

GOVP1200101780

635.048
L2936

최 종
연구보고서

원예작물 생산성 향상을 위한 Arbuscular균근균
선발 및 접종이용기술 개발에 관한 연구

Studies on the selection and inoculation technique
of Arbuscular Mycorrhizae Fungi for improvement
of productivity of horticultural crops

연구기관
순천대학교

농 립 부



최종보고서

1997년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 원예작물 생산성 향상을 위한 Arbuscular균근균 선발 및 접종이용기술 개발에 관한 연구 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2000. 10. 24.

주관연구기관 : 순 천 대 학 교

총괄연구책임자 : 손 보 균 (인)

주관연구기관장 : 순천대학교 총장

농림부장관 귀하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “원예작물 생산성향상을 위한 Arbuscular균근균 선발 및 접종 이용기술 개발연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000. 10. 24.

주관연구기관명 : 순천대학교

총괄연구책임자 : 손 보 균

연 구 원 : 김 학 진

연 구 원 : 박 서 기

연 구 원 : 송 원 섭

연 구 원 : 강 종 구

연 구 원 : 김 길 용

연 구 원 : 송 동 석

연 구 원 : 조 자 용

여 백

요 약 문

I. 제 목

원예작물 생산성향상을 위한 Arbuscular균근균 선발 및 접종이용기술 개발연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

농업생산성 향상에는 여러 가지 측면이 고려되어야 하겠지만 그 중에서도 최근에 심각해지고 있는 환경문제와 그리고 수량과 품질향상 등이 함께 고려되어야 한다고 본다. 지난 70년대 초의 에너지 위기 이후에 자연생태계에서 생존하고 있는 다양한 생물들을 이용한 관련연구의 양과 질은 괄목할 만하다. 특히 토양미생물 중 식물에 기생하며 공생(symbiosis)하는 미생물중 균근균(Mycorrhizal fungi)이라는 균류는 기주식물에 감염하여 상호간에 협생관계를 유지하면서 기주식물에게 놀랄만한 혜택을 주고 있다고 알려져 있어 목본류의 육묘단계나 경제적 가치가 있는 초본류의 생산성 향상에 실제 이용하려는 연구가 선진국을 주축으로 수행되고 있다.

균근균은 자연생태계의 거의 모든 식물에 감염되어 있으며 기주식물의 뿌리를 연장하는 구실로 불량한 근계(root system)를 보완하여 근권의 단위토양 부피에 더 많은 수분과 양분을 흡수 이용할 수 있도록 하는 유익한 점을 제공한다. 즉, 자연생태 조건에서 효과가 우수한 내생균근균(Endomycorrhizal Fungi)을 순수분리 선발하여 작물의 근권에 접종시킴으로서 뿌리의 발달이 좋지 않은 작물의 초기 생육단계에서부터 수확기까지의 생육증진은 물론 수분 및 양분의 흡수촉진, 내한발성, 내병해충성 제고 혜택을 얻을 수 있다고 알려져 있으며, 선진국에서는 몇 가지의 접종원 상품이 개발되어 시판되고 있으나 우리나라에서는 기초분야의 연구도 충분하지 않고 이에

대한 관심도 부족한 실정에 있다.

최근에는 원예작물 육묘방법도 세계적인 추세인 공정(Plug)육묘시스템으로 전환되고 있으며 국내에도 지역적으로 다수의 공장이 가동되어 있어서 이 육묘시스템에 내생균근균의 이용가능성은 충분하다고 보며, 저투입 지속가능농업과 같은 의미인 환경친화형 농업의 조기정착에 큰 역할을 담당하게 될 것이다.

따라서 본 연구진은 이상과 같은 배경에서 자연생태계 식물근권의 내생균근균 중 효능이 우수한 아버스쿨라 균근균(Arbuscular Mycorrhizal Fungi)종을 순수분리, 동정한 후 효과가 우수한 균근균의 선발 그리고 증식배양에 사용되는 기주식물의 선발 실험과 다음 단계인 대량으로 단기간에 배양 증식할 수 있는 시스템의 최적조건 등을 구명하여 원예작물의 육묘단계와 정식 및 이식단계에 이용할 수 있는 접종원 생산과 이용방법을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 과제의 연구내용은 우리나라 고유의 Arbuscular균근균(AMF)을 수집, 분리 및 동정하고 효과가 우수한 균주선발과 동시에 외국의 균주와 비교 검토하여 토착 AMF의 우수성 여부를 구명한다. 다음 단계로 우수균주의 대량증식을 위한 기초단계로서 starter culture생산에 관련된 연구와 대량증식에 필요한 증식시스템의 최적화 조건 수립, 기주식물의 선발 등이 포함되고 마지막 단계로서 실제 원예작물의 영양 번식과 육묘번식 후의 생육과 관련된 실증연구를 통해서 AMF의 효과를 확인하는 것으로서 본 연구개발의 내용과 범위를 요약하면 아래와 같다.

- 1) 기주식물 근권으로 부터 AMF의 순수분리·동정
- 2) 우수 균주의 선발과 효과확인
- 3) AMF 번식체 증식배양에 적합한 기주식물 선발

- 4) 분리된 균주의 기초배양 증식
- 5) AMF 번식체의 대량 배양증식의 최적화 구명 및 증식배양
- 6) 원예작물 및 화훼류에 대한 AMF 접종원의 접종효과 확인

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

본 연구는 육묘단계를 거쳐 본 포장으로 이식하여 재배하는 원예작물과 화훼류의 생산성 향상을 위해 국내의 우수한 토착 AMF 접종원을 분리 선발한 후 접종원 생산에 관련되는 담체선발과 이용방법 등의 확립을 목표로 하며, 생산된 접종원을 육묘단계에 종자과종과 동시에 이들을 접종함으로서 감염 후 기주식물에 주는 여러 가지 혜택의 평가를 토대로 AMF의 효과적인 이용을 유도하는데 목적을 두고 수행하였다.

가. 토착 AMF의 수집, 분리 및 동정에 관한 연구

1) 원예작물(고추, 마늘 및 양파) 주산단지

전국 고추, 마늘 및 양파 주산단지의 215지점 근권토양을 채취하여 AMF포자를 분리한 후 이들의 분포특성, 밀도 및 속종을 동정한 결과는 다음과 같다.

AMF포자밀도는 양파>마늘>고추 재배지의 순서였고 양질의 토성에서 높은 경향을 보였다. 토양화학적 특성을 감안해 보면 고추재배지의 경우 pH값이 5.0이하에서 포자밀도가 높았고, 전체적인 포자밀도 분포양상은 토양 중 유효인산 함량과는 영향이 없었으며, 토양 중 NO₃ 함량이 낮을 수록 포자밀도가 높게 나타났으며 CEC는 그 반대의 경향이였다.

AMF의 속·종 동정결과는 *Acaulospora*속, *Gigaspora*속, *Glomus*속, *Sclerocystis*속 등이 확인되었으며, 산성토양에서는 *Acaulospora*속과 *Gigaspora*속의 포자가 우점하는 경향이었고, 분리된 포자 중 균주의 종이 확인된 균주는 *Glomus*속 3종, *Gigaspora*속 2종으로 *Glomus clarum*, *G. intraradices*, *G. etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Gi. rosea* 등이었으며, 현지포장의 AMF의 감염실태는 수지상체(arbuscule)와 낭상체(vesicle), 균사(hyphae)가 모두 관찰되었고 비교적 낮은 감염율(20~40%)을 보였다.

2) 야생녹차 서식지 및 시설재배토양

야생녹차 서식지의 평균 AMF포자밀도는 건토 g당 183.8개였으며, 경남지역(145.3개/g)에 비해 전남지역(222.4개/g)의 밀도가 높았다. 시설재배지 토양은 전반적으로 포자밀도가 낮아서 건토 g당 평균 6.9개로서 야생녹차 서식지의 밀도와 대조적이었으며 경남(5.5개/g)에 비해 전남지역의 밀도(8.4개/g)가 높은 경향이였다. 그 외 나리류는 평균 22.1개/g의 밀도를 나타냈고, 장미 및 찔레는 밀도가 매우 낮아 각각의 평균밀도는 3.2개/g, 8.7개/g정도였다.

토양분석결과를 고려한 밀도분포 특성에서는 야생녹차 서식지 경우 토양 pH값이 높아짐에 따라 밀도가 다소 감소되는 경향이며, 토양유기물 함량이 증가함에 따라서 포자수가 증가되었다. 시설재배지의 경우는 토양 pH가 상승함에 따라 포자수가 약간 증가되었고 유효인산과 토양유기물 함량에서는 일정한 경향이 없었다.

AMF속별 분포양상을 보면 야생녹차 서식지에서 낮은 pH로 인해 *Acaulospora*속, *Gigaspora*속 및 *Scutellospora*속이 우점하였고, 시설재배지 토양에서는 *Glomus*속과 *Gigaspora*속이 많이 관찰되었으며 원추리 서식지(지리산 노고단)에서는 *Glomus*속과 *Acaulospora*속이 많았다.

나. 수집 토착 AMF 균주의 유묘접종효과

전국 71개 면의 고추, 마늘 및 양파재배 주산단지에서 수집 분리한 토착 AMF 포자를 35~40 spores/ml/plant 정도의 포자밀도로 멸균수에 희석한 후 토마토와 고추에 각각 접종하여 유묘 성장반응을 조사한 결과는 다음과 같다.

토마토의 경우 총 71개 지역 시료중에서 식물체의 초장과 건물중에서 유의적인 성장촉진 효과를 보이는 AMF는 5개 지역(전남 해남군 황산면과 산이면, 전남 영광군 영광읍, 경북 안동시 임동면, 충북 괴산군 문광면)에서 분리한 포자였으며, AMF를 접종처리 함으로서 식물체내 N, P, K, Fe 및 Zn 등의 무기양분 흡수가 증가되었다.

고추에 대한 AMF접종효과에서 지상부생체중과 건물중 증가를 보이는 지역은 9개 지역(전남 해남군 황산면, 경북 안동시 임동면, 전북 정읍시 태안읍, 전북 완주군 고산면, 경북 의성군 봉양면과 옥산면, 경북 김천시 구성면, 충남 서산시 부석면, 충북 괴산군 청청면)으로 통계적 유의성을 나타냈다.

고추와 토마토 유묘단계에서 동시에 두 작물의 생육증진에 영향을 미치는 처리는 전남 해남군 황산면과 경북 안동시 임동면의 2개 지역에서 분리한 AMF였으며 고도의 유의성이 인정되었다.

다. 우수균주 탐색선발, 증식 및 동정에 관한 연구

1) 우수 AMF탐색선발 연구

원예작물 주산단지에서 예비 선발된 경북 김천시 구성면 등 9개 지역의 토착 AMF를 수단그라스와 결명자를 기주식물로 하여 외국의 상품화된 접종원과의 접종효과 비교실험을 통해 국내 우수 토착균주를 탐색 선발하였다.

수단그라스에 대한 접종효과실험에서 보면 전체 처리구중에서 전남 고흥군 점암면에서 분리한 균주가 무접종구나 도입균주에 비해 가장 좋았으며, 무접종구나 도입균주에 비해 초장, 엽수, 지상부생체중 및 건물중, 엽록소함량 등의 성장반응이 좋았

던 토착 AMF는 5개 지역에서 분리된 포자로 전남 고흥군 점암면, 경북 김천시 구성면, 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 고대면, 경북 안동시 임동면 등이었다.

결명자 경우에는 토착 균주 중 충남 당진군 면천면에서 분리한 포자에서 기주생장이 가장 좋았고, 도입균주 중에서는 Pro-Mix가 생장이 가장 좋았다. 도입균주와 비교하여 생장이 좋은 지역의 AMF포자는 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 면천면, 전남 해남군 산이면 등 3개 지역에서 분리한 균주였으며, 외국 도입 균주에 비해 수단그라스와 결명자의 생장을 동시에 증진시키는 AMF는 강원도 영월군 영월읍에서 분리한 AMF포자였다.

2) 선발균주 재증식

'98년도 1년차 연구에서 예비 선발된 국내 9개 지역의 토양을 다시 채취하여 기주식물(수단그라스와 결명자)에 접종 증식한 결과 우점하고 있는 AMF포자의 형태적 특징과 밀도변화를 조사하였다.

포자밀도 변화를 보면 수단그라스를 기주식물로 이용한 경우 건토 g 당 증식된 포자밀도를 보면 경북 안동시 임동면 지역의 균주 포자가 225개 정도로 가장 많았고, 전남 해남군 황산면(169.8개/g) > 충남 당진군 면천면(140.5개/g) > 강원도 영월군 영월읍(106.8개/g) > 충남 당진군 고대면(99.8개/g) 등의 순으로 나타났다. 결명자의 경우에는 전남 고흥군 점암면(161.7개/g) > 전남 해남군 산이면(153.2개/g) > 충남 당진군 면천면(134.0개/g) > 강원도 영월군 영월읍(120.0개/g) 등의 순으로 높았으며 기주식물에 따라 다소 차이를 보였다.

기주식물 뿌리의 AMF 감염율은 충남 당진군 면천면 지역으로부터 분리한 AMF 처리시 84.7% 정도로 가장 높았으며, 강원도 영월군 영월읍(47.4%)과 전남 고흥군 점암면(45.8%)을 제외하고는 전반적으로 50% 이상의 높은 감염율을 보여 향후 이들을 이용한 접종원의 개발 가능성이 높은 것으로 확인되었다.

3) AMF 동정결과

선발된 9개 지역의 국내토착 AMF 균주 동정결과 총 6개의 AMF 속·종이 동정되었다. 국내토착 AMF 균주 중에서 전반적으로 *Glomus viscosum*이 가장 많이 우점하고 있었으며, 그 외에도 *A. morrowiae*, *G. clarum*, *G. mosseae* 등이 우점하였으며, *G. intraradices*, *G. koskei* 및 *G. leptotichum* 등은 극히 적은 밀도로 분포하고 있는 것을 확인하였다.

라. AMF 증식배양에 관한 연구

1) AMF의 기초 배양증식

선발된 국내토착 AMF 균주를 기초배양증식하는 방법으로서 Funnel Technique를 이용한 개체포자의 접종밀도별 Pot 증식실험과 *in vitro*에서 Ri t-DNA 기법을 이용하여 AMF 번식체를 배양증식하는 실험을 수행하였다.

개체 포자의 Pot증식실험에서 초기에는 포자 1개와 5개 접종이 10개 및 50개 접종처리보다 기주식물의 biomass생장량이 적은 경향이 뚜렷하였으나 생육이 진전됨에 따라서 처리간에 식물생장 차이가 적어지는 결과를 보였다. 전반적으로 접종하는 포자수가 많을 수록 식물체 biomass량이 많아지고 감염을 또한 높아지는 경향이 있었다.

개체포자의 접종밀도에 따른 포자생산량을 보면 포자접종밀도가 높아짐에 따라 포자생산량도 많아지는 경향을 보였다. 포자수 1개와 5개 접종처리구의 경우 포자생산밀도는 10개 미만이었으며, 10개와 50개 접종시에는 각각 평균치가 25개와 40개 정도의 수준으로 AMF포자형성이 많은 것으로 나타났다

*In vitro*에서 Ri t-DNA 기법을 이용한 AMF 번식체 증식에 관한 연구에서 포자 접종에 필요한 포자표면 살균효과로는 Chloramine T 2% + Tween 80/two drops(20분) 처리와 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm(20분)의 살균처리가 오염제거에 가장 효과적이었다. Pot배양한 AMF감염 기주식물의 뿌리절편의 대치배양

(Dual culture)으로 형성된 포자의 크기는 약 50 μ m 정도였고, 포자형태는 원형 또는 타원형의 포자가 균사의 중간부위에 형성되었으며, 12주 동안의 배양결과 Petri dish(9cm ϕ)당 약 1,200개 정도의 포자가 형성되었다.

2) 접종원 대량 배양증식의 최적화 기술

용기배양 기주식물 선발을 위한 AMF 감염율은 부추 > 질경이 = 바랭이 > 콩 \geq 수단그라스 등의 순이었으며, AMF포자밀도는 바랭이(68포자)>수단그라스=콩(20~25포자)>질경이(5개 포자)의 순서로 낮아졌고, 포자 생산 면에서 가장 좋은 배양토는 vermiculite(8) : 발 토양(1): perlite(1) 혼합토양이었다.

분무경배양에서 AMF 접종원 생산을 위한 기주식물 선발은 고구마와 토마토가 분무경재배에 비교적 적합한 것으로 판단되었으며, 인산(P)농도별 AMF 번식체 생산은 P 5 μ M보다 10 μ M과 20 μ M에서 양호하였으며 뿌리 생체중 1g당 586 \pm 93개의 포자가 형성되었다.

3종류의 분무방법(Aerosol 노즐, Jet spray 노즐 및 Mist 노즐)별 비교실험에서는 양액의 입자가 미세하여 뿌리생장에 양호한 Jet spray노즐이 가장 양호한 것으로 보였다.

광량별 실험에서 하절기의 AMF 접종원 생산 시설내의 온도상승을 막기 위해 차광망을 설치할 경우 시판 50%차광막 1겹정도가 적당하였으며, 비닐하우스내 1겹의 차광막 빛의 광량은 777.9 μ mol/m²/sec 였다.

마. 원예작물에 대한 AMF 접종효과에 대한 연구

몇 가지 원예작물의 실생번식과 영양번식이 포함된 육묘단계와 오이와 방울토마토 고형배지경 양액재배에서 AMF접종처리에 대한 성장과 수량반응을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 원예작물 육묘

육묘단계를 거쳐 재배하는 오이, 토마토, 고추 및 가지와 조직배양으로 생산된 백합종구에 대하여 AMF 접종효과를 확인하였다. 오이 외 3종의 종자과종시 AMF 접종원을 접종한 결과 대조구에 비해 육묘생장이 향상되었고 전반적으로 접종처리 후 2주를 전후하여 가시적으로 차이를 확인할 수 있었다. 그러나 오이와 토마토에 비해서 고추와 가지 육묘는 다소 완만한 반응을 보이는 경향이었다.

2) 조직배양한 백합종구

조직배양에 의해 생산된 백합종구에 AMF를 접종처리하므로서 종구의 비대속도가 빨랐으며 특히 주근장과 종구생체중 증가에서 고도의 유의적인 차이가 인정되었고, 통계적 유의차는 인정되지 않았으나 엽록소 함량증가를 보였다.

3) 고품배지경 국화재배

국화(백광)의 고품배지경 양액재배에서 AMF 접종원을 삽목시와 정식기에 각각 접종한 후 무접종처리와 비교하여 국화의 육묘생산, 정식 이후의 성장반응 및 절화 품질에 대한 실험을 하였다.

삽목한 국화 삽수의 육묘소질을 보면 접종 후 2주일부터 주근장과 측근수에서 차이를 보이기 시작하였으며, 3주일 후 육묘의 측근수와 주근장의 증가가 뚜렷하였고, 육묘 활착비율도 AMF 무접종(76.9%)에 비해 AMF접종처리(99.9%)가 높았다.

정식시의 처리별 육묘소질은 초장, 측근수 및 주근장 등에서 유의성있는 차이를 보였다. 또한 AMF 접종처리의 정식 후 9주째 성장반응은 고도의 유의성 있는 초장 증가를 보였고, 그 외 엽면적과 건물중 등에서 유의성 있는 차이를 나타냈다. 식물체 분석결과 AMF 접종처리가 인산을 비롯한 무기성분 흡수가 증진되었으며, 국화의 개화시기도 AMF 접종처리가 빨라져서 무접종처리인 대조구는 112일 소요되는 반면 삽목시와 정식시 접종이 무접종에 비해 각각 14일과 9일을 앞당길 수가 있었고, 절화의 품질 면에서 AMF 접종처리에서 꽃의 크기, 무게 및 꽃잎수 등의 증가가 인정

되었다.

이상의 실험 결과로 국화 삽목시부터 AMF를 접종함으로서 유묘 성장촉진은 물론 정식 후의 생육증진으로 인해 개화시기 단축 및 절화 품질의 향상이 가능한 것으로 확인되었으며 삽목시부터 접종처리하는 것이 가장 바람직하였다.

4) 포도, 장미 및 방울토마토의 영양번식

캠벨 어얼리와 거봉 품종의 포도 삽목시에 AMF 접종처리 함으로서 생산된 유묘의 엽수, 초장 및 발근율, 건물중, 엽록소 함량 등에서 통계적으로 유의성있는 차이를 보였고, 정식후의 묘목의 활착은 효과적이었으며 품종별 AMF 효과는 거봉에 비해 캠벨 어얼리가 더 좋았다.

방울토마토 측지를 이용한 삽목실험에서 종자과종과 비교하여 삽목 하는 것이 유묘일수를 1/2로 앞당길 수 있었으며 방울토마토의 초장, 엽수, 건물중 등에서 2배 이상의 차이가 나타났다. 또한 삽목배지별 생육특성을 보면 시판상토(2) : 모래(1) : 코코피트(1) 혼합비가 가장 효과적이었고, 배지 종류별 AMF 접종효과를 보면 코코피트와 모래 단독배지가 효과가 양호하였다.

삽목 장미에 있어 AMF 접종효과는 삽목시 접종 > 정식시 접종 > 무접종의 순으로 엽수, 엽록소 함량, 생체중 및 건물중 증가로 보였고 정식후의 생육상태에서도 엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중에서 고도의 유의적인 증가를 나타냈다.

5) 오이와 방울토마토의 양액재배

오이와 방울토마토를 고행배지경 양액재배에서 AMF 접종원을 파종시와 정식시에 각각 접종한 후 무접종처리와 비교하여 유묘특성과 정식 이후의 성장반응과 수량성을 검토하였다.

AMF 접종원 유무에 따른 오이와 방울토마토 유묘의 특성은 AMF 접종원 처리가 무접종처리 보다 생육이 양호하였는데, 접종원 처리구가 무접종 처리구 보다 초장, 엽수, 엽면적, 건물중 등에서 차이를 보였고, 방울토마토 유묘의 경우가 접종원

처리효과가 뚜렷하였다.

AMF 접종시기별(무접종, 과중시 접종, 정식시 접종)에 따른 오이와 방울토마토 초기 성장반응에서 초장, 엽수, 엽면적, 건물중에서 무접종처리 < 정식시 접종 < 과중시 접종 순으로 양호한 경향이었으며, 과장이나 과경은 큰 차이를 보이지 않았으나, 과중은 과중시 접종이 가장 높게 나타났고, AMF접종원 처리에서 당도가 높은 경향이였다.

2. 활용에 대한 건의

세계적으로 균근균에 대한 관심은 경이적으로 높아서 연구인력과 재정이 풍부한 선진국을 중심으로 활발한 연구가 수행될 것이다. 현재까지 밝혀지고 축적된 기술 수준으로는 일차적으로 육묘단계를 거쳐 포장으로 이식하거나 시설재배(유리온실 등)조건에서 재배되는 작물과 화훼류에 대한 적용이 가장 잠재력이 있는 것으로 알려지고 있다. 그 이유로서는 효과가 우수한 접종원을 선발증식하여 기주작물에게 접종하는데, 적은 양의 접종원으로 육묘단계에서 감염시켜 초기생육 중기나 후기에 그 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 우리 나라에서도 화훼류 종구생산이나 묘상에서 육묘한 후 본답으로 옮겨 심는 작물 그리고 고품배지를 이용한 양액재배시 응용할 수 있는 가능성이 있으며 공정육묘 생산공장의 육묘시스템에 균근균 접종원을 접목시킨다면 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

더구나 균근균의 혜택 중 인산흡수 증진효과가 가장 뛰어나기 때문에 유효인산함량이 낮은 토양 즉 신개간지 등에 이용이 기대된다. 따라서 국가가 지원하는 연구기관이나 대학의 관련전문가로 하여금 AMF접종원을 생산하여 농업인에게 생산원가로 공급하는 체제구축이 필요하며, 생산된 AMF접종원의 유통기간을 연장하기 위한 담체와 보조첨가제의 연구개발이 부차적으로 해결되어야 한다.

여 백

SUMMARY

I . Collection, isolation and identification of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi(AMF)

1. Cultivated area of hot pepper, garlic and onion

Two hundred and fifteen soil samples were collected from rhizosphere of hot pepper, garlic, and onion growing at field. AMF spores were isolated and identified. Density of AMF spores was the highest in onion rhizosphere, followed in sequence of garlic > pepper where loamy contained more spores than other soils. Density of AMF spores was high around pH 5 and correlated with CEC. However, density of AMF spores was reversely correlated with NO_3^- concentration. The available P concentration did not affect density of AMF spores.

AMF spores of *Acaulospora*, *Gigaspora* (*Gi. margarita* and *Gi. rosea*), *Glomus* (*G. clarum*, *G. intraradices*, and *G. etunicatum*) and *Sclerocystis* sp. were generally identified. In acid soils, *Acaulospora* and *Gigaspora* were dominant. Colonization rate was 20-40%, and arbuscule, vesicle, and hyphae were observed in infected roots of host crops.

2. Habitat areas of wild green tea and greenhouse soils

the density of AMF spores in rhizosphere of wild green tea was 183.8 spores/g dried soil, and soil in Kyungnam Province contained more spores than that in Chonnam Province. In Greenhouse soil, density of AMF spore was very low(6.9 spores/g dried soil) where spore density in Chonnam Province (8.4

spores/g dried soil) was higher than that in Kyungnam Province. Spore density in soil growing lily, rose, and wild rose was 22.1, 3.2, and 8.7 spores/g dried soil, respectively.

In the habitat districts of wild green tea, density of AMF spores was reversely correlated with pH value, but correlated with soil organic matter content. In greenhouse soil, density of AMF spores was correlated with pH value, but organic matter content in soil did not affect density of AMF spores.

In field growing wild green tea, *Acaulospora*, *Gigaspora* and *Scutellospora* were dominant possibly due to low pH value in soil. In greenhouse soil, *Glomus* and *Gigaspora* occurred dominantly, and in the habitat of day lily, *Glomus* and *Acaulospora* were dominantly observed.

II. Effect of indigenous AMF inoculation on seedling growth

Spores which were isolated from rhizosphere of hot pepper, garlic, and onion in 71 counties were washed and diluted by distilled water. 5 ml of diluted sample including 35-40 spores was inoculated to each plant (tomato and hot pepper). Inoculation of AMF spores isolated from 5 counties (Youngkwang, Youngkwang, Andong Imdong, Gwesan Munkwang, Haenam Hwangsan and Sani) out of 71 counties showed increased height, dry weight and absorption of mineral nutrients (N, P, K, Fe and Zn) in tomato plants.

In hot pepper plant, fresh weight and dry weight significantly increased in inoculation of spores isolated from 9 counties compared to those in other counties. In both hot pepper and tomato, inoculation of spores isolated from 2 counties (Haenam Hwangsan, Andong Imdong) significantly increased host plant growth.

III. Selection, identification and culture of superior AMF spores

1. Selection of superior AMF spores

This study was to select superior indigenous AMF spores from rhizosphere soil in Korea by comparing effect of AMF spores isolated from 9 counties on Sudan grass and Cassia plant with that of commercial AMF spores purchased from abroad.

Effect of AMF spores isolated from Koheung Jeomam county on plant height, leaf number, fresh weight, dry weight, and chlorophyll content of Sudan grass was better compared to control, and commercial inoculant. Effect of AMF spores isolated from Myeonchun county among indigenous isolates on Cassia plant growth was best, whereas that of Pro-Mix[®] showed better result among several commercial inoculants of abroad.

Inoculation of AMF spores isolated from 3 counties (Youngwol youngwol, Dangjin myunchon and Haenam sani) showed higher plant growth compared to commercial AMF inoculum purchased from USA. Inoculation of AMF spores isolated from Youngwol youngwol county increased in plant growth of two hosts.

2. Multiplication of selected AMF spores

Soil samples were recollected from nine counties where superior AMF spores had been isolated, and Sudan grass was planted in the soil samples to multiply AMF spores.

Density of AMF spores in rhizosphere of Sudan grass was the highest in Andong imdong county (225 spores/g dried soil), followed in order of Haenam

Hwangsan (169.8 spores/g dried soil) > Dangjin Myunchon(140.5 spores/g dried soil) > Youngwol Youngwol(106.8 spores/g dried soil) > Dangjin Godae(99.8 spores/g dried soil). In case of Cassia plant, density of AMF spores was high in sequence of Koheung Jeomam(161.7 spores/g dried soil) > Haenam Sani(153.2 spores/g dried soil) > Dangjin Myunchon(134.0 spores/g dried soil) > Youngwol Youngwol(120.0 spores/g dried soil).

The colonization rate of host plant roots was more than 50% except AMF spores isolated from Youngweol youngwol(47.4%) and Koheung Jeomam(45.8%). The highest colonization rate was 84.7% in host plants with AMF spores isolated from Dangjin Myunchun county.

3. Identification of AMF

As result of identification of AMF spores from 9 counties in korea, *Glomus viscosum* was predominant and spores of *A. morrowiae*, *G. clarum*, and *G. mosseae* were also dominant. However, spore density of *G. intraradices*, *G. koskei* and *G. leptotichum* was very low.

IV. Multiplication and culture of AMF spore

1. Preliminary propagation of AMF spore

Superior AMF spores selected from indigenous AMF spores were multiplied by Funnel Technique and Ri t-DNA *in vitro* for preliminary propagation.

Inoculation with 10~50 spores showed more vigorous plant growth than that with 1~10 spores. However, the differences were diminished with the time. In general, increased plant biomass was observed in inoculation with more spores,

and infection rate of mycorrhizal root also increased.

As the density of inoculant increased, the number of spores produced in rhizosphere of host plant increased. Inoculation with 1~5 spores produced less than 10 spores, while inoculation with 10 and 50 spores produced 25 and 40 spores, respectively.

The most effective treatments were Chloramine T 2% + Tween 80/2 drops(20 min), and Streptomycin 200 ppm + Gentamycin 100 ppm(20 min.) for sterilization of spore surface *in vitro*. Propagated spore by dual culture with Ri t-DNA transformed root was about 50 μm in diameter, and globose or subglobose in shape. At 12 weeks after inoculation of spores, about 1,200 spores were produced per petridish (9cm ϕ).

2. Optimized methods for mass production of AMF propagule

In selection of proper host plant for open pot culture, the order of colonization rate was leek > common plantain = crabgrass > soybean \geq sudangrass and the order of spore density was crabgrass(68 spores) > sudangrass = soybean (20~25spores) > common plantain(5 spores). The mixing ratio of the best blended medium for spore production was vermiculite : loamy upland soil : perlite = 8 : 1 : 1 in volume.

Sweet potato and tomato as host plants was best for AMF inoculant production by aeroponic culture. Spores were less produced in 5 μM phosphorus than in 10 or 20 μM phosphorus where 586 ± 93 spores/g fresh root were produced. Jet spray nozzle with fine spray system was better than aerosol and mist nozzle for AMF spore production.

In the trial of artificial shade for host plant growth and AMF spore production, the most suitable shade material was 1 layer commercial shade net

(50% shade) which is used to prevent temperature from rising in growth chamber ($777.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$).

V. Inoculation effect of AMF in horticultural crops

Responses to growth and yield of some mycorrhizal crops involved with the nursery stage and solid medium culture were investigated.

1. Inoculation effect of AMF in nursery stage of horticultural crops

Inoculation effect of AMF propagule in cucumber, tomato, hot pepper and egg plant seedling grown for seedling raising stage and micropropagated lily bulb were identified.

Growth response of 4 horticultural crops inoculated with AMF at seeding time was better than non-inoculated one. In overall observation, the visual differences in growth response of arbuscular mycorrhizal crops appeared about 2 weeks after AMF inoculation, however AMF inoculation effect on the seedling of hot pepper and egg plant showed somewhat late responses compared to cucumber and tomato plant.

2. Inoculation effect of AMF in micropropagated lily bulb

With inoculation of AMF to micropropagated lily bulb, enlargement of lily bulb was much faster than non-inoculated bulb, especially the increment of top root length and bulb fresh weight of mycorrhizal lily showed highly significant differences, and chlorophyll content in lily leaves increased although there was no

significant difference.

3. Inoculation effect of AMF in chrysanthemum grown by solid medium culture

This studies were conducted to evaluate the seedling production by cuttage, growth response after transplanting and quality of cut flower of solid medium cultured *Chrysanthemum inorifolium* (Ramat) inoculated with AMF in stage of cutting and transplanting, respectively.

Cutting of chrysanthemum inoculated with AMF showed better length of main and lateral root compared to non-mycorrhizal one(control). Significant difference of main and lateral root length between cuttings inoculated with AMF and control was shown 3 week after cutting. Rooting percent of seedling was 99.1% in mycorrhizal cuttings, while rooting percent of seedling in control was 76.9%.

Plant height, number of lateral root and top root length in the mycorrhizal seedling showed significant increment compared to nonmycorrhizal one. Seedling of chrysanthemum inoculated with AMF significantly increased plant hight at 1% level of signficance, and leaf area, and dry weight of seedling at 8 weeks after transplanting showed significant difference at 5% level compared to control.

Inorganic nutrients(especially P) uptake in chrysanthemum plant more increased in AMF treated plots compared to control. 112 days was taken for flowering stage in control, while 104 and 98 days were taken in transplanting time and cutting time inoculated with AMF, respectively.

Above results indicated that AMF inoculation to cutting of chrysanthemum at cutting stage seems to increase plant growth, reduce flowering time, and improve quality of cut flower by stimulating plant growth before and after transplanting.

4. Inoculation effect of AMF in vegetative propagation of grape, tomato and rose

Inoculation effect of AMF in grape cuttage at cutting stage resulted in significantly increased leaf number, plant hight, rooting percentage, dry weight, and chlorophyll content in leaves of rooted cutting compared to control. After transplanting, survival percent was also better in inoculation of AMF than control. When rooting percentage of grape cutting between plant species was compared, Cambell Early was better than Geobong.

Cutting with lateral shoot of tomato reduced two times more nursery period, and increased two times more plant height, leaf number, and dry weight compared to control. The most suitable mixture of bed medium was commercial compost(1) : cocopeat(1) : sand(1) in volume for plant growth. When each medium was used, cocopeat and sand was better than compost.

Inoculation effect of AMF to cutting of rose on leaf number, leaf area, fresh weight, and dry weight was in sequence of cuttting stage inoculation > transplanting stage inoculation > control. In growth response after transplanting, the leaf number, leaf area, fresh weight, and dry weight of rose plantlet showed highly significant increment.

5. Inoculation effect of AMF in cucumber and tomato grown by solid medium culture

This study was conducted to investigate the seedling characteristics, the growth response after transplanting and yield of cucumber and tomato inoculated with AMF at seeding and transplanting stage in solid medium culture.

In the seedling characteristics of cucumber and tomato, plant height, number of leaves, leaf area and dry matter weight increased in AMF inoculation treatment. Response to mycorrhizal tomato was more greater than that of cucumber.

Plant height, number of leaves, leaf area and dry matter weight at the early growth stage of mycorrhizal cucumber and tomato were improved in order of seeding stage inoculation > transplanting stage inoculation > control. The length and diameter of fruit did not show any differences. however, fruit weight of 2 inoculated crops were high at seeding stage inoculation. The Brix % of fruits in AMF inoculated tomato was high significantly.

여 백

CONTENTS

SUMMARY	15
CONTENTS	25
Chapter 1. Introduction	33
Section 1. Purpose and extent of study	33
Section 2. Necessity of research and development	35
Section 3. Present situation and problems related techniques	36
Chapter 2. Collection, isolation and identification of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi(AMF)	41
Section 1. Introduction	41
Section 2. Materials and methods	42
1. Chief producing districts of pepper garlic and onion	42
2. Wild green tea, greenhouse soils and etc	51
Section 3. Results and discussions	53
1. Chief producing districts of pepper garlic and onion	53
2. Wild green tea, greenhouse soils and etc	90
Section 4. Summary	116

Chapter 3. Effect of indigenous AMF inoculation of seedling growth	119
Section 1. Introduction	119
Section 2. Materials and methods	120
Section 3. Results and discussions	122
Section 4. Summary	131
Chapter 4. Selection, identification and culture of superior AMF	133
Section 1. Introduction	133
Section 2. Materials and methods	134
1. Selection of superior AMF	134
2. Identification and culture of selected AMF	136
Section 3. Results and discussions	138
1. Selection of superior AMF	138
2. Identification and culture of selected AMF	167
Section 4. Summary	180
Chapter 5. Multiplication and culture of AMF propagule	183
Section 1. Introduction	183
Section 2. Materials and methods	185
Section 3. Results and discussions	193
Section 4. Summary	228
Chapter 6. Inoculation effect of AMF in horticultural crops	231
Section 1. Introduction	231
Section 2. Materials and methods	232
1. Inoculation effect of AMF in nursery stage of horticultural crops ..	232

2. Inoculation effect of AMF in micropropagated lily bulb	233
3. Inoculation effect of AMF in chrysanthemum grown by solid medium culture	234
4. Inoculation effect of AMF in vegetative propagation of grape, tomato and rose	236
5. Inoculation effect of AMF in cucumber and tomato grown by solid medium culture	237
Section 3. Results and discussions	239
1. Inoculation effect of AMF in nursery stage of horticultural crops	239
2. Inoculation effect of AMF in micropropagated lily bulb	245
3. Inoculation effect of AMF in chrysanthemum grown by solid medium culture	248
4. Inoculation effect of AMF in vegetative propagation of grape, tomato and rose	263
5. Inoculation effect of AMF in cucumber and tomato grown by solid medium cuculture	272
Section 4. Summary	280
REFERENCES	283

여 백

목 차

제 출 문	1
요 약 문	3
SUMMARY	15
CONTENTS	25
목 차	29
제 1 장 서 론	33
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	33
제 2 절 연구개발의 필요성	35
제 3 절 국·내외 관련기술의 현황과 문제점	36
제 2 장 토착AMF의 수집, 분리 및 동정에 관한 연구	41
제 1 절 서 설	41
제 2 절 연구수행내용 및 방법	42
1. 고추, 마늘 및 양파 주산단지	42
2. 야생녹차, 시설재배지 및 기타	51
제 3 절 연구결과 및 고찰	53
1. 고추, 마늘 및 양파 주산단지	53
2. 야생녹차, 시설재배지 및 기타	90

제 4 절	결 과 요 약	116
1.	원예작물 고추, 마늘 및 양파 주산단지	116
2.	야생녹차 서식지 및 시설 재배토양	117
제 3 장	수집 AMF균주의 유묘접종효과	119
제 1 절	서 설	119
제 2 절	연구수행 내용 및 방법	120
1.	생물적 재료	120
2.	접종방법	121
3.	접종효과 해석방법	121
4.	감염특성 조사	121
제 3 절	연구결과 및 고찰	122
1.	토마토 유묘 접종효과	122
2.	고추 유묘에 대한 접종효과	126
제 4 절	결 과 요 약	131
제 4 장	우수 균주의 탐색선발과 선발균주 증식 및 동정에 관한 연구	133
제 1 절	서 설	133
제 2 절	연구수행내용 및 방법	134
1.	우수균주 탐색선발	134
2.	선발균주의 증식과 동정	136
제 3 절	연구결과 및 고찰	138
1.	우수 토착균주의 탐색선발	138
2.	선발균주의 증식과 속동정	167
3.	선발지역 AMF의 속·종 동정	172
제 4 절	결 과 요 약	180

제 5 장 AMF 증식배양에 관한 연구	183
제 1 절 서 설	183
제 2 절 연구수행 및 방법	185
1. AMF의 기초 증식배양	185
2. AMF접종원 대량배양 증식의 최적화 기술	188
제 3 절 연구결과 및 고찰	193
1. AMF의 기초 배양 증식	193
2. AMF접종원 대량 배양증식의 최적화 기술	205
제 4 절 결 과 요 약	228
1. 선발균주의 기초배양증식	228
2. 접종원 대량 배양증식의 최적화 기술	229
제 6 장 원예작물에 대한 AMF 접종효과	231
제 1 절 서 설	231
제 2 절 연구수행내용 및 방법	232
1. 원예작물 육묘 단계의 AMF 접종효과	232
2. 조직배양 백합종구에 대한 AMF 접종효과	233
3. 고품배지 국화재배에서 AMF 접종효과	234
4. 포도, 방울토마토 및 장미의 영양번식에서 AMF 접종효과	236
5. 오이와 방울토마토 고품배지 재배에서 AMF 접종효과	237
제 3 절 결 과 및 고찰	239
1. 원예작물 육묘단계의 AMF 접종효과	239
2. 조직배양 백합종구에 대한 AMF 접종효과	245
3. 고품배지 국화재배에서 AMF 접종효과	248
4. 포도, 방울토마토 및 장미의 영양번식에서 AMF 접종효과	263
5. AMF 접종 처리에 따른 오이 및 방울토마토의 육묘생장 반응	272

제 4 절 결 과 요 약	280
1. 원예작물 육묘	280
2. 조직배양 백합종구	280
3. 고품배지경 국화	281
4. 포도, 장미 및 방울토마토의 영양번식	281
5. 오이와 방울토마토의 양액재배	282
참 고 문 헌	283

제 1 장

서 론

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

본 연구는 육묘단계를 거쳐 본 포장으로 이식하여 재배하는 원예작물과 화훼류에 대하여 우수한 토착 AMF의 접종원을 분리선발 후 접종원을 생산과 접종원 생산과 관련되는 담체선발과 이용방법 등의 확립을 목표로 하며, 생산된 접종원을 육묘단계에 종자파종과 동시에 이들을 접종함으로서 감염 후 기주식물에 주는 여러 가지 혜택의 평가를 토대로 AMF응용을 유도하는데 목적이 있다.

2. 연구개발의 범위

가. 토착 AMF균주 수집·분리·동정

충청, 전라, 경상도 지역의 원예작물 주산단지 토양을 중심으로 기주작물 근권토양을 채취하여 균근균 포자를 wet sieving방법으로 분리해 내고, 현미경하에서 종, 속별로 선별하여 동정, 배양 및 우수균주 선발단계의 실험에 이용.

나. 우수 균주의 탐색선발

속 및 종별로 확보된 균주와 외국으로부터 분양한 균주와 비교하면서 기주식물에 접종하여 3-4개월 간의 Biomass증가량과 양분흡수량을 비교하여 우수 균주를 선발.

다. 분리·선발된 균주의 기초배양 증식

수집한 균주를 환경이 조절된 비닐하우스 안에서 기주식물에 접종하고, 치상 한 후 6개월 간의 1차 기초배양증식을 통해 대단위 배양증식에 필요한 균주의 확보.

라. 대량 배양증식법의 최적화 구명 및 확립과 접종원 증식배양

현재까지 알려진 증식배양방법 중 Pot배양 시스템과 양액분무방식(Aeroponic culture)을 대상으로 배양증식 시스템의 최적화 방안을 구명하기 위해 양액조성 및 분무방법 등을 비교하여 기 선발된 증식용 기주식물을 적용하여 결과를 비교평가.

마. 원예작물 및 화훼류의 초기생육에서 AMF 접종효과 확인

앞 시험결과 조제된 시제품의 접종원을 고추와 토마토의 육묘단계에 접종효과를 확인하고, 화훼류인 장미 및 국화 등의 고품배지 양액재배의 초기생육에 미치는 영향을 파악하기 위해 언급된 공시 기주작물에 접종하여 성장반응 등을 조사하여 AMF접종효과 확인.

바. 연차별 연구개발의 내용

구분	연구개발목표	연구개발 내용 및 범위
1차 년도 (1997)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토착 균근균 수집분리 및 동정 ○ 국내 수집균주의 유묘접종효과 확인 ○ 우수균주 탐색선발 	<ul style="list-style-type: none"> ① 지역권역별(충청, 전라 및 경상도) 작물(고추)로 부터 AMF 수집 및 속, 종별 수집, 순수분리 및 동정과 생태특성 구명 ② 국내 수집균주를 1차 분리하여 작물육묘 적용효과 확인실험
2차 년도 (1998)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토착 균근균 수집분리 및 동정 ○ 균근균의 접종효과 확인 ○ 우수균주 선발 ○ 분리·선발된 균주의 기초 배양 증식 ○ 대량 배양증식법 최적화와 증식배양에 대한 계획제시 	<ul style="list-style-type: none"> ① 1차년도 사업의 계속한 시험과 균주의 초기 배양·증식(starter culture) 단계로 funnel technique와 pot culture를 병행한 균근균 번식원 1차 증식배양 실험 ② 우리나라 농업환경에 적합한 균주의 대량 배양증식과 최적화 조건 구명 (주로 open pot culture와 aeroponic culture technique를 중심으로 검토함)
3차 년도 (1999)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1, 2차년도 연구내용 중 보완부분 수행 ○ 원예작물 및 화훼류 육묘와 번식단계에서 arbuscular 균근균 접종효과 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ① 원예작물 초기생육에 대한 AMF 접종효과 확인구명 ② 양액재배 원예작물(오이)에 AMF 접종효과 연구 ③ 화훼류(장미 및 국화)에 대한 arbuscular 균근균 접종효과 확인구명

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

내생균근균인 AMF를 농업생산에 이용하려는 선진국들의 노력은 대단하다. 현재 영국, 미국, 캐나다 및 일본 등지에 균근균 관련 접종원 제품이 상품화되고 있으며 장차 이들 제제의 국내 유입에 적극적으로 대응한 기술개발의 필요성은 재론할 여지가 없다. 오랫동안 우리 농업생태 환경에 적응해 온 AMF들을 선발, 그 생리·생태적 특성을 밝혀내고 우리 실정에 적합한 기술을 확립, 개발하여 이용해야 한다. 따라서 본 과제에 대한 기술적 측면에서 연구의 필요성은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 우리 고유의 생태적 친화성과 농업생태 교란우려 방지
- AMF의 접종원 개발에 대한 독자적 기술확보
- AMF에 대한 반응이 좋은 원예작물과 화훼류의 내병해성, 생산성 및 품질 향상 제고
- AMF에 관련된 외국산 제품의 국내잠식 미연에 방지
- 국내고유 토착미생물 이용제고의 촉진
- 생물적 자원인 유용미생물의 혜택을 농업에 이용함으로써 저투입 농업경영이 가능하여 환경친화형 농업의 조기정착을 위해 필요

2. 경제 산업적 측면

우리의 농업경영실태는 세계적으로 집약농업의 표본이 되고 있다. 과도한 농업자재의 투입으로 수익성이 높지 못하고, 많은 농약과 비료는 환경오염과 염류집적과 같은 생산환경의 악화를 유발시켜 작물의 생육장소로서의 토양의 기능을 잃게 하고 있다. 농업생산성을 향상시켜 농산물의 자급은 물론 대내·대외 경쟁력을 높여야 함은 자명한 일이다. 효과가 우수한 토착 AMF 접종원을 원예작물이나 화훼의 건전육묘와 생산성 및 품질 향상을 위해 이용될 때 농업자재와 생산물의 자급과 국제경쟁력 제고에 크게 공헌할 것이며 여기서 발생하는 이익은 농민의 것이요 곧 우리들

의 몫이 될 것이다. 이와 같은 배경에서 경제·산업적 측면에서 연구의 필요성을 요약 열거하면 다음과 같다.

- 농업용 자재의 국산화로 인한 생산비 절감과 국제경쟁력 제고
- 농업생태계의 복원
- 생물적 자원인 유용미생물의 혜택을 농업에 이용함으로써 저 투입 농업경영 조기정착 도모.

3. 사회·문화적 측면

현재 우리나라는 모든 산업경제는 무역 자유화의 압력에 직면해 있다. 농업부문도 예외는 아니어서 농업생산물은 물론 생산에 필요한 자재까지도 외국으로 무분별하게 유입되고 있는 실정이다. 우리나라에서 충분히 해결할 수 있는 분야는 하루 속히 연구 개발을 통하여 기술이나 경제적으로 자립해야 할 것이며 나아가 전반적인 유용미생물의 농업적 이용 측면에서도 독자적인 연구와 노력이 필요하다.

제 3 절 국·내외 관련기술의 현황과 문제점

1. 국내기술현황

내생균근균에 대한 연구나 국내기술 현황은 초보적인 단계이며 기술이 거의 축적되지 않은 상태에 있다. 내생균근균 자체가 타 균류와 달리 활물기생을 하기 때문에 연구를 수행하는데 상당한 어려움이 따르고, 이 분야에 대하여 관심을 갖는 연구자도 몇 사람에게 불과하다. '80년대 초 대학과 연구소의 몇 사람 연구자에 의해 균근균의 분포나 감염을 확인한 연구를 시작으로 뽕나무, 족재비사리, 클로버 및 파 등에 대한 VA균근균 연구가 일부 수행되었고, 초생지와 같은 비경작지에서 내생균근균의 생리·생태적인 측면이 다소 연구되어 보고된 바 있다. 그 이후 '90년대에 들어와서 시설원예작물 근권에 서식하는 균근균의 분포와 감염실태조사와 초기생육에 미치는 효과가 본 연구진에 의해서 수행된 바 있고, '94년에는 딸기 묘의 번식별(조직배양과 포복지)로 VA균근균을

접종하여 그 효과를 확인하는 연구와 '95년에는 염류토양조건에서 고추에 대한 접종효과를 확인 보고하였다. 그러나 접종원 생산시스템이나 배양증식에 관련된 연구는 전무한 상태로 이 분야에 대한 연구가 요구되는 시점에 있다. 그러나 다행히도 현재 제주대학의 연구팀에 의해서 감귤을 대상으로 한 내생균근균 이용에 관한 연구가 수행되었을 뿐 체계적인 연구와 실제 활용방안에 대한 연구활동은 거의 없는 실정이다.

2. 국외기술 현황

균근균은 19세기말 독일의 식물학자 Frank에 의해 명명된 이래 몇몇 연구자들에 의해서 그 기능이 밝혀졌으나 '70년대 초의 석유과동 이전까지의 연구성과는 미미하였고 석유과동 이후 저 에너지 투입을 바탕으로 한 자원물질생산의 필요와 함께 선진국에서 집중적인 연구가 수행되어 최근에 다양한 유용미생물의 이용연구와 병행하여 수행된 연구성과는 대단하여 이에 대한 최근의 발표논문 편수는 세계적으로 연간 500~700여 편에 달하고 있다.

균근균 중 외생균근류는 주로 목본류에 공생하면서 도움을 주고, 내생균근류는 목본류 및 초본류와 협생하면서 숙주식물의 수분과 양분(특히 인산)흡수를 돕고 내한발성, 내병충해성을 증진한다는 것이 증명되었다. 이러한 연구결과를 바탕으로 경제적 가치가 있는 식물 즉 과수(감귤, 포도 등)와 작물(소채작물류)들에 대한 연구들이 수행되고 있으며, 구미선진국에서는 자국이나 권역국가의 이익을 위해 '96년 현재 균근균 연구 및 활용에 관련된 조직기구를 '80년대 초부터 설립하여 운영하고 있다.

특히 균근균 중 내생균근균은 살아 있는 식물의 뿌리에만 기생하여 공생관계를 유지하는 활물기생의 특성을 갖고 있기 때문에 이에 대한 연구가 미진하였으나 시대적인 요구에 따라 근년에는 많은 연구가 이뤄지고 있다.

다음의 <참고자료>와 같이 미국의 West Virginia대학과 California대학의 Berkeley 캠퍼스를 위시하여 캐나다의 Guelph대학, 영국의 York대학, 독일의 Marburg대학, 프랑스의 INRA, 호주의 Adelaide, 대만의 농업시험소 등에서 폭넓은 연구가 진행되고 있으며, 주요 연구내용은 내생균근균의 분포분류, 생리, 생태 및 이용측면과 최근에는 분자생물학적 기법(PCR)을 종 분류에 적용하고 있다.

한편 접종원의 실용화나 상업화 측면에서 현황을 보면 미국의 경우 Tree of Life

Nursery사의 VAM 80, Reforestation Technologies International의 Myco-Paks 및 Bio-Organics사의 내생균근균의 접종원 등이 시판 중에 있고, 캐나다의 Premier Tech 사는 PRO-MIX 'BX'라는 상표로 *Glomus*속의 AMF을 육묘용 상토에 배합한 제품을 개발하여 시판하고 있다. 한편 영국에서는 MicroBio라는 회사가 10년 전부터 know-how를 축적하여 Vaminoc[®]과 Vaminoc[®]-T라는 상표의 입자상의 제품을 소채작물 수경재배 접종용으로 시판하고 있을 뿐더러 이웃 일본에서도 이 회사와 제휴한 "Dr Kinkon"이라는 상표의 제품이 공급되고 있는 실정에 있다.

Arbuscular Mycorrhiza and Parasitic Plants Group(Philipps-University Marburg)
Arbuscular Mycorrhizal Culture Collection Center in Taiwan (ACT)
(Taiwan Agricultural Research Institute)
Arbuscular Mycorrhizal Research Group (Marburg University, Germany)
Banque Europeenne des Glomales (BEG)
Below Ground Research at York (University of York, UK)
Boreal Plant Symbiosis (BoPS) Research Group(University of Alberta, Canada)
Research Team(USDA-FS, Corvallis, OR)
Fungal and Soil Ecology Lab (University of Guelph)
Fungal Ecology Lab (University of Montana)
Horticulture Crops Research Lab (Corvallis, OR, USA)
Institute of Plant Nutrition (Hohenheim University)
INVAM - International Culture Collection of AM and VAM Fungi
Laboratoire de Phytoparasitologie INRA/CNRS (LPA)
Long Term Mycorrhiza Research Site (LTMRS)(University of Guelph)
MIRCEN (UNESCO Microbial Resource CENTre,International Institute of
Biotechnology, Kent, UK)
Mycorrhizae at the Microbe Zoo (Center for Microbial Ecology, Michigan State
University)
Mycorrhiza, Biocontrol, Induced Resistance Group(Hannover, Germany)
Mycorrhizal Group (Adelaide, Australia)
Mycorrhizal Research Group (University of Helsinki)
Mycorrhiza Network (TERI , India)
Mycorrhiza Research Group (University of Western Sydney)
Mycorrhiza Research Group (University of New South Wales)
Mycorrhizae and Pomology Lab (Kyoto Prefectural University, Japan)
Root Biology & Mycorrhizae Research Group(University of Guelph)
Soil Biology Group, (University of Western Australia)
Soil Ecology and Restoration Group (San Diego State University)
Soil Microbial Systems Laboratory (USDA-ARS, Beltsville)
Soil Microbiology and Mycorrhizae Lab (University of Florida)

3. 현 기술상태의 취약성

내생균근균에 대한 현재까지 알려진 기술은 아열대, 온대와 같이 기후대에 따라서 균과 기주식물(작물)의 종류나 균과 기주식물과의 친화성에서 다소의 차이점들이 인정되고 있으며 균근균이 서식하는 토양환경에 따라(특히 pH와 토성) 반응을 달리하고 있기 때문에 이들의 이용기술에 관련되는 연구도 기후나 식생 그리고 토양환경의 특성별로 해당지역에 적합한 방법과 재료를 선별 이용해야 한다.

또한 접종원 생산에 필요한 담체(carrier)선발이나 접종원 증식에 이용할 기주식물의 선발이 해당국가나 기후대 특성과 재료의 수급과 경제성이 고려된 나머지 세계적으로 널리 이용할 수 없는 것이 현실이며, 상품화 경우에 균주의 균일성과 저장성 및 접종시의 포자의 발아력 유지 등이 문제점으로 지적되고 있다.

균근균에 대한 연구나 이용에 있어 국내의 기반은 대단히 취약한 상태에 있다. 기본적으로 우리나라에 분포하는 균근균의 분포나 종의 확인이 광범위하게 이뤄지지 못하고 있을 뿐만 아니라 전술한 바와 같이 연구인력의 태부족 그리고 이 분야에 대한 무관심으로 아직은 미개척분야로 남아 있다.

앞으로 머지 않아 외국에서 개발된 접종원 제품의 유입은 분명하며 주지하는 바와 같이 현재 시설원예 농가에 검증을 거치지 않고 판매되고 있는 일반 미생물제제와 같은 현상이 조만간 나타날 것으로 보인다.

제 2 장

토착AMF의 수집, 분리 및 동정에 관한 연구

제 2 장 토착AMF의 수집, 분리 및 동정에 관한 연구

제 1 절 서 설

육상생태계에서 자라고 있는 고등식물은 토양 중 수분과 무기영양분을 흡수하는데 독특한 뿌리구조와 생리작용을 가지고 있으며 육상 고등식물의 95%이상이 균근을 형성하고 있는 과에 속하는 것으로 알려지고 있을 만큼(Kormanik 등, 1977) 균근균은 흔히 발견된다. 최근 균근균이 기주식물에게 주는 여러 가지 혜택이 알려지면서 이에 대한 연구가 많이 이루어지고 있고 선진국을 주축으로 균근균 접종원이 상품화되고 있다.

AMF는 작물의 대부분과 과수 및 산림의 거의 모든 나무에서 발견되며, 척박한 토양에서 자라는 식물의 경우 인산의 흡수를 촉진시켜 주는 균근의 혜택이 두드러지게 나타나고 있다(Abbott와 Robson, 1984). 특히 균근균 중 내생균근균의 한가지인 AMF는 수목은 물론 초본류와 일반작물의 근권에서 흔히 발견된다. 그리고 이들은 기주식물과 협생관계를 유지하면서 기주식물에게 혜택을 주고 있고, 균근의 존재는 예외적인 식물의 형태가 아니라 당연한 고등식물과 공생형태로서 인정받게 되었으며, 우리가 재배하고 있는 원예작물도 예외가 아닌 것은 잘 알려져 있는 사실이다.

자연생태계에서 유용미생물의 탐색과 이용에 관련되는 연구내용 중 가장 선행되어 수행되어야 하는 과정은 일반적으로 토착균주의 수집과 순수분리 그리고 동정단계를 거친 후 다음 단계의 연구활동에 필요한 실험재료를 확보하는 것이며 이들 기주식물이나 작물들의 근권에 서식하고 있는 균주들을 순수분리하고 동정하여 우리가 목적하는 방향으로 이용하는 것은 농업생산성과 생산물의 품질 등의 향상에 필수적일 뿐만 아니라 현실적으로 처해 있는 국내외적인 경제상황과 농업기술 개발의 한계성에 비취 해결하여야 할 과제이다. 또한 농업생산활동은 특히 자연환경과 지역성이 강조되기 때문에 오랜 시간동안 해당지역의 자연환경에 적응·진화되어 온 생태적 바탕에서 접근함이 바람직하며, 균근균의 생물비료

와 생물방제와 같이 건강한 식물생육에서 밝혀진 효과에서 이들 협생관계의 적절한 관리는 화학비료와 농약투입량의 감소와 나아가서는 지속 가능한 원예작물의 생산접근에 만족할 만한 결과를 가져올 것이다.

따라서 본 조사연구는 전국적으로 분포하고 있는 고추, 마늘 및 양파 주산단지, 야생 녹차 서식지, 시설재배지 등의 토양을 채취하여 토착AMF를 분리하여 밀도를 파악하고 균주의 생태적 특성을 조사하기 위하여 수행되었다.

제 2 절 연구수행내용 및 방법

1. 고추, 마늘 및 양파 주산단지

가. 조사대상지역 및 시료채취

농림부 간행 '주요작물 지역별재배동향(1996)'을 참고하여 경남·북, 전남·북, 충남·북, 강원도 및 제주도 지역에서 고추 13개 군 40개 면(132개 소), 마늘 7개 군 18개 면(59개 소), 양파 4개 군 8개 면(24개 소) 주산지(표 2-1과 그림 2-1)의 근권 토양을 채취하였다. 토양시료는 1개 면에서 3개 지역을 선정하여 3반복으로 전국에서 총 215개 지점의 토양을 채취하였으며, 채취한 토양은 식물뿌리와 근권토양 약 7~8kg 정도를 채취하여 polyethylene bag에 넣어 4℃의 저온냉장고(암상태)에 보관하면서 실험에 사용하였으며, 양파와 마늘은 '97년 12월~'98년 3월까지, 그리고 고추의 경우는 '98년 8월중에 내생균근균의 감염여부를 확인하기 위해서 기주작물의 뿌리를 채취 수세한 후 FAA용액(10ml Formaline + 5ml Acetic acid + 200ml Ethanol)에 고정하여 염색하였다.

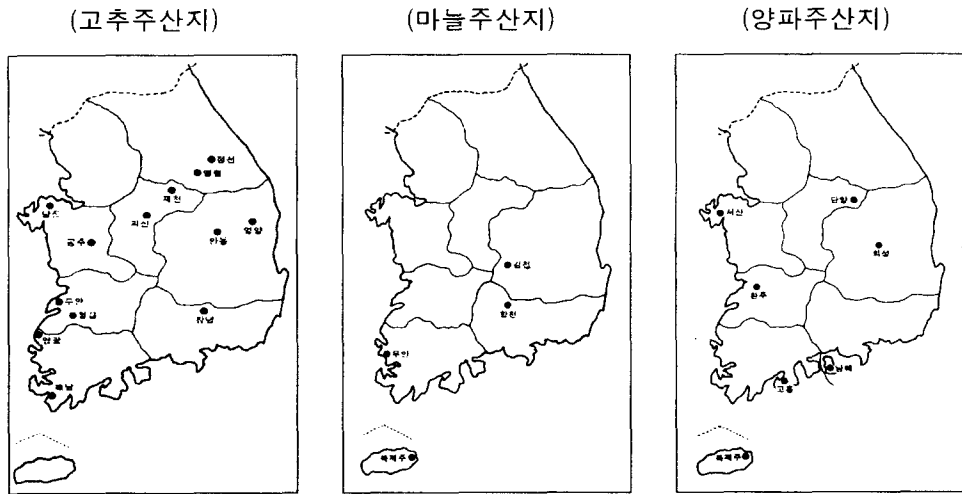


그림 2-1. AMF분리용 토양시료 채취지역

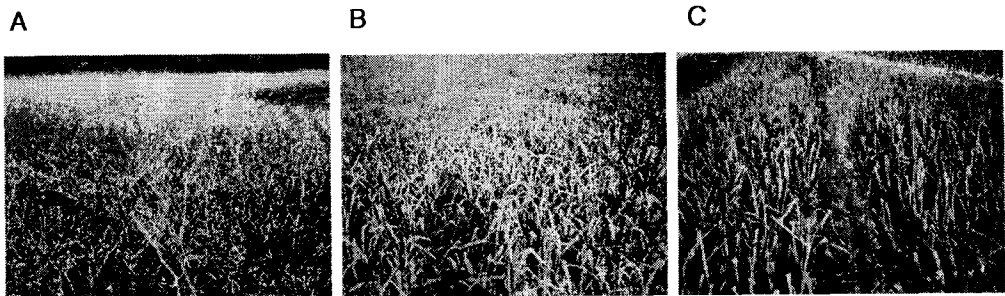


그림 2-2. 토양시료 채취대상의 고추(A), 마늘(B), 양파(C) 재배지역 포장전경

표 2-1. 전국 고추, 마늘 및 양파 주산단지의 토양시료 채취지역

일련 번호	재 배 지 역	작물	일련 번호	재 배 지 역	작물
1	전남 해남군 황산면 관춘리	고추	37	전북 정읍시 감곡면 요동리	고추
2	전남 해남군 황산면 관춘리	고추	38	경남 창녕군 유어면 생학리	고추
3	전남 해남군 황산면 내산리	고추	39	경남 창녕군 유어면 효광리	고추
4	전남 해남군 마산면 신기리	고추	40	경남 창녕군 유어면 광산리	고추
5	전남 해남군 마산면 신기리	고추	41	경남 창녕군 이방면 성산리	고추
6	전남 해남군 마산면 신기리	고추	42	경남 창녕군 이방면 석리	고추
7	전남 해남군 산이면 대명리	고추	43	경남 창녕군 이방면 안리	고추
8	전남 해남군 산이면 대명리	고추	44	경남 창녕군 대합면 목단리	고추
9	전남 해남군 산이면 대명리	고추	45	경남 창녕군 대합면 신안리	고추
10	전남 해남군 산이면 대명리	고추	46	경남 창녕군 대합면 석실리	고추
11	전남 영광군 홍농면 연성리	고추	47	경북 안동시 길안면 구수리	고추
12	전남 영광군 홍농면 상하2리	고추	48	경북 안동시 길안면 고란리	고추
13	전남 영광군 홍농면 단덕리	고추	49	경북 안동시 길안면 구수리	고추
14	전남 영광군 홍농면 신석리	고추	50	경북 안동시 길안면 구수리	고추
15	전남 영광군 법성면 월산리	고추	51	경북 안동시 길안면 구수리	고추
16	전남 영광군 법성면 용성리	고추	52	경북 안동시 길안면 용계리	고추
17	전남 영광군 법성면 용덕리	고추	53	경북 안동시 길안면 용계리	고추
18	전남 영광군 영광읍 와룡리	고추	54	경북 안동시 길안면 대곡리	고추
19	전남 영광군 영광읍 와룡리	고추	55	경북 안동시 길안면 현하리	고추
20	전남 영광군 영광읍 계송리	고추	56	경북 안동시 길안면 현하리	고추
21	전남 영광군 영광읍 계송리	고추	57	경북 안동시 길안면 천거리	고추
22	전북 부안군 부안면 영전리	고추	58	경북 안동시 임동면 갈전리	고추
23	전북 부안군 부안면 영전리	고추	59	경북 안동시 임동면 갈전리	고추
24	전북 부안군 부안면 영전리	고추	60	경북 안동시 임하면 천전리	고추
25	전북 부안군 주산면 화산리	고추	61	경북 안동시 임하면 신덕리	고추
26	전북 부안군 주산면 화산리	고추	62	경북 안동시 임하면 추월리	고추
27	전북 부안군 부안면 화산리	고추	63	경북 청송군 진보면 세장리	고추
28	전북 부안군 줄포면 신리	고추	64	경북 청송군 진보면 광덕1리	고추
29	전북 부안군 줄포면 신리	고추	65	경북 안동시 일직면 원호리	고추
30	전북 부안군 줄포면 신리	고추	66	경북 안동시 일직면 망호리	고추
31	전북 정읍시 신태읍 고산동	고추	67	경북 안동시 일직면 조탑리	고추
32	전북 정읍시 신태읍 고산동	고추	68	경북 안동시 남선면 이천 1리	고추
33	전북 정읍시 신태읍 고산동	고추	69	경북 안동시 남선면 신석리	고추
34	전북 정읍시 태안면 낙양리	고추	70	경북 안동시 남선면 기느리	고추
35	전북 정읍시 태안면 낙양리	고추	71	경북 영양군 입암면 노달리	고추
36	전북 정읍시 태안면 낙양리	고추	72	경북 영양군 입암면 삼산리	고추

<표 2-1 계속>

일련 번호	재 배 지 역	작물	일련 번호	재 배 지 역	작물
73	경북 영양군 입압면 신구리	고추	109	충북 괴산군 문광면 광덕2리	고추
74	경북 영양군 영양면 감천1리	고추	110	충북 괴산군 문광면 광덕1리	고추
75	경북 영양군 영양읍 현1리	고추	111	충북 괴산군 문광면 양곡2리	고추
76	경북 영양군 영양읍 동부리	고추	112	충북 괴산군 청천면 직영리	고추
77	경북 영양군 일월면 곡강리	고추	113	충북 괴산군 청천면 직영리	고추
78	경북 영양군 일월면 도계1리	고추	114	충북 괴산군 청천면 직영리	고추
79	경북 영양군 일월면 배골리	고추	115	충북 괴산군 괴산읍 사창리	고추
80	충남 당진군 고대면 고대리	고추	116	충북 단양군 어상천면 방북리	고추
81	충남 당진군 고대면 용두리	고추	117	충북 단양군 어상천면 심곡리	고추
82	충남 당진군 고대면 진관리	고추	118	강원도 영월군 남면 연당 4리	고추
83	충남 당진군 순성면 양유리	고추	119	강원도 영월군 남면 연당 5리	고추
84	충남 당진군 순성면 양유리	고추	120	강원도 영월군 남면 연당 1리	고추
85	충남 당진군 순성면 백석리	고추	121	강원도 영월군 남면 연하 1리	고추
86	충남 당진군 면천면 시소리	고추	122	강원도 영월군 남면 연하 2리	고추
87	충남 당진군 연천면 문봉리	고추	123	강원도 영월군 남면 연하 2리	고추
88	충남 당진군 연천면 문봉리	고추	124	강원도 영월군 중동면 연상 1리	고추
89	충남 공주시 장기면 송선리	고추	125	강원도 영월군 중동면 연상 2리	고추
90	충남 공주시 장기면 동현리	고추	126	강원도 영월군 중동면 연상 2리	고추
91	충남 공주시 장기면 도계리	고추	127	강원도 정선군 신동읍 고상리	고추
92	충남 공주시 유구면 노천리	고추	128	강원도 정선군 신동읍 운치리	고추
93	충남 공주시 유구면 성남리	고추	129	강원도 정선군 동면 화양1리	고추
94	충남 공주시 유구면 만천리	고추	130	강원도 정선군 동면 석곡2리	고추
95	충남 공주시 우성면 옥청리	고추	131	강원도 정선군 동면 석곡2리	고추
96	충남 공주시 우성면 상서리	고추	132	강원도 정선군 정선읍 삼거리	고추
97	충남 공주시 우성면 신용리	고추	133	전남 고흥군 과역면 호덕리	마늘
98	충북 제천시 봉양면 연박1리	고추	134	전남 고흥군 과역면 호덕리	마늘
99	충북 제천시 봉양면 마곡리	고추	135	전남 고흥군 과역면 호덕리	마늘
100	충북 제천시 봉양면 마곡리	고추	136	전남 고흥군 풍양면 매곡리	마늘
101	충북 제천시 송학면 시곡리	고추	137	전남 고흥군 풍양면 한동리	마늘
102	충북 제천시 송학면 무도리	고추	138	전남 고흥군 풍양면 울치리	마늘
103	충북 제천시 송학면 오미리	고추	139	전남 고흥군 점암면 천학리	마늘
104	충북 제천시 청풍면 진목리	고추	140	전남 고흥군 점암면 천학리	마늘
105	충북 제천시 청풍면 단돈리	고추	141	전남 고흥군 점암면 천학리	마늘
106	충북 제천시 청풍면 오산리	고추	142	전남 고흥군 두원면 학곡리	마늘
107	충북 괴산군 감물면 성곡1리	고추	143	전남 고흥군 두원면 신속리	마늘
108	충북 괴산군 감물면 성곡리	고추	144	전남 고흥군 두원면 대금리	마늘

<표 2-1 계속>

일련 번호	재 배 지 역	작물	일련 번호	재 배 지 역	작물
145	전남 고흥군 도덕면 가야리	마늘	181	충남 서산시 부석면 침전리	마늘
146	전남 고흥군 도덕면 오마리	마늘	182	충남 서산시 부석면 봉덕리	마늘
147	전남 고흥군 도덕면 신양리	마늘	183	충남 서산시 부석면 집행리	마늘
148	전북 정읍시 감곡면 요동리	마늘	184	충남 서산시 팔봉면 어송리	마늘
149	전북 정읍시 감곡면 요동리	마늘	185	충남 서산시 팔봉면 지정리	마늘
150	전북 완주군 고산면 삼기리	마늘	186	충남 서산시 팔봉면 금학리	마늘
151	전북 완주군 고산면 삼기리	마늘	187	충북 단양군 어상천면 임현리	마늘
152	전북 완주군 고산면 삼기리	마늘	188	충북 단양마늘시험장	마늘
153	경남 남해군 고현면 월곡리	마늘	189	제주도 북제주군 구좌읍 행원리	마늘
154	경남 남해군 고현면 참현리	마늘	190	제주도 남제주군 성산면 하도리	마늘
155	경남 남해군 고현면 대사리	마늘	191	제주도 북제주군 구좌읍 북촌리	마늘
156	경남 남해군 남해읍 이어리	마늘	192	전남 무안군 청계면 사마리	양파
157	경남 남해군 남해읍 이어리	마늘	193	전남 무안군 청계면 복용리	양파
158	경남 남해군 남해읍 입현리	마늘	194	전남 무안군 청계면 복길리	양파
159	경남 남해군 남해읍 입현리	마늘	195	전남 무안군 현경면 나포리	양파
160	경남 남해군 남해읍 성산리	마늘	196	전남 무안군 현경면 나포리	양파
161	경남 남해군 이동면 다정리	마늘	197	전남 무안군 현경면 송청리	양파
162	경남 남해군 이동면 다정리	마늘	198	전남 무안군 해제면 광산리	양파
163	경남 남해군 이동면 성현리	마늘	299	전남 무안군 해제면 양월리	양파
164	경남 남해군 이동면 성현리	마늘	200	전남 무안군 해제면 신정리	양파
165	경북 의성군 옥산면 정자리	마늘	201	경남 창녕군 유어면 대대리	양파
166	경북 의성군 옥산면 입암리	마늘	202	경남 창녕군 유어면 효광리	양파
167	경북 김천시 지례면 관덕리	마늘	203	경남 창녕군 유어면 생학리	양파
168	경북 의성군 단북면 이연리	마늘	204	경북 김천시 대덕면 대동리	양파
169	경북 의성군 단북면 노현리	마늘	205	경북 김천시 대덕면 대동리	양파
170	경북 의성군 단북면 정안1리	마늘	206	경북 김천시 대덕면 주치2리	양파
171	경북 의성군 단북면 묵계리	마늘	207	경북 김천시 대덕면 다화리	양파
172	경북 의성군 봉양면 문흥리	마늘	208	경북 김천시 지례면 예배2리	양파
173	경북 의성군 봉양면 길천1리	마늘	209	경북 김천시 지례면 도곡2리	양파
174	경북 의성군 봉양면 화전리	마늘	210	경북 김천시 지례면 온평리	양파
175	경북 의성군 단촌면 방하2리	마늘	211	경북 김천시 구성면 송죽2리	양파
176	경북 의성군 단촌면 하화1리	마늘	212	경북 김천시 구성면 광명1리	양파
177	경북 의성군 단촌면 관덕리	마늘	213	경북 김천시 구성면 하강리	양파
178	충남 서산시 인지면 애정리	마늘	214	제주도 남제주군 성산읍 수산리	양파
179	충남 서산시 인지면 야당리	마늘	215	제주도 북제주군 구좌읍 동김영리	양파
180	충남 서산시 인지면 애정2구	마늘	216	제주도 북제주군 구좌읍 월정리	당근

나. 조사지역 토양의 물리화학적 특성조사

토양의 물리화학적 특성은 토성, pH, 유기물함량, P_2O_5 및 NO_3^- , K, Na, Ca, Mg 등의 다량원소와 Fe, Mn, Cu, Zn 등의 미량원소를 토양화학분석법(농촌진흥청농업기술연구소, 1989)에 준하여 분석하였다. 채취한 토양은 풍건시킨 후 2mm채로 사별하여 다음의 분석에 이용하였는데, 토성은 비중계법으로 분석하였고, 토양의 pH는 초자전극법, 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, NO_3^- -N은 KCl로 침출시킨 다음 Micro-Kjeldahl법으로 분석하였다. 그리고, 다량원소인 Ca, Mg, Na, K는 1N- NH_4OAC 용액으로 침출시키고, 미량원소인 Fe, Mn, Zn, Cu는 DTPA법으로 침출시켜 Inductively coupled plasma spectrometer(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer, U.S.A.)를 이용하여 분석하였다.

다. 포자 분리방법

토양중에서 균근균의 포자를 분리하기 위하여 사용한 방법은 그림 2-3과 같다. 각 권역별 농가에서 채취한 토양을 polyethylene bag에 넣어 4℃에 보관하면서 실험에 사용하였으며 215개 토양시료를 포자분리에 사용하였다.

토양은 균일하게 혼합한 후 토양시료 30g을 수돗물에 현탁하여 수돗물에서 1차 사별한 후 mesh별(500 μ m, 354 μ m, 250 μ m, 106 μ m 및 45 μ m)로 재차 사별하였다. 사별된 잔사는 다시 50% glycerol용액에 현탁한 후 원심분리(2,000rpm, 5min.)하여 토양과 포자를 분리하여 4℃에 보관하면서 실체현미경(Zeiss, Stemi 2000-C)하에서 계수와 속분리에 사용하였다. 수집분리된 포자는 2차 감염을 막기 위해 일련의 멸균조작을 거쳐서 4℃의 냉장고에 보관하였으며, 그 멸균방법은 2%의 Chloramin T 용액으로 10분간 먼저 표면살균하고 100ppm Gentamycin과 200ppm의 Streptomycin액으로 15분간 재차 살균하여 멸균수로 세척하였다.

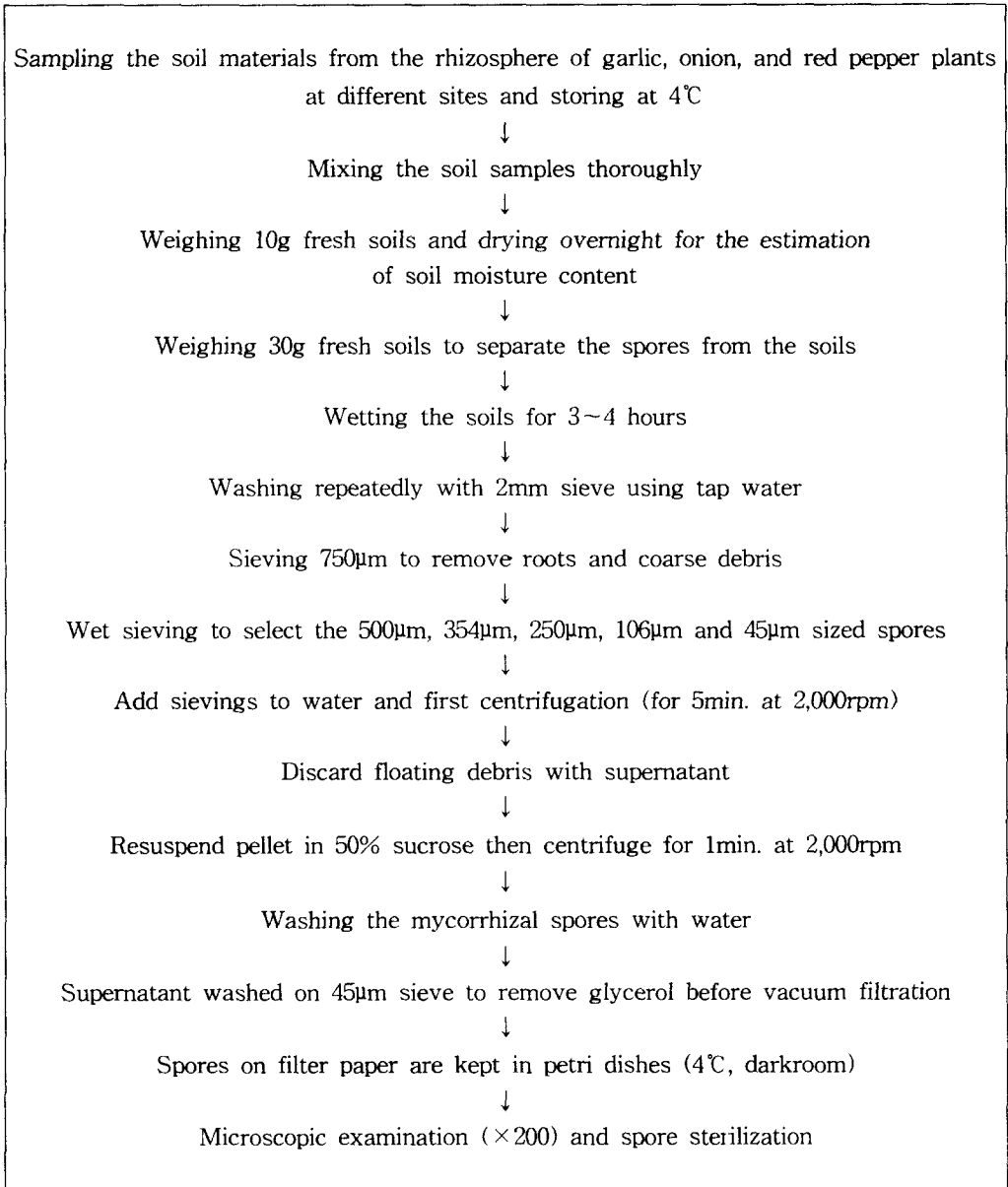


그림 2-3. Wet-sieving 방법을 이용한 토양시료처리와 포자분리 체계 (Daniels and Skipper, 1982)

라. 균근 감염특성 조사

기주식물 뿌리에 대한 균근균 감염을 조사는 Phillips와 Hayman(1970)의 방법으로 염색하였으며 그 방법은 다음과 같다. FAA용액에 저장된 기주식물 뿌리를 약 1cm 길이로 자른 후 10% KOH액으로 90℃의 온도에서 뿌리의 상태에 따라 20~30분간 처리하여 수돗물로 3~4회 헹구어 낸 후 Alkaline hydrogen peroxide액으로 표백시키고, 다시 2% HCl로 산성화한 후, 0.1% Chlorazol black E 염색액(Brundrett 등, 1984)으로 염색하여 광학 현미경(Olympus, PM-20)하에서 감염양상을 관찰하였다.

마. AMF균주 동정

전 단계에서 분리수집된 포자는 일부 속 분류에 이용하고 나머지 일부는 속과 종을 동정하기 위해 수단그라스(sudangrass)를 기주식물로 포트 배양하여 사용하였으며, 4~5개월의 배양 후 Morton과 Benny(1990)의 Glomales종 분류기준, INVAM Species guide(1990) 및 ETI - Windows version of Arbuscular mycorrhizal fungi (1995) 등을 참조하여 동정하였다.

GLOMALES의 종 분류 Key (Morton과 Benny, 1990)

- A. Only arbuscules formed in mycorrhizal roots; "Azygospores" produced on the apex of a sporogenous cell of a fertile hyphae; auxiliary cells formed GIGASPORINEAE
 With a single family Gigasporaceae(B)
- B. Germ tubes produced directly through spore wall; inner flexigle wall group absent; auxiliary cells finely papillate or echinulate *Gigaspora*
- BB. Germ tubes from germination shield; inner flexible wall group always present; auxiliary cells knobby, broadly papillate, or smooth *Scutellispora*
- AA. Arbuscules and vesicles formed in mycorrhizal roots. "Chlamydospores" produced terminally or laterally on or within fertile hyphae; auxiliary cells not produced GLOMINEAE(C)
- C. "Chlamydospores" formed apically from fertile hyphae Glomaceae(D)
- D. Fruiting body of a sporocarp composed of spores with lateral walls adherent to one another; connecting hyphae embedded in a central hyphal plexus; chlamydospores in a single layer except at the base; base composed of sterile hyphae *Sclerocystis*
- DD. Fruiting structure a sporocarp not formed as in "D" above; spores also produced singly or in loose to tight aggregates in soil, less commonlu in roots *Glomus*
- CC. "lamydospores" formed from or within the "neck" of a sporiferous saccule Acaulosporaceae(E)
- E. Spores arise laterally from the neck of a sporiferous saccule *caulospora*
- EE. Spores formed in the neck of the sporiferous saccule *Entrophospora*

2. 야생녹차, 시설재배지 및 기타

가. 조사대상지역 및 시료채취

토착AMF를 수집 및 선별하기 위하여 백합과식물, 야생녹차, 장미(질레 포함) 등의 야생식물 근권토양을 경남과 전남 지역을 중심으로 채취하였다. 백합과식물은 지리산 노고단의 원추리의 토양을 채취하였으며, 녹차의 경우 전남 구례 등 14 지역 경남 쌍계사 등 11지역으로 총 25개 사찰주변 지역에서 근권토양을 채취하였다(그림 2-4). 또한 장미와 질레의 근권토양은 순천 및 광양 등지에서 채취하였다(그림 2-4).

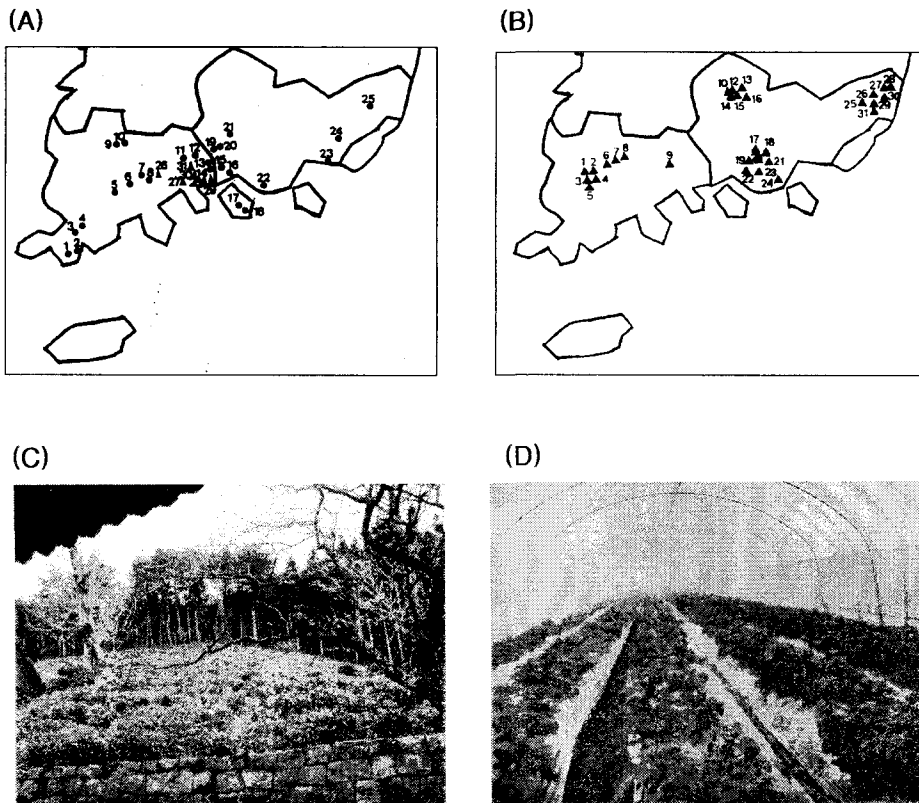


그림 2-4. 야생녹차(A, C)와 시설재배지(B, D) 토양의 시료채취지역과 현장사진

시설재배지역의 토양은 전남 및 경남지역의 작목에 관계없이 각각 15개소에서 근권토양을 채취하였다,

나. 조사토양의 이화학적 분석

토양의 물리화학적 특성은 토성, pH, 유기물함량, P_2O_5 및 NO_3^- , K, Na, Ca, Mg 등의 다량원소와 Fe, Mn, Cu, Zn 등의 미량원소를 토양화학분석법(농촌진흥청 농업기술연구소, 1989)에 준하여 다음과 같이 분석하였다. 토성은 비중계법으로 분석하였고, pH는 초자전극법, 유기물함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 그리고, 다량원소인 Ca, Mg, Na, K는 1N-NH₄OAC용액으로 침출시켜 Inductively coupled plasma spectrometer(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer, U.S.A.)를 이용하여 분석하였다.

다.. 포자분리 및 계수

모든 토양시료는 1개 지역에서 3반복으로 채취하여, Polyethylene bag에 넣어 4℃의 저온냉장고(암 조건)에 보관하면서 실험에 사용하였다. 포자 분리방법은 냉장고에 보관된 토양시료 30g을 수돗물에 현탁하여 1차 사별한 후 mesh별(500 μ m, 45 μ m)로 재차 사별하였다. 사별된 잔사는 다시 50% glycerol용액에 현탁한 후 원심분리 (2,000 rpm, 5min.)하여 토양과 포자를 분리하여 4℃에 보관하면서 실체현미경(Zeiss, Stemi 2000-C)하에서 계수와 속 분리에 이용하였다. 수집 분리된 포자는 2차분리 감염을 막기 위해 일련의 멸균조작을 거쳐서 4℃ 냉장고에 보관하였으며, 그 멸균방법은 2%의 Chliramin T용액으로 10분간 먼저 표면살균하고 100ppm Gentamycin과 200ppm의 Streptomycin 액으로 15분간 재차 살균하여 멸균수로 세척하였다.

라. AMF증식과 starter culture 증식배양

해당 지역별로 채취한 근권토양 시료는 포자밀도 조사 후 고밀도의 포자가 확인된 토양을 대상으로 번식체를 분리하여 수단그라스를 기주식물로하여 재배양 증식하였

다. 배양토의 조성은 모래 : 발토양 : 펄라이트 = 4 : 2 : 1(v/v)로 하여 기주식물에 접종하였다. 수단그라스는 25℃의 항온기에서 최아시킨 후 모래 : 발토양 = 2 : 1(v/v)의 혼합 배양토가 충전된 3ℓ 용량의 pot에 파종하여 재배하였다. 종자 파종 전 혼합배양토의 상단에 국내 토착AMF 포자를 50~100 spores/plant 정도의 밀도로 접종하여 얇게 복토한 후 그 위에 종자를 파종하였다. 종자 파종 후 5주까지는 Modified Hoagland's Soln.(인산이 50ppm 이하로 조정) 1/3배액으로 관주하였으며, 그 이후에는 표준농도의 양액으로 공급하였다.

제 3 절 연구결과 및 고찰

1. 고추, 마늘 및 양파 주산단지

가. 조사지역 토양의 이화학적 특성

전국에서 채취한 고추, 마늘 및 양파 재배지의 215개 지점의 토양을 분석한 결과는 표 2-2, 2-3 및 2-4와 같다. 분석결과 중 AMF의 번식체 감염과 밀도에 관련성이 가장 크다고 알려진(Smith와 Read, 1997) 토성, pH, 무기인산함량, 무기태 질소함량 및 토양 유기물 함량 등을 중심으로 고찰하면 다음과 같다.

먼저 표 2-3과 2-4의 고추, 마늘 및 양파재배지 토양의 토양 분석결과를 보면 작물별 전체 pH의 평균치 경우 고추재배지는 5.63, 마늘 재배지는 6.19, 양파재배지의 경우는 6.00으로 마늘과 양파재배지는 6.0 수준을 보였지만, 고추 재배지는 5.63으로 다소 낮은 경향을 보였다. 유효인산의 경우는 719.4~745.6mg/kg 범위를 보여 작물간에 큰 차이는 없었으나 우리나라 경작지 토양의 전반적인 유효인산함량이 화학비료의 과다사용으로 인하여 적정치를 훨씬 넘고 있는 사실을 확인할 수 있었다. 또한, NO₃ 함량도 37.4~52.7mg/kg 범위로 작물간에 큰 차이는 없었고 토양 유기물 역시

20~30g/kg 수준으로 양파 재배지에서 다소 높은 평균치를 나타냈다.

치환성 양이온의 경우는 칼리(K)에서 마늘 재배지가 가장 높은 $1.21 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 으로 나타났고, 고추와 양파 재배지는 $1.0 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 내외의 수준을 보였고, 석회(Ca)는 고추재배지가 $5.71 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 으로 가장 낮았으며, 마늘이 $7.85 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$, 양파가 $6.80 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 으로서 적정치보다 높은 평균 함량을 보이고 있다. 한편, 마그네슘(Mg)의 경우는 마늘재배지 $2.0 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 에 비해 고추재배지 $1.49 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$, 양파재배지 $1.64 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 로 낮게 나타나 보였다.

조사 대상지 토양의 토양 주요특성의 분포비를 보면 토성의 경우 고추재배지는 사양토(SL)와 양토(L)가 각각 34.9%와 32.6%를 차지하고 있고, 마늘재배지는 양토(L) 44.1%를 보여 전체 59개 지점에서 26개 지점이 양토로 조사되었으며, 양파는 사양토가 50%의 분포비를 보였다.

전체적으로 고추, 마늘 및 양파 재배지의 조사지역 215개소 중 가장 많이 분포하는 토성은 사양토(SL)와 양토(L)이며 각각 76개 지점과 68개 지점으로 36%, 32%를 점유하고 있으며 분포빈도는 양토(L) > 사양토(SL) > 미사질양토(SiCL) > 식양토(CL)의 순으로 나타났다.

표 2-4의 pH값의 분포를 보면 마늘과 양파재배지는 pH 6.1~6.5 범위에 가장 많이 분포하여 33.3%를 보였고 양파는 pH 5~6의 범위에 우점분포하고 있으며, 고추는 이보다 낮은 pH 5.0이하에서 가장 많은 분포를 나타냈으며, 전체 132개 시료 중 42개 지점인 31.8%의 분포를 보였다.

토양유기물의 분포경향은 고추에서는 10~40g/kg 범위에 가장 많은 분포를 보였고, 11~30g/kg 범위에 79.7%로 92개 지점이 범위에 분포하였다. 한편 마늘은 10~40g/kg에 주로 분포하였고, 양파의 경우 10~30g/kg의 범위에 우점 분포하였으며, 토양 유기물의 함량 측면에서 215개 조사지점에서 71개 지점으로 33%를 나타냈다.

표 2-4의 유효인산 분석결과에서 분포하는 비율을 보면 고추는 400~800mg/kg, 마늘은 600~800mg/kg 수준에 19개소 32.2%를 보였으며, 양파의 경우는 801~1,000mg/kg 범위가 5개 지점으로 20.8%의 분포비를 나타냈다. 또 NO_3^- 의 농도별 분포는 50mg

/kg 이하의 농도에서 가장 분포가 많아서 고추, 마늘 및 양파는 각각 75.8%, 69.5% 83%의 분포를 보였다.

표 2-2. 고추, 마늘 및 양파 재배지 토양의 토성 분석결과 (고추 재배지 토양)

시료채취지역		토성	시료채취지역		토성	시료채취지역		토성						
전남	해남군	황산면	관촌리	SiL	경남	창녕군	대합면	신안리	SL	충남	당진군	면천면	문봉리	SiL
전남	해남군	황산면	관촌리	SL	경남	창녕군	대합면	석실리	L	충남	공주시	장기면	송선리	SL
전남	해남군	황산면	내산리	CL	경북	안동시	길안면	구수리	L	충남	공주시	장기면	동현리	L
전남	해남군	마산면	신기리	L	경북	안동시	길안면	구수리	L	충남	공주시	장기면	도계리	C
전남	해남군	마산면	신기리	SiCL	경북	안동시	길안면	구수리	L	충남	공주시	유구면	노천리	SL
전남	해남군	마산면	신기리	SL	경북	안동시	길안면	구수리	L	충남	공주시	유구면	성남리	L
전남	해남군	산이면	대평리	SiC	경북	안동시	길안면	용계리	SiL	충남	공주시	유구면	만천리	SL
전남	해남군	산이면	대평리	CL	경북	안동시	길안면	용계리	SiL	충남	공주시	우성면	옥정리	SL
전남	해남군	산이면	대평리	CL	경북	안동시	길안면	대곡리	SL	충남	공주시	우성면	상서리	SL
전남	해남군	산이면	대평리	SL	경북	안동시	길안면	현하리	SiL	충남	공주시	우성면	신용리	SL
전남	영광군	홍농면	연성리	L	경북	안동시	길안면	현하리	SiL	충북	제천시	봉양면	연박1리	SiL
전남	영광군	홍농면	신석리	SiL	경북	안동시	임동면	갈전리	SL	충북	제천시	봉양면	마곡리	SL
전남	영광군	홍농면	상하2리	L	경북	안동시	임동면	갈전리	SL	충북	제천시	봉양면	마곡리	SiL
전남	영광군	홍농면	단덕리	CL	경북	안동시	임동면	천전리	SL	충북	제천시	송학면	시곡리	SiL
전남	영광군	법성면	월산리	L	경북	안동시	임하면	신덕리	SL	충북	제천시	송학면	무도리	S
전남	영광군	법성면	용성리	L	경북	안동시	임하면	추월리	SL	충북	제천시	송학면	오미리	SL
전남	영광군	법성면	용덕리	SL	경북	청송군	진보면	세장리	SL	충북	제천시	청풍면	진목리	SiC
전남	영광군	영광읍	와룡리	SiCL	경북	청송군	진보면	광덕1리	L	충북	제천시	청풍면	단돈리	SiL
전남	영광군	영광읍	와룡리	SL	경북	안동시	일직면	원호리	L	충북	제천시	청풍면	오산리	L
전남	영광군	영광읍	계송리	L	경북	안동시	일직면	망호리	SiL	충북	괴산군	괴산읍	사창리	SL
전남	영광군	영광읍	계송리	S	경북	안동시	일직면	조탑리	SiL	충북	괴산군	괴산읍	성곡1리	L
전북	부안군	부안면	영진리	L	경북	안동시	길안면	현하리	L	충북	괴산군	감물면	사창리	SL
전북	부안군	부안면	영진리	S	경북	안동시	길안면	천거리	L	충북	괴산군	감물면	성곡리	CL
전북	부안군	부안면	영진리	SL	경북	안동시	길안면	구수리	L	충북	괴산군	문광면	광덕2리	SL
전북	부안군	주산면	화산리	L	경북	안동시	남선면	이천1리	L	충북	괴산군	문광면	양곡2리	SL
전북	부안군	주산면	화산리	SL	경북	안동시	남선면	신석리	SL	충북	괴산군	문광면	광덕1리	SiL
전북	부안군	부안면	화산리	SL	경북	안동시	남선면	기느리	L	충북	괴산군	청천면	직영리	SL
전북	부안군	출포면	신리	L	경북	영양군	입암면	노달리	L	충북	괴산군	청천면	직영리	SiL
전북	부안군	출포면	신리	L	경북	영양군	입암면	삼산리	SiL	충북	괴산군	청천면	직영리	SiC
전북	부안군	출포면	신리	SL	경북	영양군	입암면	신구리	SL	강원도	영월군	남면	연당4리	SiC
전북	정읍시	신태읍	고산동	SiCL	경북	영양군	영양면	감천1리	SiL	강원도	영월군	남면	연당5리	L
전북	정읍시	신태읍	고산동	SL	경북	영양군	영양읍	현1리	L	강원도	영월군	남면	연당1리	CL
전북	정읍시	신태읍	고산동	L	경북	영양군	영양읍	동부리	L	강원도	영월군	영월읍	연하1리	SiC
전북	정읍시	감곡면	요동리	CL	경북	영양군	일월면	곡강리	SL	강원도	영월군	영월읍	연하2리	L
전북	정읍시	태안면	낙양리	SL	경북	영양군	일월면	도계1리	SiL	강원도	영월군	영월읍	연하2리	L
전북	정읍시	태안면	낙양리	SiL	경북	영양군	일월면	배골리	SiL	강원도	영월군	중동면	연상1리	SL
전북	정읍시	태안면	낙양리	SL	충남	당진군	고대면	고대리	SL	강원도	영월군	중동면	연상2리	L
경남	창녕군	유어면	생학리	L	충남	당진군	고대면	용두리	SL	강원도	영월군	중동면	연상2리	L
경남	창녕군	유어면	효광리	SL	충남	당진군	고대면	진관리	SL	강원도	정선군	신동읍	고상리	SiL
경남	창녕군	유어면	광산리	CL	충남	당진군	순성면	양유리	SL	강원도	정선군	신동읍	운치리	L
경남	창녕군	이방면	성산리	L	충남	당진군	순성면	양유리	SL	강원도	정선군	신동읍	삼거리	CL
경남	창녕군	이방면	석리	SL	충남	당진군	순성면	백석리	L	강원도	정선군	동면	화양1리	SiCL
경남	창녕군	이방면	안리	L	충남	당진군	면천면	시소리	SL	강원도	정선군	동면	석곡2리	SiL
경남	창녕군	대합면	목단리	L	충남	당진군	면천면	문봉리	SL	강원도	정선군	동면	석곡2리	L

(마늘과 양파 재배지 토양)

시료채취지역	토성	시료채취지역	토성
(마늘 재배지 토양)		경북 의성군 단촌면 관덕리	SiL
전남 고흥군 과역면 호덕리	SiL	충남 서산시 인지면 애정리	L
전남 고흥군 과역면 호덕리	L	충남 서산시 인지면 야당리	SL
전남 고흥군 과역면 호덕리	L	충남 서산시 인지면 애정 2구	L
전남 고흥군 풍양면 매곡리	L	충남 서산시 부석면 침전리	L
전남 고흥군 풍양면 한동리	L	충남 서산시 부석면 봉덕리	SiC
전남 고흥군 풍양면 울치리	SL	충남 서산시 부석면 집행리	L
전남 고흥군 점암면 천학리	SL	충남 서산시 팔봉면 어송리	SiL
전남 고흥군 점암면 천학리	L	충남 서산시 팔봉면 지정리	L
전남 고흥군 점암면 천학리	L	충남 서산시 팔봉면 금학리	L
전남 고흥군 두원면 학곡리	SL	충북 단양 마늘시험장 시설내	SiCL
전남 고흥군 두원면 신속리	SL	충북 단양군 어상천면 임현리	SiCL
전남 고흥군 대금리	SL	충북 단양군 어상천면 방북리	CL
전남 고흥군 도덕면 가야리	SL	충북 단양군 어상천면 심곡리	L
전남 고흥군 도덕면 오마리	L	제주도 북제주군 구좌읍 행원리	SiL
전남 고흥군 도덕면 신양리	SL	제주도 남제주군 성산면 하도리	SiL
전북 완주군 고산면 삼기리	SL	제주도 북제주군 구좌읍 북촌리	SiC
전북 완주군 고산면 삼기리	S		
전북 완주군 고산면 삼기리	S	(양파 재배지 토양)	
경남 남해군 고현면 율곡리	L	전남 무안군 청계면 사마리	SiCL
경남 남해군 고현면 참현리	L	전남 무안군 청계면 복송리	SL
경남 남해군 고현면 대사리	CL	전남 무안군 창계면 복길리	SL
경남 남해군 남해읍 이어리	L	전남 무안군 현경면 나포리	L
경남 남해군 남해읍 이어리	SiL	전남 무안군 현경면 나포리	SL
경남 남해군 남해읍 입현리	C	전남 무안군 현경면 송청리	SL
경남 남해군 남해읍 입현리	L	전남 무안군 해제면 광산리	L
경남 남해군 남해읍 성산리	CL	전남 무안군 해제면 양월리	SL
경남 남해군 이동면 다정리	SiCL	전남 무안군 해제면 신정리	L
경남 남해군 이동면 다정리	L	경남 창녕군 유어면 대대리	SiL
경남 남해군 이동면 성현리	CL	경남 창녕군 유어면 효광리	L
경남 남해군 이동면 성현리	L	경남 창녕군 유어면 생학리	SL
경북 의성군 옥산면 정자리	SL	경북 김천시 대덕면 대동리	L
경북 의성군 옥산면 입암리	SiL	경북 김천시 대덕면 대동리	SL
경북 의성군 옥산면 정자리	SL	경북 김천시 대덕면 주치 2리	SiL
경북 의성군 단북면 이연리	L	경북 김천시 대덕면 다화리	SL
경북 의성군 단북면 노현리	SiL	경북 김천시 지례면 예배 2리	SL
경북 의성군 단북면 정안 1리	SiL	경북 김천시 지례면 도곡 2리	L
경북 의성군 단북면 목계리	L	경북 김천시 지례면 온평리	SL
경북 의성군 봉양면 문흥리	SiCL	경북 김천시 구성면 송죽 2리	L
경북 의성군 봉양면 길천 1리	CL	경북 김천시 구성면 광명 1리	SL
경북 의성군 봉양면 화진리	L	경북 김천시 구성면 하강리	L
경북 의성군 단촌면 방하 2리	L	제주도 남제주군 성산읍 수산리	SiL
경북 의성군 단촌면 하화 1리	L	제주도 북제주군 구좌읍 동김영리	S

표 2-3. 토양의 화학적 특성 분석결과

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅	NO ₃	Fe	Mn	Cu	Zn
			Na	K	Ca	Mg						
전남 해남군 황산면 관춘리	7.80	22.6	0.26	0.23	11.14	1.50	185.5	26.1	22.02	16.62	0.68	1.90
전남 해남군 황산면 관춘리	6.31	29.0	0.14	0.96	8.00	2.45	616.0	15.4	47.11	105.77	1.67	2.93
전남 해남군 황산면 내산리	4.49	20.3	0.17	0.56	3.15	1.67	122.0	30.8	16.18	49.80	0.31	0.99
면 단위 평균	6.20	24.0	0.19	0.58	7.43	1.87	307.8	24.0	28.44	57.40	0.89	1.94
전남 해남군 마산면 신기리	6.70	23.4	0.25	0.34	5.74	1.88	769.4	14.9	15.72	35.52	1.22	1.66
전남 해남군 마산면 신기리	5.63	19.4	0.35	1.35	5.83	1.84	1,029.0	98.0	57.54	36.64	7.87	19.72
전남 해남군 마산면 신기리	7.52	23.8	0.57	0.70	26.96	1.87	220.0	18.2	31.45	85.56	1.70	5.11
면 단위 평균	6.62	22.2	0.39	0.80	12.84	1.86	672.8	43.7	34.90	52.57	3.60	8.83
전남 해남군 산이면 대명리	4.88	21.7	0.34	1.12	6.50	1.78	297.7	149.3	5.81	9.78	0.71	1.47
전남 해남군 산이면 대명리	4.83	21.1	0.51	1.26	3.23	1.87	439.0	16.8	22.17	37.82	0.41	1.87
전남 해남군 산이면 대명리	5.83	22.7	0.20	0.49	5.04	2.31	529.0	26.6	23.48	44.94	0.81	2.12
전남 해남군 산이면 대명리	5.07	19.3	0.22	0.65	4.49	1.19	457.0	33.6	40.29	99.21	1.09	1.89
면 단위 평균	5.15	21.2	0.32	0.88	4.82	1.79	430.7	56.6	22.94	47.94	0.76	1.84
전남 영광군 홍농면 연성리	4.60	24.1	0.19	0.88	2.62	0.73	755.7	52.3	91.47	17.43	1.11	2.26
전남 영광군 홍농면 신석리	4.44	23.4	0.18	0.53	3.42	0.54	513.0	26.1	58.69	50.55	0.80	2.10
전남 영광군 홍농면 상하 2리	4.77	23.7	0.25	1.47	3.39	0.60	608.0	18.2	98.62	74.52	2.25	3.13
전남 영광군 홍농면 단덕리	4.54	15.0	0.19	1.46	3.47	1.16	376.0	28.0	45.22	64.78	1.24	2.98
면 단위 평균	4.59	21.6	0.20	1.09	3.14	0.76	563.2	31.2	73.50	51.82	1.35	2.62
전남 영광군 법성면 월산리	6.73	20.3	0.17	0.85	4.53	2.97	1,087.8	33.6	14.02	15.83	2.56	2.79
전남 영광군 법성면 용성리	4.88	22.5	0.14	0.97	3.43	1.32	374.0	21.0	133.21	33.88	1.59	3.81
전남 영광군 법성면 용덕리	4.87	17.3	0.16	0.90	1.97	0.43	781.0	15.4	81.69	19.90	1.91	2.33
면 단위 평균	5.49	20.0	0.16	0.91	3.31	1.57	747.6	23.3	76.31	23.20	2.02	2.98
전남 영광군 영광읍 와룡리	4.50	30.9	0.22	1.03	3.01	0.90	1,122.1	67.2	49.86	38.66	0.96	1.10
전남 영광군 영광읍 와룡리	4.83	22.8	0.21	1.33	3.51	0.93	571.0	23.8	56.34	37.98	1.17	1.41
면 단위 평균	4.67	26.9	0.22	1.88	3.26	0.92	846.6	45.5	53.10	38.32	1.07	0.59
전남 영광군 영광읍 계송리	6.27	20.2	0.20	0.52	3.58	1.31	1,273.2	22.4	15.63	17.54	0.65	1.52
전남 영광군 영광읍 계송리	6.47	14.5	0.14	0.61	4.53	1.42	468.0	16.8	22.41	27.67	0.98	2.34
면 단위 평균	6.37	17.4	0.17	0.93	4.06	1.37	870.6	19.6	19.02	22.61	0.82	1.93
전북 부안군 부안면 영전리	5.39	22.6	0.24	0.61	3.51	0.78	1,179.4	14.9	62.62	44.75	1.58	3.65
전북 부안군 부안면 영전리	6.12	18.1	0.20	1.08	4.22	0.93	731.0	22.4	68.17	52.28	2.06	4.57
전북 부안군 부안면 영전리	5.97	13.7	0.14	0.86	4.18	0.84	858.0	12.6	55.66	41.37	1.56	4.94
면 단위 평균	5.83	18.1	0.19	0.85	3.97	0.85	922.8	16.6	6.15	46.1	1.73	4.39
전북 부안군 주산면 화산리	6.80	33.8	0.27	1.87	6.93	2.25	1,202.3	161.8	47.64	32.02	1.00	4.10
전북 부안군 주산면 화산리	6.92	30.4	0.24	2.96	8.12	2.23	828.0	19.6	58.56	45.33	1.29	5.31
전북 부안군 부안면 화산리	6.55	29.0	0.60	2.96	7.84	3.30	680.0	77.0	60.45	56.44	1.34	8.08
면 단위 평균	6.76	31.1	0.37	2.60	7.63	2.59	903.4	86.1	55.65	44.60	1.21	5.83
전북 부안군 줄포면 신리	6.06	22.9	0.20	1.30	3.29	0.73	904.6	22.4	30.29	31.89	1.19	1.87
전북 부안군 줄포면 신리	6.81	15.3	0.15	1.82	6.31	1.11	506.0	22.4	23.15	19.08	1.07	1.60
전북 부안군 줄포면 신리	6.71	17.8	0.16	3.35	4.73	0.92	957.0	21.0	27.60	25.61	1.44	2.27
면 단위 평균	6.53	18.7	0.17	2.16	4.78	0.92	789.2	21.9	27.01	25.52	1.23	1.91

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅	NO ₃	Fe	Mn	Cu	Zn
			Na	K	Ca	Mg						
전북 정읍시 신태읍 고산동	4.19	17.9	0.18	0.81	2.92	1.26	558.8	44.8	20.08	26.88	0.51	2.13
전북 정읍시 신태읍 고산동	4.57	17.4	0.26	1.57	3.59	1.29	522.0	35.0	37.11	25.62	0.92	3.52
전북 정읍시 신태읍 고산동	4.52	19.7	0.25	1.75	3.98	1.37	554.0	32.0	36.51	31.39	1.02	4.42
면 단위 평균	4.43	18.3	0.23	1.38	3.50	1.31	544.9	37.3	31.20	27.96	0.82	3.36
전북 정읍시 태안면 낙양리	4.75	24.1	0.21	0.71	2.23	0.66	597.7	41.1	56.62	26.57	2.53	2.63
전북 정읍시 태안면 낙양리	4.83	20.3	0.19	1.71	3.31	0.94	831.0	40.6	80.24	28.90	3.61	4.32
전북 정읍시 태안면 낙양리	5.17	20.7	0.16	1.60	3.19	0.84	589.0	23.8	92.81	41.54	3.55	4.66
면 단위 평균	4.92	21.7	0.19	1.34	2.91	0.81	672.6	37.2	76.55	32.34	3.23	3.87
경남 창녕군 유어면 생학리	5.23	29.8	0.30	0.77	5.46	2.24	705.3	74.7	156.79	7.65	2.37	2.10
경남 창녕군 유어면 효광리	4.03	22.4	0.30	1.78	3.78	1.29	858.0	84.0	82.64	58.88	2.50	11.11
경남 창녕군 유어면 광산리	4.26	26.4	0.25	2.50	4.14	1.27	1,341.0	77.0	82.11	97.14	1.37	5.04
면 단위 평균	4.54	26.2	0.28	1.08	4.46	1.60	968.1	78.6	107.18	54.56	2.08	6.08
경남 창녕군 이방면 상산리	5.22	29.7	0.20	1.00	5.63	1.66	1,694.6	59.7	54.46	32.28	1.91	2.91
경남 창녕군 이방면 석리	5.57	26.4	0.18	1.23	4.69	2.17	1,302.0	30.8	76.61	54.29	2.03	6.41
경남 창녕군 이방면 안리	4.93	19.7	0.29	0.94	6.35	2.11	700.0	28.0	93.76	17.74	2.89	3.69
면 단위 평균	5.24	25.3	0.22	1.06	5.56	1.98	1232.2	39.5	74.94	34.77	2.28	4.34
경남 창녕군 대화면 목단리	5.27	24.0	0.25	0.53	7.62	2.97	549.6	41.1	66.00	57.41	2.67	2.90
경남 창녕군 대화면 신안리	6.28	39.8	0.59	2.20	11.07	2.57	771.0	49.0	49.62	65.61	4.93	16.01
경남 창녕군 대화면 석실리	5.29	33.9	0.26	1.26	6.54	1.99	256.0	35.0	98.38	85.26	2.55	2.87
면 단위 평균	5.61	32.6	0.37	1.33	8.29	2.51	525.5	41.7	71.33	69.43	3.38	7.26
경북 안동시 길안면 구수리	5.02	21.2	0.17	0.41	7.02	0.73	619.0	26.6	90.82	29.76	1.98	21.70
경북 안동시 길안면 구수리	4.68	17.1	0.24	0.68	4.26	0.59	855.0	58.8	81.82	31.53	1.04	7.18
경북 안동시 길안면 용계리	6.34	25.9	0.23	3.62	6.46	2.20	119.0	96.6	34.26	41.71	2.05	5.49
경북 안동시 길안면 용계리	4.95	22.8	0.41	1.98	5.04	1.66	1,062.0	121.8	42.23	76.96	1.72	5.54
경북 안동시 길안면 대곡리	5.07	29.0	0.31	1.68	3.90	1.25	1,092.0	56.0	65.50	85.49	3.51	7.94
경북 안동시 길안면 현하리	6.74	19.7	0.16	1.59	6.35	2.29	618.0	26.6	55.36	41.58	6.79	10.11
면 단위 평균	5.22	20.6	0.27	1.37	4.97	1.30	639.1	60.8	61.66	53.69	2.34	7.83
경북 안동시 임동면 갈전리	5.29	33.3	0.22	0.71	3.96	0.81	687.0	59.7	78.33	62.21	3.33	11.54
경북 안동시 임동면 갈전리	5.19	13.2	0.15	1.01	2.80	0.86	757.0	40.6	76.24	54.73	1.86	7.40
경북 안동시 임동면 천천리	6.53	37.4	0.19	0.60	4.62	1.78	973.3	37.3	52.24	53.04	3.58	14.96
면 단위 평균	5.67	28.0	0.19	0.77	3.79	1.15	805.8	45.9	68.94	56.7	2.92	11.30
경북 안동시 임하면 신덕리	6.45	13.5	0.32	0.72	7.02	1.88	505.0	60.2	37.44	28.19	3.47	1.09
경북 안동시 임하면 추월리	6.50	37.8	0.17	1.33	8.51	1.98	784.0	35.0	66.10	25.94	2.90	1.36
면 단위 평균	6.49	29.6	0.23	0.88	6.72	1.88	742.1	44.2	51.93	35.72	3.32	5.80
경북 청송군 진보면 세장리	4.58	16.4	0.15	0.58	3.06	0.77	698.5	26.1	34.67	40.31	1.77	2.38
경북 청송군 진보면 광덕리	5.38	15.7	0.18	0.85	5.16	1.23	930.0	32.2	45.20	30.68	3.35	3.76
면 단위 평균	4.98	16.1	0.17	0.72	4.11	1.00	814.3	29.2	39.94	35.50	2.56	3.07
경북 안동시 일직면 원호리	5.30	43.4	0.22	1.08	4.39	1.39	1,419.8	22.4	117.38	77.38	16.11	8.19
경북 안동시 일직면 망호리	4.85	9.80	0.14	0.41	2.88	0.77	695.0	28.0	96.04	62.39	2.68	4.66
경북 안동시 일직면 조탑리	6.04	8.80	0.18	0.63	4.93	1.84	773.0	30.8	55.74	20.57	13.45	11.42
면 단위 평균	5.40	20.7	0.18	0.62	4.07	1.33	962.6	27.1	89.72	52.45	10.75	8.09

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅	NO ₃	Fe	Mn	Cu	Zn
			Na	K	Ca	Mg						
경북 안동시 길안면 현하리	5.32	17.1	0.18	0.45	4.70	1.39	893.1	52.3	73.05	39.29	4.09	4.76
경북 안동시 길안면 천거리	4.33	8.00	0.25	0.38	4.61	1.71	883.0	130.2	90.26	76.70	4.41	6.18
경북 안동시 길안면 구수리	7.49	13.6	0.18	0.56	12.81	1.74	657.0	21.0	26.05	6.29	3.39	2.04
면 단위 평균	5.71	12.9	0.20	0.46	7.37	1.61	811.0	67.8	63.12	40.76	3.96	4.33
경북 안동시 남선면 이천 1리	5.71	20.3	0.32	0.11	5.48	1.37	549.6	56.0	90.61	26.18	2.20	5.91
경북 안동시 남선면 신석리	5.35	8.30	0.13	0.65	3.90	0.99	824.0	26.6	60.61	22.26	2.27	3.76
경북 안동시 남선면 기느리	5.42	24.8	0.22	0.50	7.49	1.97	166.0	42.0	162.60	21.61	3.16	7.88
면 단위 평균	5.49	17.8	0.22	0.42	5.62	1.44	513.2	41.5	104.60	23.35	2.54	5.85
경북 영양군 입암면 노달리	5.85	16.2	0.14	0.45	7.12	1.46	503.8	33.6	74.16	57.57	4.15	2.40
경북 영양군 입암면 삼산리	5.52	9.80	0.18	0.29	4.30	1.81	438.0	33.6	69.95	45.31	2.02	4.68
경북 영양군 입암면 신구리	6.09	12.9	0.14	0.54	6.54	2.56	779.0	23.8	62.93	27.89	7.29	5.76
면 단위 평균	5.82	13.0	0.15	0.43	5.99	1.94	573.6	30.3	69.01	43.59	4.49	4.26
경북 영양군 영양면 감천 1리	5.81	19.8	0.28	0.91	5.43	2.86	847.3	231.5	186.22	17.49	6.03	4.48
경북 영양군 영양읍 현 1리	4.29	8.30	0.18	0.49	2.48	0.93	381.0	46.0	57.34	42.64	1.58	3.61
경북 영양군 영양읍 동부리	5.80	10.3	0.22	0.27	5.87	2.11	1,399.0	36.4	61.77	32.39	3.16	2.59
면 단위 평균	5.30	12.8	0.23	0.56	4.59	1.97	875.8	104.6	101.78	30.84	3.59	3.56
경북 영양군 일월면 곡강리	5.13	16.4	0.18	0.46	3.36	1.75	498.0	26.1	55.52	46.05	1.04	1.57
경북 영양군 일월면 도계 1리	4.81	8.80	0.17	0.56	3.03	1.34	129.0	37.8	16.01	10.55	0.46	1.56
경북 영양군 일월면 배골리	5.62	18.9	0.22	0.86	5.36	1.82	1,356.0	28.0	68.56	44.44	2.94	6.18
면 단위 평균	5.19	14.7	0.19	0.63	3.92	1.64	661.0	30.6	46.70	33.68	1.48	3.10
충남 당진군 고대면 고대리	4.48	25.9	0.15	0.48	0.94	0.28	1,019.1	22.4	90.67	37.95	2.26	6.60
충남 당진군 고대면 용두리	5.73	33.1	0.26	0.59	5.16	0.66	1,102.0	30.8	74.27	13.84	2.04	6.55
충남 당진군 고대면 진관리	5.97	1.80	0.25	0.18	9.18	2.42	614.0	32.2	21.18	26.82	0.47	1.05
면 단위 평균	5.39	20.3	0.22	0.42	5.09	1.12	911.7	28.5	62.04	26.20	1.59	4.73
충남 당진군 순성면 양유리	5.57	26.0	0.23	0.88	4.13	1.41	984.7	37.3	118.17	77.00	4.52	12.51
충남 당진군 순성면 양유리	6.61	20.7	0.21	1.01	6.19	1.83	624.0	37.8	48.09	25.83	1.99	8.05
충남 당진군 순성면 백석리	5.98	10.9	0.24	0.22	8.99	1.85	385.0	26.6	25.31	29.93	1.07	3.29
면 단위 평균	6.05	19.2	0.23	0.70	6.44	1.70	664.6	33.9	63.82	44.25	2.53	7.95
충남 당진군 면천면 시소리	5.50	21.6	0.09	0.48	2.74	1.09	499.2	41.1	54.18	47.64	0.97	5.88
충남 당진군 면천면 문봉리	5.54	29.2	0.20	0.99	4.22	1.43	800.0	46.2	81.89	51.05	2.64	18.34
충남 당진군 면천면 문봉리	6.06	11.6	0.20	0.68	4.85	1.36	866.0	51.8	41.27	29.28	2.98	6.44
면 단위 평균	5.70	20.8	0.16	0.72	3.94	1.29	721.7	46.4	59.11	42.66	2.20	10.22
충남 공주시 장기면 송선리	5.09	27.6	0.20	1.08	4.51	2.70	989.3	44.8	105.50	111.88	2.33	5.00
충남 공주시 장기면 동현리	7.07	8.80	0.21	0.20	7.92	3.21	345.0	56.0	23.96	28.47	1.02	1.91
충남 공주시 장기면 도계리	6.91	7.20	0.19	0.41	6.81	1.78	467.0	36.4	39.08	16.00	1.44	4.15
면 단위 평균	6.36	14.5	0.20	0.56	6.41	2.56	600.4	45.7	56.18	52.12	1.60	3.69
충남 공주시 유구면 노천리	6.56	69.6	0.21	0.75	9.04	1.06	1,225.2	48.5	52.50	20.44	7.46	31.71
충남 공주시 유구면 성남리	7.03	54.8	0.22	0.76	9.54	0.99	389.0	40.6	21.33	8.21	4.47	28.26
충남 공주시 유구면 만천리	4.26	31.2	0.21	1.96	2.80	0.78	418.0	112.0	96.82	57.77	3.50	7.84
면 단위 평균	5.95	51.9	0.21	1.16	7.13	0.94	677.4	67.0	56.88	28.81	5.14	22.60

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅ NO ₃ Fe Mn Cu Zn						
			Na	K	Ca	Mg	----- (mg/kg) -----						
충남 공주시 우성면 옥청리	5.55	36.5	0.16	0.80	2.84	1.34	1,076.3	59.7	65.23	43.77	7.26	6.50	
충남 공주시 우성면 상서리	5.79	21.2	0.23	1.08	9.34	2.23	1,447.0	58.8	54.38	67.21	4.45	10.96	
충남 공주시 우성면 신용리	4.84	5.00	0.13	0.32	1.14	0.43	1,147.0	29.4	23.61	58.12	0.40	1.60	
면 단위 평균	5.39	20.9	0.17	0.73	4.44	1.33	1,223.4	49.3	47.74	56.37	4.04	6.35	
충북 제천시 봉양면 연박 1리	5.43	26.4	0.13	0.28	3.85	0.63	1,007.6	26.1	49.30	27.38	3.59	5.40	
충북 제천시 봉양면 마곡리	6.49	33.1	0.15	0.59	6.66	0.93	800.0	23.8	28.53	13.16	1.22	3.53	
충북 제천시 봉양면 마곡리	6.79	16.0	0.15	0.56	7.61	1.66	1,073.0	70.0	13.86	9.17	0.97	3.47	
면 단위 평균	6.24	25.2	0.14	0.48	6.04	1.07	960.2	40.0	30.56	16.57	1.93	4.13	
충북 제천시 송학면 시곡리	6.52	15.2	0.14	0.20	5.84	3.73	142.0	14.9	48.47	38.06	1.35	1.62	
충북 제천시 송학면 무도리	7.12	19.1	0.17	0.41	10.44	0.83	566.0	23.8	21.80	12.98	1.79	3.00	
충북 제천시 송학면 오미리	7.42	10.3	0.15	0.23	10.64	1.25	462.0	22.0	10.27	6.56	0.37	1.32	
면 단위 평균	7.02	14.9	0.15	0.28	8.97	1.94	390.0	20.4	26.85	19.20	1.17	1.98	
충북 제천시 청풍면 진목리	6.23	16.2	0.16	1.24	8.67	2.41	687.0	59.7	54.50	147.86	4.28	5.32	
충북 제천시 청풍면 단돈리	8.03	8.50	0.16	0.58	25.38	0.59	158.0	26.6	5.77	7.93	0.78	1.24	
충북 제천시 청풍면 오산리	6.02	13.5	0.16	0.59	4.57	1.01	655.0	40.6	21.79	15.86	3.36	6.01	
면 단위 평균	6.76	12.7	0.16	0.80	12.87	1.34	500.0	42.3	27.35	57.22	2.81	4.19	
충북 괴산군 감물면 성곡1리	4.30	6.40	0.14	0.59	3.06	0.93	549.6	104.5	135.83	38.05	2.57	2.82	
충북 괴산군 감물면 사창리	4.76	2.90	0.15	0.40	4.88	1.33	1,236.6	44.8	67.38	31.02	2.71	2.15	
충북 괴산군 감물면 성곡리	4.44	11.0	0.17	0.32	1.30	0.49	132.0	36.4	28.95	28.61	0.45	1.15	
면 단위 평균	4.50	6.80	0.15	0.44	3.08	0.92	639.4	61.9	77.39	32.56	1.91	2.04	
충북 괴산군 문광면 광덕 2리	4.72	16.0	0.28	0.49	3.37	0.54	302.3	22.4	248.02	45.20	2.05	1.53	
충북 괴산군 문광면 양곡 2리	4.54	9.80	0.11	1.19	1.68	0.39	893.1	44.8	120.01	52.19	2.46	3.47	
충북 괴산군 문광면 광덕 1리	4.85	27.9	0.28	0.79	4.18	0.82	1,179.0	49.0	114.03	28.72	5.64	6.69	
면 단위 평균	4.70	17.9	0.15	0.44	3.08	0.92	791.5	38.7	160.69	42.01	3.38	3.90	
충북 괴산군 청천면 직영리	4.27	7.80	0.16	0.92	1.04	0.51	893.1	63.5	110.42	52.60	2.17	1.72	
충북 괴산군 청천면 직영리	5.90	8.50	0.17	0.29	16.78	2.09	158.0	26.6	27.83	23.38	1.28	1.19	
충북 괴산군 청천면 직영리	5.21	4.40	0.19	0.34	3.74	1.24	480.0	35.0	29.05	37.33	1.99	2.33	
면 단위 평균	5.13	6.90	0.22	0.82	3.08	0.58	510.4	41.7	55.77	37.77	1.81	1.75	
강원도 영월군 남면 연당4리	4.54	8.40	0.15	0.47	3.64	1.93	555.3	48.5	64.27	93.37	1.41	1.04	
강원도 영월군 남면 연당5리	6.90	14.5	0.14	0.52	9.42	4.56	196.0	40.6	19.16	40.38	1.70	1.37	
강원도 영월군 남면 연당1리	5.58	18.6	0.15	0.76	6.90	1.84	227.0	33.6	57.43	96.03	1.64	2.29	
면 단위 평균	5.67	13.8	0.15	0.58	6.65	2.78	326.1	40.9	46.95	76.59	1.58	1.57	
강원도 영월군 영월읍 연하1리	5.05	22.6	0.17	0.56	8.62	1.36	769.4	123.2	101.77	103.73	2.13	2.25	
강원도 영월군 영월읍 연하2리	5.22	15.6	0.15	0.97	6.23	1.25	449.0	36.4	65.19	45.37	2.27	1.78	
강원도 영월군 영월읍 연하2리	4.62	23.8	0.14	0.72	3.90	1.09	618.0	28.0	87.19	39.34	16.1	3.24	
면 단위 평균	4.96	20.7	0.15	0.75	6.25	1.23	612.2	62.5	84.72	62.81	6.83	2.42	

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅	NO ₃	Fe	Mn	Cu	Zn
			Na	K	Ca	Mg						
			------(mg/kg)-----									
강원도 영월군 중동면 연상1리	4.66	33.8	0.15	0.69	1.43	0.36	742.0	37.3	95.99	36.46	2.24	2.81
강원도 영월군 중동면 연상2리	4.82	24.8	0.14	0.90	1.89	0.53	1,007.0	46.6	74.51	37.82	1.46	2.97
강원도 영월군 중동면 연상2리	5.18	29.7	0.17	0.88	4.82	0.85	709.0	57.4	54.77	32.58	2.11	2.66
면 단위 평균	4.89	29.4	0.15	0.82	2.71	0.58	819.3	47.1	75.09	35.62	1.94	2.81
강원도 정선군 신동읍 고상리	7.92	4.00	0.14	0.88	14.53	3.74	612.6	26.1	18.15	27.56	1.46	0.94
강원도 정선군 신동읍 운치리	7.66	22.8	0.80	0.05	1.22	0.44	458.0	37.8	15.08	17.21	1.20	2.81
강원도 정선군 신동읍 삼거리	6.40	15.8	0.15	0.61	10.13	1.50	207.0	33.6	43.55	52.01	1.15	1.36
면 단위 평균	7.33	14.2	0.36	0.51	8.63	1.80	425.9	32.5	25.59	32.26	1.27	1.70
강원도 정선군 동면 화양1리	7.32	17.1	0.07	0.83	11.96	1.51	327.5	82.1	29.80	39.63	1.25	1.71
강원도 정선군 동면 석곡2리	7.65	9.60	0.14	0.58	11.51	1.10	348.0	26.6	19.51	30.70	2.23	3.62
강원도 정선군 동면 석곡2리	6.76	19.7	0.18	1.84	13.95	1.44	581.0	29.4	29.02	31.30	1.68	3.10
면 단위 평균	7.24	15.5	0.13	0.75	12.47	1.35	418.8	46.0	26.11	33.88	1.72	2.81
전 체 평 균	5.63	20.5	0.24	0.92	5.71	1.49	719.4	44.0	59.69	41.87	2.61	4.55

(마늘 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅ NO ₃ Fe Mn Cu Zn						
			Na	K	Ca	Mg	----- (mg/kg) -----						
전남 고흥군 과역면 호덕리	6.08	44.9	7.30	1.93	8.50	2.08	1,568.7	272.5	35.24	28.97	1.04	13.25	
전남 고흥군 과역면 호덕리	6.10	32.6	0.27	1.15	8.91	1.67	665.0	16.8	63.00	60.23	1.35	10.24	
전남 고흥군 과역면 호덕리	6.48	37.8	0.22	1.32	9.46	2.36	993.0	14.0	45.97	46.28	1.33	6.94	
면 단위 평균	6.22	38.4	2.60	1.47	8.76	2.04	1,116.6	51.2	48.07	45.16	1.24	10.14	
전남 고흥군 풍양면 매곡리	5.88	40.5	0.19	0.97	4.89	1.64	687.0	250.1	32.90	26.27	0.93	3.17	
전남 고흥군 풍양면 한동리	6.59	35.2	0.23	1.06	7.72	1.88	934.0	14.0	48.24	50.99	2.26	7.28	
전남 고흥군 풍양면 울치리	6.71	31.6	0.18	0.70	6.58	1.57	686.0	12.6	36.40	37.33	1.00	4.06	
면 단위 평균	6.39	35.8	0.20	0.91	6.40	1.70	769.0	92.2	39.18	38.20	1.40	4.84	
전남 고흥군 점암면 천학리	6.31	48.4	0.23	2.30	8.50	3.02	1,706.1	37.3	27.24	29.55	0.92	5.37	
전남 고흥군 점암면 천학리	6.68	54.8	0.26	3.08	11.23	3.14	957.0	16.8	50.72	66.93	1.69	7.99	
전남 고흥군 점암면 천학리	6.15	21.4	0.21	0.58	7.45	2.21	597.0	8.4	74.80	66.89	6.98	3.26	
면 단위 평균	6.38	41.5	0.23	1.99	9.06	2.79	1,086.7	20.8	50.92	54.56	3.20	5.54	
전남 고흥군 두원면 학곡리	5.58	35.2	0.23	0.77	4.34	1.40	357.2	194.1	33.19	25.07	1.38	2.64	
전남 고흥군 두원면 신숙리	5.26	26.1	0.18	1.26	3.39	1.18	685.0	15.4	88.04	93.50	2.11	6.74	
전남 고흥군 두원면 대굴리	6.12	12.4	0.15	0.63	4.69	1.35	550.0	9.8	18.64	27.02	0.70	2.75	
면 단위 평균	5.65	24.6	0.19	0.89	4.14	1.31	530.7	73.1	46.62	48.53	1.40	4.04	
전남 고흥군 도덕면 가야리	5.13	33.4	0.24	0.70	5.24	2.62	996.2	112.0	33.15	45.7	0.65	7.86	
전남 고흥군 도덕면 오마리	6.62	27.2	0.25	1.08	8.24	3.18	726.0	12.6	52.27	64.56	1.76	8.64	
전남 고흥군 도덕면 신양리	6.11	23.1	0.20	0.70	5.44	1.45	684.0	9.8	72.97	58.60	1.92	6.33	
면 단위 평균	5.95	27.9	0.23	0.83	6.31	2.42	802.0	44.8	52.80	56.29	1.44	7.61	
전북 완주군 고산면 삼기리	5.32	59.0	0.21	0.21	3.62	0.48	650.4	22.4	71.65	7.57	1.23	2.62	
전북 완주군 고산면 삼기리	5.07	28.3	0.16	1.44	2.05	0.70	1,169.0	30.8	56.20	34.81	2.05	4.55	
전북 완주군 고산면 삼기리	5.54	44.5	0.22	0.96	4.34	0.49	591.0	68.6	102.99	17.80	2.13	6.04	
면 단위 평균	5.31	43.9	0.20	0.87	3.34	0.56	803.5	40.6	76.95	20.06	1.80	4.40	
경남 남해군 고현면 월곡리	7.07	31.5	0.25	1.07	8.44	1.44	996.2	29.9	23.59	34.11	0.98	2.83	
경남 남해군 고현면 참현리	5.80	32.1	0.22	1.35	8.51	1.71	926.0	46.0	33.56	35.91	2.17	11.72	
경남 남해군 고현면 대사리	6.70	16.8	0.18	1.71	12.93	2.54	293.0	35.0	19.03	50.50	2.42	3.61	
면 단위 평균	6.52	26.8	0.22	1.38	9.96	1.90	738.4	37.0	25.39	40.17	1.86	6.05	
경남 남해군 남해읍 이어리	6.18	39.9	0.18	0.84	5.11	2.01	1,179.4	41.1	62.00	30.32	1.81	5.15	
경남 남해군 남해읍 이어리	5.31	15.5	0.22	0.90	3.47	1.18	400.0	28.0	61.73	31.66	0.90	3.03	
경남 남해군 남해읍 입현리	6.35	10.9	0.26	0.83	10.25	1.97	531.0	21.0	11.70	24.74	0.57	3.71	
경남 남해군 남해읍 입현리	5.81	22.2	0.23	1.82	7.72	1.62	616.0	19.6	110.65	72.91	1.85	3.66	
경남 남해군 남해읍 성산리	6.10	26.9	0.10	1.59	8.12	1.39	636.0	28.0	32.14	35.13	1.94	6.11	
면 단위 평균	5.95	23.1	0.20	1.20	6.93	1.63	672.5	27.5	55.64	38.95	1.41	4.33	
경남 남해군 이동면 다정리	6.08	39.6	0.20	2.16	7.98	2.94	1,328.2	37.3	28.41	24.94	1.22	5.35	
경남 남해군 이동면 다정리	7.07	46.6	0.34	1.77	12.61	3.96	657.0	18.2	93.24	33.56	3.63	7.48	
경남 남해군 이동면 성현리	6.26	37.2	0.20	1.87	11.27	1.99	631.0	22.4	21.79	13.59	0.73	3.23	
경남 남해군 이동면 성현리	5.52	10.3	0.30	3.50	11.71	3.03	1,311.0	21.0	65.11	102.08	2.46	18.48	
면 단위 평균	6.23	33.4	0.26	1.93	10.89	2.98	981.8	24.7	52.14	43.54	2.01	7.39	
경북 의성군 옥산면 정자리	5.00	20.3	0.24	0.75	2.02	0.64	549.6	41.1	89.44	52.55	1.98	6.71	
경북 의성군 옥산면 입암리	5.05	8.70	0.20	0.49	2.52	0.60	611.0	51.8	126.27	90.08	4.79	13.68	
경북 의성군 옥산면 정자리	6.05	67.8	0.20	0.88	5.64	1.49	694.0	36.4	39.42	27.20	1.72	7.08	
면 단위 평균	5.37	32.3	0.21	0.71	3.39	0.91	618.2	43.1	85.04	56.61	2.83	9.16	

(마늘 재배지 토양)

시료채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅ NO ₃ Fe Mn Cu Zn						
			Na	K	Ca	Mg	----- (mg/kg) -----						
경북 의성군 단북면 이연리	6.06	27.1	0.21	1.00	5.27	1.21	1,007.6	52.3	221.24	37.64	2.32	3.28	
경북 의성군 단북면 노현리	6.49	14.7	0.81	1.15	5.28	0.94	937.0	36.4	27.32	41.04	1.56	7.10	
경북 의성군 단북면 정안 1리	6.63	6.50	0.16	0.45	4.89	1.54	145.0	60.2	17.55	21.27	1.01	4.06	
경북 의성군 단북면 북계리	7.11	17.6	0.26	0.70	9.03	1.56	441.0	29.4	130.31	22.37	4.53	6.71	
면 단위 평균	6.57	16.5	0.36	0.83	6.12	1.31	632.7	44.6	99.08	30.58	2.36	5.29	
경북 의성군 봉양면 문흥리	6.80	28.6	0.16	0.77	5.95	2.53	813.0	18.7	109.89	46.32	2.38	6.03	
경북 의성군 봉양면 길천 1리	6.35	17.2	0.30	0.79	9.18	2.21	606.0	57.4	172.80	30.77	5.28	4.17	
경북 의성군 봉양면 화천리	6.31	22.2	0.24	0.47	8.67	2.32	1,242.0	30.8	129.86	28.49	7.18	4.84	
면 단위 평균	6.49	22.7	0.23	0.68	7.93	2.35	887.0	35.5	137.52	35.19	4.95	5.01	
경북 의성군 단촌면 방하 2리	5.48	31.7	0.18	0.40	4.72	1.15	1,007.6	29.9	188.49	17.64	3.91	4.01	
경북 의성군 단촌면 하화 1리	5.16	23.4	0.21	1.48	5.08	1.37	643.0	47.6	82.77	38.77	14.44	8.80	
경북 의성군 단촌면 판덕리	6.40	9.60	0.16	0.97	5.24	1.96	303.0	26.6	44.61	34.91	16.94	14.23	
면 단위 평균	5.68	22.7	0.18	0.95	5.01	1.49	651.2	34.7	105.29	30.44	8.25	9.01	
충남 서산시 인지면 애정리	6.36	34.0	0.24	1.68	6.20	2.69	1,328.2	78.4	60.45	74.47	3.37	12.64	
충남 서산시 인지면 야당리	5.18	15.9	0.18	0.54	13.78	0.82	916.0	70.0	26.69	29.93	2.95	6.46	
충남 서산시 인지면 애정 2구	5.78	13.9	0.20	1.23	4.69	2.12	1,073.0	64.4	33.13	33.17	2.63	6.50	
면 단위 평균	5.77	21.3	0.21	1.15	8.22	1.88	1,105.7	70.9	40.09	45.86	2.89	8.53	
충남 서산시 부석면 침전리	5.39	32.1	0.12	0.87	3.76	0.68	1,156.5	26.1	68.45	116.76	4.45	6.99	
충남 서산시 부석면 봉덕리	6.52	11.4	0.17	1.01	7.17	1.03	653.0	28.0	22.75	30.40	2.49	5.45	
충남 서산시 부석면 집행리	7.42	25.3	0.28	1.95	17.30	2.32	900.0	58.8	28.87	24.29	2.13	4.15	
면 단위 평균	6.44	22.9	0.19	1.28	9.41	1.34	903.2	37.6	40.02	57.15	3.02	5.53	
충남 서산시 팔봉면 어송리	5.04	21.6	0.21	1.26	4.81	2.18	778.6	48.5	137.71	135.95	2.22	4.99	
충남 서산시 팔봉면 지정리	5.69	22.0	0.24	1.51	7.17	2.39	1,100.0	50.4	85.91	85.57	2.58	8.33	
충남 서산시 팔봉면 금학리	7.60	13.2	0.26	0.27	11.78	1.82	827.0	46.0	16.75	17.31	1.32	2.31	
면 단위 평균	6.11	18.9	0.24	1.01	7.92	2.13	901.9	48.3	89.87	79.61	2.04	5.21	
충북 단양 마늘시험장 시설내	7.84	14.1	0.16	0.64	10.42	4.25	295.4	29.9	20.68	28.31	1.57	3.22	
충북 단양군 어상천면 임현리	7.34	12.2	0.14	0.66	9.99	3.92	219.8	287.5	27.38	41.83	1.96	1.44	
충북 단양군 어상천면 방북리	5.54	21.5	0.16	1.14	6.50	2.80	652.0	77.0	74.83	87.09	2.51	4.45	
충북 단양군 어상천면 심곡리	7.18	17.3	0.16	1.15	11.07	5.03	210.0	65.8	13.78	33.59	1.28	1.67	
면 단위 평균	6.98	16.3	0.16	0.90	9.50	4.00	344.3	115.1	34.17	47.71	1.83	2.70	
제주도 북제주군 구좌읍 행원리	7.90	11.2	0.18	0.40	16.80	2.00	64.1	119.5	27.74	5.22	0.60	1.11	
제주도 남제주군 성산면 하도리	6.30	46.6	0.45	3.69	16.59	3.71	728.0	42.0	48.96	10.14	2.40	10.15	
제주도 북제주군 구좌읍 북촌리	7.59	33.1	0.43	2.96	29.01	3.80	274.0	35.0	30.51	5.61	1.62	3.97	
면 단위 평균	7.26	30.3	0.35	2.35	20.80	3.17	355.4	65.5	35.74	6.99	1.54	5.08	
전 체 평 균	6.19	27.2	0.23	1.21	7.85	2.00	760.7	52.7	61.20	42.81	3.84	6.07	

(양과 재배지 토양)

시료 채취지역	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Ex.-Cation(cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Av. P ₂ O ₅	NO ₃	Fe	Mn	Cu	Zn
			Na	K	Ca	Mg						
전남 무안군 청계면 사마리	7.00	21.4	0.23	1.13	8.04	1.75	927.5	29.9	7.42	10.44	0.43	1.98
전남 무안군 청계면 북용리	5.71	21.4	0.21	1.08	6.54	1.63	1,130.0	14.0	48.70	73.66	2.03	7.64
전남 무안군 창계면 북길리	6.86	55.3	0.36	1.96	8.99	2.22	1,489.0	22.5	53.93	74.85	3.78	11.46
면 단위 평균	6.52	32.7	0.27	1.39	7.86	1.87	1,182.2	22.1	36.68	52.98	2.08	7.03
전남 무안군 현경면 나포리	5.68	34.1	0.22	1.00	5.03	2.08	961.8	22.4	44.93	27.81	1.16	3.26
전남 무안군 현경면 나포리	6.33	27.3	0.26	1.14	8.43	2.43	1,018.0	23.8	41.78	19.72	2.03	4.10
전남 무안군 현경면 송철리	5.38	23.8	0.25	0.74	6.23	1.44	441.0	33.6	37.49	24.62	1.62	4.75
면 단위 평균	5.80	28.4	0.24	0.96	6.56	1.98	806.9	26.6	41.40	24.05	1.60	4.04
전남 무안군 해제면 광산리	5.97	30.1	0.19	0.89	5.65	1.41	1,362.6	22.4	49.87	29.35	1.57	3.28
전남 무안군 해제면 양월리	6.95	22.0	0.18	1.33	7.13	1.96	663.0	22.4	51.94	69.52	1.16	7.58
전남 무안군 해제면 신정리	5.19	24.0	0.16	1.17	5.95	1.31	813.0	40.6	62.75	53.85	1.28	4.50
면 단위 평균	6.04	25.4	0.18	1.13	6.24	1.56	946.2	28.5	54.85	50.91	1.34	5.12
경남 창녕군 유어면 대대리	6.83	6.00	0.19	0.74	6.46	1.70	528.0	8.4	52.52	43.43	1.63	4.29
경남 창녕군 유어면 효광리	5.04	17.2	0.26	1.41	4.41	1.25	934.0	26.6	86.87	72.27	1.55	4.30
경남 창녕군 유어면 생학리	4.91	16.6	0.21	1.44	4.85	1.93	981.0	32.2	109.35	52.67	1.69	4.02
면 단위 평균	5.35	11.5	0.21	1.20	5.24	1.63	814.3	22.4	82.91	56.12	1.62	4.20
경북 김천시 대덕면 대동리	5.51	53.3	0.13	0.57	4.09	2.67	1,419.8	18.7	101.02	40.60	3.23	3.36
경북 김천시 대덕면 대동리	5.34	21.7	0.19	1.39	5.64	1.34	449.0	88.2	30.72	33.47	1.37	4.06
경북 김천시 대덕면 주치 2리	5.17	18.4	0.18	1.75	6.27	1.42	324.0	141.4	26.80	23.06	1.17	3.42
경북 김천시 대덕면 다화리	5.78	64.7	0.26	1.15	7.53	2.03	239.0	74.2	68.75	23.74	3.56	17.08
면 단위 평균	5.45	39.5	0.20	1.22	5.24	1.87	608.0	78.1	56.82	30.22	2.33	6.98
경북 김천시 지례면 예배 2리	6.50	34.0	0.20	0.45	5.52	1.22	705.3	22.4	54.58	32.79	1.42	4.20
경북 김천시 지례면 도곡 2리	6.59	16.6	0.19	0.49	8.08	1.37	102.0	29.4	40.21	18.84	1.30	4.63
경북 김천시 지례면 온평리	5.70	7.50	0.16	0.38	3.23	0.81	686.0	32.2	35.13	14.61	0.66	2.50
면 단위 평균	6.26	19.4	0.18	0.44	5.61	1.13	497.8	28.0	43.31	22.08	1.13	3.78
경북 김천시 구성면 송죽 2리	5.06	29.1	0.15	0.20	2.98	0.48	618.3	22.4	109.84	19.01	0.82	3.59
경북 김천시 구성면 광명 1리	5.69	13.5	0.14	0.22	4.45	0.84	366.0	33.6	40.09	10.31	2.89	5.34
경북 김천시 구성면 하강리	5.90	14.0	0.14	0.41	5.60	1.27	1,105.0	26.6	55.95	16.58	3.53	10.80
면 단위 평균	5.55	18.9	0.14	0.28	4.34	0.86	696.4	27.5	68.69	15.30	2.41	6.58
제주도 남제주군 성산읍 수산리	5.96	13.9	0.42	2.87	10.52	2.15	79.0	26.6	55.80	6.93	1.39	7.04
제주도 북제주군 구좌읍 봉김영리	7.84	11.4	0.42	0.61	21.68	2.67	553.0	84.0	11.25	3.37	1.40	3.59
면 단위 평균	6.90	12.7	0.42	1.74	16.10	2.41	316.0	55.3	33.35	5.15	1.40	5.32
전 체 평 균	6.00	30.1	0.22	1.02	6.80	1.64	745.6	37.4	53.24	33.15	1.82	5.45

표 2-4. 고추, 마늘 및 양파 주산단지 토양의 주요 특성의 분포비

<토성>

작물별	S	SL	SiL	L	SiCL	CL	SiC	C	시료점수
고 추	3 (2.3)	46 (34.9)	20 (5.2)	43 (32.6)	4 (3.0)	9 (6.8)	6 (4.6)	1 (0.8)	132 (100)
마 늘	3 (5.1)	10 (17.0)	9 (15.3)	26 (44.1)	2 (3.4)	6 (10.2)	2 (3.4)	1 (1.7)	59 (100)
양 파	1 (4.2)	12 (50.0)	3 (12.5)	7 (29.2)	1 (4.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	24 (100)
전 체	7 (3.3)	68 (31.6)	32 (14.9)	76 (35.4)	7 (3.3)	15 (7.0)	8 (8.4)	2 (0.9)	215 (100)

()는 전체대비(%)

<pH>

작물별	5.0이하	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6~7.0	7.1~7.5	7.5이상	시료점수
고 추	42 (31.8)	28 (21.2)	19 (14.4)	17 (12.9)	15 (11.4)	6 (4.6)	5 (3.8)	132 (100)
마 늘	2 (3.4)	13 (22.0)	6 (10.2)	21 (35.6)	7 (11.9)	6 (10.2)	4 (6.8)	59 (100)
양 파	2 (8.3)	6 (25.0)	8 (33.3)	2 (8.3)	5 (20.8)	0 (0.0)	1 (4.2)	24 (100)
전 체	46 (21.4)	47 (21.9)	33 (15.4)	40 (18.6)	27 (12.6)	12 (5.6)	10 (4.7)	215 (100)

<O.M.(g/kg)>

작물별	10 이하	11~20	21~30	31~40	41~50	51 이상	시료점수
고 추	23 (17.4)	48 (36.4)	44 (33.3)	14 (10.6)	1 (0.8)	2 (1.5)	132 (100)
마 늘	4 (6.8)	16 (27.1)	15 (25.4)	15 (25.4)	6 (10.2)	3 (5.1)	59 (100)
양 파	2 (8.3)	7 (29.2)	8 (33.3)	3 (12.5)	0 (0.0)	4 (16.7)	24 (100)
전 체	29 (13.5)	71 (33.0)	67 (31.2)	32 (14.9)	7 (3.3)	9 (4.2)	215 (100)

<P₂O₅(mg/kg)>

작물별	100 이하	101~200	201~400	401~600	601~800	801~1,000	1,001~1,200	1,201~1,400	1,401~1,600	1,601 이상	시료 점수
고 추	1 (0.8)	8 (6.1)	16 (12.1)	30 (22.7)	30 (22.7)	18 (13.6)	16 (12.1)	10 (7.6)	2 (1.5)	1 (0.8)	132 (100)
마 늘	1 (1.7)	1 (1.7)	8 (3.6)	6 (10.2)	19 (32.2)	11 (18.6)	7 (11.9)	4 (6.8)	1 (1.7)	1 (1.7)	59 (100)
양 파	1 (4.2)	1 (4.2)	3 (12.5)	4 (16.7)	4 (16.7)	5 (20.8)	3 (12.5)	1 (4.2)	2 (8.3)	0 (0.0)	24 (100)
전 체	3 (1.4)	10 (4.7)	27 (12.6)	40 (18.6)	53 (24.7)	34 (15.8)	26 (12.1)	15 (7.0)	5 (2.3)	2 (0.9)	215 (100)

<NO₃(mg/kg)>

작물별	50 이하	51~100	101~150	151~200	201 이상	시료점수
고 추	100 (75.8)	24 (18.2)	6 (4.6)	1 (0.8)	1 (0.8)	132 (100)
마 늘	41 (69.5)	11 (18.6)	3 (5.1)	1 (1.7)	3 (5.1)	59 (100)
양 파	20 (83.3)	3 (12.5)	1 (4.2)	0 (0.0)	0 (0.0)	24 (100)
전 체	161 (74.9)	38 (17.7)	10 (4.7)	2 (0.9)	4 (1.9)	215 (100)

나. AMF포자 밀도

전국의 고추, 마늘 및 양파 주산단지 토양으로부터 AMF의 포자를 분리계수한 결과는 표 2-5와 같다. 포자크기별로 계수한 결과 포자크기가 작을수록 균근균에서 높은 밀도를 보였고, 45~250 μ m 크기에서 포자가 주로 분포하고 있으며 45~106 μ m범위에서 가장 많은 밀도를 보였고, 106~250 μ m 범위에서 그 다음으로 많은 수치를 보였다. 분리에 사용한 체눈크기 250 μ m 이상으로 큰 분획에서는 자연토양(생토) 30g 당 5개 미만으로 아주 낮은 밀도를 보이고 있었다. 그것은 AMF 포자의 크기가 큰 균근균은 자연상태의 토양과는 다르게 지속적인 교란과 또한 균주 자체의 생태 생리적인

열세로 인한 결과(Hetrick, 1986; Smith와 Read, 1997)로 해석되었다. 그리고, 작물별 포자밀도를 보면 양파 > 마늘 > 고추재배 토양의 순서로 낮아져서 풍건 토양 1g 당 각각 12.05개, 11.7개 및 10.1개를 보여 고추가 가장 낮은 밀도를 보였는데 작부방식과 관련이 있는 것으로 판단되었다. 즉, 동작물인 마늘과 양파는 5월을 전후해서 수확한 후 콩, 고구마 등의 균근균과 친화성이 양호한 후작물을 파종 식재하기 때문에 훨씬 균근균의 번식체 증식에 유리하게 작용한 것으로 판단되었다.

이상과 같이 낮은 포자밀도를 보이는 것은 보고된 우리나라 자연상태의 비경작지 토양의 밀도(고, 1994)보다는 다소 낮은 밀도를 보였다. 이와 같이 AMF밀도에 직접적으로 영향을 미치는 토양환경의 요인 중 인산과 무기태 질소성분의 함량이 크게 작용한 것으로 해석되며, 토양 중 유효인산의 함량이 충분하면 기주식물의 세포막에 균근균의 균사가 감염하기 어렵다고 알려져 있다(Whetten과 Anderson, 1992).

한편, 지역별 작물별 건토 1g 당 포자밀도 분포 양상은 표 2-6, 그림 2-5 및 2-6과 같으며, 고추재배의 경우 일정한 경향은 찾을 수 없었으며, 전북 정읍시와 경북 청송군 시료의 포자밀도가 비교적 낮은 경향을 보였고, 마늘의 경우 전남 고흥군과 충남 서산시의 시료에서 다소 높은 포자밀도로 나타났으며 양파의 경우는 제주도 남제주군 시료에서 가장 높은 건토 1g 당 20개 이상의 포자수를 보였다.

표 2-5. AMF포자의 밀도

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	No. of spores (spores/30g fresh soil)						Spores/g fresh soil	Spores/g dry soil
	>500 μ m	354~500 μ m	250~354 μ m	106~250 μ m	45~106 μ m	Total		
전남 해남군 황산면	0.3	1.3	3.7	141.7	450.7	597.7	19.9 \pm 2.4	16.1 \pm 2.1
전남 해남군 마산면	0.0	1.0	2.7	71.0	173.0	247.7	8.3 \pm 4.3	6.5 \pm 3.5
전남 해남군 산이면	0.8	1.5	3.0	84.5	443.3	533.0	17.8 \pm 5.4	14.5 \pm 4.5
전남 영광군 홍농면	0.3	0.7	3.7	106.7	398.7	509.3	17.0 \pm 6.6	13.5 \pm 5.1
전남 영광군 범성면	0.8	1.0	3.5	91.0	224.3	320.5	36.1 \pm 44.7	8.9 \pm 4.1
전남 영광군 영광읍 (I)	0.0	0.5	4.0	138.5	678.5	821.5	27.4 \pm 22.1	23.2 \pm 18.7
전남 영광군 영광읍 (II)	0.5	0.0	1.0	37.0	150.0	166.5	6.3 \pm 2.4	5.5 \pm 2.1
전북 부안군 부안면	0.4	2.3	1.7	78.0	237.7	411.0	10.7 \pm 5.1	6.8 \pm 2.1
전북 부안군 주산면	0.0	0.0	6.3	142.0	377.0	525.3	17.5 \pm 11.2	13.8 \pm 8.9
전북 부안군 출포면	1.0	0.3	6.7	87.7	318.7	414.3	13.8 \pm 10.8	10.0 \pm 7.1
전북 정읍시 신태읍	0.0	0.3	8.3	59.7	160.7	229.0	7.6 \pm 2.2	6.0 \pm 1.7
전북 정읍시 태안면	0.7	0.7	1.7	59.0	132.7	194.7	6.5 \pm 3.2	5.4 \pm 2.6
전북 정읍시 감곡면	0.0	1.0	3.8	67.5	166.0	238.3	7.9 \pm 4.1	6.4 \pm 3.3
경남 창원군 이방면	0.0	1.3	2.7	97.7	258.0	359.7	12.0 \pm 4.5	9.9 \pm 3.8
경남 창원군 대합면	0.0	0.3	2.7	59.0	282.7	344.7	11.5 \pm 2.8	8.9 \pm 1.8
경북 안동시 길안면	0.0	2.3	7.3	71.8	345.3	424.8	14.1 \pm 6.6	11.5 \pm 5.2
경북 안동시 임남면	0.0	0.5	6.0	47.0	149.5	203.0	6.8 \pm 1.3	5.5 \pm 1.2
경북 안동시 입하면	0.3	1.7	4.7	56.3	143.3	205.7	6.9 \pm 3.8	5.6 \pm 3.2
경북 청송군 진보면	1.0	1.5	2.0	56.0	101.0	161.5	5.4 \pm 1.5	4.4 \pm 1.3
경북 안동시 일직면	0.3	1.0	9.0	116.0	530.3	656.7	21.9 \pm 10.5	17.7 \pm 8.3
경북 안동시 남선면	0.0	0.7	7.3	96.3	282.3	386.7	12.9 \pm 5.4	10.5 \pm 4.2
경북 영양군 입암면	0.0	0.3	5.3	163.3	205.0	374.0	12.5 \pm 3.3	10.4 \pm 2.6
경북 영양군 영양면	0.0	3.0	6.7	75.5	139.7	222.7	7.4 \pm 2.1	6.1 \pm 1.8
경북 영양군 일월면	0.0	0.7	1.0	48.0	129.7	179.3	5.7 \pm 4.6	4.8 \pm 3.9
충남 당진군 고대면	0.0	0.3	3.7	98.7	268.3	371.0	12.4 \pm 10.8	10.6 \pm 9.4
충남 당진군 순성면	0.3	1.0	8.0	88.3	202.7	300.3	10.0 \pm 3.1	8.2 \pm 2.6
충남 당진군 면천면	0.3	1.3	3.0	105.0	529.0	638.7	21.3 \pm 15.2	17.6 \pm 12.5
충남 공주시 장기면	1.0	3.0	4.0	96.7	204.7	307.3	10.2 \pm 3.6	8.5 \pm 2.9
충남 공주시 유구면	1.0	3.0	3.0	48.0	323.0	437.0	14.6 \pm 11.5	12.0 \pm 9.6
충남 공주시 우성면	0.0	3.0	5.3	130.0	352.7	85.7	16.3 \pm 7.3	12.7 \pm 5.1
충북 제천시 봉양면	0.3	4.3	8.0	117.3	321.3	451.3	15.0 \pm 6.4	12.7 \pm 5.3
충북 제천시 송학면	0.0	0.7	4.0	39.7	193.7	229.0	7.7 \pm 3.5	6.2 \pm 2.8
충북 제천시 청풍면	0.3	2.7	9.3	102.0	378.3	492.7	16.4 \pm 7.7	13.7 \pm 6.7
충북 괴산군 감물면	0.0	2.5	3.0	26.0	36.0	148.5	5.0 \pm 2.3	4.0 \pm 1.0
충북 괴산군 문광면	0.5	3.0	4.0	71.5	190.5	269.5	9.0 \pm 3.2	7.2 \pm 2.6
충북 괴산군 청천면	0.3	0.3	3.3	70.3	228.8	302.8	10.1 \pm 1.1	8.3 \pm 0.7
충북 괴산군 괴산읍	0.0	1.7	2.3	53.0	230.7	287.7	9.6 \pm 4.9	7.7 \pm 3.8
강원도 영월군 남면 (I)	0.3	2.7	8.0	102.0	341.7	454.7	15.1 \pm 2.6	11.8 \pm 1.8
강원도 영월군 남면 (II)	0.3	1.0	6.7	103.0	495.7	606.7	20.2 \pm 11.0	16.2 \pm 8.7
강원도 영월군 중동면	0.3	0.3	5.0	118.3	487.7	611.7	20.4 \pm 2.3	16.6 \pm 1.4
강원도 정선군 동동읍	0.5	2.0	5.5	34.0	246.0	288.0	9.6 \pm 6.0	7.4 \pm 4.5
강원도 정선군 동면	0.0	0.3	2.5	106.0	431.0	541.8	18.1 \pm 10.0	14.6 \pm 8.0
고추재배 토양평균	0.3	1.3	4.5	84.8	279.5	365.0	13.0	10.1

(마늘 재배지 토양)

시료채취지역	No. of spores (spores/30g fresh soil)						Spores/g fresh soil	Spores/g dry soil
	>500 μ m	354~ 500 μ m	250~ 354 μ m	106~ 250 μ m	45~ 106 μ m	Total		
	전남 고흥군 과역면	0.3	6.5	5.3	155.3	535.3		
전남 고흥군 풍양면	1.0	0.0	6.3	123.7	330.0	611.0	20.4 \pm 6.4	17.4 \pm 5.7
전남 고흥군 점암면	1.7	1.7	6.3	61.3	461.3	532.3	17.0 \pm 6.2	13.7 \pm 4.8
전남 고흥군 두원면	2.3	1.0	8.5	175.3	416.0	600.3	20.0 \pm 8.6	16.4 \pm 7.3
전남 고흥군 도덕면	0.3	1.4	3.8	73.4	289.6	424.4	13.0 \pm 7.5	10.3 \pm 6.0
전북 완주군 고산면	0.3	1.0	3.7	62.3	206.0	273.3	9.1 \pm 5.3	6.9 \pm 3.9
경남 남해군 고현면	0.3	2.3	4.7	160.7	337.0	505.0	16.8 \pm 8.3	13.0 \pm 6.4
경남 남해군 남해읍	0.0	1.6	4.4	133.6	362.0	501.6	16.7 \pm 9.2	13.1 \pm 7.3
경남 남해군 이동면	0.3	1.5	4.8	94.3	280.0	380.8	12.7 \pm 8.8	9.7 \pm 6.6
경북 의성군 옥산면	0.0	1.0	3.7	70.0	179.0	253.7	8.5 \pm 2.1	7.1 \pm 1.9
경북 의성군 단북면	0.5	1.8	3.3	92.3	284.8	382.5	12.8 \pm 7.4	10.2 \pm 5.9
경북 의성군 봉양면	0.3	2.7	5.7	125.3	215.0	349.0	11.6 \pm 7.9	8.8 \pm 6.0
경북 의성군 단촌면	0.0	0.7	4.0	61.7	184.3	250.7	8.4 \pm 4.0	6.8 \pm 3.5
충남 서산시 인지면	0.3	2.3	16.3	54.3	425.3	498.7	16.6 \pm 7.5	14.0 \pm 6.6
충남 서산시 부석면	0.3	0.7	4.3	113.7	674.0	793.0	26.4 \pm 9.1	21.1 \pm 7.1
충남 서산시 팔봉면	0.3	0.3	1.0	79.7	311.7	297.0	13.1 \pm 3.5	10.3 \pm 2.6
충북 단양군 어상천면	0.0	0.0	2.0	37.0	127.0	166.0	5.6 \pm 4.5	4.5 \pm 3.6
제주도 북제주군 구좌읍	0.0	0.5	1.5	33.0	265.5	300.5	10.0 \pm 6.5	7.9 \pm 5.1
마늘재배 토양평균	0.46	1.5	4.98	94.83	326.88	434.31	14.77	11.70

(양파 재배지 토양)

시료채취지역	No. of spores(spores/30g fresh soil)						Spores/g fresh soil	Spores/g dry soil
	>500 μ m	354~ 500 μ m	250~ 354 μ m	106~ 250 μ m	45~ 106 μ m	Total		
	전남 무안군 청계면	0.3	0.7	1.3	82.0	361.0		
전남 무안군 현경면	0.3	0.3	1.7	98.7	422.7	523.7	17.4 \pm 5.3	13.8 \pm 4.1
전남 무안군 해제면	0.2	0.7	1.5	77.5	331.7	411.5	13.7 \pm 4.9	11.3 \pm 3.9
경남 창녕군 유어면								
경북 김천시 대덕면	0.5	0.8	2.5	94.8	216.5	315.0	10.5 \pm 5.6	7.9 \pm 3.7
경북 김천시 지례면	0.7	0.7	1.0	109.0	277.0	388.3	12.9 \pm 2.8	10.2 \pm 2.0
경북 김천시 구성면	0.0	2.0	4.0	62.7	238.0	306.7	10.2 \pm 3.2	8.2 \pm 3.0
제주도 남제주군 성산읍	0.5	0.5	2.0	122.0	776.0	901.0	30.1 \pm 17.3	21.0 \pm 9.4
양파재배 토양평균	0.33	0.63	1.75	88.25	332.98	423.88	14.10	11.21

표 2-6. 고추, 마늘 및 양파 재배지 토양의 AMF포자의 분포 범위

(고추 재배지 토양)

시료채취지역	No. of Spores/g dry soil			
	Min.	Mean	Max.	S. D.
전남 해남군 황산면	13.7	16.1	18.8	2.09
전남 해남군 마산면	3.1	6.5	11.4	3.54
전남 해남군 산이면	7.3	14.5	19.3	4.52
전남 영광군 홍농면	6.3	13.5	17.6	5.13
전남 영광군 법성면	2.3	8.9	13.4	4.05
전남 영광군 영광읍	3.4	14.3	41.8	15.95
전북 부안군 부안면	3.9	6.8	8.4	2.08
전북 부안군 주산면	4.8	13.8	25.9	8.90
전북 부안군 줄포면	1.1	10.0	18.5	7.11
전북 정읍시 신태읍	3.6	6.0	7.4	1.69
전북 정읍시 태안면	1.7	5.4	7.2	2.59
경남 창녕군 유어면	3.0	6.4	11.8	3.32
경남 창녕군 이방면	4.5	9.9	12.8	3.84
경남 창녕군 대합면	7.5	8.9	11.5	1.84
경북 안동시 길안면	0.4	11.5	17.4	5.24
경북 안동시 임동면	4.3	5.5	6.7	1.20
경북 안동시 임하면	2.2	5.6	9.9	3.20
경북 청송군 진보면	3.1	4.4	5.7	1.30
경북 안동시 일직면	10.2	17.7	29.3	8.30
경북 안동시 남선면	5.0	10.5	15.1	4.17
경북 영양군 입암면	7.6	10.4	13.8	2.56
경북 영양군 영양읍	3.8	6.1	8.0	1.75
경북 영양군 일월면	0.7	4.8	10.1	3.92
충남 당진군 고대면	3.6	10.6	23.9	9.43
충남 당진군 순성면	4.8	8.2	11.1	2.60
충남 당진군 연천면	6.0	17.6	34.9	12.47
충남 공주시 장기면	4.8	8.5	12.0	2.94
충남 공주시 유구면	3.0	12.0	25.3	9.58
충남 공주시 우성면	6.4	12.7	18.8	5.06
충북 제천시 봉양면	5.2	12.7	16.5	5.33
충북 제천시 송학면	2.4	6.2	8.9	2.78
충북 제천시 청풍면	7.4	13.7	23.0	6.70
충북 괴산군 감물면	2.2	4.0	5.8	1.00
충북 괴산군 문광면	4.6	7.2	9.7	2.55
충북 괴산군 청천면	7.4	8.3	9.2	0.71
충북 단양군 어상천면	3.7	7.7	12.7	3.75
강원도 영월군 남면	8.7	14.0	28.4	6.65
강원도 영월군 중동면	15.1	16.6	18.5	1.41
강원도 정선군 신동읍	2.9	7.4	11.9	4.50
강원도 정선군 동면	8.0	14.6	28.0	8.02
전체 평균	5.0	10.1	16.0	

(마늘 재배지 토양)

시료채취지역	No. of Spores/g dry soil			
	Min.	Mean	Max.	S. D.
전남 고흥군 과역면	15.9	18.6	23.3	3.32
전남 고흥군 풍양면	10.0	17.4	23.9	5.72
전남 고흥군 점암면	7.2	13.7	18.4	4.75
전남 고흥군 두원면	7.2	16.4	24.9	7.25
전남 고흥군 도덕면	3.5	11.3	21.2	7.39
전북 완주군 고산면	3.7	6.9	12.4	3.93
경남 남해군 고현면	4.4	13.0	19.6	6.38
경남 남해군 남해읍	4.5	13.1	23.2	7.27
경남 남해군 이동면	2.8	9.7	18.0	6.63
경북 의성군 옥산면	5.8	7.1	9.8	1.89
경북 의성군 단북면	2.6	10.2	19.2	5.93
경북 의성군 봉양면	3.7	8.8	17.3	6.03
경북 의성군 단촌면	3.7	6.8	11.7	3.51
충남 서산시 인지면	7.0	14.0	22.9	6.63
충남 서산시 부석면	12.0	21.1	29.4	7.13
충남 서산시 광봉면	8.4	10.3	13.9	2.55
충북 단양군 어상천면	0.9	4.5	8.0	3.55
제주도 북제주군 구좌읍	2.8	7.9	12.9	5.05
전 체 평 균	5.9	11.7	17.9	

(양파 재배지 토양)

시료채취지역	No. of Spores/g dry soil			
	Min.	Mean	Max.	S. D.
전남 무안군 청계면	6.6	11.7	19.1	5.37
전남 무안군 현경면	8.4	13.8	18.2	4.05
전남 무안군 해제면	9.4	10.5	11.8	1.00
경남 창녕군 유어면	4.8	12.1	17.4	5.33
경북 김천시 대덕면	4.2	7.9	13.5	3.68
경북 김천시 지례면	7.8	10.2	12.7	2.00
경북 김천시 구성면	4.7	8.2	12.1	3.04
제주도 남제주군 성산읍	11.6	21.0	30.3	9.35
전 체 평 균	7.2	12.1	16.9	

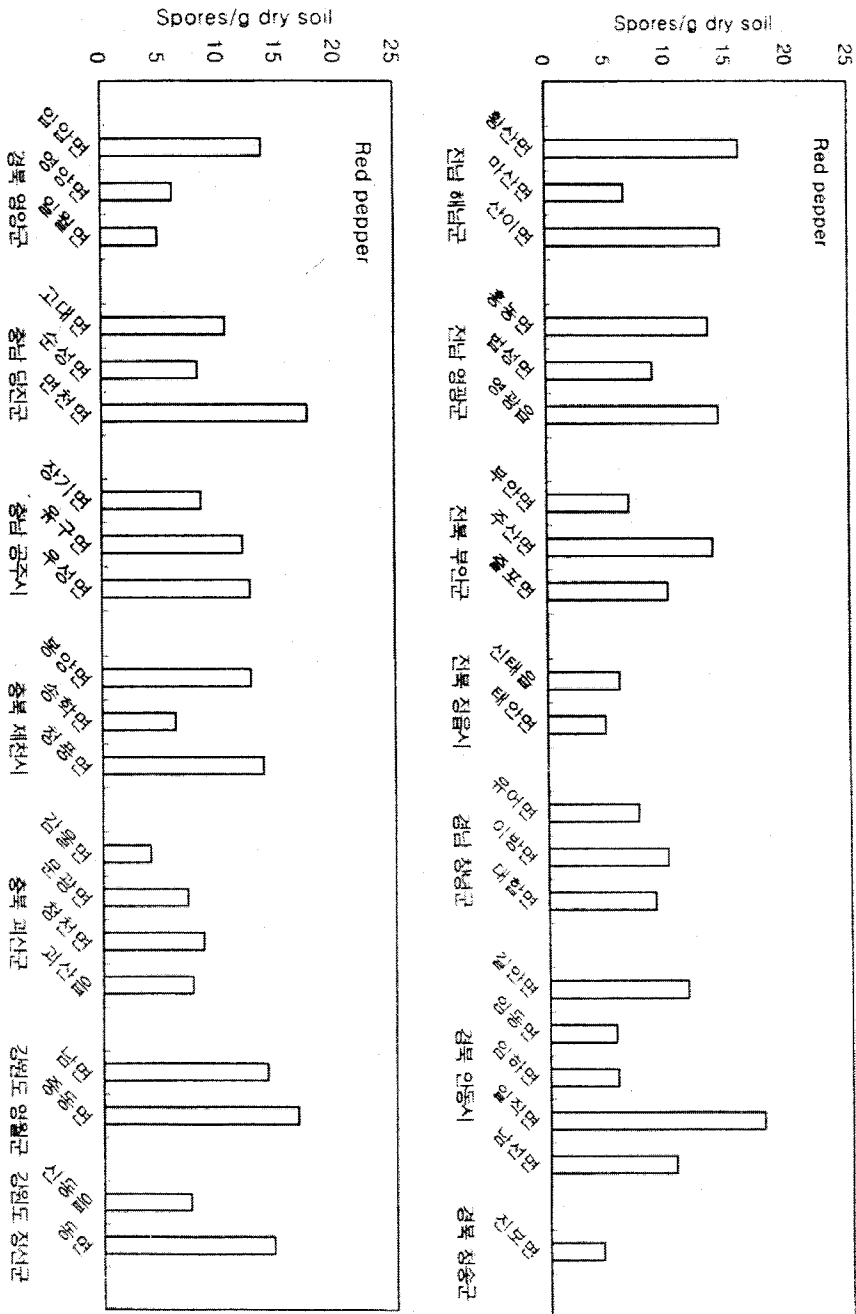


그림 2-5. 우리나라 고추 주산지 재배토양 중 AMF포자 밀도

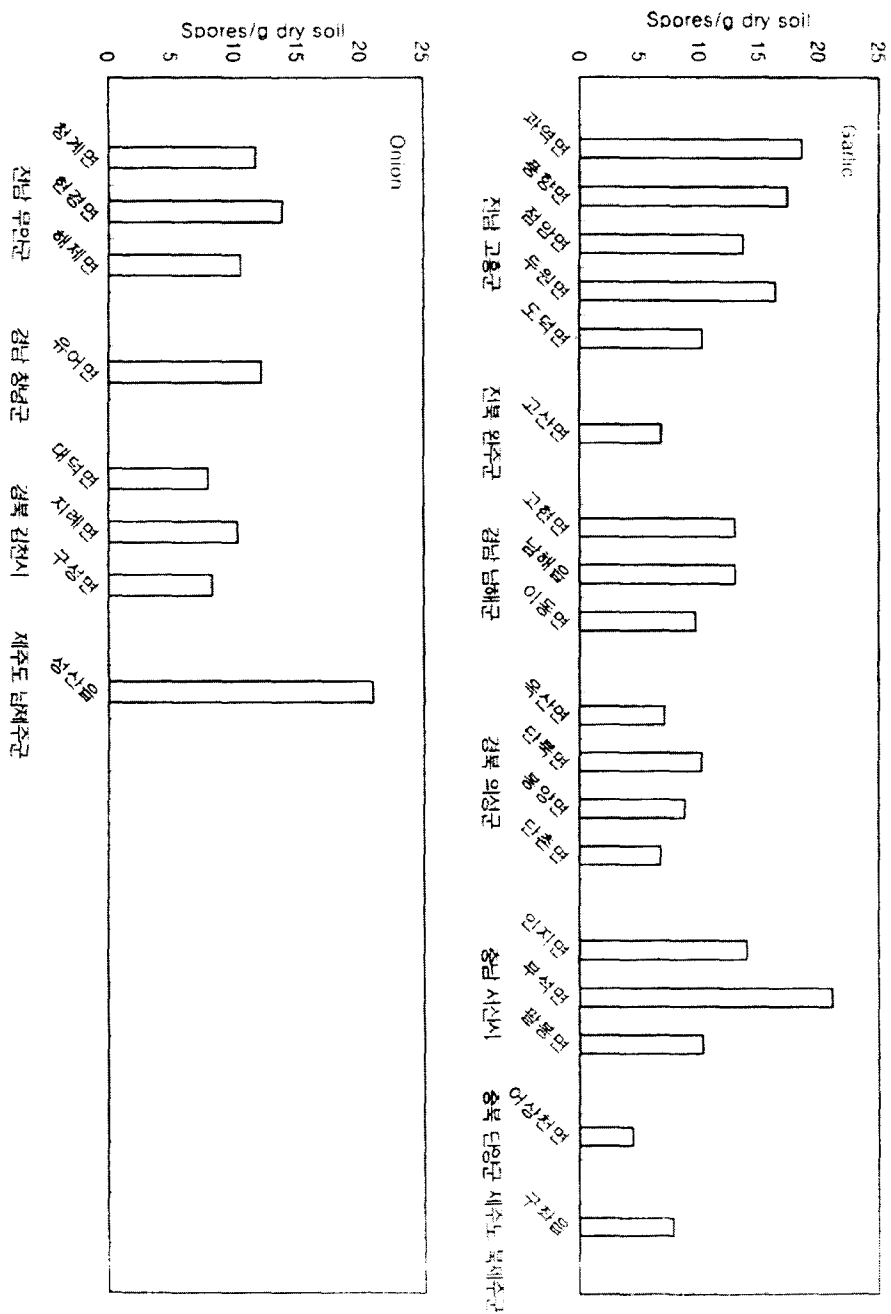


그림 2-6. 우리나라 마늘과 양파 주산지의 토양 중 AMF포자 밀도

그림 2-7에서 2-12는 AMF포자 밀도와 토양의 주 영향 요인인 토성, 유기물함량, pH, 유효 P_2O_5 함량, NO_3^- 함량 및 CEC 등과 포자 밀도의 분포양상을 나타냈다. 먼저 토성의 경우 그림 2-7에서와 같이 미사질식토(SiC)와 식토(C)에서 건토 1g 당 15개 전후의 밀도를 나타냈고, 10개의 밀도를 나타낸 토성은 사양토(SL), 미사질양토(SiL), 양토(L) 및 식양토(CL)였으며 사토(S)에서 가장 낮은 밀도를 보였는데, 사토의 경우 통기성은 양호하지만, 토양 유기물 등은 신속한 분해와 토양양분의 보유력이 낮아 해당 토양에 재배되는 작물의 생육이 저하되어 번식체 증식이 순조롭지 않은 이유로 해석할 수 있으며 또 하나의 이유로 유추할 수 있는 것은 사질토는 통기가 양호하기 때문에 타 호기성 미생물에 의한 포자의 분해 사멸이 신속히 이루어질 수 있다고 여겨지며, 특히 제주도에서 채취한 토양에서 분리한 포자는 사멸된 검은색의 포자가 많아 뚜렷이 증명되었는데 현무암에서 유래된 토양은 조립질이기 때문에 통기성이 양호하여 미생물에 의한 분해가 용이하기 때문인 것으로 판단되었다.

토양 유기물 함량에 따른 포자 밀도는 그림 2-8과 같다. 그림에서 보면 토양 유기물 함량이 10~40g/kg 사이에 포자가 집중분포하고 있으며, 토양 유기물 함량과 포자밀도와 유의적인 상관관계를 강조하는 연구결과와는 상이한 결과를 보이고 있다.

토양의 수소이온농도와 관련한 포자밀도분포는 그림 2-9에서 보는 바와 같이 균류의 일반적인 pH값에 대한 반응특성(Wollum, 1997)과 같이 비교적 넓은 pH값 4~8 영역에 분포하고 있으며, 건토 1g당 10개 이상의 포자밀도의 분포는 약산성에서부터 중성부분에 주로 분포하고 있는 경향이나 고추재배 토양의 경우는 pH값이 5이하인 토양이 전국의 조사지역에서 43개 토양으로 조사되었으며, 그림 9에서 분명히 확인된 바와 같이 pH값 5.0 이하인 토양에 분포하는 포자밀도는 거의 모두가 고추재배 토양으로 나타나고 있다. 또한 pH값이 중성을 넘어 8 부근의 토양은 충청북도 일부 지역과 강원도 조사지역의 석회암 지역에서 유래한 경작지로부터 조사되었기 때문이다.

한편, 토양중 유효인산과 관련된 포자 밀도분포는 그림 2-10에서와 같이 이미 밝혀진 토양 무기인산 함량에 대한 AMF의 감염반응 결과와는 다소 상이한 결과를 보

었다. 즉, 토양 중 높은 유효인산 함량과는 민감하게 작용하지 않았는데, 그 이유로 판단되는 점은 조사된 조미채소 주산단지 토양의 영농방식이 과도한 비료의 투입인 다비 중심으로 일관해 온 결과로써 주어진 토양조건에서 존재하는 토착 균근균이 오랫동안 적응해왔기 때문으로 해석되었다. 그림 2-10에 나타난 바와 같이 유효인산 함량의 분포는 최고 1,700mg/kg까지 검출되었으며, 유효인산함량 1,500mg/kg까지 넓은 포자 밀도분포를 보이고 있어 토양 중 인산함량에 관계없이 토착균의 선발연구가 오히려 용이하지 않거나 하는 판단이었다.

Ratnayake 등(1978)과 Graham 등(1981)이 지적한 바에 따르면 토양에서 AMF의 발달이 충분한 무기인산 농도 조건에서는 뿌리표피세포의 세포막으로부터 분비되는 분비물질의 감소와 균사의 세포막 투과성에 영향을 미치기 때문에 제한을 받는다고 하였으며 또한 Jasper 등(1979)은 토양 중 인산이 낮은 토양에서 분리한 AMF는 주변의 인접한 시비경력이 있는 농경지의 균주보다 무기인산의 증가에 민감하였다고 보고한 바 있다.

AMF의 감염과 발달에 크게 영향을 미친다고 알려진 무기질소 성분 중 NO_3^- 함량과 포자밀도 분포양상을 보면 그림 2-11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 포자밀도분포가 NO_3^- 20~90mg/kg 사이에 집중되는 결과를 나타냈으며 포자밀도는 NO_3^- 함량이 낮을수록 높게 나타남을 확인할 수 있었고 AMF의 감염을 유도하려면 50mg/kg 이상의 무기질소 농도를 넘지 않도록 조절해야 한다고 보고된 연구결과(Feldmann과 Idczak, 1994)와 일치하는 경향을 보였다.

그림 2-12는 CEC와 관련된 포자 밀도분포를 조사지점 72개 토양의 분석결과만을 토대로 나타낸 것으로서 포자분포는 CEC 10~15 범위에 주로 밀집하고 있으며 2개 지점만 제외한다면 CEC가 증가하면 포자의 밀도도 다소 증가되는 경향을 찾을 수 있었다.

표 2-7은 조사대상 원예작물의 작목별 포자밀도와 토양화학성 요인과의 상관관계를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 양파재배 토양의 포자밀도에서 토양 유기물함량과 Na 함량만이 유의적인 상관관계를 얻었을 뿐이었고, 앞의 그림에서 나타난

바와 같이 이미 알려진 요인 등과의 관련성에서 일관성 있는 경향을 찾을 수가 없었다.

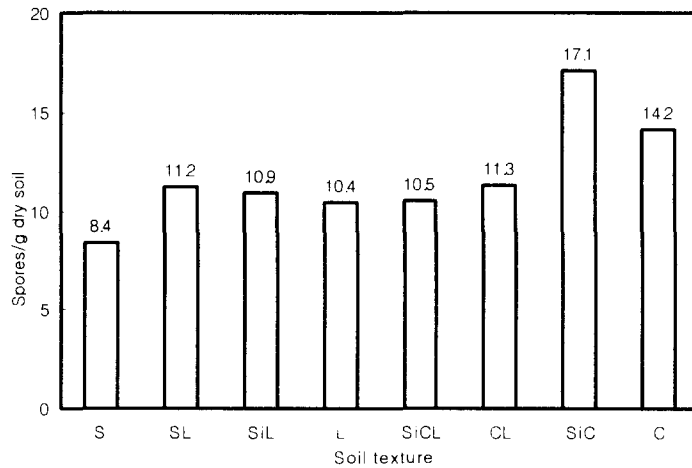


그림 2-7. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 토성과 AMF포자 밀도분포

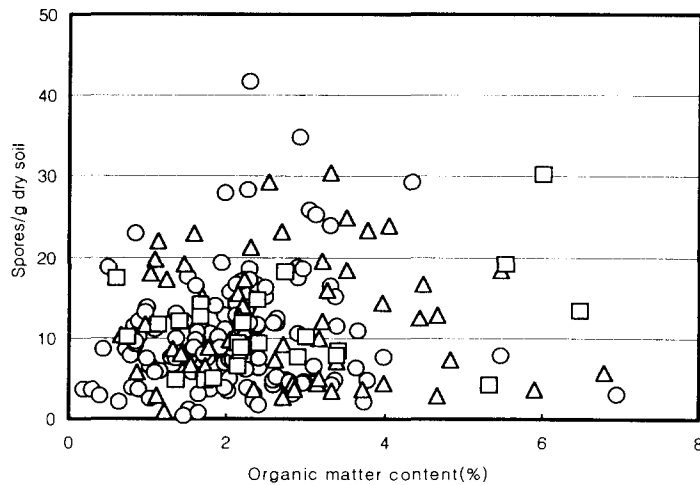


그림 2-8. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 유기물함량과 AMF포자 밀도분포
(○ : 고추, △ : 마늘, □ : 양파)

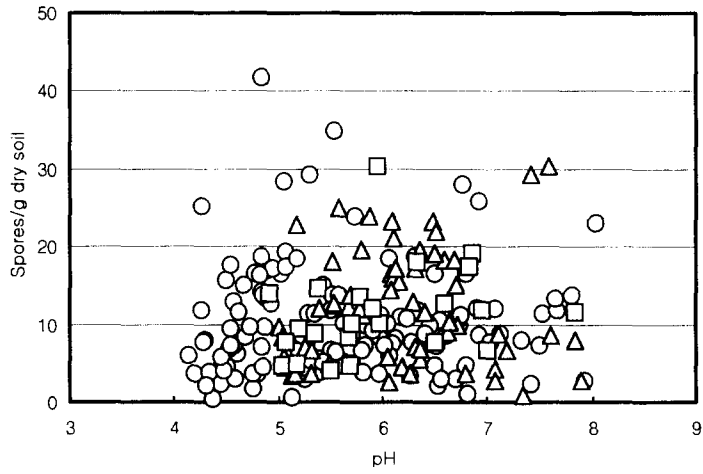


그림 2-9. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 pH값과 AMF포자 밀도분포

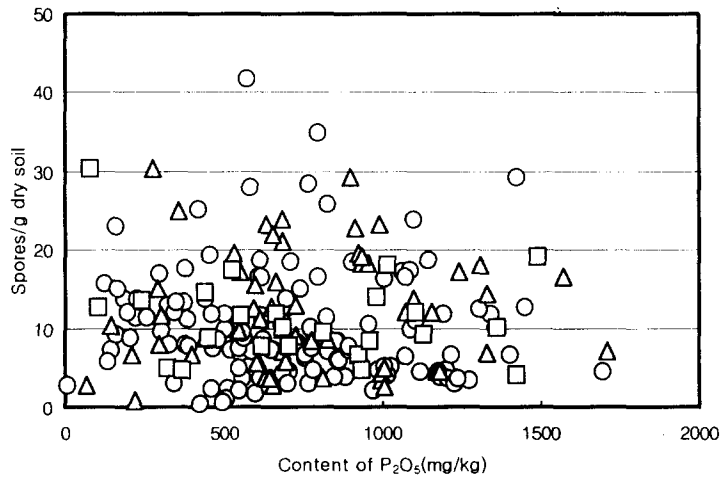


그림 2-10. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 인산 함량과 AMF포자 밀도분포

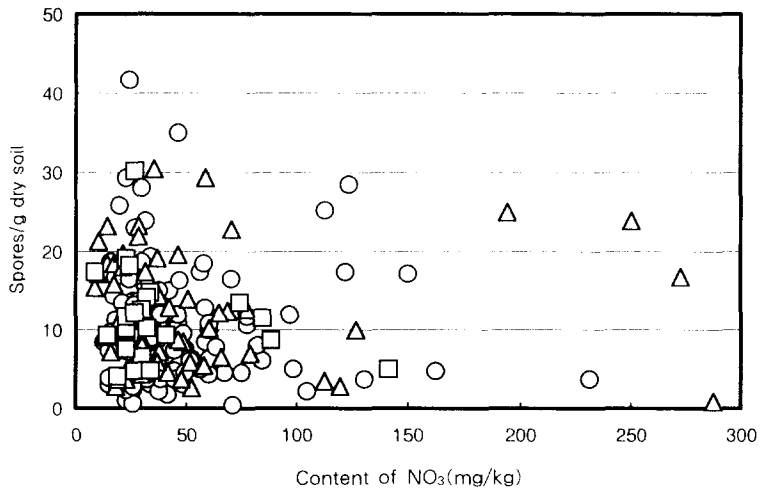


그림 2-11. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 질소 함량과 AMF포자 밀도분포

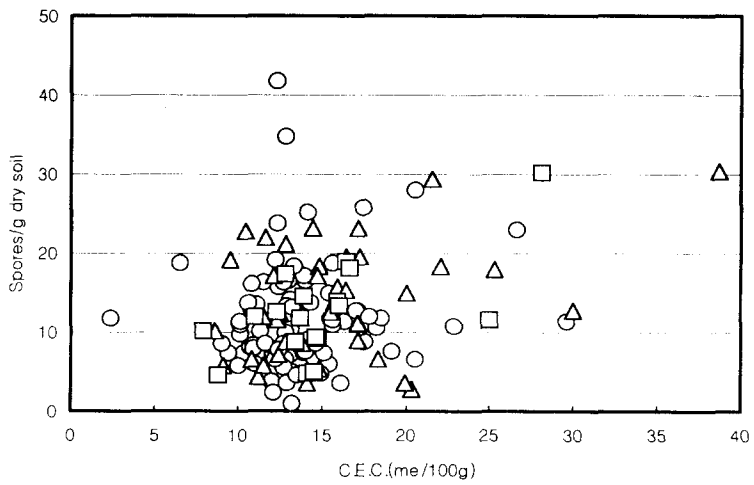


그림 2-12. 고추, 마늘 및 양파 재배지의 C.E.C.와 AMF포자 밀도분포

표 2-7. 고추, 마늘 및 양파 재배지 토양의 화학성과 포자분포와의 상관관계

작물별	pH	P ₂ O ₅	NO ₃ ⁻	O.M.	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	K	Ca	Mg
고추	0.022	-0.084	-0.045	0.127	0.017	0.208	0.020	-0.012	0.004	0.198	0.121	-0.079
마늘	0.062	0.043	0.029	-0.052	-0.340	-0.033	-0.102	0.116	0.257	0.283	0.302	-0.070
양파	0.280	-0.207	-0.213	0.613*	-0.035	-0.079	0.126	0.347	0.640*	0.561	0.364	0.381

*, ** : Significant at the 5% and 1% levels, respectively

다. 분리된 AMF포자의 형태적 특성

그림 2-13의 사진 A~F는 포자의 1차 분리단계에서 촬영한 포자 형태이다. 사진 A와 B에서 보면 포자 크기가 상당히 큰 황백색의 *Gigaspora*(G)속 포자와 발아력이 없는 검은색 포자(NV)와 발아력이 있는 직경 100 μ m 전후의 황갈색 포자(V)들을 보여주고 있으며 전남 고흥군 마늘재배토양에서 채취한 시료에서 분리한 것이다. 또, 사진 C와 D는 각각 경북 의성군과 경남 창녕군의 고추재배 토양에서 분리한 포자로서 다양한 형태의 AMF 포자들을 관찰할 수 있으며 색깔이 검은 발아력이 없는 포자가 많이 보이며 *Gigaspora*속의 포자와 *Acaulospora*속의 포자를 많이 확인할 수 있었다. 이것은 앞의 고추재배 토양의 pH값에서도 그 경향을 확인한 바와 같이 산성 토양에서 우점도가 높은 균근균 종류로 이 두 가지 속이 포함된다(Smith와 Read, 1997).

사진 E와 F는 전남 해남군 산이면 대명리 시료에서 분리한 포자로서, 특히 사진 F는 포자가 살아 있어서 발아력이 있다고 판단되는 황갈색의 포자만을 해부현미경 하에서 분리해 모은 45 μ m~250 μ m 크기의 포자이다. 주로 100~120 μ m 전후의 *Glomus* 속과 *Acaulospora*속의 포자(화살표 : ←)가 우점하고 있다.

한편 사진 G~L은 1차 분리한 포자를 해부 현미경하에서 속을 분리한 것이다 (Morton과 Benny 1990). 사진 G는 *Sclerocystis*속에서 흔히 관찰되는 포자낭과

(sporocarp)로서 방사형으로 후막포자(chlamydospore : CH)가 균사중심층(central plexus of hyphae : CPH)에 연결되어 있는 것이 특징이고 후막포자의 색깔은 짙은 황갈색을 보인다.

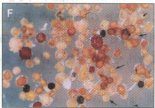
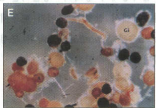
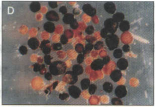
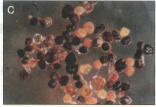
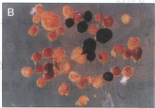
사진 H와 I는 *Glomus*속 포자로서 사진 A는 투과광하에서 촬영하였기 때문에 흑갈색을 나타내고 포자에는 짧은 균사가 연결되어 있으며 포자 크기는 100 μ m 전후를 나타내고, 사진 B 역시 형태적 특성상 *Glomus*속으로 분류된다. 사진에서 보는 바와 같이 후막포자(S)에 지지균사(H)가 연결되어 있으며 포자벽과 지지균사가 두터운 것이 특징이다.

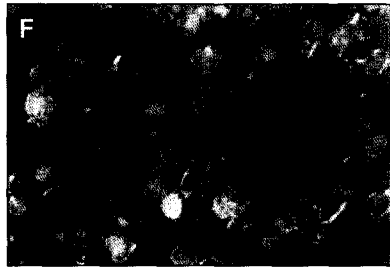
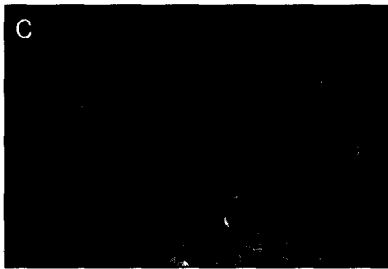
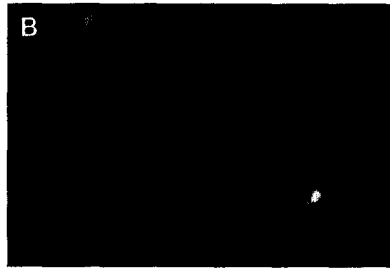
사진 J는 *Acaulospora*속 포자(S)에 발아가 시작되어 발아균사(화살표)로서 해부 현미경하에서 포자분리 작업도중 저온(4 $^{\circ}$ C)으로 유지되지 못하였기 때문에 발아가 진행되었는데 분리한 포자는 접종원으로 다시 사용할 경우는 포자분리 단계에서 발아가 유도되지 않도록 실험장소의 온도유지 문제가 장애로 남는다. 다음으로 사진 L은 경남 남해군의 마늘재배 토양에서 분리한 *Gigaspora*속 포자이며 불룩하게 부풀어 있는 지지균사(bulbous subtending hyphae)를 확인할 수 있다.

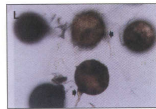
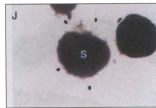
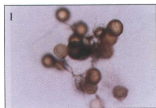
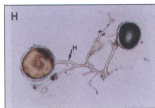
사진 K는 포자의 외부형태를 근거하여 *Gigaspora*속 포자들(GIM과 GIR)을 보여주고 있으며 크기는 200~250 μ m의 직경을 갖고 반사광하에서 황백색~황갈색을 보인다.

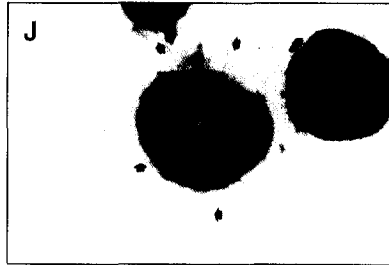
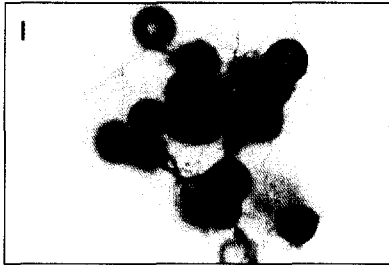
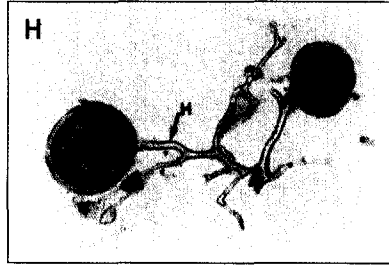
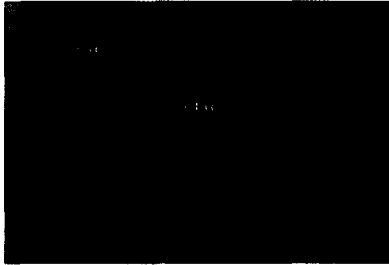
사진 L의 경우는 *Gigaspora*속 포자를 투과광하에서 촬영한 것이기 때문에 검은색으로 보이며, 사진 내의 화살표(\leftarrow)는 *Gigaspora*속과 *Scutellospora*속의 특징인 지지균사와 포자가 연결된 부분의 부풀어 있는 지지균사가 확인된다.

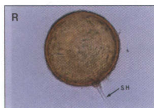
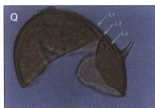
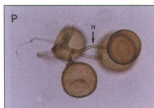
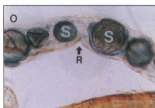
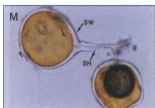
(sporocarp) 또는 방사형포자 (chlamydospore ; CH)가 중심부에 위치하는 형태를 띠고 있다. (Figure 1A, B, C, D, E, F)

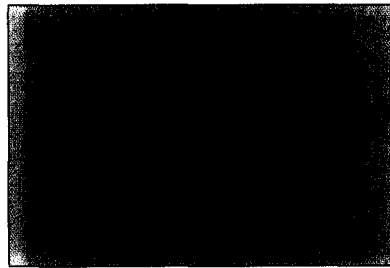
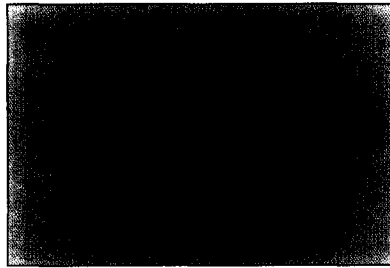
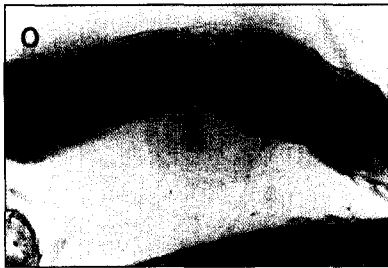
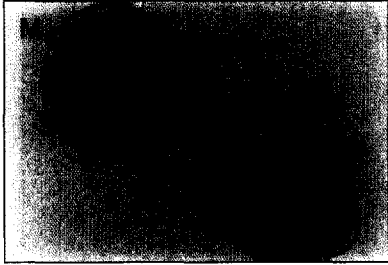












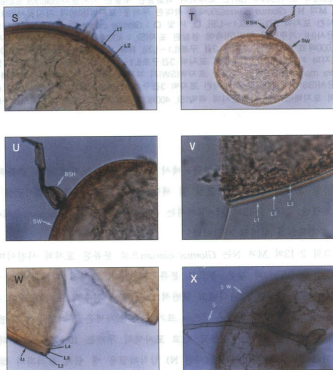


그림 2-13. 원예작물 주산단지 토양에서 분리한 포자와 속 동정 결과

A와 B : 전남 고흥 두원면 신속리(A)와 품양면 울치리(B) 마늘토양의 분리포자(G : *Gigaspora*속 포자, NV : non-viable spore, V : viable spore), C와 D : 경북 의성 봉양면 길천리 마늘토양(C)과 경남 창원 대합면 신안리 고추토양(D) 분리포자, E와 F : 전남 해남 산이면 대명리 고추토양(E)에서 분리한 포자와 발아력이 없는 포자를 제거한 포자(GI : *Gigaspora*속의 포자, 화살

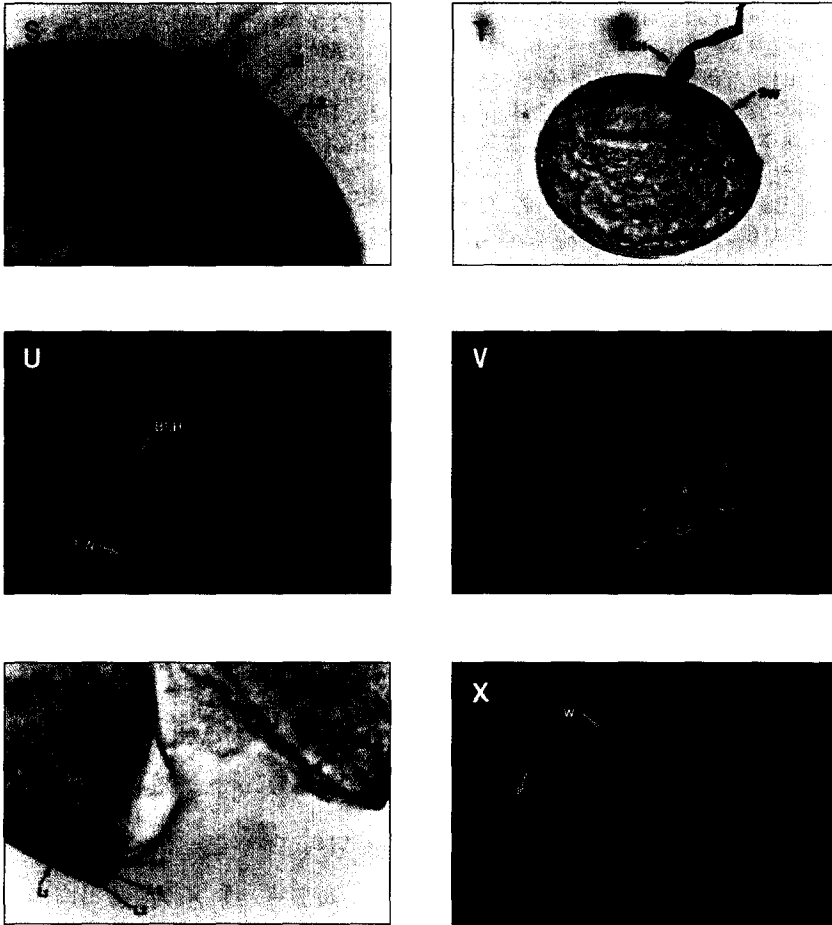


그림 2-13. 원예작물 주산단지 토양에서 분리한 포자와 속 동정 결과

A와 B : 전남 고흥 두원면 신속리(A)와 풍양면 울치리(B) 마늘토양의 분리포자(G : *Gigaspora*속 포자, NV : non-viable spore, V : viable spore), C와 D : 경북 의성 봉양면 길천리 마늘토양 (C)과 경남 창녕 대합면 신안리 고추토양(D) 분리포자, E와 F : 전남 해남 산이면 대명리 고추토양(E)에서 분리한 포자와 발아력이 없는 포자를 제거한 포자(GI : *Gigaspora*속의 포자, 화살

표(→) : *Acaulospora*속 포자], G : *Sclerocystis pachycaulis*의 포자낭과[CH는 후막포자 (chlamydo spore)와 CPH는 균사중심층(central plexus of hyphae)], H 및 I : *Glomus*속의 후막포자(사진H의 S와 H는 포자와 균사), J : *Acaulospora*속 포자[포자(S)와 발아된 균사(→)], K 및 L : *Gigaspora*속 포자[GIN과 GIR은 포자이며 화살표는 부풀은 지지균사(bulbous subtending hyphae)], M과 N : *Glomus clarum*[200배로 확대한 두꺼운 포자벽(SW)과 지지균사(SH), 400배로 확대시킨 포자벽 3겹구조(L1~L3)], O, P 및 Q : *Glomus intraradices*[200배로 확대한 포자와 지지균사(H), 기주작물 뿌리(R)속에 형성된 포자(S), : 400배율의 포자벽(SW)과 지지균사(SH), 1,000배로 확대시킨 포자벽 3겹 구조(L1~L3)], R와 S : *Glomus etunicatum*[200배로 확대한 포자와 지지균사(H),400배율의 포자벽 3겹구조(L1~L4)와 지지균사(SH)], T, U 및 V : *Gigaspora margarita*[200배로 확대한 포자벽(SW)과 지지균사(BSH), 400배율의 포자벽(SW)과 지지균사(BSH), 1,000배로 확대시킨 포자벽 3겹구조(L1~L3)], W와 X : *Gigaspora rosea*[400배율의 포자벽(SW)과 지지균사의 격막(S), 400배로 확대시킨 포자벽 3겹구조(L1~L3)]

라. 종이 확인된 AMF

전국의 고추, 마늘 및 양파 주산단지에서 수집 분리한 포자의 속을 분류하기 위해 검경하는 중 포자의 외부형태, 모양 및 색깔 등 INVAM의 종 분류기준에 의해 종 분류를 하였다. 그림 2-13의 M~X까지는 *Glomus*속 3종과 *Gigaspora*속에서 2종류의 종을 동정확인한 현미경 사진이다.

먼저 그림 2-13의 M과 N는 *Glomus clarum*으로 분류된 포자의 사진이며, 이 종은 *Glomus mainhotis*와 같은 종으로 분류되고 있다. 포자의 외부형태는 구형이며 크기는 100~250 μ m 범위를 나타내고 일반적으로 180 μ m 전후의 포자가 많이 관찰되었으나 사진 중 큰 포자의 직경은 225 μ m 크기였다. 포자벽은 투과광에서 투명하게 나타나며 엷은 황색을 보이는 경우도 있고 포자벽의 두께는 10~20 μ m로 두터운 편이다. 포자벽은 3겹으로 확인되지만(사진 N) 압착하였을 때 쉽게 분리되지 않을 정도로 밀착되어 있다. 그러나 어떤 포자는 L3층(사진 N)이 분리되기도 하였으며 포자벽 직경은 6.3 μ m였다. 그리고 사진 M의 지지균사(SH)에서 보는 바와 같이 다른 *Glomus*속 균에 비해서 지지균사의 기저부 직경이 두꺼운 31.5 μ m 정도를 나타냈으며 포자와 연결된 부위에서 멀어저 갈수록 가늘어지는 것이 특징이다.

사진 O, P 및 Q는 *Glomus intraradices*종으로 분류된다. 사진 P에서 보는 바와 같이 포자의 색은 백색~황갈색을 나타내고 가끔 엷은 녹색을 띠는 포자도 존재한

다. 모양은 구형이 주로 존재하였으며 *G. intraradices*종은 기주식물의 뿌리 내에 포자를 형성하는 것이 특징으로서 사진 O에서 보는 바와 같이 뿌리(R)내에 포자(S)가 연속적으로 형성되어 있음을 보여준다. 그리고 포자의 크기 분포는 40~140 μm 범위이며 보통 100 μm 직경을 갖는 포자가 대부분이었다. 또 포자벽의 형태는 2종류로 존재하는데 단일 포자벽을 갖는 것과 2~4개의 포자벽을 갖는 것으로 사진 Q에서는 3겹(SW 및 L1, L2 및 L3)을 나타내고 있으며, 일반적으로 1.5~5.0 μm 두께를 갖으나 표본사진에서는 2.7 μm 직경을 보였고 포자벽의 색깔은 투과광하에서 짙은 황갈색을 나타내었다. 한편 지지균사(사진 P의 H)는 원통형으로 포자에 연결되어 있으며 포자로부터 멀어질수록 가늘어지는 경향을 보이고 직경은 10~20 μm 범위를 나타내었으나 표본의 지지균사 직경은 10.5 μm 였다.

사진 R과 S는 *Glomus etunicatum*으로 확인된 종으로서 반사광에서 포자색은 황적색~적갈색을 나타내고 투과광에서는 황갈색을 띤다. 포자모양은 일반적으로 구형을 보이고 포자의 크기는 60~160 μm 범위를 나타내지만 흔히 관찰되는 직경의 크기는 120 μm 정도였으며 그림 2-13의 사진 A는 105 μm 직경을 보였다. 포자벽은 사진 S에서와 같이 두께는 5~14 μm 범위를 보이고 L1층은 투과광에서 밝은갈색을 나타내고 미생물에 의해 쉽게 분해될 수 있다(Schenck와 Pérez, 1990)고 하며, L2층의 색깔은 투과광하에서 짙은 갈색~흑갈색을 나타내고 L1에 비해 5 μm 내외의 두터운 포자벽을 갖는다. 지지균사는 다른 *Glomus*속의 포자처럼 원통형으로 폭은 5~10 μm 범위이며 비교적 균사벽이 얇은 것이 특징이다(1~2 μm). 세포벽은 단일층의 것과 3개 층으로 보고되고 있으나 본 표본의 포자벽은 4겹층(사진 B)을 보이고 있어 추후 상세한 분류연구를 수행할 예정으로 있다.

사진 T, U 및 V는 *Gigaspora margarita* 종으로 분류확인된 사진이다. 이 종은 수집 분리된 포자중 관찰빈도는 작지만 크기가 크고 반사광하에서 포자색이 백색~크림색을 띄기 때문에 쉽게 관찰되었다. 포자의 형태는 본 조사 연구에서 확인된 다른 종과 같이 구형이 주로 분포하며 때때로 타원의 구형(사진 T)을 관찰할 수 있다. 포자의 크기는 260~480 μm 범위로 알려지고 있으나 보통 300 μm 전후의 포자 크기를 갖

고 있었고, 사진 T의 크기는 $275 \times 338 \mu\text{m}$ 이었으며, 사진 T와 U에서 일반적으로 포자벽은 $5 \sim 25 \mu\text{m}$ 두께를 갖고 단일층의 포자벽과 3개층의 포자벽도 관찰되며, 사진 U에서와 같이 지지균사는 *Gigaspora*속과 *Scutellospora*속에서만 부착되어 있는 접촉부분이 부풀은 지지균사(BSH)가 관찰된다. 균사의 직경은 $36 \mu\text{m}$ 으로 보였다.

끝으로 사진 W와 X는 *Gigaspora rosea*로 확인된 포자로서 구형이며 반사광 하에서 백색~크림색을 보이고 때때로 지지균사와 연결되어 있는 부근의 색깔이 붉은 장미 빛깔을 띄기도 한다. 포자의 크기는 *Gigaspora margarita*에 비해 작아서 $160 \sim 300 \mu\text{m}$ 범위를 갖으며, 지지균사는 포자 연결부위가 부풀은 형태를 보이고(사진 X) $28 \sim 40 \mu\text{m}$ 정도의 직경으로 보고되고 있으나 표본에서의 직경은 $43 \mu\text{m}$ 를 보였으며 균사에 격막(사진 X의 S)이 관찰되는 것이 이 종의 특징이다.

마. AMF 감염양상

AMF에 감염된 고추와 양파 뿌리를 염색한 후 현미경하에 관찰한 결과 그림 2-14의 사진 A, B, C 및 D에서 보는 바와 같이 마늘과 양파 등의 기주식물과 AMF 사이에 무기양분과 광합성 산물의 교환장소(Smith와 Read, 1997)로 알려진 arbuscule (A)이 형성되어 있음을 보여준다(그림 2-14의 A). 또 그림 2-14의 사진 C에서 화살표(←)로 나타낸 균사구조가 양파뿌리의 표피세포에 분지되어 있으며 이 균사 구조를 통해 수분과 무기양분을 흡수하는 뿌리의 연장 역할을 한다(Smith와 Read, 1997). 또한 그림 2-14의 사진 D에는 *Gigaspora*와 *Scutellospora*속만이 뿌리 밖에 형성하는 auxiliary cell(AC)과 뿌리 외부균사(EH)가 관찰되었는데, auxiliary cell의 형태를 보면 혹이나 사마귀(knobby)처럼 생긴 것으로 보아 *Scutellospora*속에 의해서 감염된 것으로 판단되었다. 그림 2-15의 그림들은 마늘(A와 B 사진)과 고추(C와 D) 뿌리에 감염되어 있는 균사와 수지상체(arbuscule : A)를 현미경에서 투과광하에서 촬영한 것이다. 그림 A, B 및 C는 기주작물의 내부에 분지되어 있는 균사의 모습으로 직경 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 크기의 균사조직을 통해 뿌리가 직접 흡수할 수 없는 부분의 양분과 수분 등을 기주작물이 흡수할 수 있게 된다. 그런데 일반적으로 멸균토양을 이

용한 pot재배 실험이나 접종효과 확인실험의 기주식물에서 관찰되는 감염정도보다 낮은 감염을 보이고 있는 것은 과도한 무기인산이나 무기태질소에 의해 균근균의 감염이 저해를 받는다고 하는 연구결과(Graham 등, 1981)로 해석되며 감염된 뿌리관찰시 감염빈도가 많지 않고 감염된 뿌리절편에 따라서 개개 감염정도가 크게 차이가 나는 점이 특징이었다.

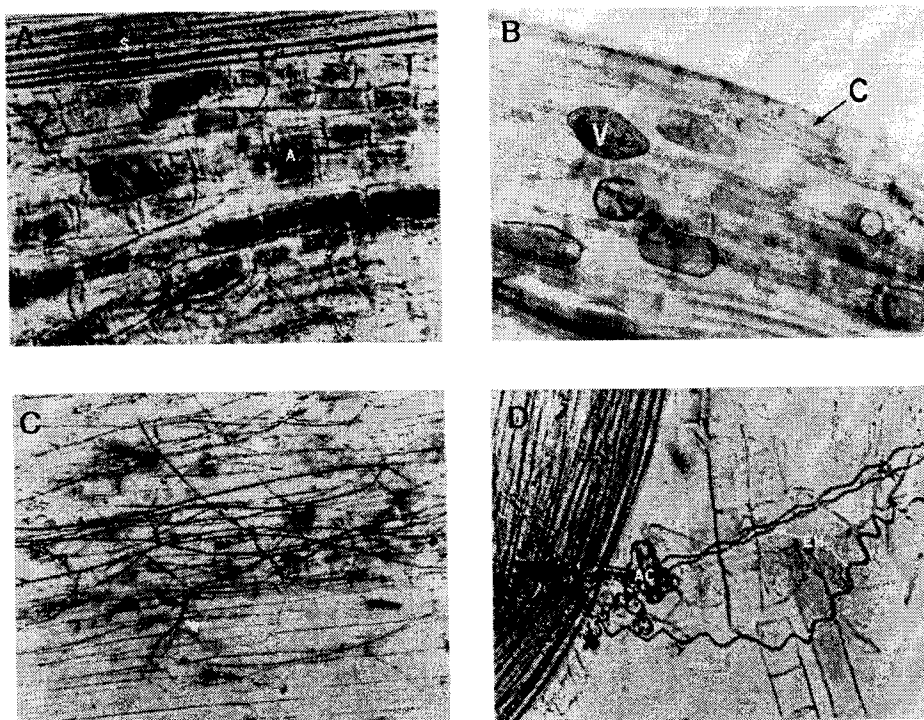


그림 2-14. AMF에 감염된 양파뿌리

A : Arbuscule(A)과 중심주(S)

B : 뿌리 표피세포(C)와 vesicle(V)

C : 외부균사(→)

D : Auxiliary cell(AC)와 외부균사(EH)

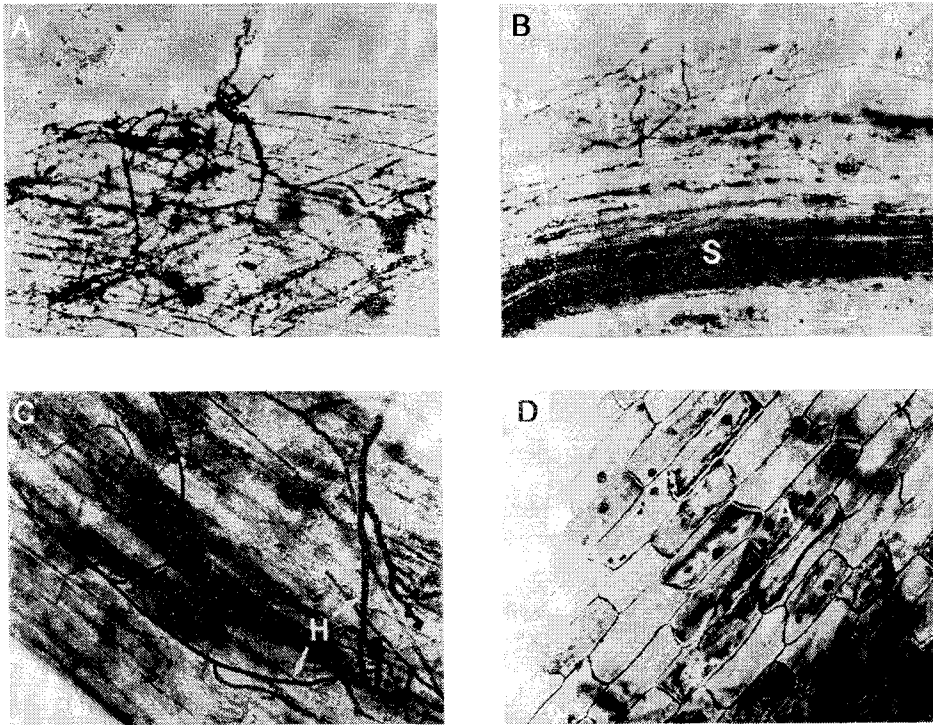


그림 2-15. 마늘과 고추뿌리의 AMF 자연감염 실태

- A : 마늘뿌리의 외부균사(→)
- B : 마늘 뿌리의 외부균사(→)와 중심주(S)
- C : 고추뿌리의 외부균사(H) : 경복 의성
- D : 고추뿌리내의 arbuscule(A)

2. 야생녹차, 시설재배지 및 기타

가. 토양의 화학적 특성

1) 야생녹차 서식지

전남, 경남지역 야생녹차재배지 토양의 화학성 및 화학성분 함량 범위별 빈도분포

를 조사한 결과는 표 2-8에서 보는 바와 같이 토양 pH는 전남지역이 pH 4.3~5.5범위, 평균 pH 4.89이었고 경남지역이 4.5~5.9범위, 평균 pH 5.2로서 전남지역에 비하여 약간 높았으며, 전체적으로 우리나라 밭 토양의 전국평균치(pH 5.8)와 밭 토양 적정치(pH 6.5)보다 매우 낮았다. pH 빈도분포(표 2-9)는 pH 4.6~5.0범위에 가장 많은 분포도를 보였으며 pH 5.5 이하가 전체 24개 시료 중 21개 지점인 87.5 %의 분포를 보였다. EC는 전남지역이 0.06~0.17ds/m 범위, 경남지역이 0.04~0.15ds/m범위였다.

유기물 함량은 전남지역이 48.6~120.7g/kg 범위였고 경남지역이 20.1~154.6g/kg범위로서 지역에 따라서 큰 차이가 있었으며 평균은 전남지역이 약 89.4g/kg, 경남지역이 평균 6.96g/kg로서 전남지역에 비하여 전반적으로 낮았으나 우리나라 밭 토양은 전국평균치인 19g/kg과 개량목표치인 30g/kg보다 매우 높았다. 빈도분포는 전남지역은 조사지점 모두 31g/kg 이상이었으며 경남지역은 조사지점의 약 81.8%가 31g/kg 이상으로 분포되어 있었으며 전체 조사지점의 약 91.7%인 22개 지점이 31g/kg 이상으로서 일반 경작지 밭 토양에 비하여 매우 높았다.

유효인산 함량은 조사지역에 따라 큰 차이가 있었으며 전남지역은 41~401mg/kg 범위, 평균 160mg/kg으로서 전반적으로 우리나라 밭 토양개량목표치인 200~400mg/kg보다 낮았으나 경남지역은 60~1385mg/kg 범위, 평균 545mg/kg으로서 대부분 지역이 우리나라 밭 토양 전국평균치 200mg/kg을 크게 초과하였으며 조사지점에 따라서 1000mg/kg을 상회하는 경우도 있었다. 빈도분포는 전남지역의 경우 전체조사지점의 약 77%인 10개 지점이 200mg/kg 이하였으며, 경남지역은 전체조사지점의 약 27.3%인 3개 지점이 100mg/kg 이하였고 전체 조사지점의 약 36.4%인 4개 지점은 800mg/kg 이상이었다.

치환성 양이온의 평균함량은 칼륨(K)의 경우 전남지역이 약 $0.38 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$, 경남지역이 약 $0.36 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 으로서 우리나라 밭 토양은 전국평균치 $0.59 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 보다 낮았으며 대부분의 조사지점이 우리나라 밭 토양 개량목표치인 $0.5 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 에 비하여 낮았다. 빈도분포는 전체조사지점의 약 71% 이상이 $4.0 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 이하였으며 $0.6 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^-$ 이상이 함유된 토양은 전체조사지점의 약 16.5%인 4개 지점이었다.

칼슘(Ca)은 경남지역이 약 $3.7\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 로서 전남지역 평균 약 $2.9\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 비하여 높았으며 전반적으로 밭 토양 적정치인 $6.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 크게 미달하였고, 전체 조사지점의 약 46%가 $2.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이하였으며 $5.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이상이 함유된 토양은 전체조사지점의 약 21%인 5개 지점이었다. 그리고 마그네슘(Mg)함량은 전남지역이 평균 약 $0.8\text{cmol}^+ \text{kg}^-$, 경남지역이 평균 약 $0.7\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 로서 전체적으로 우리나라 밭 토양 적정치인 $2.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 비하여 매우 낮은 수준이었으며, 빈도분포는 $0.5\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이하가 전체조사지점의 약 38%, $0.51\sim 1.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 범위가 약 29%였다.

양이온치환용량(CEC)은 조사지점에 따라 차이는 있었으나 전남지역이 평균 약 $13.7\text{cmol}^+ \text{kg}^-$, 경남지역이 평균 $14.6\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 로서 우리나라 밭 토양 전국평균치 $10.3\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 보다는 높았으나 밭 토양 적정수준인 $20.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에는 크게 미달하였다.

표 2-8. 야생녹차 재배지의 화학적 특성

시료채취지역	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (g/kg)	CEC (cmol ⁽⁺⁾ Kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ex.- Cation (cmol ⁽⁺⁾ Kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
전남 강진 다산 초당	5.1	0.08	99.0	13.74	44.01	0.39	1.78	0.5
전남 광양 다압 고사	4.3	0.10	110.9	15.98	109.79	1.18	2.95	1.19
전남 광양 다압 신원	4.6	0.06	93.2	11.97	136.81	0.21	0.37	0.13
전남 구례 천은사	5.3	0.10	48.6	10.46	110.57	0.25	2.95	0.85
전남 구례 활터	5.0	0.08	104.7	13.01	157.87	0.33	2.36	0.85
전남 담양 금성면	4.7	0.07	71.5	11.75	41.16	0.21	1.94	0.56
전남 담양 진불사	4.5	0.08	73.3	13.31	393.01	0.26	1.01	0.36
전남 보성 대원사	5.3	0.05	63.7	10.42	66.70	0.18	2.10	0.84
전남 보성 대원사	5.0	0.07	103.0	13.71	113.71	0.29	3.56	0.62
전남 선암사	4.8	0.17	120.7	18.41	401.63	0.46	4.77	1.22
전남 영암 도갑사	4.3	0.10	86.2	9.38	37.02	0.15	0.64	0.18
전남 영암 미암면	5.5	0.15	101.1	19.54	386.66	0.78	8.43	1.86
전남 장흥 보림사	5.2	0.11	86.2	16.57	87.03	0.31	4.70	1.81
전남 해남 대흥사								
전 체 평 균	4.89	0.09	89.4	13.71	160.46	0.38	2.89	0.84
경남 곤양 다솔사	5.9	0.08	55.8	16.65	458.84	0.54	8.79	1.13
경남 김해 봉황대	5.1	0.06	29.4	10.60	380.04	0.20	3.72	0.74
경남 남해 보리암	5.0	0.15	154.6	18.01	206.94	0.53	5.36	1.10
경남 남해 용문사	4.8	0.06	82.1	12.07	183.73	0.27	1.94	0.39
경남 산청 대원사	5.9	0.08	80.3	18.13	60.07	0.65	8.25	1.29
경남 삼천포 운흥사	5.2	0.09	100.2	17.81	74.35	0.33	5.73	1.40
경남 쌍계사우측도로	4.6	0.08	64.8	12.08	1385.35	0.30	1.40	0.24
경남 쌍계사좌측도로	5.2	0.04	51.3	10.51	844.67	0.30	2.06	0.42
경남 양산 통도사	5.1	0.04	50.5	9.97	866.24	0.25	1.68	0.34
경남 진해 해림사	5.9	0.09	20.1	3.58	69.08	0.01	0.04	0.01
경남 하동읍 흥룡	4.5	0.09	76.1	14.45	1007.08	0.62	1.57	0.56
전 체 평 균	5.20	0.08	69.6	13.08	503.33	0.36	3.68	0.69

표 2-9. 전남과 경남지역의 야생 녹차재배지 주요 토양특성 분포빈도

<pH>

조사지역별	4.5이하	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6이상	시료점수
경 남	1 (9.1)	3 (27.0)	4 (36.4)	3 (27.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	11 (100)
전 남	3 (23.0)	5 (38.5)	5 (38.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	24 (100)
전 체	4 (16.1)	8 (32.8)	9 (37.5)	3 (13.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	35 (100)

<O.M(g/kg)>

조사지역별	10이하	11~15	16~20	21~25	26~30	31이상	시료점수
경 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (9.1)	1 (9.1)	9 (81.8)	11 (100)
전 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	13 (100)	13 (100)
전 체	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (4.6)	1 (4.6)	22 (90.7)	24 (100)

<P₂O₅ (mg/kg)>

조사지역별	100이하	101~200	201~400	401~600	601~800	800이상	시료점수
경 남	3 (27.3)	1 (9.1)	2 (13.6)	1 (9.1)	0 (0.0)	4 (36.4)	11 (100)
전 남	5 (38.5)	5 (38.5)	2 (15.0)	1 (8.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	13 (100)
전 체	8 (32.9)	6 (23.8)	4 (14.3)	2 (8.6)	0 (0.0)	4 (18.2)	24 (100)

<CEC (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	7.0이하	7.1~8.0	8.1~9.0	9.1~10.0	10.1~11.0	11.0이상	시료점수
경 남	1 (9.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (9.0)	2 (18.0)	7 (64.0)	11 (100)
전 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (8.0)	2 (15.0)	10 (77.0)	13 (100)
전 체	1 (4.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (8.5)	4 (16.0)	17 (70.5)	24 (100)

<K (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	0.4이하	0.41~0.60	0.61~0.80	0.81~1.00	1.00이상	시료점수
경 남	7 (64.0)	2 (18.0)	2 (18.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	11 (100)
전 남	10 (78.1)	1 (7.3)	1 (7.3)	0 (0.0)	1 (7.3)	13 (100)
전 체	17 (71.0)	3 (12.7)	3 (12.)	0 (0.0)	1 (3.7)	24 (100)

<Ca (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	2.0이하	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.0이상	시료점수
경 남	6 (55.0)	0 (0.0)	1 (9.0)	0 (0.0)	4 (36.0)	11 (100)
전 남	5 (38.0)	4 (31.0)	1 (8.0)	2 (16.0)	1 (8.0)	13 (100)
전 체	11 (46.5)	4 (15.5)	2 (8.5)	2 (8.0)	5 (22.0)	24 (100)

<Mg (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	0.5이하	0.51~1.00	1.00~1.50	1.51~2.00	2.00이상	시료점수
경 남	5 (45.0)	2 (19.0)	4 (36.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	11 (100)
전 남	4 (31.0)	5 (39.0)	2 (15.0)	2 (15.0)	0 (0.0)	13 (100)
전 체	9 (38.0)	7 (29.0)	6 (25.5)	2 (7.5)	0 (0.0)	24 (100)

2) 시설원에 재배지

전남, 경남지역 시설원에 재배지 토양의 화학성 및 화학 성분함량 범위별 빈도분포를 조사한 결과는 표 2-10에서 보는 바와 같다.

토양 pH는 전남지역이 pH 5.1~7.8범위로서 평균 pH 6.3이었고 경남지역은 4.5~8.1범위, 평균 pH 6.7로서 전반적으로 야생 녹차 재배지에 비하여 높았다. pH 빈도분포(표 2-11)는 조사지점의 50% 이상이 우리나라 밭 토양 적정치인 pH 6.5 이상이었으며 pH 5.5 이하도 전체조사지점의 16.5%의 분포를 보였다. EC는 전남지역이 0.60~7.05ds/m 범위, 경남지역이 0.22~4.90ds/m범위로서 조사지점에 따라서 큰 차이가 있었다.

유기물 함량은 전남지역이 2.4~40.6g/kg 범위였고 경남지역이 22.3~85.4g/kg범위로서 지역에 따라서 큰 차이가 있었으며 평균함량은 전남지역이 약 22.19g/kg로서 전반적으로 우리나라 논 토양 적정치인 30g/kg에 비하여 낮았으며, 경남지역은 평균 43.5g/kg로서 전남지역에 비하여 높았다. 유기물 함량 빈도분포는 경남지역은 31g/kg 이상이 약 87%로서 가장 많았고, 전남지역은 2.1~2.5g/kg 범위가 약 48%로서 가장 많이 분포하였다.

유효인산 함량은 전남지역이 430~2535mg/kg 범위로서 평균 901mg/kg이었으며 경남지역은 286~1733mg/kg 범위, 평균 926mg/kg으로서 조사지점에 따라서 큰 차이가

있었으며 전체적으로 우리나라 밭 토양 유효인산 함량 적정치인 200~400mg/kg을 크게 초과하였으며 조사지점에 따라서 2000mg/kg을 상회하는 경우도 있었다. 유효인산 빈도분포는 800mg/kg 이상이 전체 조사지점의 약 60%로서 가장 높은 분포를 보였고 601~800mg/kg이 약 20%를 차지하였다.

치환성 양이온의 평균 함량은 칼륨(K)의 경우 전남지역이 약 $1.90\text{cmol}^+ \text{kg}^-$, 경남지역이 약 $2.22\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 으로서 우리나라 밭 토양 적정치인 $0.4\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 비하여 매우 높았으며 조사지점에 따라서 $6\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 을 초과하는 경우도 있었다. 칼륨함량 빈도분포는 칼륨함량 $1.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이상이 전체조사지점의 약 83% 이상을 차지하였다. 칼슘(Ca)은 전남지역이 약 $7.6\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 로서 경남지역 평균 약 $4.7 \text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 비하여 매우 높았으며, 칼슘함량 빈도분포는 $5.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이상이 전체조사지점의 61%로서 가장 많은 분포를 보였고 $2.1\sim 2.5\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 범위도 30%를 차지하였다. 그리고 마그네슘(Mg)함량은 전남지역이 평균 약 $3.6\text{cmol}^+ \text{kg}^-$, 경남지역이 평균 약 $3.2\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 로서 전반적으로 우리나라 밭 토양 적정치인 $2.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 에 비하여 높은 수준이었으며, 빈도분포는 $2.0\text{cmol}^+ \text{kg}^-$ 이상이 전체조사지점의 약 78%를 차지하였다.

표 2-10. 시설재배지의 토양 화학적 특성

시료채취지역	pH (1:5)	EC (ds/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/Kg)	Ex.- Cation (cmol ⁽⁺⁾ Kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
거창군 가조면 마상리86-2(이형석)-토마토	5.5	3.95	45.3	1175	1.57	3.21	2.75
거창군 가조면 마상리669-1(이인호)-딸기,수박	6.2	0.75	49.6	1389	1.76	4.09	1.81
거창군 가조면 동례리731(손창구)-토마토,거베라	6.3	2.70	49.5	1529	2.16	4.33	3.11
고성군 영오면 웅대리568(최이림)-고추	6.6	3.10	67.1	1733	2.19	8.14	0.66
울산 북구 상암동174(황순구)-딸기	6.6	1.85	32.2	811	1.32	3.02	2.51
울산 중구 태화동573-3(김영일)-상추	4.5	2.30	22.5	1164	0.98	1.88	1.33
울산 중주 태화동 567-2(김영출)토마토	8.1	3.60	32.9	623	0.75	9.51	5.16
의령군 용덕면 소상리 신소(강선근)-수박	6.3	2.90	22.3	524	1.37	3.33	2.59
의령군 의령읍 무전리 무하(허명환)-수박	7.0	1.75	39.6	425	1.48	4.98	3.69
의령군 의령읍 무전리 무하(김상돌)-참외	7.1	1.80	33.2	286	0.64	3.27	3.09
의령군 의령읍 정암리 정암(박성환)-참외	7.0	2.15	43.1	1024	2.13	6.15	3.85
의령군 봉수면 서암리-오이	7.6	7.05	85.4	1502	6.93	5.24	6.64
의령군 화정면 상이리 지곡-참외	6.6	0.60	52.2	1097	1.60	6.13	3.52
의령군 정곡면 예둔리 월현들(남포현)-양상추	7.3	1.40	31.7	772	1.12	3.56	3.44
의령군 대의면 마쌍리(이창환)-고추	6.9	3.95	46.3	863	2.51	4.09	3.30
경 남 평 균	6.65	2.65	43.52	993.80	1.90	4.86	3.16
별교 영동리 282(전성휴)-딸기	7.1	0.34	24.9	430	1.55	12.53	8.52
별교 칠동리 385(강현수)-딸기	7.1	0.22	27.1	633	1.81	8.23	3.44
나주 남평 풍림 722(강길남)-딸기	5.2	0.39	7.80	912	0.95	2.75	2.38
곡성 고달 목동 371(김우선)-딸기	5.9	1.16	21.8	759	2.11	5.18	1.96
구례 용방 2리 429(조태훈)-오이	5.5	1.39	20.6	787	2.10	7.86	2.66
광양읍 목성 20-3(박정모)-오이	5.1	0.87	24.1	721	0.86	7.06	1.54
곡성 오곡오지리414(박영규)-방울토마토	6.5	4.90	17.9	2535	7.95	8.38	5.85
보성 조성 매현리 1(박노현)-방울토마토	6.4	1.32	20.6	281	1.25	6.27	2.96
곡성 오곡 오지521(박광순)-방울토마토	6.3	0.78	29.3	1346	2.17	8.10	3.04
곡성 오곡 오지425(정성기)-수박	6.3	0.91	23.7	801	2.07	7.41	2.77
곡성 오곡 오지427(안정섭)-수박	6.1	1.93	18.0	848	3.03	8.73	3.80
화순 능주 천덕503-3(윤일식)-참외	6.6	1.65	23.0	647	2.14	7.77	7.64
화순 도곡미곡34(김재길)-참외	5.8	0.41	40.6	821	1.22	5.06	5.15
화순 도곡미곡2구 49(김재연)-참외	7.8	0.79	2.40	1024	1.48	9.90	1.82
과양읍 목성리501-9(김진규)-호박	7.2	2.58	31.0	976	2.54	8.0	0.74
전 남 평 균	6.32	1.31	22.19	901.4	1.75	7.55	3.68
전 체 평 균	5348	2.01	32.86	947.90	2.06	6.13	3.39

표 2-11. 전남과 경남지역의 시설원에 작물재배지 특성 분포빈도

<pH>

조사지역별	4.5이하	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.6이상	시료점수
경 남	1 (6.7)	0 (0.0)	1 (6.7)	0 (0.0)	3 (20)	10 (66.6)	15 (100)
전 남	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (20)	2 (13.4)	5 (33.3)	5 (33.3)	15 (100)
전 체	1 (3.3)	0 (0.0)	4 (13.3)	2 (6.7)	8 (26.7)	15 (50)	30 (100)

<O.M(g/kg)>

조사지역별	10이하	11~15	16~20	21~25	26~30	31이상	시료점수
경 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	15 (100)	15 (100)
전 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (6.7)	0 (0.0)	14 (93.3)	15 (100)
전 체	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (3.3)	0 (0.0)	29 (96.7)	30 (100)

<P₂O₅ (mg/kg)>

조사지역별	100이하	101~200	201~400	401~600	601~800	800이상	시료점수
경 남	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (6.7)	2 (13.3)	1 (6.7)	11 (73.3)	15 (100)
전 남	1 (6.7)	0 (0.0)	1 (16.7)	1 (16.7)	4 (26.6)	8 (53.3)	15 (100)
전 체	1 (3.3)	0 (0.0)	2 (11.7)	3 (10)	5 (16.7)	19 (63.3)	30 (100)

<K (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	0.4이하	0.41~0.60	0.61~0.80	0.81~1.00	1.00이상	시료점수
경 남	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (13.0)	1 (7.0)	12 (80.0)	15 (100)
전 남	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (13.0)	13 (87.0)	15 (100)
전 체	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (6.5)	3 (10.0)	25 (83.3)	30 (100)

<Ca (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	2.0이하	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.0이상	시료점수
경 남	1 (7.0)	1 (7.0)	6 (40.0)	2 (13.0)	5 (33.0)	15 (100)
전 남	0 (0.0)	1 (7.0)	0 (0.0)	1 (7.0)	13 (86.0)	15 (100)
전 체	1 (3.5)	2 (7.0)	6 (20.0)	3 (10.0)	18 (59.5)	30 (100)

<Mg (cmol⁽⁺⁾kg⁻¹)>

조사지역별	0.5이하	0.51~1.00	1.00~1.50	1.51~2.00	2.00이상	시료점수
경 남	0 (0.0)	1 (7.0)	1 (7.0)	1 (7.0)	12 (79.0)	15 (100)
전 남	0 (0.0)	1 (7.0)	0 (0.0)	3 (20.0)	11 (73.0)	15 (100)
전 체	0 (0.0)	2 (7.0)	1 (3.5)	4 (13.5)	23 (76.0)	30 (100)

나. AMF포자 밀도

1) 야생녹차 서식지

야생녹차 근권토양의 포자 밀도를 조사하기 위해 채취 보관된 녹차 근권토양에서 포자밀도를 계수한 결과는 표 2-12과 같다.

전남의 경우 밀도범위를 보면 건토 1g당 39.0~495.0개 수준을 나타냈고, 시료채취 지점별 근권토양의 평균 포자 밀도는 광양 다압 신월이 441.3개/g로 가장 많은 포자가 분포하였으며, 그 다음이 영암 도갑사 365.9개/g, 담양 진불사 413.7개/g, 광양 다압면 고사 298.35개/g 순으로 분포를 보였다.

경남지역의 조사시료 중 포자 밀도는 22.7~623.0개/g의 범위였으며 지점별 평균 밀도를 보면 양산 통도사 지점이 건토 1g당 509.1개로 가장 많은 포자가 분포하고 있었으며, 그 다음으로 남해 용문사 199.0개/g, 삼천포 운흥사 147.1개/g, 쌍계사 좌측도로 135.7개/g 및 김해 봉황대 지점이 133.1개/g 순의 분포를 보였다. 이상과 같이 포자의 분포밀도는 전남지역이 경남지역에 비해 높은 경향으로 두 지역별 평균밀도는 전남이 222.4개/g이었고, 경남지역이 145.3개/g였으며, 야생녹차 근권토양의 전체 AMF포자 밀도는 187.1개/g 정도였다.

표 2-12. 야생녹차 근권토양의 포자 밀도

시료 채취 지역	포자수(개/g 건토중)			
	최소	평균	최대	표준편차
전남 강진 다산 초당	92.0	104.6	117.3	12.67
전남 광양 다압 고사	256.7	298.3	353.3	49.69
전남 광양 다압 신원	283.7	441.3	551.7	140.13
전남 구례 천은사	54.0	72.9	86.3	16.84
전남 구례 활터	170.7	247.2	392.3	125.73
전남 담양 금성면	249.0	266.9	284.0	17.51
전남 담양 진불사	347.3	413.7	492.3	73.28
전남 보성 대원사	120.3	126.7	133.7	6.69
전남 선암사	101.3	108.2	114.7	6.68
전남 영암 도갑사	237.0	365.9	495.0	129.00
전남 영암 미암면	59.0	145.9	206.0	77.07
전남 장흥 보림사	39.0	104.7	185.7	74.53
전남 해남 대흥사	128.3	195.2	308.0	98.23
전 남 평 균	164.46	222.42	286.18	
경남 곤양 다솔사	30.0	43.6	57.3	13.67
경남 김해 봉황대	92.7	133.1	211.3	67.76
경남 남해 보리암	62.7	74.8	92.0	15.32
경남 남해 용문사	164.0	199.0	252.3	46.93
경남 산청 대원사	69.7	114.0	189.0	65.31
경남 삼천포 운흥사	112.0	147.1	198.7	45.61
경남 쌍계사 우측 도로	108.7	128.0	143.7	17.79
경남 쌍계사 좌측도로	48.0	135.7	188.0	76.40
경남 양산 통도사	426.7	509.3	623.0	101.77
경남 진해 해림사	22.7	30.8	39.3	8.34
경남 하동읍 흥룡	51.0	82.3	99.3	27.17
경 남 평 균	108.02	145.25	190.35	
전 체 평 균	144.60	187.05	242.26	

2) 시설 재배지

표 2-13의 시설재배지 토양의 포자 밀도분포의 전체적인 경향을 보면 앞의 야생 녹차와 나리류 보다 훨씬 낮은 밀도를 보여 건토 1g당 10개미만의 포자수를 나타냈다. 전남지역의 경우에 평균 8.42개/g를 보이고 평균치를 넘는 지점은 광양읍 목성리 호박 식재포장(49.4개/g)의 3개 지점에 그쳤으며, 조사대상 지점에서 건토 1g당 최고 55.7개 밀도를 보인 곳도 있으나 일반적인 밭 토양에서 계수되는 밀도양상과는 크게 다르게 나타났다.

경남지역의 경우는 전남지역의 평균치보다 낮은 5.49개/g를 보였으며 건토 1g당 10개를 넘는 지점은 울산시의 태화동과 상암동 딸기와 토마토 식재 포장뿐이었다. 이와 같이 상대적으로 AMF포자밀도가 낮은 이유는 토양 화학적인 측면과 기주식물의 특성으로 해석할 수 있는데, 우리나라의 시설 재배지의 토양 물리화학적 특성은 과다시비와 지속적인 이어짓기 작부체계를 따르고 있기 때문에 특정 영양분의 과다 집적현상, 특히 인산성분의 다량집적에 의한 AMF와 기주작물간의 협생관계가 수월하지 못한 이유로 해석된다. 시설재배단지에서 후작으로 흔히 재배하는 작물로 무우나 배추 같은 십자화과작물은 AMF의 감염이 잘 되지 않는 식물로 알려져 있기 때문에(Allen.1992) 이 또한 활물기생만으로 천이번식하는 특성과도 관련이 있다.

표 2-13. 시설원에 재배지의 근권토양 포자 밀도

시료 채취 지역	포자수/건토중(g)			
	최소	평균	최대	표준편차
별교 영등리 282(전성휴)-딸기				
별교 칠동리 385(강현수)-딸기	2.0	4.1	6.7	2.36
나주 남평 풍림 722(강길남)-딸기	3.0	6.1	10.3	3.79
곡성 고달 목동 371(김우선)-딸기	1.3	1.9	2.3	0.51
구례 용방 2리 429(조태훈)-오이	0.0	0.4	0.7	0.38
광양읍 목성 20-3(박정모)-오이	0.7	1.4	2.3	0.84
광양읍 목성 20-3(박정모)-오이	1.3	2.0	2.7	0.67
곡성 오곡오지리414(박영규)-방울토마토	5.0	6.8	8.7	1.84
보성 조성 매현리 1(박노현)-방울토마토	1.0	1.2	1.3	0.19
곡성 오곡 오지521(박광순)-방울토마토	15.0	16.3	17.7	1.33
곡성 오곡 오지425(정성기)-수박	6.3	10.7	18.3	6.66
곡성 오곡 오지427(안정섭)-수박	0.7	4.8	8.3	3.86
화순 능주 천덕503-3(윤일식)-참외	11.3	12.1	13.0	0.84
화순 도곡미곡34(김재길)-참외	2.3	3.1	4.3	1.07
화순 도곡미곡2구 49(김재연)-참외	4.0	6.0	8.3	2.19
화순 도곡미곡2구 49(김재연)-참외	44.3	49.4	55.7	5.75
광양읍 목성리501-9(김진규)-호박				
전 남 평 균	6.55	8.42	10.71	
거창군 가조면 마상리86-2(이형석)-토마토				
거창군 가조면 마상리669-1(이인호)-딸기,수박	5.0	5.4	6.0	0.51
거창군 가조면 동례리731(손창구)-토마토,거베라	3.7	4.8	6.0	1.17
고성군 영오면 웅대리568(최이림)-고추	2.0	3.1	4.3	1.17
고성군 영오면 웅대리568(최이림)-고추	4.7	6.1	7.3	1.35
울산 북구 상암동174(황순구)-딸기	4.7	6.1	7.3	1.35
울산 북구 상암동174(황순구)-딸기	10.7	13.4	18.0	3.98
울산 중구 태화동573-3(김영일)-상추	6.3	6.9	7.3	0.51
울산 중구 태화동 567-2(김영출)토마토	13.0	14.1	16.0	1.64
의령군 용덕면 소상리 신소(강선곤)-수박	2.3	2.9	3.7	0.69
의령군 의령읍 무전리 무하(허명환)-수박	1.0	1.4	2.0	0.51
의령군 의령읍 무전리 무하(김상돌)-참외	3.3	4.1	5.0	0.84
의령군 의령읍 정암리 정암(박성환)-참외	3.7	5.6	8.0	2.22
의령군 의령읍 정암리 정암(박성환)-참외	1.3	1.9	2.3	0.51
의령군 봉수면 서암리-오이	4.0	4.7	5.7	0.88
의령군 화정면 상이리 지곡-참외	3.3	5.0	6.7	1.67
의령군 화정면 상이리 지곡-참외	3.3	5.0	6.7	1.67
의령군 정곡면 예둔리 월현들(남포현)-양상추	2.3	3.0	3.7	0.67
의령군 대의면 마쌍리(이창환)-고추				
의령군 대의면 마쌍리(이창환)-고추				
경 남 평 균	4.52	5.49	6.80	

3) 장미(짚레)와 백합과식물

장미, 짚레 및 백합과식물 근권토양의 포자 밀도 표 2-14와 같으며, 먼저 장미의 경우 평균밀도 3.2개/g, 짚레는 8.67개/g, 노고단의 원추리 및 구레의 나리류(참나리, 중나리) 근권토양은 건토 1g당으로 환산하여 22.1개의 수준을 보여 자연생태계의 타 기주식물에 비해 낮은 밀도를 나타냈다.

표 2-14. 장미(짚레포함) 백합과식물 근권토양의 포자 밀도

기주 및 시료 채취 지역	포자수(개/g 건토중)			
	최소	평균	최대	표준편차
<장미>				
순천 연향동 대우	1	1.3	2	0.47
순천 연향동 현대103동	7	6.3	7	0.45
순천 풍덕동 금호	2	2.0	3	1.50
장미 평균	3.33	3.20	4.00	
<짚레>				
승주 용계리	12.6	25.5	39.5	11.03
순천 내동리	6.0	11.1	15.7	3.97
광양 진월	2.8	6.3	11.2	3.56
광양 진상	2.0	2.6	3.6	0.72
광양 다압	1.7	2.5	3.6	0.80
구레 간전	2.4	4.0	6.7	1.89
짚레 평균	4.58	8.67	13.38	
원추리(지리산 노고단)	17.7	20.3	22.2	1.88
참나리(구례군 광의면)	26.4	26.9	27.6	0.49
중나리(구례군 광의면)	17.1	19.2	20.4	1.48
백합과 식물 평균	20.4	22.13	23.40	

다. 분리된 토착AMF포자 특성

아래 그림 2-16의 A~F까지의 사진은 자생 녹차서식지 토양으로부터 분리된 포자 밀도 중 건토 1g당 250개 이상인 지역의 포자사진으로 실체현미경 하에서 40~60배로 확대한 사진이다. 이들 사진에 나타낸 포자는 3년차 연구에 포함된 수행내용이기 때문에 정확한 속과 종의 동정이 이루어지지 못했으나, 다만 외부 형태적인 INVAM의 속 분류기준에 의한 속의 특성을 보면 A, B 및 D의 사진 중에 일반적으로 백색의 포자로 크기가 큰 *Gigaspora*속과 *Scutelospora*속이 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 산성토양에서 우점하여 흔히 발견되는 *Acaulospora*속도 많이 발견되고, 포자의 크기가 다른 속에 비해 상대적으로 작은 *Glomus*속이 다양하게 관찰되었다. 담양군 소재 진불사와 광양군 다압면 신원의 시료사진은 실체현미경 반사광 하에서 투명 혹은 백색으로 보이는 포자는 *Glomus*속에 속하면서 성숙이 덜 된 포자로 확인된다. 또한 포자의 크기가 비교적 작으면서 황갈색 포자들은 *Glomus*속과 *Acaulospora*속에 대부분 포함된다.

한편 그림 2-17은 시설재배지 토양에서 분리한 AMF포자의 사진이다. 사진에서 나타난 바와 같이 녹차서식지와는 대조적으로 포자 종류도 다양하지 않고 밀도도 낮다. 광양군 목성 시료와 울산시 태화동 시료에서와 같이 포자크기가 큰 *Gigaspora*속을 관찰할 수 있었고, 나머지 시료는 *Glomus*속에 해당하는 포자들이 관찰된다. 앞의 토양 화학적 특성에서 고찰된 바와 같이 시설 재배지는 자연상태의 서식과는 달리 양분의 과다집적과 작부체계 특성상 AMF의 협생 조건이 알맞지 않기 때문에 상대적으로 AMF 속종의 다양성이 떨어지는 것으로 해석된다. 그러나 이처럼 서식환경이 열악한 조건에서 생존하고 있는 균주의 선발과 이용은 우리나라와 같이 집약농업 환경에서 오히려 기대효과가 클 것으로 판단된다. 따라서 분리된 포자는 다음 단계의 체계적인 연구를 위해 수단그라스를 기주식물로 증식배양 중에 있다.

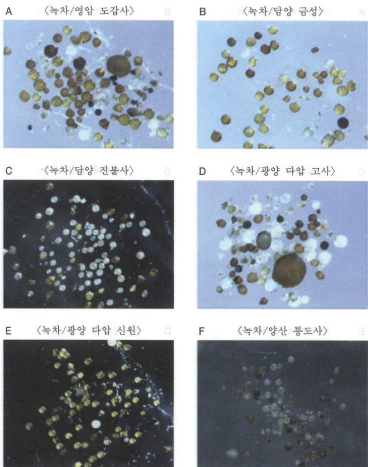
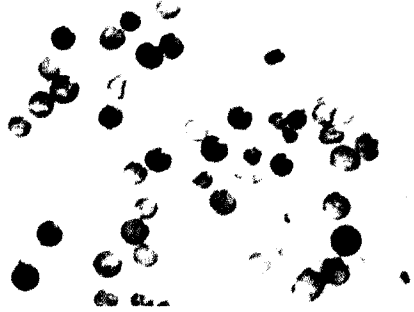


그림 2-16. 야생 녹차 근권토양에서 분리된 AMF포자
(투과광 : 푸른 바탕색, 반사광 : 검은 바탕색)

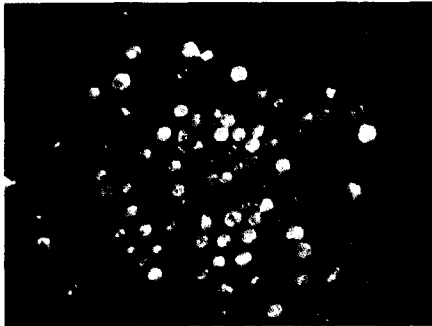
A <녹차/영양 도감사>



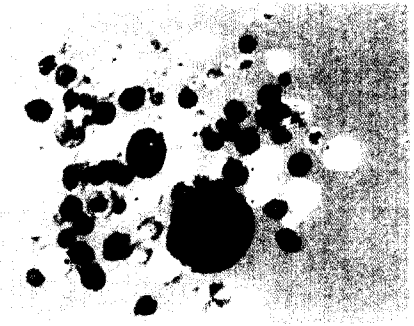
B <녹차/담양 금성>



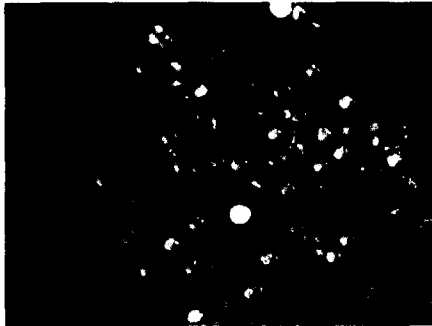
C <녹차/담양 진불사>



D <녹차/광양 다압 고사>



E <녹차/광양 다압 신원>



F <녹차/양산 통도사>

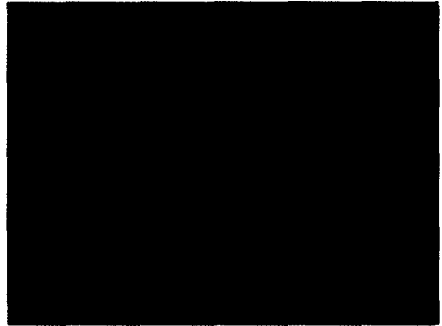


그림 2-16. 야생 녹차 근권토양에서 분리된 AMF포자
(투과광 : 푸른 바탕색, 반사광 : 검은 바탕색)

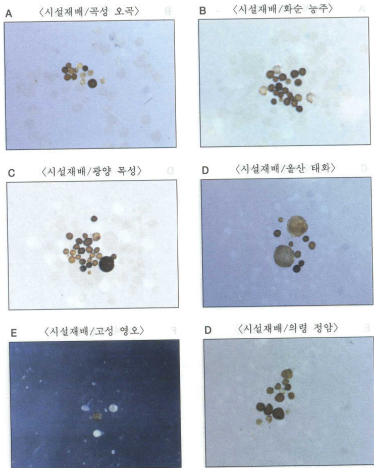
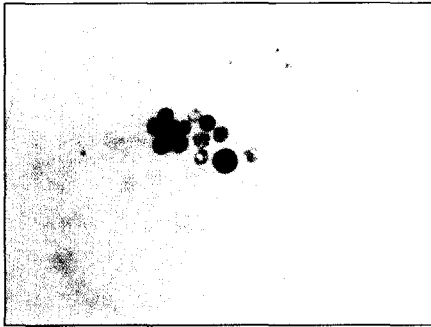
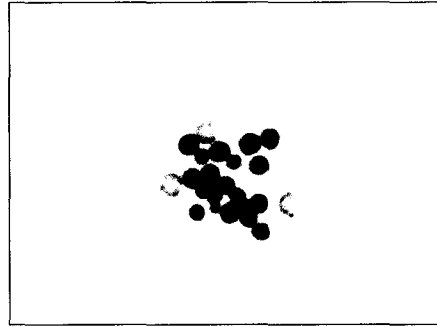


그림2-17. 시설재배 토양에서 분리된 AMF포자

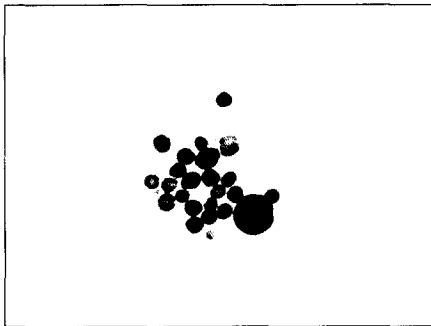
A <시설재배/곡성 오곡>



B <시설재배/화순 능주>



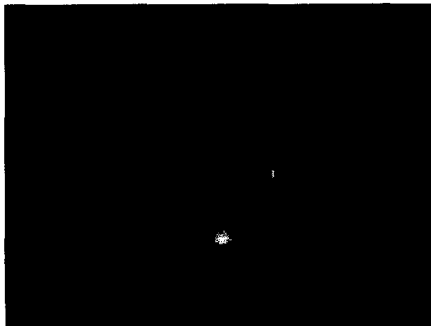
C <시설재배/광양 목성>



D <시설재배/울산 태화>



E <시설재배/고성 영오>



D <시설재배/의령 정암>

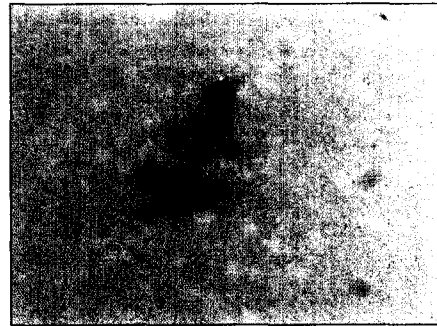
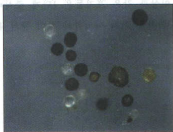
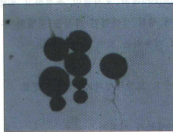


그림2-17. 시설재배 토양에서 분리된 AMF포자

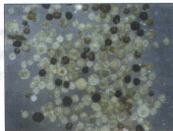
A <참나리/구례 간천>



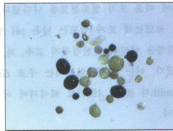
B <중나리/구례 광의>



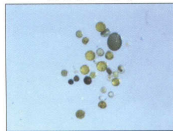
C <원추리/지리산 노고단>



D <썰레/승주 용계>



E <썰레/순천 내동리>



F <썰레/광양 진월>

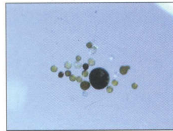
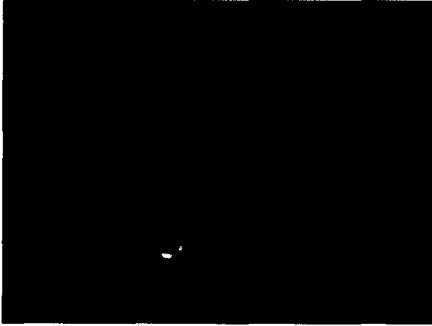
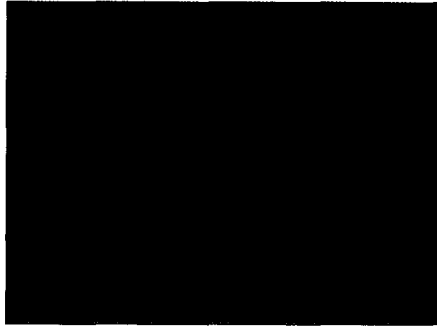


그림 2-18. 썰레 및 나리류의 근권토양에서 분리된 AMF포자

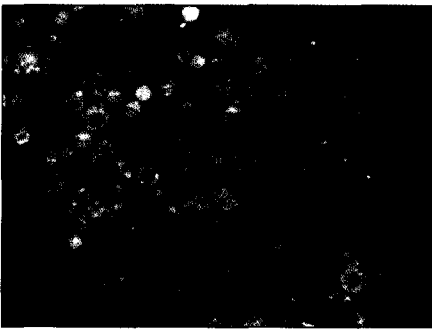
A <참나리/구례 간전>



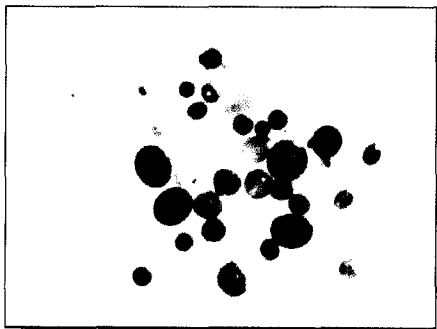
B <중나리/구례 광의>



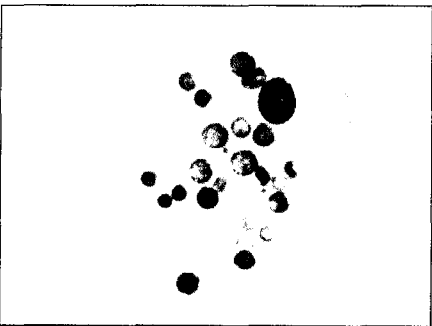
C <원추리/지리산 노고단>



D <찔레/승주 용계>



E <찔레/순천 내동리>



F <찔레/광양 진월>

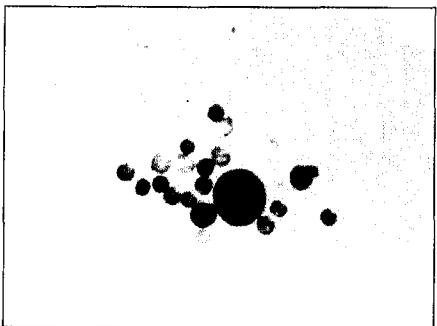


그림 2-18. 찔레 및 나리류의 근권토양에서 분리된 AMF포자

그림 2-18의 포자사진은 나리류와 짚레 근권토양에서 분리한 포자사진으로 다양한 속종이 관찰되었으며 특히 노고단에서 자생하는 원추리 근권의 포자는 *Glomus*속과 *Acaulospora*속의 포자들이 우점하고 있었다. 이상과 같은 포자들은 1단계 증식배양을 통해 생리 생태적인 특성을 구명한 후 대량증식을 거쳐 나리류와 장미 등의 유묘 생산에 이용하는 것이 바람직하다.

라. 주요 토양특성과 포자 밀도분포

1) 야생녹차 서식지

그림 2-19는 야생녹차 서식지 근권토양의 pH, 토양 유기물, 유효인산 및 CEC 분석결과에 따른 포자 밀도분포를 나타냈다. 먼저 pH 측정결과 조사지점의 4.2~5.9 범위를 보였는데 포자 밀도는 낮은 pH 영역에서 높고 pH값이 높아짐에 따라 적어지는 경향을 나타내 일반경작지 고추, 사과, 마늘 주산단지 결과와는 다소 상이한 결과를 보였다. 이는 산성토양에서는 주로 *Gigaspora*속과 *Acaulospora*속이 우점한다는 결과(Smith와 Read, 1997)로 해석되며 이 결과는 특히 전남지역의 조사지점에서 뚜렷하였다.

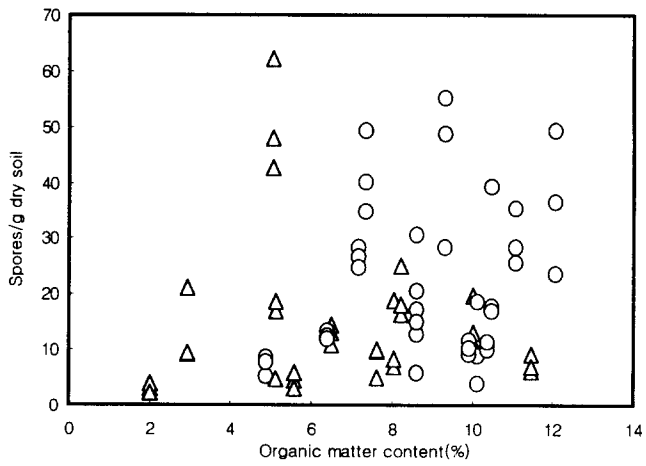
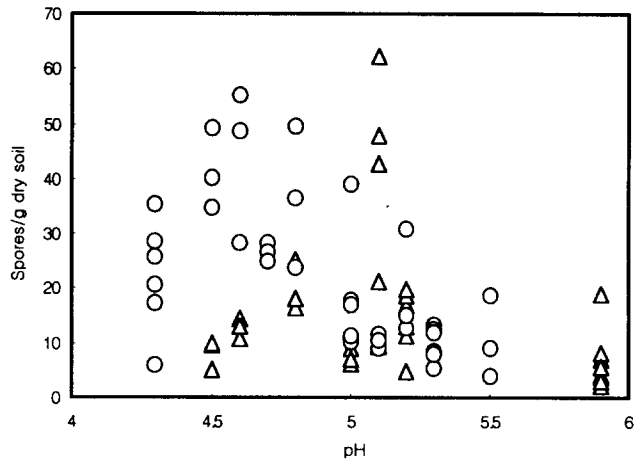


그림 2-19. 야생 녹차재배 토양의 pH값 및 토양 유기물 함량과 포자 밀도분포

다음은 포자 밀도와 토양 유기물 함량과의 관계를 나타낸 그림으로서 토양 유기물이 많을수록 포자 밀도가 높은 분포를 보이고 있으며, 이 역시 pH값의 경우와 같이 경남지역보다 전남지역에서 두드러지는 경향이였다. 이러한 결과는 토양 분석결과에서와 같이 야생녹차 서식지의 토양 특성 중 유기물 함량이 일반 경작지에 비해 월등히 높아 그로 인한 양호한 토양 물리성 확보에 기인한 것으로 해석되었으며 Douds 등(1997)의 AMF포자군락 변이관련 연구에서 퇴비첨가로 *Glomus*속의 포자가 증가되었다는 결과와 일치하고 있다.

그림 2-20은 토양 중 유효인산 함량과 포자 밀도 관계를 나타낸 것으로서 주로 37~400mg/kg 부근에서 높은 포자 밀도를 보이고 있고, 토양 1g당 20개 이상을 나타내는 지역 중 우점하는 지역은 전남지역의 야생녹차 서식지였다. 근본적으로 일반 경작지보다는 인산질 비료시비 빈도가 낮기 때문에 유효인산 함량이 낮은 것에 기인하는 면도 있겠지만, 토양 중 무기인산이 충분할 경우는 AMF의 활성이 떨어진다는 보고(Graham 등, 1981)와 일치하는 경향을 보여 앞의 조미채소 주산단지의 경향과는 상이한 결과를 보였다. 그러나 그림 2-20에서 야생녹차 재배 토양의 CEC 값이 9~20 범위로 분포하고 있지만 포자밀도 분포에는 뚜렷한 경향을 찾을 수가 없었다.

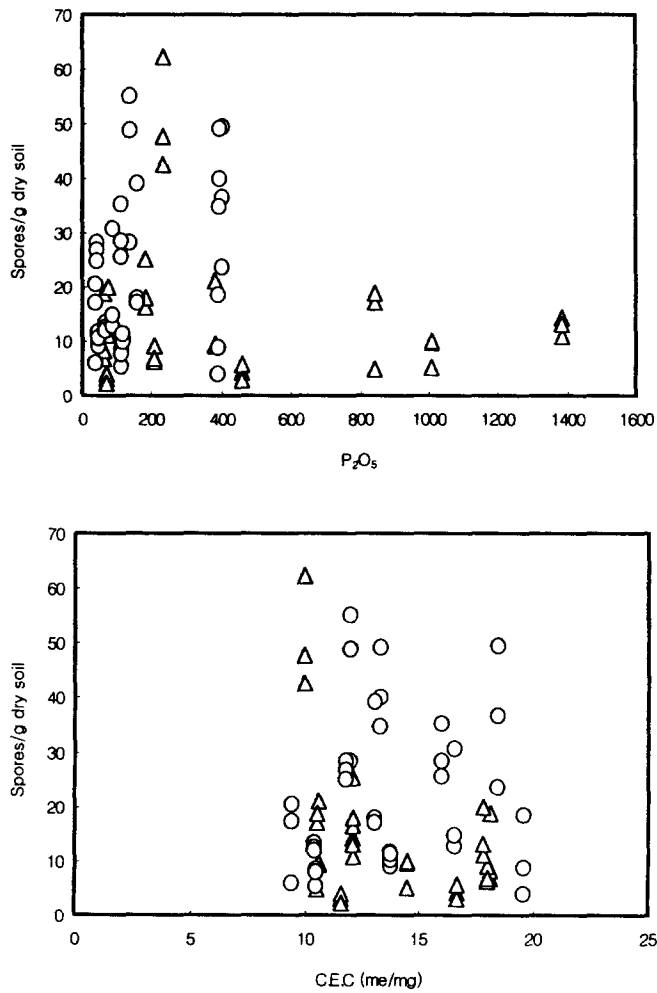
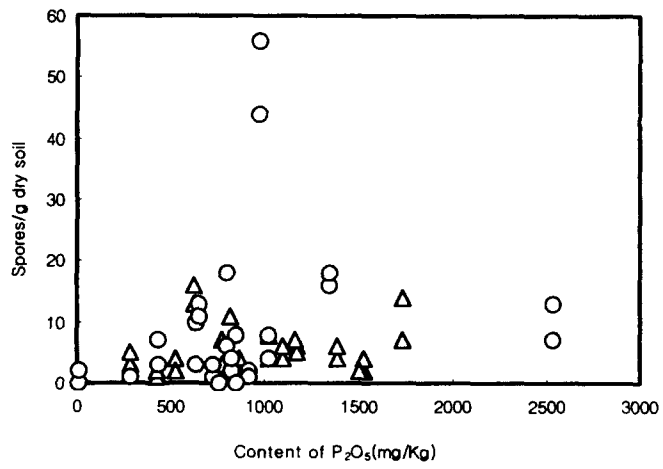
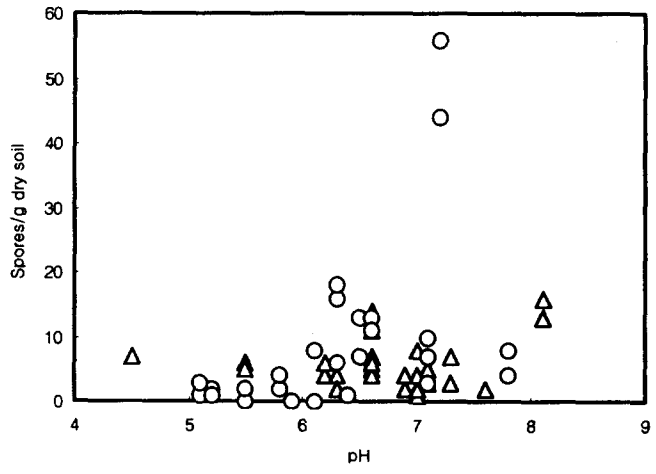


그림 2-20. 야생 녹차 재배토양의 유효인산 함량 및 CEC와 포자 밀도분포



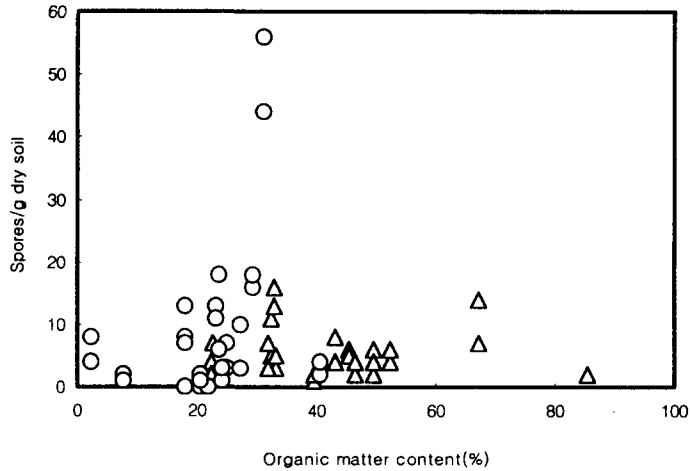


그림 2-21. 시설 재배토양의 주요 화학적 특성 (pH, 유기물 및 유효인산)과 포자 밀도분포

2) 시설재배지

그림 2-21의 그림은 토양의 pH값과 포자 밀도간의 분포 경향은 녹차의 경우와 반대되는 결과를 보였다. 즉, pH 5~8 범위에서 pH값이 높을 수록 포자 밀도가 다소 증가되는 경향을 보였는데, 일반적으로 AMF의 감염활성은 기주식물의 협생 친화성과 토양 중 인산, 질소 함량과 같은 토양화학 특성에 영향을 받기 때문에 (Ratnayake 등, 1978) 시설 재배지는 야생녹차 지역보다 상대적으로 포자 밀도가 낮은 평균 10개/g 미만으로 AMF종류와 밀도가 낮은 것으로 나타났다. 이와 같이 십자화과 식물을 포함한 몇 개과의 식물들이 AMF에 감염이 잘 되지 않기 때문에 (Anderson, 1992) 무나 배추들의 작물을 후작으로 재배할 경우와 후작물을 재배하지 않을 때는 AMF의 활물기생 기회를 얻지 못함으로 새로운 번식체의 형성이 제한을 받게 된다.

그림 2-21의 유효인산 함량과 포자밀도 분포를 보면 유효인산 함량 250~1,500mg/kg 범위에 포자가 주로 분포하고 있으나 토양 중 인산함량이 낮을 경우 AMF의 감염과 번식체의 형성이 용이하다는 일반적인 경향(Tinker, 1975; Baon 등, 1992)과는 일치하지 않았다. 한편 시설 재배지의 토양 유기물 함량과 포자밀도 분포에서도 유기물 함량 범위 18~50g/kg 수준에 주로 분포하고 있으며 함량에 따른 포자의 증감 경향은 볼 수가 없었다.

제 4 절 결 과 요 약

전국 고추 14개 군 40개 면(132개 소), 마늘 7개 군 18개 면(59개 소), 양파 4개 군 8개 면(24개 소) 주산지의 215개 지점의 근권토양 중 토착AMF의 번식체인 포자를 순수분리하여 포자밀도와 해당지역 토양의 물리화학적 특성과의 관련성을 검토하고 근근의 생태적 특성과 속, 종을 동정 분류한 결과는 다음과 같다.

1. 원예작물 고추, 마늘 및 양파 주산단지

가. 토양 물리화학적

조사지역 토양의 물리화학적 특성에서 토성은 사양토(SL)와 양토(L)가 전체의 68% 이상을 점하고 있으며, 토양 pH는 전체적으로 6.0을 넘고 있으나 고추재배토양은 5.5로 낮았다. 토양 유기물의 함량은 전반적으로 20~30g/kg 수준이었고, 유효인산은 719~746mg/kg 범위를 나타냈으며 1,000mg/kg 이상을 보이는 토양도 전체의 22.3%를 차지하였다. 치환성 양이온 K, Mg 및 Ca은 적정수준 이상으로 높은 경향이였다.

나. AMF 분포 특성, 밀도 및 속종 동정결과

AMF 포자의 크기는 45~250 μ m 직경에서 우점분포하였고 작물별 포자 밀도는 양

과 > 마늘 > 고추의 순이었으며, 포자밀도 분포양상은 양질의 토성에 가장 많이 분포하였고, 토양 유기물 함량경우는 10~40g/kg 범위에, pH는 4~8범위에 넓게 분포하였으며, 특히 고추재배토양은 pH 5.0이하에서 포자 분포가 많았다. 포자 밀도분포에 토양 유효인산 함량은 크게 영향을 미치지 않았으며, 조사된 NO₃⁻ 함량의 경우는 낮을수록 포자 밀도가 높게 나타났으며 CEC는 그 반대의 경향이였다.

AMF포자 속의 관찰 결과는 *Acaulospora*속, *Gigaspora*속, *Glomus*속, *Sclerocystis*속 등이 확인되었으며, 산성토양에서는 *Acaulospora*속과 *Gigaspora*속의 포자가 우점하는 경향이였고, 분리된 포자 중 균주의 종이 확인된 균주는 *Glomus*속 3종, *Gigaspora*속 2종으로 *Glomus clarum*, *G. intraradices*, *G. etunicatum*, *Gigaspora margarita*, *Gi. rosea* 등이었으며, 현지포장의 AMF의 감염실태는 수지상체(arbuscule)와 낭상체(vesicle), 균사(hyphae)가 모두 관찰되었고 비교적 낮은 감염율(20~40%)을 보였다.

2. 야생녹차 서식지 및 시설 재배토양

가. 토양화학 특성

야생녹차 서식지 토양 특성 중 평균 pH값은 4.8이었고, 토양 유기물 함량은 평균 80.3g/kg을 보여 정적기준의 2배 이상으로 높았다. 유효인산의 경우는 조사대상지역 전체평균 317.6mg/kg을 나타내었고 전남(160.5mg/kg)보다 경남지역(503.3mg/kg)이 높았으며, 치환성 양이온 중 Ca함량이 대단히 낮았다.

시설 재배지토양의 경우 pH는 평균 5.5였고, 토양유기물 함량은 32.9g/kg, 유효인산 함량은 적정기준 보다 높은 평균 948mg/kg 수준을 나타냈으며, 치환성 양이온의 경우는 K와 Mg에서 적정기준에 비해 높은 경향이였다.

나. AMF의 밀도 및 분포 특성

야생녹차 조사지역에서 포자 밀도의 경우 전체적으로 건토 1g당 22.7~623.0개의

범위를 보여 평균 183.8개/g였으며, 경남지역(145.3개/g)에 비해 전남지역(222.4개/g)의 밀도가 높았다. 시설 재배지 토양은 전반적으로 포자 밀도가 낮은 0.7~55.7개/g 범위를 나타내 건토 1g당 전체 평균 6.9개로서 야생녹차 서식지의 밀도와 대조적이었으며 경남(5.5개/g)에 비해 전남지역의 밀도(8.4개/g)가 높은 경향이였다. 그 외 나리류는 17.7~27.4개/g의 범위를 보였고 평균 22.1개/g의 밀도를 나타냈고, 장미 및 찔레는 밀도가 매우 낮아 각각의 평균 밀도는 3.2개/g, 8.7개/g 정도였다.

토양분석 결과를 고려한 밀도분포 특성에서는 야생녹차 서식지 경우 토양 pH값이 높아짐에 따라 밀도가 다소 감소되는 경향이며, 토양 유기물 함량이 증가함에 따라서 포자수가 증가되었다. 시설 재배지의 경우는 토양 pH가 상승함에 따라 포자수가 약간 증가되었고 유효인산과 토양 유기물 함량에서는 일정한 경향이 없었다.

한편 AMF속별 분포 양상을 보면 야생녹차 서식지에서 낮은 pH로 인해 *Acaulospora*속, *Gigaspora*속 및 *Scutellospora*속이 우점하였고, 시설재배지 토양에서는 *Glomus*속과 *Gigaspora*속이 많이 관찰되었으며 원추리 서식지(지리산 노고단)에서는 *Glomus*속과 *Acaulospora*속이 많았다.

제 3 장

수집 AMF균주의 유묘접종효과

제 3 장 수집 AMF균주의 유묘접종효과

제 1 절 서 설

AMF의 번식체는 포자, 균근이 감염된 뿌리절편과 타 유기물질 및 균사 등으로 알려지고 있으며, 일반적으로 실험이나 상품화되고 있는 접종원은 따로 증식시키거나 자연상태로 얻어진 포자나 감염된 뿌리절편을 사용하고 있다(Miller와 Jastrow, 1992). 한편 일반적인 접종원의 잠재적 능력을 정의한다면 대상 유기체의 생장을 위한 에너지원으로 풀이할 수 있으며, 균체의 영양상태와 접종원의 양과 활성화에 달려 있다(Garrett, 1956). 특히 균근균의 경우에 있어 접종원의 개념은 어떤 토양에서 기주식물과의 협생관계를 형성하는 능력으로 정의되며 기주식물 뿌리에 대한 감염율이나 성장반응결과로서 예측할 수 있다.

간접적인 균근균 접종원 잠재력의 추정은 흔히 포자와 같은 번식체의 계수나 토양을 순차적으로 희석하여 분석함으로써 얻을 수 있으나 일반적으로 실제 자연조건 토양에서 균근형성과 일치하지 않는 경우가 많다(Abbott와 Robson, 1984). 이러한 이유로 특정토양에 기주식물을 생육시키면서 균근형성을 조사하는 단기간의 Bioassay를 이용함으로써 접종원의 잠재능력 추정이 가능하다.

따라서 본 연구는 센터의 보완요구로서 전국적으로 수집 분리된 균주의 번식체인 포자를 고추와 토마토의 유묘 성장단계에서 각각 접종하여 기주작물의 성장반응 결과를 경시적으로 조사함으로써 접종원의 적용 가능성을 미리 예측 확인하고자 하였다.

제 2 절 연구수행 내용 및 방법

1. 생물적 재료

본 연구에서는 ‘서광’ 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Seokwang ; 홍농종묘)와 ‘녹광’ 고추(*Capsicum annuum* L. cv. Nokkwang ; 홍농종묘)를 공시작물로 하였으며, 종자는 26℃의 항온기에서 최야시킨 후 멸균한 모래 : 발토양 = 2 : 1 (v/v)의 토양에 토마토는 4월 12일, 고추는 4월 15일에 파종하였다. 발토양은 인산(P_2O_5) 함량이 100ppm 이하인 토양을 채취하여 70℃에서 연속 2시간씩 2일 간격으로 2회 멸균하여 사용하였다. 종자는 32공 트레이에 처리구당 8주씩 파종하였으며, 본엽 전개시까지 멸균 증류수로 관수하였으며, 본엽 전개 후부터는 인산의 농도를 변형시켜 조제한 Hoagland solution 2/3배액(멸균양액)으로 양액 육묘하였다.

표 3-1. 내생균근균을 접종시킨 토마토와 고추재배를 위한 Hoagland 배양액 조성표 (Hoagland and Arnon, 1938)

Substance	Chemical formula	Concentration(g/200L)
Potassium nitrate	KNO_3	50.0
Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	11.6
Potassium phosphate	KH_2PO_4	12.4
Magnesium sulfate	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	49.3
Iron EDTA	$[CH_2N(CH_2COO)_2]FeNa$	0.15
Manganese sulfate	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	0.15
Zinc sulfate	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	0.02
Copper sulfate	$CuSO_4 \cdot 7H_2O$	0.05
Sodium tetraborate	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	0.20
Ammonium molybdate	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.20
Cobalt nitrate hexahydrate	$Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	0.25

2. 접종방법

종자를 파종하기 전에 전국적으로 고추, 마늘 및 양파 등의 71개 면 재배지역에서 채취한 근권토양 중 1개소의 토양시료로부터 분리한 포자를 이용하여 토마토와 고추 식물체 당 약 35~40 spores/ml/plant 정도의 포자밀도로 멸균수에 희석하여 멸균토양을 충전한 트레이 상단에 치상하여 유묘가 균근균의 번식체에 감염되도록 하였다.

3. 접종효과 해석방법

균근균의 접종효과는 토마토와 고추를 접종처리 후 26일에 초장, 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중 등의 biomass량을 정량화 하여 t-test로 통계처리 하였으며, 식물체중 N, P₂O₅, CaO, MgO 및 Fe, Mn, Cu 및 Zn의 분석은 시료 0.5g을 습식분해액(H₂SO₄ + H₂O₂)으로 분해시킨 다음 질소는 Kjeldahl법으로 분석하였고, 그 외 다량 및 미량원소는 Inductively coupled plasma spectrometer(ICP, Optima 3000DV, Perkin-Elmer U.S.A.)를 이용하여 분석하였다.

4. 감염특성 조사

고추 뿌리에 대한 염색은 제 1 세부과제의 “라”의 감염특성 조사방법과 동일하게 수행하였으며, 감염을 조사방법은 염색된 뿌리절편을 slide glass에 옮겨 현미경 재물대를 5mm 간격으로 움직여 가면서 대안 렌즈의 수직선상에 감염체(vesicle, arbuscule 및 hyphae 등)가 겹치면 감염된 것으로 또 겹치지 않으면 감염되지 않은 것으로 하여 Lab counter(Fisher Scientific, U.S.A.)로 계수하여 감염비율을 계산하였다(McGonigle 등, 1990).

제 3 절 연구결과 및 고찰

1. 토마토 유묘 접종효과

전국 고추, 마늘 및 양파재배지 토양 71개 면에서 채취하여 분리한 균주번식체(포자)를 plug유묘 트레이에 토마토를 기주작물로 접종치상하였다. 그림 3-1에서와 같이 출아초기(10일 전 후)부터 균주 접종여부에 따른 차이가 확인되었다.

총 71개 처리구 중에서 토마토 유묘의 성장촉진효과가 비교적 우수한 15개 처리구를 1차 적으로 선발하여 초장, 경경, 엽수 및 총건물중 등의 유묘생장을 비교한 결과 전남 해남군 황산면과 산이면, 전남 영광군 법성면과 영광읍, 전북 부안군 줄포면, 경북 안동시 임동면, 경북 영양군 영양면, 충남 당진군 고대면, 충북 괴산군 문광면, 충북 제천시 송학면 등 10개 지역의 토착 AMF가 토마토의 성장촉진에 통계적인 유의성을 갖는 것으로 나타났으며, 이들 지역의 토양을 기본으로 하여 제 4 장의 우수 균주의 탐색선발실험에 이용하였다. AMF 포자의 접종에 따른 생육촉진효과는 자엽 및 본엽 1~2매 전개시부터 나타났으며, 생육이 진전됨에 따라 성장촉진효과 역시 증가하였다.

표 3-2는 토착AMF의 포자를 접종한 26일에 토마토의 초장, 경경, 엽수 및 총 건물중의 성장특성을 조사한 결과이다.

초장의 경우 무접종구에 비해 전남 해남군 황산면과 산이면, 경북 안동시 임동면, 충북 괴산군 문광면, 충남 당진군 면천면 등에서 분리한 균근균 포자를 접종한 경우에 고도의 유의성을 보였으며, 전남 영광군 영광읍과 법성면, 전북 부안군 줄포면, 경북 영양군 영양면 등에서 분리한 포자를 접종한 경우에는 초장증가에 유의성을 보였다.

경경의 경우는 전남 해남군 황산면과 산이면, 경북 안동시 임동면, 충북 제천시 송학면 등에서 통계적 유의성을 보였으며, 엽수는 전남 해남군 황산면에서 고도의 유의성을 보였고, 전남 영광군 법성면과 충북 제천시 송학면 등에서 분리한 포자를 접

중한 경우에도 유의성을 보였다.

건물중은 전남 해남군과 경북 안동시 임동면 등에서 분리한 토착AMF 접종한 경우에 고도의 유의성을, 전남 해남군 산이면, 충북 괴산군 문광면, 전남 영광군 범성면, 전북 부안군 줄포면 등은 토착AMF 접종시에 유의성을 보였다.

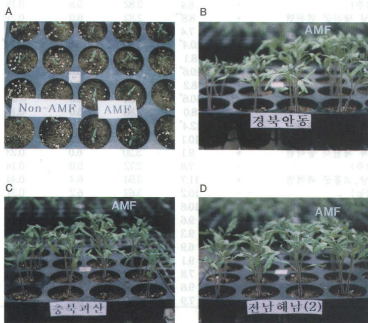


그림 3-1. 토마토 육묘단계에서 지역별 토착AMF 접종효과
(A : 파종과 접종 8일 후 사진, B~D : 접종 3주일 후의 생장비교, AMF : AMF 접종 처리구)

중한 경우에도 유의성을 보였다.

건물중은 전남 해남군과 경북 안동시 임동면 등에서 분리한 포자를 접종한 경우에 고도의 유의성을, 전남 해남군 산이면, 충북 괴산군 문광면, 전남 영광군 법성면, 전북 부안군 줄포면 등은 포자 접종시에 유의성을 보였다.

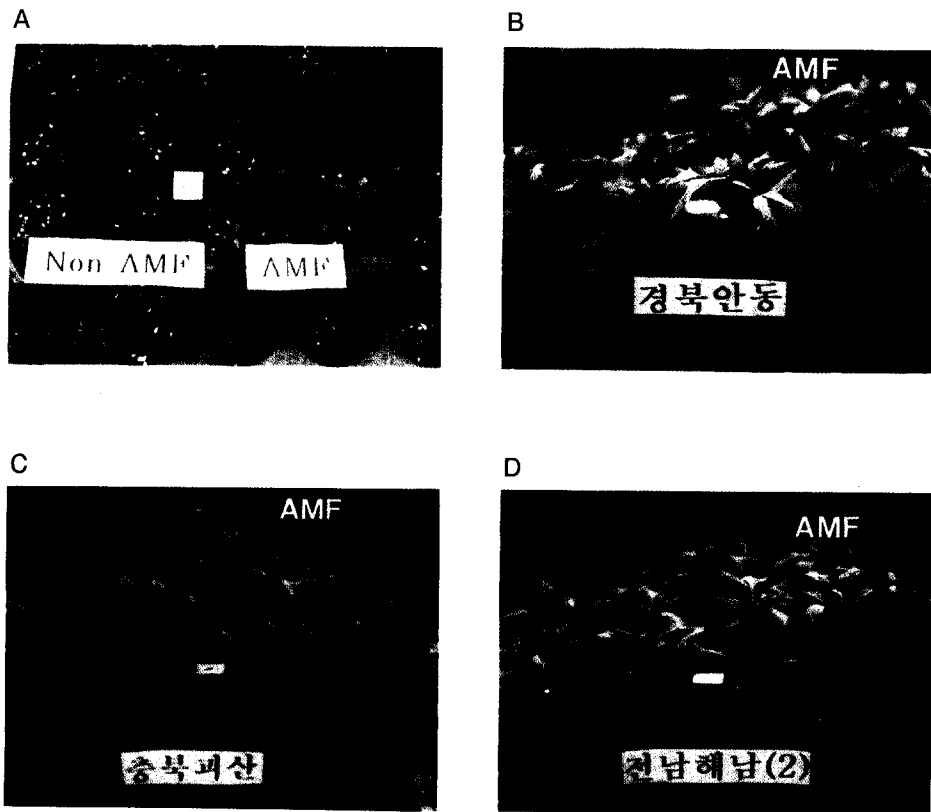


그림 3-1. 토마토 육묘단계에서 지역별 토착AMF 접종효과
(A : 파종과 접종 8일 후 사진, B~D : 접종 3주일 후의 성장비교,
AMF : AMF 접종 처리구)

표 3-2. 토마토 유묘에 대한 지역별 토착 AMF접종원 접종반응(접종 26일 후)

Sampling sites(Crop)	AMF	Plant ht. (cm)	Stem dia. (mm)	No. of leaves	Total dry wt. (g/plant)
전남 해남군 황산면	+ ^z	12.0**	3.70*	7.0**	0.46**
(고추)	-	7.9	2.94	5.4	0.11
전남 해남군 산이면	+	13.1**	3.74*	6.8	0.44*
(고추)	-	8.8	2.84	6.0	0.20
경북 안동시 임동면	+	10.7**	3.68*	6.2	0.33**
(고추)	-	7.5	2.98	5.4	0.13
충북 괴산군 문광면	+	10.7**	3.22	6.2	0.35*
(고추)	-	8.4	2.82	5.8	0.18
충남 당진군 면천면	+	8.8**	2.82	6.0	0.21
(고추)	-	7.4	2.54	5.2	0.12
전남 영광군 법성면	+	10.4*	3.40	5.8*	0.23*
(고추)	-	8.1	2.78	5.0	0.14
전남 영광군 영광읍	+	10.6*	3.34	6.0	0.27
(고추)	-	8.2	2.74	5.4	0.16
전북 부안군 줄포면	+	10.6*	3.34	5.8	0.25*
(고추)	-	8.0	2.86	6.0	0.13
경북 영양군 영양면	+	12.4*	3.88	6.4	0.41
(고추)	-	10.1	3.48	6.2	0.29
충북 제천시 송학면	+	9.1	3.20*	6.0*	0.23
(고추)	-	7.8	2.72	5.0	0.14
전남 고흥군 과역면	+	11.7	3.94	6.4	0.44
(마늘)	-	10.2	3.62	6.2	0.31
전남 무안군 현경면	+	10.8	3.48	6.2	0.32
(양파)	-	9.6	3.14	5.6	0.19
충남 당진군 고대면	+	9.3	3.05	5.8	0.25
(고추)	-	6.9	2.26	5.8	0.12
강원도 영월군 증동면	+	9.1	3.10	6.0	0.34
(고추)	-	7.8	2.54	5.2	0.14
제주도 북제주군 구좌읍	+	9.6	3.06	6.0	0.25
(마늘)	-	7.9	2.52	5.6	0.14

^z + ; inoculated, - ; Non-inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test, respectively

균근균의 근권처리에 따른 식물체내 양분흡수특성을 비교 검토하기 위하여 각 지역에서 분리한 균근균을 토마토에 처리(35~40 spores/ml/plant)하여 생육 후 26일에 지상부건물중 내 무기성분함량을 조사한 결과는 표 3-3과 같다.

표 3-3. AMF접종원 접종 후 26일의 토마토 지상부의 무기성분 분석 결과

Sampling sites (host)	AMF	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO					Mn Fe Cu Zn			
		————— (%) —————					————— (mg/kg) —————			
전남 해남군 황산면 (고추)	+ ^z -	0.83 0.70	0.95 0.74	2.07 1.70	0.79 0.63	0.14 0.13	15.23 15.00	130.50 102.00	3.50 3.00	14.50 9.50
전남 해남군 산이면 (고추)	+ -	1.00 0.76	0.84 0.73	1.81 1.38	0.58 0.59	0.11 0.12	13.50 13.50	170.00 139.00	2.50 2.00	25.00 11.00
전남 영광군 법성면 (고추)	+ -	0.83 0.62	1.15 1.03	2.24 2.18	0.91 0.80	0.17 0.16	18.00 18.50	174.50 158.50	5.00 4.00	20.00 15.00
전남 영광군 영광읍 (고추)	+ -	0.70 0.51	1.16 1.01	2.29 2.12	0.91 0.83	0.17 0.16	19.93 19.50	190.28 188.50	4.70 4.00	16.67 13.50
전북 부안군 줄포면 (고추)	+ -	1.02 0.85	1.18 1.06	2.34 2.23	0.80 0.68	0.16 0.15	19.45 19.48	258.53 212.89	5.21 4.91	22.11 17.91
경북 안동시 임동면 (고추)	+ -	1.37 0.79	1.34 0.91	3.15 2.08	1.07 0.76	0.21 0.14	20.92 19.48	167.56 102.09	6.17 3.89	23.40 11.74
경북 영양군 영양면 (고추)	+ -	1.01 0.77	0.97 0.82	2.00 2.06	0.62 0.69	0.18 0.16	14.81 11.01	125.67 108.67	3.60 3.49	12.26 10.81
충남 당진군 면천면 (고추)	+ -	0.60 0.57	1.00 0.94	2.02 1.46	1.07 0.65	0.14 0.12	26.61 25.28	182.85 149.63	5.35 4.39	18.04 10.52
충북 제천시 송학면 (고추)	+ -	0.81 0.46	1.01 0.91	2.18 1.62	0.73 0.81	0.15 0.15	25.67 14.51	149.30 92.82	4.14 3.69	16.75 11.70
충북 괴산군 문광면 (고추)	+ -	0.90 0.76	0.94 0.91	1.91 2.02	0.72 0.69	0.14 0.14	15.86 19.33	107.49 78.13	4.20 3.67	19.76 14.51

^z AMF : AMF 접종여부 (+ ; 접종, - ; 무접종)

토마토 지상부건물중 내 N 및 P₂O₅ 함량은 균근균을 처리하지 않은 대조구에 비하여 균근균을 접종한 모든 처리구에서 높았으며, 특히 경북 안동시 임동면 고추재배지 토양에서 분리한 균근균을 접종한 처리구에서 대조구에 비하여 N함량은 약

73%, P_2O_5 함량은 약 47%가 증가되어 다른 처리구에 비하여 매우 높았다.

그리고 다량원소인 K_2O , CaO 및 MgO 함량도 모든 처리구에서 대조구에 비하여 전반적으로 높았으며, CaO 및 MgO 함량에 비하여 K_2O 흡수량이 균근균 접종에 의하여 더 높게 증가되는 것으로 나타났으며 N 및 P_2O_5 함량과 마찬가지로 K_2O 함량도 경북 안동시 임동면 고추재배지 토양에서 분리한 균근균을 접종한 처리구에서 약 51%가 증가되었다.

미량원소인 Mn 및 Cu 함량은 모든 처리구에서 대조구와 거의 비슷하거나 약간씩 증가되는 경향이었으며, Fe 및 Zn 함량은 모든 처리구에서 대조구에 비하여 크게 증가되었다.

따라서 균근균 접종에 따른 식물체 내 무기양분 흡수정도는 N, P_2O_5 , K_2O , Fe 및 Zn은 균근균 처리에 의하여 식물체내로의 이동이 증가되는 것으로 생각되었으며, CaO , MgO , Mn 및 Cu의 흡수는 균근균 처리에 의하여 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났는데 보고된 실험결과(Allen, 1992)와 일치하는 경향을 보였다.

2. 고추 유묘에 대한 접종효과

각 지역별로 분리한 토착 AMF 포자를 접종치상하여 고추유묘의 생장에 미치는 영향을 측정한 결과는 그림 3-2, 3-3 및 표 3-4와 같다.

지상부생체중에 미치는 각 지역별 균주의 포자접종효과를 보면 전북 정읍시 태안면, 경북 안동시 임동면, 경북 의성군 옥산면 등에서 분리한 포자는 접종유무 처리간에 고도의 유의성을 보였고, 전남 고흥군 점암면과 황산면, 전북 완주군 고산면, 경북 김천시 구성면, 경북 의성군 봉양면, 충남 서산시 부석면, 충북 괴산군 청천면 등은 지상부생체중의 생장에 통계적 유의성을 보였으며(그림 3-3 및 표 3-4), 그림 3-3에서도 보는 바와 같이 접종(AMF)과 무접종간에 확연한 성장량 차이를 확인할 수 있었다.

지상부건물중에 미치는 영향을 보면 전북 정읍시 태안면, 전북 완주군 고산면, 경

부 안동시 임동면 등 3개 지역은 고도의 유의성을 보이고, 전남 해남군 황산면, 경북 의성군 옥산면, 경북 김천시 구성면, 경북 의성군 봉양면, 충남 서산시 부석면, 충북 괴산군 청천면, 충북 단양군 어상천면 등 7개 지역은 처리간에 통계적인 유의성을 보였다(표 3-4).



그림 3-2. 고추 육묘단계에서 AMF 접종효과(접종 후 6주)
(전남 해남군 황산면에서 분리한 AMF)



그림 3-3. 고추 육묘단계에서 지역별 토착AMF 접종효과
(AMF : AMF 접종 처리구)

부 안동시 임동면 등 3개 지역은 고도의 유의성을 보이고, 전남 해남군 황산면, 경북 의성군 옥산면, 경북 김천시 구성면, 경북 의성군 봉양면, 충남 서산시 부석면, 충북 괴산군 청천면, 충북 단양군 어상천면 등 7개 지역은 처리간에 통계적인 유의성을 보였다(표 3-4).

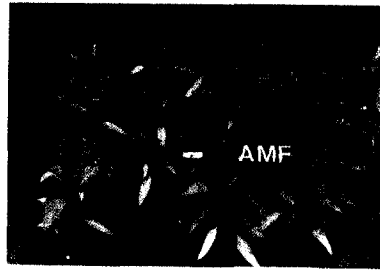


그림 3-2. 고추 육묘단계에서 AMF 접종효과(접종 후 6주)
(전남 해남군 황산면에서 분리한 AMF)

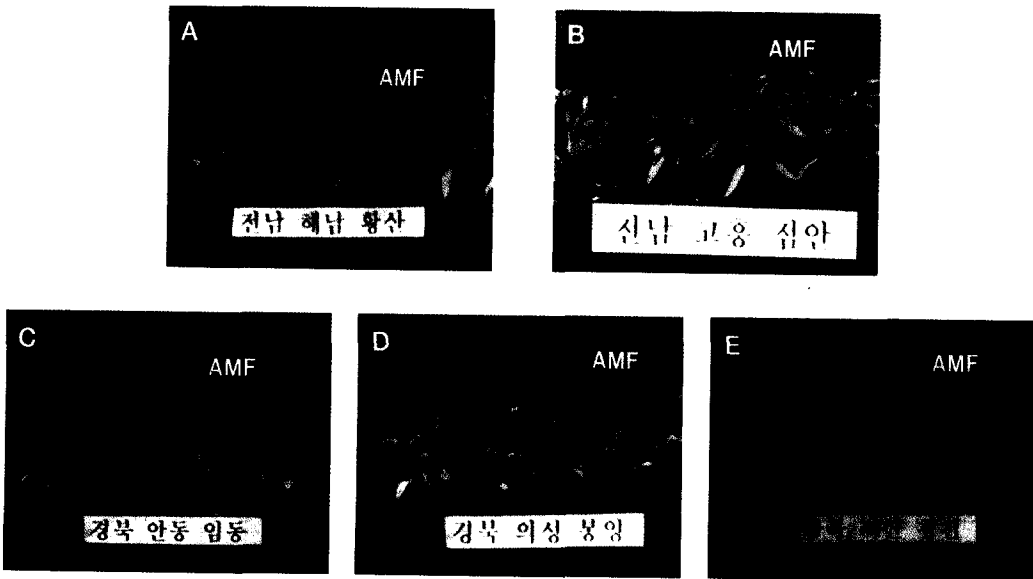


그림 3-3. 고추 육묘단계에서 지역별 토착AMF 접종효과
(AMF : AMF 접종 처리구)

표 3-4. 고추 유묘에 대한 지역별 토착AMF의 접종효과(접종 후 6주)

Sampling sites(host)	AMF	Top fresh wt. (g/plant)	Top dry wt. (g/plant)
전남 고흥군 점암면 (마늘)	+ ^z -	1.05* 0.63	0.20 0.13
전남 고흥군 두원면 (마늘)	+ -	0.79 0.61	0.15 0.13
전남 무안군 해제면 (양파)	+ -	1.10 0.79	0.16 0.22
전남 해남군 황산면 (고추)	+ -	1.15* 0.71	0.23* 0.14
전북 정읍시 태안면 (고추)	+ -	1.51** 0.71	0.30** 0.16
전북 완주군 고산면 (마늘)	+ -	1.89* 1.21	0.35** 0.19
경북 안동시 임동면 (고추)	+ -	1.68** 0.91	0.35** 0.17
경북 의성군 옥산면 (마늘)	+ -	1.59** 0.73	0.31* 0.14
경북 김천시 구성면 (양파)	+ -	1.34* 0.75	0.26* 0.16
경북 의성군 봉양면 (마늘)	+ -	1.71* 0.80	0.29* 0.15
경북 영양군 영양면 (고추)	+ -	1.20 0.81	0.25 0.17
충남 공주시 유구면 (고추)	+ -	0.77 0.53	0.14 0.13
충남 서산시 부석면 (마늘)	+ -	1.36* 0.75	0.27* 0.15
충북 괴산군 청천면 (고추)	+ -	1.52* 0.85	0.27* 0.15
충북 단양군 어상천면 (마늘)	+ -	2.31 1.48	0.43* 0.26

^z + ; inoculated, - ; non-inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test, respectively

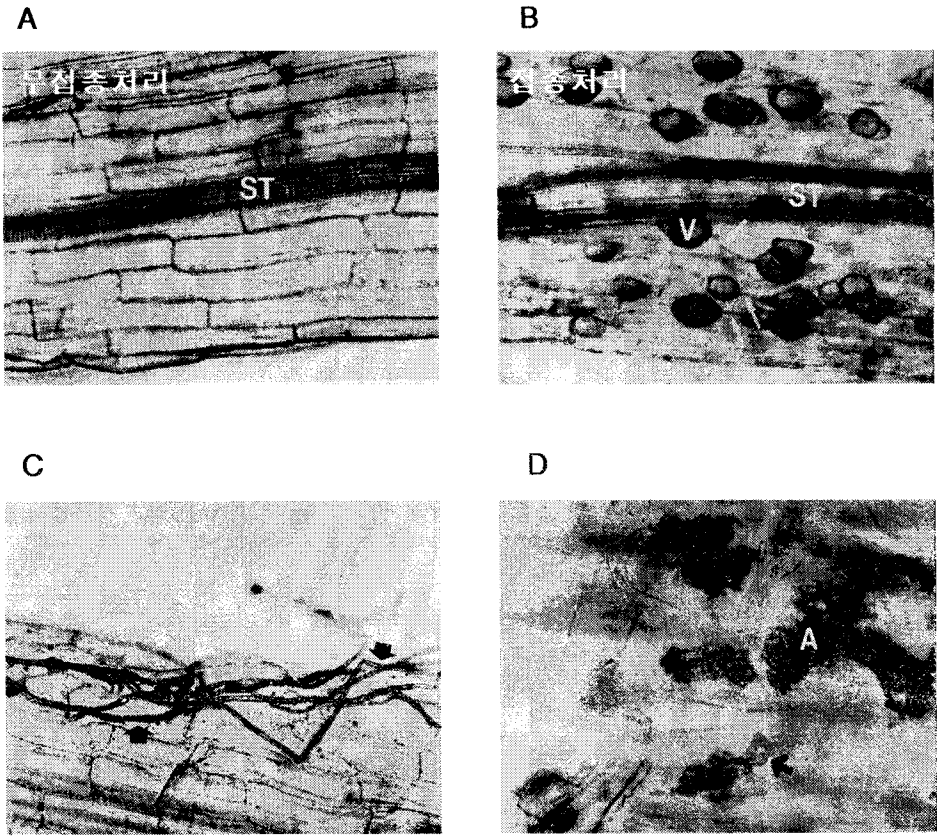


그림 3-4. 고추 유묘의 AMF 접종처리 후의 감염실태
(ST : 중심주, V : vesicle, 화살표(→) : 내부균사, A : arbuscule)

그림 3-4는 고추유묘에 대하여 지역별로 수집분리한 토착균주를 분리하여 파종과 동시에 접종한 13주 후 고추뿌리에 감염된 균사(그림 3-4의 사진D), 타원형의 낭상체(vesicle : 그림 3-4의 B사진) 및 수지상체(arbuscule: A)를 보여주고 있으며 사진 A와 B는 각각 균근균 접종원 처리와 무처리의 감염상황을 촬영함으로써 사진 A는 균근균의 감염흔적이 없는 깨끗한 뿌리의 세포구조를 나타내고 있다.

표 3-5는 고추유묘에 접종효과와 1차 우수균주 선발을 병행한 접종실험에서 접종 91일 후에 고추묘 뿌리의 감염율을 5개 지역의 접종원이 접종된 고추 뿌리를 임의선

발하여 조사한 결과이다.

그림 3-4에서 본 바와 같이 낭상체(vesicle), 균사(hyphae) 및 수지상체(arbuscule)의 각각의 감염빈도를 계산하여 전체 총 감염율을 계산한 결과 40~57%의 감염율을 보였으며 접종원을 처리하지 않은 무접종 처리에서도 4~9%의 감염율을 나타냈는데, AMF의 번식원은 바람이나 곤충 등과 같은 자연적인 요인에 의해 포자나 균사가 옮겨져서 감염이 이뤄지기 때문이다(Hetrick, 1986).

표 3-5. AMF 접종반응이 양호한 고추 유묘에 있어서 접종 후 91일의 감염율

토착 AMF	AMF	Infection(%)			
		Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
전북 정읍시 태안면	+ ²	27.5	7.5	5.0	40.0
	-	3.0	0	2.0	5.0
전북 완주군 고산면	+	42.0	2.0	4.0	48.0
	-	7.2	0	0.8	8.0
경북 의성군 옥산면	+	37.0	4.0	16.0	57.0
	-	3.0	0.8	0.2	4.0
경북 의성군 봉양면	+	32.0	4.0	10.0	46.0
	-	5.5	0.5	1.0	7.0
충북 단양군 어상천면	+	35.0	0	16.0	51.0
	-	5.5	0	3.5	9.0

² + ; inoculated, - ; non-inoculated

감염율을 결정하는 감염체의 조사결과에서 보면 낭상체(vesicle)와 수지상체(arbuscule)의 관찰빈도가 높았음을 알 수 있었으며 특히 총 감염율에 영향을 미치는 비율은 평균 약 72% 정도였다.

제 4 절 결 과 요 약

전국 71개 면의 고추, 마늘 및 양파재배 주산단지에서 수집분리한 토착 AMF포자를 35~40 spores/ml/plant 정도의 포자밀도로 멸균수에 희석한 후 토마토와 고추에 각각 접종하여 유묘 성장반응을 조사한 결과는 다음과 같다.

토마토의 경우 총 71개 지역 시료 중에서 식물체의 초장과 건물중에서 유의적인 성장촉진 효과를 보이는 AMF는 5개 지역(전남 해남군 황산면과 산이면, 전남 영광군 영광읍, 경북 안동시 임동면, 충북 괴산군 문광면)에서 분리한 포자였으며, AMF를 접종 처리하므로써 식물체내 N, P, K, Fe 및 Zn 등의 무기양분 흡수가 증가되었다.

고추에 대한 AMF접종효과에서 지상부생체중과 건물중 증가를 보이는 지역은 9개 지역(전남 해남군 황산면, 경북 안동시 임동면, 전북 정읍시 태안읍, 전북 완주군 고산면, 경북 의성군 봉양면과 옥산면, 경북 김천시 구성면, 충남 서산시 부석면, 충북 괴산군 청청면)으로 통계적 유의성을 나타냈다.

고추와 토마토 유묘단계에서 동시에 두 작물의 생육증진에 영향을 미치는 처리는 전남 해남군 황산면과 경북 안동시 임동면의 2개 지역에서 분리한 AMF이었으며 고도의 유의성이 인정되었다.

제 4 장

우수 균주의 탐색선발과 선발균주 증식 및
동정에 관한 연구

제 4 장 우수 균주의 탐색선발과 선발균주 증식 및 동정에 관한 연구

제 1 절 서 설

AMF 이용에 있어 최대의 효과를 얻기 위해서는 효과가 우수한 균주의 접종기술과 이보다 앞서 균주/기주작물/기질인 토양을 고려한 적절한 조합선발이 선행되어야 하며, 균주의 선발과정은 접종원 접종이 적용하고자 하는 작부방식이나 경영방식 등이 폭넓게 고려되어야 한다. 그러기 위해서는 먼저 토양구조나 작물생육에 영향을 미치는 여러 가지 요인들을 확인한 후 이러한 제한요인들을 균근균이 충분히 극복할 수 있는지 여부의 검토가 필요하다.

또 균근균은 종에 따라서 인산흡수와 식물생육을 증가시키는 능력의 차이가 인정되므로(Allen, 1992) 주어진 환경조건에서 광범위한 선발실험이 장기적으로 수행되어야 하며, 선발대상이 되는 토착균주의 고유한 특성에 대한 정보의 정리가 선행되어야 하고 또 농업생산물의 생산성이 감안되어야 한다. 그러나 이에 대한 많은 연구결과에서 살펴보면 여러 요인을 동시에 처리검토하기가 불가능하기 때문에 장기간에 걸쳐서 실험을 수행하고 있고 많은 연구자들이 공동으로 연대한 연구를 하고 있는 실정이다.

이에 반해 우리나라의 경우는 모든 여건이 미흡하기 때문에 일차적으로 국내의 전반적인 경작지를 대상으로 토착균주를 수집하고 균주선발 초기부터 접종원의 잠재성을 확인하면서 동시에 우수균주의 선발작업이 병행될 수밖에 없다. 또 자연상태의 토양에는 토착균이 존재하고 있기 때문에 새로운 접종원의 접종도입에 의한 혜택은 크게 기대할 수 없는 것이 일반적인 사실이며, 균근에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 온 결과 균근균 접종원의 잠재성이 가장 크게 기대되는 분야는 노지재배 작목에서 보다 용기재배나 시설재배의 초기단계에서 이용에 큰 비중을 두고 있다.

따라서 본 연구는 전국 조미채소의 주산단지로부터 수집한 토착균주를 적용하려는 해당 작목인 고추와 토마토를 1차기주식물로 하여 접종효과와 병행하여 일련의 선발 실험을 수행하였다.

제 2 절 연구수행내용 및 방법

1. 우수균주 탐색선발

가. 접종원 접종방법과 치상방법

제3장 수집 AMF균주의 유효에 대한 균근균 접종 실험결과에서 유효생장촉진 효과가 우수한 토착AMF를 확인된 원래 토양에서 재분리(9개 지역)하였고, 외국에서 도입한 접종원(Promix-Bx 외 4개 도입 균근균)과의 비교실험을 통해 국내 토착 AMF중에서 우수균주를 탐색 선발하였다. 생물재료는 수단그라스[Sorghum sudanense (Piper) Stapf]와 결명자(Cassia tora L.)를 공시작물로 하였다.

표 4-1. 수단그라스와 결명자 실험에 사용한 국내 토착AMF

구분	토양채취지역	기주작물	포자밀도 (포자수/g 건토)	일련번호
1	모래:발효=2:1(v/v)[멸균토양]		0	Control
2	경북 김천시 구성면 송죽 2리	양파	7.7	G-3-1
3	강원도 영월군 영월읍 연하 1리	고추	28.4	X-2-1
4	충남 당진군 고대면 고대리	고추	23.9	O-1-1
5	전남 고흥군 점암면 천학리	마늘	7.2	K-3-1
6	경북 안동시 임동면 갈전리	고추	4.3	A-2-1
7	충남 당진군 면천면 시소리	고추	11.9	O-3-1
8	전남 해남군 황산면 관춘리	고추	13.7	H-1-1
9	충북 괴산군 문광면 광덕 2리	고추	9.7	W-2-1
10	전남 해남군 산이면 대명리	고추	17.1	H-3-1

표 4-2. 수단그라스와 결명자 실험에 이용한 주요 도입균주

번호	처리구	제 조 원	주요균주	비 고
1	Control	발효 : 모래 = 1 : 2(v/v)	함유 균근균이 없음	멸균후 사용
2	Promix-Bx	Premire Tech. Co., Canada	<i>Glomus</i> spp.	일반 육묘용
3	S3029, S3051	Florida Univ., U.S.A.	<i>Glomus</i> spp.	실험용 균주
4	Bio-organics	Bio-Organics Co., U.S.A.	<i>Glomus</i> spp.와 <i>Gigaspora</i> spp. 혼합균주	일반 육묘용
5	VAM80	Tree of Life Co., U.S.A.	<i>Glomus</i> spp.	목본류에 주로 이용

멸균한 모래 : 발토양 = 2 : 1(v/v)을 2L 용량의 플라스틱 포트에 충전한 후 수단그라스는 종자 30립/포트, 결명자는 종자 50립/포트를 직파하였다. 각 균근균접종원은 포트의 상단부에 35~40 spores/ml/plant 정도의 포자밀도로 멸균수에 희석하여 접종하였다. 또 양액공급은 Hoagland's solution(Hoagland and Arnon, 1938)을 변형하여 인산의 농도가 50ppm 이하로 조제된 배양액을 두상살수로 매일 오전 10시와 오후 2시에 공급하였다.

나. 무기양분 흡수량과 생육 초기 biomass증가량 조사

처리에 따른 생육조사는 파종 후 2주부터 수단그라스는 7일 간격으로, 결명자는 5일 간격으로 초장, 엽수, 지상부생체중 및 건물중, 엽록소 함량 등을 10반복으로 각각 6회 조사하였다. 전체 엽록소 함량(Y)은 엽록소 측정기(SPAD-502, Japan, Minolta)로 측정된 엽록계수(X)를 다음의 식에 의하여 계산하였다(日本土壤肥料學會, 1988).

$$Y(\text{mg}/100\text{cm}^2) = 0.0996X(\text{SPAD}) - 0.152$$

또한, 균근균의 접종에 따른 수단그라스와 결명자의 양분흡수 변화 양상을 조사하기 위하여 식물체지상부의 N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu 및 Zn 등을 정량하였다.

양분흡수 양상의 정량적 분석과 식물생장량을 비교하여 식물생장촉진 효과가 우수한 균주를 최종적으로 선발하여 단일균주로서 대량증식 실험에 이용하였다.



그림 4-1. 수단그라스를 이용한 우수 토착균주의 탐색선발

2. 선발균주의 증식과 동정

가. 균주의 증식방법

'98년도 실험결과 AMF 접종효과가 우수한 지역을 대상으로 재차 시료를 채취하여 AMF 번식체를 분리한 후 수단그라스와 결명자 등을 기주식물로 하여 재배양 증식하였다. 배양토의 조성은 모래 : 발토양 : 펄라이트 = 4 : 2 : 1(v/v)로 하였으며, 기주식물에 국내 토착 AMF 번식체를 접종하였다.

나. AMF번식체의 속·종 분류동정의뢰(INVAM)

1) 동정의뢰용 AMF균주의 증식

제2장 연구에서 예비 선발된 9개 지역의 AMF를 INVAM의 요구사항에 따라 다음과 같이 증식하였다. 즉, 수단그라스[*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf]를 기주식물로 6개월간 증식하는데, 수단그라스는 25℃의 항온기에서 최아시킨 후 혼합배양토[모래 : 발토양 = 2 : 1(v/v)]가 충전된 3ℓ 용량의 플라스틱 포트에 파종하여 재배하였다. 종자파종 전 혼합배양토의 상단에 국내토착 AMF 포자를 50~100 spores/plant 정도의 밀도로 접종하여 얇게 복토한 후 그 위에 종자를 파종하였다. 종자파종 후 5주까지는 Modified Hoagland's Soln.(인산이 50ppm 이하로 조성) 1/3배액으로 관주하였으며, 그 이후에는 표준농도의 양액을 공급하였다.

2) 감염율 및 감염특성

뿌리염색은 Phillips와 Hayman(1970)의 방법으로 수행하였으며, 감염율 및 감염특성은 McGonigle 등(1990)의 방법으로 검정하였다.

3) 증식된 번식체의 속종분류 동정의뢰(INVAM)

1년차 실험에서 예비선발한 국내토착 AMF 균주 중에서 재증식한 9개 지역의 시료, 즉 번식체가 포함된 건조 토양 150g을 '99년 4월 6일 미국 INVAM에 송부 의뢰하였다. 의뢰한 시료는 INVAM에서 다시 배양증식한 후 동정작업에 들어가서 2000년 2월경 동정결과를 얻었다.

제 3 절 연구결과 및 고찰

1. 우수 토착균주의 탐색선발

가. 수단그라스

1) AMF균주별 성장반응

토마토와 고추 유묘의 성장을 촉진하는 국내 9개 지역의 AMF를 예비선발하여 수단그라스와 결명자를 공시작물로 외국에서 도입한 균주와의 비교실험을 통해 국내 우수 토착균주를 탐색 및 선발하였다.

그림 4-2의 사진 A, B 및 C는 국내 토착AMF의 생육촉진 효과를 사진으로 촬영한 결과이다. H-1-1(전남 해남군 황산면)과 W-2-1(충북 괴산군 문광면) 등을 제외한 모든 토착AMF 처리구에서 무접종구에 비해 수단그라스의 초장이 증대되는 것을 보여 토착AMF를 이용한 원예작물의 생육촉진 가능성을 충분히 확인할 수 있었다.

그림 4-2의 사진 D는 본 실험에서 도입한 균주들의 생육촉진효과로서 무접종구에 비해서 전반적으로 수단그라스의 생장이 촉진되었음을 알 수 있다. 그림 4-2의 사진 E와 F는 국내 토착AMF와 도입균주간의 성장을 비교한 결과로서 K-3-1(전남 고흥군 점암면), G-3-1(경북 김천시 구성면), O-1-1(충남 당진군 고대면), A-2-1(경북 안동시 임동면) 등은 도입균주인 Pro-Mix에 비해 거의 비슷한 정도의 생장으로서 국내 토착AMF를 이용한 도입균주의 대체가능성을 충분히 보여주고 있다.

표 4-3은 수종의 토착AMF와 도입균주가 수단그라스의 생장에 미치는 영향을 균근 접종 후 56일에 측정된 결과이다.

토착AMF 중에서는 전남 고흥군 점암면, 경북 김천시 구성면, 경북 안동시 임동면 등에서 분리한 토착AMF가 수단그라스의 전반적인 생장에 좋았으며, 도입균주는 Promix > VAM 80 > Bio-organics > S3051 등의 순으로 나타났다.

초장의 경우 도입균주 중에서는 Promix가 65.2cm로 가장 높은 반면, 토착AMF 중에서는 전남 고흥군 점암면의 토착 AMF가 75.8cm로 도입균주에 비해서는 약 10cm

정도, 무접종구에 비해서는 17.5cm 정도 더 증가하였다. 또한, 도입 균주중에서 초장이 가장 큰 65.2cm(Promix) 보다 더 증가한 토착 AMF 처리구가 5개 지역 정도로서 국내 토착 AMF의 적극적인 선발 및 활용이 필요함을 보여주었다. 도입 균근균과 토착 AMF에 대한 엽수의 생장반응은 처리간에 크지 않은 반면, 지상부의 생체중과 건물중은 처리간에 현저한 차이를 보였다. 즉, 엽수는 전체 처리구간에 6.8~7.8배로서 차이가 거의 없었으나 엽의 크기와 무게는 균근균 처리시에 급격히 증가하여 전체적인 지상부 총건물중이 현저히 증가하였다. 엽록소 함량의 변화를 보면 대부분의 균근균 처리시에 증가하여 균근균 무접종에 비해 광합성 량 및 식물체내 엽록소 함량이 증가하였음을 보여주었다.

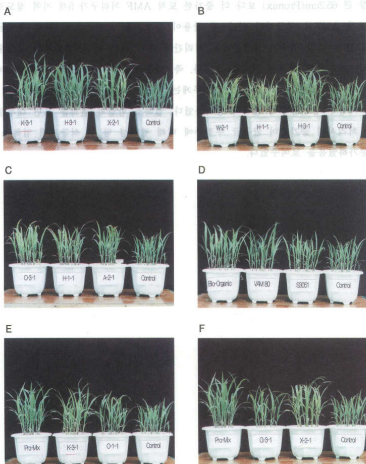


그림 4-2 Sudangrass에 대한 지역별 토착AMF와 도입점증원의 접종결과
 (K-3-1 : 전남 고흥군 점암면, H-1-1 : 전남 해남군 황신면, H-3-1 : 전남 해남군 산이면, X-2-1 : 강원도 영월군 영월읍, W-2-1 : 충북 괴산군 문광면, O-3-1 : 충남 당진군 면천면, A-2-1 : 경북 안동시 임동면, Bio-organic, VAM80, S3051 : 도입 점증원)

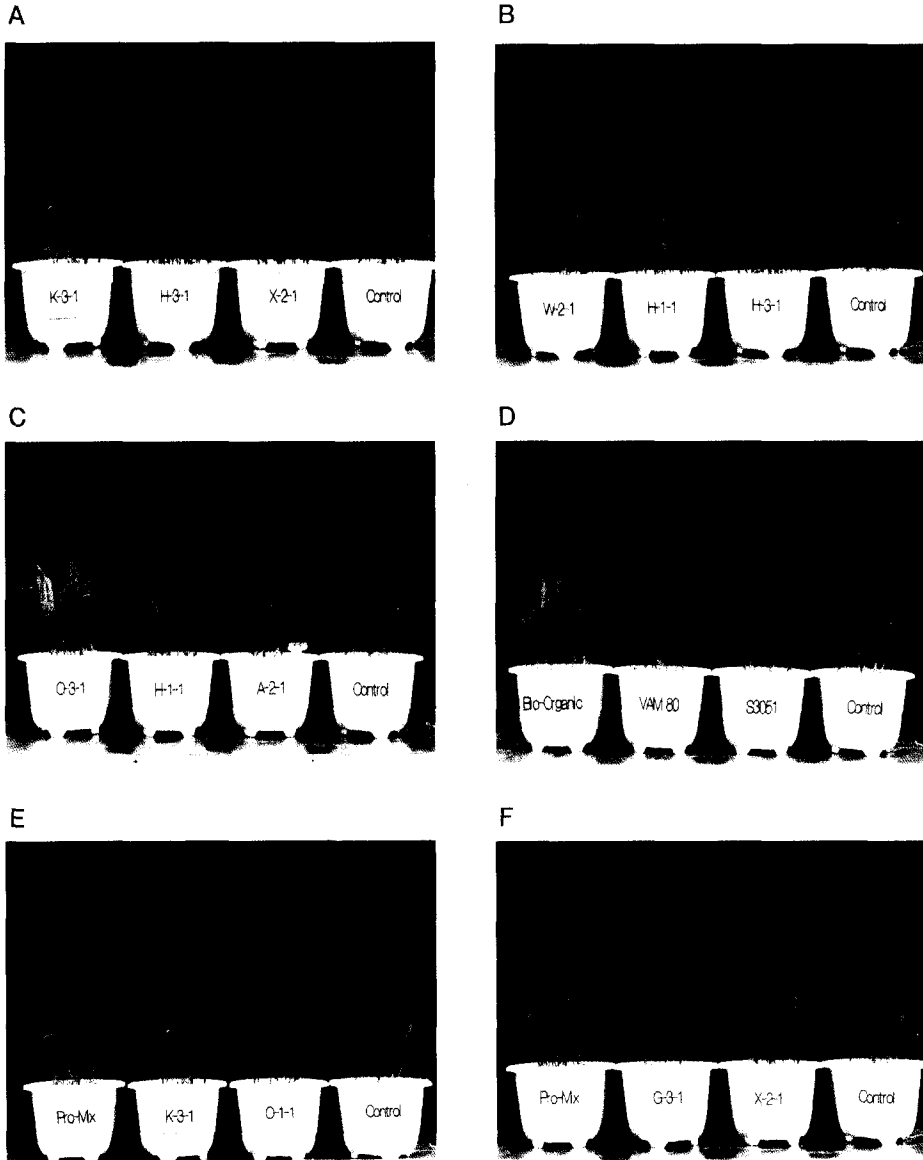


그림 4-2 Sudangrass에 대한 지역별 토착AMF와 도입접종원의 접종결과
 (K-3-1 : 전남 고흥군 점암면, H-1-1 : 전남 해남군 황산면, H-3-1 : 전남 해남군 산이면, X-2-1 : 강원도 영월군 영월읍, W-2-1 : 충북 괴산군 문광면, O-3-1 : 충남 당진군 면천면, A-2-1 : 경북 안동시 임동면, Bio-organic, VAM80, S3051 : 도입 접종원)

표 4-3. 수종의 토착AMF와 도입균주를 접종한 후 56일의 수단그라스 성장량

Inoculums	Plant ht. (cm)	No. of leaves	Top fresh wt. (g/plant)	Top dry wt. (g/plant)	Total chlorophyll content (mg/100cm ²)
Control	58.3ef ^z	7.0	2.73c	0.59c	1.12cde
경북 김천시 구성면 ^y (양파)	65.9b	7.4	2.71cd	0.61c	1.31a
강원도 영월군 영월읍 (고추)	61.0cde	7.2	3.47b	0.83b	1.26ab
충남 당진군 고대면 (고추)	65.0bc	7.2	2.84c	0.65c	1.21abcd
전남 고흥군 점암면 (마늘)	75.8a	7.8	4.62a	1.02a	1.24abc
경북 안동시 임동면 (고추)	65.8b	7.2	3.28b	0.79b	1.24abc
충남 당진군 면천면 (고추)	64.4bcd	6.8	2.39d	0.58c	1.09e
전남 해남군 황산면 (고추)	54.2fg	7.0	1.32e	0.32d	1.09e
충북 괴산군 문광면 (고추)	53.7g	6.8	1.51e	0.39d	1.16bcd
전남 해남군 산이면 (고추)	62.9bcd	7.2	2.73c	0.65c	1.00e
Bio-organics ^x	64.8bc	7.2	2.59cd	0.61c	1.23abcd
VAM 80	60.4de	7.4	3.61b	0.87b	1.24abc
S 3051	57.8efg	7.0	2.40d	0.57c	1.10de
Pro-Mix	65.2bc	7.0	2.61cd	0.64c	1.33a

^z Duncan's multiple range test at 5% level

^y 토착 arbuscular 균근균의 포자가 함유된 국내 토양을 채취한 지역(토양채취시 기주작물)

^x 도입한 균근균접종원

2) 경시적 성장반응

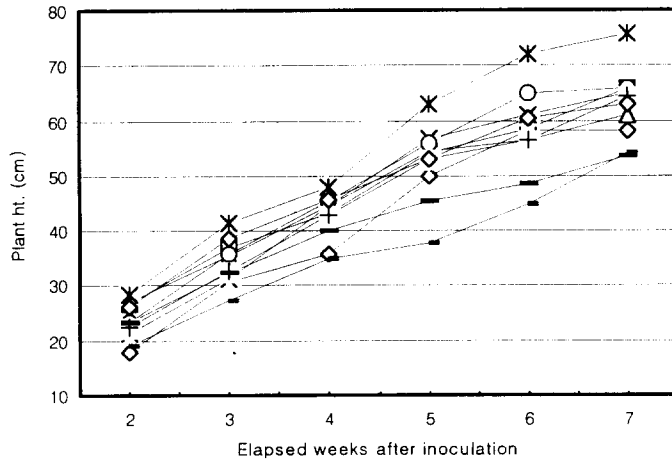


그림 4-3. 수종의 토착AMF 처리에 따른 수단그라스의 초장 변화

-◇-: Control, -□- : 경북 김천시 구성면, -△- : 강원도 영월군 영월읍
 -X-: 충남 당진군 고대면, -※- : 전남 고흥군 점암면, -○- : 경북 안동시 임동면,
 + : 충남 당진군 면천면, → : 전남 해남군 황산면, ← : 충남 괴산군 문광면,
 ◇ : 전남 해남군 산이면

그림 4-3은 국내 토착AMF 처리에 따른 수단그라스의 초장 변화를 측정된 결과이다. 전반적으로 전남 고흥군 점암면에서 분리한 토착AMF 처리구가 가장 좋은 초장 성장반응을 보였으며, 충남 괴산군 문광면과 전남 해남군 황산면을 제외한 모든 처리구의 초장이 대조구에 비해서 좋았다. 본 실험에 따르면 균근균 처리에 따른 처리구간의 초장반응의 차이는 접종 후 4주부터 현저하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

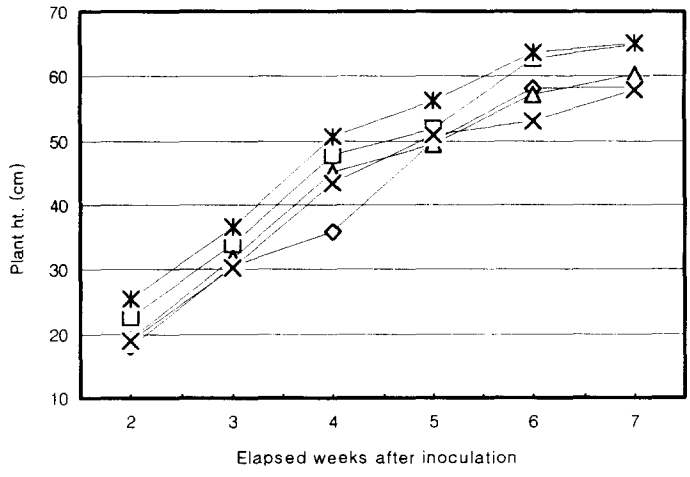


그림 4-4. 도입 균근균접종원 처리에 따른 수단그라스의 초장 변화

◇: Control, □: Promix, △: Bio-organics, X: VAM 80, *: S3051

그림 4-4는 외국에서 도입한 균근균의 접종이 수단그라스의 초장에 미치는 영향을 접종 후 2주부터 7주까지 측정한 결과이다.

도입균주의 접종에 따른 초장 반응을 보면 Promix와 S3051의 접종시에 무접종처리구에 비해 초장이 현저히 증가하는 경향을 보였으나, Bio-organics와 VAM 80의 접종처리시에는 대조구와 거의 비슷한 성장반응을 보였다. 그러나 도입균주의 접종에 따른 초장반응은 기주작물과의 친화성에 따라 다양하게 반응할 수 있을 것으로 생각되어 향후 다양한 기주작물을 대상으로 광범위하게 적용해 볼 필요가 있을 것으로 판단되었다.

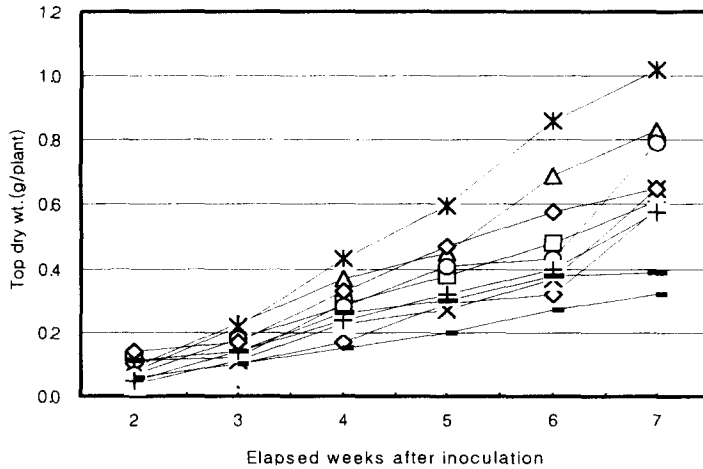


그림 4-5. 수종의 토착AMF 처리에 따른 수단그라스의 지상부건물중 변화

◇: Control, □: 경북 김천시 구성면, △: 강원도 영월군 영월읍
 X: 충남 당진군 고대면, ⊗: 전남 고흥군 점암면, ○: 경북 안동시 임동면,
 +: 충남 당진군 면천면, ←: 전남 해남군 황산면, →: 충남 괴산군 문광면,
 ◇: 전남 해남군 산이면

그림 4-5는 토착AMF의 접종에 따른 지상부건물중의 변화를 접종 후 2주부터 7주 까지 측정한 결과이다.

전남 고흥군 점암면, 강원도 영월군 영월읍, 경북 안동시 임동면, 전남 해남군 산이면 등에서 분리한 토착AMF를 처리한 경우에 수단그라스의 지상부 건물중이 대조구에 비해 현저히 증가하였으며, 충남 괴산군 문광면, 전남 해남군 황산면 등에서 수집한 토착AMF의 경우에는 대조구에 비해 지상부건물중이 다소 낮은 결과를 보였다.

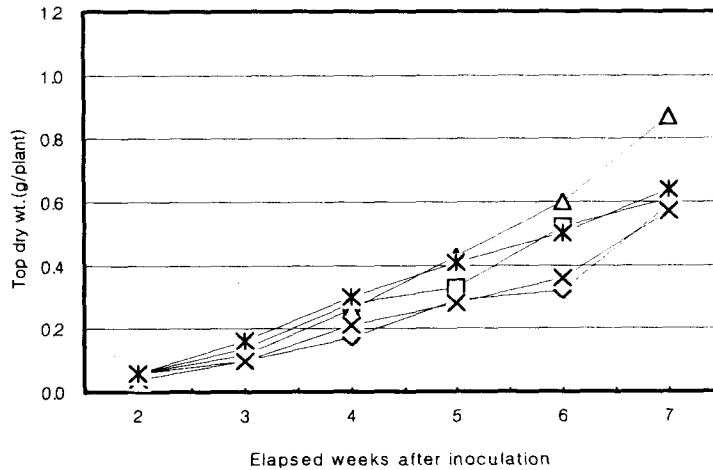


그림 4-6. 도입 균근균접종원에 따른 수단그라스의 지상부건물중 변화

◇: Control, □: Promix, △: Bio-organics, ×: VAM 80, ✱: S3051

그림 4-6은 도입 균근균이 수단그라스의 지상부건물중에 미치는 영향을 측정한 결과로서 접종 후 6주에는 처리에 따른 지상부건물중의 변화가 Bio-organics > Promix = S3051 > VAM 80 등의 순이었으나, 최종조사일인 접종 후 7주에는 지상부건물중이 가장 높은 Bio-organics 처리구를 제외하고는 대조구와 거의 비슷한 정도로 지상부건물중의 성장반응을 보였다.

토착AMF 처리 실험과 비교해 보면 토착균주인 전남 해남군 산이면에서 분리한 균근균이 모든 도입균주에 비해 지상부건물중의 증가를 나타냈다.

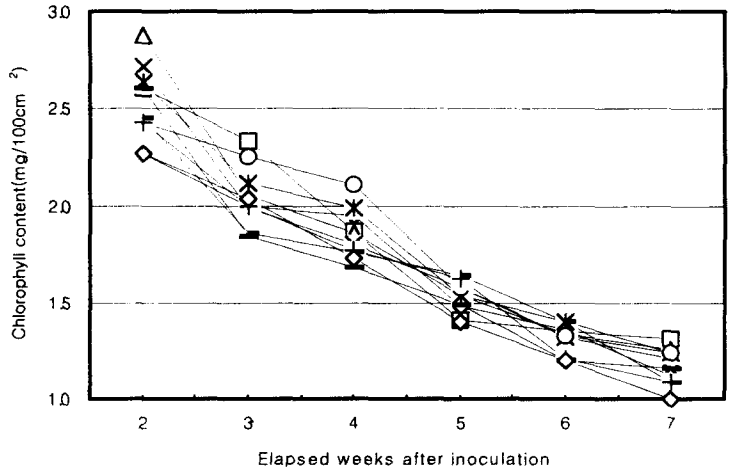


그림 4-7. 수종의 토착AMF 처리에 따른 수단그라스의 엽록소 함량 변화

-◇-: Control, -□-: 경북 김천시 구성면, -△-: 강원도 영월군 영월읍
 -×-: 충남 당진군 고대면, -✕-: 전남 고흥군 점암면, -○-: 경북 안동시 임동면,
 +: 충남 당진군 면천면, ←: 전남 해남군 황산면, →: 충남 괴산군 문광면,
 ◇: 전남 해남군 신이면

그림 4-7은 토착AMF의 접종 후 수단그라스의 엽록소 함량의 변화를 측정된 결과이다.

생육이 진전됨에 따라 전반적으로 엽록소 함량이 감소하는 경향을 보여서 접종 후 2주에는 2.3~2.8mg/100cm² 정도로 엽록소 함량이 다소 높았으나 접종 후 7주에는 1.0~1.3mg/100cm² 정도로 점차 감소하였다. 균근균 처리구의 엽록소 함량은 무접종구에 비해 다소 높아 토착AMF 처리시에 광합성 작용 증대 및 체내 엽록소 함량이 많이 축적되어 있음을 알 수 있었다.

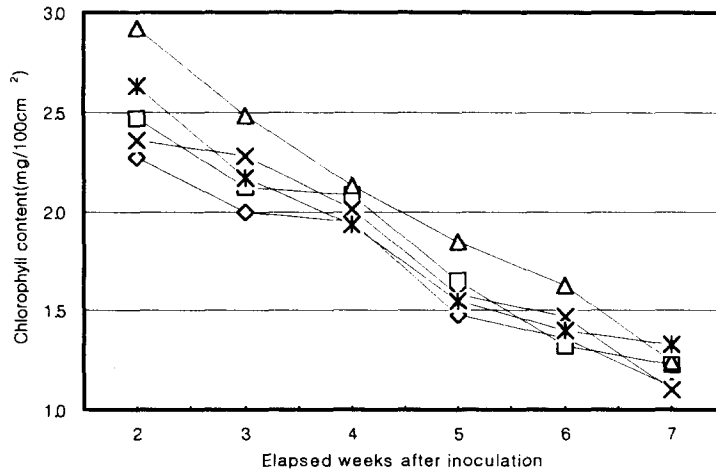


그림 4-8. 도입 균근균의 근권접종 처리에 따른 수단그라스의 엽록소 함량 변화

◇: Control, □: Promix, △: Bio-organics, ×: VAM 80, ✱: S3051

그림 4-8은 도입 균근균의 근권접종 처리가 수단그라스의 엽록소 함량에 미치는 영향을 측정한 결과이다.

도입 균주 실험에서도 토착AMF와 거의 비슷한 정도의 엽록소 함량의 변화를 보였다. 도입 균근균의 접종 초기에는 엽록소 함량이 처리간에 현저하게 차이가 있었으나 생육이 진전됨에 따라 식물체 내 엽록소 함량의 차이가 점차적으로 작아졌다. 접종 후 초기의 엽록소 함량의 차이는 균근균의 처리간에 biomass량의 차이와 비례하는 것으로 생각되었으며, 접종원 중 가장 높은 엽록소 함량을 유지하게 하는 균주는 bio-organic으로 나타났다.

3) 식물체 무기성분 분석결과

국내 토착 우수균주와 수입균주를 수단그라스에 접종하여 접종 후 42일의 지상부 건물중 내 무기성분 함량을 조사한 결과는 표 4-4와 같다.

표 4-4. 토착AMF와 도입 접종원 처리에 따른 접종 후 42일의 수단그라스의 양분흡수

접 종 원	N P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO					Mn Fe Cu Zn			
	------(%)-----					------(mg/kg)-----			
Control	0.35	0.32	1.39	0.52	0.10	48.80	29.44	1.54	7.68
경북 김천시 구성면 ^z	0.52	0.47	1.66	0.56	0.09	56.18	59.71	2.06	9.21
강원도 영월군 영월읍	0.49	0.46	1.50	0.44	0.11	47.76	74.81	1.68	6.35
전남 해남군 황산면	0.42	0.39	1.34	0.46	0.12	41.30	64.01	1.93	8.99
충남 당진군 고대면	0.52	0.51	1.58	0.59	0.10	70.41	39.12	2.55	10.49
전남 고흥군 점암면	0.54	0.47	1.68	0.54	0.11	44.70	23.60	1.90	8.25
경북 안동시 임동면	0.51	0.35	1.37	0.53	0.11	45.98	23.36	1.86	10.53
충남 당진군 면천면	0.53	0.43	1.50	0.50	0.08	57.14	49.47	1.32	9.52
충북 괴산군 문광면	0.36	0.41	1.37	0.46	0.10	56.85	36.47	1.59	9.08
전남 해남군 황산면	0.51	0.31	1.30	0.49	0.09	45.20	38.70	1.40	7.10
Bio-organics ^y	0.50	0.39	1.67	0.42	0.10	38.60	46.30	1.60	10.30
VAM80	0.52	0.35	1.56	0.47	0.09	42.15	37.41	1.83	8.94
S3051	0.38	0.32	1.55	0.43	0.10	45.64	40.87	1.59	19.64
Promix	0.60	0.37	1.72	0.35	0.08	42.41	30.54	1.11	13.45

^z국내 토착 균주, ^y도입균주

수단그라스 지상부건물중 내 N함량은 대조구에 비하여 모든 처리구에서 높았으며, 경북 김천시 구성면, 충남 당진군 고대면, 전남 고흥군 점암면, 경북 안동시 임동면, 충남 당진군 면천면, 전남 해남군 산이면 등 6개 지역에서 분리한 균근균을 접종한 처리구에서는 약 50~55% 이상이 증가되어 수입균주인 Bio-organics 및 Pro-Mix와 거의 동일한 수준을 나타내었으며, 생육시기에 따른 수단그라스 건물중내 N 함량의

경시적인 변화(그림 4-9)는 생육초기에 비하여 생육기간이 길어질수록 건물 내 N 함량은 낮아지는 것으로 나타났으며, 그림 4-9의 경시적인 N함량 변화를 보면 집중후 3주일 조사시까지의 토착균주에 비해 bio-organics, Promix 및 S3051과 같은 도입균주 접종처리에서 높은 N함량을 보였다.

P_2O_5 함량도 N함량과 마찬가지로 대조구에 비하여 모든 처리구에서 증가하였으며, 경북 김천시 구성면, 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 고대면, 전남 고흥군 점암면 등 4개 지역에서 분리한 균근균을 접종한 처리구에서 비교적 높았으며 대부분의 처리구에서 수입균주에 비하여 높은 증가율을 나타내었다. 한편 그림 4-9의 경시적인 인산함량의 추이를 보면 3주일까지의 인산함량양상은 3개 그룹으로 나눌 수 있었는데, P_2O_5 함량이 가장 높은 그룹에 N에서와 같이 도입균주인 Bio-organics, S3051 및 Promix와 충남 당진군 면천면의 토착균주가 포함되었고 그 다음 그룹으로 충남 당진군 고대면, 충남 괴산군, 강원도 영월군, 전남 해남군 황산면 및 고흥군 점암면 토양에서 분리한 균주가 여기에 속하여 VAM80, 경북 김천시 및 전남 해남군 산이면의 균주보다 인산 흡수량이 높게 나타났다.

그리고, 다량원소인 K_2O 함량은 전반적으로 대조구에 비하여 높았으나, CaO 및 MgO함량은 대조구와 거의 비슷하였으며, 미량원소인 Fe 및 Zn함량은 모든 처리구에서 전반적으로 대조구에 비하여 크게 증가되었으나 Cu 및 Mn함량은 대조구와 거의 비슷하거나 약간 증가하는 경향이였다.

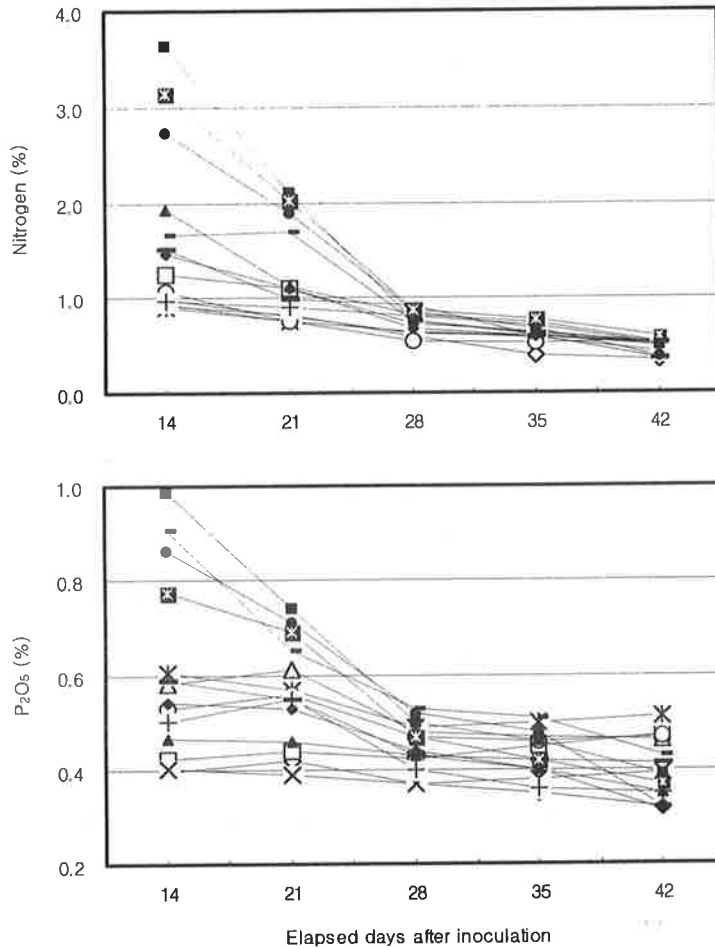


그림 4-9. 토착AMF와 도입점종원 처리에 따른 수단그라스의 질소(N)와 인산(P₂O₅) 흡수변화

Control : ◇, 경북 김천시 구성면 : □, 강원도 영월군 영월읍 : △,
 전남 해남군 황산면 : ×, 충남 당진군 고대면 : * , 전남 고흥군 점암면 : ○,
 경북 안동시 임동면 : +, 충남 당진군 면천면 : —, 충남 괴산군 문광면 : —,
 전남 해남군 산이면 : ◆, Bio-organics : ■, VAM60 : ▲, S3051 : ●,
 Promix : —

나. 결명자

1) AMF균주별 성장반응

제2장에서 선발증식하여 4℃에서 보관해 온 원래 토양에서 접종원(포자)을 재분리하여 결명자의 근권에 처리하고, 도입 균근균과의 비교실험을 통해 국내 우수 토착 균주를 탐색 및 선발하였는데, 접종 후 21일에 그 결과를 사진으로 촬영한 결과는 그림 4-10과 같다.

그림 4-10 A와 B는 국내 토착 AMF를 처리시 그 성장반응을 대조구와 비교한 사진이다. 전반적으로 거의 모든 처리구에서 균근균 무접종구에 비해서 결명자의 생장이 촉진되었다.

그림 4-10 C와 F는 외국에서 도입한 균주인 S-3051, S-3029, Promix, VAM80, Bio-organics 등을 처리시 성장촉진 효과를 대조구와 비교한 사진이다. Promix-Bx에 의한 생육촉진 효과가 가장 우수하였으며, 그 외 다른 도입균주의 처리도 무접종구에 비하여 결명자의 생장을 촉진하였다.

그림 4-10 D와 E는 전남 고흥군 점암면(K-3-1) 등에서 분리한 토착 AMF와 Promix-HP, Bio-organics 등 도입균주의 접종에 따른 결명자의 성장반응을 대조구와 비교한 사진이다. 모든 접종원의 처리시에 결명자의 생장이 대조구보다 양호하였으며, 토착AMF를 접종한 결명자의 생장이 도입접종원을 이용한 경우에 비해서 약간 양호하거나 거의 같은 수준으로 성장반응을 보였다. 즉, 도입균근균에 대하여 우수한 국내 토착AMF의 선발 및 활용이 충분히 가능하고 적극적인 활용이 필요함을 보여주었다.

표 4-5는 수종의 국내 토착AMF와 도입균주의 근권처리가 처리후 39일의 결명자 성장에 미치는 영향을 측정한 결과로서 토착 균근균과 도입균근균의 포자를 접종한 결과 거의 모든 접종원 처리구에서 초장, 엽수, 지상부생체중 및 건물중, 식물체내 엽록소 함량 등이 대조구보다 증가하였다.

초장의 경우 접종원 무처리구는 25.6cm인 반면, 균근균을 접종할 경우 토착AMF

처리구는 최고 33.6cm, 도입 접종원의 경우에는 최고 33.8cm 정도까지 증가하였지만 통계적 유의성은 보이지 않았고 그 외의 조사항목에서는 통계적 유의성이 보였다. 엽수의 경우 대조구는 22.9매인 반면 접종원을 처리할 경우 토착AMF를 접종한 처리구에서는 강원도 영월군 영월읍(30.0매), 경북 안동시 임동면(28.3매), 충남 당진군 면천면(29.6매), 전남 해남군 산이면(29.2매) 등 4개 지역의 균주가 가장 좋은 엽수 성장을 보였으며, 그 외 지역의 토착 균근균의 포자 접종시에도 무접종구에 비해 엽수의 생장이 양호하였다. 도입균근균의 경우 Pro-Mix(28.9매)가 엽수 성장에 가장 좋았으며, Bio-organics(25.2매), S 3029(23.9매), VAM80(21.6매) 등의 순으로 무접종구에 비해 더 많았다.

도입접종원과 토착AMF의 접종효과를 지상부건물중을 기초로 비교해 볼 때 도입 접종원은 0.44~0.62g 정도, 토착AMF를 접종할 경우에는 0.43~0.63g 정도로서 거의 비슷한 분포범위로 생장이 촉진되었으며, 균근균 포자를 접종시에 전반적인 건물중의 생장이 촉진되는 것을 알 수 있었다. 토착AMF를 접종한 처리구중에서는 충남 당진군 면천면의 균주가 0.63g, 도입균주중에서는 Promix-Bx가 0.62g으로 가장 높았다.

엽록소 함량의 변화를 보면 토착균근균 중에서는 전남 해남군 산이면(3.09mg / 100cm²), 충남 당진군 면천면(2.97mg / 100cm²), 경북 김천시 구성면(2.93mg / 100cm²), 경북 안동시 임동면(2.87mg / 100cm²) 등 4개 지역의 접종원 처리가 좋았으며, 도입균주 중에서는 Promix-Bx(2.83 mg / 100cm²)가 가장 좋았다.

결명자 실험에서 접종원의 처리시에 식물체의 biomass가 증가되었는데, 전반적인 생장의 증가는 초장의 증가보다는 엽수의 증가와 각 엽위별 엽의 무게가 증가됨에 따라서 전체적인 성장증대가 이루어졌던 것으로 판단되었다.

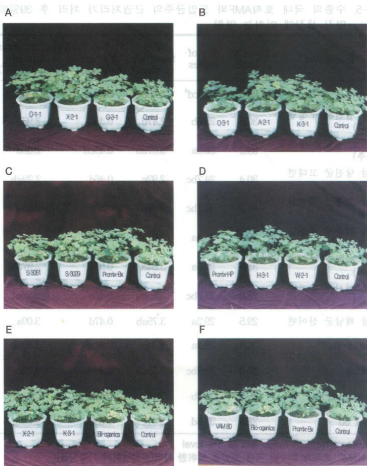


그림 4-10. 결명자(*Cassia tora* L.)에 대한 1차 선발된 균주와 도입점종원의 접종 결과
 (K-3-1 : 전남 고흥군 점암면, H-1-1 : 전남 해남군 황신면, H-3-1 : 전남 해남군 삼이면,
 X-2-1 : 강원도 영월군 영월읍, W-2-1 : 충북 괴산군 문광면, O-3-1 : 충남 당진군 면천면,
 A-2-1 : 경북 안동시 임동면, Bio-organic, VAM60, S3051 : 도입 점종원)

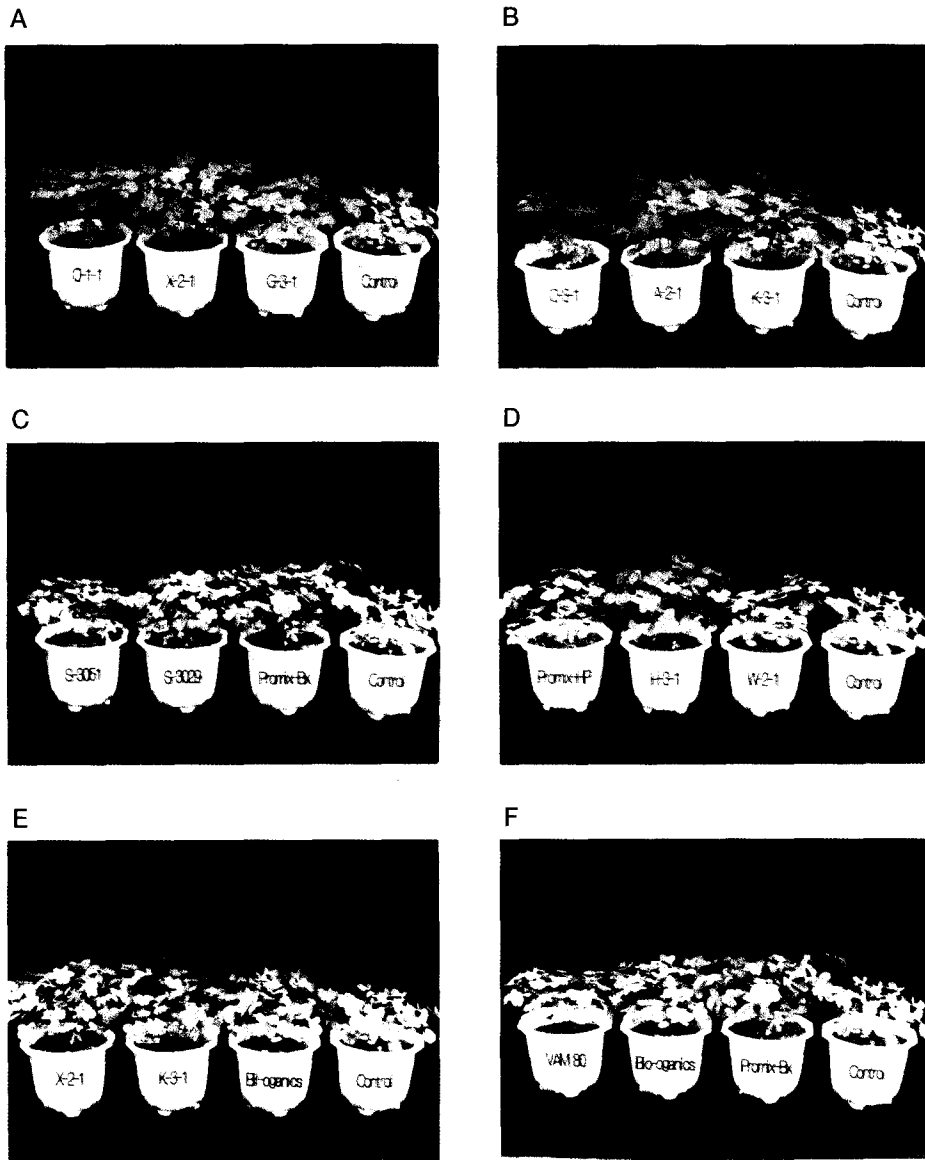


그림 4-10. 결명자(*Cassia tora* L.)에 대한 1차 선발된 균주와 도입접종원의 접종 결과
 (K-3-1 : 전남 고흥군 점암면, H-1-1 : 전남 해남군 황산면, H-3-1 : 전남 해남군 산이면,
 X-2-1 : 강원도 영월군 영월읍, W-2-1 : 충북 괴산군 문광면, O-3-1 : 충남 당진군 면천면,
 A-2-1 : 경북 안동시 임동면, Bio-organic, VAM80, S3051 : 도입 접종원)

표 4-5. 수종의 국내 토착AMF와 도입균주의 근권처리가 처리 후 39일의 결
명자 생장에 미치는 영향

Inoculums	Plant ht. (cm)	No. of leaves	Top fresh wt. (g/plant)	Top dry wt. (g/plant)	Total chlorophyll content (mg/100cm ²)
Control	25.6	22.9cd ^z	2.03e	0.40e	2.24h
경북 김천시 구성면 ^y (양파)	30.8	25.5b	2.47d	0.46d	2.93b
강원도 영월군 영월읍 (고추)	33.2	30.0a	3.67ab	0.49cd	2.68d
충남 당진군 고대면 (고추)	30.4	24.7bc	2.92c	0.46d	2.29gh
전남 고흥군 점암면 (마늘)	31.2	25.1bc	3.49b	0.53c	2.54e
경북 안동시 임동면 (고추)	32.4	28.3a	3.67ab	0.58b	2.87b
충남 당진군 면천면 (고추)	33.6	29.6a	3.84a	0.63a	2.97ab
충북 괴산군 문광면 (고추)	28.0	23.9bc	3.55ab	0.43e	2.49ef
전남 해남군 산이면	29.5	29.2a	3.75ab	0.47d	3.09a
Promix-Bx ^x	33.8	28.9a	3.84a	0.62ab	2.83bc
S-3029	26.9	23.9bc	3.53ab	0.44de	2.72c
Bio-organics	29.5	25.2b	3.10c	0.48d	2.50ef
VAM 80	28.3	21.6d	2.91c	0.53c	2.39fg

^z Duncan's multiple range test at 5% level

^y 토착AMF 포자가 함유된 국내 토양을 채취한 지역(토양채취시 기주작물)

^x 도입한 균근균접종원

2) 경시적 성장반응

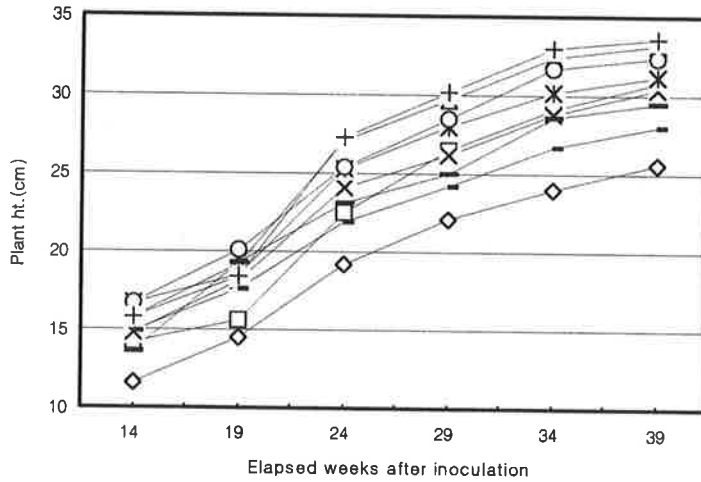


그림 4-11. 예비선발된 지역수집 AMF 접종 처리에 따른 결명자의 초장 변화

-◇-: Control, -□- : 경북 김천시 구성면, -△- : 강원도 영월군 영월읍
 -X-: 충남 당진군 고대면, -* - : 전남 고흥군 점암면, -○- : 경북 안동시 임동면,
 -+ - : 충남 당진군 면천면, -●- : 전남 해남군 흥산면, -◐- : 충남 과산군 문광면,
 -◇- : 전남 해남군 신이면

그림 4-11은 수종의 국내 토착AMF가 결명자의 초장에 미치는 영향을 접종 후 14일부터 39일까지 측정 한 결과이다.

모든 토착AMF의 접종시 무접종구에 비해 초장의 생장이 모두 증대되었다. 그 중에서도 초장을 가장 많이 촉진한 토착균근균은 충남 당진군, 면천면, 강원도 영월군 영월읍, 경북 안동시 임동면 등에서 분리한 균근균 포자였다.

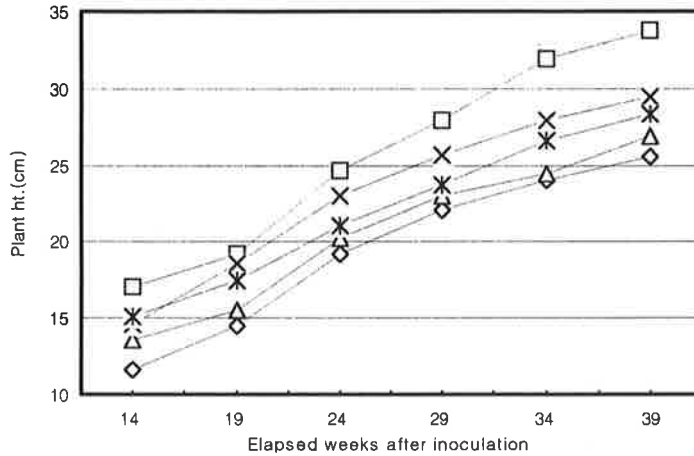


그림 4-12. 도입균주접종원 처리에 따른 결명자의 초장 변화

Control: ○, Promix-Bx: □, S 3029: △, Bio-organics: ×, VAM 80: ※

그림 4-12는 외국에서 도입한 Promix-Bx 등 4종의 도입균주가 결명자의 초장에 미치는 영향을 무접종구와 비교한 결과이다.

도입균주가 초장의 성장을 촉진하는 정도를 보면 Promix-Bx > Bio-organics > VAM80 > S3029 > 무접종구 등의 순이었다. Promix-Bx의 경우 무접종구에 비해 초장이 약 15cm 이상 촉진되었다. 도입균주의 경우 접종 후 39일에 초장이 30cm 이상되는 처리구는 Promix-Bx 1개였지만, 토착 AMF 처리구에서는 5개 정도였으며 앞의 수단그라스의 경우 bio-organic처리에서 가장 성장반응이 양호했던 것과는 상이한 결과를 보여 기주식물과 균주간의 친화성 관계가 영향을 미치는 것으로 해석되었다

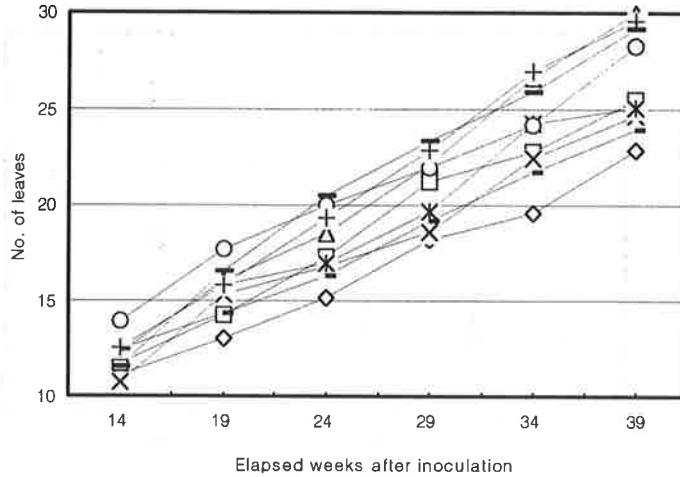


그림 4-13. 수종의 토착AMF 처리에 따른 결명자의 엽수 변화

◇: Control, □: 경북 김천시 구상면, △: 강원도 영월군 영월읍
 X: 충남 당진군 고대면, ※: 전남 고흥군 점암면, ○: 경북 안동시 임동면,
 +: 충남 당진군 면천면, ←: 전남 해남군 황산면, →: 충남 괴산군 문광면,
 ◇: 전남 해남군 산이면

그림 4-13은 결명자의 엽수에 미치는 토착AMF의 영향을 측정된 결과이다.

모든 처리구에서 무접종구보다 엽수가 많았으며, 특히 강원도 영월군 영월읍, 충북 괴산군 문광면 등 4개 지역에서 분리한 토착AMF 처리구가 대조구에 비해 엽수가 약 5매 이상 증가되는 결과를 보였다.

수단그라스 실험의 경우 균근균점종원의 처리에 따라서 엽수는 별다른 변화를 보이지 않고 각 엽위별 성장량이 현저히 증가하여 전체적인 biomass의 증가를 보인 반면, 결명자는 균근균 처리에 따라서 엽수 증가와 biomass의 증가가 동시에 이루어졌다.

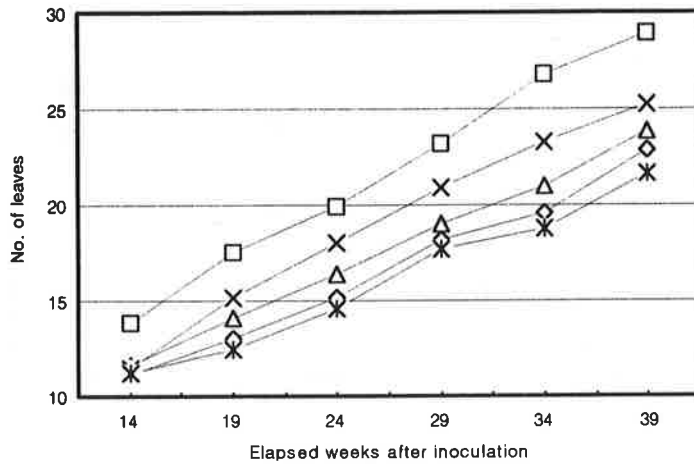


그림 4-14. 도입균근균접종원 처리에 따른 결명자의 엽수 변화

Control: ○, Promix-Bx: □, S 3029: △, Bio-organics: ×, VAM 80: ※

그림 4-14는 도입 접종원이 결명자의 엽수에 미치는 영향을 측정된 결과이다.

도입 접종원의 처리에 따른 엽수의 변화양상을 보면 Promix-Bx > Bio-organics > S 3029 > 무접종구 > VAM 80 등의 순이었으며 결명자의 경우 가장 우수한 도입접종원으로는 Promix-Bx임이 확인할 수 있었다.

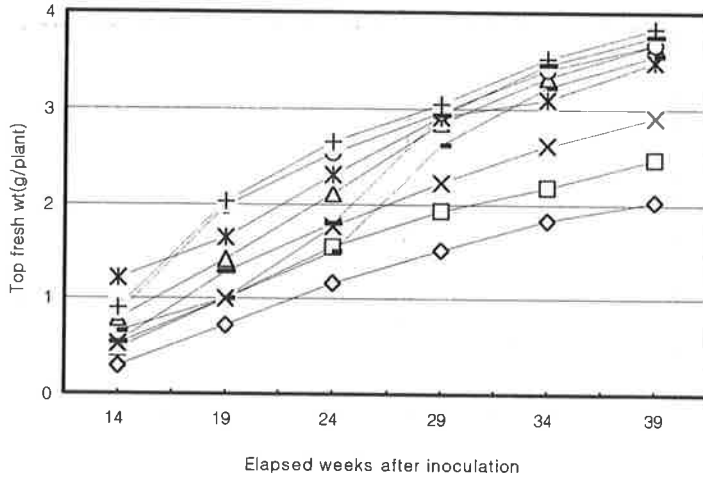


그림 4-15. 수종의 토착AMF 처리에 따른 결명자의 지상부생체중 변화

-◇-: Control, -□- : 경북 김천시 구성면, -△- : 강원도 영월군 영월읍
 -X-: 충남 당진군 고대면, -※- : 전남 고흥군 점암면, -○- : 경북 안동시 임동면,
 + : 충남 당진군 면천면, ← : 전남 해남군 황산면, → : 충남 괴산군 문광면,
 ◊ : 전남 해남군 산이면

그림 4-15는 결명자의 지상부생체중에 미치는 토착AMF의 영향을 측정한 결과이다.

토착 균근균을 접종한 모든 처리구에서 결명자의 지상부생체중이 대조구보다 증가하였으며, 특히 접종 후 4주부터 충남 당진군 면천면, 전남 해남군 산이면, 경북 안동시 임동면 등에서 분리한 포자가 결명자의 지상부생체중을 현저하게 증대시킨 반면 충남 당진군 고대면과 경북 김천시 구성면 등은 대조구보다는 양호하지만 다른 처리구에 비해서는 지상부생체중이 불량하였다.

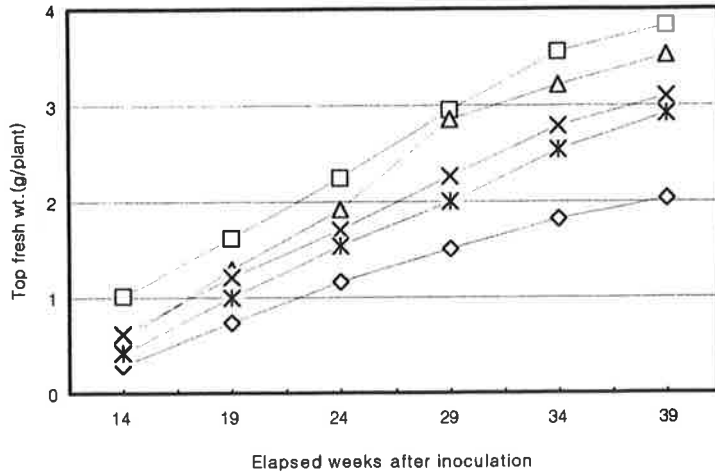


그림 4-16. 도입균근균접종원 처리에 따른 결명자의 지상부생체중 변화

Control: ◇, Promix-Bx: □, S 3029: △, Bio-organics: X, VAM 80: ※

그림 4-16은 도입균근균포자의 근권처리가 결명자의 지상부생체중에 미치는 영향을 측정된 결과이다.

접종 후 2주, 즉 지상부생체중을 조사한 초기부터 균주의 종류별 처리간 차이가 현저하게 나타났으며, 도입균주별로 지상부생체중에 미치는 영향을 보면 Promix-Bx > S 3029 > Bio-organics > VAM80 > 무접종구 등의 순으로 나타났다.

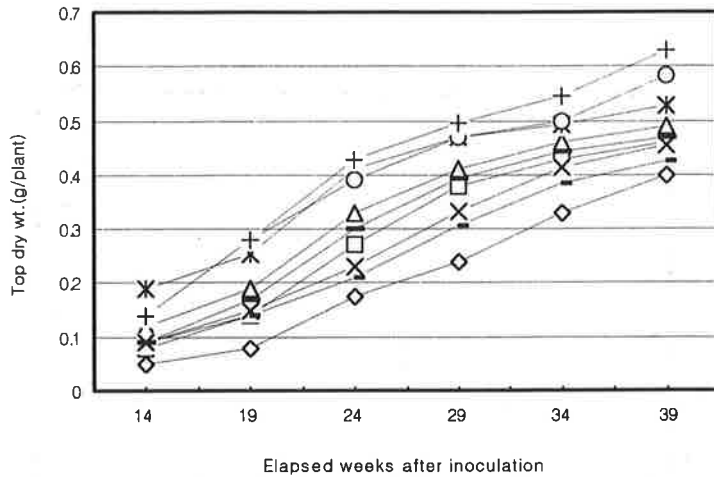


그림 4-17. 수종의 토착AMF 처리에 따른 결명자의 지상부건물중 변화

◇: Control, □: 경북 김천시 구성면, △: 강원도 영월군 영월읍
 X: 충남 당진군 고대면, ※: 전남 고흥군 점암면, ○: 경북 안동시 임동면,
 +: 충남 당진군 면천면, ←: 전남 해남군 황산면, →: 충남 괴산군 문광면,
 ◇: 전남 해남군 산이면

그림 4-17은 국내 원예작물 주산단지에서 예비선발된 AMF를 유묘생장을 촉진하는 토착AMF가 결명자의 지상부건물중에 미치는 영향을 측정한 결과이다.

전반적으로 토착AMF를 접종한 모든 처리구에서 결명자의 지상부건물중이 대조구에 비해서 증가하는 경향을 보였으며, 건물중의 경시적 변화에서 보면 크게 3그룹으로 나눌 수 있는데 즉 가장 저조한 그룹이 대조구이고, 두 번째 중간그룹이 경북 김천시 구성면, 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 고대면, 충북 괴산군 문광면 및 전남 해남군 산이면의 군주였으며, 건물 증가가 가장 양호한 그룹으로는 충남 당진군 면천면, 경북 안동시 임동면 및 전남 고흥군 점암면 등의 3개 지역에서 선발된 군주였다. 최종 조사시의 건물중이 가장 높게 나타난 지역의 토착 군주는 충남 당진군 면천면에서 분리한 포자였다.

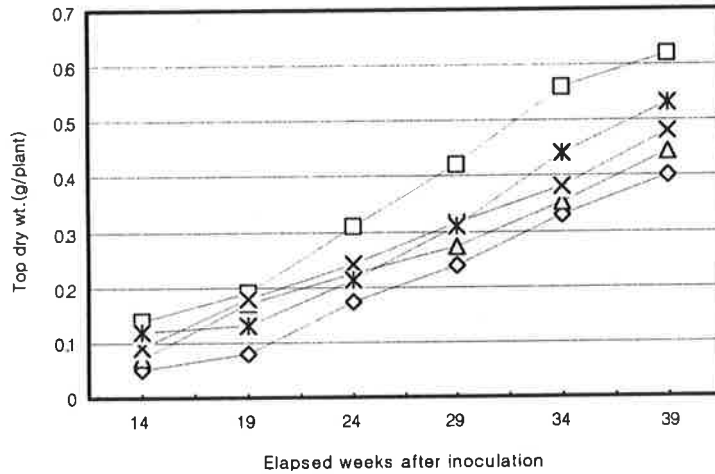


그림 4-18. 도입균균접종원 처리에 따른 결명자의 지상부건물중 변화

Control: ◇, Promix-Bx: □, S 3029: △, Bio-organics: X, VAM 80: ○

그림 4-18은 외국에서 도입한 균근균의 포자가 결명자의 지상부건물중에 미치는 영향을 측정한 결과이다.

전반적으로 Promix-Bx > VAM80 > Bio-organics > S3029 > 무접종구 등의 순으로 결명자의 건물중을 촉진하는 것으로 나타났다. 도입균근균에 대한 접종효과는 접종 후 34일부터 뚜렷하게 나타났다.

접종 후 39일에 토착AMF중에서 결명자의 건물중을 가장 많이 증대시킨 지역의 토착 균근균은 충남 당진군 면천면에서 분리한 포자로서 약 0.65g 정도였으며, 도입균근균 중에서는 Promix-Bx가 0.63g 정도로서 토착AMF를 이용한 도입균주의 대체 및 활용 가능성을 보여주었다.

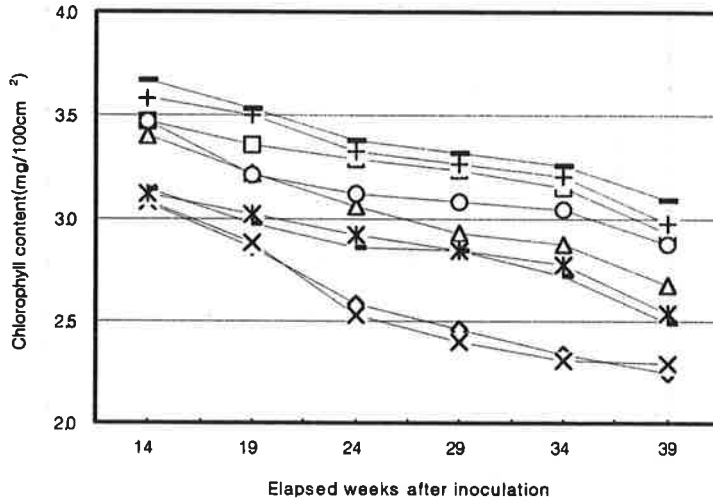


그림 4-19. 수종의 토착AMF 처리에 따른 결명자의 엽록소 함량 변화

-◇-: Control, -□-: 경북 김천시 구성면, -△-: 강원도 영월군 영월읍
 -X-: 충남 당진군 고대면, -*-*: 전남 고흥군 점암면, -○-: 경북 안동시 임동면
 +: 충남 당진군 면천면, ←: 전남 해남군 흥산면, →: 충남 괴산군 문광면
 ◇: 전남 해남군 산이면

그림 4-19는 결명자의 엽록소 함량에 미치는 토착AMF의 영향을 측정한 결과를 접종 후 14일부터 39일까지 측정한 결과이다.

결명자의 엽록소 함량을 가장 많이 증대시킨 지역의 토착AMF을 보면 전남 해남군 산이면 > 충남 당진군 면천면 = 경북 김천시 구성면 ≥ 경북 안동시 임동면 > 강원도 영월군 영월읍 등으로 나타났다. 전체적으로 접종 후 14일에는 엽록소 함량이 3.0~3.7의 범위였으나 생육이 진전됨에 따라 점차적으로 엽록소 함량이 저하하는 경향을 보였으며, 접종 후 30일에는 2.3~3.0 정도로 낮아졌다.

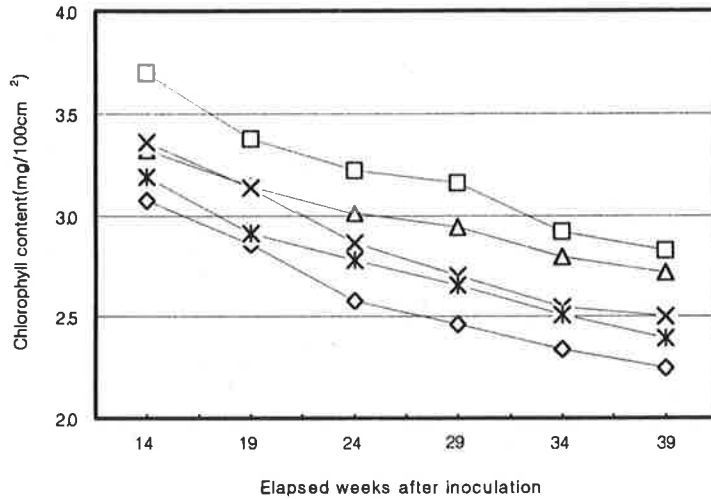


그림 4-20. 도입균근균접종원 처리에 따른 결명자의 엽록소 함량 변화

Control: ◇, Promix-Bx: □, S 3029: △, Bio-organics: ×, VAM 80: ※

그림4-20은 도입균근균이 결명자의 엽록소 함량에 미치는 영향을 측정한 결과이다.

도입균주별로 엽록소 함량에 미치는 경향을 보면 Promix-Bx > S 3029 > Bio-organics > VAM80 > 무접종구 등의 순이었다. 도입균근균의 경우 접종 초기부터 처리간에 엽록소 함량의 차이가 현저하게 나타났다. 도입균근균의 경우도 토착 AMF를 처리한 경우와 비슷하게 생육이 진전됨에 따라 엽록소의 함량이 점차적으로 낮아지는 결과를 보였다

3) 식물체 무기성분 분석결과

국내 토착 우수균주와 수입균주를 결명자에 접종하여 생육 후 34일에 지상부건물 중내 무기성분함량을 조사한 결과는 표 4-6과 같다.

결명자 지상부건물중 내 N 및 P₂O₅함량은 국내우수 토착균주 모든 처리구에서 대조구에 비하여 증가되었으며(그림 4-21), 특히 N 함량은 충남 당진군 면천면과 충북 괴산군 문광면에서 분리한 균근균 처리구에서 매우 높았으며, P₂O₅함량은 충남 당진군 고대면, 충남 당진군 면천면, 충북 괴산군 문광면 등 3개 지역에서 높은 증가율을 나타내었으며, 이들 지역에서 분리한 국내토착 균주들은 수입균주인 Promix와 Bio-organics에 비하여 N 함량은 매우 높았으며 P₂O₅함량은 거의 유사한 수준을 나타내었고, 생육시기에 따른 N 및 P₂O₅함량의 경시적인 변화도 수단그라스(그림 4-21)와 마찬가지로 생육기간이 길어질수록 낮아지는 경향이였다.

그리고, 다량원소인 K₂O함량은 전반적으로 대조구에 비하여 높았으나 CaO 및 MgO함량은 대조구와 거의 비슷하였고, 미량원소인 Fe 및 Zn함량은 모든 처리구에서 대조구에 비하여 전반적으로 크게 증가하였으나 Mn 및 Cu함량은 대조구와 거의 비슷하거나 약간씩 증가하는 경향이였다.

표 4-6. 토착AMF와 도입접종원 처리에 따른 접종 후 34일의 결명자의 양분흡수

접 종 원	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----(%)-					----- (mg/kg)-----			
Control	1.27	0.44	1.82	0.89	0.13	24.23	126.19	2.24	9.69
경북 김천시 구성면	1.61	0.49	1.71	0.91	0.19	27.06	212.51	3.33	13.25
강원도 영월군 영월읍	1.76	0.57	1.86	0.95	0.17	24.55	129.76	3.48	11.13
충남 당진군 고대면	1.50	0.64	2.19	1.14	0.17	31.14	127.54	3.22	12.66
전남 고흥군 점암면	1.79	0.58	2.23	0.97	0.15	20.69	106.26	2.12	9.02
경북 안동시 임동면	1.73	0.53	2.01	1.01	0.14	35.34	105.56	2.53	9.94
충남 당진군 면천면	2.31	0.65	2.49	0.87	0.10	27.81	130.10	3.32	14.29
충북 괴산군 문광면	2.01	0.73	2.56	1.23	0.17	27.42	138.64	3.74	14.18
전남 해남군 산이면	1.41	0.42	2.13	1.23	0.17	20.30	90.96	2.75	9.08
Promix	1.87	0.68	2.87	1.04	0.18	23.08	105.04	2.32	8.56
S3029	1.37	0.40	1.86	1.34	0.19	25.84	118.20	2.99	11.79
Bio-organics	1.72	0.61	3.35	1.08	0.17	21.25	102.08	3.08	15.64
VAM80	1.43	0.58	2.47	1.73	0.27	35.55	144.09	3.99	16.10

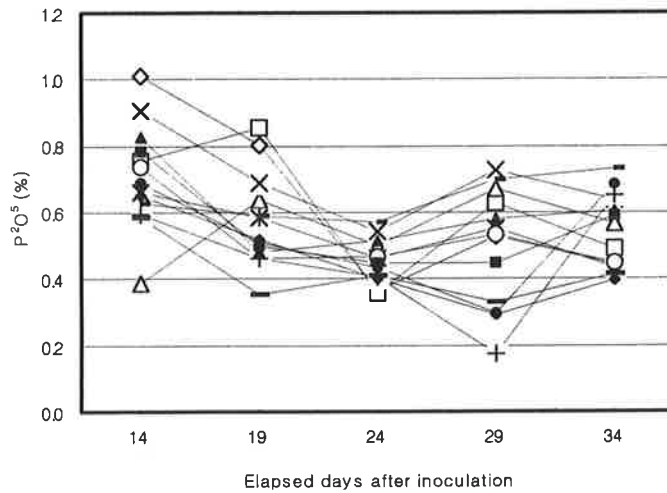
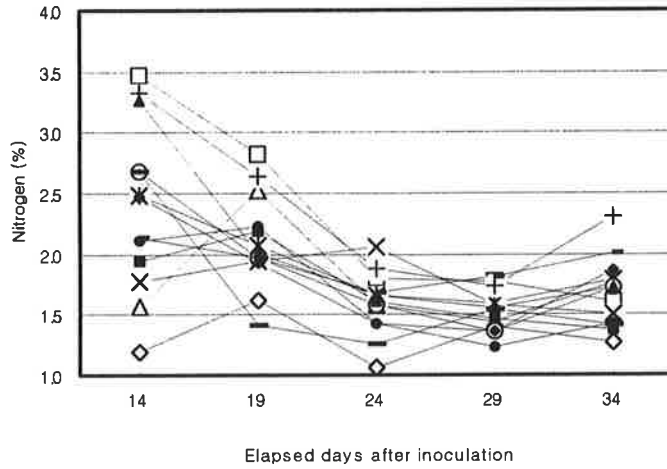


그림 4-24. 토착AMF와 도입접종원 처리에 따른 결명자의 질소(N)와 인산(P₂O₅)흡수 변화

Control : ◇, 경북 김천시 구성면 : □, 강원도 영월군 영월읍 : △, 전남 해남군 황산면 : ×, 충남 당진군 고대면 : * , 전남 고흥군 점암면 : ○, 경북 안동시 임동면 : +, 충남 당진군 면천면 : —, 충남 괴산군 문광면 : →, 전남 해남군 산이면 : ◆, Bio-organics : ■, VAMBO : ▲, S3051 : ●, Promix : ↔

2. 선발균주의 증식과 숙동정

가. 균주의 재증식

'98년도에 국내 토착AMF를 최종 선발한 9개 지역의 토양을 재 채취하여 수단그라스(*Sorghum sudanense* (piper) Stapf)와 결명자(*Cassia tora* L.) 등의 기주식물에 접종하여 재 증식하였다.

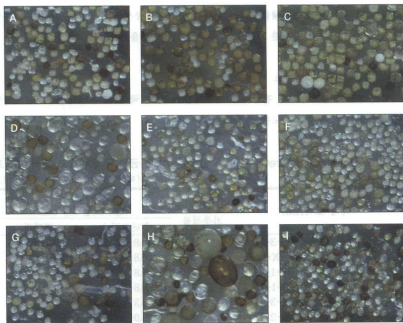


그림 4-22. 수단그라스를 기주식물로 증식한 국내 토착AMF 포자 (×50)

- [A : 경북 김천시 구성면(양파), B : 강원도 영월군 영월읍(고추),
 C : 전남 해남군 황산면(고추), D : 충남 당진군 고대면(고추),
 E : 전남 고흥군 점암면(마늘), F : 경북 안동시 임동면(고추),
 G : 충남 당진군 면천면(고추), H : 충북 괴산군 문광면(고추),
 I : 전남 해남군 산이면(고추)]

2. 선발균주의 증식과 속동정

가. 균주의 재증식

'98년도에 국내 토착AMF를 최종 선발한 9개 지역의 토양을 재 채취하여 수단그라스 [*Sorghum sudanense* (piper) Stapf]와 결명자 (*Cassia tora* L.) 등의 기주식물에 접종하여 재 증식하였다.

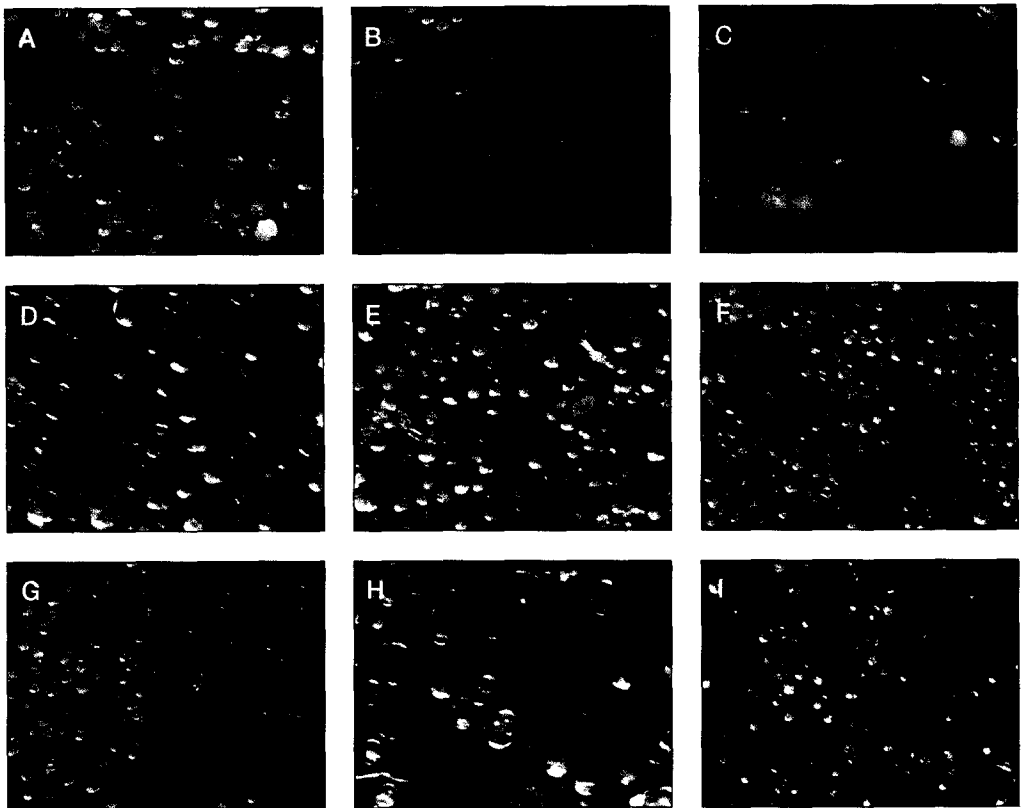


그림 4-22. 수단그라스를 기주식물로 증식한 국내 토착AMF 포자 (×50)

[A : 경북 김천시 구성면(양파), B : 강원도 영월군 영월읍(고추),
 C : 전남 해남군 황산면(고추), D : 충남 당진군 고대면(고추),
 E : 전남 고흥군 점암면(마늘), F : 경북 안동시 임동면(고추),
 G : 충남 당진군 면천면(고추), H : 충북 괴산군 문광면(고추),
 I : 전남 해남군 산이면(고추)]

지역별 균주의 형태적 특성을 보면 강원도 영월군 영월읍(그림 4-22 B)과 전남 해남군 황산면(그림 4-22 C)지역의 포자는 성숙한 *Glomus* sp. 포자가 우점하였고, 충남 당진군 고대면(그림 4-22 D)은 백색의 대형포자가 우점한 것이 특징적이었으며, 경북 안동시 임동면(그림 4-22 F), 충남 당진군 면천면(그림 4-22 G) 및 전남 해남군 산이면(그림 4-22 I) 등의 포자는 포자크기가 대체적으로 작았고 백색의 소형포자가 많았다. 충북 괴산군 문광면(그림 4-22 H)은 백색과 밝은 노란색 계통의 대형포자와 균주의 종이 *Gigaspora* sp.로 확인된 포자 등이 관찰되었으며, '98년도에 지역별로 채취한 AMF번식체를 3회차 재증식하였는데 공시 기주식물에 대하여 친화력이 우수하고 감염이 용이한 균주종이 우점해가는 경향을 보였다(그림 4-22).

나. 재증식 후 포자 밀도

표 4-7은 수단그라스와 결명자를 기주식물로 하여 국내 토착AMF접종원을 6개월간 포트배양한 후 포자밀도를 측정된 결과이다.

표 4-7. Open pot culture에 의한 국내 토착AMF 균주의 2차배양 증식 후 포자 밀도 변화 (배양기간 : '98. 7. ~ '99. 1.)

국내 토착AMF	당초 기주식물	포자 밀도 (spores/g dry soil)	
		수단그라스	결명자
경북 김천시 구성면 (G-3-1)	양 파	40.8 ± 3.2	60.4 ± 4.7
강원도 영월군 영월읍 (X-2-1)	고 추	106.8 ± 32.7	120.0 ± 21.8
전남 해남군 황산면 (H-1-1)	고 추	169.8 ± 7.5	63.0 ± 22.0
충남 당진군 고대면 (O-1-1)	고 추	99.8 ± 69.8	109.8 ± 37.1
전남 고흥군 점암면 (K-3-1)	마 늘	63.3 ± 11.0	161.7 ± 38.0
경북 안동시 임동면 (A-2-1)	고 추	225.0 ± 71.8	95.5 ± 15.4
충남 당진군 면천면 (O-3-1)	고 추	140.5 ± 38.0	134.0 ± 30.7
충북 괴산군 문광면 (W-2-1)	고 추	55.4 ± 13.5	48.1 ± 6.5
전남 해남군 산이면 (H-3-1)	고 추	48.1 ± 8.1	153.2 ± 63.0

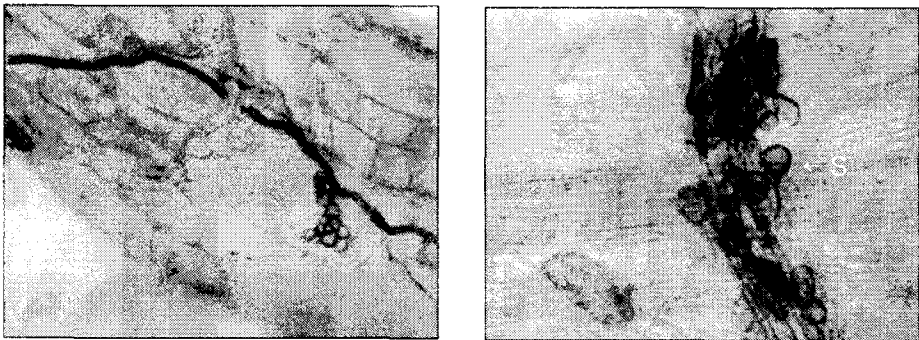
수단그라스를 기주식물로 이용한 경우 건토 1g 당 증식된 포자 밀도를 보면 경북 안동시 임동면 지역의 AMF포자가 225개 정도로 가장 많았고, 전남 해남군 황산면 (169.8개) > 충남 당진군 면천면(140.5개) > 강원도 영월군 영월읍(106.8개) > 충남 당진군 고대면(99.8개) 등의 순으로 나타났다(표 4-7).

결명자를 기주식물로 이용한 경우에는 전남 고흥군 점암면(161.7개) > 전남 해남군 산이면(153.2개) > 충남 당진군 면천면(134.0개) > 강원도 영월군 영월읍(120.0개) 등의 순으로 포자 밀도가 높았다(표 4-7).

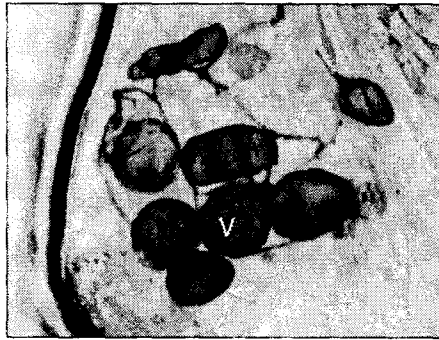
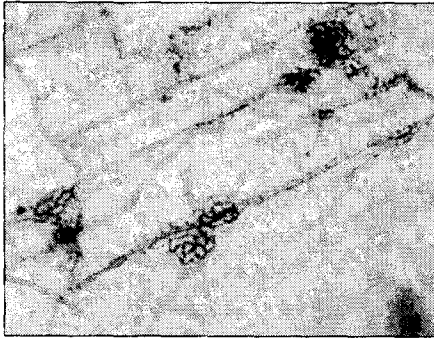
본 실험의 결과에 따르면 기주식물의 종류에 따라서 증식배양된 AMF포자 밀도가 각각 다른 것으로 나타나 국내 토착AMF의 증식시에 기주식물에 따른 AMF균주의 친화성이 다른 것으로 판단되었다.

다. 감염특성 및 감염율

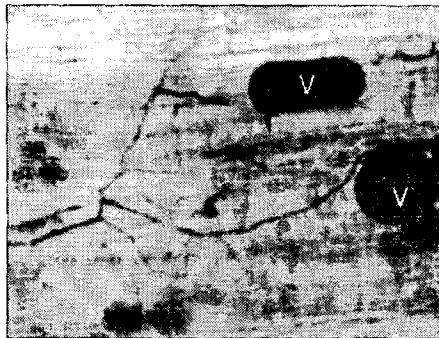
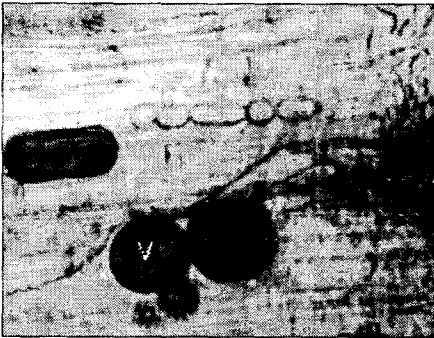
국내토착 AMF 균주를 접종한 후 수단그라스를 기주식물로 이용하여 6개월간 포트배양한 후 뿌리에 대한 AMF의 감염특성을 조사한 결과는 그림 4-23, 표 4-8등과 같다.



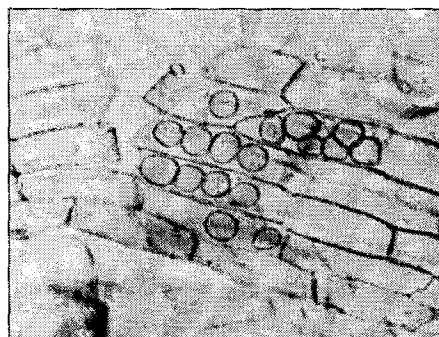
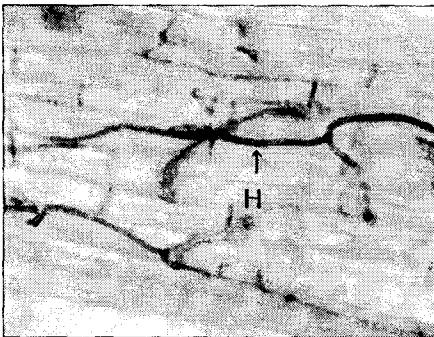
(경북 김천시 구성면 시료분리)



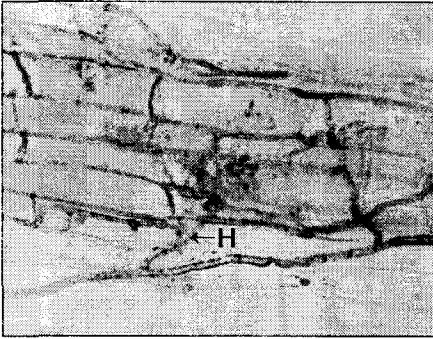
(충남 당진군 고대면 시료분리)



(전남 고흥군 점암면 시료분리)



(충남 당진군 면천면 시료분리)



(전남 해남군 산이면 시료분리)



(충북 괴산군 문광면 시료분리)

그림 4-23. 국내 토착AMF균주의 수단그라스 뿌리감염 사진(×400)
(S : spore, H : hyphae, V : vesicle)

수단그라스의 뿌리체내에 형성된 AMF감염체를 보면 균사(hyphae)와 낭상체(vesicle) 및 내생포자(spore) 등의 형성이 많았던 것으로 조사되었다(그림 4-23). 균사의 성장양상을 보면 세포간격 뿐만 아니라 뿌리의 세포까지 균사가 침입하는 전형적인 AMF균사 성장 특성을 보였다. 뿌리체 내에 형성된 vesicle의 형태적 특징을 보면 기주식물의 뿌리 세포보다 더 큰 하나의 vesicle 뿐만 아니라 1개의 뿌리 세포 내에 다수의 vesicle이 형성되는 경우도 있었다.

표 4-8은 수단그라스에 국내토착 AMF 균주를 접종하고 6개월 간 증식한 후 뿌리

에서 vesicle, hyphae 및 arbuscule 등에 의한 AMF 균근감염 특성을 조사한 결과이다.

표 4-8. 재배양증식 후 국내 토착 AMF의 수단그라스 뿌리에 대한 감염율

국내토착 AMF (일련번호)	접종원 분리시 기주식물	감염율(%)			
		Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
경북 김천시 구성면 (G-3-1)	양파	11.0± 4.0	60.0±17.1	0	71.0±15.0
강원도 영월군 영월읍 (X-2-1)	고추	4.8± 1.5	42.6±16.9	0	47.4±15.3
전남 해남군 황산면 (H-1-1)	고추	14.2±11.8	40.1± 6.2	0	54.3±12.9
충남 당진군 고대면 (O-1-1)	고추	8.3± 5.2	53.7±14.4	0	62.0±13.0
전남 고흥군 점암면 (K-3-1)	마늘	11.6± 5.2	34.2± 9.1	0	45.8±11.6
경북 안동시 임동면 (A-2-1)	고추	12.3± 5.7	55.1±18.4	0	67.4±19.1
충남 당진군 면천면 (O-3-1)	고추	16.0± 5.1	68.7± 7.6	0	84.7± 9.7
충북 괴산군 문광면 (W-2-1)	고추	23.2± 9.9	29.7±10.5	0	52.9±15.2
전남 해남군 산이면 (H-3-1)	고추	9.7± 4.7	45.1±11.5	0	54.8±15.5

뿌리 감염율의 경우 충남 당진군 면천면 지역의 균주 처리시에 84.7±9.7% 정도로 가장 높았다. 강원도 영월군 영월읍(47.4%)과 전남 고흥군 점암면(45.8%)을 제외하고는 전반적으로 50% 이상의 높은 감염율을 보여 향후 이들을 이용한 AMF접종원의 개발 가능성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 arbuscule에 의한 AMF감염율이 모두 0%였던 것은 균주 증식 후 기주식물에 의해서 arbuscule이 분해 소화되어 소실된 결과로 생각된다. 즉, 6개월 간 증식한 후 배양된 접종원을 4°C에 저온보관하기 위해 수분공급을 하지 않고 자연상태에서 장기간 건조함에 따라서 arbuscule이 식물체에 의해 소화되므로 인해 뿌리체내의 arbuscule은 검정되지 않았다.

3. 선발지역 AMF의 속·종 동정

가. 우점 AMF의 특성

최종적으로 선발된 국내토착 AMF 균주 9종의 번식체가 함유된 건조 토양 150g과 균주의 그림 4-24 현미경사진(×50)을 INVAM에 보내 균주의 속·종 분류를 의뢰하였다. INVAM에서는 접수된 AMF번식체 함유 토양을 시료로 하여 6개월 간의 open pot culture후 증식된 AMF균주를 대상으로 균주에 대한 속과 종의 동정을 실시하였으며, 균주의 속과 종을 동정한 결과는 표 4-9, 그림 4-24 등과 같다.

Pot culture로 재차 증식한 국내 토착AMF균주 중에는 전반적으로 *Glomus viscosum*이 가장 많이 우점하고 있었으며, 그 외에도 *A. morrowiae*, *G. clarum*, *G. mosseae* 등이 우점하였고, *G. intraradices*와 *G. koskei* 등은 극히 적은 밀도로 분포하고 있는 것으로 확인되었다.

표 4-9. 국내 토착AMF균주에 대한 INVAM의 속종 동정결과

국내 토착AMF균주 (시료채취지역)	우점 AMF균주
경북 김천시 구성면 (G-3-1, KOR-3)	<i>G. intraradices</i> (low*), <i>G. viscosum</i> , <i>G. leptotichum</i> (low)
강원도 영월군 영월읍 (X-2-1, KOR-1)	<i>Glomus</i> KR103**, <i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i> , <i>A. koskei</i> (low)
전남 해남군 황산면 (H-1-1, KOR-2)	<i>Glomus</i> KR103, <i>G. clarum</i> , <i>G. viscosum</i>
충남 당진군 고대면 (O-1-1, KOR-4)	<i>G. clarum</i> , <i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>
전남 고흥군 점암면 (K-3-1, KOR-5)	<i>G. clarum</i> , <i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>
경북 안동시 임동면 (A-2-1, KOR-6)	<i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>
충남 당진군 면천면 (O-3-1, KOR-7)	<i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>
충북 괴산군 문광면 (W-2-1, KOR-8)	<i>Glomus</i> KR103, <i>G. clarum</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>
전남 해남군 산이면 (H-3-1, KOR-9)	<i>G. mosseae</i> , <i>G. viscosum</i> , <i>A. morrowiae</i>

* low는 토양 샘플내에 AMF균주가 극히 적은 밀도로 함유되어있는 상태임.

** *Glomus* KR103은 *Glomus* sp.로 동정되었으나 정확한 종에 대한 동정은 계속적으로 수행됨.

우점하고 있는 AMF포자의 특성을 보면 다음과 같다. *Glomus* sp. KR103은 형태적으로는 *G. etunicatum*과 가장 유사하지만 *Glomus* sp. KR103은 yellow-brown 계통의 포자색을 띄는 유형인 반면, *G. etunicatum*은 짙은 orange-brown 계통의 포자색을 갖는 차이점을 보였다. 형태적 특징을 기초로 한 INVAM의 동정결과 *Glomus* sp. KR103은 새로운 종이거나 *G. etunicatum*의 변이종일 가능성이 있는 것으로 보이며 INVAM에서 계속적으로 동정을 실시하고 있다.

*Glomus viscosum*은 해부현미경하에서 보면 *G. occultum*과 유사하지만 포자의 세포벽 특징을 보면 상이한 것으로 동정되었다.

*Acaulospora morrowiae*는 INVAM에서 처음에 조사한 바로는 포자의 내부구조가 전부 동일하였으며 초기에는 동정에 어려움을 보였으나 순수배양 후 정확한 포자크기와 포자색을 기초로 하여 *A. morrowiae*로 최종적으로 동정되었다. *A. morrowiae*는 *A. longula*와 *A. rugosa* 등과 유사하였다.

*Glomus leptotichum*은 INVAM에 의뢰한 토양 샘플내에 극히 적은 밀도로 분포하였지만 동정작업은 비교적 용이하였다. *G. leptotichum*은 경북 김천시 구성면의 AMF균주 함유토양에서만 발견되었으며, 극히 적은 밀도로 분포하였다. *Glomus intraradices* 역시 경북 김천시 구성면에서만 발견되었으며, 극히 적은 밀도로 분포하였다. *G. intraradices*는 실체현미경하에서는 *A. laevis*와 극히 유사하게 보이지만 포자벽 구성차이로 보면 확연히 차이가 있었다.

*Glomus leptotichum*은 INVAM에 의뢰한 토양샘플내에 극히 적은 밀도로 분포하였지만 동정작업은 비교적 용이하였다. *G. leptotichum*은 경북 김천시 구성면의 AMF균주 함유 토양에서만 발견되었으며, 극히 적은 밀도로 분포하였다. *Glomus intraradices* 역시 경북 김천시 구성면에서만 발견되었으며, 극히 적은 밀도로 분포하였다. *G. intraradices*는 입체현미경하에서는 *A. laevis*와 극히 유사하게 보이지만 포자벽 구성차이로 보면 확연히 차이가 있었다.

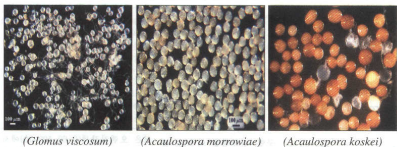
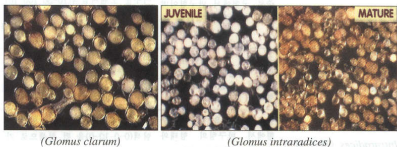
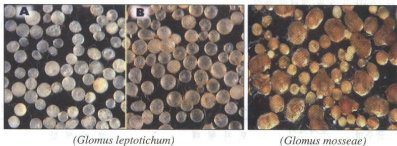


그림 4-24. INVAM에서 국내 토착AMF의 속·종 동정을 위한 제차 배양을 통해 증식된 AMF포자(INVAM 제공)

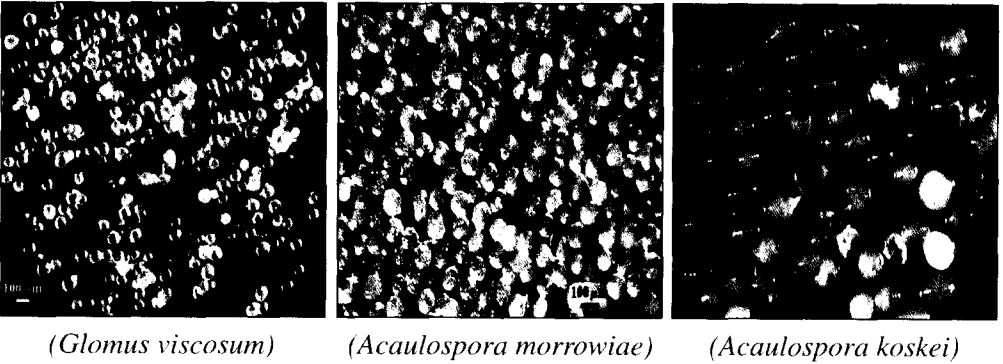
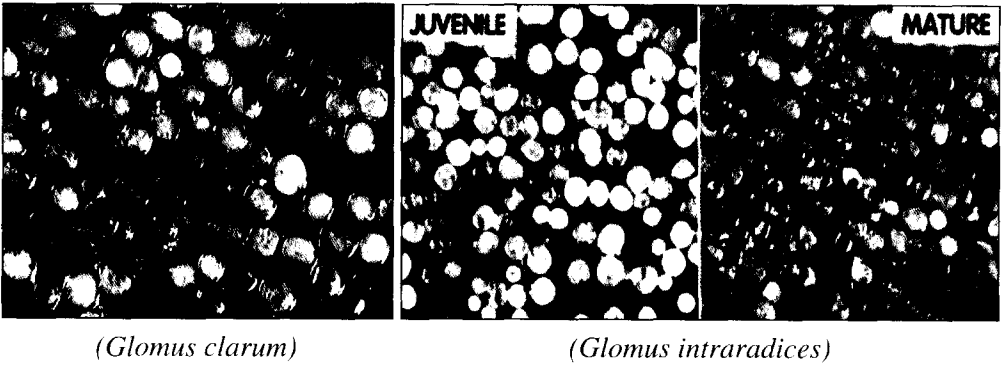
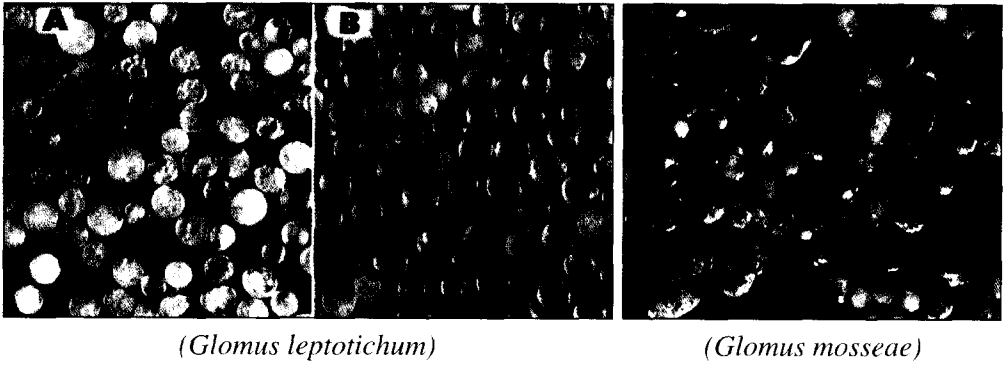


그림 4-24. INVAM에서 국내 토착AMF의 속·종 동정을 위한 재차 배양을 통해 증식된 AMF포자(INVAM 제공)

나. AMF의 종별 형태적 특성

예비선발된 지역별 시료로부터 종이 확인된 AMF균주의 크기, 포자색, 포자벽 구조 등과 같은 형태적 특성은 다음 표 4-10과 같다

표 4-10. 원예작물 주산단지에서 분리선발한 우점AMF의 포자의 형태적 특성

균주명	포자크기 (μm)	포자 형태	포자 색깔
<i>Glomus mosseae</i>	100~260 (평균:195)	주로 구형에서 반구형이며 약간 불규칙한 형태도 존재	어두운 오렌지갈색(10-30-100-10)*에서 벗짚색(0-5-20-0)을 띄고 있지만 주로 노란 갈색(0-10-60-0)을 띤다.
<i>Glomus clarum</i>	100~260 (평균:182)	구형에서 반구형이며, 때로는 타원형, 직사각형을 취하며 드물게 불규칙한 형태를 보임.	흰색에서 노란갈색(0-10-60-0)을 띄며, 주로 옅은 노란색(0-20-0)에서 옅은 노란갈색(0-10-20-0)을 띤다.
<i>Glomus Intraradices</i>	40~140 (평균:93.3)	주로 타원형을 이루며, 구형에서 반구형의 형태와 불규칙한 형태를 이룸	노란갈색(0-10-40-0)에서 옅은 크림색(0-0-10-0)을 띤 흰색으로 가끔 푸른색조를 띤다.
<i>Glomus viscosum</i>	50~120 (평균:82)	구형에서 반구형이며, 드물게 불규칙한 형태를 이룸.	가장 어두운 부분에서는 옅은 벗짚색(0-5-20-0)에서 불투명(0-0-5-0)한 색을 띄며, 포자 표면은 주로 흐릿하게 나타나는데, 이유는 표면 유기물과 부유물 때문이다.
<i>Acaulospora morrowiae</i>	60~100 (평균:75.6)	대부분이 구형, 반구형이며, 때로는 불규칙한 형태	가장 일반적으로 띄는 연노랑(0-15-60-0)에서 불투명한 연노랑색(0-0-10-0)을 띄며, 개체군에서 포자의 색은 균일하게 나타난다.
<i>Acaulospora koskei</i>	120~240 (평균:187)	구형, 반구형을 이루며, 불규칙한 형태로서 직사각형을 보임	깊은 오렌지갈색(0-60-100-10)에서 옅은 노란갈색(0-10-20-0)을 띄지만, 주로 옅은 오렌지갈색(0-30-80-0)을 띤다.

표 4-11. 우점 AMF의 지지균사와 포낭의 형태적 특성

균주명	균사/포낭 (μm)	균사/포낭형태	균사벽/포낭구조
<i>Glomus mosseae</i>	16~32 (평균:24)	갈매기 모양	두 개의 층을 이루며 안쪽은 바깥쪽은 L1층으로 이뤄지며, 안쪽은 L3로 이뤄진다. 두 개의 층의 합친 두께는 2.4~4.8 μm 정도이다.
<i>Glomus clarum</i>	18~24 (평균:22.1)	원통형의 모양이며, 때로는 수축되어 있거나 불규칙한 형태.	포자와 비슷한 세 개의 층(L1, L2, L3)으로 이뤄졌다.
<i>Glomus intraradices</i>	11~18 (평균:15)	원통형이며, 때로는 약간 수축된 형태.	L1, L2, L3가 있으며, 포자벽의 세 개층은 연결되었으며, 두 개의 외부 층은 단지 포자형성의 초기단계에서 존재하고 포자 성숙시기에는 얇아지거나 없어진다.
<i>Glomus viscosum</i>	8~11 (평균:10)	원통형이며, 때로는 약간 수축된 형태	성숙한 포자에서는 L1, L2, L3의 투명한 층으로 이뤄졌으며 L1, L2는 서로 다르게 보이지만, 세 개의 층은 연결되어 있다.
<i>Acaulospora morrowiae</i>	60~90 (평균:72)	대부분 구형에서 반구형의 형태를 이루지만 때로는 불규칙한 형태.	부드러운 표면을 가지는 한 개의 층이 있으며, 두께는 0.8~1.0 μm 범위이다.
<i>Acaulospora koskei</i>	140~180 (평균:162)	대부분이 구형.	부드러운 표면을 가지는 한 개의 층이 있으며, 두께는 1.25~4.2 μm 정도이다.

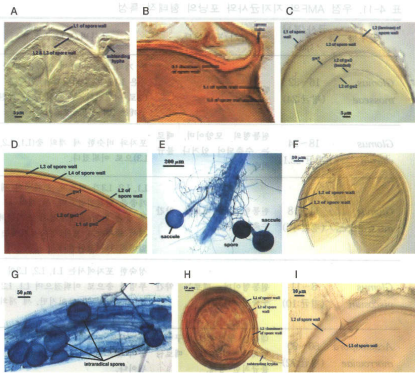


그림 4-25. 우점도가 높은 AMF의 형태적 특성(INVAM 제공)

(A : *Glomus viscosum* 포자벽, B : *Glomus mosseae*의 포자벽 구조와 지지균사, C : *Acaulospora morrowiae*의 포자벽 구조, D : *Acaulospora koskei*의 포자벽 구조, E : 뿌리주변에서 관찰된 *Acaulospora koskei*의 모포자 (Sporiferous saccule), F : *Glomus intraradices*의 포자벽 구조, G : *Glomus intraradices*의 감염사진과 뿌리내에 형성된 포자, H : *Glomus intraradices*지지균사와 포자벽 구조, I : *Glomus clarum*의 지지균사와 포자벽 구조)

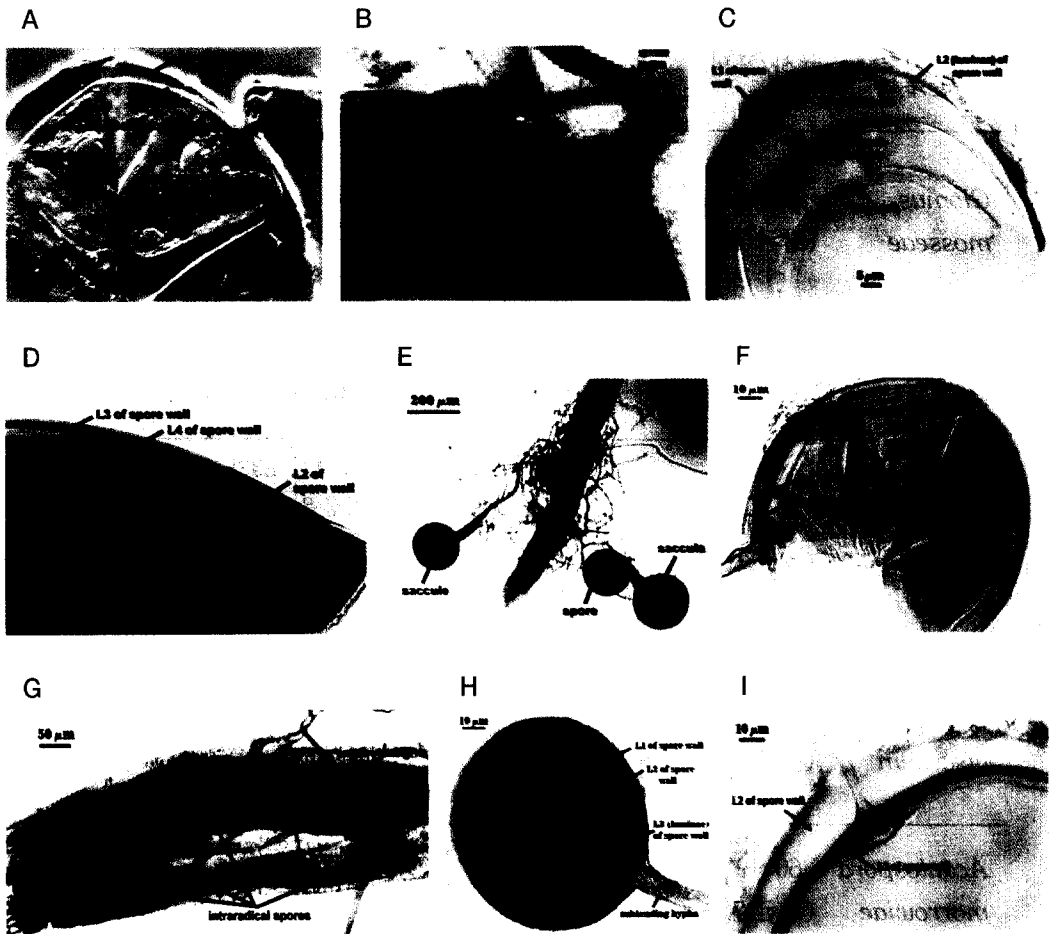


그림 4-25. 우점도가 높은 AMF의 형태적 특성(INVAM 제공)

(A : *Glomus viscosum* 포자벽, B : *Glomus mosseae*의 포자벽 구조와 지지균사, C : *Acaulospora morrowiae*의 포자벽 구조, D : *Acaulospora koskei*의 포자벽 구조, E : 뿌리주변에서 관찰된 *Acaulospora koskei*의 모포자 (Sporiferous saccule), F : *Glomus intraradices*의 포자벽 구조, G : *Glomus intraradices*의 감염사진과 뿌리내에 형성된 포자, H : *Glomus intraradices* 지지균사와 포자벽 구조, I : *Glomus clarum*의 지지균사와 포자벽 구조)

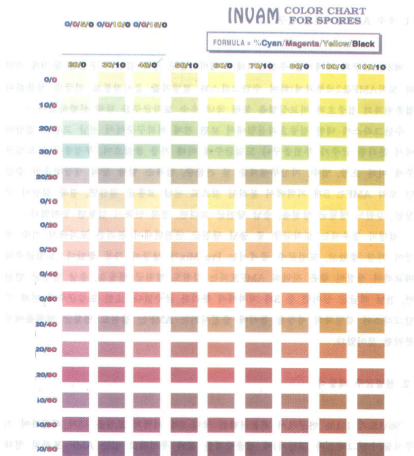


그림 4-26. AMF포자 및 균사구조 확인을 위한 INVAM 색차표

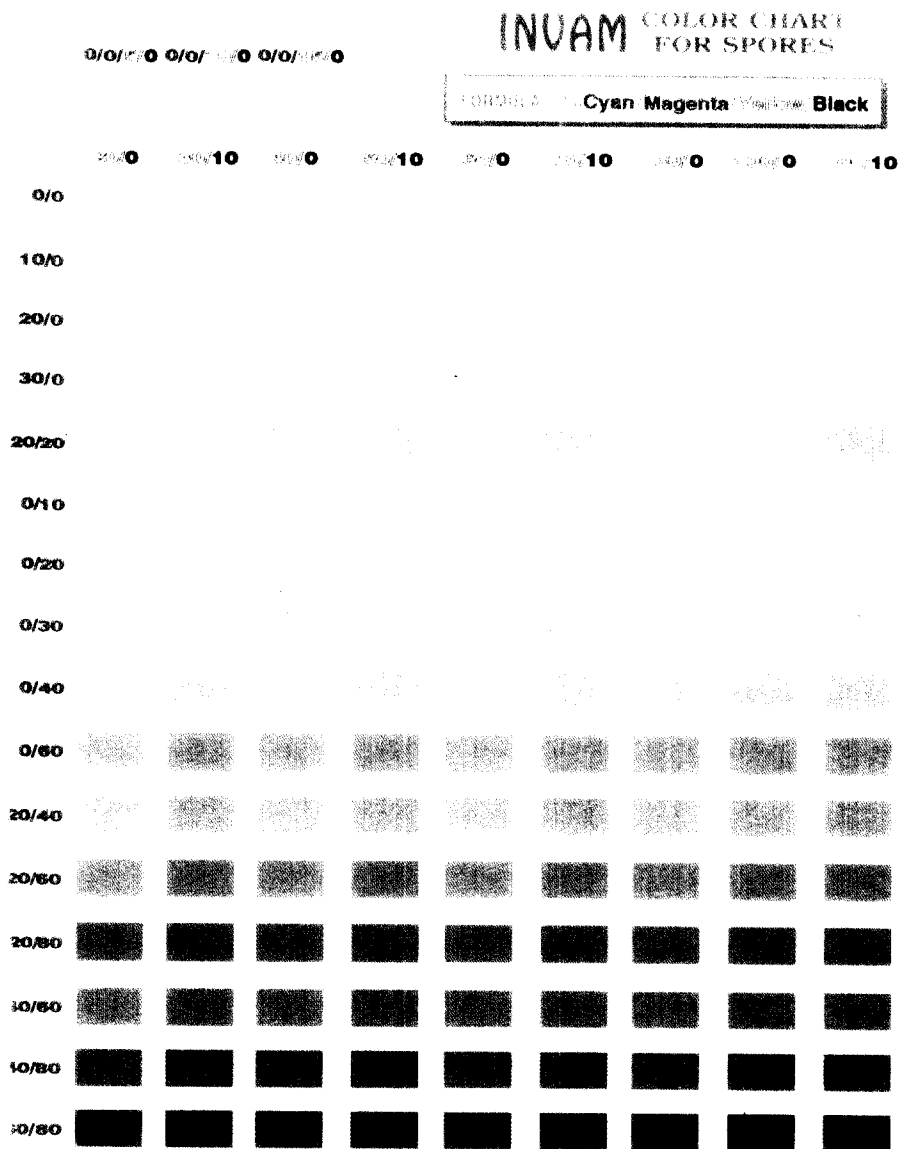


그림 4-26. AMF포자 및 균사구조 확인을 위한 INVAM 색차표

제 4 절 결 과 요 약

1. 우수 AMF탐색선발 연구

제2장 연구의 원예작물 주산단지에서 예비선발된 경북 김천시 구성면 등 9개 지역의 토착AMF를 2세부과제)하여 수단그라스와 결명자를 공시작물로 외국의 상품화된 접종원과의 접종효과 비교실험을 통해 국내 우수 토착균주를 탐색 선발하였다.

수단그라스에 대한 접종효과실험에서 보면 전체 처리구중에서 전남 고흥군 점암면에서 분리한 균주가 무접종구나 도입균주에 비해 가장 좋았으며, 무접종구나 도입균주에 비해 초장, 엽수, 지상부생체중 및 건물중, 엽록소 함량 등의 성장반응이 좋았던 토착 AMF는 5개 지역에서 분리된 것으로 전남 고흥군 점암면, 경북 김천시 구성면, 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 고대면, 경북 안동시 임동면 등이었다.

결명자 경우에는 토착균주 중 충남 당진군 면천면에서 분리한 포자에서 기주 생장이 가장 좋았고, 도입균주 중에서는 Pro-Mix가 생장이 가장 좋았다. 도입균주와 비교하여 생장이 좋은 지역의 AMF포자는 강원도 영월군 영월읍, 충남 당진군 면천면, 전남 해남군 산이면 등 3개 지역에서 분리한 균주였다. 또한 도입균주에 비해 수단그라스와 결명자의 생장을 동시에 증진시키는 AMF는 강원도 영월군 영월읍에서 분리한 것이었다.

2. 선발균주 재증식

'98년도의 1년차 연구에서 최종선발된 국내 9개 지역의 토양을 다시 채취하여 기주식물(수단그라스와 결명자)에 접종증식한 결과 우점하고 있는 AMF 포자의 형태적 특징과 밀도 변화를 조사하였다.

포자 밀도 변화를 보면 수단그라스를 기주식물로 이용한 경우 건토 g 당 증식된

포자 밀도를 보면 경북 안동시 임동면 지역의 균주 포자가 225개 정도로 가장 많았고, 전남 해남군 황산면(169.8개) > 충남 당진군 면천면(140.5개) > 강원도 영월군 영월읍(106.8개) > 충남 당진군 고대면(99.8개) 등의 순으로 나타났다. 결명자의 경우에는 전남 고흥군 점암면(161.7개) > 전남 해남군 산이면(153.2개) > 충남 당진군 면천면(134.0개) > 강원도 영월군 영월읍(120.0개) 등의 순으로 높았으며 기주식물에 따라 다소 차이를 보였다.

뿌리 감염율은 충남 당진군 면천면 지역의 균주처리시 84.7% 정도로 가장 높았다. 강원도 영월군 영월읍(47.4%)과 전남 고흥군 점암면(45.8%)을 제외하고는 전반적으로 50% 이상의 높은 감염율을 보여 향후 이들을 이용한 접종원의 개발 가능성이 높은 것으로 확인되었다.

3. AMF우점종 동정결과

최종적으로 선발된 9개 지역의 국내 토착AMF균주 동정결과 총 6개의 AMF 속·종이 동정되었다. 국내 토착AMF균주 중에서 전반적으로 *Glomus viscosum*이 가장 많이 우점하고 있었으며, 그 외에도 *A. morrowiae*, *G. clarum*, *G. mosseae* 등이 우점하였으며, *G. intraradices*, *G. koskei* 및 *G. leptotichum* 등은 극히 적은 밀도로 분포하고 있는 것을 확인하였다.

제 5 장

AMF 증식배양에 관한 연구

제 5 장 AMF 증식배양에 관한 연구

제 1 절 서 설

균근균의 접종원의 형태는 4종류로서 감염된 토양, 감염된 뿌리, 순수하게 배양된 균주 및 포자가 포함되고, 초기에는 토양자체를 접종원으로 이용한 바 있는데(Mosse 등, 1981) 토양 접종원으로서 peat, sludge, stockpiled soil 및 인근 주위 토양이 포함되고 있다(Norland, 1993). 그러나 이의 단점으로는 접종원에 포함된 균주들을 제어할 수 없고, 효과가 기대되는 균주가 포함되어 있다고 확신할 수 없으며, 양적인 부담으로 접종원의 운반에 경제적 손실이 수반될 수 있으며(Marx & Kenny 1982), 반면에 장점으로서 접종원에 질소고정미생물과 같은 유익균주가 포함되는 경우가 있고, 대상식물에 접종될 수 있는 포자, 뿌리 및 균사가 포함되는 장점이 있다(Helm & Carling, 1990).

AMF가 주는 혜택을 농업에 적용하려면 효과가 우수한 균주의 번식체를 대량 배양하여 접종원을 확보하는 것이 중요하다. 현재까지 알려지고 있는 일반적인 배양방법으로는 open pot culture, nutrient flow culture, aeroponic culture 및 hydroponic culture 등이며, 세계적으로 주로 이용하고 있는 증식방법은 앞의 세 가지 방법을 택하고 있다(Jarstfer와 Sylvia, 1992). 특히 용기 재배 방법인 open pot culture는 pot에 고형기질을 충전하고 기주식물을 생육시키면서 일정기간 균주의 감염을 유도하여 번식체를 생산하는 것으로 타 방법에 비해서 손쉽고 경제적이긴 하나 선발균주의 혼입과 병원균의 오염이 우려된다. 나머지 방법은 배양시설이 필요하지만 번식원의 생산량이 많고 병원균의 혼입에 대한 제어가 어느 정도 가능한 것으로 알려지고 있다(Hawkins와 Eckhard, 1998). 특히 aeroponic culture는 미세한 양액 입자를 분무하여 뿌리에 감염된 균근균의 균사와 포자를 증식시키는 방법으로 고수율의 포자를 얻을

수 있는 것으로 보고된 바(Hung과 Sylvia, 1988 ; Sylvia와 Jarstfer, 1992) 있다. AMF균의 협생특성 중에서 인산(P) 농도의 중요성은 많은 연구에서 실증된 바(Ojala와 Jarrell, 1980; Mackay와 Barber, 1984) 있다. 즉, P농도가 높을 경우에는 AMF균의 감염확산이 활발하지 못하기 때문에 Aeroponic culture에서도 분무양액 중 적정 P농도 구명은 필요하다. 한편 AMF 증식에 일반적으로 사용되는 기주식물로는 콩, 보리, 부추, 파, 딸기, 옥수수, 수수, 수단그라스, 귀니아그라스, 클로버 및 질경이 등이 세계적으로 pot재배에서 이용되고 있으며, aeroponic culture에서는 목초종인 bahia grass와 고구마 등이 실제 이용되어 성공한 바 있다(Hung과 Sylvia, 1988).

이상과 같은 이유에서 일차적으로 효과가 검증되어 선발된 균주나 토착균주의 선발과정에서 단일균주의 분리실험에서 필히 거쳐야하는 기법으로 Funnel technique가 이용되며, 실내실험과 같은 소규모의 실험에서 starter로서 이용하는 접종원 뿐만 아니라 실제 작물에 필요한 접종원 확보를 위해서도 대량증식 과정에 *In vitro* Rit-DNA기법이 사용되고 있다. 특히 후자의 경우는 비경제적일 수가 있지만 단기간에 특정균주를 무균적으로 증식시킬 수 있는 장점이 확인된 바(Declerck 등, 1996) 있다.

따라서 본 연구에서는 단일포자를 배양하는 방법에 관련된 실험과 대량증식 방법인 Open pot culture와 Aeroponic culture 방법을 비교하면서 우리나라 기후환경에 적합한 기주식물, 고품기질의 선발과 양액 중의 인산(P)농도, 분무방법별 및 하절기의 비닐하우스 내 온도상승문제와 관련된 차광망 처리에 따른 접종원 생산수율 등을 검토하여 년중 AMF 번식체 생산의 가능성을 검토하고 접종원 대량생산에 최적화 환경을 모색하고자 하였다.

제 2 절 연구수행 및 방법

1. 균주의 기초 증식배양

가. 개체포자의 Pot 증식배양(Funnel Technique)

기주식물은 질경이(*Plantago lanceolata*)를 공시하여 발흙 : 모래 : 펄라이트 = 1 : 2 : 0.5(v/v)의 혼합배지를 충진한 1ℓ PE 용기에 종자를 파종하여 재배하였다. 포자는 Chloramine T 2%액(5분)과 100ppm Gentamycin + 200ppm Streptomycin액(10분)으로 표면살균한 *Glomus intraradices* 개체 포자를 실체현미경(Zeiss, Stemi 2000-C)하에서 대조구(무접종), 1, 5, 10 및 50 spores/plant/pot 정도의 포자 밀도로 조절한 후 Funnel technique을 이용하여 접종하였다(그림 5-1).

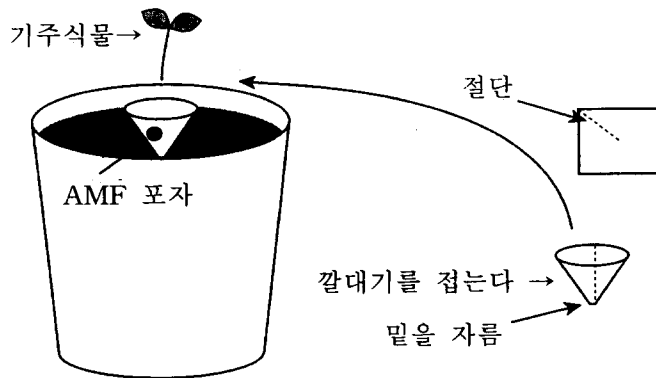


그림 5-1. Funnel Technique을 이용한 개체포자 증식

질경이는 20주/pot 정도로 식재하였으며, 양수분관리는 Modified Hoagland 처방 1/3배액을 1주일에 1회 공급하였고, 그 외에는 멸균수로 관수하였다. AMF를 접종시킨 기주식물 재배를 위해 변형된 Hoagland 배양액 조성(Hoagland와 Arnon, 1938)은

다음과 같다. 증류수 200 l 당 KNO₃ 50.0g, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 11.6g, KH₂PO₄ 12.4g, MgSO₄ · 7H₂O 49.3g, [CH₂N(CH₂COO)₂]FeNa 0.15g, MnSO₄ · 4H₂O 0.15g, ZnSO₄ · H₂O 0.2g, CuSO₄ · 7H₂O 0.05g, Na₂B₄O₇ · 10H₂O 0.20g, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ 0.20g, Co(NO₃)₂ · 6H₂O 0.25g 등과 같이 조성하였다.

조사항목은 전체적인 biomass량, 엽록소 함량 및 뿌리체 내 AMF감염을 등을 처리 후 1주 간격으로 6회 조사하였으며, 접종원 처리 후 20주에 포자 증식량 등을 조사하였다. 전체 엽록소 함량(Y)은 엽록소 측정기(SPAD-502, Minolta, Japan)로 측정 한 엽록계수(X)를 다음의 식에 의하여 계산하였다(日本土壤肥料學會, 1988).

$$Y(\text{mg}/100\text{cm}^2) = [0.0996 \times X(\text{SPAD})] - 0.152$$

나. *In vitro* Ri t-DNA 기법을 이용한 번식체 증식

1) Ri t-DNA transformed roots 유도

Ri plasmid를 갖는 *Agrobacterium rhizogenes*를 ATCC에서 분양 받았으며, YM medium에서 5회 정도 계대배양하여 균주를 활성화시킨 후, 28°C에서 암상태로 48시간 정도 진탕배양하여 형질전환에 이용하였다. 공시재료로는 당근(*Daucus carota* L.)을 이용하였다. 이 뿌리는 20일 간격의 계대배양으로 대량증식시켜 균근 감염뿌리, 포자 등과의 대치배양(Dual culture)에 사용하였다. 당근뿌리 조직에 상처를 내고 *Agrobacterium rhizogenes*를 감염시켜 MSR배지상에서 Ri t-DNA transformed roots를 유도하였다. 모상근 배양을 위한 Modified Strullu-Romand (MSR) medium (Diop 등, 1994)은 다음과 같다. 증류수 l 당 MgSO₄ · 7H₂O 739mg, KNO₃ 76mg, KH₂PO₄ 4.1mg, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 359mg, NaFeEDTA 8mg, KCl 65mg, MnSO₄ · 4H₂O 2.45mg, ZnSO₄ · 7H₂O 0.29mg, H₃BO₃ 1.86mg, CuSO₄ · 5H₂O 0.24mg, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ · 4H₂O 0.035mg, Na₂MoO₄ · 2H₂O 0.0024mg, Thiamine 1mg, Pyridoxine 0.9mg, Nicotinic

acid 1mg, Calcium pantothenate 0.9mg, Cyanocobalamine 0.4mg, Biotine 0.9×10^{-3} mg, Sucrose 10,000mg, Bacto agar 8,000mg 등으로 조성하였으며 pH는 5.5로 조정하였다.

2) Ri t-DNA plasmid 삽입

Ark와 Thompson(1961), Tepfer와 Tempé(1981) 등의 방법에 의하여 당근의 뿌리에 root inducing plasmid(Ri plasmid)를 삽입한 모상근(hairy root)을 형성시켰다.

3) 접종원 준비

'98년도 1년차 연구에서 최종선발된 9개 지역의 국내 토착AMF균주를 Pot 배양하였던 토양시료에서 포자와 균근감염 뿌리를 분리하여 기내배양을 위한 접종원으로 이용하였다. 포자는 4℃에서 4주 이상 저온보관하여 휴면타과 처리 후 접종원으로 사용하였다.

4) 접종원의 기내증식

가) 균근균감염 뿌리 형성

기내에서 균근감염된 뿌리의 형성은 Pot 배양에서 채취한 뿌리와 포자를 접종원으로 써 이용하였다. AMF균주에 감염된 뿌리의 표면살균은 Ultrasonicator(28kHz, 40분), 96% ethanol(1분), 6% sodium hypochlorite(5분), 2% Chloramine T + Tween 80/two drops (10분), 100ppm Gentamycin + 200ppm Streptomycin액(15분) 등으로 표면살균한 후 Water agar medium과 MSR medium(pH는 각각 5.5로 조정, 0.8% agar)에 치상하여 형성된 균근균의 외부균사를 모상근에 접종하므로써 균근균에 감염된 뿌리를 형성하였다.

포자의 경우는 2% Chloramine T + Tween 80/two drops 10분), 100ppm Gentamycin + 200ppm Streptomycin액(15분) 등으로 표면 살균한 후 무균배지에 치상하여 AMF포자를 발아시켰다.

나) 대치배양(Dual culture)

기내에서 대치배양(Dual culture)을 이용한 균근균의 대량증식은 Declerck 등(1996)과 Diop 등(1994)의 방법으로 수행하였다(그림 5-2).

MSR배지를 petri dish(dia. 9cm)에 50ml정도 충전하고, Ri t-DNA transformed roots는 70mm 길이로 치상 하여 27℃에서 암배양 하였으며, 그 측면에 균근균에 감염되어 hyphae와 vesicles 등이 많은 균근 감염뿌리를 5mm 길이로 절단 후 치상하여 27℃에서 대치배양 하였다. Plates는 10회 반복으로 실험을 수행하였으며, 모상근과 균근균의 협생적 성장을 현미경으로 검경 하였다.

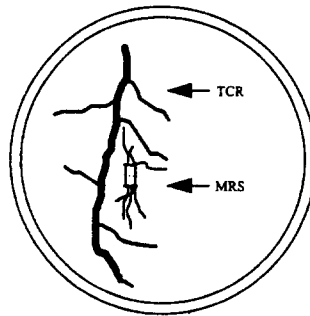


그림 5-2. 당근의 모상근을 이용한 대치배양(dual culture)
(MRS : 균근감염된 뿌리절편, TCR : Ri-t DNA로 형질전환된 당근의 모상근)

2. AMF접종원 대량배양 증식의 최적화 기술연구

가. 용기배양 (Open pot culture)

1) 번식체 증식용 기주식물 선발

국내토착 AMF 접종원의 대량증식에 적합한 기주식물을 선발하기 위하여 두과식물로 콩(*Glycine max* Merr.), *Allium*속 식물로는 부추(*Allium tuberosum* Rottl.), 화분

과 식물로는 수단그라스[Sorghum sudanense (Piper) Stapf], 그리고 잡초류로서 질경이(Plantago lanceolata)와 바랭이(Digitalia sanguinalis) 등을 기주식물로 공시하여 Pot 배양을 실시하였다. 백색의 플라스틱 포트(3ℓ)에 혼합배양토[모래 : 발효 : 펄라이트 = 2 : 1 : 0.5(v/v)]를 충전하고 상단에 AMF 접종원인 Glomus sp. 포자를 접종한 후 얇게 복토하였으며, 그 위에 기주식물의 종자를 파종하여 재배하였다. 양수분 관리는 Modified Hoagland 처방 1/3배액을 1주일에 1회 공급하였고, 그 외에는 멸균수로 관수하였다. 조사항목은 처리후 1주 간격으로 Biomass량, 엽록소함량 및 뿌리체내 감염을 등을 조사하여 처리간에 비교하였으며, 접종원 처리 후 20주에 포자 증식량 등을 조사하였다.

2) 번식체 증식용 담체 선발

국내 토착AMF접종원의 대량증식에 적합한 담체를 선발하기 위하여 ① vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1, ② vermiculite : soil = 8 : 2, ③ sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1, ④ sand : soil = 6.6 : 3.3 등과 같이 상이한 혼합배양토를 조성하여 Pot 배양을 실시하였다.

기주식물로는 수단그라스[Sorghum sudanense (Piper) Stapf]를 공시하였으며, 각각 상이한 조합의 혼합 담체를 충전한 3ℓ 용량의 백색 플라스틱 포트에 파종하여 재배하였다. AMF접종원으로는 국내 토착AMF인 Glomus sp.의 포자를 160~200 spores/plant 정도의 밀도로 접종하였다. 양수분 공급은 1주일에 1회 정도 Modified Hoagland's solution 1/3배액을 공급하였으며, 그 이외에는 멸균수로 관수하였다. 담체의 종류에 따른 식물체의 반응과 AMF 감염 및 접종원 생산에 미치는 영향을 측정하기 위하여 접종원의 접종 후 2주일 간격으로 Biomass량, 엽록소함량 및 뿌리체내 AMF의 감염을 등을 조사하였고, 접종원 처리 후 20주에 포자 증식량 등을 조사하였다.

나. 분무경 배양(Aeroponic culture)

기주식물인 고구마(*Ipomoea batatas* L.) 삽수와 수단그라스[*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf]의 종자에 접종원을 접종(그림 5-3-A)하고 분무경에서 Modified Hoagland처방으로 재배하였다. 사용된 영양액의 화학적 조성을 보면 증류수 1ℓ 당 KNO_3 500mg, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 116mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 493mg, Fe-EDTA 80mg, KH_2PO_4 124mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}(7\text{H}_2\text{O})$ 0.2mg, $\text{MnSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})$ 1.5mg, $\text{CuSO}_4 \cdot (5\text{H}_2\text{O})$ 0.8mg, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 2.0mg, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 2.0mg, $\text{CoNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2.5mg 등과 같으며, 생육 초기에는 영양액을 10배 희석, 생육 후기에는 5배로 희석하여 사용하였다.

1) 분무양액의 적정 P농도 구명 실험

AMF감염에 관계하는 인산농도의 영향을 구명하기 위해 Modified Hoagland 처방을 기초로 하여 인산 농도를 5 μM , 10 μM 및 20 μM 등의 3수준으로 처리하여 식물생장반응과 경시적인 AMF 감염정도 및 AMF 번식체 증식량 등을 조사하였다.

양액 분무장치는 300ℓ 용 타원형 합성수지 용기에 그림 5-3-B와 같이 설치하였다. 양액분무 압력은 주간 20kgf/cm², 야간 15kgf/cm² 등으로 2분 간 분무, 5분 간 정지되도록 micro timer에 의해 제어하였다.

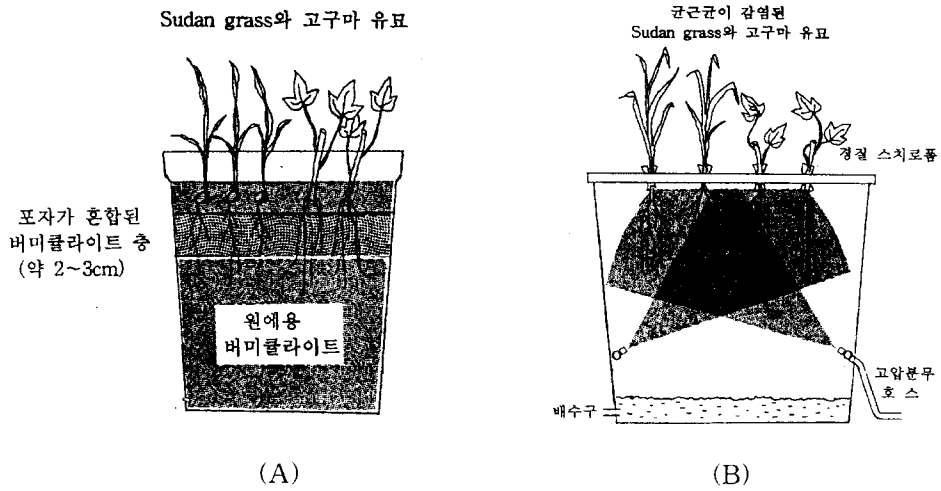


그림 5-3. AMF접종원의 접종(A) 및 P 농도 실험을 위한 분무경 시스템(B)

생육 중인 기주식물의 뿌리는 신장되어 분무상 밑 부분에 고여있는 양액에 잠기지 않도록 분무상 높이를 고려해 주기적(15일 간격)으로 절단하여 주었으며, 절단한 뿌리 생체중의 누적치를 처리간에 비교하였다. 이러한 기주식물의 뿌리 절단은 고구마 뿌리 상부의 세균발생을 유도하여 균근균 번식체(균사와 포자 등)의 밀도를 높이기 위해 필수적이다.

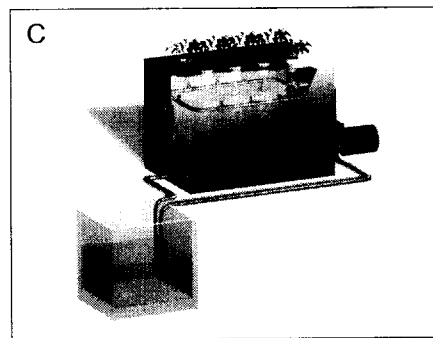
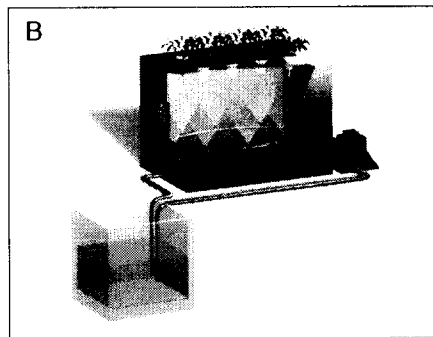
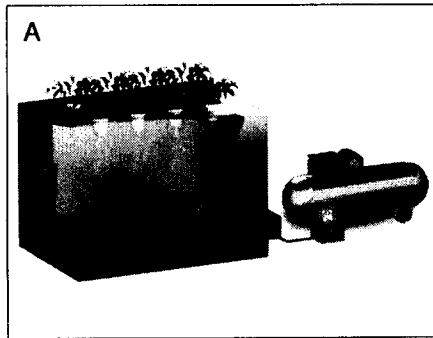


그림 5-4. 분무방법별 분무경 시스템 모식도
 (A : Aerosol 노즐, B : Jet spray 노즐, C : Mist 노즐)

2) 분무방법 실험

본 실험은 3개의 분무방법[Aerosol 노즐, Jet spray 노즐 및 Mist 노즐 등(그림 5-4, 표 5-7)]을 비교하여 기주식물의 성장반응, 번식체의 뿌리감염과 AMF포자 생산량 등을 비교하였다. 분무경의 재배조는 플라스틱으로 L100cm×W80cm×H60cm 크기의 재배조를 만들고 상판 스티로폼에 기주식물을 스폰지로 고정하여 각 Chamber 당 9주의 고구마 삼수를 정식하여 재배하였으며, 100 l 용량의 양액 탱크로부터 타이머와 정량펌프를 이용하여 주간에는 2분 공급/4분 휴지, 야간에는 2분 공급/8분 휴지로 양액을 공급하였으며, 폐쇄순환식으로 재배하였다(그림 5-4). 본 실험의 경우 여름철에도 수행하였는데, 여름철에 분무경 chamber내 온도상승을 막기 위해 Temperature controller와 fan을 설치하여 온도를 Chamber 외부보다 낮게 유지하였다.

3) 광량별 번식체 증식량 비교실험

차광망(25%)을 설치하여 광량을 4수준(온실내 무차광, 차광망 1겹, 2겹 및 3겹 등)으로 처리하였으며 여름철에 플라스틱 온실의 온도상승을 막기 위한 차광망 설치여부와 번식체 증식량과의 관계 등을 조사하였다. 광량측 정은 AccuPAR PAR Ceptometer (Decagon Devices, Pullman, WA., U.S.A.)로 Photosynthetically Active Radiation[(PAR), $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$]을 측정하였다.

제 3 절 연구결과 및 고찰

1. AMF의 기초 배양 증식

가. 개체포자의 Pot증식(Funnel Technique)

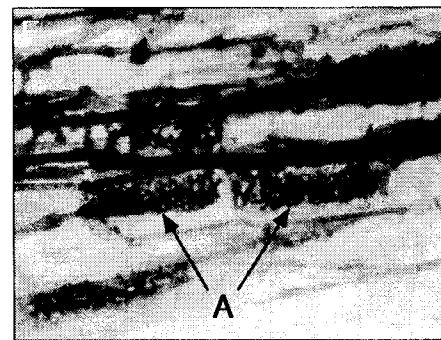
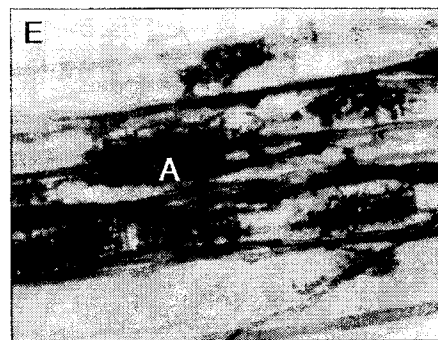
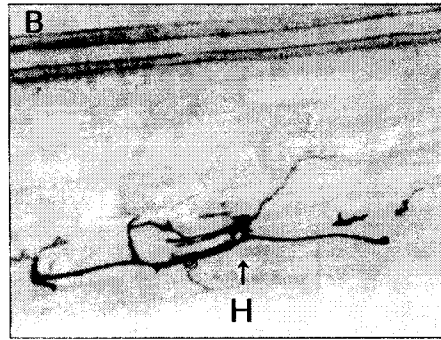
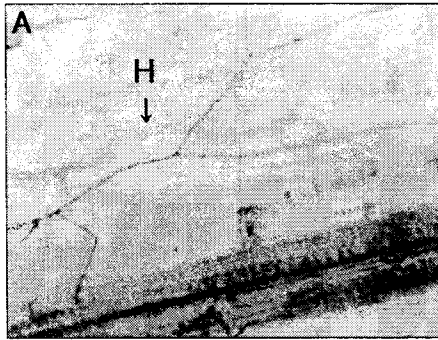
질경이를 기주식물로 하여 배양하였으며 포자 1개와 5개 접종이 10개 및 50개 접

중 처리보다 외관적으로 성장량이 적은 경향을 보이며, 또한 포자수 10개와 50개 등으로 포자의 접종밀도가 증가할수록 식물성장도 증가하였다(표 5-1). 지상부와 지하부의 건물중의 biomass생산량을 기초로 AMF 개체포자의 접종효과를 보면 포자의 접종밀도가 높아질 수록 기주식물의 건물생산이 많아졌다. 이러한 경향은 감염율(표 5-2)과 포자 생산량(그림 5-6)에서도 비슷하였으며, 포자의 접종 밀도가 높아지면 뿌리체내 AMF감염율과 포자생산량도 많아졌다. 이와 같이 접종원의 밀도가 높아지면 그 만큼 협생 파트너인 기주식물의 뿌리와 접하는 기회가 많아지기 때문에 뿌리 내 감염도 많아질 수밖에 없는 현상으로 해석된다.

표 5-1. AMF개체포자의 접종밀도에 따른 접종 후 72일의 질경이의 성장반응

Spore density inoculated	Plant ht. (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Root length (cm)	Fresh wt. (g/plant)		Dry wt. (g/plant)		Chlorophyll content (mg/100cm ²)
					Top	Root	Top	Root	
Control	11.5	5.0c	43.8	30.9	2.6b	3.1	0.45b	0.39	20.3b
1	11.7	6.3bc	47.8	30.9	3.5b	3.2	0.51b	0.42	21.8b
5	11.9	7.0b	48.3	34.4	3.7ab	4.1	0.54b	0.55	24.5ab
10	13.7	7.0b	51.2	34.6	4.3ab	4.9	0.72ab	0.57	24.6ab
50	14.7	8.3a	61.2	36.9	5.4a	6.0	0.96a	0.84	28.5a

접종원 접종 후 77일의 뿌리체 내 AMF 감염양상을 보면 뿌리에서 충분한 균사생장 후에 arbuscule의 형성이 왕성하였으며, vesicle은 1.8~12.5% 정도의 감염율을 보였다. AMF 감염율은 포자 1개 접종시에는 21.3%이었으며 포자의 접종 밀도가 높아질 수록 감염율도 높아졌는데 개체포자 50개 접종 처리구의 경우는 65.6% 정도로 감염율이 증가하였다(표 5-2).



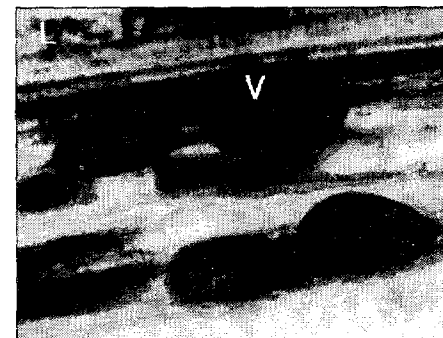
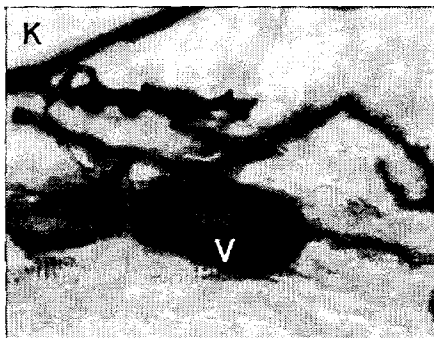
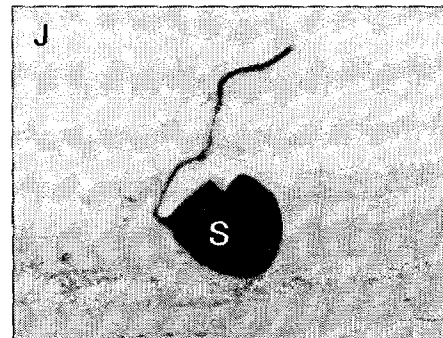
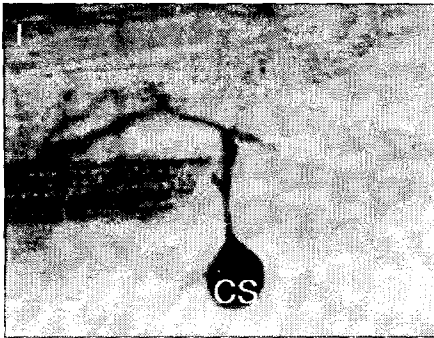
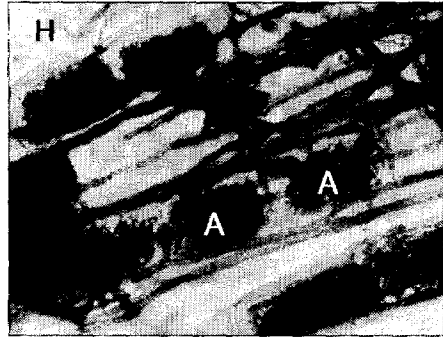
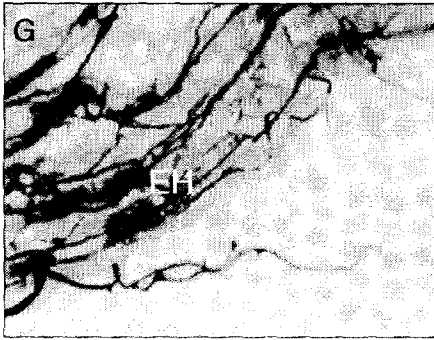


그림 5-5. AMF를 접종한 질경이 뿌리내 상이한 hyphae(A~D), arbuscule (E~H) 및 vesicle(I~L)의 발생(×400)

표 5-2. AMF포자 접종 밀도에 따른 접종 후 77일의 질경이 뿌리 감염율

Spore density inoculated (spores/funnel)	Infection(%)			
	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
1	1.8 ± 0.10	14.4 ± 0.90	5.1 ± 0.10	21.3 ± 3.30
5	7.4 ± 4.31	10.6 ± 0.10	22.3 ± 4.87	40.3 ± 6.96
10	2.5 ± 0.90	23.4 ± 2.72	15.6 ± 7.68	41.5 ± 8.48
50	12.5 ± 3.14	19.3 ± 6.70	33.8 ± 5.65	65.6 ± 10.38

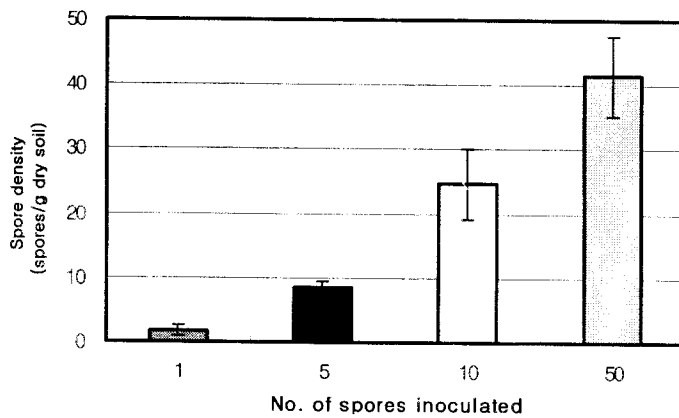


그림 5-6. AMF 접종 밀도에 따른 접종 후 22주의 포자 생산량

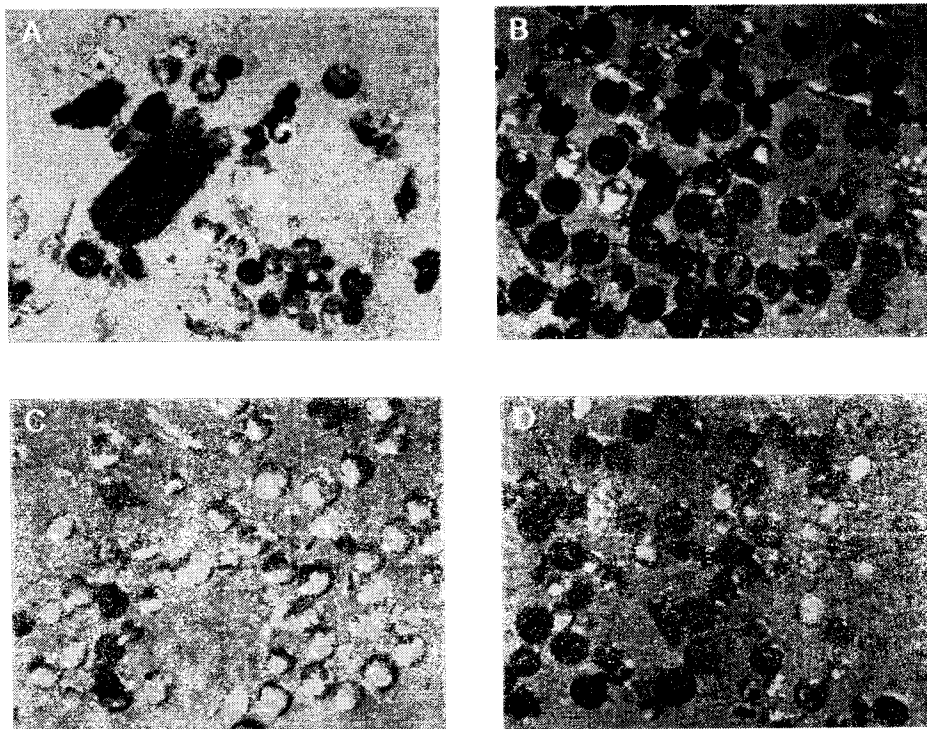


그림 5-7. 개체포자별 배양증식된 AMF포자
(A : 포자 1개 접종, B : 포자 5개 접종, C : 포자 10개 접종, D : 포자 50개 접종)

개체포자의 접종 밀도에 따른 포자 생산량을 보면 포자 접종 밀도가 높아짐에 따라서 최종적인 포자 생산량도 많아지는 경향을 보였다. 포자수 1개와 5개 접종 처리구의 경우 포자 생산 밀도는 10개 미만이었으며, 10개와 50개 접종시에는 각각 평균치가 25개와 40개 정도의 수준으로 AMF포자형성이 많은 것으로 나타났다(그림 5-6, 5-7).

이상의 결과를 미루어보아 토착균주 순수분리나 속종의 분리동정을 수행할 경우 먼저 크기, 포자의 색, 분지균사의 특성과 같은 외형의 형태적 유사점을 토대로 개별분리하여 재차 배양 증식하는데에 일차적으로 고려할 점으로 생각된다.

나. *In vitro* Ri t-DNA를 이용한 번식원 증식

1) Ri t-DNA transformed roots 유도

가) *Agrobacterium rhizogenes* 배양 및 뿌리 내 처리

ATCC에서 분양받은, Ri plasmid를 갖는 *Agrobacterium rhizogenes*를 YM medium에서 5회 정도 계대배양하여 균주를 활성화시킨 후, 28℃에서 암상태로 48시간 정도 진탕배양하여 형질전환시켰다. 모상근을 발생시킨 당근(*Daucus carota* L.) 뿌리를 20일간격의 계대배양으로 대량 증식시켰으며 이 증식체는 균근 감염뿌리, 포자 등과의 다음단계인 대치배양(Dual culture)에 사용하게 된다.

나) 모상근 형성

AMF 접종원의 기내증식에 이용하기 위하여 형질전환된 당근 모상근(hairy root)은 Modified Strullu & Romand (MSR) medium에서 대량증식 하였으며, 20일 간격으로 계대배양하여 균근균의 번식체를 기내에서 무균적으로 대량 증식하는데 사용한다.(그림 5-8).

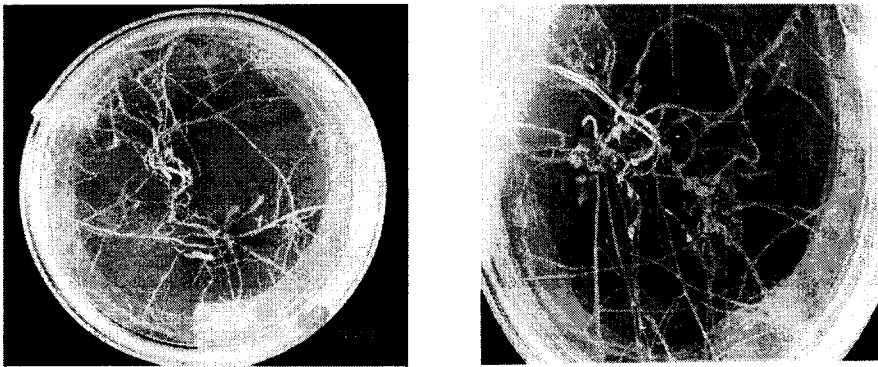


그림 5-8. Ri t-DNA plasmid를 갖는 당근의 모상근 형성

2) 접종원의 기내증식

가) 포자소독 및 균사(hyphae) 형성

습식사별한 AMF 포자는 표면살균하여 발아를 시켜 모상근과의 대치배양에 이용하였다(그림 5-9). Water agar medium에 치상한 포자에서 발아되는 균사의 성장 양상을 보면 ① 균사가 직선적으로 성장하는 유형, ② 포자와 직각방향에서 약간 틀어지게 직선적으로 성장하는 유형, ③ 곡선으로 꼬여서 성장하는 유형 등으로 크게 구분되었다.

포자의 표면살균에 이용한 소독액의 조합 및 농도 등에 따른 살균효과는 표 24와 같다. 변식원 인 포자의 소독액은 단용으로 이용하는 것보다는 혼용으로 이용하는 경우가 포자의 오염발생이 적어서 포자를 표면살균하기에 효과적이었으며, 살균 효과가 가장 좋았던 처리는 ① Chloramine T 2%(20분), Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm(20분) ② Chloramine T 2% + Tween 80/two drops(10분), Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm(10분) ③ Chloramine T 2% + Tween 80/two drops(20분), Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm(20분) 등의 순이었다.

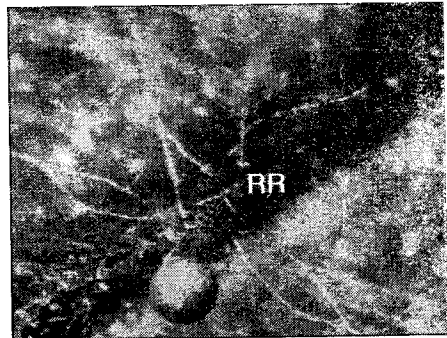
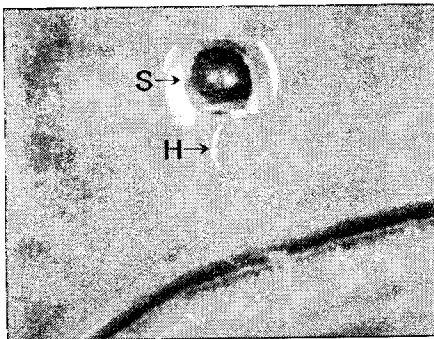


그림 5-9. 당근의 모상근에 치상한 AMF포자 발아(×50)
(S : spore, H : hyphae, CR : carrot root, RR : redbeet root)

표 5-3. 포자의 표면살균에 이용한 소독액의 종류와 농도에 따른 오염정도

살균액 처리	오염정도
Control	-*
Chloramine T 2%, 5분	+/-
Chloramine T 2%, 10분	+
Chloramine T 2%, 20분	+
Chloramine T 2%, 5분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 5분	++
Chloramine T 2%, 10분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 10분	++
Chloramine T 2%, 20분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 20분	+++
Chloramine T 2% + Tween 80/two drops, 5분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 5분	++
Chloramine T 2% + Tween 80/two drops, 10분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 10분	+++
Chloramine T 2% + Tween 80/two drops, 20분 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm, 20분	+++

*-, +, ++ and +++ : Surface-sterilized spores were contaminated, good, well and best

나) 균근 감염뿌리의 표면살균 및 균사체 유도

기내배양을 이용한 AMF접종원의 대량생산은 포자나 균근균에 감염된 기주식물의 뿌리를 표면살균하여 균사체를 유도한 다음 당근 등의 모상근에 접종한 후 3~5개월 간의 장기적인 대치배양(Dual culture)을 통해 오염되지 않은 순계(pure line)의 AMF번식체 생산에 이용하는데, AMF 균근균에 감염된 기주식물의 뿌리 등을 표면 살균하여 MS medium, MSR medium 및 Water agar medium 등에 접종하였으며, 균사(hyphae)를 형성한 후 당근 모상근에 접종하여 AMF 접종원을 생산하는 측면으로 실험을 수행한 결과 기내배양의 기주식물로는 당근과 토마토가 AMF와의 균근협생에 용이하다는 결과를 확인할 수 있었다. 또한, 접종원의 재료로는 포자를 이용하는 것보다는 균근감염 뿌리를 이용하여 균사체를 형성하는 것이 번식원의 살균면에서 용이하다는 연구결과가 있다. 즉, 포자는 휴면타과 후 발아시켜 정상적인 활성화

로 균사 성장을 지속시킬 수 있는 포자의 살균방법이 아직까지 정립되지 않은 실정으로서 이용이 매우 어려웠던 반면, 균근균에 감염된 뿌리를 표면살균한 후에 균사체를 형성하는 방법은 대체적으로 용이하다는 장점이 있어 본 실험에서는 접종원으로서 균근 감염뿌리를 우선적으로 이용하였다(그림 5-10).

표 5-4는 표면살균한 뿌리에서 균사가 발아되는 양상을 분류한 결과이다. 즉, 배지의 종류에 따라서 균근 감염뿌리에서 AMF 균사가 형성되는 것을 보면 양분의 함량이 높은 MS medium 보다는 양분함량이 낮은 0.5배액 MSR medium과 양분이 거의 없는 Water agar medium에서 균사의 발생이 1~2일 정도 빨랐으나, 시간이 경과함에 따라 배지의 종류별 균사의 성장특성은 별다른 차이가 없었다. 그러나, 포자의 경우는 배지 내 양분함량에 따라 포자 발아 및 균사 성장 등이 현저하게 영향을 받는 것으로 보였다.

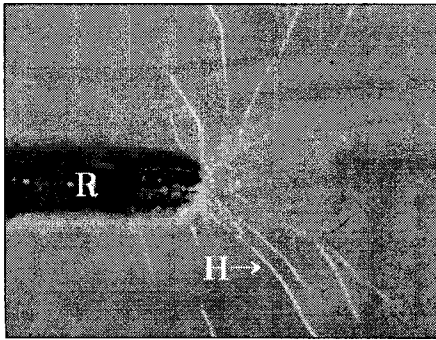
A



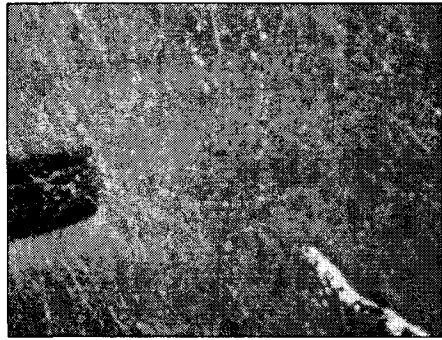
B



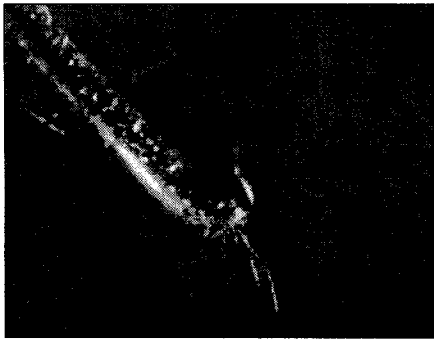
C



D



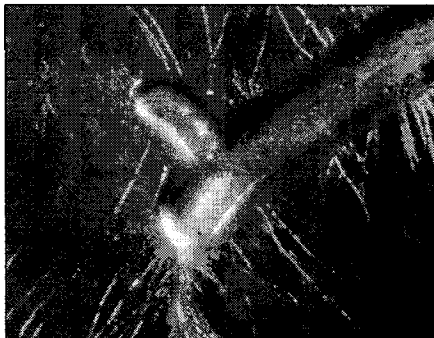
E



F



G



H

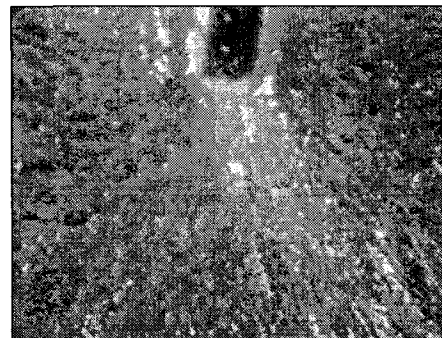


그림 5-10. AMF의 시간경과에 따른 균사의 성장변화 ($\times 50$)
(H : hyphae, R : root)

표 5-4. 균근 감염뿌리에서 균사가 발생하는 양상

구분	균사발생 특성
1	균사가 배지 표면에만 형성.
2	균사가 뿌리표면에서 윗 방향으로 발생하거나, 배지 아랫부분으로 뺀어 나가는 모양으로 형성.
3	균사가 뿌리 양쪽 절단면에서 주로 형성되었으나, 뿌리중간에서 형성되기도 하였습. 균사가 배지 윗쪽이나 아래쪽보다는 배지 표면에 많이 형성되었습.
4	균사가 뿌리 중간부위에서 주로 형성되었습. 균사가 배지표면과 윗방향으로 동시에 형성되었습.
5	뿌리중간에서 균사가 주로 형성되었습.
6	균사가 뿌리 끝 부분에서만 발생.

다) 균근 감염뿌리 형성 및 대치배양

MSR medium(25°C, darkroom)상에서 당근, Redbeet 등의 모상근(약 7~8cm)과 균사가 발아된 균근감염 뿌리절편(0.5cm)을 접종하여 대치배양(Dual culture)하였다. 대치배양에서 가장 난이한 문제로는 균근감염 뿌리에서 나오는 균근균 이외의 세균과 진균류에 의한 2차 오염이었다. 이에 대한 대책으로서 균근균의 균사만 분리하여 집중하는 방법을 다양한 측면에서 비교하여 검토하고 있다. 그림 5-11의 경우 대치배양으로 형성된 포자의 크기는 약 50 μ m 정도였으며, 원형 또는 타원형의 포자가 균사의 중간에 형성되었으며, 포자색은 적갈색 계통이었다. 12주 동안 plate당 약 1,200개의 포자가 형성되었다(그림 5-12).

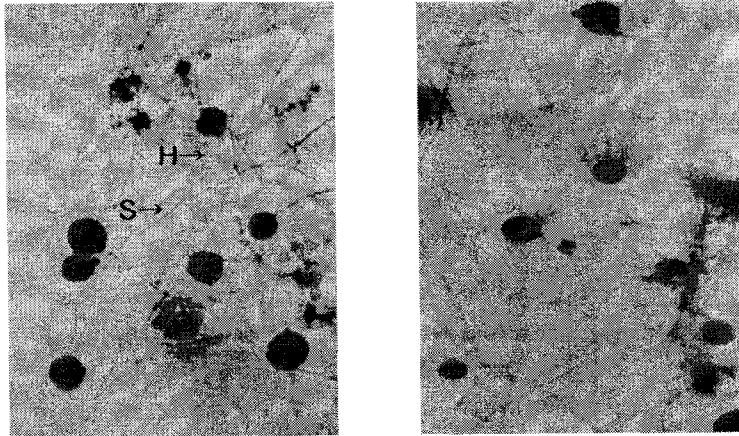


그림 5-11. Dual culture를 이용한 *Glomus* sp. 포자 증식
(H : hyphae, S : spore)

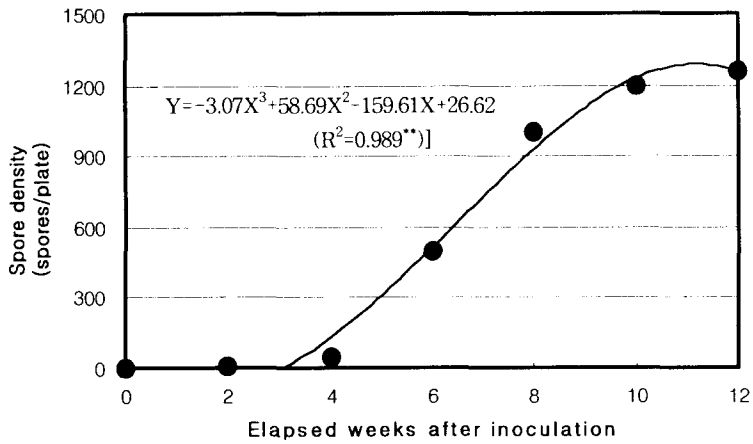


그림 5-12. 12주 동안 기내에서 증식한 *Glomus* sp.의 포자 밀도 변화

2. AMF접종원 대량 배양증식의 최적화 기술

가. 용기배양(Open pot culture)

1) 번식체 증식용 기주식물 선발

콩, 부추, 수단그라스, 질경이 및 바랭이 등의 기주식물을 공시하여 기주식물의 경시적인 성장과 AMF 감염율, 그리고 접종원의 접종 후 4개월 후의 포자 증식량 등을 조사하였다(그림 5-13~5-16, 표 5-5).



그림 5-13. 기주식물 선발 중에서 콩의 Pot 재배 사진
(AMF- : AMF 무접종, AMF+ : AMF 접종)

기주식물의 종류별 biomass생산량을 보면 AMF접종원을 생산하는 부위인 뿌리의 biomass생산량 뿐만 아니라 전체적인 biomass생산량이 콩 > 수단그라스 > 바랭이 > 질경이 > 부추 등의 순으로 조사되었다. 특히, 수단그라스와 바랭이 등은 지상부 성장에 비하여 지하부의 성장, 즉 뿌리의 biomass량이 많아 AMF접종원 생산에 좋은 기주식물로 판단되었다.

초장의 경우 공시한 모든 기주식물에서 AMF접종원 접종시에 초장생장이 촉진되었는데, 특히 수단그라스의 초장 생장이 가장 현저히 촉진되는 것을 확인할 수 있었다. 엽수의 성장반응 역시 초장과 비슷한 접종효과를 보였으며, AMF 접종시 콩과 질경이의 엽수가 현저히 많아졌다.

표 5-5. 기주식물별 *Glomus* sp. 접종 처리가 접종 후 83일에 기주식물 생장에 미치는 영향

Crops	AMF	Plant ht. (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Top root length (cm)	Fresh wt. (g/plant)		Dry wt. (g/plant)		Chlorophyll content (mg/100cm ²)
						Top	Root	Top	Root	
콩	+ ^z	69.5*	51.0*	803.3**	32.0	28.77*	83.06	7.38*	9.25	36.0**
	-	51.7	30.7	351.1	28.5	14.21	65.98	3.93	8.01	27.7
부추	+	16.5*	5.0	6.8*	16.2	0.44*	0.93	0.06	0.19*	N.D.
	-	11.4	3.7	2.2	13.3	0.13	0.64	0.02	0.06	N.D.
수단그라스	+	72.5*	6.8	78.4	38.0*	4.59	34.56	1.33*	3.74	17.3**
	-	53.8	6.0	41.9	29.0	2.29	31.67	0.48	3.30	14.7
질경이	+	11.9	10.7	78.1*	40.3*	4.08	7.22*	0.83	0.80**	24.4
	-	11.8	9.7	43.1	22.9	2.51	2.30	0.56	0.32	22.8
바랭이	+	26.7*	28.0	63.0	29.0	3.65	28.62	1.06	4.15	22.5**
	-	18.4	24.7	42.0	25.0	2.46	18.48	0.66	2.68	18.2

^z + ; inoculated, - ; non-inoculated,

*, ** ; significant at 5% or 1% levels by t-test, respectively

^y N.D. ; not determined

초장의 경우 공시한 모든 기주식물에서 AMF접종원 접종시에 초장생장이 촉진되었는데, 특히 수단그라스의 초장생장이 가장 현저히 촉진되는 것을 확인할 수 있었다. 엽수의 성장반응 역시 초장과 비슷한 접종효과를 보였으며, AMF 접종시 콩과 질경이의 엽수가 현저히 많아졌다.

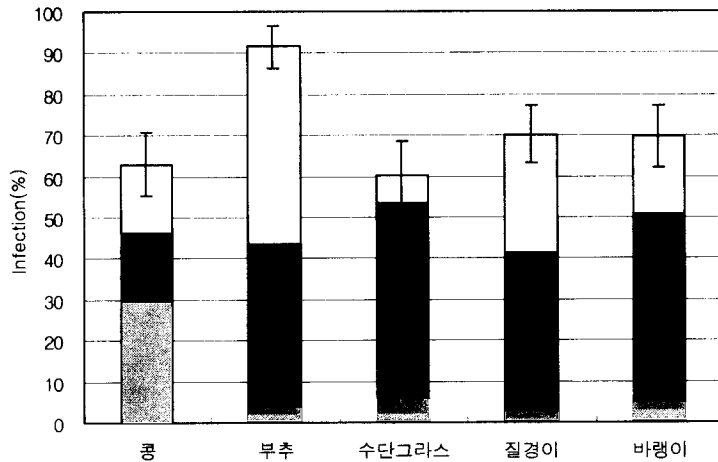


그림 5-14. 접종원 *Glomus* sp.의 접종 후 83일의 기주식물별 AMF 감염율
(상부 : arbuscule, 중간 : hyphae, 하부 : vesicle)

AMF접종원 접종에 따라서 엽록소 함량 역시 증가하는 경향을 보였으며, 콩과 질경이의 엽록소 함량이 24~36mg/100cm² 정도로 가장 높았다. 건물중의 biomass생산량을 보면 전반적으로 콩 > 수단그라스 > 바랭이 > 질경이 > 부추 등의 순으로 나타났다. AMF접종원 생산시 가장 중요한 뿌리의 건물생산을 보면 콩, 수단그라스 및 바랭이 등이 4~9g/plant 정도로서 AMF접종원 생산에 필요한 기주식물로 비교적 좋은 결과를 보였으며, 부추는 뿌리의 biomass생산량이 적었다. AMF접종원을 접종시 건물중 생산을 보면 콩, 수단그라스 및 바랭이 등은 뿌리의 성장촉진에 따른 뿌리의 건물생산이 많아질 뿐만 아니라 지상부의 Biomass생산량도 현저히 촉진되는 결과를 보였다. 즉, 부추와 질경이 등은 뿌리체 내 AMF감염율은 높았지만 뿌리의 biomass생산량과 포자 생산량 등이 적은 단점을 보였다. 반면에 바랭이와 수단그라스 등이 뿌리의 biomass 생산 및 포자 생산량 등이 많아 AMF접종원 생산에 적합한 기주식물로 생각되었다. 기주식물의 종류별 AMF감염율 및 포자생산 등을 보면 그림 5-14~5-16와 같다.

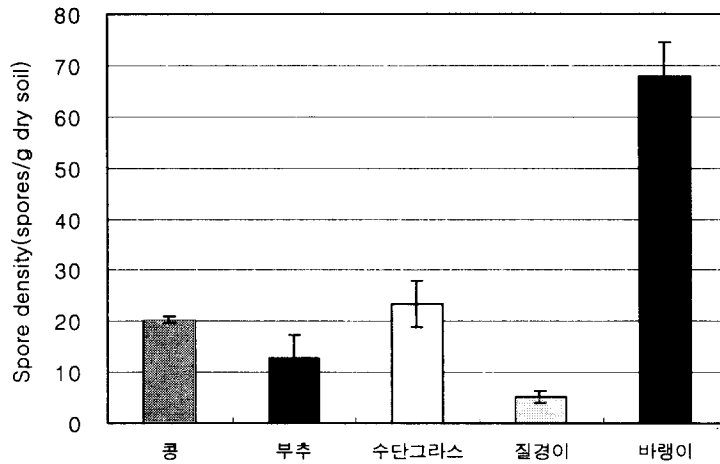


그림 5-15. 기주식물별 *Glomus* sp. 접종 처리에 따른 접종 후 15주의 AMF 포자 생산

기주식물의 종류별 뿌리에 대한 AMF감염율은 부추 > 질경이 = 바랭이 > 콩 ≥ 수단그라스 등의 순이었으며 특히 감염율조사시 콩에서 번식체 형성 여부에 대한 감염을 판정에서 vesicle형성이 타 기주식물에 비해 많은 것은 생육기가 짧아진 외적인 영향으로 판단되었다(그림 5-14). 또한, 포자 생산밀도는 바랭이가 건토 g당 약 68개 정도로서 가장 많았으며, 수단그라스와 콩이 약 20~25개 정도로 많았고, 질경이는 약 5개 정도로서 가장 적었다(그림 5-15).

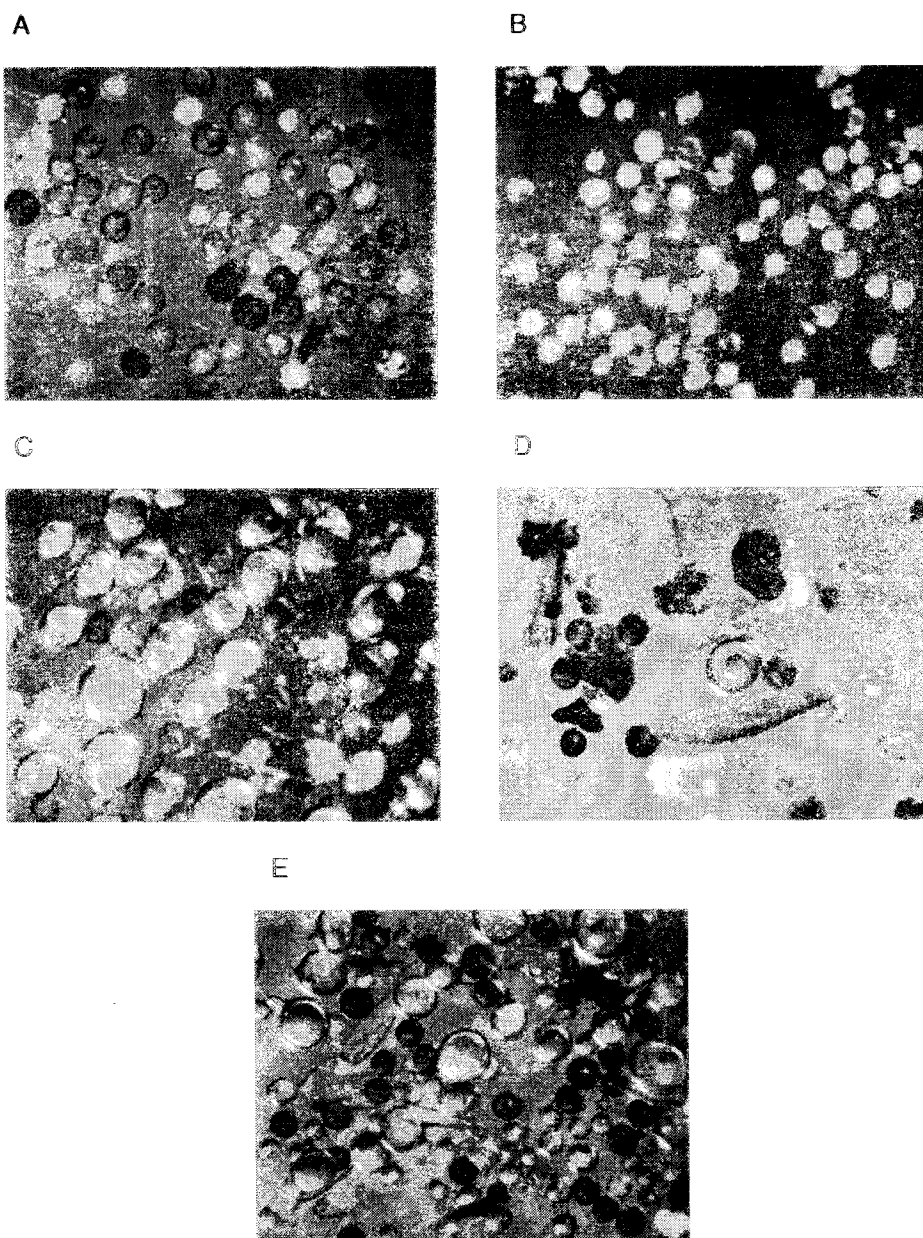


그림 5-16 기주식물별 *Glomus* sp. 접종처리 후 형성된 AMF 포자
(A:콩, B:부추, C:수단그라스, D:질경이, E:바랭이)

위의 실험 결과를 종합해 보면 부추와 질경이 등은 뿌리체내 AMF 감염율은 높았지만 뿌리의 biomass생산량과 포자 생산량 등이 적은 단점을 보였다. 반면에 바랭이와 수단그라스 등이 뿌리의 biomass생산량 및 포자생산량 등이 많아 AMF집중원 생산에 적합한 기주식물로 생각되었다.

2) 번식체 증식용 담체 선발

상이한 담체조합이 AMF집중원 생산을 위한 기주식물인 수단그라스의 생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 그림 5-17과 표 5-6 등과 같다.

수단그라스의 생장에 가장 좋은 담체선발을 수단그라스의 건물생산을 기초로 볼 때 sand : soil = 2 : 1 > vermiculite : soil = 8 : 2 > vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 ≥ sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1 등의 순으로 조사되었다. 담체의 종류별 AMF 집중에 따른 성장촉진 효과는 모든 처리구에서 거의 비슷하게 조사되었지만, 특히 vermiculite : soil = 8 : 2 처리구에서 가장 높게 나타나는 것으로 보였다.

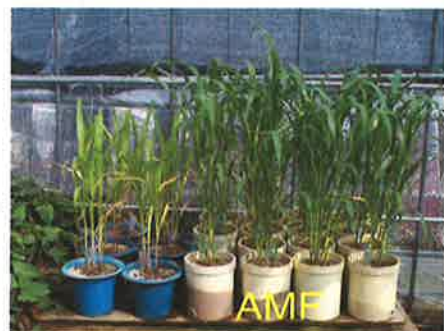


그림 5-17. 국내 토착AMF번식체 증식용 담체선발

표 5-6. 담체의 종류와 혼합비율에 따른 접종원 접종 후 60일의 수단그라스
생장반응

Carrier	AMF	Plant ht. (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Top root length (cm)	Fresh wt. (g/plant)		Dry wt. (g/plant)		Chlorophyll content (mg/100cm ²)
						Top	Root	Top	Root	
T1 ^z	+ ^y	73.1*	6.0*	61.4*	35.5	2.64	8.45	0.89*	0.79	18.0
	-	51.0	5.3	27.3	28.2	1.38	5.66	0.31	0.73	17.5
T2	+	86.7*	5.3	68.0*	35.0	4.91*	10.30*	1.07*	1.40*	22.9
	-	54.7	5.0	39.5	30.5	1.51	6.06	0.44	0.75	21.9
T3	+	58.3	5.0	35.8	34.8	1.25	7.20	0.37	0.70	17.2*
	-	42.6	4.7	34.2	34.1	1.10	5.20	0.20	0.48	15.6
T4	+	89.8*	6.0	88.9*	30.0	4.71*	10.60	1.62*	1.40	22.4*
	-	59.3	5.3	47.1	32.5	2.14	8.70	0.53	0.84	20.7

^zT1 ; vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1, T2 ; vermiculite : soil = 8 : 2,

T3 ; sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1,

T4 ; sand : soil = 6.6 : 3.3

^y+ ; inoculated, - ; non-inoculated

* and ** ; significant at 5% and 1% levels by t-test, respectively

담체의 종류와 혼합비율에 따른 초장의 성장반응을 보면 sand : soil = 6.6 : 3.3과 vermiculite : soil = 8 : 2의 처리구가 가장 좋았으며, sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1의 처리구가 가장 낮았다. 엽수의 성장반응 역시 초장과 비슷한 경향을 보였으며, 특히 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 처리구에서 5% 수준의 처리간 유의성을 보였다. 엽록소함량은 AMF접종원 접종시에 증가하는 경향을 보였으며, sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1 처리구와 sand : soil = 6.6 : 3.3 처리구에서 처리간의 유의성을 보였다. 건물의 biomass생산량을 보면 sand : soil = 6.6 : 3.3 처리구에서 접종원 접종에 따른 가장 현저한 성장촉진 효과를 보였다. 이러한 결과는 AMF 접종효과 뿐만 아니라 담체내 토양(발 흙)의 혼합 비율이 높아질수록 수단그라스의 건물biomass생산량이 증가하였다는 것을 보여주었는데 이

는 배지내의 인산을 비롯한 타 영양분의 함량이 높는데 기인하는 것으로 판단되었다. 상이한 담체의 혼입 비율에 따른 수단그라스의 뿌리체내 AMF감염율과 포자생산량 등을 조사한 결과는 그림 5-18~5-20 등과 같다.

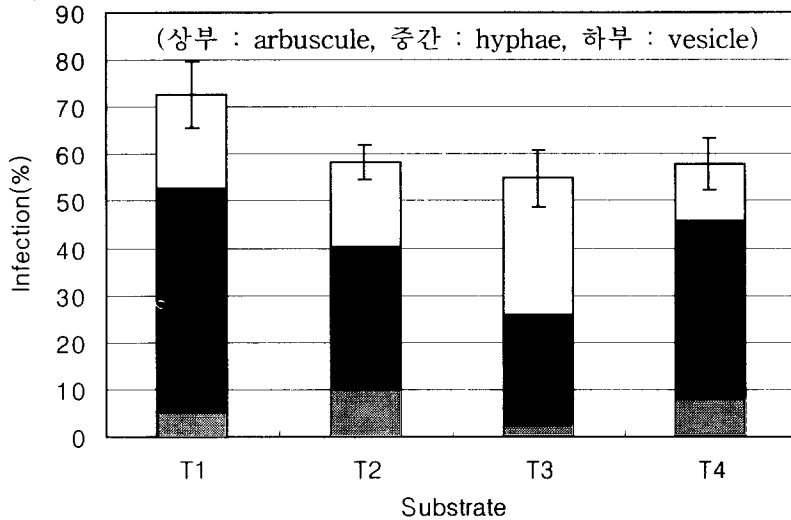


그림 5-18. 담체종류별 AMF접종원의 접종 후 80일의 뿌리체내 AMF 감염율 (T1 ; vermiculite:soil:perlite=8:1:1, T2 ; vermiculite:soil=8:2, T3 ; sand:vermiculite:soil:perlite=4:4:1:1, T4 ; sand:soil=6.6:3.3)

담체의 상이한 조합별 처리가 수단그라스의 뿌리체 내 AMF감염율에 미치는 영향을 보면 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 의 처리구에서 AMF감염율이 약 72% 정도로서 가장 높았고, vermiculite : soil = 8 : 2, sand : vermiculite : soil : perlite = 4 : 4 : 1 : 1 및 sand : soil = 6.6 : 3.3 등의 처리구에서는 AMF감염율이 약 55~58% 정도로 다소 낮은 것을 보여주었다.

뿌리체내 AMF감염율은 상이한 담체종류와 혼입비의 처리간에 차이가 적은 경향을 보인 반면 AMF포자의 생산 밀도를 보면 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1

처리가 건토 1g당 약 28개의 포자를 생산하여 가장 높은 포자 생산 밀도를 보였으며, 그 외의 나머지 처리구는 건토 1g당 약 7~8개 정도의 밀도로 AMF포자를 생산하였던 것으로 조사되었다.

위의 결과를 종합해 보면 수단그라스의 생장은 sand : soil = 6.6 : 3.3 처리구가 가장 좋았고, 뿌리체 내 AMF감염율은 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 처리구가 가장 높았고 나머지는 거의 비슷한 경향을 보였으며, 본 실험결과에서 AMF의 번식체 생산의 관건이 되는 것은 뿌리의 생산량과 감염율인데(Smith와 Read, 1997), 뿌리량이 상대적으로 많은 vermiculite : soil = 8 : 2와 sand : soil = 6.6 : 3.3 처리에 비해 감염율은 오히려 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 처리가 더 높게 나타났으며 그림 5-19의 포자 밀도 역시 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1 처리가 가장 높은 것으로 조사된 점은 토양 물리성에 크게 영향을 받은 것으로 생각되었다. AMF포자 생산은 vermiculite : soil : perlite = 8 : 1 : 1의 처리가 가장 좋았다.

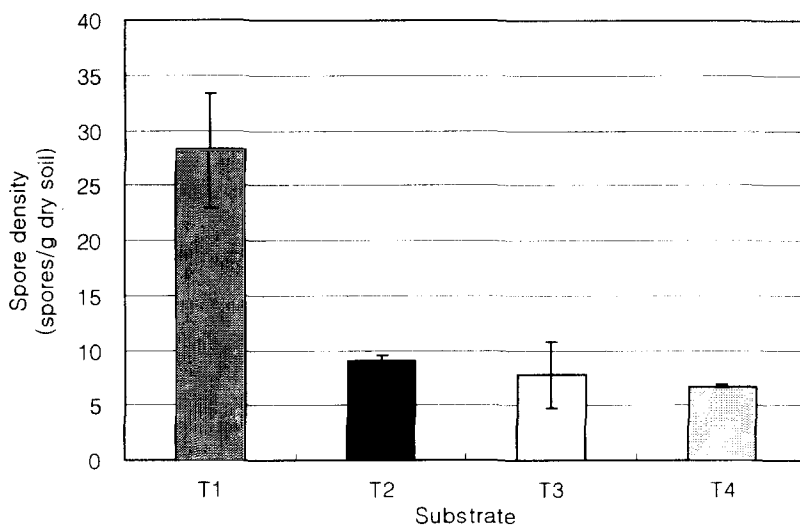


그림 5-19. 담체 종류별 접종원 *Glomus* sp. 접종 후 12주의 포자 생산 밀도 (T1 ; vermiculite:soil:perlite = 8:1:1, T2 ; vermiculite:soil = 8:2, T3 ; sand:vermiculite:soil:perlite = 4:4:1:1, T4 ; sand:soil = 6.6:3.3)

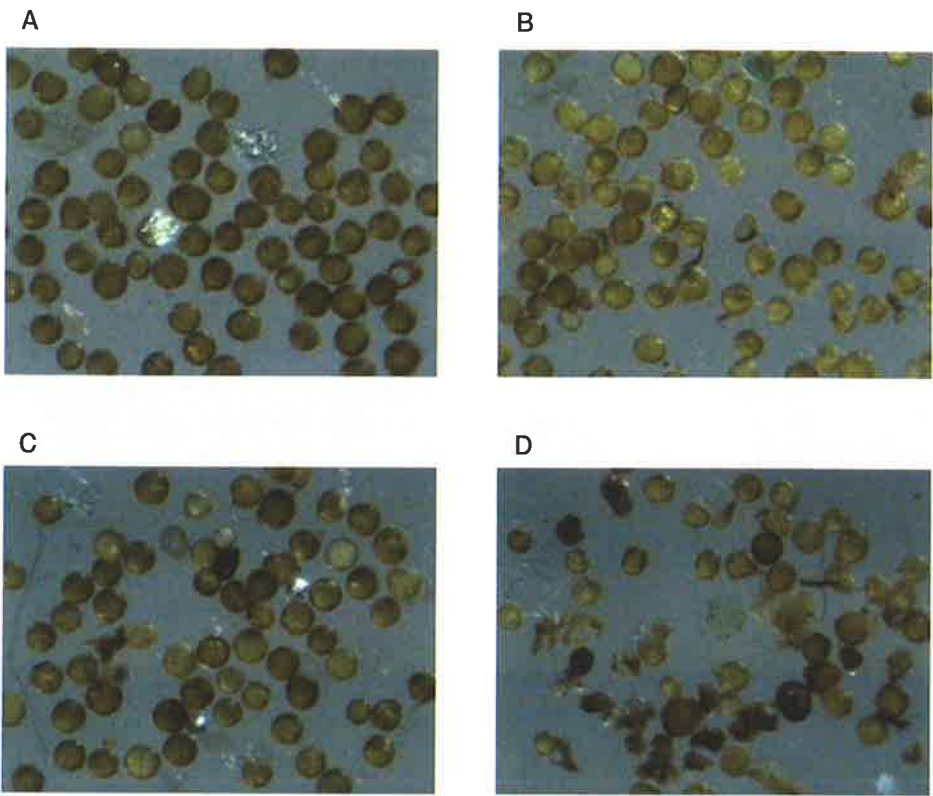


그림 5-20. 담체 종류별 접종원 *Glomus* sp. 접종 실험에서 형성된 AMF포자
 (A ; vermiculite:soil:perlite = 8:1:1, B ; vermiculite:soil = 8:2,
 C ; sand:vermiculite:soil:perlite = 4:4:1:1, D ; sand:soil = 6.6:3.3)

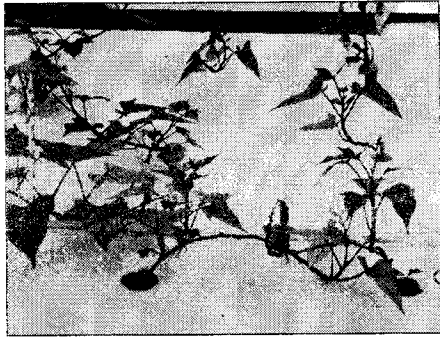
나. 분무경 배양 (Aeroponic culture)

1) 기주식물 선발

분무경 시스템을 이용하여 AMF접종원을 생산하는데 적합한 기주식물을 선발하기 위하여 고구마, 토마토, 수단그라스 및 질경이 등을 재배하였다(그림 5-21).

기주식물로 공시한 식물 중에서 고구마와 토마토가 분무경 재배에 비교적 적합한

것으로 판단되었으며, 수단그라스는 뿌리 부분의 부패로 인해 여름철의 분무경 재배 용으로는 적합하지 않았고, 질경이는 분무경재배에서 뿌리의 생장이 극히 불량하였다.



(고구마)



(토마토)



(수단그라스)



(질경이)

그림 5-21. Aeroponic culture를 위한 host plant 선발

2) 분무양액의 적정 P농도 구명

양액중 3수준의 P농도로 그림 5-22와 같이 실험을 수행하였으며, 그 결과 고구마 지상부의 생육이 P농도가 낮을 경우 불량하였으며, 번식체의 생산량과 직결되는 뿌리의 증식량도 저조하였으나 10 μ M과 20 μ M에서는 성장량이 양호하였다.

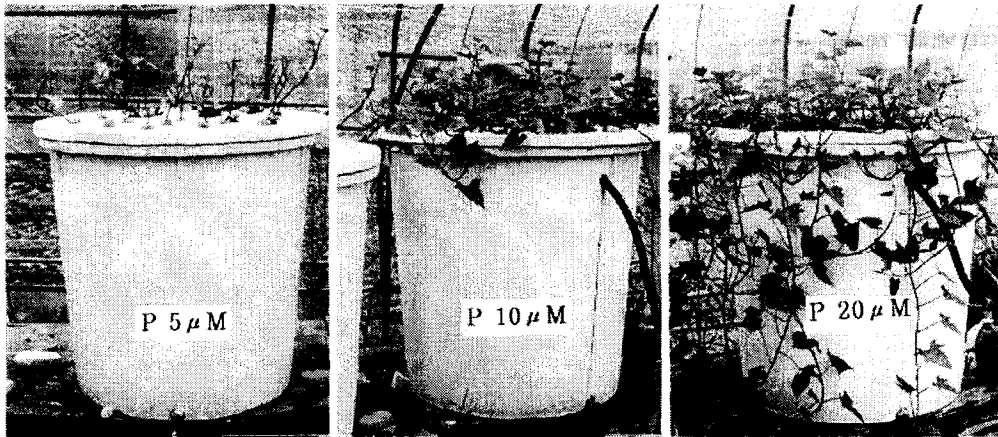
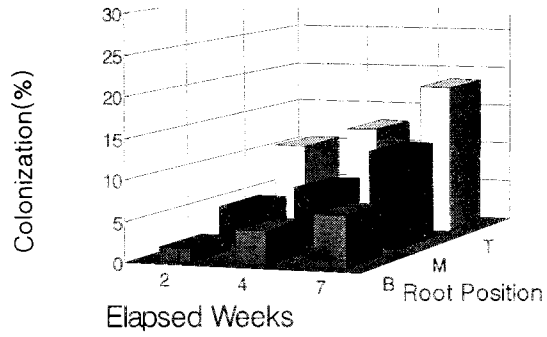
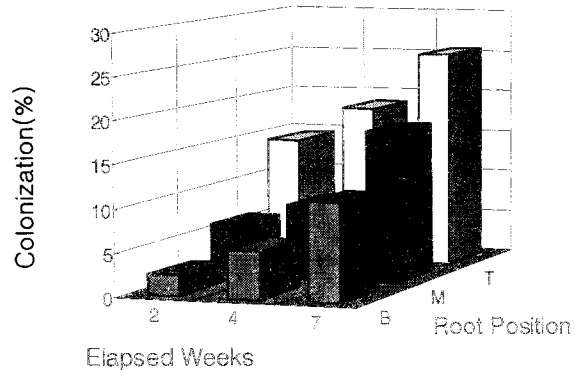


그림 5-22. 양액 내 P농도에 따른 고구마의 성장

P 5 μ M



P 10 μ M



P 20 μ M

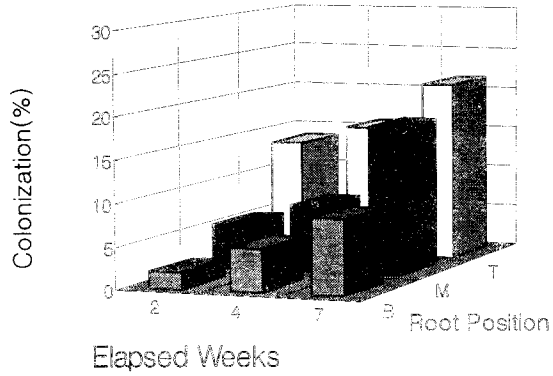


그림 5-23. 치상 초기(7주) 양액 중 인산농도별, 뿌리부위별 균근 감염정도 (T:상부, M:중간부분, B:하부)

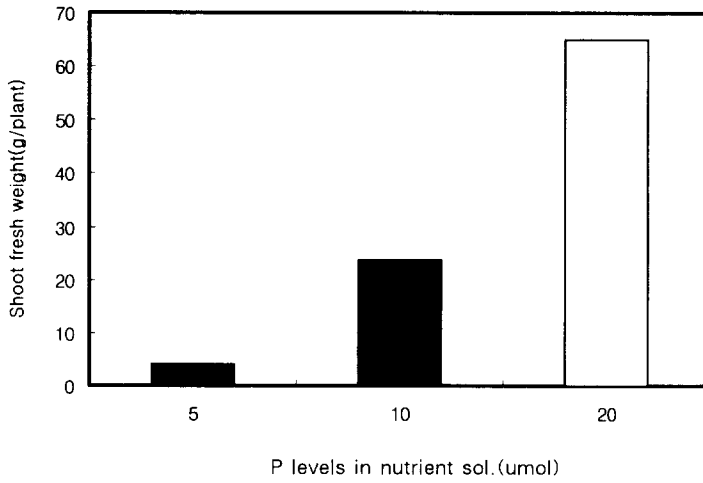


그림 5-24. 양액 중 인산수준별 생육 16주 후의 고구마 지상부생장량

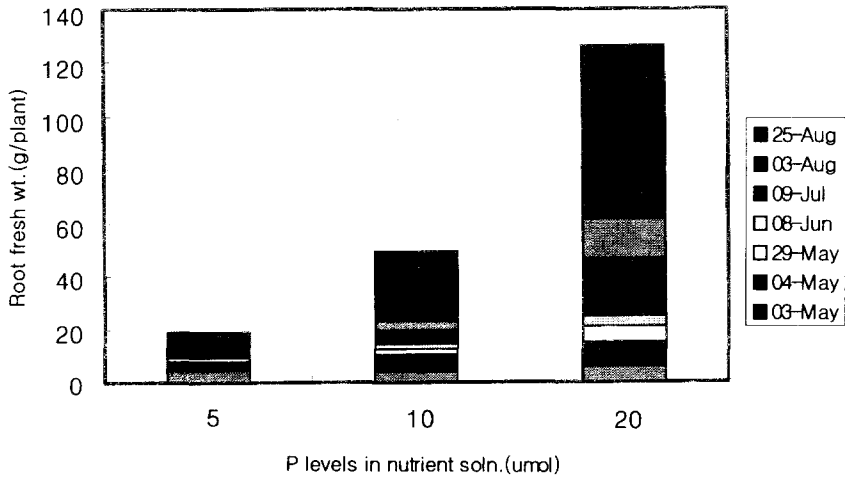


그림 5-25. 양액 중 인산수준별 생육 16주 후의 고구마 지하부생장량 비교

일반적으로 양액이나 토양 중의 인산농도가 높으면 기주식물에 대한 균근감염이 잘 되지 않는다고 알려져 있다. 기존 보고에 의하면 토양을 이용한 pot재배의 경우 인산과 질소의 최고농도가 각각 70ppm과 50ppm을 넘지 않도록 해야 한다고 권장하고 있으며, 수경재배에서 인산농도가 24 μ M에 가까울수록 균근감염이 감소되었다고 보고한 바 있고, Hoagland's solution에 인산농도를 0.3 μ M로 조절하여 접종원을 생산한 경우도 있다.

이와 같이 용액중의 인산농도가 높아 변식체의 증식이 양호하지 못한 결과를 보이기 때문에 인산 수준별(5, 10 및 20 μ M)로 균근감염 및 포자생산 실험을 수행하였다. 고구마 경부로부터 5cm 간격으로 상부(T), 중부(M) 및 하부(B) 등으로 나누어 치상 후 7주일의 뿌리감염 정도를 조사한 결과는 인산농도가 낮을수록 높고, 하부 뿌리로 갈수록 낮아지는 결과를 보여 18.6~26% 감염율을 나타냈다(그림 5-23).

그림 5-24과 5-25은 16주일간 생육시킨 후의 고구마 식물체 지상부생육량과 지하부(뿌리)의 누적량을 생체중으로 표시하였다. 그림에서 보는 결과와 같이 3개 인산수준에서 인산수준이 높을수록 생육량이 많은 결과를 보였는데, 지상부는 인산수준 5, 10 및 20 μ M에서 각각 4.1, 23.6 및 65.4g/주였으며, 지하부 뿌리의 성장량은 각각 19.4, 52.6 및 126.4g/주였다. 또한 각각의 분무배양상으로부터 최종적으로 수확된 감염된 고구마 뿌리의 양은 생체중으로 인산 5 μ M 수준에서 153.2g, 인산 10 μ M과 20 μ M수준에서 각각 544.7g과 872.5g였으며, 수확된 뿌리를 food mixer에 처리한 후 음건하여 측정된 건물중은 각각 29.8g과 41.9g였다.

또한 치상한 16주 후에 자란 뿌리를 수확하여 실체현미경하에서 관찰된 포자사진은 그림 5-26와 같다.



그림 5-26. 고무마 뿌리 표면에 생성된 AMF포자
 [A : AMF 감염시키지 않아 포자생성이 없는 뿌리부분,
 B, C, 및 D : 포자생성된 뿌리(H: hyphae, →: spore)]

그림 5-26의 A는 뿌리의 선단부근으로 아직 포자가 생성되지 않은 뿌리를 보여주며, B, C 및 D는 뿌리표면에 균사와 함께 포자가 형성되어 부착되어 있는 모습이다. 분무양액 중의 인산수준에 따른 포자생산 결과는 인산 5 μ M 처리에서는 포자생산이 불량하였다. 반면에 인산 10 μ M과 20 μ M 수준에서는 인산수준에 관계없이 번식체의 생산이 양호하였다. 기주식물에 종속되어 있는 AMF는 기주식물의 광합성 산물을

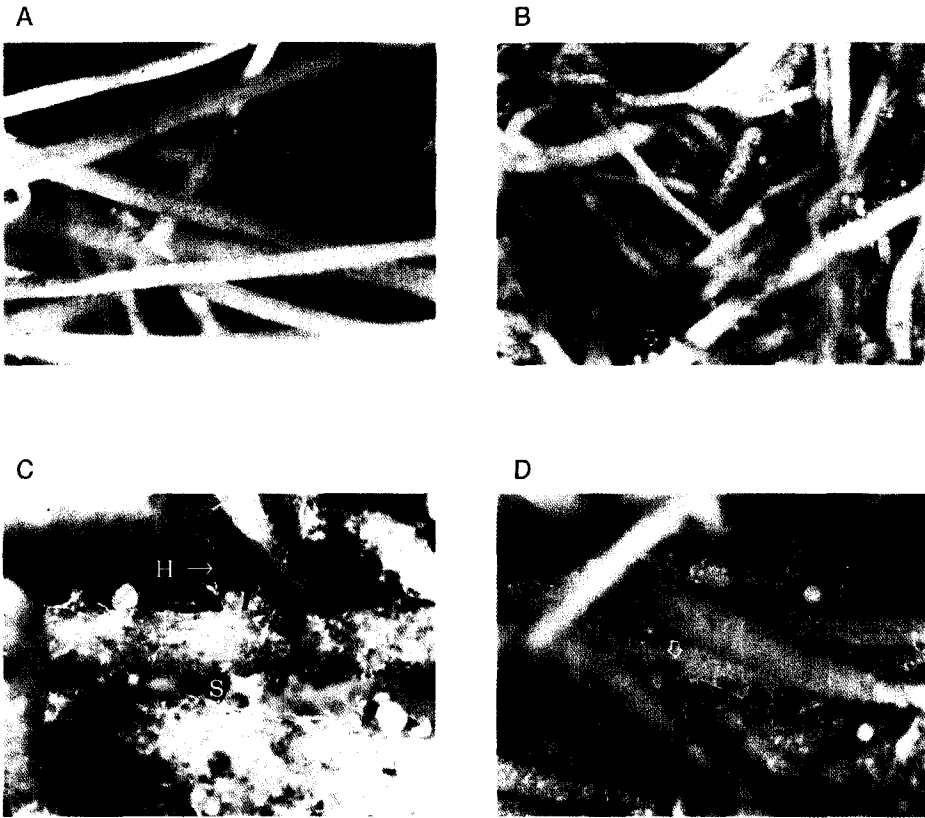


그림 5-26. 고구마 뿌리 표면에 생성된 AMF포자
 [A : AMF 감염시키지 않아 포자생성이 없는 뿌리부분,
 B, C, 및 D : 포자생성된 뿌리(H: hyphae, →: spore)]

그림 5-26의 A는 뿌리의 선단부근으로 아직 포자가 생성되지 않은 뿌리를 보여주며, B, C 및 D는 뿌리표면에 균사와 함께 포자가 형성되어 부착되어 있는 모습이다. 분무양액 중의 인산수준에 따른 포자생산 결과는 인산 5 μ M 처리에서는 포자생산이 불량하였다. 반면에 인산 10 μ M과 20 μ M 수준에서는 인산수준에 관계없이 번식체의 생산이 양호하였다. 기주식물에 종속되어 있는 AMF는 기주식물의 광합성 산물을

에너지원으로 공급받기 때문에 어느 정도의 지상부생육이 유지되어야 한다. 그러나 그림 5-24에서 보는 바와 같이 인산수준 5 μ M에서는 지상부의 생육이 부진하여 균근 협생관계에서 물질의 교환이 순조롭지 못하기 때문에 번식체 생산이 불량한 것으로 판단되었다. 한편 포자형성이 비교적 우수한 뿌리부분을 무작위로 채취하여 생체중 1g을 기준 하여 3반복으로 포자밀도를 조사한 결과 586 \pm 93개로 조사되었고, 분무생육상당 생산된 포자를 계산하면 각각 319,194개와 500,285개로서 총 830,479개의 포자생산이 가능하였으며 육묘작물 pot당 20개씩의 포자를 접종한다고 계산할 때 약 41,525주의 건전육묘 생산이 가능할 것으로 추정되었다.

3) 분무방법별 실험

Aerosol 노즐, Jet spray 노즐 및 Mist 노즐 등을 사용하여 분무방법별 장단점을 비교한 결과는 그림 5-27, 표 5-7등과 같다.

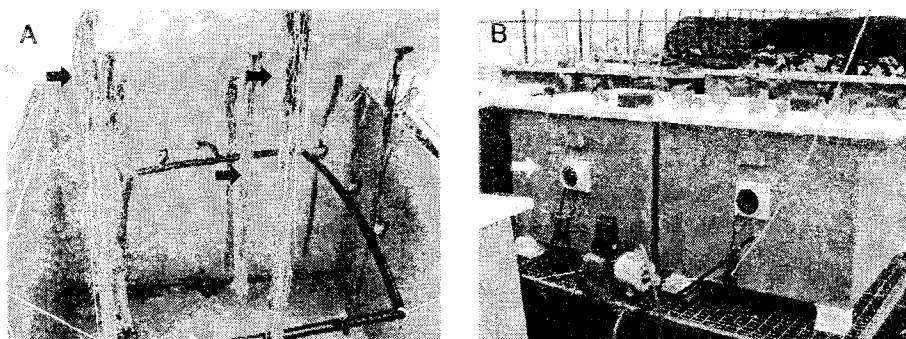
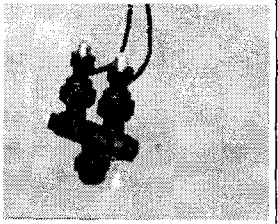
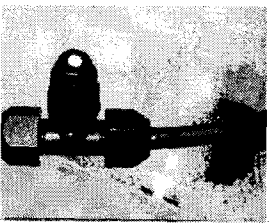
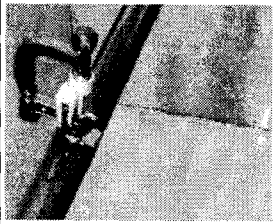


그림 5-27. Mist 노즐로 뿌리에 부딪히는 양액 stress로 인한 뿌리의 손상 및 분무경 재배조 내 적온유지를 위한 Temp. controller와 fan의 이용

[A : Mist 노즐의 양액공급 부위(➡)의 세균발생 저하 현상,
B : 분무경 재배조 내 온도저하를 위한 Temp. controlled-fan의 이용(↔)]

본 실험은 당초계획인 4월부터 수행하였으며, 분무장치는 콤프레샤를 사용하는 Aerosol 노즐, 그리고 일반 전동회전식 펌프를 사용하는 Jet spray 노즐과 Mist 노즐 등을 비교하였다. 여름철의 과도한 분무경 재배조 내 고온으로 인한 뿌리피해를 방지하기 위하여 Temp. controller와 fan을 이용하여 분무경 재배조 내 온도를 외부온도 보다 낮게(3~5℃) 유지되도록 조절하였다. 전반적으로 Jet spray 노즐의 경우 물방울 크기가 35~50 μ m로 작아서 뿌리 부분에 stress를 주지 않아 근계의 상태가 양호한 점으로 봐서 '세라믹 스프레이 노즐' 분무가 바람직하였다.

표 5-7. 분무 노즐의 종류별 장단점 비교

구 분	Aerosol 노즐	Jet spray 노즐	Mist 노즐
분무 노즐			
분무노즐 설치수 (nozzles/ chamber)	3	8	8
양액 분무량	257.7ml/min./Bed (85.8ml/min./nozzle)	505ml/min./Bed (63.1ml/min./nozzle)	6,930ml/min./Bed (866.3ml/min./nozzle)
장 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양액의 소모량이 적고 분무양액의 사가 미세하게 공급되어 뿌리생장에 좋다. ○ 별도의 양액탱크를 설치할 필요가 없다 (재배조 하단에 양액을 용이하게 저장할 수 있다). ○ 설치하는 노즐의 수가 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분무되는 양액의 입자가 미세하여 뿌리생장에 양호하다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 노즐의 막힘이 없다. ○ 분무되는 양액량이 많아 양액이 뿌리에 충분히 적셔진다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대용량의 컴프레서가 필요하다. ○ 노즐이 막혀 양액공급이 중단될 가능성이 있다. ○ 컴프레서에서 공급되는 압축공기열로 인해 뿌리가 장해를 입을 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 펌프가동에 필요한 오일때문에 포자형성이 장해를 입을 수 있으나 세라믹 피스톤 펌프를 이용하면 이를 방지할 수 있다. ○ 노즐이 자주 막혀 노즐의 점검과 교체가 번거롭다. ○ 양액이 분사되는 각도가 적으므로 노즐각도를 세밀하게 조정하여야 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 뿌리에 부딪치는 양액으로 인한 stress 때문에 뿌리가 손상되며 근모나 세균의 발생이 적어질 수 있다(그림 5-27A). ○ 다량의 분무양액이 필요하다.

AMF 포자형성을 보면 P농도 실험에서는 뿌리표면에 포자가 형성된 반면 분무방법별 실험과 광량별 실험에서는 지금까지 AMF 포자가 뿌리표면에 형성되는 것은 발견되지 않았으나 실험을 시작한 기간을 고려해 볼 때 '99년 10월 초순까지는 AMF 포자가 충분히 형성될 것으로 생각된다.

4) 광량별 번식체 증식량 실험

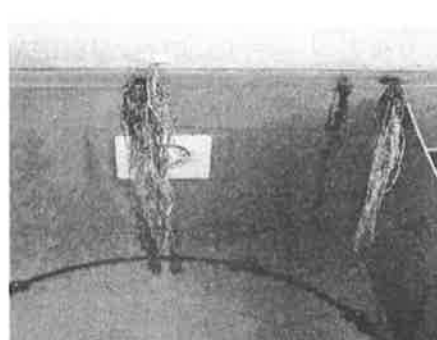
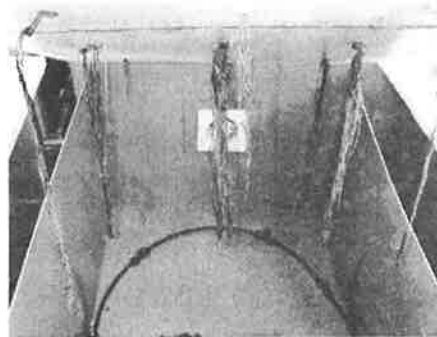
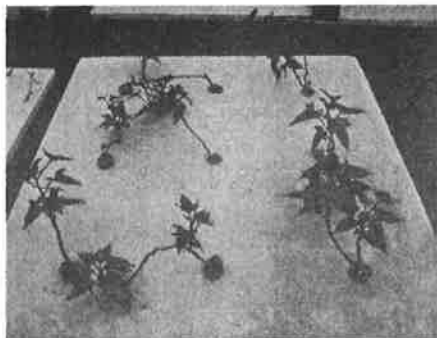
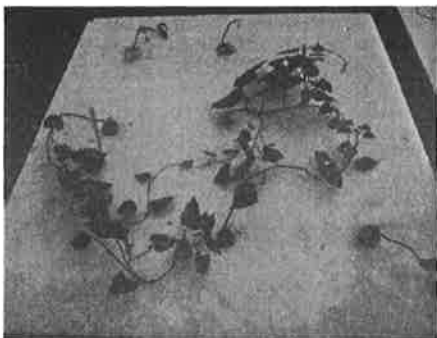
광량별 AMF 번식체 증식량 실험을 위하여 차광망의 설치수에 따른 광량의 분포를 보면 표 5-8와 같다.

광량이 가장 많았던 정오를 기준으로 볼 때, 온실 외부의 노지는 광량이 2,742.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.였으며, 온실 내부의 무차광 처리구는 1,855.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$., 온실 내 차광망 1점은 777.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$., 차광망 2점은 273.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$. 그리고 차광망 3점은 103.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$. 등이었다. 정오에 측정된 온실외부의 광량인 2,742.7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.을 100%로 볼 때 온실외부의 광량에 비해 온실내 무차광은 67.6%, 온실 내 차광망 1점은 28.4%, 차광망 2점은 10.0%, 그리고 차광망 3점은 3.8% 정도의 광량이 식물체에 공급되는 것으로 측정되었다(표 5-8).

표 5-8. 차광망의 겹수에 따른 광량(PAR)의 분포 ('99. 6. 8.에 측정)

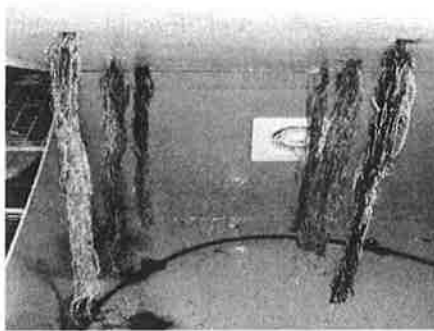
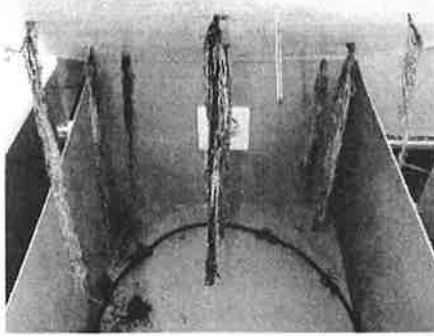
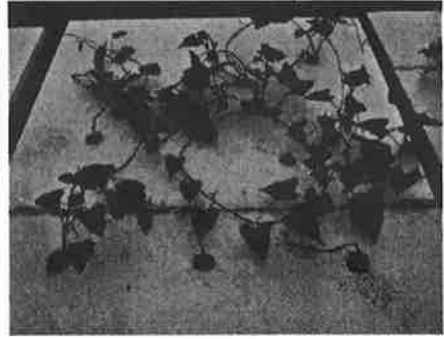
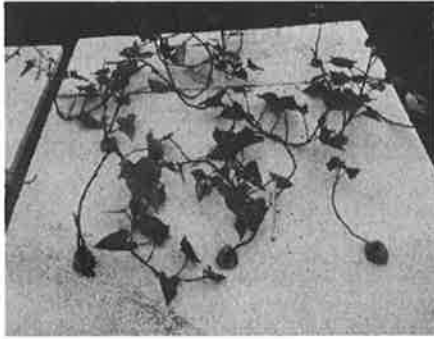
시간	PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.)				
	노지	온실 내 무차광	온실 내 차광망 1점	온실 내 차광망 2점	온실 내 차광망 3점
10:00	2,324.5	1,548.4	617.2	228.3	67.6
12:00	2,742.7	1,855.2	777.9	273.9	103.9
14:00	2,488.8	1,791.3	546.0	200.9	80.9
16:00	1,444.4	889.3	310.4	101.0	37.6
18:00	405.4	204.5	76.3	25.2	7.6

PAR : Photosynthetically Active Radiation



(차광망 3겹)

(차광망 2겹)



(차광망 1겹)

(온실 내 무차광)

그림 5-28. 광량별 고구마 생육반응

차광망을 이용한 광량수준별 분무경 고구마의 성장반응을 보면 그림 5-28과 같은데, 사진에서 보는 바와 같이 광량이 많을 수록 고구마의 지상부와 지하부생장이 좋았으며, 차광망 3겹 처리의 고구마 생장이 가장 불량하였는데 차광망 2겹과 3겹의 경우 고구마의 지상부가 도장할 뿐만 아니라 지하부, 즉 뿌리의 생장이 불량하고 뿌리량도 적은 결과를 보여 AMF접종원 생산에는 적합하지 않은 것으로 보였다. Jarstfer와 Sylvia(1995)의 보고에 의하면 $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$. 정도의 광량만으로도 AMF접종원 생산이 가능하다고 한 점을 감안하면 온실 내 차광망 1겹 처리가 여름철의 온도상승을 억제할 뿐만 아니라 분무경을 이용한 AMF 포자 생산시 기주식물의 생장에 필요한 광량을 충분히 공급해 줄 수 있는 것으로 보였다.

제 4 절 결 과 요 약

1. 선발균주의 기초배양증식

선발된 국내토착 AMF균주를 기초배양증식하는 방법으로서 Funnel Technique을 이용한 개체포자의 접종밀도별 Pot 증식실험과 *in vitro*에서 Ri t-DNA 기법을 이용하여 AMF번식체를 배양증식하는 실험을 수행하였다.

개체포자의 Pot증식실험에서 초기에는 포자 1개와 5개 접종이 10개 및 50개 접종 처리보다 외관적으로 기주식물의 biomass생장량이 적은 경향이 뚜렷하였으나 생육이 진전됨에 따라서 처리간에 식물생장차이가 적어지는 결과를 보였다. 전반적으로 접종하는 포자수가 많을 수록 식물체 biomass량이 많아지고 감염을 또한 높아지는 경향이였다.

개체포자의 접종밀도에 따른 포자생산량을 보면 포자접종밀도가 높아짐에 따라 포자생산량도 많아지는 경향을 보였다. 포자수 1개와 5개 접종처리구의 경우 포자생산

밀도는 10개미만 이었으며, 10개와 50개 접종시에는 각각 평균치가 25개와 40개 정도의 수준으로 AMF포자형성이 많은 것으로 나타났다

*In vitro*에서 Ri t-DNA 기법을 이용한 AMF번식체 증식에 관한 연구에서 포자접종에 필요한 포자표면 살균효과로는 Chloramine T 2% + Tween 80/two drops(20분) 처리와 Streptomycin 200ppm + Gentamycin 100ppm(20분)의 살균처리가 오염 제거에 가장 효과적이었다. Pot 배양한 AMF감염 기주식물의 뿌리절편의 대치배양(Dual culture)으로 형성된 포자의 크기는 약 50 μ m 정도였고, 포자형태는 원형 또는 타원형의 포자가 균사의 중간부위에 형성되었으며, 12주 동안의 배양결과 plate당 약 1,200개 정도의 포자가 형성되었다.

2. 접종원 대량 배양증식의 최적화 기술

토착 AMF접종원의 대량 배양증식의 최적화기술을 개발하기 위하여 두과식물, *Allium*속 식물, 화분과 식물 및 잡초류 등의 번식체 증식용 기주식물을 비교 선발하고, 적정비율의 담체혼합 비율을 비교하여 선발하였다. 또한 분무경을 이용하여 기주식물의 종류, 양액내 P농도, 분무방법 및 광량수준 등이 식물 성장과 AMF접종원 생산 등에 미치는 영향을 조사하였다.

기주식물의 종류별 뿌리에 대한 AMF감염율은 부추 > 질경이 = 바랭이 > 콩 > 수단그라스 등의 순이었으며, AMF포자 생산밀도는 바랭이가 건토 g당 약 68개 정도로서 가장 많았으며, 수단그라스와 콩이 약 20~25개 정도로 많았으며, 질경이는 약 5개 정도로서 가장 적었다. 포자 생산면에서 가장 좋은 배양토는 vermiculite(8) : 발 토양(1) : perlite(1) 혼합토양이었다.

분무경에서 AMF접종원 생산을 위한 기주식물 선발에서는 고구마와 토마토가 분무경 재배에 비교적 적합한 것으로 판단되었으며, 인산농도별 AMF번식체 생산은 P 5 μ M보다 10 μ M과 20 μ M에서 양호하였으며 뿌리생체중 1g당 586 \pm 93개의 포자가 형성되었다.

3종류의 분무방법(Aerosol 노즐, Jet spray 노즐 및 Mist 노즐)별 비교실험에서는 양액의 입자가 미세하여 뿌리생장에 양호한 Jet spray 노즐이 가장 양호한 것으로 보였다.

광량별 실험에서 하절기의 AMF접종원 생산 시설내의 온도상승을 막기 위해 차광망을 설치할 경우 1겹이 바람직하였고, 차광망 밑의 광량은 $777.9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 정도가 적당하였다.

제 6 장

원예작물에 대한 AMF 접종효과

제 6 장 원예작물에 대한 AMF 접종효과

제 1 절 서 설

AMF는 근본적으로 활물기생하는 특성 때문에 절대공생관계로 인식하고 상당히 다양한 식물의 종에서 그 효과가 인정되고 있다(Smith와 Read, 1997). 특히 근년에 와서 육묘과정을 거쳐서 본 포장에 이식하여 재배하는 딸기, 토마토 및 담배와 같은 경제작물 뿐만 아니라 화훼류의 재배에서 그 효과가 보고되고 있으며(Wu와 Lin, 1998), 이들 실험에서 뚜렷이 나타나는 혜택으로서는 개화기의 단축 및 절화 상품성을 높여 주고 수분장해와 뿌리 병에 대한 저항성을 갖게 하는 것으로 보고(Auge와 Stodola, 1990 ; Giovannetti, 1990)된바 있으며, AMF접종을 종자파종시(실생번식)나 영양번식의 경우 발근이 시작될 때부터 감염되도록 처리하여 생육초기부터 식물 생육 증진효과를 얻을 수 있는데, 그 예로서 기내번식 후 순화시기(Granger 등, 1983; Brazati 등, 1992; Guillemin 등, 1995)나 기내번식(Mathur 와 Vyas 1995), 그리고 미세번식으로 생산한 바나나 유묘의 순화처리(Adriana 등 1999)와 미세번식한 *Sesbania sesban*의 이식장해를 경감시키는 효과(Subban 등 1998) 등의 연구가 보고된 바 있다.

이상과 같이 미세번식의 경우와 삽목시의 초기생육에는 자연생태계에서 흔히 얻을 수 있는 토착의 유익한 미생물의 혜택을 받을 수 없으므로 이 때에 유익한 미생물의 혜택을 얻을 수 있도록 하기 위해 종자의 파종이나 삽목시부터 AMF를 접종함으로써 발근 직후의 초기생장에 효과가 기대되며, 정식 후 유묘활착에 좋은 영향을 미칠 것으로 예상된다.

일반적으로 접종원을 처리하였을 때 1~2주 내에 기주식물의 뿌리에 감염을 개시하여 균사를 분지함으로써 근계(root system)가 발달되지 않은 초기생육단계에서 수분이나 양분의 유효성을 증가시켜 줌으로 AMF에 감염된 식물은 그렇지 않은 식물

에 비해 탁월한 성장반응을 유도할 수 있기 때문에(Conway와 Bagyaraj, 1984) 본 장의 연구에서는 원예작물의 육묘단계, 미세번식한 백합종구, 영양번식의 몇 작물과 고형배지 오이와 토마토에 대하여 AMF접종원을 시기별로 처리하여 그 효과를 확인하고자 생육반응과 수량성 등을 비교 검토하였다.

제 2 절 연구수행내용 및 방법

1. 원예작물 육묘 단계의 AMF 접종효과

오이의 경우, 품종은 장죽칭장으로 초세는 중정도이며, 저온에서도 과실의 비대 및 신장이 양호한 특성, 반축성 전용 품종이며, 착과성은 50~60%정도를 유지한다. 파종일은 2000년 4월 5일에 하였다. 육묘방법은 종자를 27℃~28℃의 발아상에서 10시간 침종한 후 25℃ incubator에서 36시간 최아시켜 32공 tray에 파종하였다. 상토는 부농상토 : sand : vermiculite = 2 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 접종원은 대조구의 무접종과 파종시 접종으로 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 조사항목은 초장, 주근장, 엽수, 엽면적 및 건물중을 5일 간격으로 조사하였다.

토마토의 품종은 선명으로 하였으며, 파종일은 2000년 4월 19일에 하였다. 육묘 방법은 종자를 27℃~28℃의 발아상에서 10시간 침종한 후 25℃ incubator에서 2-3일 동안 최아시켜 32공 tray에 파종하였다. 상토는 부농상토 : sand : vermiculite = 2 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 접종원은 대조구로 무접종 처리와 파종시 접종으로서 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 조사항목은 초장, 주근장, 엽수, 엽면적 및 건물중을 5일 간격으로 조사하였다.

고추의 품종은 햇살고추로 하였으며, 파종일은 2000년 3월 28일에 하였다. 육묘 방법은 종자를 27℃~28℃의 발아상에서 10시간 침종한 후 25℃ incubator에서 3일정

도 최아시커 32공 tray에 파종하였다. 상토는 시판 부농상토 : sand : vermiculite = 2 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 처리내용은 접종원 무처리의 대조구와 파종시 접종으로 나누었고, 접종원으로는 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 조사항목은 초장, 주근장, 엽수, 엽면적 및 건물중을 10일 간격으로 조사하였다.

가지의 경우에 품종은 햇가락장 가지로 하였으며, 파종일은 2000년 4월 8일에 하였다. 육묘 방법은 종자를 27℃~28℃의 발아상에서 10시간 침종한 후 25℃ incubator에서 4일정도 최아시커 32공 tray에 파종하였다. 상토는 부농상토 : sand : vermiculite = 2 : 1 : 1의 비율로 혼합하여 사용하였다. 처리내용은 대조구인 무처리와 파종시 접종으로 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 조사항목은 초장, 주근장, 엽수, 엽면적 및 건물중을 10일 간격으로 조사하였다. 이상의 4종류의 원예작물 유묘단계에 대한 AMF접종원 접종처리 실험에서 얻어진 조사결과는 필요에 따라 t-test를 거쳐 결과해석 하였다.

2. 조직배양 백합종구에 대한 AMF 접종효과

백합의 종구는 전남농업기술원에서 분양 받아 실험하였다. 백합의 종구는 약 0.5cm의 정도의 유아가 나온 상태였으며, 이를 크기별로 4등분으로 나눈 뒤(1g 이하, 1.0-1.5g, 1.5-2.0g, 2.0g 이상) 증류수를 채운 초음파세척기로 4분 정도 처리한 후 다시 증류수로 세척하여 종구의 뿌리에 붙어 있는 균근을 제거하였다. 파종은 2000년 1월 30일에 하였으며, 상토는 마사토 : perite : vermiculite : cocovita = 2 : 1 : 1 : 1의 비율로 배합하여 사각포트(가로 52.5×세로 40.7×높이 20.5cm)에 재식거리 5cm 간격으로 파종하였다. 접종원은 대조구, 파종시 접종으로 앞의 실험에서와 같이 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종 처리하였다. 조사는 생육조사와 균근의 감염 여부를 조사하며, 정식 후 2개월 후, 4개월 후, 6개월 후로 나누어 조사하였다.

3. 고품배지 국화재배에서 AMF 접종효과

가. 공시재료 및 처리내용

절화용 국화(백광) *Chrysanthemum inorifolium* RAMAT를 공시하여 혼합배지경 [cocopeat : perlite = 1 : 1(v/v)]으로 재배하였다. 국화는 32공 트레이에 모래 : vermiculite = 1 : 1(v/v)을 충전한 다음 국화 엽을 3매 정도로 하여 4월 20일에 삼목하였다. 처리구는 접종원 무접종구(대조구), 삼목시 접종원 처리구 및 정식기 접종원 처리구 등으로써 접종시기에 따른 처리효과를 비교하였으며 완전임의배치법으로 배치하여 실험을 수행하였다.

나. 접종원 처리

접종원은 *Glomus* sp.를 100~200 spores/plant 정도의 밀도로 접종 처리하였다. 삼목시 접종원 처리구는 상토의 상단에 *Glomus* sp.를 접종하고 얇게 복토하여 그 위에 국화를 삼목하였으며, 정식기 접종원 처리구는 국화 삼수를 혼합배지경에 재식간격 13cm×13cm 정도로 하여 정식직전에 삼수의 하단에 *Glomus* sp.를 접종하였다.

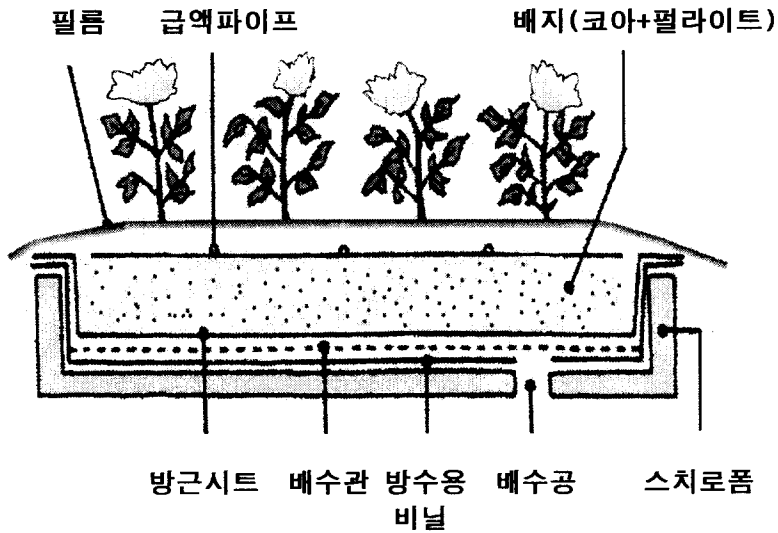


그림 6-1. 혼합배지경을 이용한 국화의 양액재배

다. 혼합배지경 치상

혼합배지경의 베드는 규격이 3.45m × 0.66m × 0.15m (L×W×H)인 플라스틱 성형베드로서 베드 하단에 나일론 천을 설치하고 그 위에 혼합배지를 펄라이트 1호 : cocopeat = 1 : 1(v/v)의 비율로 충전하였다(그림6-1). 베드 상단에 점적호수를 2줄로 설치하고 국화를 13cm×13cm의 재식간격으로 5월 17일에 정식한 후 점적식으로 양액을 공급하였다. 양액은 일본원예시험장액을 순환펌프와 타이머를 이용하여 하루에 4시간 간격으로 15분씩 공급하였으며, 비순환식으로 관리하였다. 국화의 양액재배에 사용된 영양액의 화학적 조성은 일본원예시험장 처방액으로 다음과 같다. 증류수 1,000 l 당 KNO₃ 403.3g, NH₄H₂PO₄ 76.6g, MgSO₄ · 7H₂O 246.3g, Fe-EDTA 16.0g, Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 472.0g, MnSO₄ · 5H₂O 0.16g, H₃BO₃ 0.29g, ZnSO₄ · 4H₂O(7H₂O) 0.02g, CuSO₄ · (5H₂O) 0.01g, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ 0.003g 등으로 조성하여 1/2배액과 3/4배액으로 관리하였다.

라. 조사항목

조사항목으로는 시설 내 기온과 배지 내 온도를 매일 오후 1시에 측정하였고, 배액되는 양액의 pH와 EC를 매일 측정하였다. 접종원의 접종 시기별 처리 효과를 비교하기 위하여 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 주근장(최대근장), 엽·경·근 생체중 및 건물중, 뿌리체 내 감염율 및 식물체내 무기이온함량 등을 AMF접종원 처리 후부터 1달 간격으로 조사하였다. 또한, 처리에 따른 경시적인 식물 생장을 비교하기 위하여 초장, 경경, 엽수 및 엽록소 함량 등을 1주일 간격으로 조사하였으며, 화아형성일과 개화소요일 등을 조사하였다. 개화소요일은 처리구내에서 전체의 40% 정도가 개화된 시기까지의 소요일로 측정하였다. 처리구간에 꽃의 품질을 조사하기 위하여 총화중, 설상화수, 화고, 화폭 및 화경장 등을 개화 후에 조사하였으며, 절화국 수확 후에 배지내 포자 증식량 등을 계수하여 비교하였다.

4. 포도, 방울토마토 및 장미의 영양번식에서 AMF 접종효과

포도(캠벨 어얼리와 거봉)의 삽수는 전남농업기술원에서 분양 받아 실험에 사용하였는데, 삽수는 겨울철 휴면기에 들어간 충실히 자란 일년생 가지를 채취하여 5℃ 정도의 저장고에 보관하였다. 2000년 3월 25일 삽수를 눈을 2~3개정도 남기고 잘랐으며, 상부는 눈 위로 2cm정도에서 가지에 직각으로 자르고 중간의 눈은 제거하였으며, 하부의 눈은 마디에서 눈 쪽으로 눈을 45°각도로 잘라 눈을 제거함과 동시에 발근 부위를 넓혔다. 또한 발근의 촉진을 위해 물에 삽수를 약 3cm정도 담근 후 Rooton(IBA분말)을 묻혀서, 발 흙 : 모래 : 코코블록 = 1 : 1 : 1의 비율로 배합하여, 사각포트(가로 52.5×세로 40.7×높이 20.5cm에 재식거리 5cm 간격으로 pot당 35개씩 2반복으로 심었다. 접종원은 대조구, 파종시 및 정식시 접종으로 *Glomus* sp. 접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 접종 처리에 따른 반응조사는 생육조사 와 균근의 감염 여부를 조사하며, 정식 후 2개월 후, 4개월 후, 6개월 후, 최종조사 총 4번에 걸쳐 수행하였다.

방울토마토(삐삐)는 2000년 3월 7일에 파종(부농상토 100%)하여 4월 6일에 정상적으로 전개된 4엽 정도의 육묘를 우선 칼로서 2엽을 제거한 후, 3매의 엽을 부착하여 줄기의 지체부 1cm 정도의 위치를 45°각도로 잘라 발근촉진제 Rootoon을 발라서 심었다. 상토는 부농상토: 모래 : 코코블럭 =2 : 1 : 1의 비율인 혼합조제상토를 사용하였다. 접종원은 대조구와 삼목시 접종으로 *Glomus* sp.속의 접종원을 약 2g/plant씩 tray에 접종하였다. 삼목 후 곧 물을 충분히 관주하여 건조를 방지하였고, 차광막을 씌워 강한 빛의 투과를 막았으며, 야간에는 3중 비닐을 씌워 온도하강과 수분증발을 막았다.

장미(Suplesse)는 2000년 3월 2일에 농장에서 삼수를 채취하였으며, 삼수는 엽이 1~2매 정도 부착된 상태에서 전정가위로 5cm정도의 크기로 자른 후 하단부는 45°각도로 절단하여 발근부위를 넓혔다. 삼수의 지상부 절단면은 촛농을 떨어트려 증산작용과 병균의 침입을 막았으며, 발근의 촉진을 위해 발근촉진제 Rootoon을 발라, 암면을 채운 tray에 물을 넣고 삼수를 식재하였다. 접종원은 대조구, 삼목시 및 정식시접종으로 *Glomus* sp.접종원을 약 2g/plant씩 접종하였다. 관수는 1회/1일 저면관수를 하였으며, 차광막을 3중으로 씌워 빛을 차단하였고 4월 5일에는 새로운 싹이 나오기 시작하여 차광막을 제거하였으며, 치상 온도는 주간 20℃ 이상, 야간 15℃ 내외로 조절된 하우스에서 생육시켰다.

5. 오이와 방울토마토 고품배지 재배에서 AMF 접종효과

가. 공시품종, 파종 및 육묘

공시품종은 장죽청장 오이와 삐삐 방울토마토를 공시하였다. 상토는 시판상토 : 발토양 : Vermiculite = 2 : 1 : 1을 혼합한 혼합조제토에 파종하였다.

발아와 육묘에 있어 오이는 2000년 2월 28일에 구례 오이시험장 환경제어가 되어 있는 발아상과 육묘상에서 재배하였으며, 방울토마토는 2000년 3월 4일 실험실에서 발아시킨 후 비닐하우스 내에서 재배하였다.

나. AMF균근균 처리 및 정식

오이 정식은 육묘상에서 24일 묘를 3월 24일 양액재배 베드에 설치한 코코비타 슬라브에 하였으며, 접종원은 *Glomus* sp.로서 약 2g/plant씩 tray에 접종하였고, 처리는 대조구, 파종시 접종, 정식시 접종으로 나누어 처리하였다.

방울토마토의 정식은 육묘상에서 35일묘를 4월 8일에 양액재배 베드에 설치한 앞과 동일한 코코비타 슬라브에 하였다. 접종원은 *Glomus* sp.를 약 2g/plant씩 tray에 접종하였으며, 대조구, 파종시 접종, 정식시 접종으로 나누어 처리하였다.

다. 양액관리

고형배지경에서 사용한 양액은 오이용 야마자끼양액을 AMF접종원의 감염을 돕기 위해, 초기 4주일간은 1/2농도로 점적관수 하였고, 그 이후는 3/4농도로 관수하였으며, 인산은 1/2로 고정하였다. 방울토마토의 경우 변형한 야마자끼액의 3/4배액, 인산은 1/2배 액으로 고정하여 타이머를 부착한 순환펌프로 점적관수하였다.

라. 생장과 수량 및 구성요소조사

AMF 접종 유·무에 따른 오이(24일)와 방울토마토(34일)육묘의 소질을 알아보기 위해서 초장, 엽수, 경장, 엽면적, 생체중 및 건물중, 등의 성장반응조사와 과중, 과장, 과경 등의 수량 및 구성요소조사를 하였으며 방울토마토는 당도의 경시적 변화를 조사하였다. 조사한 결과는 통계적 유의성을 검증하기 위해 t-test와 LSD검정을 수행하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 원예작물 육묘단계의 AMF 접종효과

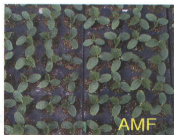
가. 오이 육묘의 성장반응

4종의 원예작물 실생육묘에 대한 AMF접종원 효과를 확인하기 위한 실험의 2000년 4월 27일의 결과는 아래 그림 6-2와 같다. AMF 접종효과는 일반적으로 2주일 후부터 외형적으로 확인되었다.

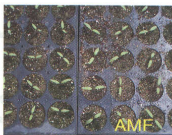
먼저 오이는 4월 5일에 조제된 상토에 파종한 후 10일부터 5일 간격으로 5회에 걸쳐 육묘 생장의 특성을 조사한 것이 표 6-1이다.

AMF접종 처리가 무접종 처리한 것보다 생육특성이 양호한 경향 이었으며, 초장의 경우 접종처리와 무접종 처리간에 약간 컸으나 유의성은 인정되지 않았고, 엽수는 두 처리간에 비슷하였다. 또한 엽면적은 20일 후, 26일 후, 31일 후에 생체중은 20일, 26일 후에, 근생체중은 20일과 26일 후에, 그리고 경건물중은 31일에 유의성이 인정되었다. 특히 엽면적은 20일 이후에 유의성이 인정되어 접종원 처리의 효과가 크게 나타났다.

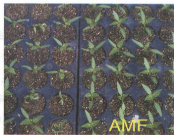
(오이 : 접종 21일 후)



(고추 : 접종 18일 후)



(가지 : 접종 18일 후)



(토마토 : 접종 20일 후)

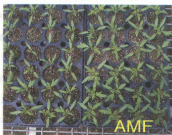


그림 6-2. 오이, 고추, 가지 및 토마토의 실생묘에 대한 AMF 접종효과

나. 토마토의 성장반응

토마토는 4월 19일에 조제된 상토에 파종한 후 5월 15일(파종 후 26일 쉐)부터 5일간격으로 5회에 걸쳐 유도 성장 특성을 조사한 것이 표 6-2이다. 초장의 경우 접종처리와 무접종 처리간에 조사 전 기간동안 유의성이 인정되었으며 염수는 두 처리간 유의성이 없었다. 엽면적은 36일 후와 42일 후에, 주근장은 31일 후, 36일 후, 47일 후의 조사시에 고도의 유의적인 차이가 있었으며, 주당 건물중의 결과에서도 파종 후 36일째의 고도의 유의적인 차이가 인정되었다.

(오이 : 접종 21일 후)



(고추 : 접종 18일 후)



(가지 : 접종 18일 후)



(토마토 : 접종 20일 후)

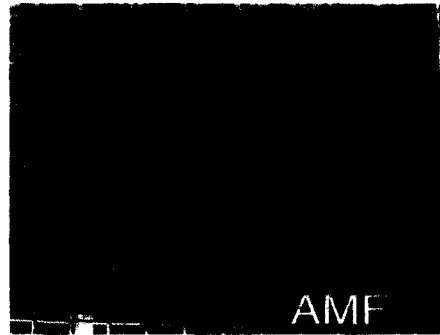


그림 6-2. 오이, 고추, 가지 및 토마토의 실생묘에 대한 AMF 접종효과

나. 토마토의 성장반응

토마토는 4월 19일에 조제된 상토에 파종한 후 5월 15일(파종 후 26일 째)부터 5일간격으로 5회에 걸쳐 유묘 성장 특성을 조사한 것이 표 6-2이다. 초장의 경우 접종처리와 무접종 처리간에 조사 전 기간동안 유의성이 인정되었으며 엽수는 두 처리간 유의성이 없었다. 엽면적은 36일 후와 42일 후에, 주근장은 31일 후, 36일 후, 47일 후의 조사시에 고도의 유의적인 차이가 있었으며, 주당 건물중의 결과에서도 파종 후 36일째의 고도의 유의적인 차이가 인정되었다.

표 6-1. AMF 처리에 따른 오이 유묘 성장반응

파종 후 조사일	AMF	초장 (cm)	엽수 (개/주)	엽면적 (cm ²)	주근장 (cm)	건물중 (g/주)	
						지상부	지하부
10일	- ^z	3.6	-	-	8.0	0.03	-
	+	4.1	-	-	8.2	0.03	-
15일	-	7.0	-	-	12.5	0.07	0.01
	+	7.1	-	-	14.5	0.08	0.02
20일	-	12.4	2	54.3	17.5	0.24	0.01
	+	12.5	2	64.3**	17.6	0.27	0.03
26일	-	19.2	3	100.0	21.5	1.06	0.10
	+	20.0	3	134.4**	22.1	1.45	0.14
31일	-	21.4	3	128.1	21.4	0.75	0.20
	+	23.1	3	166.4**	23.3	0.95*	0.23

^z- ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by t-test

표 6-2. AMF 처리에 따른 토마토 유묘의 성장 반응

파종 후 조사일	AMF	초장 (cm)	엽수 (개/주)	엽면적 (cm ²)	주근장 (cm)	건물중 (g/주)	
						지상부	지하부
26일	- ^z	5.6	-	-	2.8	0.01	-
	+	6.2*	-	-	3.5	0.01	-
31일	-	9.1	3	17.2	13.4	0.10	0.01
	+	11.3**	3	18.6	19.0**	0.22	0.01
36일	-	11.0	4	19.1	14.3	0.16	0.05
	+	14.8**	5	31.0**	24.6**	0.28**	0.08
42일	-	16.0	5	33.9	15.3	0.32	0.08
	+	20.0**	5	44.6*	17.0	0.34	0.09
47일	-	2.01	6	53.4	13.8	0.55	0.10
	+	25.0**	6	54.2	17.5**	0.58	0.11

^z- ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by t-test

다. 고추 유묘의 성장반응

고추의 경우는 3월 28일에 조제된 상토에 파종한 후 4월 14일(파종 후 17일 쉐)부터 10일 간격으로 4회에 걸쳐 유묘 성장 특성을 조사한 것이 표 6-3과 같다. 초장의 경우 접종처리와 무접종 처리간에 전 조사기간 동안 고도의 유의성이 인정되는 차이를 보였으며, 엽수 조사결과는 통계적인 유의차를 인정할 수 없었고, 엽면적의 경우는 육묘 후기인 38일과 48일 후에 고도의 유의성이 인정되는 차이를 나타냈으며, 주근장과 지상부 건물중에서 최종 조사일인 파종 후 48일 쉐인 6월 3일에 고도의 유의적인 차이가 인정되었다. 이와 같이 유묘의 생육이 진전됨에 따라서 AMF감염이 활성화되기 때문에 그만큼 생육의 차이는 커지게 된다고 생각되었다.

표 6-3. AMF 처리에 따른 고추 유묘 성장반응

파종 후 조사일	AMF	초장 (cm)	엽수 (개/주)	엽면적 (cm ²)	주근장 (cm)	건물중 (g/주)	
						지상부	지하부
18	- ^z	3.7	-	-	16.3	0.01	-
	+	4.5**	-	-	17.3	0.01	-
28	-	8.5	3	11.9	10.4	0.05	0.02
	+	10.0**	3	14.1	11.8	0.07	0.03
38	-	14.3	7	32.0	16.7	0.24	0.09
	+	17.2**	8	46.8**	19.3	0.30	0.10
48	-	22.9	14	70.0	21.4	0.67	0.36
	+	29.0**	16	103.3**	30.9**	1.16**	0.48

^z- ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test, respectively.

라. 가지 유묘의 성장반응

한편 가지는 4월 8일에 조제된 상토에 파종한 후 4월 27일(파종 후 20일 쉐)부터 10일 간격으로 유묘 생육 특성을 조사한 것이 표 6-4인데, 초장, 엽수의 경우 접종 처리와 무접종 처리간의 차이는 보였지만 통계적 유의차는 인정되지 않았으나 엽면적의 경우에

파종 후 20일, 30일, 40일 조사시에 AMF 접종 처리간에 고도의 유의성이 확인되었고, 주근장 역시 단계별로 다소의 차이는 보이지만 파종 후 20일 조사시에만 유의적인 차이를 보였다. 또한 건물중에서도 통계적 유의차는 없으나 차이는 발견할 수 있었다. 따라서 가지의 경우도 다른 원예작물에서와 같이 AMF접종원 처리의 효과가 엽면적의 증가에서 뚜렷하게 나타나고 있어서 이러한 결과는 AMF의 이용이 원예작물을 이식하기 전 초기 생육단계에 접종원을 처리함으로써 근계가 완전하지 않은 시기부터 균근균이 기주작물에 주는 혜택을 기대할 수 있으며, 특히 유묘를 정식할 때 겪게되는 이식장해를 완화할 수 있다고 본다.

표 6-4. 가지 AMF 처리에 따른 유묘 성장반응

파종 후 조사일	AMF	초장 (cm)	엽수 (개/주)	엽면적 (cm ²)	주근장 (cm)	건물중 (g/주)	
						지상부	지하부
20	- ^z	6.9	3	3.6	5.2	0.01	-
	+	7.0	3	5.0**	6.5**	0.12	-
30	-	12.6	4	33.6	13.3	0.20	0.02
	+	13.1	1	44.8**	15.3	0.25	0.05*
40	-	18.3	6	108.2	19.8	0.71	0.16
	+	19.4	6	145.0**	20.1	0.78	0.19
50	-	22.8	8	165.8	21.8	0.82	0.34
	+	25.2	9	209.7	23.0	1.18	0.37

^z- ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test

마. AMF감염과 식물체 무기성분

표 6-5는 원예작물 육묘 단계인 파종 후 4주의 뿌리의 감염율을 조사한 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 오이를 제외한 공시작물에서 vesicle과 arbuscule의 형성은 관찰되지 않았고 다만 균사 조직만 관찰되어 균사 구조에 의한 감염율을 계산하였다. 고추와 오이가 9%수준의 감염을 보이는 반면 토마토(1.3%)와 가지(4.9%)는 비교

적 낮은 감염율을 나타냈다. 또한 표 6-6은 파종 후 4주의 유묘지상부의 무기성분을 분석한 결과로서 미량원소인 철분과 아연 함량에서 다소간의 차이가 있으나 생육초기의 시료이기 때문에 일정한 경향을 보이지 않았다.

표 6-5. 유묘 단계 원예작물의 파종 4주 후의 AMF감염 상태

작물별	AMF	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
오이	- ^z	0	0	0	0.0
	+	1.47	7.80	0	9.3
토마토	-	0	0	0	0.0
	+	0	1.28	0	1.3
고추	-	0	0	0	0.0
	+	0	9.60	0	9.6
가지	-	0	0	0	0.0
	+	0	4.88	0	4.9

^z- : non-inoculated, + : inoculated

표 6-6. 원예작물 유묘 단계(파종 후 4주)에서 엽의 무기성분 분석결과

성분별	오 이		방울토마토		고 추		가 지	
	- ^z	+	-	+	-	+	-	+
P(%)	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
K	0.10	0.11	0.07	0.08	0.10	0.08	0.09	0.10
Ca	0.06	0.05	0.05	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04
Mg	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
Fe(mg/kg)	28.30	30.04	15.16	15.54	20.45	21.53	18.35	19.24
Mn	7.07	7.43	7.26	7.19	7.52	7.73	7.61	7.62
Cu	1.01	0.90	0.07	0.05	0.27	0.29	0.19	0.21
Zn	2.46	2.54	1.73	1.77	2.13	2.20	1.96	2.04

^z- : non-inoculated, + : inoculated

2. 조직배양 백합종구에 대한 AMF 접종효과

가. 종구비대와 생육반응

처리 후 60일 째의 종구 성장 결과를 그림 6-3에 나타내었다. 중량별 모든 수준에서 AMF접종 처리가 종구중량의 증가가 확인되었으며 그 결과는 표 6-8과 같다.

주근장에서 보면 종구중 2g이상을 제외한 처리에서 유의적인 차이를 보였고, 구의 생체중 결과에서도 2g이상을 제외한 종구 처리에서 통계적인 유의차를 보이면서 구의 비대속도가 빠름을 확인하였다. 건물중에서도 종구중 1g이하에서만 고도의 유의차가 인정되었지만 AMF접종 처리구들에서 건물중의 증가를 나타냈다.

나. 엽록소 함량 변화

백합의 종구를 치상한 후 44일 째와 66일 째에 백합의 엽록소 함량을 SPAD로 측정 한 값이다(표 6-7). 2회의 조사에서 공히 AMF를 처리한 구에서 통계적인 유의차는 인정되지 않지만 엽록소의 함량이 높았으며, 또한 종구 무게 1.5~2.0g/plant에서 엽록소의 함량이 많았다. 4월 7일 조사에서는 종구의 무게가 가장 무거운 2.0g의 경우에는 1.5~2.0g의 종구 보다도 8~10mg/cm²정도가 감소되는 경향을 보였다. 또한 조사시기에서는 44일 후 보다도 66일 후에서 엽록소의 함량이 다소 감소하였는데 이는 기존의 엽이 노화되면서 새로운 엽이 생성되기 때문으로 해석된다.

표 6-7. 백합 종구의 무게와 조사 시기에 따른 엽록소 함량 (mg/100cm²)

종구무게	1차 (3월 15일)		2차 (4월 7일)	
	AMF+	AMF-	AMF+	AMF-
1.0g 이하	47.90 ± 2.35	44.14 ± 1.95	43.81 ± 2.86	42.25 ± 2.90
1.0 - 1.5g	50.65 ± 3.16	48.70 ± 2.43	49.13 ± 3.59	44.63 ± 3.25
1.5 - 2.0g	51.84 ± 2.67	50.31 ± 2.30	49.40 ± 2.06	46.85 ± 2.77
2.0g 이상	51.17 ± 2.44	48.33 ± 4.60	39.20 ± 3.92	38.12 ± 3.83

표 6-8. 접종 60일 후의 백합 종구에 대한 AMF 접종효과

종구중량별	AMF	주근장 (cm)	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)	
			구	뿌리	구	뿌리
1g이하	+ ^z	11.80 ^{***}	1.50 ^{**}	1.04 [*]	0.50 ^{**}	0.10
	-	7.64	0.78	0.62	0.24	0.04
1~1.5g	+	11.00 [*]	2.16 [*]	1.48 ^{**}	0.64	0.10
	-	9.80	1.60	0.74	0.52	0.09
1.5~2g	+	14.80 [*]	2.72 [*]	1.76	0.80	0.10
	-	11.40	2.00	1.10	0.56	0.10
2g이상	+	12.50	3.20	1.83	1.00	0.13
	-	9.40	2.70	1.03	0.93	0.10

^z- : non-inoculated, + : inoculated

^{*}, ^{**} and ^{***} ; Significant at 5%, 1% and 0.1% levels by t-test, respectively

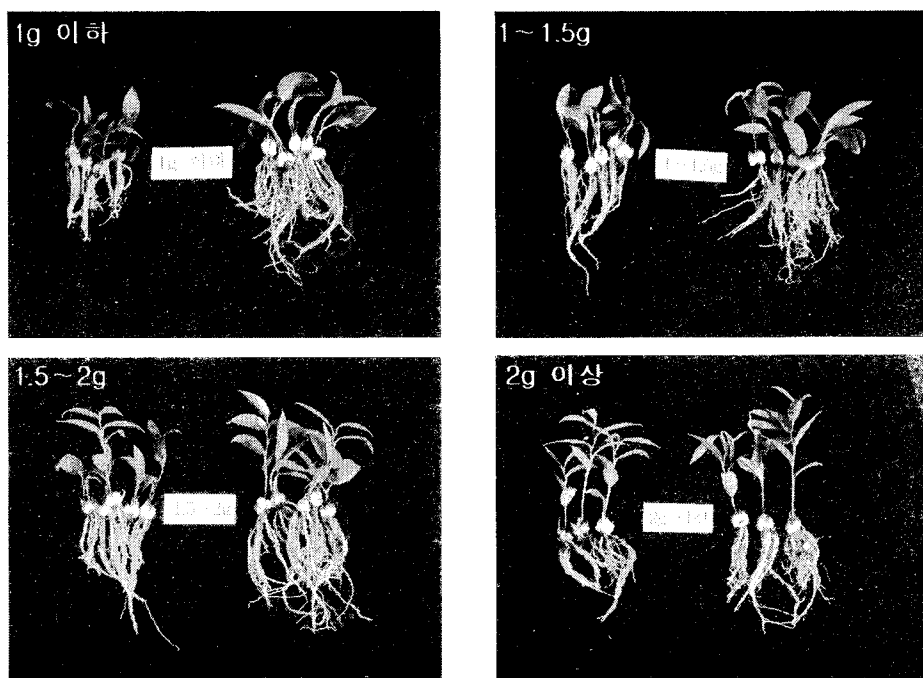


그림 3. AMF 접종 후 60일 썬의 백합 종구 생장비교

표 6-9. AMF 접종 13주 후의 백합종구 뿌리의 감염비교

종구무게	AMF	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
1g이하	- ^z	0	0.00	0	0.0
	+	0	23.40	0	23.4
1~1.5g	-	0	0.00	0	0.0
	+	0	15.76	0	15.8
1.5~2g	-	0	0.00	0	0.0
	+	0	17.76	0	17.8
2g이상	-	0	0.20	0	0.2
	+	0	46.70	0	46.7

^z- : non-inoculated, + : inoculated

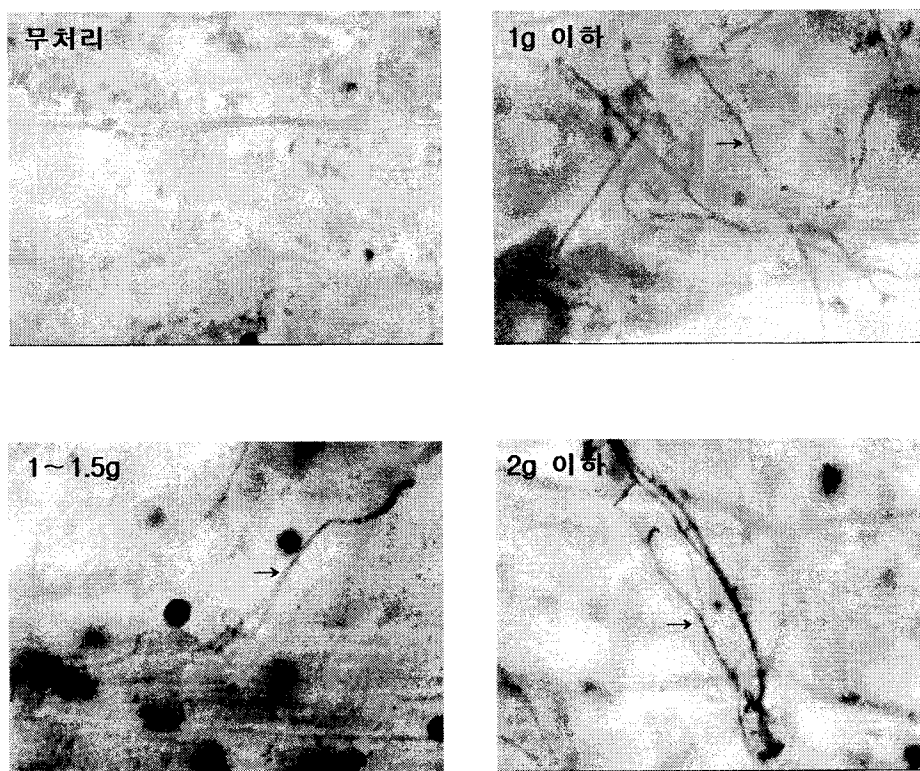


그림 6-4. AMF 접종 처리에 따른 백합 뿌리의 감염사진(→:분지된 균사)

다. AMF감염율

표 6-9와 그림 6-4는 AMF접종 13주 후의 백합 뿌리감염율과 뿌리 내에 분지된 균사구조의 사진을 나타내고 있다. 먼저 전반적인 감염율은 15.8~46.7%범위를 나타냈으며 뿌리를 염색한 후 감염여부를 판정하는 감염구조 중 낭상체(vesicle)와 수지상체(arbuscule)는 거의 관찰되지 않았으며 주로 균사구조(화살표)만 확인되었다.

3. 고품배지 국화재배에서 AMF 접종효과

가. AMF처리 국화 유묘의 정식전 성장반응

국화(백광)의 삼목시 AMF 접종 처리가 국화 삼수의 활착과 성장 등에 미치는 영향을 조사한 결과는 그림 6-5, 표 6-10과 같다. 삼목시 AMF접종원 처리에 따라서 삼수의 활착율이 높아질 뿐만 아니라 국화 삼수의 전반적인 초기 생장이 촉진되었다. AMF 접종 후 4주에 조사한 결과에 따르면 무접종구의 경우 삼수의 활착비율이 76.9%인 반면 *Glomus* sp.를 접종 처리한 국화 삼수는 활착비율이 99.9%로서 활착이 현저히 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, AMF접종원의 처리에 따라서 국화 삼수의 지상부와 지하부 등의 생장이 촉진되었다.

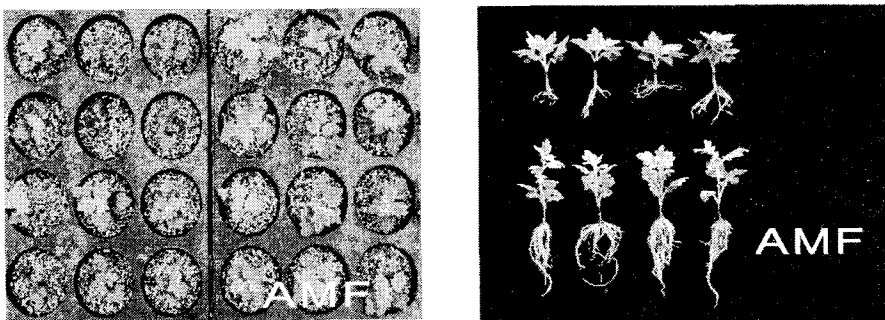


그림 6-5. 국화(백광) 삼수에 대한 *Glomus* sp.의 접종 후 4주의 성장 반응

특히, AMF 접종 처리구의 주근장과 측근수 등이 무접종구에 비해 약 2배 정도로 현저히 증가하였는데 이러한 뿌리생장 촉진효과는 생육 후반기에 식물체의 생장을 전반적으로 촉진시키는 것으로 생각되었다. 즉, AMF접종원의 접종 처리가 국화의 건전묘 생산에 좋은 영향을 미친 것으로 판단되었다. 정식직전에 국화 뿌리에 대한 AMF감염율을 보면 무접종구는 감염율이 0%인 반면 접종구는 3.6% 정도인 것으로 확인되었다(표 6-10).

표 6-10 삼목시 접종원 처리에 따른 삼목 후 2주와 4주의 국화 성장특성

2 주											
접종원	총생체중(g/주)		엽수	측근수	주근장(cm)						
AMF-	0.80		5	26.6	1.3						
AMF+	1.09*		6	29.6	3.8						
4 주											
접종원	초장 (cm)	엽수	측근수	주근장 (cm)	AMF 감염율(%)	활착비율 (%)	생체중 (g/주)		건물중		
							지상부	지하부	지상부	지하부	
AMF-	4.7	8	26.8	4.73	0.0	76.90	1.03	0.20	0.16	0.02	
AMF+	6.6*	10*	79.8**	10.6**	3.9*	99.99**	1.28	0.56**	0.22	0.07**	

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by t-test, respectively

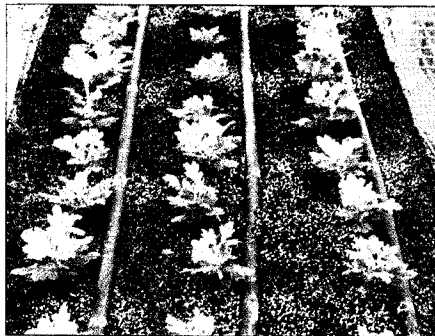
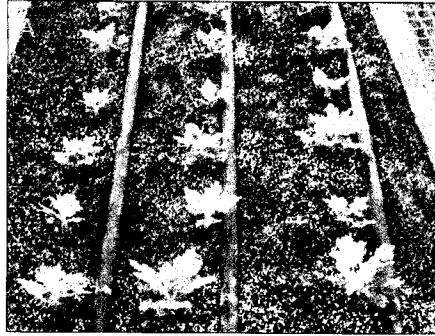


그림 6-6. 국화 혼합배지경에서 *Glomus* sp.의 접종에 따른 정식 후 2주의
생장반응 (A : 무접종구, B : 정식기 접종, C : 삼목시 접종)

나. AMF 접종 처리 국화의 정식 후 생육반응

AMF를 접종한 고품배지경 국화재배시의 그 생육반응을 정식 후 2주에 비교한 사진은 그림 6-6과 같다. AMF접종원 접종에 따른 국화의 성장촉진 효과는 삼목시접종 처리구 뿐만 아니라 정식시에 접종처리한 경우에도 성장촉진 효과가 확인되었다(그림 6-6, 표 6-11).

표 6-11. AMF 처리 시기별 정식 후 8주 국화의 성장반응

접종원 처리시기	초장 (cm)	엽수	엽면적 (cm ²)	주근장 (cm)	총생체중			총건물중			엽록소 함량 (mg/100cm ²)
					------(g/주)-----						
					엽	경	근	엽	경	근	
대조구	37.2	47.0	406.6	20.5	19.9	11.6	8.2	5.4	3.3	2.2	47.4
삼목시	52.0**	48.7	687.1*	27.3	35.9*	27.0*	26.6*	9.6*	8.0*	7.2	50.9
정식시	48.5**	49.0	493.5	29.0*	28.6	26.2*	24.0*	7.8	7.6*	9.4*	49.0
LSD($\rho=0.05$)	6.3	6.3	223.5	7.9	11.2	13.8	19.6	3.1	4.1	5.4	9.1
($\rho=0.01$)	9.6	9.6	338.5	12.0	16.9	20.9	29.7	4.8	6.2	8.2	13.8

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by LSD

표 6-11은 정식 후 8주에 AMF접종원 처리별 국화의 성장반응을 조사한 결과로서 무접종구에 비해 삼목시 접종 처리구와 정식시 접종 처리구의 국화 생장이 더 좋은 것을 확인할 수 있었다. 생육 시기별 접종효과는 정식시에 AMF접종원을 접종하는 것보다 삼목시에 접종한 경우가 국화 유묘의 근계가 충분히 발달하지 않은 시기인 초기생육을 향상시킨 것으로 해석할 수 있으며, 표에서와 같이 초장의 경우는 대조구에 비해 AMF접종원 처리가 고도의 유의성있는 차이를 보이며, 뿌리와 줄기의 생체중과 경건물중에서는 접종시기에 관계없이 통계적 유의적인 차이가 인정되고 있으나 삼목시 중 처리의 엽면적, 엽생체중 및 건물중 등은 5%의 유의성이 인정되었다.

한편 그림 6-7은 AMF 접종에 따른 국화의 초장, 엽수 및 엽록소 함량을 정식 후 3주 부터 9주까지 경시적인 변화를 나타낸 것으로 초장의 경우 정식 후 3주까지는 접종시기에 차이를 보이지만 그 후 4주부터는 대조구와 비교할 때 접종원 처리 시기에 관계없이 초장이 비슷해 보이나 8주 이후에 가서는 접종원 처리 여부와 무관하게 초장이 비슷해지는 경향을 보였는데 이는 이 때부터는 개화가 시작되는 시기이기 때문인 것으로 판단되었다. 본 실험의 경우 국화의 초장이 다소 작은 이유는 삼수 채취에 이용한 국화의 모주가 노화되었던 것에 기인한 것으로 판단되었다.

엽수의 경시적인 변화를 보면 4주까지는 삼목시 접종 > 정식기 접종 > 무접종구의 순으로 차이를 보였으나 7월 5일 조사시인 6주부터는 삼목시와 정식시 접종 처리의 엽수가 거의 같아지면서 무접종 처리구와는 약 10개 내외의 큰 차이를 보였다.

또한 엽록소의 변화에서도 앞의 엽수의 변화와 같은 양상으로 정식 후 3주 조사시는 삼목시 접종 > 정식기 접종 > 무접종구 의 순으로 뚜렷한 차이를 보였으나 4주 조사시부터는 접종원 처리시기에는 영향을 받지 않고 다만 무접종 처리에 비해서 엽록소함량이 많은 것으로 나타났으며, 삼목시와 정식기에 AMF를 접종 처리한 경우에 약 $5\text{mg}/100\text{cm}^2$ 이상 증가하는 경향을 보였으며, 이러한 엽록소 함량의 차이는 생육초기부터 현저하게 나타나고 있다. 이상과 같이 초장, 엽수 및 엽록소의 차이는 결국 광합성 율의 증가와 관련되어 국화 절화의 품질 및 수량에 직접적인 영향을 미친 것으로 해석되었다.

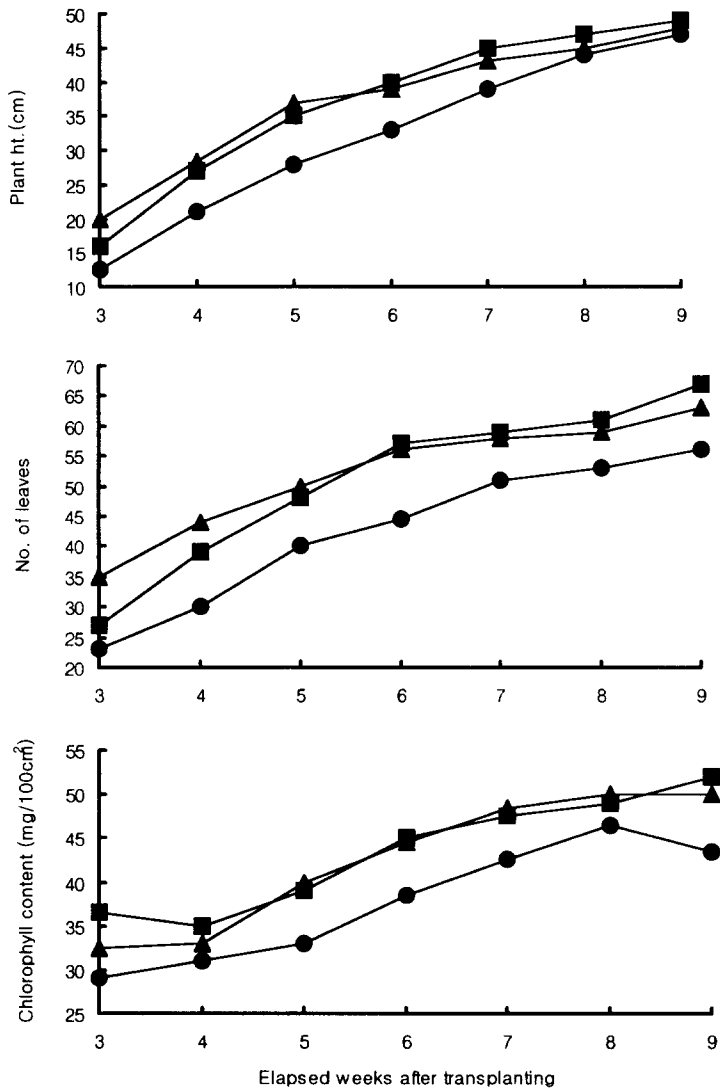


그림 6-7. AMF 접종 처리에 따른 국화의 초장, 엽수 및 엽록소 함량 변화
 (●—● : 대조구, ▲—▲ : 삼목시, ■—■ : 정식시)

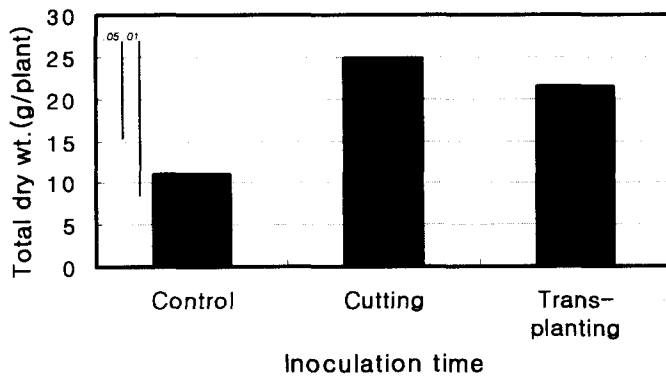
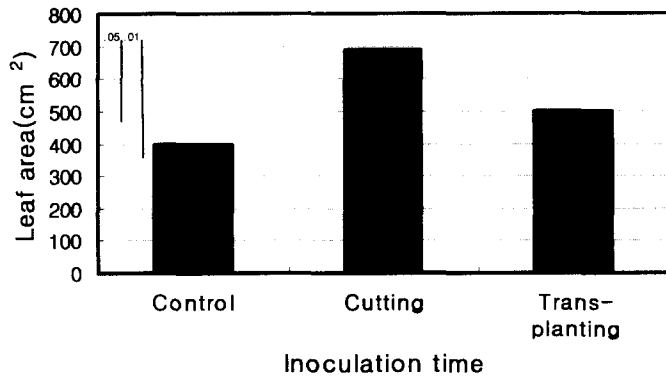


그림 6-8. AMF 접종 처리에 따른 국화의 엽면적과 총건물중

그림 6-8은 정식 후 8주에 조사한 AMF 접종 처리한 국화의 엽록소 함량과 총 건물중을 나타낸 결과이다. 엽면적의 경우 삼목시 접종>정식시 접종>무접종 처리의 순으로 작아졌으며, 대조구가 406.6cm²인 반면 삼목시 접종 처리는 687.1cm²로 280.5cm²의 차이를 나타냈다. 국화 식물체 총건물중에서는 무접종구 대조구와 AMF 접종 처리들간에 통계적인 유의차가 인정되는 건물의 증가를 보여주었다.

다. 개화소요일

삼목시와 정식기의 AMF 접종에 따른 국화의 화아형성일과 개화소요일(그림6-12) 등을 조사한 결과를 보면 AMF접종원을 접종한 경우에 국화의 화아형성과 개화 등이 촉진되었다

국화의 개화는 각 처리구의 국화꽃이 약 40% 정도 피었을 때를 개화시기로 보는데, 무접종구의 경우 개화소요일은 112일, 삼목시 접종은 98일, 정식기 접종구 104일 정도로 조사되었다. 무접종구에 비해 삼목시 접종구는 약 14일 정도, 정식기 접종구는 약 9일 정도 국화의 개화시기가 단축되었다. 즉, AMF 접종에 따라서 국화의 개화소요일이 9~14일 정도 단축되는 결과를 보였다(그림 6-12). 이러한 결과는 국화재배농가를 포함한 전체적인 화훼 농가에 AMF접종원을 보급하여 고품질 화훼류 생산에 활용할 수 있는 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

라. 절화의 품질

AMF 접종시에 국화의 개화시기가 단축될 뿐만 아니라 꽃의 품질도 향상되었다(그림 6-10 6-11, 표 6-12). 꽃의 품질을 비교해 보면 AMF 접종에 따라서 화고와 화폭이 증가하여 꽃의 전반적인 크기가 증가하였다. 또한, 꽃의 총생체중을 보면 무접종구의 경우 평균 14.9g인 반면, 삼목시 접종구는 22.8g, 정식기 접종구는 21.2g으로서 각각의 국화 꽃 자체가 AMF접종원 접종시에 더 컸다. 설상화수를 보면 무접종구에 비해 접종구에서 증가하였다. 또한, 화경장인 꽃의 하단부에서 첫 번째 발생한 잎까지의 거리를 측정한 결과 무접종구는 4.8cm, 삼목시 접종구는 5.1cm, 정식기 접종구는 5.6cm로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 AMF접종원을 처리하였을 때 고품배지경 국화의 생장이 촉진되고 개화시기가 단축될 뿐만 아니라 절화의 품질도 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

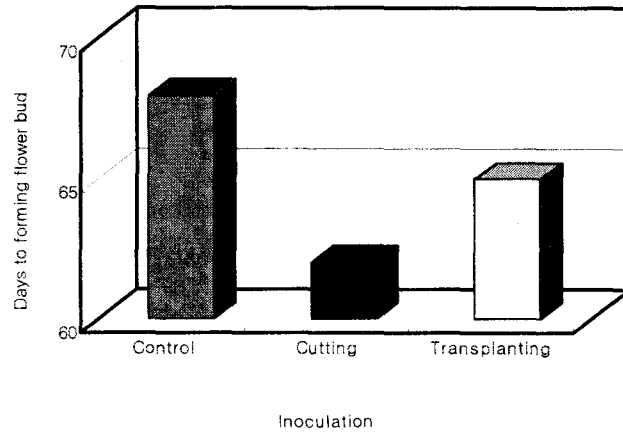


그림 6-9. 처리시기별 AMF접종원 처리에 따른 국화의 화아분화일 변화
 (Control : 무접종구, Cutting : 삼목시 접종구, Transplanting : 정식기 접종구)

A



B



C



그림 6-10. 국화의 혼합배지경에서 *Glomus* sp.의 접종처리에 따른 정식 후 8주의 개화반응 (A : 무접종구, B : 정식시 접종구, C : 삼목시 접종구)

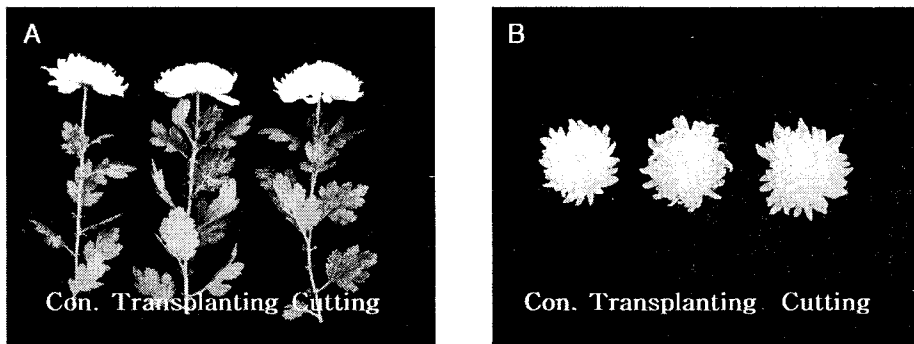


그림 6-11. *Glomus* sp.의 접종 처리에 따른 정식 후 16주의 국화의 절화 품질 비교
(Control : 무접종구, Transplanting : 정식기 접종구, Cutting : 삼목시 접종구)

표 6-12. AMF 접종 고행배지경 국화의 정식 후 16주의 절화 품질 비교

접종원 처리	총화중 (g/주)	설상화수	화고 (mm)	화폭 (cm)	화경장 (cm)
무접종구	14.94	374	13.83	4.90	4.63
삼목시 접종	22.82**	412	15.13	5.27	4.83
정식기 접종	21.17**	378	14.70	5.93**	5.63
LSD($\rho=0.05$)	3.80	59.0	0.96	0.38	1.91
($\rho=0.01$)	5.75	89.4	1.45	0.57	2.90

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by LSD

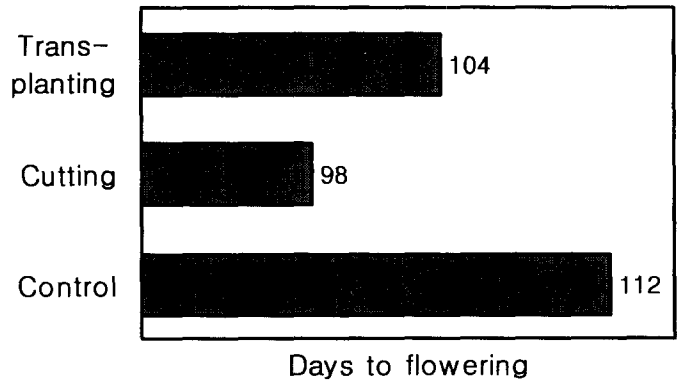


그림 6-12. 국화의 개화소요일에 미치는 처리시기별 *Glomus* sp.의 접종효과

표 6-13. AMF 접종 처리에 따른 정식 후 12주의 식물체 내 무기성분 함량

접종원 처리시기	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn	
	-----(%)-				----- (mg/kg)-----				
잎	대조구	3.20	4.08	1.61	5.07	92.5	30.8	3.1	54.2
	삼목시	3.84**	4.40*	2.27**	6.13*	108.0*	70.0**	4.6**	58.3
	정식시	3.28	4.15	1.83	6.05	104.8*	62.4**	3.9**	57.1
	LSD ($\rho=0.05$)	0.41	0.31	0.24	0.77	10.43	17.53	0.38	6.28
($\rho=0.01$)	0.62	0.46	0.36	1.16	15.81	26.56	0.57	9.51	
뿌리	대조구	2.78	2.65	0.99	1.77	114.2	13.1	4.1	56.7
	삼목시	3.38	3.15**	1.02	2.31*	185.4*	70.2**	9.1**	104.4**
	정식시	2.96	2.66	0.99	2.17	141.0	44.6*	5.6	63.7
	LSD ($\rho=0.05$)	0.65	0.74	0.23	0.44	59.17	25.48	1.98	26.41
($\rho=0.01$)	0.99	1.12	0.36	0.66	89.63	38.60	3.00	40.00	

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by LSD

마. 국화 식물체의 무기성분 함량

표 6-13은 AMF 접종 처리한 국화의 식물체 중의 무기성분을 분석한 결과이다. 전반적인 경향은 잎과 뿌리의 무기성분함량이 샵목시부터 AMF를 접종하는 처리에서 이들 함량이 많은 것으로 나타났으며, 먼저 잎의 경우 다량원소에서 인산과 마그네슘함량이 고도의 유의성 있는 흡수증가를 보이고, 칼리와 칼슘에서도 유의적인 흡수차이를 나타냈다. 미량원소의 경우에서도 대조구에 비해서 AMF 접종 처리에서 흡수가 월등히 증가되는 경향으로 망간과 구리에서 두드러진 흡수 촉진을 보이며 특히 망간은 대조구에 비해 2배이상의 함량을 보였다.

한편 국화 뿌리 중 무기성분의 분석결과를 보면 인산의 경우 잎의 함량 증가와는 다르게 차이는 나지만 통계적 유의성은 없었다. 다량원소 중 칼리와 칼슘에서만 유의적인 높은 함량을 보였으며, 미량원소의 경우는 잎의 경우와 유사한 경향이었으나 샵목시의 아연 함량이 많은 것으로 나타났다. 이상의 결과를 감안해 볼 때 중금속성분의 흡수가 크게 촉진되는 경향은 식품으로서 이용하는 작물일 경우에는 심히 우려될 현상으로 생각되며 재배방식에 따른 충분한 검토가 요구된다.

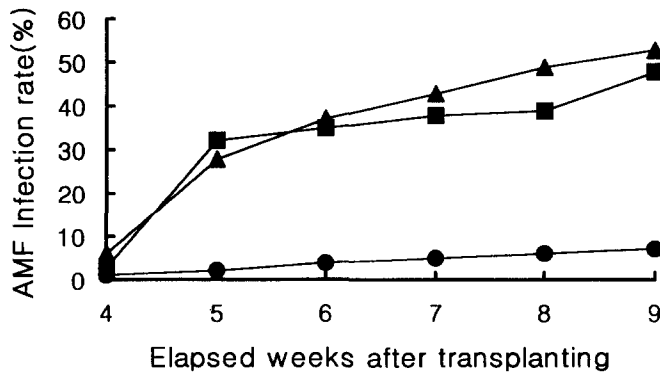


그림 6-13. AMF 접종 처리에 따른 국화뿌리 균근감염율의 경시적 변화
 (●—● : 대조구, ▲—▲ : 샵목시, ■—■ : 정식시)

표 6-14. 처리시기별 AMF 접종 처리에 따른 국화 뿌리의 감염율(정식 후 7주)

접종원 처리시기	감염율(%)			
	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
대조구	0.24	2.70	3.12	6.08
삼목시	5.34**	18.06**	23.02**	46.42**
정식시	2.12**	5.18	26.94**	34.24**
LSD ($\rho=0.05$)	1.06	3.47	9.02	9.21
($\rho=0.01$)	1.48	4.87	12.64	12.92

* and ** : Significant at 5% and 1% levels by LSD

바. AMF 접종 처리에 따른 목부와 사부의 변화

정식 후 11주 국화 줄기를 횡단면으로 절단하여 목부와 사부 등의 주요 변화를 현미경하에서 관찰한 결과는 그림 6-14, 표 6-15 등과 같다.

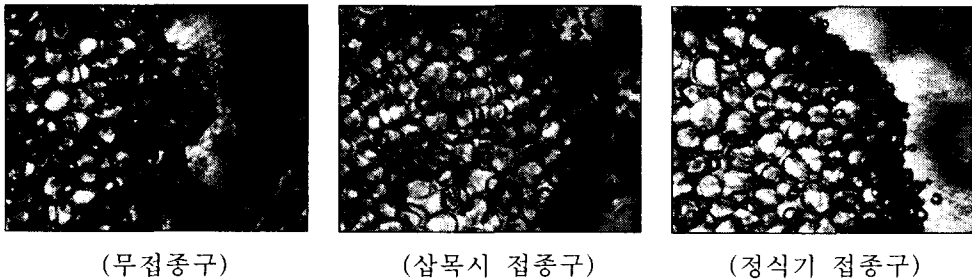


그림 6-14. 혼합배지경 국화에 *Glomus* sp.의 접종결과 정식 후 11주의 목부와 사부의 변화

AMF접종원 처리에 따라서 사부(Phloems) 보다는 목부(Xylems)가 더 많은 영향을 받은 것으로 나타났다. AMF 처리에 따라서 목부는 크기상의 변화가 거의 없는

반면, 목부의 분포수가 더 많아졌다. 목부의 분포수를 보면 무접종구는 32개인 반면 삼목시 접종구는 65개, 정식기 접종구는 47개 정도로 많아졌다. 사부의 경우 분포수는 처리간에 차이가 거의 없는 반면, 사부가 분포하고 있는 위치상의 차이를 보이는데, 무접종구의 경우 줄기 횡단면의 가장자리에만 사부가 분포하지만 AMF접종원 처리구의 경우는 줄기 횡단면에 광범위하게 넓게 분포한다.

표 6-15. AMF 접종에 따른 정식 후 11주의 국화 횡단면 목부와 사부의 변화

구 분	무접종구	삼목시 접종구	정식기 접종구
Xylem	32	65	47
Phloem	53	58	53
주요 특성	<ul style="list-style-type: none"> - Xylem의 크기는 AMF 접종 처리와 무관하였다. - Xylem의 수는 AMF 접종시에 증가하였다. - Phloems의 분포는 무접종구의 경우 가장자리에만 분포하지만, AMF 접종 처리구의 경우는 광범위하게 분포하였다. 		

사. AMF감염 양상

AMF를 접종 처리한 후 정식후 7주 짜 국화뿌리체 내의 vesicles, hyphae 및 arbuscules 등의 균근감염체를 조사한 결과는 표 6-14와 같다. 표와 같이 국화 뿌리체내 AMF감염율을 보면 무접종구의 경우 감염율이 6.1%인 반면, 삼목시 접종원 접종구는 46.4%, 정식기 접종원 접종구는 34.2%였으며 정식시 접종처리의 균사구조를 제외하고 모두 고도의 유의적인 감염율 차이를 보였다. 총감염율에서 정식기 접종구에 비해 삼목시 접종구가 약 12% 정도 더 높은 결과를 보였는데, 생육초기에 AMF접종원을 처리하는 것이 높은 AMF감염율을 보이는 것으로 나타났다. 한편 경시적인 감염 양상을 보면 정식 후 4주 이후부터는 접종 처리들과 무접종 처리간에는 확연한 차이를 나타내는 양상을 보이고 있으며, 정식 후 6주 경까지는 삼목시와 정

식시에 차이를 보이지 않았으나 그 이후는 삽목시 접종 처리하는 것이 다소 높은 감염율을 보였다. 또한 감염율에서 삽목시와 정식시 처리간에 큰 차이를 나타내지 않은 이유로는 국화 유묘의 근계 발달 정도와 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉 국화 삽수의 뿌리가 발근되어 활착이 완료된 후에 접종할 경우 AMF접종원과 뿌리와의 접촉이 상대적으로 많기 때문으로 판단된다.

4. 포도, 방울토마토 및 장미의 영양번식에서 AMF 접종효과

가. 삽목 포도

1) 초기 성장반응

포도 삽목시 AMF 접종효과의 규명하기 위해서, 전남농업기술원에서 삽수(캠벨 어얼리와 거봉)를 분양 받아 3월 15일에 조제된 상토에 심은 후 6월 20일(삽식 후 92일째)에 생육특성을 조사한 것이 표 6-16이다. 두 품종 공히 접종원 처리가 무접종 처리 보다 생육특성에 효과적인 반응을 보였으며 그림 6-15의 사진에서 그 차이를 확인할 수 있다. 캠벨 어얼리의 경우, 접종원 처리의 경우 엽수가 17.5개로 무접종 처리 12개보다 5.5개 정도가 많았으며, 엽건물중은 접종처리가 14.70g인데 비해 무접종처리는 9.08g으로 5.62g정도가 무거웠다. 엽록소 함량은 접종처리에서 39.6mg/100cm², 무접종 처리에서 35.3mg/100cm²를 보였으며, 유묘 초장은 접종원 처리에서 42.55cm, 무접종 처리에서 28.6cm를 보였다. 유묘 건물중은 접종원 처리에서 32.90g, 무접종 처리에서 23.70g를 보였으며, 발근율은 접종원 처리에서 83.01%, 무접종 처리에서 65.87%를 보였다. 또한 엽수, 엽건물중, 엽록소 함량, 유묘의 초장, 건물중 및 발근율은 두 처리간에 유의성이 인정되었다.

거봉의 경우는 엽수, 엽건물중, 엽록소 함량, 뿌리 건물중, 유묘의 직경, 건물중 등에서 접종원 처리와 무접종 처리간에 유의성이 인정되었다. 특히 정식 후의 초기생

육에 직접적인 영향을 미치는 근수와 총근장의 비교에서 캠벨 어얼리가 더 효과적이었다. 그리고 그림 6-16의 본 포장에 정식 직후의 비교사진에서도 수분흡수가 원활하여 묘의 잎이 팽압을 유지할 수 있어서 시들음 정도에 가시적인 차이를 확인할 수 있다.

2) AMF감염 양상

그림 6-17의 포도 묘목의 뿌리 감염사진에서 AMF의 균사 구조(화살표)가 확인되며 뿌리 밖으로 뻗어 있는 균사에 의해 수분과 양분들의 흡수가 이루어진다.

또한 표 6-17는 삼목 후 9주일 쯤의 AMF감염율을 조사한 결과로서 vesicle과 arbuscule은 관찰이 되지 않는 반면 균사구조가 확인되어 각각의 감염율은 캠벨 어얼리가 30.9%, 거봉이 26%로 다소 낮은 감염을 보였다.

표 6-16. 포도 삼목시 AMF 처리에 따른 생장반응 (삼식 후 92일 쯤)

품종	AMF 접종	엽수 (개/주)	엽건중 (g/주)	근수 (개/주)	주근장 (cm)	엽록소	근건중 (g/주)	유묘초장 (cm)	묘경직경 (mm)	경건중 (g)	발근율 (%)
						(mg/ 100cm ²)					
캠벨어리	- ^z	12.0	9.08	79.3	1071.0	35.3	12.02	28.60	8.18	23.70	65.87
	+	17.5*	14.70*	111.2	1231.0	39.6*	15.43	42.55**	9.87	32.90*	83.01**
거봉	-	7.25	8.95	34.25	329.2	30.5	8.25	32.0	6.68	12.20	74.30
	+	9.00*	11.72*	45.00	517.4	35.3*	13.55*	36.0	8.34**	17.42*	78.06

^z- ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test

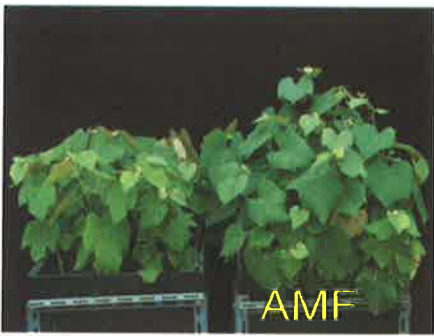


그림 6-15. AMF접종원 처리에 따른 삼목 묘의 성장반응

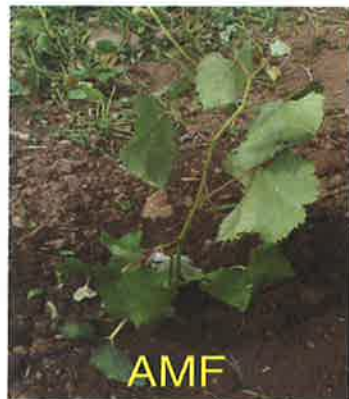


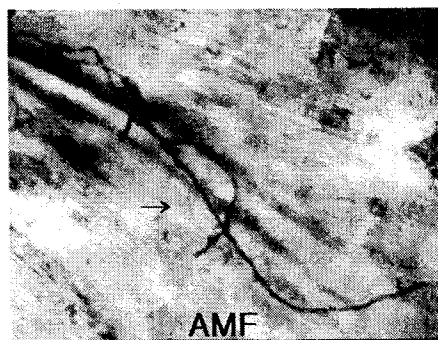
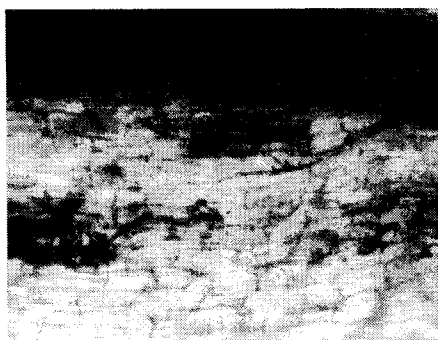
그림 6-16. 육묘된 포도의 정식 직후의 활착 차이

표 6-17. 삼목 후 9주 째 포도 묘 뿌리의 감염상태

품 종	AMF 접종	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
캠베얼리	- ^z	0	0.00	0	0.0
	+	0	30.88	0	30.9
거 봉	-	0	0.00	0	0.0
	+	0	26.12	0	26.0

^z- : non-inoculated, + : inoculated.

<캠베얼리>



<거봉>

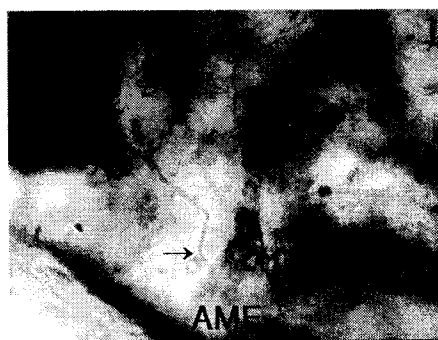
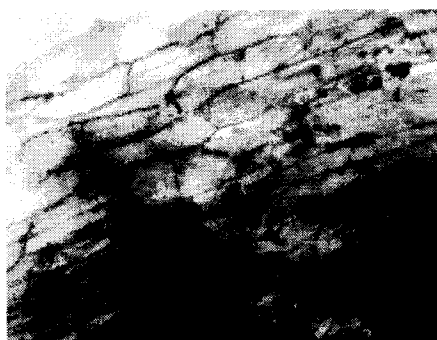


그림 6-17. AMF 접종 처리 여부에 따른 감염결과(→:균사 구조)

나. 방울토마토 삽목에서 AMF 접종효과

1) 삽목배지별 생육반응

방울토마토 삽목시 배지의 종류에 따른 AMF접종 유·무의 효과를 규명하기 위하여 30일 정도(3월 7일 파종한 후 4월 6일에 삽수 조제) 생육한 유묘를 삽수로 이용하여 배지에 심은 후 5월 7일(삽식 후 31일)에 생육특성을 조사하였다.

그림 6-18은 토마토 삽수를 삽목하여 치상 후 20일이 경과한 상태로서 종자를 직접 파종한 경우와 비교해서 월등하게 유묘 생산이 앞당길 수 있으며, 배지별 생육특성을 보면 시판상토 : 모래 : 코코피트 혼합배지가 가장 효과적인 생장을 보였으며, 모래와 코코피트 단독배지는 유사한 경향을 보였다. 또한 배지별 접종원 유·무를 보면, 코코피트와 모래단독배지에서 접종원 처리가 무접종 처리 보다 양호한 결과를 보였으며, 두 배지간의 특성은 거의 비슷한 양상을 보였다. 그러나 배지별 삽수의 육묘반응은 시판상토 : 모래 : 코코피트 혼합배지에서 가장 효과적인 생육반응을 보였으며 또한 접종원 처리에서 그 효과가 증진되었다.

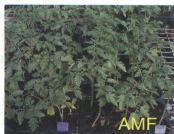
시판상토 : 모래 : 코코피트 혼합배지는 초장에서 43.5~49.7 cm를 보여 모래와 코코피트 단독배지의 22.4~28.5 cm보다 거의 2배의 성장량의 차이를 보였으며, 그 외 엽수, 생체중, 건물중, 그리고 총근장에서도 AMF 접종효과가 확인되었다.



실생과 삼목 비교



모래



코코피트



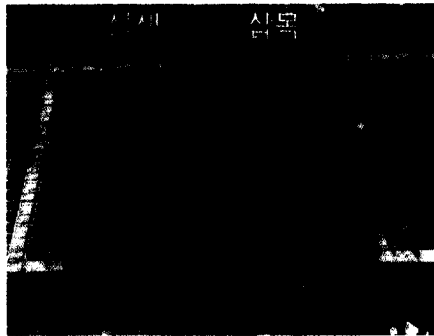
코코피트/시판상토

그림 6-18. 상토종류별 방울토마토 삼목실험에서 AMF 접종효과

표 6-18. 삼목번식 과 실생번식의 묘소질 비교

실험유형	초장 (cm)	엽수 (개/주)	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		주근장 (cm)
			지상부	지하부	지상부	지하부	
실생번식	24.5	5	4.31	1.97	0.55	0.10	14.88
삼목번식	43.5***	8***	11.05***	4.66***	1.56***	0.28***	11.95*

* and *** : Average of 20 replication, significant at 5% and 0.1% levels by t-test
(4월 6일에 파종하고, 삼목한 묘를 5월 7일에 조사)



실생과 삼목 비교



모래



코코피트



코코피트/시판상토

그림 6-18. 상토종류별 방울토마토 삼목실험에서 AMF 접종효과

표 6-18. 삼목번식 과 실생번식의 묘소질 비교

실험유형	초장 (cm)	엽수 (개/주)	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		주근장 (cm)
			지상부	지하부	지상부	지하부	
실생번식	24.5	5	4.31	1.97	0.55	0.10	14.88
삼목번식	43.5 ^{***}	8 ^{***}	11.05 ^{***}	4.66 ^{***}	1.56 ^{***}	0.28 ^{***}	11.95 [*]

* and *** : Average of 20 replication, significant at 5% and 0.1% levels by t-test
(4월 6일에 파종하고, 삼목한 묘를 5월 7일에 조사)

표 6-19 AMF 처리 4주 후의 방울토마토 삼목 배치별 성장반응

배치별	AMF 접종	초장 (cm)	엽수 (개/주)	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		주근장 (cm)
				지상부	뿌리	지상부	뿌리	
코코피트	+ ^z	27.2	5.6	5.83	2.47	1.01	0.16	9.7
	-	22.6	5.1	4.30	2.10	0.74	0.15	8.5
모래	+	28.5	6.0	5.44	1.66	1.11	0.19	14.2
	-	22.4	5.4	4.69	1.45	0.88	0.15	12.2
시판상토:모래: 코코피트	+	49.7	8.2	13.46	3.69	1.78	0.22	13.9
	-	43.5	7.7	11.57	3.40	1.56	0.20	13.0
LSD ($\rho=0.05$)		1.82	0.88	1.67	0.54	0.54	0.06	3.12
($\rho=0.01$)		2.40	1.17	2.20	0.72	0.71	0.08	4.17

^z+ ; inoculated, - ; non-inoculated

* Average of 20 replication, significant at 5% and 1% levels by LSD.

다. 삼목 장미에 대한 AMF 접종 처리 효과

1) 성장반응

장미 삼목시 AMF 처리시기에 따른 성장반응을 구명하기 위해서, 농장에서 분양 받은 장미 삼수를 3월 2일에 암면을 채운 tray에 삼식한 후, 5월 2일(61일 째)에 코코블럭에 정식한 후 양액을 공급하면서 생육시기별 경시적인 성장특성을 조사하였다. AMF 접종시기에 따른 성장반응을 보면, 6월 12일(정식 후 40일 째)의 경우 무접종 처리 < 정식시 접종 < 삼목시 접종 순으로 엽수, 엽록소 함량, 엽면적, 생체중 및 건물중에서 효과적인 반응을 보였으며, 표 6-20에서와 같이 정식 후 40일과 70일 조사결과를 LSD 검정한 결과 엽록소 함량을 제외한 모든 생육반응이 통계적인 유의성이 인정되었으나 정식 후 100일의 조사결과에서는 유의성은 인정할 수 없으나 대조구 무접종 처리에 비해 더 양호한 생육을 보였다. 이상과 같은 결과는 그림 6-19

의 정식 후 11주에 촬영한 비교사진에서도 확인할 수 있었다.

표 6-20. 장미 삼목시 AMF 처리에 따른 경시적 성장반응

정식 후 조사일	AMF 접종	엽수 (개/주)	엽록소함량 (mg/100cm ²)	엽면적 (cm ²)	생체중 (g/주)		건물중 (g/주)		
					엽	경	엽	경	
40	대조구	47	50.1	179.9	1.20	0.97	0.97	0.73	
	삼목시	70**	52.1	337.1**	2.23**	1.83**	1.77**	1.33**	
	정식시	64**	51.9	298.5**	2.13**	1.70**	1.70**	1.37**	
LSD($\rho=0.05$)		7.63	NS	49.39	0.28	0.18	0.15	0.26	
		($\rho=0.01$)	11.57	NS	74.82	0.42	0.29	0.23	0.39
70	대조구	174	57.9	561.4	11.43	9.57	4.27	3.53	
	삼목시	243**	59.8	958.0**	18.20**	15.73**	5.97	5.07**	
	정식시	281**	58.3	1314.4**	23.07**	21.43**	8.17**	6.60**	
LSD($\rho=0.05$)		31.71	NS	174.43	5.35	3.15	1.74	1.13	
		($\rho=0.01$)	48.05	NS	264.2	8.11	4.77	2.63	1.71
100	대조구	372	60.5	1203.5	28.27	23.33	11.07	8.87	
	삼목시	417	61.3	1962.4	42.70*	34.80*	17.03	12.53	
	정식시	428	62.7	1659.8	42.03	32.07	16.90	12.33	
LSD($\rho=0.05$)		1.21	NS	907.6	14.16	9.54	6.06	4.90	
		($\rho=0.01$)	1.83	NS	1374.96	21.91	14.45	10.08	7.42

* and **: Significant at 5% and 1% levels by LSD

2) 장미의 AMF감염 양상

장미의 AMF 접종에 따른 정식 후 8주 및 12주의 감염율과 감염 양상을 표 6-21과 그림 6-20에 나타내었다. 앞의 타 실험에서와 같이 vesicle과 arbuscule이 관찰되지 않았고 균사 구조만 확인되어 이에 의한 감염율은 그다지 높지 않아서 정식 후 8주에는 대조구 0.2%, 삼목시 접종 7.5%, 정식시 접종이 4.3%를 보였고, 12주 후에는 각각 0.5%, 14.1% 및 6.3%를 나타냄으로서 시일이 경과함에 따라 감염율은 증가되는데 다른 식물에 비해서 그다지 높지 않은 경향이였다. 이와 같은 경향은 자연토양 재배가 아닌 양액을 관수하기 때문에 비교적 충분한 영양분을 흡수 이용할 수 있어

서 AMF 협생조건에 적합하지 못한 환경이 조성된 것으로 판단되며, 또한 집중원 무처리의 대조구에서도 아주 낮은 감염을 보인 것은 재배관리가 완전한 무균 조건으로 유지할 수 없는 환경조건으로 제한적인 자연상태이기 때문에 바람이나 곤충의 영향으로 번식체의 유입에 의한 감염(Hetrick, 1984)으로 예상되었다.



그림 6-19. 정식 11주 후의 장미의 처리별 성장반응

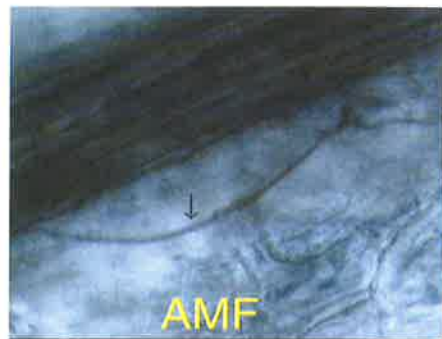
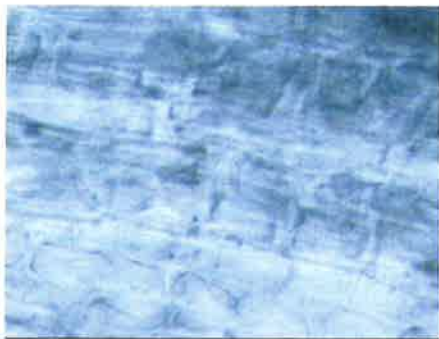


그림 6-20. AMF 접종 처리 유무에 따른 감염비교(↓:감염분지 된 균사)

서 AMF 협생조건에 적합하지 못한 환경이 조성된 것으로 판단되며, 또한 집중원 무처리의 대조구에서도 아주 낮은 감염을 보인 것은 재배관리가 완전한 무균 조건으로 유지할 수 없는 환경조건으로 제한적인 자연상태이기 때문에 바람이나 곤충의 영향으로 번식체의 유입에 의한 감염(Hetrick, 1984)으로 예상되었다.

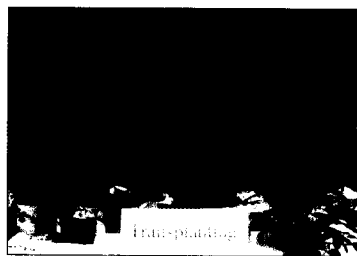
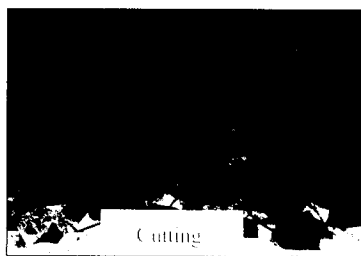
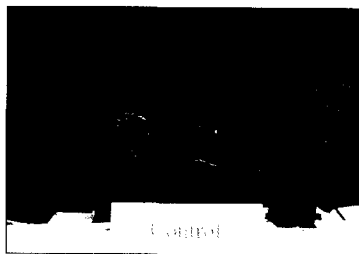


그림 6-19. 정식 11주 후의 장미의 처리별 성장반응

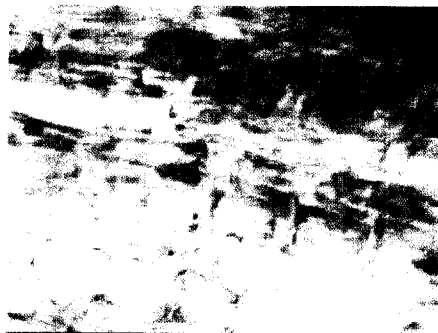


그림 6-20. AMF 접종 처리 유무에 따른 감염비교(↓:감염분지 된 군사)

표 6-21. 정식 후 장미 뿌리에 대한 AMF감염율의 변화

경과일수	AMF접종	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
8주	대조구	0.00	0.15	0	0.2
	삼목시	0.00	7.81	0	7.8
	정식시	0.00	4.30	0	4.3
12주	대조구	0.00	0.46	0	0.5
	삼목시	0.00	14.12	0	14.1
	정식시	0.00	6.32	0	6.3

5. AMF 접종 처리에 따른 오이 및 방울토마토의 유묘생장 반응

가. 오이와 방울토마토의 정식 전 생육반응

AMF 접종 처리 효과를 알아보기 위하여, 오이와 방울토마토를 파종시에 접종한 후 오이는 24일 재와 방울토마토는 35일 재의 유묘 특성을 조사한 결과는 표 6-22와 같으며 그림 6-21은 정식 치상전의 유묘의 사진이다.

오이와 방울토마토의 두 과채류에서 공히 AMF접종원 처리가 무접종 처리보다 생육특성이 양호하였으며, 오이 유묘 접종원 처리의 경우 초장은 22cm로 무접종 처리보다 3cm정도 컸으며, 엽면적은 48.0cm²로 10.4cm²가 넓었고, 뿌리의 건물중은 0.11g으로 0.04g정도가 무거운 경향을 보였다. 또한 엽면적, 엽생체중, 근건물중에서 접종원 처리와 무접종 처리간에 유의성이 인정되었으며, 전반적인 유묘 소질을 감안할 때 오이보다 토마토가 AMF접종에 대한 반응이 양호하였다.

방울토마토 유묘의 접종원 처리의 경우 초장은 19.0cm로 무접종 처리보다 1.5cm가 컸으며, 엽면적은 81.5cm²로 19.0cm²가 넓었으며 엽과 근의 건물중이 각각 0.53g, 0.16g으로 무접종처리 보다 무거웠다. 또한 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중에서 접종원 처리와 무접종 처리간에 통계적인 유의성이 인정되었다.



그림 6-21. AMF 접종 처리에 따른 오이와 방울토마토의 유묘 비교

표 6-22. AMF 접종 처리 후 오이(24일)와 방울토마토(34일) 유묘의 소질

작물별	AMF 접종	초장 (cm)	엽수 (개)	엽면적 (cm ²)	생체중		건물중	
					(g/주)			
					엽	뿌리	엽	뿌리
오이	- ^z	19.0	1	37.62	2.52	1.39	0.28	0.07
	+	22.0*	2	47.99**	2.77	1.48	0.29	0.11*
방울토마토	-	17.5	7	62.5	2.92	0.92	0.35	0.10
	+	19.0*	8	81.5**	3.93**	1.47**	0.53**	0.16**

-^z ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test

나. 오이 및 방울토마토의 정식 후의 성장반응

AMF의 최적 접종시기를 알아보기 위하여, 접종시기를 무접종, 파종시 접종, 정식시 접종으로 달리하여, 정식 6주일 후의 초기생장을 비교한 결과가 표 6-23과 같다.

오이의 경우 초장은 대조구 25.3cm에 비해 AMF 접종 처리 인 파종시 접종이

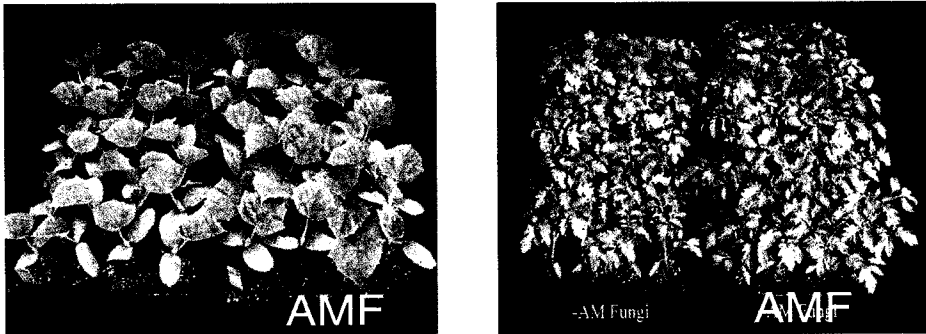


그림 6-21. AMF 접종 처리에 따른 오이와 방울토마토의 유묘 비교

표 6-22. AMF 접종 처리 후 오이(24일)와 방울토마토(34일) 유묘의 소질

작 물 별	AMF 접종	초장 (cm)	엽수 (개)	엽면적 (cm ²)	생체중		건물중	
					(g/주)			
					엽	뿌리	엽	뿌리
오 이	- ^z	19.0	1	37.62	2.52	1.39	0.28	0.07
	+	22.0*	2	47.99**	2.77	1.48	0.29	0.11*
방울토마토	-	17.5	7	62.5	2.92	0.92	0.35	0.10
	+	19.0*	8	81.5**	3.93**	1.47**	0.53**	0.16**

^{-z} ; non-inoculated, + ; inoculated

* and ** ; Significant at 5% and 1% levels by t-test

나. 오이 및 방울토마토의 정식 후의 성장반응

AMF의 최적 접종시기를 알아보기 위하여, 접종시기를 무접종, 파종시 접종, 정식시 접종으로 달리하여, 정식 6주일 후의 초기생장을 비교한 결과가 표 6-23과 같다.

오이의 경우 초장은 대조구 25.3cm에 비해 AMF 접종 처리 인 파종시 접종이

28.9cm, 정식시는 27.4cm로 약간의 차이를 보였으며, 엽면적은 접종원 처리가 456.8~463.6cm²로 무접종 처리의 수치(369.6cm²)보다 60cm²정도가 넓었으며, 무접종 처리와 파종시, 정식시 접종과 고도의 유의성이 인정되었다. 또한 생체중의 경중과 건물중의 경중에서도 무접종 처리보다 무거운 경향으로 파종시 접종위 엽생체중에서만 통계적 유의성이 인정되었다. 따라서 AMF 접종 시기별에 따른 오이 초기 성장반응을 보면 엽수, 엽면적 및 엽생체중 등에서 유의성이 인정되어 무접종 처리 < 정식시 접종 < 파종시 접종 순으로 양호한 경향을 보여 파종시 접종효과가 가장 효과적이었다.

방울토마토의 경우, 초장은 접종원 처리가 대조구보다 5.7cm가 더 큰 것으로 나타나 고도의 유의적인 차이를 보였으며 정식시 접종에의 경우 엽면적과 엽생체중에서만 5%의 유의성이 인정되었으나 파종시 접종은 초장, 엽면적, 엽과 뿌리의 생체중 및 엽건물중 등에서 1%의 고도의 유의적인 차이를 보여 AMF접종원을 종자 파종시부터 접종하는 것이 효과적이라는 점이 확인되었으며 정식시에 접종을 할 경우에도 무접종에 비해서는 어느 정도의 접종효과를 기대할 수 있음을 보여준다.

(토마토)



(오이)



그림 6-22. AMF 접종 처리한 토마토와 오이 고품배지경에서 9주 후의 생육

표 6-23. 정식 6주 후의 AMF 처리시기에 따른 고품배지경 오이와 방울토마토 성장반응

작물별	AMF 접종	초장 (cm)	엽수 (개/주)	엽면적 (cm ²)	생체중		건물중	
					(g/주)			
					엽	뿌리	엽	뿌리
오 이	대조구	25.3	5	396.9	18.41	5.30	2.05	0.26
	파종시	28.9	6*	463.6**	24.64**	6.02	2.73	0.31
	정식시	27.4	5	456.8**	22.03	5.35	2.59	0.27
LSD (p=0.05)		4.96	0.97	31.51	3.88	1.35	0.61	0.12
(p=0.01)		7.13	1.40	45.27	5.57	2.45	0.88	0.21
방울토마토	대조구	24.2	11	267.8	16.56	3.90	1.34	0.23
	파종시	29.9**	12	340.1**	24.51**	6.27**	1.97**	0.39
	정식시	25.7	10	328.6*	20.89*	4.81	1.71	0.27
LSD (p=0.05)		3.71	1.56	54.29	3.93	1.60	0.43	0.17
(p=0.01)		5.21	2.18	76.19	5.51	2.25	0.61	0.23

* and **: Significant at 5% and 1% levels by LSD

다. AMF감염 양상

오이와 방울토마토의 정식시, 정식 후 10일과 20일의 감염율을 조사한 결과 오이에 비하여 방울토마토가 낮은 감염율을 나타내, 오이의 경우는 파종시 접종 처리가 1.9%였고, 정식 후 10일과 20일의 조사결과 파종시 접종이 각각 21.3%와 23.5%를 보여 정식시 접종의 감염율 2.5%와 18.0%보다 높은 감염율을 나타냈다. 한편 방울토마토에서도 파종시에 AMF를 접종하는 것이 높은 감염을 보여서 오이와 같은 조사시의 파종시 접종 처리의 감염율은 2.6%, 7.7% 및 13.7%을 보여 시일이 경과함에 따라서 감염율이 높아지는 경향을 나타냈으며, 감염여부의 판정기준으로 하는 AMF 균체 조직으로는 그림 6-23에서와 같이 균사 구조(화살표)가 주로 관찰되었고 다만 정식 후 20일 조사시에 다소의 vesicle을 확인할 수 있었다.

표 6-24. 고휘배지경 오이와 방울토마토 AMF감염율의 변화

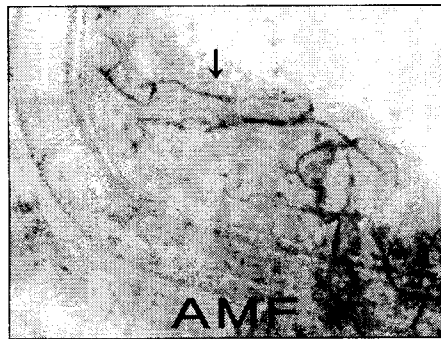
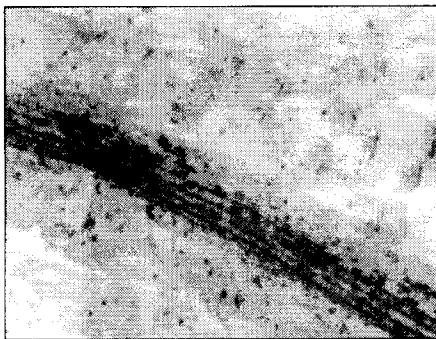
<오이>

조사일	AMF 접종	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
정식시	대조구	0.00	0.00	0	0.0
	파종시	0.38	1.54	0	1.9
	정식시	0.00	0.00	0	0.0
정식 후 10일	대조구	0.00	0.00	0	0.0
	파종시	0.00	11.82	0	21.3
	정식시	0.00	2.48	0	2.5
정식 후 20	대조구	0.00	0.00	0	0.0
	파종시	2.18	21.32	0	23.5
	정식시	2.60	15.38	0	18.0

<방울토마토>

조사일	AMF 접종	Vesicle	Hyphae	Arbuscule	Total
정식시	대조구	0.00	0.00	0	0.0
	파종시	0.00	2.62	0	2.6
	정식시	0.00	0.00	0	0.0
정식 후 10일	대조구	0.00	0.00	0	0.0
	파종시	0.00	7.7	0	7.7
	정식시	0.00	0.00	0	0.0
정식 후 20	대조구	0.00	1.80	0	1.8
	파종시	0.42	13.30	0	13.7
	정식시	0.00	5.50	0	5.5

<오이>



<방울토마토>

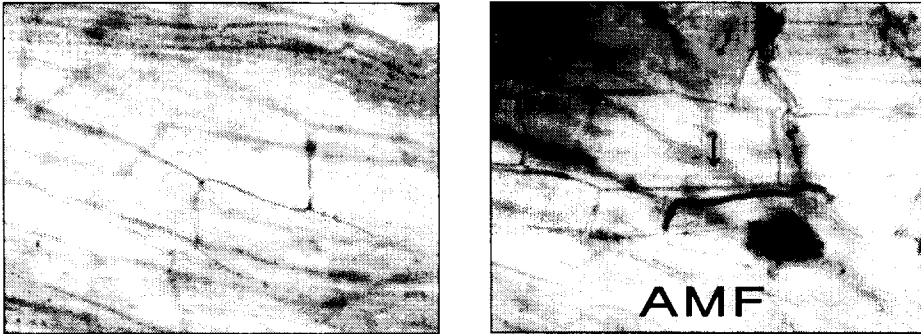


그림 6-23. 오이와 방울토마토의 AMF 접종 처리별 감염결과(↓:분지된 균사)

다. 오이 및 방울토마토의 수량반응

오이와 토마토에 AMF의 접종시기를 달리하여, 주당과수, 과중, 과장 및 과경 등을 조사한 결과는 표 6-25에서와 같으며, 오이와 토마토의 주당 과중 조사치의 차이를 그림 6-24에 나타내었다. 오이의 경우 과장과 과경에서는 공히 접종원 처리와 무접종 처리간에 유의차가 인정되지 않았으나, 주당 과수에서 유의적인 차이를 보이고 특히 과중시에 접종한 처리가 3.0개/plant 과수가 많았으며, 주당 과중 역시 마찬가지로 과중시접종이 고도의 유의성 있는 과중증가를 보여 정식시 접종 652g/plant, 과중시접종 724g/plant를 나타내 과중시에 AMF를 접종하는 것이 수량성 제고에 효과적이었으며, 과장과 과경의 조사결과는 다소의 차이는 보이나 통계적 유의성은 없었다. 또한 그림 6-25는 수확한 오이의 처리별 비교사진으로서 과중시 접종>정식시 접종>대조구의 순으로 가시적인 차이를 보이고 있다.

한편 토마토의 경우는 주당 과중에서만 유의적인 AMF 접종효과를 나타내 정식시 접종이 주당 450g의 과중을 보였고 종자 과중시 접종이 470g/plant을 보여 오이와 마찬가지로 종자과중과 동시에 AMF를 접종 처리하는 것이 가장 바람직하였다.

표 6-25. AMF접종원 처리시기에 따른 오이와 방울토마토의 과실조사

작물별	AMF 접종	과실수 (개)	과중 ^z (g/주)	과장 (mm)	
				-----	-----
오이	대조구	2.4	598	253	35.4
	파종시	3.0**	724**	264	36.6
	정식시	2.9*	652*	269	37.7
LSD ($\rho = 0.05$)		0.369	40.00	NS	NS
($\rho = 0.01$)		0.531	60.56	NS	NS
방울토마토	대조구	33	428	26.9	31.1
	파종시	38	470**	26.3	29.2
	정식시	35	450*	26.9	31.4
LSD ($\rho = 0.05$)		NS	19.98	NS	NS
($\rho = 0.01$)		NS	30.27	NS	NS

^z ; Average weight of cucumber - from May 16 to June 4 (harvesting of 7 times),
 Average weight of minitomato - from June 14 to July 3(harvesting of 11 times),
 * and ** ; Significant at 5% and 1% levels by LSD

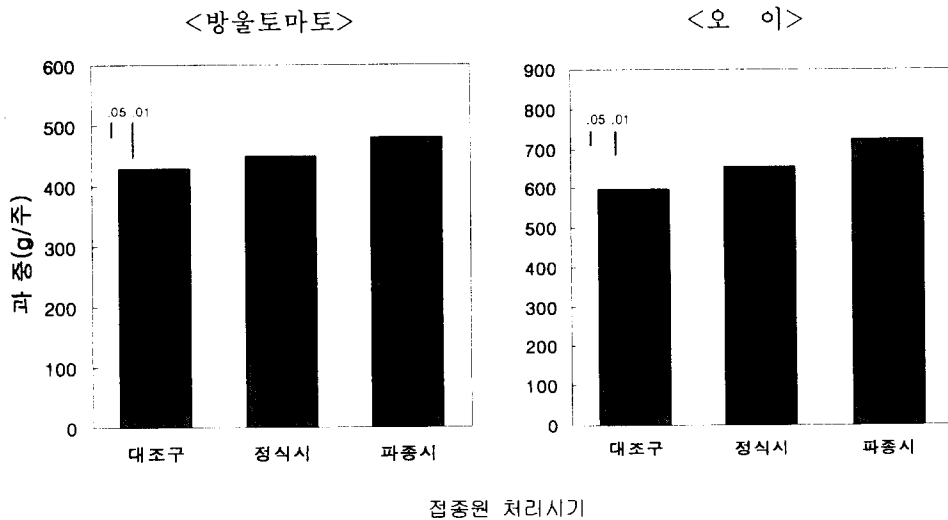


그림 6-24. AMF 접종 처리시기에 따른 오이와 방울토마토의 누적수량 변화

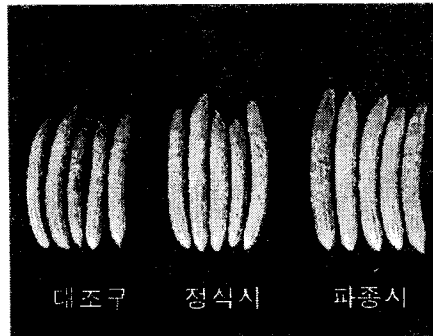


그림 6-25. AMF 접종 처리시기별 오이 비교

라. 방울토마토의 당도 변화

AMF의 접종시기별 방울토마토의 경시적 당도 변화를 6월 14일 (파종 후 96일째)부터 3일 간격으로 7월 2일 까지 7회에 걸쳐, 당도를 측정한 결과는 표 6-26과 같다. 당도는 6월 14일부터 6월 27일 까지 6~7의 범위를 보였으나 6월 29일 과 7월 2일 에는 5전후를 보였다. 접종시기별로 당 함량을 보면 무접종처리< 정식시 접종< 파종시 접종 순으로 당도가 높았으며 생육이 진전됨에 따라 접종원 처리시의 경우 6월 23일에 당도가 가장 높았고, 6월 29일 이후에는 당도가 낮아졌다. 여기서 파종시에 AMF접종원을 접종할 경우 당도가 높을 뿐만 아니라 무접종 처리와 비교할 때 AMF 접종 처리들에서 높은 당도를 보이는 것은 양분흡수 증진되어 작물체의 왕성한 생육에 따른 더 넓은 엽면적의 확보로 광합성 량이 증가된 것으로 해석된다.(Levy와 Krikun,1979;Paul과 Kucey,1981)

표 6-26. AMF균근균 접종시기별 방울토마토의 당도 변화 (Brix, %)

AMF 접종	6/14	6/17	6/20	6/23	6/26	6/29	7/2
대조구	6.64	6.14	6.63	5.95	5.95	4.79	5.06
파종시	6.81	6.25	6.78	7.01**	6.82**	4.99	5.2
정식시	6.42	6.37	6.54	6.78*	6.38*	4.99	5.24
LSD ($\rho=0.05$)	NS	NS	NS	0.28	0.38	NS	NS
($\rho=0.01$)	NS	NS	NS	1.07	0.79	NS	NS

* and **: Average of 10 replication, significant at 5% and 1% levels by LSD

제 4 절 결 과 요 약

몇 가지 원예작물의 실생번식과 영양번식이 포함된 육묘 단계와 오이와 방울 토마토 고형배지경 양액재배에서 AMF 접종 처리에 대한 성장과 수량반응을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 원예작물 육묘

육묘단계를 거쳐 재배하는 오이, 토마토, 고추 및 가지와 조직배양으로 생산된 백합종구에 대하여 AMF 접종효과를 확인하였다. 오이 외 3종의 종자 파종시 AMF접종을 접종한 결과 대조구에 비해 육묘 생장이 향상되었고 전반적으로 접종처리 후 2주일을 전후하여 가지적으로 차이를 확인할 수 있었다. 그러나 오이와 토마토에 비해서 고추와 가지 육묘는 다소 완만한 반응을 보이는 경향이였다.

2. 조직배양 백합종구

조직배양에 의해 생산된 백합종구에 AMF를 접종처리 하므로써 종구의 비대속도

가 빨랐으며 특히 주근장과 종구 생체중 증가에서 고도의 유의적인 차이가 인정되었고, 통계적 유의차는 인정되지 않았으나 엽록소 함량증가를 보였다.

3. 고품배지경 국화

국화의 고품배지경 양액재배에서 AMF접종원을 삼목시와 정식기에 각각 접종한 후 무접종 처리와 비교하여 국화의 유묘생산, 정식 이후의 성장반응 및 절화 품질에 대한 실험을 하였다.

삼목한 국화 삼수의 유묘소질을 보면 접종후 2주부터 주근장과 측근수에서 차이를 보이기 시작하였으며, 3주일 후 유묘의 측근수와 주근장의 증가가 뚜렷하였고, 유묘 활착비율도 AMF 무접종(76.9%)에 비해 AMF 접종 처리(99.9%)가 높았다.

정식시의 처리별 유묘소질은 초장, 측근수 및 주근장 등에서 유의성 있는 차이를 보였으며, AMF 감염율은 3.6%였다. 또한 AMF 접종 처리의 정식 후 9주일 째 성장 반응은 초장에서 고도의 유의성 있는 증가를 보였고, 그 외 엽면적과 건물중 등에서 유의성 있는 차이를 나타냈다. 식물체 분석결과 AMF 접종 처리가 인산을 비롯한 무기성분 흡수가 증진되었으며, 국화의 개화시기도 AMF 접종 처리가 빨라져서 무접종 대조구는 112일 소요되는 반면 삼목시와 정식시 접종이 무접종에 비해 각각 14일과 9일을 앞당길 수가 있었고, 절화 품질 면에서 AMF 접종 처리에서 꽃의 크기, 무게 및 꽃잎수 등의 증가가 인정되었다.

이상의 실험 결과로 국화 삼목시부터 AMF를 접종함으로써 유묘 성장촉진은 물론 정식 후의 생육증진으로 인해 개화시기 단축 및 절화 품질의 향상이 가능한 것으로 확인되었으며 삼목시부터 접종처리하는 것이 가장 바람직하였다.

4. 포도, 장미 및 방울토마토의 영양분석

캠베 어얼리와 거봉 품종의 포도 삼목시에 AMF 접종처리 함으로서 생산된 유묘

의 엽수, 초장 및 발근율, 건물중, 엽록소 함량 등에서 통계적으로 유의성 있는 차이를 보였고, 정식후의 묘목의 활착은 효과적이었으며 품종별 AMF 효과는 거봉에 비해 캠벨 어얼리가 더 좋았다.

방울토마토 측지를 이용한 삼목 실험에서 종자파종과 비교하여 삼목하는 것이 육묘일수를 1/2로 앞당길 수 있었으며 방울토마토의 초장, 엽수, 건물중 등에서 2배 이상의 차이가 나타났다. 또한 삼목배지별 생육특성을 보면 시판상토(2) : 모래(1) : 코코피트(1) 혼합비가 가장 효과적이었고, 배지 종류별 AMF 접종효과를 보면 코코피트와 모래 단독배지가 효과가 양호하였다.

삼목 장미에 있어 AMF 접종효과는 삼목시 접종 > 정식시 접종 > 무접종의 순으로 엽수, 엽록소 함량, 생체중 및 건물중 증가로 보였고 정식 후의 생육상태에서도 엽수, 엽면적, 생체중 및 건물중에서 고도의 유의적인 증가를 나타냈다.

5. 오이와 방울토마토의 양액재배

오이와 방울토마토를 고품배지경 양액재배에서 AMF접종원을 파종시와 정식시에 각각 접종한 후 무접종 처리와 비교하여 유묘특성과 정식 이후의 성장반응과 수량성을 검토하였다.

AMF접종원 유무에 따른 오이와 방울토마토 유묘의 특성은 AMF접종원 처리가 무접종 처리 보다 생육이 양호하였는데, 접종원 처리구가 무접종 처리구 보다 초장, 엽수, 엽면적, 건물중 등에서 차이를 보였고, 방울토마토 유묘의 경우가 접종원 처리 효과가 뚜렷하였다.

AMF 접종시기별(무접종, 파종시 접종, 정식시 접종)에 따른 오이와 방울토마토 초기 성장반응에서 초장, 엽수, 엽면적, 건물중에서 무접종 처리 < 정식시 접종 < 파종시 접종 순으로 양호한 경향이었으며, 과장이나 과경은 큰 차이를 보이지 않았으나, 과중은 파종시 접종이 가장 높게 나타났고, AMF접종원 처리에서 당도가 높은 경향이였다.

참 고 문 헌

Abbott, L.K. and A.D. Robson. 1984. The effect of mycorrhizae on plant growth. pp. 113-130. In: VA mycorrhiza. (Powell, S.L. and D.J. Bagyarai, eds.) Chapter 6. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Allen, M.F. 1992. Mycorrhizal functioning. pp. 525. Chapman & Hall, New York, USA.

Anderson, A.J. 1992. The influence of the plant root on mycorrhizal formation. In: Mycorrhizal Functioning (eds. M.F. Allen.), pp. 37-64. Chapman and Hall, New York.

Angela, Hodge. 2000. Microbial ecology of the arbuscular mycorrhiza. Federation of European Microbiological Societies. 32:91-96.

Ark, P.A. and J.P. Thompson. 1961. Detection of hairy root pathogen, *Agrobacterium rhizogenes*, by the use of fleshy roots. *Phytopathology*. 51:69-71.

Auge, R.M., A.J.W. Stodola, and Pennell B. 1990. Osmotic and turgor adjustment in *Rosa* foliage drought-stressed under varying irradiance. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115(4):661-667.

Azcon-Aguilar, C., Cantos, M., Troncoso, A. and Barea, J.M. 1997. Beneficial effect of arbuscular mycorrhizas on acclimatization of micropropagated cassava

plantlets. *Sci Hort.* 72:63-71.

Azcon-Aguilar, C., Padilla, I.G., Encina, C.L., Azcon, R. and Barea, J.M. 1996. Arbuscular mycorrhizal inoculation enhances plant growth and changes root system morphology in micropropagated *Annona cherimola* Mill. 16:647-652.

Bethlenfalvay, G.J., Brown, M.S., Mihara, K.L. and Stafford, A.E. 1987. *Glycine-glomus-rhizobium* symbiosis-effects of mycorrhizae on nodule activity and transpiration in soybeans under drought stress. *Plant Physical.* 85:115-119.

Bowen, G.D., Skinner, M.P. and Bervege, D.I. 1974. Zinc uptake by mycorrhiza and uninfected roots of *pinus radiata* and *araucaria*.

Brazanti, B., Gianinazzi-Pearson, V., Gianinazzi, S. 1992. Influence of phosphate fertilization on the growth and nutrient status of micropropagated apple infected with endomycorrhizal fungi during the weaning stage. *agronomie.* 12:841-845.

Brundrett, M.C., U. Piche. and R.L. Person. 1984. A new method for observing the morphology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Can. J. Bot.* 62:2128-2134.

Cassells, A.C., Mark, G.L. and Periappuram, C. 1996. Establishment of arbuscular mycorrhizal fungi in autotrophic strawberry cultures in vitro. Comparison with inoculation of microplants in vivo. *agronomie.* 16:625-632.

Conway, C. and D.J. Bagyaraj. 1984. The effect of VA mycorrhizae on plant

growth. Eds. Powell. S.L. and D.J. Bagyaraj. In. VA mycorrhiza. CRC Press pp.120-130.

David, D., Douds, J.R. and Schenck, N.C. 1990. Increased sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimens. *Applied and Environmental Microbiology*. 2:413-418.

Declerck, S., Devos, B., Delvaux, B. and Plenchette, C. 1994. Growth responses of micropropagated banana plants to VAM Inoculation. *Fruits*. 49:103-109.

Declerck, S., Plenchette, C. and Strullu, D.G. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata*, AAA group) cultivar. *Plant Soil*. 176:183-187.

Declerck, S., Plenchette, C. and Strullu, D.G. 1996. In vitro mass-production of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus versiforme*, associated with *ri T-DNA* transformed carrot roots. *Mycol. Res*. 100(10):1237-1242.

Diop, T.A, C. Plench. and D.G. Strullu. 1994. Dual axenic culture of sheared-root inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with tomato roots. *Mycorrhiza* 5:17-22.

Dixon, R.K. and Marx, D.H. 1987. Mycorrhizae. In: Bonga JM, Durzan DF (eds) *Cell and tissue culture in forestry* (Forestry Science, vol 2). Nijhoff, Dordrecht

Dolcet-Sanjuan, R., Claveria, E., Camprubi, A., Estaun, V. and Calvet C. 1996.

Micropropagation of walnut trees(*Juglans regia* L) and response to arbuscular mycorrhizal inoculation.

agronomie. 16:639-645.

Dous, D.D. Jr., Galvez, L., Frande-Sy\nyder, M., Reider, C. and Drinkwater, L.E. 1997. Effect of compost addition and crop rotation point upon VAMfungi. Agriculture, Ecosystems and Environment. 65:257-266.

Fledmann, F. and E. Idczak. 1994. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In:techniques for mycorrhizal research. ed. by Norris, J.R., D. Read. and A.K. Varma. Academic Press, New York. pp. 800-817.

Garrett, S.D. 1963. Soil Fungi and Soil Fertility, Pergamon press. Oxford, UK.

Gianinazzi, P.V. and S. Gianinazzi. 1978. Enzymatic studies on the metabolism of vesicular arbuscular mycorrhizae: II. Soluble alkaline phosphates specific to mycorrhizal infection in onion roots. Physiol Pathol. 12:45-53.

Giullemin, J.P., Gianinazzi, S., Gianinazzi-Pearson, V. and Marchal, J. 1995. Influence des endomycorrhizes arbuscules sur la croissance et la nutrition minérale de vitroplants d'ananas dans un sol forte salinité. Fruits. 50:333-341.

Granger. R.L., Plenchette, C. and Fortin, J.A. 1983. Effect of a vesicular arbuscular(VA) endomycorrhizal fungus(*Glomus epigaeum*) on the growth and leaf mineral content of two apple clones propagated in vitro. Can J Plant Sci.

63:551-555.

Grattapaglia, D. and Machado, M.A. 1990. Micropropagac o. In: Torres, A.C., Caldas, L.S.(eds) T cnicas e aplicac es da cultura de tecidos de plantas. ABCTP/Embrapa-CNPHj, Brasilia, pp 99-170.

Harley, J.L. and S.E. Smith. 1989. Mycorrhiza symbiosis. Academic press, New York London.

Hawkins, H.J. and G. Eckhard. 1998. Substrate-free culture of mycorrhizal plants: Aeroptic, nutrient flow and hydroponic culture, In Microbes: for Health Wealth and Sustainable Environment. Ed. A. Varma, pp. 809-826. MPH, New Delhi.

Helm, D. and D. Carling. 1990. Use of on-site mycorrhizal inoculum for plant establishment on abandoned mined lands. Bureau of mines contract report. Palmer, Alaska.

Hetrick, B.A. 1986. Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: VA Mycorrhiza (Powell, C.L., D.J. Bagyaraj, ed.). pp. 35~56. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1938. The water-culture method for growing plants without soil. Agricultural Experiment Station circular 347. University of California, College of Agriculture, Berkeley.

Hooker, J.E., Gianazzi, S., Vestberg, M., Barea, A. and David, A. 1994. The application of arbuscular mycorrhizal fungi to micropropagation systems : an opportunity to reduce chemical inputs. *Agricultural Science in Finland*. 3:227-232.

Hooker, J.E., Gianazzi, S., Vestberg, M., Barea, A. and David, A. 1994. The application of arbuscular mycorrhizal fungi to micropropagation systems : an opportunity to reduce chemical inputs. *Agricultural Science in Finland*. 3:227-232.

Hung, L.L. and D.M. Sylvia. 1988. Production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus inoculum in aeroponic culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 54(2):353-357.

Jarstfer, A.G. and Sylvia, D.M. 1993. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: Mettinf FB Jr(ed) soil microbial ecology applications in agricultrue and ecvironmental management. Dekker, New York, pp. 349-377.

Jasper, D.A., A.D. Robon and L.K. Aborr. 1979. Phosphorus and the formation of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Soil biol. Biochem.* 11:501-505.

Kormanik, P.P., W.C. Bryan and R.C. Schultz. 1977. The role of mycorrhizae in plant growth and development. In: *Physiology of root-micro organisms associations*. Proc. Symp. S. Sect. Amer. Soc. Pl. Physiol. Atlanta, Georgia, Feb. 1997. pp. 10.

Levy, Y. and Kridun, J. 1979. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza in cirtrus jambhir water relations. *New Phytol.* 85:25-32.

Mackay, A.D. and S.A., Barber. 1984. Comparison of root and root hair growth in solution and soil culture. *J. Plant Nutrition* 7(12):1745-1757.

Marx, D.H. and Kenney, D.S. 1982. Production of ectomycorrhizal fungus inoculum. In: *Methods and principles of Mycorrhizal Research* (ed. N.C. Schenck). American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, USA. pp. 131-146.

Norland, M. 1993. Soil factors affecting mycorrhizal use in surface mine reclamation. Bureau of mines information circular. United States Department of the Interior.

Mathur, N. and Vyas, A. 1995. In vitro production of *Glomus deserticola* in association with *Ziziphus nummularia*. *Plant Cell Rep.* 14:735-737.

McGonigle, T.P., M.H. Miller., D.G. Evans., G.L. Fairchild. and J.A. Swan. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115:495-501.

Millner, P.D. and Kitt, D.G. 1992. The beltville method for soilless production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza.* 2:9-15.

Morte, M.A., Diaz, G. and Honrubia, M. 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on micropropagated *Tetraclinis articulata* growth and survival. *agronomie.* 16:633-637.

Morton, J.B. and G.L. Benny. 1990. revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi(Zygomycetes):A new order, Glomales, Two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. Mycotaxon 37:471-491.

Morton, J.B., Snyder, M., Sturmer, S., Heldreth, K., Nichols, K. and Wheeler, W. 1996. Classification and identification of arbuscular mycorrhizal fungi. First ICOM Workshop, August 1-4.

Mosse, B., Stribley, D.P. and Letacon, F. 1981. Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. Advances in Microbial Ecology. 5:137-210.

Munro, R.C., Wilson, J., Jefwa, J. and Mbuthia, KW. 1999. A low-cost method of mycorrhizal inoculation improves growth of *Acacia tortilis* seedlings in the nursery. Forest Ecology and Management. 113:51-56.

Ojala, J.C. and Jarrell, W.M. 1980. Hydroponic sand culture systems for mycorrhizal research. Plant and Soil. 57:297-303.

Paul, E.A. and Ducey, R.M.N. 1981. Carbon flow in plant microbial associations. Science. pp. 213:473-4.

Phillips, J.M. and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Translocations of the British Mycological Society. 55:158-160.

Ratnayake, M., R.T. Leonard and J.A. Menge. 1978. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation, *New Phytol.*, 81:543.

Read, D.J., Kouček, H.K. and Hodgson, J. 1976.

Vesicular-arbuscular mycorrhiza in native vegetation system. *New Phytol.* 77:641-653.

Rosendahl, S. and Dodd, J.C. 1995 The - Expert System, Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Expert center for Taxonomic identification University of Amsterdam, Mauritskade 61, NL 1092 AD, Amsterdam, The Netherlands

Rousseau, J.V.D., D.M. Sylvia. and A.J. Fox. 1994. Contribution of ectomycorrhiza to the potential nutrient-absorbing surface of pine. *New Phytol.* 128:639-644.

Schenck, N.C. and Yvonne Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi, 3rd edition. Gainesville, Florida, USA.

Sylvia, D. M. and Jarstfer, A.G. 1992. Sheared root inoculum of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 58:229-232.

Smith, S.E. 1982. Inflow of phosphate into mycorrhizal and non-mycorrhizal plants of *Trifolium subterraneum* at different levels of soil phosphate. *New Phytol.* 90:293-303.

Smith, S.E. and Read, D.J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Academic, sanDiego.

Subhan, S., Sharmila, P. and Pardha Saradhi, P. 1998. *Glomus fasciculatum* alleviates transplantation shock of micropropagated *Sesbania sesban*. Plant Cell Reports. 17:268-272.

Swaminathan, K. and Verma, B.C. 1979. Responses of three crop species to vesicular mycorrhizal infection on zinc-deficient indian soils. New Phytol. 82:481-487.

Tarafdar, J.C. and Praveen-Kumar. 1996. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on crop, tree and grasses grown in an arid environment. Journal of Arid Environments. 34:197-203.

Tinker, P.B., Jones, M.D. and Durall, D.M. 1992. A functional comparison of ecto-and endomycorrhizas. In 'Mycorrhizas in Ecosystems' 303-310. CAB International, Wellingford, UK.

Trimble, M.R. and Knowles, N.R. 1995. Influence of phosphorus nutrition and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of greenhouse cucumber(*Cucumis sativus* L.). Plant Science. 75:251-259.

Uosudainen, M., Vestberg, M., Barea, J.M. and Atkinson, D. 1994. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizas on rooting, weaning and subsequent growth of micropropagated *Malus*(L.) Moench. Agricultural Science in Finland.

3:269-279.

Whetten, r. and A.J. Anderson. 1992. Theoretical considerations in the commercial utilization of mycorrhizal fungi. Handbook of applied Mycology(ed. by Arora, D.K., R.P. Elander. and K.G. Mukerji) vol. 4, pp. 849-879.

Wu, Chi-Guang. and Lin, Su-Chen. 1998. Technical manual of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Taiwan Agricultural Research Institute.

Yano-Melo, A.M., SagginJr, O.J., Lima-Filho, J.M. and Melo, N.F. 1999. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the acclimatization of micropropagated banana plantlets. Mycorrhiza. 9:119-123.

가강현, 이상선, 이민용. 1990. 식물균락에서 VA 내생균근발견.
한국균학회지. 18(4):191-197.

고성덕, 이형환. 1984. 간사지 식물과 관련된 VA VA 균근균의 분류와 분포에 관한 연구. 한국 균학회지 12(4):175-181.

김준태, 리기현, 정병철. 1993. 사구식물과 Arbuscular 내생균근균의 공생특성. 한국 균학회지 21(3):232-245.

농림부. 1996. 주요작물 지역별 재배동향.

손보균. 1987. 몇 가지 밭 작물에 대한 VA균근균의 감염과 그 형태적 특성. 순천대학 농업과학연구 제1집. 1:139-147.

손보균, 허상만. 1989. 시설재배지에서 자란 가지와 고추에 있어서 VA균근균 감염에 관한 연구. 순천대학 농업과학연구 제3집. : 51-60.

손보균. 1991. 시설원예작물의 균근감염과 초기생장반응에 미치는 토착 VA균근균에 관한 연구. 박사학위논문, 전남대학교.

손보균, 허상만, 김광식. 1991. 시설원예 작물에서 토착 VA균근에 관한 연구, I. 감염양상과 밀도. 한토비지. 24(3):225-233.

손보균, 김광식. 1991. 시설원예 작물에서 토착 VA균근에 관한 연구, II. VA균근균의 동정. 한토비지. 24(4):293-301.

손보균, 양원모, 김광식. 1992. 시설원예 작물에서 토착 VA균근에 관한 연구, III. 초기생육의 VA균근균 접종효과. 한토비지. 25(1):99-107.

손보균, 허상만, 김길용. 1994. 딸기 묘 초기생육에 미치는 VA균근균의 접종효과. 한토비지. 27(1):54-63.

손보균. 1996. VA균근균 접종에 의한 고추의 염류장해 경감효과에 관한 연구. 한국과학재단 연구보고서.

심경구, 이경준, 안영희, 유종훈. 1985. 조경수목의 VA 내생균근균에 관한 연구. 성균관 대학교 논문집(과학기술편).36(32):499-505.

심재욱, 이상선, 장영수. 1996. 오염지역과 비오염지역의 토양에 관한 Arbuscular mycorrhizal fungi의 포자밀도. 한국균학회지 24(1):55-66.

이상선, 엄안흠, 이운학, 김명곤, 김성일. 1993. 포트배양에 의해 증식된 Arbuscular 내생균근균의 한국 미기록종 기재, 한국균학회지 21(2):85-93.

李景俊, 具昌德. 1983. 韓國의 木本植物의 外生 및 內生菌根에 關한 分類學的 分布. 韓國林學會誌. 59:37-45.

李炳澈. 1988. VA 內生菌根이 과와 煙草의 生育에 미치는 影響. 博士學位論文. 慶北大學校.

日本土壤肥料學會. 1988. 植物營養實驗法. 博友社 pp.365-367.

토양화학분석법. 1988. 농촌진흥청 농업기술연구소.