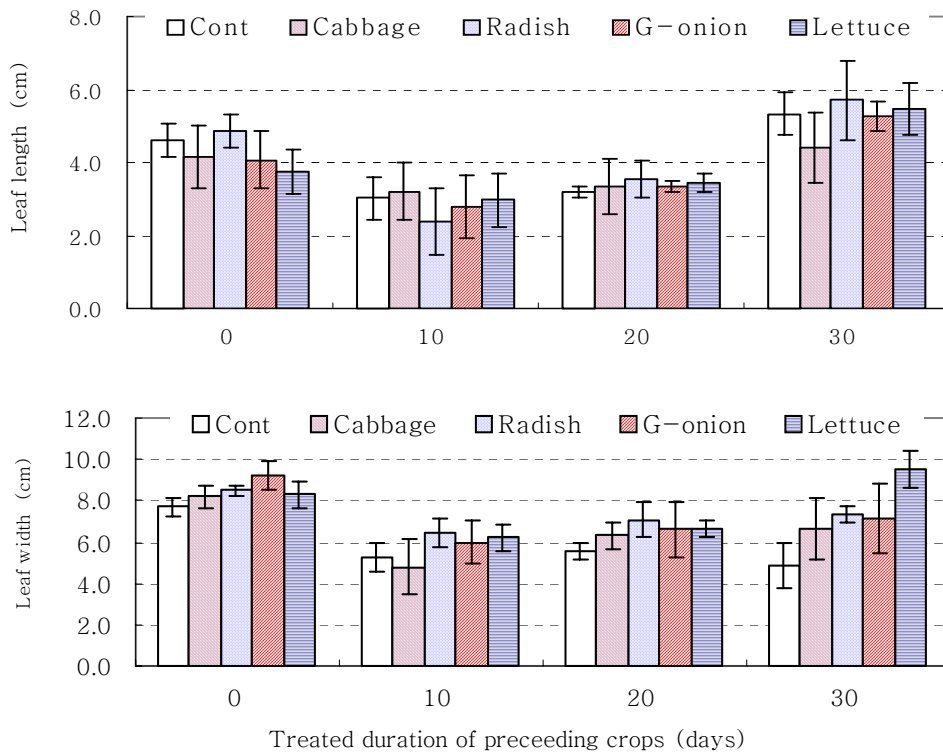


Fig. 7.40. Growth characteristics of tomato plants in soils mixed with preceding crops residues; cabbage, radish, green-onion, and lettuce, for 0, 10, 20, 30days. These results was shown at 20 days after sowing.

(3) 전작물 추출물의 농도가 오이와 토마토의 발아 및 유묘생장에 미치는 영향
 가.. 발아 및 초기 생육에 미치는 저농도 추출물 처리 효과

토양 포트시험에서 발아억제 현상이 나타났기에 각각 식물의 추출물 농도별로 발아에 미치는 영향을 petridish 상태에서 시험한 결과를 보면 Fig. 7-41, 42와 같다. 저농도에서

오이 발아율에는 전혀 영향을 미치지 않았다. 즉 대조구인 무처리구에서 100% 발아가 되었는데 5% 처리구에서도 모두 100% 발아가 되었다. 그러나 10, 17, 23%로 처리 농도가 증가되면서 발아율 억제는 배추에서만 3% 정도 억제되었다. 그러나 Fig. 10.에서 나타난 바와 같이 토마토에서는 배추와 함께 상추에서 발아율이 23%농도에서 억제가 되었다. 이와 같은 억제 효과는 앞서 언급한 glucoside나 phenolic acid의 효과로 사료된다. 즉 상추의 쓴맛 주성분인 lactucin도 일종의 알카로이드로서 이것이 식물 종류에 따라 발아억제에 다양하게 영향을 주는 것으로 생각된다(Seo, 2001). Aerts et al (1991)은 알카로이드가 몇 가지 식물의 종자발아를 억제한다고 보고한 바 있다.

그러나 저농도 추출물에서 발아 억제 효과가 낮은 것은 증류수 추출 방법에 의해서 알카로이드 등 이차 산물이 충분히 추출되지 않았다고 생각되어 고농도 시험을 수행하였다. 앞으로 연구에서는 다양한 억제물질 추출법도 연구할 필요가 있다.

저농도가 뿌리길이 (Fig. 7-43, 44)에 미치는 영향을 본 결과 농도가 10, 17, 23%로 증가함에 따라 오이는 과 추출물 처리구에서 생육이 억제되고 토마토는 모든 처리구에서 뿌리의 발달이 저조하였다. 이는 발아율과 유사한 경향을 보였다. 그러나 통계적인 유의차는 23%에서 주로 나타났으며 뿌리생육억제도 과 추출물에서 가장 강하게 나타났다. Hirano(1977)는 추출물의 10배(10%) 또는 20 배액(5%)을 지속적으로 처리 할 때 복숭아 유모 생육이 많이 억제 되었다고 하였는데 앞으로 오이와 토마토 추출물도 동일작물에 억제가 있는지 실험할 필요가 있다고 사료된다.

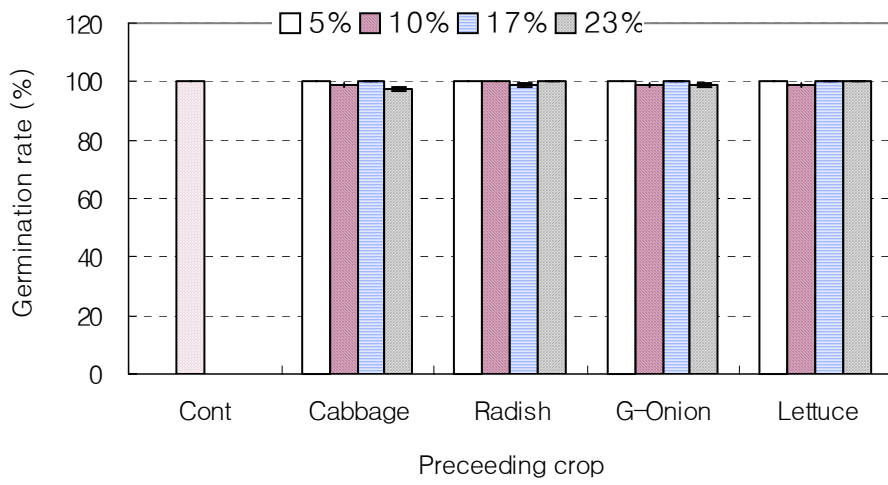


Fig. 7.41 Germination rate of cucumber according to diluted crude extracts of several preceding crops residues.

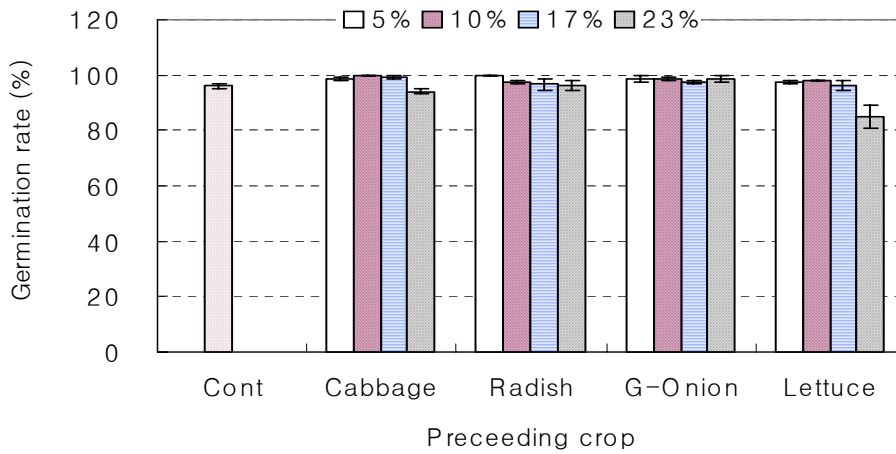


Fig. 7.42. Germination rate of tomato according to diluted crude extracts of several preceding crops residues.

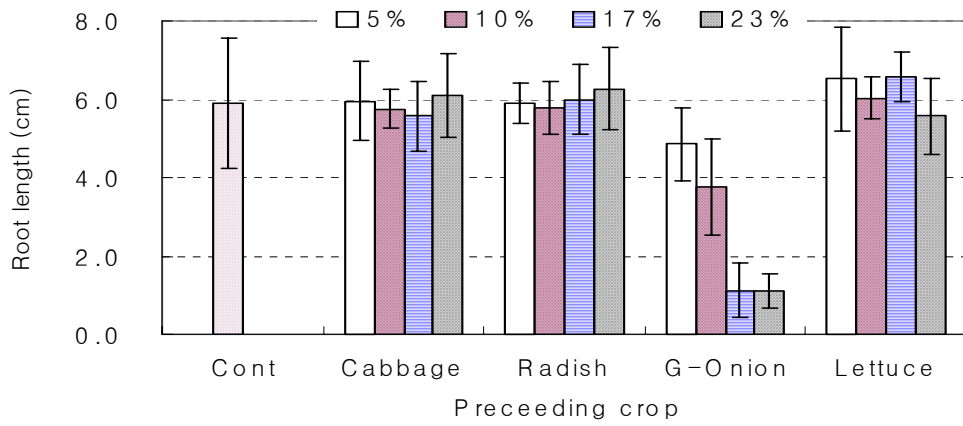


Fig. 7.43. Root length of cucumber according to diluted crude extracts of several preceding crops residues.

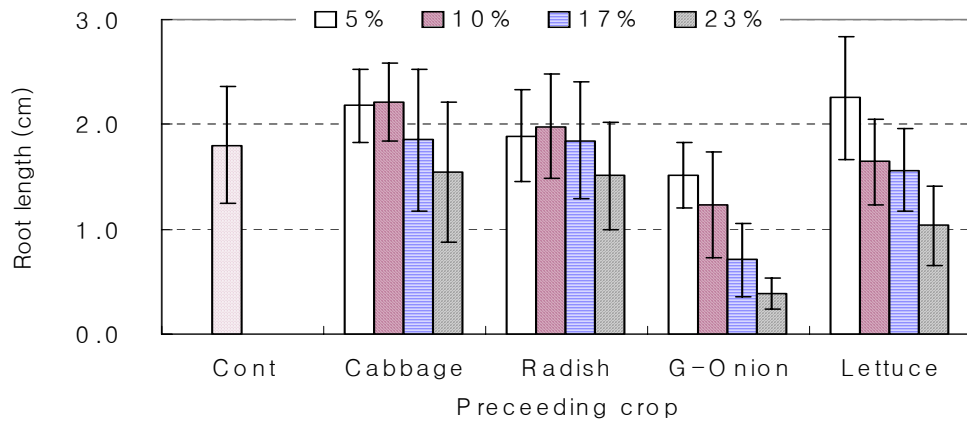


Fig. 7.44. Root length of tomato according to diluted crude extracts of several preceding crops residu

나. 발아 및 초기 생육에 미치는 고농도 추출물 처리 효과

저농도에서 발아율에 영향을 보이지 않아서 추출물의 농도를 35, 50, 65%로 증가시켜 petridish에 주입하고 발아율을 살펴보았다. 오이의 경우 35% 농도에서 배추, 무, 파, 상추 처리구에서 모두 발아가 되었다(Fig. 7-45).

50%로 농도가 높아지면서 대조구 100%에 대해 배추 추출물 3%, 무 추출물 7%, 파 추출물에서는 5% 발아율이 감소한 반면 상추에서는 전혀 발아가 되지 않았다. 65% 처리구에서는 배추와 무는 큰 영향을 주지 않았다. 파와 상추 추출구에서는 각각 15%와 0%의 발아율을 보였다.

그러나 토마토는 Fig. 14에서 나타난 바와 같이 전혀 다른 양상을 보였다. 35% 처리구에서 이미 배추 추출물 처리구에서 23%, 무 추출물 처리구에서 61%, 파 추출물 처리구에서 40%, 상추 추출물 처리구에서 8%의 발아율을 보였다. 50%와 60% 추출물 처리구에서는 50%의 발아를 보였고, 파 추출물 처리구에서 19%의 발아율 외에는 다른 처리구에서는 거의 발아되지 않았다. 이로 미루어 petridish에서 시험할 경우 추출물 농도를 35% 이상 처리할 경우 발아율이 현저히 낮아지는 것을 알 수 있다.

실제 포장에서는 추출물이 아닌 잔유물을 로타리로 쳐서 땅속에 들어가고 땅속의 뿌리 잔유물 등이 있으므로 억제현상이 더 클 수도 있다. 다만 본 시험에서 추출물을 이용한 것은 채소를 갈아서만 다만 본 시험에서 넣어서는 항온실에서 1-2 일만 되면 곰팡이가 끼기 때문이다. 앞으로는 채소 종류별 발아억제 물질의 동정이 필요하다고 생각된다. 왜냐하면 Fritz et al.(1989)의 보고와 같이 다양한 물질이 발아를 억제 할 수 있기 때문이다.

농도를 35, 50, 65%로 증가시키기에 따라 35%에서는 배추와 무 추출물 처리구에서 어느 정도 생육을 하였으나 고농도 처리구에서는 대조구의 뿌리가 5.3cm 정도 자라는데 비해 전혀 생장이 되지 않는 것을 알 수 있었다(Fig. 7-46, 47, 48). 이는 발아에서와 같이 추출물에서 생육억제 물질이 나타난 것으로 사료된다. 이와 같은 억제를 나타내는 물질을 토양의 경우에는 미생물이 분해하기 때문에 일정기간 (약 20일)이 지나면 발아억제 현상이 완화된다고 생각된다. Park et al (1983)은 배추과 식물의 매운맛 성분인 thiocyanate (SCN^-) 이온을 1000, 5000, 10000ppm 으로 처리했을 때 무, 오이, 상추의 발아율이 현저

하게 감소했다고 하였다. 이는 본 시험에서 십자화과 추출물이 일정기간 오이와 토마토의 발아억제를 하는 것과 일치한다.

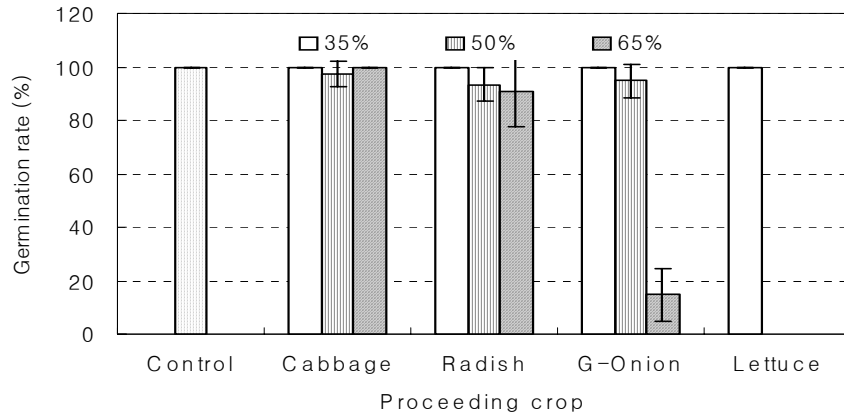


Fig. 7.45 Germination rate of cucumber according to concentrated crude extracts of several preceding crops residues.

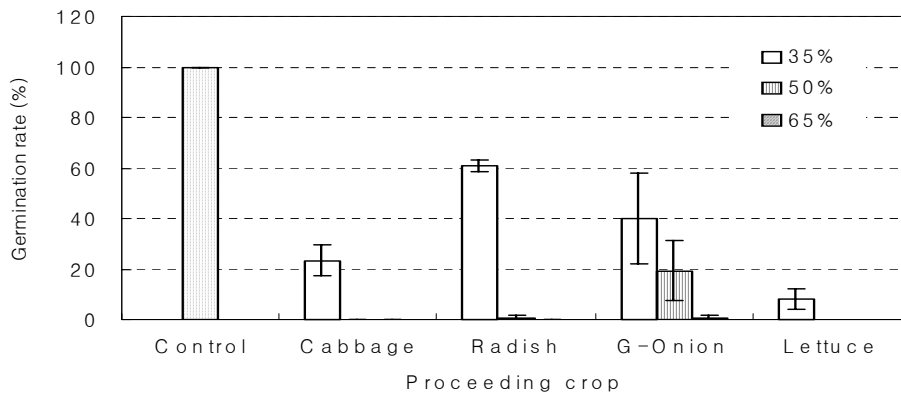


Fig. 7.46. Germination rate of tomato according to concentrated crude extracts of several preceding crops residues.

그러나 Park (1983)은 SCN⁻ 처리시에 GA, IAA 등을 동시에 처리했을 때 발아율은 증진되지 않았으나 B를 1, 3, 5, 10ppm 동시에 처리하면 처리 시에 발아율과 초기 생장이 억제되는 현상을 타파했다고 보고하였다. 본 시험에서는 B 처리 시험을 하지 않았으나 앞으로 전작물이 많은 지역에서 B를 첨가하여 토양에서도 억제현상을 타파할 수 있는지를 비교 시험을 할 필요가 있다고 사료된다.

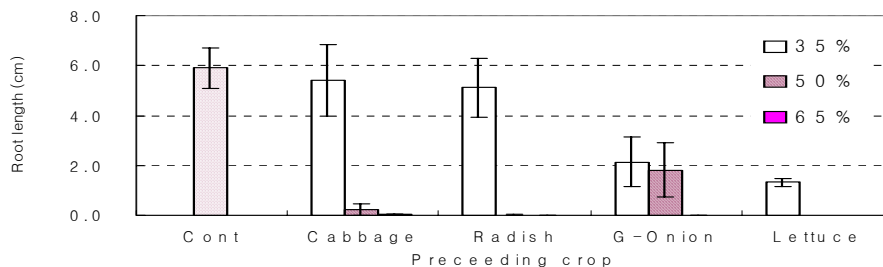


Fig. 7.47. Root length of cucumber according to concentrated crude extracts of several preceding crops residues.

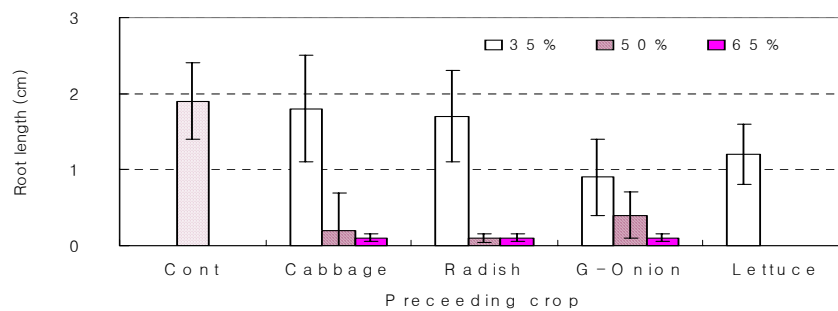


Fig. 7.48. Root length of tomato according to concentrated crude extracts of several preceding crops residues.

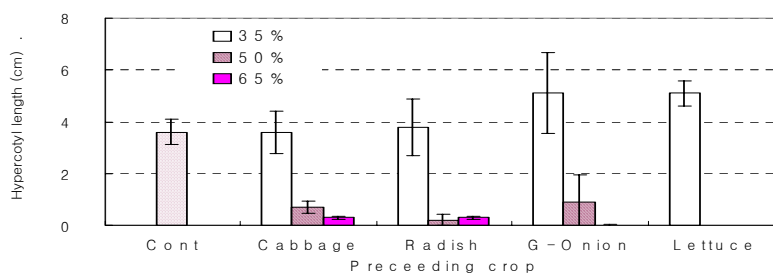


Fig. 7.49. Root length of tomato according to concentrated crude extracts of several preceding crops residues.

5.9.3. 적요

오이와 토마토의 발아에 미치는 전작물 잔유물(양배추, 무, 파, 상추)의 효과를 포트에서 시험하였다. 그 결과 파가 발아를 가장 억제 시켰으며 무, 양배추, 상추의 순서였다. 다만 오이의 경우에 상추는 발아를 억제 시키지 않았다.

채소잔유물의 오이, 토마토의 발아억제는 약 20일간 지속되었고 그 후에는 오히려 생육을 촉진시켰다. 촉진은 억제의 반대 순서로 파, 무, 양배추, 상추의 순서였다.

이상의 결과로 파, 무, 양배추의 잔유물이 후작으로 심는 오이와 토마토의 발아를 억제하나 20일이 지나면 오히려 촉진한다는 것을 알 수가 있었다.

파, 무, 양배추, 상추의 추출물을 5, 10, 17, 23, 35, 50, 65 %로 희석하여 오이와 토마토의 발아와 유근 신장에 미치는 시험을 실시한바 다음과 같은 결과를 얻었다.

오이 발아는 추출물의 저농도인 5, 10, 17, 23%에서는 모든 처리가 억제되지 않았다. 상추 추출물의 35, 50, 65% 고농도 처리구에서는 전혀 발아가 이루어지지 않았다. 잎파는 50% 처리구에서 만 오이 발아 억제현상을 보였다. 오이의 유근 신장은 다만 잎파의 추출물의 경우에 저농도인 17, 23%에서 억제적이었다. 고농도에서는 35%를 제외하고는 모두 유근 신장을 억제하였다.

토마토의 발아는 저농도 상추 추출물만 억제현상을 나타냈으며 고농도인 35, 50, 65%에서는 모든 처리가 발아억제 현상을 나타냈다. 특히 50% 이상 처리구에서는 전혀 발아가 되지 않았다. 유근의 신장은 토마토의 경우 파와 상추추출물이 23%이상에서 강하게 억제하였다.

이상의 결과로 미루어 엽근채의 추출물도 오이보다 토마토의 발아 억제를 심하게 하고 고농도에서는 유근의 신장을 억제하였다.

5.10.. 녹비작물과 접목재배에 의한 영양스트레스 대처시험

5.10.1 전작물로 녹비작물 재배시 염류집적 완화 효과

5.10.1.1.. 연구목적

본 실험에서는 시설재배 시 문제시되고 있는 염류집적으로 인한 피해를 줄이고자 그 염류집적 해소방안으로 녹비작물의 제염효과를 알아보기 위한 실험이다.

5.10.1.2. 재료 및 방법

(1) 녹비작물 시험

녹비작물로는 벼과작물인 옥수수 ‘수원19호’(*Zea mays*)를 이용하였다. 이는 벼과작물인 옥수수는 겨울철의 저장사료로서 수량이 많고 영양가가 가장 풍부한 청예작물 중 가장 중요한 작물이며 흡비력이 왕성한 벼과 작물로 녹비용이지만 토양의 구조를 단립화시켜 통기성, 보수력 등 물리성을 좋게 하며 화학적으로는 양분유실을 방지하여 산도교정 효과를 발휘하는 토양개선의 효과를 갖기 때문에 선택하였다.

염류집적토양에서 녹비작물의 제염효과를 확실히 구명하기 위해 플라스틱 온실내 토양에 Table 1에 나타난 허브양액($EC\ 2.4dS \cdot m^{-1}$)을 25배로 제조하여 2000mL씩 관주하여 인위적으로 EC를 약 $4.0\ dS \cdot m^{-1}$ 내외 수준으로 조절하였다.

허브양액은 EC가 $0.85dS \cdot m^{-1}$ 인 야마자키 상추용 배양액에 비해 NO_3-N 는 3배, PO_4-P 는 1.3배, K는 2.8배, Ca는 4.5배, Mg는 2배 높으며, EC가 $2.0dS \cdot m^{-1}$ 인 야마자키 오이용 배양액에 비해 NO_3-N 는 1.4배, K는 1.8배, Ca는 1.3배 높았다. 따라서 본 실험에서는 인위적으로 염류집적토양을 만들기 위해 야마자키 배양액보다 EC와 NO_3-N , PO_4-P , K, Ca, Mg 함량이 많은 허브양액(Table 7-25)을 사용하였다.

Table 7.25. The composition of nutrient solution for herb plants developed by European Vegetable R&D Center in Belgium.

(Benoit. and. Ceustermans, 1994)

| | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|------|-----|------|--------------------|
| Macro elements (mmol) | NO ₃ -N | PO ₄ -P | K | Ca | Mg | SO ₄ -S |
| | 18.0 | 2.0 | 11.0 | 4.5 | 1.0 | 1.0 |
| Micro elements (μ mol) | Fe | Mn | Cu | Zn | B | Mo |
| | 100.0 | 5.0 | 0.4 | 3.7 | 26.5 | 0.5 |

양액으로 EC를 조절한 토양을 건조시킨 후 2003년 7월 4일에 옥수수를 줄뿌림하였다. 관수방법으로는 염류제거 실험이므로 물로만 500~1000mL/plant/day를 두상관수로 공급하였다. 옥수수는 60일 재배한 후인 2003년 9월 3일에 10주를 수확 하였다.

녹비작물을 제거한 포장에 제염효과를 알아보기 위해 오이(‘백다다기 오이’, 흥농종묘)와 토마토(‘선명’, 농우종묘) 유묘를 정식하였다. 점적관을 이용하여 관비재배를 하였는데, 정식 후 초기에는 1/2배의 Yamazaki(1978) 오이, 토마토 배양액을 공급하였으며, 착과이후 1배로 공급하였다. 염류제거 실험이므로 소량을 자주 공급하였는데 1-1.5L/plant/day 수준으로 관수하였다. 오이와 토마토의 초장과 과실의 크기, 수확량, 당도 등을 조사하였다.

(2) 점적재배에 의한 염류집적 완화 시험

토마토 대목은 Vulcon(영남대학교에서 분양 받음)를 사용했다. 오이(‘백다다기 오이’, 흥농종묘)는 호점을, 토마토(‘선명’, 농우종묘)는 편점을 실시하였다. 점목한 묘와 무점목 묘를 인위적으로 염류를 상승시킨 플라스틱 온실내 토양(EC: 4.0 dS · m⁻¹수준)에 정식하였다.

역시 점적관을 이용하여 관비재배하였는데, 정식 후 초기에는 1/2배의 Yamazaki 오이, 토마토 배양액을 공급하였으며 (Table 7-26), 활착이후 1배로 공급하였다. 염류제거 실험이므로 소량을 자주 공급하였는데 1-1.5L/plant/day 수준으로 관수하였다. 정식 후 식물체의 초장과 엽수 등을 조사하였으며, 수확한 과실의 크기, 수확량, 당도계 당도 등을 조사하였다.

Table 7.26. The composition of nutrient solution for cucumber by Yamazaki.

| Macro element (me · L ⁻¹) | Cucumber | Tomato |
|---|----------|--------|
| KNO ₃ | 6 | 4 |
| Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O | 7 | 3 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | 3 | 2 |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 4 | 2 |
| Micro element(ppm) | | |
| FeEDTA | 3 | 3 |
| H ₃ BO ₃ | 0.5 | 0.5 |
| MnSO ₄ · 4H ₂ O | 0.5 | 0.5 |
| ZnSO ₄ · 7H ₂ O | 0.05 | 0.05 |
| CuSO ₄ · 5H ₂ O | 0.02 | 0.02 |
| Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O | 0.01 | 0.01 |

5.10.1.3. 결과 및 고찰

(1) 녹비작물에 의한 염류집적 완화 효과

온실내의 염류제거를 위해 예비시험에서 다양한 식물을 이용해서 시험한 결과 옥수수가 가장 좋은 결과를 나타내어 옥수수를 과중하여 2개월간 재배하고 수확한 결과 재배전후의 EC 와 pH 변화를 살펴보았다(Fig. 7-50). EC는 2.58에서 0.80으로 약 2정도 감소했으며 pH는 5.5에서 5.1로 다소 감소하였다.

이는 이미 밝혀진 대로 오이의 증적식양토에서 EC가 1.2를 넘으면 생육저해 한계점에 달하고 3.0이 넘으면 고사 한계점에 달한다. 그리고 토마토는 생육저해 한계점이 1.5이며 고사 한계점은 3.2로 나타나고 있다(Lee et al, 2000). EC를 2 정도 낮출 수 있다는 것은 온실 염류제거에 옥수수를 재배하므로써 아주 좋은 효과를 가져올 수 있음을 뜻한다. 따라서 여름의 고온기 2개월 동안 옥수수를 재배해서 제염을 하는 것이 하나의 좋은 방법이라 생각한다.

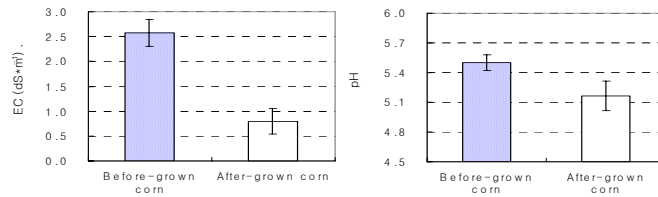


Fig. 7.50. Electric conductivity and pH of soil were before grown corn and after grown corn as preceeding crop.

녹비작물인 옥수수를 재배하여 제염을 실시한 후에 오이의 생육을 비교한 결과는 Table 7-27, 28과 같다. 제염을 했을 때 엽수, 엽장, 엽폭, 줄기굵기, 건물율 모두 증가하였다. 반면에 뿌리 길이는 차이가 없었으나 뿌리의 무게와 수량은 월등하게 증가하였다. 이는 오이의 경우에 제염을 하지 않은 구에서는 EC가 높아서 정식 후 절반가량의 식물이 2, 3일 만에 고사하여 여분의 식물로 보식하였으며, 그 과정에서 생육이 매우 저조하였다. 결국 식물 주변에 충분한 관수를 하여서 식물을 회복시켜 시험을 진행하였으나 잎이 기형화가 되면서 효과적인 수확을 올릴 수가 없었다. 이는 이미 알려진 바와 같이 고염지역에서 식물을 엽수나 엽폭이 감소하고, 단위 엽면 적당 기공이 감소하며 잎이 두꺼워 지는 등의 억제 현상이 나타나는데 기인 한다 (Hirano, 1977). 따라서 수량 또한 제염구에서는 식물당 3.5kg의 수량을 올렸으나 무 제염구에서는 평균적으로 1.5kg의 수량을 나타냈다(Fig 7-51). Krug(1986)과 Fritz(1989) 등이 오이의 재배 시에 알맞은 EC를 초과할 경우에 수량이 감소한다고 보고한 결과와 일치된다.

Table 7.27 Characteristics of cucumber plant grown in salinized and desalinized soil at 120 days after sowing.

| Treatment of soil | No. of leaf (ea) | Leaf length (cm) | Leaf width (cm) | Stem diameter (mm) | Fresh weight (g) | Dry matter rate(%) |
|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Salinized | 20.4 ± 3.6 ^z | 17.3 ± 1.8 | 25.5 ± 4.6 | 8.0 ± 0.05 | 613 ± 88 | 12.9 ± 0.58 |
| Desalinized | 26.6 ± 1.0 | 19.0 ± 0.6 | 28.8 ± 1.0 | 8.7 ± 0.50 | 814 ± 62 | 13.6 ± 0.68 |

^z Mean ± SD

Table 7.28 Characteristics of cucumber root and fruit grown in salinized and desalinized soil at 120 days after sowing.

| Treatment of soil | Root length (mm) | Root weight (g) | Ave. of Fruit weight (g) | Fruit length (cm) | Fruit width (cm) | No. of fruit /plant (ea) |
|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| Salinized | 51.2 ± 4.9 | 74.0 ± 9.5 | 168.0 ± 1.6 | 22.4 ± 0.3 | 3.2 ± 0.05 | 9.3 ± 2.5 |
| Desalinized | 56.5 ± 6.5 | 96.0 ± 1.0 | 179.7 ± 1.3 | 22.7 ± 0.2 | 3.3 ± 0.05 | 19.8 ± 1.4 |

^z Mean ± SD

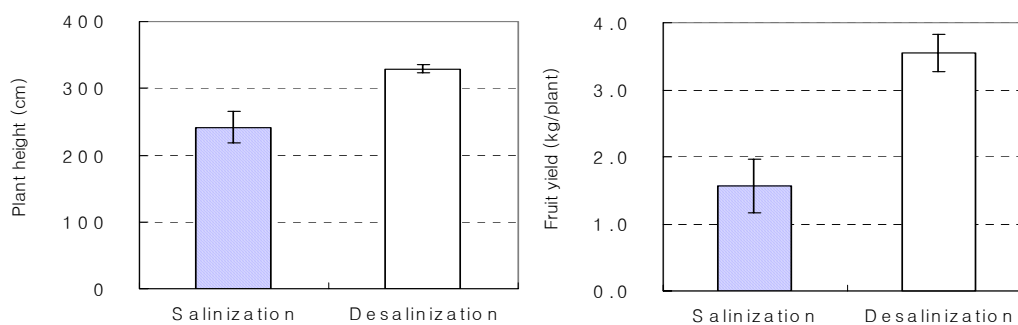


Fig. 7-51. The plant height and fruit yield of cucumber grown in salinized soil and desalinized soil used corn as preceding crop.

(2) 접목재배에 의한 염류집적 완화효과

제염처리를 한 것과 하지 않은 구에 각각 접목을 한 것과 하지 않은 토마토 묘를 심어서 생존율을 조사하였다. 그 결과 Fig. 7-52과 같이 무 제염 처리구에서는 37.5% 식물이 고사하거나 스트레스를 받고, 제염 처리구에서는 12.5%가 스트레스를 받거나 죽는 현상을 보였다. 반면에 접목묘는 25%만 무제염 처리구에서 죽거나 스트레스 받았고 제염구에서는 100% 활착이 이루어졌다. 초장을 보면 무제염 처리구가 45일이 지났을 때 가장 생장이 억제되었으며 그 외 처리구에서는 외관적인 차이는 있었으나 통계적인 차이는 없었다. 이와 같은 결과는 Chung 과 Choi(2002, a,b)가 토마토와 고추에서 보고한 내염성 시험결과와 일치한다. 토마토의 경우 '선명'과 '단주 2호'로 시험한 바 EC 1.5에 비해 '선명'은 EC 2.0에서 18%, EC 2.5에서 43% 초장이 억제되었다고 한다. '단주 2호'는 EC 2.0과 2.5에서 10%, 28%가 억제되었다고 하였다. 본 시험에서는 EC가 2.58 정도였는데 초장은 약 20% 정도만 감소하였는데 이는 품종간의 차이라고 생각된다. 그러나 제염을 하거나 제염을 하지 않았어도 접목을 하면 45일 후 생육은 차이가 없었다. 그만큼 제염의 효과가 컸다. 주당 수량을 비교했을 때 제염하지 않은 구에서는 어렵게 성장하여 주당 1539g이 생산되었고 제염구에서는 2159g이 수확되어 40% 증수가 되었다(Fig. 7-53). 그러나 제염과 접목을 할 경우에는 약 55% 증수가 되었다. 이는 제염을 하지 않으면 내염성 대목이라도 스트레스를 받는다는 것을 의미한다. 왜냐하면 제염하지 않은 처리구에서 내염성 대목을 사용할 경우에 주당 1834g으로 대조구보다 약 20% 증수가 되기 때문이다.

따라서 확실한 제염 후에 관비재배가 수량을 증가시킬 수 있으며 내염성 대목은 왕성한 흡수특성으로 대조구보다 55% 까지 증수가 가능함을 알 수 있었다. 물론 이와 같은 결과는 고염류 토양 (EC 2.58) 지역에서의 결과며, 제염 지역에서는 접목육묘로 약 10% 정도만 증수가 되는 것으로 나타났다.

이상의 결과보다 중요한 것은 축성재배 시 첫 화방의 수량이 가격면에서 중요한데 무제염 처리구에 비해 제염+접목구가 2배 정도 수량을 올릴 수 있는 점에서 중요하다. 무제염+접목구는 초기의 보이지 않는 스트레스로 무제염구와 유사한 수량을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 언급했듯이 대조구의 염류집적이 높는데 기인한다(Fig.7-53 ,54).

과실의 당도를 비교한 결과 대체로 무제염+접목구(NG+PC)가 당도가 높았으며 무제염+무접목구(NG+NPC)가 가장 낮았다. 화방 간에는 높은 화방으로 갈수록 당도가 증진되었는데 이는 생육후기로 갈수록 광조건과 온도조건이 좋아졌기 때문으로 생각

된다. 토마토에서 일장과 광도, 일사량과 당도는 정의 상관관계가 있기 때문이다 (Krug, 1985).

상품과율은 화방이 높아질수록 증가하였으나 평균적으로 볼 때 무제염+무접목구가 55%, 무제염+접목구 68%, 제염+무접목구 60%, 제염+접목구가 76%의 상품과율을 나타냈다. 1화방 상품과율도 제염+접목구가 63%로 가장 높았으며 대조구 34%의 2배에 달했다. 제 12 화방의 높은 기형과율은 2월 정식하여 5월 초에 수확하여 재배조건이 나빠서 생리적 기형과나 소형과가 많이 생긴데 기인한 것으로 사료된다.

5.10.3. 적요

녹비작물인 옥수수를 여름철 2개월간 시설 내에 재배할 경우에 토양전기전도도를 약 $2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 정도 내릴 수 가 있었다. 제염의 효과를 시험하기 위하여 오이를 재배한 결과 제염구에서 무제염구보다 수량이 2배정도 증가되었다.

토마토 내염성 접목묘를 이용할 경우에 무제염구에서 25%가 심한 생리장해나 죽는 현상을 나타내지만 제염구에서는 100% 활착이 이루어졌다. 수량도 제염구에서 내염성 대목을 이용한 재배에서 수량이 증가되었다.

따라서 제염식물을 재배하거나 내염성대목을 이용하면 염류집적의 피해를 많이 경감할 수가 있었다.

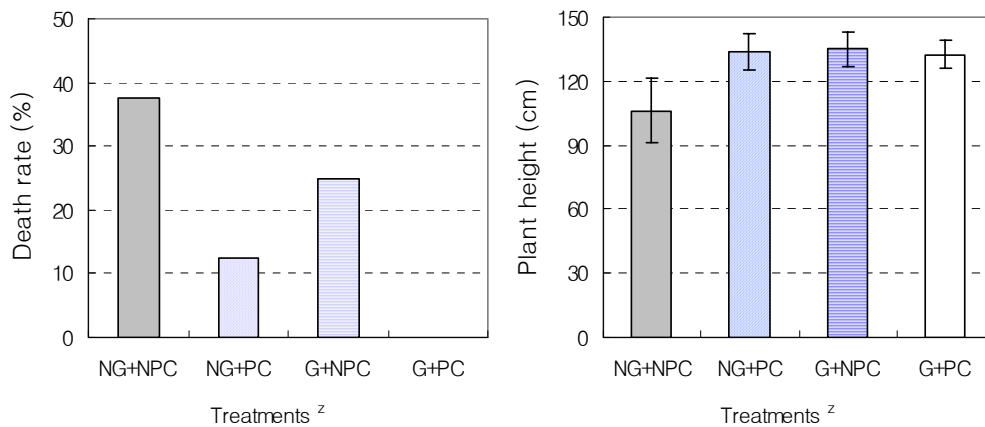


Fig. 7-52. The death rate and plant height of tomato seedlings at 45 days after planting.

^z NG+NPC; no-graft seedlings and soil wasn't cultured corns as preceeding crop. NG+PC; no-graft seedlings and soil was cultured corns as preceeding crop. G+NPC; graft seedlings and soil was not cultured corns as preceeding crop. G+PC: graft seedlings and soil was cultured corns as preceeding crop.

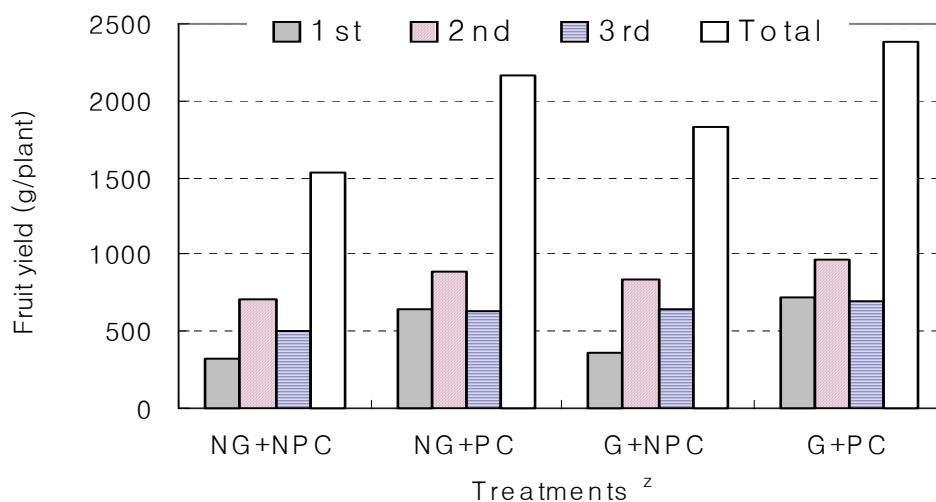


Fig. 7.53. The fruit yield of tomato according to truss order. Tomato seedlings were whether grafted or not and grown in soil treated corn as preceding crop or not.

^z See 7-52

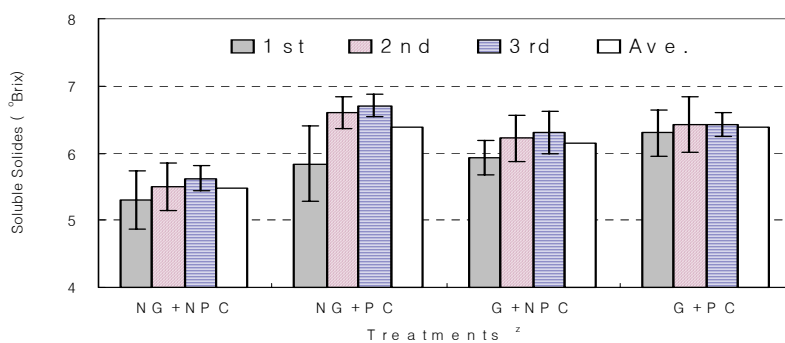


Fig. 7.54 The soluble solids of tomato fruits according to truss order. Tomato seedlings were grafted or not and grown in soil treated corn as preceding crop or not.

^z See 7-52

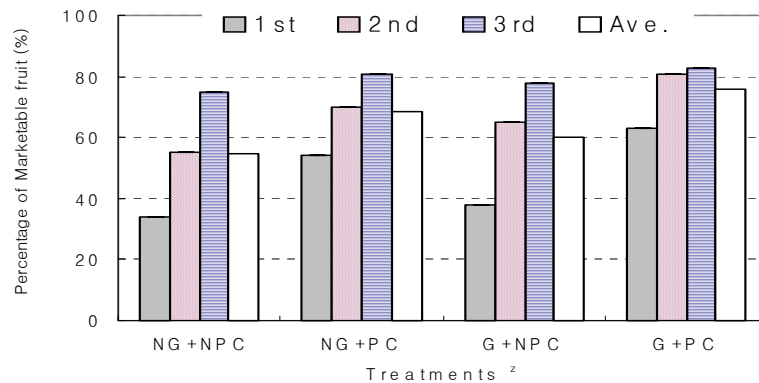


Fig. 7.55 The percentage of marketable fruit of tomato according to truss order. Tomato seedlings were whether grafted or not and grown in soil treated corn as preceding crop or not.

^z See 7-72

5.11. N-min 적용과 합리적 관비조성비교

5.11.1. 연구목적

연작장해의 주요원인인 염류집적에 따른 생육억제를 감소시키고자 토양중의 질소원을 간이로 분석하여 비료절감과 생리장해 감소를 기하고 이를 응용한 째채소 적용에 대해 다음과 같이 시험하였다.

5.11.2. 재료 및 방법

5.11.2.1. N-min 적용과 관비 농법에 의한 염류집적 경감

(1) N-min 적용에 의한 토양 내 적정 시비량 산출

매년 지속적으로 계속되는 관행적인 시비는 염류 집적을 증대 시키는바 N-min 방법 (Wehrmann 과 Scharpf 1979)을 이용한 토양 내 이용가능 N을 측정하여 적정 시비가능성을 문헌과 계산을 통하여 조사 분석 하였다.

5.11.2.2. 오이 및 토마토 관비농도 및 조성 비교

공시작물은 두 작물로 오이(*Cucumis sativus*) 은침백다다기 품종, 토마토 (*Lycopersicon esculentum*) 모모타로 요크(다카이 중묘)를 택하였다.

오이는 2003년 2월 25일, 토마토는 2003년 1월 27일에 파종하였다. 2003년 3월 26일 정식하고 일주일 동안 하루에 물 300ml 공급하였다. 예비 실험에서 다른 기존관비보다 생육이 좋았던 Yamazaki(1978 오이, 토마토 양액으로 일주일 동안 0.5배액을 300ml씩 공급한 후 오이 4엽 전개 시점, 토마토 2화방 발생 직후 처리구별로 대조구 (0배액), Yamazaki 0.5배, 1배, 2배, 그리고 KNO_3 단용구를 설정하여 양액을 공급하였다. 다른 처리구들은 아래의 양액조성표대로 농도별로 공급하였고, KNO_3 단용처리구는 연작지의 인산농도가 높은 것을 고려하고 관비의 조성을 쉽게 하기 위하여 KNO_3 만을 녹인 양액을 만들어 이용하였다.

주당 일일 급수량은 오전 07시부터 17시까지 1시간에 15분씩 공급으로 4월 말까지는 오이, 토마토 모두 일일 500ml, 그 후 생육이 진행됨에 따라 5월 말 현재까지 오이 800ml, 토마토 700ml을 공급(맑은 날 기준)하고 있다. 양액을 공급한 일주일 후 토양의 N-min Test를 실시해 본 결과 오이는 대조구를 포함한 NO_3^- 의 양이 대략 200mg/l, 토마토는 77.5mg/l 였다

5.11.2.3.. 염류 토양에서 쌈채소의 관비농도가 생육과 품질에 미치는 영향

공시작물로 다음의 5가지 쌈채소를 이용하였다. 적겨자 (Red Chinese Mustard, *Brassica juncea* L.), 엔디브 (Endive, *Cichorium endivia* L. var. *crisprum* Hegi), 레드 치커리 (Red chicory, *Cichorium intybus* L. var. *folisum*), 상추 '바울레드' (Lettuce 'Bowl Red', *Lactuca sativa* L. var. 'Bowl Red'), 상추 '적로메인' (Lettuce 'Red Romaine', *Lactuca sativa* L.var. 'Red Romane')등 이였다. 파종은 2003년 2월 24일에 실시하였으며 정식 전까지 트레이 육묘 하였다. 정식은 정식 토양의 EC 4.2-5.0 $mS \cdot cm^{-1}$ · N-min 테스트 시 NO_3^- -N 농도 500ppm 이상이며 전작물로 토마토와 오이 관비 재배 토양인 고려대학교 내의 비닐 하우스에서 2003년 4월 15일에 실시하였다.

관비 처리구는 점적관을 이용한 자동 관수로 하였으며, 사용된 관비의 조성은 야마자키 상추액으로 조성은 Table 3과 같다. 처리구는 0배, 0.5배 지속구, 1배 처리구, KNO_3 처리구 ($4me \cdot L^{-1}$), 그리고 미량원소 처리구(야마자키 액의 미량원소만을 이용) 등 5처리를 두었다. 0배구는 고염류 토양임을 감안하여 물만을 관수하여 재배 하였으

며, 0.5배 지속구는 토양 내 염류 변화나 생육변화와는 관계없이 0.5배액의 양액을 관비로 공급하였다. 1배 처리구는 생육 초기에 0.5배액을 공급하다가 활착이 진행되어 생육 속도가 급속히 증가한 정식 후 15일을 기준으로 양액의 농도를 1배로 증가시켰다. 연작지에서 인산의 농도가 높은 것을 감안하여 질소와 칼리만을 공급하기 위해 KNO_3 처리구 및 N, P, K 가 많은 것을 대비하여 미량원소만을 시비하여 엽채류의 재배 가능성을 보기위해 미량원소 처리구도 같은 방법을 이용하여 양액 공급 농도를 조절하였다. KNO_3 처리구 및 미량원소 처리구는 1배액의 농도를 기준으로 동일한 양의 농도를 공급하였다. 각 처리구의 양액 EC는 0배 처리구는 $0.2mS \cdot cm^{-1}$, 0.5배 처리구는 $0.8mS \cdot cm^{-1}$, 1배구는 $1.3mS \cdot cm^{-1}$ 이었고, KNO_3 처리구는 $0.8mS \cdot cm^{-1}$ 이며, 미량원소 처리구는 $0.2mS \cdot cm^{-1}$ 이었다. 관비량은 $750mL/day/plant$ 였고, 타이머에 의한 분할 관수하였으며 오전 07시부터 오후 15시까지 1시간에 15분씩 공급하였다.

5.11.3. 결과 및 고찰

5.11.3.1. N-min 적용과 관비 농법에 의한 염류집적 경감

최근 많이 이용하는 관비농법을 이용하여 최적 양수분을 공급함으로써 잉여 양분의 토양 내 집적을 막아 염류장해를 경감시키기 위한 목적으로, 적정관비농도와 조성에 관하여 연구한바 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1). N-min 방법에 의한 적정 시비량 산출

연작장해를 경감하기 위한 가장 중요한 방법은 토양내의 비료성분을 파악하고 시비를 조절하는데 있다. 파종 전 토양검증을 통한 유효 양분 계산을 위하여 Whermann 과 Scharpf(1979)가 제시한 N-min 방법을 통한 토양내 질소 함량을 다음과 같이 계산하였다. Merck-strip test 법 (생토 용적 침출법으로 일종의 비색법)에 의해 토양 내 NO_3^- 는 500ppm 정도인 것이 측정 되었다. 따라서 NO_3^- 500ppm 내 질소 함량은 다음과 같다.

$$500ppm \times \frac{14(N\text{의분자량})}{62(NO_3\text{의분자량})} = 112.9 \text{ ppm 이다.}$$

토양 20cm 깊이 내의 N을 kg/ha로 계산하려면 112.9 ppm을 %로 변환시키고 다음 공식에 의해 가용성 질소 성분을 계산할 수 있다

$$1 \text{ ha 당 가용 질소 총량} = 0.01129\% \times 30000 = 339kg/ha$$

즉, 33.9kg/10a 수준의 질소가 토양에 들어있는 셈이다. 이정도 수준이면 식물의 초기 생육에는 아주 알맞은 수준이 될 수 있다. 그러나 실제 토양 내의 질소는 미생물에 의해 무기 이온화하는데 년 간 1-3% 만 무기염류화 된다고 한다(Fink, 1982). 이 경우는 33.9 kg의 1-3% 이므로 실제 0.3 - 10kg/10a 수준이 되는 셈이다. 이 가운데 1/3만 식물에 이용되므로 실제 0.1-0.3kg 정도가 식물에 이용된다고 할 수 있다. 유럽의 경우에 토양 내 60cm까지의 깊이에 이용 가능한 N(주로 NO₃형태)은 2-10kg/10a 수준이라고 한다.

그러나 생토를 이용한 Merck strip test 법은 NO₃를 기초로 한 계산이 아니고 토양 내 total N을 기준으로 계산 하는 반면, 대체로 우리가 시비해야할 질소량은 시설내의 토양이므로 밭토양과 달리 다음 식에 의해서 계산하는 것이 타당하다고 생각된다.

$$\text{필요시비량} = \text{표준시비량(kg/10a)} - \text{N-min 공급 질소량(kg/10 a)}$$

이와 같은 공식에 의해 국내 재배 채소류의 권장 시비량을 기준으로 오이, 토마토, 상추 시비량을 계산하면 다음과 같다.

1. N-min에 의한 공급 가능한 N의 계산 시 Merck strip test를 통해 조사된 질산염이 500ppm이라면,

$$500\text{ppm} \times 0.226 \times 0.3 = 33.9 \text{ kg/10a}$$

2. 10a 당 오이를 대상으로 계산을 한다면 다음과 같이 계산이 가능하다.

$$10\text{a당 시비량} = 23\text{kg(억제 오이 질소 시비량)} - 33.9\text{kg} = 10.9 \text{ kg}$$

즉 10.9kg이 과잉 상태이므로 밑거름을 뿌리지 말고 정식을 해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 축성은 질소가 약 50kg, 그리고 반축성은 45kg/10a가 필요하므로, 현재 토양 속에 33.9 kg이 들어 있다 해도 각각 16.1, 11.1kg을 추비로 뿌려야 한다. 이와 같은 식에 의하여 계산하면 10a당 시비 수준을 계산 할 수가 있다.

Table 7-29는 Fujiwara(2001)가 제시한 것을 다소 정리한 표인데, Resh (2001)가 제시한 38개 양액 종류 내에 함유되어 있는 100-400ppm 보다 아주 높은 수치이다. 이는 우리가 분석하는 생토검출법과 동일한 5배로 희석해서 사용함으로써 표준 값이 2.5배 정도 높은 것이 아닌가 생각된다. 왜냐하면 국내에서는 대체로 NO₃⁻는 100-200ppm이 알맞은 범위로 추천하기 때문이다.

Table 7.29 Optimum level of NO₃⁻ content in soil solution for vegetables (Modified Fujiwara, 2001)

| NO ₃ (mg/l) | EC value | Vegetable crops |
|------------------------|-----------|---|
| About 300 | About 1.1 | sweet corn, strawberry, spinach, Welsh onion |
| About 400 | About 1.4 | spinach, leaf onion, leaf lettuce, |
| About 500 | About 1.8 | tomato, onion, radish, sweet potato |
| 600-700 | 2.1-2.4 | Chinese cabbage, edible chrysanthemum, head lettuce |
| 800-900 | 2.7-3.0 | celery, cucumber |
| About 1000 | 3.4 | cabbage, cauliflower, carrot |

Fujiwara 등(2001)등은 생토용액법을 제시하면서 다음과 같은 식에 의해 토양용액의 질산태질소를 산출할 수 있다고 하였다.

$$\text{토양용액의 질산태질소} = 2.4 \times \text{생토용적법 질산태 질소} + 20.6$$

본 연구를 수행한 포장에서 생토용적법질산태(토양:물=2:1, 30분 추출 후 여과시킨 다음 측정)가 500ppm 이라면, 토양용액의 질산태질소= 2.4×500+20.6=1220.6 ppm 이다

이 수치를 Table 7과 비교하면 양배추, 꽃양배추, 당근 이외 식물은 질소가 현재 과다하게 들어 있어서 시비의 필요성이 없고 생육 단계에 따라 추비를 하는 것을 고려해야한다.

이는 생토용적법 (1:5추출)으로 추출한 경우 토양용적에 NO₃-N은 $y=2.4x+20.6$ 이라는 공식에 응할 수 있음을 말한다. 실제로 Fujiwara 등(2001)은 질산이온 농도가 200-2000ppm 사이를 식물이 자랄 수 있는 범위라고 하였다.

이상 N-min 법과 생토용액법(Fujiwara 등, 2001)을 비교했는데 결국 중요한 것은 어느 방법을 사용하던지 분석법에 맞은 채소의 표준 시비 기준표를 만든다면 적정 시량을 산출하는데 크게 차이가 없다는 점이다.

5.11.3.2. 오이 및 토마토 관비농도 및 조성 비교

오이의 수량은 정식 후 현재까지 1배 처리구가 타 처리구에 비해 가장 좋았으며, KNO₃ 단용구는 수량이 적은 편은 아니었지만, 수확한 오이 과실을 갈라 보면 종자가 있는 부분이 연한 노란색을 띠는 것으로 보아 결핍증이 나타나고 있음을 알 수 있다 (Table. 7.30). 또한 대조구는 과중이 기타 처리구에 비해 월등히 높은 것으로 나타나

지만 현재까지 4반복에서 오직 3개의 오이 과실을 얻은 후에 전혀 수확이 없으며 앞으로도 전혀 수확이 없을 것으로 보인다. 이는 초기에 정식 전 공급한 허브양액을 양분으로 처음 결실된 것은 수확이 가능하였으나 그 후 물만을 공급하면서 양분이 고갈되어 결실이 불가능해진 것으로 사료된다. 그리고 2배 처리구에서 기타 처리구에 비해 곡과와 끝이 가는과(先細果)가 많았다. 오이의 초장은 0.5배, KNO₃, 1배, 2배, 대조구 순이었으며(Fig. 7-56), 오이 과실의 수확 데이터와는 조금 다른 양상을 보였다. 2배 처리구는 양액의 농도가 과도하여 도리어 생육이 저해되는 것으로 사료된다. 현재까지는 생육에서 0.5배 처리구가 전체적으로 다른 처리구에 비해 높은 값을 나타내고 있으며, 고염류토양에 정식을 한 것이기 때문에 이러한 경향은 앞으로도 계속될 것으로 생각된다.

오이의 엽장은 1배, 0.5배, 2배, KNO₃, 대조구 순이었다(Fig.7-57). 이는 오이 과실의 수량과도 유사한 순서로 잎의 크기와 오이 과실의 수량 사이의 정관계를 보여 준다고 볼 수 있다. 잎이 크면 광을 받는데 더 유리하고 그 만큼 오이 과실을 성숙시키는 데 필요한 에너지를 더 많이 공급받을 수 있기 때문에 이러한 연관성이 있는 것 같다.

오이의 경경은 0.5배, 1배, KNO₃, 대조구, 2배 처리구 순이었다(Fig.7-58). 경경은 묘의 충실도를 보여주는 한 지표로서 경경에서도 0.5배가 처리구가 가장 좋은 결과를 보여 주고 있다.

Table 7.30. Effect of cucumber fruit growth on irrigation method

| | No. of fruit(ea) | Yield/plant (g) | Average weight(g) | Fruit length (cm) | Fruit width(mm) | | | Malformed fruit rate (%) |
|------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------|--------|--------------------------|
| | | | | | Top | Middle | Bottom | |
| Con. | 3 | 108.56 | 144.75 | 25.63 | 30.82 | 29.17 | 27.20 | 0 |
| 0.5X | 17 | 439.95 | 129.39 | 29.53 | 29.53 | 26.55 | 24.73 | 15.0 |
| 1X | 17 | 480.17 | 112.98 | 22.63 | 25.53 | 22.76 | 23.00 | 19.0 |
| 2X | 10 | 305.14 | 122.05 | 20.25 | 25.63 | 22.90 | 22.48 | 44.4 |
| KNO ₃ | 13 | 359.32 | 110.56 | 22.53 | 23.42 | 22.74 | 20.15 | 27.8 |

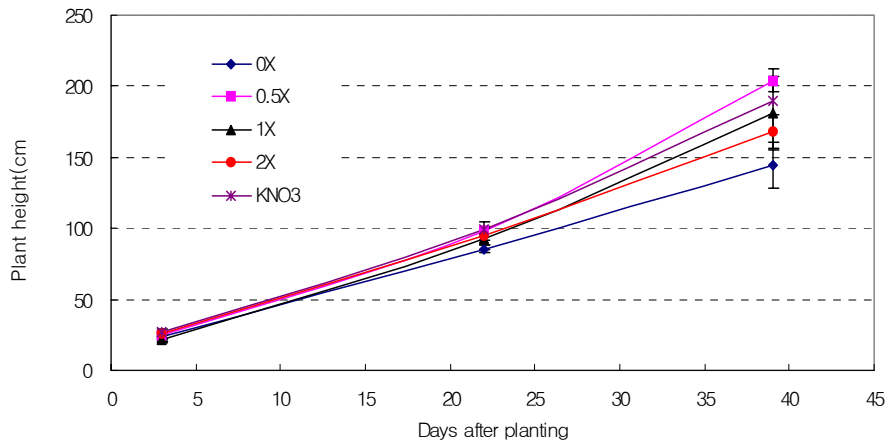


Fig. 7.56. Effect of different nutrient solutions on the plant height of cucumber in salinized soil

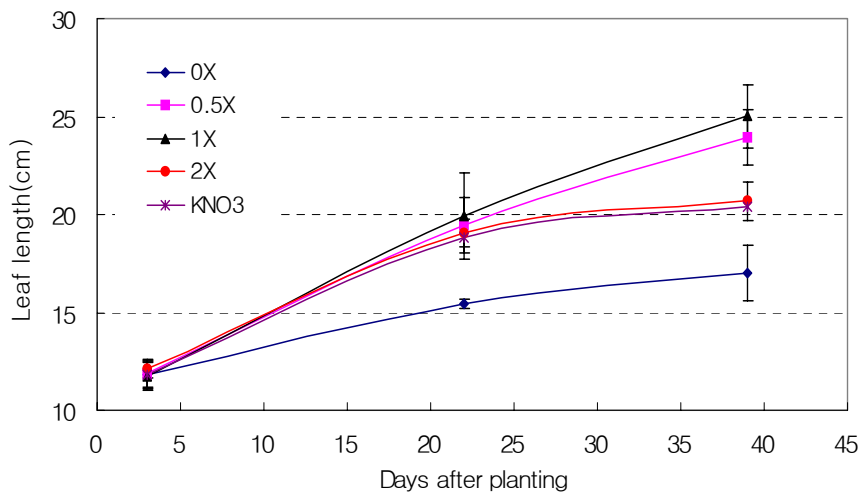


Fig. 7.57. Effect of different nutrient solutions on the leaf length of cucumber in salinized soil

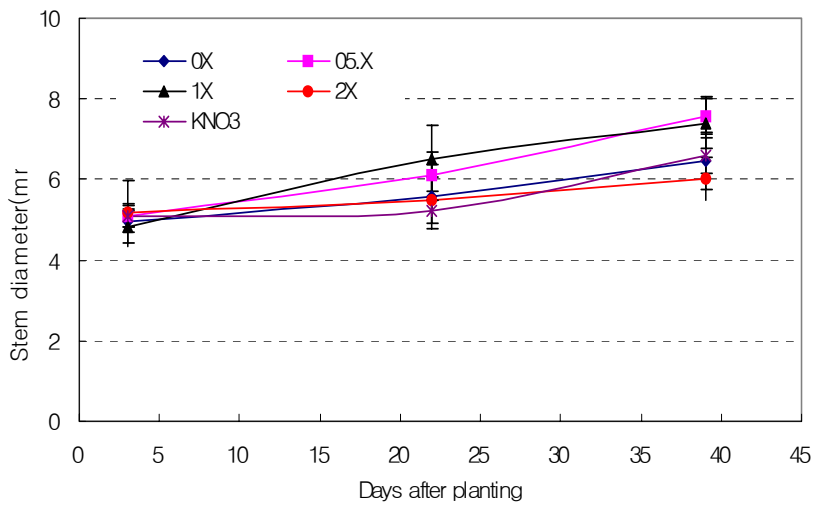


Fig. 7.58. Effect of different nutrient solutions on the stem diameter of cucumber in salinized soil

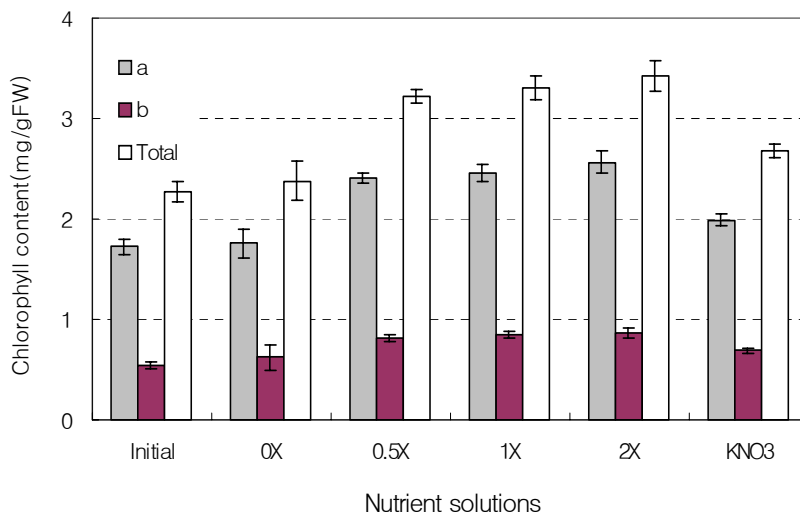


Fig. 7.59. Effect of different nutrient solutions on the chlorophyll content of cucumber in salinized soil

정식 40일 후 오이의 엽록소 함량을 측정한 결과 엽록소 함량은 2배, 1배, 0.5배, KNO₃, 대조구 순으로 겉보기와 같은 결과를 보여 주고 있다(Fig. 7-59). 앞으로 실험

이 더 진행됨에 따라 그 정도의 차이가 더욱 확연해질 것으로 사료된다.

토마토의 초장은 1배, 0.5배, 2배, KNO_3 , 대조구 순이었다. 이 수치는 5월 중순에 생육 상태에 따라 대조구를 제외하고는 모두 4단 적심을 하였기 때문에 앞으로는 변동이 없을 것으로 생각된다(Fig. 7-60,61)

토마토의 엽장은 1배, 2배, 0.5배, KNO_3 , 대조구 순이었다. 토마토의 경경은 1배, 2배, KNO_3 , 0.5배, 대조구 순이었다. KNO_3 처리구는 중간값 정도를 보였지만 초기의 경경 값을 볼 때 경경 비대가 1배 처리구 만큼이나 많이 된 것으로 볼 수 있다. 토마토의 엽록소 함량은 오이와는 달리 정식 40일 후 그 함량이 줄어들었고 대조구를 제외하고는 거의 유사한 수치를 나타내고 있다.

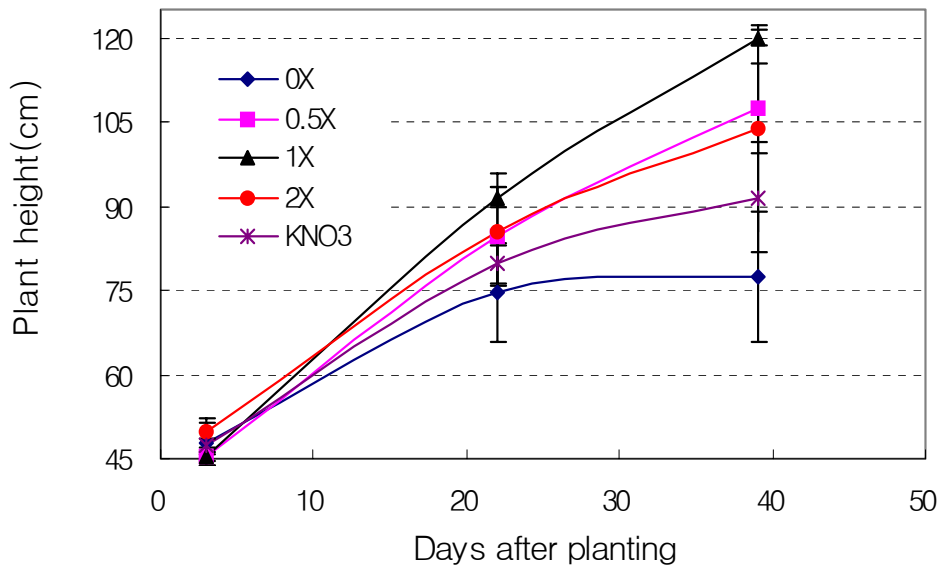


Fig. 7.60. Effect of different nutrient solutions on the plant height of tomato in salinized soil.

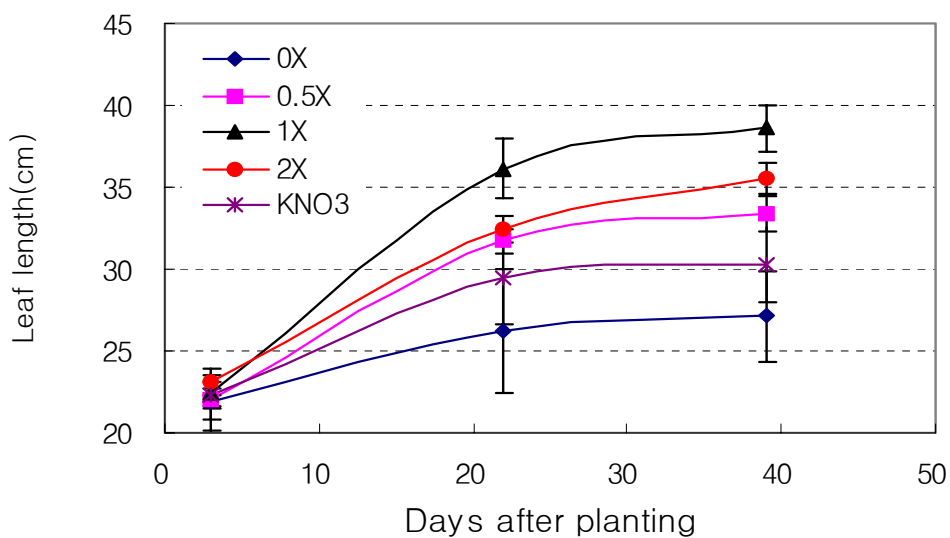


Fig. 7.61. Effect of different nutrient solutions on the leaf length of tomato in salinized soil

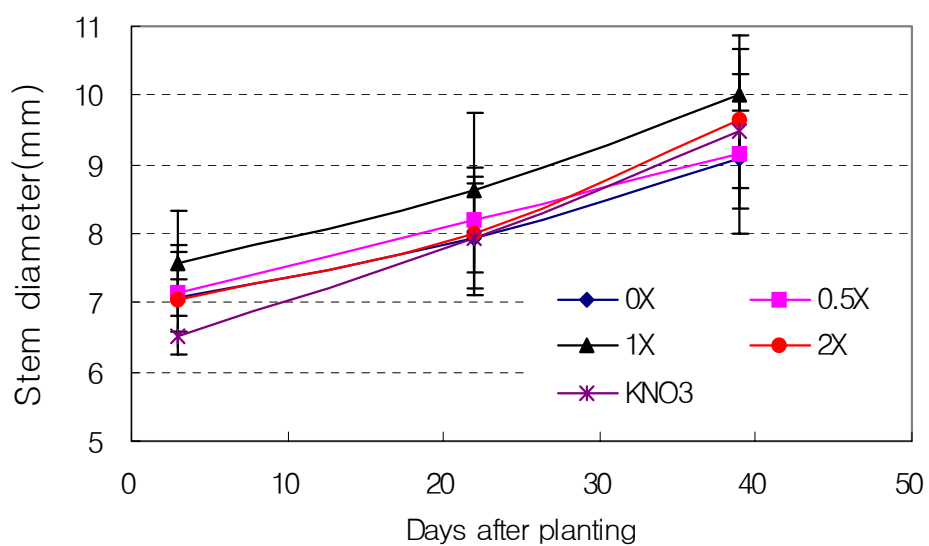


Fig. 7.62. Effect of different nutrient solutions on the stem diameter of tomato in salinized soil

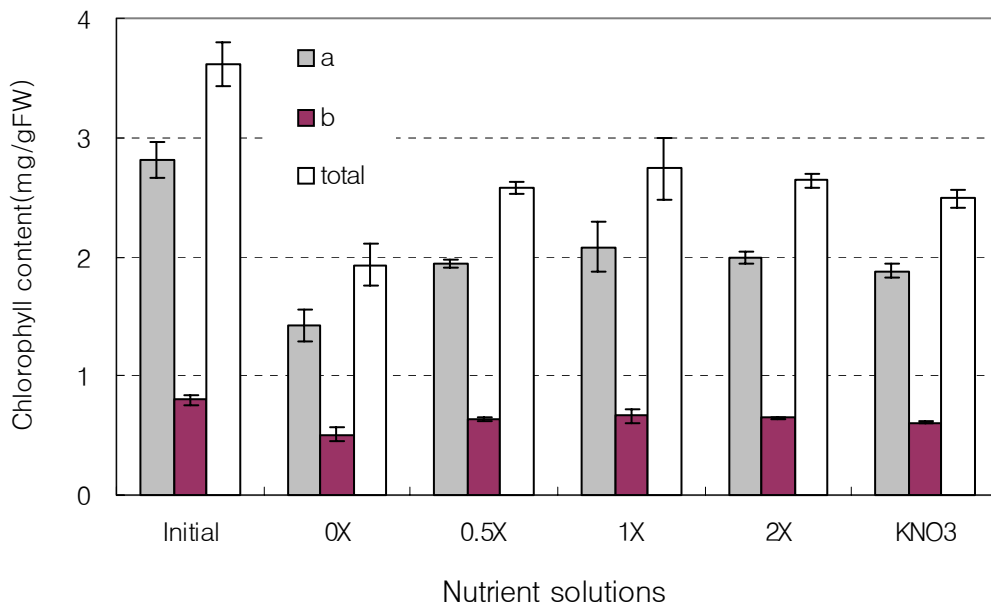


Fig. 7.63. Effect of different nutrient solutions on the chlorophyll content of tomato in salinized soil

5.11.3.3. 염류토양에서 쌈채소의 관비 농도가 생육과 품질에 미치는 영향

인위적으로 EC농도를 약 4mS로 상승시킨 토양에서 몇 가지 관비조성이 쌈채소의 생육에 미치는 영향을 조사 한바 다음과 같은 결과를 얻었다. 재배 기간 중 초기의 성장정도를 알기 위해 최초 수확 전까지 초장(엽병을 포함한 길이)과 엽장를 조사하였는데 5가지 쌈채소 중 적겨자(Fig. 7-64,65), 레드치커리, 그리고 엔디브의 경우는 1배 양액 처리구에서 가장 우수한 생육을 보였으나, 0.5배나 대조구(0배 처리구)와 통계적 유의차는 보이지 않았다.

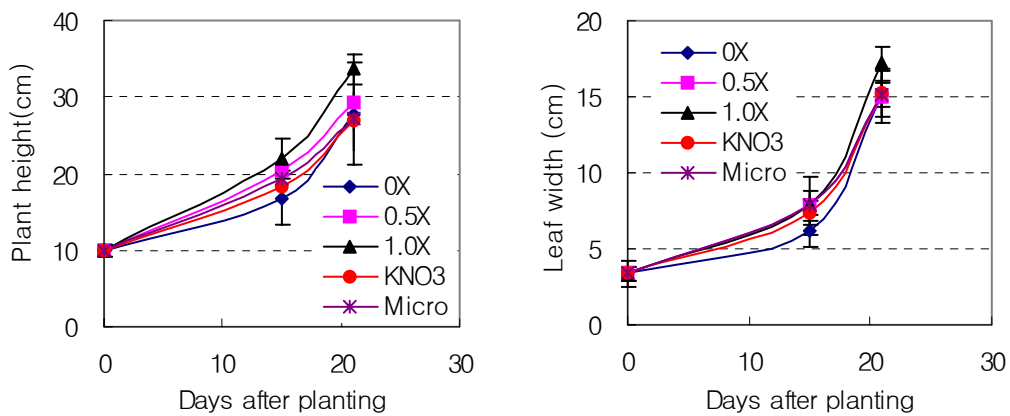


Fig. 7.64. Effect of different nutrient solutions^Z on the leaf length and leaf width of red chinese mustard in salinized soil.

^Z. 0.5X : 1/2 strength of Yamazaki solution (see Table 2)

KNO₃ : 4me . L⁻¹ Micro : using only micro nutrients of Yamazaki solution

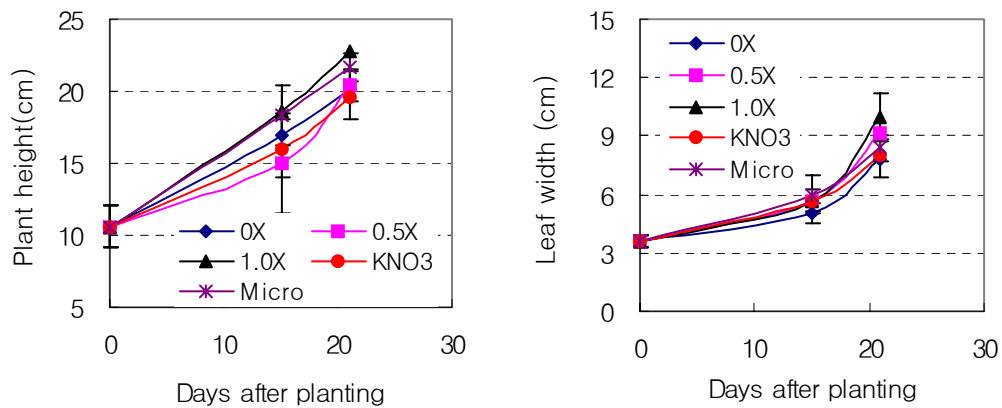


Fig. 7.65. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of red chicory in salinized soil. ^Z see Fig 7-64.

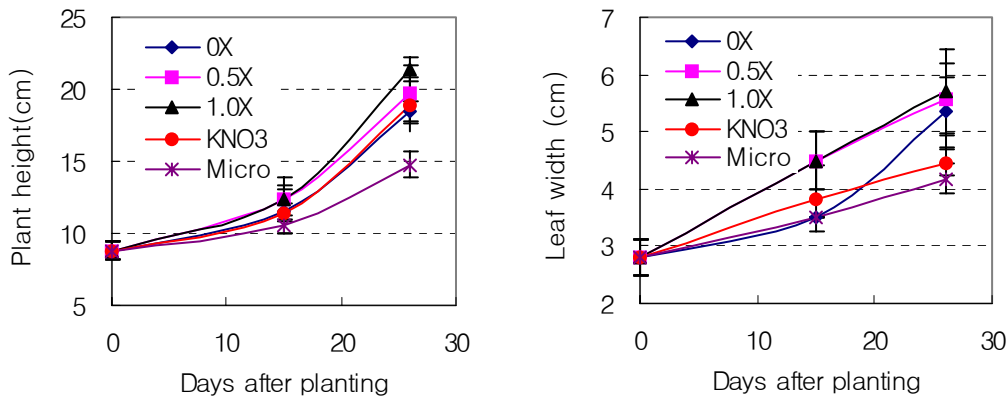


Fig. 7.66. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of endive in salinized soil.

^Z see Fig. 7-64.

적겨자와 레드치커리(Fig. 7-65), 엔디브(Fig. 7-66)의 경우에 관비 농도를 0.5배에서 각각의 농도조건으로 바꾸기 시작하였던 정식 15일 이후 급격한 초장의 증가를 보이고 있으며, 레드 치커리의 경우는 엽폭의 증가가 두드러졌다. 엔디브의 경우는 양액 농도 간에는 통계적 차이가 없었으나 초장은 미량원소처리구, 그리고 엽폭은 미량원소와 질산태-질소 처리구에서 생육이 더딘 것을 알 수 있었다. 적겨자의 경우 풍부한 미네랄과 비타민 C와 A를 함유하고 있으며 다비성 엽채류로 알려져 있는데 본 실험에서 재배토양이 고염류 토양이었음에도 불구하고 1배액 관비처리구에서 가장 좋은 생육을 보여주었다.

상추계 쌈채소였던 바울레드와 적로메인의 경우 약 앞의 3가지 쌈채소와 달리 대조구, 즉 수분만 공급한 처리에서 가장 좋은 생육을 보였다(Fig. 67, 68). 0.5나 1배 처리와는 통계적 유의차를 보이지 않았으나 KNO₃처리구에서 현저히 생육이 억제되었다. 재식 전에 토양의 EC는 4dS/m 이상으로 고염류토양이었으며, N-min테스트 결과 500ppm 이상의 NO₃ 농도를 보였는데, 상추계 쌈채소의 경우 고염류 토양에서 생육이 억제된다는 결과와 유사한 결과를 보이고 있다. 즉 초기에는 N-min 으로 500ppm이 나타나면 앞서 계산식의 결과처럼 10a 당 토양에 35kg이상의 가용 N이 함유되어 있음을 뜻하며 엽채류 중에 내비성이 약한 것은 초기생육 억제가 나타날 수 있다(Krug, 1985)

생육의 증가 속도는 재배 15일을 전후하여 전 처리구에서 증가하고, 20일을 전후하

여 marketable quality를 가진 잎을 수확 가능해 진다. 이것은 일반 재배에서와 차이를 보이지 않는 것으로 정식 후 충분한 관수만 이루어진다면 고염류 토양에서 제염을 시키고도 충분한 수량성을 올릴 수 있을 것으로 사료된다.

엔디브를 제외한 4가지 쌈채소는 정식 후 20일에 1차 수확을 하였고, 엔디브는 25일에 처음으로 수확하였다. 그 후 5일 간격으로 3차와 4차 수확을 시행하였다. 그 중 적겨자는 거의 모든 처리구에서 생육이 왕성하여 4차례 수확을 실시하였는데, 야마자키 상추 1배 양액관비처리구에서 가장 많은 수확량을 보였으며, 특이한 것은 KNO₃처리구의 경우 0배 처리구, 즉 수분만 관수한 경우보다 오히려 수량이 감소하였다 (Fig. 7-69).

이는 N-min 테스트에 의하면 토양 NO₃-N의 함량이 500ppm 이상으로 측정된 결과에 비추어 본다면, KNO₃ 처리구의 생육 저조는 과도한 NO₃-N의 공급으로 질산염 농도의 피해가 나타난 것으로 판단된다. 또한 함께 공급된 K가 과잉이 되면 Mg나 Ca의 흡수가 저해되기 때문에 전체적으로 양분 흡수의 불균형이 발생하게 된다. 미량원소구가 KNO₃ 처리구보다 우수한 수확량을 보인 것은 토양 내에 양분이 충분하게 있어 초기 생육에는 지장이 없는데다 적겨자체가 토양내의 미량원소 요구도가 높는데 이러한 조건을 충족시켜 주었기 때문으로 판단된다. 또한 대부분의 배추과 작물이 미량원소 요구도가 비교적 높아 배추과인 적겨자체의 생육 특성도 다비성이고 토양 내 붕소 요구도가 높기 때문에 미량원소 공급으로 생육이 좋아진 것으로 판단된다.

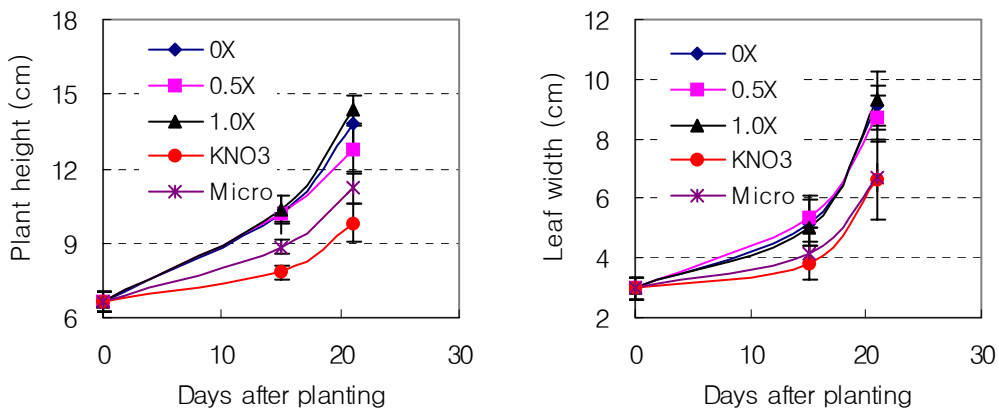


Fig. 7.67. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of red romaine lettuce in salinized soil.

^Z see Fig. 7-64.

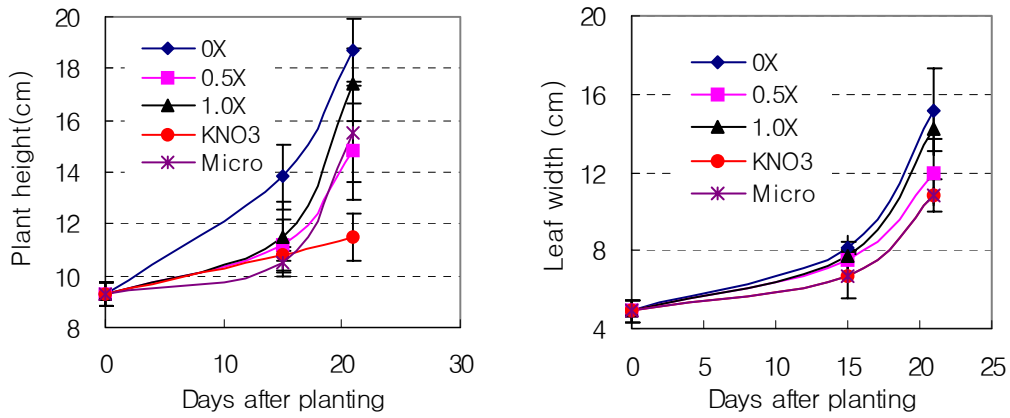


Fig. 7.68. Effect of different nutrient solutions^Z on the plant height and leaf width of bowl red lettuce in salinized soil.
^Z see Fig. 7-64.

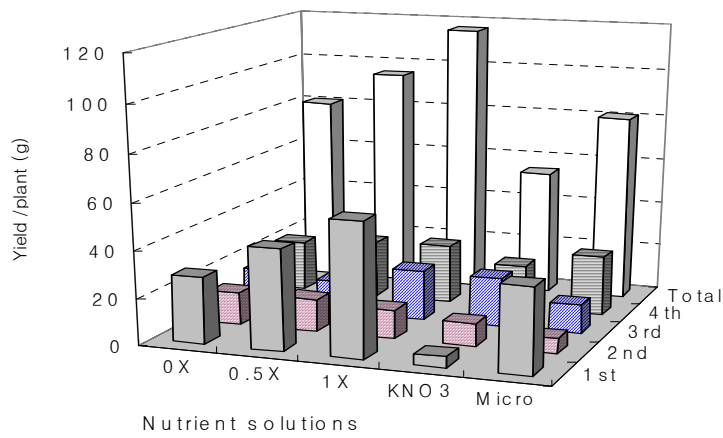


Fig. 7.69. The effect of different nutrient solutions on the yield of red chinese mustard in salinized soil.
^Z see Fig. 7-64.

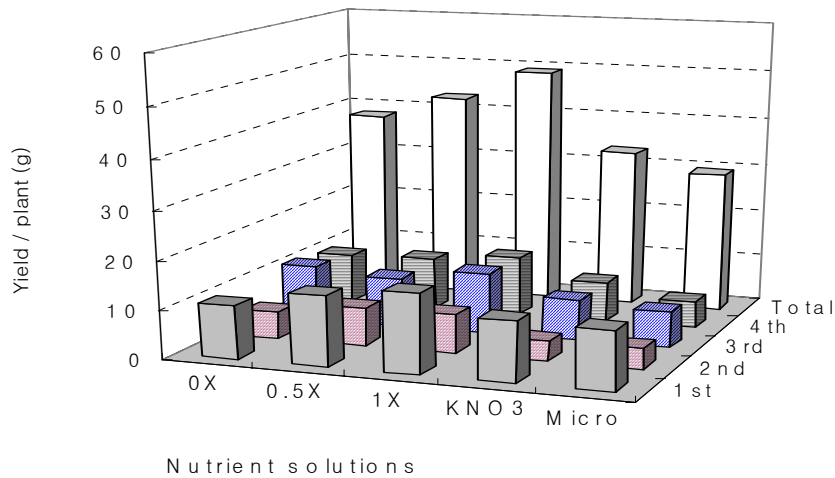


Fig. 7.70 The effect of different nutrient solutions on the yield of red chicory in salinized soil.

^z see Fig. 7-64.

적겨자와 함께 4차례 모두 수확하였던 레드치커리의 경우도 Fig. 7-70에서와 같이 1배 관비 처리구에서 가장 많은 수량을 보였으며 차례로 0.5배, 0배 수준으로 많은 수량을 나타냈다. KNO₃ 처리구는 미량원소 처리구와 함께 가장 낮은 수량을 보였다. 이 같은 경향은 엔디브에서도 같게 나타났다(Fig. 7-71). 이들은 비교적 높은 수준의 비료 요구량을 가지고 있는 작물로 토양 내에 풍부한 유기물과 다비질 토양에서 잘 자라는 작물이다(Nonnecke, 1989). 본 실험에 사용된 토양은 토마토 관비재배를 실시했던 토양으로 토양 내에 상당한 양의 비료질이 포함되어 있다. 본 토양은 일반 밭 토양에서 일반 복비를 사용했던 토양과는 다르게 N, P, K 뿐만 아니라 미량원소 역시 과다하게 집적되어 있는 토양이다. 이러한 토양 특성 때문에 앞서 언급 했듯이 미량원소 처리구의 생육이 미량원소 과잉으로 인해서 불량했던 것으로 판단된다. 이것은 이후에 생체 분석을 통하여 확인해 보고자 한다.

적로메인 상추와 바울레드 상추는 쌈채소로도 많이 이용되고 있는 상추 품종이다. 일반적으로 상추류는 저비성으로 알려져 있으며 이것은 관비 재배용 양액의 EC 농도가 0.8-1.2 수준인 것을 보면 알 수 있다. 특히 0.5배와 0배 처리구에서 가장 우수한 수확량을 보인 것과, 토양내의 EC 농도가 4.0 mS · cm⁻¹ 수준인 것을 감안하면 작물의 생육 특성이 비교적 저비성인 것을 알 수 있다. 이것은 KNO₃ 처리구와 미량원소

처리구에서 특정 원소들의 과도한 공급은 각 영양성분들의 길항 작용을 촉진하여 양분 흡수 효율을 떨어 뜨려 전반적인 생육 저해를 가져온 것으로 보인다.

상추류(Fig. 7-72,73)를 제외한 싹채소에서 1배 양액을 처리한 구에서 우수한 수확 결과를 보였다. 이것은 작물의 양분 흡수 형태 및 생육 환경 특성을 여실히 보여주는 것으로 적겨자, 레드 치커리, 엔디브 등은 비교적 고농도의 염류 토양에서도 생육이 충분히 이루어 질 수 있다는 것을 보여준다. 또한 이러한 결과는 농가에서 연속적으로 다량의 비료를 사용하여 고농도 집적 토양에서 재배 하는 것과 유사한 결과를 보이는 것이다. 생육이 약간은 억제 되지만 높은 수량을 원하는 농가들이 연속적으로

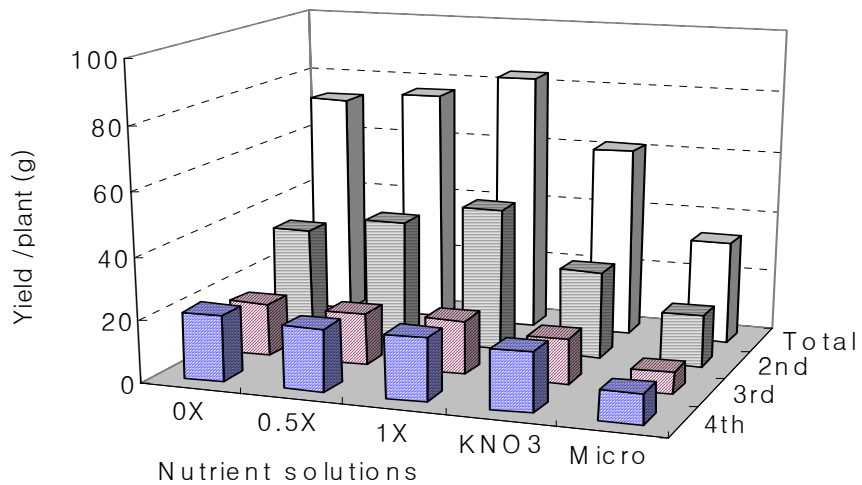


Fig. 7.71. The effect of different nutrient solutions on the yield of endive in salinized soil.

^z see Fig. 7-64.

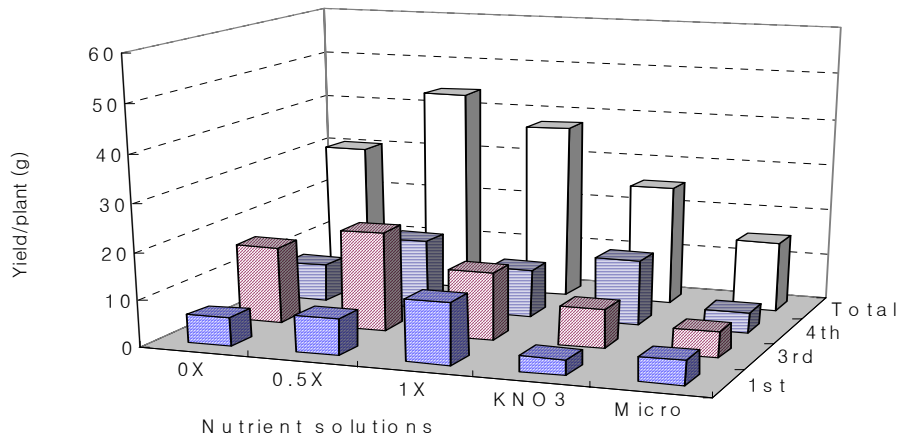


Fig. 7.72. The effect of different nutrient solutions on the yield of red romaine in salinized soil.

^z see Fig. 7-64.

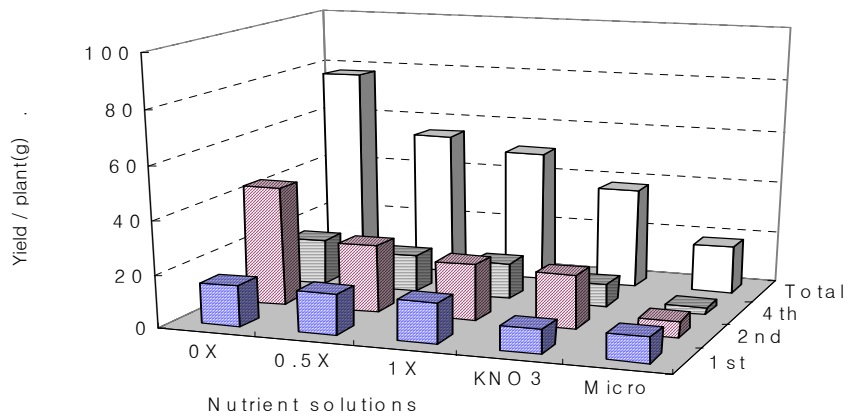


Fig. 7.73 The effect of different nutrient solutions on the yield of bowl red in salinized soil.

^z see Fig. 7-64.

비료를 공급하는 것이다. 이는 적절한 비료의 사용법이 아니라고 판단되므로 적절한 비료의 사용을 위해 비료 소모량을 계산해서 적절한 농도를 찾는 것이 필요하다고 생각된다.

상추류의 경우 비교적 고염류에서의 생육이 원활하지 못하다고 알려져 있는데 이것은 로메인 상추가 0.5배 처리구, 바올레드 상추가 0배 처리구에서 가장 우수한 생육을 보인 것으로 알 수 있으며 이것은 또한 실험 토양의 농도가 상당히 고농도의 염류 집적 토양임을 말해 주는 것이다. 이러한 토양조건에서 토양내의 염류 집적을 억제하고 충분한 수량을 얻기 위해서는 N-min법에 의해 토양 내 가용질소함량을 계산하고 거기에 부족한만큼의 비료만 제공하거나 무비 재배 또는 다량관수를 통한 탈염법 적용도 좋은 재배 방법이 될 것으로 판단된다. 아울러 작물의 생육상태에 따라 적정 관비 농도를 작물별로 조절할 필요가 있음을 알 수 있다. 3차 수확까지는 무비료 관수구에서도 상추가 수량이 많으나 어느 시점에서 관비를 공급할 필요가 있다고 사료된다.

수확량을 전체적으로 확인하면 KNO₃ 처리구와 미량원소 처리구에서 전 작물에서 수확량이 감소하는데 양분을 공급함에 있어 무엇보다 균형적인 공급이 중요함을 알 수 있다. 특히 고염류 토양에서는 각 비료 성분간의 길항작용이 뚜렷하게 나타나는 것으로 판단되어 염류 집적지에서는 균형적인 시비를 하지만 농도를 낮추어서 시비하는 것이 전반적인 수량성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

염채류의 품질에 가장 중요한 질산염 함량을 조사한 결과는 Fig. 7-74와 같다. 모든 처리구에서 여름철 기준량인 2500ppm을 만족하였다. NO₃⁻의 함량을 액비농도가 높을수록 증가 되었다. KNO₃는 Romain만 제외하고 모든 쌈채소의 질산염함량을 증가 시키는 경향을 보였다. 따라서 토양 조사 후 관비 농도를 조절하여 질산염 집적도 막을 수 있음을 알 수 있었다.

염의 함량을 보면 Table 7-31과 같다. 대체로 뚜렷한 경향치를 보이지 않았으나 관비 농도가 증가 할수록 무기 염류는 증가하는 경향을 보였다.

KNO₃ 시비에 따라 K함량이 K증가가 예상 됐으나 뚜렷한 경향이 없었다.

5.11.4. 적요

Merck strip test에 나타난 토양중의 질산염을 다음 공식에 적용하면 실시간 10a당 가용 질소함량을 알 수가 있다.

현재 토양 중 N함량(kg/10 a)= 질산함량(ppm) x 0.226 x 0.3

시설 내 N 시비량= 현재 토양 중 N함량(kg/10a)- 작물별 N표준시비량(kg/10 a)

실제 적용가능성을 보고자 전기전도도가 4.0dS·m⁻¹인 토양에서 Yamazaki 상추액을 0.5배, 1.0배, KN₃ 단용구(4me), 미량요소구(야마자기액의 미량요소만 시비)처리 시험을 하였다. 공시작물은 쌈채소(red mustard, red chicory, endive, bowl red, red

romaine) 5가지를 택하여 재배하였다. 그 결과 2주까지는 생육의 차이가 없었으며 그 이후에 적겨자와 적치커리는 1배액에서 수량이 많았고, 엔디브는 무비료구와 관비 처리구 간에 차이가 없었으며 적로메인은 0.5 배액, 그리고 bowl red는 무처리구에서 오히려 수량이 많았다. KNO_3 와 미량원소구에서는 수량이 모든 쌈채소구에서 낮았다.

이로 미루어 토양 내 질소의 함량을 분석해서 관비를 적용하면 엔디브, 볼레드상추는 무비료재배도 가능하며, 적로메인은 상추 0.5배액에서, 그리고 비교적 흡비력이 강한 적겨자와 적치커리는 1배액에서도 알맞은 수량을 올릴 수가 있었다.

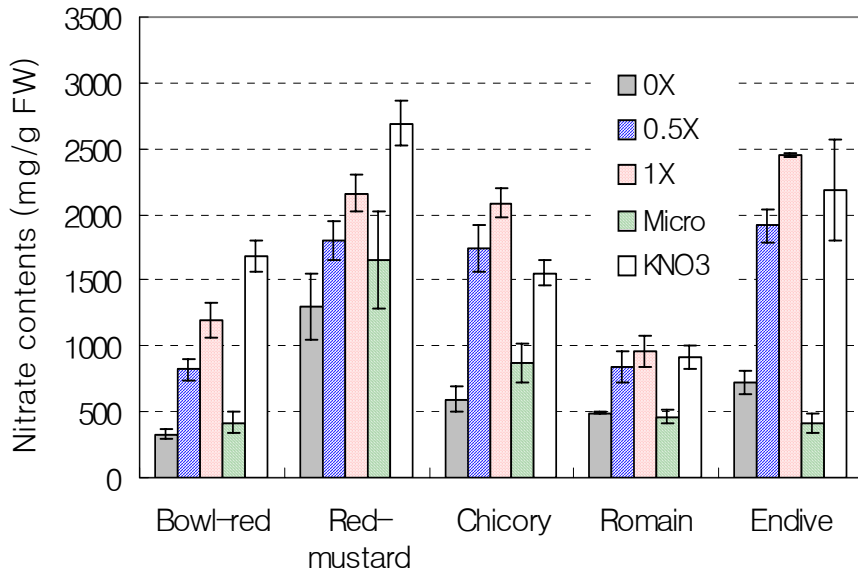


Fig. 7.74. The nitrate contents of several stuffed vegetables grown in salinized soil with different nutrient solutions.

Table 7.31. The mineral contents of several stuffed vegetables grown in different fertigation nutrient solution. (unit: %, Dry matter)

| Crops | Nutrient solution | K | Ca | Mg | Na |
|-------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Bowl red | 0X | 0.94 ± 0.07 ^z | 5.21 ± 0.24 | 0.42 ± 0.01 | 0.11 ± 0.01 |
| | 0.5X | 0.74 ± 0.05 | 4.39 ± 0.06 | 0.32 ± 0.03 | 0.11 ± 0.01 |
| | 1.0X | 0.87 ± 0.01 | 5.61 ± 0.24 | 0.47 ± 0.01 | 0.13 ± 0.01 |
| | 2.0X | 0.88 ± 0.25 | 5.65 ± 0.43 | 0.58 ± 0.04 | 0.14 ± 0.01 |
| | KNO ₃ | 0.88 ± 0.01 | 2.94 ± 0.04 | 0.36 ± 0.01 | 0.11 ± 0.01 |
| Red mustard | 0X | 1.00 ± 0.08 | 2.63 ± 0.22 | 0.14 ± 0.01 | 0.07 ± 0.01 |
| | 0.5X | 0.90 ± 0.10 | 3.47 ± 0.18 | 0.20 ± 0.02 | 0.07 ± 0.01 |
| | 1.0X | 1.07 ± 0.08 | 3.48 ± 0.05 | 0.17 ± 0.01 | 0.08 ± 0.01 |
| | 2.0X | 0.77 ± 0.02 | 3.10 ± 0.12 | 0.16 ± 0.03 | 0.08 ± 0.01 |
| | KNO ₃ | 0.99 ± 0.05 | 3.05 ± 0.09 | 0.16 ± 0.01 | 0.09 ± 0.01 |
| Chicory | 0X | 0.55 ± 0.08 | 3.95 ± 0.47 | 0.19 ± 0.03 | 0.09 ± 0.01 |
| | 0.5X | 0.61 ± 0.06 | 4.26 ± 0.44 | 0.22 ± 0.04 | 0.09 ± 0.07 |
| | 1.0X | 0.33 ± 0.05 | 3.75 ± 0.23 | 0.16 ± 0.03 | 0.07 ± 0.01 |
| | 2.0X | 0.36 ± 0.03 | 3.62 ± 0.06 | 0.17 ± 0.01 | 0.12 ± 0.01 |
| | KNO ₃ | 0.45 ± 0.01 | 4.20 ± 0.03 | 0.16 ± 0.03 | 0.10 ± 0.01 |
| Romain | 0X | 0.54 ± 0.01 | 2.11 ± 0.11 | 0.20 ± 0.01 | 0.10 ± 0.01 |
| | 0.5X | 0.76 ± 0.15 | 2.14 ± 0.08 | 0.24 ± 0.02 | 0.09 ± 0.01 |
| | 1.0X | 0.99 ± 0.01 | 2.94 ± 0.02 | 0.32 ± 0.02 | 0.11 ± 0.01 |
| | 2.0X | 0.81 ± 0.09 | 3.60 ± 0.04 | 0.33 ± 0.04 | 0.13 ± 0.01 |
| | KNO ₃ | 0.96 ± 0.09 | 5.31 ± 0.18 | 0.33 ± 0.02 | 0.09 ± 0.01 |
| Endive | 0X | 0.44 ± 0.02 | 3.25 ± 0.21 | 0.10 ± 0.02 | 0.26 ± 0.02 |
| | 0.5X | 0.38 ± 0.04 | 3.30 ± 0.06 | 0.13 ± 0.01 | 0.18 ± 0.02 |
| | 1.0X | 0.46 ± 0.01 | 3.71 ± 0.06 | 0.18 ± 0.01 | 0.19 ± 0.01 |
| | 2.0X | 0.47 ± 0.01 | 3.03 ± 0.28 | 0.17 ± 0.02 | 0.25 ± 0.01 |
| | KNO ₃ | 0.38 ± 0.03 | 2.79 ± 0.12 | 0.11 ± 0.01 | 0.23 ± 0.02 |

^z Means ± SD

5.12 영양 스트레스 감소를 위한 새로운 관비농법 개발

5.12.1. 자동관비 시스템에 의한 관비의 효율적 적용 시험

5.12.1.1. 재료 및 방법

(1). 오이와 토마토의 수분센서를 이용한 관비의 효율적 적용

본 시험은 물과 비료가 희석된 관비 공급량을 최적화 시키면서 염류의 집적을 막고 파채류의 수량과 품질증진을 목적으로 수행하였다.

공시작물은 2작물로 오이(*Cucumis sativus*) ‘은침백다다기’ 품종, 토마토(*Lycopersicon esculentum*) ‘모모타로 요크’(다카이 종묘)였으며, 오이는 2003년 2월 25일, 토마토는 2003년 1월 27일에 파종하였다. 2003년 3월 26일에 1/5000a 분에 정식하고 일주일동안 하루에 물 300ml 공급하였고, 그 후 각각 Yamazaki 오이 양액과 토마토 양액(Table 7-32)으로 일주일 동안 0.5배액을 300ml씩 공급한 후 오이 4엽 전개 시점, 토마토 2화 방 발생 직후부터 자동관수 처리구와 관행관수 처리구를 나누어 1배액씩 양액을 공급하였다.

Table 7.32. The composition of nutrient solution for lettuce by Yamazaki.

| Macro element | me·L ⁻¹ |
|--|--------------------|
| KNO ₃ | 4 |
| Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O | 2 |
| NH ₄ H ₂ PO ₄ | 1.5 |
| MgSO ₄ ·7H ₂ O | 1 |
| Micro element | ppm |
| FeEDTA | 3 |
| H ₃ BO ₃ | 0.5 |
| MnSO ₄ ·4H ₂ O | 0.5 |
| ZnSO ₄ ·7H ₂ O | 0.05 |
| CuSO ₄ ·5H ₂ O | 0.02 |
| Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O | 0.01 |

관수시스템은 자동관수를 위해 점적시스템을 이용하였고, 관행구는 두상관수를 실시했다. 그리고 주당 일일 급수량은 자동처리구에서는 토양수분포텐셜 센서(자동관수 제어기 RICH-5330)를 사용하였는데, pH수치로 오이는 2.0수준을 유지하게 하였다. 관행 점적관수구에서는 기본적으로 재배화분 아래로 수분이 흘러나오지 않는 수준으로

유지하였다. 그 후 생육이 진행됨에 따라 오이 800ml, 토마토 700ml을 공급(맑은 날 기준)하였다. 시험은 유리온실 내에서 실시했다. 야간최저온도는 18℃를 유지시켰다. 식물당의 수확량, 과중, 과의 크기, 기형과율 등을 조사 하였다.

(2). 쌈채소의 자동관비시스템을 이용한 관비의 효율적 적용

공시작물은 다음의 5가지 품종을 이용하였다. 적겨자 (Red Chinese Mustard, *Brassica juncea* L.), 엔디브 (Endive, *Cichorium endivia* L. var. *crisprum* Hegi), 레드 치커리 (Red chicory, *Cichorium intybus* L. var. *folisum*), 상추 '바올레드' (Lettuce 'Bowl Red', *Lactuca sativa* L. var. 'Bowl Red'), 상추 '적로메인' (Lettuce 'Red Romane', *Lactuca sativa* L. var. 'Red Romaine') 등 이었다.

파종은 2003년 2월 24일에 실시하였으며 정식 전까지 트레이 육묘 하였다. 정식은 정식 토양의 EC 4.2-5.0 mS · cm⁻¹ 인 고려대학교 내의 비닐 하우스에서 2003년 4월 15일에 실시하였다.

처리구는 자동 관수구와 일반 관행 관수구를 두었으며 자동 관수구는 타이머에 의한 점적관수를 실시하였고 관비량은 750mL/day/plant 였고 07시부터 오후 15시 까지 1시간에 15분씩 공급 하였다. 관행 관수구는 자동 관수구와 동일한 양을 농가 관행법으로 두상 관수하였다. 사용된 양액은 야마자키 상추액(Yamazaki, 1978)이 사용되었으며 조성은 Table 2와 같다. 생육조사는 엽폭, 엽장, 엽수, 수량을 관행법으로 조사 하였다.

(3). 토양의 화학성 분석

토양의 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, 토양개량제의 처리전과 처리한 후, 그리고 지표식물인 오이를 재배한 후의 EC, 토양 pH와 무기성분인 전질소, 유효인산, 치환성양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등을 각각 조사하였다.

EC와 pH는 1:5 H₂O법에 의해서 각각 EC meter(Cond 315i, WTW, Germany)와 pH meter(C535, Consort, Belgium)로 측정하였고, 전질소는 Block digester를 이용하여 켈달증류장치(Vapodest 40, Gerhardt, Germany)로 측정하였다.

유효인산은 Lancaster법으로 spectrophotometer(U-3010, Hitachi, Japan)를 사용하여 720nm에서 비색 측정하였으며, 치환성양이온은 1N NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 Ion chromatography(ICP: Plasmalab 8440, Labtam, Australia)를 이용하여 측정하였

다.

(4). 식물체 분석

식물체 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 실시하였는데, 지표식물인 오이의 전질소, 유효인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 무기성분과 엽록소함량을 조사하였다.

식물체를 분석하기 전에 $H_2SO_4-HClO_4$ 분해법으로 시료를 분해하였다. 전질소는 켈달증류장치(Vapodest 40, Gerhardt, Germany)로 측정하였고, 유효인산은 spectrophotometer(U-3010, Hitachi, Japan)로 파장 470nm에서 흡광도를 측정하였다. 치환성양이온은 $H_2SO_4-HClO_4$ 분해액을 ICP(Plasmalab 8440, Labtam, Australia)를 이용하여 측정하였다.

엽록소 함량 측정은 DMF법으로 하였는데, 오이 잎의 생체 0.2g을 DMF (*N,N*-Dimethylformamide) 10mL에 넣고 일주일동안 암소, 저온에서 보관한 후 상등액 1.5mL을 취해서 DMF 6mL에 5배로 희석한 후, Chlorophyll *a*는 664.5nm, chlorophyll *b*는 647.0nm 파장에서 spectrophotometer(DU650, Beckman, U.S.A.)로 측정하여 계산식에 의해 chlorophyll *a*와 *b*, 그리고 전체 함량을 계산하였다(Inskeep과 Bloom, 1985).

(5). 통계 분석

통계처리는 SAS program(SAS Co. ver. 8.01)을 이용하여 최소유의차 검정을 실시하였다.

5.12.2. 결과 및 고찰

5.12.2.1. 오이와 토마토의 수분센서를 이용한 관비의 적용

5월 25일까지의 수확량은 자동관수구가 1.7배 이상을 보였다(Table 7-33). 작과수에 있어서 자동관수구는 관행구에 1.8배이상으로 다소 과다 작과가 이루어져 곡과와 어깨 빠진과와 같은 기형과의 출현이 관행관수구에 비해 다소 높았다. 자동관수와 관행관수 처리구의 과중, 과장, 과경은 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

오이의 초장은 두 처리구 모두 동일한 양상으로 증가하였는데, 자동관수의 처리구가 관행관수의 처리구의 비해 정식 40일이 경과하면서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이기 시작하였다(Fig. 7-75).

Table 7.33. Effect of irrigation method on the cucumber fruit growth.

| Treat- ment | No. of fruits (ea) | Yield (g/plant) | Average weight (g/fruit) | Fruit length (cm) | Fruit width(cm) | | | Malformed fruit rate (%) |
|------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------|--------|--------|--------------------------------|
| | | | | | Top | Middle | Bottom | |
| Auto- Irrig. | 36 | 575.0 | 97.3 | 23.6 | 2.6 | 2.3 | 2.3 | 29.4 |
| Conv.- Irrig. | 20 | 333.9 | 100.7 | 23.7 | 2.7 | 2.4 | 2.4 | 16.7 |

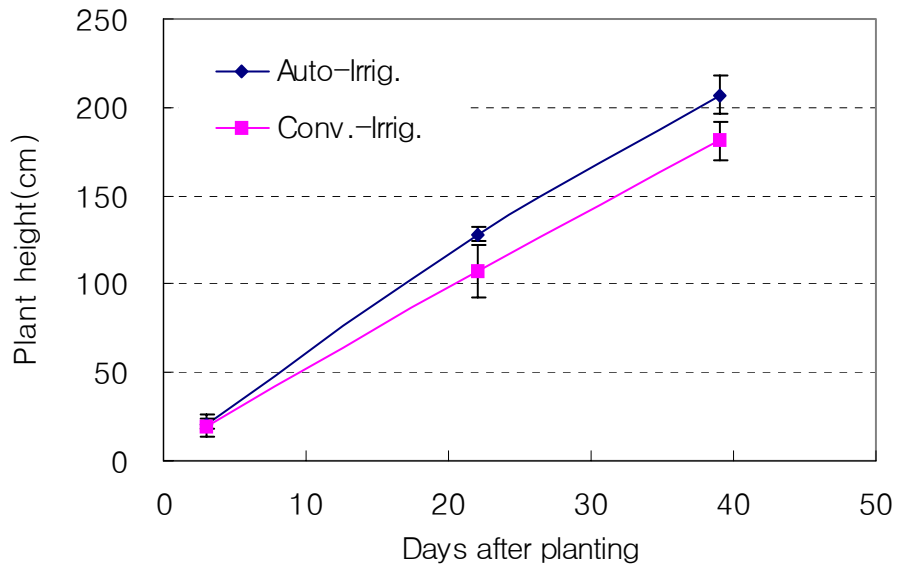


Fig. 7.75. Effect of irrigation method on the plant height of cucumber.

오이의 엽장(Fig. 7-76)은 개체 중 가장 큰 잎을 조사하였는데 정식 후 25일이 지나 가면서 엽장의 증가는 둔화되었다. 처리 간 비교에서는 초장에서처럼 자동관수 처리구에서 크게 나타났다. 이와 같이 자동관수 처리구에서 생육이 좋은 것은 토양수분이 일정하게 유지된 때문으로 사료된다. 관행구는 시간에 맞추어 관수를 수행하여 토양수분의 진폭이 큰데 원인이 있다.

오이의 줄기 굵기는 정식 후 지속적인 증가를 보였는데, 두 처리간에 유의성은 보이지 않았다(Fig. 7-77).

채배 중 엽록소 함량(Fig. 7-78)은 정식 후 20일째와 35일째에 측정하였는데, 잎이 계속적으로 성장상태에 있었던 20일째 보다 완전히 성장한 35일째에 더 높은 엽록소 함량을 보였다. 그러나 처리간에 유의성은 없었다.

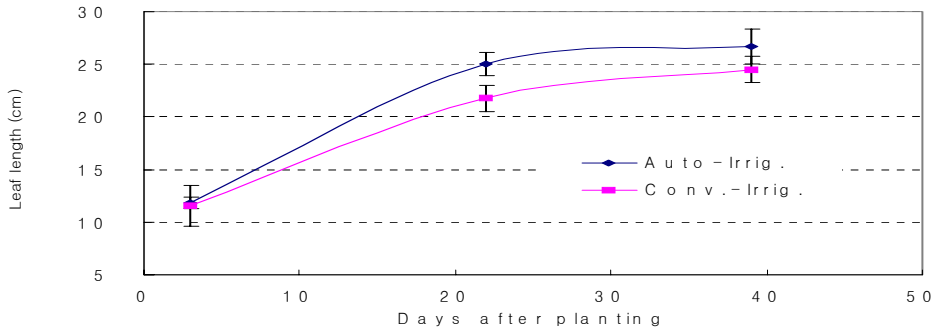


Fig. 7.76 Effect of irrigation method on the leaf length of cucumber.

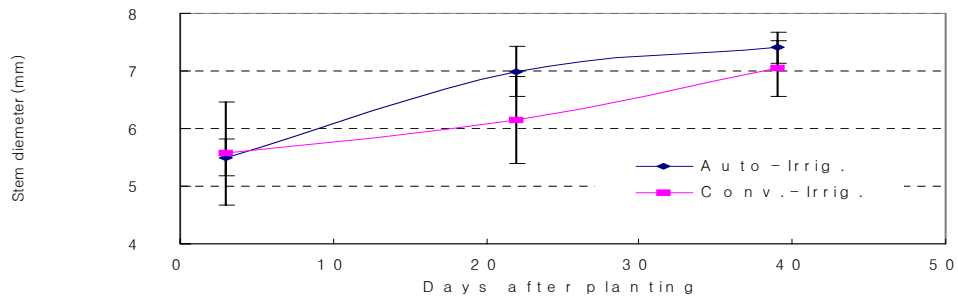


Fig. 7.77. Effect of irrigation method on the stem diameter of cucumber.

오이의 줄기 굵기는 정식 후 지속적인 증가를 보였는데, 두 처리간에 유의성은 보이지 않았다(Fig. 7-78).

채배 중 엽록소 함량(Fig. 7-79)은 정식 후 20일째와 35일째에 측정하였는데, 잎이 계속적으로 성장상태에 있었던 20일째 보다 완전히 성장한 35일째에 더 높은 엽록소 함량을 보였다. 그러나 처리간에 유의성은 없었다.

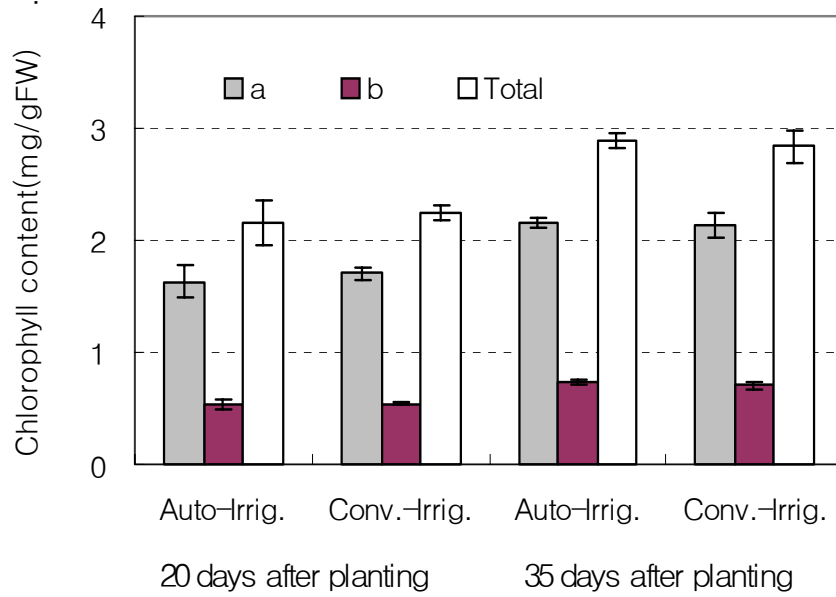


Fig. 7.78. Effect of irrigation method on the chlorophyll content of cucumber.

Table 7.34 The mineral contents of cucumber fruit grown in different irrigation systems. (unit: %, Dry matter)

| Irrigation system | K | Ca | Mg | Na |
|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Conv.-irrig. | 3.95 ± 0.22 ^z | 0.39 ± 0.03 | 0.40 ± 0.03 | 0.06 ± 0.01 |
| Auto-irrig. | 3.61 ± 0.31 | 0.41 ± 0.01 | 0.42 ± 0.01 | 0.06 ± 0.01 |

^z Means ± SD

토마토의 경우 5월 초부터 4단에서 적심하여 재배하였는데, 이런 이유로 재배 중 초장에서는 관수방법별 차이를 볼 수 없었다(Fig. 7-79, 80). 그러나 엽장의 경우는 오

이와 마찬가지로 계속적으로 일정한 수분수준을 유지시켰던 자동관수구에서 다소 길게 나타났다. 재배 중 토마토 줄기 굵기(Fig. 7-81)도 자동관수구에서 관행관수구보다 다소 굵게 나타났다. 재배 중 토마토 잎의 엽록소 함량을 정식 후 20일과 35일째에 각각 측정하였는데 두 번의 측정시기에 따른 변화는 보이지 않았다. 두 가지 수분공급방법간의 차이는 35일째에 관행관수구에서 다소 높게 나타났다. 외관상으로 차이는 발견할 수 없어서 앞으로 수량과의 관계를 연관 지어 생각해 볼 필요가 있다고 사료된다. 대체로 자동관수에서 착과수가 다소 많고 잎이 커서 엽록소함량이 희석효과를 나타내서 다소 낮은 것이 아닌 가 추측된다(Fig.7-82).

무기염류는 동일한 양액을 공급했기 때문에 큰 경향치는 발견할 수가 없었다. 다만 K성분이 자동관수구에서 다소 높았으며 Na는 오히려 자동관수구에서 낮은 경향을 보여, K/Na 길항관계 가능성을 시사하였다(Table 7-35).

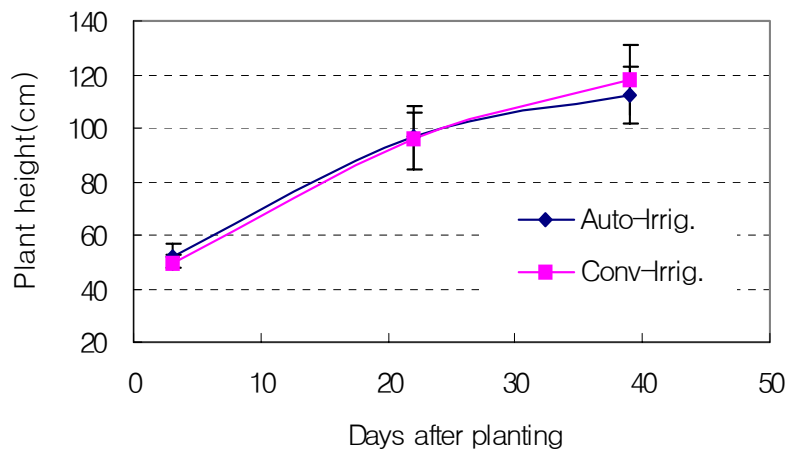


Fig. 7.79. Effect of irrigation method on the plant height of tomato.

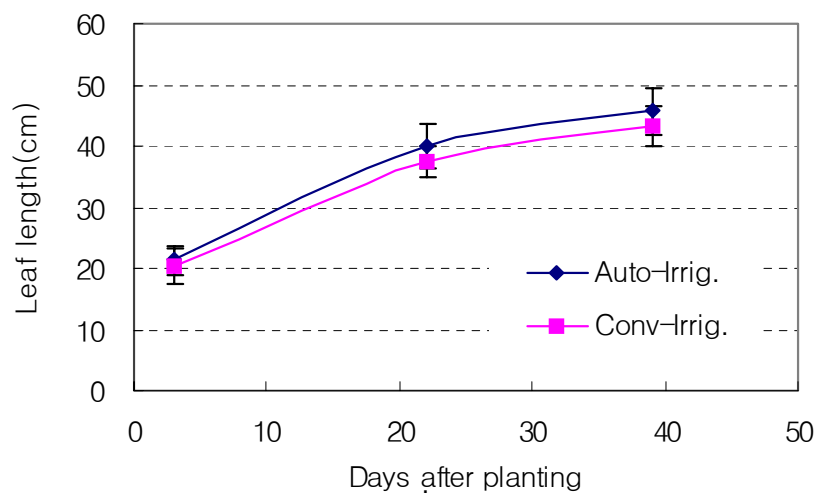


Fig. 7.80. Effect of irrigation method on the leaf length of tomato.

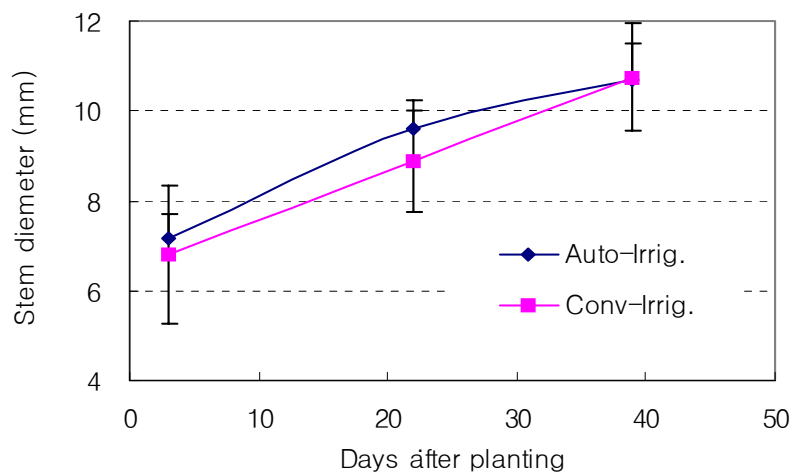


Fig. 7.81. Effect of irrigation method on the stem diameter of tomato.

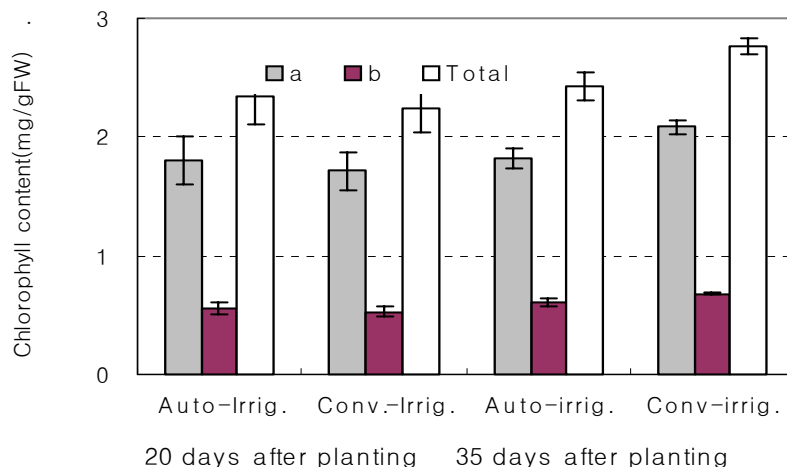


Fig. 7.82. Effect of irrigation method on the chlorophyll content of tomato.

Table 7.35 The mineral contents of tomato fruit grown in different irrigation systems. (unit: %, Dry matter)

| Truss | Irrigation system | K | Ca | Mg | Na |
|-------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1st | Conv.-irrig. | 3.85 ± 0.07 ^z | 0.05 ± 0.01 | 0.14 ± 0.01 | 0.05 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 3.73 ± 0.10 | 0.04 ± 0.01 | 0.16 ± 0.03 | 0.04 ± 0.01 |
| 2nd | Conv.-irrig. | 4.14 ± 0.06 | 0.06 ± 0.01 | 0.16 ± 0.03 | 0.06 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 4.41 ± 0.15 | 0.06 ± 0.01 | 0.14 ± 0.03 | 0.05 ± 0.01 |
| 3rd | Conv.-irrig. | 3.74 ± 0.01 | 0.05 ± 0.01 | 0.18 ± 0.01 | 0.06 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 3.93 ± 0.15 | 0.05 ± 0.01 | 0.18 ± 0.02 | 0.05 ± 0.01 |
| 4th | Conv.-irrig. | 3.55 ± 0.02 | 0.05 ± 0.01 | 0.18 ± 0.01 | 0.07 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 3.73 ± 0.06 | 0.03 ± 0.01 | 0.20 ± 0.01 | 0.06 ± 0.01 |

^z Means ± SD

5.12.2.2 쌈채소의 자동관비 시스템을 이용한 관비의 효율적 적용

자동관수구와 관행관수구 간의 생육 차이를 각 작물별로 비교해 보면 Fig 7-83, 84, 85, 86, 87, 88과 같다.

생육은 초장과 엽폭을 측정하였으며 대상 작물들에 있어서 초장은 정식 후 15일 경까지 레드 치커리를 제외하고 큰 차이를 보이지 않으나 이 시기를 기점으로 생육 차이를 급격히 보이기 시작하여 정식 후 21일이 지나면서 초장에 차이를 확실히 보이기 시작하였다. 레드 치커리의 경우 초장의 차이는 생육 초기부터 꾸준 증가하였다. 엽폭의 경우 바울레드 상추를 제외하고는 초장과 동일하게 생육 초기에는 차이를 보이지 않다가 정식 후 16일을 기점으로 엽폭이 급격이 증가하였다. 그러나 바울레드의 경우엔 거의 차이를 보이지 않고 같이 성장하는 경향을 보였다.

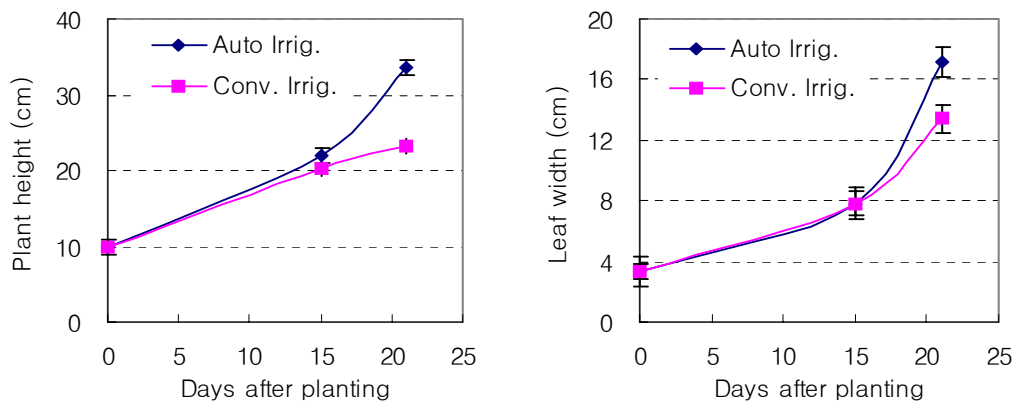


Fig. 7.83. Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of red chinese mustard in salinized soil

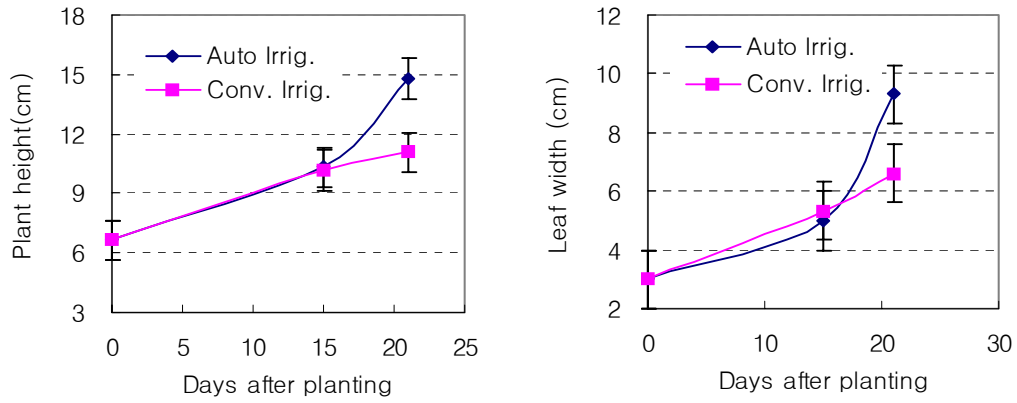


Fig. 7.84. Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of red romaine lettuce in salinized soil.

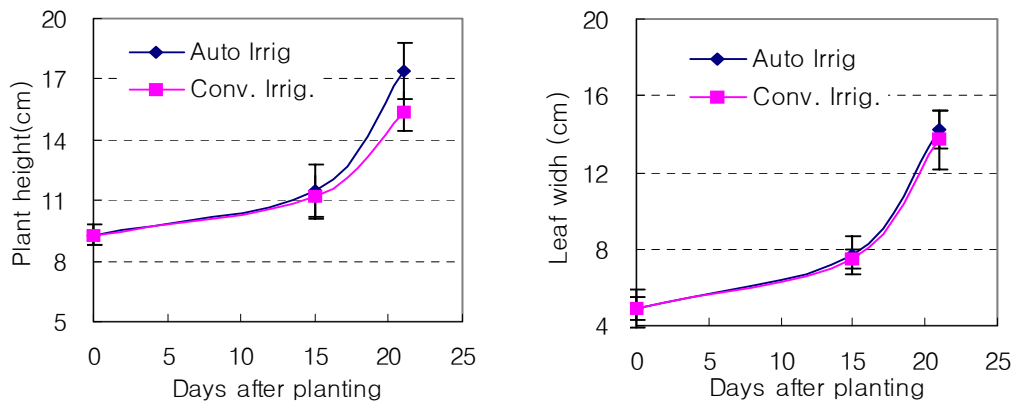


Fig. 7.85. Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of bowled red lettuce in salinized soil.

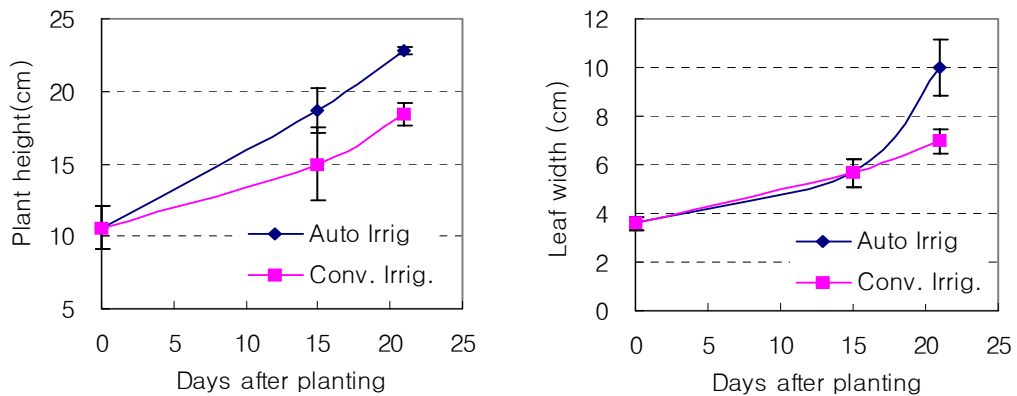


Fig. 7.86. Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of red chicory in salinized soil.

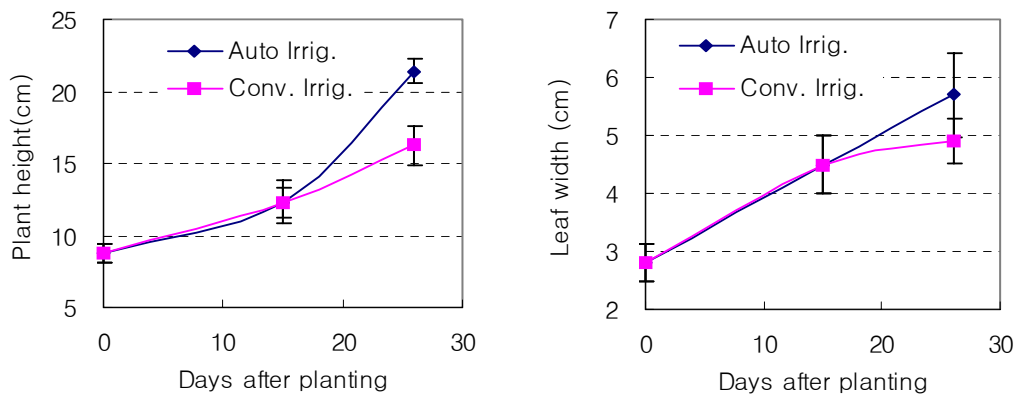


Fig. 7.87. Effect of irrigation methods on the plant height and leaf width of endive in salinized soil.

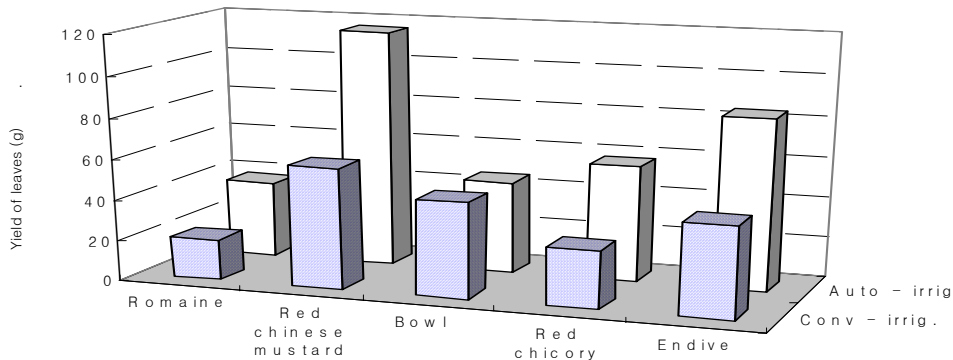


Fig. 7.88. Effect of irrigation methods on the average yield of several stuffed vegetables in salinized soil.

주당 수확량을 처리별로 비교해 보면 상추 바울레드를 제외하고는 자동 관수구에서 우수한 결과를 얻었다(Fig.7-88). 특히 적겨자채의 경우 관행관수구에 비해 월등한 수확량을 얻었다. 자동 관수구에서 사용한 점적 관수 호스의 경우 토양 내 수분 분포는 원추형으로 수직적인 분포를 이룬다. 이에 비하여 관행적인 두상 관수는 표면의 일부에만 유효 수분의 분포가 한정되기 때문에 어느 정도 깊이 이상의 지하부의 뿌리는 양수분 흡수 특성이 매우 나빠지게 된다. 이러한 관수 방법의 특성은 뿌리의 양수분 흡수 특성과 매우 밀접한 관련을 가지며 이것은 바로 생육의 차이를 나타내는 결과로 사료된다. 또한 실험 기간인 봄은 비닐하우스의 특성상 실험 기간 내에 온도가 매우 높아지며 건조한 특성을 가진다. 이것은 토양 상층부에만 수분을 보유하는 관행 두상 관수구의 수분 손실을 촉진 시키는 결과를 나타내어 작물의 수분 사용을 제한하게 된다. 관찰에 의하면 관행 두상 관수구는 표면에 수분을 많이 가지고 있는 듯이 보이지만 실제로 지하부를 살펴보면 수분을 보유하고 있지 않고, 점적 자동 관수구는 표면은 말라있는 듯이 보이지만 실제로 뿌리가 양수분을 흡수하는 부위에는 상당량의 수분을 보유하고 있다. 또한 관수 시기에 있어 자동 관수구는 총 관수량을 8시간에 걸쳐 공급하는데 비해 관행 두상 관수구는 하루에 2회에 걸쳐 다량 공급함으로써 실제 이용가능한 수분량이 줄어들게 된다. 이러한 결과는 고염류 토양에서의 양수분 흡수 효율 및 수확량 감소를 극복하기 위한 자동 관수 시스템에는 적절한 양의 양수분을 적절한 시간에 공급하는 것이 무엇보다 중요하다는 점을 나타낸다. 특히 작물별로 염

류 농도에 의한 특성을 충분히 파악한 후에 공급하는 것이 중요하다.

질산염 함량은 모든 작물에서 관행 관수가 점적관수구보다 높았다(Fig 7-89). 이는 관행관수는 건습이 반복되므로 nitrate reductase의 활성이 낮았던 것으로 생각된다 (Park, 1983).

일반적으로 건조한 토양에서 자란 채소류에 nitrate가 높다는 것은 잘 알려져 있다. 앞서 실험에서와 같이 red mustard 와 endive가 Bowl red 와 Romain 상추보다 높은 질산염 수준을 나타냈다. 질산염의 집적은 작물뿐만 아니라 품종간 차이도 매우 크므로 이에 대한 고려가 향후 필요하다(Park, 1983).관수 종류에 따른 무기염류의 함량 변화의 경우(Table 7-36), bowl red와 적겨자는 자동관수구에서 무기염류의 함량이 높았던 반면, 치커리, 로메인, 엔디브는 자동관수구에서 낮았다. Bowl red는 두 처리 간에 수량 차이가 없었던 것을 고려하면 집적의 효과이며, 엔디브, 로메인은 희석효과로 추측된다. Park(1983)은 건조, 스트레스 등에 의해 생육이 더딘 식물은 잘 자란 식물보다 단위 건물중에 함유된 무기염류의 함량은 낮으나 총수확량에 대한 함량은 높다고 보고하면서 이것은 희석효과라고 보고하였다.

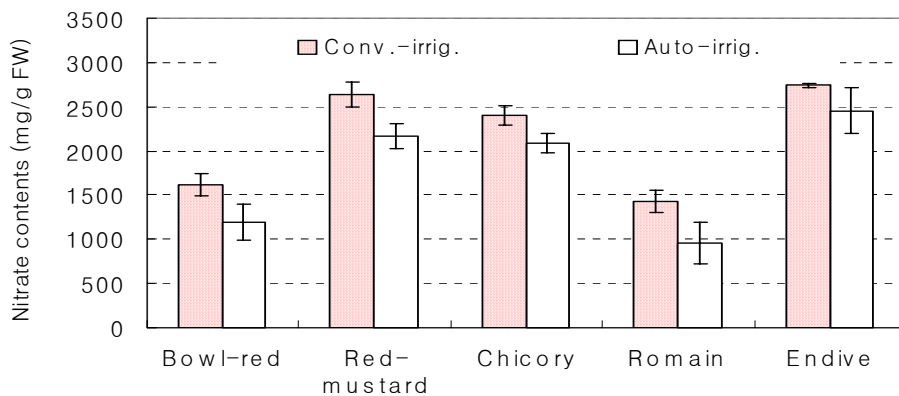


Fig. 7.89. The nitrate contents of several stuffed vegetables irrigated conventionally or automatically in salinized soil.

Table 7.36. The mineral contents of several stuffed vegetables grown in different irrigation systems. (unit: %, Dry matter)

| Crops | Irrigation system | K | Ca | Mg | Na |
|-------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Bowl-red | Conv.-irrig. | 0.90 ± 0.15 ^z | 4.56 ± 0.87 | 0.45 ± 0.07 | 0.11 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 0.87 ± 0.01 | 5.61 ± 0.24 | 0.47 ± 0.01 | 0.13 ± 0.01 |
| Red mustard | Conv.-irrig. | 0.84 ± 0.06 | 3.30 ± 0.62 | 0.16 ± 0.03 | 0.07 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 1.07 ± 0.08 | 3.48 ± 0.05 | 0.17 ± 0.01 | 0.08 ± 0.01 |
| Chicory | Conv.-irrig. | 0.50 ± 0.03 | 3.96 ± 0.23 | 0.17 ± 0.02 | 0.07 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 0.33 ± 0.05 | 3.75 ± 0.23 | 0.16 ± 0.03 | 0.07 ± 0.02 |
| Romain | Conv.-irrig. | 1.09 ± 0.18 | 2.98 ± 0.12 | 0.37 ± 0.09 | 0.11 ± 0.02 |
| | Auto-irrig. | 0.99 ± 0.02 | 2.94 ± 0.02 | 0.32 ± 0.02 | 0.11 ± 0.02 |
| Endive | Conv.-irrig. | 0.64 ± 0.02 | 3.54 ± 0.05 | 0.22 ± 0.02 | 0.17 ± 0.01 |
| | Auto-irrig. | 0.46 ± 0.01 | 3.71 ± 0.06 | 0.18 ± 0.01 | 0.19 ± 0.01 |

^z Mean ± SD

5.12.3. 적 요

관행적인 두상관수보다 텐시오미터를 사용한 완전자동 점적관수 방법식으로 pF 2를 2.0으로 조절하여 작물을 재배하였을 때 잎상추인 bowl red를 제외하고 적겨자채, 적치커리, 엔디브, 적로메인의 수량을 증진 시켰다.

질산염의 함량은 두상관수구에서 점적자동관수구보다 높았다. 무기함량도 자동관수구에서 대체로 높게 나타났다. 이는 점적관수를 실시하므로 토양용액내의 염농도를 일정하게 하여 근권의 활력을 촉진시켜 생육과 품질을 좋게 한 결과라고 생각된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

가. 기술적 측면

- 국내 연작장해(병해, 염류장해, 미생물 피해) 현황 파악을 기술센터지도 현황
- 채소류 연작장해 유형별 경감기술 확립으로 국내 이 분야 연구개발 기술력 제고
- 토양의 간이 영양진단기술을 세계적 수준으로 향상
- 식물의 영양 스트레스 진단기술 개발의 모델화
- 생리기능과 생화학 변화에 따른 작물 영양 및 생육진단 기술의 수준 향상
- 비파괴 영양진단 측정이나 영양 스트레스 측정기술의 세계 수준화
- 채소류의 시비 및 관수에 새로운 유립식 측정이론을 정립해 기술 제고
- 최적 시비 및 관수 방법 개발
- 새로운 시비, 관수기술 정립으로 고품질 채소 생산 가능
- 채소류의 연작장해 경감을 위한 각 방법 별 지침서를 집대성함으로써 연작장해 및 영양스트레스 대비 기술의 세계 수준화
- 영양 스트레스 경감 지침서 작성으로 농가들이 손쉽게 연작장해를 극복함

나. 경제·산업적 측면

- 연작장해 패턴구명과 대책마련으로 30-40% 감소되는 채소의 증산효과
- 최적시비로 시비량을 절감시켜 비료절감 효과를 가져옴
- 최적 관수로 물 소비량을 극소화시켜 21세기 물부족에 대비한 농법개발
- 적정관수와 시비로 영양소의 용탈에 따른 지하수 오염방지를 기해 농특세를 내는 국민들에게 실제적 이익을 반환하는 연구가 됨

- 환경친화적 재배로 농약의 사용량이 감소되어 국민에게 안심할 수 있는 먹거리 제공이 가능한 새로운 측정기술 개발로 이를 이용해서 상품화도 기대할 수 있음
- 안정된 토양환경을 유지시키므로 연작장애극복을 위한 객토등의 피해경감기술의 필요치 않아 간접적 농가 소득 증대
- 재배지침서의 작성으로 농가의 기술교육시간 절약과 지금까지 없었던 신농법에 접근 가능
- 본 연구방식의 제3국 농민에게 기술전수를 시키므로써 한국채소원예기술 수출도 가능
- 고품질 채소 생산이 가능해서 수출 증대 효과를 가져옴

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 연작장해를 근본적으로 회피할 수 있는 방법이 모델화로 개발되어 농민이 쉽게 이용할 수 있음
- 관수와 시비의 적정화로 재배농가의 영농부담을 감소시킬 수 있도록 활용
- 연작장해에 의해 증산이 유도되어 농가 소득 증대기술로서 정착가능
- 토양 및 영양진단 기술의 체계화, 일선 기관에 진수
- 토양 및 영양진단 기술의 농가 교육
- 연작장해 대처를 통한 고품질 다수확 재배기술로 응용
- 연작장해 대처 및 영양스트레스 대처 기술지침서의 출판을 기한다면 모든 농가에 혜택을 줄 수 있음
- 적정시비와 최적 관수는 유실양분과 물의 양을 완전제어 하므로써 환경친화적 농법으로 응용
- 실증농가에서 견학 농가의 기술전수 가능
- 본 연구에 참여한 인력이 이 분야 유용인력으로 배출효과

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

(1) 지금까지의 연구개발 실적

가) 국내

- 국내에서는 1960-1970년에 걸쳐 FAO와 USDA의 도움으로 토양 등에 대한 전국적인 분석이 이루어져 토성에 대한 대략적인 보고가 이루어져 있으나 전국적인 채소재배지역의 세부적 토양현황에 따른 연작장해 등에 대한 연구 전무
- 최근 고령지 배추, 성주참외, 고창 수박 단지 등에서는 제한된 지역에서 연작장해에 따른 피해가 보고 되고 있으나, 실제적 전국적 피해는 집계되지 않고 있으며 일부 농가에 따른 토양전염병 등에 대해서만 보고
- 채소의 연작 장해에 대한 노지연구는 일부 시험장에서 연구된 바 있으나 종합적 방제 연구는 수행된 바 없다. 농가가 쉽게 응용할 수 있는 간이 영양진단 기술 개발이 거의 이루어지지 않음
- 채소의 비과과적 영양 및 생육진단기술이 이스라엘의 기기 등을 도입해서 원예 연구소 등에서 시도되고 있으나 이와 같은 기술이 농가차원의 실제지도에 응용이 아직까지 정립되고 있지 않음
- 채소의 관수와 시비기술의 체계화 연구가 관비농업의 형태로 본 연구팀이 1970년 국내 최초로 경기도 광주군 미사리와 고령 등지의 사질계 저위생산지에서 시험한 바 있으나 지금까지 후속 연구가 완벽하게 진행되지 않고 있어 토양분석과 식물체의 영양진단 자료를 결합한 새로운 형태의 관비 시비기술 체계화가 요구
- 지역별, 작물별, 연작장해 측정과 해결 방법을 모델화 할 수 있는 완벽한 시스템이 구축되어 있지 않아 모든 채소농가가 경험에 의존해서 대처
- 영양스트레스는 보이지 않는 수량감소를 가져오나 지금까지는 결핍증 연구만 했을 뿐, 이 분야에서 국내 연구는 수행되지 않고 있음

나) 국외

- 채소류의 염류집적에 대한 내성을 조사해서 보고하고 이를 재배시 참고자료로

응용하고 있다. 예로 배추과는 강하고 콩과는 약한 것을 분류했으며 딸기와 삼엽채는 염(NaCl) 1000ppm에서 수량이 반감했고, 상치, 양파, 완두, 오이 등은 2000-3000ppm에서 수량이 반감했으나, 양배추, 배추, 시금치, 무, 가지는 6000-9000ppm에서 생육이 반감했다고 보고한 바 있다(大澤, 1965).

- 독일의 경우에 연작장해경감을 위한 작부체계를 1930년대부터 연구해 작물별 윤작의 모델화를 만들어 일반작물에서 적용하고 있다(Klaus, 1939).
- 독일에서는 시비량에 따른 채소품질변화와 토양염류집적에 따른 품질저하에 대해 폭넓은 연구를 하여 다양한 보고서를 작성했고 그에 따른 시비기술 등을 제시하고 있다(Fritz, 1978).
- 일본의 경우에는 1950-1960년대에 걸쳐 연작장해에 대해 집중적으로 연구하여 토양간이 검정법 등을 1970년대 확립하고 농가에서 이용할 수 있는 질소간이검정기, 간이토양검정기를 만들어 토양의 질소 및 석회시용을 체계화시켰다(衫山, 1970).
- 기지현상에 대한 다양한 조사와 함께 연작장해에 대한 발현확률 등을 장기간 조사하여 연작경감기술을 확립해 윤작체계를 제시하고 있다(平野, 1975).
- 네덜란드에서는 채소의 생리, 생화학적 변화에 의한 영양생리장해 진단기술을 체계화시킴과 동시에 식물체 및 배지분석에 의한 생리장해 진단기술을 체계화시키고 있다.
- 최근 발달된 영상프로그램에 의해 잎을 채취해서 즉각적인 분석이 이루어지고 있어 시간대별 양분의 공급이 가능하게 되고 있다.
- 영양스트레스가 나타나는 식물별 엽 내의 무기원소함량이 제시되어 있으며, 최소 수확을 나타낼 수 있는 양분의 농도가 제시돼 있다.

2) 현 기술 상태의 취약성

가) 이상에서 살펴보았듯이 외국에서는 상당한 수준의 연작장해 대책뿐만 아니라 환경에 부하를 걸리지 않게 관수와 시비를 하지만 국내에서는 그런 개념이 없음

- 나) 국내 연작장해가 수없이 야기되고 있으나, 체계적 연구나 기술지도체계가 이루어지지 않고 있으며 현황과약도 제대로 이루어지지 않고 있음
- 다) 주요채소의 영양적인 연구는 활발하나 이들을 농가에 쉽게 적응시킬 수 있는 간이 영양진단기술 개발이 부족한 형상임.
- 라) 국가별로 다양한 채소류를 선호하며 토양과 기후조건이 다른 상태에서 국내 연작장해의 주요원인인 영양스트레스 경감기술이 문헌적으로만 이야기될 뿐 실제 기술개발이 부족한 현실임.
- 마) 각 지역의 농업기술원에서 영양 및 환경에 대해 연구하고 있으나 이들을 전국적으로 연계시켜서 체계화시킨 연구개발이 없음
- 바) 채소작물의 비과피영양 및 생육진단 기술개발이 아주 취약하며 초보적 단계에 있음.
- 사) 일부 관비농법이 이루어지나 주먹구구식과 식물체 생육을 보고 경험에 의한 관비공급을 함으로써 물, 비료소모는 극대화되고 생산량은 증대되지 않고 있어 모든 자료를 수집하여 이들 자료분석을 대상으로 한 관수와 시비의 체계화가 시급한 실정임
- 아) 결론적으로 연작장해의 주요 원인인 영양스트레스 경감기술이 시급하나 이에 대한 체계적 연구와 농민에게 보급할 기술이 매우 취약해서 국가적 차원에서 모델화할 수 있는 연구가 요망 됨.

다. 앞으로의 전망

- 1) 21세기는 환경농업이 정착되는 시기로써 생산자는 환경론자와 수없이 부딪히는 현실이 올 것이다. 그러므로 식물의 영양스트레스를 최소화하면서 최대의 고품질 수량을 올릴 수 있는 과학적 영농법이 요구된다. 이를 위해서는 토양, 식물, 그리고 노지나 시설내 환경을 분석하여 최적의 관수와 시비를 할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 그러므로 국내에서 새로운 친환경적 시비기술 개발이 세계 속의 한국농업 존속을 위해 시급하게 연구 개발되어야할 시점에 있어 본 연구는 매우 중요하다

다.

- 2) 작물재배에 있어 21세기는 물부족의 시대가 도래 하며 지금처럼 채소 재배시에 마 음대로 물을 공급할 수 있는 시기는 기대하기 어렵다. 이미 캘리포니아에서는 물 세금이 크게 문제시되어 토양재배보다 양액재배가 21세기에는 유리한 경영적인 판 단이 될 수 있음을 시사해주고 있다. 왜냐하면 순환식 양액재배는 물의 소모량을 극소화시키나 건조한 여름철 캘리포니아에서는 노지채소 시 막대한 물 공급이 필 요하고 이것이 결국 수지와 직결되기 때문이다. 그러므로 합리적 시비와 물 관리 는 비료소모와 관련해서 21세기를 대비한 농법으로 반드시 연구해야할 과제이다.
- 3) 식물의 생육단계에 따른 실시간적 양분공급은 사질계 토양재배에서 매우 중요하다. 급속한 생장시기에 있어 영양스트레스는 채소의 생육 특히 품질저하를 가져온다. 그럼으로써 수출원에 작물의 생산에서는 영양스트레스 경감기술을 통해 고품질 수 출 상품생산을 할 수 있어 매우 중요하다.
- 4) 국가정책을 수립함에 있어 채소의 연작장해의 유형과 지역별 문제를 파악함과 동 시에 작물별 영양스트레스의 한계 구명이 매우 중요하나 전국적인 채소 연작장해 와 채소작물별 최소 생산 한계농도에 따라 정확한 조사 자료가 미흡함은 문제이 며, 이런 자료 확보는 앞으로 대농민 고품질 채소 재배지도의 기초 자료로 매우 중요하다고 본다.

라. 기술도입의 타당성

- 1) 연작장해 대책기술은 다른 품종이나 기계도입 같은 것과 전혀 다른 병, 토양, 식물 잔유물 그리고 기타 지역적 원인 등으로 나타나므로 각각 국가별 연작장해 패턴이 다르다. 기본 원리는 누구나 알고 있는 것이 연작장해로써 국내의 품종, 재배지역

의 여건 등을 감안해서 대처해야 하므로 기술도입이라는 것 자체가 의미가 없다.

- 2) 일부 비파괴 영양진단기술을 위한 기본적인 기기는 측정을 위해 수입해서 사용할 수도 있으나, 이는 본 참여기관에서 소유한 것을 대상으로 기술개발을 해야하기 때문에 기술도입이 아니라 기기 이용기술의 확립이다. 그러나 농가차원에서 이용할 수 있는 간이 방법개발도 국내기술로써 가능하기 때문에 차후 필요한 원료(예, 시약) 등만을 구입할 필요는 있을 것으로 사료된다.
- 3) 국제화시대이므로 국내에서 생산 못하는 일부 기기 구입의 수입이 예상되나 대부분 국내에서 생산이 가능하다고 생각된다.
- 4) 영양스트레스로 나타나는 한계농도는 품종과 재배방법에 따라 다른데, 참외, 오이, 토마토 등은 국내 품종과 달라서 이에 대한 범위 연구가 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 결핍의 한계농도도 구명돼 있지 않다. 그러나 외국의 기술을 도입할 필요는 없고, 정보수집이 필요하다고 본다.
- 5) 결론적으로 연작장해 기술개발은 국내기술진의 자력으로 연구수행이 가능하며 대책 마련의 모델화로 본 연구진이 충분히 제시할 수 있어 기술 도입은 필요 없다고 본다.

참 고 문 헌

- Adams, P. 1988. Some effects of root temperature on the growth and calcium status of tomatoes. *Acta Hort.* 222:167-172.
- Adams, P. 1988. Some effects of root temperature on the growth and nutrient uptake of tomatoes in NFT. *Proceedings of Int'l Congr. on Soilless Culture* : 81-111.
- Acton, D.F. and L.J. Gregorich. 1995. The health of our soils; Toward sustainable agriculture in Canada. *Agriculture and Agri-Food Canada.*
- Aerts, R. J., W. Snoeijer, E. Van der Meijden, and R. Verpoorte. 1991. Allelopathic inhibition of seed germination by *Cinchona* alkaloids . *Phytochemistry.* 30:2947-2951.
- Aoba, T. 1990. Cucumber=Characteristics as a plant. p. 17. In: T. Aoba et al.(eds.). *Cucumber, Encyc. of vegetable gardening (No. 1).* Agr., Forestry and Fishery Culture Association. Tokyo.
- Araki, Kiochi. Hidefumi Ito, Seiji Iwasaki, Tetsuo Kanamori, Tamaki Yasuda and Yoshio Nonoyama. 1985. Effects of Long-term Application of Sawdust, Bark and Peat Moss on continuous Cropping Tomato Plants in Greenhouse. *Annual Report of National Institute of Vegetable and Tea Science.* Jpn., A-13 : 93-108
- Awad, A.S., D.G. Edwards, and L.C. Campbell. 1990. Phosphorus enhancement of

salt tolerance of tomato, *Crop Sci.* 30:123-128.

Balibrea, M.E., E. Cayuela, F. Artes, and F. Perz-Alfocea, 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. *J. Hort. Sci.* 72:885-892.

Baligar, V.C., N.K. Fageria, and M.A. Elrashidi. 1998. Toxicity and nutrient constraints on root growth. *HortScience* 33: 960-965.

Behdoudian, M.H., E. Torokfalvy, and R.R. Walker. 1986. Effects of salinity on ionic content, water relations and gas exchange parameters in some citrus scion-rootstock combinations. *Scientia Hort.* 28:105-116.

Bennett, W.F. 1994. Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press, MN.

Benoit, F. and N. Ceustermans. 1994. Hydroponic culture kitchen herbs. ISHS-symposium on growing media and plant nutrition in horticulture. Glasshouse crops research station., Naaldwijk the Netherlands.

Bergmeyer, H.U., Bernt, E., Schmidt, F. and H, Stork. 1974. Carbohydrate metabolites. *In* methods of enzymatic analysis. Vol. III. Ed. H.U.

Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Phytopathology* 13:295-312.

Bhivare, V.N., J.D. Nimbalkar, and P.D. Chavan. 1988. Photosynthetic carbon metabolism in French bean leaves under saline conditions. *Environ. Exp. Bot.*

28:117-121.

Bilbao, Marcelino, J. J. Martinez, A Delgado, 2004, Evaluation of soil nitrate as a predictor of nitrogen requirement for sugar beet grown in a Mediterranean climate, *Agronomy J.*, 96(1): 1-2

Bishoff, M., A. M. Hiar and R. F. Turco. 1996. Evaluation of nitrate analysis using test strips: Comparison with two analytical laboratory methods. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27:2765-2774.

Blumental-Goldsmidt, S. and A. Polzakoff-Mayber. 1968. Effect of salinity on growth and submicroscopic structure of leaf cell of *Atriplex halimus* L. *Australian J. Bot.* 16: 469-478.

Boon, J. Van Der, J.W. Steenhuizen and E.G. Stengröver. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce affected by total nitrogen and chloride concentration. NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65:309-321.

Bowen, G.D. 1991. Soil temperature, root growth and plant function. *In* plant Roots: the Hidden Half. Ed. Y. Waisel. Dekker, New York. pp. 309-330.

Bower, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. *In* plant roots. Marcel Dekker. Inc.

- Bradford, M.M.1976. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72:248-254.
- Bugbee, B. and J.W. White. 1984. Tomato growth as affected by root-zone temperature and the addition of gibberellic acid and kinetin to nutrient solutions. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(1):121-125.
- Burns, I.G. 1984. Development and evaluation of rapid tests for the estimation of phosphate and potassium in plant sap. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12):1463-1480.
- Burns, I.G. 1988. The use of rapid tests for measurement of plant nutrient status. *Anal. Proc.* 25:122-124.
- Carl, E.N, Jr., P.V. Nelson, D.H. Willits, and M.M. Peet. 1993. Short-term salt shock effects on tomato fruit quality, yield, and vegetative prediction of subsequent fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:12-16.
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E. and V.L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nutrition of salicylic acid. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 6(1):71-80.
- Chartzoulakis, K.S. and G. Klapaki. 2000. Effect of NaCl salinity on growth and yield of two pepper cultivars. *Acta Hort.* 511:143-149.
- Cho, B.H., M.K. Kim, C.S. Yang, S.J. Kim, D.I. Uhm, J.J. Kim, C.S. Yook, H.K.

- Kim, S.K. Lim, H.O. Kim, S.J. Cho, and C.S. Park. 1997. (3rd ed.) Soils. Hyangmoonsa, Seoul, Korea.
- Cho, J.W. and C.S. Kim. 1993. Effect of cultivation of milk vetch, as green manure crops for preceding cropping, on the growth of rice, as succeeding crop. J. Agri. Sci. Chunnam Nat'l Univ. 20:103-107.
- Choe, J.S., K.Y. Kang, J.K. Ahn, Y.C. Uhm, and C.D. Ban. 1985. Control of Phytophthora root rot(*Phytophthora capsici*) of green pepper under plastic house by grafting of resistant rootstocks. RDA(Suwon Korea), Res. Report.(Hort.) 27:6-11.
- Choi, B. J., C. H. Lee, and H. Park. 1990. Investigation of soil factors on physiology disorder of vegetable crops in vinyl house. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 23:128-134.
- Choi, S.Y., J.S. Na, N.Y. Hwang, and D.H. Kim. 1988. Effect of soil conditioner application on some growth characters and yield of peanut in continuous cultivation upland soil. Res. Rept. RDA(S&F). 30:11-20.
- Choi, W.Y. 1997. Inorganic salt uptake by bacterial cell mass and absorbents for soil improvement in glass house condition. Res. Report of Ministry of Agr. & Forest. of Repub. of Korea.
- Choi, Y.H., J.K. Kwon, H.C. Rhee, D.K. Park, and J.H. Lee. 2001. Effects of night temperature on growth, yields of tomato and green pepper in the glass house cultivation and its impact on heating cost. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:385-388.
- Chung H.D., I.S. Jang, and Y.J. Choi. 2001. Effects of soil EC on seed germination, seedling growth, initiation of female flower and fruit growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Kor. J. Hort. Sci. & Tech. 19: 495-500

- Chung, H. D. and Y. J. Choi. 2002a. Growth response on varying soil EC and selection of salt-tolerant rootstock of tomato(*Lycopersicon* spp). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:536-544.
- Chung, H. D. and Y. J. Choi. 2002b. Enhancement of salt tolerance of pepper plants(*Capsicum annuum*) by grafting. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:556-564
- Chung, H.D and Y.J. Choi. 2002. Growth response on varying soil EC and selection of salt-tolerant rootstock of tomato (*Lycopersicon* spp). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43: 536-544.
- Chung, H.D. 2003. Effect of soil EC on growth of leafy and root vegetable crops. Res. Report, Ministry of Agr. & Forest (unpublished). Seoul.
- Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2001. Effect of Soil Salinity on Growth of Cucumber and Water Melon Seedlings. Kor. J. Hort. Sci. and Technol vol. 19 Supplement(1): 61
- Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2001. Morphological changes of tissue in cucumber seedlings grown in high soil EC. Korean J. Hort. Sci. & Tech. 19:501-504.
- Chung, H.D. and Y.J. Choi. 2002. Enhancement of salt tolerance of pepper plants (*Capsicum annuum*) by grafting. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:556-564.
- Chung, H.D., Y.J. Choi., and S.H. Shin. 1999. Morphological characteristics and germination of the Korean native bottle gourd (*Lagenaria siceraria* Standl.) seeds. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:317-321.

- Chung, H.D., Y.S. Youn, and Y.J. Choi. 1997. Effects of rootstocks on yield, quality and components of tomato fruits. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 38:603-607.
- Chung, J. D., Park, Y.K, Kim, H.Y., Jee, S.O and Koh, J. C. 1999. Effects of plant Growth Retardants on the Growth of *Bletilla striata* in Vitro. *J. Kor. Hort. Sci.* 40(4):485-488.
- Clarkson, D.T. 1991. Root structure and sites on ion uptake. *In plant Roots: the Hidden Half*. Ed. Y. Waisel. Dekker, New York. pp. 417-453.
- Colmer, T.D., T.W.M. Fan, R.M. Higashi, and A. Läuchli. 1994. Interactions of Ca²⁺ and NaCl stress on the relations and intercellular pH of *Sorghum bicolor* root tips. An in vitro ³¹P-NMR study. *J. Exp. Bot.* 45:1037-1044.
- Coltman, R.R. 1987. Sampling considerations for nitrate quick tests of greenhouse-grown tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:922-927.
- Coltman, R.R. 1987. Yield and sap nitrate responses of fresh market field tomatoe to simulated fertigation with nitrogen. *J. Plant Nutri.*10(9-16):1699-1704.
- Coltman, R.R. 1988. Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience.* 23:148-151.
- Coltman, R.R. and S.A. Riede. 1992. Monitoring the potassium status of greenhouse tomatoes using quick petiole sap tests. *HortScience.* 27(4):361-364.
- Committee of plant analysis. 1976. *Methods of plant analysis.*

Yanghundang. Tokyo. Japan.

Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth. Commonwealth Agr. Bureaux, Slough, England.

Cooper, A.J. 1975. Crop production in recirculation nutrient solution. *Scientia Hort.* 3:252-258.

Cooper, D.J., K.F.Neilsen, J.W.White and W.Kalbfleisch. 1960. Note on an apparatus for controlling soil temperatures. *Can. J. Soil Sci.* 40:105-107.

Copper, D and D.T. Clakson, 1989. Cycling of amino-nitrogen and other nutrients between shoot and roots in cereals. *J.Exp.Bot.* 40:753-762

Crozier, A., Y. Kamiya, G. Bishop, and T. Yokota. 2000. Biosynthesis of hormones and elicitor molecules. p. 911-914. In: B.B. Buchanan et. al.(eds.). *Biochemistry & molecular biology of plants.* Amer. Soc. Plant Physiologists. Rockville, MD.

Dangl, J.L., R.A. Dietrich, and H. Thomas. 2000. Senescence and programmed cell death. p. 1044-1099. In: B.B. Buchanan, W. Gruissem, and R.L. Jones(eds.). *Biochemistry & Molecular Biology in plants.* ASPP. MD.

Davis, J. S. and J.E. Gander. 1967. A re-evaluation of the Roe procedure for the determination of fructose. *Anal. Biochem.* 19: 72-79.

Delfine, S., A. Alvino, A. Zacchini, and F. Loreto. 1998. Consequence of salt stress

on conductance to CO₂ diffusion, Rubisco characteristics and anatomy of spinach leaves. Australian J. Plant Physiol. 25: 395-402.

Dietz, K.J. and U. Heber. 1986. Light and CO₂ limitation of photosynthesis and states of the reactions regenerating ribulose-1,5-bisphosphate or reducing 3-phosphoglycerate. Biochem. Biophys. Acta. 848: 392-401.

Doncaster, H.D., Adcock, M.D. and R.C. Leegood. 1989. Regulation of photosynthesis in leaves of C₄ plants following a transition from high to low light. Biochem. Biophys. Acta. 973:176-184.

Edward, J.D., R. Gucci, S.C. Kann, J.A. Flore, and W.H. Loescher. 1994. Gas exchange and carbon partitioning in the leaves of celery (*Apium graveolens* L.) at various level of root zone salinity. Plant Physiol. 106:282-292.

El-Sheikh, A.M. and T.C. Broyer. 1970. Concentrations of total nitrogen in squash, cucumber and melon in relation to growth, and to a piper-steenbjerg effect. Soil Sci. Plant Anal. 1(4):213-219.

El-Sheikh, A.M., M.A.A. El-Hakam and A. Ulrich. 1970. Critical nitrate levels for squash, cucumber and melon plants. Soil Sci. Plant anal. 1(2):63-74.

Emmert, E.M. 1932. Field method for estimation of nitrate, phosphate and potassium in plants. Plant Physiol. 7:315-321.

Evans, J.R. and S. Caemmerer. 1996. Carbodioxide diffusion inside leaves. Plant

Physiol. 110: 339-346

Feibo, W., W. Lianghuan and X. Fuhua. 1998. Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Field Crops Research. 56:309-314.

Fink, A.1982.Fertilizers and Fertilization. Velag Chemie.pp209-211

Flores, H.E. 1990. Polyamines and plant stress. p. 217-239. In: R.G. Alscher and J.R. Cumming(eds.). Stress reponses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. Wiley-Liss, NY.

Flowers T.J., P.F. Troke, and A.R. Yeo. 1977. The mechanism of salt tolerance in halophytes. Annu. Rev. Plant Physiol. 28: 89-121.

Flowers, T.J., M.A. Hajibagheri, and A.R. Yeo. 1991. Ion accumulation in the cell walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. Plant Cell Environ. 9:645-651.

Foolad, M.R. 1996. Response to selection for salt tolerance during germination in tomato seed drived from PI174263. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:1006-1011.

Franco, C.M. 1982. Influence of supraoptimal temperature on root development, growth, absorption and translocation of nutrients in coffe plants grown in nutrient solution. Turrialba 32(3):243-247.

- Friedman, J. 1995. Allelopathy, autotoxicity, and germination. *In* J. Kigel and G. Galili ed., Seed development and germination. Marcel Dekker Inc. pp.
- Fritz, D. and W. Stolz, J. Weichmann and C. Wonneberger. 1989. Gemuesebau. Ulmer pp. 70-72
- Fujishige, N and T. Sugiyama. 1968. Effect of soil temperature on growth of seedlings of a few fruit vegetable(apreliminary). *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 37(3):221-226.
- Fujiwara, T. Ansai, and T. Kato,2001.Diagrosis method of soil and utiligation(Japanese) Nongmunhyup. pp 113-118
- Gislerod, H.R. 1982. Effect of root temperature and propagation media on chrysanthemum in circulating nutrient solution. *Acta Hort.* 126:417-426.
- Gliessman, S.R. 2000. Agroecology; Ecological processes in sustainable agriculture. CRC press. Boca Rwton, FL. p. 159-163
- Gomez-Lepe, B.E. and A. Ulrich. 1974. Influence of nitrate on tomato growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99:45-49.
- Gosselin, A. and M.J. Trudel. 1984a. Interactions between root-zone temperature and light levels on growth, development and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* Mill cv. Vendor. *Scientia Hort.* 23:313-321.
- Gosselin, A. and M.J.Trudel. 1983. Interactions between air and root temperatures on greenhouse tomato. I. Growth, development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:901-905, 905-909.

- Gosselin, A. and M.J.Trudel. 1984b. Effects of root-zone heating on plant productivity and energy conservation in northern greenhouses. *Acta Hort.* 148:844-853.
- Gosselin, A. and M.J.Trudel. 1986. Root zone temperature effects on pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111(2):220-224.
- Graves, C.J. 1986. A summary of work on solution heating and intermittent solution circulation for tomatoes in nutrient film culture. *Acta Hort.* 178:79-84.
- Grieve, C.M., L.E. Francois, and E.V. Maas. 1994. Salinity effects the timing of phasic development in spring wheat. *Crop Sci.* 34:1554-1549.
- 하순호. 1996. Test-strip을 이용한 오이식물체내 NO₃-N 상태 진단을 위한 적정 엽병 위치의 탐색. *대산논고.* p. 573-579.
- Habben, E. and J. Volence. 1990. Starch grain distribution in taproots of degoliated *Medicago sativa* L. *Plant Physiol.* 94:1056-1061.
- Hadas, R. and Okon, Y. 1987. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on root morphology and respiration in tomato seedlings. *Biol. Fertil. Soils.* 5:241-247
- Hadas, R. and Y. Okon. 1987. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on root morphology and respiration in tomato seedlings. *biol. fertil. Soils.* 5:241-247.
- Hajibagheri, M.A. and T.J. Flowers. 1985. Salt tolerance in the halophyte *Suaeda*

maritin (L.) Dum. The influence of the salinity of the culture solution on leaf starch and phosphate content. *Plant Cell and Environ.* 8: 261-267.

Hanan, J. J. 1982. Salinity III: Handling water supplies to minimize salinity problems. *CO Greenhouse Growers' Assoc. Res. Bull.* 413:1-3

Hanan, J. J. 1998. *Greenhouse*. CRC. pp 490-520

Harris, D.G. and C.H.M. Van Bavel. 1957b. Root respiration of tobacco, corn and cotton plants. *Agron. J.* 49:182-184.

Hartz. T. K. 1994. A quick test procedure for soil nitrate-nitrogen. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25 : 511-515.

Hartz. T. K. and Hochmuth, G. J. 1996, Fertility management of drip-irrigated vegetables, *HortTechnology*, 6 : 168-172

Hayashi, I. 1990. New technique for cut-flower cultivation: Part 2. Rose. Sungmundang, Tokyo, p. 23-48.

Hernandez, J.A., F.J. Corpas, M. Gomez, L.A. del Rio, and F. Sevilla. 1993. Salt induced oxidative stress mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. *Plant Pysiol.* 89: 103-110.

Hicklenton, P.R. and M.S.Wolynetz. 1987. Influence of light and dark period air temperatures and root temperature on growth of lettuce in nutrient flow systemics. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(6):932-935.

- Hirano, S. 1977. Injury of successive cropping of crops. Misudang(Japanese).
- Hirata, K. 1990. Plant nutrition experiment methods. Pakwoosa, Tokyo.
- Hochmuth, G.J. 1994. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. Hortitechnology (July/Sept.). 4(3):218-222.
- Hoffman, G.J. 1980. Guidelines for the reclamation of salt-affected soil. p. 49-64. In: G.A. O'Connor (ed.) 2nd Inter-Amer. Conf. On salinity and water management technology. Juarez, Mexico.
- Hogue, E.J. and G.H. Neilsen. 1986. Effect of root temperature and varying cation ratios on growth and leaf cation concentration of apple seedlings grown in nutrient solution. Can. J. Plant Sci. 66(3):637-645.
- Holden, N. M. and D. Scholefield. 1995. Paper-teststrips for rapid determination of nitrate tracer. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26 : 1885-1894.
- Holden, N.M. 1995. Paper test-strips for rapid determination of nitrate tracer. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 26(11&12):1885-1894.
- Hong, S. D. 1998. Fertilizer recommendation based on soil testing for tomato in plastic film house. J. Korean. Soc. Soil. Sci. Fert. 31:350-358.
- Hong, S. D. and H. T. Park. 2000. The test strip reflectometer method as a quick test procedure for nitrate nitrogen. Kor. J. Soil Sci. and Fert. 33 : 369-375.

- Hong, S. D., B. G. Kang, and J. J. Kim. 1998. Optimum fertilization based on soil testing for chinese cabbage cultivation in plastic film houses. J. Korean Soc. Soil. Sci. Fert. 31:16-24.
- Hong, S. D., K. I. Kim, H. T. Park, S. S. Kang. 2001. Relationship between leaf chlorophyll reading value and soil N-supplying capability for tomato in green house. Kor. J. Soil Sci. and Fert. 34 : 85-91.
- Hori, Y., K. Arai and T. Toki. 1970. Studies on the effects of root temperature and its combination with air temperature on the growth and nutrition of vegetable crops. II. Carrot, celery, pepper, grafted cucumber, and cucurbits used as stocks for cucumber. Bull. Hort. Res. Sta. Japan. Ser. A. 9:189-219
- Hwang, J.M., J.S. Um, and Y.K. Yi. 1999. Survey of physiological disorders in greenhouse fruit vegetables in Kyungbuk province. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 17:737-741.
- Hwang, N.Y., J. Ryu, J.S. Na, and J.K. Kim. 1989. Studies on the cause of injury by continuous cropping and the effect of soil conditioner on red pepper(*Capsicum annuum* L.): II. Effects of soil conditioners applied on continuous cropping fields. J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. 22:205-214.
- Hwang, S.W., Y.S. Kim, B.Y. Yeon, Y.J. Lee, and Y.D. Park. 1993. The effect of several desalting methods applied to vinyl house soils. RDA. J. Agri. Sci. 35:276-280.
- Inden, T. 1977. Environment and cultivation in protected horticulture. Seibundo

Shinkosha, Japan. p. 295-338.

Jackson, Ray D. 1986. Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 24(1):99-106.

Janes, H.W. and R. Mcavoy. 1983. Deleterious effects of cool air temperature reversed by root-zone warming in poinsettia. *HortScience* 18:363-364.

Jemison, J.M. and R.H. Fox. 1988. A quick-test procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19(14):1569-1582.

Jeong, C.S., K.C. Yoo, M. Nagaoka, and S. Imada. 1995. Effects of light intensity, night temperature and CO₂ treatments on production of the mature-green pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36:211-217.

Jo, I.S., B.K. Hur, K.S. Ryu, K.T. Um, and S.K. Cho. 1987. Effects of soil conditioner treatments on the changes of soil physical properties and soybean yields. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 20:29-34.

정갑채, 박화성, 안장순. 1984. 뿌리제거와 질소, 칼슘수준이 고추와 오이의 건물중 배분에 미치는 영향. *韓園誌* 25(4):277-282.

조자용. 1998. 식물생장 촉진 근권 미생물의 검색, 분리 및 근권처리가 양액재배 오이와 토마토의 생장과 발육에 미치는 영향. 전남대학교 박사학위논문. 108-113.

- Johnson, D.W., S.E. Smith, and A.K. Dobrenz. 1992. Genetic and phenotypic relationships in response to NaCl at different development stages in alfalfa. *Theor. Appl. Genet.* 83:833-838.
- Joiner, J., R. Poole and C. Conover. 1983. Nutrition and fertilization of ornamental greenhouse crops. *Hort. Rev.* 5 : 317-403
- Jones, D.A.G., I. Sandwell. and S.J.W. Talent. 1978. The effects of soil temperature when associated with low air temperatures on the cropping of early tomatoes. *Acta Hort.* 76:167-171.
- Jones, J. B. 1985. Soil testing and plant analysis: Guides to the fertilization of horticultural crops. 7:1-68.
- Jones, J.B. and V.W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In Westerman, R.L.(ed.) *Soil and plant analysis: SSSA book series 3.* SSSA. Madion. WI.
- Jones, R.A. 1986. High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica* 35:575-582.
- 전라남도농촌진흥원. 1996. 오이·토마토 양액재배 기술. 전라남도농촌진흥원. pp. 53.
- 정병근, 최정원, 윤을수, 윤정희, 김용학, 정구복. 1998. 우리나라 시설원예 재배지 토양 화학적 특성. *한국토양비료학회지.* 31(1):9-15.
- 정석문, 공성재, 이상식, 이진창. 1970. 엽분석에 의한 우리나라 복숭아 나무의 영양진

- 단에 관한 연구. 농시연보 13(월예):11-18.
- 정석문, 임열재, 이광연. 1971. 엽분석에 의한 우리나라 포도원의 영양진단에 관한 연구. 농시연보 14(월예):11-18.
- 정순주, 이범선. 1997. 분무경에서 배양액의 이온농도가 토마토의 생육에 미치는 영향. 한원지. 38(6):638-641.
- 정영상 양재의, 한연규, 최문현. 1995. 토양 및 식물체 중 질산태 질소 간이측정 방법 탐색. 농업논문집('94농업산학협동). 37:79-579.
- Jun, H.S., W.C. Park, and J.S. Jung. 2002. Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon(*Cucumis melo* L.). Kor. J. Env. Agri. 21:1-6.
- Jung, B. G., J. W. Choi, E. S. Yun, J. H. Yoon, Y. H. Kim and G. B. Jung, 1998. Chemical Properties of the Horticultural Soils in the Plastic Film House in Korea, Kor. J. Soil Sci. and Fert. 31 : 9-15.
- Jung, D. Y., 2001. Development of improved soil structure and hydraulic properties in a longer cultivation of plastic house soil. Report of ARPC
- Jung, Y.S. and S.H. Yoo. 1975. Effect of watering on eluviation of soluble salts in the vinyl house soils. J. Kor. Soc. Soil Sci. & Fert. 8(2):53-60.
- 강항원, 강위금, 정연태. 1993. 시설재배지의 염류집적이 근권토양의 미생물상과 화학성 변화에 미치는 영향. 농업과학논문집. 35(1):308-314.
- Kang, B.G., I.M. Jeong, K.B. Min, and J.J. Kim. 1996. Effect of saly

- accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) J. Kor. Soc. Soil Sci. & Fert. 29(4):360-364.
- Kang, B.K., H.J. Kim, K.J. Lee, and S.K. Park. 2000. Effect of soil conditioners applied on continuous cropping field. Chungbuk Agr. Res. & Ext. Serv. p. 332-338.
- Kang, Bo-Koo, I. M. Jeong, J. J. Kim, S. D. Hong and K. B Min, 1997, Chemical Characteristics of Plastic Film House Soils in Chungbuk Area, Kor. J. Soil Sci. and Fert. 30(3) : 265 - 271.
- Kang, S. S. and S. D. Hong, 2004. Estimation of Optimum Application Rate of Nitrogen Fertilizer Based on Soil Nitrate Concentration for Tomato Cultivation in Plastic Film House, Kor. J. Soil Sci. and Fert. 37(2) : 74-82
- Kapulnik, Y., R.Gafny. and Y. Okon. 1983. Effects of *Azospirillum spp.* Inoculation on root development and NO₃ uptake in Wheat(*Triticum aestivum* cv.Mariam) in hydroponic. Can. J. Bot. 63:627-631.
- Keiper, F.J., D.M. Chen, and L.F. De Filippis. 1988. Respiratory, photosynthetic and ultrastructural change accompanying salt adaptation in culture of *Eucalyptus microcorys*. J. Plant Physiol. 152: 564-574.
- Kemp, G.A. 1972. Water bath for germination and root development studies under various temperature combinations of soil and ambient air. Can. J. Plant Sci. 52:677-679.
- Kenworthy. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. In Walsh, L.M. and T.D. Beaton (ed.) Soil testing and plant analysis SSSA. Madison.

Wisconsin USA.

- Kim, B.H., Kim, T.H., Kim, K.E., Chung, W.J. and H.Y. Jean. 1995. Partitioning of Carbon and Nitrogen Reserves during Winter Adaptation and Spring Regrowth. I. Effects of low temperature on growth, total content of nitrogen and non-structural carbohydrate in forage rape (*Brassica napus* L.) J.Korean Grassl. Sci.
- Kim, B.S., H.S. Hwang, J.Y. Kim, and J.H. Han. 2001. Additional source of resistance to Phytophthora blight in pepper. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:233-237.
- Kim, B.S., K.Y. Kim, S.K. Kim, and C.K. Sung. 1995. Pepper. Nongmin Press(Seoul).
- Kim, H.T., K.Y. Kang, and H.D. Chung. 1991. The process of salt accumulation and its effects on the yield and quality of muskmelon (*Cucumis melo* L.) on successively grown soil. Res. Rept. RDA (Hort.), Suwon Korea.
- Kim, J.H. 1962. Effect of urea nitrogen on the metabolism of plant (III). Korean J. Bot. V(4):6-11.
- KIM, T.H., Ourry, A., Boucaud, J. and G. Lemaire. 1993. Partitioning of nitrogen derived from N₂ fixation and reserves in nodulated *medicago sativa* L. during regrowth. J. Experimental Botany. Vol 44. pp. 555-562.
- Kim, Y. C. 1983. Study on the fertigation. Dept. of Hort. Korea University.
- Kinett, J.M. and M.M. Peet. 1997. Tomato. P. 227-245. In: H.C. Wien (ed.). The

physiology of vegetable crops. CAB International.

Kobza, J. and G.E. Edward. 1987. Influence of leaf temperature on photosynthetic carbon metabolism in wheat. *Plant Physiol.* 83:69-74.

Koster, K.L. and D.V. Lynch. 1992. Solute accumulation and compartmentation during the cold acclimation of winter rye. *Plant Physiol.* 98:108-113

Koyro, H.W. 1997. Ultrastructural and physiological changes in root cells of Sorghum plants (*Sorghum bicolor* × *S. sudanesis* cv. Sweet Sioux) induced by NaCl. *J. Exp. Bot.* 48: 693-706.

Koyro, H.W. 2002. Ultrastructural effects of salinity in higher plants. p. 139-152. In : Läubli, A. and Lüttge, W.(eds). *Salinity : Environment-Plants-Molecules*. Kluwer Aca. Pub. Co. Ltd.

Kramer, D. 1983. Genetically determined adaptations in roots to nutritional stress: Correlation of structure and function. *Plant and Soil* 72: 167-173.

Kramer, P.J. 1983. *Water relations of Plants*. Academic Press, New York.

Krug, H. 1986. *Gemuese Produktion*, Paul Parey pp. 121-126

Kwak, H. K., Y. S. Song, and C. W. Hong. 1997. Nitrogen recommendation based on soil nitrate test for chinese cabbage growth in plastic film house. *J. Korean*

Soc. Soil Sci. Fert. 29:282-287

Kwon, J.B., J.R. Kwon, Y.S. Shin, C.R. Kim, and B.S. Choi. 1996. Effect of organic matters on horticultural characteristics and yield of potato(*Solanum tuberosum* L.) in greenhouse. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 37:758-760.

Labate, C.A. and R.C. Leegood. 1989. The influence of low temperature on respiration and contents of phosphorylated intermediates in darkened barley leaves. Plant physiol. 91:905-910.

Lambers, H. 1985. Respiration in intact plant and tissue: Its regulation and dependence on environmental factors, metabolism and invaded organisms. *In* Encyclopedia of Plant Physiology, Eds. Douce, C.R. and Day, D.A. Vol. 18. Higher plant cell respiration. Springer-Verlag, Berlin. pp. 444-448.

Lambers, H., R.K.Szaniawski and R.de Visser. 1983. Respiration for growth, maintenance and ion uptake. An evaluation of concepts, methods, values and the significance. *Physiol. Plant* 58:556-563.

Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology* (3rd ed.). Springer, Berlin.

Larson, R.A.1985. Growth regulators in floriculture.*Hort.Rev.*7:399-481.

Larsson, C.M., Larsson, M., Purves, D.T. and D.T. Clarkson. 1991. Translocation and cycling through roots of recently absorbed nitrogen and sulphur in wheat during vegetative and generative growth. *Physiol. Plant.* 82:345-352.

- Läuchli, A. and U. Lüttge. 2002. Salinity: Enviroment-Plant-Molecules. Kluwer Aca. Pub. Co. Ltd.
- 이용범, 노미영, 조영렬, 배중향. 1995. 토마토 양액 재배시 비과과 간이 질소 영양진단. 생물생산시설환경 학회지. 4(2):175-180.
- 이주현. 2001. 상추 무기 영양상태의 신속 진단 방법 개발. 석사학위논문. 서울시립대학교. 서울. 대한민국.
- 이진범, 박인호, 이혜주, 선우양일. 1991. 옥수수 분리 엽록체에서의 엽록소 형광의 소멸과 광계 2의 quantum yield. 한국생화학회지. 24(6):594-601.
- 林 勇, 1978, 生土容積抽出法利用による温室床土の簡易檢定, 農業および園藝 53(7) : 903-909
- Lechno, S., E. Zamski, and E. Tel-Or. 1997. Salt stress-induced responses in cucumber plants. J. Plant Physiol. 150:206-211.
- Lee, B. I., M.K. Kim, B.W. Kim, D.K. Moon, W. Moon, K.W. Park, J.C.
- Lee, B. Y. et al. 2001. Principle of vegetable crops. Hyangmunsa. pp. 155-157
- Lee, B.I., K.C. Yoo, J.M. Lee, H.Y. Park, W. Moon, Y.B. Lee, K.Y. Kim, Y.J. Yang. 2002. (2nd ed.) Principle of vegetable crops. Hyangmoonsa, Seoul, Korea. p. 230
- Lee, In-Bog, H. M. Ro, J. H. Lim and M. S. Yiem, 2000, Estimating Saturation-paste Electrical Conductivities of Rose-cultivated Soils from their Diluted Soil Extracts, Kor. J. Soil Sci. and Fert. 33 : 398-404.

- Lee, J.Y., S.I. Kim, Y.K. Kim, C.K. Moon, H.S. Byun, J.K. Yang, B.K. Im, J.B. Chang, and J.S. Cho. 2001. Charcoal and wood charcoal keep environment. Deayang, Seoul, Korea.
- Lee, S. E., J. K. Park, J. H. Yoon and M. S. Kim, 1987. Chemical Properties of Soils under the Plastic House Cultivation of Vegetables, RDA. J. Agri. Sci. 29(1) : 166 - 171.
- Lee, Y. H., Y. K. Shin, K. N. Hwang and G. S. Rhee, 1993, Studies on Chemical Properties of Soils under the Plastic House Cultivation of Vegetables, Kor. J. Soil Sci. and Fert. 26 : 236-240.
- Lee, Y.H., J.S. Shin, Y.S. Seok, and G.K. Bae. 1998. Effect of salt stress on photosynthesis, free proline content and ion content in tobacco. Korea J. Environ. Agri. 17:215-219.
- Lee, Y.H., Y.K. Shin, K.N. Hwang, and G.S. Rhee. 1993. Studies on chemical properties of soil under the plastic house cultivation of vegetables. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 26:236-240.
- Leegood, R.C. 1985. Regulation of photosynthetic CO₂-pathway enzymes by light and other factors. Photosynth. Res. 6:247-259.
- Li, Y.L., C. Stanghellini, and H. Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of green house tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Scientia Hort. 88:11-29.

- Lifshitz, R., Kloepper, J.W., Kozlowski, M., Simonson, C., Carson, J., Tipping, E.M. and Zaleska. 1987. Growth promotion of canola(rapeseed) seedling by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions. Can. J. Microbiol. 33:390-395.
- Lin, W., Y. Okon, R. W. F. Hardy. 1983. Enhanced mineral uptake by Zeamys and Sorghum bicor roots inoculated with Azosprillum brasilence. App. Environ. Microbial. 45: 1775-1779
- Lin, W., Y. Okon. And R.W.F. Hardy. 1983. Enhanced mineral uptake by *Zeamays* and *Sorghun* bicolor roots inoculated with *Azospirillum brasilence*. Appl. Environ. Microbial. 45:1775-1779.
- Lipschitz, N. and Y. Waisel. 1970. Effects of environment on relations between extension and cambium growth of *Populus euphatica* Oliv. New Phytol. 69:1059-1064.
- Locascio, S.J. and G.F. Warren. 1960. Interaction of soil temperature and phosphorus on growth of tomatoes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75:601-610.
- Lorenz, O.A. and D.N. Maynard. 1980. Knott's handbook for vegetable growers (2nd ed.). Wiley Interscience. NY.
- Lyons, D.J., R.L. Williams and L.E. McCallum. 1991. Sap analysis for the prediction of stem yield and the need for extra nitrogen fertilizer for kenaf. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27(7&8):659-666.

- MacDuff, J.H., A. Wild, M.J.Hopper and M.S.Dhanoa. 1986. Effects of temperature on parameters of root growth relevant to nutrient uptake : Measurements on oilseed rape and barley grown in flowing nutrient
- Mackay, A.D. and S.A. Barber. 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorous uptake by corn. Soil Sci. Soc. amer. J. 48:818-823.
- Maher, M.J. 1978. The effect of root zone warming on tomatoes grown in nutrient solution of two air temperatures. Acta Hort. 82:113-119. solution. Plant and soil 94(3):321-332.
- Mahmoud, M.H., R.A. Jones, and A.S. El-Beltagy. 1986. Comparative response to high salinity between salt-sensitive and salt-tolerant genotypes of the tomato. Acta Hort. 190:533-543.
- Martinez, V., A. Cerda, and F.G. Fernandez. 1987. Salt tolerance of four tomato hybrids. Plant & Soil. 97:233-242.
- Mass, E.U. 1985. Crop tolerance to saline splinkler water. Plant Soil 89:372-384.
- Masuda, M and K. Gomi. 1984. Mineral absorption and oxygen consumption in grafted and non-grafted cucumbers. J. Japan Soc. Hort. Sci. 52:414-419.
- Mausethe, J.V. 1988. Plant anatomy. Cumminge, Menlo Park.

- McCue, K.F. and A.D. Hanson. 1990. Drought and salt tolerance: towards an understanding and application. *Trends Biotechnol.* 8:358-362.
- McKersie, B.D. and Y.Y. Leshem. 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. *Kluwer Acad. Pub. Boston.* p. 55-72.
- 森國博全・新妻成一・嶋田永生, 1999, トマトの隔離床栽培における蒸気消毒後の硝酸化成菌の復活対策ならびに窒素施肥, *日本土壤肥料学雑誌.* 70(4):542-549
- Meisinger, J. J. and J A Delgado, 2002, Principles for managing nitrogen leaching, *J. of Soil and Water Conservation,* 57(6) : 485-499
- 森國博全・嶋田永生. 2001. トマトの隔離床栽培における尻腐れ果発生施用窒素形態の影響, *日本土壤肥料学雑誌.* 72(4):489-498
- Mickelbart, M.V. and M.L. Arpia. 2002. Rootstock influence changes in ion concentrations, growth, and photosynthesis of 'Hass' avocado trees in response to salinity. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127:649-655.
- Mills, H.A. and J.B. Jones. 1996. *Plant analysis handbook II.* Micro-Macro Publishing, Athens, GA.
- Ministry of Agr. and Forestry (MAF). 2003 . Actual production of vegetable crops. MAF. Seoul.
- Ministry of Agriculture and Forestry(MAF). 2003. Major statistics related to

agriculture industry. MAF, Seoul, Korea.

Minotti, P.L. 1975. Plant nutrition and vegetable crop quality. HortSci. 10:54-56.

Mizrahi, Y. and D. Pasternak. 1985. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. Plant Soil 89:301-307.

Morgenstern, E. and Y. Okon. 1987. Promotion of plant growth and NO₃ and Rb uptake in *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* inoculated with *Azospirillum brasilense* Cd. **Arid Soil Res. Rehabil.**1:211-217.

Moss, G.I. 1984. The effects of root-zone warming on the yield and quality of roses grown in a hydroponic system. J. Hort. Sci. 59:549-558.

Munns, R. 1988. Effect of high external NaCl concentrations on ion transport within the shoot of *Rapinus albus*. I. Ions in xylem sap. Plant Cell Environ. 11:283-289.

Munns, R. 1994. Physiological processes limiting growth in saline soils: some dogmas and hypothesis. Plant Cell Environ. 16:15-24.

Nagarajah, S. 1999. A petiole sap test for nitrate and potassium in sultana grapevines. Australian J. Grape & Wine Res. 5:56-60.

Nakano, A. 2002. Study on the development of a method to alleviate stress on rhizosphere for vegetable production in protected cultivation. Bull. Natl. Inst.

Veg & Tea Sci.(Japan) 1:181-240.

Nakano, Akimasa. 2002, Study on the Development of a Method to Alleviate Stress on Rhizosphere for Vegetable Production in Protected Cultivation. Annual Report of National Institute of Vegetable and Tea Science. Jpn. 1: 181-240

Nakano, Akimasa. Yiochi Uehara and Akia Yamauchi. 2001, Salt Accumulation in Protected Cultivation and Improvement of the Situation Using Low-Sulfate Slow-Release Fertilizer (LSR), Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 72(2) : 237-244

Nakano, Akimasa. Yiochi Uehara and Akia Yamauchi. 2001. Establishment of Organic Fertigation System Using CSL (Corn Steep Liquor) - Effect of CSL Applicaton in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Growth, Yield, Quality and Soil Chemical Property - Jpn. J. Soil sci .Plant Nutr., 72(4) : 505-512

National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). 2000. Analysis method of soil and plant. , Suwon, Korea. p. 103-142.

National Institute of Agricultural Science and Technology. 1999. Fertilizer recommendation by soil test. Sangroksa. Suwon, Korea. pp. 29.

National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Methods of soil and plant analysis. Sammi Press. Suwon, Korea. pp 103-147.

Neumann, P.M., H. Azaizeh, and D. Leon. 1994. Hardening of root cell walls: a growth inhibitory response to salinity stress. Plant and Cell Environ. 17:

303-309.

Neves-Piestum, B and N. Bernstein. 2001. Salinity-induced inhibition of leaf elongation in maize is not mediated by change in cell wall acidification capacity. *Plant physiol.* 125:1419-1428.

Newton, P., T. Sahraoui and M.A.Sherif. 1988. The influence of nutrient solution temperature on root growth and nutrient uptake by cucumber, cv. Corana, grown using the nutrient film technique. *Proc. Int'l Congr. on Soilless Culture.* p. 335-351.

NIAST. 2000. *Methods of soil and plant analysis.* NIAST. 1st ed. Suwon. Korea.

Nielsen, K.F. 1974. Roots and root temperatures. In E.W.Carson(ed.). *The plant root and its environment.* University Press of Virginia, Charlottesville, Va. p.293-334.

Niu, X., P.A. Bressan, P.M. Hasegawa, and J.M. Pardo. 1995. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 109: 735-742.

Nonaka, Masanori. Ryouetu Abe and Takao Kamura. 1996, Nitrate Movement through Soil Profile and Groundwater Pollution by Nitrogen Fertilizer in Sand Dune Upland Soil. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 67 : 633-639

Nonnecke. 1989. *Vegetable production.* An Avi Book, New York, U.S.A. p. 320-368.

- Nothman, J., I.Rylski and M.Spiegelman. 1978. Effects of air and soil temperatures on colour of eggplant fruits. *Expt. Agr.* 14:189-195.
- Oda, Masayuki. Norio Suzuki, Yoshihiko Suzuki and Kiyoshi Shimura. 1985. Control of Salt Injury of Vegetables Cultivated in the Greenhouse with Undecomposed Organic Materials. Annual Report of National Institute of Vegetable and Tea Science. *Jpn. A.* 13 : 21-32.
- Olsen, J.K. and D.J. Lyons. 1994. Petiole sap nitrate is better than total nitrogen in dried leaf for indicating nitrogen status and yield responsiveness of capsicum in subtropical Australia. *Australian J. Experimental Agri.* 34:835-843.
- Ono, S. and A. Mori. 1996. Effect of chemical form of fertilizers on chemical stress. *Japan. J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 67:371-376.
- Pang, X. P., J. Letey and L. Wu. 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Sci. Sci. Am. J.* 61:257-261.
- Papadopoulos, A.P. and H.Tiessen. 1987. Root and air temperature effect on the elemental composition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(6):988-993.
- Papastylianou, I. 1989. Diagnosing nitrogen fertilization requirements of cereals in less than 30 seconds. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 20(11&12):1247-1259.

- Park, C.H., J.R. Lee, and D.A. Keum. 1986. (3rd ed.) Forage and Green Manure Crops. Hyangmoonsa. p. 225-231, 264-287.
- Park, D.K. 2000. Studies on injury by continuous cropping and its solution in oriental melon (*Cucumis melo* L.)-with a special reference to root-knot nematode and soil salt stress. Ph D Thesis, Andong Univ. Gyeongbuk, Korea.
- Park, H. T. and S. D. Hong, 2000, Optimum Level of Nitrogen Fertilizer Based on Content of Nitrate Nitrogen for Growing Chinese Cabbage in Green house, J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 33 : 384-392.
- Park, H.Y. Park, K.C. Yoo, Y.B. Lee, J.M. Lee, J.S. Lee, S.J. Chung, H.D. Chung, and J.M. Hwang. 1999. (2nd ed.) Protected horticulture. Hyangmoonsa, Seoul, Korea. p. 24.
- Park, K. W., S. K. Hwang, S. J. Choi and Y. S. Kim. 1983. Effect of thiocyanate ion and boron on the germination of several vegetable crops. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 24:14-20
- Park, K.W. 1983. Effects of fertilization, irrigation and harvesting period on the quality of vegetable crops. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 24(4):325-337.
- Park, K.W., Y.B.Lee, N.H.Choi and J.C.Jeong. 1990. Effects of culture media and nutrient solutions on the yield and quality of cucumber(*Cucumis sativus* L.) and tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill). Korean J. Environ. Agric. 9(2):143-151.
- 六本木和夫, 加藤俊博. 2000. 施設野菜の養液土耕. 農山漁村文化協會. pp. 16-17
- Peng, S., F.V. Garcia, R.C. Laza, A.L. Sanico, R.M. Visperas and K.G.

- Cassman. 1996. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Research*. 47:243-252.
- Perby, H. and P. Jensen. 1986. Variation in growth and accumulation of N, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ among barley cultivars exposed to various nutrient regimes and root/shoot temperature. *Physiol. Plant*. 67:166-172.
- Pollock. C.J. and Engel. 1988. low temperature and the growth of plants. In *plants and temperature: Proceeding of the society for Experimental Biology*. eds. S.P. Long and F.I. Woodward. pp. 157-180. Company of Biologists. Cambridge.
- Prasad, M. and T.M. Spiers. 1984. Evaluation of a rapid method for plant sap nitrate analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 15(6): 673-679.
- Prasad, M. and T.M. Spiers. 1985. A rapid nitrate sap test for outdoor tomatoes. *Scientia Horticulturae*. 25:211-215.
- Qiu, J. and D. Wisrael. 1992. Diurnal starch accumulation and utilization in phosphorus-deficient soybean plants. *Plant Physiol*. 98:316-323
- Raison, J. K. 1985. Alteration in the physical properties and thermal response of membrane lipids: correlations with acclimation to chilling and high temperature. *In* *Frontiers of membrane research in agriculture*. Ed. Jone, J.B. et al. Rowman & Allanheld. Pp. 383-401
- Rajasekaran, L.R., D. Aspinall, and L.G. Paleg. 2000. Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicon* spp. exposed to salt stress. *Canadian J. Plant Sci*.

80:151-159.

Ralph, P.J. and M.D. Burchett. 1995. Photosynthetic responses of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to high irradiance stress, using chlorophyll a fluorescence. *Aquatic Botany*. 51:55-66.

Raven, P.H., R.F. Evert, and S.E. Eichhorn. 1999. *Biology of plants*(6th ed.). W.H. Freeman and Co. NY.

Rawson, H.M. 1986. Gas exchange and growth in wheat and barley grown in salt. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:475-489.

Resh, H.M. 2001. *Hychoponic food prodnction*. Woodbridge pren pub.co.

Rhee, G.S., B.G. Jung, B.G. Park, K.S. Hwang, Y.H. Kim, and D.S. Kim. 1992. Chemical characteristics of the soil cropped with strawberry and cucumber. *Research Rept. Rural Develop. and Administration (Soil & Fertilizer)*, Korea. 34:48-55.

Rho, Y.D., S.H. Park, R.K. Park and J.M. Wilson. 1986. Assessment of the chilling sensitivity of Korean rice cultivars by chlorophyll fluorescence analysis. *Korean J. Crop Sci.* 31(3):356-360.

Rhoades, J.D. 1972. Water quality for irrigation. *Soil Science* 113: 277-286.

Rhodes, D. and S. Handa. 1989. Amino acid metabolism in relation to osmotic adjustment in plant cells. p. 41-62. In: J.H. Cherry(ed.). *Environmental stress in plants. Biochem. and physiological mechanisms*. Springer-Verlag.

- Ristic, Z. and A.A. Cass, 1991. Morphological characteristics of leaf epidermis cell in lines of maize that differ in endogenous levels of abscisic acid and drought resistance. *Bot. Gazette* 152:439-445.
- Robert, R. Sampling considerations for nitrate quick tests of green house-grown tomatoes. *Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(6):922-927.
- Roberts, A.N. and A.L.Kenworthy. 1956. growth and composition of the strawberry plant in relation to root temperature and intensity of nutrition. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 68:157-168.
- Rokpponki, K. and T. Katou. 2000. Fertigation of vegetables and flowers. *Nongmunhyp(japanese)*.
- Romero, J.M. and T. Maranon. 1994. Long-term responses of *Melilotus segitalis* to salinity. 1. Growth and partitioning. *Plant, Cell Eenviron.* 17:1243-1248.
- Roppongi, K. 1998. Study on nutrient management in vegetable greenhouse soil by real time diagnosis. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 69:235-238.
- Roppongi, K. and H. Yamazaki. 1998. Real-time diagnosis of soil solution of cucumber in protected cultivation using compact nitrate ion-meter. *JARQ.* 32-15-21.
- Rosen, C.J., M. Errebhi and W. Wang. 1996. Testing petiole sap for nitrate and potassium: A comparison of several analytical procedures. *HotrScience.*

31(7):1173-1176.

Rowell, D. L. 1994. Soil science : Methods and applications. Longman Scientific & Technical. p. 289.

Rozema, J., P. Bijwaard, G. Prast, and R. Broekman. 1985. Ecophysiological adaptations of coastal halophytes from foredunes and salt marshes. *Vegetatio* 62:499-521.

Rudd-Jones, D. and G.W. Winsor. 1978. Environmental control in the root zone. *Acta Hort.* 87:185-195.

Rural Development Administration(RDA). 1997. Technique of replant failure in the plastic film house soils. RDA, Suwon, Korea.

Rural Development Administration(RDA). 2002. Cultivation and utilization of legume green manure crops. RDA, Suwon, Korea.

Rychter, A.M., Cieła, E. and A. Kacperska. 1988. Participation of the cyanide-resistant pathway in respiration of winter rape leaves as affected by plant cold acclimation. *Physiol. Plant.* 73:299-304.

Ryu, K.S., S.H. Yoo, and K.C. Song. 1994. Movement of applied nutrient through soils by irrigation III. Effect of soil water on the movement of nitrogen. *J. Kor. Soc. Soil Sci. & Fert.* 27(3):232-237.

Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Carbon dioxide fixation and carbohydrate synthesis. *In* *Plant Physiology*. Wadworth. Belmont. pp195-215.

- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Plant Physiology (4th ed.). p. 586-589. Wadsworth, NY.
- Saranga, Y. D. Zamir, A. Marani, and J. Rudich. 1991. Breeding tomatoes for salt tolerance: Field evaluation of *Lycopersicon* germplasm for yield and dry matter production. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:1067-1071.
- Sasaki, K. and T. Itagi. 1989. Effect of root cooling treatment of nutrient solution on growth and yield of tomato, cucumber, melon.(in Japanese) Environ. Control in Biol. 27: 89-95.
- Scaife, A. and K.L. Stevens. 1983. Monitoring sap nitrate in vegetable crops: comparison of these strips with electrode methods, and effects of time of day and leaf position. commun. soil Sci. Plant Anal. 14:761-771.
- Scaife, A. and M.K. Turner. 1987. Field measurements of sap and soil nitrate to predict nitrogen top-dressing requirement of brusselssprouts. J. Plant Nutri. 10(9-16):1705-1712.
- Schaefer, N.L. 1986. Evaluation of a hand held reflectometer for rapid quantitative determination of nitrate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17(9):937-951.
- Schellenbaum, L., Müller, J., Boller, TH., Wiemken, A. and H. Schuepp. 1998. Effects of drought on non-mycorrhizal and mycorrhizal maize: changes in the pools of non-structural carbohydrates, in the activities of invertase, and in the pools of amino acids and imino acids. New Phytol. 138:59-66.
- Schmidt, C., T. He, and G.R. Cramer. 1993. Supplemental calcium does not

improve growth of salt-stressed *Brassicac*s. *Plant and Soil* 156: 415-418.

Schmidt, W. and A. Schikora. 2001. Different pathways are involved in phosphate and ion stress-induced alterations of root epidermal cell development. *Plant Physiol.* 125:2078-2084.

Schreiner, B., Baker, A.W and Baker, P.A.H.M.1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annu. Rev. Phytopathol.*25:339-359.

Schroth, M.N. and Hancock, J.G.1982. Disease suppressive soil and root-colonizing bacteria. *Science.* 216(25):1376-1381.2

Schwarz, M. and J. Gale. 1981. Maintenance respiration and carbon balance of plants at low levels of sodium chloride salinity. *J. Exp. Bot.* 32:933-941.

Seo, J.H. 2000. Enrichment of soil nitrogen and reduction of nitrogen fertilizer for corn by application of hairy vetch(*Vicia villosa* Roth) as green manure. PhD Diss., Seoul Nat'l Univ., Suwon, Korea.

Seo, J.H., H.J. Lee, and I.B. Huh. 2001. Effect of hairy vetch green manure on corn growth and yield cropping system of corn-oats/hairy vetch. *Kor. J. Crop. Sci.* 46:189-194.

Seo, M. H. 2001. Study on the bitter sesquiterpene lactones in leafy lettuce(*Lactuca sativa* L.). Ph D. Thesis. Korea University.

Shaahan, M.M., A.A. El-Sayed and E.A.A. Abou El-Nour. 1999. Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status in some

perennial crops using a portable chlorophyll meter. *Scientia Horticulturae*. 82:339-348.

Shannon, M.C. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. *Plant & Soil* 89:227-241.

Shannon, M.C. J.W. Gronwald, and M. Tal. 1987. Effects of salinity on growth and accumulation of organic and inorganic ions in cultivated and wild tomato species. *J. Hort. Soc. Hort. Sci.* 112:416-423.

Shannon, M.C., C.M. Grieve, S.M. Lesch, and J.H. Draper. 2000. Analysis of salt tolerance in nine leafy vegetables irrigated with saline drainage water. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125: 658-664.

Shin W.K. and J.C. Park. 1988. Excessive salt accumulation and salt elimination by watering in the plastic film house soils. *Gyeongsang Univ. Inst. of Agr. & Life Sci.* 22:209-222.

Shin, W.K. 1998. Studies on salt accumulation, physiological disorders and effect of desalination in protected cultivation soils. Ph. D. Diss. Seoul National Univ. Suwon.

Smith, M.M., M.J. Hodson, H. Öpik, and S.J. Wainwright. 1982. Salt-induced ultrastructural damage to mitochondria in root tip of a salt-sensitive ecotype of *Agrostis stolonifera*. *J. Exp. Bot.* 33: 886-895

송희숙. 1994. Color chart를 이용한 포도 잎의 간이영양진단에 관한 연구. 석사학위논문

문. 서울대학교. 서울. 대한민국.

Sohn, M.S. and K.S. Oh. 1993. Influence of nitrogen level on the accumulation of NO_3^- on edible parts of chinese cabbage, radish and cucumber. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 26:10-19.

Song, Y. S., H. K. Kwak, B. L. Huh, and S. E. Lee. 1996. Use efficiency of nitrate nitrogen accumulated in plastic film house soils under continuous vegetable cultivation. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 29:347-352.

Sonneveld, C. and C. De Kreij. 1999. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. Plant and Soil 209:47-56.

Sonneveld, C. and J. van den Ende. 1975. The effect of some salts on head weight and tipburn of lettuce and on fruit production and blossom-end rot of tomatoes. Neth. J. Agri. Sci. 23:192-201.

Soule, J. 1985. Glossary for horticultural crops. Wiley-Interscience, NY.

Spalding, Roy F., D. G. Watts, J. S. Schepers, M. E. Burbach, et al. 2001. Controlling nitrate leaching in irrigated agriculture, J. of Environmental Quality, 30(4): 1184

鈴木義彦, 1982. 隔離培地による施設野菜の栽培, 農林水産技術會議事務局 實用化技術レポート No. 102:1 - 23

Store, M.L. 1996. Use of spectral radiance for correcting in-season

fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. Trans. of the ASAE. 39(5):1623-1631.

성제훈, 서상룡, 류육성, 정갑채. 1999. 질소결핍 오이의 비파괴 진단법 비교. 한국농업기계학회지. 24(6):539-546.

Sutton, B.G. and N. Merit. 1993. Maintenance of lettuce root zone at field capacity gives best yield with drip irrigation. *Scientia Horticulturae*. 56:1-11.

Tachibana, S. 1982. Comparison of effects of root temperature on the growth and mineral nutrition of cucumber cultivars and figleaf gourd. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 51:299-308.

Tachibana, S. 1983. 養液栽培における培地温度と作物の生育. *農業および園藝* 58(12):1515-1522.

Tachibana, S. 1987. Effect of root temperature on the rate of water and nutrient absorption in cucumber cultivars and figleaf gourd. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 55:461-467.

Takebe, M. and T Yoneyama. 1994. Simple analysis of nitric acid and ascorbic acid in crop exudates using RQflex system. *Japanese Soci. soil Ferti.*

Tanji, K.K. 1990. Agricultural salinity assessment and management (ASCE). ASEC manual No. 71. Amer. Soc. Civil Engrs. N.Y.

Troughton, J. and L.A. Donaldson. 1972. Probing plant structure. McGrawHill, N.Y.

- Udagawa, Y. T. Ito and K.Gomi. 1989. Effects of root temperature on some physiological and ecological characteristics of strawberry plants 'Reiko' grown in nutrient solution. *J. jap. Soc. Hort. Sci.* 58(3):627-633.
- Van der Veken, L., P. Michels, J. Feyen, and F. Benoit. 1982. Optimization of the water application in greenhouse tomatoes by introducing a tensiometer-controlled drip-irrigation system. *Scientia Horticulturae*. 18:9-23.
- Vitosh, M.L. and G.H. Silva. 1994. A rapid petiole sap nitrate-nitrogen test for potatoes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25(3&4):183-190.
- Volkmar, K.M., Y. Hu, and H. Steppuhn. 1998. Physiological responses of plants to salinity: A review. *Can. J. Plant Sci.* 78:19-27.
- Walker, D.J., R.A. Leigh, and A.J. Miller. 1996. Potassium homeostasis in vacuolate plant cells. *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)* 93: 10510-10514.
- Wehrmann, J. and H. C. Scharpf. 1979. The mineral content of the soil as a measure of the nitrogen fertilizer requirement (N_{\min} method). *Plant and Soil*. 52: 109-126.
- Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A. and Lane, D.J. 1991. 16S ribosomal DNA amplification for phylogenetic study. *J. Bacteriol.* 173:697-703.
- Xu, Q. and B. Huang. 2000. Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperature. *Crop Sci.* 40:1363-1368.

- 양원모, 정순주, 양승렬. 1990. 분무경과 박막순환 양액재배에 따른 토마토의 생리, 생태 및 형태적 적응에 관한 연구. 1. 양액의 온도, 분무간격 및 충전 배지의 차이에 따른 근권환경변화 및 생육반응. 韓園誌 31(1):22-26.
- Yamada, M., T. Hidaka and H. Fukamachi. 1996. Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. Scientia Horticulturae. 67:39-48.
- Yang, C.H., C.H. Yoo, S.W. Kang, and S.S. Han. 2002. Effect of milk vetch utilization rice cultivation to reduce application amount of nitrogen at plowing time in paddy field. J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert. 35:352-360.
- Yasue, T.. 1991. The change of cultivation and utilization of chinese milk vetch(*Astragalus sinicus* L.) and the effect of fertilizer and soil fertility on paddy field as a green manure. Japan. J. Crop Sci. 60:583-592.
- Yelle, S., A.Gosselin and M.J.Trudel. 1987. Effect of atmospheric CO₂ concentration and root-zone temperature on growth, mineral nutrition, and nitrate reductase activity of greenhouse tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(6):1036-1040.
- Yeo, A.R. 1983. Salinity resistance : Physiologies and prices. Physiol. Plant. 58:214-222.
- 육창수, 김재정, 홍순달, 강보구. 1995. 충북지역 시설원예 재배지 토양의 염류집적 실태조사. 한국토양비료학회지. 26(3):172-180.
- Yoshida, S. and H. Eguchi. 1989. Effect of root temperature on gas exchange and water uptake in intact root of cucumber plants(*Cucumis sativus* L.) in

hydroponics. *Biotronics* 18:15-21.

Yuk, C.S., J.J. Kim, S.D. Hong, and B.G. Kang. 1993. Salt accumulation in horticultural soils of PE film house in Chungbuk area. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26:172-180.

Yun, S.Y. and J.D. Shin. 2001. Effects of TLB microbial fertilizer application on soil chemical properties, microbial flora and growth of chinese cabbage(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* MAKINO). *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 34:8-1.

Zidan, I.H., H. Azaizeh, and Newmann. 1990. Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification? *Plant Physiol.* 93:7-11.