

315020-05

생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성 사과대목 선발

2020

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)

농생명산업기술개발사업 2020년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003327-01

생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성 사과대목 선발

2020. 12. 18.

주관연구기관 / 경북대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성 사과대목 선발”(개발기간 : 2015. 08. 14. ~ 2020. 08. 13.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 12. 18.

주관연구기관명 : 경북대학교 산학협력단

(대표자) 김지현 (인)

1 참여기관명 : 우진종묘농원

(대표자) 홍우진 (인)

2 참여기관명 : 경산키낮은사과묘목(하나과수묘목)

(대표자) 배준우 (인)

주관연구책임자 : 윤태명

1 참여기관책임자 : 홍우진

2 참여기관책임자 : 배준우

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	315020-5	해 당 단 계 연 구 기 간	2019.04.14. ~2020.08.13	단 계 구 분	(5)/(5)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발			
연구과제명	대 과 제 명	생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성사과대목 선발			
	세부 과제명	1세부 : G.계통 대목의 생산성 검정 및 증식시험 2세부 : G.계통 대목의 내환경성 검정 및 내병충성 검정시험			
연구책임자	윤태명	해당단계 참여연구원 수	총: 14명 내부: 9명 외부: 5명	해당단계 연구개발비	정부:132,000천원 민간: 44,000천원 계:176,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 25명 내부: 18명 외부: 7명	총 연구개발비	정부:500,000천원 민간:200,000천원 계:700,000천원
연구기관명 및 소속부서명	경북대학교 농업생명과학대학 원예과학과			참여기업명 우진종묘농원 경산키낮은사과묘목(하나과수묘목)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) 보고서 면수

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>우리나라에서 사용하고 있는 M.9 또는 M.26과 비슷한 왜화도와 생산성을 가지면서 이들 대목에 비해 환경적응성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발하여 사과산업의 안정적 발전에 기여하고자 함. 미국 Cornell 대학에서 육성한 대목에 대하여 연작적응성, 내건성, 내습성, 내동성, 주요 토양병 내성, 생산성 등을 종합적으로 평가하여 우리 환경에 적합하고, 기존 M.9 또는 M.26을 대체할 수 있는 대목을 선발할 것임.</p>
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> - M.26과 M.9에 비해 G 및 CG 대목이 연작적응성이 양호하였고 이중 G.935, CG.5087과 G.214가 무살균 연작토에서도 양호한 생장을 보여 공시한 대목 중 가장 연작적응성이 우수한 것으로 평가되었음. - 내건성 검정에서 공시한 대목 중에는 CG.5087이 한발스트레스에 가장 민감한 것으로, G.202, G.214와 G.935는 M.26보다 내건성이 우수한 것으로, G.11, CG.4814는 M.9와 비슷한 수준을 보이는 것으로 평가되었음. - 내습성은 공시 대목 중에 M.9와 G.214가 가장 취약하였고 다음으로는 G.202인 것으로 평가되었음. 반면에 CG.4814는 내습성이 가장 우수하였고 CG.5087, G.935와 G.11은 M.26과 비슷한 수준의 내습성을 가진 것으로 평가되었음. - 내동성 검정에서는 내재휴면기 동안은 CG.4814, CG.5087 ≥ M.26 ≥ G.11, G.214, G.935, M.9 ≥ G.202 순으로, 내재휴면이 끝난 후 탈경화에 따른 내동성은 G.935 ≥ G.11, G.214, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9 ≥ G.202 순으로 평가되었음. - 주요 토양병에 대한 내성 검정에서 역병에 대해서는 G.11이 M.9와 같은 수준의 내성을 보였으나 기타 공시 G 및 CG대목은 M.9나 M.26에 비해 민감한 것으로 평가되었음. 그러나 흰날개무늬병과 흰비단병에 대해서는 M.9나 M.26에 비해 공시 G 및 CG 대목이 내성이 우수하였음. - 사과면충에 대해서는 G.935와 CG.4814는 M.9나 M.26과 같은 수준의 감수성을 보였고 나머지 G 및 CG.계통 대목은 내성을 가진 것으로 평가되었음. - 나무의 자람세는 지역에 관계없이 G.202, G.935, CG.4814 대목이 M.26과 비슷하거나 좀 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났고 G.11, G.41, G.214, CG.5087은 M.9와 비슷한 왜화도를 보인 반면에 CG.5757은 M.9보다 자람이 다소 약한 것으로 평가되었음.

<p>연구개발성과</p>	<p>- 생산성 평가에서는 경북대 부속실습장에서는 주당 누적수량에 있어서 G.202, G.935, CG.4814가 M.9의 생산성을 능가하였고 CG.5757과 CG.5087은 M.9에 미치지 못하였다. 경북의 사과주산지 3곳에서는 CG.4814, G.11, G.202, G.214, G.935 등이 M.26보다 다소 높거나 비슷한 수준이었으며 CG.5087은 M.9와 함께 타 대목에 조금 못 미치는 생산성을 보였음</p> <p>결론적으로 여러 가지 환경적 요인에 대한 적응성 또는 내성을 종합적으로 평가하였을 때 G.935와 CG.4814가 기존의 M.9나 M.26을 대체할 수 있는 유망한 후보로 평가되었음. 더구나 최근 문제가 되고 있는 화상병에 대해서도 저항성을 갖고 있어서 더욱 국내 보급가치가 있다고 보고 있음. CG.4814보다는 G.935가 내환경성이 앞서는 것으로 평가되어 G.935를 우선적으로 국내에 보급할 계획임</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>- 참여업체인 우진종묘와 하나종묘가 미국 코넬대로부터 G.935를 우리나라에서 증식, 보급할 수 있는 권리를 획득할 수 있도록 조치를 취할 것임.</p> <p>- 왜화도가 M.26과 비슷하므로 최근에 연구진에 개발하고 있는 새로운 수형인 2축 또는 다축형을 적용하면 수고 3.5m 내외의 평면수관의 고밀식 재배가 가능하여 과원관리의 기계화에도 문제가 없을 것임.</p> <p>- 이미 2축 묘목 생산기술을 확보하고 있는 우진종묘와 하나종묘에서 G.935 대목의 우수한 소질의 2축 묘목을 보급할 것임.</p> <p>- 경북 봉화군, 청송군, 경남 거창군 등 사과주산지 농가에 G.935를 대목으로 하는 2축 또는 다축형 시범단지를 조성하여 농가교육과 보급의 기지로 활용할 것임.</p> <p>- 국내외 학술지뿐 아니라 사과전문 계간 잡지인 “사과”에 연구결과를 게재하여 학자뿐 아니라 사과농업인들도 정보를 접할 수 있도록 할 것임.</p> <p>- G.935는 내건성과 내습성, 내동성은 M.26과 비슷하면서도 연속적응성이 우수하고 흰비단병과 흰날개무늬병에 내성이 있어서 사과를 연이어 재배할 수 있을 뿐 아니라 지구온난화와 함께 찾아지는 기상이변에도 피해가 경감될 수 있을 것임.</p> <p>- 특히 G.935는 화상병에 내성을 갖고 있어서 최근 우리나라 과수업계에 재앙으로 여겨지고 있는 화상병의 확산을 막는데 기여할 수 있을 것임.</p>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	사과왜성대목	내동성	내병성	내충성	연작적응성
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	apple dwarf rootstock	frost resistance	disease resistance	insect resistance	adaptability to continuous cropping

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

- 1. 연구개발과제의 개요
- 1-1. 연구개발 목적
- 1-2. 연구개발의 필요성
- 1-3. 연구개발 범위
- 2. 연구수행 내용 및 결과
- 2-1. G 계통 대목의 연작적응성, 생산성 검정 및 증식 시험
- 2-1-1. 연작적응성
- 2-1-2. 성장특성 및 생산성
- 2-1-3. 증식특성
- 2-2. G 계통 대목의 내환경성 검정 및 내병충성 검정 시험
- 2-2-1. 내건성
- 2-2-2. 내습성
- 2-2-3. 내동성
- 2-2-4. 토양병 내성 및 사과면충
- 2-3. 요약 및 결론
- 2-4. 연구성과 목표 대비 실적
- 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도
- 3-1. 목표
- 3-2. 목표 달성여부
- 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)
- 4. 연구결과의 활용 계획 등

- 붙임. 참고 문헌

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

우리나라에서 왜성대목을 이용한 사과재배는 1970년대부터 시작되었으나 MM.106 또는 M.26을 실생대목에 중간대목으로 이용하는 수준으로 엄밀하게 말하면 자근대목을 이용하는 유럽에 비해 재식거리가 넓고 나무도 크게 키우는 준왜화재배라고 할 수 있다.

실질적인 왜화재배는 1990년대 후반부터 M.9 대목을 도입하여 유럽의 고밀식 재배체계를 모델로 하여 1,900주/ha 이상의 밀식재배가 본격화되었다. 이를 통해 조기 다수확은 물론 품질향상, 인력절감 등의 효과를 가져와 빠르게 확대되고 있고 M.26의 경우도 이중접목묘 보다는 자근묘목을 선호하게 되었다.

그러나 M.9 대목의 사과나무는 내환경성이 떨어지는 반면에 결실율이 높아 관리를 소홀히 하면 수세가 쉽게 떨어지고 특히 2~3월에 동해 발생이 심해지는 문제점이 나타나고 있다. 적지 않은 사과농가들이 높은 개원비를 부담하면서 개원을 하여 본격적인 결실기에 도달되면 동해를 심하게 받음에 따라 밀식재배를 기피하는 경우가 나타나고 있다. M.26은 M.9에 비해 내환경성은 다소 양호하지만 여전히 관배수시설이 필요하고 튼튼한 지주를 세워야만 할뿐 아니라 다소 나무가 크게 자라고 개체 간 균일성이 떨어지면서 조기 결실성, 수량성, 과실 크기와 같은 품질에 있어서 M.9보다 떨어지기 때문에 선진국에서는 M.26보다는 M.9를 선호한다.

미국 Cornell 대학은 1960년대부터 내병성, 내동성, 연작적응성이 있는 왜성대목의 육성을 목표로 육종프로그램을 시작하여 최근에 우수한 대목을 육성하는 성과를 올리고 있다. 이들 대목은 M.9와 M.26에 비슷한 왜화도와 생산성을 보이면서도 환경적응성이 양호한데 특히 연작적응성이 뛰어나고 화상병에 대한 저항성이 있는 것으로 평가되어 세계적으로 주목을 받고 있다.

따라서 본 연구는 미국 Cornell 대학에서 육성한 대목을 중심으로 내환경성, 연작적응성, 생산성 등을 종합적으로 평가하여 기존의 M.9 또는 M.26의 단점을 보완하여 우리 환경에 적합한 왜성대목을 선발하여 고밀식 사과재배체계의 확대를 통한 사과산업 발전에 기여하고자 하는데 그 목적이 있다.

1-2. 연구개발의 필요성

가. 국내 기술현황과 문제점

1990년 후반부터 M.9 대목을 도입하여 고밀식 사과재배를 시작한 이래로 적지 않은 시행착오를 겪었지만 이제는 자리를 잡아가면서 노동력을 크게 경감시키면서 고품질의 사과를 일찍부터 다수확하여 농가 소득에 크게 기여하고 있다.

<M.9대목을 이용한 고밀식 사과재배의 장점>

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">· 조기중수(6년 누적) : 일반재배 28.2톤 -> 밀식재배 197톤/ha· 품질향상 : 상품과율 40% -> 80%· 노동력 절감 : 121.4시 -> 86.1시간/10a |
|--|

M.9 대목 사과나무에 유독 동해발생이 심하여 한과 윤이 2004년에 처음으로 한국원예학회에

“M.9대목 사과나무의 동해발상 양상”을 보고한 이래로 해마다 과다 결실하거나 수세가 떨어지는 사과나무에서 동해가 발생되고 있고 지역과 해에 따라서 폐원에 이르는 사과원도 적지 않은 실정으로 M.9 대목을 이용한 고밀식 재배체계의 확대에 큰 장애로 작용하고 있다.

특히 지접부에서 발생하는 동해는 배수가 불량한 사과원, 보수력이 떨어지는 가벼운 토양과 토심이 얇은 사과원, 과다한 시비로 후기 생장이 많은 사과원, 수관하부 제초를 철저히 하지 않은 사과원, 과다하게 착과를 하여 수세까지 떨어지는 사과원에서 많이 발생하고 있다. 기상적으로는 겨울 가뭄이 심한 해, 2~3월 이상 난동이 있는 해에 동해 발생이 많고 지역적으로는 남서향의 경사지에서 동해 발생이 많은 경향을 보이고 있다.

동해 경감을 위한 대책으로는 적정 시비와 착과를 통한 수세안정, 장마기 배수와 한발기 관수 등 적절한 수분관리, 수관하부 제초, 동절기 관수 등의 경종적 방법과 지접부 흰색페인트 칠을 통한 겨울철 지접부 수체 온도 상승 방지, 단열체를 이용한 지접부 피복을 통한 수체온도의 급격한 변화 예방 등이 있으나 동해를 근본적으로는 막지 못하고 있는 것이 현실이다. 일단 부분적으로라도 줄기에 동해를 입으면 나무줄이 파고드는 등의 2차 피해로 인한 결주율이 더욱 높아지고 있다. 대부분 동해가 수관이 거의 완성되어 본격적으로 결실이 시작되는 시점에 주로 발생하고 있어 개원과 초기 관리에 많은 비용과 노력이 들어가는 고밀식 재배에 있어 농가에 미치는 경제적 손실은 막대한 수준이다.

고품질 사과를 조기부터 다수확 할 수 있으면서도 노동력을 크게 줄일 수 있는 장점 때문에 우리나라사과산업의 경쟁력을 강화할 수 있는 것으로 평가되고 있는 M.9 대목을 이용한 고밀식 재배가 동해 위험성 때문에 M.9를 기피하고 M.26을 선호하는 농가들도 적지 않은 것이 사실이다. 그러나 M.26은 토양조건에 따라 개체간의 생육차가 크고, M.9에 비해 크게 자라기 때문에 관리노력이 더 소요됨에도 생산성이 떨어질 뿐 아니라 과실이 작은 경향으로 우리나라와 일본을 제외하고는 세계적으로 M.9에 비해 보급률이 매우 낮은 대목이다.

UPOV가 국제기구로 자리 잡으면서 신품종육종가의 권리가 강화되고 생명공학기술의 발달로 유망 사과 신품종이 쏟아지고 있는데다가 최근 유망 신품종의 등장, 재배기술의 발달과 시장환경의 변화 등으로 사과의 재배주기가 15년 내외로 짧아지고 있다. 사과는 한곳에서 연이어 재배하면 다른 많은 작물에서 볼 수 있는 것처럼 생육과 생산성이 크게 떨어지는 연작장해현상이 일어난다. 윤작이 가장 근본적인 대책이나 다른 작물과는 달리 고정시설이 필요한데다 필지 규모도 커서 대체지를 구하기가 어려워 윤작이 불가피하다. 연작장해를 피할 수 있는 현실적인 대안이 과채류에서와 같이 저항성 대목을 이용하는 것이다. M.26과 M.9는 연작에 취약한 특성이 있으나 미국 Cornell 대학에서 육성한 Geneva대목은 왜화도와 조기결실성이 우수하면서도 연작적응성이 우수한 것으로 평가되고 있다. 우리나라에서도 이들 대목을 이용할 수 있으면 사과에서 연작장해를 해결하는데 크게 도움이 될 것이다.

나. 국제 기술 현황과 문제점

1950년대 후반 네덜란드에서 세장방추형이 개발되면서 영국에서 육성한 왜성대목의 중요성이 평가되고 그중 M.9 또는 M.26이 특히 유망한 사과대목으로 자리 잡게 되었으며 세계적으로 가장 많이 이용되고 있다. 일반적으로 M.26에 비해 M.9 대목이 왜화도가 높아 더욱 밀식할 수 있고 M.26 대목과 비교하여 아래와 같은 특성에 차이가 있어서 경영적인 측면에서 우수한 것으로 평가되어 밀식재배에서 세계적으로 가장 많이 이용되고 있다.

M.26과 M.9 간에는 M.26이 M.9보다 크게 자라 조기 결실성과 관리의 편의성은 떨어지나 내

동성은 M.9보다 강한 것으로 알려져 있다. M.26은 기근속이 많이 생기고 조건에 따라 개체 간 생육 차이가 큰 편인 반면에 M.9는 M.26에 비해 번식력이 다소 떨어지고 화상병과 면충에 약한 특징을 갖고 있다.

표 1. M.9 대목과 M.26 대목의 특성차이(Stainer 1990)

대 목	조기결실	수량성	지지력	기근속발생	대목번식력	친화성	접목부 부러짐
M.9	극히 양호	극히 양호	나쁨	적음	중간	양호	어려움
M.26	매우 양호	매우 양호	다소 나쁨	많음	중간	중간	쉬움

단과지 품종에서도 적합한 정도의 왜화도를 가지면서 지지력과 번식력이 좋고 가뭄에 더 강한 대목을 필요로 하고 있다. 특히 세계적으로 문제가 되고 있는 화상병 뿐 아니라 역병과 사과면충에 대해서도 내성이 있고 내동성이 강하면서 연작적응성이 좋은 특성의 대목이 필요하다.

1980년대까지만 하더라도 영국, 독일, 체코, 폴란드, 러시아, 스웨덴/노르웨이, 캐나다, 미국, 일본 등에서 사과대목을 육성하였고 2000년대에는 미국, 러시아, 일본 등이 대목 육성을 계속하고 있고 한국, 중국, 뉴질랜드가 사과대목 육성에 새로 참여하는 등 세계적으로 대목육성을 많이 하고 있다. 미국의 G. 및 CG.시리즈, 영국의 AR시리즈, 러시아의 B.시리즈, 폴란드의 P.시리즈, 체코의 JTE 시리즈, 캐나다의 V.시리즈와 SJP시리즈, 독일의 Supp.시리즈와 PiAu시리즈, 일본의 JM시리즈 등 다양한 왜성사과 대목이 육성되어 세계 각지에서 평가되고 있는 상황이다.

이 중에서 미국 코넬대학에서 육성한 G.계통 대목은 M.9 또는 M.26와 비슷한 왜화도와 생산성을 보이면서도 화상병 면역성, 역병 저항성, 연작적응성, 내동성 등의 장점이 있는 것으로 평가되면서 북미는 물론, 유럽에서 평가 및 보급되고 있다. 상업화되고 있는 대표적인 신품종 대목으로 G.11, G.41, G.214, G.935, G.202, G.30, G.969 등이 있다(Cornell 대학 자료). 아직 명명되지 않은 선발계 중에 유망시 되는 대목으로는 CG.4214, CG.6006, CG.5005, CG.5087, CG.5012가 있다고 한다(Robison 등, 2011).

프랑스에서 검토한 결과에 따르면 G.11, G.41, G.202 등이 유망한 것으로 평가되고 있고 (Simard 등, 2011), 미국 워싱턴주의 사과 연작지에서 검토한 결과에 따르면 G.41, G.935, CG.4214, CG.4814 등이 양호한 성적을 보인 것으로 보고되고 있다(Auvil 등, 2011). 미국 Main 주에서 행한 내동성 시험에서 G.16은 M.26과 비슷한 내성을 보였고 G.935는 M.26보다 내동성이 더 강한 것으로 보고되고 있다(Moran & Sun, 2011). 멕시코에서 행한 연구에서는 G.11, G.41, G.935가 생산성이 높은 것으로 평가되었다(Dhavez-Gonzalez 등 2011).

표 2. 일부 공시대목의 주요 특성 (Iowa대학교, 2004)

대목	실생대비	결실성	내동성	토양적응성	역병	화상병	비고
G.11	40-50%	극조숙성, 극풍산성	검토필요	양호	저항성	보통	유망함, 흡지와 기근속 거의 없음. 과실크기 양호
G.41	30-40	극조숙성, 극풍산성	검토필요	양호	저항성 강	저항성 강	유망함, 과실크기 양호, 분지가 넓음
G.16	35-45	극조숙성, 극풍산성	검토필요	양호	저항성	저항성 매우 강	유망함, 극소량 흡지, 기근속 무, 잠재 바이러스에 매우 민감, 무독접수를 사용해야함.
G.202	45-55	극조숙성, 극풍산성	M7보다 강, 검토필요	양호	저항성	저항성 강	흡지 보통, 기근속 적음
G.985	50-60	극조숙성, 극풍산성	검토필요	양호	저항성 강	저항성 강	유망함, 과실크기 양호, 분지가 넓음
B.9	30-40	극조숙성, 극풍산성	M9보다 강, 늦겨울에 민감	내습성 약	저항성 매우 강	M9보다 강	흡지 보통, 기근속 거의 없음, 내건성 약, tomato ring spot virus에 민감, 들쥐에 취약
M.9	30-45	극조숙성, 극풍산성	M9보다 다소 강	양호	저항성	매우 민감	계통에 따라 흡지와 기근속, 과실크기 양호
M.26	45-55	극조숙성, 풍산성	강	배수 좋은 토양	배수 불량지 보통 민감	극히 민감	흡지 없으나 기근속 다, tomato ring spot virus에 민감, 일부품종과 친화력 문제

1-3. 연구개발 범위

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용과 범위
1차년도	2015	<ul style="list-style-type: none"> ○ G., CG계통 대목과 M.9, M.26을 공시하고 내건성, 내습성, 내동성 등을 평가하여 우리나라 환경에서 M.9 또는 M.26 보다 환경 적응력이 우수한 새로운 왜성대목을 선발하고자함. - 분재배를 통한 내건성 및 내습성 검토 	<ul style="list-style-type: none"> ○공시대목 : G.11 등 8계통의 대목 ○증식한 대목을 용기재배하면서 관수량조절을 통해 스트레스를 유발하고 생장,생리반응을 조사 비교함. <ul style="list-style-type: none"> · 신초 생장, 줄기비대, 뿌리생장 등 영양생장 조사 비교 · 광합성, 기공컨덕턴스 등 생리반응 검토 ○증식한 대목을 용기재배하면서 침수조건을 유발한 후 생장 및 생리반응을 조사 비교함. <ul style="list-style-type: none"> · 신초 생장, 줄기비대, 뿌리생장 등 영양생장 조사 비교 · 광합성, 기공컨덕턴스 등 생리반응 검토
		<ul style="list-style-type: none"> ○G.계통 대목의 생산성 검토 - G.계통과 B.9, M.9, M.26에 ‘후지’품종의 접목한 사과나무의 생장특성과 생산성 검토 <ul style="list-style-type: none"> · 경북 사과주산지에서 공시대목의 현장적응성을 검토하기 위하 	<ul style="list-style-type: none"> ○공시대목 : G.11 등 8계통의 대목에 ‘후지’ 품종 접목료 ○생산성 검토를 위한 포장을 조성하고 생육과 기타 생장특성 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> · 조성지역 : 영주, 청송, 봉화 · 생육 및 기타 특성조사

		여 시험포장 조성과 1년차 생장 조사	
2차년도	2016	<p>○G. 계열 대목과 B.9, M.9, M.2.6을 공시하고 내건성, 내습성, 내동성 등을 평가하여 우리나라 환경에서 M.9 또는 M.26보다 환경적응력이 우수한 새로운 왜성대목을 선발함.</p> <p>- 공시 대목별 '후지' 접목묘를 이용한 내건성 및 내습성 검토 - 공시 대목별 자발적 휴면기 이후의 동해 민감성을 검토</p>	<p>○대목별 '후지'접목 묘목을 용기재배 하면서 관수량을 조절을 통해 스트레스를 유발하고 생장, 생리반응을 조사 비교함.</p> <p>· 신초생장, 줄기비대, 뿌리생장 등 영양생장 조사 비교 · 광합성, 기공컨덕턴스 등 생리반응 검토</p> <p>○대목별 '후지' 접목 묘목을 용기재배 하면서 침수조건을 유발하고 생장 및 생리반응을 조사 비교함.</p> <p>· 신초 생장, 줄기비대, 뿌리생장 등 영양생장 조사 비교 · 광합성, 기공컨덕턴스 등 생리반응 검토</p> <p>○대목을 용기재배하면서 2~3월에 저온을 조우하게 하여 동해발생 정도와 생육 양상을 조사하여 내동성을 평가함</p> <p>· 15℃ 이상 1주일 경과 후 -10℃ 이하 하루 처리 · 뿌리압 변화, 동해 여부 및 초기 생장양상 조사</p> <p>○분포에서의 내동성 및 검정을 위한 묘목생산</p>
		<p>G.계통 대목과 M.9, M.26을 공시하고 연작적응성을 검토하여 M.9 또는 M.26에 비해 연작적응성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발함.</p> <p>- 연작지에 재식 1년차 생육조사를 통한 공시대목별 사과연작지 적응성을 검토함</p>	<p>○사과 연작지와 처너지에 공시대목 묘를 재식하고 재식당년의 생장량을 비교하여 당년의 사과.연작지 적응성을 평가</p> <p>· 생장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 병해충 및 생리장해 발생 여부와 정도 · 수량 및 과실품질</p>
3차년도	2017	<p>○공시 대목의 내동성 등을 평가하여 우리나라 환경에서 M.9 또는 M.26 보다 내동성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발함.</p> <p>- 3년간의 성적을 종합하여 우리나라에서 환경에서 적응성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발</p>	<p>○포장재배를 통한 대목별 동해 민감성 조사</p> <p>· 2월 중순에 일정기간 인위적으로 Dehardening 유발한 다음 동해발생 정도와 생육상을 조사</p> <p>○분재배 및 노지재배를 통한 내건성, 내습성, 내동성을 평가 결과를 종합하여 환경 적응성이 높은 대목 순위 결정</p>
		<p>○G.계통 대목의 연작적응성 및 생</p>	<p>○재식 3년차 생장특성, 결실 및 과실</p>

		<p>산성 검정</p> <ul style="list-style-type: none"> - G.계통과 B.9, M.9, M.26 접목 사과나무의 성장특성과 생산성 검정 · 재식 3년차의 성장과 조기결실성 파악 - G.계통 대목의 연작적응성 및 생산성 검정 · 사과 연작지 재식 사과나무의 2년차 생육 비교 	<p>품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 수량 및 과신품질 <p>○연작지 재식 2년차 생육 및 과신품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 수량 및 과신품질
4차년도	2018	<p>○G.계통 대목의 연작적응성 및 생산성 검정</p> <ul style="list-style-type: none"> - G.계통과 B.9, M.9, M.26 대목에 '후지' 접목 사과나무의 성장특성과 생산성 검정 · 재식 4년차의 성장과 조기결실성 파악 - G.계통 대목의 연작적응성 검정 · 사과연작지 재식 사과나무의 3년차 생육 비교 	<p>○재식 4년차 성장특성, 결실 및 과신품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 병해충 및 생리장해 발생 여부와 정도 · 수량 및 과신품질 <p>○사과 연작지 재식 3년차 생육 및 과신품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 병해충 및 생리장해 발생 여부와 정도 · 수량 및 과신품질
		<p>○G.계통 대목의 내·병충성 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - 주요 토양감염병에 대한 내성 검토 - 사과면충에 대한 내성 검토 	<p>○접종대상 병 : 역병, 뿌리혹병, 흰날개무늬병, 흰비단병 등</p> <p>접종대상 충 : 사과면충</p> <ul style="list-style-type: none"> · 감염 또는 서식율 조사 · 고사율 및 성장 조사
		<p>○유망 G.계통 대목의 증식 및 우량묘목 생산기술 확립</p> <ul style="list-style-type: none"> · 발근특성과 증식율 검토 · 내환경성 대목의 뿌리압과 일비현상 특성 	<p>○대목별 증식율 및 대목의 소질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 물어떼기 증식율 · 발근상태, 대목직경 <p>○대목 재식 2년차의 뿌리압 변화와 수액누출 양상을 조사</p>
5차년도	2019	<p>○G.계통 대목의 연작적응성 및 생산성 검정</p> <ul style="list-style-type: none"> - G.계통과 B.9, M.9, M.26 접목 사과나무의 성장특성과 생산성 검정 · 재식 5년차의 성장과 조기결실성 파악 - G.계통 대목의 연작적응성 및 생산성 검정 · 사과연작지 재식 사과나무의 4년차 생육 비교 	<p>○재식 5년차 성장특성, 결실 및 과신품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 병해충 및 생리장해 발생 여부와 정도 · 수량 및 과신품질 <p>○사과 연작지 적응성 평가를 위한 재식 4년차 생육 및 과신품질 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> · 성장특성 : 수고, 수폭, 줄기 비대 · 병해충 및 생리장해 발생 여부와 정도 · 수량 및 과신품질
		<p>○G.계통 대목의 내·병충성 평가</p>	<p>○접종대상 병 : 역병, 뿌리혹병,</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 토양감염병에 대한 내성 검토 - 사과면충에 대한 내성 검토 	<p>흰날개무늬병, 흰비단병 등 집중대상 충 : 사과면충</p> <ul style="list-style-type: none"> · 감염 또는 서식율 조사 · 고사율 및 생장 조사
	<p>○유망 G.계통 대목의 증식 및 우량 묘목 생산기술 확립</p> <ul style="list-style-type: none"> · 묘목 득묘율 및 측지 발생 특성 · 측지발생을 위한 생장조절제 처리방법 	<p>○접목 활착율 및 측지발생 특성</p> <p>○‘후지’와 ‘홍로’ 품종에 있어서의 측지 발생 촉진 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> · 1년생 묘목 생산기술 · 2년생(크넵바움) 묘목 생산기술
	<p>○M.9 또는 M.26 대목을 대체할 수 있는 유망 G. 대목 선발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 환경적응성 및 내병해충성이 높은 대목 - 연작적응성이 뛰어난 대목 - 생산성이 우수한 대목 	<p>○5년간의 분재배 및 포장시험을 종합하여 최종 선발하고 국내 등록 및 증식·보급권 확보를 위한 후속 조치 준비</p>

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. G 계통 대목의 연작적응성, 생산성 검정 및 증식시험

2-1-1. 연작적응성

가. 서론

사과新品种에 대한 지적재산권이 국제적으로 25년간 보장되면서 국가는 물론 민간기업이 육종에 적극 참여하여 사과에서도新品种 육성이 세계적으로 크게 활성화 되고 있다. 이러한 분위기 속에 날로 발달하는 육종기술에 힘입어 매년 유망한 사과新品种이 쏟아지고 있는 것이다(윤, 2019). 개방된 자유경쟁 시장체계 하에서 빠르게 변화하는 시장 환경과 소비자의 기호에 따라新品种 재식을 통해 얼마나 말 빠르게 부응하느냐가 사과산업에서도 경쟁력 확보의 핵심이 되고 있다. 그러다 보니 사과원의 경제적 수명이 날로 짧아져 이제는 15~20년 정도에 불과하게 되었다. 짧아진 사과재배 주기로 불가피하게 연작을 하게 될 수밖에 없고, 따라서 연작장해를 감수할 수밖에 없다(St. Laurent et al., 2010; Volk et al., 2015).

연작장해란 동일한 작물을 한곳에서 연이어 재배할 때 나타나는데, 수세가 약해지면서 수량과 품질 저하로 이어지는 현상으로 진균과 선충과 같은 토양생물상의 악화, 뿌리에서 분비되거나 토양미생물에서 기인하는 유해물질의 축적, 토양비옥도 저하 등 복합적인 원인으로 추정하고 있다(Winkelmann et al., 2019). 연작장해에 대한 대책으로는 윤작, 토양소독, 저항성 대목의 이용, 객토, 지력개선 등을 들 수 있다. 윤작의 경우 영세한 규모에다 농지가 절대적으로 제한된 우리나라에서는 거의 채택하기 어렵고 토양소독의 경우도 과수원에서는 훈증소독이 허용되지 않아서 불가능하다. 따라서 사과재배에서 채택할 수 있는 방법으로 연작저항성 대목을 이용하면서 부분객토나 지력개선을 조합하는 방법이 가장 현실성이 있을 것이다.

미국 코넬대학교는 1960년대 말 부터 기존의 M.9나 M.26과 비슷한 수준의 왜화도와 조기결실성을 갖고 있으면서 이들 대목의 단점으로 평가되던 연작적응성, 내동성, 내병성 등이 우수한 사과대목의 육종을 시작하여 최근에 연이어 우수한 대목을 내놓고 있다(Robinson et al., 1997). 코넬대에서 육성한 대목의 연작적응성을 기존의 M.9, M.26에 대비하여 재배적인 측면에서 평가하는 시험을 수행하였다. 연작장해에 대한 검정은 포장시험과 포트(용기)시험을 통해 할 수 있다(Szabo, 1999). 포장시험은 적절한 규모의 연작지가 확보되어야 하고 노력과 비용, 시간이 많이 필요하기 때문에 본 연구에서는 정밀하게 관리하여 단기간에 결과를 얻을 수 있는 용기재배방법을 채택하였다.

나. 재료 및 방법

6년 동안 감홍 사과나무를 분 재배 했던 상토를 수집하여 거친 뿌리를 제거한 다음, 절반은 75℃에 45분간 살균처리 하였고, 나머지는 살균 처리 없이 본 시험의 상토로 재사용하였다. 본 시험에 이용된 상토의 물리·화학적 조건은 다음 표에서와 같다.

Table. 1. Soil texture and chemical properties of pasteurized and unpasteurized soil used for this experiment

Soil	pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M. (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC(cmol _e /kg)				Soil texture(%)		
					K	Ca	Mg	Na	Clay	Silt	Sand
Pas.	5.71	0.78	75.77	244	0.36	10.82	2.88	0.46	4.9	19.3	75.8
Unpas.	5.54	0.71	65.73	235	0.38	10.93	2.65	0.49	4.4	19.4	76.2

Pas: Pasteurized soil; Unpas: Unpasteurized soil
 EC: Electric conductivity; OM: Organic matter

균일한 굵기(10~12mm)의 발근이 양호한 G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087과 기존의 M.9, M.26 대목에 ‘후지’를 깎기 접목한 다음 3월 15일에 9L 플라스틱 포트에 가는 자갈을 2cm 정도 깔고 준비된 연작상토를 채운 다음 상토처리별 대목 당 5주씩 재식하였다. 재식 60일 후에 화분을 검은 부직포로 감싸서 수분증발에 의한 포트의 급격한 수분변화, 지온 상승 및 잡초발생을 막았다. 자동 환기와 차광조절이 가능한 무가온 온실에서 자동 점적장치(AQUA PRO auto-controller, Netafim, USA)로 수분관리를 하면서 재배하였다. 재식 30일 후 새순이 5 cm 정도 자라날 때 과수용 복합비료(21-17-17)를 화분 당 15g씩 시비하였고, 이후 3주 주기로 2회에 걸쳐 같은 양으로 추가 시비하였다.

새순이 자람에 따라 기본적으로 1주일 간격으로 수고를 조사하였고, 재식 120일 차에 시험을 종료하였다. 총 새순생장량을 측정된 다음 지상부와 지하부로 구분하여 해체하고 75℃에서 3일간 건조시킨 다음 건물중을 측정하였다. 시험 종료 하루 전인 재식 92일차 11:00~13:00에 접수의 성엽을 택하여 휴대용 광합성 측정장치(LCi, Analytical Development Co., Hoddesdon, England)를 이용하여 외부 할로겐 램프로 광포화 조건(광합성광양자속밀도 1,500 $\mu\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)을 설정한 상태에서 광합성 속도(A), 기공컨덕턴스(G_s), 증산량(E), 내부 CO₂농도(C_i) 등을 조사하였다.

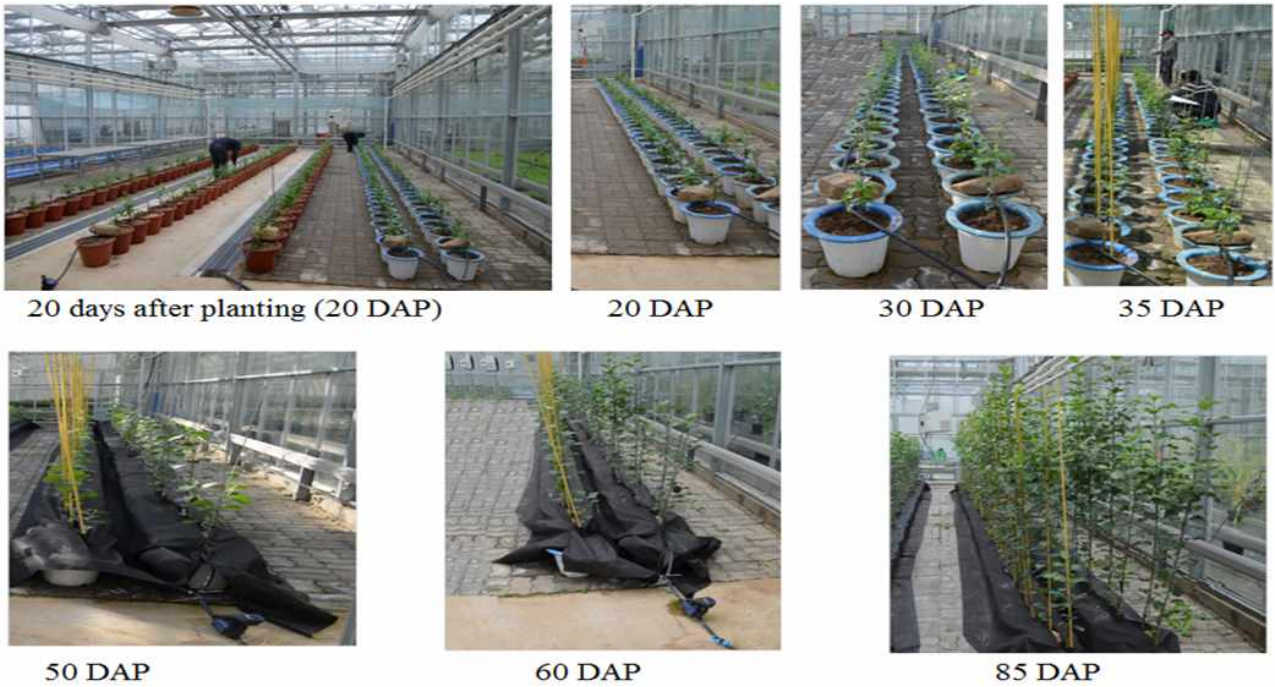


Fig. 1. Growth 'Fuji' trees on different rootstocks in pasteurized and un-pasteurized replanted soil on different days after planting(DAP) in the unheated greenhouse.

포트재배가 끝난 후에 살균과 무살균 상토로 구분하고, 토양시료를 포트당 200g씩 채취, 혼합하여 국립농업과학원 작물보호과 선충연구실에 선충 동정 및 밀도 조사를 의뢰하였다.

살균 연작토에 비해 무살균 연작토에서 성장저하가 상대적으로 큰 M.9, 적은 G.935, 중간인 G.11의 3개 대목을 선정하여 살균과 무살균 상토 시료를 채취하여 각 토양에서의 미생물 종류별 밀도 분석을 경북대학교 자연과학대학 생명과학부 미생물유전학연구실에 의뢰하였다.

- DNA 추출, 정화, Pyrosequencing

토양 시료의 Metagenomic DNA는 pyrosequencing 과정을 위해 Quat-iT PicoGreen dsDNA Assay kit(Invitrogen, Carlsbad, CA, USA) 제품을 이용하여 추출 및 정량화하였다(Balvočiūtė et al., 2017). 확보된 DNA는 454 수용체와 등록된 합성 프라이머를 이용하여 증폭하였는데 전방 프라이머의 서열은 ITS1 5'-GGTCATTTAGAGGAAGTAA-3'이고, 후방 프라이머의 서열은 ITS4 5'-TTCCTSCGCTTATTGATATGC-3'이다(Aslam et al., 2007; Espinosa et al., 2010; Jung et al., 2011; Lemos et al., 2011).

아래의 조건 하에서, PCR(Polymerase Chain Reaction, 중합효소 연쇄 반응) 과정은 PTC-200 Peltier thermal cycler(MJ Research, Waltham, MA, USA) 기기를 이용하여 진행하였다; 변성과정(94°C 상태로 30초 지속), 가열냉각 과정(55°C 상태로 45초 지속), 신장과정(72°C 상태로 90초 지속)을 30회 반복; 마무리 신장과정(72°C 상태로 5분 지속). PCR 과정에서, 증폭된 DNA 조각 확보를 위하여 전기영동 겔 상에서 AMPure bead XP(Beckman Coulter, CA, USA)를 이용하여 불순물을 제거하고 크기 선택을 하였다. 마지막 농도 측정과정은 Quat-iT PicoGreen dsDNA Assay kit를 이용하였으며, A260/A280 ratio 기준으로 농도를 측정하였다(De Oliveira et al., 2017). Agilent DNA 7500 kit를 이용하여 선별된 DNA 조각들은 Agilent 2100 Bioanalyzer(Agilent Technology, CA, USA)을 이용하여 측정하였다. DNA 조각들에 대

한 pyrosequencing은 천랩사(서울, 한국)의 Illumina iSeq 100 Sequencing System(Illumina, CA, USA) 10번째 버전을 이용하여 진행하였다. iSeq 100 Sequencing System 이용시 One-Channel SBS Chemistry라는 새로운 서열 공식을 이용함으로써 기존의 Illumina MiSeq에 서보다 더 높은 등급의 분석결과를 도출할 수 있었다(Kim et al., 2013). pyrosequencing과정을 거친 서열 정보는 BLASTN 분석 과정을 거쳐 근접한 균종명들을 확인하였고 EzTaxon-e web server(<http://www.ezbiocloud.net/eztaxon>)의 정렬 알고리즘을 이용하여 해당 균주와의 서열 유사도를 검사하였다.

- 서열 해석과 분석의 분류학적 나열

데이터베이스 FGITS1.0 버전을 이용하여 pyrosequencing해석의 Microbiome Taxonomic Profile(MTP)을 찾아보고 확인하였다(Caro-Quintero and Konstantinidis, 2012; Thompson et al., 2017; Kim et al., 2013). 서열분석 자료는 EzBioCloud Microbiome Taxonomic Profiling(MTP) 앱을 이용하여 분석하였다. 또한 세균군집은 3.46 버전의 CLcommunity software(Chunlab, Inc. Seoul, Korea)를 이용하여 분석하는 것이 일반적이거나, 이번 연구에서는 MTP앱을 이용하여 군집을 분석하였다. 미생물 군집의 operational taxonomic units(OTUs) 값은 서열 유사도 99%값을 기준으로 CD-HIT program을 이용하여 분석하였다(Vandenkoornhuyse et al., 2002). Mothur platform을 이용하여 희귀 진영 곡선과 Chao1과 Shannon을 포함하는 다양성 지수를 차트로 만들었다. 덧붙여, taxon XOR 비교분석 시스템을 이용하여 특정한 미생물 속들을 확인하였다(Zehr et al., 2003; Zinger et al., 2009).

통계처리는 프로그램 SAS v.9.4로 유의성을 검정하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 영양생장

연작토를 살균한 경우와 살균하지 않은 경우 사이에는 대목에 따라 생장양상이 다르게 나타났다. 수고의 경우 무살균 연작토 대비 살균처리 연작토에서는 M.26 대목의 사과나무가 17.5%, M.9는 13.3%, G.11은 11.6% 더 작게 자라 연작지에 가장 민감하게 반응하였고 CG.5087, G.935, G.214 대목의 사과나무는 무살균 연작토나 살균처리 연작토에서의 수고 차이가 거의 없어 연작조건에서도 잘 자라는 것으로 평가되었다.

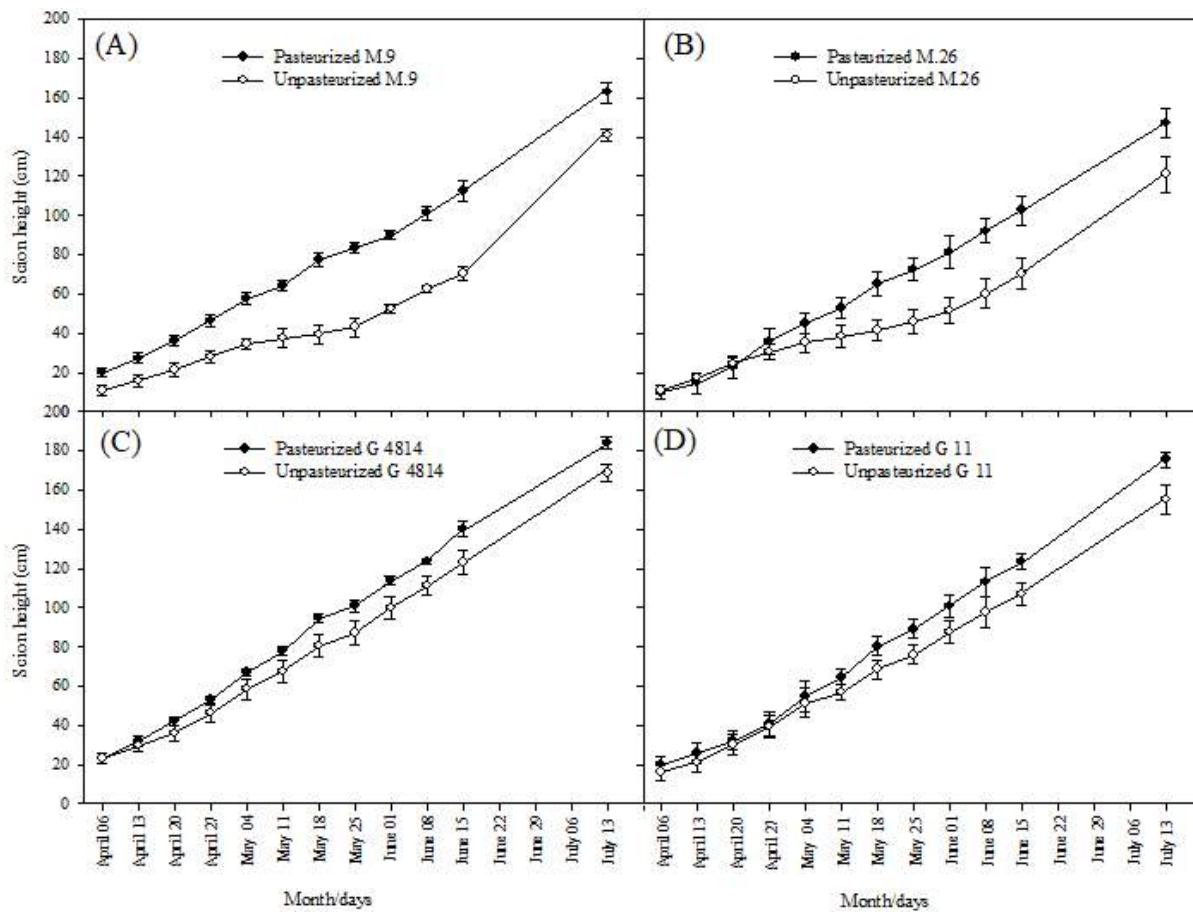


Fig. 2-1. Tree height change of 'Fuji' trees on different rootstocks in pasteurized and un-pasteurized replanted soil; M.9 (A), M.26 (B), G4814 (C), G.11 (D). Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 5$).

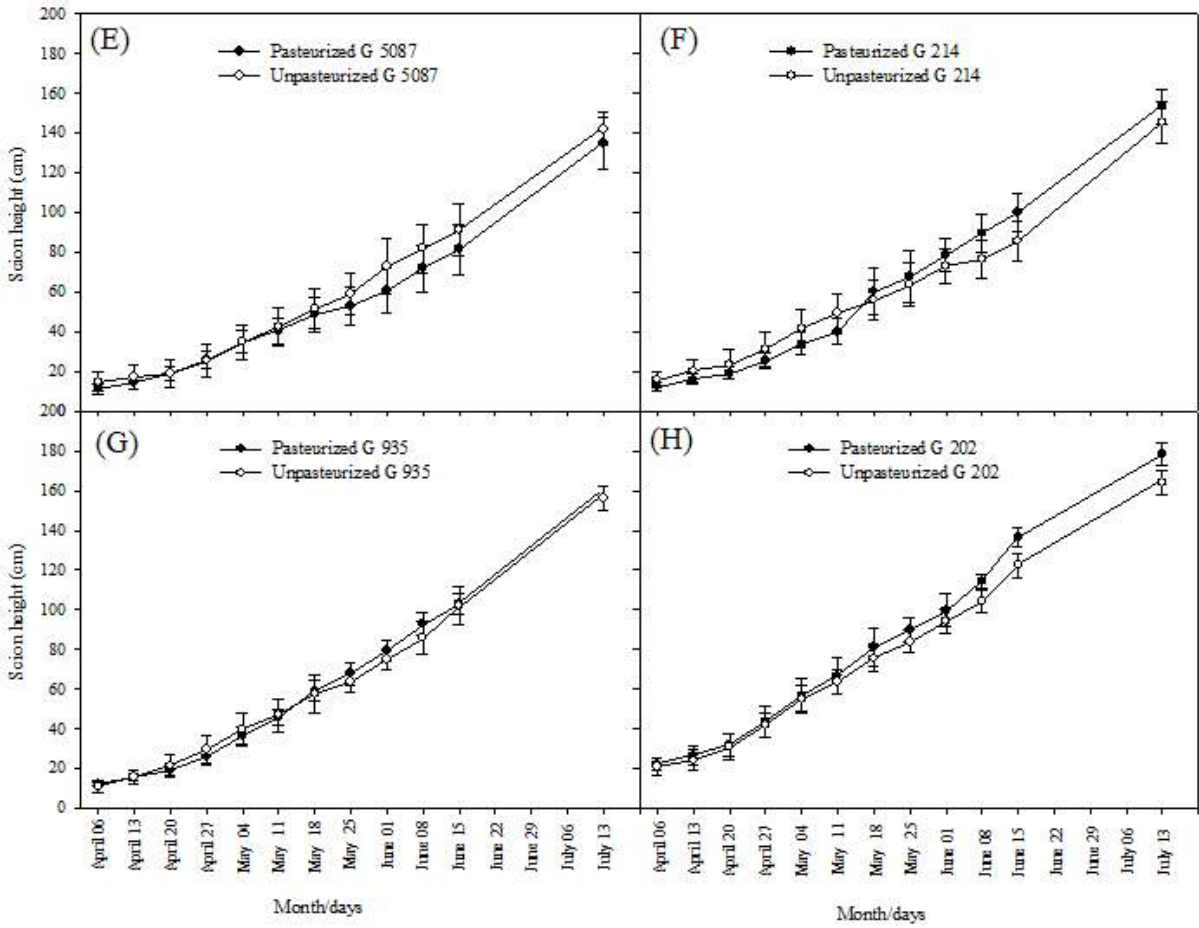


Fig. 2-2. Tree height change of 'Fuji' apple trees on different rootstocks in pasteurized and un-pasteurized replanted soil; CG.5087 (E), G.214 (F), G.935 (G), G.202 (H). Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 5$).

측지(feather)를 포함한 당년에 자란 총 새순생장량은 CG.4814 대목의 사과나무가 왕성하게 자라 가장 많았고 다음으로 G.202, G.11 순이었으며, 특히하게도 본 시험에서는 M.26보다 M.9 대목의 사과나무 새순생장량이 더 많았다. 살균소독한 연작토에서의 생장에 비해 무살균 연작토에서 생장이 현저하게 떨어지는 대목은 M.9와 M.26로 살균 처리 연작토의 총 새순생장량의 39.4%와 56.7%에 불과하였다. 반면에 무살균 연작토에서 비교적 양호한 신초생장을 보인 대목은 CG.5087과 G.202로 살균 대비 무살균 연작토에서의 생장 감소율이 9.3%와 10.4%에 불과하여 연작적응성이 우수한 대목으로 평가되었다. G.935와 G.214, G.11의 사과나무는 살균처리 대비 무살균 연작토에서의 생장 감소가 각각 23.5%, 24.5%, 27.5%로 나타났고 CG.4814는 35.7%로 코넬대 육성 대목 중에는 가장 연작지에 민감한 생장을 보였다.

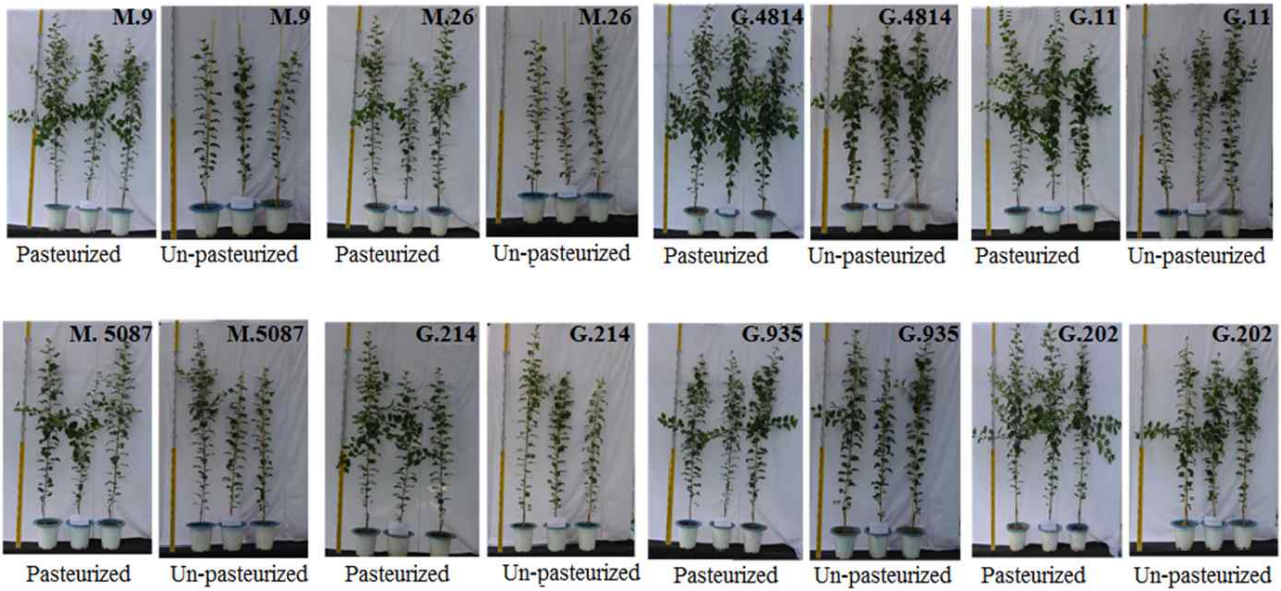


Fig. 3. ‘Fuji’ apple trees on different rootstocks in pasteurized and un-pasteurized replanted soil on 85 days after planting.

살균 연작토에서 자란 묘목의 광합성속도는 G.11을 제외하고는 모든 대목에서 무살균 연작토에 자란 묘목에서보다 광합성이 높게 나타났다. G.11만 살균 연작토에서 무살균 연작토에 비해 예외적으로 광합성 속도가 높은 것은 측정 상 오류가 있었던 것으로 추정된다. G.214, G.202, CG.4814, G.935, M.26은 살균 연작토에 비해 무살균 연작토에서 광합성속도가 현저하게 감소하였으나 CG.5087와 M.9는 상대적으로 감소폭이 적었다. 기공컨덕턴스는 광합성속도와 전체적으로 비슷한 경향을 보였으나 증산량은 살균여부나 대목간의 차이가 현저하게 적었다. 엽육조직 내부 CO₂농도는 광합성속도가 현저하게 낮은 무살균 연작토에서 다소 높았으나 대목간 차이는 없는 것으로 나타났다.

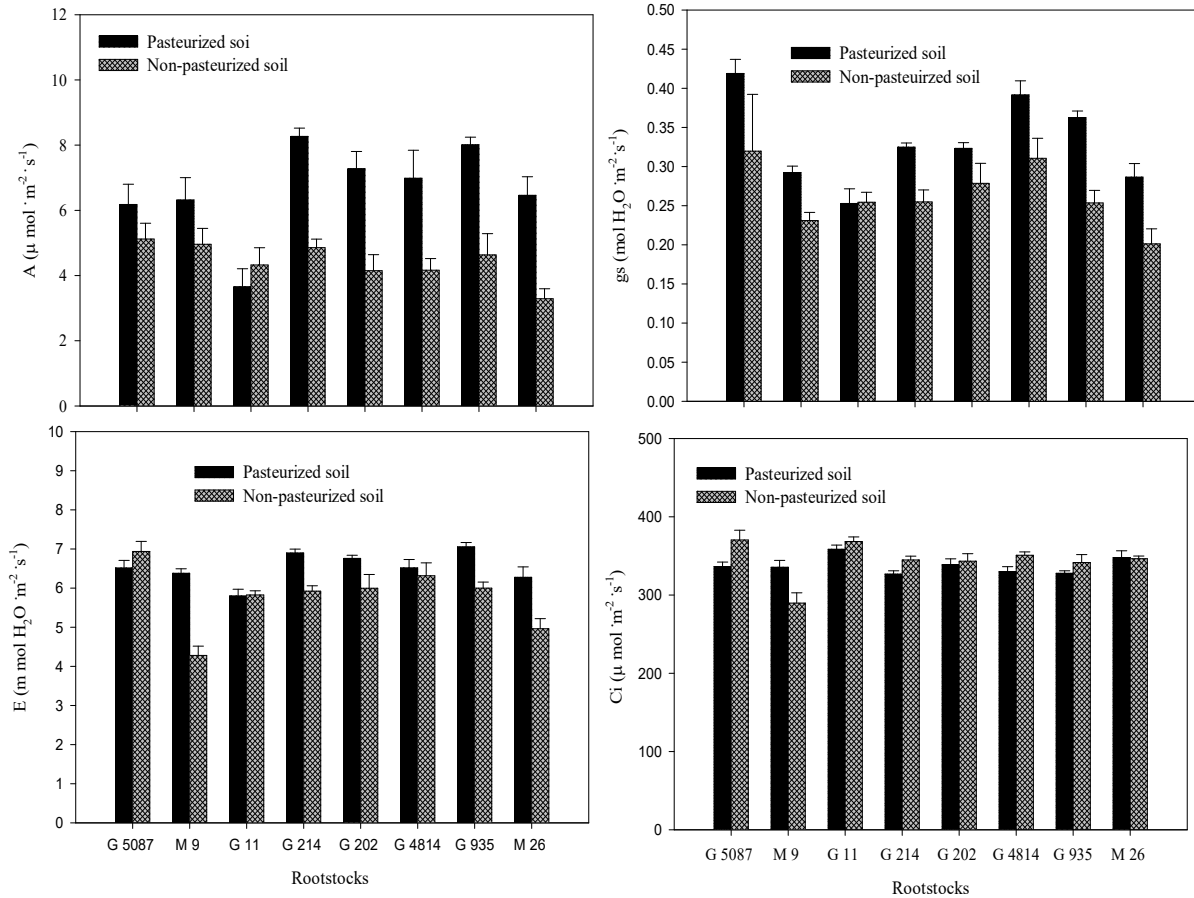


Fig. 4. Photosynthetic rate(A), stomatal conductance(gs), transpiration (E) and inter cellular CO₂ concentration(Ci) of ‘Fuji’ apple tree leaves on different rootstocks grown in pasteurized and un-pasteurized replanted soil. Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 5$).

새순의 건물중은 대목에 따라 차이가 있어 CG.4814, G.202, G.11은 타 대목에 비해 성장이 좋아 새순 건물중이 많은 것으로 나타났다. 살균한 연작토에 비해 무살균 연작토에서의 생육 저하로 새순의 건물중이 현저하게 떨어지는 대목으로는 M.9와 M.26로 연작토에서의 새순 건물량이 살균처리 연작토에 비해 무려 66.7%와 55.6%나 줄어들어 연작적응성이 매우 낮은 것으로 평가되었다. CG.5087, G.214와 G.935 대목의 사과나무는 연작토에서의 새순 건물중 감소율이 각각 11.6, 20.2, 26%에 불과하여 타 대목에 비해 적응성이 우수한 것으로 판단되었다.

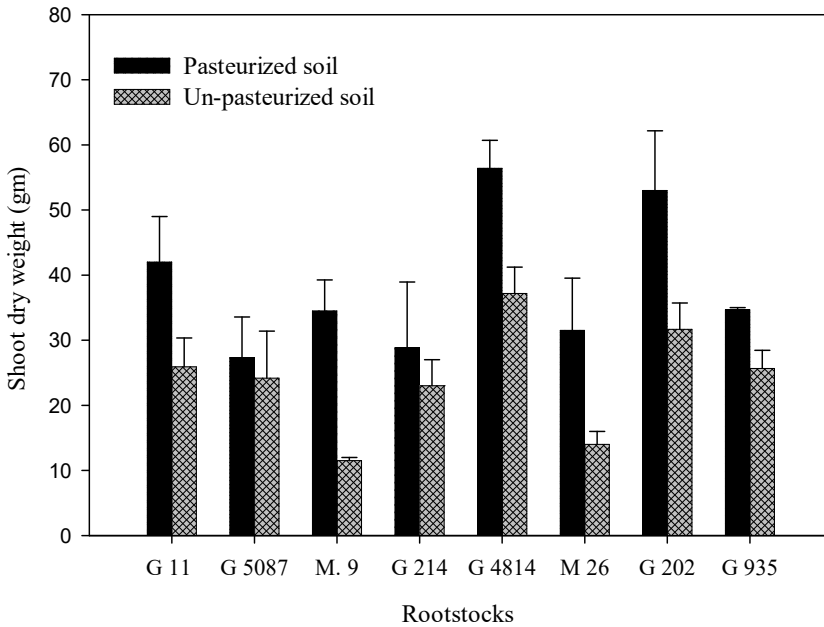


Fig. 5. Shoot dry weight of 'Fuji' apple tree leaves on different rootstocks grown in pasteurized and un-pasteurized replanted soil for 85 days. Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 3$).

근계발달은 CG.4814가 가장 잘 발달하여 살균처리 연작토의 경우 주당 뿌리 건물중 10.1g이었고 G.11 7.3g, G.202 6.7g순이었다. M.26과 M.9는 근계발달이 가장 취약하여 주당 각각 2.9g과 3.5g에 불과하였다. 연작토의 살균유무에 따른 뿌리건물중 감소가 가장 큰 대목은 M.9가 44.8%, G.202와 M.26이 각각 25.2%와 20.7%로 타 대목에 비해 무살균 연작토에서 뿌리발달이 크게 감소하였다. 그러나 G.935, G.214, CG.5087은 무살균에서 오히려 뿌리발달이 더 양호한 것으로 나타났다.

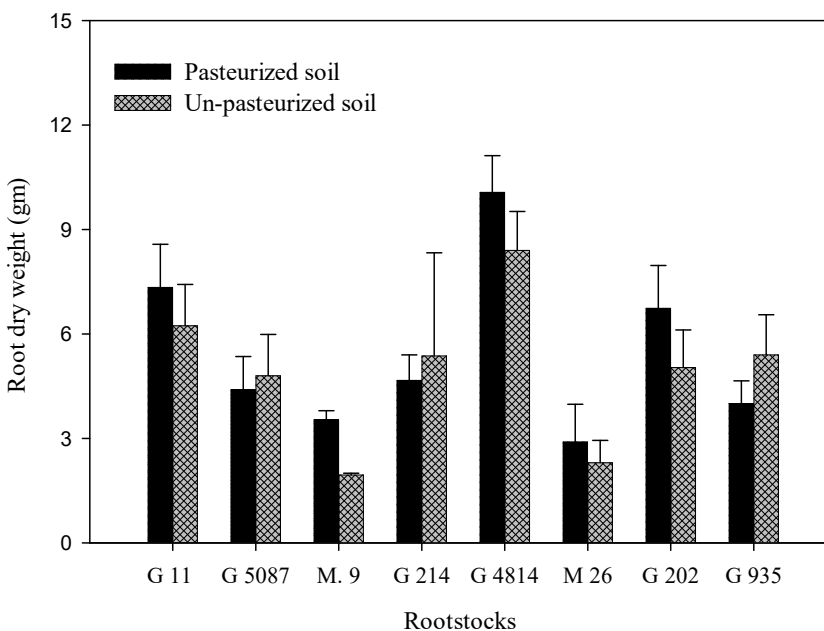


Fig. 6. Root dry weight of 'Fuji' apple tree trees on different rootstocks grown in

pasteurized and un-pasteurized replanted soil for 85 days. Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 3$).

지상부 새순생장량 대비 뿌리생장량을 건물중으로 정량하여 비교하였던바 살균처리 연작토에서 지상부생장이 양호하게 진행되어 대목에 관계없이 신초-뿌리 비율이 높게 나타났다. 대목 간에는 G.11, G.214, G.4814가 0.22~0.24로 비교적 신초-뿌리 비율이 높았고, G.202, M.26, M.9가 0.16~0.17로 낮은 편이었다. 무살균 연작토에서는 뿌리생장에 비해 지상부의 생장이 상대적으로 더 적어지면서 신초-뿌리 비율이 전체적으로 낮게 나타났다. 대목 간에는 CG.4814, G.11, G.214, CG.5087이 0.16~0.18로 상대적으로 신초-뿌리 비율이 높았고, M.26과 M.9가 각각 0.09와 0.19로 타 대목에 비해 낮았다. G.935, M.26, G.214는 살균 대비 무살균 연작토에서 신초-뿌리 비율의 변화폭이 상대적으로 컸고 G.202와 CG.5087은 작았다.

Auvil 등(2011)은 46계통의 Geneva[®] 대목을 사과연작지에서 살균과 무살균을 하고 생산성을 검토한 결과 본 연구에서와 비슷한 결과를 얻어 G.935, G.214, G.202, CG.4814가 M.9와 M.26에 비해 무살균 연작지에서도 생육이 양호다는 것으로 보고하였다. Kviklys 등 (2016)은 본 시험에서와 유사한 포트재배 방법으로 46계통의 Geneva[®] 대목과 함께 다양한 대목에 대해 연작내성을 검토하고는 연작 저항성 대목으로 CG.4814, G.11, G.202, G.214 등을, 보통의 저항성 대목으로 G.935 등을 민감한 대목으로는 M.26과 M.9 등으로 분류한 바 있다.

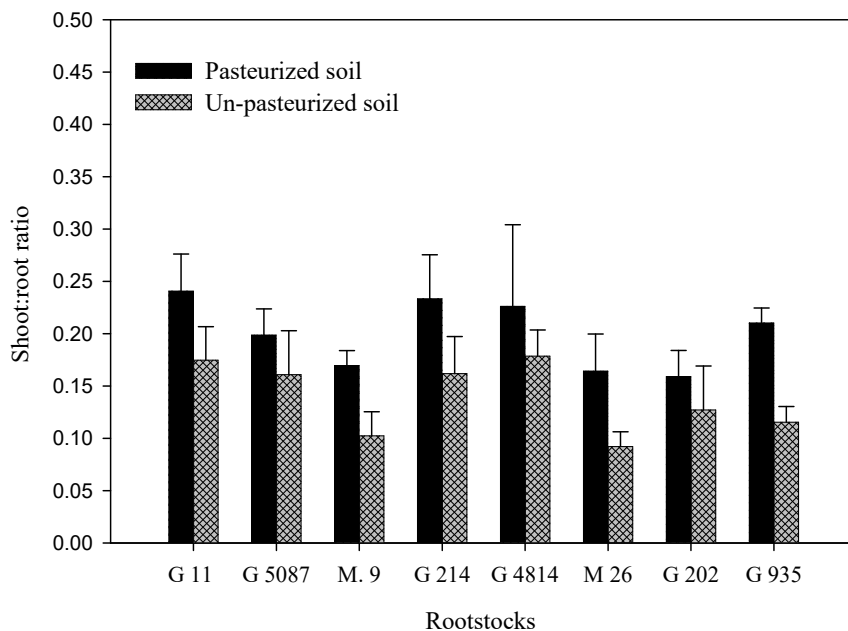


Fig. 7. Shoot:root ratio of 'Fuji' apple tree trees on different rootstocks grown in pasteurized and un-pasteurized replanted soil for 85 days. Vertical bars represent the standard errors of the means ($n = 3$).

(2) 토양생물상

포트 재배한 토양에서 검출된 토양선충의 종류와 밀도는 표 3에서와 같다. 검출된 선충은 식균성선충목(*Aphelenchida*), 식물기생성선충목(*Tylenchida*), 식세균성선충목(*Rhabditida*) 등 3개 목의 선충이 검출되었다. 저온살균 처리한 연작토의 경우 토양 300cm³당 개체 수는 무살균 연작

토에 비해 전반적으로 토양선충 밀도가 낮게 나타났다(Table 2). *Aphelenchida* 선충은 저온살균처리에서 4마리, 무살균 처리에서 244마리가 검출되어 저온살균처리를 통하여 선충이 거의 사멸한 것으로 판단되었다. 본 시험에 사용한 토양의 경우 정확한 선충종동정이 어려워 피해 추정이 어렵지만 식물기생선충류인 *Tylenchida*목의 선충이 452마리가 검출되어 사과대목에 직간접적으로 피해를 주었으리라고 생각된다. 한 등(2004)은 안동지역 사과원의 식물기생선충상을 조사한 결과 14 속의 기생선충이 검출되었고 이 중 *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Hemicycliophora*, *Meloidogyne*, *Trichodorus*와 *Xiphinema*가 사과원의 주요 기생선충이었다는 보고와 일치하는 경향이였다. 본 연구에서 사용된 상토는 6년간 감홍/M.9를 분재배한 토양으로 2015년 시험이 끝남에 따라 시료를 채취하기 전해인 2014년에 관수 없이 매우 건조하게 방치한 관계로 일반 사과원 토양과는 달리 선충의 밀도가 낮을 것으로 추정된다. 따라서 본 시험에서 사용된 연작토양의 선충조사에서 식물기생선충목(*Tylenchida*) 선충이 토양 300cm³당 452마리가 검출됨에 따라 밀도는 다소 낮지만 연작장해에의 유발원인 중 한 요인으로 작용했을 것으로 추정된다.

Table. 2. Population density of soil nematodes in pasteurized and unpasteurized soil which used for replanting-adaptability of different apple rootstocks.

Nematode	Number of nematodes/300cm ³ soil	
	Pasteurized soil	Un-pasteurized soil
<i>Aphelenchida</i> (<i>Aphelenchus</i>)	4	244
<i>Tylenchida</i>	96	452
<i>Rhabditida</i>	20	96

저온살균처리 연작토에 비해 무처리 연작토에서 생장이 크게 떨어지는 M.9, 성장량 차이가 적은 G.935, 그 중간인 G.11에 접목된 ‘후지’ 묘목을 85일간 재배한 각각의 상토에 대하여 Metagenome분석한 결과 전체적으로 살균처리를 하지 않는 토양에서 살균처리를 한 연작토에 비해 토양 미생물의 종 다양성과 종 풍부도 값이 높게 나타났다(Table 3). 예상과는 달리 측정 기계가 읽을 수 있는 진균의 수는 오히려 저온살균처리를 한 연작토에서 더 높게 나타났다. 그러나 사과나무에서 연작장해를 유발하는 것으로 알려진 원인균의 총 수는 무살균 연작토에 비해 저온살균처리를 한 연작토에서 현저하게 줄어든 것이 확인되었다. 비록 대목에 따라 무살균처리 연작토에서 상이한 성장억제 현상이 나타났지만 대목 종류에 따른 무살균 또는 저온살균 연작토에서의 Metagenome분석 결과에 있어서 토양미생물상이 대목 간에 뚜렷한 차이를 확인하기 어려웠다.

Table. 3. Summary of results from pyrosequencing and statistical analysis in pasteurized and unpasteurized soil which used for replanting-adaptability of different apple rootstocks.

	M.9		G.11		G.935		Mean	
	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.
Total Fungi Nr.	56,090	60,687	60,359	68,425	46,779	59,660	54,409	62,924
Fungi spp. Nr.	572	372	556	403	576	427	568	401
Ace estimation	991.404	602.362	954.613	635.089	932.825	655.65	959.614	631.034
Shannon index	4,369	3,589	4,125	3,473	4,338	3,572	4,277	3,545
ARD-causing Fungi Nr.	336	245	329	179	494	211	386	212
ARD-causing Fungi spp Nr.	7	6	8	5	9	6	8.0	5.7

※ Using ver. 10 Illumina iSeq 100 Sequencing System, a total of 352,000 sequences were analyzed from 6 of soil samples.

Table 4는 알려진 주요 사과나무 연작 질병 발병원인균인 *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Cylindrocarpon*, *Phytophthora* 균들(Tilston et al., 2018)을 대상으로 얼마나 토양 샘플에 분포하고 있는지를 확인한 표이다. 총 12 종류의 병원균을 찾았으며, 모든 표본들에서 병원균인 *Pythium*균과 *Phytophthora*균들은 발견되지 않았다. 또한 *Cylindrocarpon* 속에 포함되는 진균 ‘종’들이 가장 많이 분포한 것을 확인할 수 있었다. 사과원의 토양 미생물군집은 지질학적 환경, 기후조건과 기타 요인에 현저하게 달라진다(Yin et al., 2017)는 보고에서와 같이 사과나무의 연작장해에 직접적으로 관여하는 진균들로 이탈리아에서는 *Rhizoctonia solani* and *Pythium spp.*이(Manici et al., 2003), 남아공에서는 *Cylindrocarpon*(Tewoldemedhin et al., 2011), 미국 워싱턴주에서는 *Pythium*, *Rhizoctonia*와 *Phytophthora*(Mazzola, 1999, Mazzola et al., 2002, Shin et al., 2016)였다고 한다. 본 연구에서의 결과를 보아 연작장해에 관여한 병원균은 거의 *Cylindrocarpon*속이었고 *Rhizoctonia*속은 제한적으로 관여한 것으로 보였다.

Table. 4. List of detected apple replant diseases-causing Fungi in pasteurized and unpasteurized soil which used for replanting-adaptability of different apple rootstocks.

OUTs	M.9		G.11		G.935		Mean	
	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.	Unpast.	Past.
<i>C. aquaticum</i>	5	2	23	1	8	7	12.0	3.3
<i>C. decumbens</i>	1	0	0	0	0	0	0.3	0.0
<i>C. didymum</i>	0	0	0	0	1	0	0.3	0.0
<i>C. liriodendri</i>	0	0	1	0	39	0	13.3	0.0
<i>C. pauciseptatum</i>	11	3	10	9	26	0	15.7	4.0
<i>C.-uc</i>	274	212	260	164	314	183	282.7	186.3
<i>C. cylindroides_3</i>	0	0	1	0	1	1	0.7	0.3
<i>C. lucidum_2</i>	3	0	5	2	5	0	4.3	0.7
<i>C. curvatum_1</i>	24	23	28	3	93	17	48.3	14.3
<i>C. curvatum_2</i>	0	0	0	0	0	1	0.0	0.3
<i>R_c_uc_s_1</i>	0	2	0	0	0	2	0.0	1.3
<i>R_o_uc_s_2</i>	18	3	1	0	7	0	8.7	1.0

각 샘플에서의 *Phylum*(문) 수준의 진균 군집을 보면(Fig. 8) 전체적으로 *Ascomycota*가 점유율 37.4~60.2%로 가장 높았고, *Basidiomycota*와 *Mortierellales*가 각각 11.0~24.6%와 10.4~32.4%로 그 다음이었으며, *Eukarya*, *Fungi*, *Chytridiomycota*, *Mucorales* 등은 점유율이 10% 미만으로 낮았다. 대목에 따라 진폭은 있으나 무살균보다 저온살균 연작토에서 *Ascomycota*, *Eukarya*, *Chytridiomycota*, *Mucorales* 등은 상대적으로 비율이 높아진 반면에, *Fungi*는 점유율이 다소 떨어졌다. *Basidiomycota*는 G.11에서는 저온살균 연작토가 무살균 연작지에서 보다 점유율이 높았으나 G.11과 G.935에서는 상반된 결과를 보였다. Wang 등(2018)이 중국 발해만의 사과연작지에서 *Phylum*(문) 수준의 진균 군집을 분석한 결과 주로 *Ascomycota*, *Basidiomycota*와 *Mucoromycota*으로 구성되어 있고 이중 *Ascomycota*가 우점이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 중국 발해의 사과연작지에서와 같이 경우 *Ascomycota*가 가장 점유율이 높았고 *Basidiomycota*의 점유율이 높은 것은 비슷하였으나 *Mortierellales*의 점유율이 높은 것은 상이하였다.

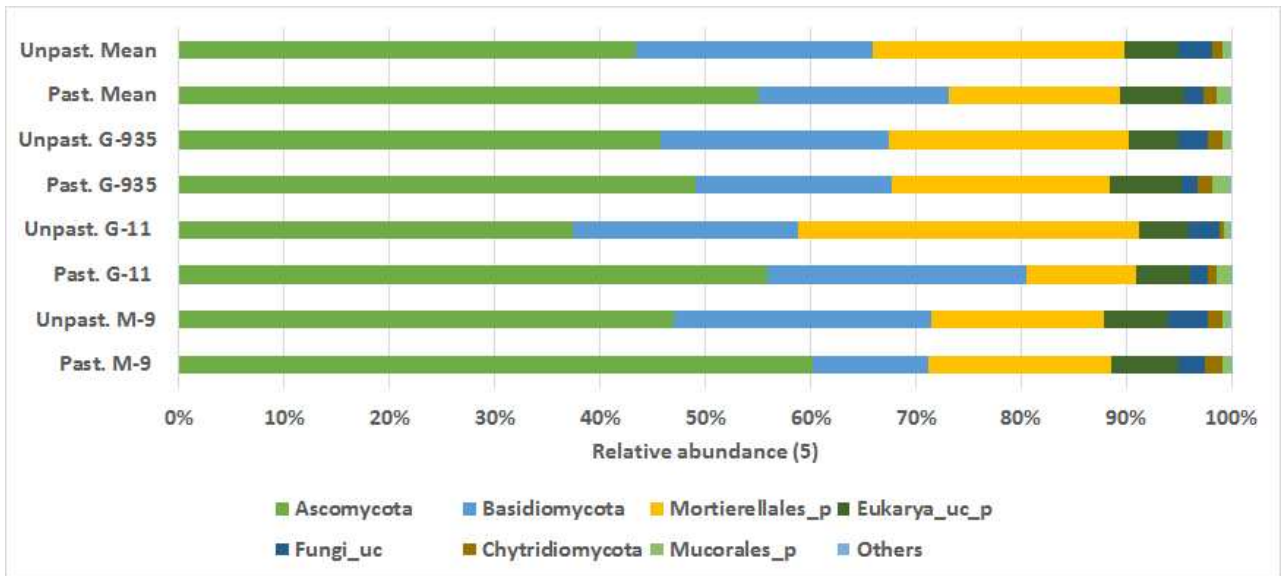


Fig. 8. Relative abundance of the Fungi at the fungal phyla level in pasteurized and unpasteurized soil which used for replanting-adaptability of different apple rootstocks.

진균집단을 종(species)수준의 상대적 풍부도를 분석한 결과는 Fig. 8과 같았다. 저온살균 연작토 M.9에서의 다수종 : *Scytalidium thermophilum_3*(24.21%), *Lecythophora fasciculata_2* (9.27%), *Mortierella hyalina_3*(7.16%), *Guehomyces pullulans*(6.29%), *Kabatiella zae*(5.51%), *Mortierella hyalina_1*(4.62%); 무살균 연작토 M.9에서의 다수종 : *Guehomyces pullulans*(12.16%), *Mortierella hyalina_3*(6.99%), *Cryptococcus terricola*(6.94%), *Haematonectria haematococca_1*(5.91%); 저온살균 연작토 G.11에서의 다수종 : *Guehomyces pullulans*(19.11%), *Scytalidium thermophilum_3*(19.09%), *Lecythophora fasciculata_2*(6.13%), *Fusicolla merismoides_2*(4.52%), *Kabatiella zae*(4.29%); 무살균 연작토 G.11에서의 다수종 : *Guehomyces pullulans*(9.83%), *Mortierella hyalina_3*(9.65%), *Mortierella alpina_6*(7.13%), *Mortierella hyalina_1*(6.77%), *Cryptococcus terricola*(6.08%), *Haematonectria haematococca_1*(4.65%); 저온살균 연작토 G.935에서의 다수종 : *Scytalidium thermophilum_3*(21.81%), *Guehomyces pullulans*(11.71%), *Mortierella hyalina_3*(9.79%), *Mortierella hyalina_1*(4.95%), *Lecythophora fasciculata_2*(4.76%); 무살균 연작토 G.935에서의 다수종 : *Guehomyces pullulans*(11.75%), *Mortierella hyalina_3*(8.09%), *Mortierella alpina_6*(5.44%), *Cryptococcus terricola*(5.18%), *Haematonectria haematococca_1*(4.37%). 무살균 연작토에서보다 저온살균 연작토에서 *Scytalidium thermophilum_3*, *Lecythophora fasciculata_2*, *Kabatiella zae* 등이 뚜렷하게 점유율이 증가하여 기타 종의 비율은 감소하는 결과를 보였다.

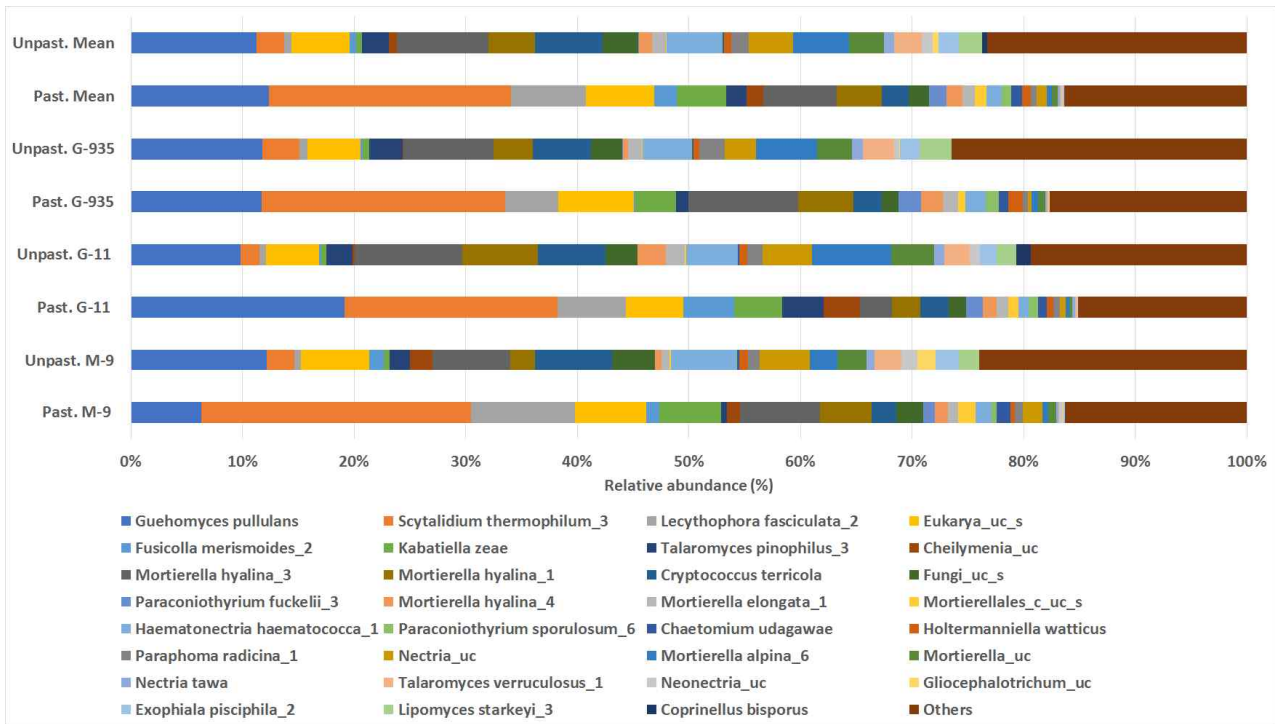


Fig. 9. Relative abundance of the Fungi at the fungal species level in pasteurized and unpasteurized soil which used for replanting-adaptability of different apple rootstocks.

결과적으로 각 진균 군집 샘플들은 Ascomycota와 Basidiomycota가 다수종임을 알 수 있는데, 특이할 점은 M.9, G.11, G.935 모두 무살균 연작토에서보다 저온살균 연작토에서 Ascomycota속 진균의 전체 차지 비중이 더 높아짐을 알 수 있었다(Fig. 8). 살균 여부에 따른 구성 차이는 종 수준에서 더욱 극명하게 나타났다. M.9, G.11, G.935 모두에서 공통으로 살균 연작토에서 *Scytalidium thermophilum_3*가 전체 진균 군집에서 매우 높은 비중을 차지하였고 *Lecythophora fasciculata_2*도 상당량의 비중을 차지하는 반면, 무살균 연작토에서는 그 비중이 급속도로 떨어짐을 알 수 있었다(Fig. 2).

살균 여부에 따른 각 대목 M.9, G.11, G.935 간의 차이 또한 인정되었다. 살균 여부에 따른 Ascomycota문의 경우 G.11이 그 비중 차이가 가장 컸으며 G.935가 가장 비중 차이가 작았다. Basidiomycota문의 경우 M.9가 비중 차이가 가장 크며 G.935가 가장 비중 차이가 작았다 (Fig. 8). 또한 살균 여부에 따른 종 *cytalidium thermophilum_3*와 *Lecythophora fasciculata_2*의 차이는 M.9에서 가장 크게 나타났으며 G.935에서 그 차이가 상당히 작게 나타났다(Fig. 9). 이를 통해 전체 진균 군집에서의 비중 정도의 차이가 클수록 연작피해에 대한 민감성이 높다는 추론을 할 수 있다.

결론적으로 사과연작토의 살균처리 유무에 따라 사과묘목의 생육은 다르게 나타났다. M.26 과 M.9대목 사과나무는 살균 연작토에 비해 무살균 연작토에서 생육이 크게 억제되는 것으로 보아 검토한 대목 중에 가장 연작에 민감한 것으로 판단되었다. 전체적으로 G 및 CG계 대목의 사과나무는 M계 대목의 사과나무에 비해 무살균 연작토에서 생육억제가 적어서 연작적응성이 양호한 것으로 평가되었다. 이중에 G.935, CG.5087과 G.214 대목의 사과나무는 연작토 살균 유무에 관계없이 잘 자라 수고에서는 차이가 없었으나 측지 발생은 무살균 연작토에서 감

소하여 총 새순생장량이나 지상부 건물중이 살균 연작토에 비해 다소 적었다. 그러나 근계 발달은 무살균에서 양호하여 뿌리 건물중은 살균토에 비해 무살균토에서 오히려 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 G.935, CG.5087, G.214는 M.26이나 M.9에 비해 연작 적응성이 뚜렷하게 높아 새로운 왜성대목으로 주목할 필요가 있다고 판단되었다. 저온살균 연작토에서보다 무살균 연작토에서 식물기생성선충목(*Tylenchida*) 선충이 *Cylindrocarpon*속 진균의 밀도가 높아 이들이 연작장애 유발에 관련이 있는 것으로 추정되었다.

2-1-2. 생장특성 및 생산성

가. 서론

일본의 영향으로 실생 대목에 M.26을 중간대목으로 하는 2중 접목묘목을 심어 재식거리를 4.5×2.5m로 과원을 조성하고 왜성주간형이라고 하여 서구보다 크게 나무를 키워왔다(경상북도, 1997). 우리나라에서의 본격적인 왜화밀식재배는 1990년대 후반에 경북을 중심으로 M.9 대목을 도입하여 이탈리아 남티롤의 재배체계를 모델로 한 신경북형 사과재배체계 개발을 시작하면서 부터였다(Yoon, 2005; 윤, 2016). 그러나 그간 M.26 대목을 중간대목으로 사용하여 조방적인 재배방법에 익숙해 있었기 때문에 생산성이 높고 인력이 절감되는 밀식재배체계가 자리 잡기까지 많은 시행착오를 겪어야 했다(윤, 2016). 현재 우리나라 밀식 과원에서는 M.9 또는 M.26 자근대목을 이용하여 재식밀도는 대목, 품종, 토성, 관리방법 등에 따라 1,250~3,750주/ha까지 다양하다(경상북도, 1999). M.9 대목을 이용한 밀식 과수원에서 조기결실성과 초기의 높은 생산성이 검증 되었음에도 여전히 많은 사과농가들은 M.9 대목이 M.26과 비교해 가뭄, 과습, 척박한 토양, 저온 등 환경적응성이 떨어진다는 믿음이 있어 M.9 대목 사용을 망설이고 있는 실정이다.

최근 미국 코넬대 제네바농업시험장에서 출시된 유망 G계통 사과나무 대목은 환경 적응성이 우수할 뿐 아니라 화상병에 대해서도 저항성이 높은 것으로 평가되고 있다(Russo et al., 2007). 여러 코넬-제네바 대목이 미국(Robinson et al., 2003, 2004, 2006, 2011)을 비롯한 캐나다(Robinson et al., 2007; Moran et al., 2011), 뉴질랜드(Tustin et al., 2003; Robinson et al., 2004), 프랑스(Robinson et al., 2004; Simard et al., 2011), 이탈리아(Dallabetta et al., 2018) 등지에서 검토되고 있거나 일부는 농가에서 이용되고 있다.

국내에서도 환경적응성이 뛰어나고 생산성이 높은 왜성대목의 요구가 높아지고 있는 상황에서 본 연구는 1990년대 후반부터 출시되고 있는 몇몇 G 또는 CG계통을 이용하여 1차로 대구 경북대실습장에서, 2차로 2015년부터 경북의 주요 사과주산지인 청송, 영주, 봉화지역에서 생장특성 및 생산성에 관한 시험을 실시하였다.

나. 재료 및 방법

(1) 경북대 부속실습장에서의 생산성 검정

미국에서 도입한 G.41, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, CG.5757과 국내에서 증식된 M.9 대목을 2009년 3월 하순에 경북대학교 부속농장에 80cm×40cm 간격으로 심은 다음, 9월

상순에 지면 20cm 높이에서 2009년 ‘후지’를 깎기논집을 하였다. 이듬해 봄에 접목부 상단을 절단하고 접수가 약 50cm 자랐을 때 상단 약 10cm에 BA 600ppm을 10일 간격으로 3회 살포하여 측지 발생을 유도하였다. 2011년 3월 중순에 측지묘목을 굴취하여 부속농장에 열간거리 3.5m, 주간거리 1.5m로 심어 시험포장을 조성하였다. 직경 38mm, 두께 2.3mm, 길이 4m의 파이프를 개별지주를 세우고 관수는 50cm 간격의 점적구가 내장된 인라인드립 점적호스로 하였다. 시험구 배치는 1주를 1반복하여 4반복 난괴법으로 배치하였고 각 블록에는 대목별 1주를 심었다. 수형은 세장방추형으로 하고 시비, 관수, 병해충 관리, 적과 등 기타 관리는 경북대학교 부속농장 사과원 관리지침에 따랐다.

생육조사는 매년 낙엽이 진 후 12월 또는 1월에 줄기직경은 버니어 캘리퍼를 이용하여 접목부 위쪽 10cm 지점에서 격자 방향으로 2회 측정하여 평균값을 취하였고 수고는 지면에서부터 최상단부까지의 높이를 측정하였다. 착과량과 주당 수량은 재식 2년차부터 5년차까지 전수 조사하였고 그 이후로는 학교사정으로 부속농장이 폐쇄되었다.

(2) 청송, 영주, 봉화에서의 생산성 검정

묻어매기 방법으로 증식한 G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9 자근대목 사용하여 2014년 3월에 실내에서 후지 품종을 절접 한 다음 1.0×0.4m로 재식하고 접수가 30~40cm 정도 자랐을 때 부러지거나 쓰러짐을 막기 위해 지주를 설치하였다. 접수가 지면 70cm에 이른 때부터 10일 간격으로 BA 400ppm을 3회 살포하여 측지발생을 유도하였다. 2015년 3월 중순에 묘목을 굴취하여 본 시험에 이용하였다.

경북 청송군 부남면 소재 K농원, 경북 영주시 안정면 소재 영주시농업기술센터 과수시험장 시험포장, 경북 봉화군 춘양면 소재 H농원에 시험포장을 조성하였다. K농원 농장주 L씨와 H농원 H씨는 경북대학교 윤태명교수가 주임을 맡고 있는 경북농업마이스터대학 사과과정을 이수하여 밀식재배에 대한 이론과 기술력을 갖추고 있는 분들이다. 청송은 하천변과 산지가 마주치는 지점에 산을 깎아 평탄화 한 다음 사양토를 30cm 정도 객토하고 퇴비와 석회를 사용하여 1년간 예정지 관리를 한 곳이다. 영주는 마사토를 평탄화하여 3년간 퇴비와 수단그라스를 재배하며 예정지 관리를 한 곳이다. 봉화는 경사지의 기존 사과원을 축대를 쌓고 중장비로 평탄화한 다음 1년간 예정지 관리를 한 곳으로 가장자리를 시험지로 택하였다. 시험포장의 물리성은 표 1과 같다.

Table. 1. Soil texture and composition of three different experimental locations.

Location	Soil texture (clay/silt/sand %)
Yeongju	Sandy loam (11.8/26.2/62)
Bonghwa	Sandy loam (7.2/28.9/63.9)
Cheongsong	Sandy loam (8.4/25.8/65.8)

3월 15~25일 사이에 열간거리 3.5m, 주간거리 1.5m로 1주를 1반복으로 임의배치 5반복으로 시험구를 배치하였다. 청송과 영주는 철선 울타리식 지주, 봉화는 개별지주를 세우고 세장방추형으로 키웠다. 본 시험은 상이한 조건의 지역에서 각 대목의 생장특성과 생산성을 상대적으로 비교하기 위한 시험이므로 시비, 관수, 병해충 방제 등은 농가에 위임하고 전정은 세장방추형

을 기본수형으로 동계에 연구진이 매년 동일한 기준에 따라 실시하였다.

생육조사는 매년 낙엽이 진 후 12월~1월에 수고, 수폭 및 접목부 10cm 위에서의 줄기직경을 측정하였다.

수량은 10월 하순에 전수 조사하였고 과일특성은 각 대목 당 20개의 사과를 임의로 택하여 가용성고형물 함량을 측정하여 굴절당도계(PR-101, Atago, Japan)를 사용하여 측정하였고 산도는 pH미터를 사용하여 pH 8.1~8.3이 되도록 0.1N NaOH 용액으로 적정하여 사과산으로 환산하였다. 경도는 직경 11mm 헤드를 가진 경도계(FT 327, Effegi, Italy)를 이용, 측정하여 N값으로 나타냈으며, 착색 정도는 색도색차계(NR-3000, Minolta, Japan)를 사용하여 붉게 착색된 양광면과 반대쪽 음광면의 Hunter 'a' 값을 조사하였다.

통계처리는 SAS(SAS Institute, Inc, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정법(유의수준 5%)으로 처리평균 간에 유의성을 검정하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 경북대 부속실습장에서의 생산성 검정

재식 5년차의 나무 자람세를 보면(Table 2) 수고의 경우 대조 대목인 M.9 T337(297cm)에 비해 CG.5757은 작게 자랐고, CG.5087, G.41은 비슷하였으며 G.202, G.214, G.935, CG.4814는 더 크게 자랐다. 줄기직경단면적(TCA)은 대목 간에 차이가 더욱 뚜렷하여 CG.5757이 9.7cm²로 가장 작았고 다음이 CG.5087(11.5cm²), G.41(14.6cm²) 순이었고 G.214(20.9cm²)는 M.9 T337(18cm²)보다 다소 굵게 자랐으나 유의성이 인정될 정도는 아니었다. G.935, G.202, CG.4814는 현저하게 세력이 강해 TCA가 22.8~24.4cm² 범위였다.

4년간 누적수량은 공시대목 중에 나무가 크게 자란 G.935, G.202, CG.4814가 54~56kg로 가장 많았고 M.9 T337과 G.214는 각각 45.6kg과 44.1kg으로 비슷하였으며 영양생장이 보다 떨어지는 CG.5757, CG.5087, G.41은 각각 28.8, 30.1, 37.9kg으로 작게 자랄수록 수량이 떨어지는 경향이였다.

줄기단면적당 수량을 나타내는 수량효율(yield efficiency)은 G.214가 2.1로 가장 낮았고 다소 강하게 자란 CG.4814, G.935, G.202가 2.3~2.4였다. 가장 작게 자란 CG.5757의 수량효율은 3.0으로 공시대목 중 가장 높았고, 상대적으로 작게 자란 그룹인 CG.5087, G.41, M.9 T337은 2.6으로 수확효율이 같았다.

재식 5년차 평균 과중은 CG.5757이 257g으로 공시대목 중 가장 작았고 G.41이 287g으로 가장 컸으며 다른 대목은 그 중간크기로 서로 비슷한 수준이었다.

Table. 2. Performance of 7 Cornell-Geneva selections and M.9 T.337 apple rootstock with 'Fuji' apple as the scion cultivar over 5 years in Daegu, South Korea.

Rootstock ^z	Tree height (cm)	Trunk cross-sectional area (cm ²)	Cumulative yield (kg/tree)	Cumulative yield efficiency (kg/cm ² TCA)	Average fruit weight (g)
CG.5757	267e ^y	9.7e	28.8d	3.0a	257c
CG.5087	280de	11.5e	30.1cd	2.6ab	278ab
G.41	302bcd	14.6d	37.9bc	2.6ab	287a

M.9 T.337	297cde	18.0c	45.5b	2.6ab	284ab
G.214	332ab	20.9bc	44.1b	2.1c	271bc
G.935	335ab	22.8ab	54.0a	2.4bc	281ab
G.202	330abc	23.3ab	56.0a	2.4bc	275ab
CG.4814	343a	24.4a	55.1a	2.3bc	272bc
LSD $P \leq 0.05$	34	3.0	8.0	0.46	15.1

^zRootstocks ranked by increasing trunk cross-sectional area.

^yMean separation by LSD $P \leq 0.05$.

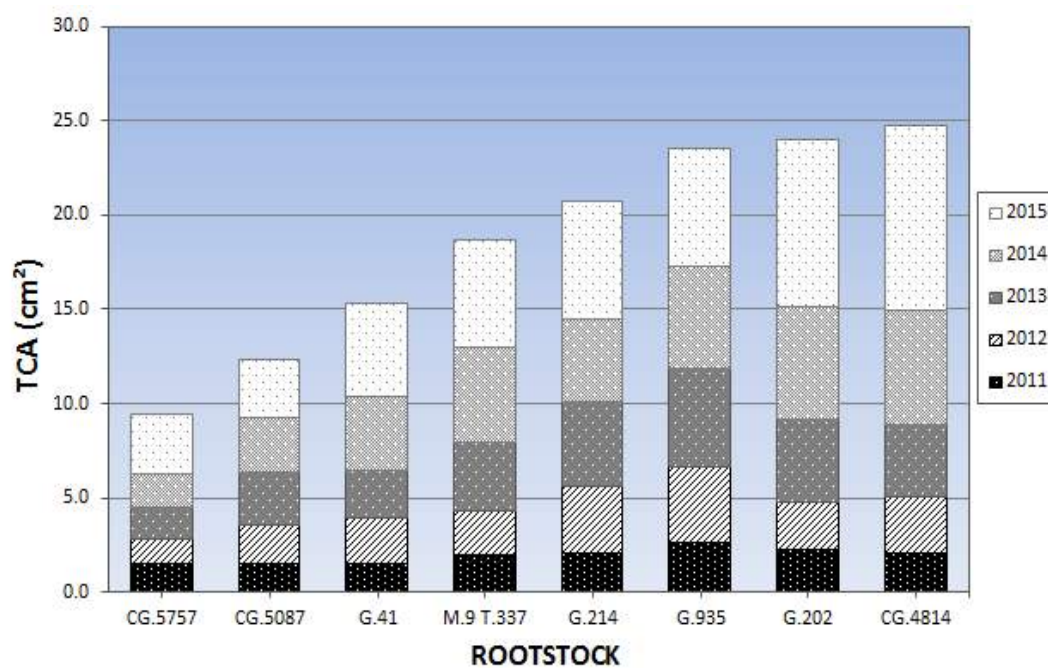


Fig. 1. Cumulative trunk cross-sectional area of seven Cornell-Geneva selections and M.9 T.337 apple rootstock with 'Fuji' apple as the scion cultivar over five years in Daegu, South Korea.

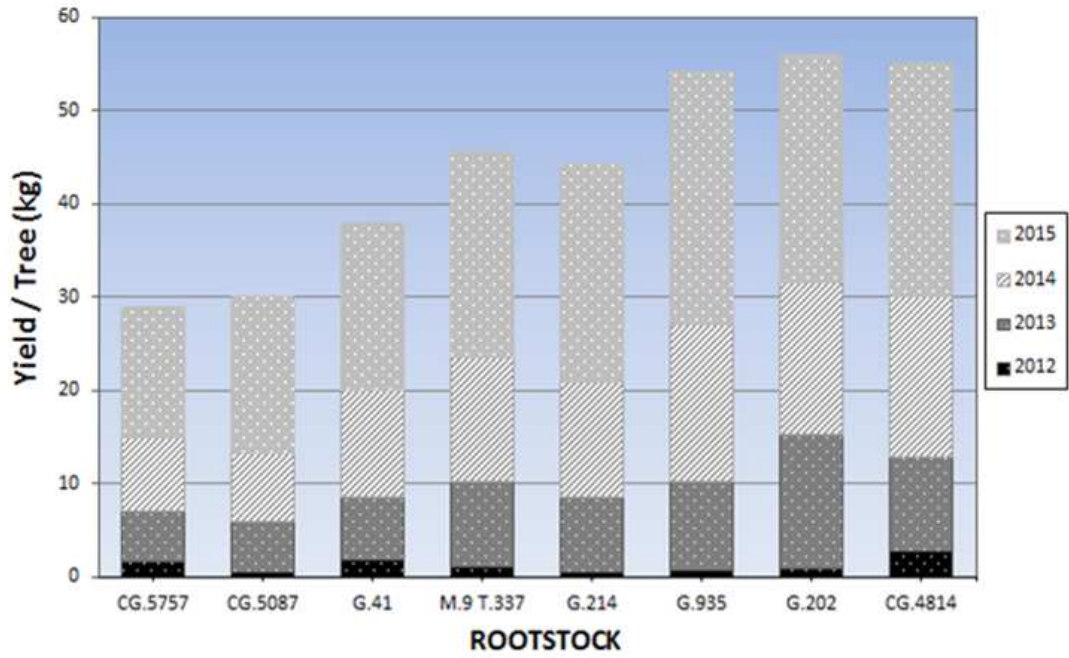


Fig. 2. Cumulative yield of seven Cornell-Geneva selections and M.9 T.337 apple rootstock with 'Fuji' apple as the scion cultivar over four years in Daegu, South Korea.



Fig. 3. Five-year-old 'Fuji' apple trees grafted on different rootstocks.

(2) 청송, 영주, 봉화에서의 생산성 검정

연차별 영양생장에 있어서 청송에서의 경우 수고는 M.9는 재식 당년에 2.5m, 2년차에 3.5m, 3년차에 4.3m, 5년차에는 4.2m에 달하였고 M.26은 같은 시기에 2.6m, 3.4m, 4.1m, 4.4m로 자랐다. 수고에서 M.9와 비슷한 생장을 보이는 대목은 G.11, CG.5087, CG.4814였고 M.26과 비슷하게 자라는 대목은 G.202, G.214, G.935였다(Fig. 4, 6). 대목 간 줄기단면적은 수고에 비해 더 뚜렷하게 차이가 났다. 대조구 M.9는 TCA가 재식 당년 3cm²에서 5년차 23.7cm²로 증가하였고 M.26은 3.9cm²에서 32cm²로 증가하였다. CG.5087은 재식 5년차 TCA가 17.9cm²로 M.9에 비해 가장 증가폭이 적었고 G.214가 20.3cm²로 그 다음이었다. G.11, G.935, CG.4814는 M.9와 M.26의 중간의 25~26.4cm²였고 G.202는 M.26과 비슷한(33cm²)수준의 TCA를 보였다(Fig. 5).

3년간의 예정지 관리를 하였던 영주에서는 전체적으로 청송보다 생육이 양호하였다(Fig. 4, 8). 재식 5년차 수고가 M.9는 약 4.0m, M.26은 4.4m에 달하였다. 수고로 보았을 때 M.9와 비슷한 대목은 G.11, G.214, CG.5087이었고 M.26과 비슷한 대목은 G.202, CG.4814였으며 G.935는 M.26보다 다소 높게(4.7m) 자랐다. 영주에서의 줄기단면적은 M.9가 5년차에 20.6cm²으로 가장 적었고 다음으로 CG.5087이 23.7cm², G.11이 25.3cm²이었다. 5년차 TCA가 30.4cm²인 M.26과 비슷한 세력의 대목은 G.214(28.8cm²)이었고 CG.4814 G.935는 청송에서와는 달리 M.26보다 현저하게 크게 자랐다(Fig. 5).

봉화는 영주나 청송에서 보다 대목에 관계없이 전체적으로 작게 자랐다(Fig. 4, 7). 이러한 결과는 청송이나 영주는 사양토이나 봉화는 사질토로 보수와 보비력이 약한 토양으로 경사지에 축대를 쌓고 평탄화한 사과원의 축대 쪽 가장자리에 1열씩으로 재식하여 바람을 많이 받는데다 관수를 하더라도 수분유지가 불리한 조건이 작용한 것으로 여겨진다. 5년차 M.9 대목의 경우 수고가 3.3m에 불과하였고 M.26은 3.8m로 자랐다. 봉화에서 CG.5087만 M.9와 비슷한 높이로 자랐고 다른 G 및 CG계 대목은 M.26과 비슷한 높이로 자랐다. 봉화에서의 줄기단면적은 CG.5087은 재식 5년차에 9.1cm²로 가장 작게 자랐고 다음으로 12.4cm²인 M.9였다. G.11과 G.214의 TCA는 각각 14.6cm²과 13.2cm²로 16.9cm²인 M.26보다는 작으나 M.9보다는 굵게 자라는 결과를 보였다. 봉화에서는 G.935(18.8cm²)와 CG.4814(19.5cm²)로 M.26보다 크게 자랐고 G.202는 TCA가 21.5cm²로 M.26보다 현저하게 크게 자랐다(Fig. 5).

세 지역 공히 G.202, G.935, CG.4814에 접목된 나무는 M.26과 같거나 다소 왕성하게 자라는 경향을 보였고 G.11, G.214는 M.9와 비슷하였고 CG.5087은 다소 약한 것으로 평가되었다. 이 결과는 코넬대에서 평가한 결과와도 유사하였다(Robinson et al., 1997; Robinson and Fazio, 2011). 경북의 대표적인 사과 주산지 3곳에서 각각의 원주가 독자적으로 관리한 상황에서 대체적인 자람세가 대목에 따라 비슷한 양상을 보인 것은 그 대목의 왜화도와 성장성의 특성에서 기인한 것으로 볼 수 있다고 판단된다(Czynczyk et al., 2010; Reig et al., 2019).

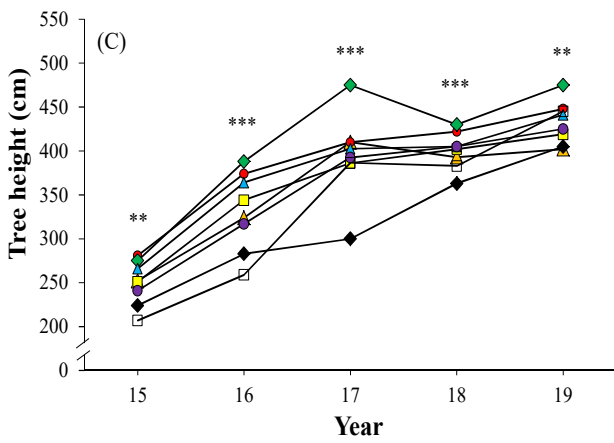
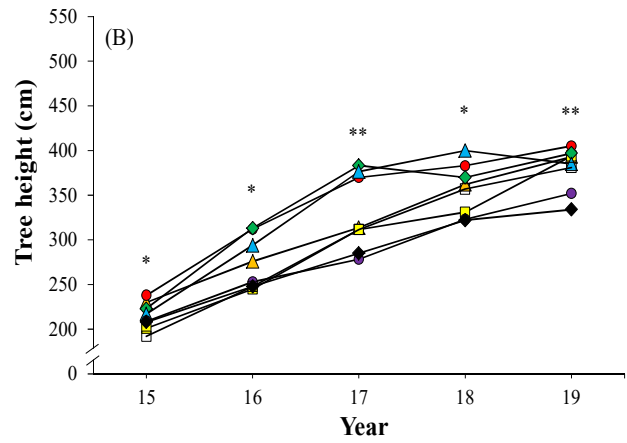
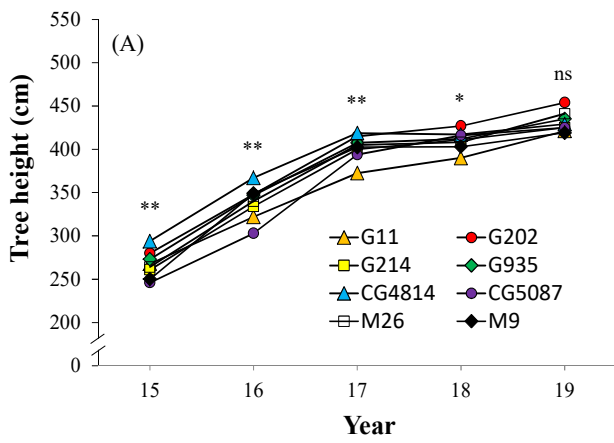
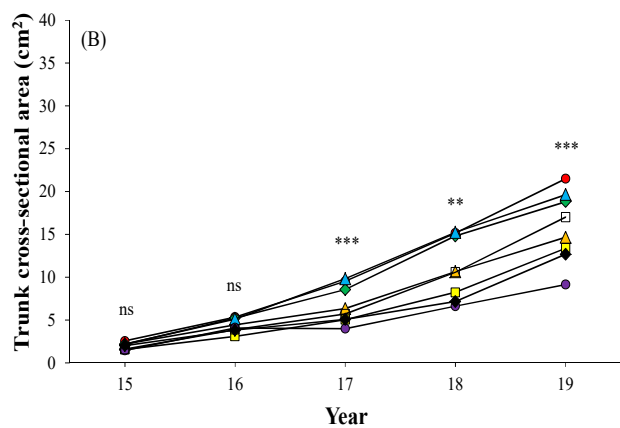
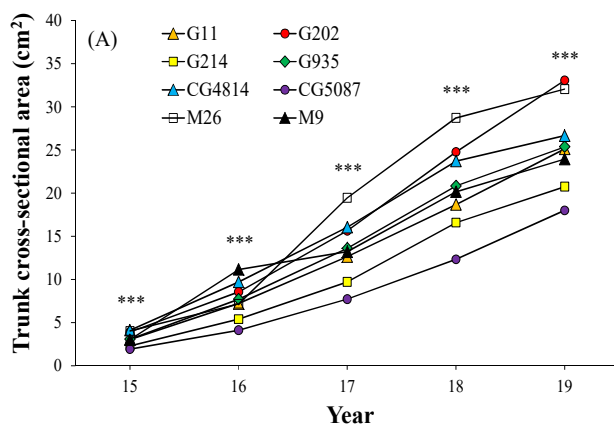


Fig. 4. Change in tree height for 5 years after planting; Cheongsong (A), Bonghwa (B), Yeongju (C). *, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively, ns: not significant.



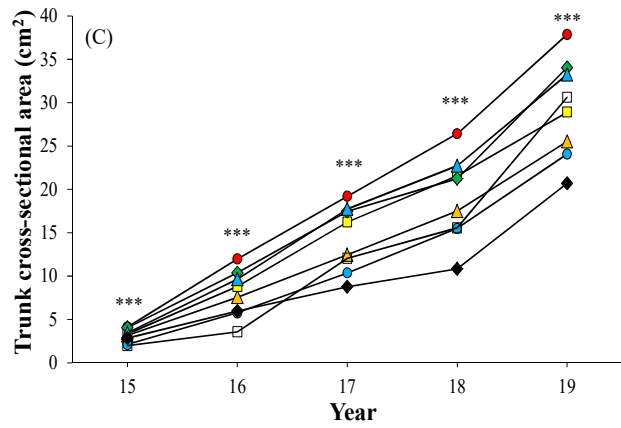


Fig. 5. Change in trunk cross-sectional area(TCA) for 5 years after planting; Cheongsong (A), Bonghwa (B), Yeongju (C). *, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively, ns: not significant.

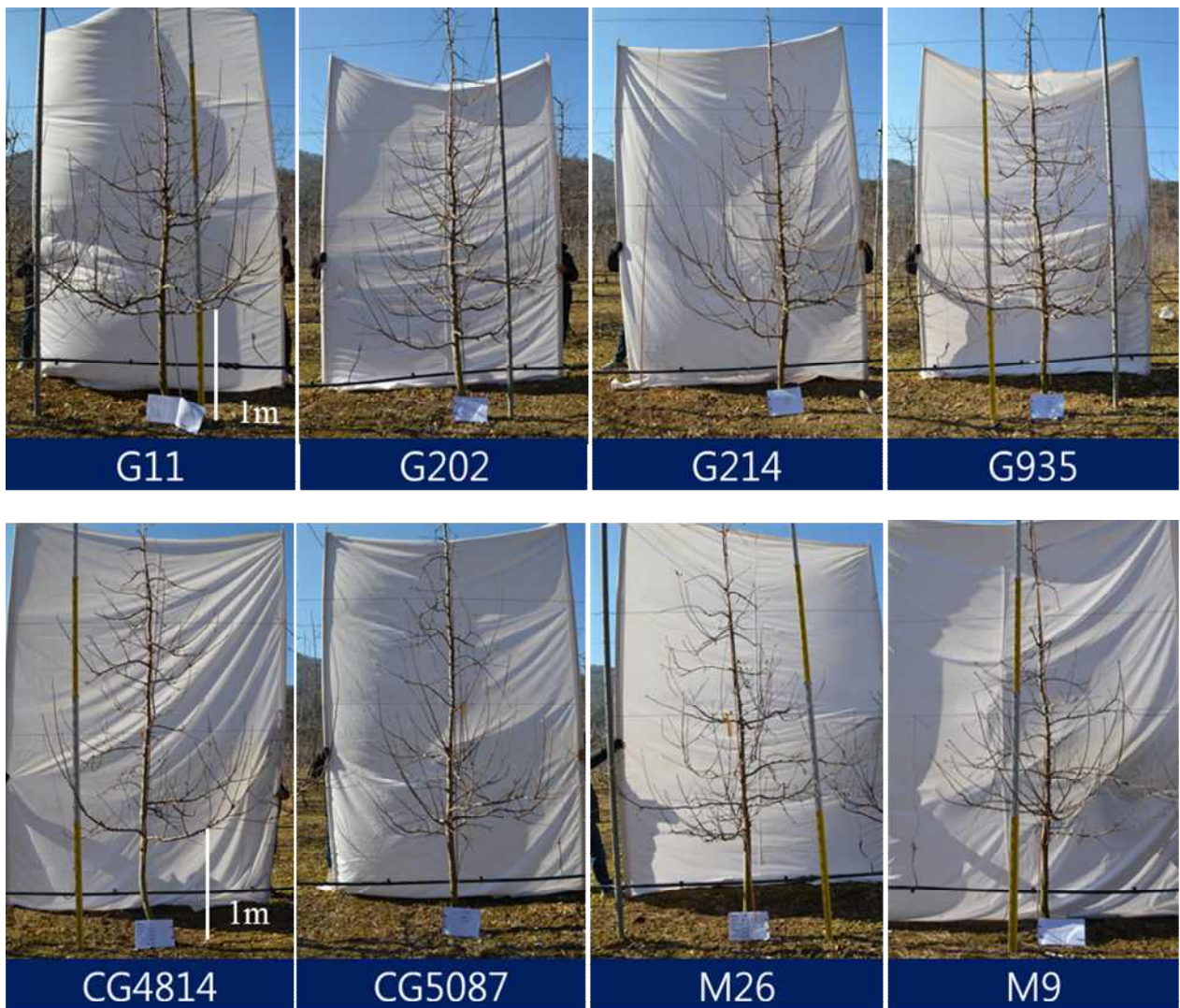


Fig. 6. Five-year-old apple trees in the experimental orchard in Cheongsong.

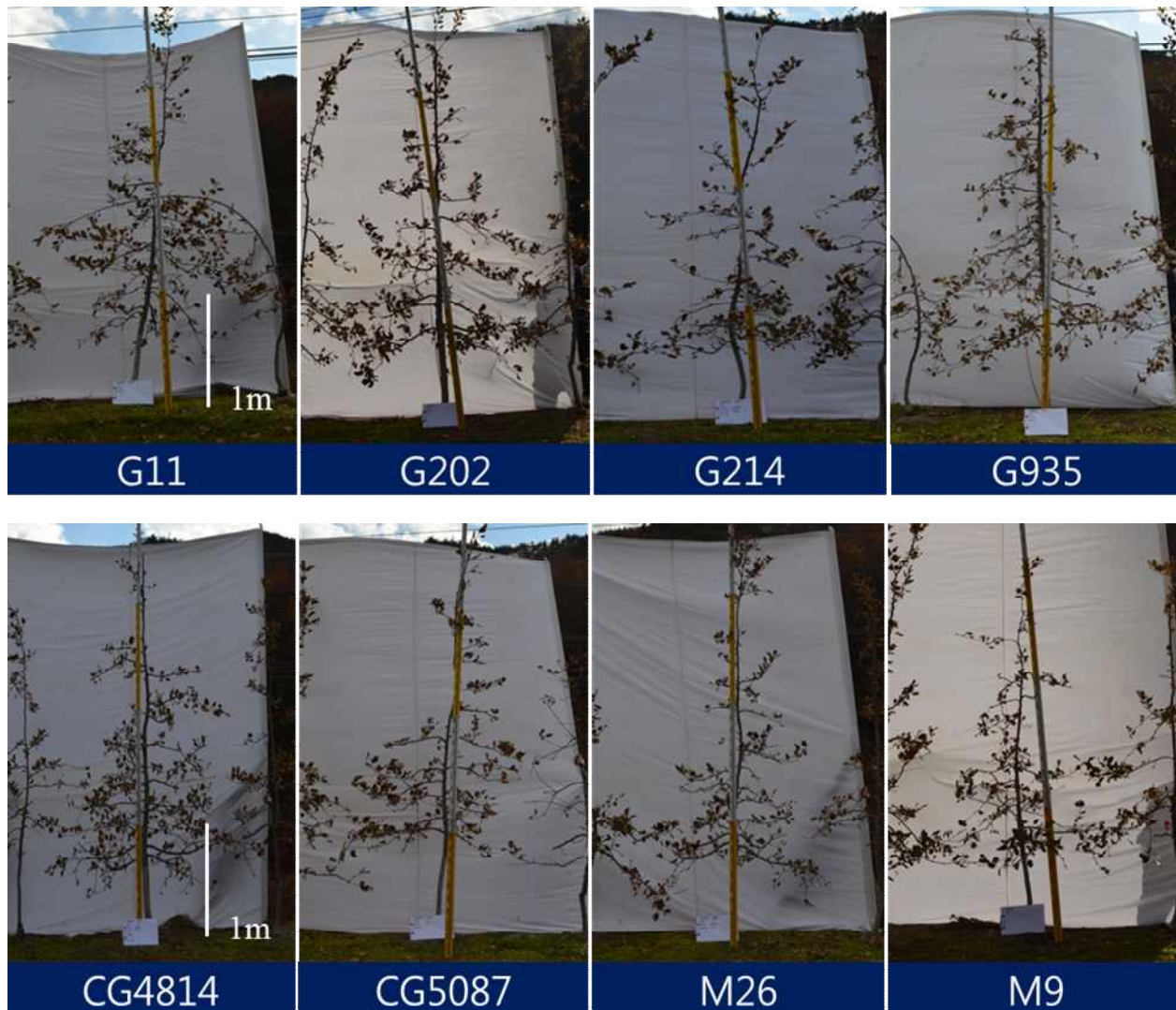


Fig. 7. Five-year-old apple trees in the experimental orchard in Bonghwa.

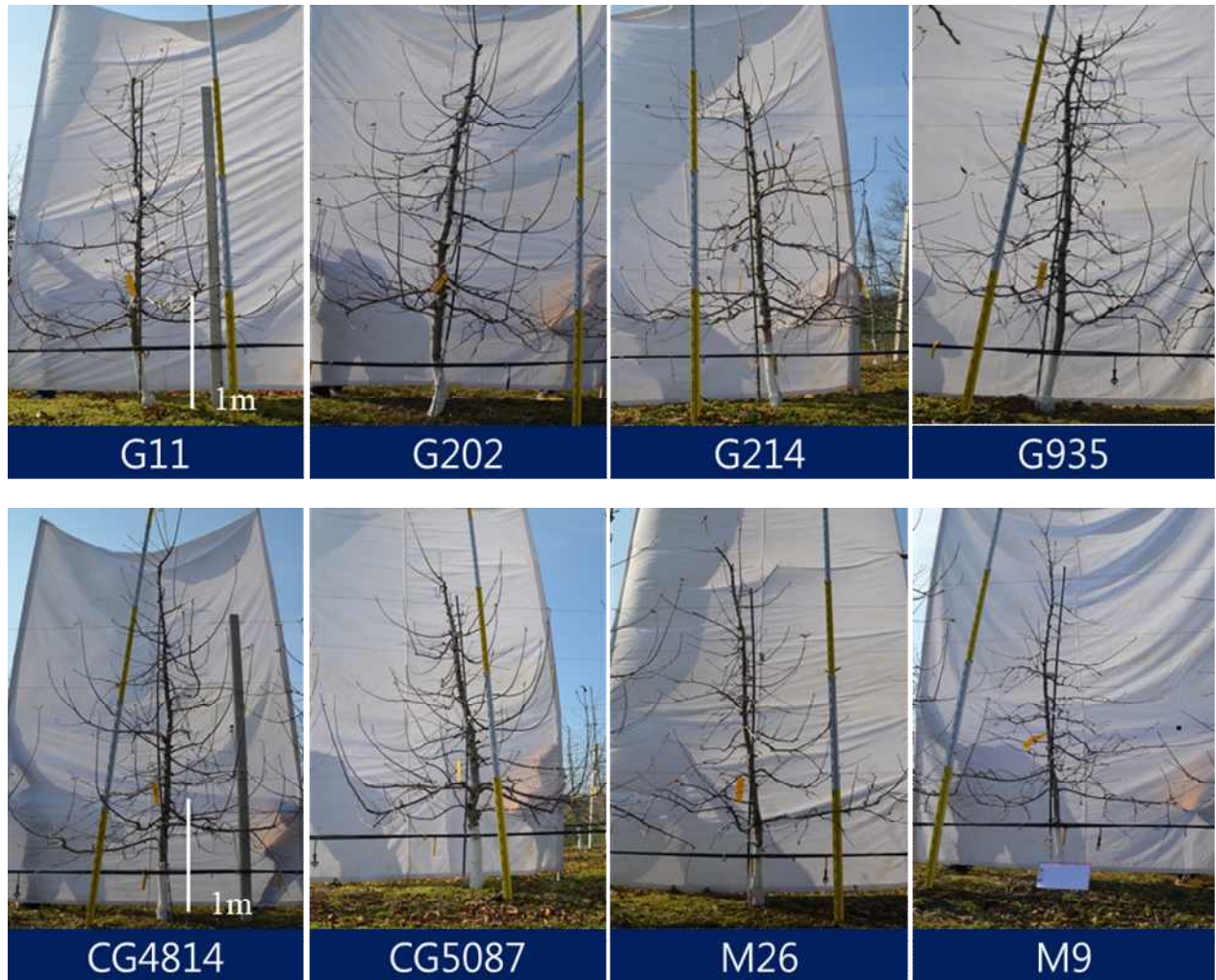


Fig. 8. Five-year-old apple trees in the experimental orchard in Yeongju.

재식 당년 생육기에 유인을 통한 꽃눈분화를 유도하는 노력을 기울이지 않은 관계로 의미 있는 수확은 재식 3년차부터 가능하였다. 청송의 경우 곡간지 하천변에 사과원이 위치하는 관계로 개화기 전후에 서리피해가 상습적으로 발생하는 지역이어서 주당 수량이 영주에 비하여 다소 떨어지는 결과를 가져왔다(Fig. 9). 대목 간에는 3년간 누적수량이 M.9를 포함하여 G.11, G.202, G.214, CG.4814, CG.5087은 50~53kg, G.935는 54kg, M.26은 55kg이었다.

충분한 예정지 관리로 지력이 양호하였던 영주는 영양생장도 좋았지만 주당 수량도 세 곳 중에 가장 많았다. 재식 4년차부터 대목간 수량 차이가 나타나기 시작하여 3년간 누적수량이 가장 많은 대목은 71kg인 CG.4814였다. 다음으로는 G.11, G.202, G.214, G.935, M.26, M.9는 63~67kg이었고 CG.5087은 60kg으로 다소 낮은 주당 수량을 보였다.

경사지에 축대를 쌓고 평탄화한 마사토 사과원에서 축대의 가장자리에 시험구를 배치하여 골바람을 직접적으로 받는데다 토양수분 유지에도 불리한 환경조건이었던 봉화는 서리피해를 크게 받지 않았음에도 다른 곳에 비해 영양생장이 떨어지면서 청송과 비슷한 수량을 보였다. 특히 4년차인 2018년의 수량 증가가 전년도에 비해 뚜렷하지 않았다. 대목별 3년간의 누적수량을 보면 G.214, G.202, G.935가 각각 46kg, 47kg, 48kg으로 48kg인 M.26과 비슷하였고

CG.5087은 42kg으로 주당 수량이 상대적으로 낮았다. CG.4814는 52kg으로 타 대목에 비해 주당 수량이 다소 많았다. 세 곳에서의 누적수량을 합해보면 CG.4814가 175kg으로 가장 많았고 다음이 167kg인 M.26이었고 G.11, G.202, G.935는 164~168kg, G.214, CG.5087은 각각 161kg, 155kg으로 159kg인 M.9와 비슷하였다.

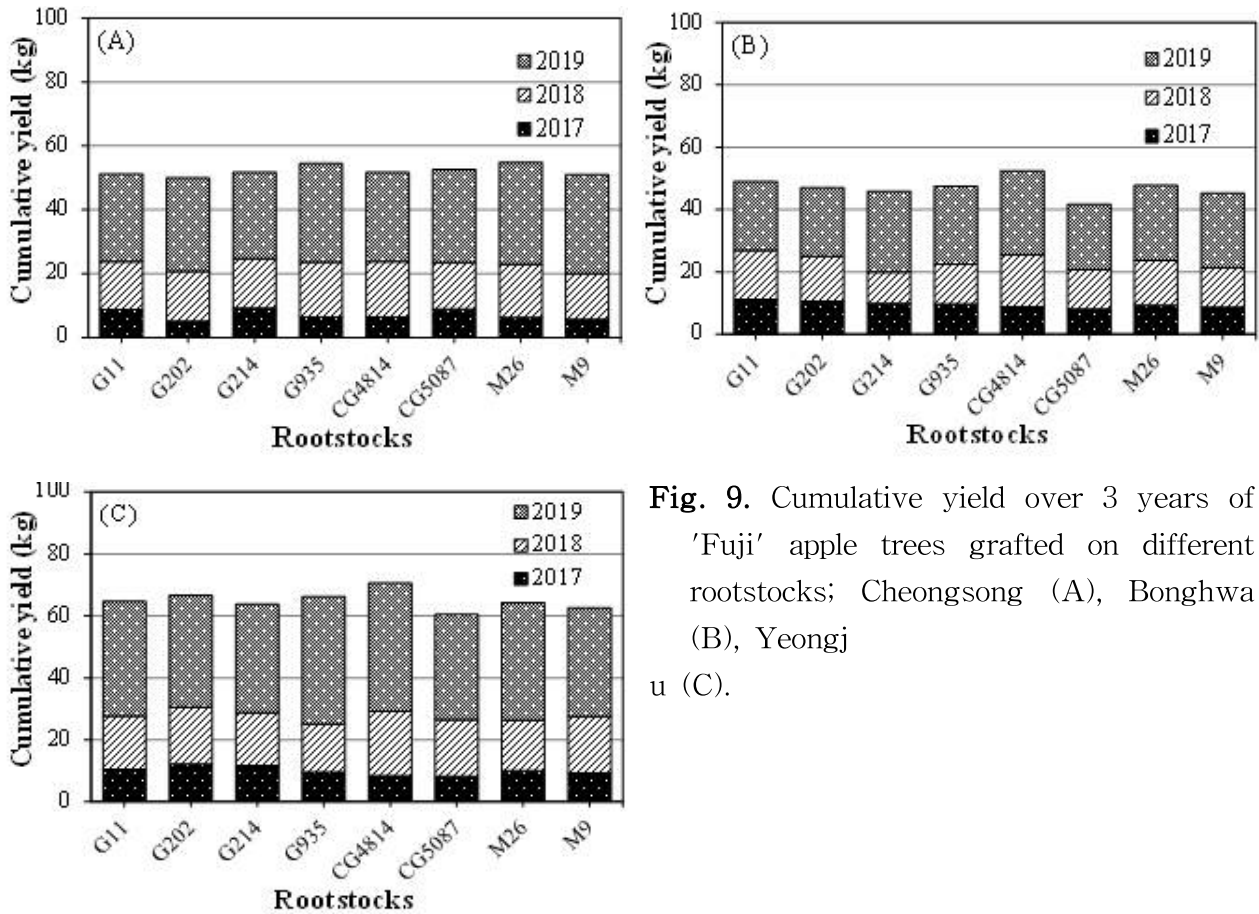


Fig. 9. Cumulative yield over 3 years of 'Fuji' apple trees grafted on different rootstocks; Cheongsong (A), Bonghwa (B), Yeongju (C).

과일품질 특성에는 토양 영양상태, 토양수분, 기온, 햇빛, 나무세력, 착과량, 대목을 포함하여 많은 요인들이 관여한다(Musacchi and Serra, 2018). 과중은 지역 간 뚜렷한 차이가 있었는데 상대적으로 나무가 가장 왕성하게 자란 영주지역에서 가장 높게 나타났다(Table 3). 이 결과로 보면 청송지역에서는 서리피해로 인한 중심화의 피해가 높게 나타난 것이 과실품질에도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 봉화지역은 전반적으로 나무의 세력이 약화가 된 상태에서 착과가 되었기 때문인 것으로 보여진다. 청송과 봉화지역에서는 과중이 대목 간에 크게 차이가 나타나지 않았지만 영주에서는 대목 간에 눈에 띄게 나타났다. CG.5087은 302g로 가장 높았고 다음으로는 G.11, G.202였으며 나무의 세력이 강하게 나타났던 G.935, CG.4814 나무는 동일하게 269g로 차이를 보였다. 착색은 봉화와 영주지역은 비슷하였으나 청송은 이들 지역에 비해 다소 낮게 나타났다. 추정컨대 재배적인 결과보다는 개원지 특성상 배수가 쉽게 되는 토양이 아니기 때문에 착색기에 관수를 중단한다 하여도 자연적인 강우로 인해 토양 내 수분함량이 높게 장시간 지속되었기 때문인 것으로 보여진다. 경도는 전반적으로 과중이 높았던 영주지역보다는 청송, 봉화에서 높은 것으로 나타났고 당도, 산도는 대목 간 지역 간에 따라 그 영향($P>0.05$)이 나타나지 않았다.

결론적으로 경북대 부속실습장과 각 사과주산지 청송, 영주, 봉화 지역에서 5년간에 걸쳐 실

시한 대목 종류에 따른 생산성 검증에서는 지역적 생육환경 특성보다는 대목의 영향이 더 컸던 것으로 조사되었다. 나무의 자람세는 지역에 관계없이 G.202, G.935, CG.4814 대목이 M.26과 비슷하거나 좀 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났고 G.11, G.41, G.214, CG.5087은 M.9와 비슷한 왜화도를 보인 반면에 CG.5757은 M.9보다 자람이 약한 것으로 평가되었다. 경북대 부속실습장에서 실시된 생산성 평가에서는 주당 누적수량에 있어서 G.202, G.935, CG.4814 대목이 가장 양호하여 M.9의 생산성을 능가하였고 반면 CG.5757과 CG.5087은 M.9에 미치지 못하였다. 사과주산지 생산성 평가에서는 CG.4814는 세 지역 누적수량이 가장 높은 대목으로 평가되었고 G.11, G.202, G.214, G.935는 M.26과 비슷한 수준이었으며 CG.5087은 M.9와 함께 타 대목에 조금 못 미치는 생산성을 기록하였다. 종합적으로 보면 G.935, CG.4814 대목은 기존의 M.26 또는 M.9와 비교할 만한 수준의 생산성을 보여 새로운 사과 왜성대목으로써 가능성이 인정되었다.

Table 3. Fruit quality according to experimental locations and rootstocks in the fifth year after planting.

Location	Rootstocks	Fruit weight (g)	Fruit color	Fruit firmness (kg/cm ⁻²)	Soluble solids (°Brix)	Titratable acidity (%)
			(Hunter 'a' value)			
Chung-Song	G.11	268def ^z	16.8efg	39.1cde	14.9b-g	0.29f-i
	G.202	262d-g	14.7g	40.7a-d	14.5f-i	0.34ab
	G.214	268def	15.0fg	42.8a	14.4ghi	0.30b-h
	G.935	251e-i	14.7g	41.2abc	14.4hi	0.33abc
	CG.4814	249e-i	14.3g	41.7abc	14.2i	0.34a
	CG.5087	256e-h	17.7def	40.6a-d	14.5e-i	0.30c-h
	M.26	262d-g	18.2cde	40.1b-e	14.7d-i	0.30c-h
	M.9	251e-i	17.7def	39.9b-d	14.5e-i	0.29f-i
Bong-Wha	G.11	250e-i	18.5b-e	40.9abc	15.3bc	0.33abc
	G.202	234i	19.9a-d	38.0def	14.4f-i	0.31a-h
	G.214	246ghi	21.3ab	42.0ab	15.0b-e	0.33abc
	G.935	249f-i	20.2a-d	38.0def	14.9b-f	0.32a-g
	CG.4814	250e-i	20.1a-d	41.5abc	15.0b-e	0.33a-d
	CG.5087	240hi	21.7a	41.2abc	14.7d-h	0.31a-h
	M.26	246ghi	21.9a	40.8abc	14.8c-h	0.33a-e
	M.9	238hi	21.2ab	39.3cde	15.0b-e	0.32a-f
Young-Ju	G.11	296ab	20.7abc	36.0fgh	15.4ab	0.30d-h
	G.202	293ab	20.4a-d	37.4efg	15.1bcd	0.31a-g
	G.214	289ab	19.6a-e	35.3f-i	15.3bc	0.29e-i
	G.935	269abc	19.9a-d	34.4hi	15.0bcd	0.29f-i
	CG.4814	269cde	20.7abc	34.2hi	15.8a	0.28hi
	CG.5087	302a	19.5a-e	34.1hi	14.8c-h	0.26i
	M.26	265d-g	19.7a-d	35.0ghi	14.9b-f	0.28hi
	M.9	279bcd	20.1a-d	32.8i	15.2bc	0.28ghi
LSD P≤0.05		20	2.8	2.7	0.5	0.04
Significance						
Area (A)		***	***	***	***	***
Rootstock (B)		*	*	*	**	ns
A x B		*	ns	*	ns	ns

^zMeans within columns followed by the same letter are not significantly different by least significant difference (LSD) at P≤0.05.

ns,*,**,***Factor effects or interactions that are nonsignificant or significant at p<0.05, 0.01 or 0.001, respectively.

2-1-3. 증식특성

가. 서론

최근 북미에서 출시되고 있는 G계통 왜성사과나무 대목은 화상병과, 연작적응성 뿐 아니라 내환경성도 우수한 것으로 평가되고 있어 기존 M계통 대목을 대체할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다(Fazio et al., 2013). 하지만 유망한 대목이라도 증식능력이 떨어지거나 생산된 묘목의 소질이 우수하지 못하면 묘목의 생산이 공급차원에서 어려움이 커서 묘목시장에서 도태될 가능성도 있을 것이다.

사과왜성대목의 증식은 일반적으로 세워묻어떼기 또는 이랑묻어떼기 방법으로 증식이 된다(김 & 윤, 1998). 묻어떼기 방법은 동일한 유전특성을 가진 개체를 안정적으로 대량으로 생산이 가능하다. 세워묻어떼기는 번식초기에 개체수를 많이 생산할 수 있다는 이점이 있지만 장기적으로는 이랑묻어떼기의 증식율이 높아 본 시험에서는 후자의 방법을 택하여 대목증식을 평가하였다. 묘목의 소질은 잘 발달된 뿌리, 줄기직경, 측지수로 평가할 수 있는데 우량한 대목에 접목이 될수록 득묘율이 높아지고 특묘생산 비중이 증가한다. 따라서 대목증식포에서 우량한 대목의 획득율이 높아진다면 우량한 묘목생산 증가로 이어질 수 있다.

고밀식 재배체계에서 우량 측지묘 재식은 여러 가지 이점을 안겨다 준다. 회초리묘와 달리 2년차 착과가 가능하여 조기 수관형성에 용이하고 나무의 세력이 안정이 되면서 나무의 관리가 쉬워진다. 우량묘목이라 하면 뿌리가 잘 발달되고 줄기직경이 14mm 이상이면서 측지가 잘 발생된 묘목을 말한다. 우량묘목을 재식하는 것은 개원비가 다소 증가하는 측면이 있으나 초기 수량이 높아 장점이 더 높다고 평가할 수 있다. 최근 유럽에서는 하나의 대목에 2개의 원줄기를 세우고 초방추형으로 키우는 방식의 2축형이 대두되고 있다. 2축형은 사과원의 광 이용 효율을 세장방추형 이상으로 증가시킬 수 있으며 수세가 각 축으로 분산되면서 수고를 무리 없이 낮출 수 있게 되어 관리 작업이 더 쉬워지는 장점이 있다(윤, 2019). 2축형은 키 큰 세장방추형 이상으로 장점이 많은 수형으로 우리나라도 도입을 검토할 필요성이 있다(윤 등, 2019).

본 시험에서는 각각의 G계통 대목들을 M계통 대목들과 비교하여 대목증식 포장에서 증식특성을 4년 간에 걸쳐 조사하였다. 또한 대목종류에 따른 접목묘 성장특성도 평가하였다.

나. 재료 및 방법

(1) 대목증식 특성

밭사미드로 토양소독을 하고 완숙퇴비 5톤(/10a)을 사용하고 심경, 쇠토하고 열간거리 1.8m에 10cm 깊이로 골을 만든 다음, 2011년 4월 5일에 G, CG 및 M계 대목을 25cm 간격으로 약 45° 기울어지게 심었다. 같은 해 10월 하순에 자란 모든 새순을 지면으로 휘어 눕힌 다음 철선고리를 이용하여 고정하였다. 대목 재식 2년차부터 새순이 약 20cm 자랐을 때 1차 복토를 추가로 20cm 더 자랐을 때 2차 복토를 하여 20cm 이상 복토가 되게 하였다. 야적하여 풍화시킨 왕겨를 고랑에 깔 다음 관리기로 흙과 함께 쳐 올린 다음 인력으로 세밀하게 마무리하였다. 대목 수확은 해에 따라 12월 중순 또는 이듬해 2월 상순에 복토한 흙을 걷어내고 자란 신초를 전정가위를 이용하여 하였다.

대목증식 특성조사는 본 과제가 시작된 2015년부터 2019년까지 매년 하였으나 2018년의 경

우 울타리가 무너지면서 고라니가 침입하여 심각한 수준으로 피해를 입혀 의미 있는 데이터를 얻지 못하고 2015, 2016, 2017년과 2019년 4년간의 데이터만 취합하였다. 대목 전량을 수확하여 대목포 m당 획득 대목수를 조사하였고, 직경에 따라 4mm 이하, 4~5.9mm, 6~7.9mm, 8~9.9mm, 10~11.9mm, 12mm 이상 6등급으로 나누었다. 대목의 발근정도는 상(뿌리 5개 이상), 중(3~4개), 하(1~2개), 무발근의 4등급으로 나누어 조사하였다(Fig. 1). 대목의 곧음 또는 휨 정도는 길이 30cm에 직경 3, 4, 5, 6, 7cm인 원통을 각각 만든 다음 해당 원통 통과여부에 따라 굴곡비율 10, 13, 17, 20, 23%로 분류하고 그 비율을 조사하였다. 각 대목 물관부의 해부학적 특성은 G.11, G.202, G.935, M.26, M.9에 대해서만 비교하였다. 각 대목 새순을(직경 약 3mm) 채취한 다음 면도날로 얇게 잘라 절편을 채취하고 30, 50, 70, 90, 100% 에탄올에 순차적으로 15분씩 침지하여 탈수한 다음 동결건조를 하였다. 완전히 건조된 샘플을 주사전자현미경(SU8220, Hitachi, Japan)으로 단면 촬영을 하고 물관부 두께와 물관 크기를 관찰, 비교하였다.



Fig. 1. Classification by stool shoot rooting;
 1-Good (5 or more), 2-Moderate (3-4),
 3-Poor (1-2), 4-Rootless.

(2) 측지묘목 생산특성

대목별 측지묘목 생산시험은 2020년 2월 상순에 대목증식포에서 수확한 다음(Fig. 2) 굵기가 10mm 내외의 우량대목을 선별하여 2월 28일 ‘후지’ 품종을 접목하고 9L 용기에 1주씩 재식하였다. 원예용 상토(72% coco peat, 8.5% peat moss, 6% vermiculite, 9.5% perlite)와 모래를 7:3으로 혼합하여 상토로 사용하였다. 수분관리는 점적관수장치를 생육 초기에는 저녁(18:00)에 30분씩 주당 1L, 생육 중기부터는 아침(08:00)에 30분을 추가하여 하루 주당 2L 관수하였다. 접수의 새순이 약 60cm 자랐을 때 400ppm BA(6-Benzylaminopurine)를 1차 살포하여 측지발생을 유도하였다. 그 후 새순이 다시 약 30cm 가까이 자랐을 때 2차로 같은 농도의 BA를 신초상단부에 살포를 하였다. 시비는 재식 후 신초가 약 30cm 자랐을 때 요소 0.3% 엽면시비를 하였고 그 후 한 달 간격으로 복합비료(N:P:K = 21:17:17)를 포트 당 20g씩 3회 시비 하였다.

묘목의 자람과 묘목소질 조사는 공시 대목당 10반복으로 생육개시 약 180일 후 실시하였고 측지길이, 측지수, 접수직경, 수고를 조사하였다.



Fig. 2. After harvesting the rootstocks in the stool bed, the grafted plants were grown in the greenhouse.

(3) 2축 묘목 생산특성

2축 묘목 생산특성은 그간 대목특성 평가에서 국내 보급 가능성이 있는 것으로 평가할 만한 대목인 코넬대 육성 G.11, G.202, G.935, CG.4814와 대조로 M.9를 대상으로 2018년부터 2년에 걸쳐 경북대학교 군위 부속실습장에서 실시하였다. 2018년 2월 중순에 공시대목에 ‘후지’ 꺾기 접목한 다음, 원예용 상토(72% coco peat, 8.5% peat moss, 6% vermiculite, 9.5% perlite)를 채운 1L 검은 비닐 포트에 심었다. 생육촉진을 위해 무 가온 유리온실에서 60일간 키워 접목 신초가 약 20cm 자란 4월 중순에 포장에 이식하였다(Fig. 3). 본포에 이식할 때는 노지재식 충격을 최소화 하고 연작장애의 우려를 불식시키기 위하여 접목묘 근권부의 상토가 부서지지 않도록 다루어 화분 본 형태를 그대로 유지하여 식재하였다(Fig. 3). 재식간격은 열간 3.2m x 주간 1.2m로 하여 접목부가 약 20cm 노출되게 심었다.



Fig. 3. Established bi-axis apple orchard at the KNU experimental field and produced bi-axis apple trees.

접목부에 인접하여 세력이 비슷한 2축을 만들기 위하여 활착 후 신초가 약 30cm 자란 시점에 BA(6-benzyladenine) 600ppm을 신초의 중하단부에 살포를 하고 접수의 하단부에 측지발생을 유도하였다. 약 3주가 지나고 신초하단부에서 발생한 비슷한 세력의 측지가 양방향으로 각각 약 15cm 정도 자랐을 때 측지 2개가 양쪽으로 분지된 지점의 바로 위쪽 주간을 절단하고 2개의 측지를 선정하여 2개의 축으로 자라도록 유도하였다(Fig. 3). 새순이 자라남에 따라 철선 지주에 수직으로 유인끈을 설치하고 여기에 새순을 가볍게 감아주는 방법으로 2개의 수직 축이 곧게 자라도록 유인하였다. 재식 2년차에 각 축에 지지대를 설치하고 2축의 세력에 따라 강한 축은 약한 축에 비해 유인각을 크게 하여 묶어 주는 방법으로 축간 세력 불균형이 완화되게 하였다.

재식 1년차와 2년차 11월 하순~12월 상순에 각 축의 높이와 줄기직경을 조사하여 2축 묘목

생산 특성을 비교하였다.

통계처리는 SAS(SAS Institute, Inc, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정법(유의수준 5%)으로 처리평균 간에 유의성을 검정하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 대목증식 특성

대목증식포 m당 수확 대목 수는 G.935가 평균 46.1개로 가장 많았고 CG.4814 39.9개, G.202 37.3개, G.11 34.5개 수준이었고 대조 대목인 M.9와 M.26은 각각 23.2개와 26.6개로 G 및 CG계 대목에 비해 증식율이 낮았다(Webster and Jones, 1989; Marini et al., 2009).

수확한 대목의 굵기에 따라 묘목 생산방법이 달라진다. 우리나라 묘목업체는 대목을 재식하고 접수를 깎기접을 하거나 실내에서 깎기접을 한 다음 접목한 대목에 심어 묘목을 생산하는 방법을 주로 채택하고 있다. 깎기접목을 하자면 직경이 8mm 이상으로 굵어야 접목이 용이하고 생산된 묘목의 소질도 좋다. 그러나 묘목업체에 따르면 직경 12mm 이상으로 굵으면 접목을 했을 때 생산된 묘목의 소질은 양호하나 접목 속도가 느려져 선호하지 않는다고 한다. 대목직경 4~7mm까지는 3월에 대목을 심어 잘 자라게 한 다음 8월 중순~9월 상순에 깎기접을 하고 이듬해 봄에 접목 상단을 절단하고 새순이 자람에 따라 측지발생을 유도하면 대목 재식 2년차에 측지묘목을 생산할 수 있다. 그러나 대목 직경 4mm 이하는 접목을 하기에는 너무 가늘어 1년을 더 키워야 하는 한다(윤, 1999).

우리나라 ‘종자산업법 시행규칙’ 제 34조 1항 2조에 따른 사과 규격묘목의 기준은 길이 140 cm, 줄기직경 12mm 이상이나(농림부, 2020) 통상 대목 직경이 굵고 수고가 높으며 측지가 많을수록 우량대묘로 높은 가격으로 유통된다. 이러한 조질의 묘목생산을 위하여 묘목업체들은 적정 대목굵기는 7mm 이상으로 분류하고 있으며 그 이하의 굵기를 가진 대목은 주로 대목증식에 사용된다. 반면 접목하기에 가장 이상적인 대목의 굵기는 9~11mm로 여기고 있다. 그 이상 굵기의 대목은 우량묘목 생산에 유리하나 접목시에 노력이 많이 들고 작업속도가 더더지는 단점이 있다고 한다. 그럼에도 불구하고 대목이 우량하면 할수록 접목 후 식물체의 자람이 왕성해지고 우량묘목 획득율을 높일 수 있다.

접목묘 생산에 적합한 대목의 굵기를 8~12mm로 본다면 양호한 굵기의 대목 생산성은 G.202가 48.5%로 가장 높았고 나머지 대목들은 30.6~40.5% 범위였다(Table 1). 접목이 어려운 6mm 미만 취목율이 가장 높은 대목은 G.214로 48%가 여기에 해당하였고 나머지 대목들은 G.935(44.1%), G.11(39.9%), CG.4814(37.6%), M.26(31.6%), CG.5087(31.3%), M.9(31.2%), G.202(30.1%) 순 이었다. G.41은 대목증식율이 낮아 묘목업체들이 기피하는 대목으로 알려져 있으나(권과 윤, 2012) 본 시험에서 검토한 대목은 증식율에서 기존의 M.9나 M.26보다는 우수한 것으로 평가되었다.

Table. 1. Diameter classification of 1-year-old each layers, and harvested layers per meter examined after harvesting for 4 years(2015–2017, and 2019) in stool bed.

Rootstocks	Stoolshoots diameter (mm)
------------	---------------------------

	4 or less	4.1-5.9	6.0-7.9	8.0-9.9	10.0-11.9	12.0-13.9	Harvested stoolshoots/m
G.11	8.9±6.1 ^z	31.0±15.3	28.7±8.3	19.7±6.5	9.9±8.7	1.8±1.8	34.5±3.7
G.202	6.5±4.5	23.6±9.6	21.4±5.0	24.0±5.8	18.6±6.8	5.9±3.2	37.3±3.3
G.214	15.7±10.6	32.3±16.1	21.5±12.2	15.2±6.2	9.9±5.4	5.5±4.0	29.0±3.1
G.935	16.4±5.3	27.7±9.8	20.6±4.3	19.3±3.8	8.6±6.6	7.5±7.6	46.1±10.4
CG.4814	10.8±4.4	26.8±5.3	31.0±7.6	20.1±4.7	9.8±8.7	1.5±1.5	39.9±7.8
CG.5087	7.7±5.3	23.6±3.6	34.5±5.5	21.6±7.7	9.6±5.2	3.0±1.2	32.4±6.4
M.26	9.8±2.9	21.8±7.7	27.8±5.1	18.0±4.7	15.0±4.6	7.5±2.2	26.6±4.9
M.9	11.7±3.1	19.5±8.4	31.3±3.9	21.9±4.5	10.2±5.2	5.5±1.9	23.2±5.2

^zValues are mean±standard deviation of the percentage data.

발근이 충분한 대목이 활착과 생육이 양호하지만(Cheng, 2002) 묘목업체들이나 연구자의 경험에 따르면 뿌리발달이 빈약하더라도 뿌리가 1~2개라도 자란 상태라면 재식 후 정상적인 묘목 생산이 가능하다. 반면에 뿌리가 전혀 없는 대목은 대목포에 심었을 때 일부 발근이 가능하기도 하지만 균일하지 못하기 때문에 한국의 묘목업체들은 폐기하고 있다.

공시한 대목 중 증식 개체의 무발근율이 상대적으로 높은 대목은 CG.5087(25.8%), G.935(24.4%), G.214(21.3%) 등이었고 낮은 대목은 G.11(11.5%), M.9(13.3%), G.202(14.2%), M.26(15%) 등이었다.

Table. 2. Rooting state classification of stoolshoots for 4 years (2015-2017, and 2019) propagated by trench layering.

Rootstocks	Rooting state of stoolshoots			
	Good (5 ≤ roots/shoot)	Moderate (3-4 roots/shoot)	Poor (1-2 roots/shoot)	Rootless (No root/shoot)
G.11	40.5±14.4 ^z	24.0±3.4	24.1±12.5	11.5±2.7
G.202	9.4±10.6	23.1±6.1	23.4±7.6	14.2±5.6
G.214	42.1±9.5	17.8±9.4	18.8±4.4	21.3±12.5
G.935	23.8±11.3	20.3±6.7	31.5±11.2	24.4±7.1
CG.4814	29.6±7.6	26.6±4.2	26.3±5.9	17.5±1.7
CG.5087	19.9±15.5	27.1±11.3	27.2±6.6	25.8±8.4
M.26	30.8±6.2	28.6±4.1	25.6±5.5	15.0±2.7
M.9	34.4±5.5	25.0±7.2	27.3±4.8	13.3±3.8

^zValues are mean±standard deviation of the percentage data or number.

왜성대목을 이용한 묘목 생산에서 적정 접목높이는 15~20cm이고 접하기 쉽고 접수가 고르고 곧게 자라기 위해서는 대목이 곧고 매끈하여야 한다. 증식하여 수확한 대목이 대목 종류에

따라 곧음 정도가 달라서 그 비율을 조사하였던바 Table 3에서와 같은 결과를 얻었다. 기존의 M.9와 M.26은 대부분의 대목이 곧아서 굴곡률 13% 이하의 비율이 각각 78.1%와 75.1%였다. G 및 CG대목은 대체로 굽게 자란 대목의 비율이 높았는데 특히 G.11과 G.935에서 굴곡률 13%이하의 비율이 각각 59.3%와 61.7%에 불과하였다.

Table. 3. Straightness classification of stoolshoots for 4 years (2015-2017, and 2019) propagated by trench layering.

Rootstocks	Curvature degree of stoolshoots				
	≤ 10% ^z	10.1 ~ 13.0%	13.1 ~ 17.0%	17.1~23%	23% ≤
G.11	35.5±9.8 ^y	23.8±7.2	22.2±3.7	9.4±4.0	9.1±7.5
G.202	41.3±12.2	28.5±7.1	15.1±5.4	9.1±5.8	5.9±5.8
G.214	41.3±24.0	24.1±14.5	14.7±5.5	9.3±4.6	10.7±8.2
G.935	32.1±8.1	29.6±12.1	12.9±4.8	12.4±6.7	13.1±8.9
CG.4814	49.3±11.7	21.3±2.0	15.2±6.7	8.8±4.5	5.4±3.3
CG.5087	38.9±20.7	26.9±9.4	13.0±7.5	10.9±5.0	10.3±10.6
M.26	58.6±4.9	16.5±3.5	9.8±2.6	6.8±1.3	8.3±2.0
M.9	62.5±7.7	15.6±4.1	11.7±2.9	4.7±2.2	5.5±1.9

^zThe curvature of stoolshoots were expressed as a percentage.

^yValues are mean±standard deviation of the percentage data.

대목계통 간에 물관부의 발달정도를 알아보기 위하여 줄기 단면의 해부학적 특징을 살펴 보았다. 상대적으로 유망한 것으로 평가되는 대목인 G.11, G.202, G.935와 M.26, M.9의 물관부 발달 형태는 대목에 따라 다소 다르게 나타났다(Fig. 4). 상대적으로 왜화도가 큰 G.11이나 M.9보다는 세력이 좀 더 크게 자라는 G.202, G.935, M.26에서 물관의 수가 많고 크기도 더 큰 것으로 보였다. 사과나무는 대목의 왜화도에 따라 나무의 자람세가 달라지는데 이는 대목의 물관 수와 크기가 나무 세력에 영향을 미치기 때문이라고 보고되고 있다(Tombesi et al., 2011). 본 과제에서도 G.11의 왜화도는 M.9와 비슷한 수준이었고 G.202와 G.935는 M.26과 비슷한 수준인 점이 대목의 물관구조와 상관있는 것으로 보여 졌다.

결론적으로 공시대목은 적어도 기존의 M.9와 M.26과 비슷하거나 더 우수하여 문어떼기에 의한 대목증식에는 문제가 없었고 특히 내환경성에서 우수한 특성을 보인 유망대목 G.935는 대목증식이 쉬운 대목으로 평가되었다. 다만 G 및 CG계 대목은 M.9와 M.26에 비해 대목이 약간 굽게 자라는 특성이 있었다.

(2) 측지묘목 생산특성

접목을 하고 유리온실 내에서 약 6개월간 키워 측지묘목을 생산한 결과 대목에 따른 차이를 보여 M.26과 왜화도 또는 세력이 비슷한 것으로 알려진 G.202, G.935, CG.4814는 M.9와 비슷한 세력군으로 분류되는 G.11, G.214, CG.5087보다는 다소 크게 자랐다(Table 4). 묘목의 줄기

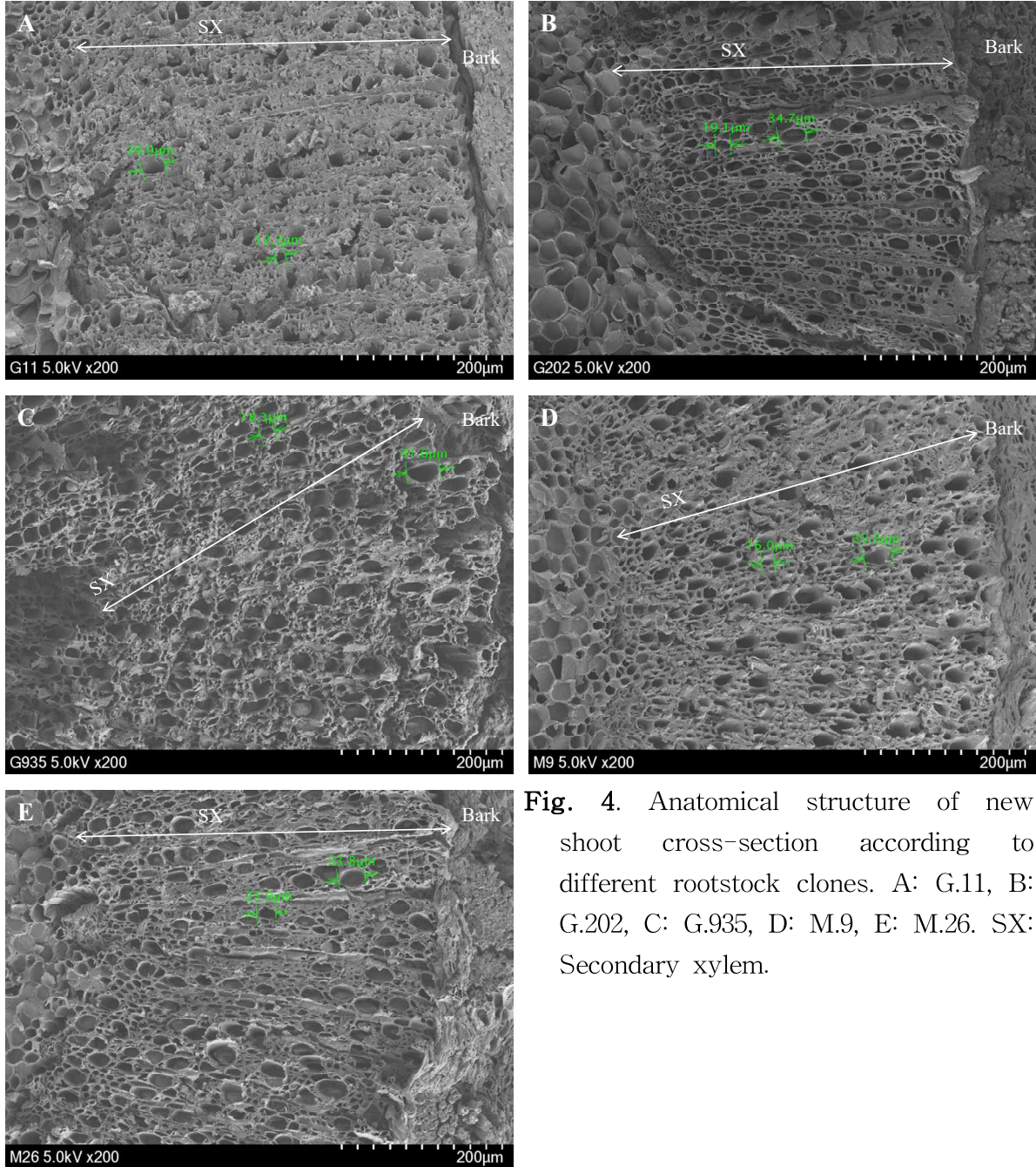


Fig. 4. Anatomical structure of new shoot cross-section according to different rootstock clones. A: G.11, B: G.202, C: G.935, D: M.9, E: M.26. SX: Secondary xylem.

단면적은도 수고와 비슷한 경향을 보여 G.202, G.935, CG.4814는 M.26과, G.11, G.214, CG.5087은 M.9와 비슷한 줄기 굵기를 보였다.

사과나무 묘목을 재식할 때는 뿌리가 잘 발달되고 측지가 많은 묘목을 심는 것이 초기 수형구성과 생산성에 유리하다. 측지묘를 재식하면 회초리 묘와 달리 재식 2년차에 착과가 가능하여 수세가 안정이 되고 수형구성에 유리하며 안정적으로 사과나무 관리가 가능하다. 이번에 온실 내에서 실시된 대목종류에 따른 측지묘 생산 시험에서는 모든 대목들이 약 20개 이상의 측지를 발생시켜 우수한 사과나무 묘목을 생산할 수 있었다(Fig. 5). 다만 측지길이에서는 나무세력간 약간의 차이는 나타났다. 1~20cm 길이의 측지방생 수는 대목간 유의성이 나타나지 않았으나 21~40cm 길이의 측지 수에서는 상대적으로 세력이 왕성하였던 G.202(7.2), G.935(8.0), CG.4814(6.4), M.26(6.2) 대목들이 M.9(3.8)세력으로 분류되는 G.11(5.0), G.214(5.8),

CG.5087(4.4) 보다는 많은 것으로 조사되었다. 측지길이가 40cm 이상이었던 수도 G.935, CG.4814와 M.26이 각각 4.2, 4.4, 4.2개로 각각 2.4, 2.0, 2.2개였던 G.11, G.214, M.9보다 많아 나무의 세력이 비례하여 측지의 자람도 왕성하였다. 결론적으로 G 및 CG 대목으로도 BA처리를 통해 우수한 소질의 측지묘목을 생산하는데 전혀 문제가 없는 것이 확인되었다.

Table. 4. Growth characteristics of 'Fuji' nursery apple trees grafted onto various rootstocks after 6 months grow.

Rootstock	Tree height (cm)	TCA ^z (mm ²)	Number of lateral shoot		
			1-20cm	21-40cm	40cm ≤
G.11	185c	43b	13.6a	5.0bc	2.4b
G.202	191bc	57ab	16.0a	7.2ab	3.0ab
G.214	187bc	49b	13.4a	5.8abc	2.0b
G.935	209a	67a	14.4a	8.0a	4.2a
CG.4814	198ab	58ab	14.0a	6.4abc	4.4a
CG.5087	180c	44b	15.4a	4.4bc	2.4b
M.26	202ab	69a	16.8a	6.2abc	4.2a
M.9	181c	47b	14.2a	3.8c	2.2b

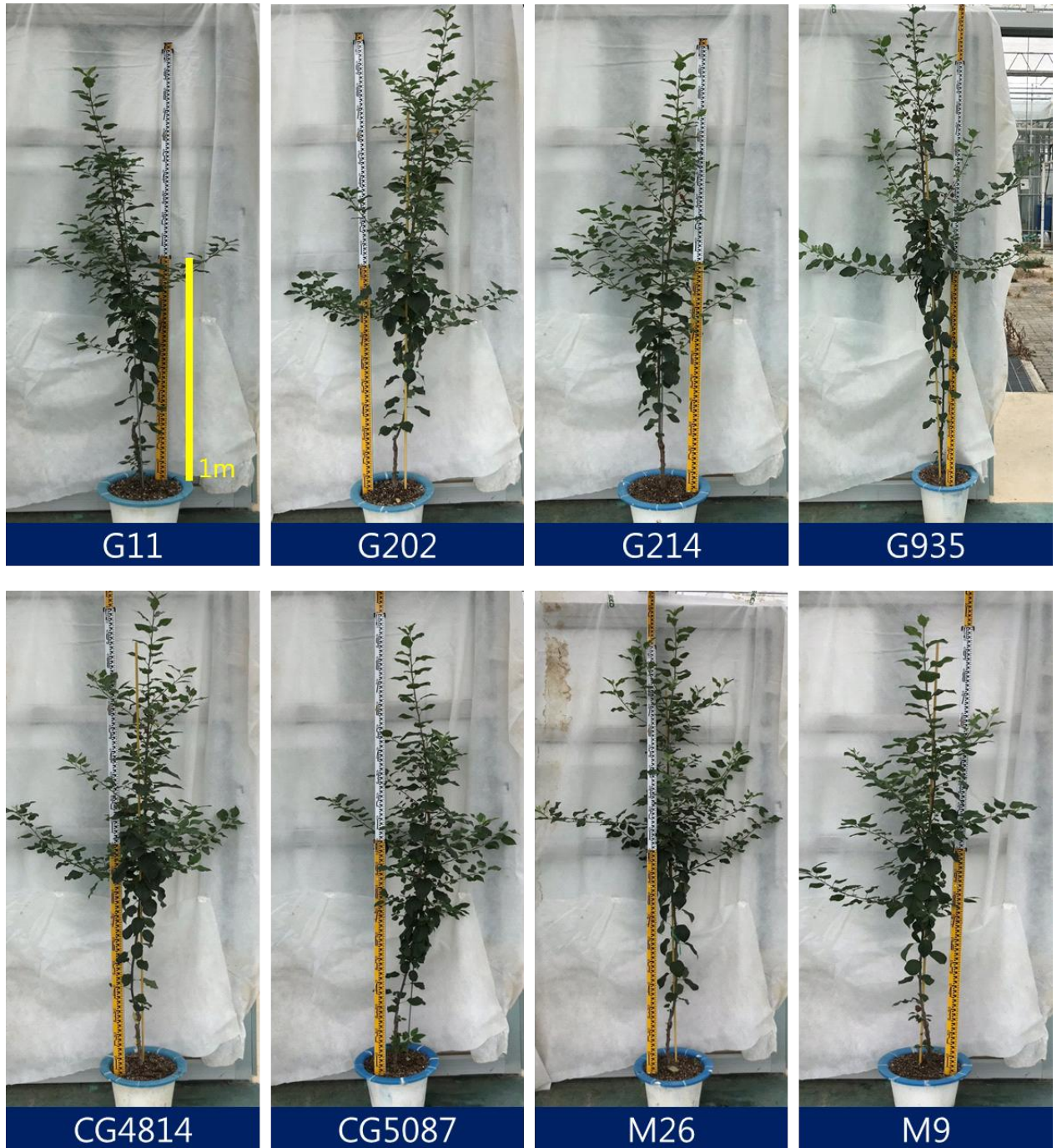


Fig. 5. Fuji nursery trees on different rootstocks

(3) 2축 묘목 생산특성

최근에 유럽을 중심으로 인기를 끌고 있는 2축형 수형은 키큰세장방추형에서 재식밀도가 높아지면서 수고가 높아짐에 따른 문제점을 해결하는 대안으로 등장하여 개원비는 경감되고 생산성과 품질은 키큰세장방추형과 같거나 우수하다는 것이 입증되면서 이탈리아는 물론 유럽에서 확대되고 있는 추세이다(Andergassen et al., 2018; Hahn, 2018). 수폭이 초방추형과 같이 좁아져 평면에 가까운 수관이 만들어지므로 전정, 적과, 적엽, 수확 등 사과원 관리의 기계화, 로봇화 하는데 유리한 측면이 있어서 더욱 기대를 모으고 있다(윤, 2019). 접목대목에서 출발하

여 2축 묘목을 생산하는 시험에서 재식 당년의 수고 성장량은 91cm(G.202)~112cm(M.9)였고 재식 2년차 성장량은 192cm(G.11)~231cm(G.935)에 달했다. M.26과 비슷한 왜화도를 갖고 있는 것으로 알려진 G.935, CG.4814대목의 생장이 왕성하였으나(Robinson and Hoying, 2004) G.11은 M.9와 비슷하였다.

접목묘 노지재식 후 주간단면적(TCA) 변화를 보면 재식 1년차 생육에서는 대목간 또는 재식거리 간에 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다(Fig. 7). 재식 1년차 각 대목들의 주간단면적(TCA)은 재식거리와 관계없이 40mm²(G.202)~68mm²(G.935)였다. 하지만 재식 2년차 생육결과에서는 대목 간에 세력차이가 명확하게 나타나 191mm²(G.11)~322mm²(G.935)로 왜화도가 상대적으로 낮은 G.935, CG.4814 대목이 G.11과 M.9보다 더 왕성하게 자랐음을 알 수가 있다(Fig. 7, Fig. 8).

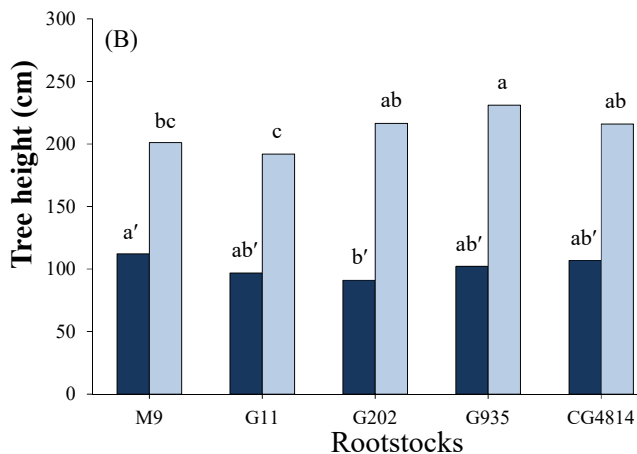


Fig. 6. Average tree height of the bi-axis apple trees grown over two years. Data bars with different letters are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test

현재 2축 묘목 생산방법은 회초리묘를 절단해서 2축으로 키우는 방법(van den Ende, 2016), 접수의 눈을 3개 두고 그 중 세력이 비슷한 2개의 눈을 받아 2축으로 키우는 방법(Tustin et al., 2015), 그리고 하나의 대목에 두 개의 접수를 접목하는 방법(Pernter, 2012)이 고안되어 왔다. 하지만 이러한 방법들은 시간이 늘어나고 비용이 증가하는 문제로 인해 널리 이용되고 있지 못하고 있는 상황이다. 본 시험에서는 기존에 널리 이용되는 묘목생산 방법과 동일하게 하나 또는 두개의 눈을 가진 접수를 깎기접목하고 뿌리가 활착되고 신초가 자라나면 신초하단부에 BA처리를 통하여 측지를 발생시키는 방법으로 2축묘 생산을 시도하였고 2년간의 생육조사 결과 만족할 만한 결과를 얻은 것으로 차제 평가하고 있다. M.9를 기준으로 G.202, G.935, CG.4814 대목은 왕성한 생육을 보였고 G.11은 M.9와 비슷하거나 다소 약한 자람을 나타냈다.

따라서 M.9보다 상대적으로 연작장애와 동해에 강하다고 평가받고 있는 G.202, G.935, CG.4814와 같은 대목은 세장방추형의 고밀식 과원보다는 오히려 2축(주간거리, 1.2m~1.5m) 또는 다축(주간거리, 2m~3m)수형에서 활용성이 높아 질 것으로 기대되고 있다.

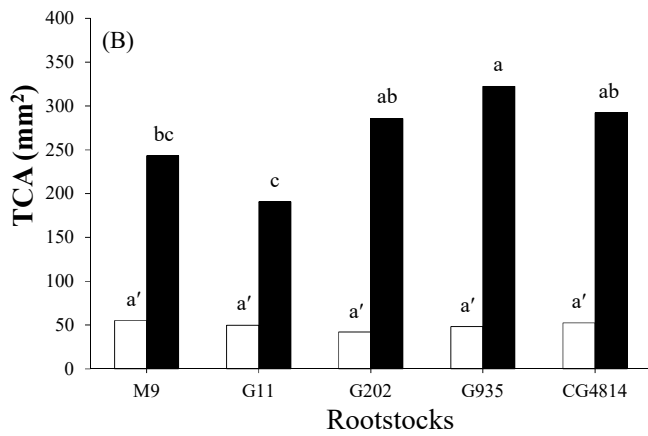


Fig. 7. Average stem TCA(trunk cross sectional area) of the bi-axis apple trees grown over two years. Data bars with different letters are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

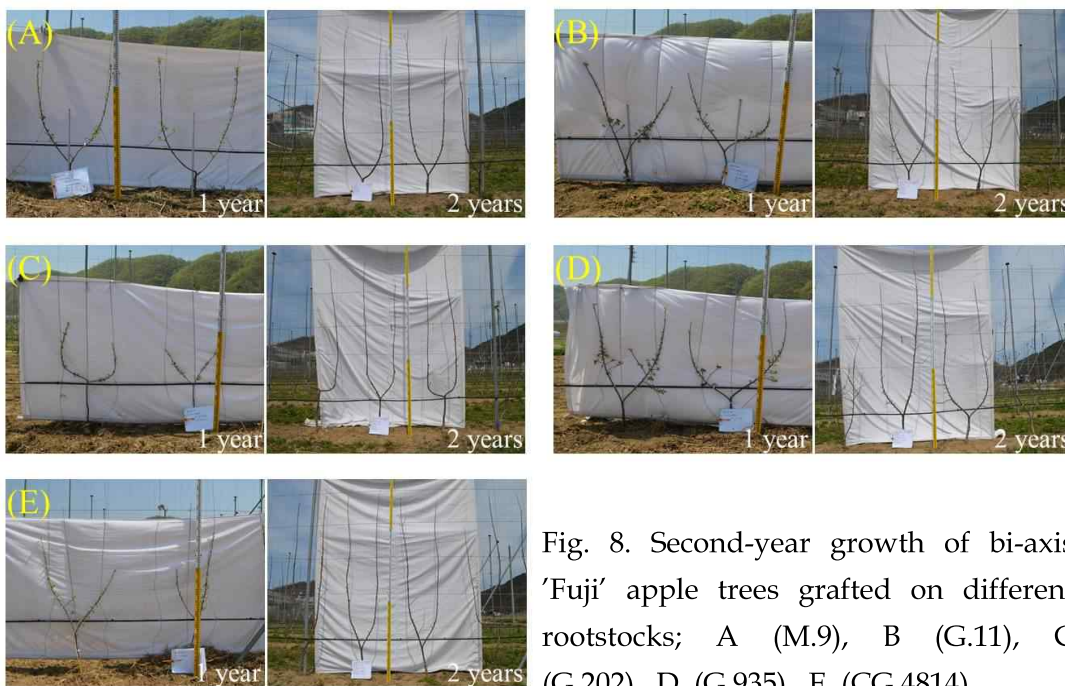


Fig. 8. Second-year growth of bi-axis 'Fuji' apple trees grafted on different rootstocks; A (M.9), B (G.11), C (G.202), D (G.935), E (CG.4814).

2-2. G 계통 대목의 내환경성 검정 및 내병충성 검정 시험

2-2-1. 내건성

가. 서론

과일나무의 성장단계에 따른 적절한 수분공급은 좋은 품질의 과실을 얻기 위해 매우 중요하다. 특히 성장 초기단계의 수분스트레스는 신초와 과일 세포분열에 영향을 미치므로 성장초기에 과일나무에 적절한 관수가 이루어지지 못하면 생산성은 물론이고 성장에 부정적인 영향을 미친다(Cui et al., 2009; Girona et al., 2010; Beyá-Marshall et al., 2018). 우리나라에서 빈번하게 발생하는 봄철 가뭄은 사과나무의 초기 성장에 영향을 미칠 뿐만 아니라 생산성은 물론 품질에도 영향을 미친다. 따라서 가뭄에 강한 사과나무 대목을 선택하는 것은 관개수가 부족하거나 강수량이 적은 지역에서도 이점을 발휘할 수 있을 것이다(Li et al., 2002).

식물은 수분이 부족한 상태에서도 여러 방식으로 토양수분 부족에 적응을 한다. 잘 발달되고, 수직으로 깊게 뻗은 근권부는 식물이 가뭄을 견딜 수 있게 하는 효과적인 적응 방법이다(Comas et al., 2013). 사과나무는 비교적 가뭄에 잘 견디지만 엽수분포텐셜이 -2.0MPa 이하로 떨어지면 기공이 닫힌다(Atkinson et al., 2000). 기공이 닫히면 증산에 따른 식물체내 수분손실은 방지할 수 있지만 광합성이 떨어져 엽, 가지 및 뿌리의 건물량이 줄어들게 된다(Fernandez et al., 1997; Šircelj et al., 2007).

그 기작이 완전하게 알려지지 않았지만 사과나무 대목의 내건성은 접수(품종)의 성장에도 영향을 미친다(Bauerle et al., 2011; Serra et al., 2014). 대목의 내건성은 대목 세력에 따라 달라 나타나는데(Corso and Bonghi, 2014) 세력이 강한 대목은 뿌리쪽으로 동화물질의 분배를 증가시키고 근권부의 표면적을 증가시켜 토양수분 흡수 능력을 증가시킨다(Bauerle et al., 2011).

본 연구는 코넬대학으로부터 분양 받은 일부 유망 대목과 기존의 M.26, M.9 대목을 이용하여 수분스트레스에 대한 사과나무 대목의 성장과 생리적 현상을 평가하여 내건성을 갖춘 대목을 선발하고자 실시하였다.

나. 재료 및 방법

[1차년도]

(1) 공시재료

본 연구는 경북대학교 부속농장 비 가림 시설 내에서 실시되었다(Fig. 1). 공시재료는 2009년 미국 Cornell대학에서 분양받은 G.11(M.26×Robusta5), G.16(Ottawa5×Malus floribunda), G.202(M.27×Rubusta5), G.214(Ottawa3×Rubusta5), G.935(Ottawa3×Rubusta5), CG.4814(Ottawa 3×Robusta5), CG.5087(Ottawa3×Robusta5) 등 7종류 G 및 CG대목을 경북대 부속농장 대목포장에서 묻어떼기 방법으로 증식한 1년생 대목을 사용하였다. 비교 대목으로 B.9(M.8×Red Standard), M.9(Jaude de Metz), M.26(M.16×M.9)대목은 중앙과수묘목센터의 협조를 받아 시험에 활용하였다. 2015년 3월 하순에 9L 용기의 바닥에 약간의 자갈을 깔고 모래:상토:퇴비(부속 톱밥70%, 식물성유박25%, 계분5%)를 5:3:2(v/v)비율로 조제한 상토를 채우고 1주씩 이식하였다. 재식 용기는 태양의 직사광선으로부터 근권부의 지나친 온도 상승을 차단하기 위해 용기

외벽에 흰색 페인트를 도포하였다.



Fig. 1. During the experimental period, pots were managed in a rain shelter facility.

(2) 처리내용 및 방법

대목을 용기에 재식하고 부직포를 노지에 피복한 후 5월말까지 관리를 하다가 5월말에 폭 5m × 측고 1.4m × 높이 2.5m 비가림 시설 하우스를 설치하고 그 내부에서 시험 종료까지 관리를 하였다. 시험 시작일인 6월 28일부터 자동 점적관수 장치를 이용해 수분관리를 달리하여 한발처리구는 하루 100mL씩 관수처리 하였다. 대조구는 하루 1,000mL씩 시험종료까지 충분하게 관수를 하였다. 7월 26일부터, 한발처리구는 8월 21일까지 대조구와 같은 방법으로 수분관리를 하여 회복시험을 실시하였다. 시험구 배치는 처리당 1주를 1반복으로 3반복하여 완전임의 배치를 하였고 초기생육을 돕기 위해 5월 중순에 복합비료 30g(N:P:K = 21:17:17)를 추비하였으며 병해충 방제는 경북대학교 부속농장 사과원 관리지침에 따라 연 9회 방제체계를 적용하였다.

(3) 조사항목 및 방법

처리기간동안 엽 수분 상태는 pressure chamber(Model 3005, soil moisture equipment, USA)를 이용해 엽 수분상태가 가장 낮은 12~14사이에 반복당 2엽씩 측정하고 평균값을 취하였다. 토양수분 측정은 자동 데이터 기록이 가능한 텐시오미터를 자체 제작하여 이용했으며 자동 온·습도 기록 측정기기(EL-USB-2-LCD, UK)는 비가림 시설 내에 지상부 약 1.3M 높이에 설치했다. 신초자람은 반복 당 최상부 측지 3개를 6월 9일부터 8월 21일까지 1주일 간격으로 측정하여 자람을 관찰했고, 줄기직경은 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo, Japan)를 이용해 지표면 위쪽 약 5cm지점을 정하여 동서남북 방향으로 2회 측정하여 평균값으로 줄기단면적(TCA: trunk cross-sectional area)을 구하였다. 엽면적은 8월 20일 휴대용 엽면적계(Model LI-3000A, USA)를 이용해 반복 당 20엽을 측정하였다. 낙엽율은 처리기간 동안 약 1주일 간격으로 조사하여 총 엽수에 대한 백분율(%)로 나타내었다. 기공컨덕턴스, 증산량, 광합성량은 휴대용 광합성 측정장치(LCI Portable Photosynthesis System, ADC, UK)를 이용해 6월 23일부터 8월 21일까지 12시~16시 사이에 반복당 2개의 성엽을 택하여 측정하였다. 엽록소 측정은 7월 11일부터 SPAD-502meter(Konica-Minolta, Japan)를 이용해 반복당 30엽씩 1주일 간격으로 시험기간 동안 측정을 하였다. 시험이 끝난 8월 23일에 처리당 3주를 골취해서 뿌리, 가지, 잎을 분리하여 깨끗이 수세한 다음 뿌리와 가지는 80°C에서 72시간 건조를 하였고, 잎은 72°C에서 72시간 동안 건조하여 건물중을 측정하였다.

통계처리는 SAS(SAS Institute, Inc., USA)프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정법(유의수준 5%)으로 처리평균 간에 유의성을 검증하였다.

[2차년도]

(1) 공시재료

2년차 내건성 시험은 2017년 경북대학교 군위부속실습장(36°06'48.3"N, 128°38'35.8"E)내 유리온실 내에서 수행되었다(Fig. 2). 유리온실 내 대기 환경은 기온이 30°C가 넘으면 자동으로 환기가 되도록 설정되었다. 공시대목은 미국 Cornell대학에서 분양 받은 6개의 G 및 CG.계통 대목과 기존 M.26과 M.9 대목을 사용하였다.

이랑묻어떼기 방법으로 증식한 1년생 대목(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9)에 '후지' 품종을 접목하고 3월5일 접목한 묘목을 17L 용기에 모래:상토:퇴비(부숙톱밥70%, 식물성유박25%, 계분5%)를 5:3:2(v/v)비율로 조제한 배합토를 채우고 1주씩 재식 하였다. 재식전 대목의 뿌리 다듬기를 실시하여 대목 간 뿌리건물중 차이를 최소화 하였다. 재식 2달 후 토양수분 유지와 근권부의 과다한 기온상승을 막기 위하여 검은색 부직포로 용기 전면 을 피복하였다.



Fig. 2. Water stress experimental was conducted in 2017 in a greenhouse equipped with automatic ventilation.

(2) 처리내용 및 방법

수분공급은 압력보상 노즐을 이용한 점적관수 방법으로 생육시기와 날씨에 따라 하루 한 차례 또는 두 차례에 걸쳐 1.0~1.5L를 관수하였고 재식 후 111일째인 6월 23일 이후부터는 수분 관리를 달리하였다. 한발처리구는 6월 24일부터 토양수분이 -695hPa까지 하락한 7월 5일까지 수분공급을 완전히 중단하였고 뒤이어 1주일간 대조구와 동일하게 재관수를 실시하였다. 2차 한발처리는 7월 12일부터 7월 28일까지 17일간 관수를 중단한 후 7월 29일부터 8월 8일까지 대조구와 동일하게 관수하였다. 대조구는 처리기간 동안 하루 2L씩 충분한 관수가 적용되었다. 시험구 배치는 1주를 1반복으로 하여 5반복 난괴법으로 배치하였으며 시비는 5월 상순 요소 0.3% 엽면시비와 5월 중순 용기 당 약 20g정도의 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 시용하였다.

(3) 조사항목 및 방법

토양 내 수분함량 변화는 자체제작 자동 데이터기록이 가능한 텐시오미터를 이용하여 측정

하였다(Thalheimer, 2013). 엽수분상태는 처리 전(6월 23일), 침수처리 종료시점(7월 28일), 회복 종료시점(8월 8일) 3회에 걸쳐 Pressure chamber(Model: 3005, Soil Moisture Equipment Co. USA)를 이용하여 측정하였다. 새벽 엽수분포텐셜은 새벽 4~6시 사이에 반복당 1~2엽씩 측정하여 평균값을 취하였고 한낮 엽수분포텐셜은 엽수분상태가 가장 낮은 12~14시 사이에 같은 방법으로 측정하였다. 증발산량은 전자저울(SVI-50C, Acculab, Edgewood, USA)을 이용하여 7월 5일부터 7월 11일까지 7일간 측정하였다. 측정은 모든 용기를 대상으로 새벽 5시, 저녁 8시 하루 2회 실시하였고 중량의 차이를 하루 증발산량으로 추산하였다.

식물의 광합성 특성은 휴대용 광합성 측정기기(LCI Portable Photosynthesis System, ADC, UK)를 이용하여 시험기간 동안 약 1주일 간격으로 11~15시 사이 성엽을 중심으로 반복당 1~2엽씩 측정하였다. 광합성 측정 시에는 할로겐 조명을 사용하여 Photosynthetically active radiation(PAR)값을 $1500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 고정시켰다. 수분이용효율(WUE, Water-use efficiency)은 광합성 속도(Pn)/증산량(E)로 구하였다.

수고는 처리 시작일부터 종료일까지 지면을 기점으로 측정하여 일주일 간격으로 변화를 기록하였다. 접수직경은 접목부 5cm위쪽 지점을 격자방향으로 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo, Japan)를 이용해 2회 측정하여 평균값을 취한 다음 줄기단면적(TCA: trunk cross-sectional area)을 구하였다. 한발처리를 마치고 8월 9일 시험에 사용된 묘목은 가지, 엽, 잔 뿌리(<2mm, 직경), 굵은 뿌리(>2mm, 직경)로 분리한 다음 72°C에서 72시간 동안 건조하여 각각의 건물중을 구하였다. 엽면적은 건물중 측정 전 모든 잎을 측정(LI-3000, Li-Cor, Inc., Lincoln, USA)하여 구하였다.

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

다. 결과

[1차년도]

(1) 토양 및 엽수분포텐셜

비가림 시설 내 기온은 날씨에 따라 온도 변동 폭이 컸으며 7월말부터 8월 상순 사이 폭염으로 인해 13일간의 시설 내 최고기온은 40°C를 넘는 상태였다. 3월말 대목을 용기에 재식 후 주기적인 관수를 통해 적정 토양수분을 유지했고 시험기간 동안 대조구 토양수분포텐셜은 -27kPa~-47kPa수준을 유지했으며(Fig. 3), 한발처리시작 11일 후 측정값이 -69kPa 넘어서면 서부터 텐시오미터 측정 범위를 넘어섰다. 그러나 처리종료 후 관수를 재개함에 따라 7월 26일부터 회복처리 기간에는 -30kPa~-43kPa 수준을 유지했다.

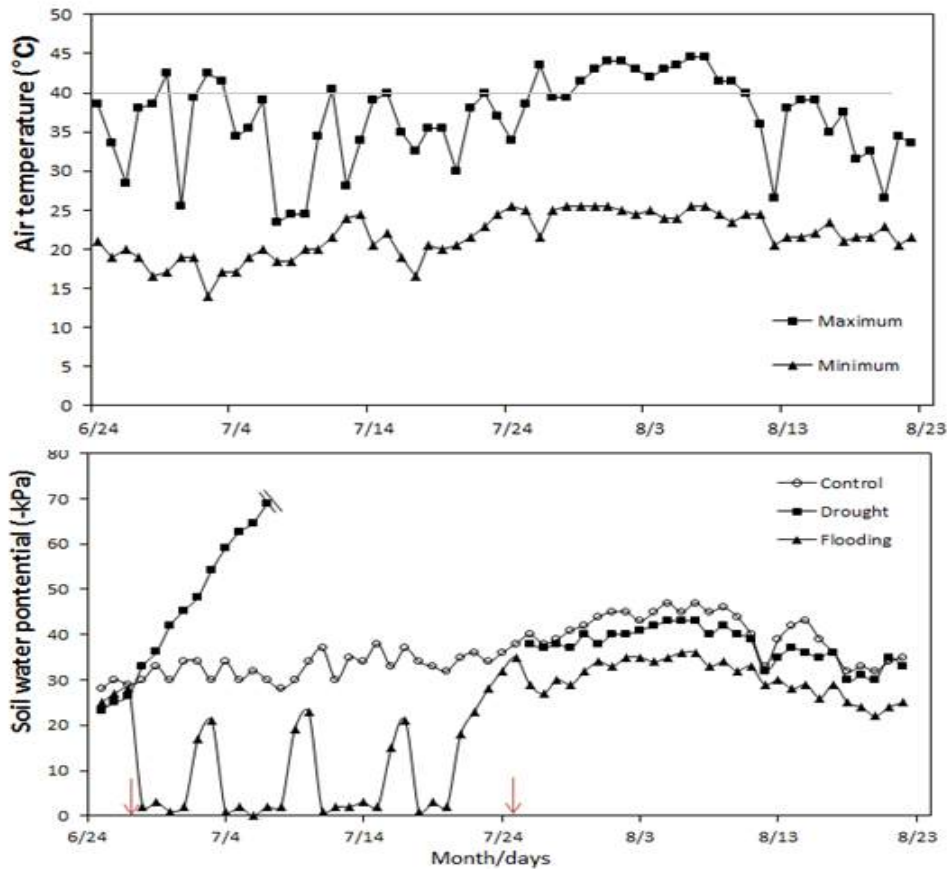


Fig. 3. Change in daily maximum and minimum temperature and soil water potential in three treatments during the experimental period. Arrows indicate start and end of the treatment.

처리 13일 후 한낮 엽수분포텐셜은 대조구에서는 M.26, CG.4814가(Fig. 4) 한밭처리구에서는 M.26, CG.4814, G.214가 상대적으로 낮은 엽수분포텐셜을 기록했다. 처리 21일 후 한낮 엽수분포텐셜은 한밭처리구가 대조구 보다 약 2배 낮은 $-2.10\text{MPa} \sim -2.85\text{MPa}$ 수준으로 측정되어, 비교적 낮은 한낮기온(30°C) 임에도 불구하고 낮은 엽수분포텐셜을 기록했고 상대적으로 세력이 왕성한 G.202가 대조구, 한밭처리구에서 가장 낮은 엽수분포텐셜을 보였다. 처리종료 6일 후에는 한밭처리구에서 G.16, G.202, B.9가 각각 $-1.92, -1.98, -2.0\text{MPa}$ 로 상대적으로 낮은 엽수분포텐셜을 보였다.

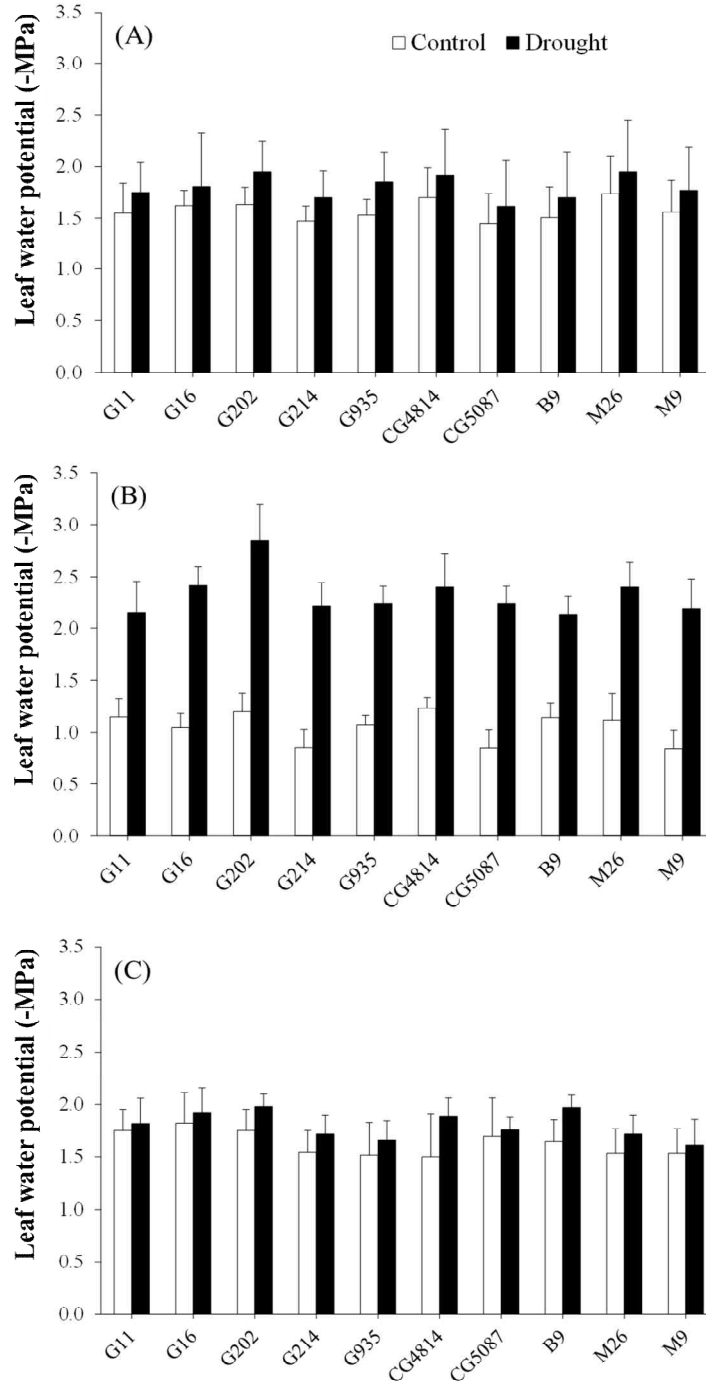


Fig. 4. Change in midday leaf water potential according to different water regimes; after 13 days of treatment(A), after 21 days of treatment(B), and 6 days after the end of stress treatment. Vertical bars represent SE of means.

(2) 뿌리, 가지 건물중

한 달 간의 스트레스 기간과 회복기간 동안 한발처리구의 뿌리 건물중은 대목 간 현저한 차이를 보였다(Table 1). 준왜성대목으로 알려진 M.26이(Table 1) 대조구, 한발처리구에서 가장 낮은 수준의 뿌리 건물중을 보였다. 한발처리구에서 대조구 대비 가장 많은 뿌리 건물중을 보인 대목은 M.9 대목보다 세력이 조금 더 강한 것으로 알려진 G.16과 G.935였다. G.16은 한발

처리구에서 대조구 대비 112%의 뿌리건물중을 보여 뿌리발달에는 영향을 받지 않는 것으로 보이나 지상부 건물중은 대조구 대비 38%의 생장을 보여 대비를 이루었다. 가지 건물중은 대조구에서는 G.202, CG.4814가 왕성한 생장을 보였고 한발처리구에서는 대조구 대비 M.9, G.11, CG.5087 순이었다. 처리시작 시점인 6월 28일에서 처리 종료일인 8월 21일까지의 TCA 증가량을 조사한 결과(Table 1) 대조구에서 뿌리건물중이 가장 많았던 CG.4814, G.202가 이 기간 동안 주간단면적 증가폭도 가장 컸으며 반면 B.9는 TCA 증가폭이 가장 낮았다. 한발처리구에서는 대조구 대비 B.9, G.11의 증가폭이 가장 컸고 CG.4814의 증가폭이 가장 작았다.

Table. 1. Root dry weight, Shoot dry weight, and Trunk cross-sectional area(TCA) per plant after five months growth.

Rootstock	Root dry weight (g)		Shoot dry weight (g)		TCA increase (mm ²)	
	Control	Drought	Control	Drought	Control	Drought
G.11	13.7c ^z	13.2abc(96) ^y	21.9cde	12.4b(57)	40.8de	36.8a(90)
G.16	17.2bc	19.2a(112)	35.4b	13.6b(38)	39.9de	32.5a(82)
G.202	24.6a	9.6bc(39)	63.3a	19.2a(30)	65.2ab	46.3a(71)
G.214	18.8abc	10.6bc(56)	26.3b-e	7.6c(29)	52.4bcd	30.0a(57)
G.935	13.2c	15.5ab(117)	19.0de	10.4bc(55)	49.7cd	30.7a(62)
CG.4814	22.4ab	16.6ab(74)	37.5b	13.2b(35)	72.3a	34.5a(48)
CG.5087	14.1c	13.6abc(97)	16.4e	9.8bc(60)	53.9bcd	31.5a(58)
B.9	13.7c	11.7abc(85)	28.0bcd	12.8b(46)	32.7e	33.8a(103)
M.26	13.3c	6.6c(50)	31.1bc	11.5bc(37)	59.2abc	43.6a(74)
M.9	16.9bc	9.8bc(58)	22.2cde	12.5b(56)	47.8cd	36.9a(77)

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y():Percentage compared with Control.

처리기간부터 회복기간 종료시점까지 신초생장을 보면 대조구에서는 G.16, G.202, CG.4814 순으로 생장이 좋았고 한발처리구에서는 대조구 대비 G.11, G.935, M.9 순으로 처리기간 동안 신초의 자람이 많은 반면 G.16, G.214가 신초생장이 가장 적었다. 엽건물중은 엽수와 가지 건물중에 따라 비례하는 경향이 있었는데 대조구에서는 CG.4814, G.16이 엽건물중이 높았고 G.935, CG.5087은 엽건물중이 낮았다(Table 2). 한발처리구에서는 대조구 대비 CG.5087, G.935가 타 대목에 비해 엽건물중 생산비율이 높았는데 이는 각각의 대목이 대조구 대비 엽수가 각각 11%, 36% 높았고 측지 발생수도 1.0개, 1.3개가 많았기 때문이었다. 반면 G.202, CG.4814는 한발처리구에서는 증가율이 상대적으로 가장 낮게 나타났는데 마찬가지로 대조구 대비 엽수(각각 58%, 64%수준)가 적었기 때문인 것으로 보인다. 엽면적은 모든 처리구에서 엽건물중과 동일한 패턴을 보였는데 대조구에서는 CG.4814, G.16에서 엽면적이 컸고 타 대목에 비해 엽수가 적고 낙엽율이 높은 G.214, G.935, CG.5087이 낮은 엽면적을 보였다. 한발처리구에서는 G.935, CG.5087이 대조구 대비 높은 엽면적을 보였다.

Table 2. Total shoot number, total shoot growth, leaf dry weight, and leaf area per plant after five months growth.

Rootstock	Total shoot number		Total shoot growth (cm)		Leaf dry weight (g)		Leaf area (cm ²)	
	Control	Drought	Control	Drought	Control	Drought	Control	Drought
G.11	6.0a ^z	7.7a	149cd	144bc(97) ^y	33.9cd	22.1c-f(65)	3984cd	2499bc(63)
G.16	7.3a	5.7abc	328ab	174abc(53)	58.9ab	27.6abc(47)	6510ab	3737a(57)
G.202	7.3a	8.3a	373a	220a(59)	54.8b	28.5ab(52)	6402ab	3835a(60)
G.214	6.0a	6.7ab	206cd	109bc(53)	27.6cde	14.7f(53)	3397cd	2019c(59)
G.935	5.0a	6.3abc	142cd	126bc(89)	21.7de	18.7def(86)	2425d	2306bc(95)
CG.4814	6.3a	6.7ab	242bc	147bc(61)	72.6a	31.3a(43)	8269a	3943a(48)
CG.5087	3.7a	4.7bc	113d	95c(84)	19.6e	17.3ef(88)	2320d	2240bc(97)
B.9	5.0a	3.7c	217cd	146bc(67)	34.8cd	19.9c-f(57)	4177bcd	2472bc(59)
M.26	7.0a	4.7bc	225bcd	131bc(58)	38.3c	23.0b-e(60)	4810bc	2760bc(57)
M.9	5.7a	6.3abc	209cd	181ab(87)	36.6c	26.1abc(71)	4758bc	2911b(62)

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y():Percentage compared with Control.

(3) 광합성과 관련 parameter

시험 처리시작 전 6월 23일 광합성 측정 결과를 보면 처리구에 관계없이 대목 간 또는 대목과 처리구 간에는 유의성이 없었다(Fig. 5). 처리시작 다음날인 6월 30일 대조구 기공 컨덕턴스는 $0.66\sim 0.80\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위였고 한발처리구에서는 $0.51\sim 0.66\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위였다. 스트레스 처리 1주일 후 대조구 기공컨덕턴스는 $0.51\sim 0.83\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광합성 속도는 $13.4\sim 16.9\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었으나 한발처리구는 기공컨덕턴스가 $0.07\sim 0.10\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광합성 속도는 $1.7\sim 3.6\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위로 스트레스로 인해 기공이 거의 닫히고 광합성 속도가 현저히 하락하였다. 한발스트레스 처리가 종료되고 대조구와 같은 방법으로 관수를 개시한지 약 15일이 지난 시점의 광합성 속도 $13.1\sim 15.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 거의 대조구 수준으로 회복되었다.

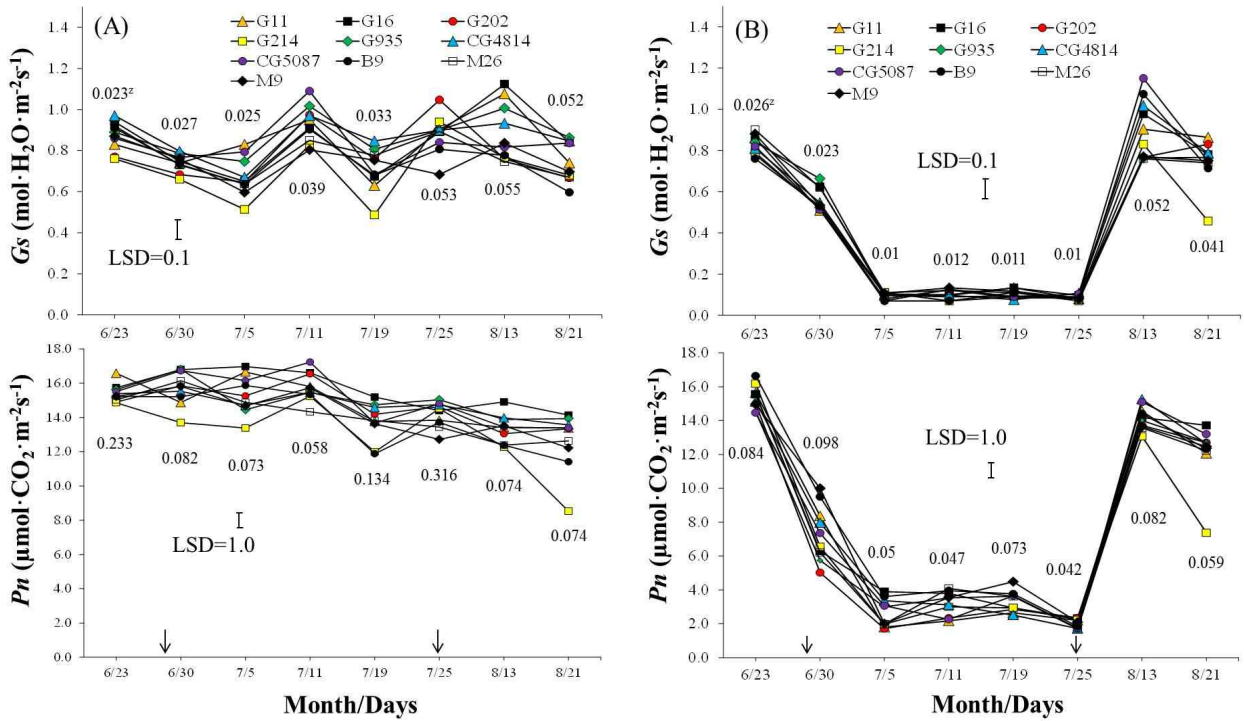


Fig. 5. Changes in photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) of various rootstocks during control treatment (A) and drought stress(B). Arrows indicate start and end of the treatment. ^zSignificant differences among means were determined by least significant difference (LSD) test $P=0.05$.

(4) SPAD

처리기간 동안 엽록소 함량과 상관성이 높은 SPAD값 변화를 보면 G.214, B.9는 처리구에 관계없이 시간이 지날수록 SPAD값 감소폭이 크게 나타났다(Fig. 6). 반면 CG.4814는 대조구와 한발처리구에서 상대적으로 높은 값을 기록해 엽색이 짙음을 알 수가 있다. 반면 대조구와 한 발처리구 간에 SPAD의 차이는 크게 차이가 없었다. 또한 G.214와 B.9대목을 제외하고는 처리기간 내내 엽록소 함량변화는 나타나지 않았다.

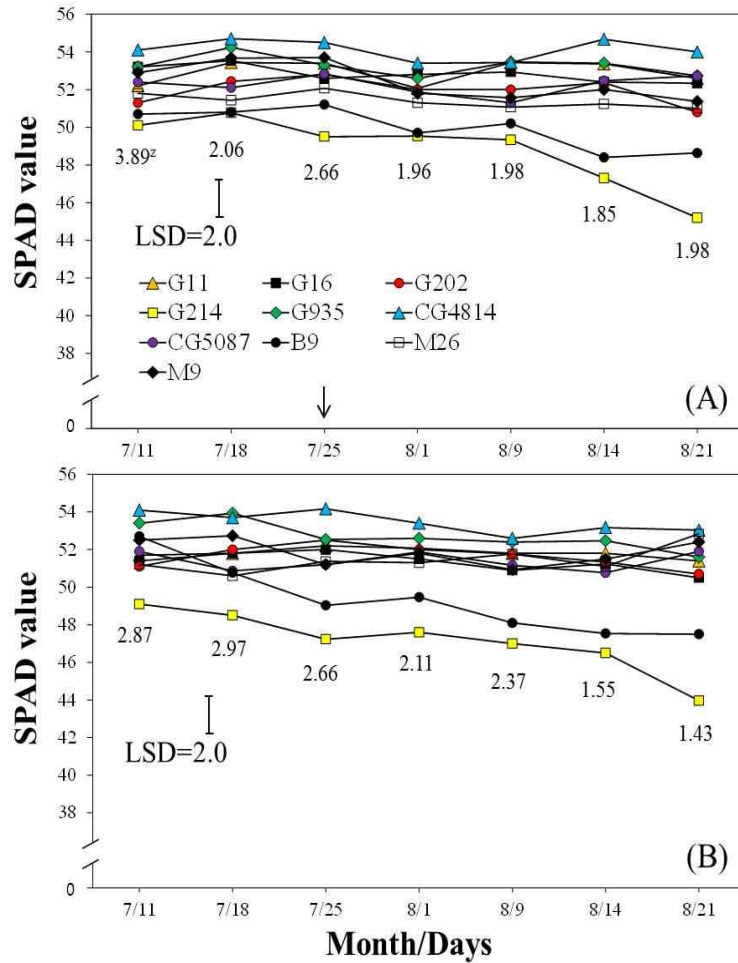


Fig. 6. Changes in SPAD value according to the time during control treatment (A) and drought stress (B). Arrows indicate the end of the treatment. ^zSignificant differences among means were determined by least significant difference (LSD) test $P=0.05$.

[2차년도]

(1) 토양수분포텐셜 및 증발산

한발처리 동안 대조구의 토양수분은 대체로 $-30 \sim -55\text{hPa}$ 로 유지되었다(Fig. 7). 한발처리구의 토양수분이 텐시오미터의 측정한계인 -700hPa 이하로 떨어지고 텐시오미터의 물이 빠져나와 물을 보충한 다음 7월 5일부터 1주일 간 재관수를 하였다. 그 후 7월 12일부터 7월 28일까지 관수중단을 통한 스트레스가 재개되었고 7월 29일부터 8월 8일까지는 다시 정상관수를 하여 토양수분을 $-30 \sim -47\text{hPa}$ 사이로 관리하였다.

대조구에서 증발산량은 날짜에 따라 다소 차이가 있었지만 대체로 G.202, G.935, M.26 나무에서 더 높았고 CG.4814 나무에서는 상대적으로 낮게 측정이 되었다(Fig. 8). 한발처리구의 경우 7월 5일, 6일, 8일에 타 대목(431~462g, 366~396g, 218~232g)보다 G.935(388, 351, 200g)의 증발산량이 낮았음에도 불구하고 1차 스트레스 이후 재관수 기간 동안 대목 간에 뚜렷한 차이는 없었다.

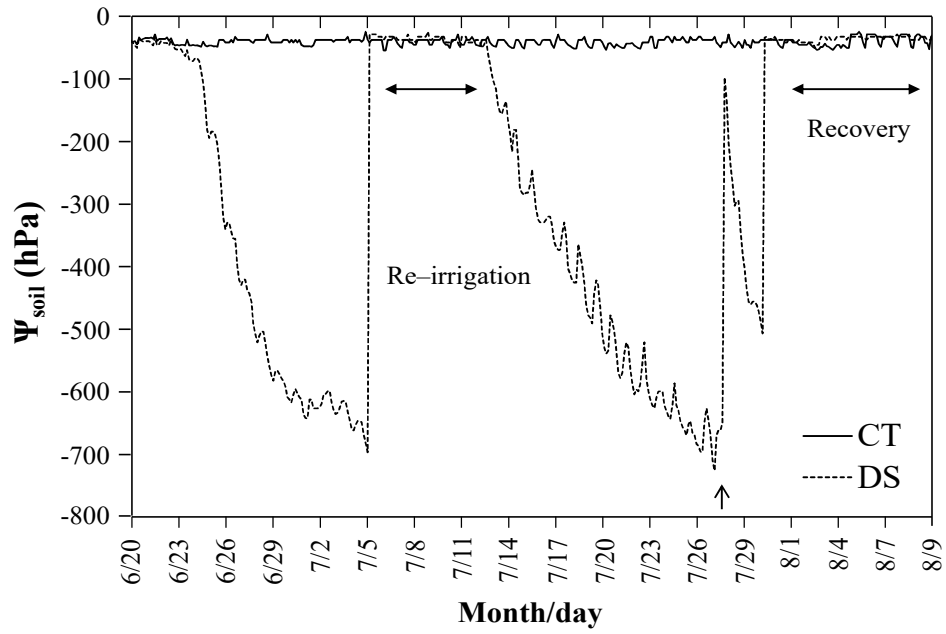


Fig. 7. Change in soil water potential (Ψ_{soil}) during control treatment (CT) and drought stress (DS). Arrow indicates the point of water replenishment when the water in the tensiometer tube was drained completely.

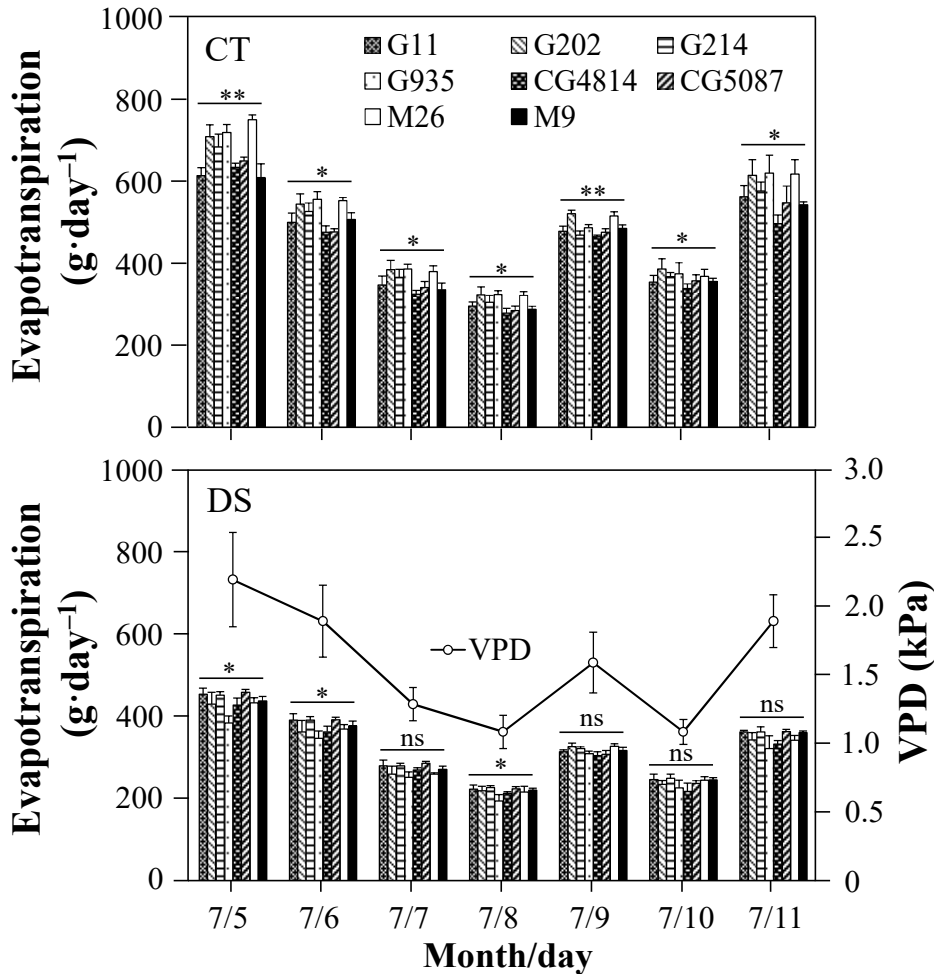


Fig. 8. Changes in evapotranspiration in ‘Fuji’ tree pot for 1 week during re-irrigation in the control treatment (CT) and drought stress (DS). Vapor pressure deficit (VPD) between 05:00 and 20:00 h on the day indicated. Vertical bars represent the mean \pm standard error. * and ** significant at $P < 0.05$ and 0.01 , respectively, ns: not significant.

(2) 엽수분포텐셜

수분스트레스 개시 전인 6월 23일 ‘후지’ 사과나무의 새벽 엽수분포텐셜은 대목 종류에 관계없이 모든 처리구에서 $-0.26 \sim -0.34\text{MPa}$ 였고 한낮 엽수분포텐셜은 $-1.25 \sim -1.55\text{MPa}$ 범위였다(Fig. 9). 7월 27일 대조구의 새벽 엽수분포텐셜은 $-3.0 \sim -4.0\text{MPa}$ 이었다. 한발처리구에서는 G.214의 경우 -2.95MPa 에서 M.26의 -3.90MPa 까지 모든 대목의 사과나무가 심각한 수분부족 상태에 놓였다. 대조구의 한낮 엽수분포텐셜은 $-1.35 \sim -1.75\text{MPa}$ 였으나 한발처리구에서는 G.214는 -3.08MPa , M.26은 -4.01MPa 까지 감소하였다. 11일 간의 회복종료 시점인 8월 8일 한발처리구의 새벽 엽수분포텐셜은 M.9의 경우 -0.55MPa , M.26의 경우 -0.80MPa 로 여전히 대조구의 $-0.31 \sim -0.38\text{MPa}$ 범위보다 낮았다. 대조구에서 한낮 엽수분포텐셜은 $-1.64 \sim -1.85\text{MPa}$ 였다. 한발처리구에서는 G.11은 -2.42MPa , M.26과 CG.4814의 경우 -3.01MPa 로 다소 회복세를 보였지만 여전히 정상처리구에 비해서는 현저히 낮았다.

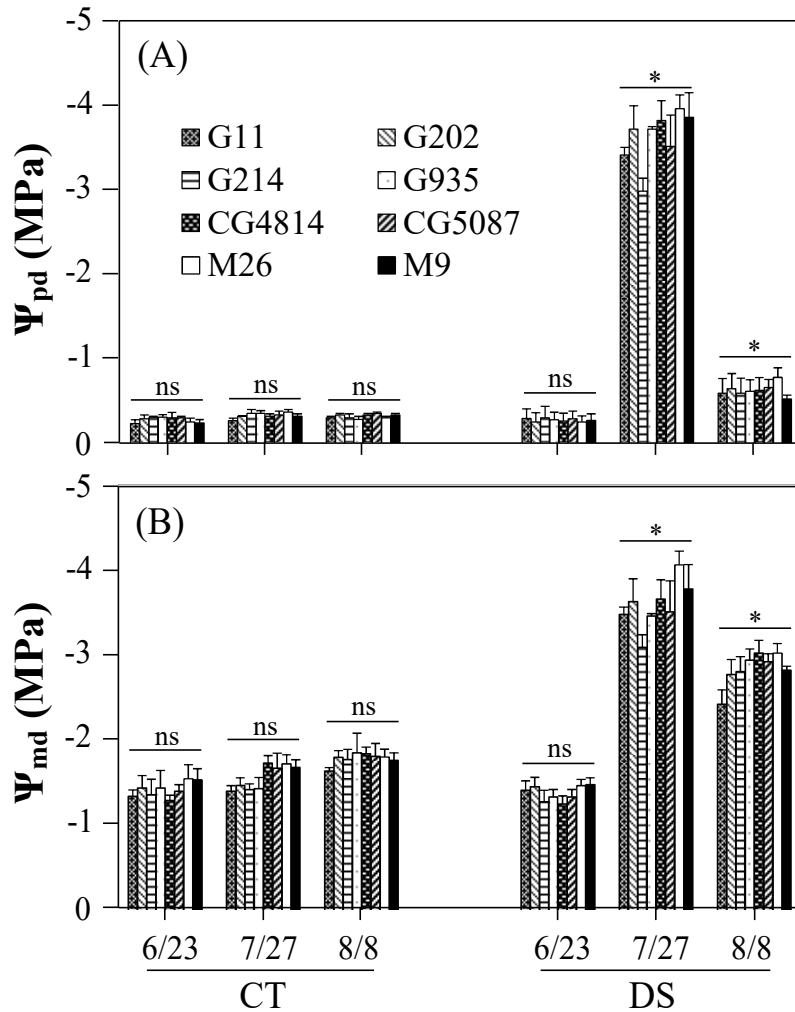


Fig. 9. Changes in predawn (A) and midday (B) leaf water potential of 'Fuji' 1-year-old apple trees grafted on various rootstocks during control treatment (CT) and drought stress (DS) on June 23 (before drought), July 27 (17th day after re-irrigation), and August 8 (11th day after the restart of irrigation in the same manner as CT). Vertical bars represent the mean \pm standard error. * significant at $P < 0.05$, ns: not significant.

(3) 광합성과 관련 parameter

수분스트레스 기간 동안 광합성 속도, 기공컨덕턴스, 증산은 모두 상호 간 비슷한 양상을 보였다. 대조구는 시험기간 동안 광합성율이 $9.0 \sim 14.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 범위였고 대목 간에는 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. 10). 수분 스트레스 시작 전인 6월 23일 한발처리구 나무의 광합성 속도는 $12.0 \sim 12.8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으나 관수중단 6일째인 6월 29일에는 G.11, M.9는 각각 5.1 , $5.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 였고 G.935와 M.26은 $3.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 하락하였다. 하지만 한발처리구 나무들은 재관수 2일째인 7월 6일 광합성이 대조구 수준으로 회복하였다. 스트레스가 극에 달했던 7월 27일 기공컨덕턴스는 $0.003 \sim 0.015 \text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 불과하였고 광합성율은 $1.0 \sim 2.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 매우 낮았다. 한발처리가 종료되고 충분한 관수가 재개된 지 11일째인 8월 8일 한발처리구 나무들의 광합성율은 G.11이 $5.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 가장 높았고 CG.5087은

3.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았지만 나무 간 차이는 크지 않았다. 수분이 제한된 환경 하에서 수 WUE(water-use efficiency)는 수분 스트레스가 증가함에 따라 개선되는 경향이 있었다(Fig. 10). 한발처리구 나무의 최대 WUE는 7월 27일에 M.9와 G.935는 3.8 $\mu\text{mol}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$, G.11과 G.202는 2.9 $\mu\text{mol}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 나타났다.

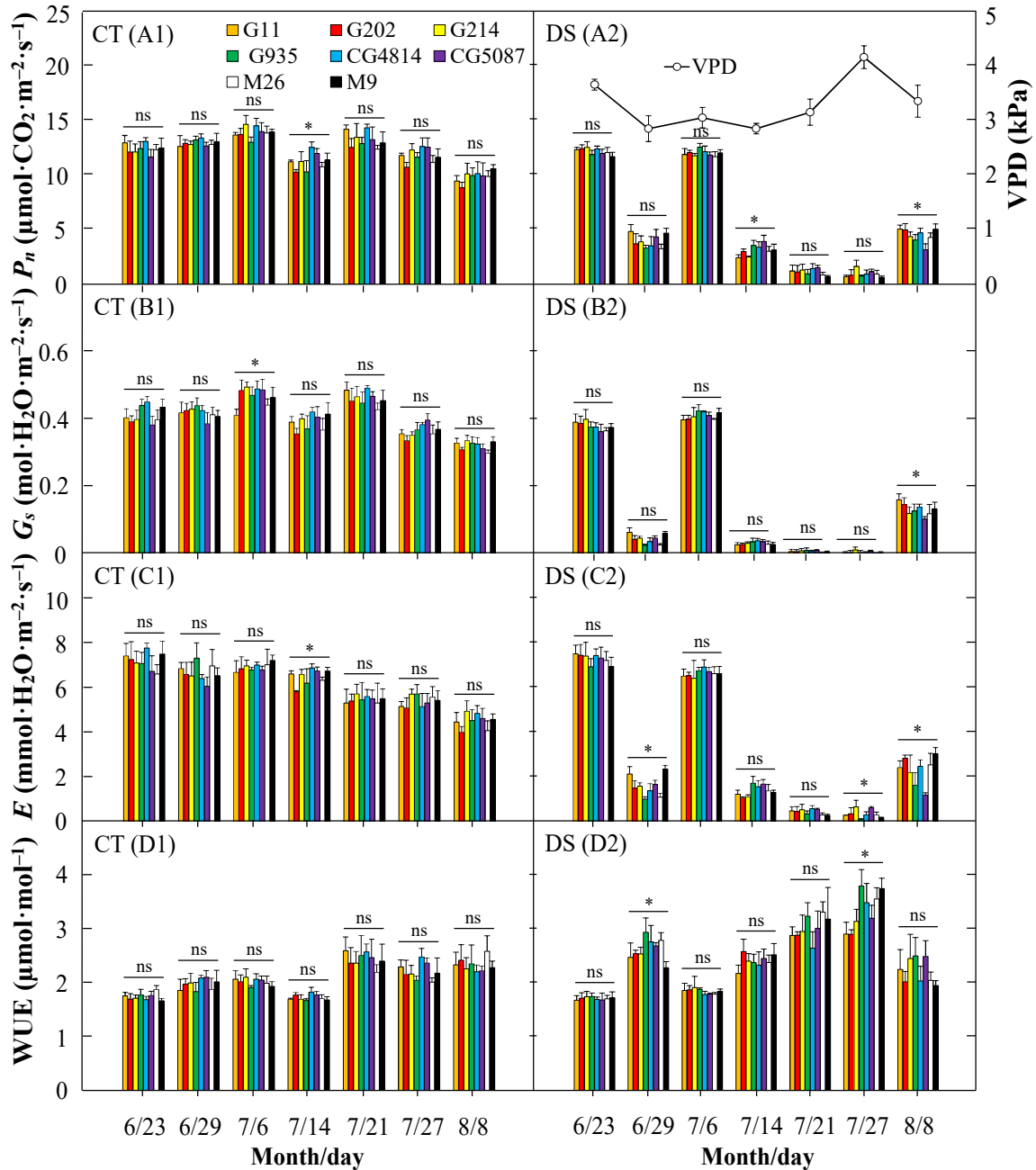


Fig. 10. Changes in photosynthetic rate (P_n) (A1, A2), stomatal conductance (G_s) (B1, B2), transpiration (E) (C1, C2), and water-use efficiency (WUE) (D1, D2) of 'Fuji' trees grafted on various rootstocks during control treatment (CT) and drought stress (DS). Vapor pressure deficit (VPD) between 11:00 and 15:00 h on the day indicated. Vertical bars represent the mean \pm standard error. * significant at $P < 0.05$, ns: not significant.

(4) 영양생장 및 건물중

토양수분 부족은 곧바로 나무의 수고생장에 영향을 미쳤다(Fig. 11). 관수중단 6일째인 6월 29일 M.26과 G.935는 대조구 대비 상대생장율이 각각 40.8%, 44.4%로 수고생장 감소폭이 가장 컸다. 한발처리구의 모든 나무들은 7월 5일 재관수가 이루어진 후 생장이 재개되었으나 7월 12일 관수가 재차 중단이 되면서 수고 생장은 다시 감소하였다. 한발처리구의 G.214는 7월 21일 상대생장율이 38.4%였으나 M.26은 18.9%였다. 수분스트레스가 극에 달했던 7월 27일에는 모든 나무들이 생장을 멈추었고 7월 29일부터 대조구와 같은 방식으로 관수를 개시한 후 한발처리구 나무들의 수고생장이 약간 회복되는 경향을 보였다.

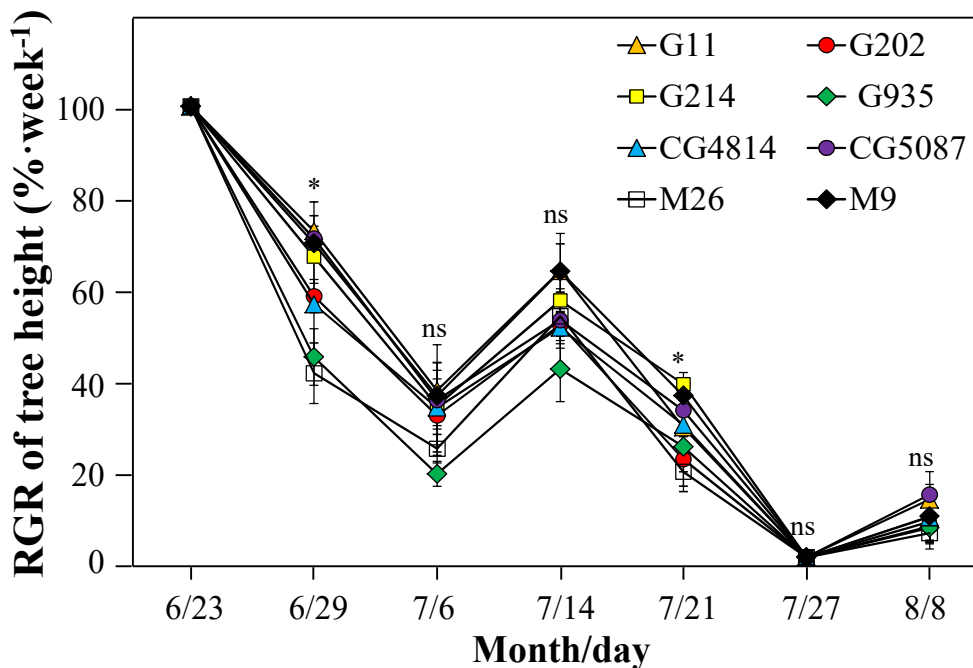


Fig. 11. Changes in the relative growth rate of tree height (RGR of tree height = weekly growth in drought stress / weekly growth in control treatment) of ‘Fuji’ trees subjected to drought stress. Vertical bars represent the mean \pm standard error. * significant at $P < 0.05$, ns: not significant.

45일간의 수분스트레스 처리기간 중 수고생장은 알려진 대목세력과 일치하지 않았다(Table 3). 대조구에서 G.935는 81cm가 자랐으나 준왜성대목으로 알려진 M.26은 73cm로 성장량이 가장 작았다. 한발처리구에서는 G.935의 수고생장은 18.6cm로 타 대목에 접목된 나무보다 성장 감소폭이 컸다. 대조구에서 G.202와 M.26은 가지건물중을 각각 44.5g, 43.5g을 생산하였으나 M.9는 31.7g이었다. 한발처리구에서는 가지건물중 감소범위는 45~49%로 대목 간 차이는 크지 않았다. 한발처리구 나무들의 엽건물중 감소율은 가지건물중 감소율과 비슷하였다. 엽면적은 G.202가 2497cm², M.26이 2528cm²로 가장 컸으며 CG.4814나무는 2186cm²으로 가장 작았다(Table 1).

Table 3. Amount of vertical growth from June 23 to August 8, 2017, and shoot dry

weight, leaf dry weight, and leaf area at the end of the experiment.

Rootstock	Amount of vertical							
	growth		Shoot dry weight		Leaf dry weight		Leaf area	
	(cm)		(g)		(g)		(cm ²)	
	CT ^z	DS	CT	DS	CT	DS	CT	DS
G11	75.6abc ^x	27.6ab (37) ^y	34.9bc	15.9bc (46)	37.1ab	17.3ab (47)	6353ab	2369ab (37)
G202	74.4abc	20.4abc (27)	44.5a	20.8a (47)	43.4a	18.4ab (42)	6982a	2497ab (36)
G214	80.2ab	28.8a (36)	37.5abc	16.9bc (45)	36.7ab	16.7bc (46)	6331ab	2304ab (36)
G935	81.0a	18.6c (23)	39.2abc	18.3ab (47)	40.2ab	17.8ab (44)	6627ab	2402ab (36)
CG4814	73.4bc	24.0abc (33)	33.0c	15.0c (45)	34.6b	14.9c (43)	6045b	2186b (36)
CG5087	76.8abc	27.0abc (35)	38.4abc	18.0ab (47)	36.3ab	17.2ab (47)	6241ab	2353ab (38)
M26	73.0c	18.7bc (26)	43.5ab	20.8a (48)	43.4a	19.3a (44)	6867a	2528a (37)
M9	75.2abc	27.2abc (36)	31.7c	15.5bc (49)	34.5b	16.4bc (48)	6038b	2324ab (38)
Significance								
Rootstock (A)	*		***		*		**	
Treatment (B)	***		***		***		***	
A × B	ns		ns		ns		ns	

^zCT (control treatment), DS (drought stress).

^y(): Percentage compared with CT.

^xMeans in a column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

*, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively, ns: not significant.

약 5개월의 시험기간 동안 굵은뿌리 건물중은 대조구와 한발처리구 모두 대목 간 차이가 나타났다(Table 4). G 또는 CG와 M계 간 굵은뿌리 발달 차이는 대목특성에 기인하는 것으로 보였다. 대조구에서 CG.4814는 2.07g이었지만 M.9는 0.19g에 불과 하였다. 이러한 경향은 한발처리구에서도 비슷한 양상을 보였는데 M.9는 0.15g였으나 CG.4814는 1.58g이었다. G.202와 M.26은 대조구에서 비교적 왕성하게 자랐고 가는뿌리 건물중은 각각 8.17g, 7.63g이었다. CG.5087 나무는 대조구와 비교해 가는뿌리 건물중이 58%로 나타났다. 한편 G.935가 가장 적은 감소량인 2%였고 G.214 나무도 14% 정도만 성장하여 비슷한 성장 감소를 보였다. 나무들 간 Root:Shoot을 차이는 대조구 보다는 한발처리구에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 대조구 나무들의 Root:Shoot 비율은 0.16~0.23 범위였으나 한발처리구에서는 G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814의 경우 0.30~0.38이었고 M.9, CG.5087와 M.26은 각각 0.27, 0.24와 0.23이었다. 처리기간 동안 대조구와 한발처리구의 TCA 증감은 가지 건물중 또는 엽건물중 변동폭과 유사한 경향이였다(Table 2). 대조구에서 M.26(31.2mm²), G.202(31.0mm²)의 TCA가 현저히 증가한 반면 G.935(23.2cm²), G.11(23.3mm²), CG.5087(23.2,mm²)은 상대적으로 증가폭이 적었다. 한발처리구에서 TCA 증가율은 46%(G.202)에서 52%(G.935) 범위로 대목 간에 차이는 뚜렷하지 않았다.

Table 4. Coarse (>2 mm diameter) and fine (<2 mm diameter) root dry matter, root:shoot

ratio (root/shoot biomass) at the end of the experiment, and increase in trunk cross-sectional area (TCA) of scion from June 23 to August 8, 2017.

Rootstock	Coarse root dry weight (g)		Fine root dry weight (g)		Root:shoot ratio		TCA (mm ²)	
	CT ^z	DS	CT	DS	CT	DS	CT	DS
	G11	0.83bc ^x	0.76b (92) ^y	5.58bc	4.02bc (72)	0.19ab	0.30abc	23.3b
G202	1.23ab	1.28ab (104)	8.17a	6.20a (76)	0.21ab	0.36ab	31.0a	15.5a (50)
G214	1.37ab	1.54a (112)	5.66bc	4.84abc (86)	0.20ab	0.38a	25.4ab	12.9ab (51)
G935	1.26ab	1.10ab (87)	5.77bc	5.68ab (98)	0.18ab	0.36ab	23.2b	12.0b (52)
CG4814	2.07a	1.58a (76)	5.45bc	4.09bc (75)	0.23a	0.38a	25.3ab	12.3b (48)
CG5087	1.58ab	1.14ab (72)	5.55bc	3.21c (58)	0.19ab	0.24c	23.3b	11.9b (51)
M26	0.29c	0.21c (72)	7.63ab	4.61abc (60)	0.18ab	0.23c	31.2a	14.5ab (46)
M9	0.19c	0.15c (79)	5.14c	3.96bc (77)	0.16b	0.27bc	26.8ab	12.8ab (48)
Significance								
Rootstock (A)	***		***		***		**	
Treatment (B)	ns		***		***		***	
A × B	ns		ns		*		ns	

^zCT (control treatment), DS (drought stress).

^y(): Percentage compared with CT.

^xMeans in a column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

*, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively, ns: not significant.

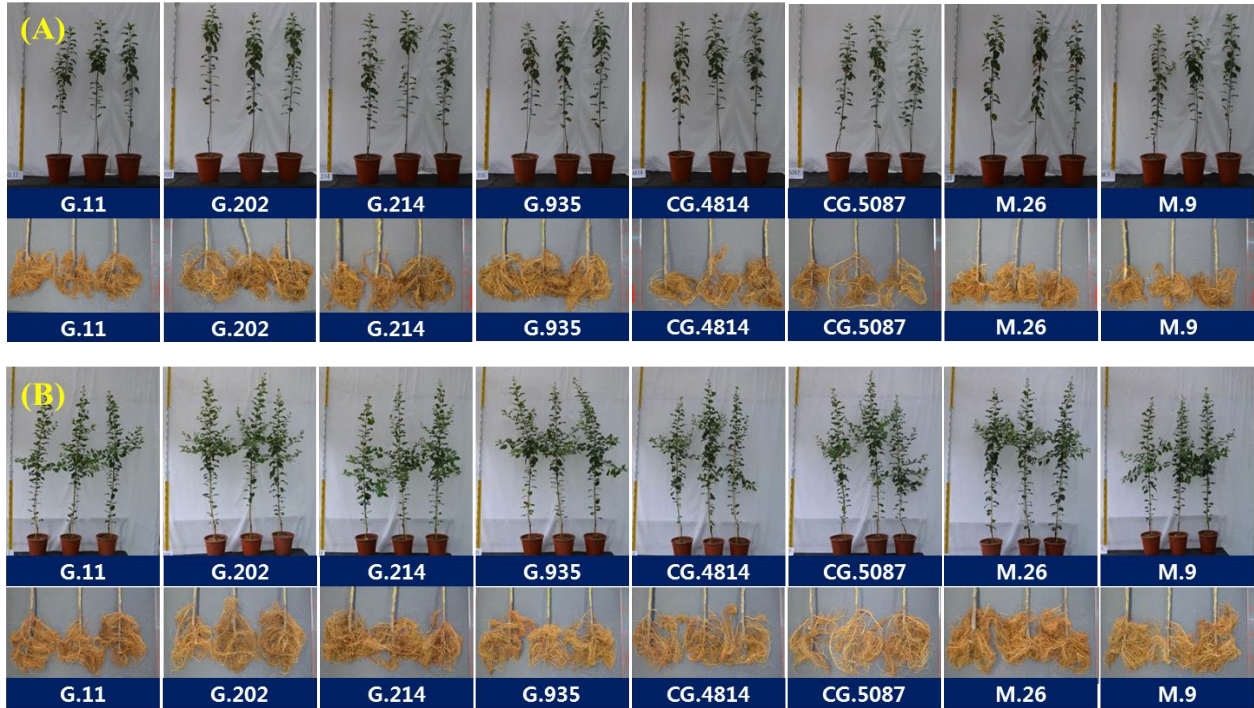


Fig. 12. Comparison of the tree growth of 'Fuji' nursery trees grafted on different rootstocks at the end of experiment: Drought treatment (A), Control treatment (B).

라. 고찰

(1) 엽수분포텐셜 및 증발산

엽수분포텐셜은 식물이 수분스트레스 상태에 있는지 여부를 판단하는 지표로 이용되고 있다. Wang과 Stutte(1992)는 사과나무는 엽수분포텐셜이 -1.6MPa 이하로 떨어지면 삼투조절을 통하여 잎의 팽압포텐셜을 유지할 수 없고 -2.5MPa 이하로 떨어지면 성숙한 잎이 시들기 시작한다고 보고하였다. 7월 27일 수분스트레스가 극에 달했을 때 한밭처리구 모든 나무들의 새벽 및 한낮 엽수분포텐셜이 위조점 이하로 하락하였음을 알 수가 있다(Fig. 9). 회복기간 종료시점인 8월 8일 한밭처리구의 토양수분포텐셜은 대조구 수준으로 회복되었음에도 엽수분포텐셜은 여전히 대조구와 큰 차이를 보이며 낮게 유지되었다. 이러한 결과는 심각한 수분스트레스 상태에서 물관부에 공기가 차는 현상인 동공화(cavitation)가 일어나 수분이동 기능을 상실하였던 것이 물관의 공기가 빠져 나가면서 재수화(rehydraton)가 되어 물관으로서의 기능을 회복하기 까지 시간이 걸리기 때문으로 보여 진다(Sparks and Black, 1999; Blackman et al., 2009). 하루 동안 증발산량은 토양-식물-대기로의 수분의 연속성(soil-plant-atmosphere continuum)에서 수분이동의 원동력으로 작용하는 대기의 증기압차(VPD)에 크게 영향을 받고 있었다(Fig. 8). 한밭처리를 한 나무들은 처리가 끝난 후 토양수분이 충분히 회복되었음에도 여전히 증발산량은 대조구에서 보다 낮게 나타났다. 그 차이는 VPD가 높은 날에 더욱 뚜렷하게 나타났는데 이는 동공화가 일어나 기능을 상실한 상당부분의 물관이 아직 회복되지 못했기 때문으로 추정된다. 대조구에서 CG.4814가 타 대목에 비해 증발산량이 적은 것은 타 대목에 비해 엽면적이 상대적으로 적었기 때문으로(Table 4) 해석된다. 한밭처리구에서 G.935는 타 대목에 접목된 나

무에 비하여 증발산량이 다소 적었지만 일관된 경향은 나타나지는 않았다. 한발처리가 끝나고 재관수 후 7월 6일 측정된 광합성율이 대조구와 크게 다르지 않다는 점을 감안하면 비록 11일 간 수분스트레스에 노출이 되었지만 수분흡수 능력은 여전히 대조구 수준에 근접해 있음을 알 수가 있다.

(2) 광합성과 관련 parameter

본 연구에서 처리기간 내내 대조구와 한발처리구 나무에 있어서 공시대목 간 기공컨덕턴스 차이는 뚜렷하지 않았으나(Fig. 10) 광합성율과 기공컨덕턴스 상호 간 변동 패턴은 유사하였다. 식물은 기공폐쇄를 유발하는 공변세포의 팽압상실을 유도하여 효과적으로 수분부족에 대처하지만(Giorio et al., 1999) 가뭄의 지속 기간과 강도는 나무의 광합성 능력에 영향을 미치는 중요한 요인이 될 수 있다. 6월 29일과 7월 21일 09시~15시 사이에 토양수분포텐셜은 각각 -549~-590hPa, -520~-598hPa 범위로 비슷하였고 6월 29일 6일 간의 수분스트레스를 경험한 한발처리구의 광합성율은 $3.6(G.935, M.26) \sim 5.2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}(G.11)$ 였다. 하지만 7월 21일 재관수 중단 이후 10일 간의 수분 스트레스를 받은 대목의 광합성율은 M.9의 경우 $1.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었고 G.214는 $2.0 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 감소하였다(Fig. 10). 수분스트레스 초기에 감소된 광합성은 주로 기공폐쇄의 영향을 받지만 스트레스가 장기화 되면 엽록소 손실이 관련이 있는 것으로 보여진다(Guerfel et al., 2009). 8월 8일 한발처리 대목은 11일 간 회복기간 동안 충분한 관수가 이루어졌지만 G.11 또는 M.9($P < 0.05$)를 포함하여 모든 대목의 광합성율은 대조구 수준으로 회복되지 못하였다. Nilsen과 Orcutt(1996), Miyashita 등(2005)은 심각한 수분스트레스를 겪은 식물은 엽록체 내부 구조의 이상과 엽내 호르몬 변화로 재관수 후에도 광합성율이 정상적 수준으로 회복하지 못한다고 하였다.

WUE는 1몰의 H_2O 손실 당 1몰의 CO_2 흡수량으로 정의된다(Kramer, 1983b). Serra 등(2014)은 가뭄 내성이 식물의 WUE를 개선시켜 생존율을 높일 수 있다고 하였다. 처리기간 중 WUE 변화는 수분스트레스가 심해짐에 따라 증가하는 경향이 있었다. 7월 27일 수분스트레스가 최고조에 달하였을 때 M.9와 G.935는 G.11 또는 G.202 나무보다 WUE가 31% 높아졌다. 이러한 변화는 광합성율 증가보다는 오히려 증산을 감소와 관련 있는 것으로 보여진다(Fig. 4).

(3) 영양생장 및 건물중

다양한 대목에 접목된 '후지' 사과나무가 수분 스트레스에 노출됨에 따라 생장이 급격히 떨어지는 등 수체 생장에 영향을 미치는 것으로 보여진다(Fig. 11). 한발처리구의 생장을 회복은 첫 번째 스트레스 후 보다는 두 번째 스트레스를 겪은 후 회복이 상대적으로 더디게 나타났는데 처리가 끝난 후 비교적 긴 시간동안 정상 관수를 하였음에도 이전 수분스트레스의 영향이 지속적으로 영향을 미치는 것으로 보여진다. 한발처리에도 불구하고 상대적으로 엽면적이 넓었던 G.202, G.935, M.26에서 스트레스에 따른 상대생장을 감소가 뚜렷하였다. 이러한 결과는 엽면적과 함께 뿌리에서 앞으로의 수분이동경로에 걸리는 수분전도도(hydraulic conductivity)와 관련이 있는 것으로 추정된다.

접목으로 대목과 접수로 이루어진 식물체는 대목이 접수의 생장에 영향을 미치게 되고 따라서 내건성도 달라질 수 있다(Liu et al., 2012). Kramer(1983b)는 수직과 수평으로 잘 발달된 뿌리 시스템은 토양 내 수분이 부족할 때 식물이 수분흡수에 대처할 수 있는 능력을 향상시킨다고 보고하였다. 식물이 수분스트레스 상태에서 뿌리생장을 촉진하는 쪽으로 동화산물의 공급

을 늘리는 것으로 알려져 있는데(Arbona et al., 2005; Brunner et al., 2015) G.935(대조구 대비 98%)는 CG.5087(대조구 대비 58%)과 달리 지상부 성장보다는 가는 뿌리 건물중에 좀 더 배분을 하는 것으로 보여 진다(Table 3, 4). 하지만 양호한 토양수분 조건 하에서는 지상부쪽으로 건물중을 배분이 두드러지는 것으로 보인다(Table 4). 대조구와 한발치리구 나무들의 수고 성장과는 달리 가지 건물중에서의 차이는 상대적으로 적었는데 이는 수고보다 측지 수와 길이에 따른 차이로 보인다(Table 3).

식물은 Root:Shoot 생물중 비율 조절을 통하여 수분스트레스를 회피하고 그 비율은 대목에 따라 달라진다(Pedroso et al., 2014; Yildirim et al., 2018). 본 연구에서 한발치리구 나무들의 Root:Shoot 비율 증가는 뿌리의 성장증가 보다는 지상부의 성장감소로 인한 것으로 보여진다(Table 3, 4). 대조적으로 M.26(0.23)과 M.9(0.27)와 같은 나무의 Root:Shoot 비율이 G 또는 CG계통보다 낮았는데 이는 M계 대목에서 굵은 뿌리보다는 가는 뿌리의 비율이 높았던 데에 원인이 있는 것으로 보인다. 수분 스트레스 하에서도 가는 뿌리가 비교적 잘 자랐던 G.935(대조구 대비 98%)와 G.214(대조구 대비 86%)는 포도에서 가는 뿌리의 비율이 높은 것이 내건성이 높다는 사실(Conesa et al., 2016)과 비슷하게 해석할 수 있다. G.935와 함께 G.202도 Leaf:Fine root 비율이 낮아 수체 수분수지에 유리하게 작용하여(Rodríguez-Gamir et al., 2010) 심한 수분스트레스 하에서도 물관 embolism 현상(Cochard et al., 1996)이 적었을 것으로 생각 된다.

사과나무는 한발에 직면하면 수분흡수기관이 지하부보다 증산기관인 새순의 성장을 억제하여 Root:Shoot 건물중 비율을 높이는 전략을 통해 이를 견뎌내는 것으로 알려져 있다(Chaves et al., 2002). 본 연구에서 나무의 성장과 생리적 반응 결과를 종합해 보면 CG.5087 나무가 수분스트레스에 가장 민감하였고, G.11, CG.4814, M.9는 M.26과 내건성이 비슷한 수준이며 G.202, G.214, G.935는 M.26보다 내건성이 우수한 것으로 평가되었다.

2-2-2. 내습성

가. 서론

사과재배에서 왜성대목을 이용하는 이유는 나무가 작게 자라므로 조기에 결실을 시작할 수 있고 밀식을 통해 다수확이 가능하며 과신품질이 좋을 뿐 아니라 관리가 손쉽기 때문이다. 왜성대목을 선택할 때는 왜화도와 조기결실성은 물론 내병성, 내충성과 더불어 비생물적 스트레스인 내동성, 내건성, 내습성도 중요하게 고려해야 할 사항이다(Robinson, 2003).

M.9대목은 실생대목에 비해 수관용적이 15-50%정도로 왜화도가 높고(Oh, 1998) 수관내부로의 광투과와 통풍에 유리해 과신품질이 양호하고 꽃눈의 형성과 발달이 잘 되며 병해충 방제 효율도 높다(Webster and Wertheim, 2003). M.9와 M.26대목은 전정보다는 유인을 통해 조기에 수관과 수형을 쉽게 완성할 수 있고 동계전정은 물론 하계전정 노력을 절감할 수 있으며 노동 강도의 완화 측면에서도 적합한 대목으로 알려져 있다(Robinson, 2003). 반면 M.9는 연작장해, 면충, 내동성, 내습성이 취약하며(Lee et al., 1982; Webster et al., 2000; Kviklys et al., 2016) 근권부에 토양수분이 적정하게 유지되지 않으면 수세가 쇠약해지고(Lakso, 2003) 화상병에 대해서도 민감한 단점(Norelli et al., 2003)을 가지고 있다. M.26 역시 조기결실성이기는 하나 M.9에 비해 약 50% 더 크게 자라고 기근속 발생이 많으며 화상병에 민감하고 면충피해도

받기 쉽다. 또한 M.9 보다는 내동성이 강하나 M.9와 같이 뿌리분포가 얇아 한발에 약하고 지주를 세워줘야 하며 배수가 불량하면 나무자람이 빈약해지는 단점이 있다(Kim and Yoon, 1998).

M.9 또는 M.26과 비슷한 수준의 왜화도와 조기결실성을 보이면서도 이들의 단점을 보완하는 새로운 왜성대목 육종프로그램이 미국(G, CG and MAC series), 캐나다(Ottawa and V series), 영국(MI,MM series), 독일(J9), 러시아(Budagovsky series), 폴란드(P series), 일본(JM series)등에서 진행되고 있고 가시적인 성과도 올리고 있다(Robinson, 2011). 미국 Cornell대학 Geneva농업시험장의 경우 1960년대 후반부터 생산성이 높으면서도 화상병, 뿌리역병, 연작장해, 동해에 저항성을 가진 왜성대목 육성을 목표로 육종을 시작하였다(Robinson et al., 2006; Auvil et al., 2011; Fazio et al., 2011). 최근에 선발한 적지 않은 G 또는 CG계 대목은 조기결실성에다 연작적응성, 화상병 저항성, 내동성 등이 우수하여 여러 나라에서 관심을 보이는가 하면(Russo et al., 2007; Cline et al., 2010) 일부 대목은 미국(G.11, G.202, G.935), 캐나다(G.11), 뉴질랜드(G.202)등에서 상업적으로 보급되고 있다(Robinson et al., 2006).

우리나라는 토양 내 점토 함량이 많아 배수가 불량한 사과원이 적지 않고, 하천변 저지대에 개원된 사과원들은 장마 시 지하수위가 높아서 배수에 취약한 경우가 많다. 더구나 연간 강수량은 1,200~1,300mm에 달하는데 대부분 사과 생육기인 6~8월에 집중되어 있어서 내습성이 약한 M.9, M.26 대목에서 과습에 의한 조기낙엽이 유발되거나 심하면 동해를 입는다(Yoon, 2001). 따라서 우리나라에서는 왜성대목을 이용한 밀식재배에서 재식열에 유공관을 매설하는 것이 개원전 기반조성의 필수조건이 되다시피 하고 있다.

본 연구의 목적은 Cornell대학에서 최근에 육성한 유망 G, CG계 대목과 우리나라에서 가장 많이 이용하고 있는 M.9, M.26을 공시하여 우리나라의 기상 환경조건에서 적응력이 높은 대목을 선발하는데 있다.

나. 재료 및 방법

[1차년도]

(1) 공시재료

본 연구는 경북대학교 부속농장 비 가림 시설 내에서 실시되었다. 공시재료는 2009년 미국 Cornell 대학에서 분양받은 G.11(M.26 × Robusta 5), G.16(Ottawa 5 × Malus floribunda), G.202(M.27 × Rubusta 5), G.214(Ottawa 3 × Rubusta 5), G.935(Ottawa 3 × Rubusta 5), CG.4814(Ottawa 3 × Robusta 5), CG.5087(Ottawa 3 × Robusta 5) 대목을 부속농장 대목포장에서 묻어떼기 방법으로 증식한 1년생 대목을 사용하였고 B.9(M.8 × Red Standard), M.9 (Jaude de Metz), M.26(M.16 × M.9) 대목은 중앙과수묘목센터에서 제공받았다. 2015년 3월 하순에 9L 용기의 바닥에 약간의 자갈을 깔고 모래:상토:퇴비(부숙톱밥70%, 식물성유박25%, 계분5%)를 5:3:2(v/v)비율로 조제한 상토를 채우고 1주씩 이식 하였다. 직사광선에 의한 근권부의 지나친 온도 상승을 막고자 용기바깥에 흰색 페인트를 칠하였다(Fig. 1).

(2) 처리내용 및 방법

부직포를 깔 노지에 용기를 배열하고 5월말까지 관리를 하다가 폭 5m × 측고 1.4m × 높이

2.5m 비가림 시설하우스를 설치하고 그 아래에서 시험 종료까지 관리를 하였다(Fig. 1). 시험 시작일인 6월 28일부터 자동 점적관수 장치를 이용해 수분관리를 달리하였다. 침수처리구는 용기 하단부 배수조절이 가능한 11L용기에 9L용기를 넣고 배수구를 닫아 근권부가 완전 침수되게 하였다가 수시로 배수하는 방법으로 하였고, 대조구는 매일 1L씩 관수하면서 7월 25일까지 처리하였다. 침수처리구의 경우 첫째 주는 4일간 침수 3일간 배수, 둘째, 셋째 주는 5일간 침수 2일간 배수, 넷째 주는 3일간 침수 4일간 배수를 반복하였다. 7월 26일부터, 침수처리구는 8월 21일까지 대조구와 같은 방법으로 수분관리를 하여 회복시험을 실시하였다. 시험구 배치는 처리당 1주 1반복으로 3반복하여 완전임의배치를 하였고 초기생육을 돕기 위해 5월 중순 용기에 복합비료 30g(N:P:K = 21:17:17)를 준비하였으며 병해충 방제는 경북대학교 부속농장 사과원 관리지침에 따라 연 9회 방제체계를 적용하였다.



Fig. 1. During the experimental period, pots were managed in a rain shelter facility.

(3) 조사항목 및 방법

처리기간동안 엽 수분 상태는 pressure chamber(Model 3005, soil moisture equipment, USA)를 이용해 하루 중 엽 수분상태가 가장 낮은 12~14사이에 반복당 2엽씩 측정하고 평균값을 취하였다. 토양수분 측정은 자동 데이터 기록이 가능한 텐시오미터를 자체 제작하여 이용했으며 자동 온·습도 기록 측정기기(EL-USB-2-LCD, UK)는 비 가림 시설 내에 지상부 약 1.3M 높이에 설치했다. 신초 자람은 반복당 최상부 측지 3개를 6월 9일부터 8월 21일까지 1주일 간격으로 측정하였고, 줄기직경은 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo, Japan)를 이용해 지표면 위쪽 약 5cm 지점을 정하여 교차로 2회 측정하여 평균값으로 줄기단면적(TCA: trunk cross-sectional area)을 구하였다. 엽면적은 8월 20일 휴대용 엽 면적계(Model LI-3000A, USA)를 이용해 반복당 20엽을 측정하였다. 낙엽율은 처리기간 동안 약 1주일 간격으로 조사하여 총 엽수에 대한 백분율(%)로 나타내었다. 기공 컨덕턴스, 증산, 광합성은 휴대용 광합성 측정장치(LCI Portable Photosynthesis System, ADC, UK)를 이용해 6월 23일부터 8월 21일까지 12시~16시 사이에 성엽에 대해 반복당 2엽을 측정하였다. 엽록소 함량 측정은 7월11일부터 SPAD-502 meter (Konica-Minolta, Japan)를 이용해 반복당 30엽씩 1주일 간격으로 시험기간 동안 측정을 하였다. 시험이 끝난 8월 23일에 처리당 3주를 골취해서 뿌리, 가지, 잎을 분리하여 깨끗이 수세한 다음 뿌리와 가지는 80°C에서 72시간 건조를 하였고, 잎은 72°C에서 72시간 동안 건조처리하여 건물중을 측정하였다.

통계처리는 SAS(SAS Institute, Inc., USA)프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정법(유의수

준 5%)으로 처리평균 간에 유의성을 검증하였다.

[2차년도]

(1) 공시재료

미국 Cornell 대학에서 분양 받은 6종류의 G 및 CG.계통과 0우리나라에서 이미 많이 보급된 M.26과 M.9 대목을 사용하였다. 이랑문어떼기 방법으로 증식한 대목(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9)에 ‘후지’ 품종을 접목하여 3월5일 17L 용기에 모래:상토:퇴비(부숙톱밥70%, 식물성유박25%, 계분5%)를 5:3:2(v/v)비율로 조제한 배합토를 채우고 1주씩 재식 하였다. 재식 전 대목의 뿌리 다듬기를 하였다. 재식 2달 후 토양수분 유지와 근권부의 과도한 지온 상승을 막기 위하여 검은색 부직포로 용기전면을 피복하였다(Fig. 2).

(2) 처리내용 및 방법

수분공급은 점적관수 방법으로 생육시기와 날씨에 따라 하루 한 차례 또는 두 차례씩 1.0~1.5L를 관수하였고 재식 후 111일째인 6월 23일부터는 수분관리를 달리하였다. 즉, 침수처리구는 17L 용기 하단에 장착된 배수밸브를 잠그고 여는 방법으로 4주 동안 침수처리를 하였는데 점진적인 침수유발을 위해 첫 10일 간은 2일간 근권부 완전침수와 3일간 배수를 반복하였고 다음 10일 간은 3일간 완전침수와 2일간 배수를 반복하였다(Fig. 2). 처리 4주차에는 침수와 배수를 하루씩 번갈아가며 처리하였다. 반면 대조구는 처리기간 동안 하루 2.0L씩 충분한 관수를 실시하였다. 침수처리구는 7월 21일에 침수처리를 중단하고 7월 22일부터 대조구와 같은 방법으로 관수를 하면서 8월 8일까지 18일 간 회복기간을 두어 대목별 회복상태를 관찰하였다. 시비는 5월 상순 요소 0.3% 엽면시비와 5월 중순 용기당 약 20g정도 복합비료(N:P:K=21:17:17)를 사용하였다.

시험구 배치는 1주를 1반복하여 5반복 난괴법으로 하였다.



Fig. 2. Equipped with on-off switchable valve for drainage at the bottom of the pots.

(3) 조사항목 및 방법

유리온실 내 대기 환경은 기온이 30℃가 넘으면 자동으로 환기가 되도록 설정하였다. 엽수분 상태는 처리 전(6월 23일), 침수처리 종료시점(7월 21일), 회복 종료시점(8월 8일) 3회에 걸쳐

Pressure chamber(Model: 3005, Soil Moisture Equipment Co. USA)를 이용하여 측정하였다. 새벽 엽수분포텐셜은 새벽 4~6시 사이에 반복당 1~2엽씩 측정하여 평균값을 취하였고 한낮 엽수분포텐셜은 하루 중 엽수분상태가 가장 낮은 12~14시 사이에 같은 방법으로 측정하였다. 수고는 처리 시작일부터 종료일까지 일주일 간격으로 기록하였다. 접수 직경은 접목부 5cm 위쪽 지점에서 디지털 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo, Japan)를 이용해 격자형으로 2회 측정하여 평균값을 취한 다음 줄기단면적(TCA: trunk cross-sectional area)을 구하였다.

식물의 광합성 특성은 휴대용 광합성 측정기기(LCI Portable Photosynthesis System, ADC, UK)를 이용하여 처리 전, 침수처리 종료시점, 침수종료 후 정상관수 18일차에 각각 11~15시 사이에 성엽을 중심으로 반복당 1~2엽씩 측정하였다. 광합성 측정시에는 할로젠 조명을 사용하여 광합성유효복사(Photosynthetically active radiation, PAR)값을 $1,500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 고정시켰다. 침수처리구의 낙엽율은 낙엽수를 매일 조사를 하여 총 엽수에 대한 백분율(%)로 나타내었다. 침수처리를 마치고 18일간의 회복기가 끝난 8월 9일 시험에 사용된 묘목은 가지, 엽, 잔 뿌리(<2mm, 직경), 굵은 뿌리(>2mm, 직경)로 분리한 다음 72°C에서 72시간 동안 건조하여 각각의 건물중을 구하였다.

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

다. 결과

[1차년도]

(1) 토양 및 엽수분포텐셜

3월말 대목을 용기에 재식 후 주기적인 관수를 통해 적정 토양수분을 유지했고 시험기간 동안 대조구 토양수분포텐셜은 -27kPa~-47kPa수준을 유지하였다(Fig. 3). 침수처리구는 처리기간 동안 포화상태가 유지되었다가 처리종료 후 정상적인 배수가 이루어지면서 토양수분이 -22kPa~-36kPa수준을 보였다.

처리 13일 후 침수처리구에서는 모든 대목의 엽수분포텐셜이 -0.95MPa 이하 범위에 분포했고 엽 면적이 가장 적었던 CG.5087이 엽수분포텐셜이 가장 높았다(Fig. 4). 처리 21일 후 침수구에서 CG.4814의 엽수분포텐셜이 -1.2MPa인 반면 B.9, G.935, G.214는 -0.67 ~ -0.74MPa였다. 침수처리종료 6일 후 G.16, G.202, B.9는 -1.88-1.95MPa였고 G.935는 -1.6MPa였다.

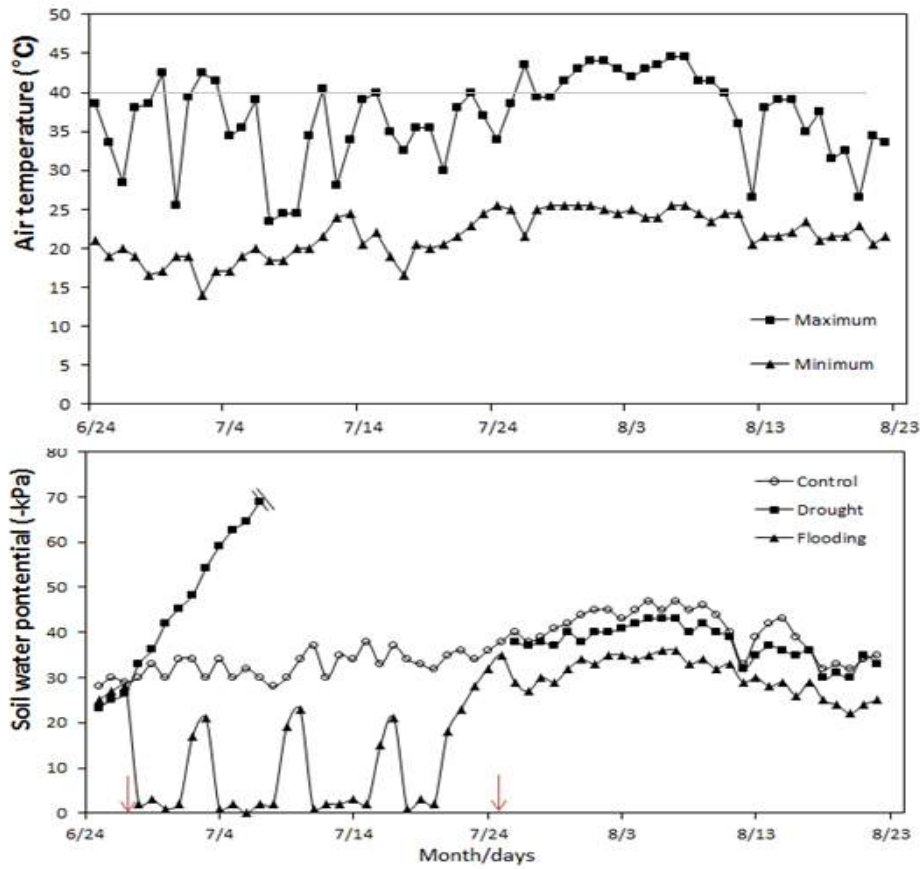


Fig. 3. Change in daily maximum and minimum temperature and soil water potential in three treatments during the experimental period. Arrows indicate start and end of the treatment.

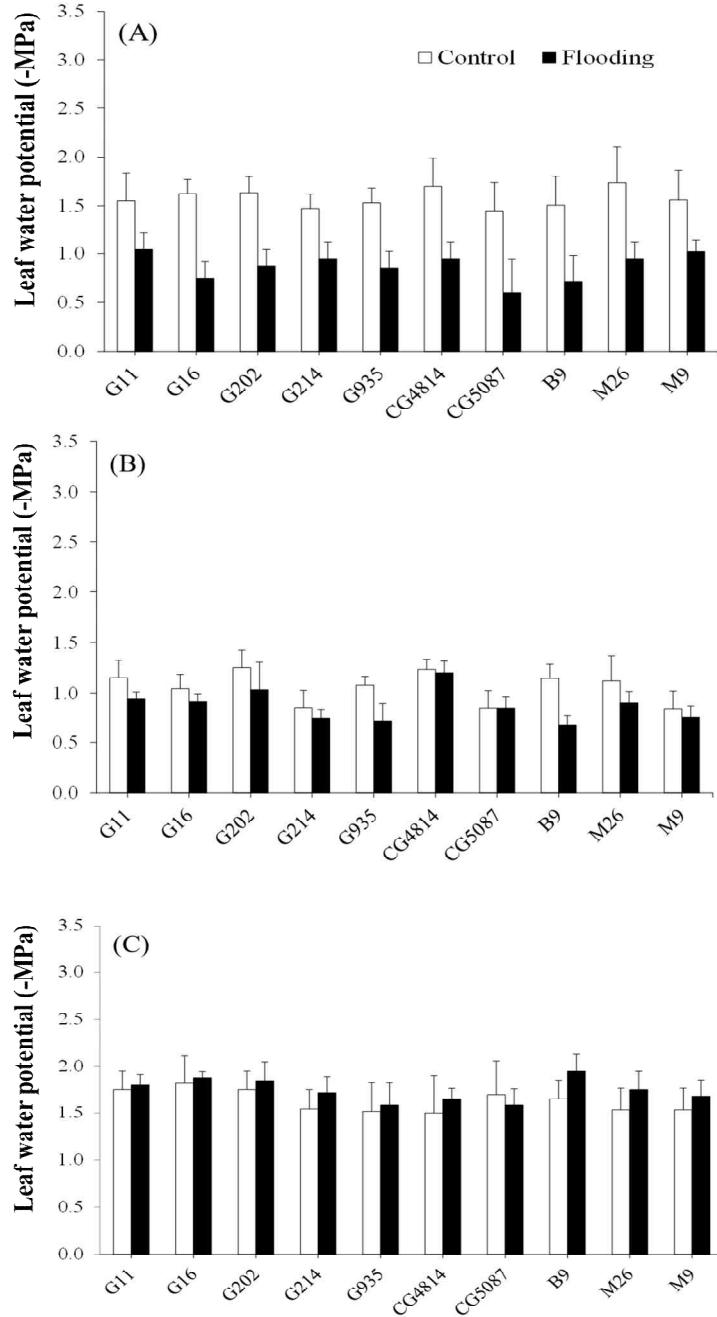


Fig. 4. Change in midday leaf water potential according to different water regimes; after 13 days of treatment(A), after 21 days of treatment(B), and 6 days after the end of stress treatment. Vertical bars represent SE of means.

(2) 뿌리와 가지 건물중

수분스트레스 처리 한 달 동안과 종료 후 회복기 한 달 동안 대목 간에 생육차이가 뚜렷하게 나타났다(Table 1). 뿌리건물중은 대조구에서 준왜성대목으로 알려진 M.26이 13.3g으로 가장 낮았고 G.202는 24.6g이었다. 침수처리구에서는 CG.5087은 5.2g, G.214는 7.6g으로 타 대목보다 현저하게 낮았으나 G.16은 29.4g으로 오히려 같은 대목의 대조구 보다 뿌리건물중이 71%

높게 나타났다. 대부분의 공시 대목은 대조구보다 침수처리구에서 뿌리와 가지의 건물중이 감소하였으나 G.11만은 침구수의 뿌리 건물중이 대조구 대비 17%, 가지건물중이 26% 오히려 증가하였다. G.202는 가지건물중이 63.3g으로 대조구에서 타 대목에 비해 월등히 높은 반면에 CG.5087은 16.4g에 불과하였다. 침수구에서 CG.5087(7.3g)은 대조구에서와 마찬가지로 가지건물중이 가장 낮았고 대조구 대비 단지 45%수준이었다. 침수 처리시작 시점인 6월 28일에서 처리 종료일인 8월 21일까지의 TCA 증가량을 조사한 결과(Table 1) 대조구에서 뿌리건물중이 가장 많았던 CG.4814와 G.202가 같은 기간 주간단면적 증가폭이 각각 72.3mm², 65.2mm²이었던 반면 B.9는 증가폭이 32.7mm²이었다. 침수처리구에서는 G.11(127%), B.9(116%), G.16(109%)이 가장 높은 주간단면적 증가율을 보였고 CG.5087(36%)은 감소 폭이 가장 커 뿌리, 가지건물중과 유사한 결과를 보였다.

Table 1. Root dry weight and Shoot dry weight, and trunk cross-sectional area(TCA) per plant after five months growth.

Rootstock	Root dry weight (g)		Shoot dry weight (g)		TCA (mm ²)	
	Control	Flooding	Control	Flooding	Control	Flooding
G.11	13.7c	16.0b(117)	21.9cde	27.5b(126)	40.8de	51.6ab(127)
G.16	17.2bc	29.4a(171)	35.4b	31.1ab(88)	39.9de	43.6ab(109)
G.202	24.6a	13.8bc(56)	63.3a	38.5a(61)	65.2ab	62.4a(96)
G.214	18.8abc	7.6cd(40)	26.3b-e	16.1cde(61)	52.4bcd	37.1b(71)
G.935	13.2c	12.5bcd(95)	19.0de	14.0cde(74)	49.7cd	38.7b(78)
CG.4814	22.4ab	24.9a(111)	37.5b	23.0bc(61)	72.3a	55.9ab(77)
CG.5087	14.1c	5.2d(37)	16.4e	7.3e(45)	53.9bcd	34.2b(64)
B.9	13.7c	11.6bcd(85)	28.0bcd	21.1bcd(75)	32.7e	37.9b(116)
M.26	13.3c	10.0bcd(75)	31.1bc	8.6e(28)	59.2abc	45.5ab(77)
M.9	16.9bc	8.8bcd(52)	22.2cde	11.2de(51)	47.8cd	39.6b(83)

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y():Percentage compared with Control.

침수처리시작부터 회복기간 종료시점까지 신초생장량을 보면 대조구에서는 G.202, G.16, CG.4814 순이었다. 침수처리구에서는 대조구 대비 G.11(140%), G.16(94%), G.935(94%) 순으로 많은 신초 생장량을 보였고 M.26(45%), CG.5087(44%)가 가장 적은 신초 생장량을 보였지만 유의성은 인정되지 않았다. 엽건물중은 엽수와 가지건물중에 따라 비례하는 경향이 있었는데 대조구에서는 CG.4814(72.6g), G.16(58.9g)이 타 대목보다 높았고 G.935(21.7g), CG.5087(19.6g)은 그와 반대였다(Table 2). 침수처리구의 엽건물중은 G.11(97%)과 G.935(89%)의 감소 폭이 작았고 CG.5087(33%), M.26(37%), M.9(78%)는 타 대목보다 감소폭이 컸다. 엽면적은 엽건물중의 증감 폭과 유사한 경향을 보였는데 대조구에서는 CG.4814, G.16이 각각 8269cm², 6510cm²였고 낙엽율이 높았던 G.214, G.935, CG.5087은 각각 1981cm², 2325cm², 875cm²이었다. 침수처리구에서 G.11(98%)은 엽면적 감소가 거의 일어나지 않았으나 CG.5087, M.26, M.9는 대조구 대비

35~38%의 비율을 보여 감소폭이 가장 크게 나타난 대목이었다.

Table 2. Total shoot number, total shoot growth, leaf dry weight, and leaf area per plant after five months growth.

Rootstock	Total shoot number		Total shoot growth (g)		Leaf dry weight (g)		Leaf area (cm ²)	
	Control	Flooding	Control	Flooding	Control	Flooding	Control	Flooding
G.11	6.0a	7.7a	149cd	209bc(140)	33.9cd	32.9bc(97)	3984cd	3906b(98)
G.16	7.3a	8.3a	328ab	307a(94)	58.9ab	40.8a(69)	6510ab	5058a(78)
G.202	7.3a	7.7a	373a	241ab(65)	54.8b	34.2ab(62)	6402ab	4114b(64)
G.214	6.0a	5.7ab	206cd	167bcd(81)	27.6cde	15.3ef(55)	3397cd	1981d(58)
G.935	5.0a	8.0a	142cd	134cd(94)	21.7de	19.3de(89)	2425d	2325d(96)
CG.4814	6.3a	7.3a	242bc	170bcd(70)	72.6a	36.6ab(50)	8269a	4810ab(58)
CG.5087	3.7a	3.0b	113d	50e(44)	19.6e	6.4f(33)	2320d	875e(38)
B.9	5.0a	5.0ab	217cd	172bcd(79)	34.8cd	23.6cde(68)	4177bcd	3090c(74)
M.26	7.0a	5.0ab	225bcd	101de(45)	38.3c	14.2ef(37)	4810bc	1735d(36)
M.9	5.7a	7.3a	209cd	160cd(78)	36.6c	12.6ef(34)	4758bc	1671de(35)

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

^y():Percentage compared with Control.

(3) 광합성과 관련 parameter

시험 처리시작 전 6월 23일 광합성 측정 결과를 보면 처리구에 관계없이 대목 간 또는 대목과 처리구 간에는 유의성이 없었다(Fig. 5). 처리시작 다음날인 6월 30일 대조구 기공 컨덕턴스는 $0.66\sim 0.80\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위였고 침수처리구에서는 $0.19\sim 0.41\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위였다. 스트레스 처리 1주일 후 대조구 기공컨덕턴스는 $0.51\sim 0.83\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광합성율은 $13.4\sim 16.9\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었으나 침수처리구는 기공컨덕턴스가 $0.09\sim 0.25\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광합성율은 $4.6\sim 9.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위로 침수 스트레스로 인해 대조구에 비해 광합성율이 낮게 나타났다. 침수처리가 종료되고 대조구와 같은 방법으로 관수를 개시한지 약 15일이 지난 8월 13일 광합성율은 $5.4\sim 9.7\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 범위로 대조구 수준까지 회복하지는 못했다(Fig. 5).

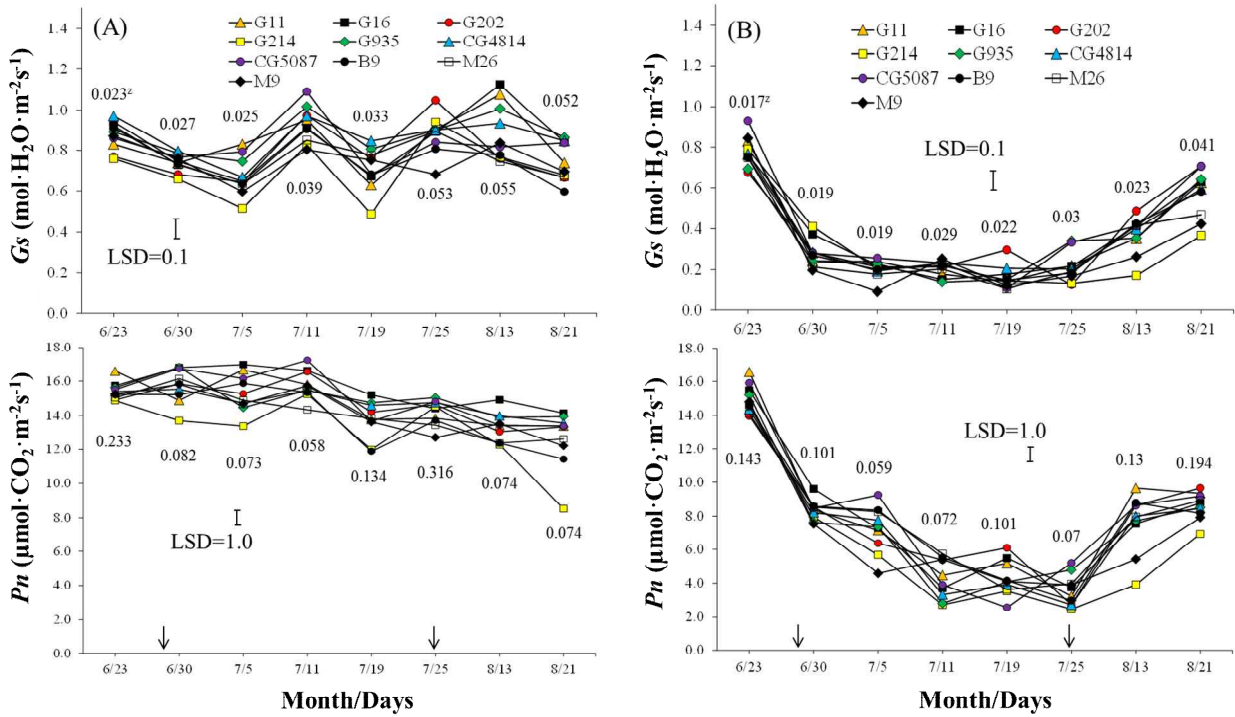


Fig. 5. Changes in photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) of various rootstocks during control treatment (A) and flooding stress (B). Arrows indicate start and end of the treatment. ^zSignificant differences among means were determined by least significant difference (LSD) test $P=0.05$.

(4) SPAD

처리기간동안 엽록소 함량과 관련이 있는 SPAD값 변화를 보면 대조구에서는 G.214, B.9는 시간이 지날수록 SPAD값이 감소하는 경향이였으나 나머지 대목에서는 처리기간 내내 엽록소 함량 변화가 나타나지 않았다(Fig. 6). 침수처리구 대목들은 시간이 지날수록 SPAD값이 지속적으로 감소하여 스트레스로 인한 엽록소 함량에 변화가 있었음을 알 수가 있다. 시험 최종일에 대조구 대목들의 SPAD값 범위는 51 ~ 54였으나 침수처리구 대목들은 41 ~ 49를 기록하여 처리에 따른 차이를 보였다. 특히 G.214 대목은 타 대목보다 현저하게 낮은값을 보여 잎의 노화가 상대적으로 빠르게 일어났다는 것을 암시하였다.

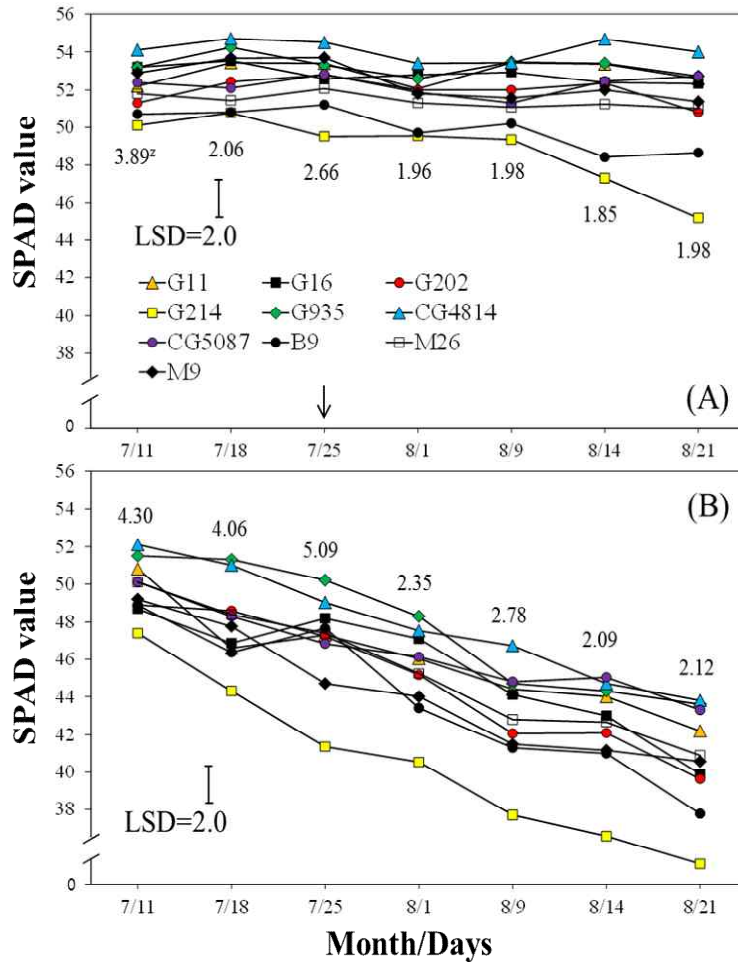


Fig. 6. Changes in SPAD value according to the time during control treatment (A) and flooding stress (B). Arrows indicate the end of the treatment. ²Significant differences among means were determined by least significant difference (LSD) test $P=0.05$.

[2차년도]

(1) 엽수분포텐셜

침수처리 개시 전 ‘후지’ 묘목의 새벽 엽수분포텐셜은 정상 관수처리인 대조구와 침수 처리구에서 대목종류에 관계없이 $-0.28 \sim -0.35\text{MPa}$ 범위였고 동일 한낮 엽수분포텐셜은 $-1.55 \sim -1.89\text{MPa}$ 범위였다(Fig. 7). 처리 27일째 측정된 새벽 엽수분포텐셜에서 대조구는 대목종류에 관계없이 $-0.30 \sim -0.37\text{MPa}$ 범위였고 침수처리구의 CG.4814, G.11, G.935, CG.5087, M.26은 $-0.34 \sim -0.48\text{MPa}$ 수준이었으나 G.202, G.214, M.9에서는 각각 -1.26MPa , -1.45MPa , -1.28MPa 로 타 대목에 비해 현저히 낮게 나타났다. 한낮 엽수분포텐셜은 대조구 대목들은 $-1.65 \sim -1.92\text{MPa}$ 범위인데 반해 침수처리구는 G.11을 제외하고 모두 $-2.10 \sim -2.61\text{MPa}$ 범위였고 G.202, G.214, M.9는 $-2.85 \sim -3.03\text{MPa}$ 까지 떨어졌다.

침수처리를 마치고 다시 정상관수를 시작한 지 18일차에 측정된 새벽 엽수분포텐셜 값은 침수처리구에서 G.202, G.214, M.9는 $-0.72 \sim -0.75\text{MPa}$ 로 대조구에 비해 낮았지만 타 대목에서는

-0.38~-0.42MPa로 정상관수처리한 대조구의 -0.32~-0.38MPa 범위와 비슷한 수준이었다. 한 낮 엽수분포텐셜 측정 결과 G.202, G.214, M.9의 침수 처리구는 -2.62~-3.15MPa범위로 대조구보다 현저히 낮았으며 이를 제외한 대목들은 -2.05~-2.45MPa 범위로 대조구에 비해 전체적으로 낮았으나 통계적 유의성($P>0.05$)이 인정될 정도는 아니었다.

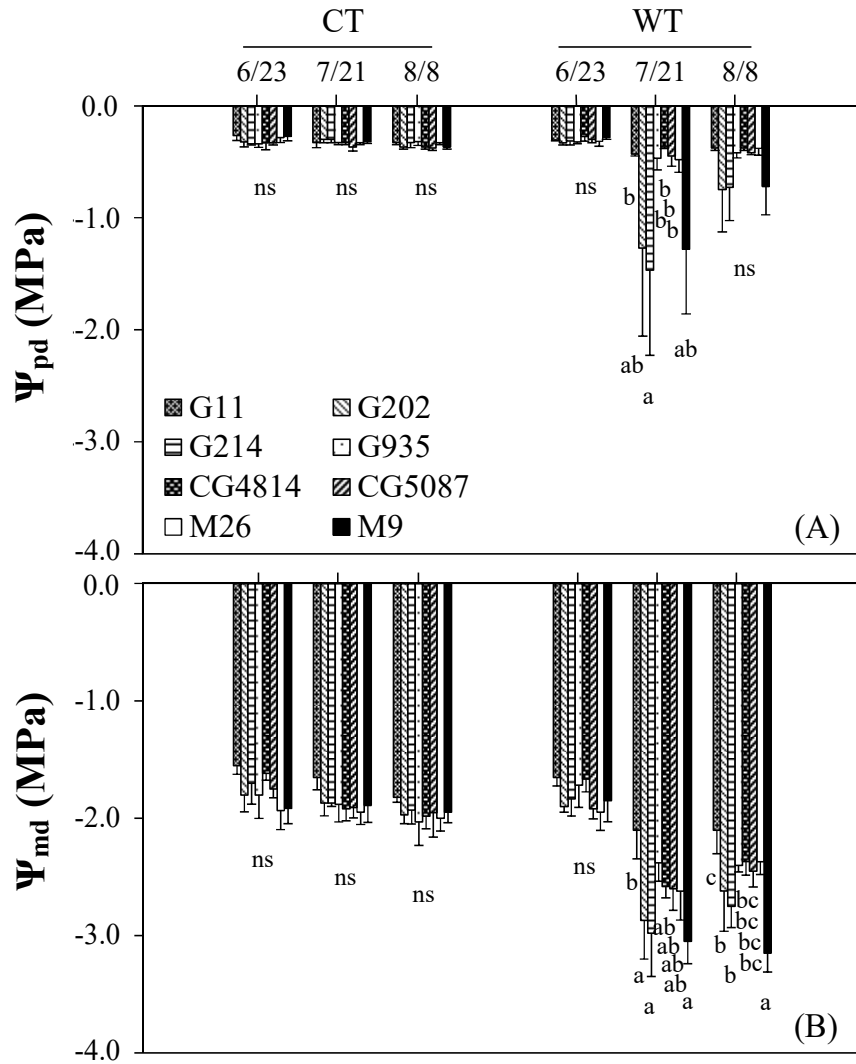


Fig. 7. Changes in the predawn (A) and midday (B) leaf water potential of 'Fuji' nursery trees grafted on various rootstocks in CT (control treatment) and WT (waterlogging treatment); before flooding (measured on June 23rd), on the 27th day after the onset of flooding (measured on July 21st), and on the 18th day after the cessation of flooding (measured on August 8th). Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test; ns: not significant.

(2) 광합성

침수처리 전 한낮의 광합성율은 $11.9\sim 13.2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위로 대목 간에 유의미한 차이를 보이지 않았으나(Fig. 8) 침수처리 27 일차에는 대목간 광합성율 차이가 뚜렷하게 나타났다. 즉, 대조구의 대목별 광합성율이 $12.5\sim 14.4\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위인데 반해 침수처리구는 G.11, CG.5087, G.935, CG.4814는 $4.4\sim 5.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위로 떨어졌고 G.214, M.9, G.202, M.26은 $1.6\sim 3.1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 불과하여 침수에 민감한 반응을 보였다. 침수처리 종료 후 18 일차에 측정된 광합성율을 보면 G.11, G.935, CG.4814, CG.5087, M.26은 $5.2\sim 7.0\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 수준을 보였다. 반면 M.9와 G.214는 $2.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $3.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 각각 대조구의 21%와 34% 수준의 광합성율을 보였고 G.202는 $4.8\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 대조구의 약 48% 수준의 광합성율을 보였으나 개체별로 편차가 큰 것으로 나타났다. 기공컨덕턴스도 전체적으로 광합성율과 비슷한 경향을 보여 M.9와 G.214는 대조구에 비해 기공개폐가 침수에 민감하게 반응하고 침수 종료 이후 회복도 느림을 알 수 있었다.

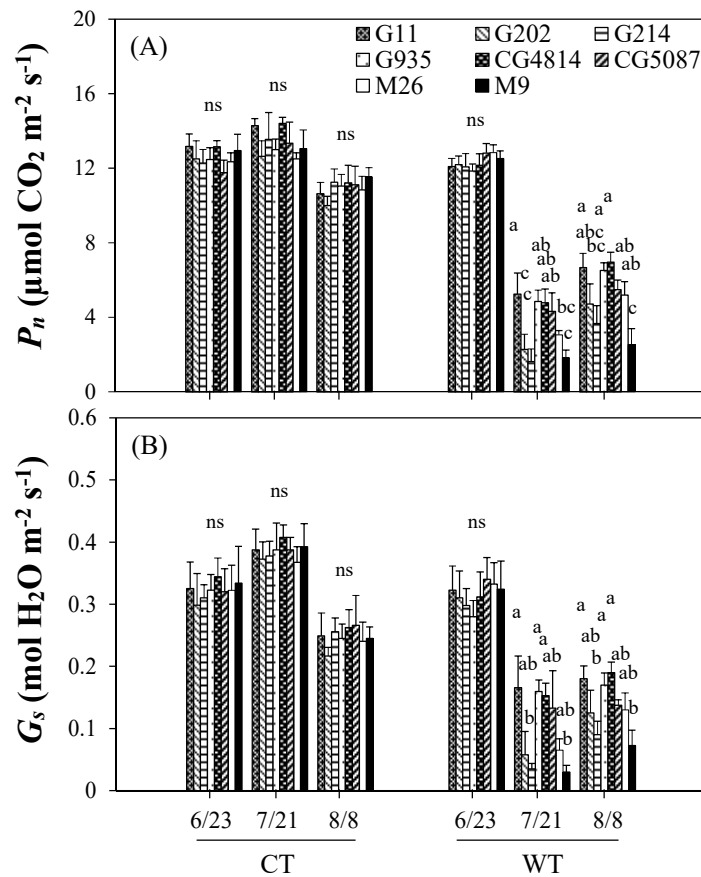


Fig. 8. The net photosynthetic rate (A) and stomatal conductance (B) of 'Fuji' nursery trees grafted on various rootstocks in CT (control treatment) and WT (waterlogging treatment); before flooding (measured on June 23rd), on the 27th day after the onset of flooding (measured on July 21st), and on the 18th day after the cessation of flooding (measured on August 8th). Q_{leaf} (photosynthetically-active radiation) was fixed at $1500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test; ns: not significant.

(3) 영양생장

침수처리 개시일 전체 ‘후지’ 접목묘의 수고는 98~128 cm 범위로 G.202, M.26 이 다소 많이 자란 반면 M.9는 공시대목 중 가장 적게 자랐다(Table 3). 27 일간의 반복적인 침수처리와 18 일간의 회복기간 동안 침수처리구 대목들의 수고는 대조구 대비 71~84%의 범위로 침수로 인해 수체생장이 억제된 것으로 나타났다. 특히 CG.5087는 시험 종료시점에 대조구 대비 84%의 수고를 보여 71%의 성장을 보인 M.9와 대조를 이루었다. 나머지 대목들은 75~83%의 수고 성장을 보였다. 시험 종료시점에 침수 처리구 대목의 TCA는 대조구 대비 53~72% 수준으로 감소폭이 뚜렷하였다. 대목별로 보면 G.935, CG.5087, CG.4814가 대조구 대비 67~72% 범위로 타 대목에 비해 비교적 양호하였고 G.214와 M.9는 대조구의 각각 53%, 55%에 불과하였다.

Table 3. Changes in tree height and trunk cross-sectional area (TCA) of ‘Fuji’ nursery trees grafted on various rootstocks during flooding stress.

Rootstock	At the beginning of waterlogging				At the end of waterlogging			
	Tree height (cm)		TCA (mm ²)		Tree height (cm)		TCA (mm ²)	
	CT ^z	WT	CT	WT	CT	WT	CT	WT
G11	110ab	100bc(91) ^y	25b	20c(80)	186ab	147ab(79)	48b	30bc(62)
G202	125a	121a(97)	36a	31ab(86)	200a	161a(80)	67a	41ab(60)
G214	107b	109abc(102)	25b	23bc(92)	187ab	140ab(75)	50b	27c(53)
G935	113ab	101bc(89)	24b	20c(83)	195a	152ab(78)	47b	32abc(67)
CG4814	112ab	108abc(96)	26ab	24abc(92)	186ab	154ab(83)	51b	37abc(72)
CG5087	108ab	105bc(97)	25b	22c(88)	185ab	156ab(84)	48b	34abc(69)
M26	128a	115ab(90)	37a	32a(86)	201a	157ab(78)	68a	44a(65)
M9	105b	98c(93)	26ab	24abc(92)	181b	129b(71)	53ab	30bc(55)
Significance								
A (Rootstock)	*		***		*		***	
B (Treatment)	**		**		***		***	
A × B	ns		ns		ns		ns	

^zTreatment: CT (control treatment), WT (waterlogging treatment). ^y(): Percentage compared with CT.

Means in a column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

*, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively; ns: not significant.

시험기간 동안 적정하게 관수한 대조구 대비 침수처리구 대목의 시기별 수고 성장을 변화를 보면 침수처리 2주까지는 비교적 생장억제가 작게 나타나는 경향이였다(Fig. 9). 2주 후부터는 대목간 성장차이가 뚜렷하여 3주차의 경우 G.935, CG.5087, CG.4814는 대조구 대비 68~77%의 성장을 보인 반면 G.214, M.9는 각각 35%, 51%까지 떨어졌다. 침수처리 4주차에 이르러서는 모든 대목들의 성장 감소가 뚜렷하게 나타나는데 M.26, CG.5087, CG.4814는 대조구 대비 45~55% 정도까지 성장율이 떨어졌고 M.9, G.214, G.202는 18~34%까지 감소했다. 7월 22일부터 18일간 대조구와 동일한 관수방법으로 동일기간 동안 G.11, G.935, CG.5087, CG.4814는 대조구 대비 26~32%의 성장율을 보였고 M.9, G.214, G.202, M.26은 7~14% 정도의 성장율을 기록해

침수처리가 종료된 이후에도 침수의 영향이 계속 된 것으로 추정된다.

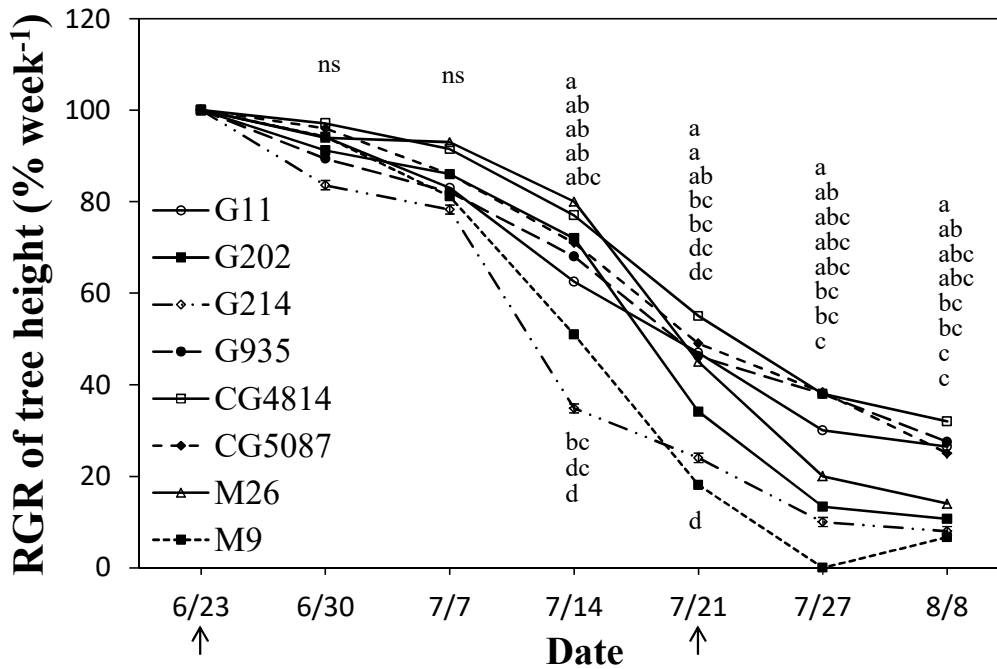


Fig. 9. Changes in the relative growth rate of tree height ($RGR_{\text{treeheight}} = \text{weekly growth in WT} / \text{weekly growth in CT}$) of 'Fuji' nursery trees subjected to WT. Arrows indicate the onset and end of flooding, respectively. Different letters in the same vertical column are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test; ns: not significant.

(4) 건물중

시험기간 동안 적절하게 관수를 한 대조구에서 대목 간 건물중은 수고와 달리 뚜렷한 차이를 보였다(Table 4). G.202와 M.26이 상대적으로 가장 왕성하게 자라 가지 건물중이 각각 44.5g, 43.5g, 가는 뿌리건물중이 각각 8.17g, 7.63g로 비슷하였고 다음으로 G.935, CG.5087이었다. 공시대목 중 M.9는 가장 작게 자라 가지 건물중이 31.7g, 가는 뿌리 건물중은 5.14g으로 나타났다. 각 대목별 신초와 잎의 건물중을 대조구와 비교한 결과 CG.4814가 각각 대조구의 79%와 74%에 달하여 침수처리에도 가장 양호한 성장을 보였다. 반면 M.9는 대조구에 비해 각각 40%와 30%의 건물중을 보여 침수에 가장 민감한 성장을 보인 것으로 나타났다. 나머지 대목에서는 가지 건물중이 대조구의 43~50%, 엽 건물중이 대조구의 39~56%로 나타나 침수조건 하에서 이들 대목의 성장억제 정도는 비슷한 수준을 보였다. 지상부와 달리 침수처리구의 가는 뿌리 건물중을 보면 CG.4814는 대조구보다 오히려 12% 더 높게 나타났고 CG.5087, G.11, G.935는 대조구의 84~87%, G.202, G.214, M.26은 70~74%, M.9는 44%로 가장 낮았다.

Table 4. Dry weight of shoot, leaf, fine root (<2 mm diameter), and coarse root (>2 mm diameter) of 'Fuji' nursery trees grafted on various rootstocks measured at the end of the experiment.

Rootstock	Shoot		Leaf		Fine-root		Coarse-root	
	dry weight (g)		dry weight (g)		dry weight (g)		dry weight (g)	
	CT ^z	WT	CT	WT	CT	WT	CT	WT
G11	34.9bc	15.9bc(46) ^y	37.1ab	19.2ab(52)	5.58bc	4.81ab(86)	0.83bc	2.19ab(264)
G202	44.5a	20.4ab(46)	43.4a	16.9abc(39)	8.17a	5.70a(70)	1.23ab	1.16bc(94)
G214	37.5abc	16.1bc(43)	36.7ab	15.2bc(41)	5.66bc	4.15ab(73)	1.37ab	2.88a(210)
G935	39.2abc	18.7bc(48)	40.2ab	21.3ab(53)	5.77bc	5.02a(87)	1.26ab	2.32ab(184)
CG4814	33.0c	26.0a(79)	34.6b	25.7a(74)	5.45bc	6.14a(112)	2.07a	2.52ab(121)
CG5087	38.4abc	18.5bc(48)	36.3ab	20.1ab(55)	5.55bc	4.65ab(84)	1.58ab	0.73c(46)
M26	43.5ab	21.8ab(50)	43.4a	24.3a(56)	7.63ab	5.62a(74)	0.29c	0.61c(206)
M9	31.7c	12.5c(40)	34.5b	10.5c(30)	5.14c	2.25c(44)	0.19c	0.05c(26)
Significance								
A (Rootstock)	***		**		**		***	
B (Treatment)	***		***		***		*	
A × B	*		*		ns		ns	

^zTreatment: CT (control treatment), WT (waterlogging treatment). ^y(): Percentage compared with CT.

Means in a column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

*, **, and *** significant at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively; ns: not significant.

(5) 낙엽율 및 엽면적

27 일 간의 침수처리와 침수종료 후 18 일 간의 정상관수 기간 동안의 낙엽율은 대목에 따라 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 10). 침수처리 2 주차 후반부터 정도의 차이는 있으나 각 대목의 지상부근 줄기부터 황화낙엽이 나타나기 시작하여 침수종료 후까지 이어졌다(Fig. 11). M.9 대목의 '후지' 묘목에서는 35%의 낙엽율을 보여 침수에 가장 민감하게 반응하였고 G.202와 G.214도 각각 22%와 23%로 타 대목에 비해 높았다. 그러나 CG.5087, G.11, M.26, G.935, CG.4814는 각각 9%, 8%, 6%, 5%, 4%의 낙엽율을 보여 타 대목에 비해 침수에 둔감한 것으로 나타났다. 낙엽율이 높았던 G.214, G.202, M.9는 근계발달에서도 타 대목과 비교해 뚜렷하게 감소하여 줄어든 엽면적과 뿌리발달이 상호 영향을 미친 것으로 보여진다.

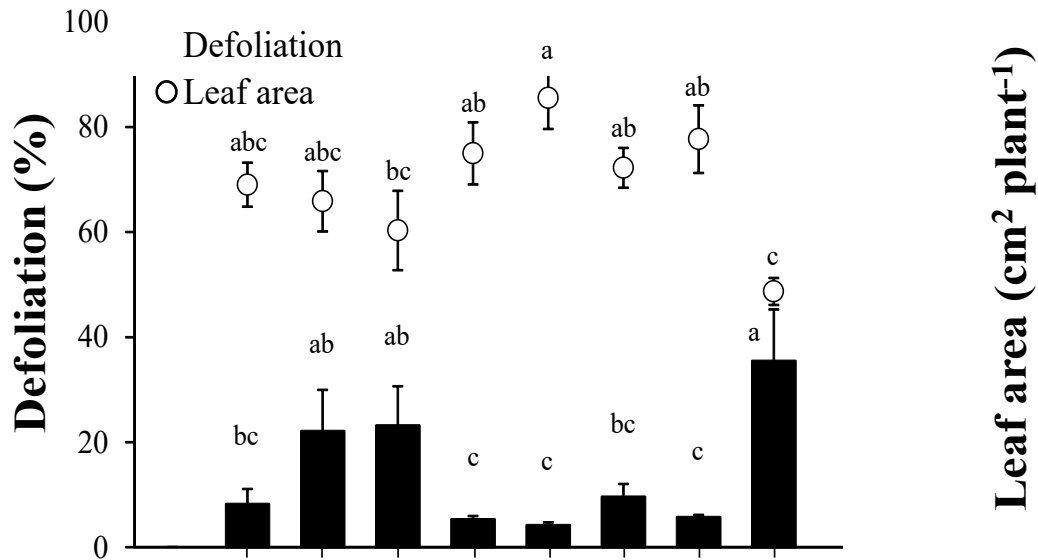


Fig. 10. Defoliation rate and leaf area of ‘Fuji’ nursery trees subjected to WT (waterlogging treatment) at the end of the experiment. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars or circles with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan’s multiple range test.

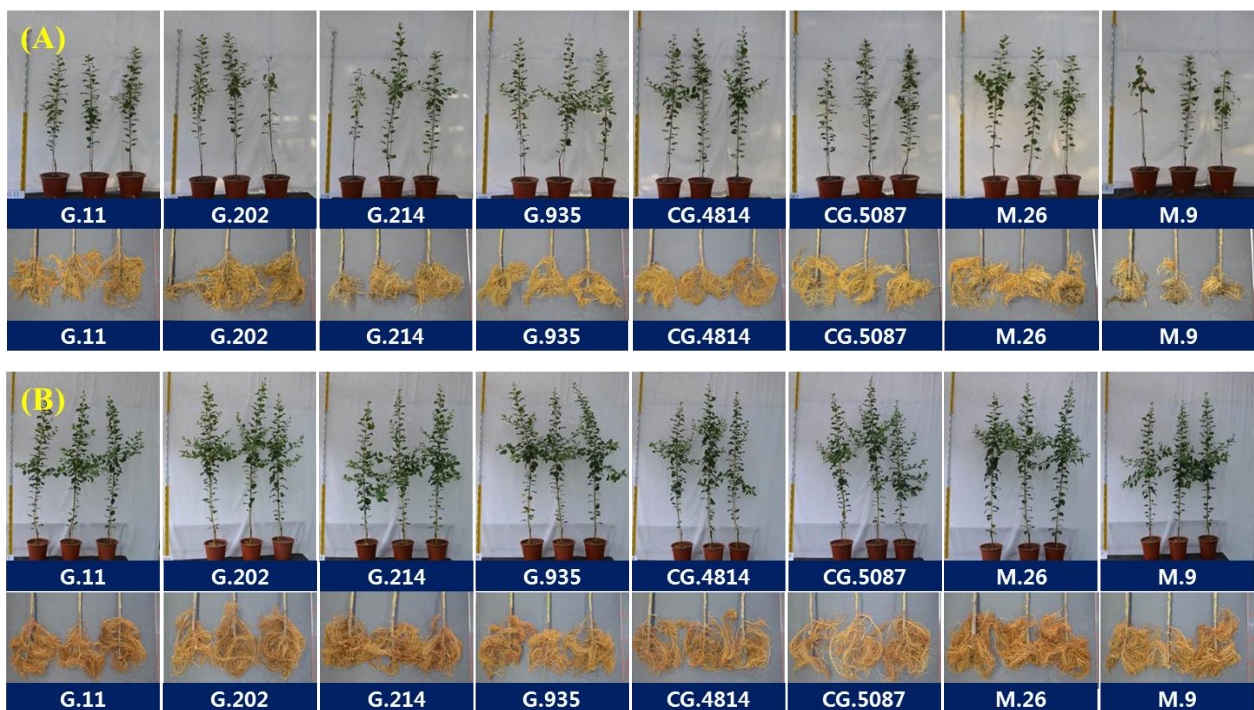


Fig. 11. Comparison of the tree growth of ‘Fuji’ nursery trees grafted on different rootstocks at the end of experiment; Waterlogging treatment (A), Control treatment (B).

라. 고찰

뿌리생장은 일반적으로 높은 이산화탄소 조건보다는 낮은 산소조건에서 제한될 가능성이 더 높다(Kramer 1983). 낮은 산소농도에서는 뿌리의 수리전도도(hydraulic conductivity)가 감소될 수 있고 수리전도도의 감소는 세포 내에 물의 출입을 조절하는 막단백질의 수분수송 저해와 관련이 있는데 이는 결국 엽수분포텐셜에 영향을 미친다(Else et al., 2001; Parent et al., 2008). 본 연구에서는 침수 27일 후 G.202, G.214, M.9의 새벽 및 한낮 엽수분포텐셜은 다른 대목에 접목된 사과나무보다 유의하게($P < 0.05$) 낮았으며 이는 광합성율과 건물중과 직접 관련이 있는 것으로 생각된다(Fig. 8, Table 4). 뿌리의 수분 흡수-이동 경로에 대한 저항 증가(Watanabe et al., 2013)는 이 세 대목에서 더욱 뚜렷하였던 것으로 보여지며 이는 대목 간 침수스트레스에 대한 민감도의 차이를 보여준다. G.202, G.214, M.9 대목에 접목된 나무들의 엽수분포텐셜은 침수중단 18일째도 여전히 낮게 유지되었는데 이는 나무가 침수에 의한 근권부 손상이 바로 회복을 할 수 없거나 회복 불가능 상태임을 보여주었다.

침수 시 식물이 받는 스트레스는 잎의 가스교환 측정을 통하여 그 정도를 가늠할 수 있다(Schaffer et al., 1992). 침수초기의 광합성 감소는 기공컨덕턴스와 관련이 있지만 침수가 길어지면 카복실화효소 변화와 엽록소 손실이 영향을 미친다고 한다(Kozlowski, 1997). 대목종류와 관계없이 침수 27일째 측정된 광합성 감소는(Fig. 8) 근권부의 침수에 따른 산소 부족으로 보인다. 특히 G.202, G.214, M.9의 광합성은 타 대목에 접목된 사과나무보다 낮았으며 엽수분포텐셜이 -2.85MPa 이하로 떨어지면서(Fig. 7) 팽압이 상실되어 기공 폐쇄에 영향을 받았기 때문인 것으로 추정된다. 침수중단 후 18일째에 모든 사과나무들의 광합성율은 어느 정도 회복되었지만 G.214, M.9 나무들은 여전히 타 대목에 비해 현저하게 낮았다(Fig. 8). 이들 나무에서는 뿌리의 수분흡수 기능이 여전히 저하되어 있는데 ABA 또는 에틸렌과 같은 기공조절 관련 호르몬의 수준과 관련 있는 것으로 보인다(Blanke and Cooke 2004).

침수처리 2주차까지는 수고는 대조구와 크게 다르지 않았으나 그 이후부터는 대목 종류에 따른 차이가 뚜렷하게 나타나기 시작했다(Fig. 9). 결과로 볼 때 사과나무는 초기에는 침수에 대한 저항성이 어느 정도 있음을 보여준다. 본 연구에서 침수에 대한 민감도가 상대적으로 높은 G.202, G.214, M.9, M.26은 침수상태가 특정 임계치를 초과하면 저항성이 급격히 감소하는 경향이 있다. 그러나 침수처리구의 G.11, G.935, CG.4814, CG.5087의 수고생장이 타 대목에 비해 다소 떨어졌다(Fig. 9). 추정컨대 엽수분포텐셜이 상대적으로 높게 유지되면서(Fig. 1) 기공컨덕턴스가 덜 민감하게 반응하여 광합성과 영양분 공급에서 차이가 나타났을 뿐 아니라 세포분열 및 신장이 상대적으로 적게 억제되고 뿌리에서 사이토키닌 합성과 수송에 제한을 덜 받았기 때문으로 생각된다.

다양한 대목에 접목된 나무의 가지, 잎, 뿌리의 건물중 감소 범위의 차이는 침수기간 동안 보여준 다양한 엽수분포텐셜과 광합성율 때문일 수 있다(Table 4). 반복적인 침수와 배수는 토양 내 식물생장에 필수적인 질소와 같은 식물 영양소의 침출 또는 용탈을 초래할 수도 있다(Bacon et al., 1986). 침수스트레스로 인한 증산 감소는 토양 내 미량원소가 식물로 흡수되는 것을 제한함으로써 식물생장에 불리한 영향을 미친다(Colin-Belgrand et al., 1991). 뿌리 발달은 접수, 대목 종류, 토성, 토양수분, 토양 통기성, 토양 영양상태와 같은 많은 요인에 의해 영향을 받는다(Webster 2005). 본 연구에서 침수처리구 나무들의 굵은 뿌리 건물중이 대조구 보다 약간 높은 경향이 있었는데 재식전 뿌리다듬기가 원인 중의 하나 일 수 있다. 또한 G 또는 CG계통과 M계통 대목 간 굵은뿌리 건물중 차이는 M.9의 대부분 새 뿌리가 줄기에서 재생되

었다는 것을 감안하면(Abod and Webster 1989) 대목의 특성에 따른 것으로 보인다. CG.4814의 가는 뿌리 건물중은 대조구 보다 침수구에서 좀 더 높았는데 재식 전 줄기에 부착된 굵은 뿌리의 건물중 차이 때문인 것으로 보여진다(Table 4). 그림에도 불구하고 가는 뿌리 건물중이 대조구에 비해 침수처리구에서 감소가 없던 점을 고려하면 CG.4814는 침수에 상대적으로 민감도가 낮은 것으로 판단이 가능하다.

침수된 식물에서의 낙엽은 IAA 합성을 억제하고 수송을 방해하는 에틸렌 생성과 관련이 있으며(El-Beltagy and Hall 1974) 이에 수반하여 ABA 생산이 증가하면서 잎의 탈리를 촉진시킨다고 알려져 있다(Addicott 1991). 침수기간 동안 G.202, G.214, M.9 나무들은 타 대목에 비하여 더 많은 낙엽이 있었는데 침수에 의해 유발된 스트레스가 낙엽에 영향을 미친 것으로 보여진다(Fig. 4). 하지만 타 대목에 접목된 나무들은 이들 세 대목보다 낙엽율이 낮았기에 침수에 대한 저항성이 있는 것으로 보여진다. 본 연구에서 낙엽을 증가에 따른 엽면적 감소는(Fig. 4) 근권부가 혐기성 조건 하에서 스트레스가 심해지면서 생리적 낙엽이 일어났기 때문으로 보인다(Gomez-Cadenas et al., 1996; Parolin and Wittmann 2010). 따라서 침수에 의한 과도한 엽면적 감소(G.202, G.214, M.9)로 전체 식물이 생산한 광합성 산물이 감소함에 따라 각 부분의 건물 생산과 분배에 영향을 미친 것으로 판단된다.

결론적으로 4주 동안 반복적인 침수는 나무의 생리적 반응, 건물 생산, 수고생장에 부정적인 영향을 미쳤다. 침수 초기 단계에서는 모든 나무들이 다소 저항성을 보였다. 침수처리 3주차부터는 일부 나무에서 잎의 위조증상이 나타나면서 나무의 생장이 급격히 악화되었고 대목에 따라 침수저항성이 나타나기 시작하였다. 회복종료 시점에서 침수 처리된 나무들은 대조구보다 여전히 엽수분포텐셜과 광합성 속도가 낮았고 G.202, G.214, M.9 나무들 중 일부 개체들은 낙엽율이 심한 것으로 보아 단기간 내에 회복은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과는 M.9 대목에 접목된 사과나무가 침수에 가장 민감하였고 G.214와 G.202 나무도 M.9와 비슷한 민감도를 보인 것으로 나타났다. 이와 반대로 CG.4814에 접목된 나무들은 M.26 나무보다 침수에 대한 내성이 강했고 CG.5087, G.935, G.11 나무들은 M.26 나무와 비교할 만한 내성을 보인 것으로 평가되었다.

2-2-3. 내동성

가. 서론

과수 내동성은 전년도 착과량, 영양상태, 병해충, 관수, 전정, 나무세력, 단기간 기온변동(Westwood, 1993; Khanizadeh et al., 2000), 그리고 신초의 조기 성장종료를 유도하는 무기물과 호르몬 운반에(Webster, 2004) 영향을 미치는 대목의 수리전도도의 영향을 받는다(Webster and Wertheim, 2003). 사과나무는 생장이 정지되면서 내동성이 발달하고 휴면은 낮의 길이보다는 저온에 의해 유도된다(Larcher, 1995; Heide and Prestrud, 2005). Kweon 등 (2013)은 국내에서 주로 재배되는 사과품종인 ‘쓰가루’의 휴면개시는 9월 초 이전인 반면 ‘후지’와 ‘홍로’는 9월 중순 이후에 휴면에 들어간다고 한다. 늦여름 낮의 길이가 단축되면서 가지의 정아는 ABA 호르몬이 증가하면서 그 작용으로 겨울눈으로 전환이 되면서 휴면상태에 들어가게 된다(Larcher, 1995). 온대 과수는 휴면이 시작되면 계절적으로 전분함량은 감소하지만 자당, 포도당, 과당과 기타 수용성 탄수화물이 축적이 되면서 내동성이 증가한다(Palonen, 1999). 식물은

동결회피 또는 동결저항 매커니즘을 통해 저온에서도 식물이 생존할 수 있다. 동결의 정도는 체내 수분함량과 냉각속도에 따라 다르게 나타난다. 냉각속도가 매우 빠르면 세포내에 얼음 결정체가 형성이 되어 세포 파괴가 일어난다(Tromp, 2005). 또한 세포막이 세포 바깥쪽에서 자라는 얼음 결정체에 의해 손상되거나 심각한 탈수로 인해 원형질이 응고되면서 세포가 고사되기도 한다(Asahina, 1956).

Hauagge와 Cummins(1991)는 내재휴면 타과를 위한 저온요구도는 사과품종에 따라 차이가 크다고 한다. 사과품종에 따라 휴면심도는 다르지만 일반적으로 휴면타과를 위해서는 6~7°C 온도가 800~1,200 시간이 필요한 것으로 알려져 있다(Hauagge and Cummins, 1991; Tromp, 2005). 저온요구도가 충족이 되면 타발적 휴면으로 전환이 되고 온도가 상승하면서 탈경화가 진행된다(Doorenbos, 1953). 이후 물관부 유조직, 표피, 꽃눈조직은 급격히 내동성을 상실하게 된다(Ketchie, 1985; Szalay et al., 2010). 겨울 동안 근권부의 낮은 온도는 뿌리의 세포막의 유동성을 감소시켜 수분흡수를 제한하지만(Wan et al., 2001) 토양온도가 증가함에 따라 나무의 수분함량이 증가하면서(Ewers et al., 2001) 내동성은 약해져 동상해가 발생 가능성이 높다(Bittenbender and Howell, 1975). Pregitzer 등(2000)은 온대지역에서 이른 봄 새로운 뿌리의 생장개시와 생장속도는 토양에 누적된 복사열과 직접 관련이 있다고 하였다. 식물의 내동성은 경화 및 탈경화 시기와 정도뿐만 아니라 재경화 능력도 중요하다(Palonen and Buszard, 1997). Friedrich와 Fischer(2000)는 사과나무 발아시기에 9일 간 다양한 온도조건에서 가지를 저장한 후 -11°C에서 저온처리를 하여 재경화가 내동성에 미치는 영향을 조사하였다. 보고서에 따르면 0°C에서 8일 저장 후 20°C에서 1일 저장했을 때가 0°C에서 6일, 20°C에서 2일, 다시 0°C에서 1일 저장했을 때보다 손상정도가 심한 것으로 나타났다고 한다. Howell과 Weiser(1970)는 사과나무를 20°C에서 2일 동안 탈경화를 시킨 경우 -15°C에서 3일 간 재경화 처리를 하여야 본래의 내동성을 회복할 수 있다고 하였다. 따라서 사과나무 대목의 저온 저항성은 한 겨울 보다는 저온요구도가 충족이 된 이후의 온도와 기간에 따라 약해짐을 알 수 있다(Ketchie, 1985). 저온에 대한 저항성은 사과나무 대목 종류에 따라 다르며 세력이 좀 더 강한 대목이 약한 대목보다는 상대적으로 내동성이 강한 것으로 알려져 있다(Wildung et al., 1973; Żurawicz and Lewandowski, 2014). Moran 등(2011)은 유망 대목인 G.11과 G.935의 내동성은 기존의 M.26과 비슷하거나 높은 것으로 평가되고 있다.

본 시험은 유망 G, CG.계통 대목과 기존 M.9, M.26대목을 중심으로 우리나라 기상환경 하에서 각 대목의 휴면심도와 동해에 대한 연관성을 알아보고 내동성 측면에서 기존 대목 대체 가능성을 평가하고자 수행되었다.

나. 재료 및 방법

[1차년도]

시험 1. 대목별 뿌리생장 시기 조사

재료 및 방법

(1) 공시재료

공시재료는 묻어떼기 방법으로 증식한 G.11, G.16, G.202, G.214, G.935, CG.4814, M.9, M.26 대목을 사용하였고, 시험시기는 2016년 2월 16일부터 4월 29일까지 경북대학교 부속실습장 과수원에서 실시하였다. 처리방법은 직경 7cm 높이 25cm 투명 아크릴 원통을 사용하여 표면에 가로×세로 눈금 1cm의 투명 눈금필름을 부착하고 하단에는 통기가 가능한 천을 사용하여 마감을 한 다음 대목을 이식하고 30cm 깊이 구덩이에 재식간격 40cm로 배치하였다(Fig. 1).



Fig. 1. A scale was attached to the surface of a cylindrical transparent acrylic pots and rootstocks were planted.

(2) 조사방법

투명 아크릴 원통에 1주씩 재식된 대목을 토양매립 후 15일이 지난 시점부터 7일 간격으로 아크릴 원통을 굴취하여 뿌리발달 시기를 육안관찰 하였다(Fig. 12). 3월 30일 시험이 종료되고 대목을 아크릴 원통에서 뽑아낸 다음 뿌리를 수세하고 새로 자라난 뿌리의 총 길이를 조사하였다. 뿌리발달 조사완료 후 ‘후지’ 품종을 각 대목에 접목을 한 다음 노지에 이식하여 접수의 발아시기를 관찰하였다. 근권부의 토양온도는 지온측정기(WT 1000N/H)를 이용하여 시험기간 동안 1시간 단위로 기록하였다. 대기온도는 자동습도 데이터로거(EL-USB-2-LCD/UK)를 지상 1m 높이에 설치를 하여 1시간 단위로 기록하였다.

시험 2. 온난기간 경험 후 저온 조우에 따른 대목별 내동성 검토

재료 및 방법

(1) 공시재료

공시재료는 G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, M.9, M.26에 접목된 1년생 후지 접목묘를 사용하였다. 처리 시기는 2016년 2월 하순부터 낮 기온이 15℃ 이상 5일 연속 이어진 후인 3월 1일 저온 저장고에 포트를 입고시키고 -15℃까지 대기온도를 1℃/h 속도로 하강시켜 3시간 저온처리 하였고 이후 회복 온도는 2℃/h 속도로 대기온도까지 상승시켰다.

(2) 조사항목 및 조사방법

대기 및 저온 저장고 온. 습도 측정은 30분 단위로 측정하였고 2월 중순경 지표면 위쪽 15cm 지점 대목부위에 길이 2mm, 깊이 1mm정도 칼로 상처를 낸 다음 써머커플 K-type을 수피내로

삽입하고 수피온도를 30분 단위로 측정하였다. 가지의 함수량 측정은 저온저장고 입고 전 직경 3~5mm정도 하단부 가지를 20cm 길이로 채취하고 수분이탈을 막기 위해 바로 호일로 시료를 감싼 다음 실험실로 가져와 생체중량을 측정하고 동일 시료를 80℃에서 48시간동안 건조시켜 건물중을 측정한 다음 함수율(%)로 환산하였다. 발아율 조사는 저온처리 후 정아 및 측아 발아율(발아눈/총 꽃눈)을 조사하였다.

[2차년도]

재료 및 방법

(1) 공시재료

본 시험은 경북대학교 군위부속실습장 시험포장에서 2017~2018년에 걸쳐 실시되었다. 공시 대목은 미국 Cornell 대학에서 분양 받은 G 및 CG계통 대목(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087)과 우리나라에 기 도입된 M.26, M.9 대목을 이용하였다. 휴면심도 및 뿌리 발근 조사는 이랑묻어떼기로 증식한 대목을 이용하였고 대목의 내동성 시험에 사용된 재료는 각각의 대목에 '후지' 품종을 접목한 2년생 묘목을 사용하였다.

(가) 휴면심도

휴면심도는 일반적으로 채취한 가지를 수습하고 발아에 소요되는 일수를 조사하는 방법이 사용되며 일정한 조건의 온도에서 발아시킬 때 발아까지 소요 일수가 15일 전후이면 내재휴면이 타파가 된 것으로 간주한다(Kim et al., 2006).

휴면심도 조사를 위해 12월 21일부터 2월 11일까지 약 10일 간격으로 정아가 충실히 발달한 것으로 판단되는 대목의 상단부를 각 대목별로 20개씩 30cm정도 길이로 절취한 후 수돗물로 세척한 다음 용기에 수습하고 생장실에서 배양하였다. 생장실 환경은 온도 23℃, 습도 30%, 이산화탄소 350ppm, 일조시간 16/8(day/night)을 유지하였고 수조의 물은 매일 교환 하였으며 기부의 부패방지를 위해 3일 간격으로 약 1cm씩 절단하였다. 발아판정은 수습한 가지의 정아가 녹색으로 출아되었을 때 하였고 수습한 가지가 60% 발아할 때까지 걸린 일수를 평균으로 취하여 휴면심도를 판정하였다(Kweon et al., 2013).

(나) 자발적 휴면기 내동성

전해질 누출율

동해지표(Index of injury, It)를 산출하기 위해 1월 11일 각 대목 상단부를 약 30cm 길이로 20개씩 절취한 다음 1월 12일, 1월 13일 양일에 걸쳐 1℃단위로 온도제어가 가능한 자체 제작 주문한 저온 냉동고를 이용하여 -30℃, -40℃조건에서 내동성 시험을 실시하였다(Fig. 2). 냉동고 입고 대목들은 급격한 온도 변화에 노출시키지 않도록 신문지로 감싼 후 스티로폼 박스에 넣어 저온처리 하였다. 감싼 대목의 온도는 써머커플 센서를 이용해 5분단위로 기록하며 온도 하강 범위를 모니터링 하였다.

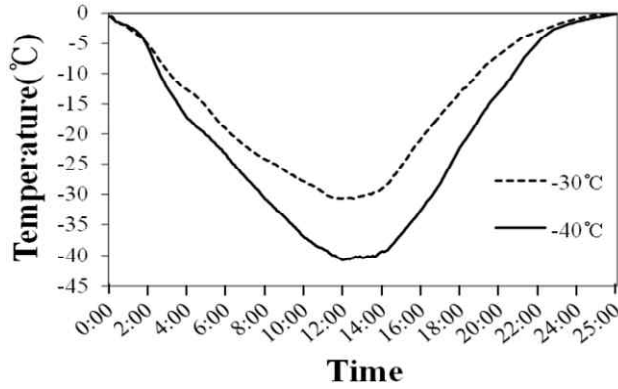


Fig. 2. Changes in temperature at each level applied to shoots of each 1-year-old rootstock placed inside the Styrofoam.

전해질 누출을 조사방법은 동결처리 전과 후에 각각 꽃눈을 제거한 가지를 0.5cm정도 길이로 절단후 2g으로 정량한 다음 코니칼튜브에 넣고 30ml 증류수를 채우고 셰이커에서 25℃, 100rpm으로 24시간 진탕 후 전기전도계(EC)로 전해질 누출량을 측정하였다. 측정된 시료는 다시 120℃에서 20분간 autoclaving하여 조직을 파괴한 후 24시간 후 전해질 누출량을 조사하였다. 동결처리 전 상대전도도($RC_{control}$)와 동결처리 후 상대전도(RC_{frozen})는 아래 Josson et al.(2004)가 제시한 방법으로 구하였다.

$$\text{Relative conductivity} = (\text{Initial conductivity} / \text{conductivity after autoclaving})$$

$$It(\text{Index of injury}) = 100 \times (RC_{frozen} - RC_{control}) / (1 - RC_{control})$$

(다) 타발적 휴면기의 내동성

타발적 휴면타과후 3월 7일 대목 증식포에서 1년생 대목의 상단부를 약 30cm 길이로 20개씩 절취한 다음 자발적 휴면기 내동성 처리와 같은 방법으로 각각 -15℃, -25℃로 처리(Fig. 3)를 하고 동해지표를 구하였다.

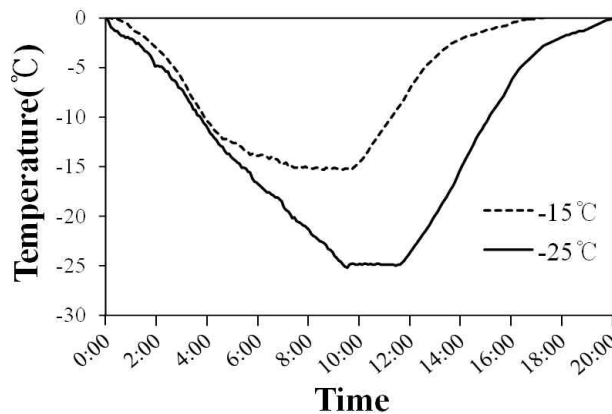


Fig. 3. Changes in temperature at each level applied to shoots of each 1-year-old rootstock placed inside the Styrofoam.

노지재식 2년생 사과나무 내동성

3월 5일 각 대목별로 ‘후지’ 품종이 접목된 2년생 사과나무 대목부위에 인위적인 디하드닝(dehardening) 처리를 위해 투명 플라스틱 필름을 원통형으로 감싸고(Fig. 4) 온실효과에 의한 기온상승을 유발하였다. 플라스틱 필름 높이는 지면에서 30cm 정도 되도록 하고 내부공간은 대목과 약 2cm정도 공간을 유지하였다. 대목 표피 온도는 지상부 약 10cm 남서쪽 방향에 써머커플 K-type의 센서를 표피 내에 삽입하여 측정하였다(Fig. 5). 약 9일간 온도상승 처리 후 3월 13일 오후 2시경 모든 대목들을 수확하였다. 약 50cm 길이로 대목을 절단하여 냉동고에 입고 전 대목의 급격한 온도하강을 막기 위해 대목을 에어캡 단열시트로 감쌌다.

에어캡 내부온도 측정은 써머커플 k-type을 이용하였고 냉동고에 입고시킨 후 약 1°C/h 속도로 하강시켰다. 온도가 -10°C에 이르렀을 때 2시간을 유지시킨 후 다시 서서히 0°C까지 상승시켜 해동을 하였다(Fig. 5). 해동이 끝난 대목은 수습하여 온도가 23°C로 일정하게 유지되는 생장실에서 10일간 보관한 다음 3월 24일 대목부위의 표피를 약 가로(3cm) × 세로(5cm)정도 벗겨내고 0.5%농도 TTC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 시약에 2시간 침전시킨 후 관찰하였다. TTC 검정은 TTC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 용액이 붉은 색의 Triphenylformazan으로 환원되는 정도로서 조직의 활력을 판정하는 방법이다.



Fig. 4. Each rootstocks covered with transparent plastic film to induce artificial dehardening.

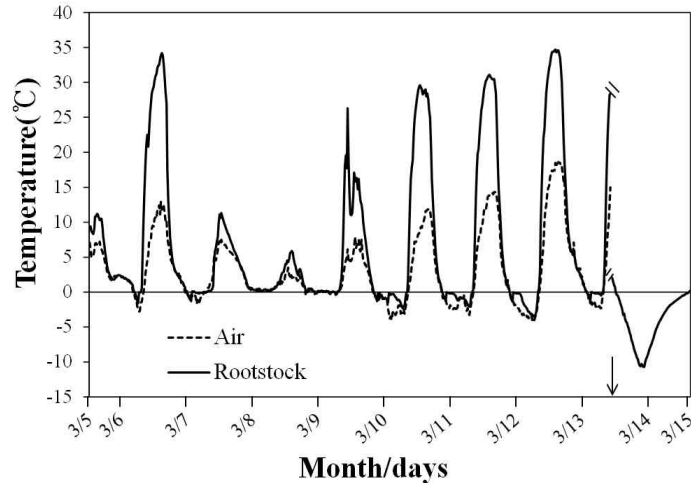


Fig. 5. Change in temperature inside the rootstocks stem bark at 10 cm above the ground caused by an induced artificial temperature-rise. Arrow indicates the time of harvesting the rootstocks. The temperature change on March 13 was the low temperature that the harvested rootstocks encountered under a controlled environment.

줄기 수분함량

각 대목별 생육개시 시기를 추정하기 위해 3월 3일(대목부위 투명필름 피복 전)과 3월 13일(피복 후) 2회에 걸쳐 시험포장에 재식된 2년생 ‘후지’ 묘목을 각 대목별 10주씩 선정 후 지상부 40cm지점에서 약 0.3g의 표피를 채취한 후 수분손실을 막기 위해 샘플을 바로 랩과 호일로 감싼 다음 생체중을 측정하였다. 건물중 측정을 위하여 샘플을 건조기에 넣고 72°C조건에서 24시간 건조 후 건물중을 측정하여 10일 간의 표피 내 수분함량 변화를 구하였다.

재식 2년생 사과나무의 수피내 당 함량

3월 3일 지상부 15cm 지점에서 약 0.2g의 수피를 대목별로 5반복씩 채취한 다음 시료를 동결건조 시켰다. 건조된 시료는 막자사발로 분쇄시켜 0.2g으로 정량한 다음 증류수 2ml와 함께 섞은 후 4°C에서 12,000rpm으로 20분간 원심분리(VS-15000CFN2.Korea)하여 얻어진 상정액을 membrane filter(Milipore 0.2µm)로 여과한 후 HPLC(Shimadzu Co., Model Prominence, Japan)로 수용성 탄수화물을 분석하였다.

대목별 뿌리발달과 발아 시점

3월 8일 스티로폼 상자(가로×세로×높이 각 40cm)에 상토를 채운 다음 충분히 수분을 공급하고 덮개에 지름 약 0.5cm 구멍을 뚫고 공시대목을 10주씩 재식하였다(Fig. 6). 대목이 재식된 상자는 토양 내에 매립하고 15일후부터 약 3일 간격으로 발근까지의 걸린 시기와 발아시기를 조사하였다.



Fig. 6. Investigation of root development timing and bud burst according to rootstocks type.

[3차년도]

(1) 공시재료

본 시험은 경북대학교 군위부속실습장 시험포장에서 2018~2019년 겨울철에 실시되었다. 공시대목은 미국 Cornell대학교에서 분양 받은 G 및 CG계통(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087)과 우리나라에 기 도입된 M.26, M.9 대목이 사용되었다.

(2) 처리내용 및 방법

(가) 자발적 휴면기 내동성

휴면심도

휴면심도 조사를 위해 12월 20일부터 2월 10일까지 10일 간격으로 대목증식포에서 1년생 대목의 상단부분을 각 대목별로 20개씩 30cm정도 길이로 절취한 후 수돗물로 세척한 다음 수습하여 생장실에 두었다. 생장실 조건은 온도 22℃, 습도 40%, 일조시간 16/8(day/night)을 유지하였다. 수조의 물은 매일 교환하였으며 채취가지 기부의 부패방지를 위해 3일 간격으로 약 1cm씩 절단하였다. 발아판정은 수습한 가지의 정아 끝이 녹색으로 보였을 때로 하였고 수습한 가지가 60%가 발아할 때까지 걸린 일수가 평균 15일이면 휴면타과로 보았다(Hauagge and Cummins, 1991; Kim et al., 2006; Kweon et al., 2013).

-25℃, -35℃ 처리 후 전해질 누출

자발적 휴면기라고 추정되는 1월 11일 대목 증식포에서 각 대목 상단부를 약 30cm 길이로 20개씩 절취한 다음 1℃ 단위로 온도제어가 가능한 저온 냉동고를 이용하여 -25℃, -35℃ 각각의 조건을 노출되도록 하였다(Fig. 7). 냉동고 입고 전 각 대목들을 급격한 온도 변화에 노출시키지 않도록 신문지로 감싼 후 스티로폼박스에 넣어 저온처리를 하였다. 처리별 냉동고 온도 하강 속도는 약 3℃~4℃/h 범위로 조절하였으며 목표 온도인 -25℃, -35℃에 도달 한 후 2시간을 경과 후 다시 3℃~ 4℃/h 상승속도로 해동하였다. 스티로폼박스 내 온도는 써머커플 k-type을 이용해 5분 단위로 기록하며 온도하강 범위를 모니터링 하였다.

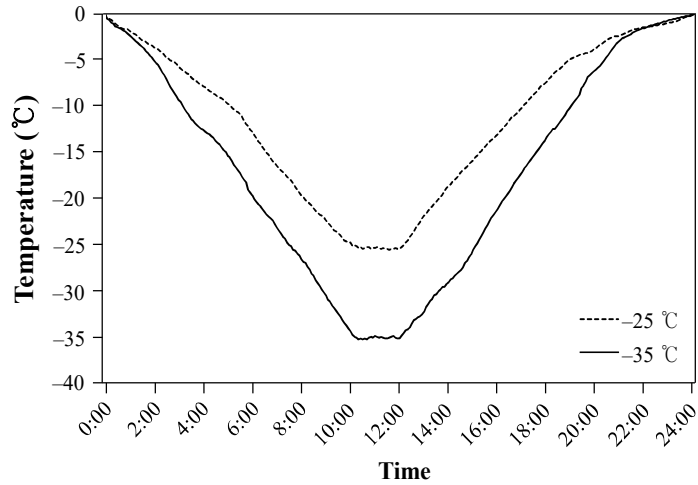


Fig. 7. Changes in temperature at each level applied to shoots of each 1-year-old rootstock placed inside the Styrofoam.

동결처리 전과 후에 각각 가지를 0.5cm 정도 길이로 절단하여 1.5g으로 정량한 다음 코니칼튜브에 넣고 30ml 증류수를 채우고 шей커에서 25°C, 100rpm으로 24시간 진탕 후 용액을 전기전도계(HI-9813-6, Hanna Instruments, Inc., Romania)로 측정하는 방법으로 전해질 누출율을 조사하였다. 측정된 시료는 120°C에서 20분간 autoclaving하여 조직을 파괴하고 다시 24시간 후 전해질 누출율을 조사하였다. 대조구 가지는 동결처리 하지 않았다. 동결처리 전의 상대전도도($RC_{control}$)와 동결처리 후의 상대전도(RC_{frozen})는 아래 Josson et al. (2004)의 방법(1)을 이용하여 동해지표(2)로 삼았다.

$$\text{Relative conductivity} = (\text{Initial conductivity} / \text{conductivity after autoclaving}) \quad (1)$$

$$\text{Index of injury} = 100 \times (RC_{frozen} - RC_{control}) / (1 - RC_{control}) \quad (2)$$

(나) 타발적 휴면기 내동성

-15°C, -25°C 처리 후 전해질 누출

3월 1일 대목증식포에서 각 대목별 상단부 줄기를 약 30cm 길이로 20개씩 절취한 다음 자발적 휴면기 저온처리와 동일한 방법으로 -15°C, -25°C 처리(Fig. 8)를 하고 동해지표를 구하였다.

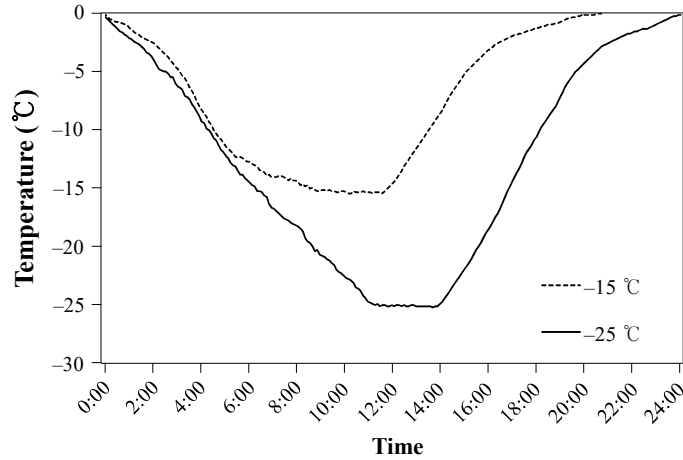


Fig. 8. Changes in temperature at each level applied to shoots of each 1-year-old rootstock placed inside the Styrofoam.

줄기압

낙엽성 수목은 겨울에 수액이 얼면서 기포가 발생하여 물관의 수분이동 기능이 상실되는데 발아하기 전에 물관의 기능을 복원함과 동시에 수체 각 부위에 수분 공급을 원활하게 하기 위하여 줄기의 물관부에 +압력이 발생된다. 잎이 피어 증산량이 증가하면 다시 물관의 압력이 -로 떨어지면서 수분이동의 통로로서 기능하게 된다. 따라서 줄기물관의 +압력이 발아를 위한 준비과정으로 볼 수 있어 타발적 휴면기의 동해와 상관성이 있을 수도 있다는 관점에서 줄기압 변화를 측정하였다(Fig. 9).

줄기압 측정은 2L 화분에 재식된 1년생 대목을 이용하여 실시하였다. 2월 15일 지점부 위쪽 15cm지점 줄기를 절단(대목당 3그루)하고 내경이 1cm, 길이 7cm의 투명 연결튜브 한쪽끝을 줄기에 끼워넣고 밀봉하였다. 튜브의 다른 한쪽 끝은 압력 변환기(MPX5100DP, Freescale Semiconductor, Inc.)에 연결하였다. 그런 다음 알루미늄 호일을 이용하여 투명 연결튜브를 감싸 직사광선이 닿는 것을 차단하였다. 2월 15일부터 4월 4일까지 처리기간 동안 측정된 값은 1시간 간격으로 자동으로 아두이노(ATMEGA328 microcontroller)에 기록되게 하였다(Thalheimer, 2013).



Fig. 9. Pot planting 1-year-old rootstock stem pressure measurement.

(다) 탈경화처리 후 내동성

인위적 탈경화 처리에 의한 내동성 검증은 노지에 재식된 1년생 대목이 이용되었다. 3월 4일 투명플라스틱 필름(폭 20cm, 높이 25cm)을 원통형 모양으로 지접부 대목부위를 감싸고 인위적인 대목부위 온도상승을 유발하였다.

대목 수피의 수용성 탄수화물

3월 3일 지상부 15cm지점에서 약 0.3g의 수피를 대목별로 5반복(2주를 1반복)씩 시료를 채취한 다음 동결건조 시켰다. 건조된 시료는 막자사발로 분쇄시켜 0.2g으로 정량한 다음 증류수 2mL와 함께 섞은 후 4℃에서 12,000rpm으로 20분간 원심분리(VS-15000CFN2.Korea)하여 얻은 상정액을 membrane filter(Milipore 0.2 μ m)로 여과한 후 HPLC(Shimadzu Co., Model Prominence, Japan)로 수용성 탄수화물을 분석하였다. 남은 잔사는 페놀-황산(DuBois et al., 1956) 분석법을 이용하여 총당함량을 구하였다. 흡광도는 분광광도계(UV-1800, Shimadzu)를 이용하여 490nm에서 측정하였고 표준용액으로는 포도당(25, 50, 75, 100mg/L) 용액을 제조하여 사용하였다.

TTC(2,3,5-triphenyltetrazolium chloride) 검정

약 4일간 온도상승 처리 후 3월 8일 오후 4시경 모든 대목들을 수확하였다. 약 50cm길이로 대목을 절단하여 수확하였고 냉동고에 입고 전 대목의 급격한 온도하강을 막기 위해 대목을 에어캡 단열시트로 감쌌다. 에어캡 내부온도 기록은 써머커플 k-type을 이용하였고 냉동고에 입고시킨 후 약 1℃/h속도로 하강시켰다. 온도가 -8℃에 이르렀을 때 2시간을 유지시킨 후 다시 서서히 0℃까지 상승시켜 해동을 실시하였다(Fig. 10).

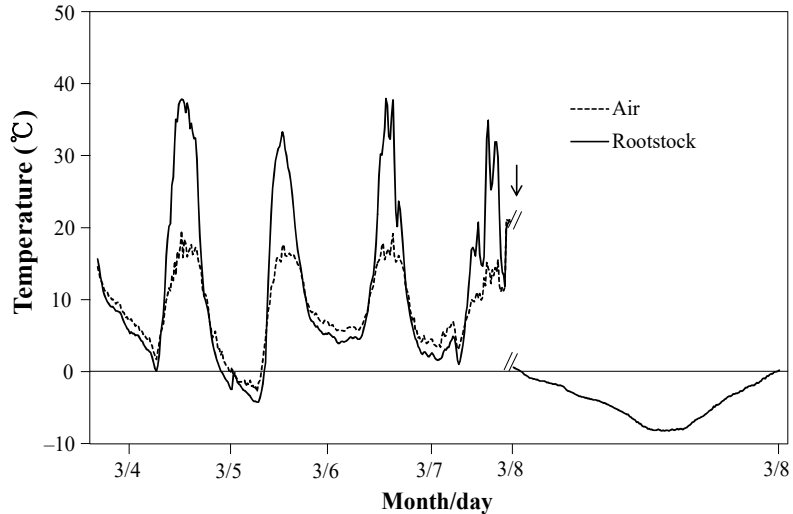


Fig. 10. Change in temperature inside the rootstocks stem bark at 10 cm above the ground caused by an induced artificial temperature-rise. Arrow indicates the time of harvesting the rootstocks. The temperature change on March 8 was the low temperature that the harvested rootstocks encountered under a controlled environment.

해동이 끝난 대목은 수삽하여 온도가 23°C로 일정하게 유지되는 생장실에서 7일간 보관한 다음 대목부위의 표피를 가로(3cm)×세로(5cm)정도 벗겨내고 0.1% 농도 TTC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 시약에 15시간 침전시켰다. 그 후 10mL 무수에탄올에 시료를 침전시켜 70°C 조건에서 30분간 처리한 다음 530nm 에서 흡광도(UV-1800, Shimadzu, Japan)를 측정하였다.

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 95%의 신뢰수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

다. 결과 및 고찰

[1차년도]

시험 1. 대목별 뿌리생장 시기 조사

근권부의 토양온도는 대기 온도와의 밀접한 관계가 있다. 대목재식 후 첫 15일 간 토양평균 온도는 4.5°C 였고 이후 15일 간의 온도는 7.4°C로 상승한 것을 확인 할 수 있다(Fig. 11). 시험 시작 약 한 달 후인 3월 16일(첫 번째 화살표)에 대부분 대목에서 첫 번째 뿌리발근이 관찰되었고 3월 23일(두 번째 화살표)에는 모든 대목에서 뿌리발근을 관찰할 수 있었다.

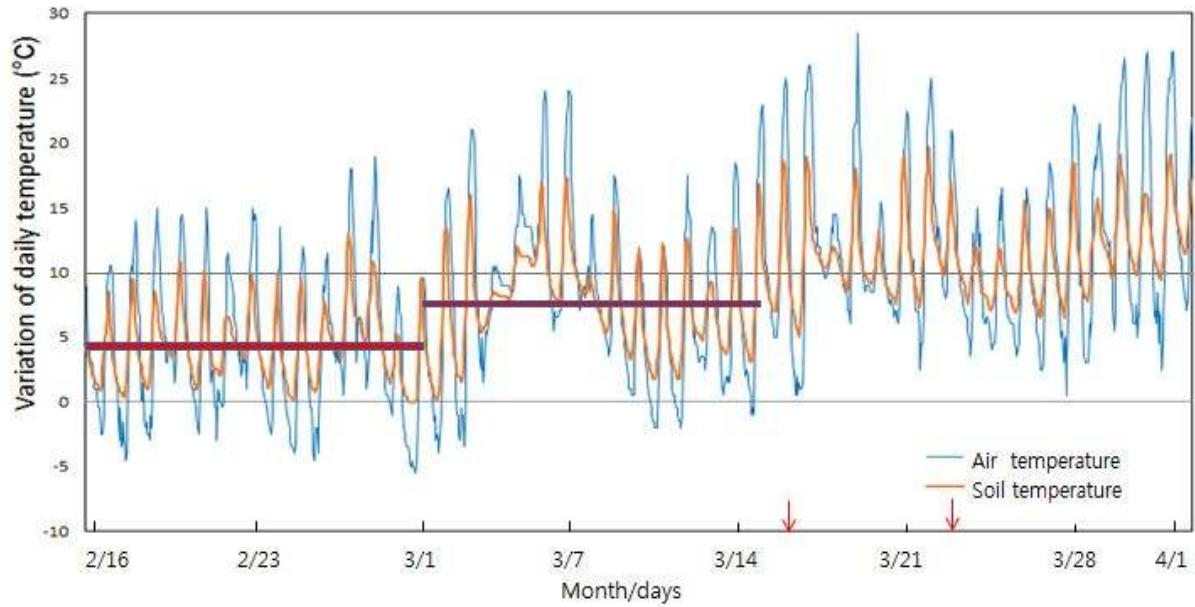
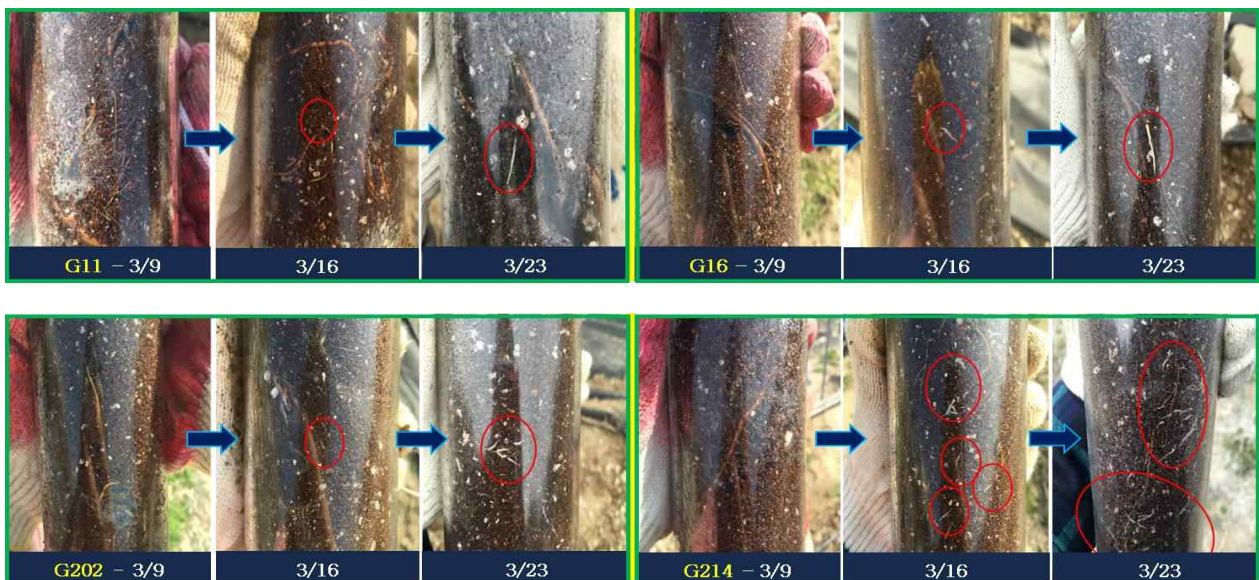


Fig. 11. Change in daily air and soil temperature during the experimental period. The first arrow indicates the date when the first root growth was observed with the visual observation, and the second arrow indicates the date when all root growth was observed respectively.

대목별 뿌리발달 시기를 보면 사진에서처럼 시간이 지날수록 뿌리발달이 증가하는 것을 확인할 수가 있으며 대목 중에서는 G.214, G.935, CG.4814 대목이 육안관찰 결과 타 대목에 비해 뿌리생육 개시가 빠른 것으로 조사되었다(Fig. 12, Fig. 13). 반면 M.26 대목의 뿌리발근은 관찰 종료시점인 3월 23일경이 되어서야 새 뿌리발근을 관찰할 수 있었다.



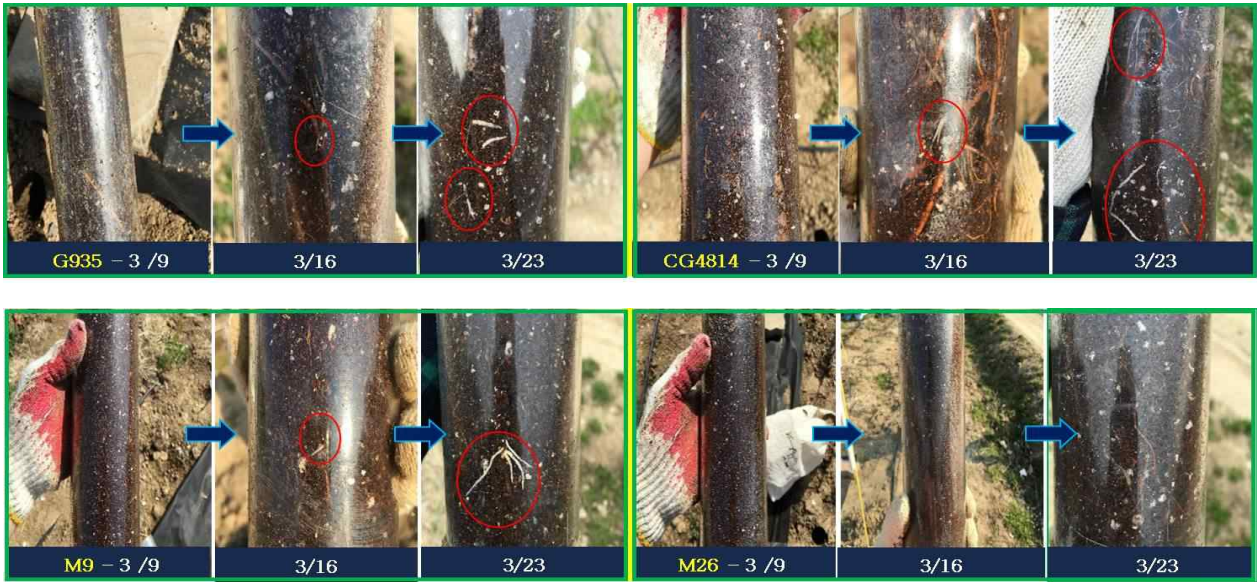


Fig. 12. Root development of apple rootstocks along the flow of time.

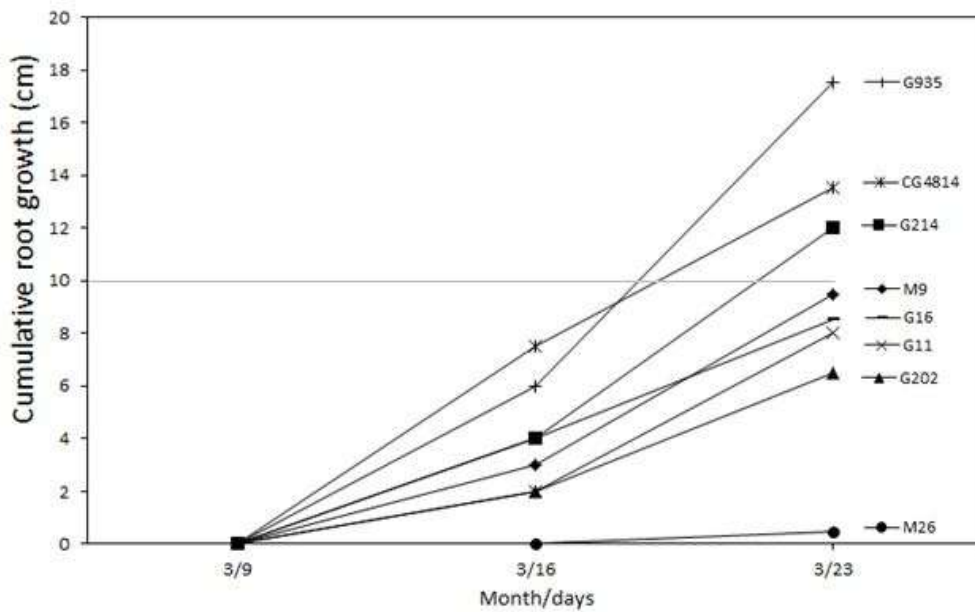


Fig. 13. Visual observations of roots development with time after planting.

뿌리 수세 후 실제 뿌리발근 조사에서 M.9 대목이 가장 많은 뿌리 성장량을 보였는데 이는 육안조사와 달리 M.9 대목에서 새 뿌리 발근이 주로 대목줄기에서 발근되어(Abod and Webster, 1989) 육안조사 결과와 달리 뿌리발달이 가장 빠른 대목으로 판단된다(Fig. 14, Fig. 15). 반면 M.26 대목은 뿌리수세 후 조사에서도 대목 중에서도 가장 적은 량의 뿌리 성장을 보여 뿌리성장 개시가 상대적으로 타 대목에 비해 늦은 편이었다. G계통 대목은 대체로 육안조사 결과와 유사하였으나 G.202 경우 뿌리 수세 후 조사에서는 뿌리발달이 G.935와 비슷한 수준이었다. 실제로는 뿌리발달이 상대적으로 빨리 개시되었고 반면 G.11의 경우는 G계통 중에서는 뿌리 발달이 가장 늦은 것으로 나타났다.

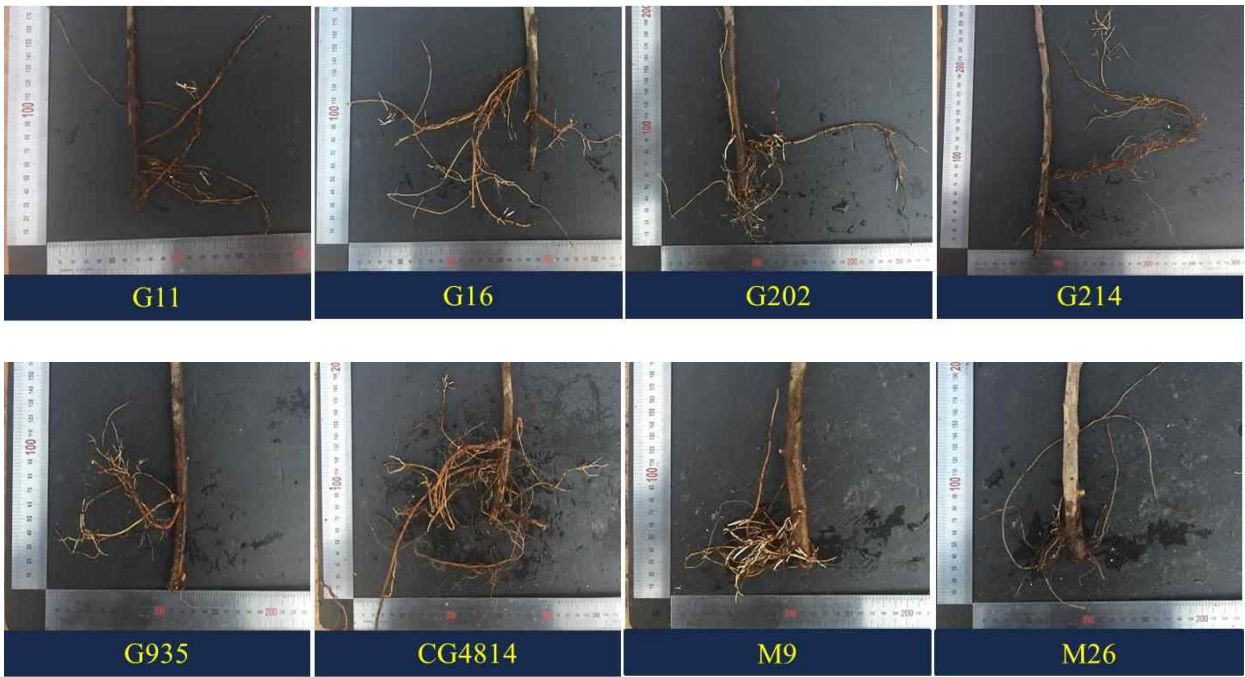


Fig. 14. Root development according to each rootstock type after washing the root.

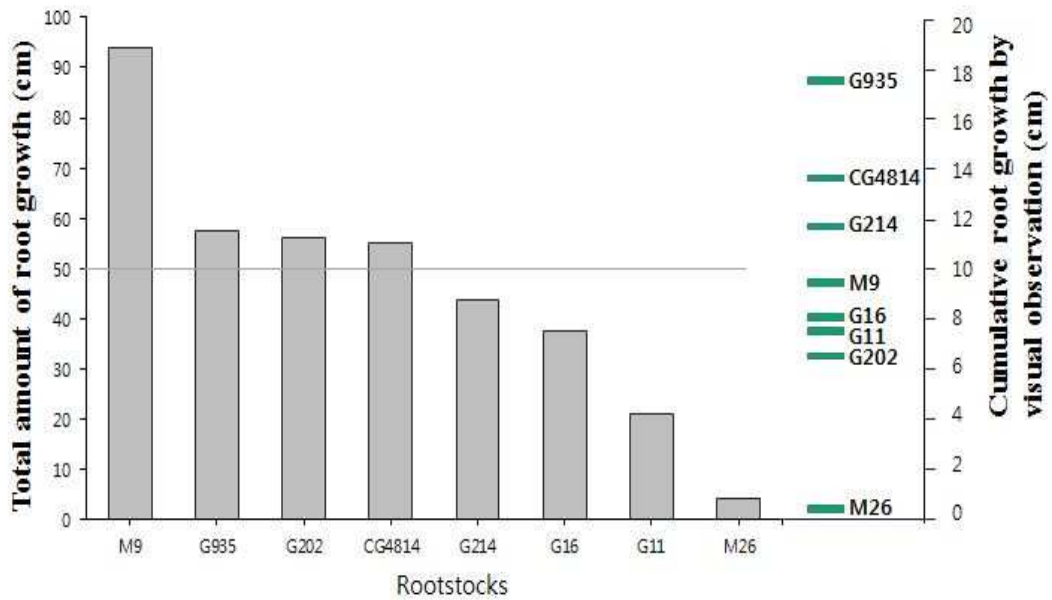


Fig. 15. Comparison of differences between total amount of roots growth after washing roots, and cumulative roots growth by visual observation.

3월 30일 접목묘를 노지재식에 재식하고 21일이 지난 후 대목 종류에 따른 접수의 신초발달이 뚜렷하게 나타났다(Fig. 16). 대체로 뿌리발달 시기가 빠른 것으로 추정되는 G.16, G.214, G.202, CG.4814, G.935, M.9 대목에 접목된 접수의 발아개시가 상대적으로 빨랐고 반면에 뿌리발달이 늦었던 G.11, M.26 대목은 접수의 발아도 타 대목에 비하여 늦은 것으로 나타났다.

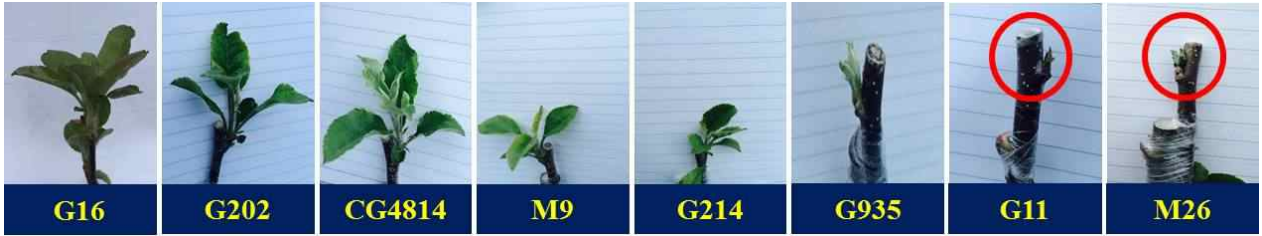


Fig. 16. New shoot development according to each type of rootstock after 21 days of grafting.

시험 2. 온난기간 경험 후 저온 조우에 따른 대목별 내동성 검토

시험기간 동안 대기온도와 대목 수피내 온도변화를 보면 대목의 온도 변화폭이 대기보다 크게 나타났다(Fig. 17). 대기 온도가 15°C 이상 5일이 지속된 후 ‘후지’ 접목묘 포트를 저온저장고에 입고시키고 -15°C 까지 급격한 온도변화를 조우하게 한 다음 포트를 노지로 옮겨 발아율과 동해 양상을 주기적으로 관찰 결과 두 달 후 모든 대목에서 꽃눈이 발아하였으나 G.202, G.214, CG.5087 대목은 각각 1주씩 발아된 앞에서 약간의 피해가 나타났다.

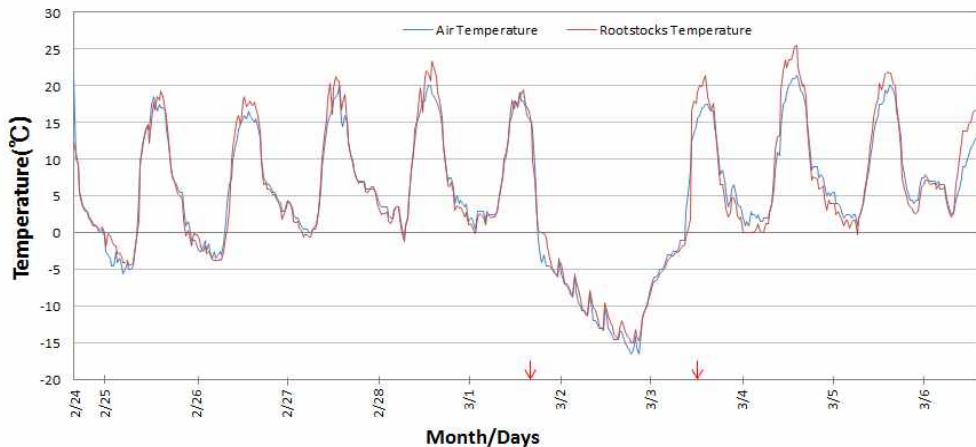


Fig. 17. Changes in atmospheric and rootstocks temperatures. The arrow indicates the date of entry and exit of the cold storage of the pots.

대목별 가지 내 수분함량을 조사한 결과 표 1에서 보는 바와 같이 생체중 100g당 M.26 대목이 48.6%로 수분함량이 가장 낮았다. 통계적 유의성은 없으나 M.9 대목은 M.26 대목보다 함수량이 높은 것으로 보인다. 뿌리발근 시기 조사에서도 M.26은 M.9보다 뿌리생육 개시 시기가 상당히 늦은 대목인데 함수량 조사 결과로 보면 M.9 대목의 생육개시가 M.26보다 빠름을 확인할 수 있었다. 그러나 발아율과 대목부의 갈변 조사에서 유의한 차이가 발견되지 않아 추가적인 연구가 필요하다. G.11의 경우 뿌리발근 개시가 상당히 늦은 대목으로 조사가 되었는데 함수량 조사에서는 가장 높게 나타나 뿌리발달 시기와 함수량과의 관계가 일치하지는 않는 경향이였다.

Table 1. Water content in rootstock stems before low temperature treatment.

Rootstocks	G.11	G.202	G.214	G.935	CG.4814	CG.5087	M.9	M.26
Water contents (%)	52.3a ^z	50.4abc	51.3a	52.0a	48.9bc	51.0ab	50.2abc	48.6c

^zThe values followed by the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

3월 1일 인위적인 저온처리 후 약 2개월이 경과한 시점에 각 대목의 생육상태를 조사하였으나 고사한 꽃눈이나 지접부의 대목부위에 갈변현상은 나타나지 않았다(Table 2). 이는 이전의 연구에서 내동성은 온도가 하강되는 속도와 지속기간에 따라 차이가 나고 고온의 지속기간과 처리시기에 따라 내동성이 달라진다고 한다(Yoon, 2012). 저온 저장고의 온도하강 성능이 포트에서 발산하는 열을 쉽게 제어하지 못해 목표온도까지 떨어뜨리는데 당초 8시간 내외로 예측했는데 48시간 소요되면서 결과에도 영향을 미친 것으로 판단된다. 저온처리 8일 후부터 약 7일 간격으로 각 대목의 발아시기(Fig. 18)를 조사하여 대목의 내동성과의 연관성을 추정하려 하였으나 꽃눈과 대목의 피해가 나타나지 않았다.

Table 2. Flower bud burst rate and rootstocks browning at about 2 months after low temperature treatment at -15°C .

Rootstocks	G.11	G.202	G.214	G.935	CG.4814	CG.5087	M.9	M.26
Buding rate(%)	100	100	100	100	100	100	100	100
Rootstock browning	+ ^z	+	+	+	+	+	+	+

^z++++=Intense browning, +++=high browning, ++=Moderate browning +=Low browning, +=No browning



Fig. 18. Flower bud burst of each rootstocks according to time after low temperature treatment.

[2차년도]

(1) 휴면심도

12월 21일 채취한 대목에서 G.935, CG.4814, CG.5087은 정아가 60%이상 발아하는 것으로 조사되었는데(Table 3) 이들 3개 대목은 휴면심도가 매우 낮았고 특히 CG.5087대목은 이미 내재휴면이 타파가 된 것으로 나타났다. 1월 1일 채취한 가지에서는 G.202, G.214가 16일이면 발아를 하였고 G.935, CG.4814, CG.5087은 12월 21일 채취한 가지보다 발아일수가 4~5일 앞당겨 졌다. 1월 11일 채취한 가지에서는 모든 대목들이 60%이상 발아하였고 M.26 대목을 제외하면 모든 대목들이 자발휴면이 타파가 된 것으로 조사되었다. 또한 CG.5087과 M.9의 발아일수는 M.26의 절반 밖에 되지 않았다. 1월 21일 채취한 가지에서는 M.26은 60% 발아까지 14일 소요되어 이시기에 휴면이 타파가 된 것으로 나타났다. CG.5087의 경우 1월 21일부터 일주일이면 60% 이상이 발아를 하여 휴면심도가 가장 낮았다. 1월 21일부터 2월 11일까지 채취한 가지는 모두 15일 이내에 60% 이상 발아하였다.

Table 3. The number of days until 60% bud burst of terminal bud of the each rootstocks collected according to time.

Rootstock	Date					
	12/21	1/1	1/11	1/21	1/31	2/11
G11	-	-	15±2.1 ^z	-	13±1.6	11±0.7
G202	-	16±1.9	11±1.8	11±1.0	10±0.7	7±1.1
G214	-	16±2.0	15±2.8	-	13±1.6	13±2.8
G935	17±1.2	13±1.3	12±0.7	11±0.7	11±0.8	9±0.9
CG4814	19±2.0	14±2.3	11±0.8	9±0.5	12±1.4	9±0.8
CG5087	15±3.1	11±0.5	8±0.9	7±0.5	7±0.9	6±0.8
M26	-	-	18±2.2	14±1.3	13±2.2	13±1.0
M9	-	-	9±0.5	9±0.6	8±0.6	9±1.9

^zMean ± SD(standard deviation) of 20 shoot replications.

(2) 자발적 휴면기 내동성

전해질 누출검정을 통한 내동성 평가

-30℃ 온도처리와 -40℃ 온도처리 결과에 따르면 가지손상 정도에서 뚜렷한 차이가 나타났다. -30℃ 처리에서는 G.11, G.214, M.26 대목의 동해지수가 16~27%였고 G.202, G.935, CG.4814, CG.5087, M.9는 20~30% 범위였다(Fig. 19). 저온처리 후 전해질 측정에 사용된 가지의 남은 상단부는 수조에 수습하여 약 20일 간 생장실에 두고 줄기단면의 피해를 실체현미경을 통해 조사하였다. 대목 간에는 뚜렷한 차이가 없었으나 M.9 대목이 상대적으로 좀 더 갈변을 띄는 경향이였다(Fig. 20). -30℃ 처리에서는 대목별로 차이가 존재하지만 대체로 피해범위가 30%를 넘지 않았으나 -40℃ 처리에서는 대목 종류와 관계없이 90% 이상이 심각한 피해를 입은 것으로 나타났다(Fig. 19, Fig. 21).

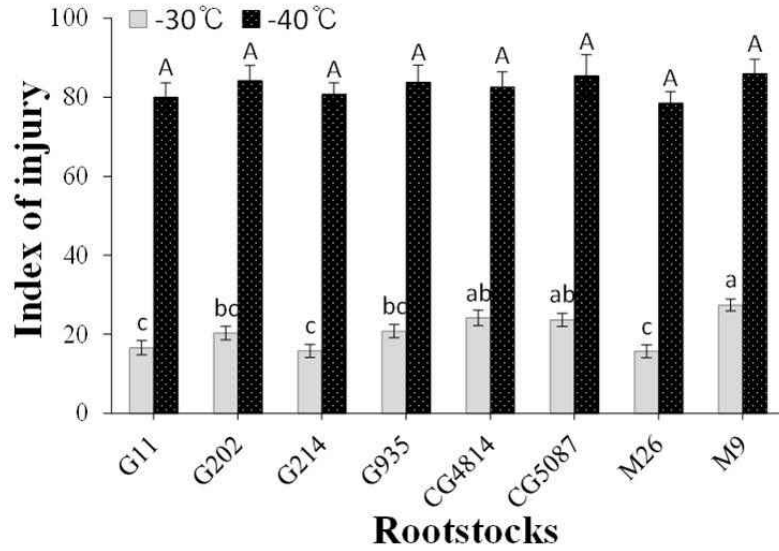
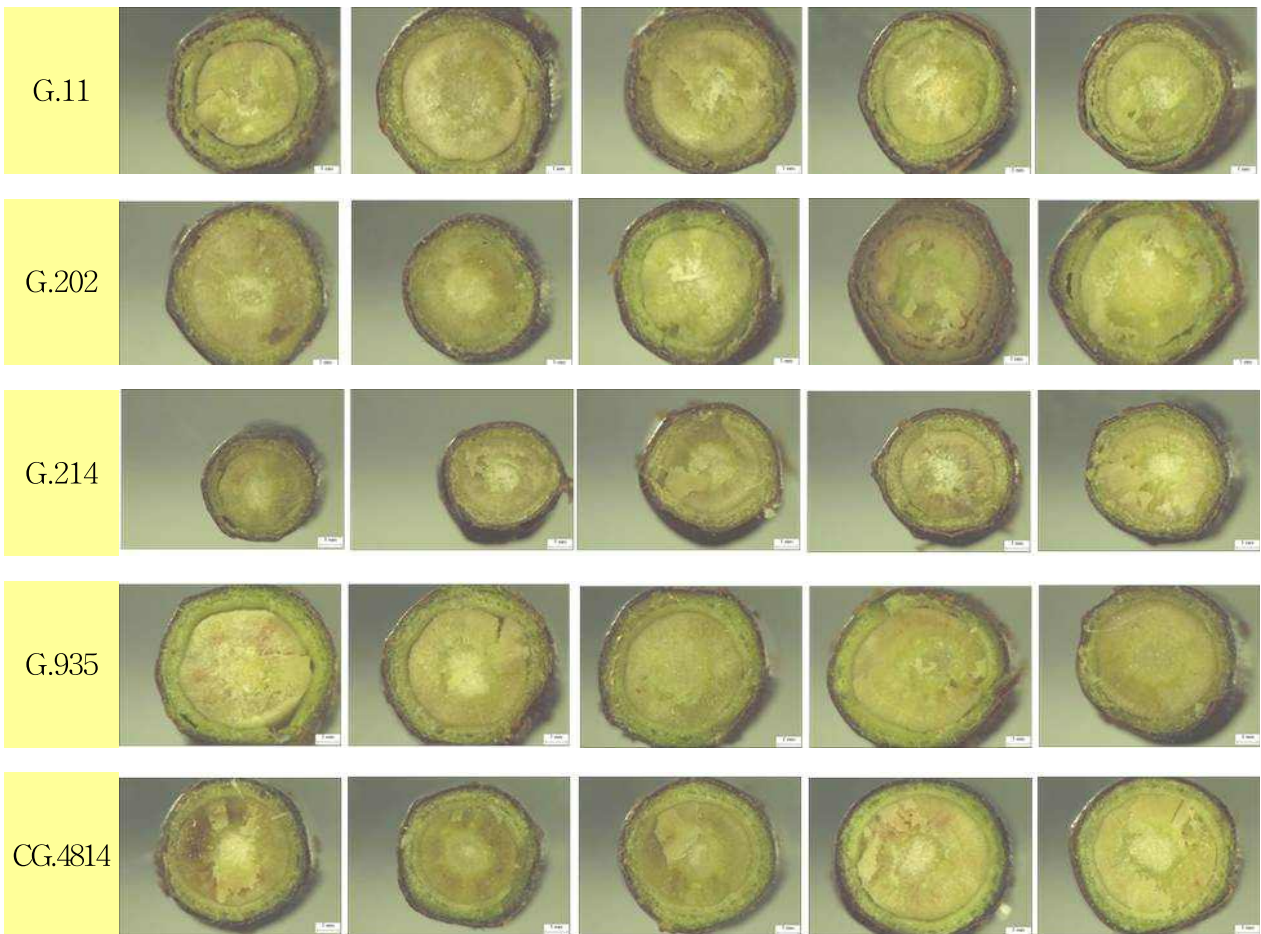


Fig. 19. Relative electrolyte leaching rate after freezing at -30°C and -40°C . 0=no freezing damage, 100=completely killed by freezing. Vertical bars represent the mean \pm SE for 20 replications. Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.



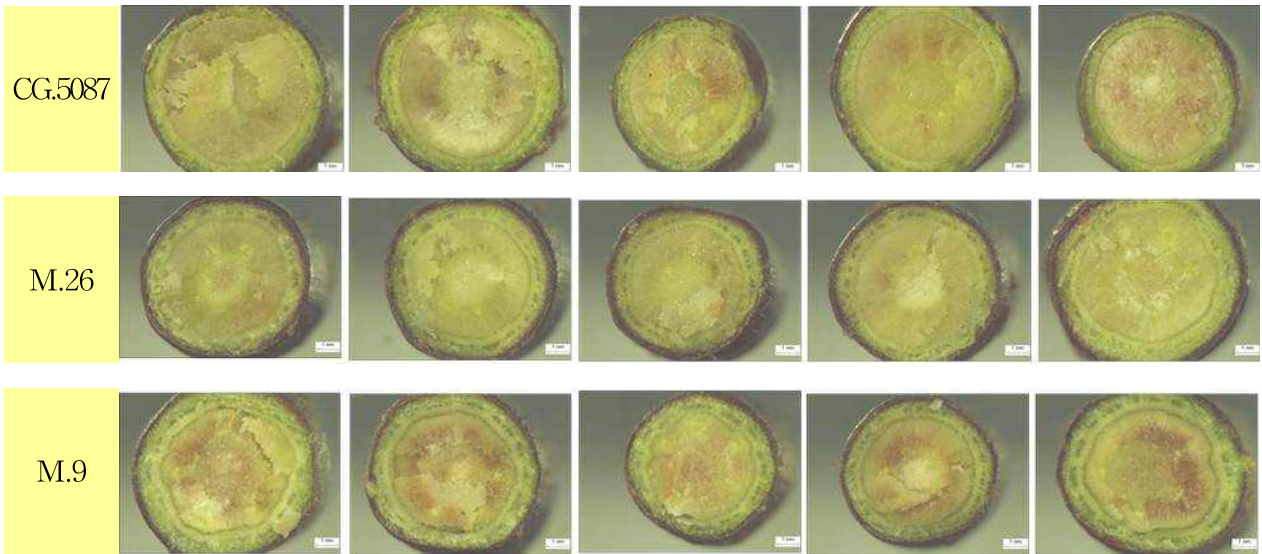
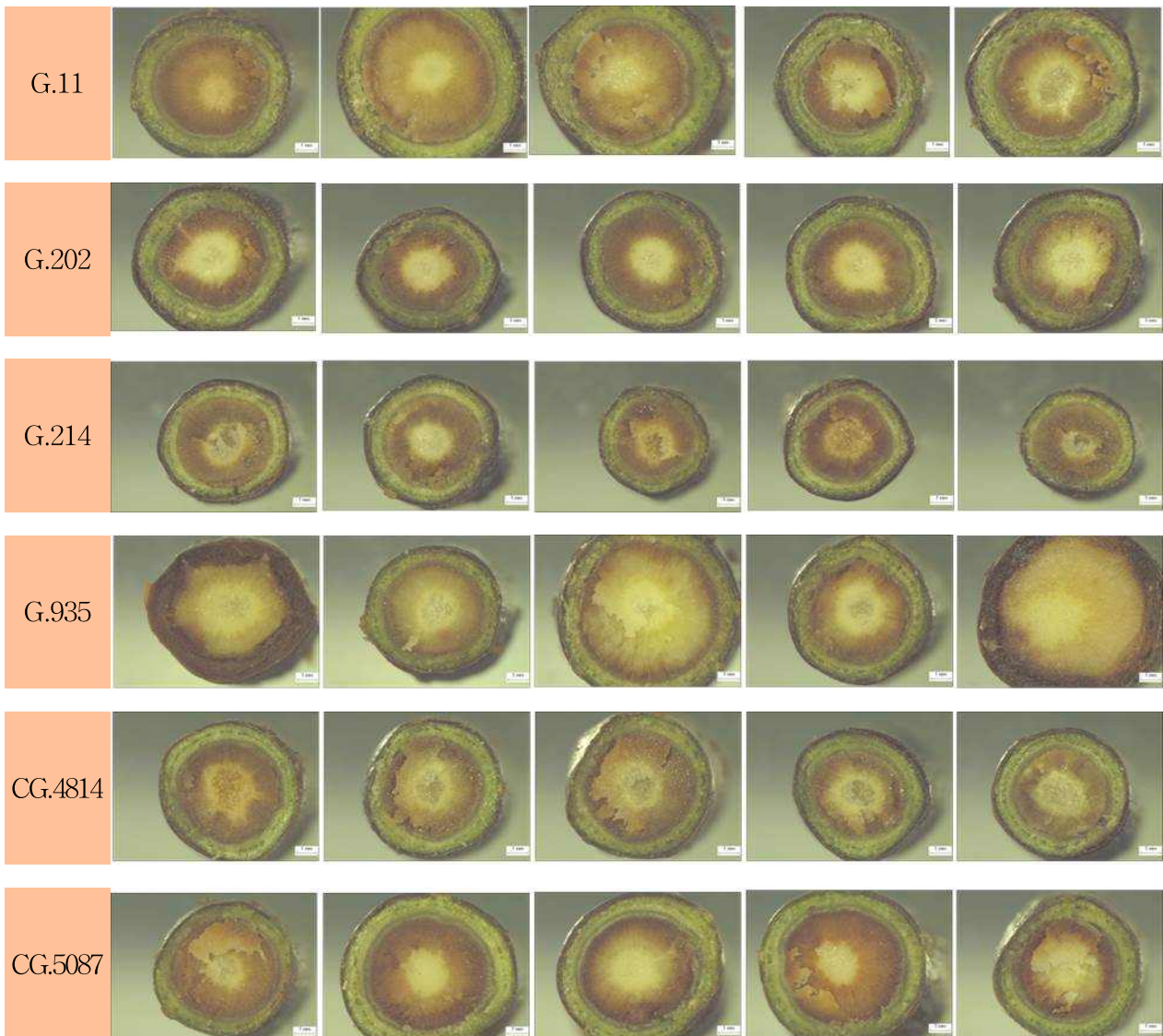


Fig. 20. After 20 days of -30°C treatment, the shoot section of each rootstock was photographed using a stereoscopic microscope.



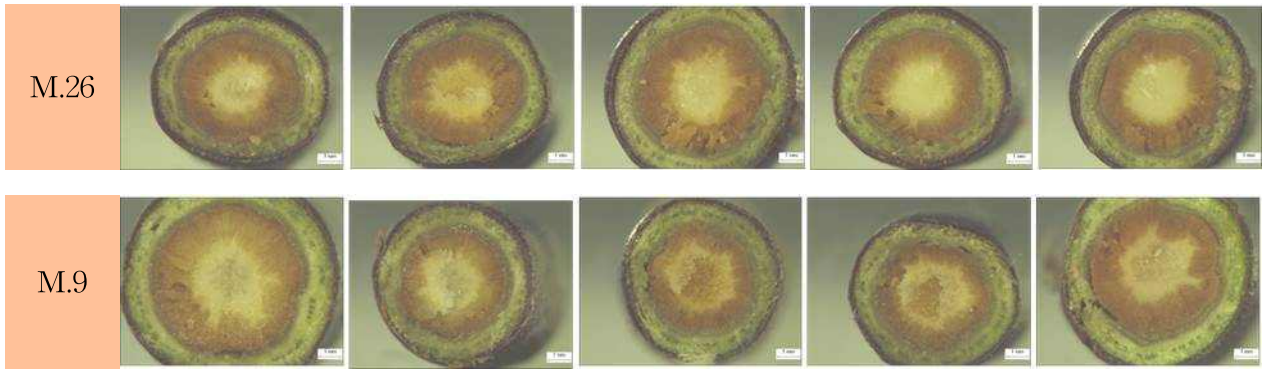


Fig. 21. After 20 days of -40°C treatment, the shoot section of each rootstock was photographed using a stereoscopic microscope.

(3) 타발적 휴면기 내동성

진해질 누출검정을 통한 내동성 평가

자발적 휴면이 종료되고 3월 7일, -15°C 처리에서는 CG.5087과 M.9의 손상 정도가 각각 8%, 9%로 상대적으로 높았고 나머지 대목에서는 5%~6% 범위로 큰 차이가 없었다(Fig. 22). -25°C 처리에서는 CG.5087과 M.9가 각각 43%, 41%의 동해피해를 보였으며 G.202, CG.4814는 36%로 나타났고 G.11, G.935, G.214는 각각 33%, 35%, 36%, M.26은 32%로 타 대목에 비해 상대적으로 동해피해 정도가 낮게 나타났다.

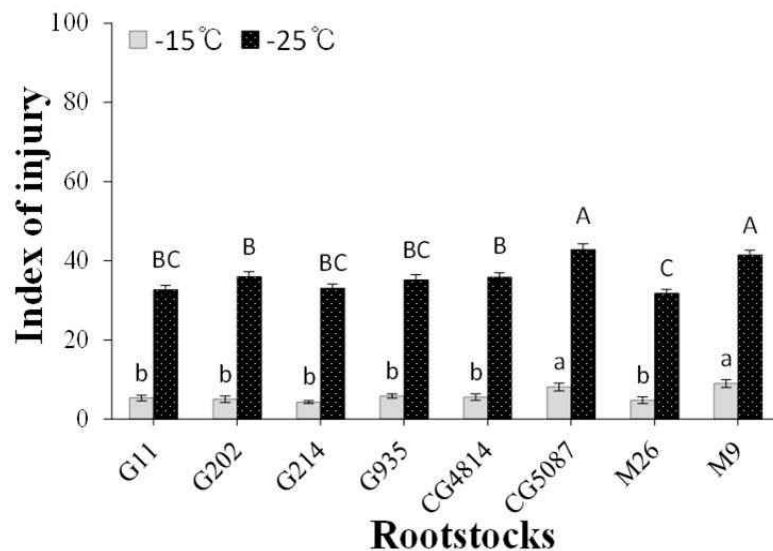


Fig. 22. Relative electrolyte leaching rate after freezing at -15°C and -25°C . 0=no freezing damage, 100=completely killed by freezing. Vertical bars represent the mean \pm SE for 20 replications. Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

TTC 검정을 통한 내동성 평가

3월 24일 TTC 시약처리 결과 모든 대목에서 동해 피해가 심각하게 나타난 것을 육

안상 확인할 수 있다(Fig. 23). G.935(8번), M.26(3번, 5번, 6번)은 목질부가 약간의 분홍빛을 띠는 경향이 있었지만 대부분 대목에서 목질부 갈변 또는 괴사가 나타나 대목간 차이를 판별하기가 어려웠다.



Fig. 23. Rootstocks that had undergone artificial dehardening treatment for 9 days were exposed to -10°C for 2 hours in a freezer, and then TTC assay was conducted.

줄기 수피의 수분함량

대목 부위 투명필름 처리 전 채취한 샘플에서는 건물중 당 수분함량이 1.20~1.27g 범위로 대목간 차이는 없었다(Fig. 24). 투명필름 처리 후에는 1.21~1.35g 범위로 표피내 수분함량은 전체적으로 증가하는 경향이였다. 투명필름 처리 후 대목 간에는 CG.4814와 M.9가 건물중 당 수분함량이 1.35g로 가장 높았고 휴면심도가 상대적으로 깊었던 G.11과 M.26은 1.21g이였다.

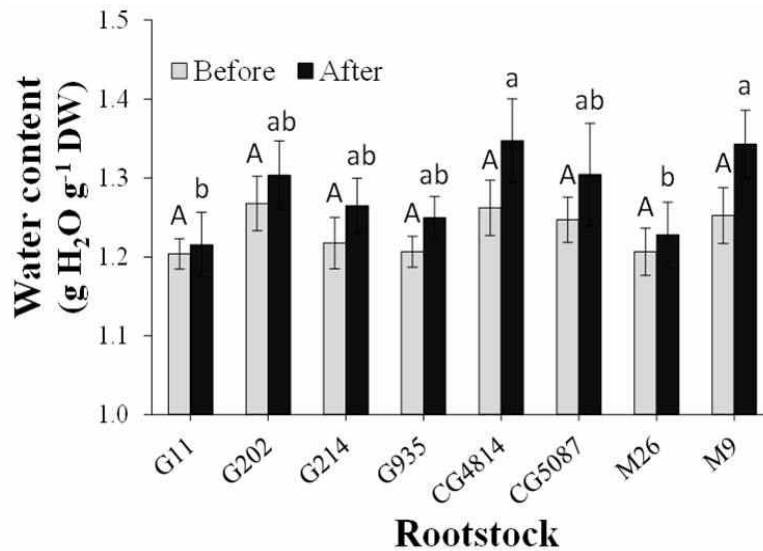


Fig. 24. Change in water content in the trunk bark at 40cm above the ground before and after the artificial dehardening treatment. Vertical bars represent the mean±SE for 10 replications. Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

대목 수피의 당 함량

대목 수피내 Sucrose 함량은(Fig. 25) G.11과 M.26은 각각 1.18과 0.77mg/mL로 가장 높게 나타났고 그 다음으로는 G.202, M.9와 CG.5087이 각각 0.54, 0.40와 0.27mg/mL였고 G.214, G.935와 CG.4814는 각각 0.24, 0.22와 0.21mg/ml 순서로 조사되었다. M.26은 Fructose와 Glucose의 함량에서도 각각 3.3mg/ml, 3.1mg/ml로 높았고 Sucrose 함량이 가장 높았던 G.11은 각각 1.8mg/ml, 1.7mg/ml였다. Sorbitol 함량에서 M.26은 3.5mg/ml로 가장 높았고 CG.5087은 3.4mg/ml, G.11은 3.0mg/ml 순이었고 나머지는 대목간 차이가 없었다. 전분함량은 G.935가 47mg로 가장 높았고 다음으로 CG.5087, G.202, G.214, M.9, M.26, CG.4814순이었고 G.11은 28mg로 가장 낮았다.

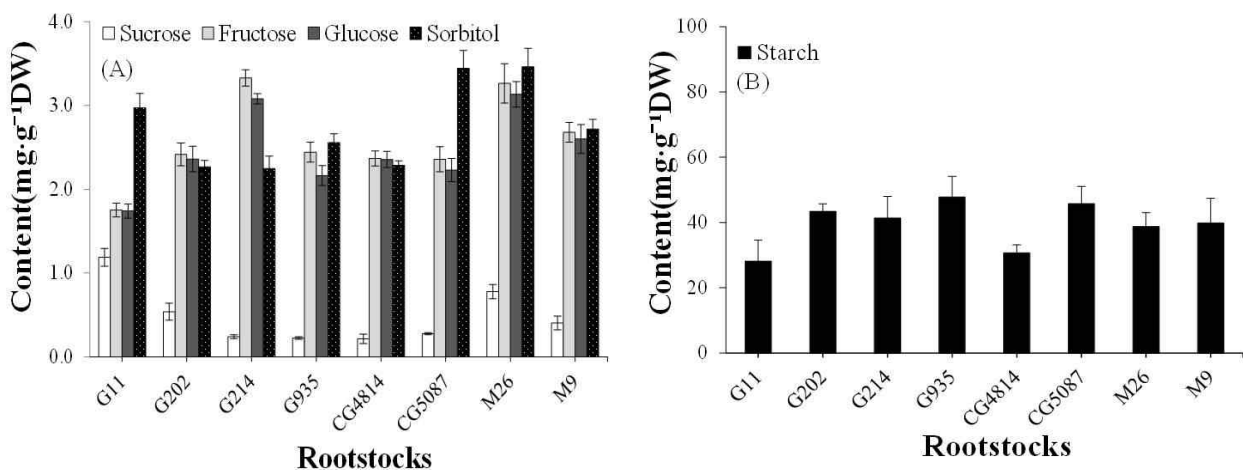


Fig. 25. Soluble carbohydrate and starch content in each apple rootstocks bark. Vertical bars represent the mean±SE for 5 replications.

뿌리발근 시기

대체로 휴면심도가 깊게 조사된 G.11, M.26이 뿌리발근과 발아가 타 대목에 비해 생육이 늦게 개시되는 것으로 나타났고 휴면심도가 비슷하거나 상대적으로 얇은 G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087, M.9는 생육개시가 G.11과 M.26보다는 빠른 것으로 나타났다(Table 4, Fig. 26). G.11과 G.202를 비교한 결과 뿌리발근 시기가 약 10일 정도의 차이가 났고 M.26이 M.9보다 뿌리발근은 4일, 발아시기는 7일 정도의 차이가 났다.

Table 4. The number of days required for the rooting and terminal bud burst of each rootstocks planted in styrofoam boxes.

Rootstocks	Number of days required	
	Rooting	Terminal bud burst
G.11	34±3.7 ^z	33±4.9
G.202	24±3.8	25±5.1
G.214	29±4.0	28±6.8
G.935	29±7.4	27±7.6
CG.4814	28±5.8	27±5.5
CG.5087	28±4.9	24±4.4
M.26	30±4.3	34±3.5
M.9	26±5.4	27±4.2

^zMean±SD(standard deviation) of 10 replication.

[3차년도]

(1) 자발적 휴면기 내동성

휴면심도

대목 종류에 따라 휴면심도는 달랐다(Table 5). G.11과 M.26을 제외하고는 12월 20일과 1월 1일에 채취한 모든 대목에서 발아율이 60% 이상이었으나 도달 일수는 대목에 따라 17일에서 23일까지 소요되었다. 1월 11일 채취한 삼수의 경우 G.11과 M.26도 60% 이상 발아하였고 CG.5087은 60% 발아하는데 14일에 불과하였는데 60% 발아 소요일수가 15일 이하면 휴면타파를 위한 저온요구도가 충족이 된 것으로 판단하므로 CG.5087이 가장 먼저 자발적 휴면이 타파된 것으로 판단된다. 1월 21일 채취한 샘플의 경우 공시한 모든 대목의 발아율이 60% 도달하는데 15일 이하가 소요되어서 모든 대목이 휴면타파가 된 것으로 볼 수 있다. 수삽을 했을 때 발아율 60% 수준 도달일수는 CG.5087이 9.4일로 휴면심도가 가장 얇았고 M.26이 15일로 가장 깊은 것으로 조사되었다. 2월 20일까지 발아율 60% 수준에 도달 소요일

수를 기준으로 휴면심도를 살펴보면 공시대목 중에서 CG.5087, CG.4814, M.9는 상대적으로 휴면심도가 얇고 M.26, G.11, G.202는 깊은 것으로 조사되었다. 휴면심도가 얇으면 휴면타파를 위한 저온요구도가 충족된 후에 온난한 날이 일정기간 지속되면 발아가 일찍 진행되고 봄철 갑작스런 한파에 취약할 것으로 생각된다.

Table 5. The number of days required to reach 60% of the terminal bud-burst of cut-shoot under controlled conditions.

Rootstock	Date (month/day)					
	12/20	1/1	1/11	1/21	1/31	2/10
G11	-	-	18.5±2.3	13.1±2.6	12.8±1.6	13.0±3.2
G202	18.0±2.0 ^a	17.0±2.3	16.8±3.6	12.4±2.3	10.1±1.3	10.3±2.7
G214	23.3±2.7	20.7±3.5	18.2±2.7	10.4±1.8	8.6±0.5	7.6±2.9
G935	21.8±3.0	18.2±2.2	16.8±2.6	11.5±0.8	9.2±0.8	9.5±2.5
CG4814	22.6±2.5	20.8±3.1	18.4±2.6	10.4±1.9	7.0±1.2	7.3±1.6
CG5087	17.8±3.1	16.8±3.6	13.7±3.0	9.4±1.9	7.4±1.6	6.1±1.7
M26	-	-	21.7±2.2	15.0±2.6	13.0±2.2	13.0±1.0
M9	22.1±1.6	20.5±3.5	18.8±2.2	14.1±2.2	8.6±0.8	9.0±1.9

^aMean ± SD (standard deviation) of 20 shoots replication.

-25℃, -35℃ 처리 후 전해질 누출검정을 통한 내동성 평가

자발적 휴면기인 1월 11일에 2시간 동안 -25℃에 노출시켰을 때 동해 피해율이 2.2~4.0%에 불과할 정도로 경미했으며 대목 간에도 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. 26). -35℃ 노출에서는 모든 대목에서 동해 피해율이 높아졌는데 G.202가 14.6%로 피해율이 가장 높았고 M.9(11.5%), G.214(10.4%), G.935(9.6%), G.11(9.5%)이 뒤를 이었다. CG.4814와 CG.5087은 -35℃ 노출시 동해율이 각각 5.7%와 6.1%로 타 대목에 비해 동해 피해율이 적었다.

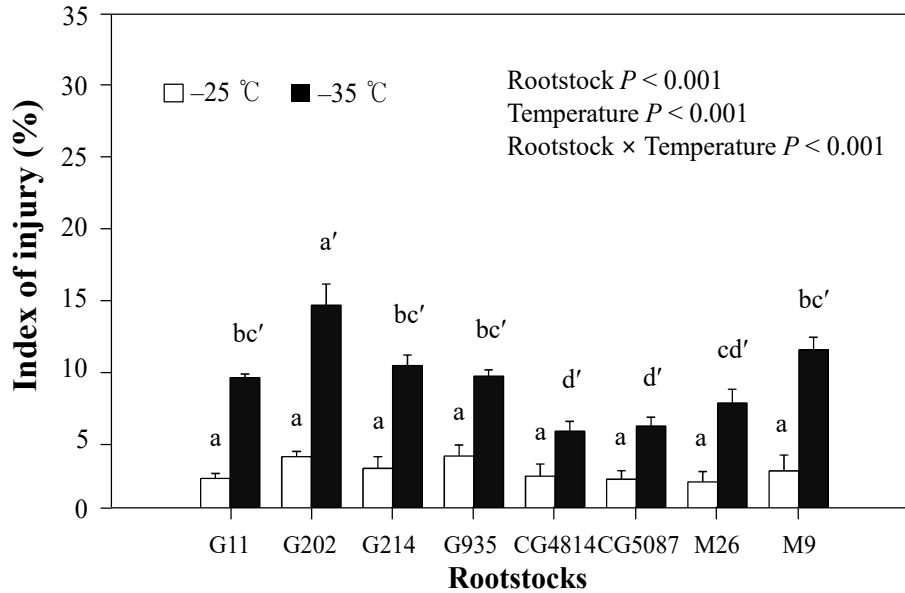


Fig. 26. Index of injury after freezing of shoots at -25 and -35 °C. 0 = no freezing damage, 100 = completely killed by freezing. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(2) 타발적 휴면기 내동성

-15°C, -25°C 처리 후 전해질 누출검정을 통한 내동성 평가

타발적 휴면기인 3월 1일에 대목을 채취하여 2시간 동안 -15°C 에 노출시켰을 때 G.202는 9.3%의 피해율을 보였고 M.9, M.26, CG.5087은 보다 낮은 6.2~5.4%의 피해율을 보였다. 그러나 G.11, G.214, G.935, CG.4814는 7.0~8.4%의 피해율을 보였으나 타 대목과는 유의성이 인정되지 않았다(Fig. 27). -25°C 에 노출시켰을 때는 피해가 더 크게 나타나는데 G.202가 20.8%로 공시대목 중에 가장 피해율이 높았고 M.9, CG.4814, CG.5087, G.11이 16.6~16.7%의 피해율을 보였다. 반면에 M.26과 G.935는 각각 8.7%와 9.5%의 낮은 피해율을 보여 공시 품종 중 내동성이 가장 우수한 것으로 평가되었다.

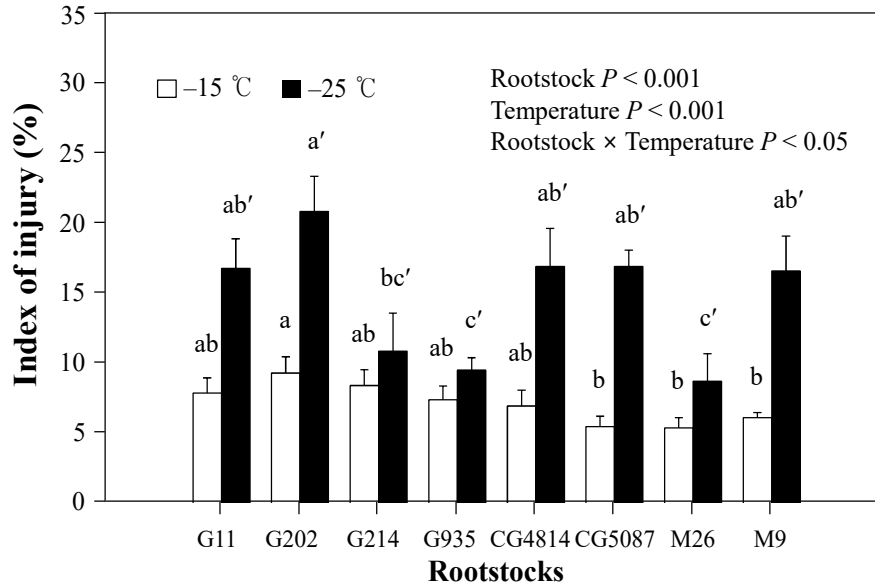


Fig. 27. Index of injury after freezing of shoots at -15 and -25 °C. 0 = no freezing damage, 100 = completely killed by freezing. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

대목 줄기압

타발적 휴면기의 내동성이 줄기압과의 관계성을 알아보기 위하여 2월 하순부터 공시대목의 줄기압을 측정하였던바 대목에 따라 줄기압이 다르게 나타났다(Fig. 28). 줄기압이 -에서 +로 전환되는 시점은 G.214와 CG.5087이 2월 21일로 가장 빨랐고 CG.4814(2월 24일), M.9(2월 27일)순으로 빨랐다. 반면에 M.26은 공시 대목 중 가장 늦은 3월 10일부터 +로 전환되었고 G.11(3월 4일)과 G.935(3월 2일)도 상대적으로 줄기압 전환시기가 늦었다. G.935, G.11, M.26은 최대 줄기압 30.6~44.3hPa로 타 대목에 비해 낮았고 지속 기간도 짧았다. 앞서 타발적 휴면기의 내동성 평가에서 G.202는 줄기압이 +로의 전환이 3월 1일로 G.214에 비해 9일이나 늦음에도 -25°C 에서 더 심한 피해를 받고, G.11은 최고 근압이 31.3hPa로 타 대목에 비해 낮음에도 피해율이 큰 것으로 볼 때 발아 전 줄기압 변화와 내동성의 연관성은 무리가 있어 보였다.

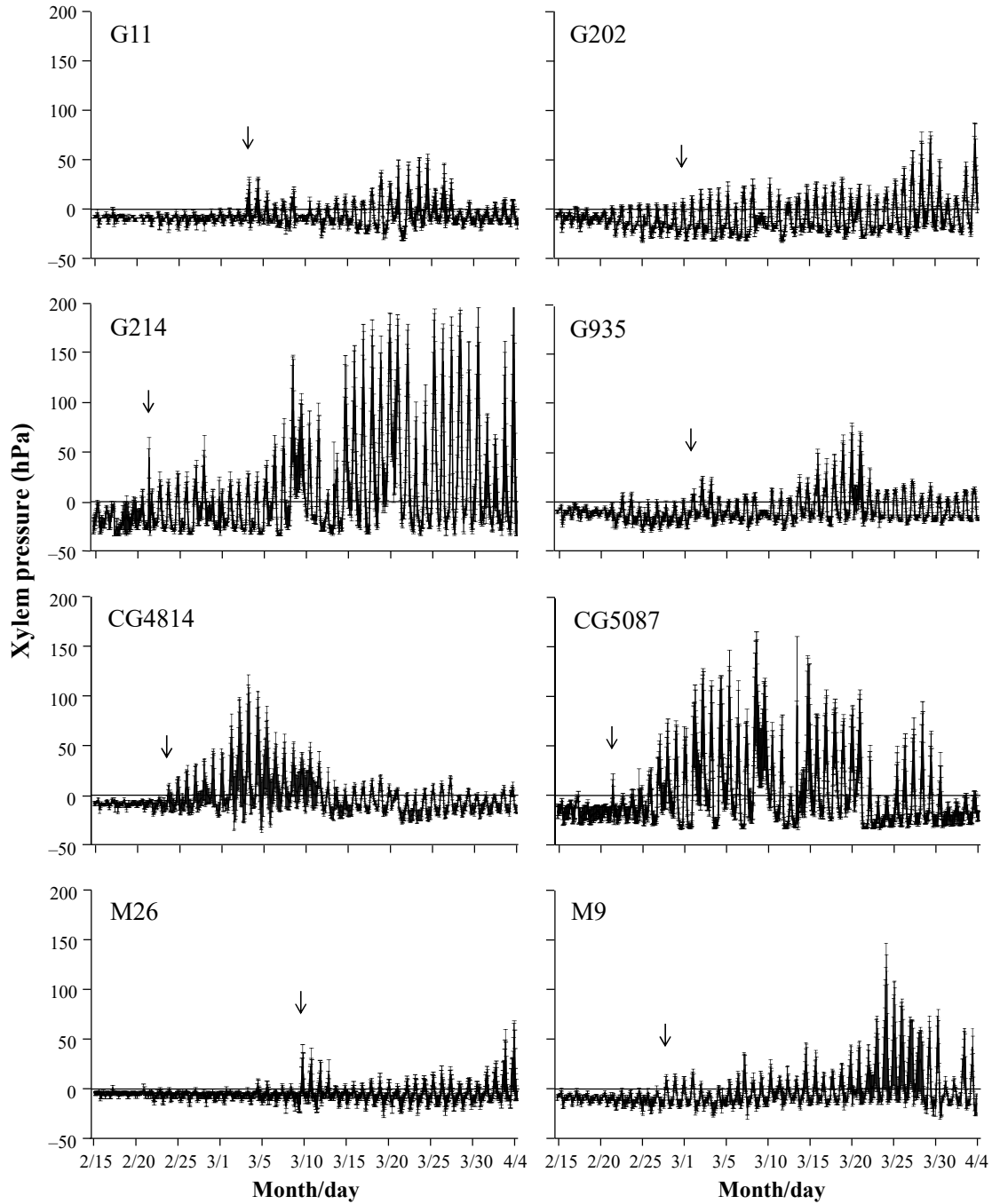


Fig. 28. Change in xylem pressure according to the rootstock type during imposed dormancy. Arrows indicate when xylem pressure occurs. Vertical bars represent standard errors of the means.

(3) 탈경화처리 후 내동성

수피의 수용성 탄수화물 함량

과당을 제외하고 수피 내 다른 수용성 탄수화물(자당, 포도당) 함량은 대목 종류에 따라 달리 나타났다(Fig. 29). 자당 함량은 CG.5087(0.69mg/mL)이 가장 높고 M.26(0.63mg/mL), M.9(0.62mg/mL)이 다음으로 높았으며 G.214와 G.202는 각각 0.23, 0.28mg/mL를 조사되었다.

포도당 함량은 G.202의 경우 1.85mg/mL로 대목 중 가장 높았으며 M.26, M.9, G.214가 각각 1.75, 1.68, 1.60mg/mL 다음으로 높았고 G.11과 CG.5087은 1.49mg/mL였다. 총 당 함량은 자당과 포도당 함량이 다른 경향을 보였는데 대목 중 CG.4814은 62.2mg/mL이었고 뒤를 이어 M.26, CG.5087, G.11(56.6~57.1mg/mL)이었다. G.214, M.9, G.935, G.202는 각각 50.0, 51.5, 52.1, 52.2mg/mL를 기록하였다.

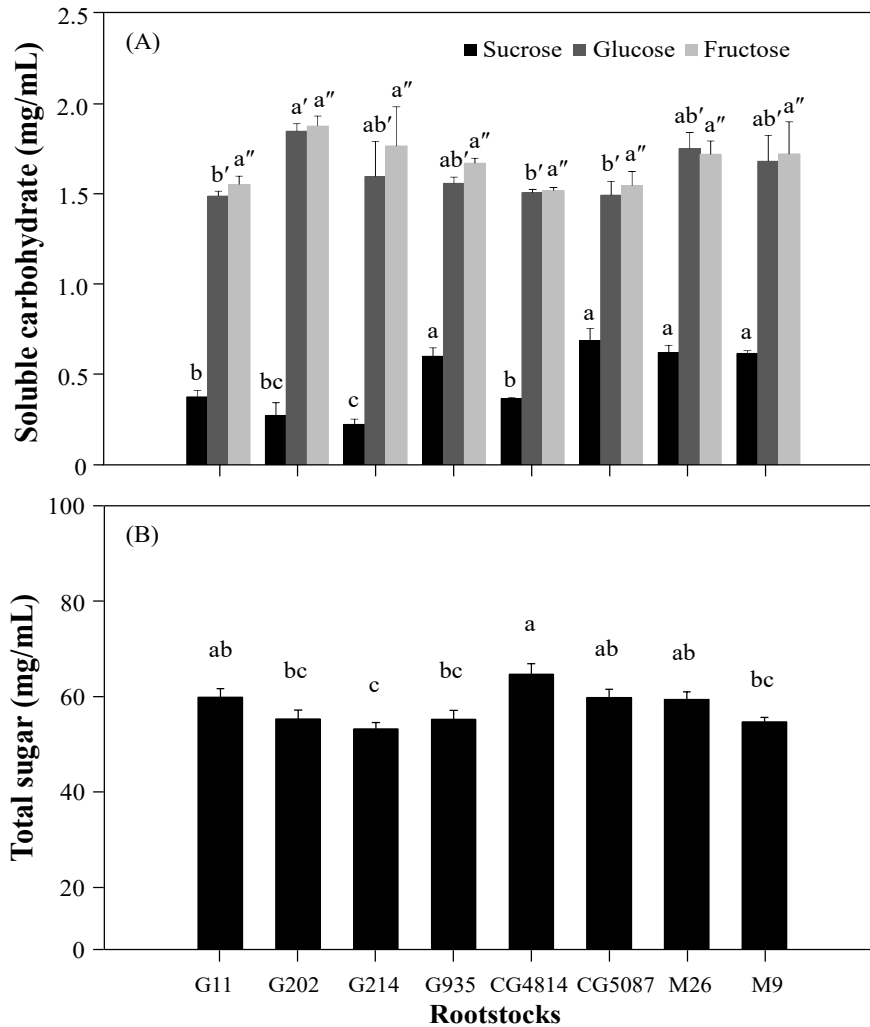


Fig. 29. Soluble carbohydrate (A) and total sugar content (B) in the bark of the rootstock stem before dehardening treatment. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

TTC 검정을 통한 내동성 평가

대목 기부에 투명 PET 튜브로 감싸고 수피온도를 3월 4일부터 하루 최고 37.8~34.9°C 까지 4일간 경험하게 하여(Fig. 30) 인위적으로 대목기부의 탈경화를 유도한 다음 -8°C에 2시간 노출시킨 조직을 TTC검정을 통해 동해정도를 조사하였다(Fig. 8). G.935와 CG.5087은 -8°C에 노출된 조직의 적색 흡광율이 무처리 대비 각각 98.2%와

97.4%로 대부분의 조직이 손상을 입지 않았다. M.9, M.26, CG.4814, G.11 등은 무처리 대비 60.8~72.9 범위였고, G.202는 50.8%로 조직의 거의 절반이 손상된 것으로 조사되었다. 타발적 휴면기인 2~3월 온난한 날씨로 탈경화가 된 상태에서 갑자기 온도가 떨어지는 경우 동해피해를 입을 가능성이 높다.

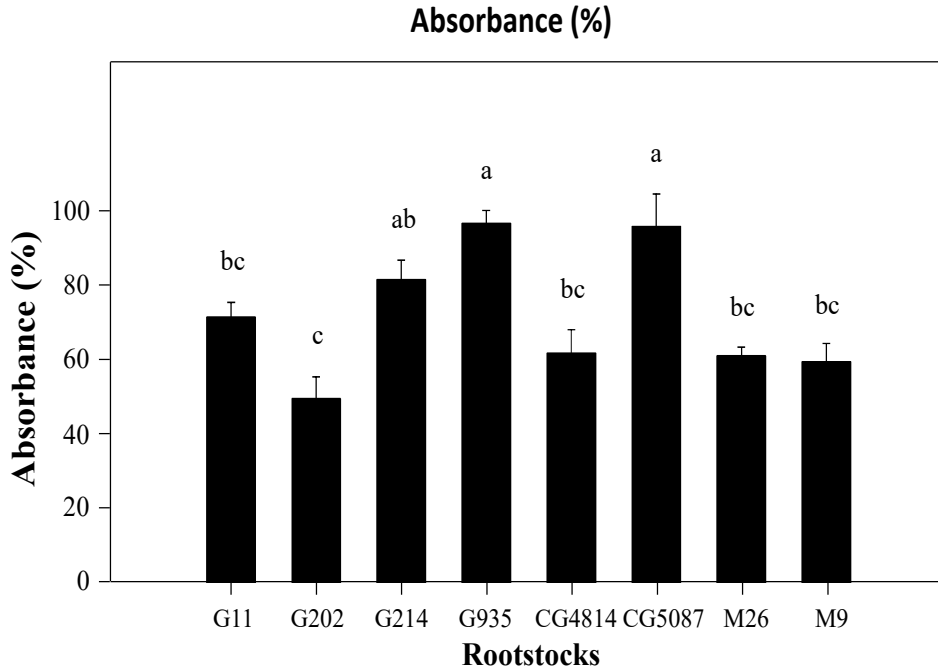


Fig. 30. Absorbance(low-temperature treatment absorbance value / control treatment absorbance value) by TTC assay of rootstock stem bark exposed to -8°C for 2 h after 4 days of dehardening treatment. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

라. 고찰

[2차년도]

(1) 자발적 휴면기의 내동성

사과나무의 내동성은 휴면상태와 관련이 있고(Coleman, 1985) 동일 품종이라도 겨울철 기온에 따라 휴면타파 시기는 달라진다고 한다(Naor et al., 2003). Kweon 등(2013)은 우리나라에서 주로 재배되는 사과품종의 휴면 개시시점은 'Tsugaru'는 9월 상순이전, 'Fuji'와 'Hongro'는 9월 중순이후 휴면에 들어간다고 한다. 휴면타파 시기도 품종에 따라 다소 차이가 있지만 대개 2월 상순이전에는 주요 품종들이 휴면타파에 필요한 저온요구도를 충족하는 것으로 알려져 있다. 본 시험에서는 가지 수삽후 발아까지 소요된 시간이 14일 전후이면 휴면타파로 보았던 바(Kim et al., 2006) CG.5087이 자발적 휴면기간이 가장 짧았다(Table 3). M.9는 G.11, G.214, M.26과 달리 저온요구도가 충족이 되면 발아가 비교적 빠르게 진행되는 것으로 보여 탈경화(dehardening)가 쉽게 일어나는 것으로 판단된다. 반면 M.26은 1월 상순까지는 휴면상태로 있

기 때문에 상대적으로 내동성이 강한 것으로 판단된다. 우리나라의 환경 여건상 혹한기는 대체로 12월 상순에서 1월 중순 사이다(Choi and Kim, 2015). 혹한기 동안 시험포 낮 최고 기온이 7°C 이상인 날을 조사해본 결과 8°C인 날이 5일, 10°C인 날이 2일로 간헐적으로 나타났지만 야간기온은 대부분 0°C 이하를 기록해 대목의 저온요구도가 충족이 되어도 1월 중순까지는 탈경화가 진행되지 않을 것으로 판단된다.

전해질누출 측정은 동결처리 후 조직의 손상정도를 정량적으로 평가할 수 있는 방법 중의 하나이다(Linden, 2002). -30°C 저온처리(Fig. 19)시에는 동해피해 지수가 16~27% 범위로 나타났는데 대목별 피해정도는 M.9≥CG.4814, CG.5087≥G.202, G.935≥G.11, G.214, M.26 순이었고 이런 추세는 휴면심도(Table 3)와 관련성이 있을 가능성이 높다. Pramsohler 등(2012)은 사과나무 가지의 물관부 유조직 세포가 60% 정도의 동해피해를 입은 상태에서도 재생장이 가능함을 보고했기 때문에 각 대목들이 입은 손상정도는 회복가능한 수준으로 판단된다. Wildung 등(1973)은 M.7, M.9, M.26, MM106 대목을 이용한 내동성 시험에서 대목줄기 조직의 생존가능 온도를 약 -29°C로 보고하였다. 또한 Moran 등(2011)은 G.11, M.26, B.9, P2 대목을 평가하였고 M.26의 경우 -27°C 처리에서 물관부 손상정도가 높았다는 보고를 보면 대목종류에 따른 편차는 있겠지만 대략 -30°C가 생존가능한 한계온도로 보인다. 접목묘를 이용한 시험 결과를 보면 Czynczyk 등(2010)은 겨울철 최저기온이 -31.6°C까지 떨어진 상황에서도 G.11, G.202, M.9, M.26은 모두 생존했기 때문에 대목간 내동성에서 뚜렷한 차이가 없다고 판단하였다. Robinson과 Hoying(2004)은 1월 최저기온 -35°C를 조우한 G.202, G.935, M.26, M.9가 받은 동해피해 정도는 크지도 않았고 대목간 차이도 유의성이 인정되지 않았다고 한다. 반면 M.26과 M.9는 Privé와 Embree(1996)의 보고에서는 내동성에서 유의성 있는 차이($P<0.05$)를 보였다. 우리나라의 기후 특성상 1월 중순까지 탈경화가 일어나지 않는다고 본다면 혹한기에도 주요 사과재배 지역의 기온이 -30°C 이하로 내려가는 경우가 극히 드물어 정상적으로 관리가 된 사과나무에서는 자발적 휴면기 동안에서는 대목 종류에 관계없이 내동성을 가질 것으로 판단된다.

-40°C 저온처리(Fig. 19)에서는 동해피해 지수가 78~86% 범위로 모든 대목이 심각한 손상을 받아 회복이 어려울 것으로 보였다. 냉각속도가 매우 빠른 경우(Fig. 2) 얼음결정이 세포내에 형성이 되어서 세포의 고사를 초래할 수 있고(Tromp, 2005) 세포 밖 얼음결정이 자라면서 세포막을 손상시켰거나 심각한 탈수가 원형질을 응고시켜 세포를 고사에 이르게 하는 것으로 알려져 있다(Asahina, 1956). 앞서 언급하였듯이 Wildung 등(1973)과 Moran 등(2011)의 대목 내동성 시험 결과로 추정해보면 -40°C 저온처리는 사과나무 대목이 견딜 수 있는 한계 온도를 넘어선 것으로 판단된다.

(2) 타발적 휴면기의 내동성

목본식물은 휴면타과 후 기온이 오르면서 경화(hardening)보다 빠른 속도로 탈경화 과정이 진행되는데(Aronsson, 1975) 식물의 내동성은 경화와 탈경화의 시간과 속도뿐만 아니라 재경화(rehardening) 능력도 중요하다(Palonen and Buszard 1997). Friedrich and Fischer(2000)는 사과나무 가지를 출아기 때 9일간 각각의 온도조건에 둔 다음 -11°C에서 저온처리하여 탈경화가 내동성에 미치는 영향을 조사하였다. 결과에 따르면 0°C에서 6일 보관 → 20°C에서 2일 보관 → 다시 0°C에서 1일 보관하였을 때 보다 0°C에서 8일 보관 → 20°C에서 1일 보관했을 때 동해피해 정도가 월등히 높았다고 한다. Howell과 Weiser(1970)는 사과나무를 20°C에서 2일간

탈경화 처리를 하면 원래 수준의 내동성을 회복하는데 -15°C 에서 3일간의 재경화처리가 필요하다고 한다. 타발적 휴면기간 동안 -15°C 처리(Fig. 22)에서는 휴면심도가 상대적으로 낮았거나 발아가 빠르게 진행된 CG.5087, M.9의 손상정도가 유의하게($P<0.05$) 높게 나타났으나 전체적인 대목의 피해정도는 경미한 수준이었다. -25°C 처리결과(Fig. 5) 대목피해 지수는 32~43% 범위였고 대목별 피해정도는 M.9, CG.5087>G.202, CG.4814 \geq G.11, G.214, G.935 \geq M.26 순 이었고 휴면심도(Table 3)와 다소 연관성이 있는 것으로 보인다. 시료채취 전 기온에 따른 탈경화 저항성정도(Lindén et al., 1996)가 대목 간 차이에 미친 영향이 있을 것으로 생각되고 탈경화가 진행됨에 따라 재경화 능력은 점점 감소한 것으로 추측된다(Kalberer et al., 2006). 3월 상순의 -25°C 처리가 1월 상순의 -30°C 처리보다 대목 손상 정도가 전반적으로 높게 나타났는데 이는 대기온도가 오르면서 사과나무가 점진적으로 내동성을 상실하였고(Leng et al., 2000; Ketchie, 1985) 치사온도가 점차 상승한(Hamilton, 1973; Palonen and Lindén, 1999) 것이 원인 중의 하나로 생각된다.

뿌리는 토양수분과 영양분이 적절하다면 토양기온 상승과 함께 호흡이 증가하면서 생장을 개시한다(Pregitzer et al., 2000). 추운 겨울동안 근권부의 낮은 온도는 뿌리의 세포막 유동성을 감소시켜 수분흡수를 제한시키지만(Wan et al., 2001) 토양기온이 오르면서 수체 내 수분함량은 높아지면서(Ewers et al., 2001) 내동성에 영향을 미쳐 동해를 유발한다(Bittenbender and Howell, 1975). 사과에서 뿌리발달 시기는 발아보다 선행하거나 차이가 없는 것이 일반적인데 생장개시기의 온도차이가 원인이라고 한다(Kim et al., 2006). 전반적으로 뿌리발달 시기가 발아시기보다 빠르거나 비슷한(Table 4) 경향이 있으며 대목별 휴면심도와 다소 연관성이 있는 것으로 보인다. 자발적 휴면기라고 판단되는 1월 상순 -30°C 처리와 타발적 휴면기인 3월 상순 -25°C 처리에서 대목별 뿌리발달 시기(G.202>G.935, CG.4814, CG.5087, M.9 \geq G.214 \geq M.26 \geq G.11)과 연관지어 보면 상대적으로 휴면심도가 깊고 뿌리발달 개시시기가 늦은 대목이 전해질 누출율에 의한 동해지수가 낮은 경향을 보였다. 따라서 사과나무의 내동성은 한겨울 휴면심도와 타발적 휴면기간 동안 대기온도 상승에 대한 탈경화 저항성뿐 아니라 재경화 능력도 중요한 요인으로 판단된다.

낙엽수의 축적된 탄수화물은 나무의 광합성 능력이 영향을 크게 미치는데 휴면이 시작되면 체내 당 함량은 증가되면서 전분은 감소하는 것으로 알려져 있다(Yoshioka et al., 1988). 과수는 겨울이 되면 체내 전분이 효소에 의해 분해되어 수용성 탄수화물인 sucrose, glucose, fructose 형태로 바뀌고 sorbitol 함량이 늘어나면서 동해 저항성을 증진시키는데(Raese et al., 1978; Yoshioka et al., 1988; Palonen, 1999) 수용성 당의 축적은 세포막의 저온 안정성(cryostability) 향상에 영향을 미치기 때문이다(Ma et al., 2009). Fig. 25의 결과를 보면 수용성 탄수화물 중에 특히 내동성 증진에 미치는 sucrose 함량(Palonen et al., 2000)은 G.11과 M.26에 높은 것으로 보아 타 대목에 비해 내동성이 강한 것으로 판단된다.

결론적으로 본 시험에서는 자발적 휴면기간 동안 -40°C 처리는 사과 대목이 견딜 수 있는 한계온도를 넘어선 것으로 보이며 -30°C 처리에서는 G.11, G.214, M.26이 상대적으로 내동성이 강한 것으로 판단된다. 휴면이 종료되고 외재휴면 기간 중에 처리된 -15°C 처리는 모든 대목들이 견딜 수 있는 온도로 판단되고 -25°C 처리에서는 대목에 따라 약간의 편차가 나타났고 CG.5087과 M.9는 다소 약하나 반대로 M.26은 상대적으로 저온처리에 내성을 보였다. G계통 대목 중에서는 G.11과 G.214, G.935가 M.26과 비슷한 내동성을 가진 것으로 조사되었다.

[3차년도]

(1) 자발적 휴면기 내동성

과수의 내동성은 휴면상태와 관련될 수 있고(Coleman, 1985) 동일품종도 겨울철 기온에 따라 휴면타파 시기는 달라진다(Naor et al., 2003). 본 연구에서는 수삼한 가지 정아의 발아가 60%까지 이르는 시간이 15일 전후이면 휴면타파 된 것으로 간주하였는데 CG.5087이 휴면심도가 가장 얇은 대목으로 나타났다(Table 5). G.11이나 M.26과 달리 G.214, CG.4814는 저온요구도가 충족이 되면 상대적으로 휴면이 빠르게 해제가 되는 것 같았다. 휴면심도와 내동성과의 관계는 여전히 상반된 연구결과들이 보고되고 있다(Palonen and Buszard, 1997; Kalberer et al., 2006; Palonen and Lindén, 2006). 휴면심도 또는 탈경화 저항성이 사과나무 내동성에 영향을 미친다고 본다면(Coleman, 1985) 상대적으로 휴면심도가 깊었던 G.11이나 M.26은 타 대목에 비해 내동성이 강한 것으로 생각된다.

전해질누출 측정은 동결처리후 조직의 손상정도를 정량적으로 평가할 수 있는 방법 중의 하나이다(Linden, 2002). 내재휴면 동안 -25°C 처리에 따른 대목 간 조직 손상정도는 통계적으로 유의한 차이($P>0.05$)가 인정되지 않았고 피해도 경미하게 나타났다(Fig. 26). Wildung 등(1973)은 휴면중인 대목이 -20°C 저온을 조우되었을 때 피해가 없는 것으로 보아 사과나무 대목은 내재휴면 기간 동안에는 -20°C 이하의 온도에서도 내동성은 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서도 내재휴면 기간 동안 대목들이 -25°C 저온을 맞닥뜨렸을 때 대목종류와 관계없이 내동성을 유지하는 것으로 보여진다. 내동성은 대목 종류에 따라 다르고(Quamme and Brownlee, 1997; Wang et al., 2018) 대체로 -30°C 정도가 사과나무 대목이 생존할 수 있는 한계온도로 알려져 있다(Wildung et al., 1973; Moran et al., 2011). Robinson과 Hoying(2004), Czynczyk 등(2010)은 G.11, G.202, G.935, M.26, M.9에 접목된 사과나무가 -30°C 또는 최저 -35°C 저온을 조우하였을 때 동해피해가 뚜렷하게 나타나지 않았다고 보고하였다. 우리나라의 기후 특성상 1월 중순까지 탈경화가 일어나지 않는다면 혹한기에도 주요 사과재배 지역의 기온이 -30°C 이하로 내려가는 경우가 극히 드물어 자발적 휴면기에 어떤 사과나무 대목이든 내동성을 갖은 것으로 판단된다.

저온에서도 식물의 생존을 가능케 하는 매커니즘은 동결을 회피하거나 저항성을 갖는 것이다. 동결 회피를 통해 생존하는 조직은 과냉각 특성을 보이고 동결저항 조직은 세포 내 수분을 세포 밖 동결로 손실시킴으로써 저온을 극복한다(Weiser, 1970; Wisniewski et al., 2003). 온도 하강 속도가 매우 빠르다면 얼음 결정체가 세포 내부에서 형성되어 기계적으로 세포막을 손상시킬 수 있다(Asahina, 1956). 사과에서는 대목 종류와 품종에 따라 내동성이 다르고 대체로 품종이 저온에 대해 좀 더 내성이 강하고 품종에 따라 -40°C 이하에서도 생존할 수 있다고 한다(Tromp, 2005). 본 연구에서 G.202, M.9, G.214, CG.5087, CG.4814(각각 14.6, 11.5, 10.4, 6.1, 5.7%)의 경우 -35°C 처리에서 동해 피해율이 -25°C 처리보다 다소 증가하였으나 그 손상정도는 심각하지 않았다. 그러나 내재휴면 기간 동안 휴면심도와 내동성과의 상관관계는 추정하기는 어려웠다.

(2) 타발적 휴면기의 내동성

목본식물은 휴면타파 후 기온이 오르면서 빠른 속도로 탈경화 과정이 진행되는데(Aronsson, 1975) 식물의 내동성은 경화 및 탈경화의 시간 및 속도 뿐 아니라 재경화 능력도 중요하다

(Palonen and Buszard 1997). 본 연구에서 시료채취 전 며칠 간 대목들이 경험한 온도변동이 -15°C 와 -25°C 처리에 따른 대목의 저항성에 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. -15°C 처리에 따른 피해지수는 5.4% (M.26)~9.3% (G.202) 범위로 나타나 대목 간에 큰 차이는 없었다(Fig. 27). 피해율이 예상과 달리 광범위하게 발생하지 않았고 휴면타과 후에도 모든 대목들이 -15°C 저온에는 저항성이 있는 것으로 보인다. -25°C 에서는 피해지수 범위가 8.7~20.8%였고 대목에 따른 손상정도는 $G.202 \geq G.11, CG.4814, CG.5087, M.9 \geq G.214 \geq G.935, M.26$ 순이었다(Fig. 27). 우리는 휴면타과 후 생장을 일찍 개시하는 대목이 생장개시가 늦은 대목보다 갑작스런 저온을 조우했을 때 내동성이 취약할 것이라는 가설을 세워 본 실험을 진행하였다. 뿌리에서 기인한 것으로 보이는 줄기압은 식물의 수분함량을 증가시키고 생장이 재개되면서(Ewers et al., 2001; Améglio et al., 2002) 내동성은 감소할 수 있다(Arora et al., 1992). 본 연구에서 특정한 상관관계가 관찰되지 않았지만 $G.11, G.202, G.214$ 를 제외하고 줄기압 발생시점이 늦어짐에 따라 [$G.214, CG.5087(2월 21) > CG.4814(2월 24) > M.9(2월 27) > G.202(3월 1) > G.935(3월 2) > G.11(3월 4) > M.26(3월 10)$] 동해 피해가 감소하는($G.202 \geq G.11, CG.4814, CG.5087, M.9 \geq G.214 \geq G.935, M.26$) 경향이였다. 그러나 $G.202$ 가 $G.214$ 보다 9일이 늦은 3월 1일에 줄기압이 측정되었으나 -25°C 처리에서 피해율이 더 높았고 $G.11$ 의 최대 줄기압은 31.3hPa로 다른 대목에 비해 상대적으로 낮은 점을 감안하면 모든 대목에서 발아 전 줄기압과 내동성과의 연관성을 가진 것으로 보기는 어려웠다. -25°C 처리에서 피해를 입은 대목은 회복될 수 있을 것으로 보인다(Pramsohler et al., 2012). 대목 중 $G.202$ 는 $-35^{\circ}\text{C}, -15^{\circ}\text{C}, -25^{\circ}\text{C}$ 각각의 저온처리에서 상해지수가 가장 높아 저온에 상대적으로 취약한 것으로 보인다. 3월 1일에 -25°C 저온을 맞닥뜨린 대목들의 피해율이 1월에 처리된 -35°C 보다 높게 나타났다. 아마도 기온이 높아짐에 따라 대목은 내동성을 상실하면서(Ketchie, 1985; Leng et al., 2000) 동해 한계온도가 점진적으로 상승했기 때문으로 생각된다(Hamilton, 1973; Palonen and Lindén, 1999).

(3) 탈경화처리 후 내동성

겨울에는 조직 내 전분이 자당, 포도당, 과당 형태의 수용성 탄수화물로 분해되고 솔비톨 함량이 증가하여 내동성이 강화된다(Raese et al., 1977; Yoshioka et al., 1988; Palonen, 1999). 이러한 조직 내 당의 축적은 세포막의 극저온성에 대한 내성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Ma et al., 2009). 특히 자당은 내동성 향상에 중요한 역할을 하며 본 연구에서는 $G.214$ 를 제외하고 대목의 흡광도와 자당의 함량 증감과 유사한 경향을 보였다(Fig. 29, Fig. 30). 그럼에도 불구하고 $M.26$ 과 $M.9$ 의 자당 함량은 $G.935, CG.5087$ 과 유사하였으나 제시된 데이터로는 낮은 흡광도를 설명하기가 어려웠다.

TTC 검정에 의한 흡광도의 차이는 뚜렷하게 나타났다(Fig. 30). 대목별 흡광도는 $G.935, CG.5087 \geq G.214 \geq G.11, CG.4814, M.26, M.9 \geq G.202$ 순이었다. $G.935$ 와 $CG.5087$ (각각 흡광도 98%, 97%)은 탈경화로 인해 내동성이 약화된 이후에도 -8°C 에서 저항성을 보여주었다. 반면 $G.202$ 는 51%의 흡광도를 보여 대목 중 가장 피해가 컸다. 대목의 타발적 휴면이 인위적인 탈경화 처리로 인해 해제되었다면 대목의 손상정도는 휴면심도나 탈경화 저항보다는 수용성 당 함량과 더 관련이 있는 것으로 보인다(Table 5, Fig. 29).

결론적으로 내재휴면 기간 동안 -35°C 처리에 따른 동해피해는 심각하지 않았다. 타발적 휴면기간 동안 -25°C 처리도 대목에 심각한 손상을 주지는 않았지만 대체로 내재휴면 기간 동안

-35℃ 처리보다는 동해피해가 증가하였다. 대목줄기에 대한 인위적인 탈경화 처리는 내동성에 영향을 미쳤으며 대목 종류에 따라 저항성이 다르게 나타났다. 사과대목의 저온 저항성은 적어도 늦겨울 또는 이른 봄에는 휴면심도 또는 탈경화 저항성 보다는 상대적으로 수용성 탄수화물 함량이나 수분함량과 좀 더 관련성이 있는 것으로 판단된다. 또한 내재휴면 타과 후 저온이 한겨울 극저온보다 대목의 내동성에 더 많은 영향을 미친다. 따라서 사과나무 대목의 저온 저항성은 내재휴면보다 타발휴면 시기가 더 중요한 것으로 판단된다. -25℃(타발적 휴면기) 및 -8℃ 처리결과 내동성은 G.935 ≥ G.11, G.214, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9 ≥ G.202 순이었다. 반면 -35℃ 처리에서는 CG.4814, CG.5087 ≥ M.26 ≥ G.11, G.214, G.935, M.9 ≥ G.202 순으로 조사되었다.

2-2-4. 토양병 내성 및 사과면충

가. 서론

역병(*Phytophthora cactorum*), 흰날개무늬병(*Rosellinia necatrix*), 흰비단병(*Athelia rolfsii*)과 같은 병원체는 사과를 포함한 광범위한 작물을 지속적으로 공격하여 성장을 저하시키고 결국에는 식물을 파괴하는 토양성 전염병이다(Punza, 1988; Harris, 1991; Kondo et al., 2013). 역병은 사과에서 가장 중요하게 다루어지는 토양병 중의 하나이다.(Plich, 1976; Matheron et al., 1988; Harris, 1991). 1950년대와 60년대에는 주로 유럽과 북미를 중심으로 왜성 또는 준왜성대목인 M(Malling)과 MM(Malling-Merton)계통이 도입이 되면서 상황은 더욱 악화가 되었다(Harris, 1991). 근권부와 지상부를 감염시켜 나무의 생존을 위협하는 질병이고 숙주나무를 통해 새로 개원된 과수원으로도 확산될 수 있다(Jeffers and Aldwinckle, 1998). 토양배수가 불량한 곳에서 만연하고 포자형태로 토양 내에서 장기간 지속이 가능하고 관개수를 따라 먼 거리를 이동한다(Webster and Wertheim, 2003). 역병에 뿌리와 줄기가 노출된 나무는 병이 진전되면서 잎이 황화되는 증상이 나타나며 유목의 왕성하게 자라는 나무에서 병이 더 빠르게 진행된다(Mircetich and Matheron, 1983). Browne과 Mircetich(1993)는 대목 종류에 따라 내성에 차이가 있어서 왜화도가 높은 M.9 대목이 준왜성대목인 MM106보다 역병에 저항성이 더 강하다고 보고하였다.

흰날개무늬병에 감염된 사과나무 뿌리는 부채꼴 형태의 균사체로 덮여 있고 균사체는 표피 내 코르크 조직까지 침투하여 부패를 일으킨다(Schena et al., 2008). 토양 내 적절한 수분과 온도는 균의 성장을 촉진하고 뿌리와 가지 등 식물성 잔류물이 남아 있을 경우 균이 잘 기생한다(Pérez-Jiménez, 2006).

흰비단병은 숙주 종의 범위가 매우 광범위하며 토양 속에서 균핵의 형태로 몇 년간 생존할 수 있다(Punja, 1988). 균핵의 발아는 토양 내 온도와 수분함량 변동에 따라 촉진되며 식물성 잔류물이 있으면 병은 악화된다(Punja, 1985).

이러한 토양병을 예방하기 위해 화학 및 생물학적 방제(Utkhede, 1987; Smith et al., 1990), 멀칭(Utkhede, 1998), 퇴비시용(Utkhede, 1984), 일광살균(Freeman et al., 1990)과 같은 재배적 방법 뿐 아니라 저항성 대목 이용(Carisse and Khanizadeh, 2006; Modgil et al., 2012) 등의 다양한 대책들이 있다.

면충(*Eriosoma lanigerum*)은 사과원에서 흔히 발생하는 해충이고 성목의 갈라진 껍질 내

또는 근권부에서 연중 관찰이 가능하고 특히 대목의 흡지 발생이 심한 나무에서 자주 관찰된다. 면충이 수액을 흡즙하는 먹이 활동은 사과나무의 뿌리와 가지에 혹을 발달시켜 물관부에 상처를 입히고 결국에는 사과나무의 세력을 떨어뜨리고 과실품질에도 영향을 준다 (Klimstra and Rock, 1985; Brown et al., 1995).

면충에 의한 사과나무의 지상부가 피해를 입을 경우 살충제 살포나 천적인 쯤벌에 의해 기생당하기 때문에 제어가 가능하지만 뿌리에 기생하는 면충 집단은 제어하기가 어렵기 때문에 저항성 대목의 이용이 대안이 될 수 있다(Sandanayake et al., 2003). 또한 최근에는 환경보존과 지속가능한 농업을 위해 저농약 방제를 실시하거나 친환경 재배방법을 택하는 농가가 늘어나고 있어 면충 저항성 대목의 중요성이 점점 대두되고 있다.

나. 재료 및 방법

[1차년도]

(1) 공시재료

2018년 4월 하순 2리터 포트에 원예용상토 2호를 채우고 1년생 G, CG.계통 대목(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087)과 M.26, M.9 대목을 한 화분에 한주씩 대목 당 100주를 재식하였다. 대목이 재식된 포트는 토양으로부터 오염을 막기 위해 지상 1m 높이의 배드 위에서 관리하였다. 배드 배치는 흰날개무늬병과 흰비단병 시험 배드로 완전히 분리하여 관리하였다. 각 시험구 배드 위에 배치된 대목들은 난괴법으로 배치하여 관리하였다. 관수는 시기에 따라 하루 2회 또는 3회씩 회당 10분간 점적관수(2L/hour)하여 포트가 적정수분을 유지하도록 하였다.

(2) 처리내용 및 방법

균 배양은 농촌진흥청 농업유전자원센터(KACC)에서 흰날개무늬병, 흰비단병, 역병 종균을 분양 받아 PDA(potato dextrose agar) 배지에 분주하고 항온배양기(MIR-154, Panasonic, Japan)에서 25℃에서 1주간 계대배양 하였다.

흰날개무늬병의 접종을 위해 직경이 8~9mm의 뽕나무 가지를 길이 5cm로 절단하여 증류수로 세척한 다음 고압 멸균기로 120℃ 조건에서 20분간 멸균처리 하였다. 멸균된 가지를 균사체로 가득 찬 Petri dish에 10개씩 넣고 5일간 상온에 두어 감염시킨 다음, 균사체로 덮인 뽕나무 가지를 포트당 하나씩 토양에 꽂는 방법으로 접종하였다(Fig. 1). 접종시기는 대목 재식 후 17주가 경과한 8월 30일이다.



Fig. 1. White Root Rot (*Rosellinia necatrix*)
Inoculation into the soil was carried out using mulberry branches infected with Rn mycelium in the PDA culture medium.

흰비단병 접종은 병균을 PDA 배지에 1주간 계대 배양한 다음(Fig. 2) 형성된 균핵을 대목 1주당 10개씩 토양 내에 주입하는 방법을 택하였다.



Fig. 2. Southern blight (*Athelia rolfsii*) mycelium formed sclerotia in PDA medium after one week of culture.

역병 접종은 토양 내 직접 접종하는 방법을 이용하였다. PDA배지에 배양된 역병균을 코르크볼러 3호(외경 $\Phi 8\text{mm}$)를 사용하여(Fig. 3) 균사를 배지와 함께 떼어 내었다. 떼어 낸 균사는 30mm 증류수를 채운 코니칼 튜브에 넣고 희석하였다. 1개 코니칼 튜브당 3개 덩어리 균사를 희석하였다. 토양 접종은 약 30분간 증류수와 함께 희석한 균사를 토양에 관주하였다(Fig. 3). 반복은 각 대목 당 1주 1반복하여 30반복 접종하였으며, 접종시기는 대목 재식후 17주가 경과한 8월 30일이였다.



Fig. 3. Soil inoculation with *phytophthora cactorum* diluted in distilled water.

균 감염 조사는 흰날개무늬병과 흰비단병 접종 5주 후, 모든 대목을 포트에서 뽑은 다음 상토를 털어내고 근권부 감염상태를 관찰하였다. 1차 근권부 감염상태를 확인 후 보다 면밀한 조사를 위하여 뿌리를 제거하고 지하부 대목줄기 표피를 면도날로 긁어낸 발병 정도를 육안으로 조사하였다. 감염정도는 아래와 같이 5단계로 구분하여 조사하였다(Fig. 4).



Fig. 4. Classification by necrosis of disease symptoms; 1-Emergence of reddish spots, 2-Lesion was browned, 3-Lesion was deeply browned, 4-Lesion turned blackish brown and decay began, 5-Tissue became completely necrosis.

감염부위 분포정도는 육안조사로 실시하였고 대목 표피에 병반이 분포하는 범위 내에서 건전부위 대비 감염부위 면적을 5단계(1: 1~20%, 2: 21~40%, 3: 41~60%, 4: 61~80%, 5: 81~100%)로 나눠 조사하였으며 병징 분포정도를 지수로 나타내었다.

면충 시험은 경북대학교 농생명과학대학 부속실습장에 실시하였으며 2018년 4월 하순 2리터 포트에 원예용상토 2호를 채우고 G, CG.계 대목(G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, CG.5087)과 M.26, M.9 대목을 대목 당 30주 재식하였다. 대목이 재식된 포트는 토양으로부터 오염을 막기 위해 지상 1m 높이의 배드 위에서 난피법으로 배열하고 관리하였다. 날씨에 따라 하루 2회 또는 3회씩 회당 10분간 점적관수(2L/hour)하여 포트가 적정수분을 유지하도록 하였다.

면충을 방사하기 전 채집한 면충의 이탈을 막고 면충좀벌을 포함한 기타 충의 유입을 막기 위하여 면충시험용 전용시설을 제작하였다(Fig. 6). 구조물 골격은 높이2m×폭2m×길이10m로 제작하였으며 흰색 망사를 이용하여 구조물 시설 전체를 씌웠다.

7월 13일 면충 피해가 심한 기존 사과원에서 면충이 기생하는 가지 전체를 채집한 다음(Fig. 7), 수습하여 채집가지를 대목이 놓인 배드 위에 50cm 간격으로 균일하게 배치하였다. 1차 방사후 피해증상이 나타나지 않아 7월 31일, 8월 14일에 추가적으로 2회 방사하였다.



Fig. 5. The pots planted with rootstocks were arranged by randomized block design on the bed. **Fig. 6.** The steel structure was completely sealed with silk mesh fabric. **Fig. 7.** Apple branch covered with woolly apple aphids and the white cottony substance.

[2차년도]

(1) 재료 및 방법

2019년 2월 27일 대목 번식포에서 수확한 1년생 대목을 수돗물로 근권부를 세척한 다음 상토로 채워진 2리터 화분에 재식하였다. 대목 별로 130주를 재식하고 관리하다가 그 중 고사하거나 세력이 약한 나무를 제외한 120주를 선별하여 역병, 흰날개무늬병, 흰비단병, 면충시험에 각 30주씩 사용하였다. 접종균은 농촌진흥청 농업유전자원센터에서 분양 받아서 흰날개무늬병과 흰비단병은 potato dextrose agar(PDA) medium 배지(Song et al., 2008), 역병은 V8 agar 배지(Sanogo, 2004)에 각각 분주하고 항온배양기에서 흰비단병과 역병은 25℃ 조건으로 2주간, 흰날개무늬병은 1주일 간 계대배양 하였다. 이들 병원체 접종은 재식후 167일 후인 8월 13일에 실시하였다.

면충은 접종하기 전에 살충제와 살비제를 2회 살포한 다음 타 해충의 침입을 막기 위해 흰색 실크로 방충망을 설치하였다.

역병은 줄기표피 내 직접 감염시키는 방법을 택하였다. 메스로 지표면 위쪽 약 2cm 지점에 표피를 벗겨내고 V8 배지 위에 있는 균사체를 코르크 볼러 2호를 이용하여 배지 절편을 떼어낸 다음 표피 내 형성층에 삽입하였다. 그런 후, 멸균처리된 적신 거즈로 접종부위를 감싸고 검은색 천으로 거즈를 재차 감싸 암 처리하였다. 그리고 접종부위 수분증발을 막기 위해 비닐로 검은색 천을 두르고 기밀을 유지하였다(Fig. 8).



Fig. 8. Inoculation of *phytophthora cactorum* in the bark of rootstock trunk.

흰날개무늬병은 뽕나무 가지(약 직경 1cm, 길이 5cm)를 숙주로 이용하여 토양 내 감염을 유도하였다(Fig. 1). 항온기에서 1주일 간 배양 후, 균사가 자란 페트리디쉬의 PDA배지 위에 멸균된(오토클레이빙 120도 20분) 뽕나무 가지를 두고 암실에서 보관하여 5일 후에 균사로 덮힌 가지를 포트 당 하나씩 주간에서 5cm 떨어진 거리의 토양 내에 삽입하여 뿌리감염을 유도하였다.

흰비단병은 배지에 형성된 균핵을 이용하여 주간부 주위 토양표피에 직접 접종하였다. 메스를 이용하여 지표면 부근 몸통에 각기 다른 방향으로 두 곳에 상처를 낸 다음 그 주위에 포트 당 균핵 5개씩 접종하였다. 접종 후, 건조를 막기 위하여 멸균된 적신 거즈로 상처주변과 균핵을 덮고 다시 검은색 천을 덮어 암 조건을 만들었다(Fig. 9).



Fig. 9. Inoculation of *phytophthora cactorum* in the bark of rootstock trunk.

면충은 발생 사과원에서 충분한 개체수를 포집한 다음 6월 6일 포트에 접종하였다. 포집된 면충은 확대경을 이용하여 활동성이 높은 개체들을 균집에서 분리한 다음(Fig. 10) 선별된 면충을 포트당 10마리씩 주간 부근 지표면에 방사하였다.



Fig. 10. Woolly apple aphides were isolated from shoots with highly active individuals using a magnifying glass.

(2) 조사항목 및 방법

역병은 접종 6주 후 병반 확산 길이 조사를 위해 메스로 줄기표피를 벗겨내고 최초 접종지점에서부터 감염 길이를 측정하였다. 다시 3주가 지난 시점에 뿌리를 제거하고 지상부 조사와 마찬가지로 줄기표피를 벗겨내고 지하부 줄기의 감염정도를 조사하였다.

흰날개무늬병은 접종 6주 후 뿌리를 제거하고 대목 줄기 표피를 면도날로 긁어낸 다음 병반 분포 길이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 병반지수는 병반이 확산된 범위 내에서 건전부위 대비 감염부위 면적을 5단계(1: 1~20%, 2: 21~40%, 3: 41~60%, 4: 61~80%, 5: 81~100%)로 나눠 조사하였다.

흰비단병은 접종 4주 후 1차로 줄기감염 길이를 측정하였고 2주가 지나서 다시 추가로 확산된 길이를 조사하였다. 그런 다음 뿌리를 제거하고 지하부 줄기 감염 길이를 조사하였다. 시험종료 시점에는 고사주를 조사하여 백분율로 나타내었다.

근권부와 가지의 면충 기생조사는 낙엽이 진 후 1월 10일에 실시 하였다. 우선 지상부 가지에 형성된 군집 수를 조사하고 그 크기를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 그런 다음 토양 내 면충 월동 상황을 육안으로 기생여부를 조사하여 전체 주수에 대한 백분율로 나타내었다.

다. 결과

[1차년도]

(1) 흰날개무늬병 (*Rosellinia necatrix*; Rn)

토양 내 흰날개무늬병 접종처리 5주 후, 각 대목별 지하부 줄기의 감염 병반 길이가 M.9가 65mm로 가장 긴 반면에 G.11은 37mm, CG.4814는 38mm로 공시대목 중 감염부가 가장 짧았다(Fig. 11). 각 대목의 지하부 줄기 감염부위 범위 내에서 건전부위 대비 병반 감염부위 면적을 나타내는 지수(Fig. 12)는 M.26이 3.6이었고, G.202와 CG.4814는 각각 2.0, 2.1로 상대적으로 병반 확산이 적었다. 병반부 조직의 괴사진행 정도를 보면(Fig. 13) M.26, M.9에서는 대부분의 감염부위가 괴사정도가 심했다. G.935는 감염부의 내부조직이 진한 흑갈색을 띠는 수준으로 괴사속도가 느리게 진행되었다.

지상부에서는 지하부 병징에 따른 잎의 시듦, 황화현상 등 어떠한 증상도 관찰되지 않았다. 토양 내 흰날개무늬병 접종 후, 5주간의 감염기간을 두고 뿌리 감수성을 검토해 본 결과 대목별로 상대적으로 차이가 있었고 전반적으로 높은 감수성을 보였다. 종합적으로 보면 접종 5주 후에 모든 공시대목에서 흰날개무늬병의 병징이 나타났으나 병징의 발현정도나 괴사로 진행은 대목별로 차이가 있었다. G 또는 CG계통 대목이 M계통 대목보다 흰날개무늬병에 대해 병징의 발현정도가 다소 약한 경향을 보였다. G 및 CG계통 대목 중 CG.4814, G.202, G.935가 병반의 확산과 괴사진행 정도가 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다.

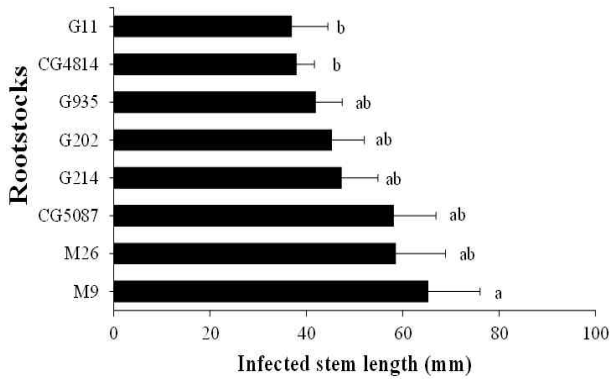


Fig. 11. The length of infected lesion of the rootstocks stem below ground. Bars represent the standard errors of the means (n=30). Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

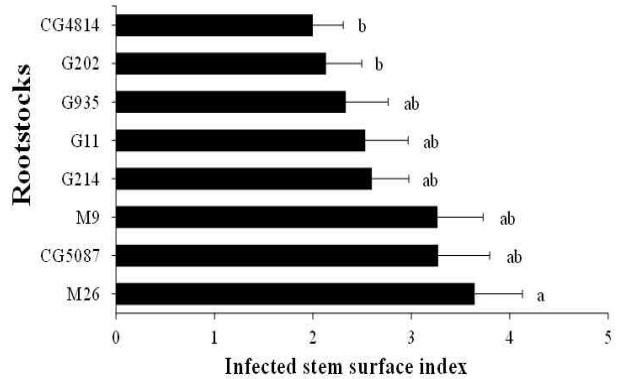


Fig. 12. Degree of lesion spread within the range of infected length of rootstocks stem below ground; 1: 1~20%, 2: 21~40%, 3: 41~60%, 4: 61~80%, 5: 81~100%. Bars represent the standard errors of the means (n=30). Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

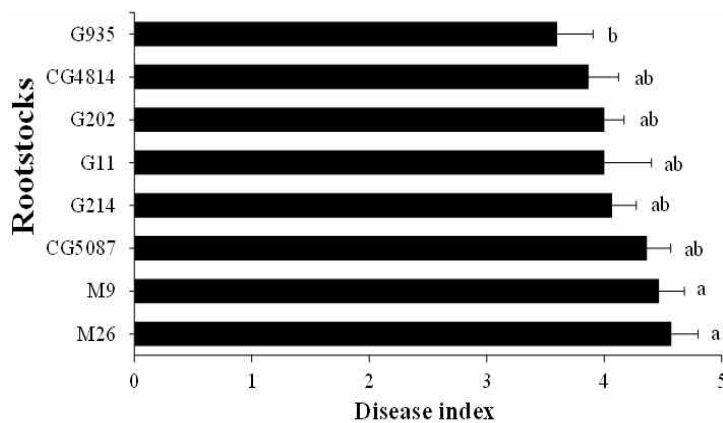


Fig. 13. Classification by the necrosis of Rn disease symptoms of rootstocks stem below ground; 1-Emergence of reddish spots, 2-Lesion was browned, 3-Lesion was deeply browned, 4-Lesion turned blackish brown and decay began, 5-Tissue was completely necrosis. Bars represent the standard errors of the means (n=30). Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

(2) 흰비단병 (*Athelia rolfsii*; Ar)

접종 5주 후, 각 대목 지하부 줄기표피에 병징이 나타난 범위는 G.935가 45mm로 감염부위가

가장 넓게 분포한 반면 G.214는 지하부 대목줄기 감염분포 부위가 25mm로 확산범위가 가장 좁았다(Fig. 14). 병반부 조직의 괴사진행 정도를 보면(Fig. 15) 통계적 유의성은 인정되지 않았으나 전반적으로 짙은 갈색을 띄는 단계였다. 흰날개무늬병 증상과 비교해보면 비교적 개체 간 감염정도의 편차가 크게 나타나 대목 간 우열을 판단하기는 어려웠다. 2019년 봄에 실시한 추가 시험에서는 토양 내 접종과 달리 온실 내에서 조기 재배를 통하여 여름이 시작되는 시점에 감염주를 이용한 접종을 적용할 계획이다. 흰날개무늬병과 흰비단병 시험결과를 보면 감염진행 정도에서는 대목 간 차이가 있는 것으로 조사되었다.

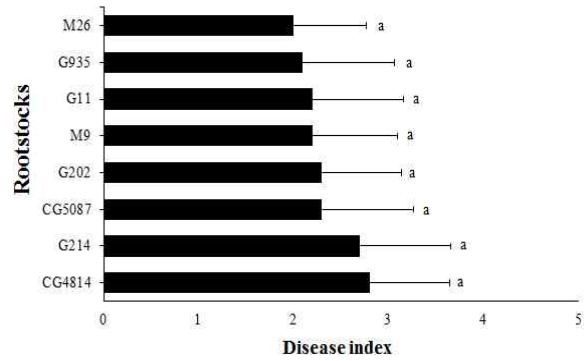
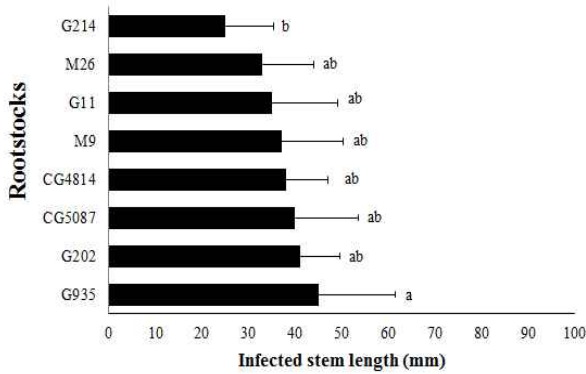


Fig. 14. The length of infected lesion of the rootstocks stem below ground. Bars represent the standard errors of the means (n=20). Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

Fig. 15. Classification by the necrosis of Ar disease symptoms of rootstocks stem below ground; 1-Emergence of reddish spots, 2-Lesion was browned, 3-Lesion was deeply browned, 4-Lesion turned blackish brown and decay began, 5-Tissue was completely necrosis. Bars represent the standard errors of the means (n=20). Different letters are significantly different at $P < 0.05$ according to the Duncan's Multiple Range Test.

(3) 사과역병 (*Phytophthora cactorum*; Pc)

감염주는 나타나지 않아서 접종에 실패하였다. 예비로 준비한 대목 재식 포트에도 동일한 방법으로 접종을 하였으나 접종 2주 후에도 감염증상이 나타나지 않았고 1차 접종 2주후, 재차 배양한 역병균주를 1차 접종 방법과 동일한 방법으로 2차 토양접종을 하여도 같은 결과였다. 최초 역병균 접종 5주후, 시험에 사용된 모든 대목들을 조사해본 결과 근권부 감염증상은 나타나지 않았다. 미생물 전문가 도움으로 토양접종 방법을 택하였으나 결과적으로 1차년도 역병균 저항성 시험에서는 신뢰할 만한 데이터를 얻기 어려웠다. 역병균 접종방법에 있어 원인이 있을 것이라 생각하여 균이 희석된 증류수 30mm는 근권부를 감염시키기에는 충분하지 않다고 판단하였다. 지표면 부근에 모두 흡수되어 지속적인 관수에도 불구하고 단시간 내에 수분이 증발하면서 균확산에 영향을 미친 것으로 판단되어 2년차 시험에서는 접종방법을 달리하여 실시할

계획이다.

(4) 면충(*Eriosoma lanigerum*)

시설 내 1차 면충방사 후 주기적으로 면충감염 여부를 관찰하였지만 감염주는 거의 나타나지 않아 총 3회에 걸쳐 면충방사를 시도하였다. 채집한 가지의 면충 활성도를 알아보기 위하여 실체 현미경을 이용하여 촬영해 본 결과 사과면충에 좀벌이 기생하였거나 기생으로 죽은 것으로 판단된다(Fig.16). 접종용 면충의 채집시기가 늦어 이미 천적인 면충좀벌이 산란을 하였기 때문이었다.

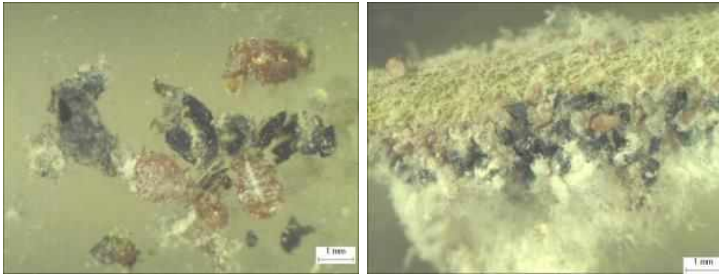


Fig. 16. Woolly apple aphids mummy(black) by *Aphelinus* mail.

2019년 재차 실시 예정인 면충저항성 시험에서는 면충이 발생하기 시작하는 4월말 또는 5월 상순경 사과면충 좀벌에 의한 기생 수준이 미미한 시점에 면충을 채집하여 저항성 시험을 실시하고 활성도가 높은 면충을 분리하여 각 포트마다 일정한 마리수로 직접 방사할 계획이다.

[2차년도]

(1) 사과역병(*Phytophthora cactorum; Pc*)

역병 접종 40일 후 병반확산 속도에서 대목 간 뚜렷한 차이가 있었다(Fig. 17). 대체로 M계 대목이 상대적으로 저항성 높았다. 지상부 줄기감염은 CG.5087이 55.8cm로 가장 길었고 다음으로 G.935, CG.4814, G.202로 각각 55.6, 49.1, 42.2mm였다. M.26은 33.2mm였고 M.9는 확산범위가 가장 짧은 13.2mm였다. 접종 60일 후 지하부 줄기감염도 지상부 감염형태와 비슷한 경향을 보였다. 다만 확산범위는 지상부 줄기와 비교해 넓지 않았다. CG.4814가 17.9mm로 가장 길었던 반면 M.9는 1.6mm로 대목 종류에 따른 차이가 명확하였다.

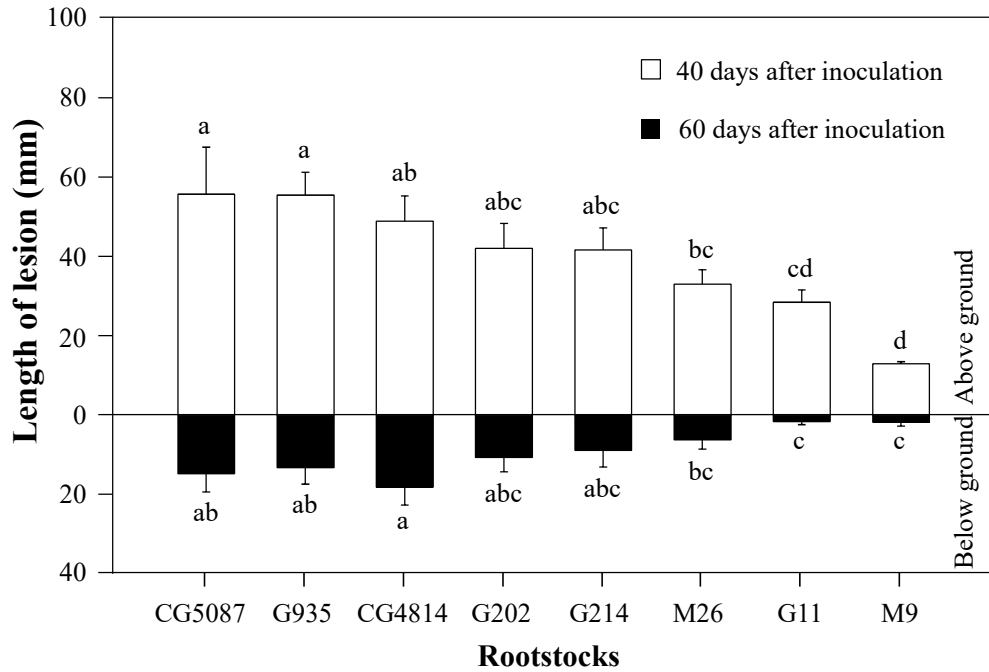


Fig. 17. Length of lesions developed on the stem of 1-year-old rootstocks after inoculation with *Phytophthora cactorum* in the cambium. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(2) 흰날개무늬병 (*Rosellinia necatrix*; Rn)

흰날개무늬병 저항성에 대해서는 역병과 달리 오히려 M계통 대목이 G 또는 CG계통 대목보다 병에 대한 민감도가 높은 경향이였다(Fig. 18). M.9와 M.26은 각각 65.3, 58.6mm의 병반 확산범위를 보였다. 다음으로 CG.5087, G.214, G.202, G.935, CG.4814, G.11이 각각 58.2, 47.3, 45.3, 42.0, 38.0, 37.1mm를 기록하였다. 병반 확산지수는 M.26이 3.6으로 감염면적이 가장 넓었고 M.9와 CG.5087도 3.3으로 비슷한 확산면적을 보인 반면 G.202와 CG.4814는 각각 2.1, 2.0으로 병반확산 속도에서 대목 간 차이가 나타났다.

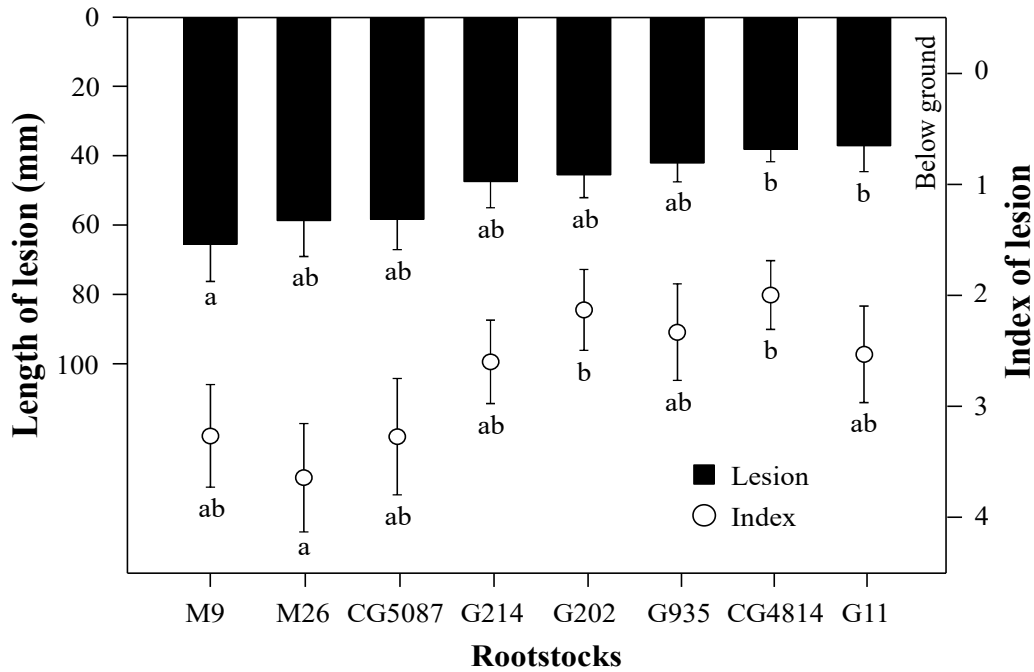


Fig. 18. Length of spot-shaped lesions spread on the below-ground stem of 1-year-old rootstocks after soil inoculation with mulberry host plants covered with *Rosellinia necatrix* mycelium, and the lesion index; Infected area classification (1: 1~20%, 2: 21~40%, 3: 41~60%, 4: 61~80%, 5:81~100%). Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(3) 흰비단병 (*Athelia rolfsii*; Ar)

흰비단병은 M계통 대목이 민감한 것으로 나타났다(Fig. 19). 접종 10일 후, M.9와 M.26은 감염된 부위가 각각 22, 20mm인 반면 CG.5087과 G.935는 각각 9mm와 6mm였다. 접종 30일 후 감염확산 속도는 대목 간 차이가 뚜렷하여 M.9와 G.11은 각각 23, 13mm로 감염 확산증가 폭이 타 대목에 비해 상대적으로 컸으며 M.26, CG.4814, G.202, CG.5087, G.935, G.214는 각각 8, 7, 4, 3, 3, 2mm가 증가하였다. 접종 40일 후, 지하부 줄기 감염은 M.26, M.9가 각각 127, 108mm로 감염속도가 타 대목에 비해 현저하게 빨랐다. 다음으로 CG.4814, G.214, CG.5087, G.202, G.11, G.935의 감염 길이가 각각 36, 35, 24, 23, 11, 10mm였으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다.

고사주는 M.9가 80%로 나타났고 다음은 M.26이 53%가 고사한(Fig. 19) 반면 CG.5087, G.202, CG.4814, G.214, G.11, G.935가 각각 25, 23, 20, 17, 10, 7%가 고사하였다.

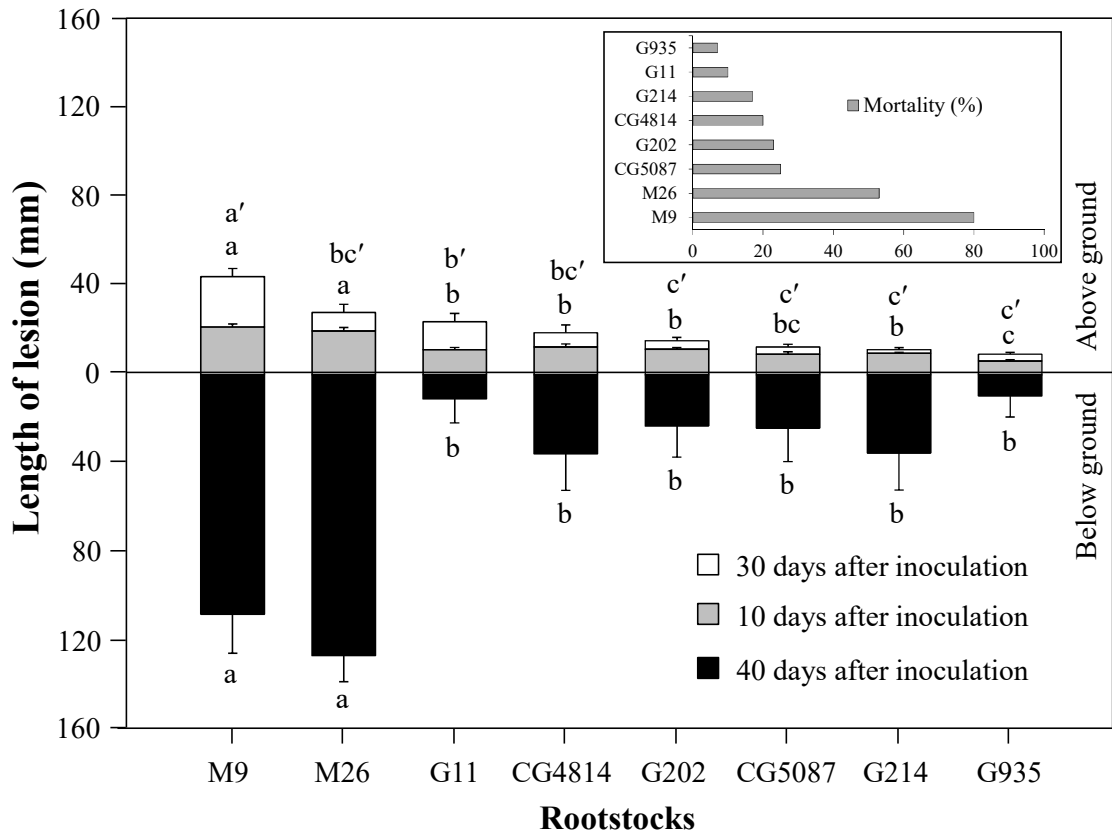


Fig. 19. Length of the lesions developed on the stem of 1-year-old rootstocks after inoculation with *Athelia rolfsii* on the ground surface, and rootstocks mortality. Vertical bars represent standard errors of the means. Bars with different letters are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

(4) 면충(*Eriosoma lanigerum*)

면충에 대한 민감도는 대목 종류에 따라 뚜렷하게 달랐다(Table 1). 대목 종류에 따른 면충의 정착율은 CG.4814가 57%로 가장 높았고 다음으로 M.26 (53%), M.9 (47%), G.935 (40%) 순이었다. G.11, G.202, G.214, CG.5087에서는 가지에 균집 형성이 관찰되지 않았고 M.9, CG.4814, M.26, G.935에 만들어진 균집 수는 각각 8.6, 7.4, 7.2, 6.5개였으나 대목 간 유의한 차이는 없었다. M.9에 형성된 균집 당 크기는 32.6mm으로 다른 대목과 비교해 그 차이가 확연하였다. 근권부 면충 서식율은 CG.4814가 47%로 가장 높았고 다음으로 M.9가 40%였고 M.26과 G.935가 각각 33, 23%인 것으로 조사되었다.

Table 1. Infestation level on shoots and roots by rootstock type, about 7 months after release of woolly apple aphid on the ground surface of the pots.

Rootstock	Settlement rate (%)	Number of colonies	Colony size (mm)	Soil infestation (%)
G11	- ^z	-	-	-
G202	-	-	-	-
G214	-	-	-	-
G935	40	6.5a ^y	11.9b	23
CG4814	57	7.4a	11.1b	47
CG5087	-	-	-	-
M26	53	7.2a	9.4b	33
M9	47	8.6a	32.6a	40

^zNo infestation

^yMeans in a column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

라. 고찰

역병, 흰날개무늬병과 흰비단병은 뿌리 또는 지상부를 감염시키는 토양 전염병으로(Freeman et al., 1990; Tidball and Linderman, 1990; Mahadevakumar et al., 2018) 완전한 방제가 어렵고 발병된 과수원은 나무의 생존율이 떨어지면서 경제적 손실이 뒤따른다. 본 시험에서는 병원균 종류에 따라 다양한 형태로 감염증상이 나타났고 상대적인 병반의 길이를 이용하여 대목 간의 저항성 정도를 평가하였다(Utkhede and Quamme, 1988).

역병은 토양배수가 열악한 상황에서 증식이 잘 된다고 한다(Campbell, 1969). 역병은 대목의 뿌리와 줄기를 모두 감염시키는 병원체로서(Jeffers and Aldwinckle, 1988) 줄기 형성층 접촉 후 지하부쪽 보다는 증산 물줄기를 따라 검은 띠를 형성하며 감염이 진행되었다(Fig. 1). 역병에 대한 저항성은 대목 간 뚜렷한 차이를 보였는데 Browne과 Mircetich(1993)은 M.9가 역병에는 상대적으로 강한 저항성을 보였다고 보고하였다. G계통 대목 중에서는 G.11이 M.9에 버금가는 저항성을 보였다. 나머지 제네바 CG.5087, G.935, CG.4814, G.202 대목들은 상대적으로 민감한 그룹으로 조사되었다.

흰날개무늬병은 다양한 식물을 감염시키고 감염된 식물의 잎은 황화가 진행되면서 낙엽 증상이 나타나고 병원균은 균사체 형태로 식물의 뿌리와 지점부를 공격한다(Sztejnberg et al., 1987). 흰날개무늬병은 죽은 나무에서 부생(saprophytic ability)하기 때문에 기본적으로 죽은 나무를 통해 확산된다(Pérez-Jiménez, 2006). 본 시험에서도 흰날개무늬병은 숙주를 통해서도 쉽게 근권부를 감염시킬 수 있었다. 병반의 확산범위는 대목 간에 통계적으로 유의한 차이는 있었으나 역병이나 흰비단병 만큼 크게 나타나지는 않았다(Fig. 2).

흰비단병은 광범위한 식물종을 감염시키는 병원체로 균핵을 형성하여 토양 내에서도 상당기간 생존이 가능한 것으로 알려져 있다(Punja, 1988). 사과에서 흰비단병에 대한 보고는 매우 적지만 죽은 나무의 잔재들이 토양 내에 남아있으면 발병율이 증가한다고 한다(Conway

et al., 1996). 흰비단병에 대해 M계통 대목이 민감도가 높은 반면 G 또는 CG계통 대목은 높은 저항성을 보여 계통 간에도 차이가 있음을 알 수 있다(Fig. 3). 이들 주요 사과 병에 대해 완전한 저항성을 보인 대목은 없었기 때문에 상대적으로 높은 저항성을 지닌 대목도 이들 병에 대한 내성을 갖고 있다고 판단하기는 어렵다. 결론적으로 균 종류에 따른 저항성은 대목 간에 달리 나타날 수 있고 전염병 저항성 대목은 감염의 확산 또는 감염율을 다소 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

면충은 사과나무 생육기에 주로 가지를 식해하고 군집을 형성하면서 개체 수를 늘리고 겨울에는 줄기목통의 갈라진 틈이나 뿌리에서 겨울을 나는 생활환을 갖고 있다(Gontijo, 2011). 따라서 낙엽 후 줄기에 형성된 면충의 군집 크기나 근권부 기생정도를 통해 대목에 대한 면충의 활성을 추정할 있다(Ateyyat and Al-Antary, 2009). 면충 정착율과 군집 수에서는 대목 간 차이가 뚜렷하지 않았지만 군집크기는 M.9 대목에서 현저하게 높게 나타났다(Table 1). 알려진 바와 같이(Webster and Wertheim, 2003) M.9, M.26 대목은 본 시험에서도 면충에 대해 상대적으로 높은 민감성을 보였다. G 또는 CG 계통 대목 중에서 G.935와 CG.4814가 민감도가 높은데(Robinson et al., 2014) 이는 G.935와 CG.4814 대목의 한쪽 부모인 ottawa 3의 면충 취약성과 연관되어 생각 할 수 있다(Spangelo et al., 1974). 따라서 면충 발생이 심한 곳에서는 재배적, 화학적인 방법뿐만 아니라 아닌 저항성 대목의 활용도 대안이 될 수 있다. 결론적으로 본 시험 면충 저항성 평가에서는 대목 종류에 따른 저항성 차이가 뚜렷하였고 G.11, G.202, G.214, CG.5087 대목은 면충에 대해 내성을 갖춘 것으로 조사되었다.

2-3. 요약 및 결론

본 연구는 미국 Cornell대 Geneva농업시험장에서 육성한 G 및 CG 사과대목을 우리나라에서 이용하고 있는 기존의 M.26, M.9와 비교하여 다양한 환경조건 하에서 생장과 생산성, 그리고 생리적인 측면에서 저항성 또는 환경적응성을 평가하여 새로운 유망 대목을 선별하고자 하는데 있었다.

연작적응성 검정에서, M.26과 M.9 대목의 사과나무는 살균처리가 된 토양에 비해 무살균 토양에서 생육이 크게 억제되는 것으로 보아 검토한 대목 중에 연작적응성이 가장 낮은 대목으로 조사되었다. 반면 G 및 CG 대목의 사과나무는 M계 대목의 사과나무에 비해 무살균 연작토에서 생육억제가 적어서 연작적응성이 양호한 것으로 평가되었다. G.935, CG.5087과 G.214 대목의 사과나무는 연작토 살균 유무에 관계없이 사람이 왕성하게 나타나 연작 민감성이 다소 낮은 대목으로 평가할 수 있었다.

내건성 검정에서, 5주간의 반복적인 수분스트레스는 엽면적과 뿌리 발달 억제를 초래하였고 11일간의 회복기간이 경과한 후 수분관련 생리적 기능에서 대목 간에 차이가 나타났으나 여전히 무처리 수준으로 회복하지는 못하였다. 공시한 대목 중에는 CG.5087이 한발스트레스에 가장 민감하게 반응을 하였고 G.202, G.214 및 G.935는 M.26보다 내건성이 우수한 것으로, G.11, CG.4814는 M.9와 비슷한 수준을 보이는 것으로 평가되었다.

내습성 검정에서, 4주 동안 반복된 침수는 공시대목 '후지' 접목 사과나무의 생리적 반응, 건물생산 및 나무의 생장을 현저하게 떨어뜨리는 결과를 가져왔다. 침수처리 3주째부터 일부 대목의 사과나무에서 잎이 서서히 시들고 생장이 급격하게 감소하면서 대목 간 내습성의 차이가 드러나기 시작하였다. 28일간의 침수처리와 18일간의 회복기간 동안 나무의 생장과 생리반응을 검토한 결과 M.9와 G.214가 침수에 가장 취약하였고 다음으로는 G.202인 것으로 평가되었다. 반면에 CG.4814는 침수에 가장 강하였고 CG.5087, G.935와 G.11은 M.26과 비슷한 수준의 내습성을 가진 것으로 평가되었다.

내동성 검정에서, 공시대목의 휴면심도는 CG.5087이 가장 얇아서 1월 상중순에 내재휴면이 타파가 되었고 M.26은 가장 늦은 1월 하순 이었다. 나머지 G.11, G.202, G.214, G.935, CG.4814, M.9는 1월 중순에 내재휴면이 타파가 되는 것으로 조사되었다. 내재휴면기간 동안 대목을 -35°C에 2시간 노출시켰을 때 전체적으로 경미하게 동해가 발생되었지만 대목 간에는 G.202가 CG.4814와 CG.5087보다 피해율이 다소 높게 나타났다. 타발적 휴면기간 동안 -25°C에 2시간 노출시켰을 때 대목들의 동해수준이 심각하지는 않았지만 G.202가 상대적으로 M.26과 M.9에 비하여 피해율이 높았다. 3월 8일, 4일간 인위적으로 대목줄기 부위에 탈경화 처리를 하고 -8°C에 노출한 결과 G.202가 가장 취약하였고 다음으로는 M.9, M.26, CG.4814, G.11이었으며 G.935와 CG.5087의 피해는 거의 나타나지 않았다. 따라서 내재휴면기 동안 내한성은 CG.4814, CG.5087 ≥ M.26 ≥ G.11, G.214, G.935, M.9 ≥ G.202 순서로 평가되었고 탈경화 처리 후 내한성은 G.935 ≥ G.11, G.214, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9 ≥ G.202 순으로 볼 수 있었다.

주요 토양병과 사과면충에 대한 내성 검정시험에서, 역병(*Phytophthora cactorum*)에 대해서는 알려진 바와 같이 M.9가 타 대목에 비해 비교적 높은 내성을 나타냈다. G 또는 CG 대목 중에서는 G.11만이 M.9와 비슷한 수준의 내성을 보였다. 흰날개무늬병(*Rosellinia necatrix*)에 대해서는 M.9와 M.26이 G 및 CG 대목에 비해 민감하였다. G 및 CG 대목 중에는

G.11과 CG.4814가 다소 내성이 있는 것으로 보였으나 유의성이 인정될 정도는 아니었다. 흰비단병(*Athelia rolfsii*)에 대해서는 M.9와 M.26이 매우 민감하여 접종에 의한 고사율이 각각 80%와 53%로 G 및 CG계의 7%(G.935)~25%(CG.5087)에 비해 현저하게 높게 나타났다. 사과면충 저항성 시험에서는 G.935와 CG.4814는 M.9나 M.26과 같은 수준의 감수성을 보였고 나머지 G 및 CG계통 대목은 내성을 가진 것으로 평가되었다.

공시 G 및 CG의 대목증식율은 기존의 M.9와 M.26과 비슷하여 묻어떼기방법으로 손쉽게 증식할 수 있었고 우량한 소질의 측지묘목을 생산하는 데에도 문제가 없었다.

생장특성과 생산성 검정에서, 나무의 자람세는 지역에 관계없이 G.202, G.935, CG.4814 대목이 M.26과 비슷하거나 좀 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났고 G.11, G.41, G.214, CG.5087은 M.9와 비슷한 왜화도를 보인 반면에 CG.5757은 M.9보다 자람이 약한 것으로 평가되었다. 경북대 부속실습장에서 실시된 생산성 평가에서는 주당 누적수량에 있어서 G.202, G.935, CG.4814 대목이 가장 양호하여 M.9의 생산성을 능가하였고 CG.5757과 CG.5087은 M.9에 미치지 못하였다. 사과주산지 생산성 평가에서는 CG.4814는 세 지역 누적수량이 가장 높은 대목으로 평가되었고 G.11, G.202, G.214, G.935는 M.26과 비슷한 수준이었으며 CG.5087은 M.9와 함께 타 대목에 조금 못 미치는 생산성을 기록하였다.

결론적으로 한발, 침수, 동해, 연작적응성, 토양병 및 사과면충, 생산성에 대한 평가에서 대목종류에 따른 나무들의 반응은 다양하게 나타났고 동일한 대목도 평가된 환경에 따라 적응성 또는 내성이 달랐다. 그러나 이러한 여러 가지 환경적 요인에 대한 적응성 또는 내성을 종합적으로 평가하였을 때 G.11, G.935와 CG.4814가 기존의 M.9나 M.26을 대체 할 수 있는 유망한 후보로 평가되었다. 더구나 코넬대에 따르면 최근 문제가 되고 있는 화상병에 대해서 G.935와 CG.4814는 강한 내성(very tolerant)을, G.11은 내성(tolerant)을 갖고 있어서 더욱 국내 보급가치가 있다고 보고 M.26 대체대목으로 G.935와 CG.4814를, M.9 대체대목으로 G.11을 선발하였다. 이들 대목에 대해서 코넬대 Center for Technology Licensing과 국내 증식 및 보급권 확보를 위한 절차를 진행 중에 있다.

표 1. M.9와 M.26대비 G 및 CG 대목의 왜화도, 생산성 및 내 환경성 비교

대목	내습성	내건성	내동성	연작 적응성	역병	흰날개 무늬병	흰비단 병	면충	왜화도	생산성
G.11	보통	보통	보통	보통	보통	보통	내성	내성	M.9 ≈	양호
G.202	민감	보통	민감	보통	민감	보통	내성	내성	M.26 ≤	양호
G.214	민감	보통	양호	양호	민감	보통	내성	내성	M.9 ≤	양호
G.935	보통	양호	양호	양호	민감	보통	내성	민감	M.26 ≈	양호
CG.4814	내성	보통	보통	보통	민감	보통	내성	민감	M.26 ≈	양호
CG.5087	보통	민감	보통	양호	민감	민감	내성	내성	M.9 ≈	보통
M.26	보통	보통	보통	민감	보통	민감	민감	민감	-	양호
M.9	민감	보통	민감	민감	내성	민감	민감	민감	-	양호

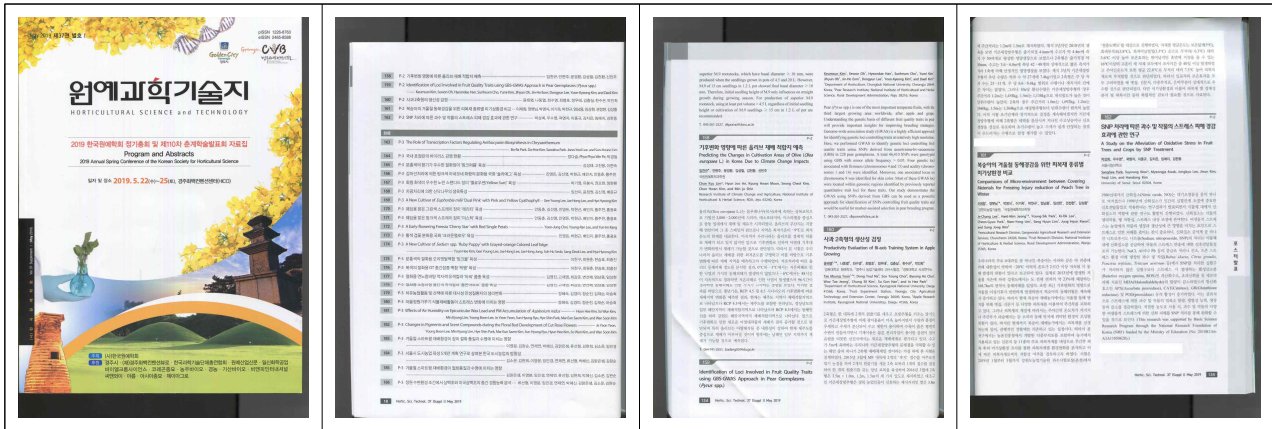
2-4. 연구성과 목표 대비 실적

가. 국내 및 국제학술회의 발표

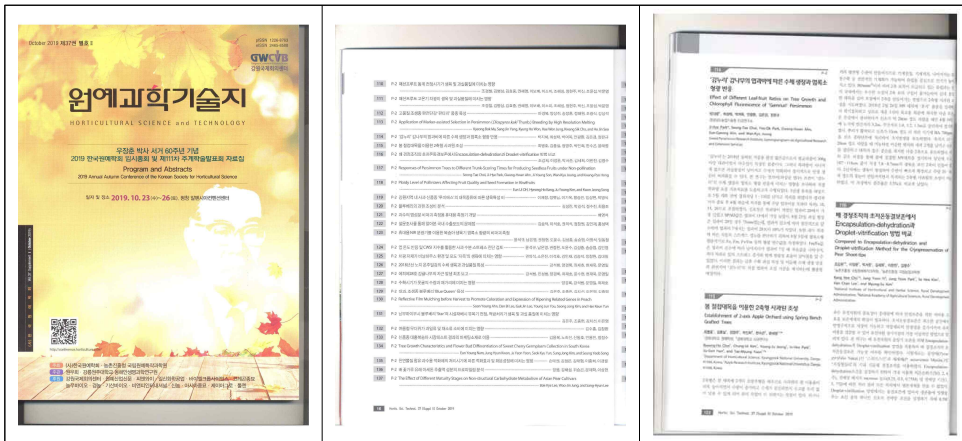
No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	한국원예학회	윤태명	2019.05.	경주화백컨벤션센터	대한민국
2	한국원예학회	최병호	2019.10.	평창 알펜시아컨벤션센터	대한민국
3	국제원예학회(ISHS)	최병호	2020.07.	Wenatchee, WA	USA

※당초 20.7.26~31. 미국에서 개최예정이었던 국제원예학회(ISHS)에서 학술발표 예정이었으나, COVID-19로 인해 21년 8월로 학회가 연기됨에 따라 발표일정도 연기됨.

(1) 2019 한국원예학회 정기총회 및 제110차 춘계학술발표회 - 사과 2축형의 생산성 검정(포스터발표)



(2) 2019 한국원예학회 임시총회 및 제111차 추계학술발표회 - 봄 절점대목을 이용한 2축형 사과원 조성(포스터발표)



(3) 국제원예학회(ISHS) : XII International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems - Replant Tolerance Evaluation of Geneva Apple Rootstocks Based on Their Vegetative Growth in Pasteurized and Un-pasteurized Replant Soil

International Society for Horticultural Science
ROSA - Responsive Online System for Acta Horticulturae submission and review
 This submission belongs to: XII International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems
 Submissions management dashboard for Symposium XII International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems

Title	Last updated	Status	Action
Replant Tolerance Evaluation of Geneva Apple Rootstocks Based on Their Vegetative Growth in Pasteurized and Un-pasteurized Replant Soil	Prof. Stefano Muscatelli (stefano.muscatelli@univ-brescia.it)	abstract accepted - submit fulltext	Upload Fulltext

Back to overview of symposia

International Society for Horticultural Science
ROSA - Responsive Online System for Acta Horticulturae submission and review
 Choose an action:

- August 14, 2021, Wenatchee, WA (United States of America) XII International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems
 Author role: submit new abstract; edit existing articles
 Coeditor: Prof. Stefano Muscatelli (stefano.muscatelli@univ-brescia.it)
 Editor: Prof. Stefano Muscatelli (stefano.muscatelli@univ-brescia.it)
- October 10-16, 2016, Yangling, Shaanxi (China) I International Apple Symposium
 Abstract submission is closed since 20 September 2016
 Fulltext submission is closed since 15 November 2016
 Coeditor: Prof. Zhen-Hai Fan (zhenhai@caas.cn)
 Coeditor: Prof. Fangping He (hefp@caas.cn)
 Editor: Prof. Zhen-Hai Fan (zhenhai@caas.cn)
 Editor: Prof. Zhen-Hai Fan (zhenhai@caas.cn)
 Editor: Prof. Zhen-Hai Fan (zhenhai@caas.cn)
 Editor: Prof. Zhen-Hai Fan (zhenhai@caas.cn)
- July 2-5, 2023, Geneva (Italy) XXV International Eucarpia Symposium Section Ornamentals - From Nature to Culture: Breeding Ornamentals for Sustainability
 Editor: Prof. Stefano Muscatelli (stefano.muscatelli@univ-brescia.it)
 Editor: Dr. Johan Van Haverbeke (johan.vanhaverbeke@kva.vlaanderen.be)
 Editor: Marco Mariani (marco.mariani@univ-brescia.it)
- March 16-17, 2021, Stuttgart (Germany) VIII International Symposium on Human Health Effects of Fruits and Vegetables - FAHEALTH2020

보건의료인명명단
 International Society for Horticultural Science
 The world's leading independent organization of horticultural scientists

Replant Tolerance Evaluation of Geneva Apple Rootstocks Based on Their Vegetative Growth in Pasteurized and Un-pasteurized Replant Soil

B. Narayan¹, B.H. Choi², W.D. Jeong³, S.G. Han¹, L.H. Park⁴, D.H. Choi⁵, J.G. Kim⁶ and J.M. Yoon^{1*}
¹Department of Horticultural Science, Kangwon National University, Daegu 760-749, Korea
²Apple Research Institute, Kangwon National University, Daegu 760-749, Korea
³School of Life Sciences, Kangwon National University, Daegu 760-749, Korea
⁴*Corresponding author: yoonj@knu.ac.kr

Abstract
 The Geneva and Malling series of apple rootstocks (611, G.202, G.214, G.935, CG.614, CG.587, M.9 and M.26) were grafted with 'Fuji' scions and planted in nine liter of plastic pots and grew inside the greenhouse. Pot soil where grew apple tree for 6 years was used for this experiment after pasteurization (hot water steam at 75C for 50 min) or un-pasteurized. The tree height of M.9 and M.9 in un-pasteurized replant soil was reduced by 17.3% and 13.4% respectively compared to those in pasteurized replant soil, meanwhile, little difference was observed in G.935, CG.587 and G.214 between in two replant soil. T1 (trunk sectional area) increase of M.9 and M.9 in un-pasteurized replant soil decreased by 23.7% and 19.3% respectively during the experiment compared to those in pasteurized replant soil, however little or not significant decrease in the other rootstocks. The total shoot dry weight of M.9 and M.9 in un-pasteurized replant soil was 64.7% and 55.6% less respectively compared with those in pasteurized replant soil, meanwhile, total shoot dry weight loss rate of G.935, G.214 and CG.587 in un-pasteurized ranged 11.2 to 26%. However, root dry weight of M.9 was reduced by 44.8% in un-pasteurized than that in pasteurized soil, but not such different in the other rootstocks. Meanwhile density of applethick, Triterpene and flavonoids in later growing season were significantly higher un-pasteurized. According to fungal communities study in soil through the pyrosequencing method in later growing season, total viable sequencing reads and operational taxonomic units (OTUs) were decreased by pasteurization. In particular, 57 genera were found in un-pasteurized soils and 41 genera in sterilized soils. The result of metagenomic analysis based on the pyrosequencing indicate that the unique genus from soil was associated with tolerance to pasteurization.

Keywords: Malus domestica, Geneva rootstock, nematode, replant disease, resistance

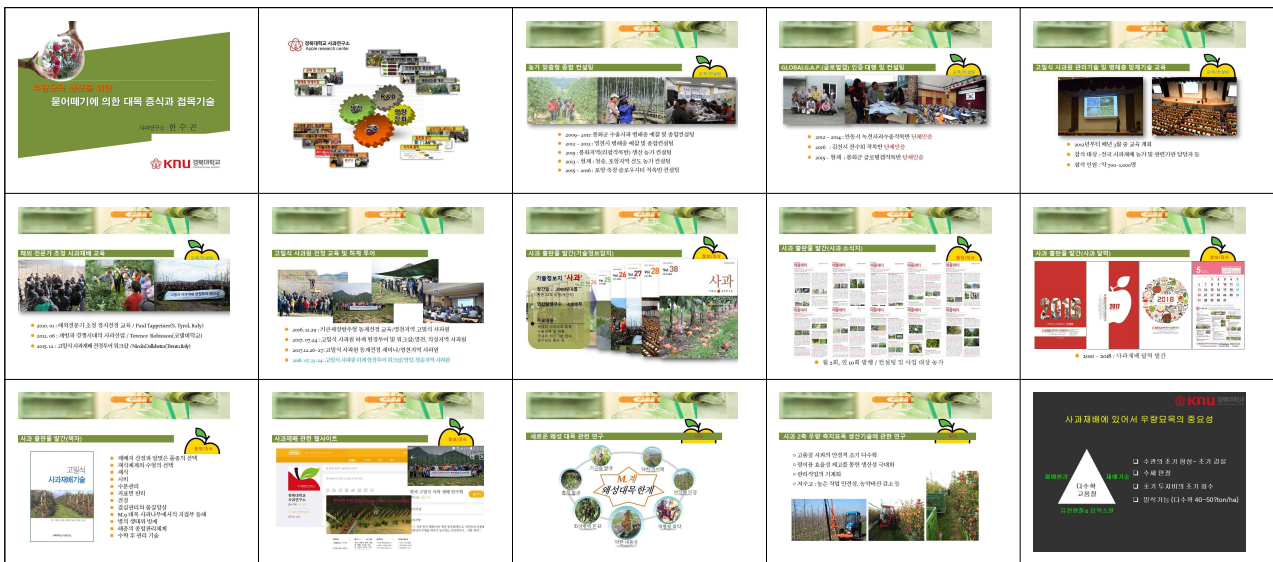
나. 논문

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	Waterlogging tolerance in apple trees grafted on rootstocks from G, CG., and M series	Horticulture, Environment, and Biotechnology	최병호 외 (5인)	61 (4)	대한민국	(사) 한국원예학회	SCIIE급	20년 08월	HEAB-D-19-00478
2	Drought Tolerance of 'Fuji' Apple (Malus domestica Borkh.) Trees Grafted onto G, CG, or M Series Rootstocks: Growth and Physiology	Horticultural Science and Technology	최병호 외 (5인)	38 (5)	대한민국	(사) 한국원예학회	SCIIE급	20년	HST-20-0401-07

다. 교육지도

No	교육내용	교육대상자	교육일시	장소
1	우량묘목 생산을 위한 문어떼기에 의한 대목 증식과 접목기술	경북농민사관학교 과수종묘생산 및 재배관리 과정 5기 교육생 25명	2019.10.18.	대구대학교 생명환경대학 1호관 세미나실
2	G,CG와 M계 왜성사과대목의 내환경성 평가	경북농업마이스터 대학 6기 사과반 교육생 24명	2020.07.13.	평산아카데미 (경북 칠곡군)
3	다축 사과재배체계 도입의 당위성과 과제(G대목 실험) - 거창군농업기술센터 현장 견학 1차	경남 사과재배농가 60여명	2020.07.15.	경북대학교 친환경농업교육연구 센터 및 경북대학교 군위농대실습장
4	다축 사과재배체계 도입의 당위성과 과제(G대목 실험) - 거창군농업기술센터 현장 견학 2차	경남 사과재배농가 60여명	2020.07.22.	경북대학교 친환경농업교육연구 센터 및 경북대학교 군위농대실습장
5	2축 및 다축 사과재배체계 (G대목 실험)	사과재배농가 및 관계자 50여명	2020.08.03.	경북대학교 친환경농업교육연구 센터(군위)

(1) 우량묘목 생산을 위한 문어떼기에 의한 대목 증식과 접목기술(2019.10.18.)





(2) G,CG와 M계 왜성사과대목의 내환경성 평가(2020.07.13.)

<p>G, CG와 M계 왜성사과대목의 내환경성 평가</p> <p>경북대학교 농생명과학연구소 최정호, 송영철</p>	<p>목차</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구배경 2. 내용성 3. 목적성 4. 실험 방법 5. 실험 결과 6. 결론 	<p>01 연구배경</p> <p>Introduction</p>	<p>SA1</p> <p>본 연구의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> • 왜성사과대목의 내환경성 평가 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 방법 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 결과 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>연구배경</p> <ul style="list-style-type: none"> • 왜성사과대목의 내환경성 평가 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 방법 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 결과 	<p>SA1</p> <p>연구목적</p> <ul style="list-style-type: none"> • 왜성사과대목의 내환경성 평가 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 방법 • 왜성사과대목의 내환경성 평가 결과 	<p>02 내용성</p> <p>Introduction</p>	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법
<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법 	<p>SA1</p> <p>실험 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 실험 방법 • 실험 방법 • 실험 방법

1. 21세기 선진국의 새로운 사과나무재배 기술

2. 다국 제재계로 새로운 혁신의 양위상

3. 4. 영직쟁점 원인과 대책

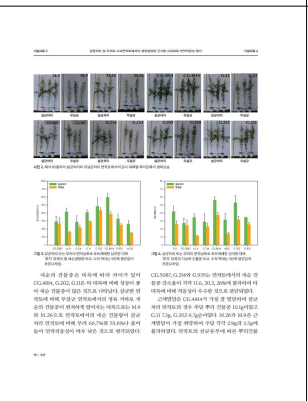
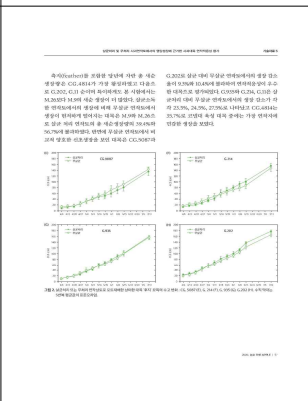
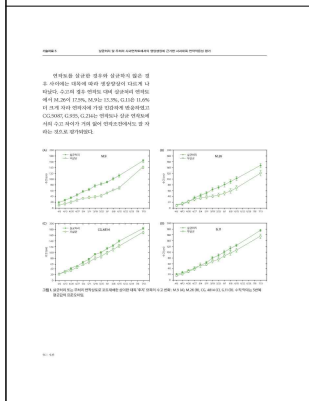
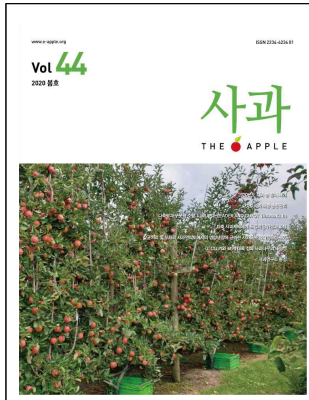
5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

3	미국 G, CG 및 M계 사과왜성대목의 내동성 평가	사과 2020 여름호 (vol.45)	2020.06.26.	ISSN 2234-6236 02
4	환경 적응력이 강한 새로운 사과왜성대목 도입을 위한 G 및 CG계 대목 특성평가	농경과 원예 (제35권 9호 통권 제408호)	2020.09.01.	ISSN 1227-6308

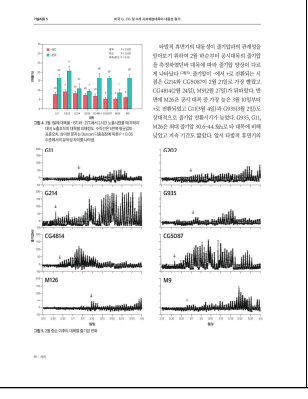
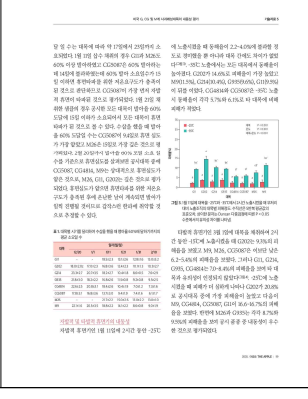
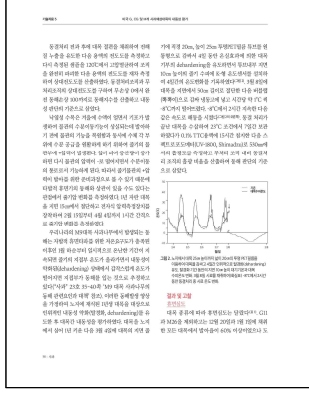
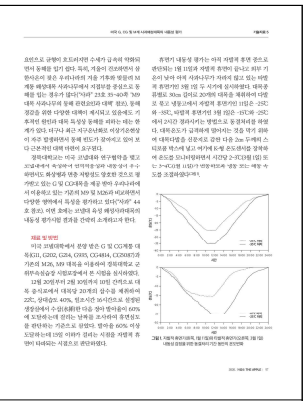
(1) G, CG, 계와 M.계 대목 접목 사과나무의 내습성(사과 2020 봄호(vol.44), 2020.03.23.)

The image displays a grid of six pages from a journal. The top-left page is the cover of '사과 THE APPLE' (Vol. 44, 2020 봄호), featuring a photograph of an apple orchard. The top-right page is the table of contents, listing articles such as 'G, CG, 계와 M.계 대목 접목 사과나무의 내습성' and '2020년 사과재배 현황'. The middle-left page shows a photograph of an apple tree with red fruit. The middle-right page is the start of the article 'G, CG, 계와 M.계 대목 접목 사과나무의 내습성', including a photograph of a laboratory setup and a table of contents for the article. The bottom-left page contains a bar chart showing data for different rootstock treatments. The bottom-right page contains a line graph showing data for different rootstock treatments. The pages contain a mix of text, photographs, and data visualizations.

(2) 살균처리 및 무처리 사과연작토에서의 영양생장에 근거한 사과대목 연작적응성 평가(사과 2020 봄호(vol.44), 2020.03.23.)



(3) 미국 G. CG 및 M계 사과왜성대목의 내동성 평가(사과 2020 여름호(vol.45), 2020.06.26.)



3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

미국 Cornell 대학에서 육성한 대목에 대하여 연작적응성, 내건성, 내습성, 내동성, 주요 토양 병 내성, 생산성 등을 종합적으로 평가하여 우리나라에서 사용하고 있는 M.9 또는 M.26과 비슷한 왜화도와 생산성을 가지면서 이들 대목에 비해 환경적응성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발하여 사과산업의 안정적 발전에 기여하고자 함.

3-2. 목표 달성여부

목표명	세부연구목표	수행내용 및 달성	달성도
G 계통 대목의 연작적응성, 생산성 검정 및 증식 시험	G, CG 대목의 연작적응성 검정	○살균 및 무살균 사과 연작토에서의 생장비교를 통한 연작적응성 검정 완료	100%
	G, CG 대목의 생장특성 및 생산성	○대구경북 4개 지역에서 공시대목 접목 “후지” 사과나무의 자람세 및 생산성 비교분석 완료	100%
	G, CG 대목의 증식특성	○공시대목에 대한 묻어떼기 증식특성과 우량 측지묘목 생산용이성 평가 완료	100%
G 계통 대목의 내환경성 검정 및 내병충성 검정 시험	G, CG 대목의 내건성	○단수를 통해 수분스트레스를 유발하고 대목별 생리 및 생장반응 조사, 비교를 통한 내건성 검정 완료	100%
	G, CG 대목의 내습성	○인위적인 침수를 토양과습을 유발하고 대목별 리 및 생장반응 조사, 비교를 통한 내건성 검정 완료	100%
	G, CG 대목의 내동성	○내재휴면기와 탈경화 유도 후 한계온도 노출을 통하여 대목별 내동성 평가 완료	100%
	G, CG 대목의 토양병 내성 및 사과면충에 대한 내성	○역병, 흰비단병, 흰날개 무늬병 및 사과면충 집중을 통해 감염 및 피해정도 분석을 통한 대목별 내성 검정 완료	100%
M.9 & M.26을 대체할 유망	우리나라 환경에 적합한 G 계통 대목 선발	○ 연작적응성, 내환경성, 주요 토양병과 생산성 등	100%

대목선발		을 종합적으로 평가하여 M.9 및 M.26을 대체할 유망대목으로 G.935를 선발	
합계		100점	

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 관련내용 없음

4. 연구결과의 활용 계획 등

- 코넬대 ‘Centre for Technology Licensing에서 참여업체인 우진종묘와 하나종묘에 G.935, G814(CG4814의 최종 선발번호), G11에 대한 국내 증식·보급권 부여 의사를 밝힘에 따라 세부 절차를 진행 중에 있음.
- 우진종묘와 하나종묘가 이들 대목에 대한 상품화를 담당하되 연작적응성과 내환경성, 화상병 저항성이 상대적으로 우수한 것으로 평가된 G935를 우선 보급할 계획임.
- G.935 왜화도가 M.26과 비슷하여 수세가 약한 품종에는 문제가 없으나 ‘후지’와 같은 세력이 강한 품종에서는 고밀식을 위해서는 세력이 너무 강할 수 있으나 최근에 연구진이 개발하고 있는 새로운 수형인 2축 또는 다축형을 적용하면 수고 3.5m 내외 평면수관의 고밀식재배가 가능하며 과원관리의 기계화에도 유리할 것임. 따라서 이미 사과 2축 묘목 생산기술을 확보하고 있는 참여업체 ‘우진종묘’와 ‘하나종묘’가 G.935 대목을 이용한 2축 우량측지묘목을 생산하여 농가에 보급할 것임.
- 경북대 사과연구소와 사과관련 협력사업을 진행하고 있는 경북 봉화군과 청송군, 경남 거창군 등과 협의하여 G.935, G814(CG4814), G11를 대목으로 하는 2축 또는 다축형 시범단지 조성하여 농가교육과 보급의 기지로 활용할 것임.
- 국내외 학술지뿐 아니라 사과전문 계간 잡지인 “사과”에 연구결과를 게재하여 학자뿐 아니라 사과농업인들도 정보를 접할 수 있도록 할 것임.
- 경북대학교 사과연구소에서 매년 개최하고 있는 ‘고밀식 사과재배체계 최근 동향과 수형기술 대농민 워크숍’의 2021년 주제를 “연작적응성과 내환경성이 우수하고 화상병 저항성의 새로운 유망 사과대목”로 잡고 5년간의 연구결과와 해외 G대목 이용사례, G대목을 이용한 다축형 사과원 조성 방법 등을 소개하여 선발한 새로운 대목의 이용을 유도할 것임.
- 특히 G.935는 내건성과 내습성, 내동성은 M.26과 비슷하면서도 연작적응성이 우수하고 흰비단병과 흰날개무늬병에 내성이 있어서 사과를 연이어 재배할 수 있을 뿐 아니라 지구온난화와 함께 잦아지는 기상이변에도 피해가 경감될 수 있을 것임. 더구나 화상병에 강한 내성을 갖고 있어서 최근 우리나라 과수업계에 재앙으로 여겨지고 있는 화상병의 확산을 막는데 기여할 수 있을 것임.

붙임. 참고문헌

2-1. G계통 대목의 연관적응성, 생산성 검정 및 증식 시험

2-1-1. 연관적응성

- Aslam, Z., Lee, C. S., Kim, K. H., Im, W. T., Ten, L. N. and Lee, S. T. (2007) *Methylobacterium jeotgali* sp. nov., a nonpigmented, facultatively methylotrophic bacterium isolated from jeotgal, a traditional Korean fermented seafood. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **57**, 566-571.
- Auvil, T.D., T.R. Schmidt, I. Hanrahan, F. Castillo, J.R. McFerson, G. Fazio (2011) Evaluation of dwarfing rootstocks in Washington apple replant site. *Acta Hort.* 903:265-271. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.903.33
- Balvočiūtė, M. and Hudson, D. H. (2017) SILVA, RDP, Greengenes, NCBI and OTT – how do these taxonomies compare. *BMC Genomics.* **18**, 114. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28361695/>
- Caro-Quintero, A. and Konstantinidis, K. T. (2012) Bacterial species may exist, metagenomics reveal. *Environ. Microbiol.* **14**, 347-355.
- Cornell Univ. Center for Technology Licensing. GENEVA® APPLE ROOTSTOCKS COMPARISON CHART v.4 <https://ctl.cornell.edu/wp-content/uploads/plants/GENEVA-Apple-Rootstocks-Comparison-Chart.pdf>
- De Oliveira L. S., Tschoeke D. A., Magalhães Lopes A. C. R., Sudatti D. B., Meirelles P. M., Thompson C. C., Pereira R. C. and Thompson F. L. (2017) Molecular mechanisms for microbe recognition and defense by the red seaweed *Laurencia dendroidea*. *mSphere.* **2**.
- Espinosa, E., Marco-Noales, E., Gómez, D., Lucas-Elío, P., Ordax, M., Garcías-Bonet, N., Duarte, C. M. and Sanchez-Amat, A. (2010) Taxonomic study of *Marinomonas* strain isolated from the seagrass *Posidonia oceanica*, with descriptions of *Marinomonas balearica* sp. Nov. and *Marinomonas pollencensis* sp. nov. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **60**, 93-98.
- Jung, J. Y., Lee, S. H., Kim, J. M., Park, M. S., Bae, J. W., Hahn, Y., Madsen, E. L. and Jeon, C. O. (2011) Metagenomic Analysis of Kimchi, a Traditional Korean Fermented Food. *Appl. Environ. Microbiol.* **77**, 2264-2274.
- Kim, M., Yoon, H., You, Y. H., Kim, Y. E., Woo, J. R., Seo, Y., Lee, G. M., Kim, Y. J., Kong, W. S. and Kim, J. G. (2013) Metagenomic Analysis of Fungal Communities Inhabiting the Fairy Ring Zone of *Tricholoma matsutake*. *J. Microbiol. Biotechnol.* **23**, 1347-1356.
- Kviklys D, TL Robinson, G Fazio (2016) Apple rootstock evaluation for apple replant disease. DOI:10.17660/ActaHortic.2016.1130.63

- Lemos, L. N., Fulthorpe, R. R., Triplett, E. W. and Roesch, L. F.** (2011) Rethinking microbial diversity analysis in the high throughput sequencing era. *J. Microbiol. Methods.* **86**, 42–51.
- Manici LC, Ciavatta M, Kelderer G, Erschbaumer** (2003) Replant problems in South Tyrol: role of fungal pathogens and microbial population in conventional and organic apple orchards. *Plant Soil*, 256: 315–324
- Robinson TL, Cummins JN, Hoying SA, Smith W** (1997) Commercial orchard evaluation of the new Cornell–Geneva apple rootstocks. *Acta Hort* 451:113–19. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.451.9
- St. Laurent, A., Merwin, I.A., Fazio, G., Thies, J.E., and Brown, M.G.** (2010). Rootstock genotype succession influences apple replant disease and root–zone microbial community composition in an orchard soil. *Plant Soil* 337, 259–72. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0522-z>
- Szabo, K.** (1999) Kenntnisstand über das Phänomen der Bodenmüdigkeit I und II. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 55:10–14, 55:161–166
- Tewoldemedhin, YT, M. Mazzola, L. Mostert, A. McLeod** (2011) *Cylindrocarpon* species associated with apple tree roots in South Africa and their quantification using real–time PCR. *Eur J Plant Pathol* 129: 637–651
- Tilston, E. L., G. Deakin, J. Bennett, T. Passey, Ni. Harrison, F. O'Brien, F. Fernández–Fernández, and X. Xu** (2018) Candidate causal organisms for apple replant disease in the United Kingdom. *Phytobiomes J*, 2:261–274
- Vandenkoornhuysse, P., Sarjala, S. L., Leyval, C., Straczek, J. and Young, J. P.** (2002) Extensive fungal diversity in plant roots. *Science* **295**, 2051.
- Volk, G.M., Chao, C.T., Norelli, J., Brown, S.K., Fazio, G., Peace, C., McFerson, J., Zhong, G.Y., and Bretting, P.** (2015) The vulnerability of US apple (*Malus*) genetic resources. *Genet. Resour. Crop Ev.* **62**, 765–794. <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0194-2>
- Wang, G., Yin, C., Pan, F., Wang, X., Xiang, L., Wang, Y., Wang, J., Tian, C., Chen, J., and Mao, Z.** (2018). Analysis of the fungal community in apple replanted soil around Bohai Gulf. *Hortic. Plant J.* 4:175–181.
- Winkelmann, T.; Smalla, K.; Amelung, W.; Baab, G.; Grunewaldt–Stöcker, G.; Kanfra, X.; Meyhöfer, R.; Reim, S.; Schmitz, M.; Vetterlein, D.** (2019) Apple replant disease: Causes and mitigation strategies. *Curr. Issues Mol. Biol.* **30**: 89–106.
- Yin C., Wang M., Wang J., Chen X., Shen X., Zhang M., Mao Z.** (2017) The research advance on apple replant disease. *Acta Horticulturae Sinica*, 44 (2017), pp. 2215–2230
- Zehr, J. P., Jenkins, B. D., Short, S. M. and Steward, G. F.** (2003) Nitrogenase gen diversity and microbial community structure: a cross–system comparison. *Environ. Microbiol.* **5**, 539–554.
- Zinger, L., Coissac, E., Choler, P. and Geremia, R. A.** (2009) Assessment of microbial communities by graph partitioning in a study of soil fungi in two alpine meadows.

Appl. Environ. Microbiol. **75**, 5863–5870.

윤태명 (2019) 선진국의 사과 신품종 육성, 보급동향과 시사점. 사과 43: 26-32

한상찬, 권태정, 김재홍, 전지윤. (2004) 안동지역 사과원에 발생하는 식물기생선충상 조사. 한국토양동물학회 2004 학술발표대회 p.23

2-1-2. 생장특성 및 생산성

Czynczyk A, Bielicki P, Robinson TL (2010) Seven-year evaluation of Geneva and Polish rootstocks with ‘Golden Delicious Reinders’ in Poland. *J Amer Pomol Soc* 64:42 - 51

Dallabetta, N., Giordan, M., Guerra, A., and Pasqualini, J. (2018). The performance of Geneva apple rootstocks in the Province of Trento. *Acta Hort.*1228, 153 - 160 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1228.23>.

Moran, R.E., Zhang, D., and Sun, Y. (2011). Cold temperature tolerance of G.16 and G.935 apple roots. *Acta Hort.*903, 289 - 293 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.36>.

Musacchi S, Serra S (2018) Apple fruit quality: overview on pre-harvest factors. *Sci Hortic* 234:409 - 430. doi:10.1016/j.scienta.2017.12.057

Reig G, Lordan J, Miranda Sazo M, Hoying SA, Fargione M, Reginato G, DonahueDJ, Francescato P, Fazio G, Robinson TL (2019) Long-term performance of ‘Gala’, Fuji’ and ‘Honeycrisp’ apple trees grafted on Geneva® rootstocks and trained to four production systems under New York State climatic conditions. *Sci Hortic* 277 - 293. doi:10.1016/j.scienta.2018.09.025

Robinson TL, Aldwinckle HS, Fazio G, Holleran T (2003) The Geneva series of apple rootstocks from Cornell: performance, disease resistance, and commercialization. *Acta Hort* 622:513 - 520

Robinson TL, Anderson L, Autio W, Barrit B, Cline J, Cowgill W, Crassweller R, Embree C, Ferree D, Garcia E, Greene G, Hampson C, Kosola K, Parker M, Perry R, Roper T, Warmund M (2007) A multi-location comparison of ‘Geneva 16, Geneva 41 and M.9’ apple rootstocks in north america. *Acta Hort* 732:59 - 65

Robinson, T., Fazio, G., Aldwinckle, H., and Hoying, S. (2004). Performance of the new Geneva apple rootstocks in trials in the United States, New Zealand and Europe. *Compact Fruit Tree*37, 91 - 94.

Robinson TL, Cummins JN, Hoying SA, Smith W (1997) Commercial orchard evaluation of the new Cornell-Geneva apple rootstocks. *Acta Hort* 451:113 - 19. doi:10.17660/ActaHortic.1997.451.9

Robinson TL, Fazio G (2011) Performance of Geneva rootstocks in on-farm trials in New York State. *Acta Hort* 903:249 - 255. doi:10.17660/ActaHortic.2011.903.31

Robinson TL, Fazio G, Aldwinckle HS, Hoying SA, Russo N (2006) Field performance of Geneva apple rootstocks in the eastern USA. *Sodinink Darzinink* 25:181 - 191

- Russo NL, Robinson TL, Fazio G, Aldwinckle HS** (2007) Field evaluation of 64 apple rootstocks for orchard performance and fire blight resistance. *HortScience* 42:1517 - 1525
- Simard, M.H., Cattaneo, C., Codarin, S., Roche, L., and Aldwinckle, H.S.** (2011). French evaluation of the CG rootstocks: history and results. *Acta Hort.*903, 257 - 264 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.32>.
- Tustin, D.S., Palmer, J.W., and White, M.D.** (2003). The Compact Fruit Tree 36, 57 - 59.
- Yoon TM, Park HS, Sagong DH** (2005) Effect of root pruning on tree growth and fruit quality of 'Fuji'/M.9 apple trees. *Kor J Hort Sci* 23:275 - 281
- 경상북도·경북대 농업과학기술연구소 (1997) 신경북형 사과생산체계 개발에 관한 연구
- 경상북도·경북대 농업과학기술연구소 (1999) 키낮은 사과원의 조성과 관리
- 윤태명 (2016) 신경북형 사과생산체계 개발과정과 의미. *사과* 29: 35-42

2-1-3. 증식특성

- Andergassen CD, Pichler, Brunner P** (2018) Der Bibaum[®] - Versuche zum optimalen Pflanzabstand. *obstbau weinbau* 55: 5-10
- Cheng L** (2002) Growth performance of apple nursery trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *New York Fruit Quart* 10:15 - 18
- Fazio ZH, Aldwinckle and T. Robinson** (2013) Unique characteristics of Geneva[®] apple rootstocks. *NY Fruit Quarterly* 21(3):26-28.
- Hahn, A** (2018) Der Bibaum[®] auf dem Pruefstand: Versuchsergebnisse und erste Anbauerfahrungen an der Niederelbe. *Obstbau* 9/2018: 506-510
- Marini RP, Black B, Crassweller RM, Domoto PA, Hampson C, Johnson S, Kosola K, McCartney S, Masabni J, Moran R, Parra-Quezada R, Robinson T, Rom CR** (2009) Performance of Golden Delicious apple on 23 rootstocks at 12 525 locations: A five-year summary of the 2003 NC-140 dwarf rootstock trial. *J Amer Pom Soc* 63:115 - 127
- Pernter P** (2012) Beobachtungen zum Bibaum. *obstbau weinbau* 49(2): 69-71
- Robinson TL, Hoying SA** (2004) Performance of elite Cornell-Geneva apple rootstocks in long-term orchard trials
- Tombesi S, Almehdi A, DeJong TM** (2011) Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. *Sci Hortic* 127:353 - 357
- Tustin S, van Hooijdonk B, Breen K, Friend A, Diack R, Seymour S, Oliver M. Dayatilake D** (2015) Future Orchard Planting Systems. A Plant & Food Research report prepared for NZ Apples and Pears Inc.. SPTS No. 13430.
- van den Ende B** (2016) Branchless multi-leader apple. www.freefruit.com.au
- Webster CA, Jones OP** (1989) Micropropagation of the apple rootstock M. 9: effect of sustained subculture on apparent rejuvenation in vitro. *J Hortic Sci* 64:421 - 428

- 김규래, 윤태명 (1998) 사과나무 우량묘목 생산기술. 안동대학교
- 윤태명 (1999). M.9 자근대목 번식 및 대묘생산기술 확립. 신경북형 사과새안체계 개발에 관한 연구 3차년도 연구보고서. 경상북도/경북대 농업과학기술연구소. 60~77
- 윤태명 (2019) 2축형 사과재배체계의 등장과 유럽에서의 사례. 사과 40: 37-43
- 윤태명, 최병호, 정우태, 김충실, 한수근, 박인희, 나동열, 최수영 (2019) 2축형의 국내 도입 가능성과 2축 묘목 생산방법. 사과 40: 44-50
- 농림축산식품부, 2020. 농림축산식품부고시 제2020-48호 종자관리요강
<http://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%A2%85%EC%9E%90%EA%B4%80%EB%A6%AC%EC%9A%94%EA%B0%95>

2-2. G계통 대목의 내환경성 검정 및 내병충성 검정 시험

2-2-1. 내건성

- Arbona V, Iglesias DJ, Jacas J, Primo-Millo E, Talon M, Gómez-Cadenas, A (2005) Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. Plant Soil 270:73 - 82
- Atkinson CJ, Policarpo M, Webster AD, Kingswell G (2000) Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. Tree Physiol 20: 557 - 563
- Bauerle TL, Centinari M, Bauerle WL (2011) Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. Planta 234:1045 - 1054
- Beyá-Marshall V, Herrera J, Fichet T, Trentacoste ER, Kremer C (2018) The effect of water status on productive and flowering variables in young ‘Arbequina’ olive trees under limited irrigation water availability in a semiarid region of Chile. Horticult Environ Biotechnol 59:815 - 826
- Blackman CJ, Brodribb TJ, Jordan GJ (2009) Leaf hydraulics and drought stress: response, recovery and survivorship in four woody temperate plant species. Plant Cell Environ 32:1584 - 1595
- Brunner I, Herzog C, Dawes MA, Arend M, Sperisen C (2015) How tree roots respond to drought. Front Plant Sci 6:547
- Chaves MM, Pereira JS, Maroco J, Rodrigues ML, Ricardo CPP, Osório ML, Carvalho I, Faria T, Pinheiro C (2002) How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth:907 - 916
- Cochard H, Bréda N, Granier A (1996) Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought: evidence for stomatal control of embolism? Ann Sci For 53:197 - 206
- Comas LH, Becker SR, Cruz VMV, Byrne PF, Dierig DA (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. Front Plant Sci 4:442

- Conesa MR, de la Rosa JM, Domingo R, Bañon S, Pérez-Pastor A** (2016) Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson Seedless) grown in pots. *Sci Hortic* 202:9 - 16
- Corso M, Bonghi C** (2014) Grapevine rootstock effects on abiotic stress tolerance. *Plant Sci Today* 1:108 - 113
- Cui N, Du T, Li F, Tong L, Kang S, Wang M, Liu X, Li Z** (2009) Response of vegetative growth and fruit development to regulated deficit irrigation at different growth stages of pear-jujube tree. *Agric Water Manag* 96:1237 - 1246
- Fernandez RT, Perry RL, Flore JA** (1997) Drought response of young apple trees on three rootstocks: growth and development. *J Am Soc Hortic Sci* 122:14 - 19
- Giorio P, Sorrentino G, d'Andria R** (1999) Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field grown olive trees under water deficit. *Environ Exp Bot* 42:95 - 104
- Girona J, Behboudian MH, Mata M, Del Campo J, Marsal J** (2010) Exploring six reduced irrigation options under water shortage for 'Golden Smoothie' apple: responses of yield components over three years. *Agric Water Manag* 98:370 - 375
- Guerfel M, Baccouri O, Boujnah D, Chaïbi W, Zarrouk M** (2009) Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. *Sci Hortic* 119:257 - 263
- Kramer PJ** (1983a) Drought tolerance and water use efficiency. In PJ Kramer, ed, *Water Relations of Plants*. Academic Press, New York, USA, pp 390 - 415
- Kramer PJ** (1983b) Development of root systems. In PJ Kramer, ed, *Water Relations of Plants*. Academic Press, New York, USA, pp 146 - 186
- Li F, Cohen S, Naor A, Shaozong K, Erez A** (2002) Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. *Agric Water Manag* 55:1 - 14
- Liu BH, Cheng L, Ma FW, Liang D, Zou YJ** (2012) Influence of rootstock on drought response in young 'Gala' apple (Borkh.) trees. *J Sci Food Agric* 92:2421 - 2427
- Miyashita K, Tanakamaru S, Maitani T, Kimura K** (2005) Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. *Environ Exp Bot* 53:205 - 214
- Nilsen ET, Orcutt DM** (1996) *Physiology of Plants under Stress: Abiotic Factors*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, pp 322 - 361
- Pedroso FKJV, Prudente DA, Bueno ACR, Machado EC, Ribeiro RV** (2014) Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. *Environ Exp Bot* 101:26 - 35
- Rodríguez Gamir J, Intrigliolo DS, Primo Milla E, Forner Giner MA** (2010) Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. *Physiol Plant* 139:159 - 169
- Serra I, Strever A, Myburgh PA, Deloire A** (2014) Review: the interaction between rootstocks and cultivar (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine.

Aust J Grape Wine Res 20:1 - 14

- Šircelj H, Tausz M, Grill D, Batič F** (2007) Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Sci Hortic* 113:362 - 369
- Sparks JP, Black RA** (1999) Regulation of water loss in populations of *Populus trichocarpa*: the role of stomatal control in preventing xylem cavitation. *Tree Physiol* 19:453 - 459
- Wang Z, Stutte GW** (1992) The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. *J Am Soc Hortic Sci* 117:816 - 823
- Yıldırım K, Yağcı A, Sucu S, Tunç S** (2018) Responses of grapevine rootstocks to drought through altered root system architecture and root transcriptomic regulations. *Plant Physiol Biochem* 127:256 - 268

2-2-2. 내습성

- Abod SA, Webster AD** (1989) Root and shoot growth of newly transplanted apple trees as affected by rootstock cultivar, defoliation and time after transplanting. *J Hort Sci* 64:655-666
- Addicott FT** (1991) Abscission: Shedding of parts. *In* AS Raghavendra ed, *Physiology of Trees*. Wiley, New York, pp 273-300
- Auvil TD, Schmidt TR, Hanrahan I, Castillo F, McFerson JR, Fazio G** (2011) Evaluation of dwarfing rootstocks in Washington apple replant sites. *Acta Hortic* 903:265-271. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.903.33
- Bacon PE, Mcgarity JW, Hoult EH, Alter D** (1986) Soil mineral nitrogen concentration within cycles of flood irrigation: Effect of rice stubble and fertilization management. *Soil Biol Biochem* 18:173-178
- Blanke MM, Cooke DT** (2004) Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regulation* 42:153 - 160
- Cline JA, Norton D, Embree CG, Privé JP** (2010) Performance of Jonagold, McIntosh and Novaspy on three new semi-dwarf apple rootstocks in eastern Canada. *Can J Plant Sci* 90:877-883. doi: 10.4141/cjps09186
- Colin-Belgrand M, Dreyer E, Biron P** (1991) Sensitivity of seedlings from different oak species to waterlogging: effects on root growth and mineral nutrition. *Ann Sci For* 48:193-204
- El-Beltagy AS, Hall MA** (1974) Effect of water stress upon endogenous ethylene levels in *Vicia faba*. *New Phytol* 73:47-60
- Else MA, Coupland D, Dutton L, Jackson MB** (2001) Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of castor oil (*Ricinus communis*) despite diminished

- delivery of ABA from the roots to shoots in xylem sap. *Physiol Plant* 111:46 - 54
- Fazio G, Aldwinckle HS, Robinson TL, Wan Y** (2011) Implementation of molecular marker technologies in the Apple Rootstock Breeding program in Geneva - challenges and successes. *Acta Hortic* 903:61-68. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.903.3
- Gomez-Cadenas A, Tadeo FR, Talon M, Primo-Millo E** (1996) Leaf abscission induced by ethylene in water-stressed intact seedlings of Cleopatra mandarin requires previous abscisic acid accumulation in roots. *Plant Physiol* 112:401-408
- Kim KR, Yoon TM** (1998) Techniques for the production of superior nursery apple trees. *In* KR Kim, TM Yoon eds, Andong National University Press, Andong, Korea, pp 28-45
- Kozłowski TT** (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiol Monogr* 1:1 - 29
- Kramer PJ** (1983) Development of root systems. Water relations of plants, P. J. Kramer (Ed.), Academic Press, London, 146 - 186
- Kviklys D, Robinson TL, Fazio G** (2016) Apple rootstock evaluation for apple replant disease. *Acta Hortic* 1130:425 - 430. doi: 10.17660/ActaHortic.2016.1130.63
- Lakso AN** (2003) Water relations of apples. *In* DC Ferree, IJ Warrington eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, pp 167-194
- Lee CH, Sugiura A, Tomana T** (1982) Effect of flooding on the growth and some physiological changes of young apple rootstock (in Japanese with English summary). *J Jap Soc Hortic Sci* 51:270-277. doi: 10.2503/jjshs.51.270
- Norelli JL, Holleran HT, Johnson WC, Robinson TL, Aldwinckle HS** (2003) Resistance of Geneva and other apple rootstocks to *Erwinia amylovora*. *Plant Disease*, 87(1), 26-32.
- Oh SD** (1998) Emphasis on low tree & high density planting system - Future prospects of research strategies in Korea. *Kor J Hortic Sci Technol* 16:264-268
- Parent C, Capelli N, Berger A, Crèvecoeur M, Dat JF** (2008) An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress* 2:20 - 27
- Parolin P, Wittmann F** (2010) Struggle in the flood: tree responses to flooding stress in four tropical floodplain systems. *AoB Plants* 2010
- Robinson TL** (2003) Apple-orchard planting systems. *In* DC Ferree, IJ Warrington eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, pp 345-385
- Robinson TL** (2011) Advances in apple culture worldwide. *Rev Bras Frutic* 33:37-47. doi: 10.1590/s0100-29452011000500006
- Robinson TL, Fazio G, Aldwinckle HS, Hoying SA, Russo N** (2006) Field performance of Geneva® apple rootstocks in the Eastern USA. *Sodininkystė ir daržininkystė* 25:181-191
- Russo NL, Robinson TL, Fazio G, Aldwinckle HS** (2007) Field evaluation of 64 apple rootstocks for orchard performance and fire blight resistance. *HortScience* 42:1517-1525
- Robinson TL, Fazio G, Aldwinckle HS, Hoying SA, Russo N** (2006) Field performance

of Geneva® apple rootstocks in the Eastern USA. *Sodininkystė ir daržininkystė* 25:181–191

- Schaffer B, Andersen PC, Ploetz RC** (1992) Responses of fruit crops to flooding. *In* J Janick ed, *Horticultural Reviews*. Wiley, New York, 13:257–313
- Watanabe K, Nishiuchi S, Kulichikhin K, Nakazono M** (2013) Does suberin accumulation in plant roots contribute to waterlogging tolerance? *Front Plant Sci* 4:178
- Webster AD** (2005) Roots and root growth. *In* J Tromp, AD Webster, SJ Wertheim eds, *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. Backhuys Publishers, Leiden, pp 107–119
- Webster T, Tobutt K, Evans K** (2000) Breeding and evaluation of new rootstocks of apple pear and sweet cherry. *The Compact Fruit Tree* 33:100–104
- Webster AD, Wertheim SJ** (2003) Apple Rootstocks. *In* DC Ferree, IJ Warrington eds, *Apples: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, pp 91–124
- Yoon TM** (2001) Water relations of ‘Fuji’ apple trees in soil water controlled orchard. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 42(5), 549–552. (in Korean with English abstract)

2-2-3. 내동성

- Abod SA, Webster AD** (1989) Root and shoot growth of newly transplanted apple trees as affected by rootstock cultivar, defoliation and time after transplanting. *J Hort Sci* 64:655–666
- Améglio T, Bodet, C, Lacoïnte, A, Cochard H** (2002) Winter embolism, mechanisms of xylem hydraulic conductivity recovery and springtime growth patterns in walnut and peach trees. *Tree Physiol* 22:1211 - 1220
- Aronsson A** (1975) Influence of photo- and thermoperiod on the initial stages of frost hardening and dehardening of phytotron-grown seedlings of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Stud For Suec* 128:5 - 20
- Arora R, Wisniewski ME, Scorza R** (1992) Cold acclimation in genetically related, sibling, deciduous and evergreen peach (*Prunus persica* [L.] Batsch) I. Seasonal changes in cold hardiness and polypeptides of bark and xylem tissues. *Plant Physiol* 99:1562 - 1568
- Asahina E** (1956) The freezing process of plant cell. *Contrib Inst Low Temp Sci* 10:83 - 126
- Bittenbender HC, Howell GS** (1975) Interactions of temperature and moisture content on spring de-acclimation of flower buds of highbush blueberry. *Can J Plant Sci* 55:447–452
- Choi GY, Kim JS** (2015) Synoptic Climatic Patterns for Winter Extreme Low Temperature Events in the Republic of Korea. *J. Korean Geogr. Soc.* 50(1), 1–21.

- Coleman WK** (1985) Variations of cold resistance among apple cultivars during deacclimation. *J Exp Bot* 36:1159 - 1171
- Czynczyk A, Bielicki P, Robinson TL** (2010) Seven-year evaluation of Geneva® and Polish rootstocks with 'Golden Delicious Reinders' apple in Poland. *J Am Pomol Soc* 64:42 - 51
- Doorenbos J** (1953) Review of the literature on dormancy in buds of woody plants. *Meded. van de Landbouwhogeschool Wageningen* 53:1-23
- DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F** (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28:350 - 356
- Ewers FW, Améglio T, Cochard H, Beaujard F, Martignac M, Vandame M, Bodet C, Cruiziat P** (2001) Seasonal variation in xylem pressure of walnut trees: root and stem pressures. *Tree Physiol* 21:1123 - 1132
- Friedrich G, Fischer M** (2000) *Physiologische Grundlagen des Obstbaues*. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart, Germany. pp 243-244
- Hamilton DF** (1973) Factors influencing dehardening and rehardening of *Forsythia* × *intermedia* stems. *J Am Soc Hortic Sci* 98:221 - 223
- Hauagge R, Cummins JN** (1991) Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *J Amer Soc Hort Sci* 116:100-106
- Heide OM, Prestrud AK** (2005) Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiol* 25:109 - 114
- Howell GS, Weiser CJ** (1970) Fluctuations in the cold resistance of apple twigs during spring dehardening. *J Amer Soc Hort Sci* 95:190-192
- Jönsson AM, Rosengren U, Nihlgård B** (2004) Excess nitrogen affects the frost sensitivity of the inner bark of Norway spruce. *Ann For Sci* 61:293 - 298
- Kalberer SR, Wisniewski M, Arora R** (2006) Deacclimation and reacclimation of cold-hardy plants: current understanding and emerging concepts. *Plant Sci* 171:3 - 16
- Ketchie DO** (1985) Cold resistance of apple trees through the year and its relationship to the physiological stages. *Acta Hort* 16:131 - 137
- Khanizadeh S, Brodeur C, Granger R, Buszard D** (2000) Factor associated with winter injury to apple trees. *Acta Hort* 514:179-190
- Kim JH, Kim JC, Ko KC, Kim KR, Lee JC** (2006) *General Pomology*. Hyangmoonsha Press, Seoul, Korea, pp. 175 - 184
- Ketchie DO** (1985) Cold resistance of apple trees through the year and its relationship to the physiological stages. *Acta Hort*. 168: 131 - 137.
- Kweon HJ, Sagong DH, Song YY, Park MY, Kwon SI, Kim MJ** (2013) Chilling requirement for breaking of internal dormancy of main apple cultivars in Korea. *Kor J Hort Sci Technol* 31:666-676
- Larcher W** (1995) Environmental influences on growth and development. *In* W Larcher, ed, *Physiological Plant Ecology*, 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp 301-311

- Leng P, Itamura H, Yamamura H, Deng XM** (2000) Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Sci Hort* 83:43 - 50
- Lindén L** (2002) Measuring Cold Hardiness in Woody Plants. Academic Dissertation, University of Helsinki, Finland.
- Lindén L, Rita H, Suojala T** (1996) Logit models for estimating lethal temperatures in apple. *HortScience*. 31: 91 - 93.
- Ma YY, Zhang YL, Lu J, Shao HB** (2009) Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *Afr J Biotechnol* 8:2004 - 2010
- Moran RE, Sun Y, Geng F, Zhang D, Fazio G** (2011) Cold temperature tolerance of trunk and root tissues in one- or two-year-old apple rootstocks. *HortScience* 46:1460 - 1464
- Naor A, Flaishman M, Stern R, Moshe A, Erez A** (2003) Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. *J Am Soc Hortic Sci* 128:636 - 641
- Palonen P** (1999) Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars. *J Am Soc Hortic Sci* 124:507 - 513.
- Palonen P, Buszard D** (1997) Current state of cold hardiness research on fruit crops. *Can J Plant Sci* 77:399 - 420
- Palonen P, Buszard D, Donnelly D** (2000) Changes in carbohydrates and freezing tolerance during cold acclimation of red raspberry cultivars grown *in vitro* and *in vivo*. *Physiol. Plant.* 110 (3), 393 - 401.
- Palonen P, Lindén L** (1999) Dormancy, cold hardiness, dehardening, and rehardening in selected red raspberry cultivars. *J Am Soc Hortic Sci* 124:341 - 346
- Palonen P, Lindén L** (2006) Breaking dormancy in red raspberry with hot water treatment and its effects on cold hardiness. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 131 (2), 209 - 213.
- Pramsohler M, Hacker J, Neuner G** (2012) Freezing pattern and frost killing temperature of apple (*Malus domestica*) wood under controlled conditions and in nature. *Tree Physiol* 32:819 - 828
- Pregitzer KS, King JS, Burton AJ, Brown SE** (2000) Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytol.*147: 105 - 115.
- Privé, JP, Embree CG** (1996) Low temperature injury and recovery of apple rootstocks. *Acta Hort.* 451: 179 - 186.
- Quamme HA, Brownlee RT** (1997) Cold hardiness evaluation of apple rootstocks. *Acta Hort* 451:187 - 194
- Raese JT, Williams MW, Billingsley HD** (1977) Sorbitol and other carbohydrates in dormant apple shoots as influenced by controlled temperatures. *Cryobiology* 14:373 - 378
- Robinson TL, Hoying SA** (2004) Performance of elite Cornell Geneva apple rootstocks in long-term orchard trials on growers farms. *Acta Hort* 658:221 - 229
- Szalay L, Timon B, Ne'meth S, Papp J, To'th M** (2010) Hardening and dehardening of

peach flower buds. HortScience 45:761 - 765

- Thalheimer M** (2013) A low-cost electronic tensiometer system for continuous monitoring of soil water potential. J Agric Eng 44:114 - 119
- Tromp J** (2005) Dormancy. In J Tromp, AD Webster, SJ Wertheim, (eds), Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp 65-73
- Wan XC, Zwiazek JJ, Lieffers VJ, Landhäusser SM** (2001) Hydraulic conductance in aspen (*Populus tremuloides*) seedlings exposed to low root temperature. Tree Physiology 21:691 - 696
- Wang YX, Hu Y, Chen BH, Zhu YF, Mohammed MD, Sofkova S** (2018) Physiological mechanisms of resistance to cold stress associated with 10 elite apple rootstocks. J Integr Agric 17:857 - 866
- Webster AD** (2004) Vigour mechanisms in dwarfing rootstocks for temperate fruit trees. Acta Hort 258:29 - 41
- Webster AD, Wertheim SJ** (2003) Apple rootstocks. In DC Ferree, IJ Warrington, eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, pp 92 - 124
- Weiser CJ** (1970) Cold resistance and injury in woody plants. Science 169:1269 - 1278
- Westwood MN** (1993) Dormancy and plant hardiness. In MN Westwood, ed, Temperate Zone Pomology, Physiology and Culture, 3rd edn. Timber Press, Portland, Oregon, USA, pp 382 - 405
- Wildung DK, Weiser CJ, Pellet HM** (1973) Cold hardiness of Mailing clonal apple rootstocks under different conditions of winter soil cover. Can J Plant Sci 53:323 - 329
- Wisniewski M, Bassett C, Gusta LV** (2003) An overview of cold hardiness in woody plants: seeing the forest through the trees. HortScience 38:952 - 959
- Yoon TM, Kim MJ, Eom JY, Lee SW, Park MY, Han SG** (2012) High-density apple orchard management techniques. Apple Research Institute, Kyung pook National University Press, Daegu, Korea, 131-132.
- Yoshioka H, Nagai K, Aoba K, Fukumoto M** (1988) Seasonal changes of carbohydrates metabolism in apple trees. Sci Hortic 36:219 - 227
- Żurawicz E, Lewandowski M** (2014) Controlled freezing as a low-temperature tolerance test for apple rootstocks. Acta Hort 1058:451 - 456

2-2-4. 토양병 및 사과면충 내성

- Ateyyat MA, Al-Antary TM** (2009) Susceptibility of nine apple cultivars to woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Homoptera: Aphididae) in Jordan. Int J Pest Manag 55:79 - 84
- Brown MW, Schmitt JJ, Ranger S, Hogmire HW** (1995) Yield reduction in apple by edaphic woolly apple aphid (homoptera: Aphididea) populations. J Econ Entomol 88:127 - 133

- Browne GT, Mircetich SM** (1993) Relative resistance of thirteen apple rootstocks to three species of *Phytophthora*. *Phytopathology* 83:744 - 749
- Campbell AI** (1969) The effect of some apple viruses on the susceptibility of two clonal rootstocks to collar rot caused by *Phytophthora cactorum*. *J Hortic Sci* 44:69 - 73
- Carisse O, Khanizadeh S** (2006) Relative resistance of newly released apple rootstocks to *Phytophthora cactorum*. *Can J Plant Sci* 86:199 - 204
- Gontijo LM** (2011) Integrated Biological Control of Woolly Apple Aphid in Washington State. (Ph.D. Dissertation). Washington State University, Pullman
- Conway KE, Tomasino S, Claypool PL** (1996) Evaluations of biological and chemical controls for southern blight of apple rootstock in Oklahoma Nurseries. *Proc Okla. Aca. Sci* 75:9 - 15
- Freeman S, Szejnberg A, Shabi E, Katan J** (1990) Long-term effect of soil solarization for the control of *Rosellinia necatrix* in apple. *Crop Prot* 9:312 - 316
- Harris DC** (1991) The *phytophthora* diseases of apple. *J Hortic Sci* 66:513 - 544
- Jeffers SN, Aldwinckle HS** (1988) *Phytophthora* crown rot of apple trees: sources of and asprimaryinoculum. *Phytopathology* 78:328 - 335
- Klimstra DE, Rock GC** (1985) Infestation of rootstocks by woolly apple aphid on weak or dead apple trees in northern Carolina orchards. *J Agric Entomol* 2:309 - 312
- Kondo H, Kanematsu S, Suzuki N** (2013) Viruses of the white root rot fungus, *Rosellinia necatrix*. *Adv Virus Res* 86:177 - 214
- Mahadevakumar S, Chandana C, Deepika YS, Sumashri KS, Yadav V, Janardhana GR** (2018) Pathological studies on the southern blight of China aster (*Callistephus chinensis*) caused by *Sclerotium rolfsii*. *Eur J Plant Pathol* 151:1081 - 1087
- Matheron MF, Young DJ, Matejka JC** (1988) *Phytophthora* root and crown rot of apple trees in Arizona. *Plant Disease* 72:481 - 484
- Mircetich SM, Matheron ME** (1983) *Phytophthora* root and crown rot of walnut trees. *Phytopathology* 73:1481 - 1488
- Modgil M, Guleria N, Ghani M, Sharma JN** (2012) Identifying somaclonal variants of the apple rootstock Malling 7 resistant to white root rot. *Sci Hortic* 137:148 - 155
- Pérez-Jiménez RM** (2006) A review of the biology and pathogenicity of *Rosellinia necatrix* - the cause of white root rot disease of fruit trees and other plants. *J Phytopathol* 154:257 - 266
- Plich M** (1976) Influence of growth regulators on the development of collar knot disease caused by the fungus *Phytophthora cactorum* in apple trees. *Fruit Sci Rep* 3:33 - 42
- Punja ZK** (1985) The biology, ecology and control of *Sclerotium rolfsii*. *Annu Rev Phytopathol* 23:97 - 127
- Punja ZK** (1988) *Sclerotium (Athelia) rolfsii*, a pathogen of many plant species. In: Sidhu GS (ed) *Advances in plant pathology*. Academic Press, San Diego, CA, pp 523 - 534
- Robinson T, Fazio G, Aldwinckle H** (2014) Characteristics and performance of four new apple rootstock from the Cornell-USDA apple rootstock breeding program. *Acta*

- Sandanayaka WRM, Bus VGM, Connolly P, Newcomb R** (2003) Characteristics associated with woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum*, resistance of three apple rootstocks. *Entomol Exp Appl* 109:63 - 72
- Sanogo S** (2004) Response of chile pepper to *Phytophthora capsici* in relation to soil salinity. *Plant Dis* 88:205 - 209
- Schena L, Nigro F, Ippolito A** (2008) Integrated management of *Rosellinia necatrix* root rot on fruit tree crops. *In* Ciancio A, Mukerji K (eds) Integrated management of plant pests and diseases. Integrated management of diseases caused by fungi, phytoplasma and bacteria, vol 3. Springer, Dordrecht, pp 137 - 158
- Smith VL, Wilcox WF, Harman GE** (1990) Potential for biological control of *Phytophthora* root and crown rots of apple by *Trichoderma* and *Gliocladium* spp. *Phytopathology* 80:880 - 885
- Song HH, Lee HS, Jeong JH, Park HS, Lee C** (2008) Diversity in beauvericin and enniatins H, I, and MK1688 by *Fusarium oxysporum* isolated from potato. *Int J Food Microbiol* 122:296 - 301
- Spangelo LPS, Fejer SO, Leuty SJ, Granger RL** (1974) Ottawa 3 clonal apple rootstock. *Can J Plant Sci* 54:601 - 603
- Sztejnberg A, Freeman S, Chet I, Katan J** (1987) Control of *Rosellinia necatrix* in soil and in orchards by solarization and *Trichoderma harzianum*. *Plant Dis* 71:365 - 369
- Tidball CJ, Linderman RG** (1990) Phytophthora root rot and stem rot of apple rootstocks from stool beds. *Plant Disease* 74:141 - 146
- Utkhede RS** (1984) Effects of nitrogen fertilizers and wood composts on the incidence of apple crown rot in British Columbia. *Canadian Journal of Plant Pathology* 6:329 - 332
- Utkhede RS** (1987) Chemical and biological control of crown and root rot of apple caused by *Phytophthora cactorum*. *Can J Plant Pathol* 9:295 - 300
- Utkhede RS, Hogue EJ** (1998) Effect of herbicides, plastic mulch, and hand weed on development of *phytophthora crown* and root rot of apple trees. *Can J Plant Pathol* 20:81 - 86
- Utkhede RS, Quamme HA** (1988) Use of the excised shoot assay to evaluate resistance to *Phytophthora cactorum* of apple cultivars. *Can J Plant Sci* 68:851 - 857
- Webster AD, Wertheim SJ** (2003) Diseases of Apple. *In* DC Ferree, IJ Warrington eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, pp 468 - 478
- Webster AD, Wertheim SJ** (2003) Apple Rootstocks. *In* DC Ferree, IJ Warrington eds, Apples: Botany, Production and Uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA, pp. 91-124

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성사과대목 선발				
	(영문) Selection of high productive dwarf apple rootstock for cold resistance and adaptability to continuous cropping				
주 관 연구 기관	경북대학교		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 경북대학교 원예과학과	
참 여 기 업	우진종묘농원 경산키낮은사과묘목(하나과수묘목)		참 연 구 원 수	(성명) 윤태명	
총연구개발비 (천원)	계	700,000	총 연 구 기 간	2015.08.14. ~ 2020.08.13(5년)	
	정부출연 연구개발비	500,000	총 참 연 구 원 수	총 인 원	25
	기업부담금	200,000		내부인원	18
	연구기관부담금			외부인원	7
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 미국 Cornell 대학에서 육성한 대목에 대하여 연작적응성, 내건성, 내습성, 내동성, 주요 토양병 내성, 생산성 등을 종합적으로 평가하여 우리나라에서 사용하고 있는 M.9 또는 M.26과 비슷한 왜화도와 생산성을 가지면서 이들 대목에 비해 환경적응성이 우수한 새로운 왜성대목을 선발하여 사과산업의 안정적 발전에 기여하고자 함. - 내건, 내습, 내동성이 양호하고 M.9와 M.26에 비해 연작적응성이 뛰어나며 흰비단병과 흰날개무늬 병에 둔감할 뿐 아니라 최근 문제되고 있는 화상병 저항성의 유망 사과대목 G.935 선발 <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - M.26과 M.9에 비해 G 및 CG 대목이 연작적응성이 양호하였고 이중 G.935, CG.5087과 G.214가 무살균 연작토에서도 양호한 생장을 보여 공시한 대목 중 가장 연작적응성이 우수한 것으로 평가되었음. - 내건성 검정에서 공시한 대목 중에는 CG.5087이 한발스트레스에 가장 민감하였으나, G.202, G.214와 G.935는 M.26보다 내건성이 우수한 것으로, G.11, CG.4814는 M.9와 비슷한 수준을 보이는 것으로 평가되었음. - 내습성은 공시 대목 중에 M.9와 G.214가 가장 취약하였고 다음으로는 G.202인 것으로 평가되었음. 반면에 CG.4814는 내습성이 가장 우수하였고 CG.5087, G.935와 G.11은 M.26과 비슷한 수준의 내습성을 가진 것으로 평가되었음. - 내동성 검정에서는 내재휴면기 동안은 CG.4814, CG.5087 ≥ M.26 ≥ G.11, G.214, G.935, M.9 ≥ G.202 순으로, 내재휴면이 끝난 후 탈경화에 따른 내동성은 G.935 ≥ G.11, 					

G.214, CG.4814, CG.5087, M.26, M.9 ≥ G.202 순으로 평가되었음.

- 주요 토양병에 대한 내성 검정에서 역병에 대해서는 G.11이 M.9와 같은 수준의 내성을 보였으나 기타 공시 G 및 CG대목은 M.9나 M.26에 비해 민감한 것으로 평가되었음. 그러나 흰날개무늬병과 흰비단병에 대해서는 M.9나 M.26에 비해 공시 G 및 CG 대목이 내성이 우수하였음.
- 사과면충에 대해서는 G.935와 CG.4814는 M.9나 M.26과 같은 수준의 감수성을 보였고 나머지 G 및 CG계통 대목은 내성을 가진 것으로 평가되었음.
- 나무의 자람세는 지역에 관계없이 G.202, G.935, CG.4814 대목이 M.26과 비슷하거나 좀 더 왕성하게 자라는 것으로 나타났고 G.11, G.41, G.214, CG.5087은 M.9와 비슷한 왜화도를 보인 반면에 CG.5757은 M.9보다 자람이 다소 약한 것으로 평가되었음.
- 생산성 평가에서는 경북대 부속실습장에서는 주당 누적수량에 있어서 G.202, G.935, CG.4814가 M.9의 생산성을 능가하였고 CG.5757과 CG.5087은 M.9에 미치지 못하였음. 경북의 사과주산지 3곳에서는 CG.4814, G.11, G.202, G.214, G.935 등이 M.26보다 다소 높거나 비슷한 수준이었으며 CG.5087은 M.9와 함께 타 대목에 조금 못 미치는 생산성을 보였음

이상과 같이 우리나라에서의 여러 가지 환경적 요인에 대한 적응성 또는 내성, 생산성 등을 종합적으로 평가하여 GG935와 CG4814를 M26 대체대목, G11을 M9 대체대목으로 선발하였음. 코넬대 CTL로부터 이들 대목에 대한 증식, 보급권을 확보하여 참여업체 우진종묘와 하나종묘가 국내 보급을 담당할 것임

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 국내외 학술발표 10건, 논문게재 3편(SCI 2편, Scopus 1편), 교육지도 20회, 신문 및 전문잡지 게재 9건 등
- 참여업체인 우진종묘와 하나종묘가 미국 코넬대로부터 G.935, G814(CG4814의 최종 선발번호), G11를 우리나라에서 증식, 보급할 수 있는 권리를 획득하여 국내 보급을 담당할 것임
- 경북, 봉화군, 청송군, 경남 거창군 등 사과주산지 농가에 선발 G대목을 이용한 2축 또는 다축형 시범단지를 조성하여 농가교육과 보급의 기지로 활용할 것임.
- 국내외 학술지뿐 아니라 사과전문 계간 잡지인 “사과”에 연구결과를 게재하여 학자뿐 아니라 사과농업인들도 정보를 접할 수 있도록 할 것임.
- 경북대학교 사과연구소에서 매년 개최하고 있는 ‘고밀식 사과재배체계 최근 동향과 수형기술 대농민 워크숍’의 2021년 주제를 “연작적응성과 내환경성이 우수하고 화상병 저항성의 새로운 유망 사과대목”로 잡고 5년간의 연구결과와 해외 G대목 이용사례, G대목을 이용한 다축형 사과원 조성 방법 등을 소개하여 선발한 새로운 대목의 이용을 유도할 것임

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	315020-05		
사업구분	농생명산업기술개발사업				
연구분야	농산-원예작물과학-원예작물생명공학		과제구분	단위	
사업명	농생명산업기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성사과대목 선발		과제유형	(기초, <u>응용</u> , 개발)	
연구기관	경북대학교		연구책임자	윤태명	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2015.08.14.~2016.08.13.	100,000	40,000	140,000
	2차연도	2016.08.14.~2017.08.13.	100,000	40,000	140,000
	3차연도	2017.08.14.~2018.06.13.	84,000	40,000	124,000
	4차연도	2018.06.14.~2019.04.13.	84,000	36,000	120,000
	5차연도	2019.04.14.~2020.08.13.	132,000	44,000	176,000
계		500,000	200,000	700,000	
참여기업	우진종묘농원, 경산키낮은사과묘목(하나과수묘목)				
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 : 2020. 09. 24

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
경북대학교 원예과학과	교수	윤태명

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

- 미국 Cornell 대학에서 육성한 G 및 CG 대목을 확보하여 내동성, 내건성, 내습성 불량 환경에 대한 적응성과 우리나라에서 문제가 되고 있는 주요 토양병에 대한 내성은 물론 연작 적응성을 평가하여 기존의 M.9나 M.26대목의 문제점을 보완할 수 있는 대목 G.935의 선발

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

- G.935, CG4814(G814), G11 대목의 보급을 통해 기존 M.9와 M.26의 문제점인 동해, 건조 또는 과습 시 급격한 수세 약화, 연작시 심각한 장해 발생 등을 회피하거나 완화하여 사과산업의 안정적 발전에 기여
- 특히 선발된 대목은 최근에 문제되는 화상병에 대해 저항성을 갖고 있어서 화상병의 확대를 완화시킬 수 있을 것임.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

- 선발된 대목은 조기결실성, 생산성, 왜화도는 기존의 M.9 또는 M.26와 비슷하면서 환경 적응성, 연작적응성, 흰비단병과 흰날개무늬병에 대한 내성이 뛰어나 M.9 또는 M.26을 대체하게 될 것임.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수)

- 대목을 증식하고 묘목을 양성하여 노지 또는 온실에서 장기간 재배하면서 다양한 처리를 하여 생리반응과 생장을 조사, 분석하여 결과를 도출하는 지난한 연구를 성실하게 수행하였음.
- 다양한 환경과 여건에서의 대목 특성과 생산성을 파악하기 위하여 대구, 청송, 영주, 봉화 등 4지역에서 5년간 실증포장을 관리하면서 데이터를 축적한 점은 높이 평가할 만 함.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수)

- 학술발표: 10건, 논문 게재 3건(SCI 2건, Scopus 1건)
- 홍보실적: 신문 5건, 기술잡지 기고 4건
- 교육 : 20건
- 인력양성 : 5건

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
G계통 대목의 연작적응성 검정	10	100	연작적응성 평가 완료
G계통 대목의 생장특성 및 생산성	10	100	생장특성 및 생산성 검정 완료
G계통 대목의 증식특성	10	100	증식특성 조사 완료
G계통 대목의 내건성	10	100	내건성 검정 완료
G계통 대목의 내습성	10	100	내습성 검정 완료
G계통 대목의 내동성	10	100	내동성 검정 완료
G계통 대목의 토양병 내성 및 사과면층	10	100	토양병 내성 검정 완료
우리나라 환경에 적합한 G계통 대목 선발	30	100	유망대목 선발
합계	100점		

Ⅲ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 미국 Cornell 대학에서 육성한 G 및 CG대목을 연구재료로 확보하여 기존의 M.9 또는 M.26을 대체할 수 있는 우리나라 환경에 적합한 새로운 사과대목을 선발하고자 하였음.
- 지구온난화에 따른 이상기상이 반복되고 있는 상황에서 공시대목의 내건성, 내습성, 내동성을 평가하였고, 고밀식 재배체계의 정착과 시장환경 변화에 따라 재배주기가 짧아지고 있는 상황에서 연작시 발생하는 장애현상에 대목별 내성 또는 적응성을 검토하고 우리나라에서 문제되는 주요 토양병에 대한 민감성 또는 내성을 함께 검토하였음.
- 후지 품종을 접목하여 4개 지역에서 대목별 나무의 자람세와 생산성을 검토하여 M.26과 비슷한 왜화도와 생산성을 가지면서 환경적응성이 뛰어난 G.935, CG4814(G814), G11 대목을 유망대목으로 최종 선발하였음.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구는 재배기간이 긴 영년생 과수인 사과나무의 새로운 대목을 선발하기 연구과제로 다양한 측면에서 장기적이고 종합적인 검토가 이루어졌음.
- 대목의 증식에서부터 접목을 통한 묘목생산, 생산된 대목 또는 묘목을 이용한 환경제어가 가능한 실내 또는 노지에서 여러 가지 내환경성을 검토하였고 주요 토양병 및 면충에 대한 내성은 병원체를 배양하고 접종하여 감염여부와 피해정도에 근거하여 평가하였음.
- 대목별 후지를 접목하여 대구는 물론 경북의 3개 사과주산지에서 자람세와 생산성을 검토하였음.
- 선발된 대목을 증식, 보급하기 위해서는 묘목업체의 역할이 절대적이므로 묘목업체를 연구에 참여하여 연구종료 후 연구결과 활용에 대비하였음.
- 영년생 작물인 사과를 대상으로 하는 실증적 연구라 많은 노력과 시간이 소요됨에도 최선을 다해 계획대로 차질 없이 과제를 수행하였다는 점을 고려해 주기를 희망함.
- 국내증식, 보급권 최종 확보, 선발된 대목의 대량증식, 이를 이용한 우량한 2축 묘목을 생산하여 농가에 보급까지 2~3년이 소요될 것이지만 찾아지는 이상기상현상과 연작에 대비하여 기존 M.9 또는 M.26 대목을 대체하여 우리나라 사과산업의 경쟁력을 더욱 높이는데 크게 기여할 것이라는 점을 고려해 주기를 요청함.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 목표로 했던 우리나라 환경과 여건에 적합한 유망대목으로 G.935, CG4814(G814), G11을 선발하고 미국 코넬대학 CTL로부터 이 대목의 국내 증식, 보급권을 제공을 약속받고 세부 절차를 진행 중에 있음
- 증식, 보급권이 확보되면 참여업체인 우진종묘와 하나과수묘목이 곧바로 대목증식포를 만들고 자근대목의 대량생산과 접목 우량 측지묘목 생산, 보급에 들어갈 것임.
- 연구과제 책임자는 다양한 경로로 농업인들에 대한 교육과 홍보를 강화하고 선발 G대목을 이용한 미래형 과원체계 보급에 적극 나설 것임.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

※ 보안성 검토결과 보안이 요구되지 않음.

2. 연구기관 자체의 검토결과

※ 보안성 검토결과 보안이 요구되지 않음.

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	농산-원예작물과학-원예작물생명공학	
연구과제명	생산성 높은 내동성 및 연작에 강한 왜성사과대목 선발			
주관연구기관	경북대학교		주관연구책임자	윤태명
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	500,000	200,000		700,000
연구개발기간	2015.08.14. ~ 2020.08.13.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input checked="" type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① G, CG 대목의 연작적응성 검정	M.26 및 M.9 대비 연작적응성 검정 완료
② G, CG 대목의 생장특성 및 생산성	생장특성 및 생산성 시험 완료
③ G, CG 대목의 증식특성	G계통 대목의 증식특성 구명
④ G, CG 대목의 내건성 검정	내건성 검정 완료
⑤ G, CG 대목의 내습성 검정	내습성 검정 완료
⑥ G, CG 대목의 내동성 검정	내동성 검정 완료
⑦ G, CG 대목의 주요 토양병 및 사과면충 내성	토양병 및 사과면충 내성 검정 완료
⑧ 우리나라 환경에 적합한 새로운 대목 선발	유망대목 G.935 최종 선발

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치																				
최종목표			2			2						3	4		9	35	4	1	12	
연구기간내 목표			2			2						2	3		9	15	4	1	5	
연구기간내 달성실적			0			0						2	1		10	20	5	0	9	
달성율(%)			0			0						100	33		111	133	125	0	180	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	G, CG 대목의 연작적응성 검정
②	G, CG 대목의 생장특성 및 생산성
③	G, CG 대목의 증식특성
④	G, CG 대목의 내건성 검정
⑤	G, CG 대목의 내습성 검정
⑥	G, CG 대목의 내동성 검정
⑦	G, CG 대목의 주여 토양병 및 사과면충 내성
⑧	우리나라 환경에 적합한 G계통 대목 선발

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술				V				V		
②의 기술				V				V		
③의 기술				V				V		
④의 기술				V				V		
⑤의 기술				V				V		
⑥의 기술				V				V		
⑦의 기술				V				V		
⑧의 기술		V		V			V	V	V	

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - 사과원의 갱신주기가 짧아짐에 따라 필연적으로 발생하는 연작장해를 연작적응력이 뛰어난 대목을 이용함으로써 경종적으로 경감할 수 있을 것임
②의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - 재식거리 설정, 2축 도는 다축과 같은 적정 수형 채택에 활용
③의 기술	- 대목의 증식과 우량묘목 생산에 활용
④의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - 내건성 강한 대목 선발을 통해 장기 가뭄에 의한 피해 경감
⑤의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - 내습성 강한 대목 선발을 통해 이상기상에 따른 침수 및 과습피해 경감
⑥의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - M.9 대목을 이용한 고밀식 재배에서 문제가 되고 있는 동해문제를 내동성 대목의 선발을 통해 극복할 수 있을 것임
⑦의 기술	- 학술발표 및 논문게재, 대농민 기술교육에 활용 - 우리나라 주요 토양병인 흰비단병과 흰날개무늬병에 내성인 대목의 선발로 토양병의 경종적 경감
⑧의 기술	- 정책제안, 대농민 기술교육에 활용, - 내환경성, 토양병해충 내성 및 연작적응성이 우수한 유망대목 G.935의 보급을 통한 사과산업 경쟁력 제고와 지속발전에 기여

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치																			
최종목표			2			2					3	4		9	35	4	1	12	
연구기간내 달성실적			0			0					2	1		10	20	5	0	9	
연구종료후 성과창출 계획			3			3					1	1		20		1	7		

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.