

RS-2021-
IP821045

폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의

고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구

2024

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004744-01

폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구

2024.07.29.

주관연구기관 / 호반영농조합법인
공동연구기관 / 강원대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구”(개발기간 : 2021. 04. 01 ~ 2023. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024.07.29.

주관연구기관명 : 호반영농조합법인 (대표자) 김영교 (인)
공동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단 (대표자) 장철성 (인)

주관연구책임자 : 김대훈 (인)
공동연구책임자 : 김일섭 (인)

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

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		기술사업화지원사업		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-	
내역사업명 (해당 시 작성)		민간중심 R&D 사업화 지원		연구개발과제번호		RS-2021-IP821045	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0204 원예작물 재 종/종묘	70 %	LB0203 원예작물 시설 /재배	30 %	3순위 소분류 코드명	%
	농림식품 과학기술분류	AA0203 원예작물 재 배,생산	70 %	AA0299 기타 원예작물 과학	30 %	3순위 소분류 코드명	%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구					
연구개발과제명		폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구					
전체 연구개발기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)					
해당단계		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)					
해당연도		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(12개월)					
총 연구개발비		총 881,000 천원 (정부지원연구개발비: 715,000 천원, 기관부담연구개발비: 166,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
해당단계		총 555,000 천원 (정부지원연구개발비: 455,000 천원, 기관부담연구개발비: 100,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
해당연도		총 315,000 천원 (정부지원연구개발비: 260,000 천원, 기관부담연구개발비: 55,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		농식품 기술 보유 기업의 기술 사업화					
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)		국가연구개발사업을 통해 개발된 농식품 분야 우수기술성과의 사업화					
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐쇄형 육묘장치 이용시 발생하는 생리장해 경감기술 개발 ▪ 원통형 종이포트 생산시스템(엘리포트)의 관수 생력화 및 고 기능성 묘생산 기술 개발 			
		전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐쇄형 육묘장치 이용시 발생하는 생리장해 경감기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 자외선(UV-B)조사에 의한 생리장해(수포증상) 경감 효과 검증 - 고염류 단기 처리에 의한 스트레스 내성 증진 효과 검증 - 광조사기간 조절을 통한 폐쇄형 식물공장 묘의 접수·대목 경도 증진 기술 실증 - 폐쇄형 식물공장 묘의 연화방지(hardning)를 위한 최적 온습도 탐색 ▪ 원통형 종이포트 생산시스템(엘리포트)의 관수 생력화를 위한 저면 관수 효율성 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 저면 급수 매트 시스템을 활용한 엘리포트묘의 생력 증진 기술 실증 ▪ 엘리포트 묘 생산 시스템의 고기능성 묘 생산 <ul style="list-style-type: none"> - 청고병 예방을 위한 고접(high-grafting)기술 실증 - 고농도 CO₂ 처리에 의한 수출용 토마토 묘의 살충효과 실증 			
		1단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐쇄형 식물공장형 과채류 묘 생산 장치의 문제점 도출 및 개선점 모색 (주관 : 호반영농조합법인) - 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 수포증 저감 효과 규명 - 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 스트레스 내성 증진 - 명·암기 조절을 통한 폐쇄형 식물공장 접수·대목의 경도 증진 			

		<ul style="list-style-type: none"> - 변온 기술을 통한 식물공장묘의 묘의 <u>연질화 저감</u> ▪ 엘리포트 과채류 묘 생산 장치를 활용한 기능성 과채류 묘 생산기술 개발 (공동 : 강원대학교) - 저면 급수 매트 시스템 적용 엘리포트 적정 관수 관리 기준 설정 - 고접(high-grafting)묘의 정식 후 <u>청고병 경감</u> 효과 규명 - 출하 전 <u>고농도 CO₂</u> 처리를 통한 <u>해충 살충 효과</u> 규명 <hr/> <p>○ 폐쇄형 식물공장형 과채류 묘 생산 장치의 문제점 도출 및 개선점 모색 (주관 : 호반영농조합법인)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 <u>수포증 저감</u> 효과 규명 - 수포증 억제를 위한 최적 자외선(UV-B) 처리 방법 검토 - 폐쇄형 식물공장 접목묘의 수분스트레스(건조, 과습) 내성 증진을 위한 적정 자외선(UV-B) 처리 방법 탐색 ▪ 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 <u>스트레스 내성 증진</u> - Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교 ▪ 명·암기 조절을 통한 폐쇄형 식물공장 접수·대목의 <u>경도 증진</u> - 명·암기의 비율 조절을 통한 폐쇄형 식물공장묘의 경도 증진 효과 검토 ▪ 변온 기술을 통한 식물공장묘의 묘의 <u>연질화 저감</u> - 2단 변온시 목표온도 및 변온속도에 따른 폐쇄형 식물공장 묘의 연질과 저감 효과 탐색 <p>○ 엘리포트 과채류 묘 생산 장치를 활용한 기능성 과채류 묘 생산기술 개발 (공동 : 강원대학교)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 과채류 묘의 <u>생력화 증진</u>을 위한 저면 급수 매트 시스템의 최적 관수관리 방법 검토 - 두상관수 시스템과 저면 급수 매트 시스템의 관수 균일성 지상·하부 생육 비교 - 저면 급수 매트시스템 적용에 따른 두상관수 대비 병해충 확산 정도 비교 - 저면 급수 매트 시스템을 활용한 출하전 고염류 처리에 따른 건조 스트레스 내성 비교 ▪ 고접(high-grafting)묘의 정식 후 <u>청고병 경감</u> 효과 규명 - 주요 접목묘(토마토, 오이, 수박)의 고접에 따른 접목 활착을 비교 - 고접의 높이에 따른 주요 채소류 접목묘의 <u>청고병 저감</u>을 비교 ▪ 출하 전 <u>고농도 CO₂</u> 처리를 통한 <u>해충 살충 효과</u> 규명 - <u>고농도 CO₂</u> 시비에 따른 주요 채소 묘의 살충을 비교 - <u>고농도 CO₂</u> 시비시 살충을 향상 및 묘소질 저하를 방지하는 최적 온습도 조건 규명
2단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템 활용 고품질 과채류묘 생산기술 표준화 (주관 : 호반영농조합법인) - 수포증 저감을 위한 UV-B 처리기 <u>생산성 검증</u> - 폐쇄형 식물공장묘의 스트레스 내성 증진을 위한 자외선 처리 시스템 설치 및 활용 기술 <u>경제성 검토</u> - 명·암기 전환과 변온 패턴의 복합제어를 통한 폐쇄형 식물공장 묘의 재배 기술 <u>메뉴얼화</u> - 저면 급수 매트 시스템 현장 실증을 통한 <u>실용화</u> - 주요 채소류 엘리포트 고접(high-grafting)묘의 <u>제품화</u> - UV-B 및 고농도 CO₂ 처리에 의한 무농약 pest-free 엘리포트 묘 <u>사업성 검토</u> - 개발된 고농도 CO₂처리 기술의 현장실증을 통한 <u>실용화</u> <hr/> <p>○ 폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템 활용 고품질 과채류묘 생산기술 표준화 (주관 : 호반영농조합법인)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 현재 구축되어 있는 폐쇄형 식물공장에 적합한 UV-B 처리 시스템의
	내용	

		<p>생산성 검토</p> <ul style="list-style-type: none"> 스트레스 내성 증진을 위한 자외선 처리 시스템의 설치·운영비를 고려한 경제성 검토 규명된 명·암기 기간과 변온패턴의 최적화를 통하여 연중 안정적인 총실묘생산 시스템을 구축하고 활용 기술을 메뉴얼화하여 지속적인 운영이 가능한 체계 구축 1단계 연구를 통해 보완된 저면 급수 매트 시스템의 현장 실증을 통해 최적 관리 기술을 실용화 주요 채소류 엘리포트 고접묘의 제품화를 위하여 제품등록 및 홍보활동 수행 UV-B, 고농도 CO₂ 처리 무농약 pest-free 모종의 생산기술 특허출원 및 상품화 기능성 특수묘의 수출 시장 진출 진출을 위한 해외 시장 사업성 검토 개발된 고농도 CO₂처리 시스템 및 활용기술의 지적재산권 선점 및 기술 실용화
	목표	<ul style="list-style-type: none"> 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 수포증 저감 효과 규명 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 스트레스 내성 증진 저면 급수 매트 시스템 적용 엘리포트 적정 관수 관리 기준 설정 고접(high-grafting)묘의 정식 후 청고병 경감 효과 규명 출하 전 고농도 CO₂ 처리를 통한 해충 살충 효과 규명
해당 연도	내용	<ul style="list-style-type: none"> 수포증상 억제를 위한 최적 자외선(UV-B) 처리 방법 검토 폐쇄형 식물공장 접목묘의 수분스트레스(건조, 과습) 내성 증진을 위한 적정 자외선(UV-B) 처리 방법 탐색 Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교 두상관수 시스템과 저면 급수 매트 시스템의 관수 균일성 지상·하부 생육 비교 저면 급수 매트 시스템 적용에 따른 두상관수 대비 병해충 확산 정도 비교 주요 접목묘(토마토, 오이, 수박)의 고접에 따른 접목 활착율 비교 고농도 CO₂ 시비에 따른 주요 채소 묘의 살충율 비교

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> (실용화) 폐쇄형 식물공장 묘 생산시스템 실용화 (실용화) 엘리포트의 고효율 관수 시스템 실용화 (사업화) 기능성 특수 무병묘 관련 기술 사업화 				
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> 연중 안정적인 접수·대목 생산을 통한 공정육묘장 경영성 개선 특수 처리를 활용한 고품질 모종 생산으로 육묘산업의 신시장 개척 가능 신규 도입 시스템의 환경 및 관수 조절을 통한 생육조절 기술 경쟁력 제고 저투입·고효율 정밀관수기술 적용을 통한 묘소질 향상 및 경제성 증대 친환경 기술을 통한 기능성 무병묘의 제품화로 육묘산업의 저변 확대 				
국문핵심어 (5개 이내)	엘리포트	공정육묘	식물공장	접수	대목
영문핵심어 (5개 이내)	Ellepot	seedling production	plant factory	Scion	Rootstock

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요.....	8
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용.....	17
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도.....	37
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성).....	252
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도.....	253
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획.....	254

최종보고서										보안등급		
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]		
중앙행정기관명			농림축산식품부			사업명		기술사업화지원사업				
전문기관명 (해당 시 작성)			농림식품기술기획평가원					내역사업명 (해당 시 작성)		민간중심 R&D 사업화 지원		
공고번호			농축2021-41호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			RS-2021-IP821045			
						연구개발과제번호						
기술분류	국가과학기술 표준분류		LB0204 원예작물 채종/종묘	70 %	LB0203 원예작 물 시설/재배	30 %	3순위 소분류 코드명			%		
	농림식품과학기술분류		AA0203 원예작물 재배, 생산	70 %	AA0299 기타 원 예작물과학	30 %	3순위 소분류 코드명			%		
총괄연구개발명 (해당 시 기재)			국문		폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구							
			영문		Empirical study on the production of high-quality seedlings in plant factory seedling chamber and the ellepot system							
연구개발과제명			국문		폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구							
			영문		Empirical study on the production of high-quality seedlings in plant factory seedling chamber and the ellepot system							
주관연구개발기관			기관명		호반영농조합법인		사업자등록번호		221-81-10822			
			주소		(우)강원도 춘천시 동면 지내리 909		법인등록번호		140171-0000894			
연구책임자			성명		김대훈		직위		대표이사			
			연락처		직장전화		휴대전화					
연구개발기간			전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)							
			단계		1단계[<input type="checkbox"/>]		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)					
					2단계[<input type="checkbox"/>]		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 개월)					
연구개발비 (단위: 천원)			정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				연구개발 비외 지원금	
							지방자치 단체		기타()			
			현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계		
총계			715,000	6,500	158,500			721,500	158,500	880,000		
1단계			1년차		195,000		45,000		195,000		240,000	
			2년차		260,000		55,000		260,000		315,000	
2단계			1년차		260,000		58,500		266,500		325,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)			기관명		책임자		직위		휴대 전화		전자우편	
			비고		역할		기관유형					
공동연구개발기관			강원대학교		김일섭						공동 대학	
연구개발과제 실무담당자			성명		김대훈		직위		대표이사			
			연락처		직장전화		휴대전화					
			전자우편				국가연구자번호					

이 단계보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024 년 07 월 29 일

연구책임자: 김 대 훈 (인)

주관연구개발기관의 장: 호반영농조합법인 김영교 (직인)

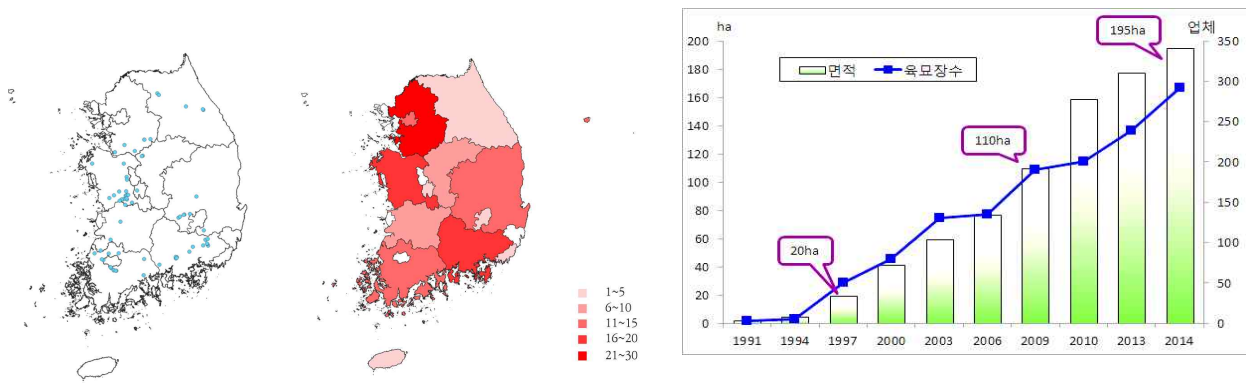
공동연구개발기관의 장: 강원대학교산학협력단 장철성 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

■ 공정육묘 산업 현황

- 육묘는 단지 묘를 생산하여 재배농가에 전달하는 것으로 그치는 것이 아니라 우량묘의 생산과 정식과정에서 생산된 묘의 활착 및 추후 생장 등의 개념도 포함함.
- 농업의 전문화, 분업화 추세에 따라 국내 공정육묘장의 수와 면적은 지속적으로 증가하는 추세임
 - ▶ 국내 육묘장 면적(ha) : 20(1997)→110(2009)→159(2010)→195(2014)
 - ▶ 국내 육묘장 수(개) : 37(1997)→130(2006)→292(2010)→337(2014)



전국의 공정육묘장 분포(육묘산업회 회원 중심) 및 시대별 변화, 농촌진흥청 자료 제공

- ▶ * '13년 국내 육묘시장 규모는 '10년 대비 30% 증가한 2,420억원 수준
- * 농업인의 묘 구입 비율(물량기준) : 벼 21%, 엽채류 45, 과채류 57

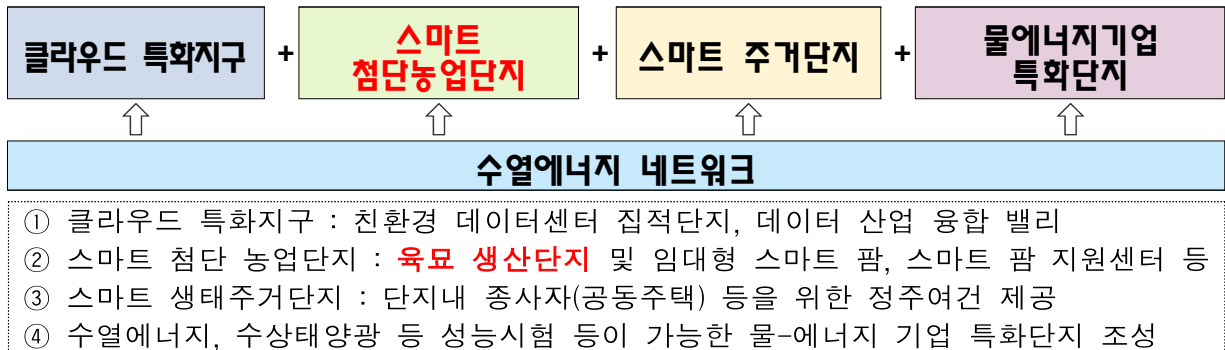
■ '강원도 수열에너지 융복합 클러스터' 내 첨단 공정육묘장 신축 이전을 위한 연구 필요

- 한국판 뉴딜사업 중 하나인 '강원도 수열에너지 융복합 클러스터' 조성 사업은 2020년부터 7년간 진행. 본 연구기관은 해당 프로젝트 중 데이터센터 집적단지 조성 예정 부지에 위치하고 있기 때문에 부지사용 보상으로 프로젝트 구상 단계부터 '첨단농업단지' 부지 98,000m²중 일부를 '육묘 생산단지'로 참여하기로 함
- 본 연구기관은 2027년 해당 부지에 **국제적인 수준의 최첨단 스마트 공정육묘장**을 설립할 계획으로 현재 설계 용역을 진행하고 있음. 현재 한국의 공정육묘장의 시설 수준은 선진국 대비 50% 수준에 불과 함. 본사는 한국 공정육묘 수준을 국제적인 수준으로 향상 시키는 선도적인 역할을 하기 위하여 네덜란드의 첨단 유리온실 설비를 활용한 대형 자동화 육묘시스템과 일본의 폐쇄형 식물공장 시스템의 무병묘 생산시스템을 도입할 계획임
- 또한, 국내 최초로 도입한 **원통형 종이포트묘 생산시스템(엘리포트)**을 확장하고 **폐쇄형 식물공장 육묘생산 시스템**을 도입하여 연중 일정한 완전자동화 스마트 육묘 시스템을 구축할 것임
- 따라서, 원활한 사업 진행을 위해 현재 프로토타입으로 본사에 구축된 **폐쇄형 식물공장 육묘생산 시스템**과 **엘리포트 육묘 생산시스템**의 문제점을 개선하여 활용도를 증대 시키는 연구가 필요함

강원도 수열에너지 융복합 클러스터 조감도



- (사업내용) 수열에너지를 기반으로 하는 ① 클라우드 특화지구, ② 첨단농업단지, ③ 주거단지, ④ 물에너지기업 특화단지 조성(~ 27년)



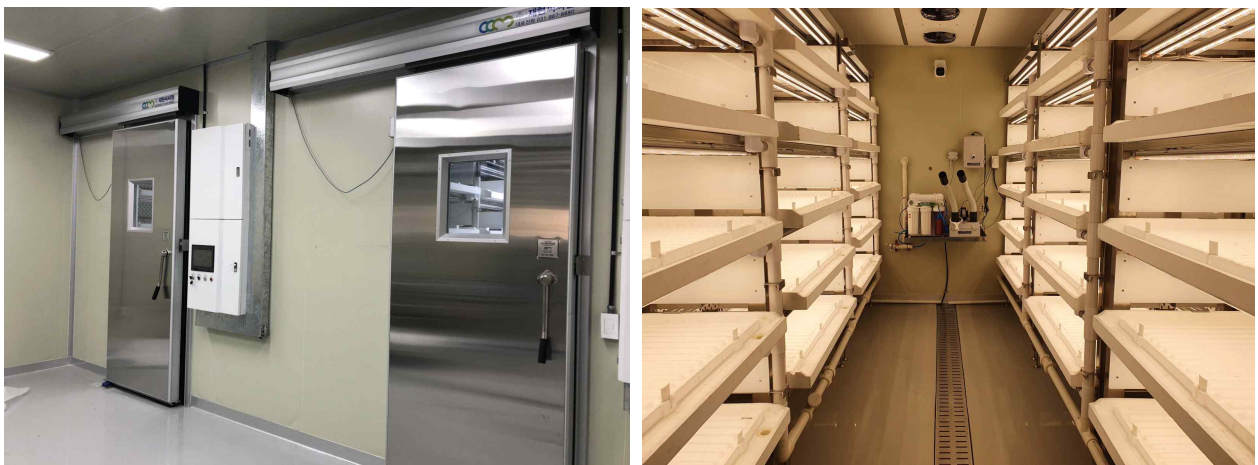
주관연구기관(호반영농조합법인)에 구축 되어있는 인공광 이용 폐쇄형 육묘공장 시스템



주관연구기관(호반영농조합법인)에 구축 되어있는 엘리포트묘 생산 시스템

■ 폐쇄형 식물공장형 육묘생산시스템을 활용한 연중 일정한 고품질 접수·대목 생산 필요

- 공정육묘장에서 접목 작업은 인력에 의존하고 있으며, 접목 작업에 소요되는 투하노동력은 접목묘의 생산을 위해 투하되는 총 노동력의 70~80%로 자동화가 시급함. 자동 접목 시스템은 성공적인 접목 성공률을 달성하기 위해 특정 수준의 모종 균일성이 필요함
- 성공적인 접목을 위해 대목과 접수 사이의 도관 조직의 연결되어야 하며 이를 위해서는 대목과 접수의 형성층이 서로 정렬되어야하며, 두 줄기 사이의 직경이 일치해야 함
- 접목에 사용되는 대목과 접수는 품질 매개 변수(예: 배축/epicotyl 길이, 잎 크기 등)도 접목 시스템과 호환되도록 특정 표준이 필요하며, 특정 규격의 접수 및 대목을 연중 균일하게 생산하기 위해서는 식물공장형 육묘시스템과의 연계가 필수적임
- 8~9월은 40°C 내외의 고온 조건이어서 모종이 도장(웃자람)하며, 연약하여 병해충 피해에 취약하고, 12~1월은 -15°C 내외의 저온 조건이어서 생육이 불량하며, 접수·대목의 생육기간이 지연되어 육묘회전율이 감소함
- 폐쇄형 식물공장형 육묘생산 시스템은 이러한 불안정성을 해소하고 연중 동일한 품종의 접수·대목을 안정적으로 생산할 수 있기 때문에, 육묘장의 공간효율 상승 및 회전율 향상으로 공정육묘장 경영성 개선에 큰 도움이 될 것으로 기대됨
- 본 연구기관은 농림식품기술기획평가원에서 경북대학교 김성겸 교수 연구팀에 2020년 1월부터 2021년 5월까지 지원하는 ‘인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모듈 개발 및 실증’사업을 통하여 국내 최초로 인공광 육묘생산시스템을 설치하였고, 초기 운영시험을 수행하였음
- 본 연구기관은 확장이전시 실용화된 폐쇄형 식물공장 시스템을 대규모로 확충할 계획이고 이상 기상 및 기후변화 등으로 인해 우량묘 생산이 점차적으로 어려워지고 있기 때문에 본 연구를 통한 해당 설비의 문제점 도출 및 개선방안 모색이 필요함



주관연구기관(호반영농조합법인)에 구축 되어있는 인공광 이용 폐쇄형 육묘공장 시스템

■ 폐쇄형 식물공장 묘 생리장해(수포증상) 저감 방안 연구 필요

- 폐쇄형 식물공장은 생육속도를 가속화하기 위해 높은 습도 환경을 조성해주어 스트레스를 최소화하여 접수·대목을 재배함. 하지만, 이러한 환경의 부작용으로 폐쇄형 식물공장에서 외부로 이동시 급격한 환경변화에 노출되는 것을 적응하지 못하고 생리장해인 수포증상이 발생하는 문제가 있음
- ‘수포증상’은 비 병원성으로 잎이나 줄기에 물집과 같은 수포가 발생하여 엽록체가 소실되는 현상으로 광합성 속도가 저해되어 성장 장애 및 고사까지 일어남
- LED 자외선(UV)추가 형광등(UV-FL)을 사용한 하이브리드 LED인 UV-B처리 예비실험 결과 UV-B 처리는 프라이밍 효과에 의해 무처리에 비하여 월등한 방제효과를 보였고, 3시간 처리는 관행 농약방제와 유사한 수준의 수포증 저감 효과를 보임
- 따라서, 폐쇄형 식물공장의 안정적인 활용을 위하여 가장 큰 장애요인인 수포증상(오른쪽 사진) 발생문제를 해결할 수 있는 UV-B 처리에 관한 연구가 필요함



■ 변온제어를 통한 폐쇄형 식물공장 묘의 경도 증진을 위한 연구 필요

- 폐쇄형 식물공장은 식물 생육 속도를 극대화 할 수 있는 최적환경을 조성해주기 때문에 겨울철 대비 접수·대목 생산기간이 21일에서 6일로 약 3분의 1수준으로 단축시킬 수 있음
- 하지만 이러한 빠른 생육의 결과 폐쇄형 식물공장에서 생육된 접수·대목은 기존 접수·대목에 비하여 줄기의 경도가 약해지는 문제가 발생함. 이러한 문제는 스트레스 내성 약화를 야기하여 접목시 치명적인 약점이 될 수 있음
- 폐쇄형 식물공장은 아직 내부의 최적 광합성효율을 유지하기 위한 광·온도 조건이 정립되지 않았고, 기존 수행된 연구들도 향온관리에 치중하여 변온관리에 대한 결과가 없는 실정임
- 폐쇄형 식물공장의 변온제어를 통해 작물의 경도를 증진시키는 연구가 필요함

■ 자외선(UV-B) 처리에 의한 폐쇄형 식물공장 묘의 스트레스 내성 증진 관련 연구 필요

- LED는 자외선이 전혀 포함되어 있지 않기 때문에, 관행 육묘나 형광등 육묘에서 자연스럽게 받게 되는 광 스트레스가 전혀 없어서 환경변화가 큰 외부환경에 노출될 경우 다양한 병해충 및 생리장해의 발생 위험이 높음
- 따라서, 일반 재배에서 받을 수 있는 광 스트레스를 적용하기 위해 접목 후 자외선(UV-B)을 처리하여 육묘 후 본포에서 맞이할 환경스트레스(강광, 저온, 건조, 자외선)에 적응할 수 있는 스트레스 내성을 증진시키는 연구 필요

■ 고농도 CO₂ 처리를 활용한 무농약 pest-free 묘 생산기술 실증 필요

- 최근 이상고온으로 인한 병충해의 발생이 증가하고 있어, 공정육묘장에서 병해충을 방제를 위하여 많은 양의 농약을 사용함. 이러한 공정육묘장에서의 출하 전 완벽한 병해충 방제 덕분에 과거 농가가 직접 방제하는 경우보다는 살포횟수와 사용량을 크게 줄였지만, 유기농 묘를 생산하거나 수출을 하기 위해서는 잔류농약의 문제가 있음
- PLS 도입으로 인해 국내 농가도 잔류농약에 대한 관심이 높아졌고, 해외 바이어측에서도 해충으로 인한 훈증 우려가 없는 무농약 프리미엄 모종을 요청하고 있음
- ‘고농도 CO₂ 처리 기술’은 모종 출하직전 단시간 40%(4000ppm)이상의 고농도 CO₂에 작물을 노출시키는 기술로, 해충의 호기성 에너지 대사를 저해하여 살충하는 기술임. 이러한 기술은 농약 처리 없이 해충을 방제, 화학 농약 저항성을 가진 해충도 방제 가능, 가스로 인해 기존 농약 분사로 인해 닿지 않는 위치의 해충까지 살포 가능하기 때문에, 완전 무농약 유기농 묘 또는 잔류농약이 엄격한 수출용 모종의 생산이 가능함
- 따라서, 기후변화 및 환경오염의 관심 증대로 인한 친환경 농업의 확산에 따라 향후 확대될 신 농업시장을 선점하기 위한 프리미엄 모종의 생산이 필수적이고, 이를 위해서는 생육저해 없이 살충효과를 극대화 할 수 있는 고농도 CO₂ 처리의 적정 활용 방안 연구가 필요함
- 본 연구기관은 폐쇄형 식물공장 시스템과 고농도 CO₂ 처리를 연계하여 완전 무농약 기능성 모종의 수출을 목표로 하고 있기 때문에, 수출시 가장 큰 문제인 해충과 잔류농약문제를 해결할 수 있는 고농도 CO₂ 처리기술의 개발이 필요함



고농도 CO₂ 시비기 예시(좌) 및 본연구기관의 수출 홍보 자료

■ 원통형 종이포트(엘리포트) 시스템을 활용한 자동화 시스템 보급 확산 필요

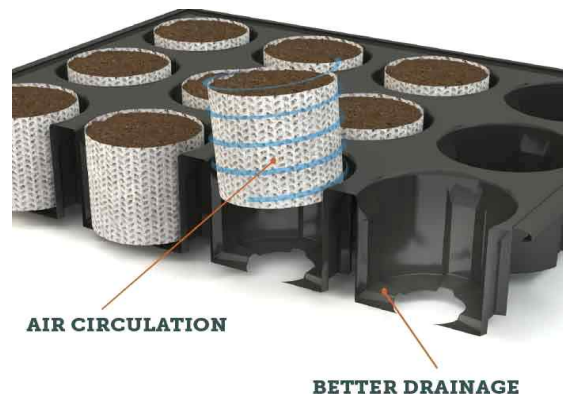
- 최근, 공정육묘장에 새로운 패러다임으로 기존의 플러그묘 생산시스템에 비해 지하부 환경 개선 효과나 기계정식의 용이성 등의 장점이 부각되면서 생분해성 자재를 사용한 원통형 종이포트 육묘 시스템(엘리포트)이 시도되고 있으며, 금후 사용 확대가 예상됨
- 2020년 코로나 19로 인해 외국인 근로자의 입국이 차단되면서 트레이 충전, 접목, 정식 및 관수 등 수작업의 비중이 높은 공정육묘장 및 재배능가는 극심한 운영난을 겪었고, 그로 인해 자동화 및 기계정식이 용이한 엘리포트 모종에 대한 관심이 증대되었음
- 엘리포트의 경우 육묘 중 트레이 벽면과 종이와의 간극이 발생하므로 가스교환이 월등히 우수한 상태로 변함. 그러나 공기에 노출된 상토 표면적이 증가하므로 상토의 건조속도가 매우 빠

르며 적절한 관수 관리를 위한 상토의 개발과 개발된 상토의 관수 방법에 관한 실용화 연구결과가 도출되어야 함

- 본 과제의 주관연구기관인 ‘호반영농조합법인’ 과 공동연구기관인 강원대학교 김일섭 교수 연구팀은 지난 20년간 다수의 육묘관련 연구 및 실증 적용을 수행하며 긴밀하 산학협력시스템을 구축하였고, 서울대학교, 농업기술원 및 농촌진흥청 등의 다수의 연구기관들과 연구과제를 협업하였음
- 특히, 2017년부터 4년간 수행하고 2020년 12월 완료된 ‘주요 채소류 원통형종이 포트 묘 생육 조절기술개발(국립원에특작과학원)’을 통하여 기존 플러그 시스템과 비교한 원통형 종이포트 시스템의 특성 파악, 도장 방식을 위한 고농도 염류처리, 지상부 묘소질 향상을 위한 관수관리 기준 및 저장성 향상 기술 등 다양한 연구 논문들을 게재하였고, 관련 실용화 기술은 강원대학교에 산학협력단에서 호반영농조합법인으로 기술이전을 실시하였음

■ 저면 급수 매트 시스템을 활용한 관수 자동화 및 엘리포트 생력 증진 실증 필요

- 저면관수 시스템은 두상관수 시스템에 비하여 관수효율이 월등하고 모종간 편차가 적고, 지상부 곰팡이 발생율이 낮지만, 기존의 플러그 육묘의 경우는 저면관수시스템을 적용할 경우 과습으로 인한 장애가 많이 발생하기 때문에 저면관수시스템을 적용하기가 어려웠음
- 이러한 이유로 국내 대부분의 공정육묘장에서는, 엘리포트 시스템으로 전환을 했음에도 불구하고 두상관수 시스템을 적용하고 있음. 두상관수 시스템은 숙련자의 노하우에 따라서 관수의 정밀도가 변화되고 많은 노동력이 투입됨
- 엘리포트 시스템은 육묘 중 트레이 벽면과 종이와의 간극 및 트레이 위로 노출되는 부분이 발생하므로 가스교환이 월등히 우수하여 기존의 플러그 트레이에 비하여 다소 건조한 상태가 되기 때문에, 공기에 노출된 상토 표면적이 증가하므로 상토의 건조속도가 매우 빠르기 때문에 지금까지 과습이 단점으로 지적되었던 저면관수 시스템의 적용이 용이할 것으로 판단



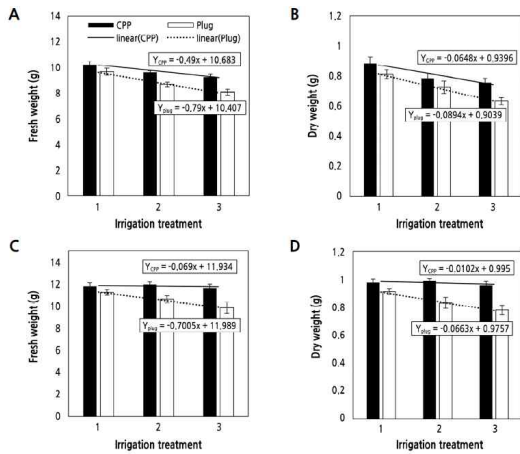


Fig. 1. Comparison between trend lines of fresh and dry weights of Cucumber (A, B) and Watermelon (C, D) seedlings in cylindrical paper pot and plug trays according to irrigation treatment. Error bars represent standard deviation of the mean (n = 10).

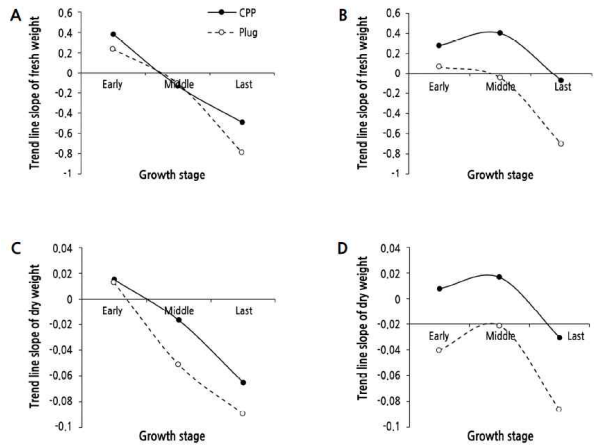
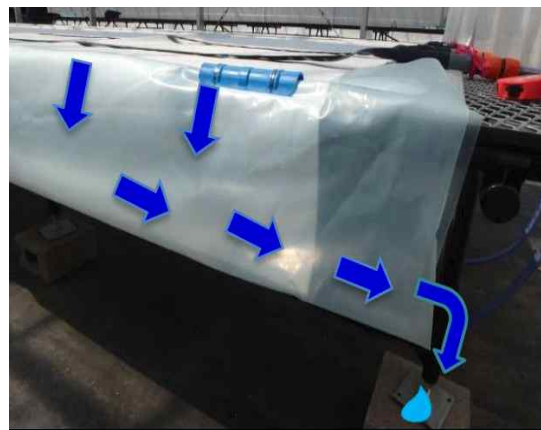


Fig. 2. Comparison of trend line slopes of fresh and dry weights of cucumber (A, C) and watermelon (B, D) seedlings between cylindrical paper pot trays (CPP) and plug trays (Plug) during the seedling period.

원통형 종이포트묘는 플러그묘에 비하여 과습장해가 덜하다는 본연구팀의 연구 결과 논문(2020, HST)

- 하지만, 다수의 소규모 농가를 대상으로 모종을 재배하는 공정육묘장의 특성상 정형화된 대형 저면 관수 벤치를 구축하면, 생육상황에 따른 개별관리가 불가능해지는 문제가 발생. 이러한 문제를 개선하면서도 저면관수의 장점을 활용할 수 있는 방안이 '저면 급수 매트' 시스템임
- 저면 급수매트 시스템은 면적의 변경이 용이하면서도 균일한 관수 효과를 기대할 수 있어서 기존 두상관수 대비 균일한 모종생산, 육묘 작업의 간소화를 도모 할 수 있음. 또한, 두상관수시 발생하는 병충해의 확산 위험도 방지할 수 있음



- 하지만, 아직 국내에서 저면 급수 시스템을 적용한 엘리포트묘 재배 생육에 관한 연구는 미미한 실정임. 경영효율성 및 묘소질 향상을 위하여 저면관수 시스템의 조속한 적용이 필요하고, 차세대 육묘방식으로 시도되고 있는 새로운 육묘시스템 생산기술에 필요한 관수관리 기술을 개발하여 공정육묘장에서 활용할 수 있도록 연구가 시급함
- 본 과제의 주관연구기관인 호반영농조합은 이미 엘리포트 시스템을 도입하여 실용화에 주력하고 있으며, 다수의 대학 및 연구기관과의 협업을 통하여 관련 연구 know-how를 이미 축적하기 위하여 노력하고 있고, 공동 연구팀은 2019년 엘리포트 육묘 시스템과 기존 플러그 육묘시스템의 두상관수시 관수 방법에 따른 생육 차이를 비교한 연구논문을 게재한 경험이 있고, 현장 적용을 위한 후속연구를 지속적으로 수행하고 있기에 본 연구를 수행하기에는 충분한 역량을 갖추었음

■ 고품질 엘리포트 묘 생산을 위한 ‘골든아워’ 연구 필요

- 최근 시설의 현대화 및 육묘의 정밀한 관리를 위해 많은 공정육묘장들이 각 생육시설 마다 센서와 냉·난방 및 가습설비를 활용하여 관리하고 있으나, 센서·설비의 고장 및 오작동으로 인해 일정시간 고·저온 및 고·저습에 노출되는 상황이 종종 발생
- 또한, 약제살포시 약제혼입 실수로 인해 간혹 고농도의 약제가 살포되는 경우가 있음. 이러한 단기간 스트레스 환경에 육묘가 고사하거나 생리장해 및 병해충에 약해지며 회복이 불가능하다는 인식이 있기에, 모두 폐기함
- 육묘장은 이와 같은 상황이 발생하지 않도록 최선의 노력을 다하지만 부득이하게 발생할 경우는 공정육묘장 뿐 아니라 계약하였던 재배농가에도 큰 피해를 끼침
- 지금까지의 육묘관련 연구들은 스트레스후 회복방안 및 적정 회복시기의 연구는 미진한 실정. 따라서 육묘장의 경영 안정성을 확보하기 위하여 이러한 단기간의 스트레스 환경 노출시 발생하는 피해 정도와 회복 가능성 및 방안에 관한 연구가 필요함



■ 엘리포트 묘의 건조 스트레스 저항성 증진을 위한 연구 필요

- 엘리포트 모종은 기존 플러그묘에 비하여 근권부 수분건조속도가 빨라서 육묘장의 마지막 관수 이후 본포에 정식되는 동안의 건조 위험성이 큼
- 이를 보완하기 위하여 마지막 관수의 시점을 기존의 시스템에 비하여 늦추는 조치를 취하고 있지만, 장거리 수송 및 고온기의 경우는 부족한 실정임
- 각 작물별로 적절한 식염수의 처리 시기, 농도, 침지방법 등을 비교검토하고, 본 연구를 통해 적용되는 저면 급수 매트 시스템을 적용한 고염 처리 기술의 실증이 필요함
- 본 연구팀은 고농도 칼륨(Potassium)처리를 활용한 토마토 모종의 도장 억제 기술에 관한 연구 논문을 2020년에 게재한 경험이 있기에, 이 연구에 대한 후속연구로 농가 현장에서 즉시 적용 가능한 실증연구를 수행할 예정임

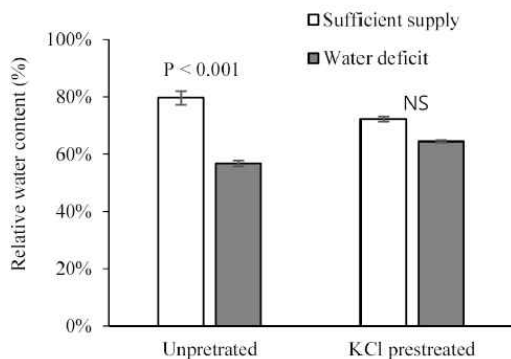


Fig. 3. Changes in relative water content of high salinity potassium chloride (10 dS·m⁻¹ KCl) pretreated and unpretreated seedlings subjected to water deficit.

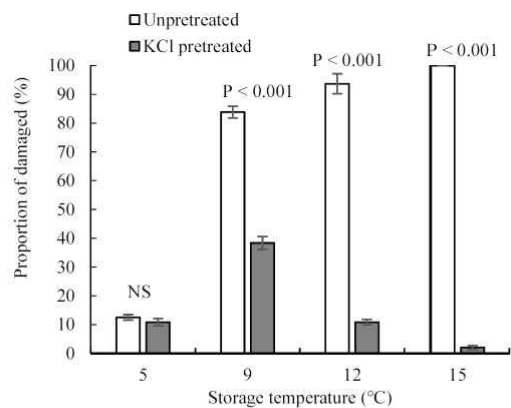
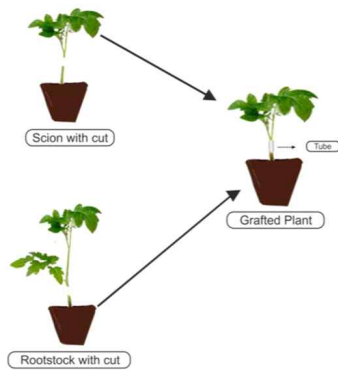


Fig. 5. Damage proportion on high salinity potassium chloride (10 dS·m⁻¹ KCl) pretreated and unpretreated seedlings after 20 days' storage.

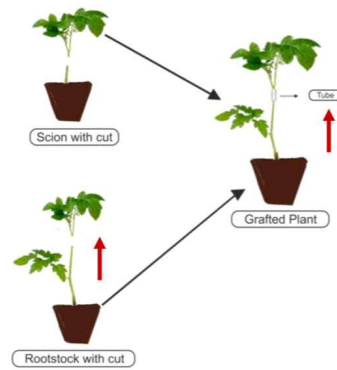
본 연구팀의 원통형 종이포트묘의 고염류 처리를 통한 건조스트레스 효과 관련 선행연구 실적

■ 엘리포트 모종의 정식 후 토양전염성 저감을 위한 고접(high-grafting) 기술 실증 필요

- 현재 국내 과채류 농가의 대부분을 차지하는 파프리카와 토마토 재배농가의 가장 큰 애로사항은 토양전염병 감염 병임. Fusarium 균의 근권부 감염으로 인한 피해는 정식 후 물관과 체관의 목질화를 야기하여 작물을 위조시킴
- 최근 이러한 문제가 심각하여 종자, 환경 등 다양한 방면에서 원인과 대책을 찾아보려 노력하였지만 뚜렷한 진전이 없는 실정임. 하지만, 이러한 노력중의 하나로 파프리카의 접목묘를 정식한 결과 이러한 피해가 절감되었다는 농가사례가 나타났고, 일본에서 고접(high-grafting)을 통해 토양전염병이 저감되었다는 사례가 보고됨
- 고접(high-grafting)은 활착실의 공간 활용 증진 및 충실묘 생산을 위해 최대한 접목묘의 초장을 줄이려 노력하였던 관행의 접목 방향과는 반대되어, 아직 국내에는 보급되어 있지 않은 실정임. 하지만, 재배농가에 극심한 경제적 피해를 야기하고 있는 원인을 경감시킬 수 있는 것이 규명된다면 공정육묘장 및 재배농가 모두에게 막대한 경제적 이익이 발생할 것으로 기대됨
- 따라서, 작목별 적정한 고접의 높이 및 시기에 따른 토양전염병 절감 효과를 규명하여 공정육묘장에서 활용할 수 있는 최적 고접 기술의 정립이 필요함



관행 적인 접목



고접(high-grafting)

■ 과채류 묘의 해외 수출 시장 확대 필요

- 육묘 수출대상국은 2018년 네덜란드, 미국 및 일본의 3개국에서 2021년 네덜란드, 미국, 일본, 대만, 캐나다, 멕시코 및 중국의 7개국으로 확대되었음. 하지만, 판매국은 증가하였지만 판매 비중은 0.1%으로 미비한 실정임
- 과채류 묘의 해외 수출을 위해서는 잔류농약이 없고 병충해 없는 친환경 묘가 필요함. 하지만, 최근 이상기후로 인해 여름철 고온 다습 및 겨울철 약광 등으로 인해 병충해가 많이 발생하게 되고 이로 인해 농약의 사용량 또한 높아지고 있는 상황임. 또한, 고품질의 묘를 생산하기 위해 성장억제제를 사용하여 잔류농약의 문제가 남아있음
- 외부 환경이 통제하기 어려워지고 있기 때문에, 최근 엽채류와 허브류에 많이 사용되고 있는 식물공장을 과채류 육묘에도 도입이 시도되고 있음. 폐쇄형 육묘장치는 외부 환경과 격리되어 있기 때문에 외부 환경의 영향을 받지 않아 연중 균일한 환경에서 병해충 없이 재배할 수 있는 장점을 가지고 있음. 하지만, 새롭게 도입된 시설이고 과채류 묘를 키우는 것이기 때문에 고품질의 묘를 생산할 수 있는 환경에 대한 정보가 부족한 실정임
- 따라서, 폐쇄형 육묘장치 내에서 과채류 육묘 시 환경 조건, 보광 및 고염류 처리 등 다양한 방법을 통해 고품질의 과채류 묘를 생산하는 방법을 구명하는 것이 필요함

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

◆ 1차년도

○ 주관 연구기관의 수행과정

구분	연구개발 내용	수행 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
주관 (호반 영농)	▪ 명·암기 및 변온처리를 위한 식물공장 환경 및 관수 설정 시스템 설치 및 보완												
	▪ 수포증상 억제를 위한 최적 자외선(UV-B) 처리 방법 검토												
	▪ 폐쇄형 식물공장 접목묘의 수분스트레스(건조, 과습) 내성 증진을 위한 적정 자외선(UV-B) 처리 방법 탐색												
	▪ Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교												
	▪ 명·암기의 비율 조절을 통한 폐쇄형 식물공장묘의 경도 증진 효과 검토												
	▪ 2단 변온시 목표온도 및 변온속도에 따른 폐쇄형 식물공장 묘의 연질과 저감 효과 탐색												

○ 주관 연구기관의 수행내용

▪ 연구내용 1 : 수포증상 억제를 위한 최적 자외선(UV-B) 처리 방법 검토

- 폐쇄형 식물공장은 생육속도를 가속화하기 위해 높은 습도 환경을 조성해주어 스트레스를 최소화하여 접수·대목을 재배함. 하지만, 이러한 환경의 부작용으로 폐쇄형 식물공장에서 외부로 이동시 급격한 환경변화에 노출되는 것을 적응하지 못하고 생리장애인 수포증상이 발생하는 문제가 있음
- LED 자외선(UV)추가 형광등(UV-FL)을 사용한 하이브리드 LED인 UV-B처리 예비실험 결과 UV-B 처리는 프라이밍 효과에 의해 무처리에 비하여 월등한 방제효과를 보였고, 3시간 처리는 관행 농약방제와 유사한 수준의 수포증 저감 효과를 보임
- 따라서, 본 연구는 수포증 억제 효과를 유지하면서 접수·대목의 생육억제효과를 최소화하는 최적 UV-B 처리 기준을 정립하기 위해 수행되었음

• 공시작목 : 오이(베타랑/신토좌)

• 시험구 : UV 강도 - 7.3, 14.6, 21.9, 29.2 μmol 4개로 구성

UV 처리시간 - 1 시간, 매일 10시

UV 조사거리 - 작물생장점 기준 20 cm

• 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부(생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

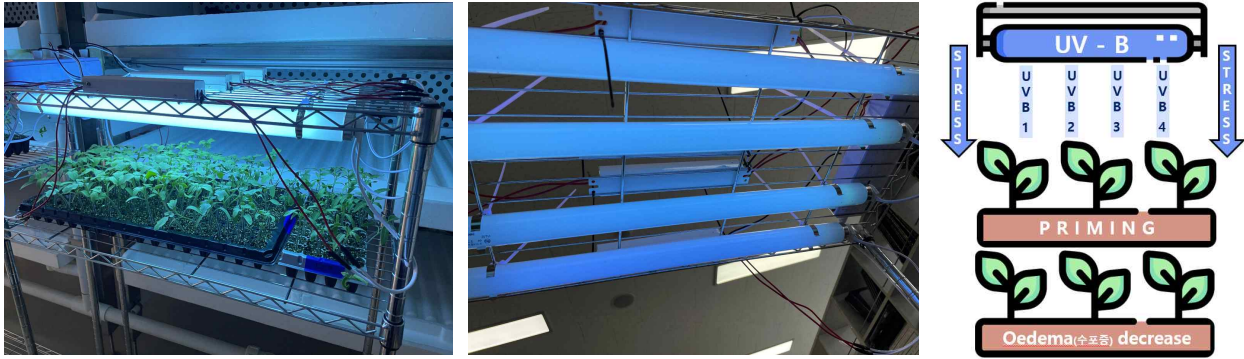


그림. UV-B 처리 모습 및 시험 설계 모식도

▪ 연구내용 2 : Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교

- 폐쇄형 식물공장 모종의 가장 큰 문제는 접수와 대목의 연질화로 인해 접목 성공률이 매우 낮은 것임, 이러한 문제를 해결하기 위해 접수, 대목의 줄기 충실도를 증진시키고 도장을 억제하는 기술이 시급한 실정임
- 본 연구팀의 선행연구를 통해 종이포트 모정에서 염화칼륨(Potassium chloride)을 고농도로 처리하면 줄기의 충실도가 증진되고 도장이 억제되는 효과가 있다는 결과를 보고하였음
- 따라서, 본 연구는 폐쇄형 식물공장의 고품질 접목묘 생산을 위하여 염화칼륨의 고농도 처리시 접수/대목의 충실도 증진 및 도장억제 효과를 검토하여, 추후 접목 활착율 증진을 위한 최적 관리기준 수립에 활용하기 위하여 수행되었음

- 공시작목 : 오이(베테랑/신토좌)
- 시험구 : Potassium 농도 : 무처리(대조구), EC 2.0, EC 4.0, EC 6.0, EC 8.0, EC 10.0 6단계 설정
Potassium 종류 : Potassium chloride(염화칼륨)
Potassium 처리시기 : 파종 5일 후
- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

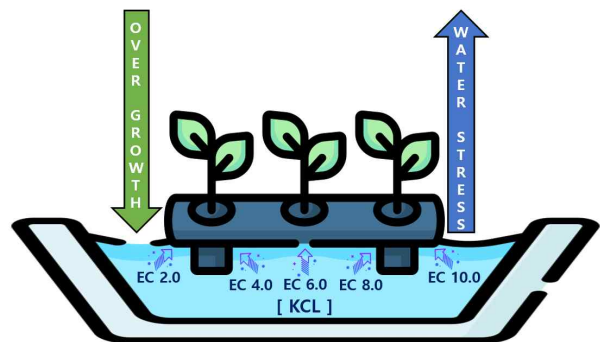


그림. 실험 수행 모습 및 설계 모식도

▪ 연구내용 3 : 명·암기의 비율 조절을 통한 폐쇄형 식물공장 묘의 경도 증진 효과 검토

- ‘광’은 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있음. 최적 환경제어가 가능한 폐쇄형 식물공장의 특징을 활용하여 식물공장 내부의 광 환경변화를 통해 접목묘의 충실도를 향상시키기 위해 수행되었음

- 따라서, 본 연구는 다양한 광 조사 패턴을 비교하여 광 환경 변화에 따른 접목묘의 충실도의 상관성을 검토하여 추후 고품질 접목묘 생산을 위한 최적 광환경 설정 기준 수립에 활용하기 위하여 수행되었음

• 공시작목 : 토마토 (T-1205/펜타곤), 오이 (한강맛/흑종호박)

• 시험구 : 최대온도 : 최대 26℃/최소 18℃, 최대 30℃/최소 16℃

최대광량 : 2단계 (최대 200 μmol), 4단계 (최대 400 μmol)

• 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부(생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

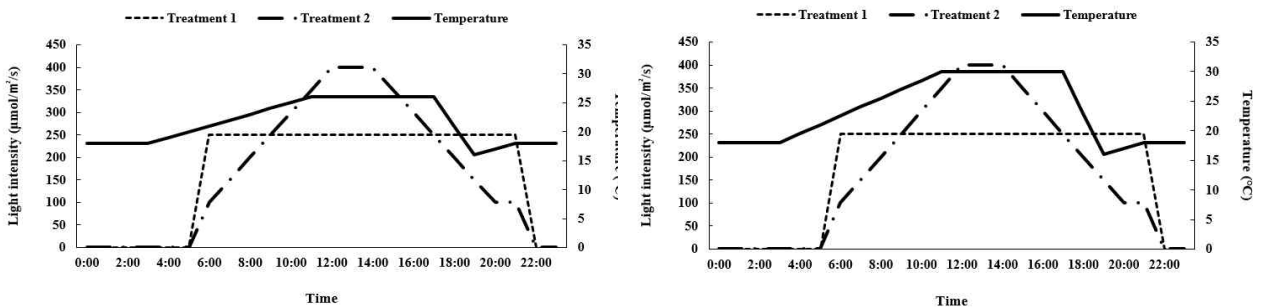


Fig. 명/암기 비율 처리구별 환경 설정 실험 1(좌측), 실험 2(우측)

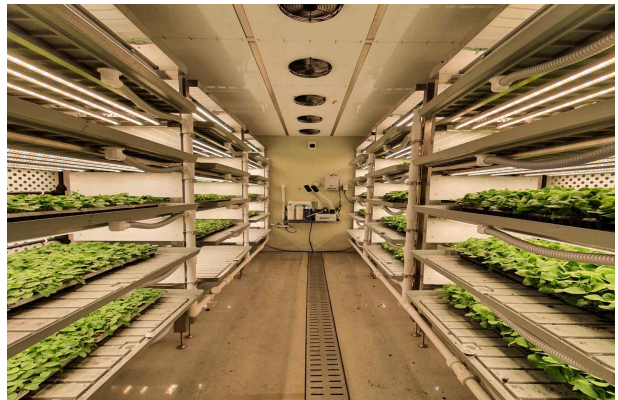


그림. 실험 수행 및 생육조사 모습

▪ 연구내용 4 : 2단 변온시 목표온도 및 변온속도에 따른 폐쇄형 식물공장 묘의 연질화 저감 효과 탐색

- ‘온도’는 ‘광’과 함께 작물의 생육에 중요한 영향을 미치는 요인임. 식물공장 내부의 광 환경 변화를 통해 접수와 대목의 연질화 저감 및 접목묘의 충실도를 향상시키기 위해 수행되었음
- 주관과 야간의 온도편차를 의미하는 DIF는 이론적의미는 항온관리를 기준으로 주·야간의 편차가 양수(+)와 음수(-)로 표현되는 것이지만, 일반적으로 야간온도와 주간온도의 온도편차를 의미하는 방법으로 사용되고 있음
- 농가 현장에서는 줄기의 충실도를 향상시키기 위한 방법으로 야간온도를 낮추고 주간온도를 높이는 환경관리 기술을 사용하고 있음
- 따라서, 본 연구는 주간 온도편차(DIF에 따른 접수, 대목의 연질화 저감 효과를 검토하여 추후 접목 활착을 증진을 위한 최적 광환경 설정 기준 수립에 활용하기 위하여 수행되었음

- 공시작목 : 토마토 (T-1205/펜타곤), 오이 (한강맛/흑종호박)
- 시험구 : DIF : 8℃, 9℃, 10℃ 3단계 및 관행온도(25℃/20℃), 처리온도(26℃/18℃) 2단계
주간광량 : 200μmol (0시 ~ 16시 : 16시간/일)
- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

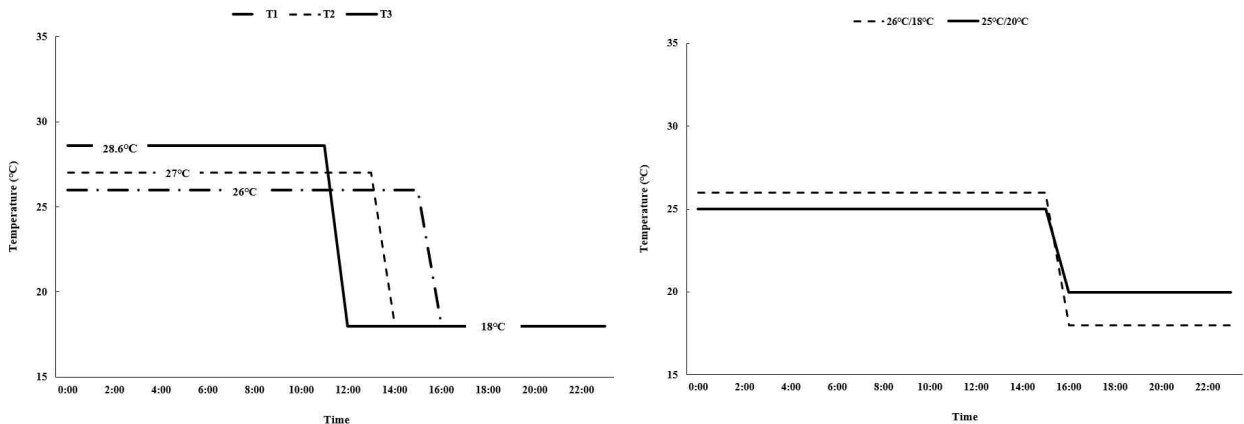


Fig. DIF 실험 수행시 환경 조건 (좌측), 관행 환경대비 최적환경 비교를 위한 환경 조건 (우측)



그림. 환경실험을 위한 식물공장 모습 및 생육조사 모습

◆ 2차년도

○ 주관 연구기관의 수행과정

구분	연구개발 내용	수행 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
주관 (호반 영농)	폐쇄형 식물공장 접목묘의 순화시 일소현상 저감을 위한 자외선(UV-B) 처리 방법 탐색												
	Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교												
	명·암기의 비율 조절을 통한 폐쇄형 식물공장묘의 경도 증진 효과 검토												
	2단 변온시 목표온도 및 변온속도에 따른 폐쇄형 식물공장 묘의 연질과 저감 효과 탐색												

○ 주관 연구기관의 수행내용

▪ 연구내용 1 : 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 순화시 일소현상 저감 효과 규명

- 폐쇄형 식물공장은 균일한 환경에서 생산성을 높이기 위해 스트레스를 최소화하여 접수·대목을 재배함. 하지만, 이러한 환경의 부작용으로 폐쇄형 식물공장에서 외부로 이동시 급격한 환경변화에 노출되는 것을 적응하지 못하고 과도하게 시들거나 심하면 일소현상까지 발생하는 문제가 있음
- LED 자외선(UV) 추가 형광등(UV-FL)을 사용한 하이브리드 LED인 UV-B처리 예비실험 결과 UV-B 처리는 프라이밍 효과에 의해 무처리에 비하여 월등한 방제효과를 보였고, 3시간 처리는 관행 농약방제와 유사한 수준의 수포증 저감 효과를 보임
- 외선의 여러 종류 중 UV-B는 강한 에너지를 보유하고 있는 광파장대역으로 식물체에 조사되게 되면 초장, 엽면적 및 바이오매스가 감소하고 세포층이 두꺼워지며 심할 경우 줄기나 잎이 말리는 부작용이 발생하기도 하지만 (J. H. Lee et al., 2021), 자연광과 유사한 광 스트레스를 준다는 관점에서 육묘에서 필요한 억제 작용 및 환경 적응성에 사용할 수 있을 것이라 생각하였음
- 따라서, 본 연구는 일소현상을 저감하면서 접수/대목에 부정적인 영향이 나타나지 않으며 생육억제효과를 볼 수 있는 최적 UV-B 처리 기준을 정립하기 위해 수행되었음

- 공시작목 : 접목묘 - 오이 (베테랑/신토좌), 토마토(도태랑 플러스/BKO), 수박(부라보꿀/불로장생)
실생묘 - 토마토(도태랑 플러스), 고추(캡틴칼라)

- 시험구 : UV-B 강도 - 0 (control), 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 W/m²
UV-B 처리 시기 - 접목 활착실 나온 직후 (접목묘), 가식 이후 7일 경과 후 (실생묘)
UV-B 처리 높이 - 폐쇄형 식물공장 내 LED 높이와 동일하게 설정 후 처리

- UV-B 측정 : 측정기 - UV meter UV-340A / 자외선 조절 - 자외선+열차단필름(IR90)

- 조사항목 : 지상부 생육(초장, 경경, 엽수, 생체중 및 건물중), 지하부 생육(생체중 및 건물중), 엽면적 (LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), Leaf chlorophyll (SPAD), 총실도 (Compactness) 및 엽록소 형광 (Fv/Fm)

- 생육조사 : UV-B 처리 이후 온실로 이동하여 자연광 아래서 3일 경과 후 조사

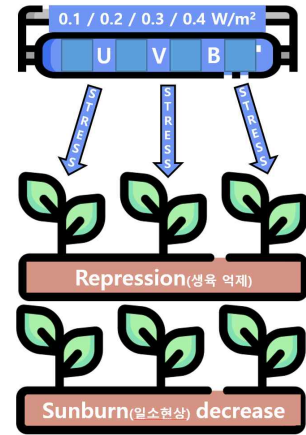
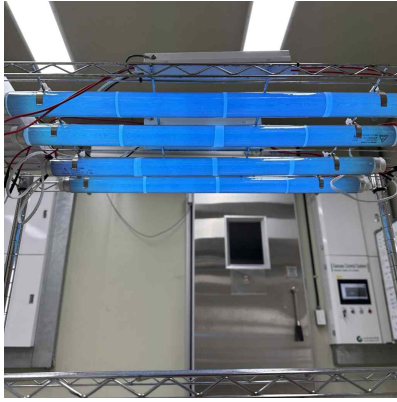


그림. 자외선 차단 필름 부착, UV-B 처리 모습 및 시험 설계 모식도

▪ 연구내용 2 : 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 접목 스트레스 내성 증진 효과 검토

- 폐쇄형 식물공장 모종의 문제점으로 접수와 대목의 빠른 생육으로 인한 연질화로 인해 접목 성공률이 떨어지는 경향이 있음, 이러한 문제를 해결하기 위해 접수, 대목의 생육을 조절하여 줄기 충실도를 증진시키고 도장을 억제하는 기술이 시급한 실정임
- 본 연구팀의 선행연구를 통해 종이포트 모정에서 칼륨(Potassium)을 고농도로 처리하면 줄기의 충실도가 증진되고 도장이 억제되는 효과가 있다는 결과를 보고하였음. 그 중 염화칼륨(Potassium chloride; KCL)의 효과가 가장 좋았기 때문에 다른 칼륨 비료는 사용하지 않고 염화칼륨 사용에 집중하였음
- 따라서, 본 연구는 폐쇄형 식물공장의 고품질 접목묘 생산을 위하여 염화칼륨의 고농도 처리시 접수/대목의 생육 억제를 통해 충실도 증진 및 도장 방지 효과를 검토하여, 추후 접목 활착율 증진을 위한 최적 관리기준 수립에 활용하기 위하여 수행되었음

• 공시작목 : 토마토(TY 열감/탱크원), 오이(베테랑/신토좌), 수박(부라보꿀/불로장생)

• 시험구 : Potassium 종류 - 염화칼륨(Potassium chloride; KCL)

Potassium 농도 : EC 0(control), 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 $ms \cdot cm^{-1}$ / 처리 시기 - 접목 3일 전

Potassium 처리 시기 : 발아 이후부터 접목 3일 전까지 3단계 (Early, Middle, Late) 로 나누어 진행 / 처리 농도 - EC 10 $ms \cdot cm^{-1}$

Potassium 처리 방법 : 저면관수로 10분 동안 진행

스트레스 저항성 비교

: 건조 스트레스 - 접목 활착 이후 온실로 이동 및 관수 중지하여 식물체의 위조 증상이 나타날 때 재 관수 하여 3일간 회복 후 생육 조사 진행

: 과습 스트레스 - 접목 활착 이후 온실로 이동 및 저면 관수 트레이에 물과 함께 담은 후 3일간 재배 후 생육 조사 진행

- 조사항목 : 지상부 생육(초장, 경경, 엽수, 생체중 및 건물중), 지하부 생육(생체중 및 건물중), 엽면적(LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), Leaf chlorophyll (SPAD), 충실도 (Compactness), 지하부 스캐닝(WinRHIZO PRO 09, REGENT Instruments Inc., Canada)

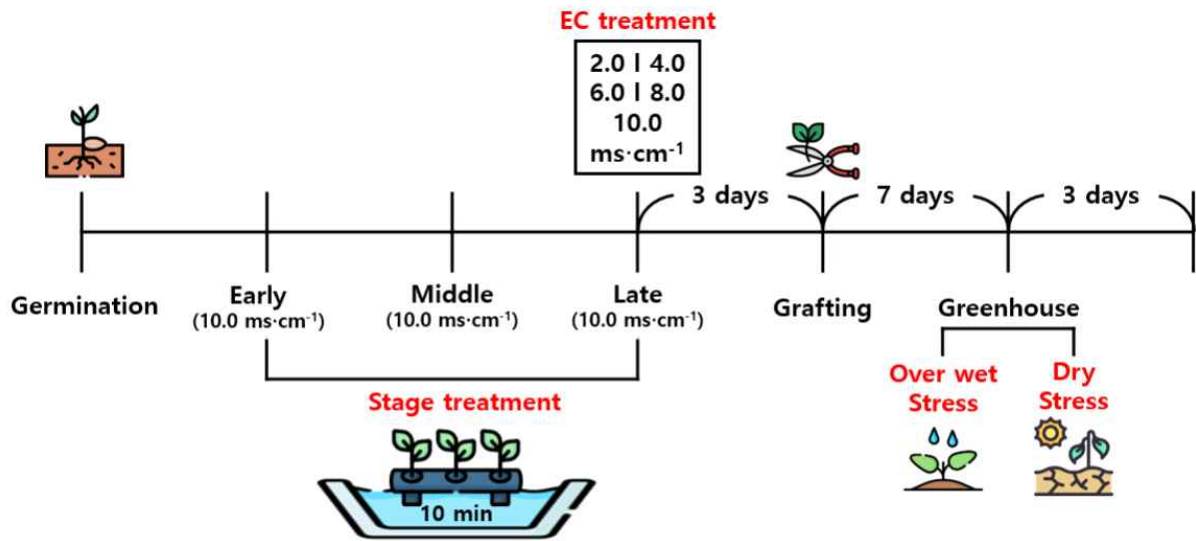


그림. 고농도 Potassium 농도, 생육 단계별 및 스트레스 처리 모식도

▪ 연구내용 3 : 변온 및 광변화 기술을 통한 식물공장묘의 묘 연질화 저감

- '광'은 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있음. 최적 환경제어가 가능한 폐쇄형 식물공장의 특징을 활용하여 식물공장 내부의 광 환경변화를 통해 접목묘의 충실도를 향상시키기 위해 수행되었음
- 토마토는 초기에 화방을 맺기 위해 육묘장에서는 인위적으로 온도 및 수분을 통해 스트레스를 주고 있음. 폐쇄형 식물공장은 주간 및 야간의 온도를 제어할 수 있기 때문에 야간 온도를 낮추어 주간 야간 온도 편차로 인해 발생하는 스트레스를 이용하여 토마토의 생육을 조절하기 위해 수행되었음
- 폐쇄형 식물공장 내에서 자란 접수 및 대목의 생육의 좋고 나쁨의 기준이 부족함. 그렇기 때문에 관행 온실의 자연광에서 키우는 것을 대조구로 하여 폐쇄형 식물공장의 처리구와 생육을 비교하였음
- 폐쇄형 식물공장 내에서 환경 조절을 통해 접수 및 대목의 생육 변화를 확인한 후 이 두 가지를 접목하였을 때 출하 전까지 어떠한 영향을 미치는지, 더 나아가 정식 이후까지 생육의 변화를 확인하기 위하여 접목 전, 출하 전 그리고 정식 이후 까지 생육 조사를 진행하였음
- 따라서, 본 연구는 야간 온도 및 다양한 광도를 이용하여 환경 변화에 따른 접수 및 대목의 생육과 충실도의 상관성을 검토하여 추후 고품질 접목묘 생산을 위한 최적 환경 설정 기준 수립에 활용하기 위하여 수행되었음

• 공시작목 : 토마토 (슈퍼도태랑/안티클린)

• 시험구 : 주·야간 온도 - 26/16, 26/14, 26/12, 26/10 °C

주·야간 습도 - 60/70 %

주·야간 기간 - 16/8 h

• 공시작목 : 토마토 (핑크소타/탱크원), 오이 (청춘/흑종호박)

• 시험구 : 토마토 - 주·야간 온도 26/10 °C, 습도 60/70 %, 기간 16/8 h

오이 - 주·야간 온도 26/18 °C, 습도 60/70 %, 기간 16/8 h

광도 - 50, 120, 190, 260, 330, 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

• 조사항목 : 지상부 생육(초장, 경경, 엽수, 생체중 및 건물중), 지하부 생육(생체중 및 건물중), 엽면적 (LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), Leaf chlorophyll (SPAD), 충실도 (Compactness), 지하부 스캐닝(WinRHIZO PRO 09, REGENT Instruments Inc., Canada)



그림. 환경 실험 수행 모습

◆ 3차년도

○ 주관 연구기관의 수행과정

구분	연구개발 내용	수행 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
주관 (호반 영농)	<ul style="list-style-type: none"> 폐쇄형 식물공장에 적합한 자외선(UV-B) 처리에 따른 과채류 묘의 연질화 저감 및 생산성 검토 												
	<ul style="list-style-type: none"> Potassuim의 처리 시기 및 농도에 따른 과채류 묘의 생육 억제 효과 탐색 												
	<ul style="list-style-type: none"> 고농도 CO₂ 처리에 따른 과채류 묘의 엽록소 형광 및 광합성률 비교를 통한 한계 농도 구명 												
	<ul style="list-style-type: none"> 관행 공정육묘와 폐쇄형 식물공장 묘의 오이 생육 및 과실 특성 비교 												

○ 주관 연구기관의 수행내용

▪ 연구내용 1 : 폐쇄형 식물공장에 적합한 자외선(UV-B) 처리에 따른 과채류 묘의 연질화 저감 및 생산성 검토

- 폐쇄형 식물공장은 자연광이 아닌 인공광을 사용하기 때문에 광원에 자외선의 함유량이 없거나 매우 적게 됨. 그럴 경우, 식물체가 받는 스트레스의 양이 적어 생육이 빠를 수 있으나, 과도한 생육으로 인해 도장할 수 있음
- 식물체는 사전에 자외선에 조사된 유무에 따라 자외선 적응도가 달라짐. 해당 환경에서 과채류가 육묘 된 후 외부 환경에 노출되게 되면 태양광의 강한 자외선으로 인해 식물체가 급격한 자외선 스트레스를 받게 되어 손상을 입을 위험이 있음
- 자외선은 식물체마다 받아들이는 정도가 다르며 성장한 정도에 따라서도 받아들이는 정도가 다름. 자외선은 과도하게 사용하였을 때 식물체의 잎이 말리거나 타는 문제가 발생하여 식물체에 적절한 강도로 조사하는 것이 중요함
- 따라서, 본 연구는 과채류 묘의 생육 단계를 구분하고 자외선 선량을 다르게 하여 어느 시기 및 선량이 과채류 묘의 연질화를 저감할 수 있으며, 식물체에 피해를 최소화하여 생산성이 감소하지 않을 조건을 탐색하기 위해 수행되었음

• 공시작목 : 오이 (접수 : 청춘 / 대목 : 흑종호박), 토마토 (접수 : TY 열감 / 대목 : 블루원)

• 시험구 : UV-B 강도 - $0.1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

UV-B 조사 시간 - 14400(4시간), 28800(8시간), 57600(16시간)초

UV-B 선량 공식 - 강도 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) x 조사 시간(sec) x 0.001

UV-B 선량 - 0 (Control), 1.44, 2.88, 5.76 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$

UV-B 조사 시기 - 오이 접수 [ST1 : 파종 후(DAS) 3-5일, ST2 : 6-8 DAS, ST3 : 9-11 DAS], 오이 대목 [ST1 : 3-4 DAS, ST2 : 5-6 DAS, ST3 : 7-8 DAS], 토마토 접수 및 대목 [ST1 : 3-7 DAS, ST2 : 8-12 DAS, ST3 : 13-17 DAS]

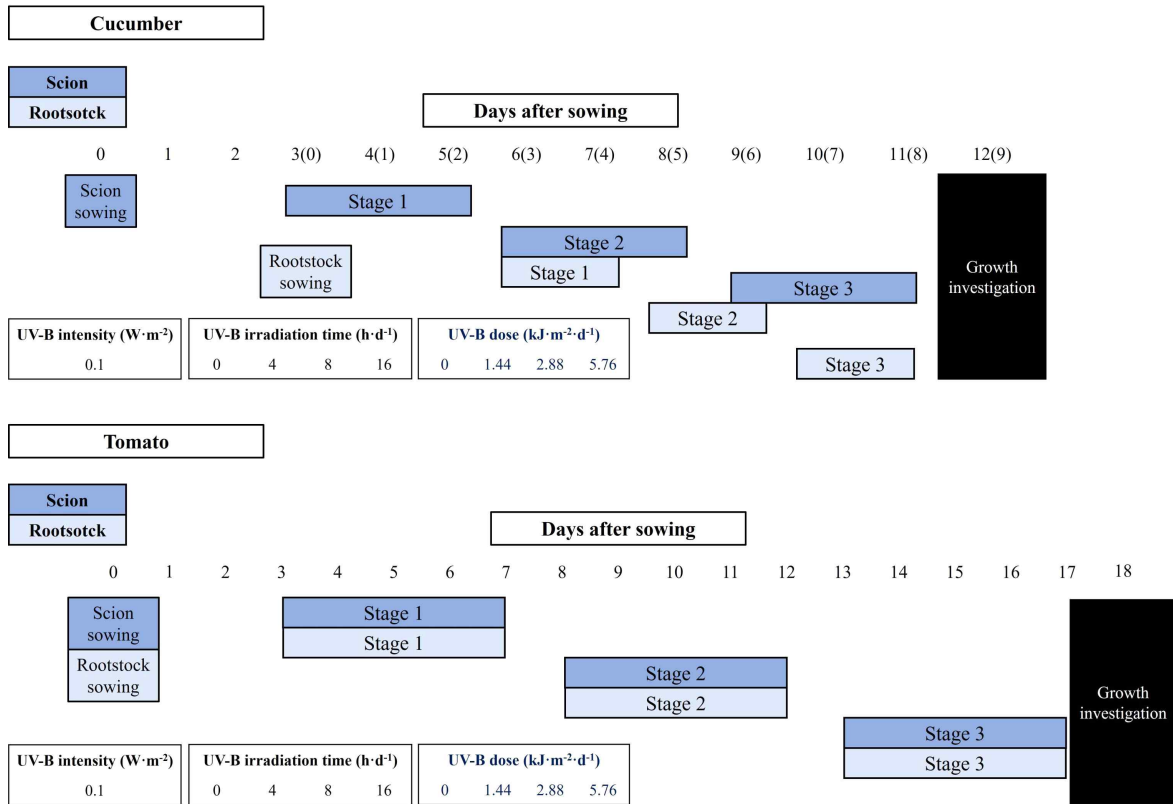


그림. 폐쇄형 식물공장에서 오이, 토마토 접수 및 대목의 서로 다른 UV-B 조사 시기 및 선량을 나타낸 모식도

• UV-B 측정 : 측정기 - UV meter UV-340A / 자외선 조절 - 자외선+열차단필름(IR90)

• 조사항목 : 지상부 생육(하배축장, 초장, 경경, 엽수, 생체중 및 건물중), 지하부 생육(생체중 및 건물중), 엽면적(LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), Leaf chlorophyll (SPAD), 총실도 (Compactness), 건물률(Dry matter content), 지하부 스캐닝(WinRHIZO PRO 09, REGENT Instruments Inc., Canada) 및 엽록소 형광 (FluorPen FP 110/D, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech Republic)



그림. 폐쇄형 식물공장 내 UV-B 설치 및 조사 모습

▪ 연구내용 2 : Potassium의 처리 시기 및 농도에 따른 과채류 묘의 생육 억제 효과 탐색

- 폐쇄형 식물 공장 육묘시 낮은 광도와 높은 재식밀도 및 스트레스 없이 일정한 환경으로 인한 도장 문제가 발생하고 있음, 이를 해결 하기 위해 접수와 대목묘의 도장을 예방하기 위한 기술이 필요함
- 본 연구팀의 선행연구를 통해 염화칼륨(Potassium chloride)을 고농도 처리시 줄기의 충실도가 증가하며 도장을 예방하는 결과를 바탕으로, 묘의 생육단계에 따른 생장억제를 확인하고, 추후 친환경 생육 억제 방법의 기초자료로 이용하기 위하여 수행되었음

- 공시작목 : 토마토 (열강/블루윈), 오이(청춘/흑종)
- 시험구 : 토마토 - 온실(Control), 생장조절제(PGR), 공장(PFAL), ST1(KCl 5,10), ST2(KCl 5,10), ST3(KCl 5, 10)
오 이 - 온실(Control), 생장조절제(PGR), 공장(PFAL), ST1(KCl 5,10), ST2(KCl 5,10)
- 토마토 - 공장 입고 후 3일 간격으로 고염류 처리 후 생육조사 진행
- 오 이 - 공장입고 후 2일 간격으로 고염류 처리
- 조사항목 : 지상부 - 초장, 경경, SPAD, 생체중, 건물중, 충실도, 엽면적, 왜화를 등
지하부 - 생체중, 건물중, 근장, 근경, 뿌리 총 볼륨, 근단수, 등

▪ 연구내용 3 : 고농도 CO₂ 처리에 따른 과채류 묘의 엽록소 형광 및 광합성률 비교를 통한 한계 농도 구명

- 고농도 CO₂ 처리의 살충 효과는 아스파라거스, 양파 및 딸기와 같은 수확 후 작물에 적용하여 수행하였으며, 살아있는 식물체 처리를 한 경우는 많지 않았음. 살균 및 살충 효과가 있는 고농도의 CO₂로 처리하였을 때 수확 후 작물은 살아있지 않기 때문에 문제가 크게 나타나지 않았지만, 살아있는 식물체에 처리하였을 때는 식물체가 고사하는 심각한 문제가 발생하였음
- 살아있는 식물체에 고농도의 CO₂를 처리한 후 외부 환경에 노출되었을 때 식물체가 마르고 잎이 황화되는 현상을 통해, 과도한 CO₂는 식물체의 광합성 활동에 문제를 일으켜 증산이 과도하게 일어나는 것으로 생각되었음
- 따라서, 본 연구는 고농도 CO₂를 과채류 묘에 처리하였을 때 식물체가 내부적으로 손상을 입는 한계점을 판단하기 위해 엽록소 형광과 광합성률의 측정을 통해 식물체의 광합성 활동에 문제가 없는 CO₂ 처리 농도를 구명하기 위해 수행되었음

- 공시작목 : 오이 접목묘 (접수 : 한강맛 / 대목 : 흑종), 토마토 접목묘 (접수 : 큐티 / 대목 : 안티클린)
- 시험구 : CO₂ 농도 - 0 (Control), 10, 20, 30, 40, 50 및 60%
CO₂ 처리 시간 - 24시간
- CO₂ 처리 환경 : 온도 - 24~25, 습도 - 80~85%
- 생육 조사 : CO₂ 처리 직후 및 외부 환경에 노출된 지 1일차에 조사
- 조사항목 : 엽록소 형광(FluorPen FP 110/D, Photon Systems Instruments, Drasov, Czech Republic), 광합성률(LI-6800, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)



그림. 고농도 CO₂ 처리 후 엽록소 형광(좌)과 광합성 측정(우)을 하기 위한 준비 과정

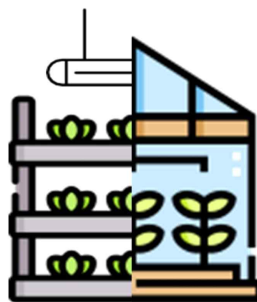
▪ 연구내용 4 : 관행 공정육묘와 폐쇄형 식물공장 묘의 오이 생육 및 과실 특성 비교

- 최근 봄가을의 약광 다습한 환경, 혹서기의 폭염, 장마기의 과습 등의 이상기후로 인해 공정육묘장에서 연중 균일한 모종을 생산하여 공급하는 것의 어려움이 가중되고 있음, 이러한 어려움을 극복하기 위한 대안으로 폐쇄형 식물공장의 도입이 시도되고 있음
- 하지만 해당 기술을 상업적으로 적용하기 위해서는 모종을 구매하는 농가의 신뢰를 얻어야 하는데, 아직까지는 생산된 고품질 모종의 정식 이후 생육 또는 생산량을 검증하는 연구가 미미한 실정임
- 따라서, 본 연구는 폐쇄형 식물공장에서 육묘한 묘와 관행묘의 정식 후 생산량 및 생육 특성을 상대 비교하여, 식물공장묘의 상업적 사용 가능성을 검토하고자 수행되었음

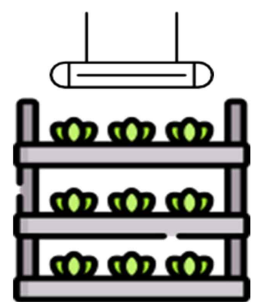
- 공시작목 : 오이 (청춘)
- 시험구 : 육묘 장소- 온실(대조구, GH), 폐쇄형 식물공장-온실(PG), 폐쇄형 식물공장(PF)
- 조사항목 : 지상부 생육(초장, 경경, 엽수, 생체중, 건물중 등), 지하부 생육(생체중 및 건물중, 평균 근경, 근단수 등), 엽면적(LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), Leaf chlorophyll (SPAD), 충실도(Compactness) 및 엽록소 형광 (F_v/F_m)
- 생육조사 : 파종 후 11일차 가식 전 조사, 파종 후 24일차 정식 전 조사



Greenhouse (GH)



Plant Factory to Greenhouse (PG)



Plant Factory (PF)

그림. 육묘 장소별 처리구 모식도

◆ 1차년도

○ 공동 연구기관의 수행과정

구분	연구개발 내용	수행 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
공동 (강원대)	▪ 두상관수 시스템과 저면 급수 매트 시스템의 관수 균일성 지상·하부 생육 비교												
	▪ 저면 급수 매트 시스템 적용에 따른 두상관수 대비 병충해 확산 정도 비교												
	▪ 주요 접목묘(토마토, 오이, 수박)의 고접에 따른 접목 활착율 비교												
	▪ 고농도 CO ₂ 시비에 따른 주요 채소 묘의 살충율 비교												

○ 공동연구기관의 수행내용

▪ 연구내용 1 : 두상관수 시스템과 저면 급수 매트 시스템의 관수 균일성 및 지상부·지하부 생육 비교

- 저면 급수 매트 시스템은 면적의 변경이 용이하면서도 균일한 관수 효과를 기대할 수 있어서 기존 두상관수 대비 균일한 모종 생산, 육묘 작업의 간소화를 도모할 수 있음. 또한, 두상관수시 발생하는 병충해의 확산 위험도 방지할 수 있음
- 하지만, 아직 국내에서 저면 급수 시스템을 적용한 엘리포트묘 재배 생육에 관한 연구는 미미한 실정임. 경영 효율성 및 묘소질 향상을 위하여 저면관수 시스템의 조속한 적용이 필요하고, 차세대 육묘 방식으로 시도되고 있는 새로운 육묘 시스템 생산기술에 필요한 관수 관리 기술을 개발하여 고정 육묘장에서 활용할 수 있도록 연구가 시급함
- 따라서, 본 연구는 관행의 관수 방법(두상관수)를 기준으로 저면관수 및 저면 급수 매트 시스템의 다양한 생육 특징을 검토하여, 추후 완전 자동 관수 시스템 설치시 가장 적합한 시스템을 선정하기 위해 수행되었음

▷ 접목묘(오이, 토마토 등) 재배시 관수 방식에 따른 균일성 및 생육 특성 비교

- 공시작목 : 오이 (한강맛 / 흑종호박), 토마토 (대프니스 / 커넥션)
- 시험구 : 관수방법 - 두상관수(대조구), 저면관수, 저면급수매트 3단계 설정
- 조사항목 : 트레이의 생육 편차 중심으로 비교(초장, 건물중, LAI 등), 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부(생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

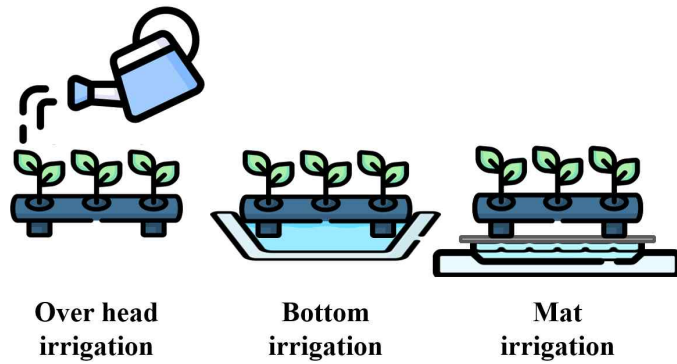


그림. 관수 시스템 실험 처리 모습



그림. 관수시스템 실험 처리 모습

▪ 연구내용 2 : 주요 접목묘(토마토, 오이, 수박)의 고접에 따른 접목 활착율 비교

▷ 고접 높이에 따른 종이포트 오이 접목묘의 생육 특성 비교

- 고접(high-grafting)은 활착실의 공간 활용 증진 및 총실묘 생산을 위해 최대한 접목묘의 초장을 줄이려 노력하였던 관행의 접목 방향과는 반대되어, 아직 국내에는 보급되어 있지 않은 실정임. 하지만, 재배농가에 극심한 경제적 피해를 야기하고 있는 원인을 경감시킬 수 있는 것이 규명된다면 공정 육묘장 및 재배 농가 모두에게 막대한 경제적 이익이 발생할 것으로 기대됨
- 최근 농촌의 노동력 부족으로 인해 수련도가 낮은 상태의 정식을 수행할 시, 정식을 과도하게 깊게 하여 활착시 접수에서 발생한 부정근으로 인해 토양전염병 내성이 사라지는 문제가 발생 발생함, 고접(high-grafting)은 이와 같은 문제를 극복하여 농가의 생산성 증진에 기여할 것으로 생각됨
- 따라서, 본 연구는 주요 과채류 접목묘의 적절한 고접의 높이에 생육 부작용을 검토하여 추후 토양전염병 내성을 유지하면서 생육 부작용을 최소화하는 최적 고접 기술의 정립을 수립하기 위해 수행되었음

- 공시작목 : 오이 (한강맛 / 흑종호박)
- 시험구 : 고접 (high grafting) 높이 - 6cm(대조구), 7cm, 8cm, 9cm 4단계 설정
- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부(생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등



그림. 고접 처리 설계 및 처리 모습

▪ 연구내용 3 : 주요 접목묘의 고농도 CO₂ 처리시 생육 부작용이 발생하는 농도 및 시간 검토

- ‘고농도 CO₂ 처리 기술’은 모종 출하 직전 단시간 0.4% (4000ppm)이상의 고농도 CO₂에 작물을 노출시키는 기술로, 해충의 호기성 에너지 대사를 저해하여 살충하는 기술임. 이러한 기술은 농약 처리 없이 해충을 방제, 화학 농약 저항성을 가진 해충 방제 가능, 가스로 인해 기존 농약 분사로 인해 달지 않는 위치까지 살충 효과가 있어 완전 무농약 유기농 묘 또는 잔류농약이 엄격한 수출용 모종의 생산이 가능함

- 고농도 CO₂ 처리의 살충 효과에 관한 연구들은 아스파라거스, 양파, 딸기와 같은 작물에 적용하여 수행하였음. 해당 연구들 중 60% ~ 90% 수준의 농도에서 살충 효과가 있고, 12 ~ 72시간 처리하였을 시에 살충 효과가 가장 뛰어나다고 보고되었음. 아스파라거스(Kim,S.K., 2017)의 경우 40%와 60%의 농도에서 각각 12 ~ 24 시간을 처리하며 4 ~ 24℃의 온도도 포함하여 처리하였음. 이 연구에서는 낮은 온도보다 높은 온도에서 살충 효과가 더 뛰어나다고 판단함. 양파(B.B.C., 2002)의 총채벌레 방제를 위한 연구에서는 15 ~ 100% 수준의 농도에서 6 ~ 72시간 동안 처리하였음. 총채벌레의 사망률은 최소 24시간 후 30% 이상의 농도에서 100%에 달성한다고 함. 딸기(YAIR AHARONI, 1981)에 관한 연구에서는 저농도의 O₂ 와 고농도 CO₂ 처리를 한 연구 내용이었음. CO₂ 의 농도가 높을수록 총채벌레의 살충 효과도 증가한다고 보고하였으며, 44시간 이상 고농도 CO₂ 노출 시에 딸기가 부패하기 쉬워 비실용적이라고 판단하여 48시간까지만 처리하였음. 작물과 함께 처리한 연구 내용도 있지만, 총채벌레 또는 총채벌레 알을 제거하기 위한 연구들도 있었음. 해당 연구(Masao Seki, 2012)에서는 O₂ 를 통제하며 동시에 고농도의 CO₂ 처리를 병행하여야 총채벌레의 높은 사망률을 달성할 수 있다고 하였음. 또한, 다른 연구(Alan Carpenter, 1996)에서는 고농도의 CO₂ 처리를 60%의 농도에서 20 ~ 34℃에서 처리하여 20 ~ 30℃ 사이에서 온도가 증가함에 따라 총채벌레가 사망률에 도달하는 시간은 감소된다고 보고함. 더하여 60% 수준의 농도에서 온도는 30℃로 12시간 처리 시 총채벌레가 100% 사망한다는 결과를 보고하였음.

- 따라서 본 연구는 출하시점의 모종을 대상으로 고농도 CO₂ 처리의 생육 부작용을 검토하고 후속 연구를 통해서 궁극적으로는 생육 저해 없이 살충효과를 극대화 할 수 있는 고농도 CO₂ 처리의 최적 활용 방안을 정립하기 위해 수행되었음

▷ 고농도 CO₂ 시비 시, 농도 및 시간에 따른 접목묘(오이, 토마토)의 생육 부작용 발생 조건 탐색

• 공시작목 : 오이 (강인한 / 신토좌), 토마토 (대프니스 / 커넥션)

• 시험구 : CO₂ 농도 - 무처리(대조구), 20%, 40%, 80% 4단계 설정

CO₂ 처리 시간 - 무처리(대조구), 24시간, 48시간, 72시간 4단계 설정

처리환경 : 온도 - 24~25℃, 습도 - 80~85%

- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

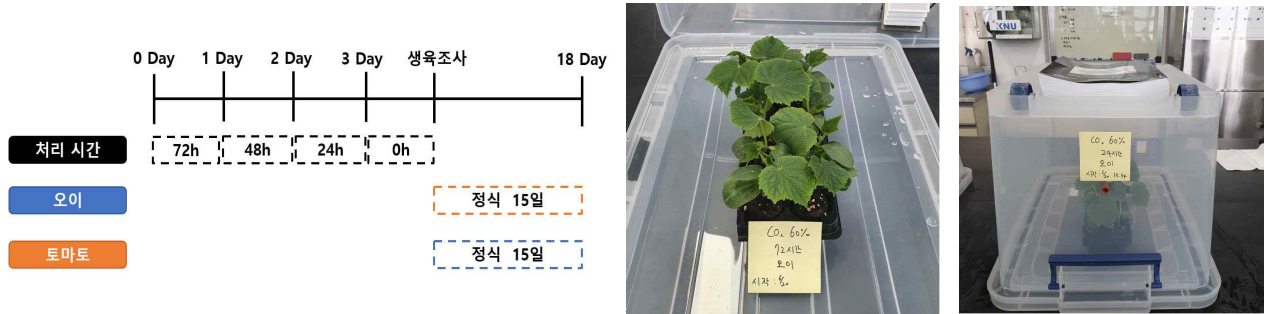


그림. CO₂ 실험 설계 모식도 및 실험 모습

▷ 고농도 CO₂ 시비 시, 농도에 따른 모종의 생육 한계 조건 탐색

- 공시작목 : 접목묘 - 수박 (부라보꿀/신토좌), 오이 (베테랑/신토좌), 토마토 (ty노나리/터보티)
실생묘 - 고추 (신흥), 파프리카 (나가노RZ)
- 시험구 : CO₂ 농도별 - 접목묘 *무처리(대조구), 30%, 40%, 50%, 60% 5단계 설정 후 개별 처리
- 실생묘 무처리 (대조구), 30%, 50%, 70% 4단계 설정 후 개별 처리
CO₂ 시간별 - 무처리구 (대조구) 제외하고, 밀폐 공간에서 24시간 농도에 따른 개별 처리
- 처리환경 : 온도 - 24~25℃, 습도 - 80~85%
- 처리 후 회복 환경 : 강원대학교 플라스틱 온실 / 온도 - 26~30℃, 습도 - 80~90%
- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

◆ 2차년도

○ 공동 연구기관의 수행과정

구분	연구개발 내용	수행 일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
공동 (강원대)	▪ 저면 급수 매트 시스템을 활용한 출하 전 고염류 처리에 따른 건조 스트레스 내성 비교												
	▪ 고점의 높이에 따른 주요 채소류 접목묘의 청고병 저감을 비교												
	▪ 고농도 CO ₂ 시비시 살충을 향상 및 묘소질 저하를 방지하는 최적 온습도 조건 규명												

○ 공동 연구기관의 수행내용

▪ 연구내용 1 : 저면 매트 시스템의 최적 관수 기술 정립

- 저면 급수 매트 시스템은 면적의 변경이 용이하면서도 균일한 관수 효과를 기대할 수 있어서 기존 두상관수 대비 균일한 모종 생산, 육묘 작업의 간소화를 도모할 수 있음. 또한, 두상관수 시 발생

하는 병충해의 확산 위험도 방지할 수 있음

- 하지만, 아직 국내에서 저면 급수 시스템을 적용한 엘리포트묘 재배 생육에 관한 연구는 미미한 실정임. 경영 효율성 및 묘소질 향상을 위하여 저면관수 시스템의 조속한 적용이 필요하고, 차세대 육묘방식으로 시도되고 있는 새로운 육묘 시스템 생산기술에 필요한 관수 관리 기술을 개발하여 고정육묘장에서 활용할 수 있도록 연구가 시급함

- 따라서, 본 연구는 관행의 관수 방법 (두상관수)를 기준으로 저면관수 및 저면 급수 매트 시스템의 다양한 생육 특성을 검토하여, 추후 완전 자동 관수 시스템 설치 시 가장 적합한 시스템을 선정하기 위해 수행되었음

▷ 저면 급수 매트 재배 시 주요 접목·실생묘의 균일도 및 생육 특성 검토

- 공시작목 : 접목묘 - 수박 (부라보꿀/불로장생), 오이 (베테랑/신토좌), 토마토 (노플러스/BKO)
실생묘 - 고추 (신흥), 파프리카 (0439)
- 시험구 : 트레이 내 관수 위치에 따른 분류 Top (처리구), Middle (대조구), Low (처리구)
- 조사항목 : 트레이의 생육 편차 중심으로 비교(초장, 건물중, LAI 등), 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등
- 처리환경 : 강원대학교 플라스틱 온실 / 온도 - 26~30℃, 습도 - 80~90%



그림. 관수 매트 제조 과정



그림. 트레이 내 균일도를 위한 수평 확인 및 관수 처리 모습

▷ 관수 시스템에 따른 주요 접목묘의 트레이별 생육편차 탐색

- 공시작목 : 오이 (베테랑/신토좌), 토마토 (노플러스/BKO)
- 시험구 : 플러그 - 두상 관수, 저면 급수 매트
종이포트 - 두상 관수, 저면 급수 매트

- 처리환경 : 강원대학교 플라스틱 온실 / 온도 - 26~30℃, 습도 - 80~90%
- 조사항목 : 트레이의 생육 편차 중심으로 비교(초장, 건물중, LAI 등), 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대생장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

* 저면 급수 매트 : 삼색과 단색 매트를 1개+2개씩 사용 (1겹 : 1*34*55 (cm))

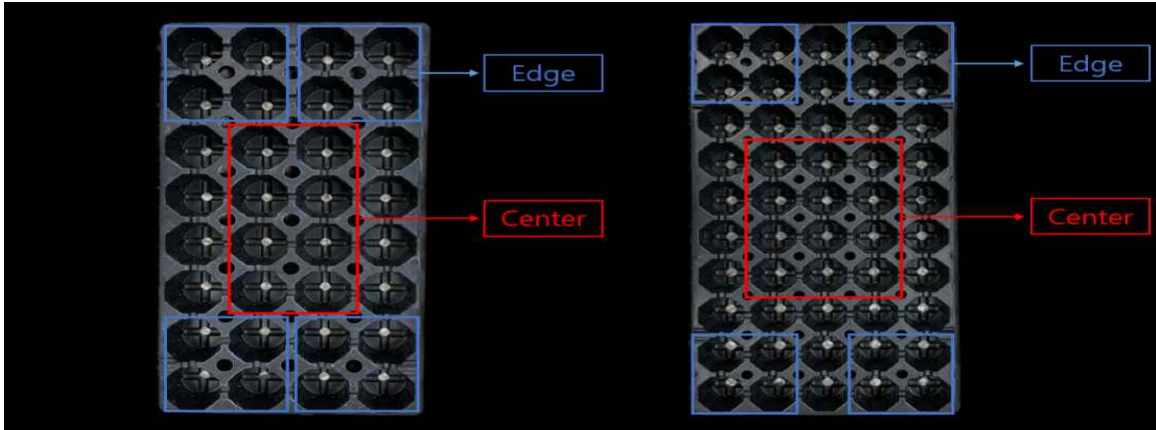


그림. 관수 균일성 기준

▷ 주요 접목·실생묘의 출하 전 고염류 처리 농도 및 시간에 따른 코코피트 배지 정식 후, 건조 스트레스 내성 비교

- 공시작목 : 접목묘 - 토마토 (노플러스/BKO)
실생묘 - 고추 (신홍), 파프리카 (0439)
- 시험구 : 시간별 - 0분 (대조구), 10분, 30분, 60분 / 0분 (대조구), 15분, 30분, 45분, 60분
농도별 - 무처리구 (대조구), EC 2.5, EC 5, EC 7.5, EC 10 / 무처리구 (대조구), EC 2, EC 4, EC 6, EC 8, EC 10
- 건조 스트레스 처리 : 정식 직후 7일, 8일차부터 15일차까지 정상 관수
- 생육 조사 : 정식 16일차
- 고염류 사용 비료 : 염화칼륨
- 농도 실험 시 처리시간 : 15분
- 처리환경 : 강원대학교 플라스틱 온실 / 온도 - 26~30℃, 습도 - 80~90%
- 조사항목 : 트레이의 생육 편차 중심으로 비교(초장, 건물중, LAI 등), 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부 (생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수)



그림. 저면매트관수를 통한 고염류 처리 과정 및 스트레스 부여 후 회복 과정

▪ 연구내용 2 : 주요 접목묘의 고접 높이에 따른 활착율 및 정식 후 생육 비교

- 고접(high-grafting)은 활착실의 공간 활용 증진 및 총실묘 생산을 위해 최대한 접목묘의 초장을 줄이려 노력하였던 관행의 접목 방향과는 반대되어, 아직 국내에는 보급되어 있지 않은 실정임. 하지만, 재배 농가에 극심한 경제적 피해를 야기하고 있는 원인을 경감시킬 수 있는 것이 규명된다면 공정 육묘장 및 재배 농가 모두에게 막대한 경제적 이익이 발생할 것으로 기대됨
- 최근 농촌의 노동력 부족으로 인해 수련도가 낮은 상태의 정식을 수행할 시, 정식을 과도게 깊게 하여 활착 시 접수에서 발생한 부정근으로 인해 토양전염병 내성이 사라지는 문제가 발생 발생함, 고접(high-grafting)은 이와 같은 문제를 극복하여 농가의 생산성 증진에 기여할 것으로 생각됨
- 따라서, 본 연구는 주요 과채류 접목묘의 적절한 고접의 높이에 생육 부작용을 검토하여 추후 토양전염병 내성을 유지하면서 생육 부작용을 최소화하는 최적 고접 기술의 정립을 수립하기 위해 수행되었음

▷ 고접 오이, 토마토의 포트 정식 후, 높이에 따른 접목 활착률 및 균 저항성 특성 조사 결과

- 공시작목 : 오이(굿모닝/흑종호박), 토마토 (TY 백점/강적)
- 시험구 : 고접 (high grating) 높이
 - 토마토 : 4cm(대조구), 5cm, 6cm, 7cm 4단계 설정
 - 오이 : 6cm(대조구), 7cm, 8cm, 9cm 4단계 설정
- 접종원 준비 : 토마토 시들음병을 일으키는 *Fusarium oxysporum* 은 강원대학교 농업생명과학대학 식물미생물생명공학실험실로부터 분양을 받아, 실험에 사용하였음. 분양 받은 *Fusarium oxysporum*를 cork borer (⊙ : 5mm)를 이용하여, PDA(Potato Dextrose Agar)배지에 접종하였으며, 30℃, 7일간 배양한 후 병원균 현탁액(1x10⁶colony forming unit[CFU]/ml)을 만들어 실험에 사용하였음

- 접종 방법 : 멸균수를 이용하여 1×10^{-6} conidia·ml⁻¹ 농도가 되도록 희석
 플라스틱 화분 (포트 당 토양 500 ml)에 원예용 상토를 넣고 접목 활착 이후 토마토와 오이를 처리구당 10포트씩, 그리고 포트당 1 주씩 정식 후 토양이 10ml 씩 관주
- 조사항목 - 접목 활착률 : 성공 (100%), 미흡(50%), 실패(0%)
 - 발병 정도 : 1 ~ 5 단계



그림. 오이 및 토마토 고접 수행 모습

▪ 연구내용 3 : 고농도 CO₂ 시비에 따른 주요 채소묘의 생육 한계 조건 탐색

- ‘고농도 CO₂ 처리 기술’은 모종 출하 직전 단시간 40% (4000ppm)이상의 고농도 CO₂에 작물을 노출시키는 기술로, 해충의 호기성 에너지 대사를 저해하여 살충하는 기술임. 이러한 기술은 농약 처리 없이 해충을 방제, 화학 농약 저항성을 가진 해충도 방제 가능, 가스로 인해 기존 농약 분사로 인해 닿지 않는 위치까지 살충 효과가 있어서 완전 무농약 유기농 묘 또는 잔류농약이 엄격한 수출용 모종의 생산이 가능함

- 고농도 CO₂ 처리의 살충 효과에 관한 연구들은 아스파라거스, 양파, 딸기와 같은 작물에 적용하여 수행하였음. 해당 연구들 중 60% ~ 90% 수준의 농도에서 살충 효과가 있고, 12 ~ 72시간 처리하였을 시에 살충 효과가 가장 뛰어나다고 보고되었음. 아스파라거스(Kim,S.K., 2017)의 경우 40%와 60%의 농도에서 각각 12 ~ 24 시간을 처리하며 4 ~ 24℃의 온도도 포함하여 처리하였음. 이 연구에서는 낮은 온도보다 높은 온도에서 살충 효과가 더 뛰어나다고 판단함. 양파(B.B.C., 2002)의 총채벌레 방제를 위한 연구에서는 15 ~ 100% 수준의 농도에서 6 ~ 72시간 동안 처리하였음. 총채벌레의 사망률은 최소 24시간 후 30% 이상의 농도에서 100%에 달성한다고 함. 딸기(YAIR AHARONI, 1981)에 관한 연구에서는 저농도의 O와 고농도 CO₂ 처리를 한 연구 내용이었음. CO의 농도가 높을수록 총채벌레의 살충 효과도 증가한다고 보고하였으며, 44시간 이상 고농도 CO₂ 노출 시에 딸기가 부패하기 쉬워 비실용적이라고 판단하여 48시간까지만 처리하였음. 작물과 함께 처리한 연구 내

용도 있지만, 총채벌레 또는 총채벌레 알을 제거하기 위한 연구들도 있었음. 해당 연구(Masao Seki, 2012)에서는 O₂ 를 통제하며 동시에 고농도의 CO₂ 처리를 병행하여야 총채벌레의 높은 사망률을 달성할 수 있다고 하였음. 또한, 다른 연구(Alan Carpenter, 1996)에서는 고농도의 CO₂ 처리를 60%의 농도에서 20 ~ 34℃에서 처리하여 20 ~ 30℃ 사이에서 온도가 증가함에 따라 총채벌레가 사망률에 도달하는 시간은 감소된다고 보고함. 더하여 60% 수준의 농도에서 온도는 30℃로 12시간 처리 시 총채벌레가 100% 사망한다는 결과를 보고하였음

- 따라서 본 연구는 출하 시점의 모종을 대상으로 고농도 CO₂ 처리의 생육 부작용을 검토하고 후속연구를 통해서 궁극적으로는 생육 저해 없이 살충효과를 극대화할 수 있는 고농도 CO₂ 처리의 최적 활용 방안을 정립하기 위해 수행되었음

▷ 저농도 CO₂ 시비 시, 농도 및 시간에 따른 모종의 생육 한계 조건 탐색

- 공시작목 : 접목묘 - 수박 (부라보꿀/신토좌), 오이 (베테랑/신토좌), 토마토 (TY노나리/터보티)
실생묘 - 고추 (신흥), 파프리카 (나가노RZ)
- 시험구 : CO₂ 농도별 - 무처리구 (대조구), 5%, 10%, 15%, 20% 5단계 / 시간 : 24시간 처리
CO₂ 시간별 - 무처리구 (대조구), 5, 10, 15, 20시간 5단계 / 농도 : 20 % (200,000 ppm)
- 처리환경 : 온도 - 24~25℃, 습도 - 80~85%
- 처리 후 회복 환경 : 강원대학교 플라스틱 온실 / 온도 - 26~30℃, 습도 - 80~90%
- 조사항목 : 생육 단계별 지상부(엽생육, 생체중 및 건물중) 및 지하부(생체중 및 건물중, 뿌리 길이, 평균 경경, 총 근수), 상대성장률(Relative growth rate; RGR), 엽면적비(Leaf area ratio; LAR), 순동화율(Net assimilation rate; NAR) 등

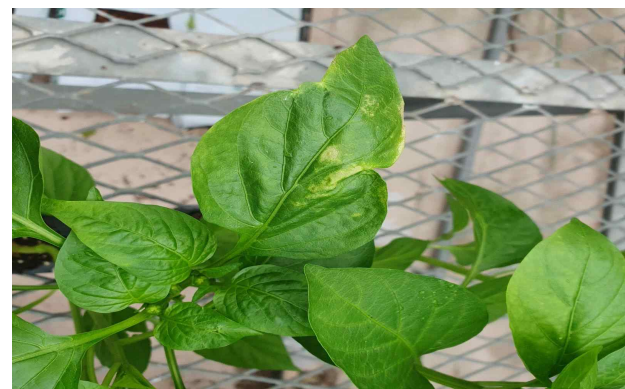
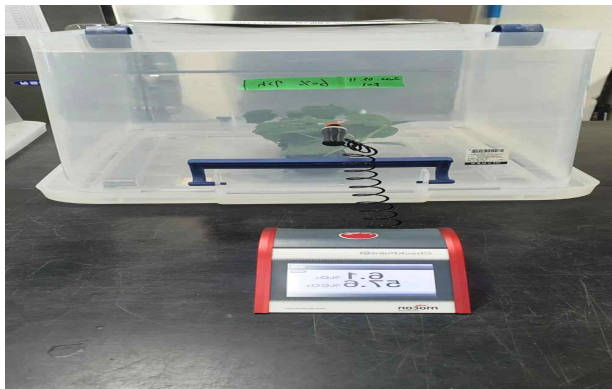


그림. 고농도 CO₂ 처리 과정 및 온실 이동 후 생육 변화

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 정성적 연구개발성과

◆ 1차년도

○ 주관 연구기관의 수행결과

▪ 연구내용 1 : 수포증상 억제를 위한 최적 자외선(UV-B) 처리 방법 검토

- 폐쇄형 식물공장의 고습한 환경으로 인해 주로 발생하는 생리장애인 수포증상 억제를 위해 수행한 UV-B처리 시험 결과 인공문헌을 기반으로 설정한 UV-B의 처리강도 및 시간이 과도하여 접수와 대목의 생육을 확인하기 어려운 상태가 되었음
- 이를 개선하기 위하여 3번의 강도 및 조사시간을 낮추는 시도를 해보았지만 마지막 실험에서도 동일하게 작물이 괴사하는 현상이 발견됨, 이는 선행연구의 결과(Kubota, et al, 2017; Tevini and Iwanzik, 1986)는 본 실험과 달리 접수, 대목을 대상으로 수행하지 않고 접목 및 활착이 완료된 모종을 대상으로 수행하였음
- Kubota et al (2017)의 $0 \sim 6.7 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 의 강도로 1일 18시간 UV-B 처리시 UV를 처리할 수록 생육이 좋아지는 현상이 나타나는 결과와는 상반되었음, 이와같은 결과를 보완할 필요성이 있다고 판단 됨
- 본 연구팀은 선행연구기준과는 전혀 다른 접근을 시도해야하는 것으로 판단되어, 차년도 실험 수행시 UV의 강도를 가장 낮은 단계에서부터 서서히 증가시키는 시도를 하기로 하였음, 또한, 본 사업장은 기존 폐쇄형 식물공장과 달리 외부공기를 지속적으로 유입하는 구조로 과습환경에 노출되지 않기 때문에 수포증이 발생하지 않고 있음
- 하지만, 폐쇄형 식물공장 모종의 연구결과 수포증 보다도 접목 활착 이후 순화온실에 자연광에 노출되었을 시 잎이 타버리는 일소현상이 중요한 문제로 부각 되었음
- 따라서, 차년도 연구 수행의 목표를 UV-B처리를 통한 자연광의 일소현상 저감 효과를 검토하는 것으로 수립하였음

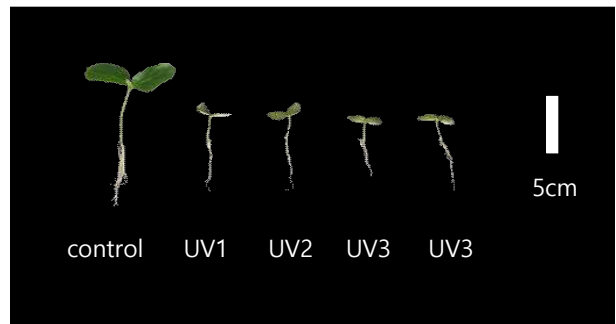
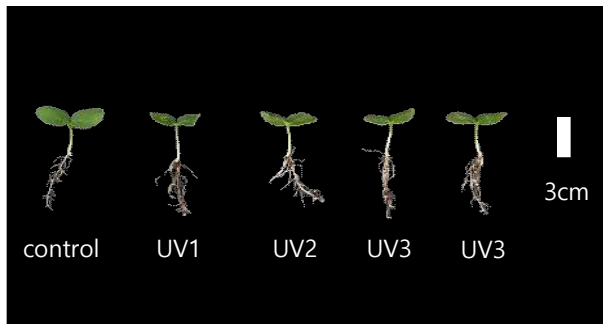


그림. UV-B처리시 접수(좌), 대목(우)의 생육 상태



그림. UV-B 처리시 작물의 괴사 모습

▪ 연구내용 2 : Potassium 농도에 따른 폐쇄형 식물공장 생산 접수·대목의 접목스트레스 내성 비교

- 오이 접수, 대목에서 KCl 고염류 처리를 통한 생육 조사 비교 결과, 초장은 EC 2 ~ EC 8에서 무처리구의 초장인 5.90cm보다 0.37~1.35cm(6%~23%) 높았지만, EC 10의 초장은 5.35cm로 다른 KCl 처리구들에 비해 1.19~1.90cm (22%~36%) 정도 낮은 수치를 보임
- 경경의 경우 KCl 처리구들이 무처리구의 경경 (1.62mm)에 비해 0.3~0.41mm(18%~25%) 더 굵어짐을 확인할 수 있음
- 엽면적은 KCl 처리구들이 무처리구의 엽면적 (12.90cm²)에 비해 1.31~3.61cm²(10%~28%) 증가하였지만 EC 농도 간의 경향성을 찾을 수 없었음
- 총실도는 무처리구가 9.47mg·cm⁻¹로 KCl 처리구들에 비해 1.81~3.91mg·cm⁻¹ (24%~70%) 높은 수치를 보였음, 하지만 EC가 증가함에 따라 EC 2 처리구의 총실도(5.56mg·cm⁻¹) 에 비해 EC 10의 총실도가 2.1mg·cm⁻¹(38%) 증가하였음
- 대목의 경경에서 EC 2 처리구가 3.56mm로 무처리구에 비해 0.07mm(2%) 낮은 수치를 보임. 하지만 다른 처리구에서 0.21~0.38mm(6%~10%) 증가하지만, 통계적 유의성은 없음
- 엽면적은 EC 0~EC 8 처리에서 8.09cm²(24%) 상승하다 EC10 처리구가 EC 8 처리구 엽면적에 비해 2.11cm²(5%) 감소하는 특징을 보이지만 무처리에 비하여 KCl 처리구의 엽면적이 2.39~8.09cm²(7%~24%) 증가함
- 오이 대목의 총실도는 각 처리구의 초장 차이로 인해 수치 간 경향성은 없었지만, 오이의 경우 단근 접목을 하므로 대목에서의 초장의 중요성은 적다고 생각됨

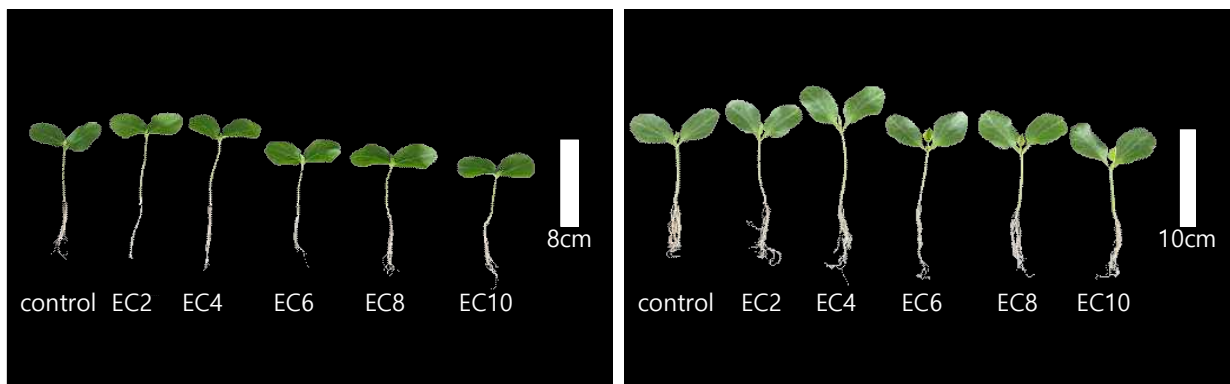


그림. 고농도 칼륨 처리에 따른 접수 (좌) 및 대목 (우) 생육

표. 고농도 칼륨 처리에 따른 오이 접수 및 대목 생육

Growth group	Concentration (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Scion	0	5.90 bc ^z ± 1.31	1.62 b ± 0.39	48.07 a ± 3.16	12.90 c ± 1.43	9.47 a ± 4.57
	2	7.25 a ± 0.65	1.92 ab ± 0.45	45.76 a ± 2.92	16.07ab ± 2.19	5.56 b ± 2.03
	4	6.54 ab ± 1.19	1.94 ab ± 0.22	46.51 a ± 1.68	14.24bc ± 2.72	5.87 b ± 2.07
	6	6.32 abc ± 1.18	2.03 a ± 0.58	46.45 a ± 2.94	14.21bc ± 2.04	6.58 b ± 2.42
	8	6.27 abc ± 0.90	1.97 ab ± 0.12	45.55 a ± 2.84	16.51 a ± 1.89	6.92 ab ± 1.96
	10	5.35 c ± 1.15	1.98 ab ± 0.21	47.48 a ± 3.08	15.90ab ± 1.74	7.66 ab ± 2.38
	Average		6.27	1.91	46.64	14.97
Rootstock	0	8.09 a ± 1.85	3.63 a ± 0.54	69.19 a ± 2.89	33.71 c ± 4.53	20.49 a ± 4.64
	2	8.41 a ± 1.53	3.56 a ± 0.49	64.30 ab ± 3.52	36.10 c ± 2.64	20.90 a ± 6.83
	4	7.84 a ± 1.83	3.89 a ± 0.64	64.89 ab ± 7.57	36.60bc ± 3.75	26.21 a ± 12.81
	6	7.70 a ± 1.24	4.01 a ± 0.45	63.52 ab ± 7.57	36.76bc ± 4.39	23.64 a ± 4.24

8	9.09 a ± 1.23	3.91 a ± 0.58	61.23 b ± 5.46	41.80 a ± 2.40	19.78 a ± 3.65
10	8.81 a ± 2.55	3.84 a ± 0.21	61.01 b ± 6.08	39.69 ab ± 2.11	21.82 a ± 10.75
Average	8.32	3.81	64.02	37.44	22.14

² Means in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range tests at P<0.05.

- 오이 접수 대목에서 KCl 고염류 처리를 통한 생체중, 건물중 비교 결과, 접수의 잎 생체중은 무처리구의 잎 생체중 0.459g 보다 EC 2 ~ EC 8 처리구가 0.019~0.107g(4%~23%)로 증가하는 경향을 보였으나 EC 10에서 EC 8보다 0.016(3%) 감소하는 특징을 보였음
- 줄기의 경우 무처리의 줄기 생체중 0.197g 보다 EC 2 ~ EC 8 의 줄기 생체중이 0.029~0.087g (15%~44%) 증가했지만 농도간의 경향성은 찾을 수 없었음, 또한 EC 10에서의 줄기 생체중은 0.173g으로 무처리에 비해 0.173g(14%) 낮은 특징을 보였음
- 대목의 KCl 처리구에 잎 생체중이 무처리 잎 생체중 1.918g 보다 0.110~0.334g(6%~17%) 증가하였지만, 농도 간의 경향성은 찾을 수 없었음
- 대목의 줄기 생체중의 경우 KCl 처리구가 0.900~1.147g으로 무처리 줄기 생체중인 0.805g보다 0.095~0.342g (12%~42%) 높은 것을 확인할 수 있었지만 농도 간의 경향성은 보이지 않음
- 대목의 줄기 건물중의 경우 무처리의 줄기 건물중보다 KCl 처리의 줄기 건물중이 0.001~0.008g(2%~19%) 높았지만, EC 6 에서의 건물중(0.040g)이 무처리의 줄기 건물중보다 0.002g 낮은 특징을 보였음

표. 고농도 칼륨 처리에 따른 오이 접수 및 대목 생체중, 건물중

Growth group	Concentration (ms·cm ⁻¹)	Fresh Weight(g)			Dry Weight(g)		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Scion	0	0.459 d ² ± 0.043	0.197 cd ± 0.065	0.049 b ± 0.011	0.041 a ± 0.006	0.012 a ± 0.009	0.007 a ± 0.008
	2	0.566 a ± 0.085	0.284 a ± 0.030	0.100 a ± 0.035	0.041 a ± 0.009	0.006 abc ± 0.006	0.012 b ± 0.003
	4	0.491 bcd ± 0.078	0.247 ab ± 0.050	0.069 b ± 0.025	0.035 a ± 0.005	0.006 abc ± 0.006	0.008 b ± 0.003
	6	0.478 cd ± 0.077	0.226 bc ± 0.059	0.108 a ± 0.036	0.035 a ± 0.005	0.007 ab ± 0.006	0.005 b ± 0.003
	8	0.559 ab ± 0.080	0.245 ab ± 0.037	0.118 a ± 0.026	0.036 a ± 0.008	0.011 c ± 0.001	0.005 b ± 0.002
	10	0.543 abc ± 0.079	0.173 d ± 0.053	0.120 a ± 0.029	0.036 a ± 0.008	0.013 bc ± 0.005	0.004 b ± 0.001
	Average	0.516	0.229	0.094	0.037	0.006	0.002
Rootstock	0	1.918 c ± 0.236	0.805 c ± 0.177	0.674 a ± 0.239	0.117 b ± 0.011	0.042 b ± 0.004	0.026 ab ± 0.006
	2	2.028 bc ± 0.209	0.972 abc ± 0.224	0.651 a ± 0.166	0.125 ab ± 0.025	0.043 b ± 0.006	0.021 b ± 0.005
	4	2.183 ab ± 0.301	0.912 bc ± 0.190	0.667 a ± 0.152	0.142 a ± 0.029	0.049 ab ± 0.009	0.025 ab ± 0.006
	6	2.100 abc ± 0.187	0.900 bc ± 0.190	0.674 a ± 0.077	0.138 a ± 0.011	0.040 b ± 0.005	0.024 ab ± 0.004
	8	2.252 a ± 0.137	1.147 a ± 0.184	0.761 a ± 0.087	0.130 ab ± 0.012	0.046 ab ± 0.007	0.027 a ± 0.004
	10	2.209 ab ± 0.049	1.093 ab ± 0.375	0.648 a ± 0.158	0.132 ab ± 0.021	0.050 a ± 0.009	0.026 ab ± 0.001
	Average	2.115	0.972	0.679	0.131	0.044	0.025

² Means in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range tests at P<0.05

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 엽면적을 판단하는 SLA를 평균 비교 결과 접수에서의 SLA는 무처리 SLA 보다 KCI 처리군의 SLA이 높았음 그 중 EC 8의 SLA이 가장 좋은 것을 확인 할 수 있음
- 대목의 경우에도 KCI 처리구가 무처리구에 비해 높은 수치를 보임, 그 중 EC 8의 SLA이 좋았지만 EC 2와 EC 10의 값은 유사한 수준이었음

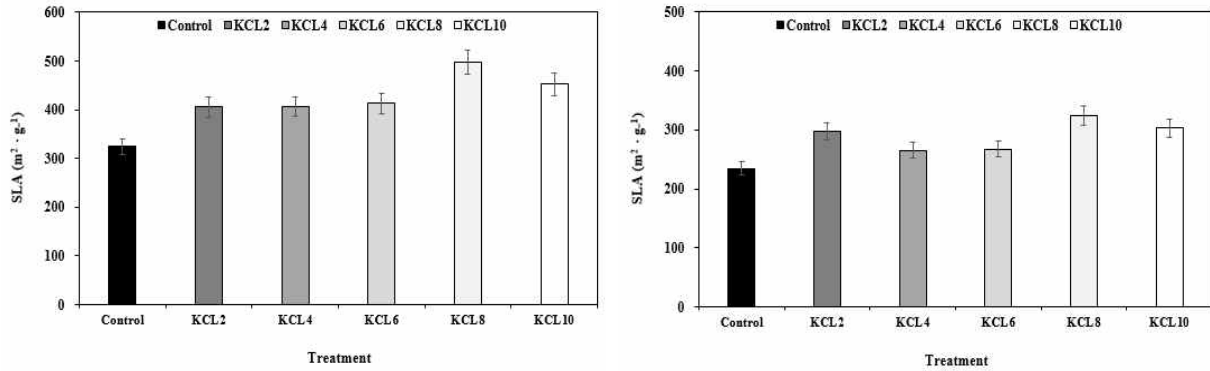


그림. 고농도 칼륨 처리에 따른 접수 (좌) 및 대목 (우) SLA

■ 연구내용 3 : 명·암기의 비율 조절을 통한 폐쇄형 식물공장묘의 경도 증진 효과 검토

▶ 오이 접목묘 재배시 식물공장 내부의 광 조사패턴의 변화에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

- ‘광’은 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있음. 최적 환경제어가 가능한 폐쇄형 식물공장의 특징을 활용하여 식물공장 내부의 광 환경변화를 통해 접목묘의 충실도를 향상시키기 위해 수행되었음
- 실험 1에서는 연구내용 4에서 확인된 식물공장 내부 최적 환경인 26/18℃를 공통 환경조건으로 하여, 광처리는 현재 호반영농조합법인에서 사용하고 있던 200μmol을 T1, 400μmol까지 점차 증가하는 처리를 T2로 하여 실험을 진행함
- 생육조사는 접목 후부터 출하까지를 기준으로 접목 5일 후, 10일 후 2회 진행함

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	6.62 ± 0.47	2.14 ± 0.17	41.22 ± 2.26	24.01 ± 5.39	14.36 ± 3.44
T2	6.78 ± 0.29	2.19 ± 0.25	36.26 ± 3.37	27.69 ± 2.98	14.31 ± 1.96
Average	6.70	2.17	38.74	25.85	14.33

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.536 ± 0.129	0.736 ± 0.090	0.293 ± 0.089	0.059 ± 0.016	0.035 ± 0.003	0.011 ± 0.003
T2	0.483 ± 0.061	0.738 ± 0.047	0.241 ± 0.033	0.062 ± 0.011	0.035 ± 0.006	0.008 ± 0.002
Average	0.510	0.737	0.267	0.060	0.035	0.010

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.1mm	1.0~1.1mm	1.5~2.1mm	>2.0mm	
T1	59.40 ± 16.54	7.85 ± 3.45	1.48 ± 0.81	0.43 ± 0.42	0.64 ± 0.53	69.79 ± 20.69
T2	57.35 ± 7.18	5.95 ± 2.98	0.69 ± 0.58	0.17 ± 0.13	0.49 ± 0.22	64.65 ± 7.21
Average	58.38	6.90	1.09	0.30	0.57	67.22

- 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 오이 접목묘의 생육을 조사, 비교한 결과 접목 5일 이후의 생육에서 초장의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 약 0.16cm(2%) 더 컸고 경경의 경우에도 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 약 0.55mm(2%) 더 두꺼운 모습을 보임
- 반면 SPAD의 경우에는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 5(13%)정도 높았음. 엽면적의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 약 3.68cm²(15%) 정도 높았고, Compactness의 경우에는 두 처리구 간 큰 차이는 발견되지 않음
- 생체중의 경우 잎과 뿌리에서는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 0.053g(10%), 0.052g(21%) 높았으며 줄기에서는 두 처리구 간 큰 차이가 발견되지 않음. 건물중의 경우 두 처리구 간 유의미한 차이가 발견되지 않음. 뿌리 발육의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 전체적으로 우수한 모습을 보임

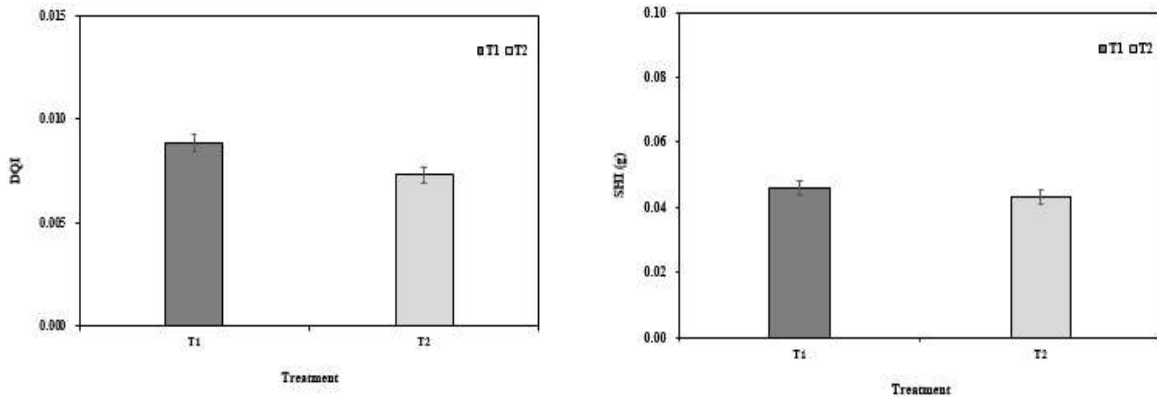


그림. 접목 5일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

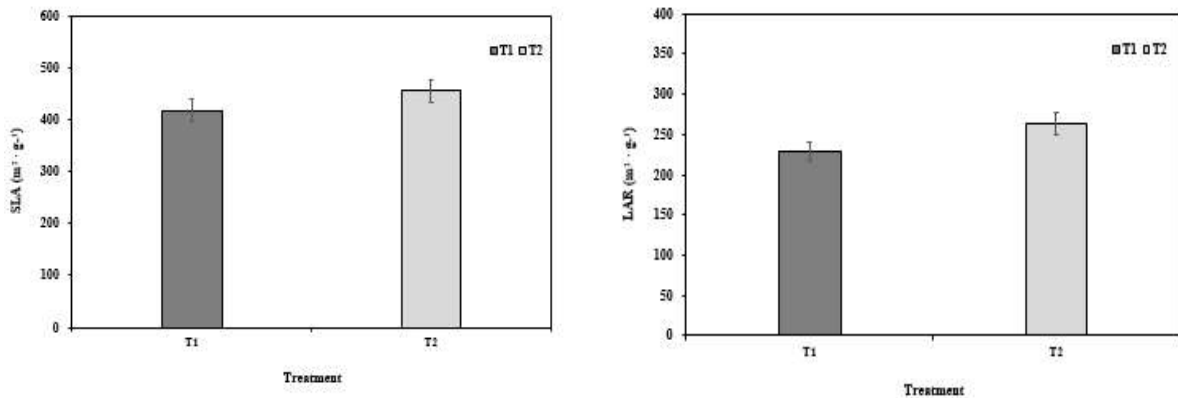


그림. 접목 5일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI를 비교 조사한 결과 T1이 T2에 비해 각각 0.0015(22%), 0.003g(6%) 정도 높았음. 작물의 초기 활착시 중요한 지표인 잎의 발달 정도를 비교하기 위해 모종의 잎의 발달 정도를 비교하는 SLA와 LAR의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 각각 37m²·g⁻¹(9%), 35.11m²·g⁻¹(15%) 정도 높았음
- 이것으로 보아 묘소질 자체는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약간 더 좋은 모습을 보였으나, 엽면적 발달에 있어서는 T2 처리가 더 긍정적인 효과를 미친 것으로 보임

- 따라서 접목 5일 이후의 두 처리구 간의 상태를 본다면 지상부 발육은 광량이 증가할수록 우수한 모습을 보였으나, 지하부 발육에 있어서는 광량을 증가시키는 것이 부정적인 영향을 끼치는 것으로 보임

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	9.28 ± 0.79	4.12 ± 0.38	44.80 ± 0.71	44.61 ± 6.18	23.55 ± 4.15
T2	9.18 ± 0.38	3.99 ± 0.14	41.48 ± 4.45	44.74 ± 9.32	22.35 ± 2.23
Average	9.23	4.06	43.14	44.68	22.95

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.955 ± 0.112	0.772 ± 0.393	0.413 ± 0.184	0.158 ± 0.023	0.058 ± 0.006	0.017 ± 0.005
T2	0.938 ± 0.168	0.932 ± 0.082	0.418 ± 0.122	0.143 ± 0.020	0.062 ± 0.007	0.019 ± 0.004
Average	0.947	0.852	0.416	0.151	0.063	0.018

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	129.16 ± 57.46	12.21 ± 7.29	1.56 ± 1.15	0.42 ± 0.16	0.47 ± 0.41	143.81 ± 64.48
T2	124.55 ± 18.13	19.32 ± 4.42	4.93 ± 1.93	1.47 ± 0.91	0.90 ± 0.30	151.17 ± 20.16
Average	126.86	15.77	3.24	0.95	0.69	147.49

- 접목 10일 이후의 생육에서 초장의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 0.1cm(1%) 더 컸고 경경의 경우에도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 0.13mm(3%) 더 두꺼운 모습을 보임
- SPAD의 경우에서도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 3.3(8%)정도 더 높았음. 엽면적의 경우 두 처리구 간 큰 차이는 없었고, Compactness의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 1.2(5%) 정도 더 높았음
- 생체중의 경우 잎은 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.017g(2%) 높았으나, 줄기는 T2 처리구가 0.160g(20%) 더 높았으며, 뿌리는 큰 차이가 없었음. 건물중의 경우 잎은 생체중과 마찬가지로 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.015g(10%) 높았으며, 줄기와 뿌리의 경우 큰 차이는 없었음
- 뿌리 발육의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 전체적으로 우수한 모습을 보임

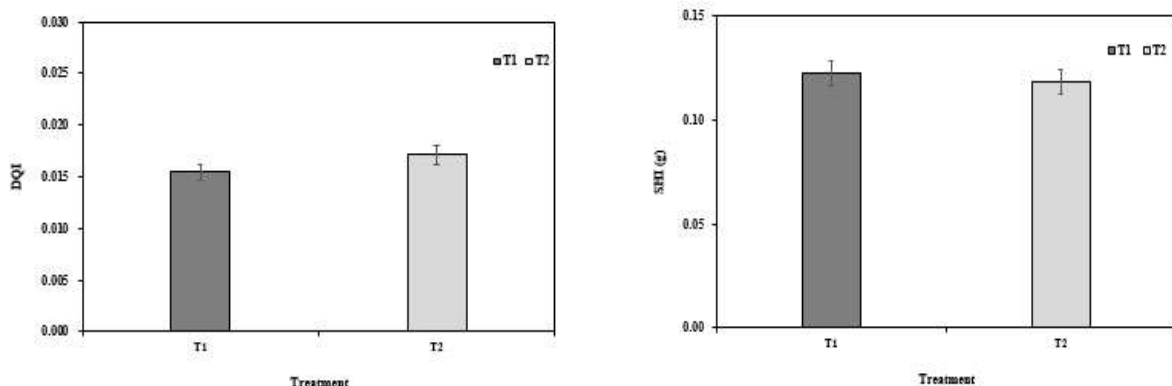


그림. 접목 10일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

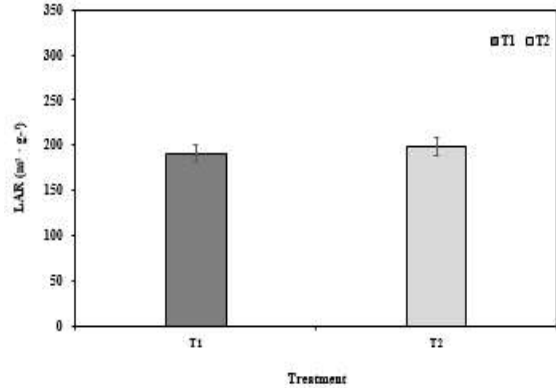
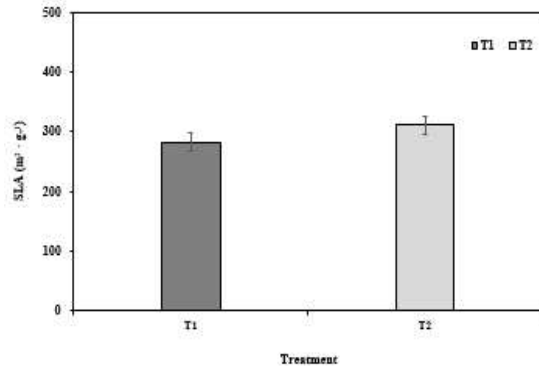


그림. 접목 10일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI의 경우 DQI는 접목 후 5일차와 반대로 T2 처리구가 T1 처리구보다 0.002(13%) 더 높은 모습을 보였고, SHI의 경우에는 두 처리구 간 큰 차이는 보이지 않음. SLA와 LAR의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 각각 $27.7\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (10%), $6.82\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (4%) 정도 높았음
- 종합적으로 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 오이 접목묘의 생육을 비교 조사한 결과, 지상부의 경우 생육초기(접목 후 5일)에는 광량이 증가할수록 생육이 우수한 모습을 보였으나 생육후기(접목 후 10일)로 갈수록 역전되는 모습을 보임. 반면에 지하부의 경우 생육초기에는 광량을 증가시키는 것이 생육에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 보였으나, 생육후기로 갈수록 역전되는 모습을 보임

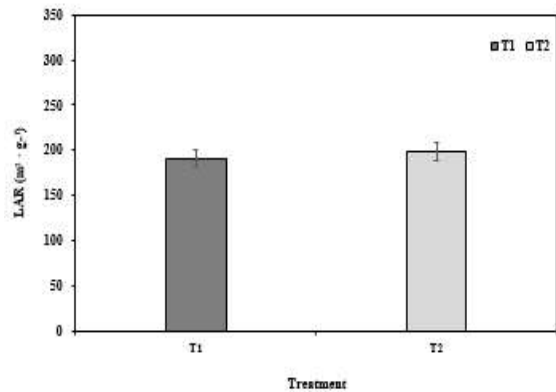
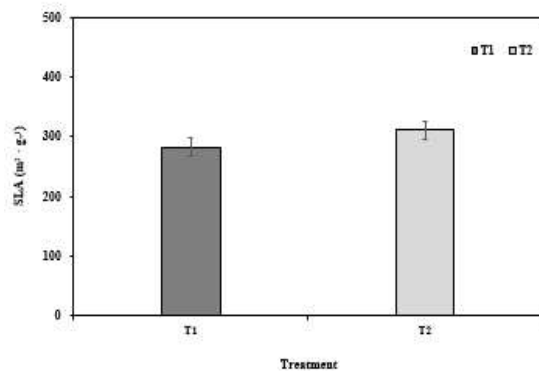


그림. 접목 10일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

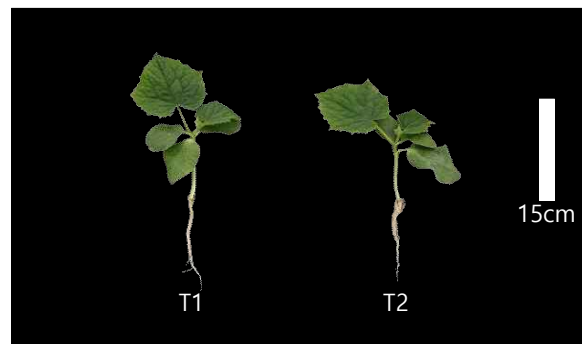
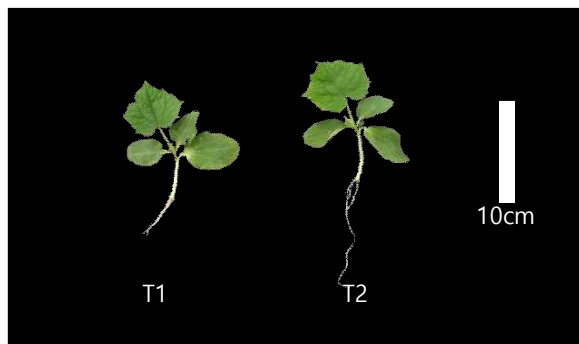


그림. 오이 생육 비교. 접목 5일 후 (좌), 접목 10일 후 (우)

- 실험 2에서는 식물공장 내부 환경을 주간온도를 더 상승시킨 30/18℃를 공통 환경조건으로 하여, 광처리는 현재 호반영농조합법인에서 사용하고 있던 200 μmol 을 T1, 400 μmol 까지 점차 증가하는 처리를 T2로 하여 실험을 진행함
- 생육조사는 접목 후부터 출하까지를 기준으로 접목 5일 후, 10일 후 2회 진행함

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	7.12 ± 0.44	2.25 ± 0.20	37.54 ± 1.66	26.94 ± 5.89	14.23 ± 2.38
T2	6.84 ± 0.48	2.08 ± 0.17	39.54 ± 1.50	23.33 ± 4.97	13.89 ± 2.20
Average	6.98	2.17	38.54	25.13	14.06

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.498 ± 0.106	0.752 ± 0.078	0.228 ± 0.073	0.061 ± 0.012	0.039 ± 0.004	0.009 ± 0.002
T2	0.420 ± 0.081	0.703 ± 0.061	0.202 ± 0.059	0.057 ± 0.009	0.037 ± 0.003	0.009 ± 0.002
Average	0.459	0.728	0.215	0.059	0.038	0.009

표. 접목 5일 후 광 처리에 따른 오이 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	52.96 ± 27.93	6.20 ± 5.63	0.94 ± 1.04	0.26 ± 0.21	0.78 ± 0.34	61.14 ± 34.83
T2	47.15 ± 10.83	4.04 ± 1.32	0.25 ± 0.20	0.16 ± 0.14	0.55 ± 0.17	52.15 ± 12.10
Average	50.06	5.12	0.60	0.21	0.67	56.65

- 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 오이 접목묘의 생육을 비교 조사한 결과 접목 5일 이후의 생육에서 초장의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.28cm(4%) 더 컸고, 줄기 두께 또한 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.17mm(8%) 더 두꺼웠음
- SPAD의 경우 T2 처리구가 2.0(5%) 더 높았는데, 이는 동일한 환경 하에서 T1 처리구의 200 μmol 의 광량이 광합성의 제한조건으로 적용한 것으로 보였고, 이로 인해서 광량을 400 μmol 로 증가시킨 T2 처리구에서 더 높게 나타난 것으로 보임
- 엽면적과 Compactness의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 3.61cm²(15%), 0.34mg·cm⁻¹(2%) 더 높게 나타남
- 생체중의 경우 잎, 줄기, 뿌리 모두 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 0.078g(18%), 0.049g(7%), 0.026g(13%) 더 높게 나타났고, 건물중의 경우에는 큰 차이는 발견되지 않았음. 뿌리 발육에 있어서도 T1 처리구가 T2 처리구보다 전체적으로 뛰어난 모습을 보임

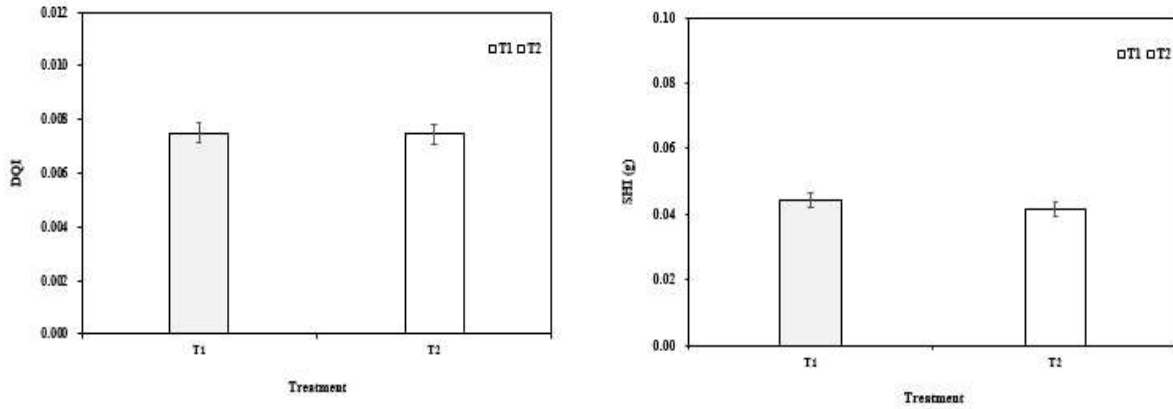


그림. 접목 5일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

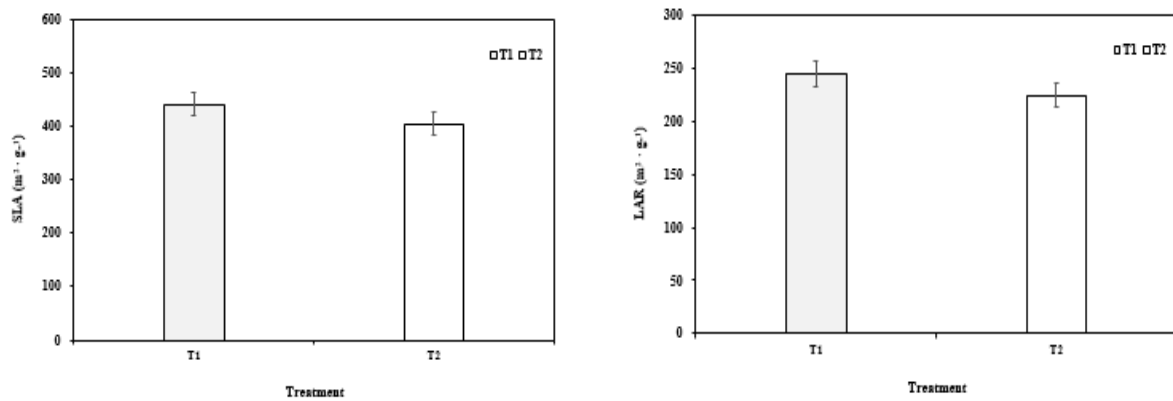


그림. 접목 5일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI를 비교 조사한 결과 두 지표 모두 처리구 간의 큰 차이는 발견되지 않음. 작물의 초기 활착시 중요한 지표인 잎의 발달 정도를 비교하기 위해 모종의 잎의 발달 정도를 비교하는 SLA와 LAR의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 $36.72\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (9%), $20.33\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (9%) 정도 높았음
- 이것으로 보아 묘소질과 엽면적 발달 모두 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 더 우수한 모습을 보임. 따라서 최고온도 30°C 의 고온 환경에서는 광량이 증가할수록 작물 생육에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 판단됨

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
T1	8.74 ± 0.56	3.83 ± 0.31	41.98 ± 3.31	46.89 ± 7.52	27.05 ± 3.43
T2	9.16 ± 0.53	3.96 ± 0.35	42.28 ± 3.74	41.27 ± 9.46	22.30 ± 4.85
Average	9.23	3.90	43.14	44.68	22.95

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.016 ± 0.161	0.924 ± 0.236	0.536 ± 0.140	0.178 ± 0.024	0.059 ± 0.006	0.026 ± 0.006
T2	0.876 ± 0.168	$0.907 \pm .068$	0.419 ± 0.201	0.148 ± 0.034	0.055 ± 0.005	0.020 ± 0.011
Average	0.947	0.852	0.416	0.151	0.063	0.018

표. 접목 10일 후 광 처리에 따른 오이 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.1mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	140.67 ± 26.76	25.75 ± 10.75	5.85 ± 2.69	2.04 ± 1.21	1.59 ± 1.20	175.89 ± 38.37
T2	147.01 ± 56.10	18.60 ± 7.94	3.84 ± 2.62	1.29 ± 1.30	1.67 ± 1.03	172.40 ± 67.85
Average	126.86	15.77	3.24	0.95	0.69	147.49

- 접목 후 10일차의 경우 초장과 경경 모두 T1 처리구에 비해 T2 처리구가 각각 0.41cm(5%), 0.13mm(3%) 더 높게 나타남
- SPAD 또한 T2 처리구가 T1 처리구보다 높게 나타났는데, 이것은 접목 후 5일차와 마찬가지로 T1 처리구의 200umol의 광량이 작물의 광합성의 제한조건으로 작용된 것으로 보임
- 엽면적과 Compactness 경우에는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 5.62cm²(13%), 4.75 mg·cm⁻¹(21%) 더 높게 나타남
- 생체중의 경우 접목 후 5일차와 마찬가지로 T1 처리구가 T2 처리구에 비해서 잎, 줄기, 뿌리 각각 0.14g(16%), 0.017g(2%), 0.117g(28%) 더 높게 나타났고, 건물중 또한 T1 처리구가 각각 0.03g(20%), 0.004g(8%), 0.006g(30%) 더 높게 나타남
- 뿌리 발육의 경우에도 T1 처리구가 T2 처리구보다 전체적으로 우수한 모습을 보임

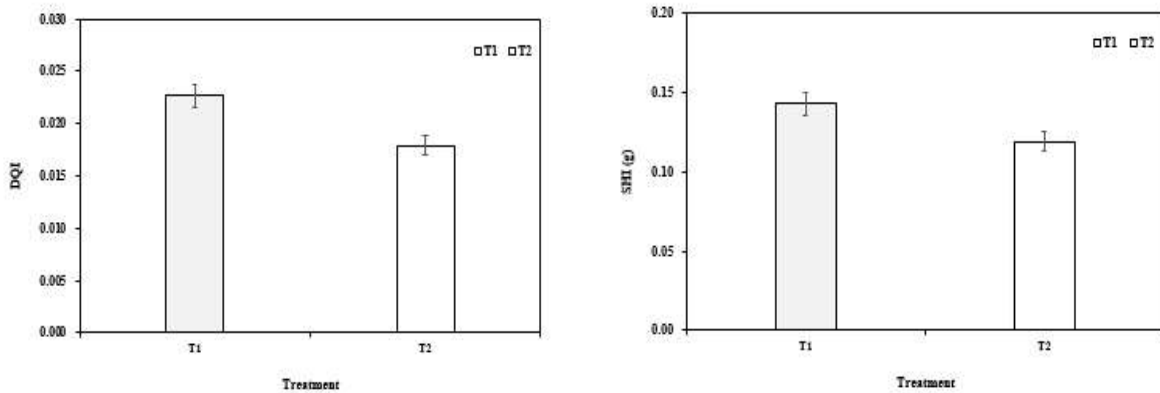


그림. 접목 10일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

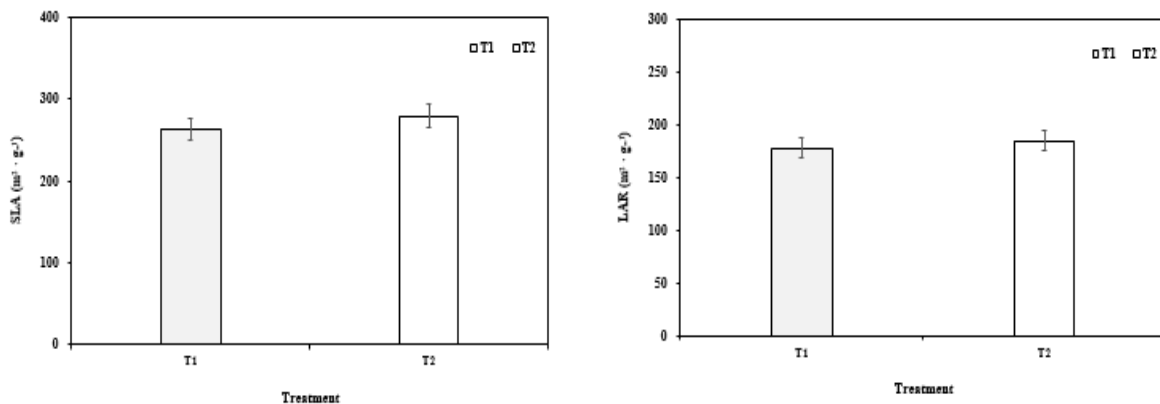


그림. 접목 10일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI의 경우 DQI는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.005(28%) 더 높게 나타났고, SHI 또한 T1 처리구가 0.024g(20%) 더 높게 나타났고, 잎의 발달을 확인할 수 있는 지표인 SLA와 LAR의 경우에는 두 처리구 간 큰 차이가 나타나지 않았음
- 종합적으로 보면 T2 처리구의 경우 초장과 경경이 T1 처리구에 비해 높게 나왔지만, 두 지표를 제외한 Compactness, 생체중, 건물중, DQI, SHI 등 모든 지표들이 T1 처리구에 비해 낮은 것을 보니 T2 처리구의 묘가 연질화 되었다고 볼 수 있음
- 따라서 30℃의 고온 환경 조건 아래에서는 광량을 증가시키는 것이 작물 생육에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 판단됨

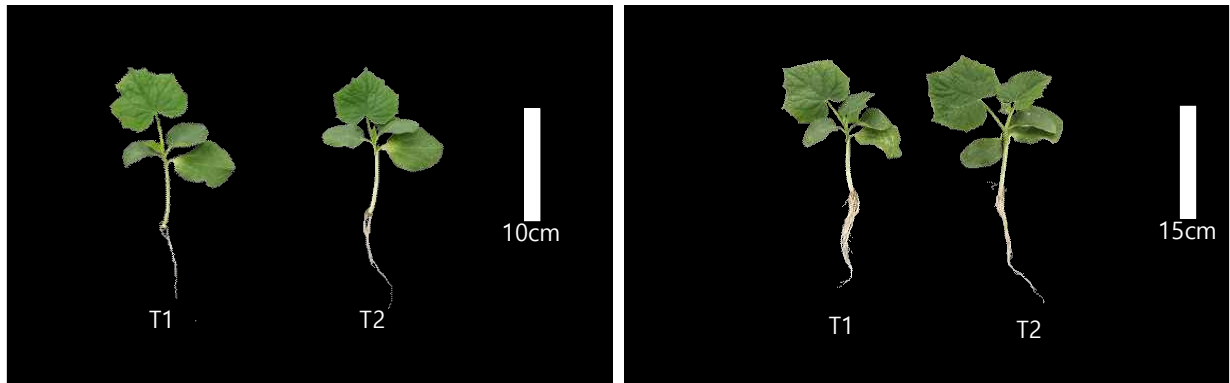


그림. 오이 생육 비교. 접목 5일 후 (좌), 접목 10일 후 (우)

▶ 토마토 접목묘 재배시 식물공장 내부의 광 조사패턴의 변화에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

- ‘광’은 작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있음. 최적 환경제어가 가능한 폐쇄형 식물공장의 특징을 활용하여 식물공장 내부의 광 환경변화를 통해 접목묘의 충실도를 향상시키기 위해 수행되었음
- 실험 1에서는 연구내용 4에서 확인된 식물공장 내부 최적 환경인 26/18℃를 공통 환경조건으로 하여, 광처리는 현재 호반영농조합법인에서 사용하고 있던 200μmol을 T1, 400μmol까지 점차 증가하는 처리를 T2로 하여 실험을 진행함
- 생육조사는 접목 후부터 출하까지를 기준으로 접목 7일 후, 14일 후 2회 진행함

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	9.73 ± 1.36	2.80 ± 0.21	34.30 ± 1.94	53.21 ± 4.92	17.92 ± 3.09
T2	9.43 ± 0.69	2.68 ± 0.40	34.95 ± 2.66	53.52 ± 14.70	20.54 ± 4.74
Average	9.58	2.74	34.63	53.36	19.23

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.172 ± 0.143	1.053 ± 0.176	0.382 ± 0.033	0.114 ± 0.013	0.058 ± 0.003	0.020 ± 0.001
T2	1.200 ± 0.394	1.018 ± 0.287	0.447 ± 0.063	0.134 ± 0.037	0.061 ± 0.014	0.025 ± 0.001
Average	1.186	1.036	0.414	0.124	0.059	0.023

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1. mm	1.0~1. mm	1.5~2. mm	>2.0mm	
T1	119.92 ± 24.25	18.30 ± 3.03	4.92 ± 1.48	1.82 ± 0.41	1.42 ± 0.85	146.37 ± 28.10
T2	146.19 ± 46.39	14.78 ± 4.09	3.91 ± 0.90	1.61 ± 0.68	1.43 ± 0.97	167.90 ± 49.52
Average	133.06	16.54	4.42	1.72	1.43	157.14

- 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 토마토 접목묘의 생육을 비교 조사한 결과 접목 7일 이후의 생육에서 초장의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 0.3cm(3%) 더 컸고 경경의 경우에도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 0.12mm(4%) 더 두꺼운 모습을 보임
- 반면 SPAD의 경우에는 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 약 0.65(2%)정도 높았음.. 엽면적의 경우 두 처리구 간 큰 차이가 없었고, Compactness의 경우에는 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 2.62 mg·cm⁻¹(14%) 정도 높았음
- 생체중의 경우 잎과 줄기에서는 두 처리구 간 큰 차이를 발견할 수 없었으나 뿌리의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 0.065g(17%) 정도 높았음. 건물중의 잎 줄기 뿌리 모두 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 각각 0.020g(17%), 0.003g(5%), 0.005g(25%) 더 높은 것을 발견할 수 있었음. 뿌리 생육의 경우 전체 뿌리 발육이 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 더 높은 것을 확인할 수 있음

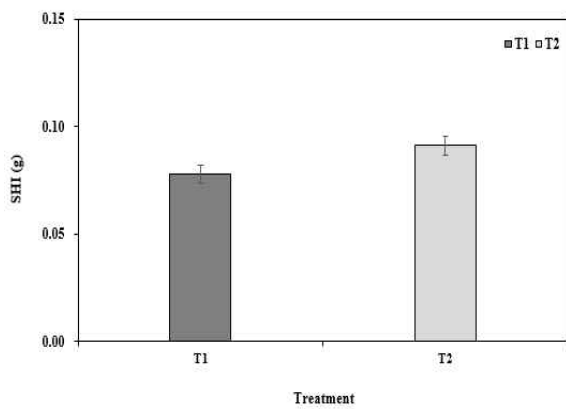
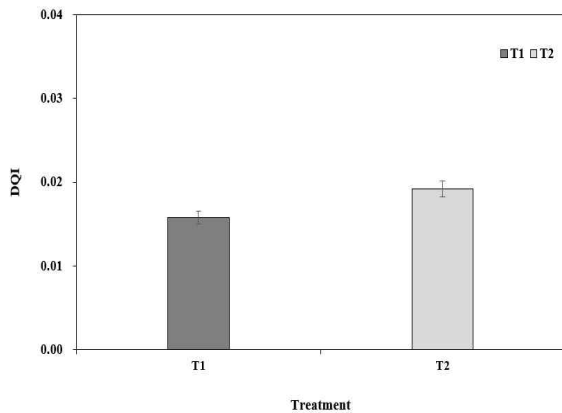


그림. 접목 7일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

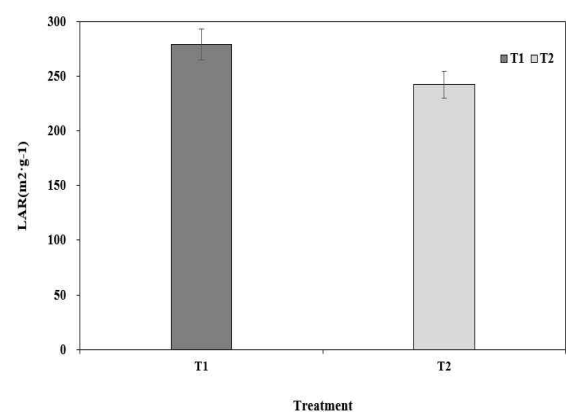
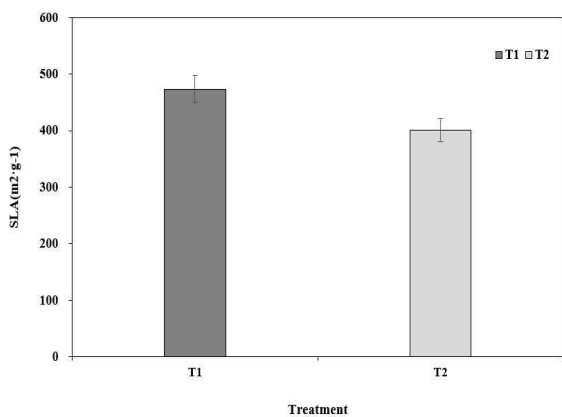


그림. 접목 7일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI를 비교 조사한 결과 T2처리구가 T1 처리구에 비해 각각 0.004(22%), 0.013g(16%) 정도 높았음. 작물의 초기 활착시 중요한 지표인 잎의 발달 정도를 비교하기 위해 모종의 잎의 발달 정도를 비교하는 SAL와 LAR의 경우

- T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 $72.74\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (18%), $36.64\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (15%) 정도 높았음
- 이것으로 보아 묘소질 자체는 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 더 좋은 모습을 보였으나, 엽면적 발달에 있어서는 T1 처리가 더 긍정적인 효과를 미친 것으로 보임
 - 따라서 접목 7일 이후의 두 처리구 간의 상태를 본다면 광량이 증가할수록 지상부의 경우 초장과 경경은 작아지지만 전체적인 묘소질과 잎의 발달을 봤을 때에는 더 우수한 모습을 보였고, 지하부의 경우에도 마찬가지로 광량이 증가할수록 발달이 더 잘된 것을 확인할 수 있었음

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	12.93 ± 0.76	3.42 ± 0.27	38.58 ± 3.58	66.57 ± 10.39	28.15 ± 3.33
T2	10.73 ± 0.86	3.32 ± 0.43	36.68 ± 5.77	64.44 ± 17.50	28.10 ± 8.62
Average	11.83	3.37	37.63	65.5	28.13

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.737 ± 0.143	1.737 ± 0.149	0.782 ± 0.122	0.232 ± 0.016	0.130 ± 0.013	0.043 ± 0.006
T2	1.567 ± 0.434	1.412 ± 0.330	0.871 ± 0.292	0.201 ± 0.074	0.106 ± 0.036	0.040 ± 0.021
Average	1.652	1.576	0.826	0.216	0.118	0.041

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.1mm	1.5~2.2mm	>2.0mm	
T1	92.05 ± 6.57	21.93 ± 4.55	3.91 ± 1.70	1.48 ± 1.05	0.98 ± 1.29	120.34 ± 14.63
T2	112.82 ± 34.76	14.35 ± 4.96	2.63 ± 1.20	0.47 ± 0.33	1.13 ± 0.79	131.41 ± 38.04
Average	102.44	18.14	3.27	0.98	1.06	125.88

- 접목 14일 이후의 생육에서 초장의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 2.2cm(20%) 더 컸고 경경의 경우에도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 0.10mm(3%) 더 두꺼운 모습을 보임
- SPAD의 경우에도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 약 1.9(5%)정도 더 높았고, 엽면적 또한 T1 처리구가 T2 처리구보다 2.13cm^2 (3%) 정도 높았음. Compactness의 경우 두 처리구 간 큰 차이는 발견되지 않았음
- 생체중의 경우 잎과 줄기는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 0.17g(11%), 0.325g(23%) 높았고, 반면에 뿌리는 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 0.089g(11%) 더 높은 모습을 보임. 건물중의 경우에는 잎, 줄기, 뿌리 모두 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 0.031g(15%), 0.024g(22%), 0.003(8%) 높은 모습을 보임
- 뿌리 생육의 경우 전체 뿌리 발육이 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 더 높은 것을 확인할 수 있음

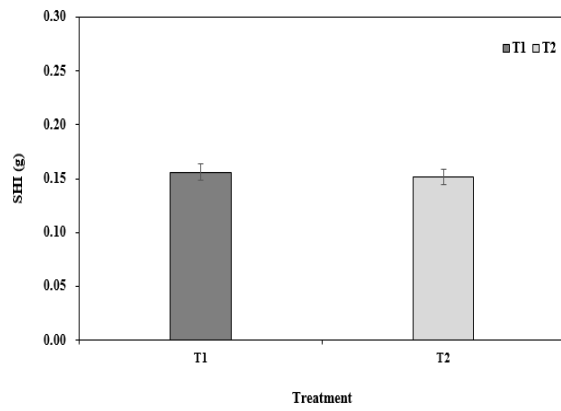
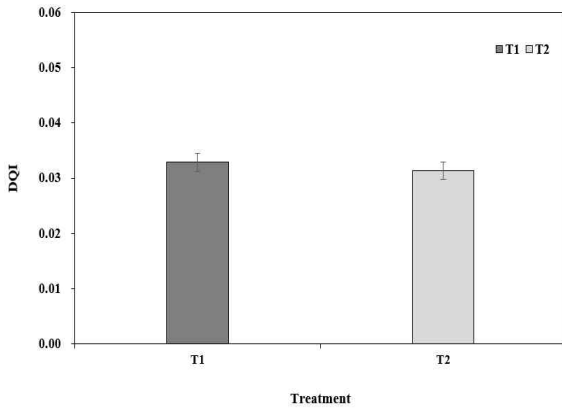


그림. 접목 14일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

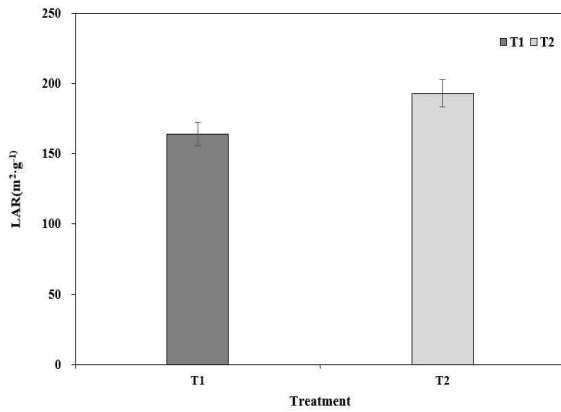
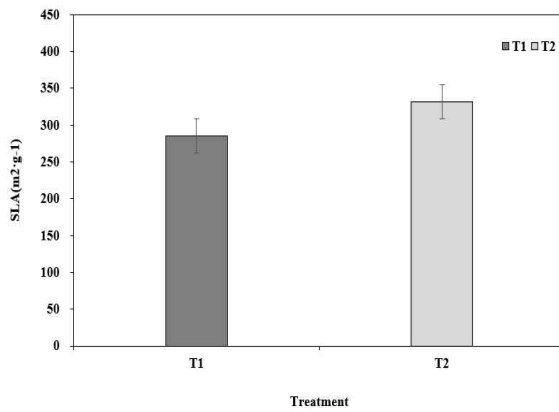


그림. 접목 14일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI의 경우 두 지표 모두 T1, T2 처리구 간 큰 차이는 보이지 않음. SLA와 LAR의 경우 7일차와는 반대로 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 각각 46.24m²·g⁻¹(16%), 29.02m²·g⁻¹(17%) 정도 높았음
- 따라서 접목 14일 이후의 두 처리구 간의 상태를 본다면 접목 7일차와는 반대로 지상부 발육은 T1 처리구가, 지하부 발육은 T2 처리구가 뛰어난 것으로 보임
- 종합적으로 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 토마토 접목묘의 생육을 비교 조사한 결과, 지상부 생육의 경우에는 생육 후기로 갈수록 광량을 증가시키는 것이 지상부 생육에는 부정적인 영향을 끼치는 것으로 보이고, 지하부 생육에 있어서는 광량을 증가시키는 것이 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 사료됨

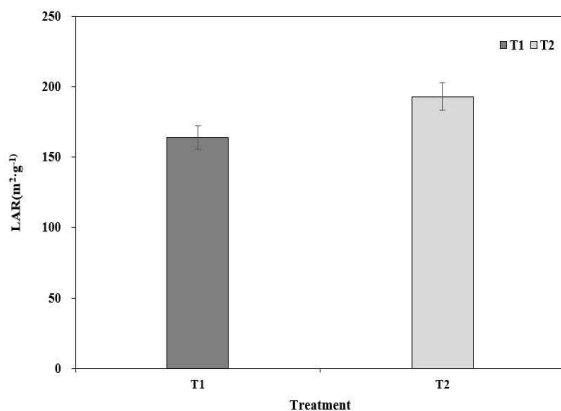
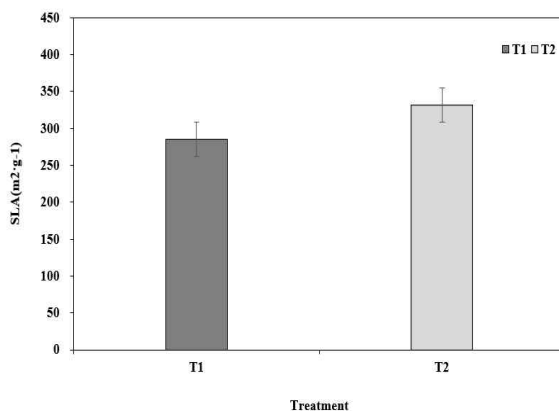


그림. 접목 14일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)



그림. 토마토 생육 비교. 접목 7일 후 (좌), 접목 14일 후 (우)

- 실험 2에서는 식물공장 내부 환경을 주간온도를 더 상승시킨 30/18℃를 공통 환경조건으로 하여, 광처리는 현재 호반영농조합법인에서 사용하고 있던 200 μmol 을 T1, 400 μmol 까지 점차 증가하는 처리를 T2로 하여 실험을 진행함
- 생육조사는 접목 후부터 출하까지를 기준으로 접목 7일 후, 14일 후 2회 진행함

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	9.00 ± 0.85	2.87 ± 0.51	35.40 ± 4.10	44.89 ± 11.81	15.97 ± 4.24
T2	9.28 ± 1.01	2.60 ± 0.21	39.18 ± 1.33	45.27 ± 7.36	17.32 ± 2.52
Average	9.14	2.74	37.29	45.08	16.64

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.053 ± 0.196	0.897 ± 0.195	0.410 ± 0.059	0.099 ± 0.027	0.045 ± 0.016	0.021 ± 0.006
T2	1.102 ± 0.163	0.938 ± 0.134	0.470 ± 0.076	0.111 ± 0.021	0.050 ± 0.009	0.026 ± 0.011
Average	1.078	0.917	0.440	0.101	0.047	0.023

표. 접목 7일 후 광 처리에 따른 토마토 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	121.11 ± 17.24	12.74 ± 3.11	3.41 ± 2.19	1.58 ± 1.19	2.17 ± 1.09	140.99 ± 12.13
T2	134.60 ± 19.70	18.97 ± 2.06	4.70 ± 1.51	1.66 ± 0.54	1.95 ± 0.77	161.88 ± 21.60
Average	127.86	15.86	4.06	1.62	2.06	151.44

- 식물공장 내부의 광 조사패턴에 따른 토마토 접목묘의 생육을 비교 조사한 결과 접목 7일 이후 초장의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 0.28cm(3%) 더 크게 나타났고, 줄기 두께의 경우에는 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.27mm(10%) 더 두껍게 나타남
- SPAD의 경우 오이 실험 때와 마찬가지로 광량이 더 높은 T2 처리구가 더 우수한 모습을 보였는데, 이 또한 T1 처리구의 200 μmol 의 광량이 광합성의 제한조건으로 작용한 것으로 보임

- 엽면적의 경우 두 처리구간 큰 차이는 없었으며, 묘의 충실도를 나타내는 compactness의 경우에는 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 $1.35\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ (8%) 더 높게 나타남
- 생체중의 경우 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 잎, 줄기, 뿌리 모두 각각 0.049g(5%), 0.041g(5%), 0.060g(15%) 더 높게 나타났으며, 이에 따라 건물중 또한 0.012g(12%), 0.005g(11%), 0.005g(24%) 더 높게 나타남. 뿌리의 발육 또한 전체적으로 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 더 높은 수치를 나타냄

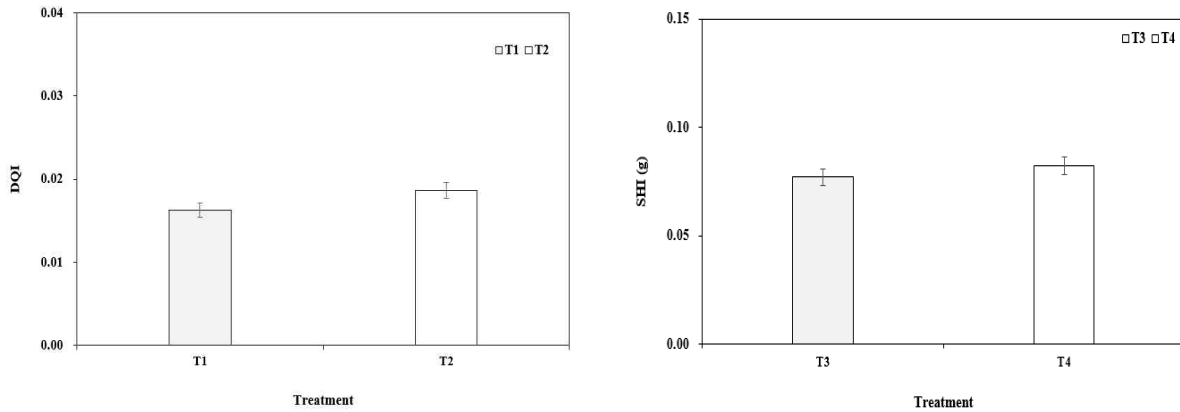


그림. 접목 7일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

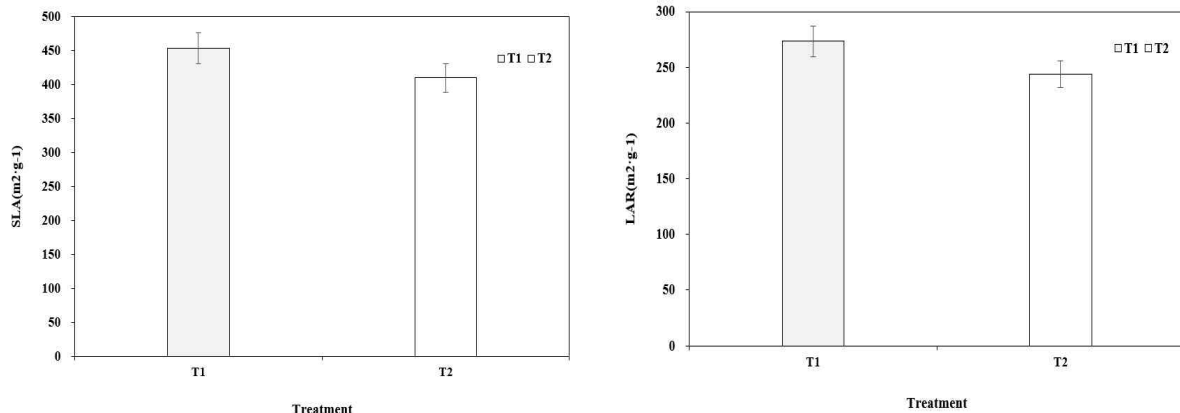


그림. 접목 7일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI를 비교 조사한 결과 T2처리구가 T1 처리구에 비해 각각 0.003(19%), 0.005g(6%) 정도 높았음. 작물의 초기 활착 시 중요한 지표인 잎의 발달 정도를 비교하기 위해 모종의 잎의 발달 정도를 비교하는 SLA와 LAR의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 $44.18\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (11%), $29.56\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ (12%) 정도 높았음
- 위에 지표들로 봤을 때, T2 처리구가 초장은 길고 줄기두께는 더 얇은 수치를 나타냈으나, 묘의 충실도를 나타내는 지표들인 compactness, DQI, SHI 지표들이 T2 처리구가 더 높게 나타났기 때문에 T2 처리구의 묘들이 도장했다고 판단할 수 없음
- 또한 잎의 경우 엽면적은 T2 처리구가 더 높았지만, 전체적인 잎의 발달을 보았을 때는 T1 처리구가 더 높게 나타난 것을 확인할 수 있음

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 생육

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	10.13 ± 1.45	2.81 ± 0.43	36.28 ± 4.17	53.76 ± 12.58	25.02 ± 5.07
T2	10.43 ± 1.15	2.88 ± 0.29	34.20 ± 2.81	47.44 ± 12.06	23.25 ± 1.90
Average	10.28	2.85	35.24	50.6	24.13

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.402 ± 0.284	1.220 ± 0.305	0.785 ± 0.198	0.166 ± 0.049	0.090 ± 0.027	0.054 ± 0.015
T2	1.263 ± 0.312	1.200 ± 0.186	0.620 ± 0.132	0.154 ± 0.038	0.088 ± 0.014	0.044 ± 0.012
Average	1.332	1.210	0.703	0.160	0.089	0.049

표. 접목 14일 후 광 처리에 따른 토마토 뿌리

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.1mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	94.52 ± 24.87	12.26 ± 2.90	2.79 ± 1.12	0.97 ± 0.99	1.26 ± 1.16	111.79 ± 27.13
T2	87.51 ± 7.03	13.98 ± 3.36	4.09 ± 0.93	1.12 ± 0.57	1.25 ± 1.01	107.94 ± 7.80
Average	91.02	13.12	3.44	1.05	1.26	109.87

- 접목 14일 이후 초장은 T2 처리구가 T1 처리구에 비해 0.3cm(3%) 더 높게 나타났고, 줄기두께 또한 T2 처리구가 0.07mm(2%) 더 높게 나타남
- 엽면적의 경우 T1 처리구가 T2 처리구보다 6.32cm²(13%) 더 높게 나타났고, compactness 또한 T1 처리구가 1.77mg·cm⁻¹(8%) 더 높게 나타남
- 생체중의 경우 잎, 줄기, 뿌리 모두 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 0.139g(11%), 0.020g(2%), 0.165g(27%) 더 높게 나타났고, 건물중 또한 각각 0.012g(8%), 0.002g(2%), 0.010g(23%) 더 높게 나타났으며, 뿌리의 발육 또한 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 높게 나타남

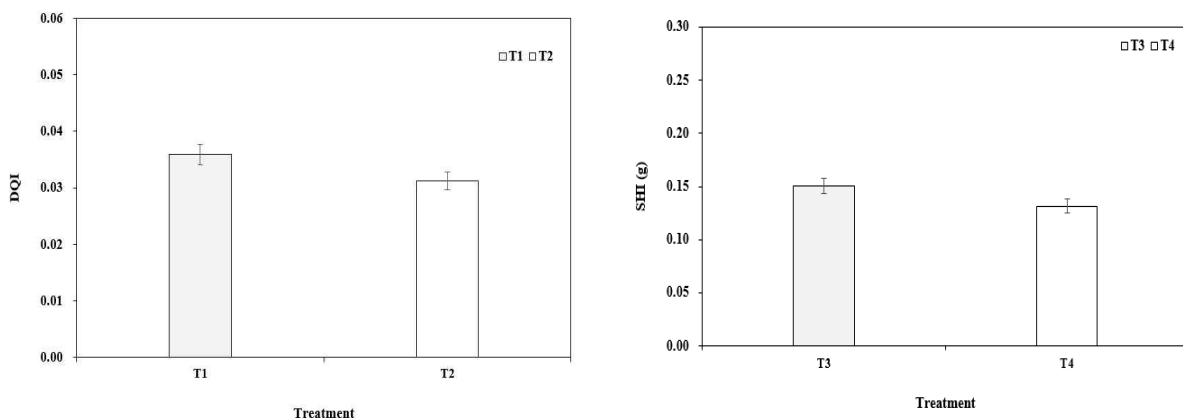


그림. 접목 14일 후 광 처리에 따른 DQI (좌), SHI (우)

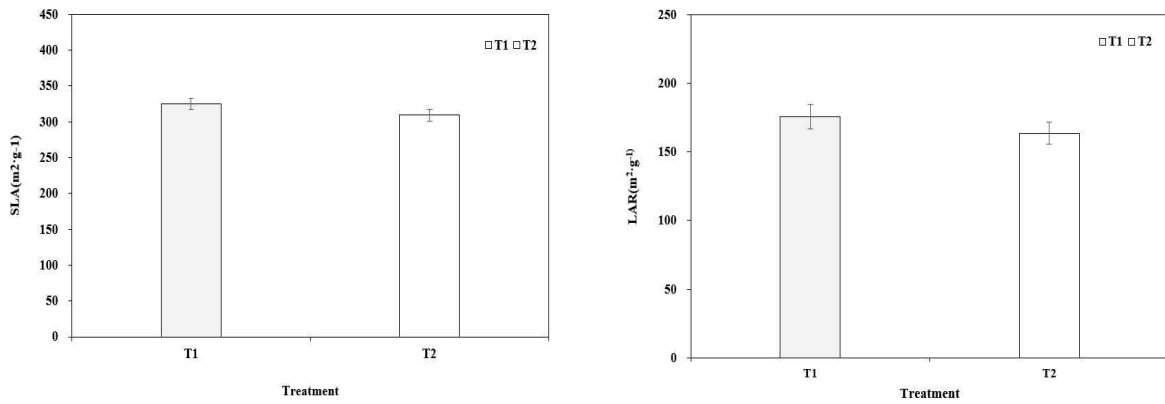


그림. 접목 14일 후 광 처리에 따른 SLA (좌), LAR (우)

- 요소질을 판단하는 지표인 DQI와 SHI에서 DQI의 경우 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 0.005(16%) 더 높게 나타났고, SHI의 경우에는 0.020g(15%) 더 높게 나타남 . SLA와 LAR 에서도 T1 처리구가 T2 처리구에 비해 각각 15.84 m²·g⁻¹(5%), 11.93 m²·g⁻¹(7%) 정도 높았음
- T2 처리구의 경우 T1 처리구에 비해 초장과 경경이 높게 나타났지만, 요소질을 볼 수 있는 compactness, DQI, SHI 모두 T1 처리구가 높게 나왔기 때문에 T2 처리구의 묘는 연질화 되었다고 판단됨
- LA, SLA, LAR 모두 T1이 높게 나온 것으로 보아 잎의 발달 또한 T1 처리구가 우수한 것으로 판단됨
- 따라서 30℃ 이상의 고온 환경에서는 광량을 증가시키는 것이 토마토 작물의 생육에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 사료됨

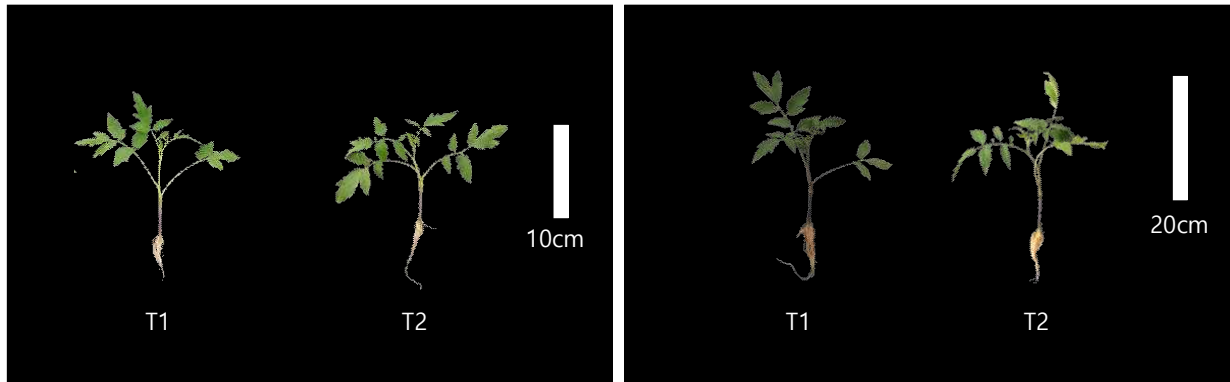


그림. 토마토 생육 비교. 접목 7일 후 (좌), 접목 14일 후 (우)

▪ 연구내용 4 : 2단 변온시 목표온도 및 변온속도에 따른 폐쇄형 식물공장 묘의 연질화 저감 효과 탐색

▶ 오이 접수, 대목 재배시 T1(26/18℃), T2(27/18)℃, T3(28/18℃)의 환경에 따른 생육 특성 조사 결과

- 주간 온도 변화에 따른 오이 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 초장이 4.56cm로 T3 처리구에 비하여 2.74cm(60%) 작음. 하지만, 총실도에서는 T1 처리구가 8.33 mg·cm⁻¹로 T3 처리구보다 3.08 mg·cm⁻¹(58%) 높은 값을 나타냄
- 이와 같은 결과는 주간 온도가 높아질수록 초장은 길어지지만 총실도는 낮아지는 것을 보아, 도장된 모종의 형태를 나타내고 있는 것으로 판단됨
- 하지만, 잎의 클로로필 함량은 T1 처리구가 55.33으로 T3 처리구에 비하여 2.97(5%) 높았음

표. 3가지 변온에서 오이 접수 지상부 생육조사

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	4.56 ± 0.80	1.63 ± 0.29	55.33 ± 4.57	8.33 ± 1.75
T2	6.23 ± 1.80	1.67 ± 0.30	50.83 ± 4.80	7.01 ± 2.98
T3	7.30 ± 1.34	1.69 ± 0.27	52.36 ± 4.87	5.25 ± 1.27
Average	6.03	1.67	52.84	7.00

- 오이 접수의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 잎 생체중이 0.404g으로 T2 처리구에 비하여 0.01g(2%) 가벼웠지만, 건물중에서는 T1 처리구가 0.036g(24%)으로 T2 처리구에 비하여 0.002g(5%) 무거움. 이와 같은 결과는 주간 온도가 낮을수록 동화산물의 양이 많아지기 때문에 광합성 효율이 높다고 판단됨. 이와 같은 결과는 잎의 클로로필 함량이 높았던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 경경의 생체중은 T1 처리구가 0.107g으로 T3 처리구에 비하여 0.114g(206%) 가벼우며, 건물중은 0.003g으로 0.004g(230%) 가벼웠음. 이와 같은 결과는 초장이 길었던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 하지만, 뿌리는 T1 처리구의 생체중이 0.043 g으로 다른 처리구에 비하여 0.015~0.016 g(53~59%) 무거우며, 건물중은 0.004 g 으로 다른 처리구에 비하여 0.002~0.003 g(200~400%) 무거웠음

표. 3가지 변온에서 오이 접수 생체중, 건물중 조사

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.404 ± 0.051	0.107 ± 0.028	0.043 ± 0.008	0.036 ± 0.005	0.003 ± 0.001	0.004 ± 0.002
T2	0.414 ± 0.039	0.196 ± 0.054	0.027 ± 0.012	0.034 ± 0.007	0.005 ± 0.006	0.002 ± 0.001
T3	0.393 ± 0.059	0.221 ± 0.056	0.028 ± 0.015	0.029 ± 0.004	0.007 ± 0.006	0.001 ± 0.001
Average	0.404	0.175	0.033	0.033	0.005	0.003

- 근권부 발달을 조사하여 비교한 결과, T1 처리구의 총 근장은 74.98mm로 T3 처리구에 비하여 18.84mm(33%) 길었음. 이와 같은 결과는 뿌리의 무게가 무거웠던 부위별 생체중과 건물중 생육조사 결과와 일치하였음
- 이것으로 보아 경경의 무게는 주간 온도가 높아질수록 높아지지만, 뿌리는 낮아지기 때문에 지상부 생육이 과도하게 일어나 지하부 발육은 저하되고 도장하게 되는 것으로 판단됨

표. 3가지 변온에서 오이 접수 뿌리 조사

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.mm	1.0~1.1mm	1.5~2.mm	>2.0mm	
T1	58.28 ± 16.48	12.47 ± 2.43	3.02 ± 0.69	0.83 ± 0.30	0.38 ± 0.14	74.98 ± 18.93
T2	52.74 ± 13.22	9.90 ± 1.86	1.98 ± 0.56	0.71 ± 0.41	0.33 ± 0.30	65.66 ± 14.34
T3	44.97 ± 15.35	8.39 ± 2.01	1.95 ± 0.52	0.63 ± 0.41	0.20 ± 0.26	56.14 ± 16.38
Average	51.99	10.25	2.32	0.72	0.30	65.59

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 근권부 건물중 비율인 RWR과 묘소질을 판단하는 지표인 DQI를 비교 조사한 결과, T1 처리구의 RWR이 시험구간 가장 높은 값을 나타냄. 이와 같은 결과는 총 근단수가 가장 많았던 지하부 생육조사 결과와 일치함

- 묘소질을 비교하는 지표를 비교한 결과, T1 처리구의 DQI가 시험구간 가장 높은 값을 나타냄. 이와 같은 결과는 총실도가 높았던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 이것으로 보아 작물의 생육을 촉진시키기 위해 주간 온도를 상승시키면 지하부 발달이 저하되고 묘소질 또한 감소하게 되어, 총실한 접수를 생산하기 위해서는 적정 주간 온도인 26°C로 설정하는 것이 좋을 것이라 생각됨

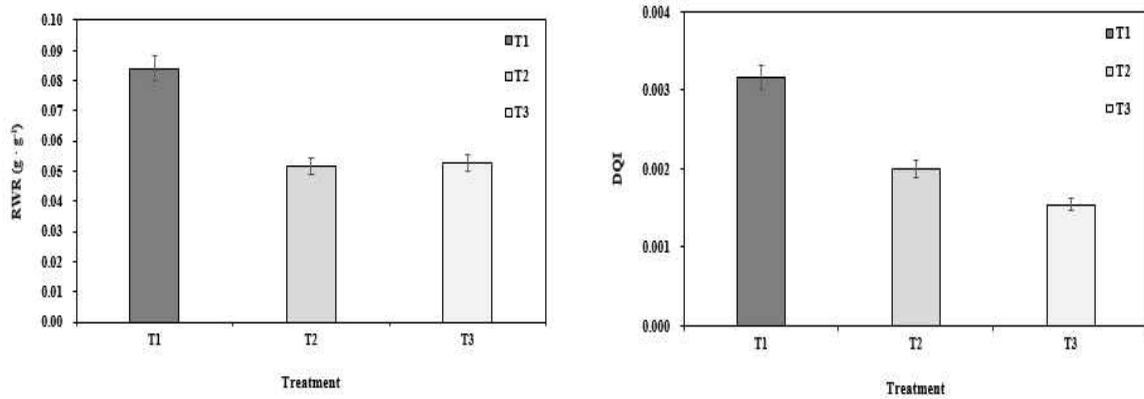


그림. 3가지 변온에서 오이 접수 RWR (좌), DQI (우)

- 주간 온도 변화에 따른 오이 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 초장이 7.22cm로 T3 처리구에 비하여 1.16cm(16%) 작았지만, 경경은 3.77mm로 T3 처리구 보다 0.44mm(13%) 두꺼웠음
- 모종의 종합적인 묘소질을 판단하기 위하여 총실도를 조사한 결과 T1 처리구가 24.02mg·cm⁻¹로 T3 처리구에 비하여 4.94mg·cm⁻¹(25%) 높았음
- 이와 같은 결과는 주간 온도가 상승할수록 초장은 크지만 줄기의 두께가 얇아지며 총실도 또한 낮아지기 때문에 연질화 및 도장된 모종이라 판단됨

표. 3가지 변온에서 오이 대목 지상부 생육조사

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	7.22 ± 1.17	3.77 ± 0.48	64.26 ± 4.04	24.02 ± 4.74
T2	8.08 ± 1.27	3.73 ± 0.38	64.24 ± 4.51	22.76 ± 8.49
T3	8.38 ± 1.22	3.33 ± 0.45	68.56 ± 6.53	19.08 ± 4.65
Average	7.89	3.62	52.84	21.95

- 오이 대목의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 잎의 생체중은 T3 처리구의 값이 1.589g으로 다른 처리구에 비하여 0.35~0.36(22%) 낮으며, 건물중은 0.111g으로 다른 처리구에 비하여 0.019~0.021g(17~18%) 낮음. 하지만, 줄기의 생체중은 처리구 모두 0.83~0.85g, 건물중은 0.039~0.045g의 값으로 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 뿌리의 생체중은 T1 처리구가 0.879g으로 T3 처리구에 비하여 0.174g(24%) 무거우며, 건물중은 0.024g으로 T3 처리구에 보다 0.002g(9%) 무거움

표. 3가지 변온에서 오이 대목 생체중, 건물중 조사

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	1.946 ± 0.189	0.850 ± 0.131	0.879 ± 0.118	0.130 ± 0.013	0.039 ± 0.012	0.024 ± 0.003
T2	1.949 ± 0.347	0.884 ± 0.193	0.728 ± 0.148	0.132 ± 0.032	0.044 ± 0.009	0.021 ± 0.006
T3	1.589 ± 0.209	0.833 ± 0.101	0.705 ± 0.139	0.111 ± 0.021	0.045 ± 0.004	0.022 ± 0.004
Average	1.828	0.856	0.771	0.124	0.043	0.023

- 대목의 근권부 발달을 조사하여 비교한 결과 총 근장은 T1 처리구가 163.83mm로 T3 처리구에 비하여 17.31mm(11%) 길었음. 이와 같은 결과는 뿌리 무게가 무거웠던 생체중 및 건물중 생육조사 결과와 일치함
- 이것으로 보아 주간 온도가 상승할수록 총 근단수가 감소하여 뿌리 생장이 저하되고, 뿌리뿐만 아니라 잎 또한 무게가 감소하여 생성되는 동화산물의 양이 감소되는 것으로 판단됨

표. 3가지 변온에서 오이 대목 뿌리 조사

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	>2.0mm	
T1	127.00 ± 18.52	24.89 ± 6.86	6.93 ± 3.83	2.63 ± 2.14	2.38 ± 1.74	163.83 ± 27.32
T2	99.01 ± 39.98	28.90 ± 7.45	6.14 ± 2.32	1.88 ± 0.88	2.43 ± 2.87	138.35 ± 46.67
T3	102.83 ± 31.48	31.66 ± 6.50	7.52 ± 3.48	2.15 ± 1.97	2.36 ± 3.01	146.52 ± 36.15
Average	109.61	28.48	6.86	2.22	2.39	147.57

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 두 지표인 DQI와 SHI를 비교 조사한 결과, T1 처리구의 DQI가 가장 높은 값을 보였으며, T2와 T3 처리구는 유사한 값을 나타냄
- SHI 또한 T1이 가장 큰 값을 보이며, 주간 온도가 상승할수록 감소하는 경향을 보임. 이것으로 보아 주간 온도가 상승할수록 묘소질이 감소하게 되어 충실하지 못한 모종을 생산하게 된다고 사료됨. 충실한 모종을 생산하기 위해서는 적정 온도인 26℃로 유지하는 것이 좋다고 판단됨

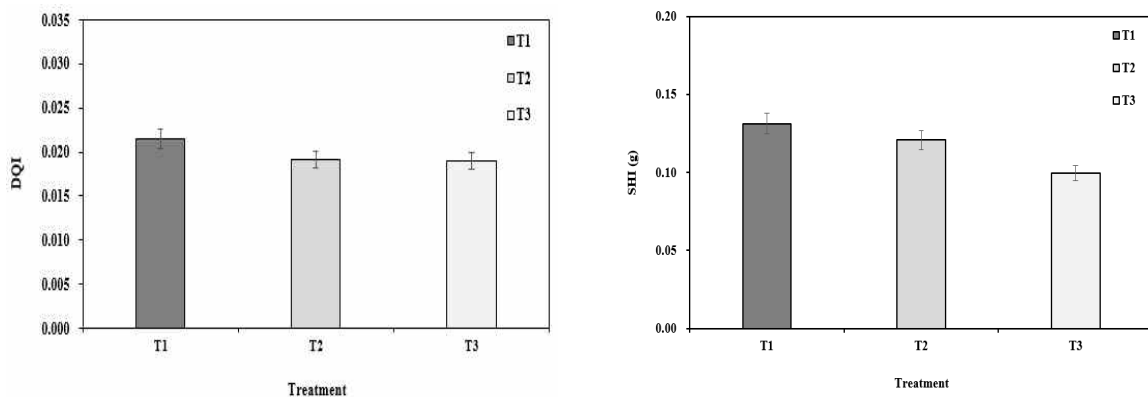


그림. 3가지 변온에서 오이 대목 DQI (좌), SHI (우)

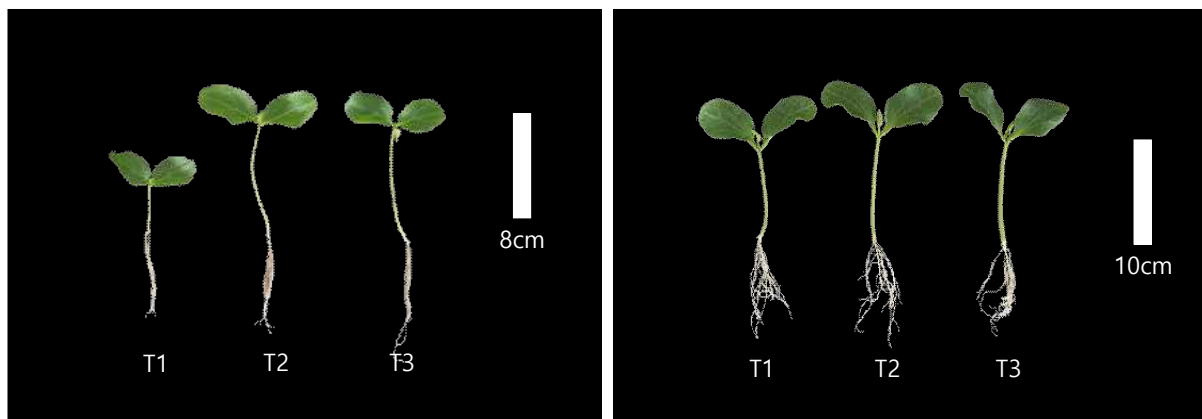


그림. 3가지 변온에서 오이 접수 (좌) 및 대목 (우) 생육

▶ 토마토 접수, 대목 재배시 T1(26/18°C), T2(27/18)°C, T3(28/18°C)의 환경에 따른 생육 특성 조사 결과

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 초장은 6.69cm로 T2 처리구에 비하여 0.36cm(5%) 작음. 하지만, 경경은 2.15mm로 T2 처리구에 비하여 0.37(20%) 두꺼우며, 엽수 또한 4.0ea로 T3 처리구에 비하여 0.5ea(14%) 많았음
- 공정육묘장은 키가 작고 경경이 두꺼운 총실도가 높은 모종을 생산하는 것이 주된 목표임. T1 처리구의 초장이 작으며 경경이 가장 두꺼운 것을 보아 현장에서 필요로 하는 모종의 형태를 띄고 있다고 사료됨
- 특히, 모종의 종합적인 묘소질을 판단하기 위한 총실도를 보았을 때 T1 처리구가 12.74mg·cm⁻¹로 T2 처리구에 비하여 3.2mg·cm⁻¹(33) 높음. 이와 같은 결과는 초장이 작고 경경이 두꺼웠던 결과와 일치함

표. 3가지 변온에서 토마토 접수 지상부 생육조사

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of Leaf (ea)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	6.69 ± 0.92	2.15 ± 0.23	4.0 ± 0.5	12.74 ± 4.08
T2	7.05 ± 1.33	1.78 ± 0.20	3.7 ± 0.8	9.54 ± 3.64
T3	6.33 ± 1.00	1.89 ± 0.29	3.5 ± 0.6	10.67 ± 2.95
Average	6.69	2.00	3.76	10.98

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 접수의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 생체중이 0.564g으로 T3 처리구에 비하여 0.157g(38%) 무거우며, 건물중은 0.064g으로 T3 처리구에 비하여 0.014g(28%) 무거움
- 줄기 생체중은 T1 처리구가 0.361g으로 T3 처리구에 비하여 0.096g(36%) 무겁고, 건물중은 0.019g으로 T3 처리구와는 0.001g(5%) 무겁지만, T2 처리구와는 유의미한 차이가 없었음
- T1의 뿌리 생체중은 0.148g으로 T3 처리구에 비하여 0.003g(2%) 가벼웠고, 건물중은 0.009g으로 T3 처리구에 비하여 0.001g(11%) 가벼웠지만, T2와는 유의미한 차이가 없었음. 하지만, 토마토 접수는 접목 시 지상부를 중점적으로 사용하기 때문에, 뿌리의 생육이 다른 처리구에 비하여 약간 낮은 것은 접목묘에서 유의미한 차이를 주지 않는다고 판단됨

표. 3가지 변온에서 토마토 접수 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.564 ± 0.139	0.361 ± 0.071	0.148 ± 0.041	0.064 ± 0.018	0.019 ± 0.004	0.009 ± 0.003
T2	0.399 ± 0.130	0.316 ± 0.099	0.134 ± 0.055	0.047 ± 0.017	0.019 ± 0.007	0.009 ± 0.004
T3	0.407 ± 0.114	0.265 ± 0.075	0.151 ± 0.051	0.050 ± 0.016	0.018 ± 0.005	0.010 ± 0.003
Average	0.457	0.314	0.145	0.053	0.019	0.009

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 잎 건물중 비율인 LWR과 묘소질을 판단하는 지표인 SHI를 비교 조사한 결과, T1 처리구의 LWR이 가장 높게 나왔으며 T2와 T3 처리구는 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 초기 생육에서 중요한 묘소질을 판단하는 지표인 SHI에서는 T1 처리구가 가장 높게 나왔으며 T3 T2 처리구 순서로 감소하는 경향을 보임
- 이것으로 보아 주간 온도를 26°C로 설정하게 되면, 지상부를 사용하는 접수에서 잎의 비율을 높일 수 있으며, 총실도가 높은 접수를 생산할 수 있을 것이라 사료됨

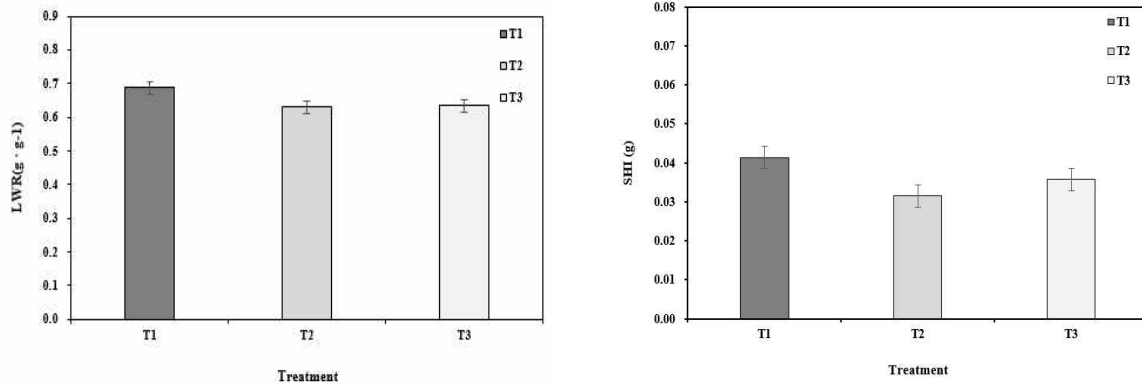


그림. 3가지 변온에서 토마토 접수 LWR(좌), SHI(우)

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 초장이 4.65cm로 T3 처리구에 비하여 1.53cm(49%) 길었고, 경경은 0.23mm(17%) 두꺼웠고, 엽수는 0.7ea(35%) 많았음
- 모종의 종합적인 묘소질을 판단하기 위하여 총실도를 조사한 결과, T1 처리구가 9.44mg·cm⁻¹로 T3 처리구에 비하여 1.95mg·cm⁻¹(26%) 작았음
- 이와 같은 결과는 주간 온도가 상승할수록 생장이 저하되어 초장 및 엽수가 감소하고, 줄기의 굵기 또한 얇아지면서 연질화된 모종의 형태를 나타내고 있음

표. 3가지 변온에서 토마토 대목 지상부 생육조사

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of Leaf (ea)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
T1	4.65 ± 0.61	1.53 ± 0.22	2.7 ± 0.5	9.44 ± 2.45
T2	4.39 ± 0.66	1.45 ± 0.18	2.1 ± 0.4	7.42 ± 1.52
T3	3.12 ± 0.47	1.30 ± 0.19	2.0 ± 0.1	7.49 ± 1.83
Average	4.05	1.43	2.27	8.12

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 대목의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 잎 생체중이 0.292g으로 T3 처리구에 비하여 0.151(207%) 무거웠고, 건물중은 0.035g으로 0.016 (184%) 무거웠음
- 줄기 생체중은 T1 처리구가 0.124g로 T3 처리구에 비하여 0.058g(87%) 무거웠고, 건물중은 0.008g으로 T3 처리구에 비하여 0.003g(60%) 무거웠음. 이와 같은 결과는 초장이 길고 경경이 두꺼웠던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 뿌리 생체중은 T1 처리구가 0.165g으로 T3 처리구에 비하여 0.068g(70%) 무거웠고, 건물중은 0.009g으로 T3 처리구에 비하여 0.004(80%) 무거웠음. 이것으로 보아 지하부를 사용하는 토마토 대목에서 주간 온도를 26 °C로 설정하는 것이 뿌리 발달에 도움을 준다고 사료됨

표. 3가지 변온에서 토마토 대목 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
T1	0.292 ± 0.071	0.124 ± 0.028	0.165 ± 0.054	0.035 ± 0.011	0.008 ± 0.003	0.009 ± 0.003
T2	0.198 ± 0.045	0.102 ± 0.030	0.107 ± 0.035	0.026 ± 0.007	0.007 ± 0.002	0.006 ± 0.002
T3	0.141 ± 0.042	0.066 ± 0.023	0.097 ± 0.034	0.019 ± 0.007	0.005 ± 0.002	0.005 ± 0.002
Average	0.210	0.097	0.123	0.027	0.007	0.007

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 SHI와 뿌리 건물중 비율인 RWR을 비교 조사한 결과, T1 처리구의 SHI가 시험구간 가장 높으며, 주간 온도가 상승할수록 감소하는 경향을

보임

- 토마토 접목묘에서 지하부를 사용하는 대목에서 중요한 지표인 뿌리 건물중 비율을 비교한 결과 T1 처리구의 RWR이 T2 처리구보다 높게 나왔지만, T3 처리구와는 유의미한 차이를 보이지 않았음. 이러한 결과는 T1 처리구의 총 건물중이 T3 처리구의 총 건물중보다 크게 차이가 났기 때문에 유사한 값이 나온 것이라 판단됨. 하지만, 총 건물중이 큰 차이가 있었음에도 유사한 값을 보였다는 것은 뿌리의 발달이 우수하여 뿌리 건물중의 비율이 높았다고 판단됨

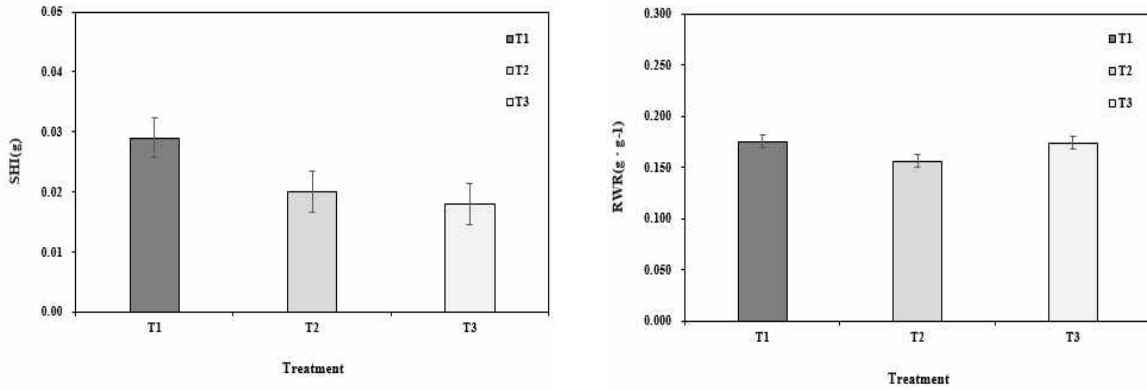


그림. 3가지 변온에서 토마토 대목 SHI (좌), RWR (우)

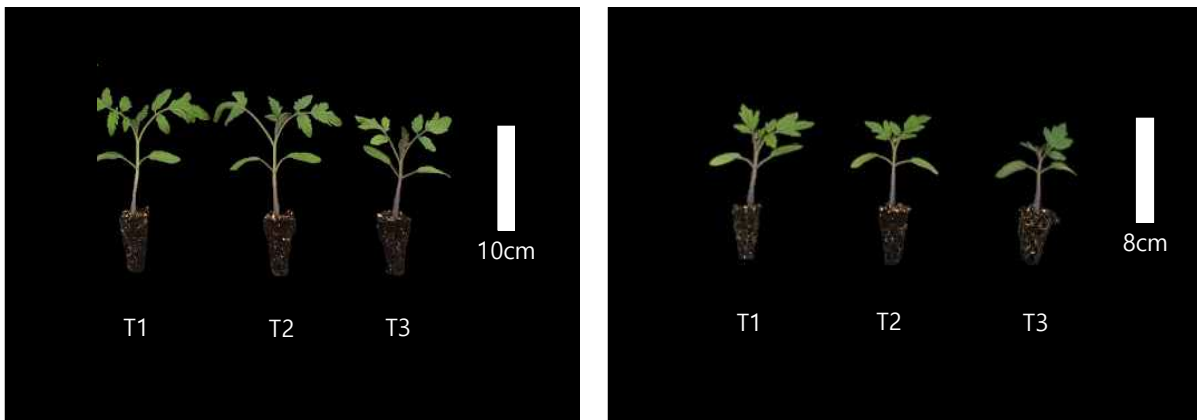


그림. 3가지 변온에서 토마토 접수 (좌) 및 대목 (우) 생육

▶ 오이 접수, 대목 재배시 관행 식물공장 내 환경(25/18℃)과 T1(26/18℃)의 환경에 따른 생육 특성 조사 결과

- 오이 접수 육묘시 변온 처리를 생육 차이 비교 결과, 초장의 경우 대조구의 초장이 처리구에 비해 1.34cm(29%) 더 높은 수치를 보였음
- 잎의 클로로필 함량의 경우 처리구가 대조구 클로로필 함량 48.07보다 7.26(15%) 높았음
- 묘 충실도의 경우 대조구는 9.46 mg·cm⁻¹ 로 처리구에 비해 1.13 mg·cm⁻¹(14%) 더 높았음

표. 오이 접수 육묘 변온 처리 지상부 생육조사

Treatment	Plant Height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	5.90 ± 1.31	1.62 ± 0.39	48.07 ± 3.16	9.46 ± 4.57
T1	4.56 ± 0.80	1.63 ± 0.29	55.33 ± 4.57	8.33 ± 1.75
Average	5.23	1.65	51.70	9.10

- 오이 접수 육묘 시 변온 처리를 통한 생체중, 건물중 비교 결과 대조구가 처리구에 비해 지상부, 지하부 생체중, 건물중 수치가 높았음
- 잎의 생체중의 경우 대조구가 처리구 보다 0.054g(14%) 줄기는 0.090(84%), 뿌리 0.006(14%) 높았음
- 대조구 줄기의 생체중 0.197g의 경우 대조구와 처리구의 경계 차이에 유의성이 없었지만, 초장이 길었던 지상부 생육조사 결과와 일치 하였음

표. 오이 접수 육묘 변온 처리 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.459 ± 0.043	0.197 ± 0.065	0.049 ± 0.011	0.040 ± 0.006	0.011 ± 0.009	0.006 ± 0.008
T1	0.404 ± 0.051	0.107 ± 0.028	0.043 ± 0.008	0.036 ± 0.005	0.003 ± 0.001	0.004 ± 0.002
Average	0.432	0.152	0.046	0.038	0.007	0.005

- 오이 접수 육묘 시 변온 처리 뿌리 발육 조사 결과 대조구의 뿌리가 <0.5mm에서 22.38mm(38%), 0.5~1.0mm에서 0.27mm(2%) 길었음
- 하지만 처리구의 뿌리가 1.0~1.5mm에서 0.41mm(16%), 1.5~2.0mm에서 0.23mm(38%), >2.0mm에서 0.03(9%) 더 길었음

표. 오이 접수 육묘 변온 처리 뿌리 길이

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	>2.0mm	
Control	80.66 ± 14.50	12.74 ± 1.56	2.61 ± 0.55	0.60 ± 0.42	0.35 ± 0.30	96.96 ± 15.33
T1	58.28 ± 16.48	12.47 ± 2.43	3.02 ± 0.69	0.83 ± 0.30	0.38 ± 0.14	74.98 ± 18.93
Average	69.47	12.61	2.82	0.72	0.37	85.97

- 생육조사 지표로 종합하여 줄기의 건물중을 판단하는 지표인 SWR과 지상부 건물중을 판단하는 R/S를 비교 결과 SWR에서 대조구와 처리구가 약 0.09g·g⁻¹(113%)의 차이를 보였다. 이는 대조구의 줄기 건물중과 처리구의 줄기 건물중 생육조사 결과와 일치하였음
- 지상부 건물중을 판단하는 지표인 R/S 또한 대조구와 약 12g·g⁻¹(63%)의 차이를 보였음 이는 대조구의 지상부 건물중과 처리구의 지상부 건물중 생육조사 결과와 일치하였음

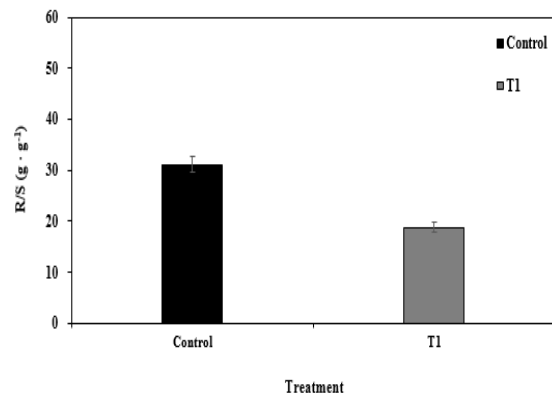
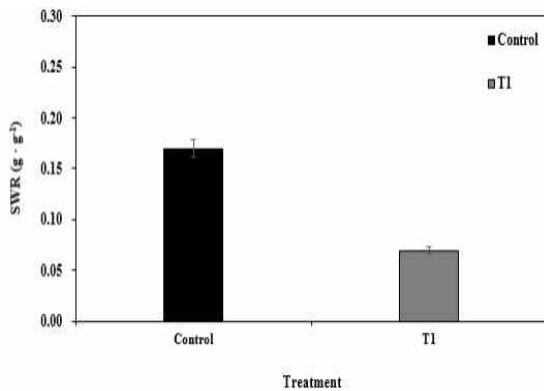


그림. 두가지 변온에서의 오이 접수 비교. SWR (좌), R/S (우)

- 오이 대목 육묘 시 변온 처리에 따른 지상부 생육 비교 결과, 대조구가 처리구에 비해 초장이 0.87cm(12%) 높았음
- 하지만 경경에서는 0.14mm(4%), 묘 충실도에서는 3.53mg·mg⁻¹(17%)의 차이를 보였음
- 대조구의 초장이 처리구 보다 길지만 경경과 묘 충실도는 처리구에 비해 낮은 것으로 보았을 때 대목의 경우 현재 식물공장의 관행 환경에서 도장의 위험성이 있다고 생각됨

표. 오이 대목 육묘시 변온처리 지상부 생육조사

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	8.09 ± 1.85	3.63 ± 0.54	48.07 ± 2.89	20.49 ± 4.64
T1	7.22 ± 1.17	3.77 ± 0.48	55.33 ± 4.04	24.02 ± 4.74
Average	7.66	3.70	66.73	22.25

- 오이 대목 육묘 시 변온 처리에 따른 생체중과 건물중 비교 결과, 생체중의 수치는 처리구가 대조구에 비해 잎 생체중 0.028g(1%), 줄기 생체중 0.045g(6%), 뿌리 생체중 0.205g(30%) 더 높았음
- 하지만 건물중에서 대조구가 처리구에 비해 줄기 건물중 0.205g(8%), 뿌리 건물중 0.002g(8%) 더 높았음

표. 오이 대목 육묘 변온 처리 생체중, 건물중

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	1.918 ± 0.236	0.805 ± 0.177	0.674 ± 0.239	0.117 ± 0.011	0.042 ± 0.004	0.026 ± 0.006
T1	1.946 ± 0.189	0.850 ± 0.131	0.879 ± 0.118	0.130 ± 0.013	0.039 ± 0.012	0.024 ± 0.003
Average	1.932	0.828	0.777	0.124	0.041	0.025

- 변온 처리에 따른 뿌리 발육 조사 결과, 처리구가 대조구의 뿌리보다 0.5~1.0mm에서 3.22mm(13%), 1.0~1.5mm에서 0.04mm(1%)의 차이가 있었음
- 그러나 대조구가 처리구의 뿌리보다 1.5~2.0mm에서 0.63mm(32%), >2.0mm에서 0.59mm(33%) 더 높았음
- 총 뿌리의 길이는 처리구가 대조구에 비해 7.77mm(5%) 높았다, 이는 뿌리 생체중에 생육조사 결과와 일치하였음

표. 오이 대목 육묘 변온 처리 뿌리 길이

Treatment	Root Length (mm)					Total
	<0.5mm	0.5~1.1mm	1.0~1.1mm	1.5~2.1mm	>2.0mm	
Control	117.20 ± 28.86	28.11 ± 9.21	6.97 ± 4.05	2.00 ± 2.17	1.79 ± 1.51	156.06 ± 41.30
T1	127.00 ± 18.52	24.89 ± 6.86	6.93 ± 3.83	2.63 ± 2.14	2.38 ± 1.74	163.83 ± 27.32
Average	122.10	26.50	6.95	2.32	2.09	159.95

- 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 SHI과 지상부 건물중을 판단하는 R/S의 비교 결과 SHI에서 처리구가 대조구에 비해 약 0.02m²·g⁻¹(17%) 높았음 이는 지상부 생육조사에서의 묘 충실도와 결과가 일치함
- 지상부 건물중을 판단하는 R/S는 처리구가 약 1g·g⁻¹(17%)의 차이가 있음, 이는 지상부 건물중에서 줄기 건물중은 유의미한 차이가 없었지만, 잎의 건물중에서 차이가 있었다고 생각됨

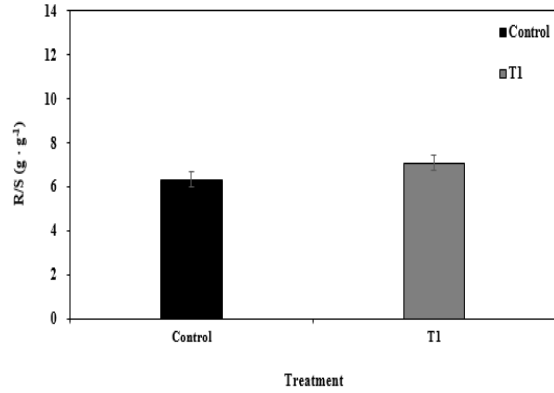
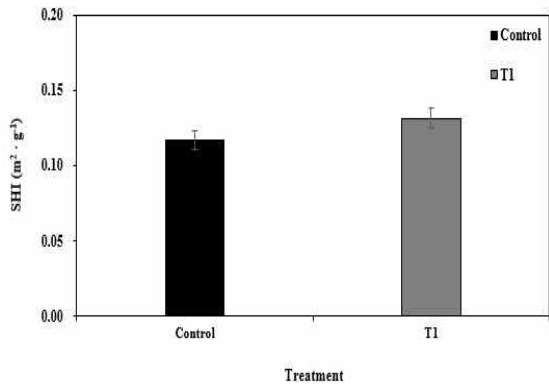


그림. 오이 대목 번온 처리 SHI(좌), R/S(우)

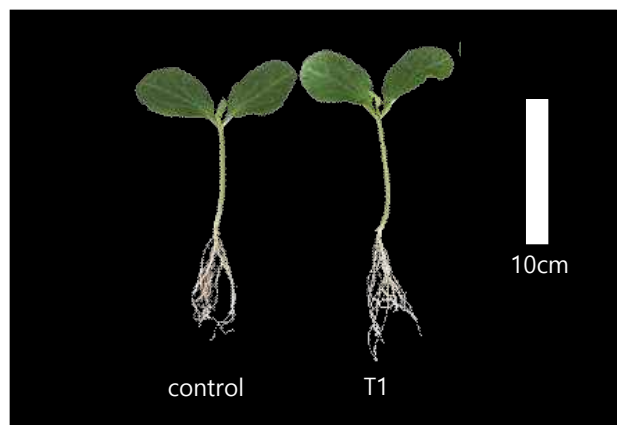


그림. 오이 접수 (좌) 및 대목 (우) 생육

▶ 토마토 접수, 대목 재배시 관행 식물공장 내 환경(25/18℃)과 T1(26/18℃)의 환경에 따른 생육 특성 조사 결과

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과, 대조구의 초장이 9.07cm로 처리구에 비하여 2.38cm(35%) 길었고, 줄기의 경경은 0.28mm(13%) 두꺼웠고, 엽수는 0.3ea(7%) 많았음
- 하지만, 종합적인 묘소질을 판단한 총실도에서는 대조구가 10.20mg·cm⁻¹로 처리구에 비하여 2.54 (24%) 낮았음. 이러한 결과는 초장, 경경, 엽수 모두 대조구가 높지만, 대조구가 초장 대비하여 줄기의 경경이 상대적으로 얇기 때문에 총실도가 낮아지며 도장된 모종의 형태를 나타낸다고 판단됨

표. 2가지 번온에서 토마토 접수 지상부 생육조사

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of Leaf (ea)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	9.07 ± 1.34	2.43 ± 0.34	4.3 ± 0.5	10.20 ± 1.49
T1	6.69 ± 0.92	2.15 ± 0.23	4.0 ± 0.5	12.74 ± 4.08
Average	7.88	2.29	4.17	11.47

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 접수의 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 대조구의 잎 생체중이 0.649g으로 처리구에 비하여 0.085g(15%) 무거웠지만, 건물중은 0.062g으로 처리구에 비하여 0.002g (3%) 가벼움
- 줄기의 생체중은 대조구가 0.647g으로 처리구에 비하여 0.286(79%) 무거우며, 건물중은 0.031g 으로 처리구에 비하여 0.012g(63%) 무거움. 하지만, 줄기 생체중과 건물중의 비율을 보면 대조구가 20.8%,

처리구가 19%로 동화산물의 생산량은 유의미한 차이가 없는 것을 알 수 있음

- 이것으로 보아 대조구의 생체중이 높더라도 잎에서는 건물중이 역전되고, 줄기에서는 유의미한 차이가 나지 않기 때문에 처리구의 환경에서 동화산물의 생산량의 많다는 것으로 사료됨

표. 2가지 변온에서 토마토 접수 생체중, 건물중 조사

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.649 ± 0.119	0.647 ± 0.205	0.190 ± 0.057	0.062 ± 0.013	0.031 ± 0.010	0.011 ± 0.003
T1	0.564 ± 0.139	0.361 ± 0.071	0.148 ± 0.041	0.064 ± 0.018	0.019 ± 0.004	0.009 ± 0.003
Average	0.607	0.504	0.169	0.063	0.025	0.010

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 SHI와 잎 건물중 비율인 LWR를 비교 조사한 결과, 처리구의 SHI가 높은 값을 보이지만, 유의한 차이를 보이지는 않았음
- 접목묘에서 지상부를 사용하는 접수에서 중요한 지표인 잎의 건물중 비율에서는 처리구의 LWR이 대조구에 비하여 유의하게 높았음
- 토마토 접수에서는 잎의 발달이 우수하며 묘소질이 충실한 모종을 생산하기 위해서는 처리구 환경으로 설정하는 것이 좋다고 사료됨

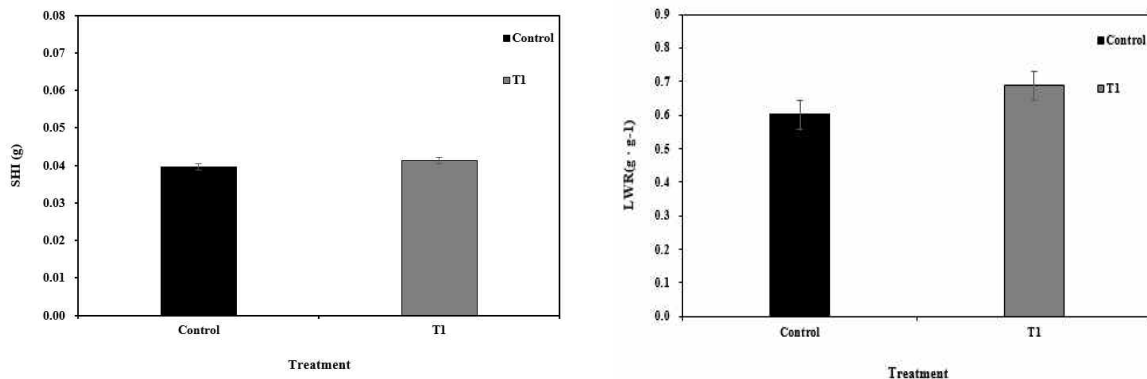


그림. 2가지 변온에서 토마토 접수 LWR(좌), SHI(우)

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과, 대조구의 초장이 5.75cm로 처리구에 비하여 1.1cm(23%) 길었고, 줄기의 경경은 0.51mm(33%) 두꺼웠고, 엽수는 0.2ea(7%) 많았음
- 모종의 종합적으로 묘소질을 판단하는 지표인 총실도는 대조구가 10.01mg·cm⁻¹로 처리구에 0.57mg·cm⁻¹(6%)비하여 높았음. 이것으로 보아 토마토 대목은 대조구의 환경에서 묘소질이 우수한 모종을 생산할 수 있다고 판단됨

표. 2가지 변온에서 토마토 대목 지상부 생육조사

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of Leaf (ea)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	5.75 ± 0.33	2.04 ± 0.16	2.9 ± 0.4	10.01 ± 1.97
T1	4.65 ± 0.61	1.53 ± 0.22	2.7 ± 0.5	9.44 ± 2.45
Average	5.20	1.78	2.77	9.73

- 주간 온도 변화에 따른 토마토 대목의 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 대조구의 잎 생체중이 0.435g으로 처리구에 비하여 0.143g(48%) 무거웠고, 건물중은 0.042g으로 0.007g(20%) 무거움
- 줄기의 생체중은 대조구가 0.279g으로 처리구에 비하여 0.155g(225%) 무거웠고, 건물중은

0.008g(200%) 무거웠음. 이러한 결과는 초장이 길고 경경이 두꺼웠던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음

- 뿌리의 생체중은 대조구가 0.221g으로 처리구에 비하여 0.056g(33%) 무겁고, 건물중은 0.002g (22%) 무거웠음. 이것으로 보아 토마토 접목묘에서 지하부를 사용하는 대목의 지하부를 충실하게 생산하기 위해서는 대조구의 환경이 우수하다고 판단됨

표. 2가지 변온에서 토마토 대목 생체중, 건물중 조사

Treatment	Fresh Weight (g)			Dry Weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.435 ± 0.048	0.279 ± 0.029	0.221 ± 0.060	0.042 ± 0.010	0.016 ± 0.004	0.011 ± 0.003
T1	0.292 ± 0.071	0.124 ± 0.028	0.165 ± 0.054	0.035 ± 0.011	0.008 ± 0.003	0.009 ± 0.003
Average	0.363	0.201	0.193	0.039	0.012	0.010

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 SHI와 줄기 건물중 비율인 SWR을 비교 조사한 결과, 대조구의 SHI가 처리구에 비하여 유의하게 높았음
- 토마토 접목묘에서 대목은 줄기와 뿌리를 사용하고 접수의 무게를 버티기 위해서는 충실한 줄기가 필요하므로, 줄기 건물중 비율을 비교한 결과 대조구의 SWR이 처리구에 비하여 유의하게 높은 값을 보임. 이것으로 보아 대조구의 환경이 처리구의 환경에 비하여 묘소질과 줄기 충실도에 긍정적인 효과를 미친다는 것을 확인할 수 있음

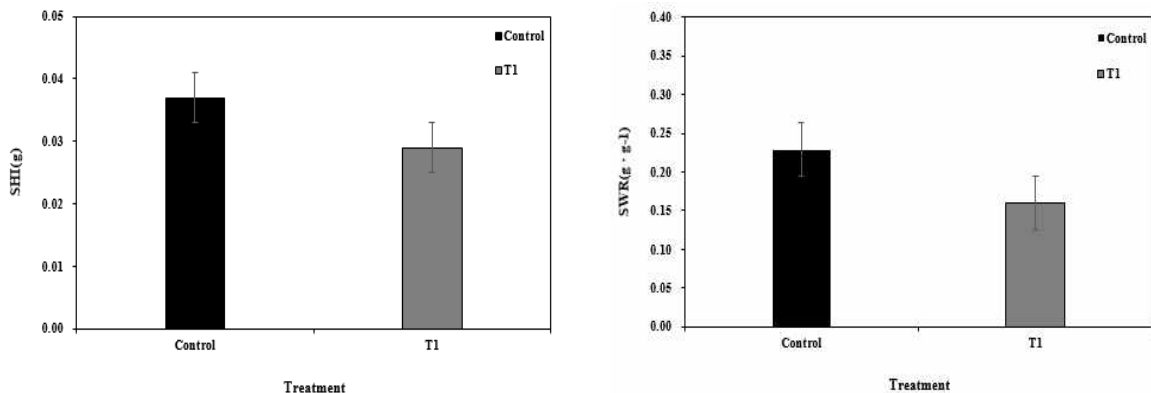


그림. 2가지 변온에서 토마토 대목 SWR(좌), SHI(우)



그림. 토마토 접수 (좌) 및 대목(우)의 생육

◆ 2차년도

▪ 연구내용 1 : 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 순화시 일소현상 저감 효과 규명

▶ 오이 접목묘의 자외선(UV-B) 광선 처리에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

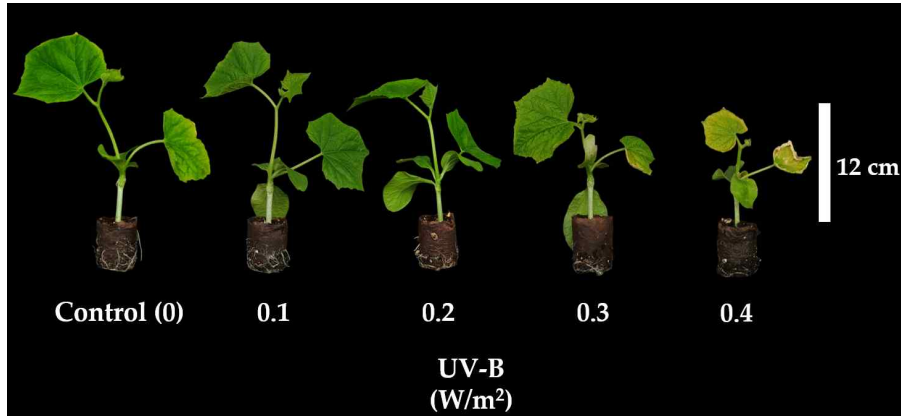


그림. UV-B 강도에 따른 오이 접목묘 생육

- 오이 접목묘에서 UV-B 처리를 통한 생육 조사 결과, 초장은 UV-B의 강도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였음. 단, 무처리와 강도가 가장 약했던 0.1 W/m² 에서는 통계적으로 유의미한 차이가 없었음
- 경경의 경우 강도가 가장 강한 0.4 W/m² 가 1.8로 가장 얇았으며, 큰 차이는 없지만 중간 강도인 0.2와 0.3 W/m² 가 유의하게 가장 큰 값을 보였음
- 초장의 경우와 마찬가지로 SPAD 또한 UV-B의 강도가 강해질수록 감소되는 경향을 보였음
- Fv/Fm의 경우 무처리부터 강도가 비교적 약했던 0.2 W/m² 까지는 정상 범주인 0.8 내외의 값을 보였지만, 강도가 강해질수록 0.70, 0.61로 감소되었음
- 생육 조사 지표들 대부분 UV-B의 강도가 증가할수록 생육이 억제되는 경향을 보였지만, 총실도 부분에서는 UV-B를 처리하였을 때 무처리에 비하여 감소되었지만 통계적으로 유의성은 없었음
- 이와 같이, 오이 접목묘의 UV-B 처리에서 강도가 강해질수록 총실도 부분에서는 큰 차이가 없었지만 초장 및 SPAD, Fv/Fm에서 생육이 억제되는 것을 확인할 수 있었음

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 오이 접목묘의 생육 특성

UV-B (W/m ²)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fv/Fm	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	14.3 ± 3.0 a	2.2 ± 0.4 ab	32.7 ± 2.3 a	0.82 ± 0.01 a	16.5 ± 4.0 a
0.1	14.4 ± 2.5 a	2.2 ± 0.2 ab	29.9 ± 3.1 ab	0.80 ± 0.01 a	15.1 ± 3.3 a
0.2	13.5 ± 2.3 ab	2.3 ± 0.3 a	26.6 ± 6.3 bc	0.81 ± 0.01 a	14.5 ± 2.6 a
0.3	11.8 ± 2.2 b	2.3 ± 0.2 a	24.3 ± 5.8 c	0.70 ± 0.11 b	15.9 ± 5.8 a
0.4	7.9 ± 1.1 c	1.8 ± 0.4 b	20.1 ± 4.4 d	0.61 ± 0.01 c	15.6 ± 4.1 a

- UV-B 처리에 따른 오이 접목묘의 잎에 관한 특성을 비교 조사한 결과, 0.4 W/m² 의 강도를 제외한 UV-B 처리를 하였을 때 무처리보다 엽수가 증가하였음
- 이와 반대로 엽면적은 무처리가 가장 넓었으며, UV-B의 강도가 증가할수록 작아지는 경향을 보였음
- 평균 엽폭 또한 강도가 증가할수록 좁아지는 것을 확인하였음
- 총 엽장도 마찬가지로 강도가 증가할수록 짧아지는 경향을 보였음

- 이와 같이, UV-B의 강도가 증가함에 따라 가장 강한 강도를 제외하고는 엽수가 증가하는 경향을 보였지만 그 외의 엽면적 및 평균 엽폭, 총 엽장에서는 감소되는 것을 보아 오이 잎의 발달에 부정적인 영향을 준다고 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 오이 접목묘의 잎 특성

UV-B (W/m ²)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)	Total leaf length (cm)
0	4.0 ± 0.4 b	97.8 ± 16.9 a	4.5 ± 0.4 a	21.5 ± 2.7 a
0.1	4.5 ± 0.5 ab	94.4 ± 15.7 a	4.4 ± 0.4 ab	21.4 ± 2.4 a
0.2	4.9 ± 0.3 a	71.5 ± 28.6 b	3.8 ± 0.9 bc	18.1 ± 4.2 b
0.3	4.9 ± 0.3 a	57.6 ± 23.7 b	3.4 ± 0.9 c	16.1 ± 2.8 b
0.4	3.1 ± 1.1 b	22.2 ± 10.5 c	2.4 ± 0.5 d	8.6 ± 2.7 c

- UV-B 처리에 따른 오이 접목묘의 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎의 생체중은 UV-B의 강도가 증가할수록 감소하였으며, 건물중 또한 감소하였음. 위의 결과에서 엽수가 증가된 것과는 반대되는 결과임. 하지만 이것은 엽수는 증가하였지만 엽면적, 엽폭 그리고 엽장 모두 강도가 강해질수록 감소하였기 때문이라 판단됨
- 줄기 생체중 또한 무처리와 0.1 W/m² 와는 차이가 없었지만, 그 이상의 UV-B 에서는 강도가 강해질수록 감소하는 경향을 보였음. 하지만 건물중에서는 무처리가 가장 무거웠으며 0.1과 0.2 W/m² 가 유사한 값을 나타내며 감소하였고 강도가 강해질수록 감소하는 것을 유사하였음
- 뿌리 생체중의 경우 무처리가 가장 높았으며 UV-B를 처리하였을 때 무게는 감소하였지만, 강도에 따른 차이는 나타나지 않았음. 이와 다르게, 건물중에서는 무처리에 비하여 0.1 ~ 0.3 W/m² 가 유사한 값을 나타내며 감소하였고 강도가 가장 강했던 0.4 W/m² 가 가장 가벼운 값을 나타내며 강도에 따른 차이를 확인하였음
- 위의 생육과 마찬가지로 초장 및 엽면적이 모두 감소하였기 때문에 잎과 줄기의 생체중 및 건물중이 모두 감소하였으며 생육을 억제하였다고 판단됨. 뿌리에서도 지상부 만큼은 아니지만 UV-B 처리가 지하부에도 억제적인 영향이 있다고 생각됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 오이 접목묘의 무게 특성

UV-B (W/m ²)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	1.91 ± 0.33 a	1.59 ± 0.35 a	0.71 ± 0.13 a	0.164 ± 0.031 a	0.064 ± 0.015 a	0.028 ± 0.007 a
0.1	1.92 ± 0.27 a	1.51 ± 0.24 a	0.58 ± 0.06 b	0.156 ± 0.028 ab	0.060 ± 0.013 ab	0.025 ± 0.003 ab
0.2	1.61 ± 0.55 ab	1.38 ± 0.29 ab	0.62 ± 0.08 b	0.138 ± 0.042 ab	0.056 ± 0.013 ab	0.026 ± 0.005 ab
0.3	1.45 ± 0.46 b	1.15 ± 0.17 b	0.57 ± 0.10 b	0.126 ± 0.036 b	0.052 ± 0.006 bc	0.024 ± 0.006 ab
0.4	0.73 ± 0.29 c	0.85 ± 0.11 c	0.57 ± 0.07 b	0.081 ± 0.021 c	0.041 ± 0.009 c	0.020 ± 0.004 b

▶ 토마토 접목묘의 자외선(UV-B) 광선 처리에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

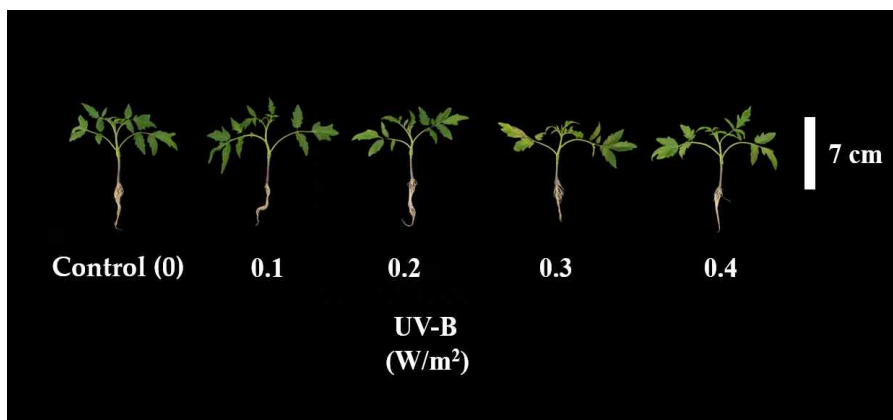


그림. UV-B 강도에 따른 토마토 접목묘 생육

- UV-B 처리에 따른 토마토 접목묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장의 경우 UV-B를 처리하였을 때 유의한 차이를 나타내지 않았음
- 경경의 경우 0.1 W/m² 가 1.6 mm로 가장 두꺼웠음
- SPAD를 확인해본 결과 무처리와 비교적 강도가 약한 0.2 W/m²까지는 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 강도가 점차 강해질수록 감소하는 경향을 보였음
- Fv/Fm은 처리구간 통계적 유의성은 없지만, UV-B의 강도가 0.2 W/m² 이상으로 강해질수록 정상 범주인 0.8보다 낮아지는 것을 확인할 수 있음
- 총실도를 비교하였을 때 0.1 W/m² 가 무처리 및 다른 처리구에 비하여 18.1 mg·cm⁻¹ 로 가장 높은 값을 나타내었음. 또한, 다른 UV-B 처리구 모두 무처리에 비하여 증가된 것을 확인할 수 있음
- 토마토의 경우 UV-B 처리를 하였을 때 생육이 억제되는 것이 아니라 경경 및 총실도 부분에서 무처리에 비하여 오히려 생육이 긍정적인 영향을 준다고 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 토마토 접목묘의 생육 특성

UV-B (W/m ²)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fv/Fm	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	6.6 ± 0.7 a	1.3 ± 0.2 a	36.4 ± 2.9 a	0.82 ± 0.01 a	13.6 ± 2.4 b
0.1	6.5 ± 0.5 a	1.6 ± 0.1 b	34.5 ± 4.4 a	0.81 ± 0.01 a	18.1 ± 2.9 a
0.2	6.8 ± 0.5 a	1.4 ± 0.2 a	31.8 ± 8.6 a	0.79 ± 0.03 a	15.1 ± 5.3 ab
0.3	6.7 ± 0.7 a	1.3 ± 0.1 a	25.7 ± 7.5 b	0.77 ± 0.09 a	14.1 ± 2.8 b
0.4	7.0 ± 0.6 a	1.3 ± 0.2 a	20.8 ± 6.3 b	0.78 ± 0.03 a	14.2 ± 2.5 b

- UV-B 처리에 따른 잎의 특성을 비교 조사한 결과 무처리에 비하여 UV-B를 조사하였을 때 엽수가 소량 증가하는 경향을 보였음. 그 중 0.2와 0.4 W/m² 가 전 처리구 중 가장 많은 엽수를 가졌음
- 엽면적은 무처리에 비하여 0.3 W/m² 가 가장 작은 값을 보였으며 0.1 W/m² 가 가장 넓은 엽면적을 나타냈음
- 평균 엽폭은 UV-B를 처리한 모든 처리구가 무처리에 비하여 높은 값을 보였으며 0.2 및 0.3 W/m² 가 가장 길었음
- 이와 달리 총 엽장에서는 0.1 W/m²를 제외한 UV-B 처리구는 무처리에 비하여 감소하였음
- 이것으로 보아 너무 강한 UV-B의 강도는 토마토의 잎 생장에 부정적인 영향을 미칠 수 있지만 0.1 W/m² 정도의 적절한 UV-B를 조사하였을 때 보다 많고 넓은 잎을 생산할 수 있을 것이라 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 토마토 접목묘의 잎 특성

UV-B (W/m ²)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)	Total leaf length (cm)
0	4.5 ± 0.5 b	28.9 ± 5.9 ab	1.4 ± 0.2 b	19.9 ± 2.8 a
0.1	4.9 ± 0.5 ab	33.6 ± 5.2 a	1.6 ± 0.2 ab	20.4 ± 2.9 a
0.2	5.1 ± 0.5 a	29.6 ± 5.8 ab	1.7 ± 0.2 a	18.0 ± 4.2 ab
0.3	4.9 ± 0.7 ab	27.8 ± 4.5 b	1.7 ± 0.2 a	16.4 ± 2.4 b
0.4	5.2 ± 0.4 a	30.0 ± 4.3 ab	1.6 ± 0.1 ab	18.1 ± 1.7 ab

- UV-B 처리에 따른 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중은 무처리구와 0.2 W/m² 이상의 강도에서는 큰 차이가 없었지만, 0.1 W/m²에서는 0.89 g 으로 가장 컸음. 하지만, 건물중 부분에서는 처리구간 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 줄기 생체중 또한 잎 생체중과 비슷하게 무처리와 0.2 W/m² 이상의 강도는 큰 차이가 없었으며 0.1 W/m² 가 가장 무거웠음. 건물중에서는 잎과 다르게 무처리가 가장 작았고 0.1 W/m² 가 가장 크게 나타났음
- 뿌리의 생체중 및 건물중은 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 위의 생육 및 잎의 지표를 종합하여 보았을 때 토마토 접목묘의 경우 고강도의 UV-B는 식물체에 부정적인 영향을 줄 수 있지만, 적절한 광도 (0.1 W/m²) 를 조사한다면 보다 건실한 묘를 생산할 수 있을 것이라 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 토마토 접목묘의 무게 특성

UV-B (W/m ²)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0.73 ± 0.11 b	0.43 ± 0.09 b	0.21 ± 0.04 a	0.066 ± 0.014 a	0.024 ± 0.008 b	0.013 ± 0.003 a
0.1	0.89 ± 0.12 a	0.50 ± 0.06 a	0.25 ± 0.05 a	0.086 ± 0.015 a	0.031 ± 0.006 a	0.015 ± 0.003 a
0.2	0.78 ± 0.16 ab	0.48 ± 0.09 ab	0.22 ± 0.07 a	0.078 ± 0.037 a	0.027 ± 0.007 ab	0.021 ± 0.028 a
0.3	0.75 ± 0.13 b	0.43 ± 0.06 b	0.21 ± 0.05 a	0.067 ± 0.015 a	0.026 ± 0.003 ab	0.012 ± 0.003 a
0.4	0.79 ± 0.13 ab	0.45 ± 0.04 ab	0.20 ± 0.03 a	0.074 ± 0.011 a	0.025 ± 0.007 ab	0.012 ± 0.002 a

▶ 토마토 실생묘의 자외선(UV-B) 광선 처리에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

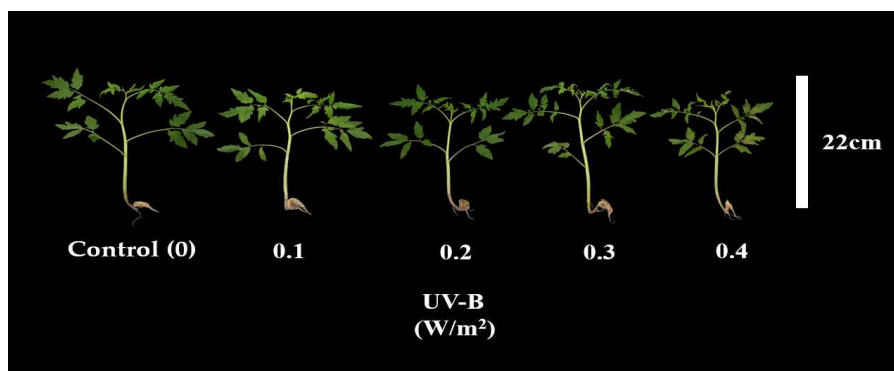


그림. UV-B 강도에 따른 토마토 실생묘 생육

- UV-B 처리에 따른 토마토 실생묘의 생육 특성이 비교 조사한 결과 접목묘와 동일하게 초장의 경우 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 하지만, 경경 및 SPAD에서 차이가 났던 접목묘와는 다르게 실생묘에서는 유의미한 차이가 없었음
- Fv/Fm은 UV-B를 처리하였을 경우 무처리에 비하여 모두 감소하는 경향을 보였지만, 0.3 W/m²까지는 정상 범주인 0.8안에 포함됨. 하지만, 강도가 가장 강한 0.4 W/m²의 경우는 정상 범주보다 떨어지는 것을 확인할 수 있음
- 총실도는 무처리가 가장 높았으며 UV-B를 처리한 경우 정도의 차이는 있지만, 전체적으로 감소하는 경향을 보임
- 이것으로 보아 초장 및 경경, SPAD에서는 UV-B 처리에 따른 차이가 없었지만, 종합적 생육의 중요한 지표인 Fv/Fm과 총실도 부분에서 강도가 강할수록 식물체에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보임

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 토마토 실생묘의 생육 특성

UV-B (W/m ²)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fv/Fm	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	22.1 ± 1.4 a	1.5 ± 0.1 a	38.3 ± 5.4 a	0.83 ± 0.01 a	16.8 ± 1.6 a
0.1	20.3 ± 1.3 a	1.5 ± 0.3 a	38.1 ± 3.6 a	0.81 ± 0.02 ab	13.3 ± 2.1 bc
0.2	21.0 ± 3.1 a	1.3 ± 0.2 a	39.2 ± 4.5 a	0.82 ± 0.01 ab	15.1 ± 2.3 ab
0.3	21.6 ± 1.7 a	1.5 ± 0.3 a	38.5 ± 3.0 a	0.81 ± 0.01 ab	14.0 ± 2.6 bc
0.4	20.3 ± 1.3 a	1.5 ± 0.2 a	38.3 ± 4.3 a	0.79 ± 0.03 b	12.3 ± 1.9 c

- UV-B 처리에 따른 잎의 특성을 비교 조사한 결과 엽수는 무처리가 가장 많았으며 UV-B를 조사한 경우 감소하는 경향을 보였음. 하지만, 강도가 강해질수록 감소하는 경향은 없었음
- 이와 달리 엽면적은 무처리가 113.9 cm²로 UV-B 처리구에 비하여 월등히 넓었으며 0.4 W/m²가 64.4 cm²로 거의 절반의 값에 가깝게 줄어들었음
- 평균 엽폭 또한 무처리에 비하여 UV-B 처리구가 짧아지는 경향이 있었으며 강도가 가장 강한 0.4 W/m²가 1.9 cm로 가장 짧은 값을 보였다
- 총 엽장에서도 마찬가지로 무처리가 가장 길었으며 UV-B의 강도가 0.2 W/m² 이상으로 증가할수록 짧아지는 경향을 보임
- 이것으로 보아, 엽면적 및 평균 엽폭, 총 엽장의 수치가 UV-B의 강도가 강해질수록 감소하는 경향을 보였으며 UV-B가 잎의 성장에 억제적인 역할을 한다고 판단됨

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 토마토 실생묘의 잎 특성

UV-B (W/m ²)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)	Total leaf length (cm)
0	6.7 ± 0.5 a	113.9 ± 12.5 a	2.7 ± 0.2 a	41.5 ± 3.4 a
0.1	5.8 ± 0.6 b	82.4 ± 13.5 b	2.0 ± 0.3 bc	40.8 ± 5.1 a
0.2	5.9 ± 0.3 b	84.6 ± 22.4 b	2.1 ± 0.4 bc	40.8 ± 14.1 a
0.3	6.3 ± 0.6 ab	82.0 ± 20.8 b	2.3 ± 0.3 b	34.7 ± 5.8 ab
0.4	6.2 ± 0.4 b	64.4 ± 13.0 c	1.9 ± 0.2 c	32.4 ± 5.9 c

- UV-B 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 감소한 것과 마찬가지로 잎 생체중 또한 UV-B 처리를 하였을 때 감소하였음. 하지만, 강도가 강해짐에 따라 수치는 어느 정도 감소하였지만 통계적으로 유의성은 없었음. 건물중 또한 유사한 경향을 나타냄
- 이와 반대로 초장 및 경경에서는 처리구간 유의적 차이가 없었지만, 줄기 생체중은 UV-B를 처리하였을 때 무처리에 비하여 감소하였고 가장 강한 0.4 W/m² 가 가장 가벼웠음. 건물중 또한 0.4 W/m² 가 가장 가벼운 값을 보였음
- 뿌리의 생체중 및 건물중 또한 무처리가 가장 무거웠으며 UV-B 처리를 하였을 때 무게가 감소하는 경향을 보였음. 하지만, 강도에 따른 차이는 나타나지 않았음
- 이것으로 보아 UV-B는 식물체의 바이오메스를 늘리는 것에 대해 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 토마토 실생묘의 무게 특성

UV-B (W/m ²)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	3.11 ± 0.26 a	4.02 ± 0.48 a	1.40 ± 0.23 a	0.239 ± 0.033 a	0.133 ± 0.020 a	0.067 ± 0.001 a
0.1	2.26 ± 0.34 b	3.14 ± 0.40 bc	1.04 ± 0.26 b	0.169 ± 0.031 b	0.102 ± 0.015 b	0.049 ± 0.011 b
0.2	2.41 ± 0.61 b	3.30 ± 1.01 bc	0.99 ± 0.20 b	0.179 ± 0.048 b	0.142 ± 0.034 a	0.025 ± 0.019 c
0.3	2.40 ± 0.55 b	3.52 ± 0.80 ab	0.97 ± 0.18 b	0.188 ± 0.045 b	0.117 ± 0.028 ab	0.052 ± 0.001 b
0.4	1.99 ± 0.34 b	2.76 ± 0.53 c	0.89 ± 0.18 b	0.161 ± 0.301 b	0.091 ± 0.033 b	0.048 ± 0.007 b

▶ 수박 접목묘의 자외선(UV-B) 광선 처리에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

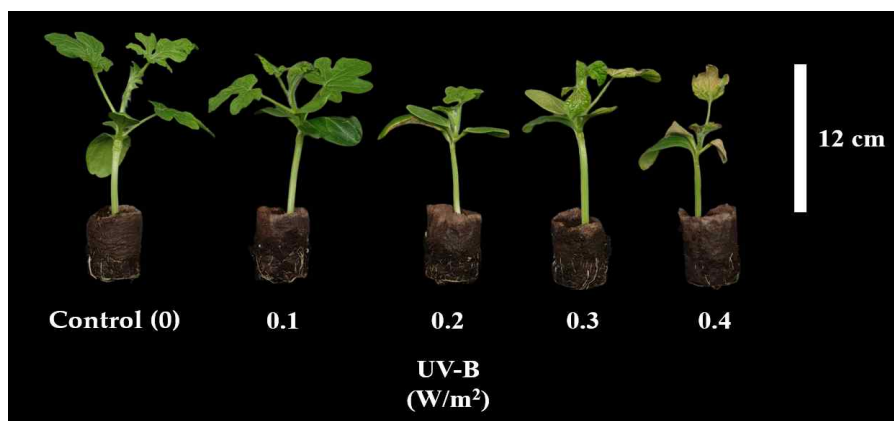


그림. UV-B 강도에 따른 수박 접목묘 생육

- UV-B 처리에 따른 수박 접목묘의 생육 특성일 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 가장 길었으며 UV-B의 강도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였음
- 경경 또한 무처리구에 비하여 UV-B를 조사하였을 때 얇아졌음
- SPAD는 무처리구와 강도가 가장 약한 0.1 W/m² 는 유의적인 차이가 없었지만, 그 이후의 강도에서는 점차 감소하였음
- Fv/Fm도 SPAD와 유사한 양상으로 0.2 W/m² 까지 조사하였을 때는 무처리와 큰 차이가 없었지만 그 이상의 강도로 갈수록 감소하였음

- 전체적인 생육이 UV-B의 강도가 강해질수록 저하되는 경향이 있었기 때문에 총실도 또한 무처리가 가장 우수하였으며 강도가 강해질수록 총실도가 떨어지는 경향이 있었음

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 수박 접목묘의 생육 특성

UV-B (W/m ²)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fv/Fm	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	10.4 ± 1.1 a	3.0 ± 0.7 a	37.0 ± 2.3 a	0.74 ± 0.01 a	21.2 ± 3.7 a
0.1	10.1 ± 1.1 a	2.8 ± 0.4 ab	38.1 ± 3.8 a	0.75 ± 0.03 a	14.9 ± 3.6 b
0.2	9.6 ± 1.7 ab	2.6 ± 0.4 ab	33.6 ± 6.2 ab	0.77 ± 0.01 a	13.5 ± 2.6 bc
0.3	8.6 ± 1.1 b	2.4 ± 0.5 b	30.7 ± 5.9 b	0.69 ± 0.08 ab	11.5 ± 3.5 c
0.4	8.8 ± 0.7 b	2.7 ± 0.4 ab	30.8 ± 4.3 b	0.65 ± 0.09 b	12.1 ± 1.3 bc

- UV-B 처리에 따른 잎의 특성일 비교 조사한 결과 엽수 부분에서 UV-B를 조사함에 따라 감소하는 경향은 나타나지 않았음
 - 하지만, 엽면적 부분에서 무처리구가 63.3 cm² 로 가장 넓었으며 강도가 가장 강한 0.4 W/m² 가 13.5 cm² 로 크게 감소한 것을 확인하였음
 - 평균 엽폭 또한 무처리가 가장 길었으며 UV-B 조사 강도에 따라 감소하는 경향을 보임
 - 총 엽장은 무처리 구에 비하여 UV-B 처리가 감소하는 것은 동일하였으나, 0.2 W/m² 의 강도 이상에서는 유의미한 차이를 보이지 않았음
 - 이것으로 보아, UV-B는 강도가 강해짐에 따라 수박 접목묘의 잎 생장에 억제적인 작용이 강해진다는 것을 확인할 수 있었음

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 수박 접목묘의 잎 특성

UV-B (W/m ²)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)	Total leaf length (cm)
0	5.4 ± 0.7 a	63.3 ± 13.3 a	2.5 ± 0.4 a	26.6 ± 8.8 a
0.1	5.2 ± 0.9 a	28.8 ± 11.1 b	1.5 ± 0.2 b	18.3 ± 7.7 b
0.2	5.0 ± 1.2 a	19.8 ± 6.4 c	1.5 ± 0.3 bc	12.9 ± 3.6 c
0.3	4.7 ± 0.8 a	14.8 ± 8.6 c	1.2 ± 0.5 bc	11.1 ± 2.7 c
0.4	5.1 ± 0.9 a	13.5 ± 3.3 c	1.1 ± 0.3 c	12.0 ± 2.4 c

- UV-B 처리에 따른 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 UV-B를 처리하였을 때와 마찬가지로 잎 생체중에서 무처리가 1.69g 및 강도가 가장 강한 0.4 W/m² 가 0.44로 크게 감소한 것을 확인할 수 있음. 건물중 또한 유사한 경향을 띄고 있음
 - 초장에서 감소하는 경향은 있었지만 그 정도가 엽면적보다는 크지 않았기 때문에 0.1과 0.2 W/m² 가 유사했고 0.3과 0.4 W/m² 가 유사하게 무처리보다 감소하였음. 건물중에서도 0.2 W/m² 의 값이 0.1 W/m² 보다 미세하게 무거웠지만 비슷한 양상이었음
 - 뿌리 생체중은 무처리에 비하여 UV-B를 조사하였을 때 모두 감소하였으며 0.3 W/m² 가 가장 가벼운 값을 보였으며 건물중 또한 비슷한 경향이었음
 - 이것으로 보아, UV-B는 수박의 바이오메스 축적에 부정적인 영향을 미치며 그 정도는 잎의 부분에서 가장 컸다고 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 수박 접목묘의 무게 특성

UV-B (W/m ²)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	1.69 ± 0.36 a	1.64 ± 0.22 a	0.62 ± 0.06 a	0.151 ± 0.029 a	0.068 ± 0.001 a	0.024 ± 0.002 a
0.1	0.80 ± 0.17 b	1.41 ± 0.19 b	0.48 ± 0.08 b	0.081 ± 0.017 b	0.058 ± 0.001 b	0.018 ± 0.002 b
0.2	0.65 ± 0.19 bc	1.42 ± 0.18 b	0.49 ± 0.06 b	0.074 ± 0.020 bc	0.061 ± 0.011 ab	0.018 ± 0.003 b
0.3	0.49 ± 0.21 c	1.10 ± 0.21 c	0.35 ± 0.09 c	0.051 ± 0.020 d	0.048 ± 0.010 c	0.015 ± 0.003 c
0.4	0.44 ± 0.12 c	1.12 ± 0.12 c	0.45 ± 0.37 b	0.058 ± 0.010 cd	0.049 ± 0.006 c	0.016 ± 0.001 bc

▶ 고추 실생묘의 자외선(UV-B) 광선 처리에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

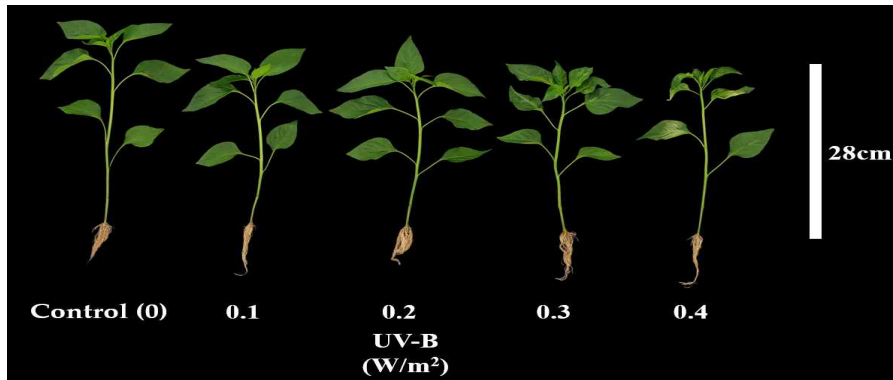


그림. UV-B 강도에 따른 고추 실생묘 생육

- UV-B 처리에 따른 고추 접목묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리에 비하여 UV-B를 조사하였을 때 초장은 감소하였지만, UV-B의 강도별 감소의 정도는 차이가 없었음
- 경경은 무처리 및 UV-B 처리구와 유의적인 차이가 없었음
- 이와 반대로 SPAD는 0.3 W/m² 가 44.9 로 가장 높았으며 0.4 W/m² 38.6 으로 가장 낮았음
- Fv/Fm은 무처리와 0.3 W/m² 까지는 차이가 없었지만 0.4 W/m² 는 0.71 로 떨어졌으며 정상 범주 아래로 내려간 것을 확인하였음
- 이와 마찬가지로 총실도는 0.3 W/m² 이하의 강도에서는 유의미한 차이가 없었으나 0.4 W/m² 에서 20.8 mg·cm⁻¹ 로 가장 낮은 값을 보였음
- 이것으로 보아, 고추 실생묘는 UV-B를 조사하였을 때 초장 억제의 효과를 확인할 수 있었지만, 0.4 W/m² 의 광도를 조사한다면 작물 생장 및 품질에 악영향을 미친다고 판단됨

표. 자외선(UV-B) 처리에 따른 고추 실생묘의 생육 특성

UV-B (W/m ²)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fv/Fm	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	27.2 ± 1.6 a	1.9 ± 0.2 a	41.1 ± 2.0 ab	0.83 ± 0.01 a	22.4 ± 3.2 a
0.1	23.5 ± 1.5 b	2.1 ± 0.3 a	41.5 ± 1.5 ab	0.82 ± 0.01 a	25.3 ± 2.9 a
0.2	24.3 ± 1.9 b	2.1 ± 0.2 a	42.2 ± 3.9 ab	0.81 ± 0.01 a	24.7 ± 4.0 a
0.3	24.2 ± 2.1 b	2.1 ± 0.2 a	44.9 ± 4.4 a	0.82 ± 0.01 a	23.1 ± 2.3 a
0.4	24.3 ± 1.2 b	2.0 ± 0.3 a	38.6 ± 10.5 b	0.71 ± 0.07 b	20.8 ± 3.6 b

- UV-B 처리에 따른 잎의 특성을 비교 조사한 결과 엽수는 처리구 간 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 무처리 및 0.3 W/m² 에서 유의적 차이가 없었으며 0.4 W/m² 가 121.9 cm² 로 가장 작았음
- 평균 엽폭은 무처리에 비하여 0.4 W/m² 를 제외한 UV-B 처리구가 소폭 증가하는 경향이 있었으며, 0.4 W/m² 가 2.2 cm 로 가장 짧았음
- 이와 반대로 총 엽장은 무처리가 가장 길었으며 UV-B를 조사하였을 때 감소하는 경향을 보임
- 이것으로 보아 UV-B를 조사하였을 때 엽면적은 비슷하지만 잎이 넓고 짧아지는 경향을 확인할 수 있었으며, 0.4 W/m² 로 조사하였을 때 가장 생육이 억제된 것을 확인할 수 있음

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 고추 실생묘의 잎 특성

UV-B (W/m ²)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)	Total leaf length (cm)
0	9.3 ± 0.6 a	156.9 ± 11.5 b	2.5 ± 0.2 b	62.1 ± 5.6 a
0.1	9.5 ± 0.7 a	155.9 ± 17.2 b	3.7 ± 0.3 a	41.6 ± 5.1 c
0.2	9.5 ± 0.7 a	158.9 ± 16.4 b	3.6 ± 0.5 a	44.3 ± 6.4 c
0.3	9.4 ± 0.6 a	145.6 ± 15.7 b	3.5 ± 0.5 a	41.2 ± 4.1 c
0.4	9.1 ± 0.7 a	121.9 ± 22.8 a	2.2 ± 0.4 b	54.8 ± 12.3 b

- UV-B 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중은 무처리와 0.3 W/m² 까지 유의미한 차이가 없었으며 0.4 W/m² 가 2.82 g 으로 가장 낮은 값을 보였음. 이와 달리 건물중은 0.1 과 0.2 W/m² 가 유의적으로 높게 나타났는데, 이것은 생체중에서 통계적 차이는 없었지만 무게가 약 0.3~4g 정도 차이가 났기 때문이라 판단됨. 가장 낮은 값은 0.4 W/m² 로 생체중과 동일하였음
- 줄기 생체중은 무처리가 가장 높았으며 UV-B를 조사하였을 때 감소하는 경향을 보임. 건물중 또한 비슷한 양상을 보였으며 0.3과 0.4 W/m² 가 가장 가벼웠음
- 뿌리 생체중 및 건물중에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 이것으로 보아, 고추 실생묘는 UV-B를 조사하였을 때 잎과 줄기의 생체중 및 건물중 감소는 발생하였지만 그 정도가 크지 않았으며 지하부에 영향이 크지 않다고 판단됨

표. 자와선(UV-B) 처리에 따른 고추 실생묘의 무게 특성

UV-B (W/m ²)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	3.39 ± 0.28 a	2.81 ± 0.24 a	1.01 ± 0.22 a	0.367 ± 0.044 ab	0.239 ± 0.019 a	0.089 ± 0.021 a
0.1	3.60 ± 0.32 a	2.52 ± 0.29 bc	1.01 ± 0.21 a	0.389 ± 0.043 a	0.206 ± 0.021 b	0.089 ± 0.017 a
0.2	3.83 ± 0.34 a	2.65 ± 0.19 ab	0.97 ± 0.14 a	0.387 ± 0.049 a	0.207 ± 0.015 b	0.081 ± 0.013 a
0.3	3.68 ± 0.17 a	2.51 ± 0.25 bc	0.96 ± 0.10 a	0.368 ± 0.021 ab	0.188 ± 0.015 c	0.082 ± 0.001 a
0.4	2.82 ± 1.02 b	2.36 ± 0.21 c	0.83 ± 0.20 a	0.326 ± 0.072 b	0.177 ± 0.022 c	0.075 ± 0.019 a

- 작물별 UV-B 에 대한 민감도를 비교하기 위하여 무처리의 초장을 100 %로 하여 UV-B 의 강도가 증가함에 따라 얼마나 감소하는지 비교하였음
- 수박은 UV-B 의 강도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있었지만 그 정도가 크진 않았음. 강도가 가장 강한 0.4 로 처리하였을 때 무처리 대비 84 % 로 약 16 % 감소하였음
- 오이는 수박과 다르게 0.4에서 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었음. UV-B를 0.4 로 처리하였을 때 무처리 대비 55% 로 약 45 % 감소하였음
- 접목 토마토는 UV-B를 처리하였을 때 감소하였으나 농도에 따른 감소 정도는 나타나지 않았음. 그 중 0.4 로 처리하였을 때 가장 작았으며 무처리 대비 92 % 로 8% 감소하였음
- 일반 토마토는 UV-B를 조사하였을 때 오히려 증가하는 농도도 있었음. 하지만, 잎에 장해를 입는 것은 동일하였기 때문에 기본적인 초장이 큰 상태로 처리를 한 영향이라 판단됨
- 고추에서도 UV-B 처리를 하였을 때 감소하는건 같았으나 농도에 따른 경향성은 나타나지 않았음. 그 중 0.4 로 처리하였을 때 무처리 대비 89 % 로 11 % 감소하였음
- 이것으로 보아 오이에서 가장 큰 감소 수치를 보였으며 수박 또한 토마토나 고추보다 감소 수치가 높았기 때문에 박과 육묘에서 UV-B를 사용할 때 보다 적절한 세기 조절이 필요하다고 생각됨

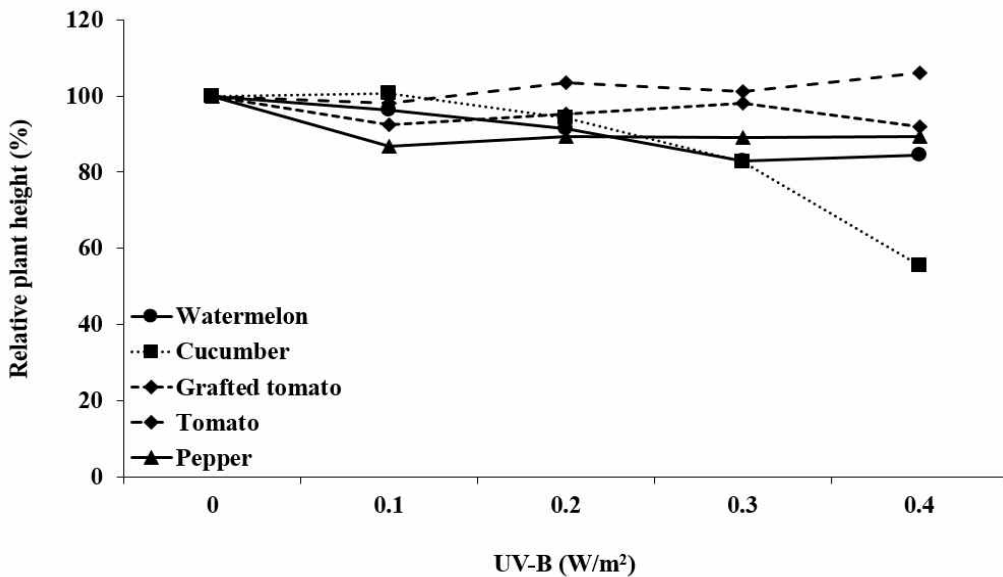


그림. UV-B 강도에 따른 작물별 상대 초장

▪ 연구내용 2 : 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 접목 스트레스 내성 증진 효과 검토

- 토마토 접목묘 육묘 시 고농도 Potassium 처리로 인한 접목 스트레스 내성 증진 효과

▶ 토마토 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 농도 (EC 0(Control), 2, 4, 6, 8, 10)에 따른 생육 특성 조사 결과

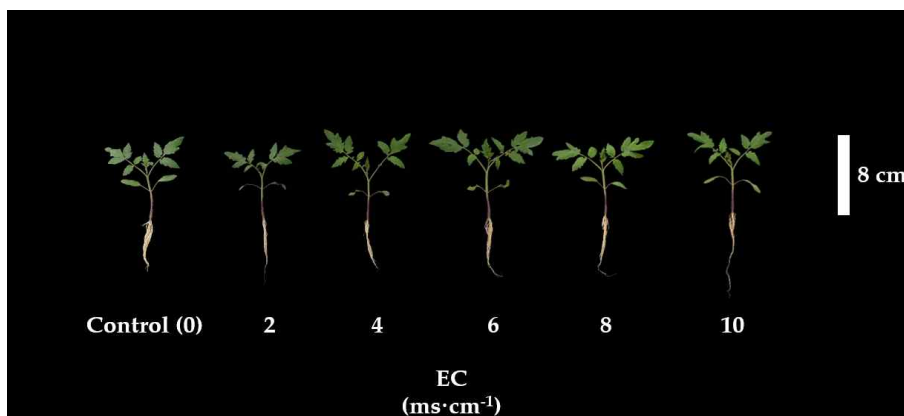


그림. Postassium 의 농도에 따른 토마토 접수 생육

- Potassium의 농도별 처리 이후 토마토 접수의 생육을 비교 조사한 결과 농도가 높아질수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며 무처리와 가장 고농도(EC 10)의 차이는 약 1.7cm 정도였음
- 경경 또한 무처리에 비하여 두꺼워지는 경향이 있었으며 EC 6으로 처리하였을 때 1.5 mm로 가장 굵었으며, 이와 반대로 엽수는 무처리가 3.0 ea 로 가장 많았음
- SPAD 부분에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 EC 6까지 증가하는 경향을 보이다가 그 이상의 농도를 처리하였을 때는 오히려 감소하였음
- 이와 비슷하게 총실도도 EC 6이 15.9 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 접수의 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	8.2 ± 0.7 a	1.2 ± 0.1 bc	3.2 ± 0.4 a	46.7 ± 3.6 a	21.6 ± 4.8 b	11.9 ± 2.4 b
2	7.2 ± 0.8 ab	1.1 ± 0.1 c	2.6 ± 0.5 b	49.0 ± 2.3 a	20.7 ± 4.8 b	10.6 ± 1.6 b
4	7.4 ± 0.8 ab	1.3 ± 0.1 abc	3.0 ± 0.1 ab	47.6 ± 3.5 a	25.0 ± 0.7 ab	13.4 ± 1.8 ab
6	7.7 ± 1.5 ab	1.5 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 ab	46.6 ± 2.3 a	28.5 ± 2.8 a	15.9 ± 2.2 a
8	6.8 ± 0.8 b	1.4 ± 0.2 ab	2.8 ± 0.4 ab	48.7 ± 2.6 a	19.6 ± 6.2 b	11.2 ± 4.0 b
10	6.5 ± 0.8 b	1.4 ± 0.2 ab	2.8 ± 0.4 ab	47.4 ± 3.5 a	19.1 ± 2.6 b	14.0 ± 3.4 ab

- 농도별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 가장 우수했던 EC 6의 처리구가 0.73 g 으로 가장 무거웠으며 이외의 다른 처리구들 간에는 큰 차이가 없었음. 건물중 또한 EC 6이 0.089 g 로 가장 무거운 것을 확인할 수 있었음
- 초장은 무처리가 가장 길었지만 경경 부분에서 EC 6이 가장 두꺼웠던 영향으로 인하여 줄기 생체 중은 무처리에 비하여 EC 6이 더 무거웠음. 이와 달리 건물중에서는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 다른 생체중과 마찬가지로 가장 무거웠던 처리구는 EC 6이었으며 가장 낮은 것은 EC 2였음. 하지만, 건물중 부분에서는 유의적인 차이가 없었음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 접수의 무게 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0.58 ± 0.11 b	0.41 ± 0.06 ab	0.23 ± 0.02 ab	0.067 ± 0.013 b	0.029 ± 0.003 a	0.016 ± 0.002 a
2	0.51 ± 0.11 b	0.33 ± 0.09 ab	0.18 ± 0.02 c	0.055 ± 0.013 b	0.022 ± 0.006 a	0.012 ± 0.002 a
4	0.64 ± 0.04 ab	0.40 ± 0.04 ab	0.23 ± 0.03 ab	0.073 ± 0.001 ab	0.026 ± 0.006 a	0.015 ± 0.003 a
6	0.73 ± 0.08 a	0.43 ± 0.11 a	0.25 ± 0.02 a	0.089 ± 0.012 a	0.032 ± 0.012 a	0.016 ± 0.002 a
8	0.51 ± 0.15 b	0.34 ± 0.09 ab	0.19 ± 0.05 bc	0.057 ± 0.026 b	0.019 ± 0.006 a	0.013 ± 0.004 a
10	0.53 ± 0.08 b	0.31 ± 0.04 b	0.20 ± 0.04 bc	0.064 ± 0.010 b	0.027 ± 0.015 a	0.013 ± 0.003 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리에 비하여 초

- 장이 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 이와 달리 경경은 EC 8 이 1.5 mm로 무처리에 비하여 약 0.3 mm 두꺼웠음
- 엽수는 EC 2 또는 4 로 처리하였을 때 3.8 ea 이상으로 가장 많았으며 무처리가 3.0 ea 로 가장 적었음
- SPAD 및 엽면적, 총실도 부분에서는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음

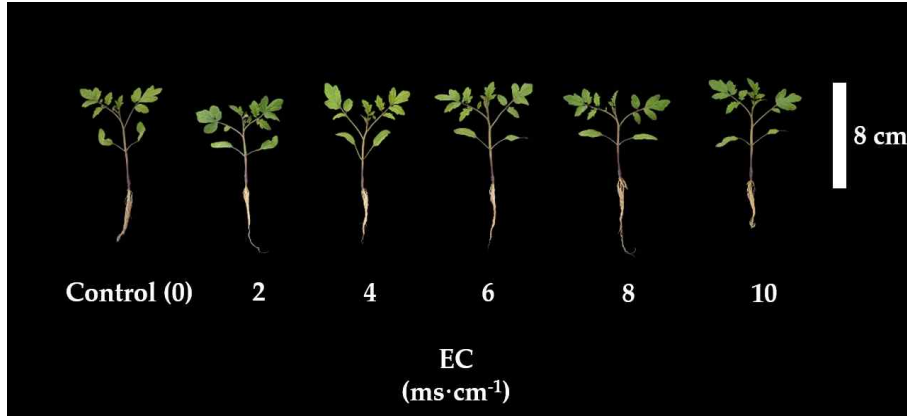


그림. Postassium의 농도에 따른 토마토 대목 생육

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 생육 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	8.1 ± 1.1 a	1.2 ± 0.1 b	3.0 ± 0.1 b	37.5 ± 3.1 a	17.8 ± 1.5 a	10.6 ± 2.6 a
2	7.9 ± 1.4 a	1.4 ± 0.2 ab	3.8 ± 0.4 a	40.3 ± 3.5 a	19.8 ± 2.5 a	11.9 ± 2.3 a
4	7.7 ± 0.9 a	1.3 ± 0.1 ab	4.0 ± 0.1 a	37.4 ± 3.9 a	19.1 ± 2.6 a	11.8 ± 2.9 a
6	7.2 ± 1.1 a	1.4 ± 0.1 ab	3.6 ± 0.5 ab	40.1 ± 2.7 a	18.8 ± 3.5 a	12.4 ± 1.6 a
8	7.6 ± 0.4 a	1.5 ± 0.1 a	3.4 ± 0.5 ab	40.8 ± 1.9 a	19.4 ± 2.7 a	12.1 ± 1.8 a
10	7.4 ± 1.2 a	1.4 ± 0.1 ab	3.6 ± 0.5 ab	42.2 ± 4.7 a	19.3 ± 4.6 a	10.7 ± 2.2 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성일 비교 조사한 결과 엽면적에서도 유의미한 차이가 없었기 때문에 잎의 생체중 및 건물중에서도 차이를 보이지 않았음
- 줄기 생체중 및 건물중 또한 초장에서 큰 차이가 없었기 때문에 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 뿌리 생체중 및 건물중에서도 처리구간 유의미한 차이가 없었음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0.48 ± 0.04 a	0.39 ± 0.07 a	0.21 ± 0.04 a	0.059 ± 0.013 a	0.024 ± 0.005 a	0.015 ± 0.002 a
2	0.52 ± 0.08 a	0.44 ± 0.04 a	0.23 ± 0.03 a	0.066 ± 0.009 a	0.026 ± 0.003 a	0.015 ± 0.002 a
4	0.51 ± 0.08 a	0.43 ± 0.07 a	0.25 ± 0.09 a	0.059 ± 0.015 a	0.029 ± 0.005 a	0.014 ± 0.002 a
6	0.52 ± 0.08 a	0.39 ± 0.07 a	0.26 ± 0.07 a	0.062 ± 0.014 a	0.027 ± 0.007 a	0.016 ± 0.004 a
8	0.51 ± 0.07 a	0.43 ± 0.03 a	0.23 ± 0.06 a	0.064 ± 0.010 a	0.027 ± 0.002 a	0.015 ± 0.003 a
10	0.46 ± 0.14 a	0.38 ± 0.07 a	0.17 ± 0.04 a	0.053 ± 0.014 a	0.026 ± 0.006 a	0.013 ± 0.002 a

- 토마토 대목은 접목 시 뿌리를 사용하기 때문에 뿌리 스캔을 통해 뿌리의 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리는 EC 6이 141.9 cm 로 가장 길었으며 EC 10 이 114.7 cm 로 가장 낮았음
- 이후 0.5 mm 이상의 뿌리에서도 EC 10이 낮은 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었음
- 그 결과 총 뿌리에서는 전반적으로 가장 길었던 EC 6이 164.1 cm 로 가장 컸으며 짧게 형성된 EC 10이 총 길이에서도 가장 짧았음

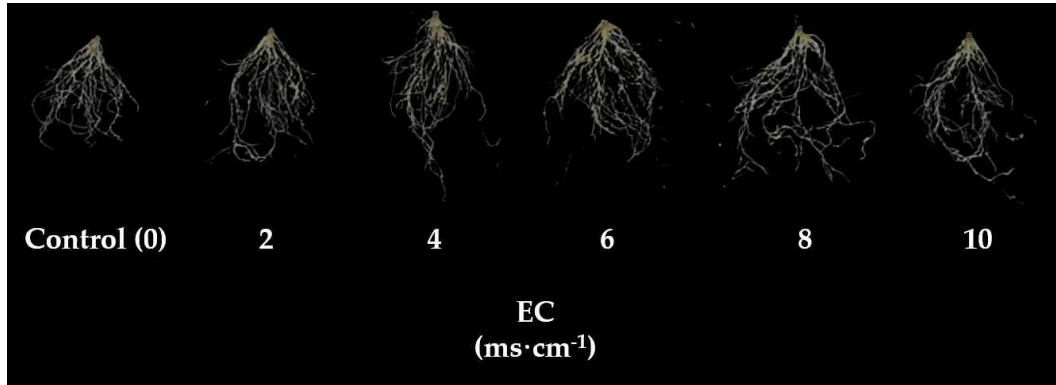


그림. Postassium 의 농도에 따른 토마토 대목의 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5 mm	0.5~1.0 mm	1.0~1.5 mm	1.5~2.0 mm	< 2.0 mm	
0	137.8 ± 16.8 a	13.7 ± 5.9 a	2.3 ± 1.5 a	0.8 ± 0.3 a	0.8 ± 0.2 a	155.4 ± 22.8 a
2	134.1 ± 20.4 a	16.5 ± 5.5 a	2.5 ± 1.7 a	1.2 ± 1.6 a	1.2 ± 0.6 a	155.5 ± 22.6 a
4	133.3 ± 28.2 a	15.8 ± 7.6 a	2.1 ± 1.5 a	0.9 ± 0.4 a	0.9 ± 0.4 a	153.1 ± 35.1 a
6	141.9 ± 36.3 a	17.9 ± 7.5 a	2.2 ± 1.6 a	0.8 ± 0.7 a	1.0 ± 0.2 a	164.1 ± 42.5 a
8	139.8 ± 21.6 a	18.9 ± 6.4 a	2.4 ± 1.1 a	0.9 ± 0.4 a	0.7 ± 0.4 a	162.7 ± 27.3 a
10	114.7 ± 23.3 b	11.1 ± 2.9 a	1.8 ± 0.9 a	0.7 ± 0.4 a	0.9 ± 0.7 a	129.2 ± 27.0 b

- 위의 결과와 비슷하게 무처리와 EC 8 까지는 뿌리 표면적 부분에서 큰 차이가 없었지만 농도가 가장 높았던 EC 10은 4.3 cm^2 로 가장 낮은 값을 보였음
- 뿌리 평균 경경 또한 EC 8 까지는 유의적 차이가 없었으며 EC 10이 0.11 mm로 가장 낮았음
- 하지만 근단수는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	5.2 ± 1.1 a	0.14 ± 0.03 a	484.4 ± 69.3 a
2	5.5 ± 1.3 a	0.16 ± 0.06 a	561.0 ± 82.7 a
4	5.3 ± 1.4 a	0.14 ± 0.04 a	607.2 ± 73.8 a
6	5.8 ± 1.7 a	0.16 ± 0.06 a	641.0 ± 170.1 a
8	5.9 ± 1.7 a	0.17 ± 0.04 a	586.4 ± 171.7 a
10	4.3 ± 1.1 b	0.11 ± 0.03 b	651.4 ± 148.6 a

▶ 토마토 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 생육 단계별 (무처리(Control), 초기, 중기, 후기)에 따른 생육 특성 조사 결과

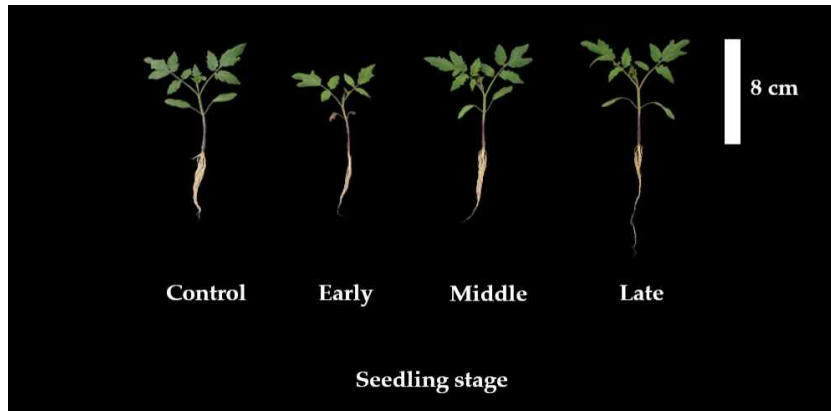


그림. Postassium의 처리 시기에 다른 토마토 접수 생육

- 생육 단계별로 Potassium을 처리하였을 때 토마토 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 시기에 상관없이 처리를 하였을 때 무처리에 비하여 초장이 감소하는 경향이 있었으며, 생육 후기에 처리하였을 때가 6.5 cm로 가장 짧았음
- 또한, 경경도 무처리에 비하여 전체적으로 두꺼워졌으며 생육 후기에 처리한 것이 1.4 mm로 가장 두꺼웠음
- 하지만, 엽수에서는 차이가 나타나지 않았음
- 엽수와 마찬가지로 SPAD 및 엽면적, 총실도 부분에서는 처리구간 차이를 보이지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 접수의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	8.2 ± 0.7 a	1.1 ± 0.1 b	3.2 ± 0.4 a	46.8 ± 3.6 a	21.6 ± 4.9 a	11.9 ± 2.4 a
Early	7.0 ± 0.9 b	1.2 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	46.0 ± 5.1 a	18.3 ± 5.4 a	10.5 ± 3.2 a
Middle	7.1 ± 0.4 b	1.2 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	49.7 ± 3.6 a	24.1 ± 2.6 a	13.4 ± 1.9 a
Late	6.5 ± 0.8 b	1.4 ± 0.2 a	2.8 ± 0.4 a	47.4 ± 3.5 a	19.1 ± 2.6 a	14.0 ± 3.4 a

- 생육단계별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 차이가 없었던 결과와 동일하게 잎의 생체중 및 건물중에서도 처리구간 차이를 보이지 않았음
- 초장에서 무처리가 가장 길었었기 때문에 줄기의 생체중에서도 무처리가 0.41 g으로 가장 무거웠음. 하지만, 건물중 부분에서는 처리구간 유의미한 차이가 없었음
- 뿌리 생체중은 초기에 처리하였을 때 0.18 g으로 가장 낮았으나 통계적으로 차이는 없었음. 하지만 건물중에서는 무처리가 0.016 g으로 가장 무거웠으며 초기에 처리한 것이 0.012 g으로 가장 가벼웠음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 접수의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.58 ± 0.10 a	0.41 ± 0.06 a	0.23 ± 0.02 a	0.067 ± 0.013 a	0.029 ± 0.003 a	0.016 ± 0.002 a
Early	0.50 ± 0.15 a	0.32 ± 0.08 b	0.18 ± 0.03 a	0.056 ± 0.023 a	0.019 ± 0.005 a	0.012 ± 0.001 b
Middle	0.63 ± 0.05 a	0.36 ± 0.02 ab	0.22 ± 0.04 a	0.070 ± 0.010 a	0.025 ± 0.001 a	0.015 ± 0.001 a
Late	0.53 ± 0.08 a	0.31 ± 0.04 b	0.20 ± 0.04 a	0.065 ± 0.010 a	0.027 ± 0.015 a	0.014 ± 0.003 ab

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리에 비하여 시기에 상관없이 처리를 하였을 때 감소하는 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었음
- 경경 또한 무처리 및 처리구간 차이를 보이지 않았음
- 하지만, 엽수에서는 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 3.6 ~ 3.8 ea 로 무처리 및 초기에 처리한 것에 비하여 많았음
- SPAD 또한 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 42.2로 높게 형성되었음
- 엽면적은 무처리가 17.8 cm² 로 가장 작았으며 생육 중기에 처리한 것이 22.5 cm² 로 가장 넓었음
- 총실도 또한 생육 중기에 처리한 것이 13.1 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

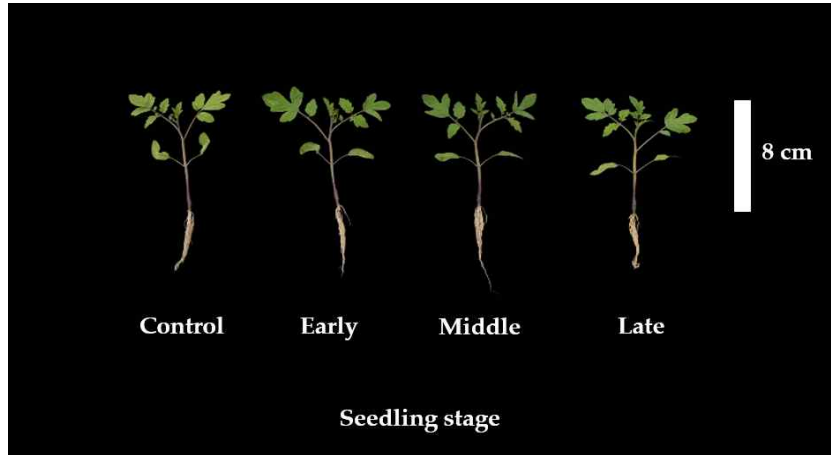


그림. Postassium의 처리 시기에 다른 토마토 대목 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	8.1 ± 1.1 a	1.2 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 b	37.5 ± 3.1 ab	17.8 ± 1.5 b	10.6 ± 2.6 a
Early	7.8 ± 1.3 a	1.2 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 b	37.0 ± 3.2 b	19.4 ± 1.2 ab	11.6 ± 1.6 a
Middle	7.6 ± 0.8 a	1.3 ± 0.2 a	3.8 ± 0.4 a	42.2 ± 1.0 a	22.5 ± 1.6 a	13.1 ± 0.7 a
Late	7.4 ± 1.2 a	1.4 ± 0.1 a	3.6 ± 0.5 a	42.2 ± 4.7 a	19.3 ± 4.6 ab	10.7 ± 2.2 a

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 생육 중기가 가장 넓었던 결과와 마찬가지로 잎의 생체중도 생육 중기가 0.60 g 으로 가장 무거웠음. 하지만, 건물중 부분에서는 통계적으로 유의미한 차이가 없었음
- 줄기 생체중 및 건물중은 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 생체중은 생육 중기에 처리한 것이 0.25 g 으로 가장 무거웠으며 생육 후기에 처리한 것이 0.17 g 으로 가장 가벼웠음. 건물중에서도 비슷한 경향이였으나 통계적으로 유의미한 차이가 없었음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.48 ± 0.04 b	0.39 ± 0.07 a	0.21 ± 0.04 ab	0.060 ± 0.013 a	0.024 ± 0.005 a	0.015 ± 0.002 a
Early	0.53 ± 0.03 ab	0.44 ± 0.07 a	0.21 ± 0.03 ab	0.065 ± 0.001 a	0.024 ± 0.005 a	0.013 ± 0.001 a
Middle	0.60 ± 0.02 a	0.46 ± 0.04 a	0.25 ± 0.03 a	0.068 ± 0.006 a	0.031 ± 0.006 a	0.016 ± 0.002 a
Late	0.46 ± 0.07 b	0.38 ± 0.07 a	0.17 ± 0.04 b	0.053 ± 0.001 a	0.026 ± 0.006 a	0.013 ± 0.013 a

- 접목 시 뿌리를 사용하는 토마토 대목 특성상 뿌리를 자세히 비교하기 위하여 뿌리 스캔을 통해 특성을 비교 조사한 결과 1.0 mm 이하의 뿌리에서는 생육 중기까지는 처리구간 차이가 없었지만 생육 후기에 처리한 것이 가장 낮은 값을 보였음
- 하지만, 그 이상의 뿌리에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 종합적인 총 뿌리에서는 가장 큰 값을 차지하던 0.5 mm 이하의 뿌리에서 생육 후기에 처리한 것이 가장 낮았기 때문에 총 양에서도 생육 후기의 뿌리가 가장 낮은 것을 확인할 수 있었음

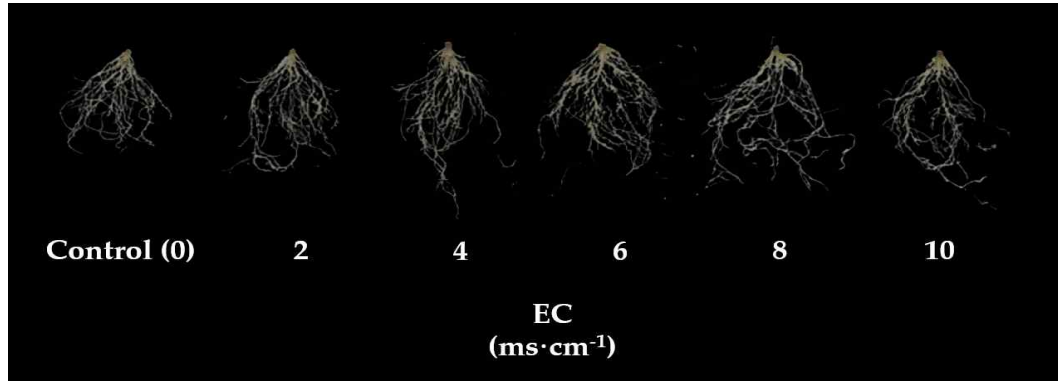


그림. Postassium의 처리 시기에 다른 토마토 대목 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 토마토 대목의 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter(%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	137.8 ± 16.8 a	13.7 ± 5.9 a	2.3 ± 1.5 a	0.7 ± 0.3 a	0.8 ± 0.2 a	155.4 ± 22.8 a
Early	139.2 ± 25.2 a	13.6 ± 6.1 a	2.3 ± 2.6 a	0.8 ± 1.0 a	0.7 ± 0.1 a	156.7 ± 27.8 a
Middle	126.7 ± 7.6 a	18.3 ± 5.5 a	3.0 ± 2.1 a	0.8 ± 0.9 a	1.2 ± 0.9 a	150.2 ± 10.0 a
Late	114.7 ± 2.9 b	11.1 ± 2.9 b	1.7 ± 0.9 a	0.6 ± 0.4 a	0.9 ± 0.7 a	129.2 ± 27.0 b

- 뿌리 표면적은 뿌리 길이와 유사하게 생육 후기에 처리한 것이 4.3 cm² 로 가장 작았으나 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 평균 경경은 생육 중기에 처리한 것이 0.17 g 으로 가장 두꺼웠으나 무처리 및 생육 초기와 유의적 차이가 없었으며 생육 후기에 처리한 것이 0.11 g 으로 가장 얇았음
- 이와 반대로, 근단수는 무처리가 가장 낮았으며 생육 후기에 처리한 것이 가장 많았으나 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	5.2 ± 1.1 a	0.14 ± 0.04 a	484.4 ± 69.3 a
Early	5.2 ± 1.3 a	0.14 ± 0.05 a	523.8 ± 148.9 a
Middle	5.7 ± 1.1 a	0.17 ± 0.06 a	513.0 ± 76.5 a
Late	4.3 ± 1.1 a	0.11 ± 0.03 b	645.4 ± 148.6 a

▶ 농도 및 생육 단계별 Potassium 처리된 토마토 접수 및 대목의 접목 후 건조 및 과습 스트레스 저항성 조사 결과

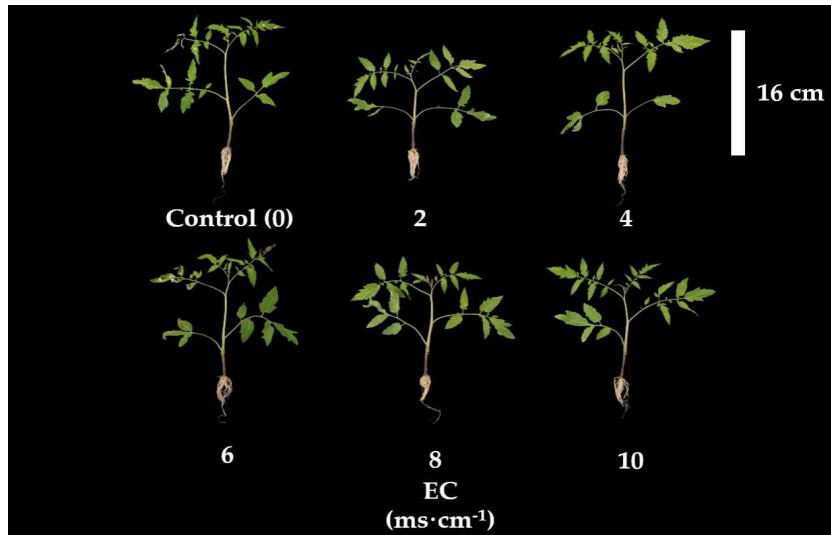


그림. Potassium의 농도에 따른 건조 스트레스 이후 토마토 접목묘 생육

- 농도별 Potassium 처리를 한 접수 및 대목을 이용하여 접목 후 건조 스트레스를 주었을 때 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 16.8 cm 로 가장 길었으며 가장 고농도인 EC 10 이 13.5 cm 로 가장 짧았음
- 초장이 가장 길었던 결과와는 달리 경경에서는 무처리의 경경이 1.8 mm 로 가장 얇았으며 EC 2 의 경경이 2.3 mm 로 가장 두꺼웠음
- 엽수 및 SPAD는 처리구간 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 엽면적은 EC 8 의 처리구가 100.9 cm² 로 가장 넓었으며 농도가 가장 높았던 EC 10 의 처리구가 76.7 cm² 로 가장 작았음
- 총실도에서는 무처리가 23.1 mg·cm⁻¹ 로 Potassium을 처리한 다른 처리구들에 비하여 가장 낮은 값을 보였으며 EC 6 ~ 8로 처리하였을 때 30 mg·cm⁻¹ 이상으로 우수하였음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	16.8 ± 0.8 a	1.8 ± 0.2 b	6.2 ± 0.4 a	26.7 ± 2.3 a	90.5 ± 5.6 ab	23.1 ± 3.5 b
2	13.7 ± 1.1 b	2.3 ± 0.3 a	5.0 ± 0.1 a	27.2 ± 1.3 a	82.3 ± 14.5 b	28.6 ± 3.8 ab
4	14.9 ± 0.7 b	2.2 ± 0.2 ab	4.8 ± 0.4 a	27.5 ± 5.2 a	77.9 ± 15.8 b	28.4 ± 7.2 ab
6	14.5 ± 1.1 b	2.1 ± 0.4 ab	5.2 ± 0.4 a	25.1 ± 3.2 a	92.9 ± 7.7 ab	30.2 ± 5.4 a
8	14.4 ± 1.1 b	2.1 ± 0.3 ab	5.4 ± 0.5 a	26.6 ± 1.1 a	100.9 ± 17.6 a	32.9 ± 4.5 a
10	13.5 ± 2.1 b	2.2 ± 0.3 ab	5.2 ± 0.4 a	27.3 ± 2.9 a	76.7 ± 6.1 b	27.9 ± 2.6 ab

- 건조 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 가장 넓었던 EC 8의 결과와 마찬가지로 EC 8의 잎 생체중이 3.02 g 으로 가장 무거웠으며 무처리가 2.31 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만 건물중에서는 처리구간 차이를 보이지 않았음
- 초장에서 무처리가 다른 처리구에 비하여 길었지만 줄기 생체중에서는 오히려 EC 4 ~8의 무게보다 가벼워졌음. 생체중에서는 통계적으로 유의성은 없었으나 건물중에서는 EC 8 이 0.167 g 으로 가장 무거웠으며 무처리가 0.138 g 으로 가장 낮은 값을 보였음

- 이와 달리 뿌리 생체중 부분에서는 무처리가 1.10 g 으로 가장 무거웠으며 EC 4 가 0.67 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만, 건물중에서는 EC 4가 가장 낮은건 동일하였지만 무처리와 EC 8이 약 0.068 g 으로 비슷하게 가장 무거웠음
- 이것으로, 보아 EC 처리를 하지 않았을 때 건조 스트레스를 받은 후 관수를 하였을 때 과도하게 수분을 흡수하여 줄기 신장이 과도하게 일어나 다른 생육에 부정적인 영향을 미치며 바이오메스 생산도 부족해져 결과적으로 총실도가 감소하게 되는 결과를 가져온다고 판단됨

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	2.31 ± 0.27 b	1.81 ± 0.19 a	1.10 ± 0.38 a	0.249 ± 0.039 a	0.138 ± 0.016 b	0.067 ± 0.018 a
2	2.56 ± 0.45 ab	1.72 ± 0.26 a	0.89 ± 0.14 ab	0.254 ± 0.056 a	0.139 ± 0.025 ab	0.057 ± 0.007 ab
4	2.55 ± 0.77 ab	1.83 ± 0.20 a	0.67 ± 0.04 b	0.262 ± 0.075 a	0.158 ± 0.019 ab	0.047 ± 0.005 b
6	2.88 ± 0.35 ab	1.91 ± 0.15 a	0.81 ± 0.11 b	0.279 ± 0.041 a	0.156 ± 0.018 ab	0.058 ± 0.009 ab
8	3.02 ± 0.51 a	1.95 ± 0.19 a	0.93 ± 0.18 ab	0.307 ± 0.052 a	0.167 ± 0.016 a	0.068 ± 0.012 a
10	2.44 ± 0.14 ab	1.75 ± 0.24 a	0.70 ± 0.06 ab	0.234 ± 0.014 a	0.140 ± 0.017 ab	0.050 ± 0.012 b

- 건조 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하에서는 EC 4가 118.3 cm 로 가장 길었으며 EC 8이 94.8 cm 로 가장 짧았으나 통계적으로 유의성은 없었음
- 0.5~1.0 mm 부분에서는 EC 4의 처리구가 21.4 mm 로 가장 길었으며 무처리가 15.4 mm 로 가장 짧았음
- 그 이후의 뿌리에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 총 뿌리에서는 EC 4의 처리구가 146.1 mm 로 가장 길었으며 EC 8의 처리구가 116.6 mm 로 가장 짧았음

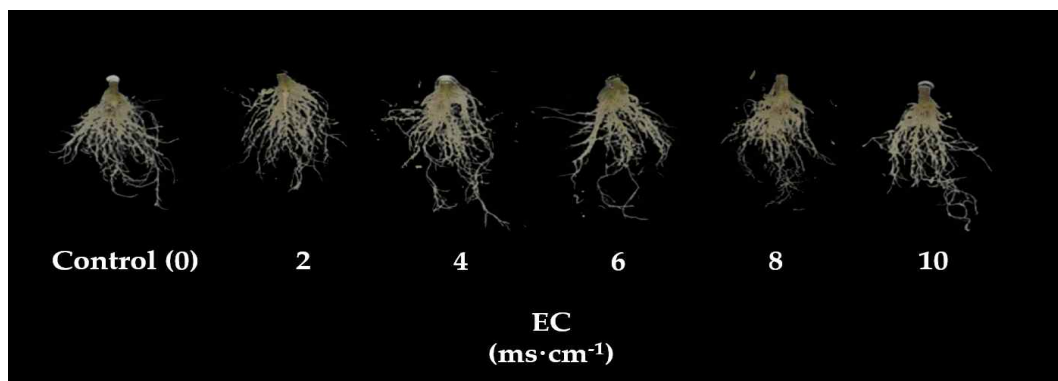


그림. Postassium 의 농도에 따른 건조 스트레스 이후 토마토 접목묘 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
0	107.7 ± 14.0 a	15.4 ± 2.9 c	3.4 ± 0.9 a	1.5 ± 1.1 a	0.6 ± 0.1 a	128.7 ± 17.8 ab
2	104.2 ± 11.0 a	19.7 ± 1.2 ab	4.2 ± 1.2 a	2.4 ± 0.6 a	0.8 ± 0.4 a	131.4 ± 12.1 ab
4	118.3 ± 12.3 a	21.4 ± 3.8 a	4.1 ± 0.8 a	1.6 ± 0.9 a	0.5 ± 0.5 a	146.1 ± 14.1 a
6	102.9 ± 26.6 a	17.7 ± 2.1 abc	4.1 ± 0.4 a	1.6 ± 0.9 a	0.7 ± 0.4 a	127.1 ± 26.9 ab
8	94.8 ± 18.8 a	16.1 ± 2.3 bc	3.8 ± 1.2 a	1.2 ± 0.2 a	0.6 ± 0.5 a	116.6 ± 21.8 b
10	104.4 ± 10.3 a	18.9 ± 2.8 abc	2.8 ± 0.7 a	1.5 ± 0.9 a	0.4 ± 0.3 a	128.2 ± 12.7 ab

- 뿌리의 표면적은 무처리가 10.4 cm^2 로 가장 넓었으며 EC 10이 7.8 cm^2 로 가장 낮았음
- 뿌리 평균 경경 또한 처리의 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며 가장 높았던 무처리와 가장 낮았던 EC 10 의 차이는 약 0.29 mm 었음
- 이와 반대로, 근단수는 EC 10이 1024.2 로 가장 많았으나 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았음

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	10.4 ± 2.1 a	0.67 ± 0.19 a	861.6 ± 119.0 a
2	9.9 ± 1.0 ab	0.59 ± 0.15 ab	789.0 ± 134.2 a
4	8.9 ± 0.8 abc	0.42 ± 0.07 bc	947.6 ± 194.4 a
6	9.4 ± 0.8 abc	0.54 ± 0.07 abc	955.6 ± 281.7 a
8	8.5 ± 0.8 bc	0.49 ± 0.09 abc	995.2 ± 322.5 a
10	7.8 ± 1.7 c	0.38 ± 0.14 c	1024.2 ± 291.1 a

- 과습 스트레스 이후 토마토 접목묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리구가 16.8 cm 로 가장 길었으며 Potassium 처리하였을 때 감소하는 경향은 있었지만 농도별 차이는 없었음
- 이와 반대로 경경은 무처리가 1.7 mm로 가장 얇았으며 EC 2의 처리가 가장 두꺼웠음. 이후 EC 4 ~ 10 의 경경은 차이가 나타나지 않았음
- 엽수는 무처리가 6.2 ea로 가장 많았지만 통계적으로 유의미한 차이는 없었음
- SPAD 또한 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 EC 8이 100.9 cm^2 로 모든 처리구 중 가장 넓었음
- 총실도에서는 무처리가 23.0 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 으로 가장 떨어졌으며 EC 6 ~ 8을 처리한 접목묘가 약 30 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이상으로 우수하였음

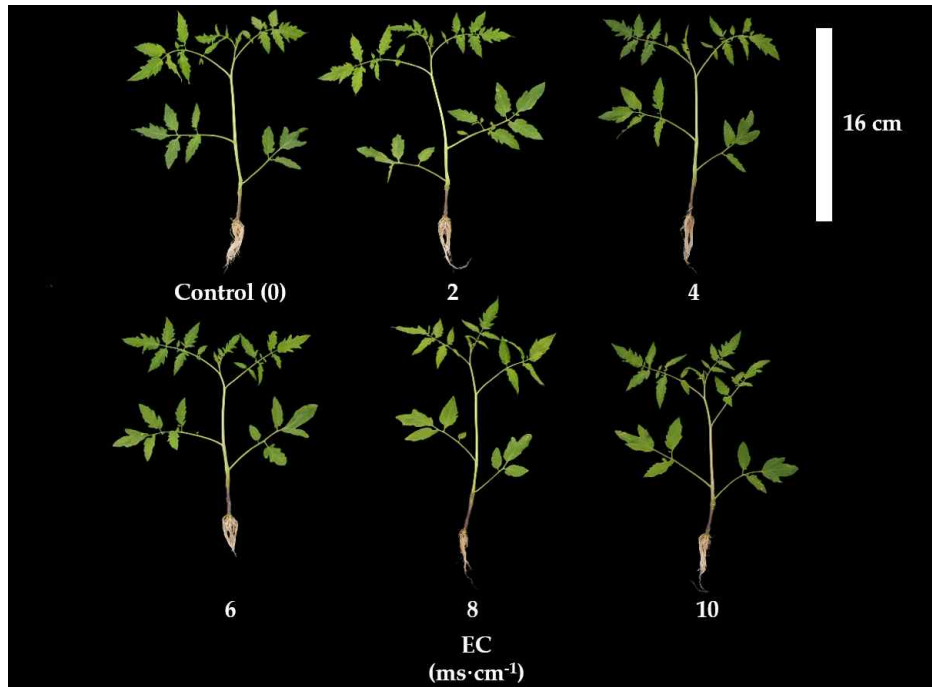


그림. Postassium의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 토마토 접목묘 생육
 표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	16.8 ± 0.8 a	1.7 ± 0.2 b	6.2 ± 0.4 a	26.7 ± 2.3 a	90.5 ± 5.6 ab	23.0 ± 3.5 b
2	13.6 ± 1.1 b	2.3 ± 0.3 a	5.0 ± 0.1 a	27.2 ± 1.3 a	82.3 ± 14.5 b	28.5 ± 3.8 ab
4	14.9 ± 0.7 b	2.1 ± 0.2 ab	4.8 ± 0.4 a	27.5 ± 5.2 a	77.9 ± 15.8 b	28.3 ± 7.2 ab
6	14.5 ± 1.1 b	2.1 ± 0.4 ab	5.2 ± 0.4 a	25.1 ± 3.2 a	92.9 ± 7.7 ab	30.2 ± 5.4 a
8	14.4 ± 1.1 b	2.1 ± 0.3 ab	5.4 ± 0.5 a	26.6 ± 1.1 a	100.9 ± 17.6 a	32.9 ± 4.5 a
10	13.5 ± 2.1 b	2.1 ± 0.3 ab	5.2 ± 0.4 a	27.3 ± 2.9 a	76.8 ± 6.1 b	27.9 ± 2.6 ab

- 과습 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 EC 8의 처리가 3.02 g으로 가장 무거웠으며 무처리가 2.32 g으로 가장 가벼웠음. 하지만 건물중에서도 차이가 있었지만 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 건조 스트레스와 마찬가지로 초장은 무처리가 가장 높았지만 줄기 생체중은 Potassium 처리구에 비하여 낮은 값을 보였음. 건물중에서는 EC 8의 처리가 0.167 g으로 가장 무거웠으며 무처리가 0.138 g으로 가장 가벼웠음
- 이와 반대로, 뿌리 생체중은 무처리가 1.10 g으로 가장 무거웠으며 건물중에서도 무처리와 EC 8의 값이 약 0.068 g으로 가장 무거웠음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	2.32 ± 0.27 b	1.10 ± 0.19 b	1.10 ± 0.38 a	0.249 ± 0.039 a	0.138 ± 0.016 b	0.067 ± 0.018 a
2	2.56 ± 0.45 ab	1.73 ± 0.26 a	0.90 ± 0.14 ab	0.254 ± 0.056 a	0.139 ± 0.025 ab	0.057 ± 0.007 ab
4	2.55 ± 0.77 ab	1.84 ± 0.20 a	0.68 ± 0.04 b	0.262 ± 0.075 a	0.158 ± 0.019 ab	0.047 ± 0.005 b
6	2.89 ± 0.35 ab	1.91 ± 0.15 a	0.81 ± 0.10 b	0.279 ± 0.041 a	0.156 ± 0.018 ab	0.058 ± 0.009 ab
8	3.02 ± 0.51 a	1.95 ± 0.19 a	0.94 ± 0.18 ab	0.307 ± 0.052 a	0.167 ± 0.016 a	0.068 ± 0.012 a
10	2.44 ± 0.14 ab	1.75 ± 0.24 a	0.71 ± 0.06 b	0.234 ± 0.014 a	0.140 ± 0.017 ab	0.050 ± 0.004 b

- 과습 스트레스 이후 지하부의 특성을 비교 조사한 결과 1.0 mm 이하의 뿌리에서 무처리가 가장 길었으며 Potassium을 처리하였을 때 전반적으로 길이가 감소한 것을 확인할 수 있음
- 1.0 mm ~ 2.0 mm 사이의 뿌리에서는 처리구간 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 2.0 mm 이상의 뿌리에서는 EC 6 이 2.1 cm 로 가장 길었으며 EC 4 가 0.7 cm 로 가장 짧았음
- 총 뿌리에서는 가장 큰 비중을 차지하는 0.5 mm 이하의 뿌리에서 무처리가 가장 컷기 때문에 그 영향으로 총 뿌리에서도 무처리가 151.5 cm 로 가장 높게 형성되었으며 EC 8이 105.9 cm 로 가장 낮았음

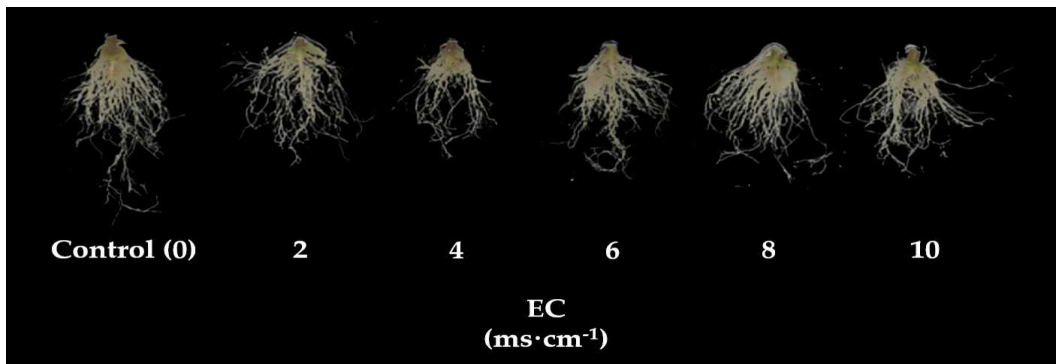


그림. Postssium 의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 토마토 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	Total
0	125.6 ± 13.6 a	18.8 ± 1.8 a	3.7 ± 1.2 a	1.4 ± 0.2 a	1.9 ± 1.1 ab	151.5 ± 13.4 a
2	111.1 ± 31.9 ab	15.8 ± 3.6 ab	3.7 ± 1.2 a	1.2 ± 0.5 a	1.0 ± 0.6 ab	132.9 ± 35.7 ab
4	91.3 ± 37.0 ab	14.1 ± 5.0 ab	3.1 ± 0.3 a	1.6 ± 0.2 a	0.7 ± 0.5 b	110.9 ± 41.3 b
6	106.5 ± 15.1 ab	16.1 ± 5.7 ab	3.5 ± 1.2 a	1.6 ± 1.0 a	2.1 ± 1.0 a	130.1 ± 21.0 ab
8	88.2 ± 22.0 b	12.2 ± 4.1 b	2.9 ± 0.7 a	1.2 ± 0.4 a	1.2 ± 0.8 ab	105.9 ± 24.7 b
10	95.3 ± 18.4 ab	14.2 ± 2.1 ab	2.5 ± 0.9 a	1.2 ± 0.2 a	1.1 ± 0.8 ab	114.3 ± 20.0 ab

- 뿌리 표면적은 총 뿌리가 가장 많았던 무처리와 동일하게 9.9 cm² 로 가장 넓었으며 EC 8이 7.4 cm² 로 가장 작았음
- 이와 달리 평균 경경은 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 근단수는 무처리가 848.0 으로 가장 적었으며 Potassium의 처리 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보이며 EC 10의 처리구가 1205.4 로 가장 많았음

EC (ms·cm ⁻¹)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	9.9 ± 1.7 a	0.52 ± 0.16 a	848.0 ± 178.7 b
2	8.5 ± 2.1 ab	0.42 ± 0.10 a	948.6 ± 253.1 ab
4	8.4 ± 2.5 ab	0.51 ± 0.15 a	902.4 ± 227.2 b
6	9.4 ± 0.6 ab	0.54 ± 0.09 a	1052.4 ± 125.1 ab
8	7.4 ± 0.7 b	0.41 ± 0.06 a	972.4 ± 110.5 ab
10	9.2 ± 1.0 ab	0.58 ± 0.07 a	1205.4 ± 270.4 a

- 생육 단계별로 Potassium을 처리한 토마토 접수 및 대목을 사용한 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육을 비교 조사한 결과 거장은 무처리가 16.8 cm 로 가장 길었으며 생육 후기에 처리한 것이 13.5 cm 로 가장 짧았음
- 이와 반대로, 경경은 무처리가 1.7 mm 로 가장 얇았으며 생육 후기에 처리한 것이 2.1 mm로 가장 두꺼웠음
- 엽수는 무처리가 6.2 ea 로 가장 많았으며 Potassium을 처리하였을 때 엽수가 감소하는 경향을 보였으나, SPAD는 처리구간 차이가 없었음
- 엽면적은 생육 중기에 처리한 것이 91.6 cm² 로 가장 넓었으며 생육 후기에 처리한 것이 76.8 cm² 로 가장 작았음
- 총실도를 비교한 결과 무처리 및 생육 초기에 처리한 것은 약 23 mg·cm⁻¹ 으로 생육 중기 및 후기에 처리한 것의 약 28 mg·cm⁻¹ 보다 떨어지는 것을 확인할 수 있었음

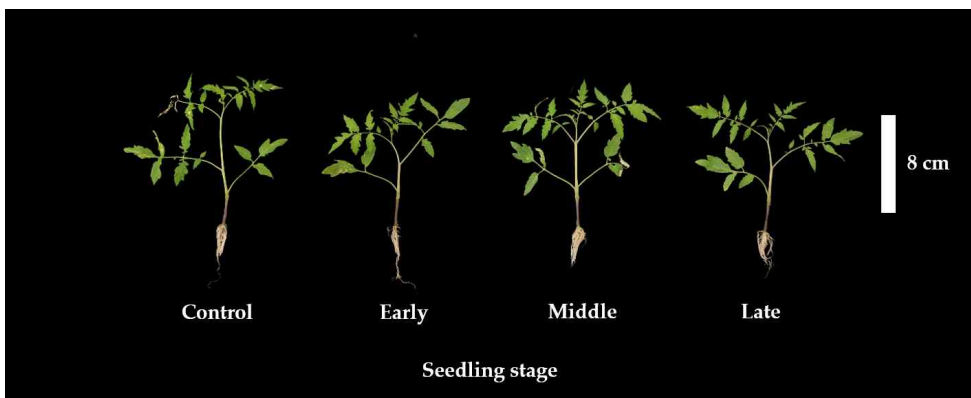


그림. Postssium의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 토마토 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	16.8 ± 0.8 a	1.7 ± 0.2 b	6.2 ± 0.4 a	26.7 ± 2.3 a	90.5 ± 5.6 a	23.1 ± 3.5 b
Early	14.8 ± 2.7 ab	2.0 ± 0.2 ab	5.2 ± 0.4 b	27.5 ± 3.5 a	77.1 ± 7.7 b	23.5 ± 3.5 b
Middle	15.1 ± 0.8 ab	1.9 ± 0.1 ab	5.8 ± 0.4 ab	27.7 ± 2.2 a	91.6 ± 6.9 a	28.9 ± 1.5 a
Late	13.5 ± 2.1 b	2.1 ± 0.3 a	5.2 ± 0.4 b	27.3 ± 2.9 a	76.8 ± 6.1 b	27.9 ± 2.6 a

- 건조 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적과 동일하게 잎 생체중도 생육 중기에 처리한 것이 2.82 g 으로 가장 무거웠음. 건물중 또한 생육 중기에 처리한 것이 0.274 g 으로 무거운 것을 확인하였음
- 줄기 생체중은 초장이 가장 컸던 무처리의 1.81 g 과 달리 생육 중기에 처리한 것이 2.02 g 으로 더 무거웠음. 건물중 또한 생육 중기에 처리한 것이 0.163 g 으로 가장 무거웠음
- 이와 달리, 뿌리 생체중은 생육 후기를 제외한 다른 처리구들과는 유의미한 차이가 없었음. 건물중에서도 생육 후기를 포함하여 전체적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	2.32 ± 0.27 b	1.81 ± 0.19 a	1.10 ± 0.38 a	0.249 ± 0.039 ab	0.138 ± 0.016 b	0.067 ± 0.018 a
Early	2.18 ± 0.28 b	1.75 ± 0.22 a	0.95 ± 0.26 a	0.201 ± 0.025 c	0.140 ± 0.016 b	0.053 ± 0.014 a
Middle	2.82 ± 0.13 a	2.02 ± 0.08 a	0.97 ± 0.14 a	0.274 ± 0.020 a	0.163 ± 0.010 a	0.063 ± 0.007 a
Late	2.44 ± 0.14 b	1.75 ± 0.24 a	0.71 ± 0.06 b	0.234 ± 0.014 bc	0.140 ± 0.017 b	0.050 ± 0.013 a

- 건조 스트레스 이후 지하부의 특성을 비교 조사한 결과 1.5 mm 이하의 뿌리에서는 생육 초기에 처리한 것이 가장 길었지만, 1.5 ~ 2.0 mm 사이의 뿌리는 처리구간 차이가 없었음
- 2.0 mm 이상의 뿌리는 생육 초기가 가장 높았던 결과와 동일하였음
- 그 결과 총 뿌리의 길이는 생육 초기가 144.0 cm 로 가장 길었으며 생육 중기에 처리한 것이 107.9 cm 로 가장 짧았음

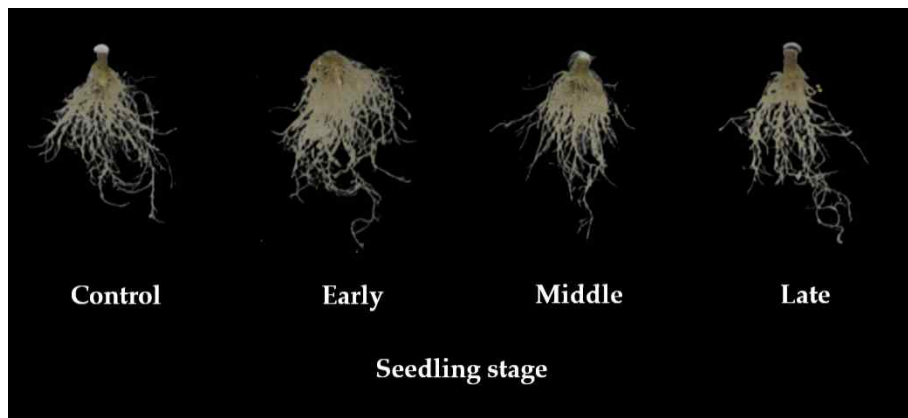


그림. Postassium 의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 토마토 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	107.7 ± 14.0 ab	15.4 ± 2.9 b	3.4 ± 0.9 b	1.6 ± 1.1 a	1.2 ± 0.8 ab	129.3 ± 18.4 ab
Early	114.2 ± 11.7 a	21.1 ± 3.0 a	4.9 ± 1.3 a	1.3 ± 0.9 a	2.3 ± 1.0 a	144.0 ± 15.6 a
Middle	87.6 ± 19.7 b	14.9 ± 3.0 b	3.2 ± 0.5 b	1.2 ± 0.6 a	0.9 ± 0.3 b	107.9 ± 22.9 b
Late	104.4 ± 10.3 ab	18.9 ± 2.8 ab	2.8 ± 0.7 b	1.5 ± 0.9 a	1.5 ± 1.1 ab	129.2 ± 13.5 ab

- 뿌리 표면적에서는 뿌리 발달이 좋았던 생육 초기와 마찬가지로 생육 초기가 11.4 cm² 로 가장 넓었으며 생육 후기가 7.8 cm² 로 가장 작았음
- 뿌리 평균 경경도 비슷한 경향으로 무처리 및 생육 초기가 두꺼웠으며 생육 후기가 0.38 mm 로 가장 얇았음
- 이와 반대로, 근단수는 길이 및 면적에서 작았던 생육 후기가 1024.2 로 가장 많았으며 가장 우수했던 생육 후기가 744.2 로 가장 적었지만 통계적으로 유의성은 보이지 않았음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	10.4 ± 2.1 ab	0.67 ± 0.19 a	861.6 ± 119.0 a
Early	11.4 ± 2.0 a	0.73 ± 0.29 a	744.2 ± 109.5 a
Middle	8.8 ± 1.7 ab	0.56 ± 0.12 ab	865.0 ± 200.9 a
Late	7.8 ± 1.6 b	0.38 ± 0.14 b	1024.2 ± 291.1 a

- 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리가 16.8 cm 로 가장 길었으며 생육 후기에 처리한 것이 13.5 cm 로 가장 짧았음
- 이와 반대로, 경경도는 생육 후기가 2.2 mm 로 가장 두꺼웠으며 무처리가 1.7 mm 로 가장 얇았음
- 엽면적은 무처리가 6.2 ea 로 가장 많았으며 Potassium을 처리하였을 때 엽수가 약 5 ea 로 감소하는 경향이 있음
- 하지만, SPAD는 처리구간 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 엽면적은 무처리와 생육 중기에 처리한 것이 약 90 cm² 로 넓었으며 생육 초기 및 후기에 처리한 것이 약 77 cm² 로 작았음
- 총실도는 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 약 28 mg·cm⁻¹ 로 우수하였으며 무처리 및 생육 초기에 처리한 것이 약 23 mg·cm⁻¹ 으로 상대적으로 떨어지는 것을 확인할 수 있음

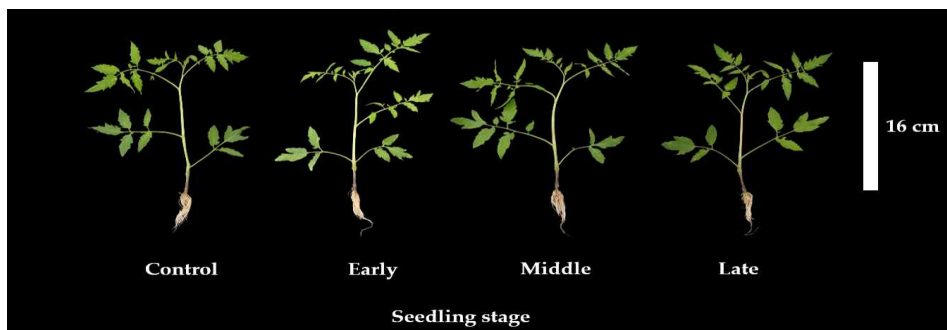


그림. Potassium의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 토마토 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	16.8 ± 0.8 a	1.7 ± 0.2 b	6.2 ± 0.4 a	26.7 ± 2.3 a	90.5 ± 5.6 a	23.1 ± 3.5 b
Early	14.8 ± 2.7 ab	2.0 ± 0.2 ab	5.2 ± 0.4 b	27.5 ± 3.5 a	77.1 ± 7.7 b	23.5 ± 3.5 b
Middle	15.1 ± 0.8 ab	1.9 ± 0.1 ab	5.8 ± 0.4 ab	27.7 ± 2.2 a	91.6 ± 6.9 a	28.9 ± 1.5 a
Late	13.5 ± 2.1 b	2.2 ± 0.3 a	5.2 ± 0.4 b	27.3 ± 2.9 a	76.8 ± 6.1 b	27.9 ± 2.6 a

- 과습 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 가장 컸던 생육 중기의 결과와 마찬가지로 잎 생체중에서도 생육 중기에 처리한 것이 2.82 g 으로 가장 무거웠으며 다른 처리구들 간에 유의미한 차이는 나타나지 않았음. 잎 건물중에서는 생체중과 동일하게 생육 중기에 처리한 것이 0.274 g 으로 가장 무거웠으며, 생체중과 달리 생육 초기에 처리한 것이 0.201 g 으로 가장 가벼웠음
- 초장이 가장 컸던 무처리와 달리 줄기 생체중은 생육 중기가 2.02 g으로 가장 무거웠으며 다른 처리구들 간에는 유의적으로 차이가 없었음. 건물중도 마찬가지로 생육 중기가 가장 무거웠으며 다른 처리구는 큰 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 생체중은 무처리가 1.10 g 으로 가장 무거웠으며 생육 후기가 0.71 g 으로 가장 가벼웠음. 이와 달리 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	2.32 ± 0.27 b	1.81 ± 0.19 b	1.10 ± 0.38 a	0.249 ± 0.039 ab	0.138 ± 0.016 b	0.067 ± 0.018 a
Early	2.18 ± 0.28 b	1.75 ± 0.22 b	0.95 ± 0.26 ab	0.201 ± 0.025 c	0.139 ± 0.016 b	0.053 ± 0.013 a
Middle	2.82 ± 0.13 a	2.02 ± 0.08 a	0.97 ± 0.14 ab	0.274 ± 0.020 a	0.162 ± 0.010 a	0.063 ± 0.007 a
Late	2.44 ± 0.14 b	1.75 ± 0.24 b	0.71 ± 0.06 b	0.234 ± 0.014 bc	0.140 ± 0.017 b	0.050 ± 0.004 a

- 과습 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리에서는 무처리가 가장 컸으며 생육 후기의 처리로 갈수록 감소하는 경향을 보임
- 하지만, 0.5 mm 이상의 뿌리에서는 처리구간 유의미한 차이를 확인할 수 없었음
- 총 뿌리에서는 양이 많은 0.5 mm 와 같은 결과로 무처리가 151.5 cm 로 가장 길었고 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 약 113 cm 로 가장 짧았음

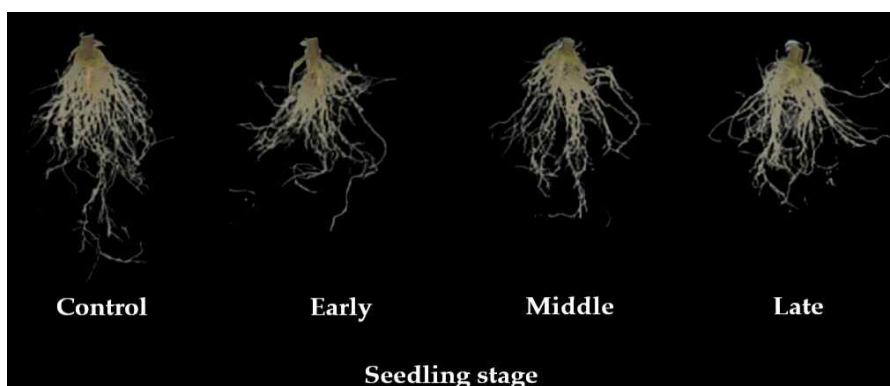


그림. Potassium 의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 토마토 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	125.6 ± 13.6 a	18.8 ± 1.8 a	3.7 ± 1.2 a	1.4 ± 0.2 a	1.9 ± 1.1 a	151.5 ± 13.4 a
Early	102.0 ± 24.5 ab	17.2 ± 4.3 a	3.5 ± 1.2 a	1.5 ± 0.6 a	2.1 ± 1.1 a	126.4 ± 29.9 ab
Middle	92.6 ± 11.4 b	14.2 ± 4.1 a	3.4 ± 1.3 a	1.1 ± 0.6 a	0.7 ± 0.8 a	112.1 ± 15.6 b
Late	95.3 ± 18.3 b	14.2 ± 2.1 a	2.5 ± 0.9 a	1.2 ± 0.2 a	1.1 ± 0.8 a	114.3 ± 20.0 b

- 뿌리 발달이 우수했던 무처리와 동일하게 뿌리 표면적도 무처리가 9.9 cm² 로 가장 넓었지만 통계적으로 유의성은 없었음
- 뿌리 평균 경경은 처리구간 유의미한 차이가 없었음
- 하지만, 근단수에서는 전체적으로 뿌리 발달이 부족했던 생육 후기의 처리구가 1205.4 로 다른 처리구들에 비하여 많은 양을 확인할 수 있었음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	9.9 ± 1.7 a	0.52 ± 0.16 a	848.0 ± 178.7 b
Early	9.3 ± 2.2 a	0.54 ± 0.15 a	772.2 ± 114.6 b
Middle	8.8 ± 2.3 a	0.56 ± 0.25 a	879.4 ± 123.6 b
Late	9.2 ± 1.0 a	0.58 ± 0.07 a	1205.4 ± 270.4 a

• 오이 접목묘 육묘 시 고농도 Potassium 처리로 인한 접목 스트레스 내성 증진 효과

▷ 오이 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 농도 (EC 0(Control), 2, 4, 6, 8, 10)에 따른 생육 특성 조사 결과

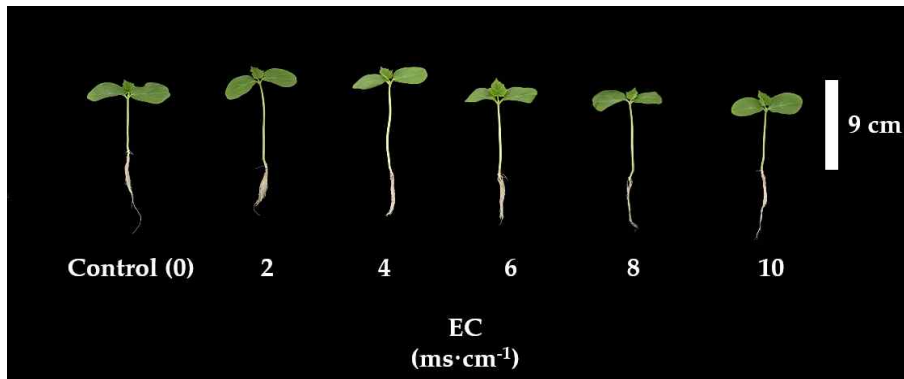


그림. Potassium의 농도에 따른 오이 접수 생육

- 농도별로 Potassium을 처리하였을 때 오이 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 9.8 cm 로 가장 길었으며 처리 농도가 높을수록 감소하는 경향을 보였음
- 경경은 무처리가 1.8 mm, EC 10 의 처리구가 1.6 mm로 감소하였지만, EC 2의 처리에서는 1.9 mm로 오히려 두꺼워지는 것을 확인할 수 있음
- 엽수는 전 처리구에서 모두 동일하게 나타났으며 SPAD 또한 유의미한 차이를 나타내지 않았음

- 엽면적은 Potassium을 처리하였을 때 감소하는 경향이 있었으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음
- 총실도 또한 EC 6과 8의 처리구에서 무처리에 비해 향상되었으나 유의성은 없었음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 오이 접수의 생육 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	9.8 ± 1.2 a	1.8 ± 0.2 ab	3.0 ± 0.1 a	46.7 ± 3.4 a	20.7 ± 1.5 a	7.9 ± 0.7 a
2	9.2 ± 1.9 ab	1.9 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	44.8 ± 2.6 a	21.3 ± 1.5 a	7.5 ± 2.0 a
4	8.7 ± 1.3 ab	1.8 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	48.6 ± 2.7 a	20.5 ± 2.6 a	7.9 ± 2.5 a
6	8.6 ± 1.0 ab	1.6 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	46.7 ± 2.3 a	21.4 ± 2.0 a	8.3 ± 1.6 a
8	8.4 ± 1.9 ab	1.8 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	45.9 ± 2.3 a	18.5 ± 4.0 a	7.9 ± 2.1 a
10	7.5 ± 0.4 b	1.6 ± 0.3 b	3.0 ± 0.1 a	44.1 ± 4.8 a	19.7 ± 3.8 a	8.2 ± 2.2 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 EC 8의 잎 생체중이 0.54 g 으로 가장 낮았으나 유의적 차이는 없었음. 건물중 또한 처리구별 유의미한 차이는 없었음
- 하지만, 줄기의 생체중에서는 초장에서 차이가 있었기 때문에 무처리가 0.57 g 으로 가장 무거웠으며 EC 10의 처리구가 0.39 g 으로 가장 낮았음. 건물중 또한 유사한 결과를 나타냈음
- 뿌리 생체중에서는 무처리가 0.28 g 으로 가장 높았던 것은 동일하였으나, EC 8의 처리구가 0.18 g 으로 가장 낮게 나타났음. 하지만 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 없었음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 오이 접수의 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0.64 ± 0.08 a	0.57 ± 0.06 a	0.28 ± 0.03 a	0.059 ± 0.010 a	0.018 ± 0.002 a	0.012 ± 0.001 a
2	0.64 ± 0.04 a	0.52 ± 0.12 ab	0.24 ± 0.03 ab	0.050 ± 0.006 a	0.016 ± 0.001 ab	0.011 ± 0.004 a
4	0.69 ± 0.16 a	0.49 ± 0.08 abc	0.23 ± 0.04 ab	0.049 ± 0.011 a	0.017 ± 0.003 ab	0.009 ± 0.001 a
6	0.65 ± 0.07 a	0.49 ± 0.05 abc	0.25 ± 0.03 a	0.053 ± 0.005 a	0.017 ± 0.002 ab	0.010 ± 0.001 a
8	0.54 ± 0.12 a	0.42 ± 0.09 bc	0.18 ± 0.06 b	0.048 ± 0.014 a	0.016 ± 0.003 ab	0.009 ± 0.002 a
10	0.60 ± 0.12 a	0.39 ± 0.02 c	0.21 ± 0.04 ab	0.048 ± 0.012 a	0.013 ± 0.001 b	0.009 ± 0.001 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 접수와 동일하게 초장은 무처리가 12.0 cm 로 가장 컸으며 EC 10 의 처리구가 9.2 cm 로 가장 작았음
- 하지만, 경경과 엽수에서는 처리구간 차이를 보이지 않았음
- SPAD는 처리를 하지 않거나 EC 4 이하로 처리하였을 때 약 60 이상의 값을 나타냈으며, 그 이상의 농도에서는 60 이하의 값으로 감소하는 경향을 보임
- 이와 비슷하게 무처리 및 EC 6 이하의 처리구에서는 약 30 cm^2 로 비슷하였지만, EC 8 이상의 농도에서는 약 28 cm^2 이하로 감소하였음
- 총실도는 EC 10 의 처리구가 19.9 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 우수하였지만, 통계적으로 유의성은 없었음

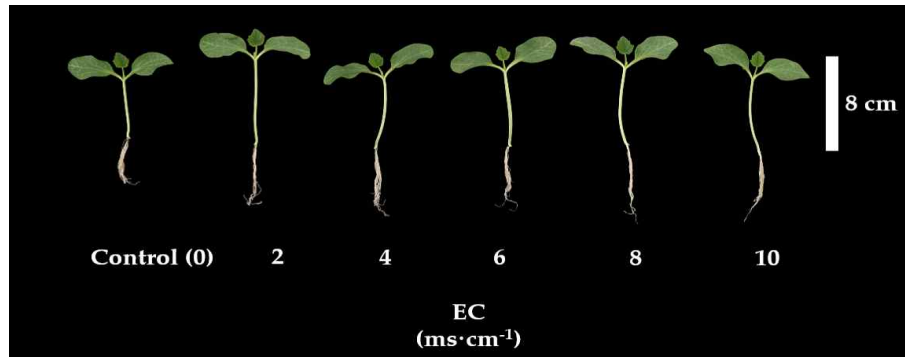


그림. Postassium의 농도에 따른 오이 대목 생육

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	12.0 ± 1.5 a	3.6 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	62.9 ± 2.3 ab	30.8 ± 2.3 ab	18.3 ± 2.5 a
2	10.3 ± 1.3 bc	3.8 ± 0.1 a	3.2 ± 0.4 a	62.6 ± 2.6 ab	29.6 ± 3.1 ab	19.6 ± 2.7 a
4	11.2 ± 0.6 ab	3.7 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	63.9 ± 3.2 a	32.6 ± 2.8 a	17.2 ± 1.4 a
6	10.7 ± 0.6 ab	3.7 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	59.4 ± 2.6 bc	29.8 ± 2.0 ab	19.4 ± 1.1 a
8	10.3 ± 1.0 bc	3.5 ± 0.7 a	3.0 ± 0.1 a	59.7 ± 1.3 bc	28.6 ± 1.5 b	18.4 ± 1.7 a
10	9.2 ± 0.5 c	3.8 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	58.4 ± 4.2 c	27.0 ± 3.3 b	19.9 ± 3.5 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 무처리가 2.36 g 으로 가장 무거웠으며 Potassium 처리를 하였을 때 감소하는 경향이 있었음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 초장이 감소하는 결과와 마찬가지로 줄기 생체중 또한 무처리가 1.50 g 으로 가장 높았으며 처리 농도가 높아질수록 감소하였고 EC 10 의 처리구가 1.07 g 으로 가장 낮았음. 건물중 또한 유사한 경향을 보였음
- 이와 달리, 뿌리에서는 중간 농도인 EC 4 ~ 6 의 처리구가 가장 낮게 나타났음. 또한, 건물중에서는 EC 10의 처리구가 0.028 g 으로 가장 무거웠음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 무게 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	2.36 ± 0.17 a	1.50 ± 0.11 a	0.59 ± 0.07 a	0.157 ± 0.021 a	0.062 ± 0.007 a	0.025 ± 0.004 ab
2	2.28 ± 0.25 ab	1.33 ± 0.20 ab	0.57 ± 0.07 ab	0.149 ± 0.016 a	0.052 ± 0.012 ab	0.025 ± 0.003 ab
4	2.10 ± 0.11 b	1.36 ± 0.11 ab	0.48 ± 0.06 b	0.138 ± 0.007 a	0.055 ± 0.003 ab	0.022 ± 0.002 b
6	2.21 ± 0.11 ab	1.36 ± 0.07 ab	0.48 ± 0.05 b	0.152 ± 0.009 a	0.057 ± 0.004 ab	0.024 ± 0.001 ab
8	2.09 ± 0.16 b	1.18 ± 0.13 bc	0.49 ± 0.04 b	0.143 ± 0.012 a	0.047 ± 0.003 bc	0.024 ± 0.001 ab
10	2.21 ± 0.23 ab	1.07 ± 0.11 c	0.58 ± 0.10 ab	0.140 ± 0.018 a	0.043 ± 0.004 c	0.028 ± 0.004 a

▶ 오이 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 생육 단계별 (무처리(Control), 초기, 중기, 후기)에 따른 생육 특성 조사 결과

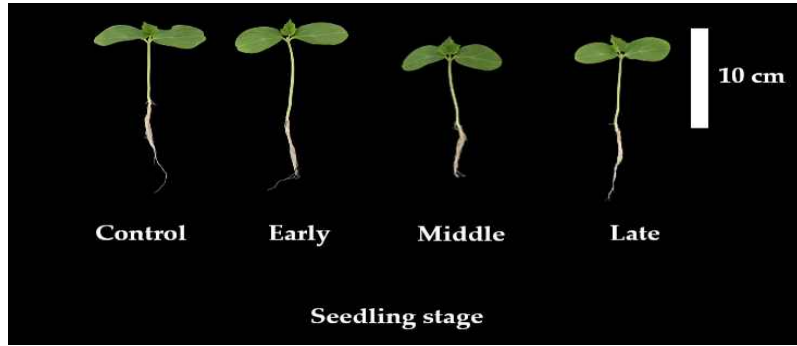


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 오이 접수 생육

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 농도 처리 실험과 유사하게 무처리가 10.7 cm 로 가장 길었으며 생육 후기에 처리한 것이 7.5 cm 로 가장 작았음
- 경경 또한 마찬가지로 무처리가 2.0 mm로 가장 두꺼웠으며 생육 후기가 1.6 mm 로 생육 단계가 늦어짐에 따라 감소하는 경향을 나타냈음
- 엽면적은 무처리가 23.1 cm² 로 가장 넓었으며 생육 중기에 처리한 것이 18.5 cm² 로 가장 작았음
- 하지만, 총실도에서는 생육 후기에 처리한 것이 8.2 mg·cm⁻¹ 로 가장 높았으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 접수의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	10.7 ± 1.5 a	2.0 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	44.5 ± 3.0 a	23.1 ± 1.3 a	6.6 ± 1.3 a
Early	9.5 ± 1.7 ab	1.9 ± 0.2 ab	3.0 ± 0.1 a	46.3 ± 2.5 a	22.2 ± 2.3 ab	7.8 ± 2.2 a
Middle	8.4 ± 1.8 b	1.8 ± 0.1 ab	3.0 ± 0.1 a	45.9 ± 2.3 a	18.5 ± 4.0 b	7.9 ± 2.1 a
Late	7.5 ± 0.4 b	1.6 ± 0.3 b	3.0 ± 0.1 a	44.2 ± 4.8 a	19.8 ± 3.8 ab	8.2 ± 2.2 a

- 생육단계별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 엽면적이 가장 높았기 때문에 잎 생체중 또한 0.72 g 으로 무거웠지만 생육 초기에 처리한 것과 유의적 차이는 없었음. 건물중 또한 전 처리구에서 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 줄기 생체중 또한 무처리의 초장이 가장 길었기 때문에 0.64 g 으로 무거웠지만 생육 초기에 처리한 것과 유의적 차이는 없었음. 하지만 건물중에서는 무처리가 0.018 g 으로 가장 무거웠으며 생육 후기에 처리한 것이 0.014 g 으로 가장 가벼웠음
- 이와 달리, 뿌리의 생체중과 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 접수의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.72 ± 0.02 a	0.64 ± 0.09 a	0.25 ± 0.04 a	0.052 ± 0.006 a	0.018 ± 0.002 a	0.009 ± 0.002 a
Early	0.70 ± 0.06 a	0.55 ± 0.08 a	0.25 ± 0.05 a	0.054 ± 0.010 a	0.017 ± 0.001 ab	0.011 ± 0.002 a
Middle	0.54 ± 0.12 b	0.42 ± 0.09 b	0.18 ± 0.07 a	0.048 ± 0.014 a	0.016 ± 0.002 ab	0.009 ± 0.002 a
Late	0.60 ± 0.12 ab	0.39 ± 0.02 b	0.21 ± 0.04 a	0.048 ± 0.012 a	0.014 ± 0.001 b	0.009 ± 0.001 a

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 접수와 유사하게 무처리 및 생육 초기에 처리한 것의 초장이 길었으며 생육 후기에 처리한 것이 가장 낮게 나타났음
- 이와 달리, 경경에서는 무처리가 4.4 mm 로 가장 두꺼웠으며 생육 중기에 처리한 것이 3.5 mm 로 가장 얇았음
- 엽수 및 엽면적에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, SPAD는 무처리 및 생육 초기에 처리를 하였을 때 보다 생육 후기에 처리한 것이 유의미하게 높게 나타났음
- 생육 초기에 처리한 것의 총실도가 $17.5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 낮았으며 생육 후기에 처리한 것이 $19.9 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 우수하였으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

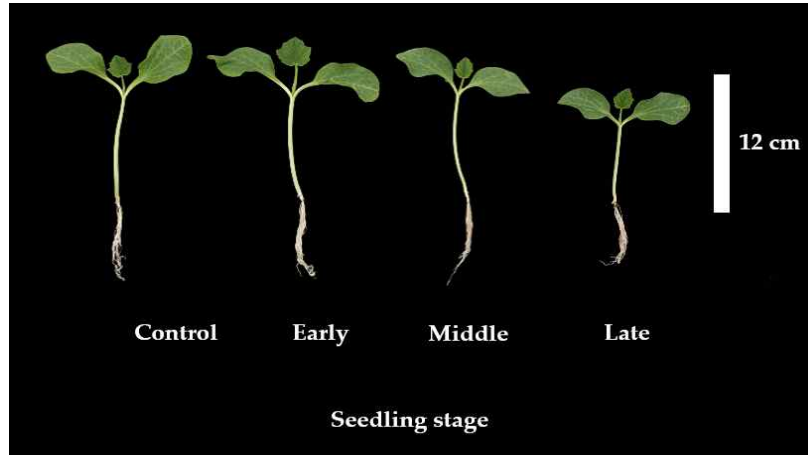


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 오이 대목 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	12.5 ± 1.2 a	4.4 ± 0.4 a	3.0 ± 0.1 a	55.8 ± 5.0 ab	29.1 ± 3.4 a	19.7 ± 4.4 a
Early	11.8 ± 0.8 a	3.7 ± 0.2 ab	3.0 ± 0.1 a	52.7 ± 2.1 b	28.8 ± 1.4 a	17.5 ± 1.2 a
Middle	10.3 ± 1.0 b	3.5 ± 0.8 b	3.0 ± 0.1 a	59.7 ± 1.3 a	28.6 ± 1.5 a	18.4 ± 1.7 a
Late	9.2 ± 0.6 b	3.8 ± 0.2 ab	3.0 ± 0.1 a	58.4 ± 4.2 a	27.1 ± 3.3 a	19.9 ± 3.5 a

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 무게의 특성일 비교 조사한 결과 엽면적에서는 차이가 없었지만 잎의 생체중에서는 무처리 및 생육 초기에 처리한 것이 생육 중기 및 후기에 처리한 것보다 높게 나타났음. 하지만, 건물중에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 줄기 생체중 또한 초장에서 차이가 발생했기 때문에 무처리가 1.85 g 으로 가장 무거웠으며 생육 중기 및 후기가 약 1.1 g 으로 가벼웠음. 건물중 또한 비슷하게 나타났으며 생육 후기가 0.043 g 으로 가장 가벼워졌음
- 뿌리 생체중은 무처리가 0.68 g 으로 가장 무거웠으며 생육 초기 및 중기에 처리한 것이 0.49 g 으로 가장 낮았음. 건물중도 유사하게 무처리가 0.028 g 으로 가장 무거웠으며 생육 초기에 처리한 것이 0.019 g 으로 가장 가벼워졌음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 오이 대목의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	2.92 ± 0.75 a	1.85 ± 0.15 a	0.68 ± 0.19 a	0.176 ± 0.049 a	0.071 ± 0.011 a	0.028 ± 0.004 a
Early	2.60 ± 0.29 a	1.51 ± 0.19 b	0.49 ± 0.03 b	0.153 ± 0.017 a	0.053 ± 0.007 b	0.019 ± 0.003 b
Middle	2.09 ± 0.16 b	1.18 ± 0.13 c	0.49 ± 0.04 b	0.143 ± 0.012 a	0.047 ± 0.003 bc	0.024 ± 0.001 ab
Late	2.21 ± 0.23 b	1.07 ± 0.11 c	0.58 ± 0.10 ab	0.140 ± 0.018 a	0.043 ± 0.004 c	0.025 ± 0.008 ab

▶ 농도 및 생육 단계별 Potassium 처리된 오이 접수 및 대목의 접목 후 건조 및 과습 스트레스 저항성 조사 결과

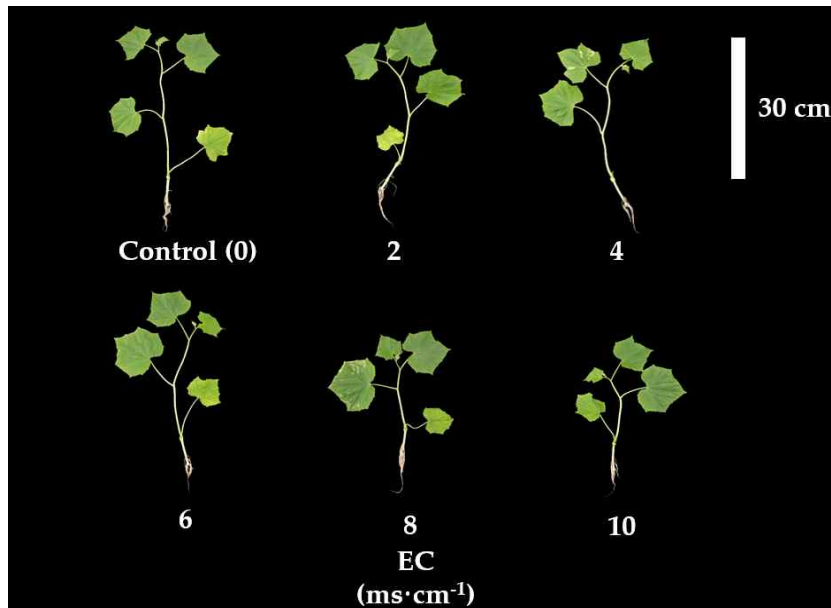


그림. Postssium 의 농도에 따른 건조 스트레스 이후 오이 접목묘 생육

- 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 사용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리보다 EC 2와 6 이 더 높았지만 농도가 더 높아진 8과 10에서는 비교적 낮아지는 것을 확인할 수 있음
- 비슷한 경향으로 경경은 무처리가 2.1 mm 로 가장 두꺼웠으며 농도가 높아질수록 얇아지며 EC 8 과 10의 처리구가 1.3 mm 로 가장 얇았음
- 엽수는 Potassium 처리에 따른 경향성은 없었으며 EC 4 및 6 의 처리구가 5.8 ea 이상으로 가장 많았으며 EC 8의 처리구가 5.0 ea 로 가장 적었음
- SPAD와 엽면적은 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 총실도에서는 무처리와 상대적으로 Potassium의 농도가 낮았던 EC 6 이하에서는 18 mg·cm⁻¹ 이하로 낮았으며 EC 8 이상에서는 약 20 mg·cm⁻¹ 이상으로 증가하는 경향이 있었음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	29.4 ± 2.9 ab	2.1 ± 0.1 a	5.4 ± 0.5 ab	34.9 ± 4.6 a	218.3 ± 299 a	18.5 ± 2.7 bc
2	32.2 ± 0.7 a	1.8 ± 0.1 a	5.4 ± 0.8 ab	37.1 ± 3.2 a	206.7 ± 27.1 a	14.8 ± 1.4 c
4	29.9 ± 2.7 ab	1.7 ± 0.4 ab	6.0 ± 0.1 a	33.5 ± 3.1 a	206.0 ± 33.5 a	15.6 ± 2.6 c
6	31.6 ± 3.2 a	1.7 ± 0.4 ab	5.8 ± 0.4 a	34.3 ± 1.9 a	206.8 ± 33.5 a	15.5 ± 2.7 c
8	26.0 ± 6.0 b	1.3 ± 0.2 c	5.0 ± 0.1 b	35.8 ± 4.0 a	211.7 ± 42.1 a	19.8 ± 4.5 b
10	21.3 ± 2.5 c	1.3 ± 0.2 c	5.4 ± 0.5 ab	35.1 ± 2.9 a	235.8 ± 16.7 a	26.2 ± 2.4 a

- 건조 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서도 큰 차이가 없었기 때문에 생체 중에서도 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음. 하지만, 건물중에서는 EC 10의 처리구가 0.410 g 으로 가장 무거운 값을 나타냈음
- 이와 반대로 초장에서 처리구간 차이가 나타났지만 줄기 생체중 및 건물중에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 생체중은 EC 10의 처리구에서 1.06 g 으로 가장 무거웠으며 다른 처리구간에는 유의미한 차이가 없었음. 건물중은 무처리가 0.039 g 으로 EC 2 ~ 8 의 처리구보다는 무거웠지만, EC 10의 처리구가 0.052 g 으로 가장 무거웠음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	4.09 ± 0.52 a	4.01 ± 0.59 a	0.75 ± 0.15 b	0.378 ± 0.041 ab	0.162 ± 0.020 a	0.039 ± 0.010 b
2	3.98 ± 0.53 a	4.22 ± 0.77 a	0.73 ± 0.08 b	0.326 ± 0.054 b	0.151 ± 0.014 a	0.023 ± 0.007 d
4	3.98 ± 0.71 a	3.84 ± 0.32 a	0.62 ± 0.12 b	0.328 ± 0.061 b	0.141 ± 0.025 a	0.026 ± 0.007 cd
6	4.20 ± 0.49 a	4.10 ± 0.40 a	0.75 ± 0.18 b	0.334 ± 0.052 b	0.151 ± 0.018 a	0.031 ± 0.011 bcd
8	3.97 ± 0.66 a	3.74 ± 1.12 a	0.81 ± 0.07 b	0.351 ± 0.053 ab	0.144 ± 0.044 a	0.038 ± 0.006 bc
10	4.53 ± 0.34 a	3.30 ± 0.40 a	1.06 ± 0.23 a	0.410 ± 0.028 a	0.145 ± 0.020 a	0.052 ± 0.009 a

- 건조 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 이하의 뿌리에서 무처리 및 EC 10의 처리구가 109.4 cm 로 가장 많았지만, 통계적으로 유의성은 없었음
- 그 이후의 뿌리에서도 비슷한 경향을 보였으나 처리구간 차이는 없었음
- 그렇기 때문에 총 뿌리에서도 무처리가 141.2 cm 로 가장 많았고 그 다음은 EC 10의 처리구가 139.5 cm 로 많았지만 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음

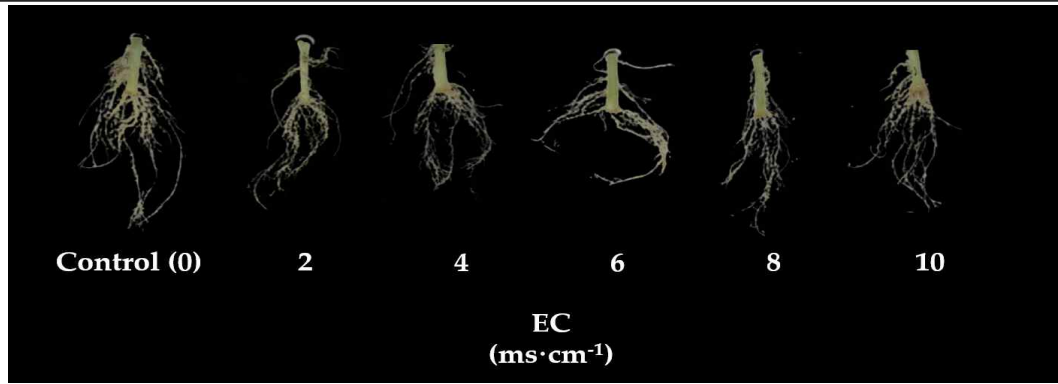


그림. Postassium의 농도에 따른 건조 스트레스 이후 오이 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter(%)					total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
0	109.4 ± 40.3 a	22.8 ± 8.3 a	5.0 ± 2.0 a	1.9 ± 0.9 a	1.9 ± 0.6 a	141.2 ± 50.9 a
2	93.0 ± 6.7 a	19.8 ± 3.2 a	4.3 ± 1.4 a	1.3 ± 0.6 a	1.0 ± 0.8 a	119.5 ± 8.8 a
4	86.2 ± 25.6 a	15.5 ± 5.5 a	2.5 ± 1.1 a	1.5 ± 0.9 a	0.9 ± 0.8 a	106.8 ± 30.1 a
6	98.5 ± 19.9 a	15.6 ± 5.2 a	4.2 ± 2.3 a	1.9 ± 0.9 a	1.9 ± 1.0 a	122.2 ± 28.0 a
8	83.0 ± 10.2 a	15.4 ± 5.2 a	4.5 ± 1.6 a	2.3 ± 0.8 a	1.6 ± 0.7 a	107.1 ± 18.0 a
10	109.4 ± 17.5 a	21.2 ± 5.0 a	4.5 ± 1.8 a	2.1 ± 0.5 a	2.1 ± 1.2 a	139.5 ± 20.2 a

- 뿌리 표면적은 Potassium의 농도가 낮았을 때 약 6.2 cm^2 로 낮았고 가장 농도가 높은 EC 10의 처리구가 10.7 cm^2 로 가장 넓었음
- 뿌리 평균 경경도 비슷하게 무처리 및 EC 8 까지는 처리구간 큰 차이가 없었지만 농도가 가장 높은 EC 10의 처리구가 0.68 mm로 가장 두꺼웠음
- 근단수 또한 무처리와 EC 2의 처리구가 약 890 으로 가장 낮았으며 EC 10의 처리구가 1281.4로 가장 많았음

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	7.8 ± 3.2 ab	0.35 ± 0.23 b	895.8 ± 190.8 b
2	6.2 ± 1.2 b	0.25 ± 0.08 b	884.2 ± 138.4 b
4	6.3 ± 2.1 b	0.29 ± 0.11 b	958.6 ± 324.6 ab
6	7.6 ± 2.4 ab	0.38 ± 0.19 b	1191.6 ± 274.8 ab
8	7.4 ± 1.5 b	0.40 ± 0.10 b	1042.4 ± 154.4 ab
10	10.7 ± 2.8 a	0.68 ± 0.33 a	1281.4 ± 294.1 a

- 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육의 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리가 41.9 cm로 가장 컸으며 EC 10의 처리구가 29.3 cm로 가장 짧으며 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보임. 하지만, 무처리와 EC 8까지는 처리구간 통계적 유의성은 없었음
- 경경 또한 유사한 경향으로 무처리 및 농도가 낮았을 때 약 1.4 mm로 얇았으며 농도가 가장 높은 EC 10의 처리구가 1.9 mm로 가장 두꺼웠음
- 엽수, SPAD, 엽면적에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 총실도 또한 무처리 및 낮은 농도에서는 약 17 mg·cm⁻¹ 이하로 낮았고 EC 8과 10에서 약 19 mg·cm⁻¹ 이상으로 높은 경향을 보였지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음

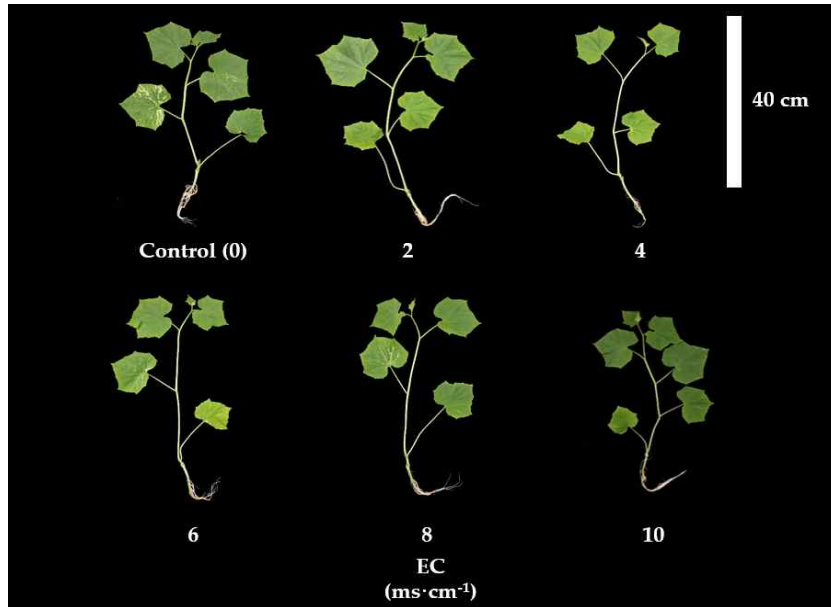


그림. Postassium의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 오이 접목묘 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	41.9 ± 2.0 a	1.4 ± 0.3 b	5.8 ± 0.4 a	35.3 ± 4.4 a	295.1 ± 60.9 a	16.7 ± 2.0 a
2	40.3 ± 4.5 a	1.5 ± 0.3 b	6.2 ± 0.4 a	30.2 ± 1.2 a	273.7 ± 86.9 a	14.8 ± 3.4 a
4	38.5 ± 6.5 a	1.4 ± 0.3 b	6.0 ± 0.1 a	33.0 ± 2.4 a	255.1 ± 78.5 a	14.3 ± 4.0 a
6	39.0 ± 8.4 a	1.5 ± 0.2 ab	6.4 ± 0.8 a	33.3 ± 4.7 a	294.6 ± 130.1 a	17.4 ± 4.7 a
8	39.1 ± 2.5 a	1.7 ± 0.3 ab	6.4 ± 0.5 a	33.1 ± 3.0 a	316.2 ± 53.3 a	19.1 ± 3.7 a
10	29.3 ± 6.0 b	1.9 ± 0.2 a	5.8 ± 0.8 a	33.1 ± 5.8 a	239.7 ± 113.2 a	19.7 ± 5.2 a

- 과습 스트레스 이후 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서도 유의미한 차이가 나타나지 않았기 때문에 잎 생체중 또한 차이가 나타나지 않았으며 건물중에서도 처리구간 유의미한 차이가 없었음
- 줄기 생체중 또한 초장에서 가장 작았던 EC 10이 4.20 g으로 전체 처리구 중에서 가장 작았지만 통계적으로 유의미한 차이는 아니었으며 건물중도 유사한 결과를 보였음
- 뿌리 생체중 및 건물중에서도 처리구간 차이가 나타나지 않았음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	5.43 ± 1.00 a	5.38 ± 0.73 a	1.20 ± 0.34 a	0.446 ± 0.122 a	0.255 ± 0.066 a	0.042 ± 0.017 a
2	5.58 ± 1.48 a	5.38 ± 1.08 a	0.97 ± 0.34 a	0.422 ± 0.147 a	0.186 ± 0.050 a	0.034 ± 0.013 a
4	4.29 ± 1.21 a	4.75 ± 1.24 a	0.96 ± 0.34 a	0.397 ± 0.149 a	0.171 ± 0.095 a	0.029 ± 0.012 a
6	5.66 ± 2.18 a	5.63 ± 1.97 a	0.91 ± 0.41 a	0.472 ± 0.216 a	0.211 ± 0.093 a	0.031 ± 0.021 a
8	6.07 ± 0.97 a	5.92 ± 0.59 a	1.16 ± 0.45 a	0.523 ± 0.102 a	0.221 ± 0.036 a	0.049 ± 0.022 a
10	5.01 ± 1.79 a	4.20 ± 1.56 a	1.21 ± 0.35 a	0.440 ± 0.203 a	0.161 ± 0.070 a	0.040 ± 0.017 a

- 과습 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리에서는 EC 10 의 처리구가 181.0 cm 로 가장 길었지만 통계적으로 유의성은 없었음
- 이후 0.5 mm 이상의 뿌리에서도 처리구간 큰 차이가 나타나지 않았음
- 총 뿌리에서도 농도가 가장 높았던 EC 10 의 처리구가 212.8 cm 로 가장 많았으나 유의미한 차이는 아니었음

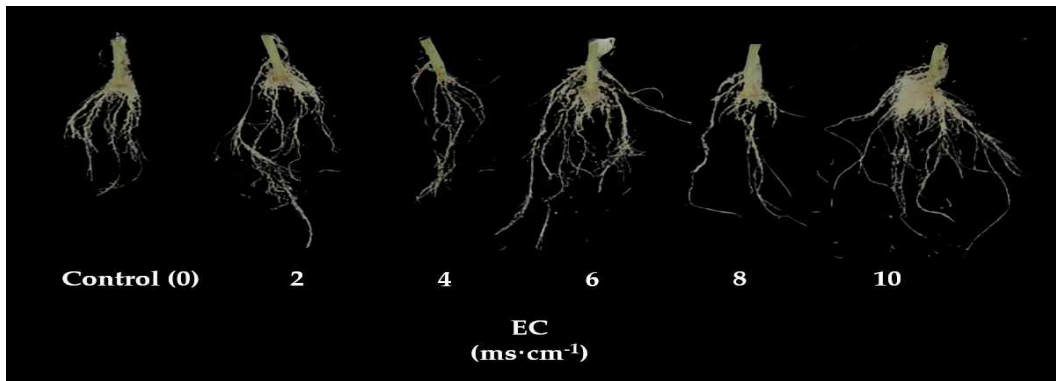


그림. Postassium 의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 오이 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
0	149.5 ± 60.9 a	24.5 ± 8.4 a	4.7 ± 0.7 a	1.4 ± 0.8 a	2.6 ± 2.6 a	183.0 ± 68.8 a
2	165.4 ± 66.4 a	26.6 ± 9.8 a	4.5 ± 2.8 a	1.8 ± 1.6 a	1.4 ± 2.1 a	199.9 ± 79.1 a
4	134.6 ± 50.5 a	20.3 ± 4.3 a	2.4 ± 1.7 a	0.9 ± 0.6 a	1.3 ± 0.9 a	159.6 ± 52.8 a
6	164.3 ± 65.0 a	26.4 ± 10.3 a	5.3 ± 3.3 a	1.2 ± 1.2 a	2.0 ± 1.6 a	199.3 ± 76.9 a
8	131.8 ± 69.3 a	20.8 ± 9.5 a	4.4 ± 2.3 a	1.6 ± 1.2 a	0.8 ± 0.6 a	159.5 ± 78.9 a
10	181.0 ± 69.2 a	24.8 ± 7.6 a	3.9 ± 2.5 a	1.5 ± 1.8 a	1.5 ± 1.6 a	212.8 ± 73.7 a

- 뿌리 표면적은 EC 8 의 처리구가 13.9 cm² 로 가장 넓었으며 EC 6 의 표면적이 9.2 cm² 로 가장 작았으나 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 뿌리 표면적 및 근단수에서도 처리구간 유의미한 차이를 발견할 수 없었음

EC (ms·cm ⁻¹)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	12.1 ± 5.3 a	0.58 ± 0.27 a	2325.2 ± 764.8 a
2	13.1 ± 10.9 a	0.98 ± 1.34 a	1854.2 ± 775.4 a
4	11.6 ± 5.4 a	0.55 ± 0.33 a	2503.8 ± 1091.6 a
6	9.2 ± 4.6 a	0.43 ± 0.26 a	1862.0 ± 1177.9 a
8	13.9 ± 5.5 a	0.76 ± 0.38 a	2991.0 ± 1198.0 a
10	13.0 ± 4.4 a	0.72 ± 0.27 a	2278.0 ± 1156.4 a

- 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육의 특성을 비교 조사한 결과 무처리 및 생육 초기, 중기에 처리한 것은 약 26 cm 정도로 차이가 없었지만 생육 후기에 처리한 것은 21.3 cm 로 가장 작았음
- 하지만, 경경은 생육 초기가 1.9 mm 로 가장 두꺼운 경향을 보였음
- 엽수 및 SPAD 에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 생육 후기에 처리한 것이 235.8 cm² 로 가장 넓었지만 통계적으로 유의성은 없었음
- 이와 달리, 총실도에서는 무처리 및 생육 초기, 중기에 처리한 것은 약 19 mg·cm⁻¹ 정도였지만, 생육 후기에 처리한 것은 26.2 mg·cm⁻¹ 로 증가된 것을 확인할 수 있었음



그림. Postassium의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 오이 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	26.6 ± 4.8 a	1.3 ± 0.2 b	5.4 ± 0.5 a	34.5 ± 2.2 a	222.2 ± 23.3 a	19.4 ± 7.0 a
Early	26.3 ± 3.6 a	1.9 ± 0.7 a	5.4 ± 0.5 a	35.5 ± 2.9 a	230.7 ± 22.8 a	19.2 ± 4.7 a
Middle	26.0 ± 6.0 a	1.3 ± 0.2 b	5.0 ± 0.1 a	35.8 ± 4.0 a	211.7 ± 42.1 a	19.8 ± 4.5 a
Late	21.3 ± 2.5 b	1.3 ± 0.2 b	5.4 ± 0.5 a	35.1 ± 2.9 a	235.8 ± 16.7 a	26.2 ± 2.4 b

- 건조 스트레스 이후 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎의 생체중 및 건물중은 엽면적에서도 큰 차이가 없었기 때문에 처리구간 큰 차이가 나타나지 않았음
- 줄기 생체중 또한 초장의 경향과 유사하게 무처리 및 생육 초기, 중기에 처리하였을 때는 큰 차이가 없었지만 생육 후기에 처리한 것은 3.31 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 이와 달리 뿌리 생체중은 무처리 및 생육 초기, 중기에 처리한 것보다 생육 후기에 처리한 것의 무게가 1.06 g 으로 무거웠음. 건물중 또한 무처리 및 생육 초기에 처리한 것이 0.030 g 으로 생육 후기에 처리하였을 때 0.052 g 이므로 처리 시기가 늦어질수록 증가하는 경향을 확인할 수 있었음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	4.31 ± 0.53 a	3.91 ± 0.41 a	0.79 ± 0.11 b	0.341 ± 0.054 a	0.150 ± 0.003 a	0.030 ± 0.011 b
Early	4.51 ± 0.53 a	4.05 ± 0.50 a	0.97 ± 0.14 ab	0.343 ± 0.062 a	0.153 ± 0.035 a	0.030 ± 0.012 b
Middle	3.97 ± 0.66 a	3.74 ± 0.17 a	0.81 ± 0.07 b	0.351 ± 0.053 a	0.144 ± 0.044 a	0.038 ± 0.006 ab
Late	4.53 ± 0.34 a	3.31 ± 0.30 b	1.06 ± 0.23 a	0.410 ± 0.028 a	0.145 ± 0.020 a	0.052 ± 0.009 a

- 건조 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리에서는 무처리 및 생육 초기, 중기의 처리구에서는 큰 차이가 없었지만 생육 후기에 처리한 것이 152.3 cm로 가장 컸음
- 0.5 mm ~ 1.5 mm 에서도 유사한 경향으로 무처리가 처리구 중에서 낮은 편에 속하였으며 생육 후기의 처리구가 가장 높은 값을 보였음
- 하지만, 1.5 mm ~ 2.0 mm 에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 그렇기 때문에 총 뿌리에서는 비중을 많이 차지하는 1.0 mm 이하의 뿌리에서 생육 후기에 처리한 것이 가장 컸기 때문에 총 뿌리에서도 190.7 cm 로 가장 컸으며 그 이하의 처리구에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음

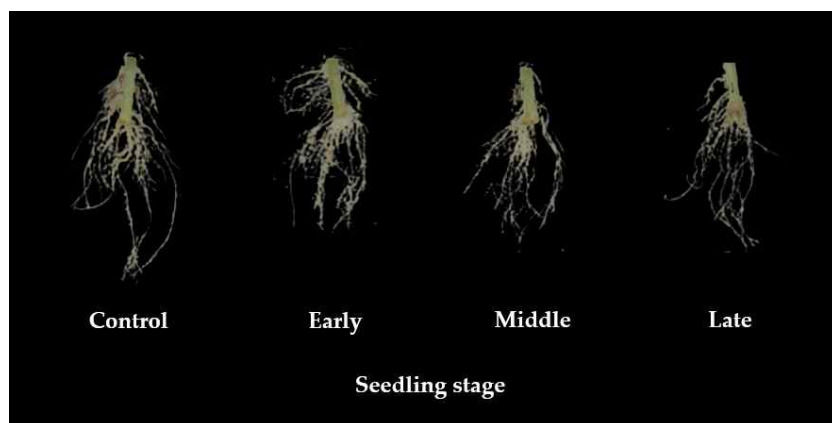


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 오이 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	99.1 ± 29.6 b	17.3 ± 4.5 b	4.2 ± 1.5 b	2.0 ± 0.9 a	1.5 ± 0.5 a	124.3 ± 32.8 b
Early	109.4 ± 17.5 b	21.2 ± 5.0 ab	4.6 ± 1.8 ab	2.1 ± 0.5 a	2.1 ± 1.2 a	139.5 ± 20.2 b
Middle	83.0 ± 10.1 b	15.4 ± 5.2 b	4.5 ± 1.6 ab	2.3 ± 0.8 a	1.6 ± 0.7 a	107.1 ± 18.0 b
Late	152.3 ± 30.1 a	27.5 ± 5.6 a	6.5 ± 1.2 a	2.1 ± 0.9 a	1.9 ± 1.0 a	190.7 ± 35.6 a

- 뿌리 표면적은 무처리 및 생육 초기, 중기에서는 처리구간 큰 차이가 나타나지 않았지만, 생육 후기에 처리하였을 때 10.7 cm² 로 가장 넓은 값을 나타냄
- 유사한 경향으로 뿌리 평균 경경 또한 무처리 및 생육 초기, 중기는 약 0.4 mm 로 큰 차이가 없었지만 생육 후기의 처리구가 0.68 mm 로 가장 두꺼웠음
- 하지만, 근단수에서는 생육 후기가 1894.0 으로 가장 많았지만 처리구간 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	7.0 ± 1.9 b	0.32 ± 0.15 b	1236.2 ± 243.6 a
Early	9.7 ± 2.2 b	0.39 ± 0.11 b	1281.4 ± 294.1 a
Middle	7.4 ± 1.5 b	0.40 ± 0.10 b	1042.4 ± 154.4 a
Late	10.7 ± 2.8 a	0.68 ± 0.33 a	1894.0 ± 643.9 a

- 과습 스트레스 이후 생육의 특성을 비교 조사한 결과 초장은 생육 후기의 처리구인 29.3 cm 를 제외하고 약 39 cm 로 유사한 값을 나타냄
- 경경 또한 유사한 경향으로 생육 후기에 처리하였을 때 1.9 mm 로 다른 처리구들에 비하여 두꺼웠음
- 엽수에서는 생육 초기에 처리한 것이 7.0 ea 로 가장 많았으며 생육 후기에 처리한 것이 5.8 ea 로 가장 적었음
- 하지만, SPAD 에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 생육 후기의 잎의 수가 상대적으로 부족하였기 때문에 생육 후기에 처리한 것이 239.7 cm² 로 처리구 중 가장 작았음
- 그렇지만, 총질도 부분에서는 생육 후기에 처리한 것이 19.7 mg·cm⁻¹ 로 무처리 및 다른 처리구에 비하여 높았지만, 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음

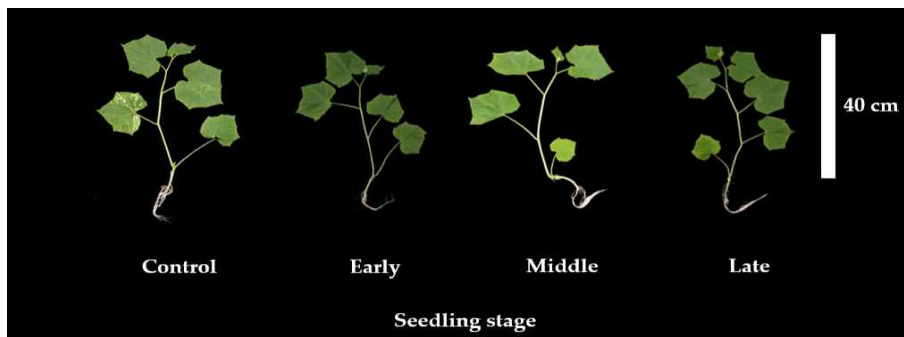


그림. Postassium 의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 오이 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	38.2 ± 5.2 a	1.6 ± 0.2 ab	6.2 ± 0.4 b	35.1 ± 4.0 a	324.5 ± 72.0 a	18.6 ± 3.8 a
Early	39.1 ± 2.6 a	1.6 ± 0.1 ab	7.0 ± 0.1 a	35.5 ± 2.2 a	306.1 ± 25.1 a	17.1 ± 2.2 a
Middle	39.1 ± 2.5 a	1.4 ± 0.3 b	6.4 ± 0.5 ab	33.1 ± 3.1 a	316.2 ± 53.3 a	19.1 ± 3.7 a
Late	29.3 ± 6.0 b	1.9 ± 0.2 a	5.8 ± 0.8 b	33.1 ± 5.8 a	239.7 ± 31.3 b	19.7 ± 5.2 a

- 과습 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 잎의 생체중은 생육 후기의 엽면적이 가장 낮았기 때문에 생체중 또한 5.01 g 으로 다른 처리구에 비하여 가벼운 값을 보임. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 줄기 생체중 또한 유사한 경향으로 초장이 생육 후기가 가장 낮았기 때문에 생체중 또한 생육 후기가 4.21 g 으로 가장 가벼웠음. 건물중 또한 같은 결과를 보였음
- 하지만 뿌리의 생체중 및 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 없었음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	6.32 ± 1.73 a	5.78 ± 0.95 a	1.22 ± 0.32 a	0.506 ± 0.144 a	0.209 ± 0.031 a	0.040 ± 0.012 a
Early	5.63 ± 0.66 ab	5.73 ± 0.38 a	1.18 ± 0.16 a	0.465 ± 0.062 a	0.204 ± 0.023 a	0.044 ± 0.008 a
Middle	6.07 ± 0.97 a	5.92 ± 0.59 a	1.16 ± 0.45 a	0.523 ± 0.102 a	0.221 ± 0.036 a	0.049 ± 0.022 a
Late	5.01 ± 1.79 b	4.21 ± 1.56 b	1.21 ± 0.35 a	0.440 ± 0.203 a	0.161 ± 0.050 b	0.040 ± 0.017 a

- 과습 스트레스 이후 지하부의 특성을 비교 조사한 결과 전체적으로 얇고 굵은 뿌리에서 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 그렇기 때문에 총 뿌리에서 생육 후기에 처리한 것이 212.8 cm 로 가장 많았으며 생육 초기에 처리한 것이 171.1 cm 로 가장 적었으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

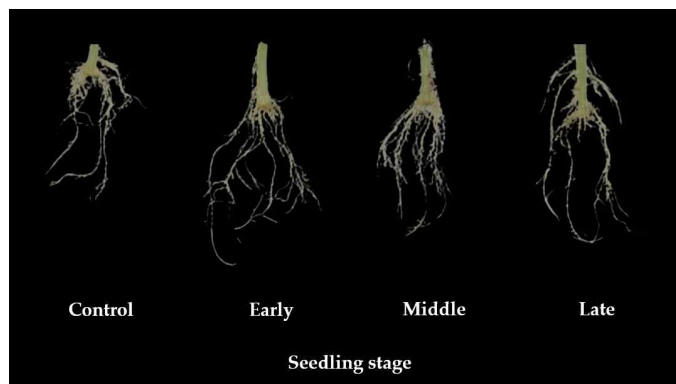


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 오이 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 오이 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	139.4 ± 67.2 a	24.6 ± 9.5 a	4.5 ± 1.9 a	1.1 ± 0.5 a	1.3 ± 1.0 a	171.1 ± 78.3 a
Early	161.1 ± 40.4 a	30.1 ± 2.3 a	4.7 ± 3.4 a	1.0 ± 1.2 a	1.2 ± 1.3 a	198.3 ± 45.5 a
Middle	181.0 ± 69.2 a	24.8 ± 7.6 a	3.9 ± 2.5 a	1.5 ± 1.8 a	1.5 ± 1.6 a	212.8 ± 73.7 a
Late	149.5 ± 60.9 a	24.5 ± 8.4 a	4.7 ± 0.7 a	1.4 ± 0.8 a	2.6 ± 2.6 a	183.0 ± 68.8 a

- 뿌리 표면적은 처리구간 유의성은 없었지만 뿌리 발달이 무처리가 가장 부족하였기 때문에 표면적 또한 11.9 cm² 로 가장 작았으며 생육 시기에 따른 차이는 통계적으로 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 평균 경경 및 근단수에서도 무처리가 가장 낮은 값을 보였지만 통계적으로 유의미한 차이는 없었음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	11.9 ± 2.6 b	0.66 ± 0.14 a	2076.6 ± 982.2 a
Early	13.4 ± 3.2 a	0.76 ± 0.45 a	2117.6 ± 560.9 a
Middle	13.9 ± 4.5 a	0.76 ± 0.38 a	2991.0 ± 1198.0 a
Late	13.0 ± 3.4 a	0.72 ± 0.27 a	2278.0 ± 1156.4 a

• 수박 접목묘 육묘 시 고농도 Potassium 처리로 인한 접목 스트레스 내성 증진 효과

▷ 수박 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 농도 (EC 0(Control), 2, 4, 6, 8, 10)에 따른 생육 특성 조사 결과

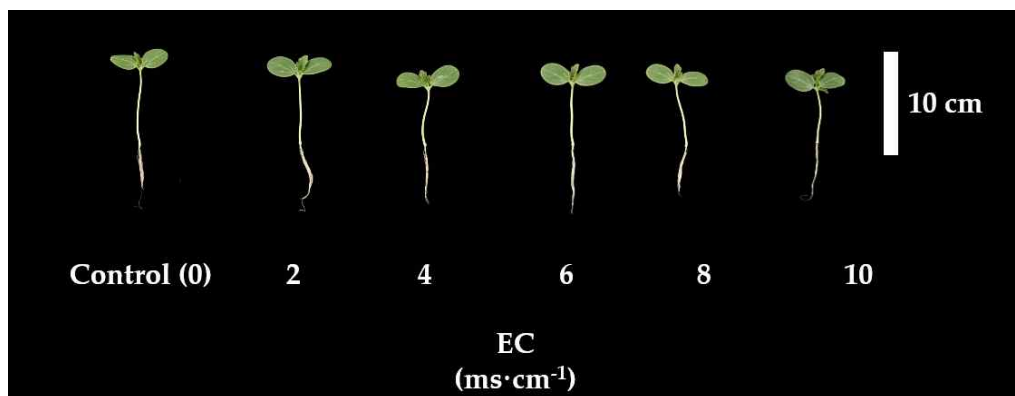


그림. Postassium의 농도에 따른 수박 접수 생육

- 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 8.3 cm 로 가장 길었고 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으며 농도가 가장 높았던 EC 10의 처리구가 6.2 cm 로 가장 낮았음

- 하지만, 경경에서는 무처리와 EC 10 의 처리구가 약 1.6 mm 로 가장 낮았으며 EC 2.0 의 처리구가 2.0 mm 로 가장 두꺼운 경향을 보였음
- 엽수는 무처리 및 농도가 낮은 처리구에서는 약 3,3 ea 정도였으며 농도가 높은 EC 6과 8 의 처리구에서는 4.0 ea 로 많은 엽수를 가졌음
- SPAD 또한 유사한 경향으로 무처리와 EC 6 이전의 처리구에서는 큰 차이가 없었지만, 농도가 높았던 EC 6 및 8 의 처리구에서는 약 63 정도로 높은 수치를 나타내었음
- 이와 달리 엽면적에서는 처리구간 유의미한 차이를 나타내지 않았음
- 총실도에서는 EC 8이 $5.6 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 으로 가장 낮게 나타났지만, EC 10 의 처리구가 $8.4 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 우수하였으며 EC 6 이하 및 무처리에서는 처리구간 큰 차이가 보이지 않았음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 생육 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
0	8.3 ± 0.3 a	1.60 ± 0.18 c	3.2 ± 0.4 b	57.5 ± 3.6 b	12.2 ± 1.5 a	6.3 ± 0.7 ab
2	7.9 ± 0.7 ab	2.00 ± 0.07 a	3.2 ± 0.4 b	57.9 ± 1.2 b	13.4 ± 1.3 a	6.9 ± 0.7 ab
4	7.6 ± 0.7 ab	1.78 ± 0.20 bc	3.4 ± 0.5 ab	58.0 ± 1.2 b	13.3 ± 0.7 a	7.3 ± 1.0 ab
6	7.2 ± 0.4 b	1.68 ± 0.08 bc	4.0 ± 0.1 a	59.1 ± 3.8 b	12.2 ± 1.4 a	6.9 ± 1.2 ab
8	7.3 ± 0.8 b	1.86 ± 0.20 ab	4.0 ± 0.1 a	62.7 ± 2.2 ab	11.3 ± 2.0 a	5.6 ± 2.5 b
10	6.2 ± 0.2 c	1.62 ± 0.13 c	3.0 ± 0.1 b	64.3 ± 3.6 a	11.3 ± 1.4 a	8.4 ± 3.0 a

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서는 통계적 차이는 없었지만 EC 8과 10의 엽면적이 상대적으로 작았던 것의 영향을 받아 무처리 및 EC 6 이하의 처리구보다 EC 8과 10의 엽면적이 약 0.48 cm^2 로 낮았음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 초장에서 처리구간 차이가 분명하였기 때문에 줄기의 생체중 또한 무처리보다 Potassium의 처리 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 큰 차이가 없었음
- 이와 반대로, 뿌리의 생체중에서는 EC 10의 처리구가 0.15 g 으로 가장 높았으며 그 이하의 처리구 및 무처리에서는 약 0.11 g 으로 낮은 값을 보였음. 건물중 또한 EC 10 의 처리구가 0.006 g 으로 가장 무거웠으며 무처리가 0.004 g 로 가장 가벼웠음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	0.52 ± 0.05 ab	0.45 ± 0.05 a	0.11 ± 0.01 b	0.036 ± 0.004 a	0.015 ± 0.001 a	0.004 ± 0.001 c
2	0.57 ± 0.05 a	0.43 ± 0.04 ab	0.12 ± 0.02 b	0.041 ± 0.005 a	0.014 ± 0.001 a	0.005 ± 0.001 ab
4	0.56 ± 0.03 ab	0.43 ± 0.03 ab	0.10 ± 0.02 b	0.040 ± 0.005 a	0.016 ± 0.003 a	0.005 ± 0.001 ab
6	0.52 ± 0.05 ab	0.39 ± 0.04 ab	0.11 ± 0.01 b	0.035 ± 0.012 a	0.016 ± 0.002 a	0.005 ± 0.001 ab
8	0.48 ± 0.09 b	0.36 ± 0.06 bc	0.10 ± 0.02 b	0.034 ± 0.010 a	0.015 ± 0.002 a	0.005 ± 0.001 ab
10	0.49 ± 0.06 ab	0.32 ± 0.04 c	0.15 ± 0.01 a	0.038 ± 0.018 a	0.016 ± 0.003 a	0.006 ± 0.001 a

- 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리에 비하여 Potassium을 EC 6 이상으로 처리하였을 때 감소하는 경향이 있었지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 경경 및 엽수 또한 처리구간 유의미한 차이가 없었음
- SPAD에서는 EC 2 의 처리구가 67.1 로 가장 높았으며 EC 6 의 처리구가 62.3으로 가장 낮았음
- 이와 반대로, 엽면적은 무처리 및 EC 10 의 처리구가 가장 낮았으며 EC 6 의 처리구가 32.7 cm² 로 가장 넓었음
- 총실도는 EC 6 의 처리구가 26.4 mg·cm⁻¹ 로 가장 높았으며 무처리 및 EC 10 의 처리구가 21.0 mg·cm⁻¹ 로 가장 낮았지만 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음

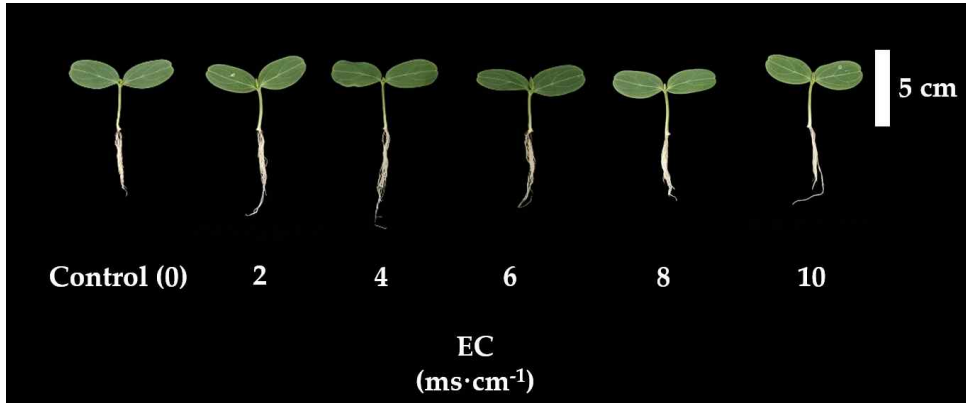


그림. Postassium 의 농도에 따른 수박 대목 생육

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	5.0 ± 0.9 a	2.4 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	64.3 ± 3.0 ab	27.1 ± 3.3 b	21.0 ± 4.5 a
2	5.1 ± 0.5 a	2.2 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	67.1 ± 3.8 a	30.8 ± 2.3 ab	22.7 ± 3.6 a
4	5.1 ± 0.5 a	2.2 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	66.2 ± 2.7 ab	29.6 ± 3.1 ab	21.7 ± 3.6 a
6	4.7 ± 0.5 a	2.1 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	62.3 ± 3.0 b	32.7 ± 2.8 a	26.4 ± 6.3 a
8	4.6 ± 0.3 a	2.2 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	64.4 ± 3.5 ab	29.8 ± 1.5 ab	24.8 ± 2.5 a
10	4.9 ± 0.5 a	2.3 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	62.9 ± 2.8 ab	28.6 ± 1.5 b	21.0 ± 2.4 a

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 EC 6 의 처리구가 가장 넓었던 영향을 받아 EC 4 ~ 6 의 처리구가 약 1.4 g 으로 가장 높았으며 무처리 및 농도가 가장 낮은 EC 2의 처리구가 약 1.1 g 으로 가장 낮았음. 건물중 또한 유사한 경향으로 EC 6 의 처리구가 0.106 g 으로 가장 높았으며 생체중과 다르게 무처리 및 EC 10 의 처리구가 약 0.087 g 으로 가장 가벼웠음
- 초장에서는 처리구별 큰 차이가 없었지만 경경에서는 EC 4 의 처리구가 0.47 g 으로 가장 무거웠고 EC 8 의 처리구가 0.35 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만, 건물중에서는 EC 2의 처리구가 0.019 g 으로 가장 무거웠으며 EC 10 의 처리구가 0.014 g으로 가장 가벼웠음
- 뿌리 생체중에서는 무처리가 0.31 g 이었으며 Potassium 처리를 하였을 때 0.4 g 이상으로 높아지는 경향이 있었음. 건물중도 유사한 경향으로 EC 8 의 처리구가 0.017 g 으로 가장 무거웠으며 무처리가 0.012 g 으로 가장 가벼웠음

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	1.17 ± 0.15 b	0.38 ± 0.07 bc	0.31 ± 0.05 c	0.087 ± 0.014 b	0.016 ± 0.002 abc	0.012 ± 0.001 c
2	1.14 ± 0.17 b	0.44 ± 0.07 ab	0.40 ± 0.08 ab	0.097 ± 0.012 ab	0.019 ± 0.002 a	0.014 ± 0.002 abc
4	1.37 ± 0.16 a	0.47 ± 0.08 a	0.46 ± 0.07 ab	0.092 ± 0.010 ab	0.018 ± 0.001 ab	0.015 ± 0.002 abc
6	1.43 ± 0.18 a	0.40 ± 0.03 abc	0.44 ± 0.06 ab	0.106 ± 0.014 a	0.017 ± 0.002 abc	0.016 ± 0.002 ab
8	1.36 ± 0.09 a	0.35 ± 0.03 c	0.48 ± 0.05 a	0.099 ± 0.007 ab	0.015 ± 0.001 bc	0.017 ± 0.001 a
10	1.25 ± 0.06 ab	0.37 ± 0.02 bc	0.39 ± 0.02 b	0.088 ± 0.005 b	0.014 ± 0.002 c	0.013 ± 0.004 bc

- 지하부 특성을 비교 조사하였을 때 0.5 mm 이하의 뿌리에서는 무처리가 55.3 cm 로 가장 낮았으며 Potassium을 처리하였을 때 약 80 cm 이상으로 증가하는 경향을 확인할 수 있음
- 0.5 ~ 1.5 mm 의 뿌리에서는 EC 8 의 처리구가 가장 높았으며 무처리가 가장 낮았음
- 1.5 ~ 2.0 mm 의 뿌리는 EC 8 의 처리구가 2.0 cm 로 가장 높았음
- 이와 다르게 2.0 mm 의 뿌리에서는 EC 8 의 처리구가 2.1 cm 로 가장 높았음
- 그 결과로 비중이 높은 0.5 mm에서 무처리의 값이 가장 낮았기 때문에 총 뿌리에서도 무처리가 84.1 cm 로 가장 낮았으며 Potassium 처리구 간의 유의미한 차이는 나타나지 않았음

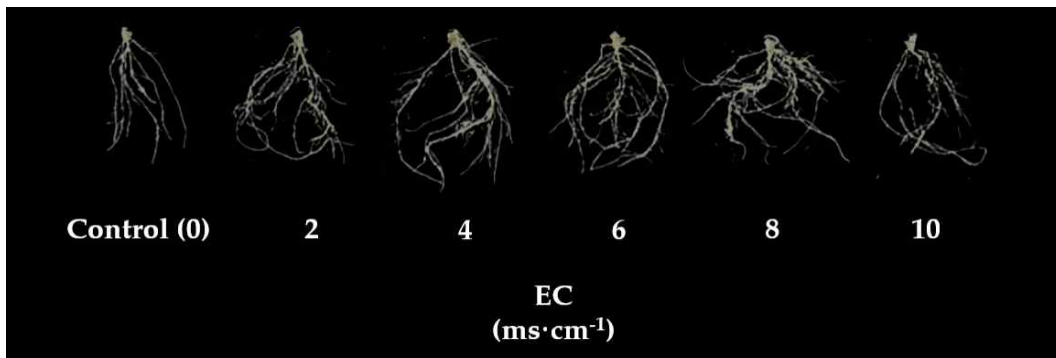


그림. Postassium 의 농도에 따른 수박 대목 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	Total
0	55.3 ± 14.6 b	23.9 ± 6.0 b	3.4 ± 1.4 b	0.8 ± 0.5 b	0.6 ± 0.3 b	84.1 ± 21.5 b
2	81.1 ± 21.7 a	30.5 ± 6.8 ab	5.1 ± 1.9 ab	1.4 ± 0.8 ab	0.7 ± 0.4 b	118.9 ± 30.6 a
4	86.7 ± 19.2 a	29.1 ± 1.6 ab	3.8 ± 0.6 ab	1.2 ± 0.4 b	0.7 ± 0.3 b	121.6 ± 19.7 a
6	84.1 ± 17.8 a	32.0 ± 3.7 a	4.5 ± 1.3 ab	0.9 ± 0.4 b	0.6 ± 0.3 b	122.2 ± 18.8 a
8	88.2 ± 14.2 a	34.5 ± 7.3 a	5.8 ± 2.2 a	2.0 ± 0.9 a	2.1 ± 1.1 a	132.7 ± 20.5 a
10	85.5 ± 14.4 a	28.5 ± 2.0 ab	3.6 ± 0.7 ab	0.7 ± 0.2 b	0.3 ± 0.3 b	118.8 ± 14.4 a

- 뿌리 발달이 무처리가 떨어졌기 때문에 뿌리 표면적에서도 무처리가 4.2 cm^2 로 가장 낮았으며 EC 8의 처리구가 7.2 cm^2 로 가장 높았음
- 비슷한 경향으로 EC 8의 처리구가 0.31 g 으로 가장 두꺼웠으며 EC 2를 제외한 무처리 및 처리구 간에는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 근단수는 EC 8의 처리구가 가장 높았지만 EC 4 ~ 10의 처리구 간에는 유의미한 차이가 없었으며 무처리가 $372.8 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 낮았음

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	$4.2 \pm 1.0 \text{ b}$	$0.16 \pm 0.04 \text{ b}$	$372.8 \pm 119.8 \text{ b}$
2	$5.9 \pm 1.6 \text{ ab}$	$0.23 \pm 0.06 \text{ ab}$	$582.2 \pm 221.3 \text{ ab}$
4	$5.8 \pm 0.6 \text{ ab}$	$0.22 \pm 0.01 \text{ b}$	$701.4 \pm 275.4 \text{ a}$
6	$5.8 \pm 0.6 \text{ ab}$	$0.22 \pm 0.02 \text{ b}$	$708.8 \pm 223.1 \text{ a}$
8	$7.2 \pm 2.2 \text{ a}$	$0.31 \pm 0.14 \text{ a}$	$818.6 \pm 185.6 \text{ a}$
10	$5.3 \pm 0.4 \text{ b}$	$0.19 \pm 0.01 \text{ b}$	$715.6 \pm 241.5 \text{ a}$

▶ 수박 접수 및 대목의 고농도 Potassium의 생육 단계별 (무처리(Control), 초기, 중기, 후기)에 따른 생육 특성 조사 결과

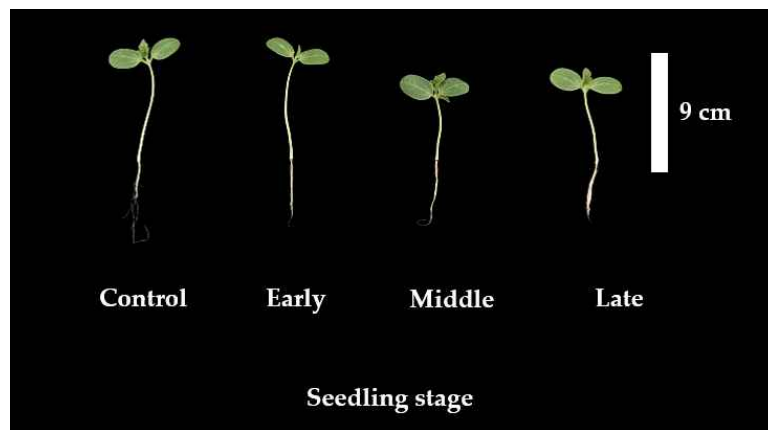


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 수박 접수 생육

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리가 8.7 cm 로 가장 높았으며 생육 후기가 6.2 cm 로 처리 시기가 늦어질수록 초장이 감소하는 경향을 보임
- 이와 달리, 경경은 무처리가 1.5 mm 로 가장 얇았으며 생육 중기에 처리한 것이 1.8 mm 로 굵었음
- 엽수에서도 생육 중기에 처리한 것이 4.0 ea 로 가장 많았으며 생육 후기에 처리한 것이 3.0 ea 로 가장 적었음
- SPAD는 무처리가 58.9 로 가장 낮았으며 생육 후기가 64.3 으로 초장과 유사하게 처리 시기가 늦을수록 높아지는 경향을 보였음
- 무처리 및 생육 초기에 처리한 엽면적에 비하여 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 약 11.3 cm^2 으로 작았음
- 총실도는 생육 후기에 처리한 것이 $8.7 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 우수하였고 무처리가 $6.5 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 낮았지만 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	8.7 ± 0.7 a	1.5 ± 0.1 b	3.8 ± 0.4 ab	58.9 ± 1.7 b	13.8 ± 2.0 ab	6.5 ± 1.2 a
Early	8.4 ± 0.9 a	1.7 ± 0.1 ab	3.6 ± 0.5 ab	61.4 ± 2.7 ab	15.2 ± 1.8 a	7.8 ± 1.2 a
Middle	7.3 ± 0.8 b	1.8 ± 0.2 a	4.0 ± 0.1 a	62.7 ± 2.2 a	11.3 ± 2.0 b	6.8 ± 2.1 a
Late	6.2 ± 0.2 c	1.6 ± 0.1 b	3.0 ± 0.1 b	64.3 ± 3.6 a	11.3 ± 1.4 b	8.7 ± 3.2 a

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중에서 생육 초기에 처리한 것이 0.65 g 으로 가장 무거웠으며 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 약 0.48 g 으로 가벼웠음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 줄기 생체중도 잎 생체중과 동일한 결과를 나타냄
- 뿌리 생체중은 무처리와 생육 초기가 0.18 g 으로 무거웠으며 이전과 동일하게 생육 중기 및 후기에 처리한 것이 가장 가벼웠지만, 건물중에서는 차이가 나타나지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 접수의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	0.56 ± 0.08 ab	0.46 ± 0.03 b	0.18 ± 0.04 a	0.038 ± 0.006 a	0.018 ± 0.004 a	0.006 ± 0.001 a
Early	0.65 ± 0.06 a	0.52 ± 0.02 a	0.18 ± 0.06 a	0.046 ± 0.006 a	0.019 ± 0.002 a	0.006 ± 0.002 a
Middle	0.48 ± 0.09 b	0.36 ± 0.06 c	0.10 ± 0.02 b	0.033 ± 0.010 a	0.016 ± 0.002 a	0.005 ± 0.001 a
Late	0.49 ± 0.06 b	0.32 ± 0.04 c	0.15 ± 0.01 b	0.038 ± 0.018 a	0.016 ± 0.003 a	0.006 ± 0.001 a

- 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리가 5.0 cm 로 가장 길었지만 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 이후 다른 생육 지표에서도 접수와는 다르게 무처리와 생육 단계별로 처리를 하였을 때 처리구간 차이가 나타나지 않았음

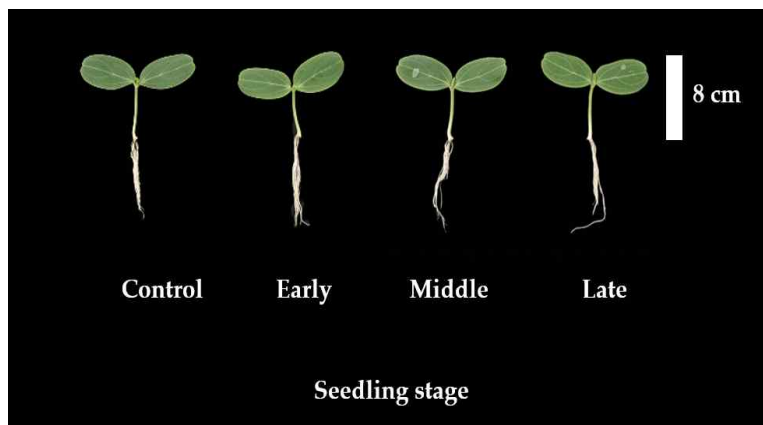


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 수박 대목 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	5.0 ± 0.9 a	2.4 ± 0.2 a	3.0 ± 0.1 a	64.3 ± 3.1 a	27.1 ± 3.3 a	21.0 ± 4.5 a
Early	4.7 ± 0.3 a	2.2 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	62.9 ± 3.8 a	28.8 ± 1.4 a	22.2 ± 1.9 a
Middle	4.8 ± 0.5 a	2.4 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	61.9 ± 2.3 a	29.2 ± 3.4 a	23.9 ± 5.2 a
Late	4.9 ± 0.5 a	2.3 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 a	62.9 ± 2.8 a	28.6 ± 1.5 a	21.0 ± 2.4 a

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 상대적으로 엽면적이 무처리가 상대적으로 낮았기 때문에 잎 생체중도 1.17 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만, 건물중에는 0,087 g 으로 가장 가벼운건 동일하였지만 통계적으로 유의성은 없었음
- 초장에서 큰 차이가 없었기 때문에 줄기 생체중 및 건물중은 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 뿌리 생체중에서는 무처리가 0.39 g 으로 생육 초기와 함께 가장 무거웠으며 무처리가 0.31 g 으로 가장 가벼웠음. 하지만 잎과 줄기와 동일하게 건물중에서는 차이가 없었음

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	1.17 ± 0.15 b	0.38 ± 0.07 a	0.31 ± 0.05 b	0.087 ± 0.014 a	0.016 ± 0.002 a	0.012 ± 0.004 a
Early	1.31 ± 0.04 ab	0.39 ± 0.03 a	0.39 ± 0.03 a	0.090 ± 0.003 a	0.014 ± 0.002 a	0.015 ± 0.001 a
Middle	1.33 ± 0.13 a	0.43 ± 0.05 a	0.36 ± 0.04 ab	0.098 ± 0.012 a	0.015 ± 0.004 a	0.013 ± 0.001 a
Late	1.25 ± 0.06 ab	0.37 ± 0.02 a	0.39 ± 0.03 a	0.088 ± 0.005 a	0.014 ± 0.001 a	0.011 ± 0.001 a

- 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리는 생육 후기에 처리한 것이 85.5 cm 로 가장 컸으며 무처리가 55.3 cm 로 처리 시기가 빠르거나 처리하지 않았을 경우 감소하는 경향을 보임
- 하지만, 이후 0.5 mm 이상의 뿌리에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 그 결과 가장 큰 비중을 차지하는 0.5 mm 미만의 뿌리에서 생육 후기가 가장 컸기 때문에 총 뿌리에서도 생육 후기가 118.8 cm 로 가장 길었으며 무처리가 84.1 cm 로 가장 작았음

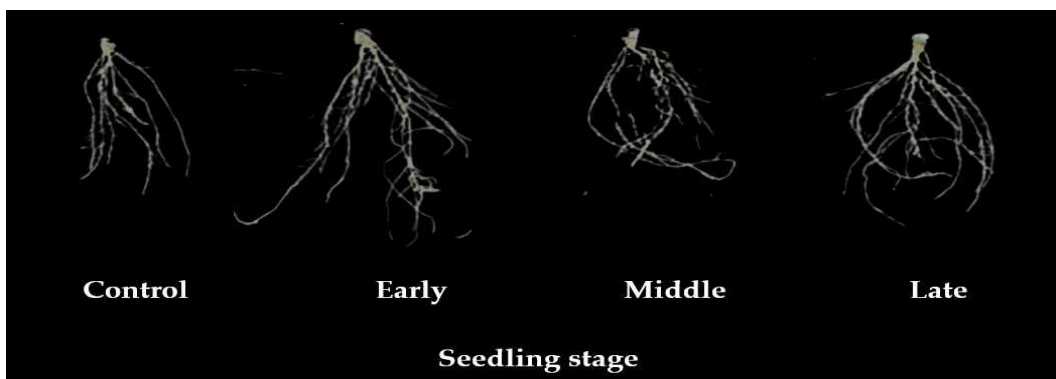


그림. Postssium 의 처리 시기에 따른 수박 대목 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리에 따른 수박 대목의 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter(%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	55.3 ± 14.6 b	23.9 ± 6.0 a	3.1 ± 1.5 a	0.8 ± 0.5 a	0.6 ± 0.2 a	84.1 ± 21.5 b
Early	70.5 ± 19.5 ab	30.3 ± 6.7 a	3.5 ± 1.4 a	0.5 ± 0.3 a	0.5 ± 0.4 a	105.5 ± 20.7 ab
Middle	65.6 ± 13.7 ab	29.7 ± 6.9 a	3.7 ± 0.8 a	0.8 ± 0.4 a	0.4 ± 0.1 a	100.3 ± 17.1 ab
Late	85.5 ± 14.4 a	28.5 ± 2.0 a	3.6 ± 0.7 a	0.6 ± 0.2 a	0.3 ± 0.3 a	118.8 ± 14.3 a

- 뿌리 표면적은 생육 후기에 처리한 것이 5.3 cm² 로 가장 넓었고 무처리가 4.2 cm² 로 가장 작았지만 통계적 유의성은 없었음
- 뿌리 평균 경경 또한 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 하지만 근단수에서는 생육 후기가 715.6 으로 가장 많으며 처리 시기가 빨라지거나 하지 않았을 때 372.8 로 크게 감소하는 경향이 있었음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	4.2 ± 1.0 a	0.16 ± 0.04 a	372.8 ± 119.8 b
Early	5.1 ± 0.9 a	0.20 ± 0.04 a	450.8 ± 178.4 b
Middle	4.9 ± 0.7 a	0.19 ± 0.03 a	543.8 ± 193.2 ab
Late	5.3 ± 0.4 a	0.19 ± 0.01 a	715.6 ± 241.1 a

▶ 농도 및 생육 단계별 Potassium 처리된 수박 접수 및 대목의 접목 후 건조 및 과습 스트레스 저항성 조사 결과

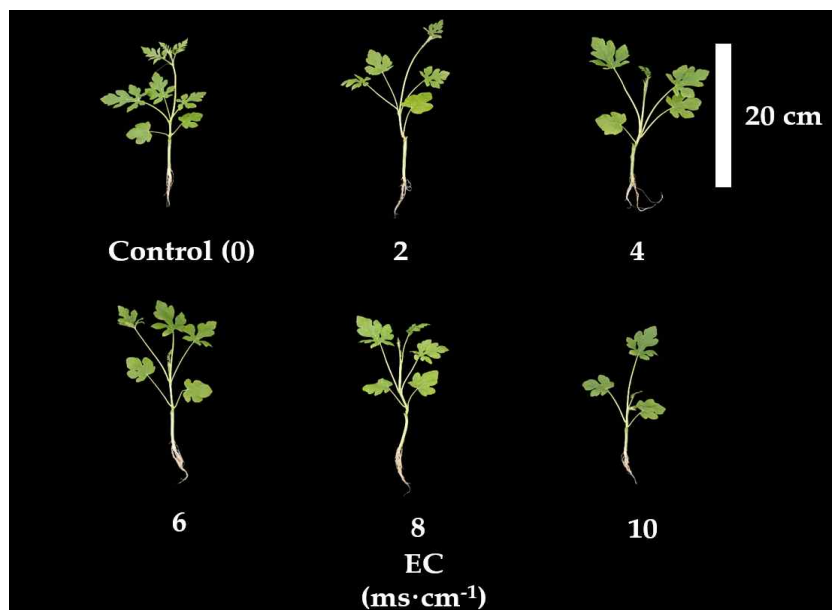


그림. Postssium 의 농도에 따른 건조스트레스 이후 수박 접목묘 생육

- 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 21.1 cm 로 가장 컸으며 EC 10 의 처리구가 12.7 cm 로 처리 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보임
- 하지만, 경경 및 엽수에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- SPAD는 EC 4의 처리구가 34.6 으로 가장 높았으며 EC 6 의 처리구가 30.8 로 가장 낮았음
- 이와 반대로, 엽면적은 EC 6 의 처리구가 111.4 cm² 로 가장 넓었으며 농도가 낮은 EC 2의 처리구가 87.4 cm² 로 가장 작았지만, 처리구간 엽면적의 편차가 커 유의성은 나타나지 않았음
- 총실도에서는 EC 10 의 처리구가 27.6 mg·cm⁻¹ 으로 가장 우수하였으며 무처리 및 다른 농도에서는 차이가 없었음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	21.1 ± 4.5 a	1.6 ± 0.1 a	6.8 ± 1.1 a	33.3 ± 1.7 ab	100.8 ± 32.3 a	16.0 ± 2.1 b
2	19.8 ± 6.1 a	1.5 ± 0.2 a	6.2 ± 0.8 a	32.6 ± 1.0 ab	87.4 ± 30.1 a	15.6 ± 5.9 b
4	17.9 ± 3.4 ab	1.6 ± 0.2 a	6.2 ± 1.1 a	34.6 ± 2.1 a	95.8 ± 14.5 a	18.8 ± 3.6 b
6	16.1 ± 2.5 ab	1.9 ± 0.2 a	6.6 ± 0.5 a	30.8 ± 1.5 b	111.4 ± 17.6 a	21.3 ± 1.6 b
8	15.8 ± 3.0 ab	1.5 ± 0.3 a	6.2 ± 0.8 a	32.2 ± 3.4 ab	94.3 ± 32.3 a	19.1 ± 4.3 b
10	12.7 ± 2.8 b	1.5 ± 0.5 a	6.0 ± 0.7 a	33.6 ± 2.2 ab	104.7 ± 29.5 a	27.6 ± 6.5 a

- 건조 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 EC 6의 엽면적이 가장 넓었기 때문에 잎 생체중 또한 3.91 g 으로 무거웠으며 EC 4 이하의 농도에서는 약 2.8 이하로 가벼워지는 경향을 보임. 건물중은 EC 2의 처리구가 0.172 g 으로 가장 가벼웠지만 처리구간 유의미한 차이는 아니었음
- 줄기의 생체중은 Potassium 처리에 따라 초장이 억제되었기 때문에 비슷하게 감소하는 경향을 보임. 건물중 또한 동일하게 무처리에서 처리 농도가 높아질수록 무게가 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성은 나타나지 않았음
- 이와 반대로 뿌리에서는 EC 10 의 처리구가 0.91 g 으로 가장 무거웠으며 건물중 또한 0.034 g 으로 가장 무거웠으며 농도가 가장 낮은 EC 2 의 처리구가 0.024 g 으로 가벼웠음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	2.99 ± 0.94 a	3.14 ± 0.47 a	0.83 ± 0.22 a	0.207 ± 0.075 a	0.135 ± 0.026 a	0.029 ± 0.006 ab
2	2.86 ± 0.97 a	3.04 ± 0.49 a	0.73 ± 0.14 a	0.172 ± 0.064 a	0.123 ± 0.038 a	0.024 ± 0.007 b
4	2.86 ± 0.28 a	2.63 ± 0.28 a	0.85 ± 0.11 a	0.219 ± 0.038 a	0.113 ± 0.019 a	0.031 ± 0.003 ab
6	3.91 ± 0.43 a	2.85 ± 0.44 a	0.76 ± 0.09 a	0.229 ± 0.047 a	0.114 ± 0.016 a	0.029 ± 0.003 ab
8	3.37 ± 1.09 a	2.75 ± 0.54 a	0.88 ± 0.06 a	0.197 ± 0.069 a	0.105 ± 0.025 a	0.031 ± 0.003 ab
10	3.77 ± 0.59 a	2.55 ± 0.58 a	0.91 ± 0.19 a	0.238 ± 0.045 a	0.101 ± 0.029 a	0.034 ± 0.006 a

- 건조 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리에서는 EC 4 처리구가 98.9 cm 로 가장 작았으며 EC 8의 처리구가 125.7 cm 로 가장 컸지만 유의성은 없었음
- 이와 반대로, 2.0 mm 초과인 뿌리에서는 EC 4 의 처리구가 2.5 cm 로 가장 컸음
- 다섯 종류의 뿌리에서 한 종류에 유의성이 나타났지만, 총 뿌리에서는 EC 8 의 처리구가 168.7 cm, EC 4 의 처리구가 134.3 cm 로 가장 크고 작았지만 통계적으로 차이는 나타나지 않았음

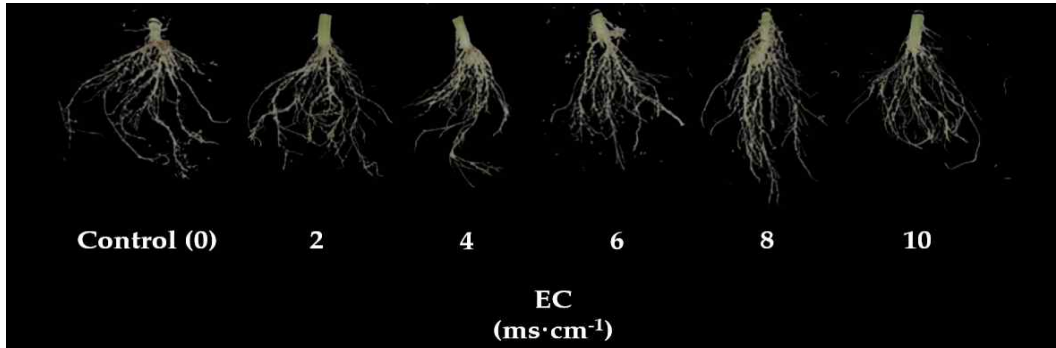


그림. Postassium 의 농도에 따른 건조 스트레스 이후 수박 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
0	112.7 ± 10.1 a	32.1 ± 7.8 a	6.1 ± 1.9 a	2.1 ± 1.5 a	2.3 ± 1.3 ab	155.5 ± 18.8 a
2	117.0 ± 25.2 a	27.3 ± 4.9 a	6.1 ± 1.5 a	1.7 ± 1.3 a	1.2 ± 0.8 ab	153.6 ± 26.3 a
4	98.9 ± 26.6 a	26.1 ± 1.8 a	4.8 ± 1.1 a	1.8 ± 0.5 a	2.5 ± 0.5 a	134.3 ± 26.8 a
6	114.0 ± 24.0 a	28.9 ± 8.6 a	6.9 ± 1.5 a	3.0 ± 0.7 a	0.9 ± 0.9 b	154.0 ± 33.2 a
8	125.7 ± 20.3 a	32.8 ± 4.3 a	6.5 ± 1.4 a	2.4 ± 1.1 a	1.2 ± 1.3 ab	168.7 ± 21.1 a
10	115.3 ± 32.9 a	28.5 ± 7.9 a	6.1 ± 1.9 a	1.7 ± 0.7 a	1.1 ± 0.7 ab	152.9 ± 42.8 a

- 뿌리 표면적은 무처리 및 농도가 낮은 EC 2 의 처리에서 약 10 cm^2 이상으로 넓었으며 농도가 EC 4 이상으로 높아지면 약 8.8 cm^2 이하로 떨어지는 경향을 보임
- 이와 달리, 뿌리 평균 경경은 EC 8이 0.51 mm 로 두꺼웠고 EC 2 가 0.36 mm 로 얇았지만 유의적인 차이는 없었음
- 근단수는 무처리가 571.0 으로 가장 낮았으며 EC 10 의 처리구가 1416.0 으로 처리 농도가 높아 질수록 근단수가 증가하는 경향을 보임

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	10.2 ± 2.5 a	0.54 ± 0.22 a	571.0 ± 213.3 c
2	10.4 ± 1.7 a	0.36 ± 0.09 a	964.4 ± 133.8 bc
4	8.3 ± 1.1 b	0.41 ± 0.15 a	1115.4 ± 305.1 ab
6	8.8 ± 1.3 b	0.40 ± 0.11 a	1157.4 ± 357.6 ab
8	8.4 ± 1.5 b	0.51 ± 0.15 a	1387.0 ± 367.4 ab
10	8.8 ± 1.2 b	0.40 ± 0.10 a	1416.0 ± 357.5 a

- 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 경경, 옆수 및 SPAD 에서도 Potassium 처리에 따른 차이가 없었음
- 이와 달리, 엽면적은 EC 10 의 처리구가 189.1 cm² 로 가장 넓었음
- 종합적으로 총실도를 보았을 때 무처리가 14.9 mg·cm⁻¹ 로 가장 떨어졌으며 EC 6 및 10 의 처리가 약 20.8 mg·cm⁻¹ 이상으로 우수하였음

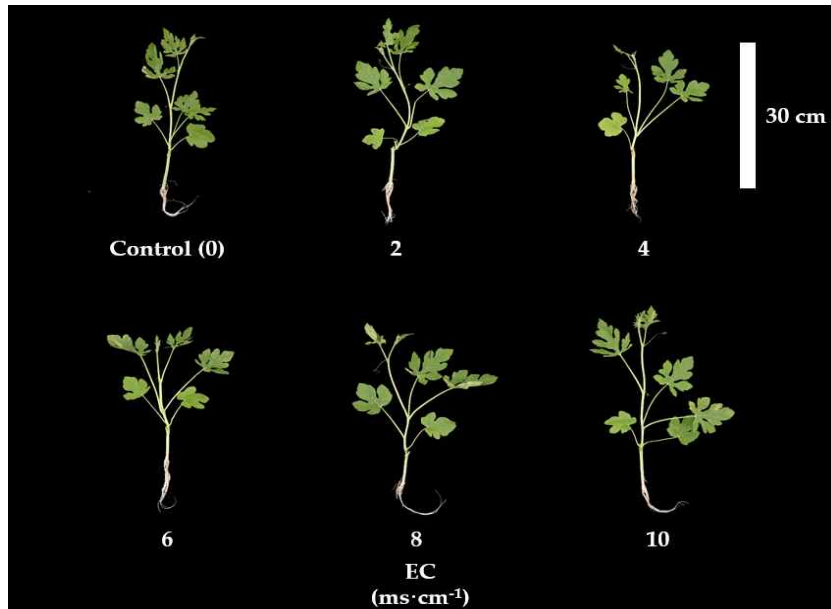


그림. Postassium 의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 수박 접목묘 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

EC (ms·cm ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
0	29.7 ± 1.6 a	2.3 ± 0.7 a	7.6 ± 0.5 a	34.5 ± 3.8 a	132.2 ± 29.1 b	14.9 ± 3.3 b
2	28.1 ± 6.1 a	1.5 ± 4.0 a	7.8 ± 0.4 a	34.8 ± 2.9 a	147.5 ± 30.8 b	16.4 ± 1.8 ab
4	24.5 ± 5.8 a	1.7 ± 0.4 a	7.0 ± 0.1 a	34.1 ± 1.1 a	121.8 ± 25.9 b	16.3 ± 3.5 ab
6	23.7 ± 3.3 a	1.9 ± 0.8 a	7.0 ± 0.7 a	33.6 ± 2.1 a	142.1 ± 29.5 b	20.9 ± 7.1 a
8	27.2 ± 7.7 a	2.1 ± 0.8 a	7.2 ± 0.8 a	34.7 ± 1.7 a	119.6 ± 35.8 b	15.5 ± 2.8 ab
10	27.0 ± 5.6 a	1.6 ± 0.3 a	7.3 ± 0.4 a	34.7 ± 1.1 a	189.1 ± 31.0 a	20.8 ± 2.1 a

- 과습 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 가장 컸던 EC 10 의 결과로 인해 잎 생체중 또한 EC 10 이 6.18 g 으로 가장 무거웠으며 무처리가 3.74 g 으로 가장 가벼웠음. 건물중도 비슷한 경향으로 무처리가 0.398 g 으로 무거웠으며 그 이하의 농도 및 무처리는 비교적 낮은 값을 나타냈다
- 이와 달리 줄기 생체중 및 건물중은 초장에서 차이가 없던 것과 같이 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 생체중도 잎과 비슷한 경향으로 EC 10 의 처리구가 1.18 g 으로 무거웠으며 건물중 또한 0.035 g 으로 가장 무거웠음

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	3.74 ± 0.85 c	4.14 ± 0.50 a	1.01 ± 0.09 ab	0.284 ± 0.062 b	0.156 ± 0.018 a	0.028 ± 0.003 b
2	4.40 ± 0.87 bc	4.32 ± 0.56 a	0.97 ± 0.17 ab	0.300 ± 0.077 b	0.157 ± 0.024 a	0.029 ± 0.005 ab
4	4.16 ± 0.69 bc	3.85 ± 0.58 a	0.92 ± 0.15 b	0.255 ± 0.062 b	0.135 ± 0.023 a	0.031 ± 0.005 ab
6	5.13 ± 1.08 ab	4.02 ± 0.35 a	1.01 ± 0.10 ab	0.301 ± 0.057 ab	0.169 ± 0.068 a	0.029 ± 0.003 ab
8	4.34 ± 1.12 bc	3.98 ± 0.79 a	1.12 ± 0.24 a	0.275 ± 0.102 b	0.139 ± 0.029 a	0.031 ± 0.006 ab
10	6.18 ± 0.38 a	4.29 ± 0.77 a	1.18 ± 0.17 a	0.398 ± 0.041 a	0.157 ± 0.031 a	0.035 ± 0.004 a

- 과습 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리에서 무처리구가 99.7 cm 로 가장 낮았으며 Potassium을 처리하였을 때 약 120 cm 이상으로 증가되는 경향이 있었음
- 이와 달리 1.5 ~ 2.0 mm 의 뿌리에서는 EC 2 의 처리구가 2.4 cm 로 유의하게 높았으며 EC 10 의 처리구가 0.5 cm 로 가장 낮았음
- 2.0 mm 초과 의 뿌리에서도 동일하게 EC 2에서 2.3 cm, EC 10에서 0.1 cm 로 가장 크고 작았음
- 하지만, 가장 큰 부분을 차지하는 0.5 mm 미만의 뿌리에서 처리구간 큰 차이가 없었기 때문에 총 뿌리에서도 EC 2가 185.2 cm 로 가장 크고 무처리가 135.5 cm 로 가장 낮았지만 유의적인 차이는 없었음

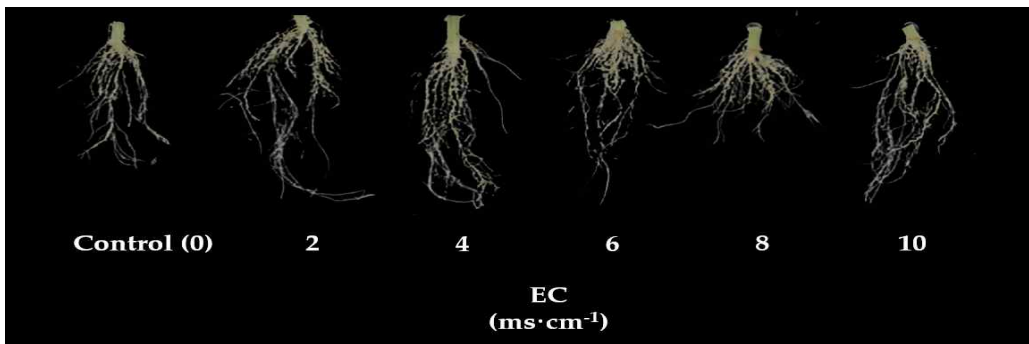


그림. Postassium 의 농도에 따른 과습 스트레스 이후 수박 지하부 생육

표. 농도별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

EC ($\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	Total
0	99.7 ± 21.7 b	27.4 ± 4.4 a	5.3 ± 3.6 a	1.4 ± 1.4 ab	1.5 ± 2.2 ab	135.5 ± 50.9 a
2	147.4 ± 21.1 a	28.4 ± 10.8 a	4.9 ± 3.1 a	2.4 ± 1.5 a	2.3 ± 2.3 a	185.2 ± 55.7 a
4	128.7 ± 11.8 a	28.3 ± 7.2 a	5.3 ± 2.0 a	2.2 ± 0.5 ab	0.6 ± 0.5 ab	165.2 ± 59.5 a
6	125.3 ± 10.6 a	32.3 ± 8.0 a	5.4 ± 4.5 a	1.4 ± 1.2 ab	1.0 ± 0.6 ab	165.5 ± 32.2 a
8	130.8 ± 24.5 a	30.9 ± 11.9 a	4.2 ± 4.1 a	1.4 ± 1.3 ab	0.8 ± 0.9 ab	168.2 ± 47.6 a
10	132.1 ± 23.7 a	30.2 ± 7.6 a	2.9 ± 1.5 a	0.5 ± 1.0 b	0.1 ± 0.2 b	165.8 ± 40.4 a

- 뿌리 표면적은 무처리 및 EC가 6 이하로 처리하였을 때 약 12 cm² 이하 정도였으며 농도가 높아진 8 및 10 에서는 약 13 cm² 이상으로 증가되는 경향이 있었음
- 뿌리 평균 경경에서는 EC 8을 처리하였을 때 1.41 mm 로 가장 두꺼웠지만, 다른 처리구에서는 차이가 나타나지 않았음
- 이와 달리, 근단수에서는 EC 6 이상으로 처리하였을 때 근단수가 약 1400 이상으로 많아지는 경향이 있었으며 그 이하의 농도에서는 1000 이하로 감소하였음

EC (ms·cm ⁻¹)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
0	11.6 ± 3.5 a	0.91 ± 0.31 b	883.2 ± 380.2 b
2	12.7 ± 2.8 a	0.72 ± 0.28 b	991.2 ± 250.1 ab
4	11.7 ± 6.1 a	0.66 ± 0.45 b	1182.8 ± 306.1 ab
6	11.9 ± 3.0 a	0.68 ± 0.24 b	1539.8 ± 517.3 a
8	16.1 ± 7.8 a	1.41 ± 0.18 a	1550.4 ± 619.1 a
10	13.5 ± 3.8 a	0.86 ± 0.29 b	1468.8 ± 242.3 a

- 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 무처리가 21.0 cm 로 가장 컸으며 생육 후기가 12.7 cm 로 처리 시기가 늦어질수록 감소하는 경향을 보임
- 하지만, 경경, 엽수 및 SPAD 에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적에서 무처리에 비하여 생육 중기 이후로 처리하였을 때 엽면적이 감소하는 경향이 있었으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었음
- 총실도는 생육 후기에 처리한 것이 27.6 g 으로 가장 우수하였으며 그 다음으로는 무처리가 20.5 로 좋았으나 생육 초기 및 중기와 유의미한 차이는 아니었음

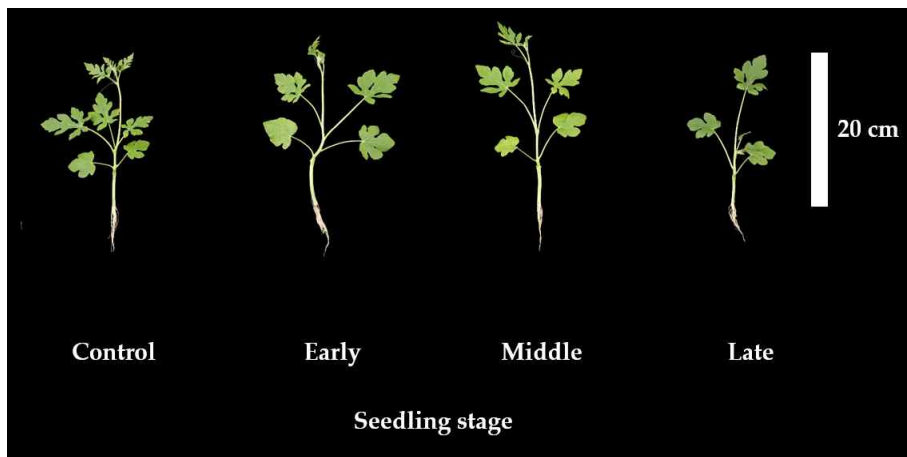


그림. Postassium 의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 수박 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	21.0 ± 5.7 a	1.7 ± 0.3 a	6.6 ± 0.5 a	34.2 ± 2.3 a	112.4 ± 10.5 a	20.5 ± 5.5 b
Early	20.1 ± 4.3 a	1.5 ± 0.3 a	6.8 ± 1.0 a	33.4 ± 2.4 a	116.0 ± 23.6 a	18.6 ± 3.6 b
Middle	17.9 ± 3.4 ab	1.6 ± 0.2 a	6.2 ± 1.0 a	34.6 ± 2.2 a	95.8 ± 14.5 a	18.8 ± 3.6 b
Late	12.7 ± 2.8 b	1.5 ± 0.5 a	6.0 ± 0.7 a	33.6 ± 2.2 a	104.7 ± 29.5 a	27.6 ± 6.5 a

- 건조 스트레스 이후 무게의 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중은 생육 후기에 처리하였을 때 3.77 g 으로 가장 무거웠음. 하지만 건물중에서는 다른 처리구들과 차이가 나타나지 않았음
- 이와 반대로 줄기 생체중은 무처리의 초장이 가장 길었기 때문에 무게 또한 3.37 g 으로 가장 무거웠으며 생육 후기의 처리가 2.55 g 으로 가벼웠음. 건물중도 비슷하게 무처리가 0.159 g 으로 가장 무거웠으며 처리 시기에 따른 차이는 나타나지 않았음
- 지상부에서는 처리구간 차이가 나타났지만 뿌리 생체중 및 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	3.36 ± 0.35 ab	3.37 ± 0.44 a	0.93 ± 0.06 a	0.267 ± 0.103 a	0.159 ± 0.022 a	0.031 ± 0.003 a
Early	3.58 ± 0.46 a	3.21 ± 0.54 ab	0.97 ± 0.09 a	0.240 ± 0.045 a	0.126 ± 0.014 b	0.029 ± 0.002 a
Middle	2.86 ± 0.28 b	2.63 ± 0.28 b	0.85 ± 0.11 a	0.219 ± 0.038 a	0.113 ± 0.019 b	0.031 ± 0.003 a
Late	3.77 ± 0.59 a	2.55 ± 0.58 b	0.91 ± 0.19 a	0.238 ± 0.045 a	0.101 ± 0.029 b	0.030 ± 0.164 a

- 1.0 mm 이상의 뿌리에서 생육 초기에 처리한 것이 가장 우수한 경향을 나타냄
- 하지만, 총 뿌리에서는 생육 초기가 165.9 cm 로 높은 수치였지만 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음. 그 이유로는 가장 많은 양을 차지하는 0.5 mm 미만의 뿌리에서 무처리가 가장 높았기 때문에 총 양에서 또한 무처리가 171.5 mm 로 가장 높아졌다고 판단됨

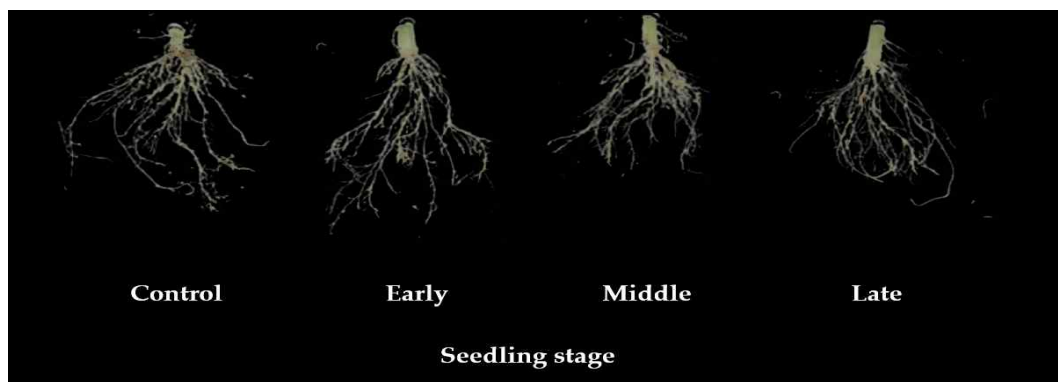


그림. Postassium의 처리 시기에 따른 건조 스트레스 이후 수박 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 건조 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	130.3 ± 14.8 a	30.8 ± 2.2 a	6.7 ± 0.7 ab	1.7 ± 0.5 b	1.7 ± 0.7 ab	171.5 ± 14.5 a
Early	117.7 ± 20.6 a	35.2 ± 10.4 a	7.5 ± 1.5 a	2.8 ± 0.8 a	2.6 ± 0.8 a	165.9 ± 26.8 a
Middle	98.9 ± 26.5 a	26.0 ± 1.8 a	4.8 ± 1.1 b	1.8 ± 0.5 b	2.5 ± 0.6 a	134.3 ± 26.8 a
Late	115.3 ± 32.9 a	28.5 ± 7.9 a	6.1 ± 1.9 ab	1.7 ± 0.7 b	1.1 ± 0.7 b	152.9 ± 42.8 a

- 뿌리 표면적은 무처리가 9.2 cm² 로 가장 넓었으나 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 뿌리 평균 경경 또한 처리구간 차이는 없었음
- 하지만, 근단수에서는 무처리 및 생육 초기에 처리한 것이 약 800 이하로 낮았으며 생육 중기 및 후기에 처리를 하였을 때 약 1100 이상으로 증가되는 경향이 있었음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	9.2 ± 1.0 a	0.39 ± 0.10 a	571.0 ± 213.3 b
Early	9.1 ± 1.0 a	0.39 ± 0.04 a	838.6 ± 100.1 b
Middle	8.3 ± 1.5 a	0.41 ± 0.15 a	1148.2 ± 86.3 a
Late	8.8 ± 1.8 a	0.40 ± 0.10 a	1387.0 ± 367.4 a

- 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후의 생육 특성을 비교 조사한 결과 무처리의 초장이 31.0 cm 로 가장 길었지만 처리구간 유의미한 차이는 아니었음
- 경경 및 엽수, SPAD 에서는 건조 스트레스와 마찬가지로 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 엽면적에서는 생육 후기에 처리한 것이 189.1 cm² 로 가장 넓었음
- 종합적으로 총실도를 보았을 때 생육 후기에 처리한 것이 20.8 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였으며 무처리 및 생육 초기, 중기에서는 차이가 나타나지 않았음

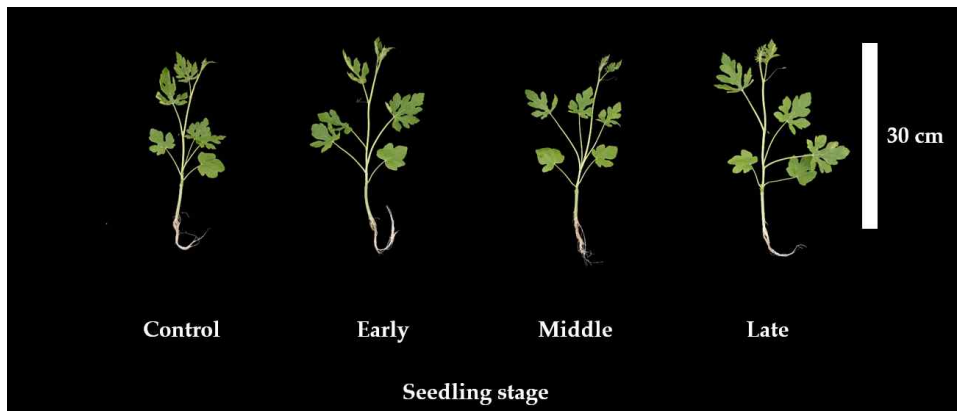


그림. Postssium 의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 수박 접목묘 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Control	31.0 ± 4.9 a	1.7 ± 0.3 a	7.8 ± 1.1 a	33.3 ± 3.7 a	150.8 ± 25.9 ab	15.7 ± 1.8 b
Early	26.6 ± 6.0 a	2.3 ± 1.2 a	7.2 ± 0.8 a	33.8 ± 2.0 a	150.7 ± 35.6 ab	17.4 ± 1.6 b
Middle	29.7 ± 1.6 a	2.3 ± 0.7 a	7.6 ± 0.5 a	34.5 ± 3.8 a	132.2 ± 29.1 b	14.9 ± 3.3 b
Late	27.0 ± 5.6 a	1.6 ± 0.3 a	7.2 ± 0.4 a	34.7 ± 1.1 a	189.1 ± 31.0 a	20.8 ± 2.1 a

- 과습 스트레스 이후 무게 특성을 비교 조사한 결과 생육 후기의 엽면적이 넓었기 때문에 앞의 생체중 또한 6.18 g 으로 가장 무거웠으며 다른 처리구 간에는 차이가 나타나지 않았음. 건물중 또한 생육 후기가 0.398 g 으로 가장 무거웠음
- 하지만 줄기 생체중 및 건물중에서는 초장 및 경경에서 처리구간 차이가 크지 않았기 때문에 무게 또한 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 생체중에서는 무처리가 1.26 g 으로 가장 무거웠으며 생육 중기가 1.01 g 으로 가벼웠음. 하지만 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 보이지 않았음

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 무게 특성

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Control	4.78 ± 0.85 b	4.65 ± 0.38 a	1.26 ± 0.19 a	0.301 ± 0.055 b	0.176 ± 0.012 a	0.036 ± 0.008 a
Early	4.68 ± 0.92 b	4.33 ± 0.76 a	1.21 ± 0.16 ab	0.314 ± 0.087 ab	0.148 ± 0.025 a	0.029 ± 0.013 a
Middle	3.74 ± 0.85 b	4.14 ± 0.50 a	1.01 ± 0.09 b	0.284 ± 0.062 b	0.156 ± 0.018 a	0.028 ± 0.003 a
Late	6.18 ± 0.38 a	4.23 ± 0.77 a	1.18 ± 0.17 ab	0.398 ± 0.041 a	0.157 ± 0.031 a	0.035 ± 0.004 a

- 과습 스트레스 이후 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리에서 생육 중기의 처리구가 99.7 cm 로 가장 낮았음
- 이와 달리 1.0 mm 이상의 뿌리에서는 무처리가 가장 컸으며 생육 후기에 처리한 것이 가장 낮은 경향을 보였음
- 총 뿌리에서는 무처리가 204.7 cm 로 가장 높았고 생육 중기에 처리한 것이 135.5 cm 로 낮았지만 유의미한 차이가 나타나진 않았음

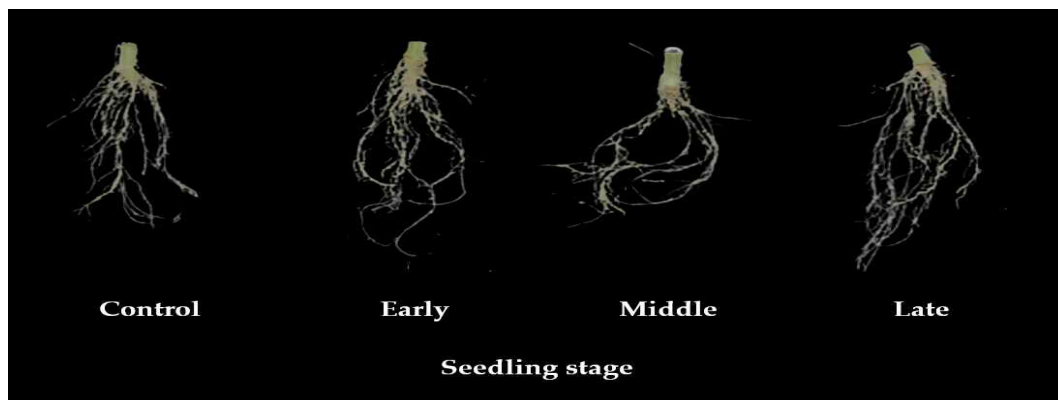


그림. Postassium 의 처리 시기에 따른 과습 스트레스 이후 수박 지하부 생육

표. 생육 단계별 Potassium 처리된 접수 및 대목을 이용한 수박 접목묘의 과습 스트레스 이후 지하부 특성

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Control	157.4 ± 37.1 a	34.7 ± 5.5 a	6.9 ± 1.7 a	3.0 ± 0.9 a	2.6 ± 1.1 a	204.7 ± 61.4 a
Early	159.1 ± 26.8 a	29.6 ± 5.5 a	4.9 ± 1.2 ab	1.4 ± 1.1 ab	2.2 ± 2.1 ab	197.4 ± 51.4 a
Middle	99.7 ± 21.7 b	27.4 ± 4.4 a	5.3 ± 3.6 ab	1.4 ± 1.4 ab	1.5 ± 2.2 ab	135.5 ± 50.9 a
Late	132.0 ± 13.7 a	30.2 ± 7.6 a	2.9 ± 1.5 b	0.5 ± 1.0 b	0.1 ± 0.2 b	165.8 ± 40.4 a

- 뿌리 표면적은 무처리가 15.3 으로 가장 넓었으며 생육 후기에 처리한 것이 11.6 으로 작았음
- 뿌리 평균 경경에서는 생육 후기에 처리한 것이 0.86 mm 로 가장 낮았지만 처리구간 유의성은 없었음
- 근단수는 무처리가 833.2 로 가장 적었으며 생육 후기에 처리한 것이 1628.0 으로 가장 많았으나 Potassium의 처리 시기에 따른 유의미한 차이는 나타나지 않았음

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Control	15.3 ± 4.9 a	0.90 ± 0.31 a	833.2 ± 380.2 b
Early	14.6 ± 4.0 a	0.91 ± 0.51 a	1455.6 ± 479.3 a
Middle	13.5 ± 3.8 a	0.91 ± 0.71 a	1468.8 ± 242.3 a
Late	11.6 ± 3.5 a	0.86 ± 0.29 a	1628.0 ± 557.4 a

▪ 연구내용 3 : 변온 및 광변화 기술을 통한 식물공장묘의 묘 연질화 저감

- 토마토 접목묘 육묘 시 야간 온도 변화(주간 : 26℃/ 야간 : 16, 14, 12, 10 ℃)에 따른 생육 변화

▶ 토마토 접수 및 대목 재배 시 야간 온도 변화에 따른 접목 전 작물 생육 비교 실험 결과

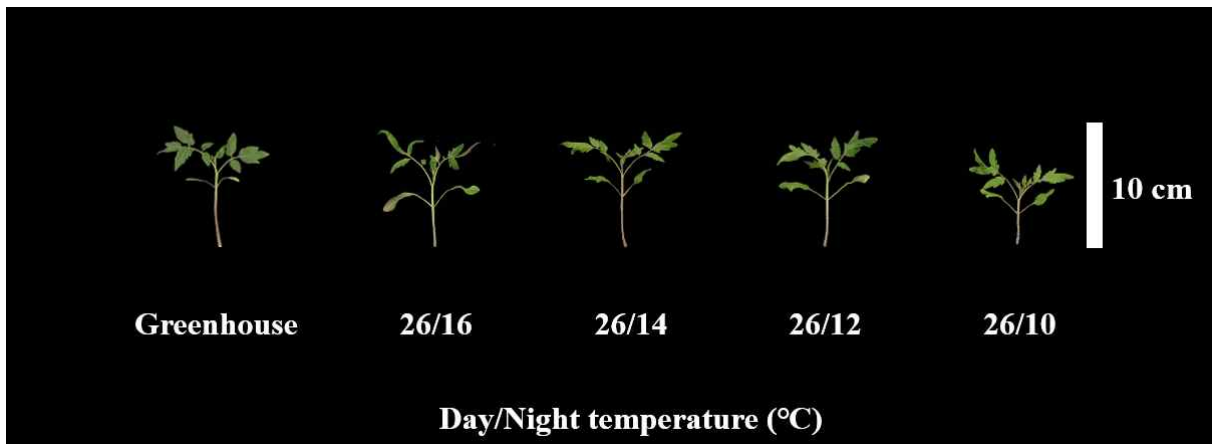


그림. 식물공장 내에서 야간 온도에 따른 토마토 접수 생육

- 서로 다른 야간 온도에서 재배한 토마토 접수를 관행 온실과 비교하여 생육 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실이 8.1 cm 로 가장 컸으며 주간 온도가 가장 낮았던 10 °C 가 5.3 cm 로 작았음
- 경경에서도 유사하게 관행 온실이 1.7 mm 로 가장 두꺼웠으며 야간 온도에 따른 차이는 나타나지 않았음
- 엽수 및 SPAD 또한 관행 온실 및 야간 온도에 따른 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 이와 달리 엽면적은 관행 온실이 15.9 cm² 로 가장 넓었으며 서로 다른 야간온도 모두 관행 온실 보다는 작았지만 처리구간 유의미한 차이는 없었음
- 종합적인 생육 지표인 총실도에서는 온실이 8.6 mg·cm⁻¹ 이었으며 16 °C 를 제외한 다른 온도에서는 유사하였음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배된 토마토 접수의 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
Greenhouse	8.1 ± 0.4 ab	1.7 ± 0.2 a	3.8 ± 0.4 a	42.7 ± 2.9 a	15.9 ± 2.5 a	8.6 ± 1.5 a
26/16	8.6 ± 1.1 a	1.4 ± 0.1 b	3.4 ± 0.5 a	42.5 ± 5.7 a	8.5 ± 2.7 b	6.4 ± 1.4 b
26/14	7.2 ± 0.6 c	1.4 ± 0.1 b	3.6 ± 0.5 a	40.5 ± 3.0 a	10.0 ± 2.9 b	9.1 ± 2.0 a
26/12	7.5 ± 0.9 bc	1.5 ± 0.2 b	3.4 ± 0.5 a	40.7 ± 2.6 a	9.7 ± 3.0 b	10.1 ± 2.3 a
26/10	5.3 ± 0.8 d	1.4 ± 0.1 b	3.5 ± 0.5 a	41.5 ± 3.5 a	9.0 ± 2.5 b	9.7 ± 2.3 a

- 접수의 무게 특성을 비교 조사하나 결과 관행 온실의 잎 생체중이 0.46 g 으로 가장 무거웠으며 야간 온도가 가장 높았던 16 °C 가 0.24 g 으로 가장 가벼웠음. 이와 달리, 잎 건물중은 온실의 0.047 g 보다 12 °C 의 0.061 g 이 더 무거워지는 경향을 보임
- 줄기 생체중은 초장이 길었던 온실이 0.40 g 으로 무거웠으며 초장이 비슷했던 16 °C 가 0.24 g 으로 낮아졌음. 건물중도 비슷한 경향으로 온실이 0.022 g 으로 가장 무거웠으며 야간 온도가 가장 낮았던 10 °C 가 0.011 g 으로 가벼웠음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배된 토마토 접수의 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
Greenhouse	0.46 ± 0.07 a	0.40 ± 0.05 a	0.047 ± 0.010 b	0.022 ± 0.004 a
26/16	0.24 ± 0.06 c	0.28 ± 0.04 b	0.040 ± 0.007 b	0.014 ± 0.002 b
26/14	0.30 ± 0.07 b	0.26 ± 0.03 b	0.049 ± 0.012 b	0.016 ± 0.002 b
26/12	0.29 ± 0.06 bc	0.25 ± 0.04 b	0.061 ± 0.019 a	0.014 ± 0.002 b
26/10	0.26 ± 0.06 bc	0.18 ± 0.04 b	0.040 ± 0.008 b	0.011 ± 0.002 c

- 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 대목을 관행 온실과 비교하여 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 관행 온실이 8.6 cm 로 야간온도 16 °C에서 8.3 cm 로 가장 유사하였다. 야간 온도 간에는 10 °C 가 5.8 cm 로 전체 중 가장 작았음
- 경경에서 온실은 1.6 mm 로 가장 두꺼웠으며 야간 온도 처리구 모두 온실에 비하여 얇았음
- 이와 달리 엽수에서는 온실 및 야간 온도 간 차이가 없었음
- SPAD는 온실이 46.9 로 가장 높았으며 야간 온도 처리구 모두 온실에 비하여 값이 떨어지는 경향이 있었음. 그 중 12 °C 가 34.4 로 가장 낮았음
- 엽면적 또한 온실이 24.7 cm² 로 가장 넓었으며 그에 비해 야간 온도 처리구들은 13 cm² 이하로 줄어들었음

- 총실도를 확인하였을 때 온실은 $11.3 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 야간 온도가 $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때 $11.6 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 유사하였음. $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 경우에는 $9.8 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 매우 떨어졌고, 반대로 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 낮아질 때에는 $12.1 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 온실보다 높아지는 경향이 있었음

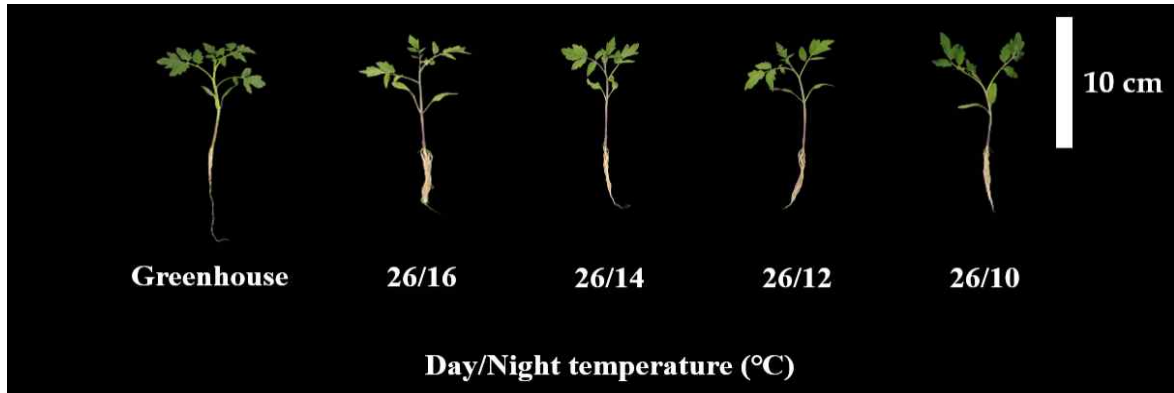


그림. 식물공장 내에서 야간 온도에 따른 토마토 대목 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배된 토마토 대목의 생육 특성

Treatment ($^{\circ}\text{C}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Greenhouse	8.6 ± 0.7 a	1.6 ± 0.2 a	4.9 ± 0.3 a	46.9 ± 2.6 a	24.7 ± 4.7 a	11.3 ± 2.7 ab
26/16	8.3 ± 0.8 a	1.4 ± 0.1 b	4.0 ± 0.0 a	36.9 ± 2.0 bc	13.6 ± 2.0 b	9.8 ± 1.3 b
26/14	6.7 ± 0.7 b	1.4 ± 0.1 b	3.8 ± 0.4 a	36.6 ± 2.2 bc	13.4 ± 1.5 b	10.7 ± 2.0 ab
26/12	6.7 ± 0.7 b	1.5 ± 0.1 b	3.9 ± 0.3 a	34.4 ± 3.5 c	12.7 ± 2.1 b	11.6 ± 1.6 ab
26/10	5.8 ± 0.6 c	1.4 ± 0.1 b	3.9 ± 0.3 a	38.4 ± 3.0 b	12.3 ± 1.6 b	12.1 ± 1.8 a

- 무게 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실의 잎 생체중이 0.68 g 으로 가장 무거웠으며 이에 반해 야간 온도 처리구들은 온실 보다 가벼웠음. 건물중도 유사한 경향으로 온실이 0.069 g 으로 가장 무거웠으며 야간 온도 처리구들은 온실보다 가벼웠지만 $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 0.061 g 으로 가장 비슷하였음
- 줄기 생체중 또한 온실이 0.62 g 으로 가장 무거웠으며 처리구들은 절반 가까이 무게가 줄어든 것을 확인할 수 있었음. 건물중 또한 유사한 경향이 나타났음
- 이와 달리, 온실의 뿌리 생체중은 0.19 g 으로 처리구 중 가장 가벼웠던 $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 인 0.26 g 에 비하여도 작았음. 건물중 또한 처리구 중 12, $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 약 0.012 g 에 비하여 온실이 0.011 g 으로 유의적으로 낮았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배된 토마토 대목의 무게 특성

Treatment ($^{\circ}\text{C}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Greenhouse	0.68 ± 0.14 a	0.62 ± 0.10 a	0.19 ± 0.04 d	0.069 ± 0.019 a	0.028 ± 0.007 a	0.011 ± 0.002 c
26/16	0.42 ± 0.05 b	0.36 ± 0.04 b	0.48 ± 0.11 a	0.061 ± 0.007 ab	0.020 ± 0.003 ab	0.017 ± 0.003 a
26/14	0.37 ± 0.05 bc	0.28 ± 0.04 c	0.34 ± 0.08 b	0.052 ± 0.010 b	0.018 ± 0.004 b	0.013 ± 0.002 b
26/12	0.38 ± 0.06 bc	0.26 ± 0.03 c	0.26 ± 0.05 c	0.052 ± 0.008 b	0.016 ± 0.003 b	0.012 ± 0.002 bc
26/10	0.34 ± 0.04 c	0.23 ± 0.03 c	0.25 ± 0.07 cd	0.055 ± 0.015 b	0.015 ± 0.002 b	0.012 ± 0.002 bc

- 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리에서 관행 온실이 88.4 cm 로 가장 작았으며 처리구 전체적으로 온실에 비하여 큰 값을 보였음. 그 중 16 °C 가 191.5 cm 로 가장 컸음
- 이와 달리 0.5 ~ 1.5 mm 사이의 뿌리에서는 온실이 가장 낮았던 것은 동일하였지만 가장 큰 것이 16 °C 가 아닌 14 °C 로 바뀌었음
- 1.5 ~ 2.0 mm 사이의 뿌리에서 가장 작은 것은 온실인 0.8 cm 가 아닌 12 °C 의 0.4 cm 였음
- 2.0 mm 이상의 뿌리에서는 14 °C 가 1.3 cm 로 가장 컸으며 온실이 0.9 cm 로 가장 작았음
- 종합적으로 총 뿌리를 보았을 때 뿌리 굵기에 따라 크고 작았던 온도가 달랐지만 가장 큰 비중을 차지하는 0.5 mm 미만에서 16 °C 가 가장 컸기 때문에 결과적으로 16 °C 가 212.6 cm 로 가장 컸음. 또한, 전체에서 작은 경향을 보였던 온실이 102.2 cm 로 가장 작았음

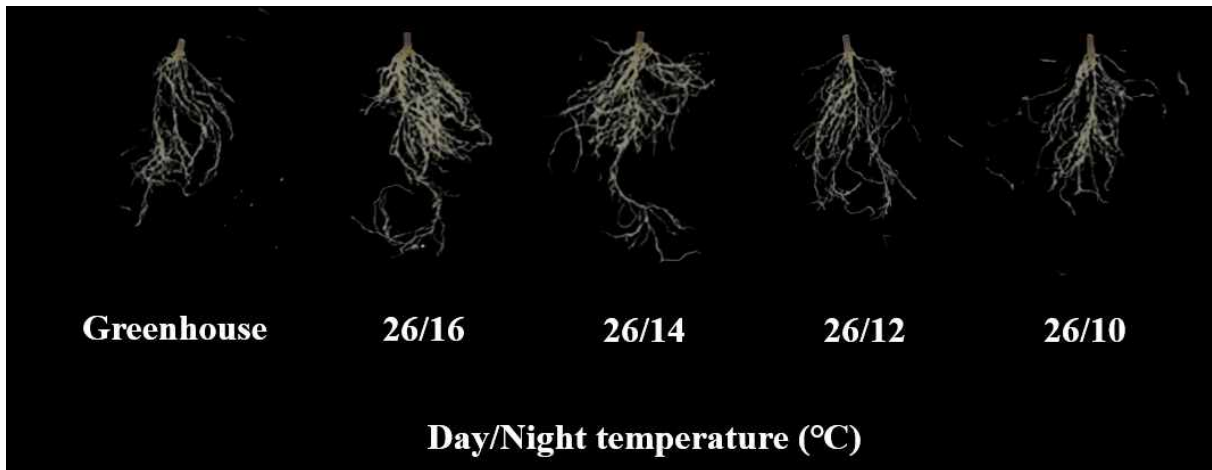


그림. 식물공장 내에서 야간 온도에 따른 토마토 대목 뿌리 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배된 토마토 대목의 지하부 특성

Treatment (°C)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
Greenhouse	88.4 ± 20.6 c	10.1 ± 2.8 c	1.9 ± 0.6 c	0.8 ± 0.3 b	0.9 ± 0.4 b	102.2 ± 22.3 c
26/16	191.5 ± 46.4 a	16.2 ± 2.8 b	3.1 ± 0.8 b	0.7 ± 0.4 bc	1.0 ± 0.4 ab	212.6 ± 47.9 a
26/14	175.1 ± 22.8 ab	22.9 ± 5.4 a	4.9 ± 1.5 a	1.3 ± 0.7 a	1.3 ± 0.6 a	205.6 ± 26.9 a
26/12	170.1 ± 22.8 ab	10.7 ± 2.5 c	1.6 ± 0.6 c	0.4 ± 0.3 c	1.1 ± 0.4 ab	184.1 ± 23.6 ab
26/10	154.5 ± 24.8 b	13.1 ± 3.1 bc	2.3 ± 1.3 bc	0.6 ± 0.4 bc	1.2 ± 0.4 ab	171.9 ± 26.5 b

- 뿌리 표면적도 유사한 경향으로 온실이 3.8 cm² 로 가장 작았으며 야간 온도가 14 °C 일 때 7.8 cm² 로 넓었음
- 14 °C에서 뿌리 평균 경경이 0.24 mm 로 가장 두꺼웠던 경향은 표면적과 비슷하였지만 온실에 비하여 12 °C 가 0.10 mm 로 가장 낮아졌음
- 이와 달리 근단수에서는 온실에 비하여 처리구 모두 많은 경향이 있었지만, 야간 온도에 따른 유의미한 차이는 나타나지 않았음

Treatment (°C)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Greenhouse	3.8 ± 0.9 d	0.11 ± 0.03 bc	408.1 ± 106.4 b
26/16	6.5 ± 1.2 b	0.15 ± 0.03 b	1723.5 ± 726.2 a
26/14	7.8 ± 1.6 a	0.24 ± 0.09 a	1381.0 ± 346.9 a
26/12	4.9 ± 0.7 c	0.10 ± 0.02 c	1599.6 ± 554.4 a
26/10	5.2 ± 0.9 c	0.12 ± 0.03 bc	1289.0 ± 440.8 a

- 관행 온실 및 서로 다른 야간 온도에서 파종 후 시간이 지남에 따라 지상부 생체중의 변화를 확인하기 위해 2일 간격으로 무게 조사를 진행하였음. 그 중 대목은 접수에 비하여 2일 먼저 파종하기 때문에 접목 전을 마지막으로 접수는 16일차, 대목은 18일차 까지 조사하였음
- 접수는 파종 후 8 일차(DAS) 까지는 무게의 차이가 나타나지 않았으며 10 DAS 이후부터 온실의 무게가 증가하는 경향을 보임
- 접목 전인 16 DAS 에서는 온실이 0.62 g 으로 가장 무거웠으며 야간 온도가 낮아질수록 무게 또한 낮아지는 경향을 보였음. 그 결과 10 °C 가 0.44 g 으로 가장 가벼웠음
- 대목의 경우 12 DAS 까지는 온실 및 처리구간 차이가 크게 나타나지 않았음
- 접수와 다르게 14 DAS 까지는 온실에 비하여 16 °C 가 더 높은 경향이 나타났음. 하지만 16 DAS 이후부터는 접수와 동일하게 온실이 높아지는 것을 확인할 수 있음
- 접목 전인 18 DAS 에서는 온실이 1.14 g 으로 가장 무거웠으며 접수와 동일하게 야간 온도가 낮아질수록 감소하는 경향을 보이며 10 °C 가 0.72 g 으로 가장 가벼웠음

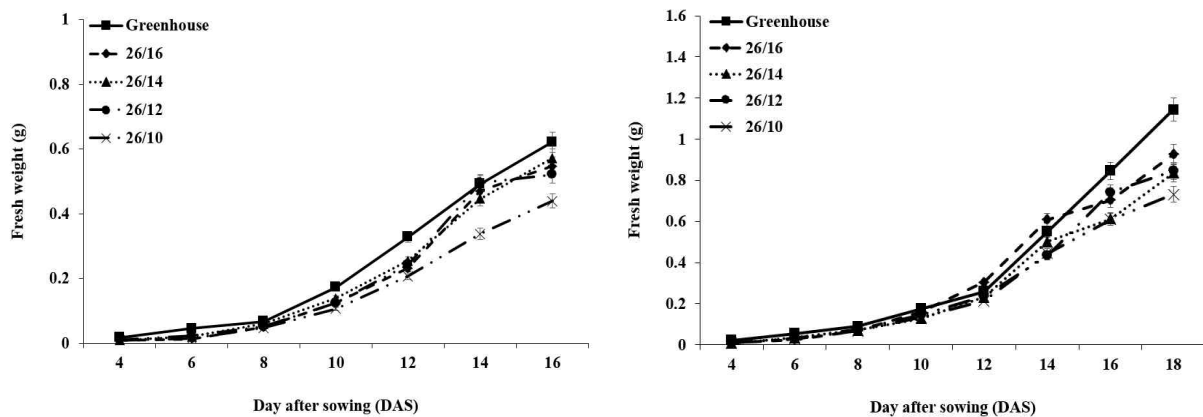


그림. 서로 다른 야간 온도에서 재배된 토마토 접수(좌) 및 대목(우)의 지상부(잎+줄기) 성장 생체중

▶ 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목의 접목 이후 출하 전 작물 생육 비교 실험 결과



그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목 활착률

- 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 접목 활착률을 비교 조사한 결과 접목 후 3일차에서는 야간온도 16℃ 는 96.5%, 12℃ 는 95.1%, 10℃ 는 98.8 %로 모든 온도에서 활착이 우수하였음
- 7일차 또한 마찬가지로 16℃ 는 96.1%, 12℃ 는 98.0 %, 10℃ 는 97.3 % 로 3일차에 비하여 증가하거나 감소하였지만 모두 90% 가 넘는 접목률이기 때문에 전 처리구 모두 우수하다고 판단됨
- 이것으로 보아, 토마토 접목에서는 야간 온도에는 크게 영향을 받지 않는다는 것을 확인하였음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 접목 활착률

Air temperature (°C)	Graft-take ratio (%) after grafting	
	3 days	7 days
26/16	96.5 ± 15.4 a	96.1 ± 18.2 a
26/12	95.1 ± 19.5 a	98.0 ± 11.4 a
26/10	98.8 ± 9.7 a	97.3 ± 14.3 a

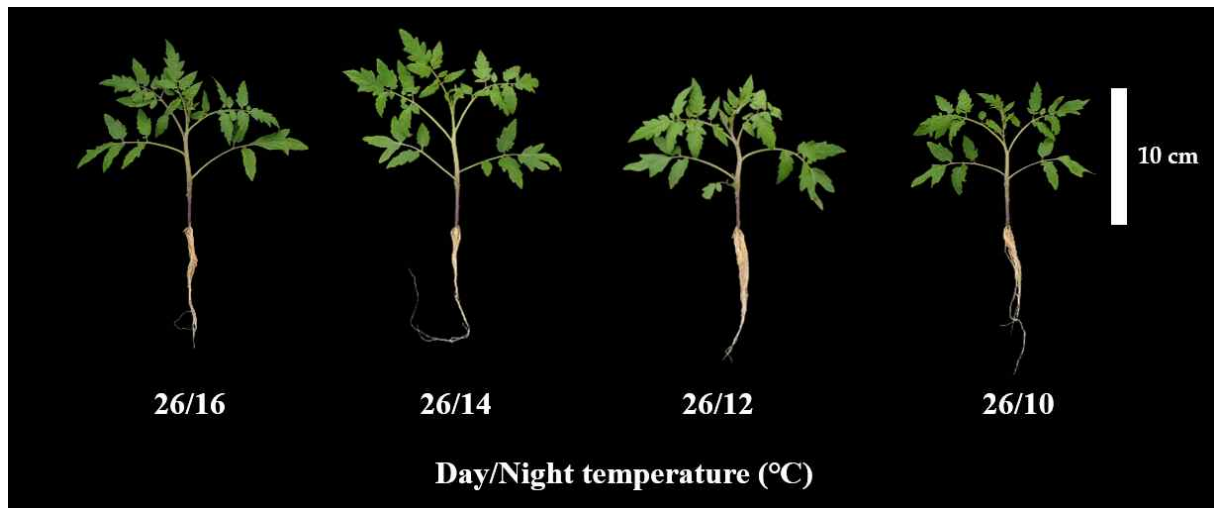


그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 생육

- 본 실험을 진행 할 때에 계절이 겨울이었기 때문에 온실에서 재배가 어려워 환경을 호반육묘장 재배사가 추천한 26/10℃ 의 공장 안에서 육묘하였음
- 서로 다른 야간온도에서 재배된 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 출하 전 생육 특성을 비교 조사한 결과 야간 온도가 16℃ 일 때 접수 및 대목의 초장이 컸기 때문에 접목 이후에도 10.6 cm 로 가장 컸음
- 이와 달리, 경경 및 엽수에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- SPAD는 야간 온도가 가장 낮았던 10℃ 의 접목묘가 42.6 으로 가장 높았으며 14℃ 가 38.3 으로 낮았음
- 이와 반대로 엽면적은 16℃ 에서 99.8 cm² 로 가장 넓었으며 야간 온도가 가장 낮은 10℃ 가 66.5 cm² 로 작았음
- 총실도를 보았을 때 12℃ 가 55.8 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였으며 야간 온도가 가장 낮은 10℃ 가 총실도 또한 32.1 mg·cm⁻¹ 로 가장 떨어졌음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	10.6 ± 0.9 a	2.5 ± 0.2 a	6.8 ± 0.4 a	40.1 ± 2.8 ab	99.8 ± 12.9 a	41.2 ± 8.4 ab
26/14	9.9 ± 1.1 a	2.4 ± 0.2 a	6.6 ± 0.5 a	38.3 ± 0.8 b	84.7 ± 22.3 ab	41.8 ± 13.3 ab
26/12	9.8 ± 0.5 a	2.5 ± 0.3 a	6.6 ± 0.5 a	41.4 ± 1.0 a	98.1 ± 13.4 a	55.8 ± 12.4 a
26/10	9.7 ± 1.0 a	2.5 ± 0.2 a	6.2 ± 0.4 a	42.6 ± 2.1 a	66.5 ± 19.0 b	32.1 ± 7.0 b

- 접목묘의 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중에서 16 및 12 °C 가 약 3.1 g 으로 가장 무거웠으며 10 °C 가 2.2 g 으로 낮았음. 하지만, 건물중에서는 16 °C 보다 12 °C 가 0.44 g 으로 가장 무거워졌으며 10 °C 가 0.24 g 으로 가장 가벼운 것은 동일하였음
- 하지만, 초장 및 경경에서는 처리구간 큰 차이가 없었기 때문에 줄기 생체중 및 건물중에서도 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리에서도 동일하게 처리구간 생체중 및 건물중에서 큰 차이를 보이지 않았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
26/16	3.1 ± 0.3 a	1.5 ± 0.1 a	1.0 ± 0.2 a	0.34 ± 0.08 ab	0.09 ± 0.01 a	0.04 ± 0.01 a
26/14	2.8 ± 0.8 ab	1.3 ± 0.3 a	0.7 ± 0.1 a	0.33 ± 0.12 ab	0.08 ± 0.03 a	0.03 ± 0.01 a
26/12	3.1 ± 0.5 a	1.4 ± 0.2 a	0.9 ± 0.3 a	0.44 ± 0.12 a	0.10 ± 0.03 a	0.04 ± 0.01 a
26/10	2.2 ± 0.6 b	1.2 ± 0.3 a	0.8 ± 0.2 a	0.24 ± 0.08 b	0.07 ± 0.01 a	0.03 ± 0.01 a

- 접목묘의 출하 전 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 이하의 뿌리에서는 12 °C 가 185.8 cm 로 컸으며 14 °C 가 146.6 cm 로 가장 낮았으나 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 이후 뿌리에서도 처리구간 편차는 나타났지만 유의한 차이는 아니었음
- 총 뿌리에서 0.5 mm 미만의 뿌리와 동일하게 12 °C 가 238.8 cm 로 가장 컸으며 10 °C 가 184.9 cm 로 가장 작았지만 유의성은 나타나지 않았음

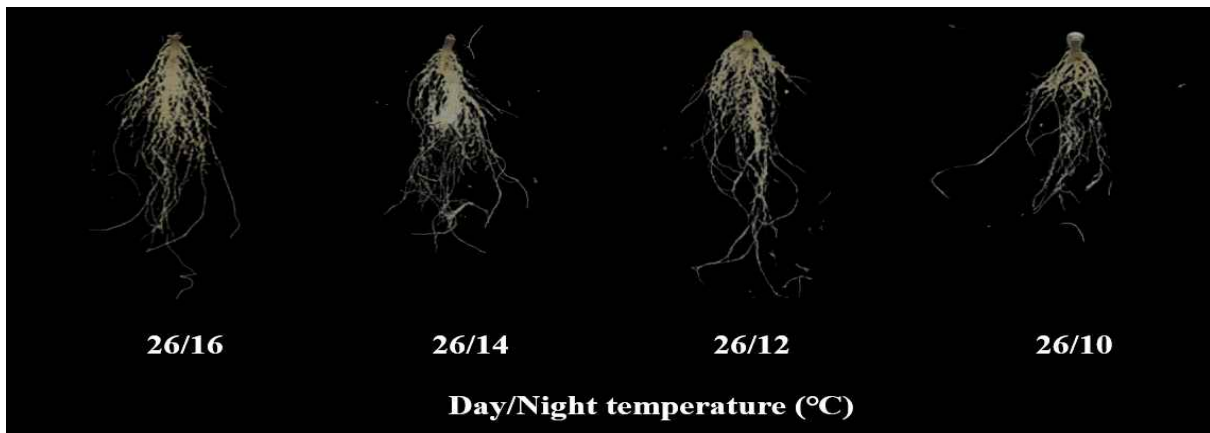


그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 지하부 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 지하부 특성

Treatment (°C)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter(%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
26/16	165.1 ± 33.7 a	34.8 ± 12.3 a	7.6 ± 3.7 a	3.2 ± 2.6 a	2.1 ± 1.5 a	212.9 ± 51.8 a
26/14	146.6 ± 57.2 a	29.8 ± 10.6 a	5.6 ± 2.4 a	2.4 ± 1.3 a	2.4 ± 1.1 a	186.9 ± 71.6 a
26/12	185.8 ± 55.4 a	37.4 ± 7.9 a	7.9 ± 3.7 a	3.4 ± 1.9 a	4.1 ± 2.4 a	238.8 ± 65.7 a
26/10	148.3 ± 42.9 a	26.9 ± 8.4 a	5.1 ± 2.1 a	1.9 ± 0.4 a	2.6 ± 1.0 a	184.9 ± 54.0 a

- 뿌리 표면적은 지하부 특성과 유사한 경향으로 12 °C 가 15.0 cm² 로 가장 넓었으며 14 °C 가 10.1 cm² 로 작았음
- 뿌리 평균 경경 또한 12 °C 가 0.74 mm 로 굵었으며 14 °C 가 0.45 mm 로 가장 얇았음
- 근단수도 마찬가지로 12 °C 가 1677.0 으로 가장 많았으며 표면적 및 경경과 다르게 16 °C 가 1110.4 로 가장 낮았지만 처리구간 통계적으로 유의미하진 않았음

Treatment (°C)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
26/16	13.3 ± 2.9 a	0.67 ± 0.26 a	1110.4 ± 231.4 a
26/14	10.1 ± 2.7 a	0.45 ± 0.14 a	1304.6 ± 403.9 a
26/12	15.0 ± 4.4 a	0.74 ± 0.29 a	1677.0 ± 614.3 a
26/10	11.1 ± 4.5 a	0.53 ± 0.27 a	1579.4 ± 383.0 a

▶ 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 접수 및 대목의 접목 및 출하 이후 정식 일수(정식 후 7일, 14일, 21일)에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

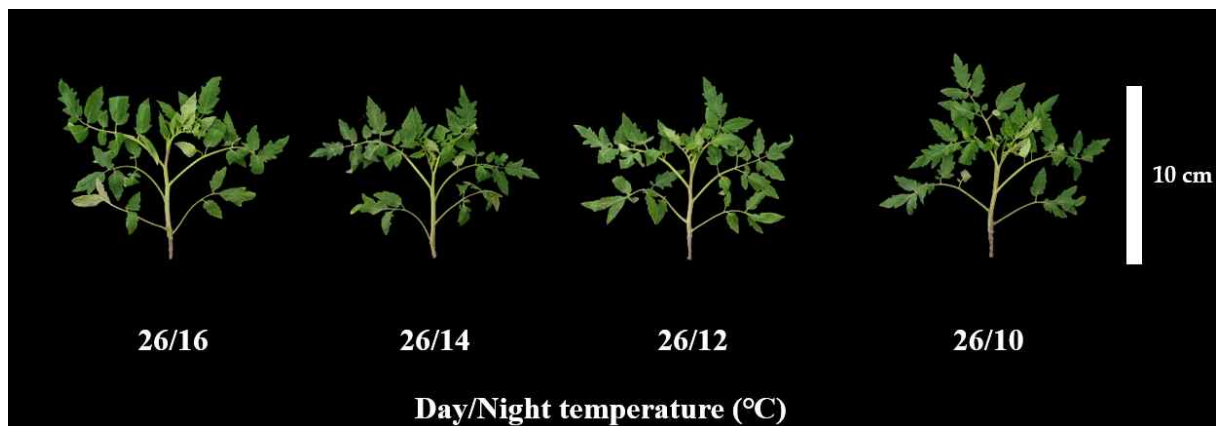


그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 7일차 생육

- 출하 시점과 정식 7일 후의 초장이 비슷한 점은 정식을 하면서 흠에 덮혀 있는 부분을 자른 후 생육 조사를 진행하였기 때문에 길이에서 손실이 발생하였다고 판단됨. 이후 엽수 및 엽면적은 정상적으로 조사되었음

- 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7 일차의 생육 특성을 비교 조사한 결과 초장은 16 °C 가 10.8 로 가장 컸으며 이후 처리구 들에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 경경, 엽수 및 SPAD는 야간 온도에 따른 변화가 보이지 않았음
- 하지만 엽면적에서는 초장과 유사한 경향으로 16 °C 가 180.3 cm² 로 가장 넓었으며 14 °C 가 134.1 cm² 로 가장 작았음
- 이와 달리, 총실도에서는 야간 온도가 가장 낮았던 10 °C 가 85.1 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였으며 이를 제외한 다른 처리구에서는 약 79 mg·cm⁻¹ 이하로 떨어졌지만 처리구간 유의미한 차이는 나타나지 않았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7일차 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	10.8 ± 0.6 a	2.5 ± 0.3 a	8.3 ± 0.6 a	42.8 ± 2.4 a	180.3 ± 20.8 a	79.5 ± 4.6 b
26/14	8.7 ± 1.0 b	2.3 ± 0.3 a	8.0 ± 0.0 a	42.7 ± 2.4 a	134.1 ± 29.5 b	73.4 ± 9.5 b
26/12	8.8 ± 0.9 b	2.1 ± 0.2 a	7.6 ± 0.6 a	42.1 ± 4.7 a	140.1 ± 18.1 ab	78.9 ± 7.3 b
26/10	9.5 ± 0.7 b	2.5 ± 0.1 a	8.0 ± 0.0 a	40.1 ± 4.8 a	163.9 ± 11.8 ab	85.1 ± 6.8 a

- 정식 후 7일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 가장 컸던 16 °C 가 7.5 g 으로 무거웠으며 14 °C 가 5.4 g 으로 가장 가벼웠음. 건물중 또한 16 °C 가 0.73 g, 14 °C 가 0.52 g 으로 가장 무겁고 가벼웠음
- 초장에서 16 °C 가 가장 길었기 때문에 줄기 생체중이 2.3 g 으로 무거웠으며 10 °C 가 2.1 g 으로 비슷하였음. 하지만, 건물중에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7일차 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
26/16	7.5 ± 0.5 a	2.3 ± 0.1 a	0.73 ± 0.08 a	0.12 ± 0.01 a
26/14	5.4 ± 1.1 c	1.7 ± 0.2 b	0.52 ± 0.13 b	0.09 ± 0.03 a
26/12	5.9 ± 0.8 bc	1.7 ± 0.3 b	0.60 ± 0.09 ab	0.09 ± 0.01 a
26/10	7.2 ± 0.7 ab	2.1 ± 0.1 a	0.69 ± 0.08 ab	0.11 ± 0.01 a

- 정식 후 14 일차의 생육을 비교 조사한 결과 7일차에 비하여 10 °C 의 초장이 29.0 cm 로 가장 컸으며 12 °C 가 23.6 cm 로 가장 작았음
- 하지만, 7일차와 동일하게 경경, 엽수 및 SPAD 에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 7일차에서는 16 °C 가 가장 넓었던 것에 비하여 10 °C 가 538.4 cm² 로 가장 넓어졌으며 12 °C 가 370.1 cm² 로 가장 작았음
- 7일차의 총실도에서는 10 °C 가 가장 우수하였던 반면 14일차에서는 16 °C 가 99.6 으로 가장 우수해졌으며 가장 떨어지던 온도는 14 °C에서 12 °C 인 77.8 로 바뀌었음

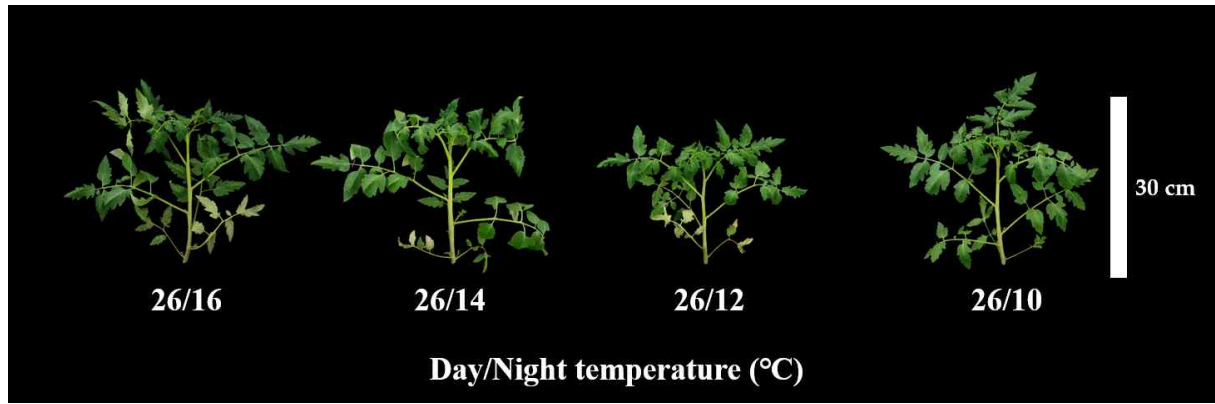


그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 14일차 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 14일차 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	28.3 ± 1.5 a	3.1 ± 0.7 a	9.6 ± 0.6 a	50.1 ± 4.7 a	490.4 ± 32.6 a	99.6 ± 2.5 a
26/14	26.6 ± 3.8 a	3.2 ± 0.5 a	9.3 ± 0.6 a	49.1 ± 1.5 a	447.5 ± 49.7 ab	94.2 ± 13.6 ab
26/12	23.6 ± 5.5 a	3.3 ± 0.3 a	8.6 ± 0.6 a	45.7 ± 0.9 a	370.1 ± 67.4 b	77.8 ± 5.6 b
26/10	29.0 ± 5.0 a	3.5 ± 0.4 a	9.3 ± 0.6 a	44.3 ± 4.0 a	538.4 ± 70.0 a	95.1 ± 10.7 ab

- 정식 후 14 일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중은 엽면적의 경향과 동일하게 나타났음. 하지만 건물중에서 12 °C 를 제외한 처리구간에는 유의한 차이가 없었으며 12 °C 가 1.42 g 으로 가장 가벼웠음
- 줄기 생체중은 12 °C 가 6.8 g 으로 처리구 중 가장 가벼웠으며 다른 온도 간에는 차이가 크게 나타나지 않았음. 건물중도 비슷한 경향으로 16 및 10 °C 가 약 0.6 g 으로 무거웠으며 12 °C 가 0.4 g 으로 가장 가벼웠음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 14일차 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
26/16	19.9 ± 2.2 a	10.1 ± 2.3 a	2.12 ± 0.07 a	0.69 ± 0.05 a
26/14	18.3 ± 1.0 ab	9.9 ± 1.8 a	1.92 ± 0.12 a	0.55 ± 0.05 ab
26/12	13.1 ± 3.1 b	6.8 ± 2.8 b	1.42 ± 0.23 b	0.40 ± 0.10 b
26/10	20.1 ± 4.6 a	11.6 ± 2.4 a	2.10 ± 0.41 a	0.66 ± 0.16 a

- 정식 후 21 일차의 생육을 비교 조사한 결과 초장은 10 °C 가 53.0 cm 로 가장 컸으며 12 °C 가 42.6 cm 로 가장 낮았으며 14일차와 유사한 경향이지만 편차가 더 커짐에 따라 유의성의 차이도 나타났음
- 하지만, 7 및 14 일차와 동일하게 경경 및 SPAD 에서는 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 14일차에서 처리구간 총실도가 차이가 났던 결과와 달리 21일차에서는 16 °C 가 137.3 mg·cm⁻¹ 으로 가장 우수하였던 것은 동일하였으나 처리구간 유의한 차이는 나타나지 않았음

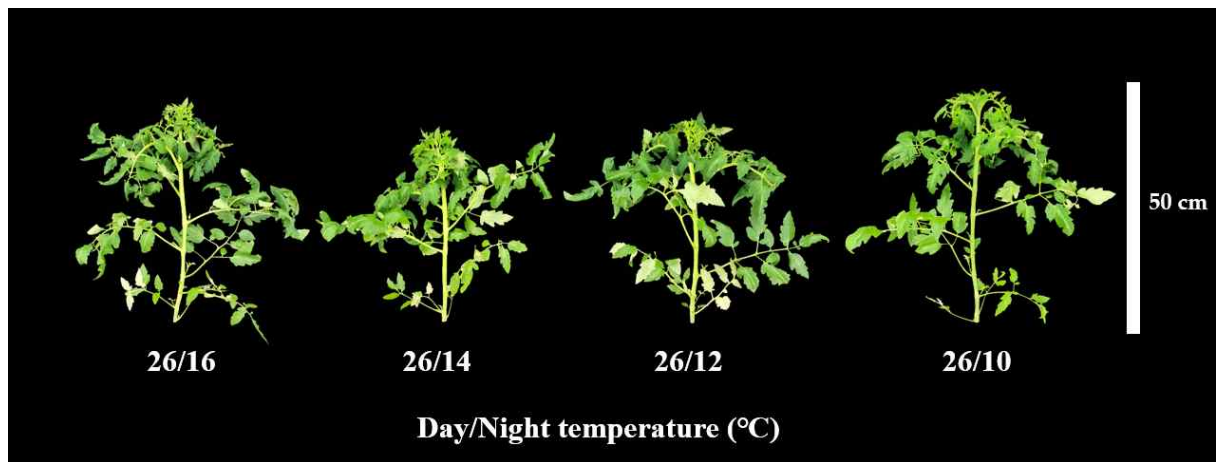


그림. 야간 온도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 21일차 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 21일차 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	48.3 ± 2.5 ab	3.2 ± 0.4 a	42.5 ± 3.9 a	137.3 ± 26.4 a
26/14	44.3 ± 1.5 bc	3.4 ± 0.7 a	41.9 ± 2.3 a	124.1 ± 15.6 a
26/12	42.6 ± 2.3 c	3.4 ± 0.5 a	46.7 ± 3.5 a	113.3 ± 2.5 a
26/10	53.0 ± 3.6 a	4.1 ± 0.6 a	42.1 ± 0.3 a	123.7 ± 14.9 a

- 정식 후 21일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중은 16 °C 가 53.0 g 이며 12 °C 가 40.4 g 으로 차이가 나타남. 건물중도 유사한 경향으로 16 °C 가 4.94 g 으로 가장 무거웠으며 12 °C 가 3.67 g 으로 가장 가벼웠음
- 줄기 생체중은 초장의 결과와 같이 10 °C 가 33.3 g 으로 가장 무거웠으며 12 °C 가 22.7 g 으로 가벼웠음. 건물중 또한 같은 결과를 나타냈음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 21일차 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
26/16	53.0 ± 3.8 a	31.3 ± 3.9 ab	4.94 ± 0.79 a	1.65 ± 0.21 ab
26/14	46.1 ± 4.6 b	26.2 ± 1.2 bc	4.14 ± 0.46 ab	1.34 ± 0.09 bc
26/12	40.4 ± 2.7 b	22.7 ± 1.2 c	3.67 ± 0.24 b	1.16 ± 0.10 c
26/10	51.3 ± 7.2 a	33.3 ± 4.9 a	4.74 ± 0.74 ab	1.83 ± 0.39 a

- 정식 후 21일차 잎 및 개화의 특성을 비교 조사한 결과 엽수에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 엽면적은 10 °C가 1118.4 cm² 로 가장 넓었으며 12 °C 가 837.1 cm² 로 가장 작았음
- 토마토는 정식 후 첫 화방이 언제 나타나는지가 농가에서 중요한 지표이기 때문에 조사를 한 결과 화방이 나타나는 마디는 10 ~ 9 node 로 야간 온도에 따른 경향성은 나타나지 않았으며 농가에서 선호하는 7 ~ 8 절에 모두 못 미치는 결과였음
- 개화 위치 또한 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 21일차 잎 및 개화 특성

Treatment (°C)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	First flower cluster (node)	Flower position (cm)
26/16	12.0 ± 0.1 a	1063.1 ± 124.5 ab	10.6 ± 0.6 a	1.1 ± 0.3 a
26/14	12.3 ± 1.2 a	928.0 ± 19.6 bc	9.6 ± 0.6 a	1.0 ± 0.0 a
26/12	10.6 ± 0.6 a	837.1 ± 64.9 c	10.3 ± 0.6 a	1.3 ± 0.6 a
26/10	11.3 ± 1.2 a	1118.4 ± 119.2 a	9.6 ± 0.6 a	1.6 ± 0.6 a

• 토마토 실생묘 육묘 시 야간 온도 변화(주간 : 26°C/ 야간 : 16, 14, 12, 10°C)에 따른 생육 변화

▶ 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 출하 전 작물 생육 비교 실험 결과

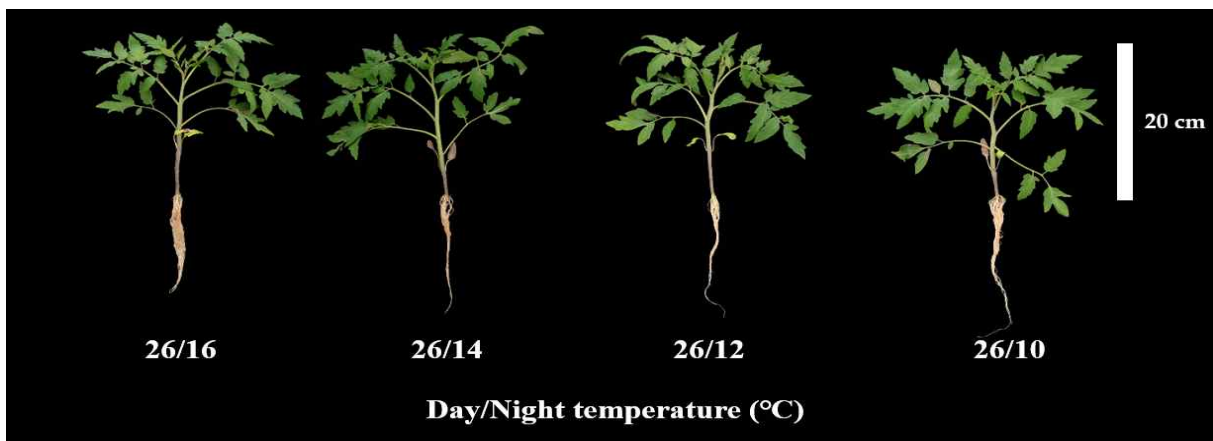


그림. 야간 온도에 따른 토마토 실생묘 생육

- 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과 야간 온도가 14 °C 이상일 경우 초장이 16.5 cm 이상이였으며 12 °C 이하일 때 약 14.7 cm 로 작아지는 경향을 보임
- 이와 달리 경경은 14 및 10 °C 가 약 2.6 mm 이상으로 두꺼웠음
- 엽수에서는 야간 온도가 가장 높은 16 °C 가 7.2 ea 로 가장 적었으며 이후 온도에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- SPAD 및 엽면적에서는 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 총실도는 야간 온도가 12 및 10 °C 일 경우 15.2 mg·cm⁻¹ 이상으로 높았으며 14 °C 가 14.3 mg·cm⁻¹ 으로 가장 낮은 경향을 나타냄

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	16.9 ± 0.8 a	2.5 ± 0.3 ab	7.2 ± 0.4 b	40.4 ± 2.5 a	175.5 ± 16.2 a	15.0 ± 1.6 ab
26/14	16.5 ± 2.6 a	2.7 ± 0.1 a	8.0 ± 0.0 a	40.9 ± 2.6 a	176.8 ± 12.4 a	14.3 ± 1.5 b
26/12	14.7 ± 1.7 a	2.3 ± 0.2 b	7.8 ± 0.4 a	42.3 ± 3.2 a	177.7 ± 10.6 a	16.4 ± 0.9 a
26/10	14.7 ± 1.3 a	2.6 ± 0.1 a	8.0 ± 0.0 a	42.2 ± 1.7 a	189.8 ± 7.3 a	15.2 ± 1.0 a

- 실생묘의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 10 °C 가 가장 넓었으나 유의적인 차이가 없었던 반면, 잎 생체중에서는 6.8 g 으로 가장 무거웠음. 건물중 또한 유사한 경향으로 0.78 g 으로 16 및 14 °C 보다 무거웠음

- 뿌리는 생체중에서 처리구간 차이가 나타나지 않았지만, 건물중에서는 12 °C 가 0.11 g 으로 가장 무거웠으며 10 °C 가 0.08 g 으로 가벼웠음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
26/16	5.9 ± 0.5 b	3.2 ± 0.2 a	1.6 ± 0.6 a	0.75 ± 0.10 ab	0.25 ± 0.02 a	0.09 ± 0.01 ab
26/14	6.0 ± 0.4 b	2.9 ± 0.6 a	1.7 ± 0.6 a	0.68 ± 0.06 b	0.24 ± 0.04 a	0.09 ± 0.01 ab
26/12	6.6 ± 0.2 a	2.9 ± 0.3 a	2.0 ± 0.4 a	0.84 ± 0.04 a	0.24 ± 0.03 a	0.11 ± 0.01 a
26/10	6.8 ± 0.4 a	3.0 ± 0.3 a	1.8 ± 0.1 a	0.78 ± 0.05 a	0.22 ± 0.02 a	0.08 ± 0.01 b

- 실생묘의 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리에서는 12 °C 가 403.6 cm 로 가장 컸으나 유의적인 차이는 아니었음
- 0.5 ~ 1.0 mm 의 뿌리에서도 12 °C 가 88.3 cm 로 다른 야간 온도 처리구들에 비하여 컸음
- 1.0 ~ 1.5 mm 에서는 16 및 12 °C 의 뿌리가 약 9.1 cm 이상으로 가장 컸으며 14 °C 가 1.5 cm 로 낮았음
- 12°C가 0.5 mm 이상의 뿌리에서 큰 값을 보였지만, 총 뿌리에서 12 °C 가 504.3 cm 로 가장 컸으나 유의미한 차이는 나타나지 않았음.

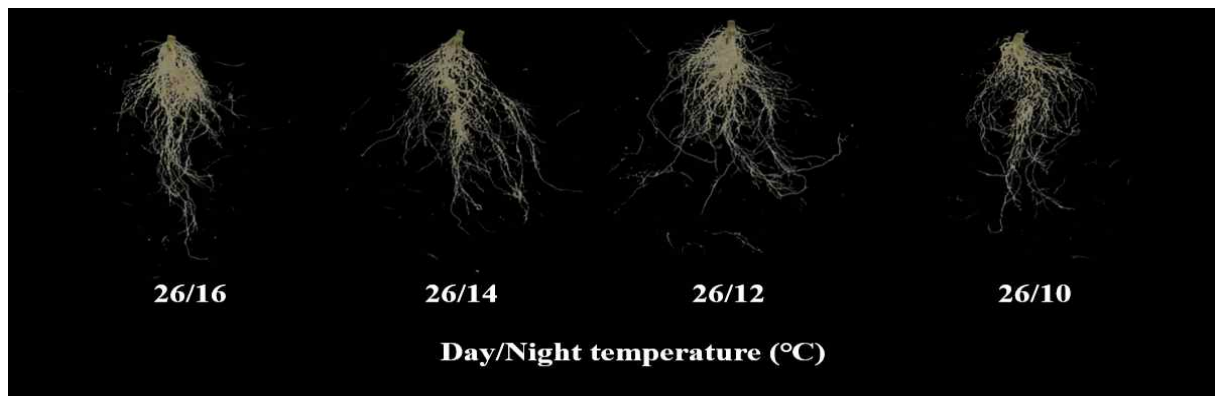


그림. 야간 온도에 따른 토마토 실생묘 지하부 생육

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 지하부 특성

Treatment (°C)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	Total
26/16	354.5 ± 56.5 a	58.4 ± 11.2 b	9.1 ± 5.4 a	2.4 ± 1.6 a	1.45 ± 2.95 a	425.8 ± 66.2 a
26/14	344.0 ± 19.8 a	59.0 ± 6.2 b	1.5 ± 2.0 b	0.5 ± 1.1 a	0.03 ± 0.06 a	404.9 ± 19.3 a
26/12	403.6 ± 70.2 a	88.3 ± 17.1 a	9.9 ± 6.8 a	1.9 ± 2.6 a	0.69 ± 1.54 a	504.3 ± 94.8 a
26/10	365.4 ± 86.9 a	61.7 ± 15.6 b	3.4 ± 4.7 ab	0.5 ± 1.1 a	0	431.0 ± 100.3 a

- 뿌리 표면적은 12 °C 가 37.1 cm² 로 가장 넓었으며 16 °C 가 29.9 cm² 로 낮은 경향이 있었으나 유의적인 차이는 보이지 않았음
- 뿌리 평균 경경에서는 14 °C 가 2.29 mm 로 유의하게 두꺼웠으며 16 °C 가 1.65 mm 로 가장 얇았음
- 이와 달리 근단수에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음

Treatment (°C)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
26/16	29.9 ± 5.6 a	1.65 ± 0.40 b	2227.2 ± 541.8 a
26/14	34.3 ± 2.7 a	2.29 ± 0.38 a	2057.8 ± 260.9 a
26/12	37.1 ± 5.6 a	2.15 ± 0.30 ab	2442.4 ± 340.1 a
26/10	32.1 ± 8.0 a	1.90 ± 0.58 ab	2665.6 ± 488.2 a

▶ 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 출하 이후 정식 일수(정식 후 7일, 14일)에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

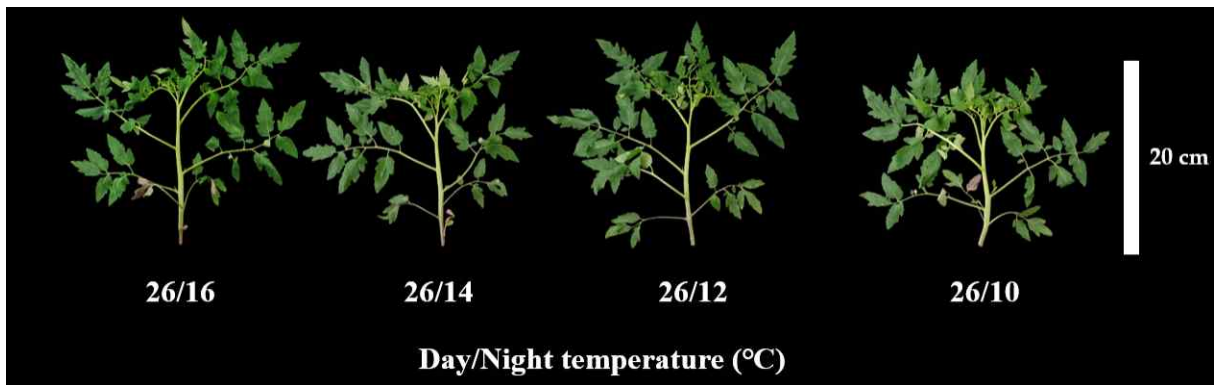


그림. 야간 온도에 따른 토마토 실생묘 정식 7일차 생육

- 실생은 접목묘에 비하여 출하 시기가 빠르고 생육이 빠른 경향이 있어 첫 화방이 출현한 정식 후 14일차 까지만 생육조사를 진행하였음
- 토마토 실생묘 정식 후 7일차의 생육 특성을 비교 조사한 결과 출하 전에 초장이 작았던 12 및 16 °C 가 오히려 더 커지는 결과를 보였으나 아직 차이가 크지 않아 유의성은 없었음
- 경경에서는 14 °C 가 3.0 mm 로 가장 두꺼웠으며 출하 전에서 가장 두꺼웠던 것과 달라지지 않았음
- 엽수는 12 °C 가 9.8 ea 로 가장 적은 14 °C 인 9.0 ea 와 약 1장 정도 차이가 났음
- 하지만, SPAD 에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 야간 온도가 낮았던 12 및 10 °C 가 약 330 cm² 이상으로 높은 수치를 보였으며 온도가 높았던 16 및 14 °C 에서는 약 280 cm² 로 낮은 경향을 나타냄
- 충실도를 확인하였을 때 야간 온도가 가장 낮은 10 °C에서 재배한 토마토를 정식하였을 때 18.9 mg·cm⁻¹ 이상으로 가장 우수하였으며 그 이하 온도에서는 약 17 mg·cm⁻¹ 이하로 비교적 떨어지는 경향이 있었음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 정식 후 7일차 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	20.8 ± 1.5 a	2.9 ± 0.2 ab	9.6 ± 0.5 ab	45.2 ± 5.2 a	284.0 ± 21.4 b	16.7 ± 1.0 b
26/14	20.6 ± 2.2 a	3.0 ± 0.2 a	9.0 ± 0.1 b	44.7 ± 4.4 a	279.7 ± 21.7 b	16.7 ± 1.1 b
26/12	21.6 ± 0.9 a	2.8 ± 0.2 ab	9.8 ± 0.4 a	42.9 ± 3.1 a	331.2 ± 15.4 a	17.3 ± 0.9 b
26/10	21.4 ± 2.1 a	2.7 ± 0.2 b	9.6 ± 0.5 ab	44.3 ± 1.7 a	338.6 ± 16.4 a	18.9 ± 1.3 a

- 정식 후 7일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 10 °C 가 가장 넓었기 때문에 15.2 g 으로 가장 무거웠으며 건물중 또한 1.45 g 으로 무거웠음. 이와 반대로 엽면적이 가장 작은 14 °C

가 생체중 및 건물중 또한 12.8, 1.27 g 으로 전체 중에서 가장 가벼웠음

- 하지만 초장에서 유의미한 차이가 나타나지 않은 것과 동일하게 줄기 건물중 및 생체중에서도 처리구간 차이는 나타났지만 그것이 유의미한 차이는 아니었음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 정식 후 7일차 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
26/16	13.4 ± 0.9 ab	6.8 ± 0.6 a	1.31 ± 0.14 ab	0.35 ± 0.04 a
26/14	12.8 ± 1.4 b	6.6 ± 1.0 a	1.27 ± 0.10 b	0.35 ± 0.05 a
26/12	14.3 ± 0.8 ab	7.2 ± 0.5 a	1.35 ± 0.08 ab	0.37 ± 0.03 a
26/10	15.2 ± 1.8 a	7.6 ± 0.5 a	1.45 ± 0.11 a	0.40 ± 0.03 a

- 정식 후 14일차의 생육 특성을 비교 조사한 결과 10 °C 의 초장이 39.0 cm 로 가장 작았지만 처리구간 유의미한 차이는 아니었음
- 7일차에서는 경경이 차이가 났던 반면 14일차에서는 14 °C 가 4.1 mm 로 가장 두꺼웠던 경향은 동일하였지만 처리구간 유의성은 나타나지 않았음
- SPAD 는 7일차와 동일하게 처리구간 큰 차이가 없었음
- 총실도 또한 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았으며 7일차에서 10 °C 가 가장 높았었던 결과와 달라지는 경향을 보임

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 정식 후 14일차 생육 특성

Treatment (°C)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness (mg·cm ⁻¹)
26/16	41.2 ± 1.1 a	3.2 ± 1.0 a	43.2 ± 2.1 a	29.1 ± 2.0 a
26/14	38.8 ± 1.6 a	4.1 ± 0.8 a	43.7 ± 2.8 a	28.5 ± 3.4 a
26/12	41.6 ± 1.1 a	3.4 ± 0.7 a	45.5 ± 2.8 a	28.9 ± 1.0 a
26/10	39.0 ± 1.2 a	3.5 ± 0.4 a	45.7 ± 4.0 a	29.8 ± 4.0 a

- 정식 후 14일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 처리구간 차이가 났던 잎의 생체중이 차이가 없어지는 결과로 바뀌었음. 이는 7일차에서 잎의 생체중이 작았던 16 및 14 °C 처리구의 잎 생육이 보다 빨라졌다고 판단됨. 그렇기 때문에 건물중에서도 처리구간 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 잎에서는 차이가 나타났지만 줄기 생체중 및 건물중은 7일차와 동일하게 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 정식 후 14일차 무게 특성

Treatment (°C)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
26/16	32.6 ± 2.2 a	21.8 ± 2.3 a	3.18 ± 0.29 a	1.20 ± 0.11 a
26/14	31.6 ± 3.5 a	19.9 ± 2.0 a	3.00 ± 0.30 a	1.10 ± 0.12 a
26/12	30.7 ± 3.2 a	20.2 ± 1.7 a	2.97 ± 0.27 a	1.20 ± 0.06 a
26/10	31.7 ± 4.0 a	19.6 ± 2.2 a	2.93 ± 0.46 a	1.16 ± 0.15 a

- 정식 후 14일차의 잎 및 개화 특성을 비교 조사한 결과 엽수에서는 처리구간 큰 차이가 나타나지 않았음
- 토마토 접목묘에서는 14일차에 엽면적이 차이가 났던 반면, 실생묘에서는 처리구간 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 하지만, 접목묘에서 첫 번째 화방이 생기는 마디에서는 차이가 없었지만 실생묘에서는 차이가 나타남. 야간 온도에 따른 경향성은 확인하지 못하였지만 온도가 가장 낮은 10 °C 가 8.8 node 로 가장 낮았으며 농가에서 선호하는 7 ~ 8 node 와 가장 유사하였음

표. 서로 다른 야간온도에서 재배한 토마토 실생묘의 정식 후 14일차 잎 및 개화 특성

Treatment (°C)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	First flower cluster (node)	Flower position (cm)
26/16	10.4 ± 0.5 a	795.7 ± 34.9 a	9.6 ± 0.5 ab	1.9 ± 1.5 a
26/14	10.2 ± 0.4 a	760.9 ± 76.5 a	10.4 ± 0.5 a	1.2 ± 0.3 a
26/12	10.2 ± 0.4 a	773.9 ± 60.2 a	9.4 ± 0.9 ab	1.3 ± 0.4 a
26/10	10.2 ± 0.4 a	771.3 ± 65.4 a	8.8 ± 0.8 b	1.9 ± 1.2 a

- 토마토 접목묘 육묘 시 광도의 변화(PPFD : 50, 120, 190, 260, 330, 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)에 따른 생육 변화

▶ 토마토 접수 및 대목 재배 시 광도의 변화에 따른 접목 전 작물 생육 비교 실험 결과

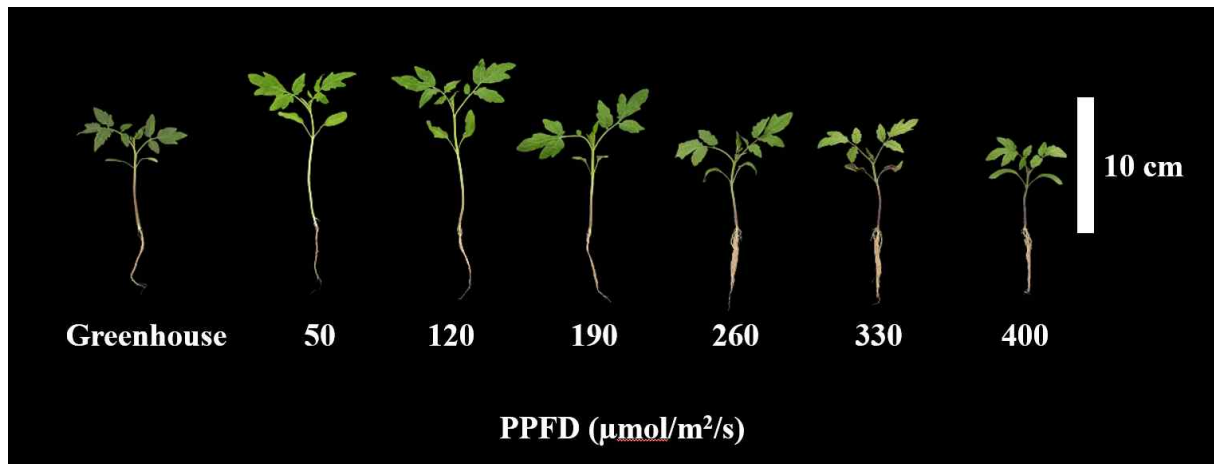


그림. 식물공장 내에서 광도에 따른 토마토 접수 생육

- 관행 온실 및 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실은 8.1 cm 로 가장 유사한 광도는 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이였음.
- 경경에서는 온실이 1.6 mm 로 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1.6 mm 로 유사하였음
- 엽수는 온실이 3.8 ea 로 가장 많았으며 광도에 상관없이 처리구들은 온실에 비하여 떨어지는 경향이 있었음
- 온실의 SPAD는 42.7 이였으며 오히려 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 가 43.4 로 더 높은 값을 나타냄
- 엽면적은 온실이 15.9 cm² 로 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 인 19.5 cm² 보단 작았으며 260 ~ 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 사이의 엽면적과 유사하였음
- 총실도는 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 11.6 mg·cm⁻¹ 로 가장 우수하였으며 온실인 8.6 mg·cm⁻¹ 보다 더 높았음. 온실의 총실도와 가장 비슷한 광도는 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 판단됨

표. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 접수의 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Greenhouse	8.1 \pm 0.4 c	1.6 \pm 0.2 a	3.8 \pm 0.4 a	42.7 \pm 2.9 ab	15.9 \pm 2.5 bc	8.6 \pm 1.5 c
50	11.8 \pm 1.5 a	1.2 \pm 0.2 c	3.2 \pm 0.4 b	28.8 \pm 1.5 e	11.6 \pm 2.0 d	3.1 \pm 1.0 e
120	11.3 \pm 1.9 a	1.5 \pm 0.3 ab	3.3 \pm 0.5 b	37.1 \pm 3.2 d	19.1 \pm 2.2 a	5.3 \pm 1.2 d
190	9.9 \pm 1.1 b	1.5 \pm 0.2 ab	3.2 \pm 0.4 b	41.6 \pm 3.4 abc	19.5 \pm 2.8 a	7.4 \pm 1.5 c
260	7.3 \pm 1.0 c	1.6 \pm 0.2 a	3.1 \pm 0.0 b	43.4 \pm 1.4 a	17.2 \pm 3.6 ab	11.6 \pm 2.5 a
330	7.7 \pm 1.0 c	1.4 \pm 0.3 abc	3.0 \pm 0.3 b	39.0 \pm 2.5 cd	13.8 \pm 2.4 cd	10.4 \pm 2.4 ab
400	8.3 \pm 0.9 c	1.3 \pm 0.2 bc	3.0 \pm 0.0 b	40.0 \pm 4.6 bc	11.8 \pm 1.9 d	8.8 \pm 1.9 bc

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실의 잎 생체중이 0.46 g 으로 가장 약하고 강한 광을 제외한 광도에서는 유사한 무게를 보였음. 생체중이 비슷함에도 건물중에서는 온실인 0.048 g 에 비하여 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상부터는 약 0.052 이상으로 더 높아지는 경향이 있었음
- 줄기 생체중은 약한 광도에서 초장이 컸기 때문에 약한 광도에서 줄기 생체중 또한 높았으며 온실과 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.40 g 으로 유사하였음. 건물중에서는 온실이 0.022 g 으로 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 0.023 g 을 제외하고는 가장 무거웠음
- 대체적으로 온실의 무게가 무거웠던 반면 뿌리에서는 반대의 경향이 나타남. 온실의 뿌리 생체중이 0.11 g 으로 가장 약한 광도인 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 를 제외하고는 가장 가벼웠음. 광도 처리구 중에서는 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.31 g 으로 가장 무거웠음. 건물중 또한 유사한 경향으로 온실이 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도보다 무게가 떨어지는 것을 확인할 수 있음

표. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 접수의 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Greenhouse	0.46 \pm 0.07 ab	0.40 \pm 0.05 b	0.11 \pm 0.02 d	0.048 \pm 0.010 c	0.022 \pm 0.004 ab	0.005 \pm 0.002 c
50	0.22 \pm 0.04 c	0.35 \pm 0.07 bc	0.09 \pm 0.02 d	0.023 \pm 0.008 e	0.012 \pm 0.004 c	0.004 \pm 0.003 c
120	0.42 \pm 0.04 ab	0.50 \pm 0.10 a	0.18 \pm 0.05 c	0.036 \pm 0.012 d	0.023 \pm 0.010 a	0.006 \pm 0.002 c
190	0.43 \pm 0.06 ab	0.40 \pm 0.09 b	0.24 \pm 0.04 b	0.052 \pm 0.008 bc	0.021 \pm 0.006 ab	0.009 \pm 0.002 b
260	0.47 \pm 0.08 a	0.33 \pm 0.03 cd	0.23 \pm 0.04 b	0.065 \pm 0.011 a	0.016 \pm 0.004 bc	0.011 \pm 0.002 b
330	0.41 \pm 0.08 b	0.28 \pm 0.05 d	0.21 \pm 0.04 bc	0.061 \pm 0.014 ab	0.018 \pm 0.003 ab	0.010 \pm 0.002 b
400	0.34 \pm 0.07 c	0.27 \pm 0.03 d	0.31 \pm 0.09 a	0.054 \pm 0.011 bc	0.018 \pm 0.004 ab	0.013 \pm 0.002 a

- 관행 온실 및 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 대목의 생육 특성을 비교 조사한 겨로가 관행 온실이 8.6 cm 였으며 이것은 260 과 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 사이의 값과 유사하였음
- 경경은 광도가 높아짐에 따라 두꺼워지는 경향을 보였으며 온실이 1.6 mm 로 120 과 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 사이의 두께와 비슷하였음

- 엽수에서는 온실이 4.9 ea 로 가장 많았으며 광도 처리구 중 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 4.0 ea 로 가장 많았지만 온실에 비하여는 부족하였음
- 광도가 높아짐에 따라 SPAD의 값이 증가하는 경향을 보였으며 온실이 46.9 로 광도가 가장 강한 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 47.0 과 유사하였음
- 엽면적은 광도가 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 까지 증가할 경우에는 엽면적 또한 증가하였지만 그 이상의 광도에서는 오히려 감소하는 경향을 보였음. 온실의 엽면적은 21.9 cm^2 로 처리구에 비하여 높은 값이었으며 190 및 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 크기와 비슷하였음
- 총실도는 광도가 낮을 경우에 총실도 또한 매우 낮은 것을 확인할 수 있었으며 광도가 높아짐에 따라 증가되는 경향이 있었음. 그중 온실의 11.3 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 과 비슷한 광도는 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상에서 유사하였음

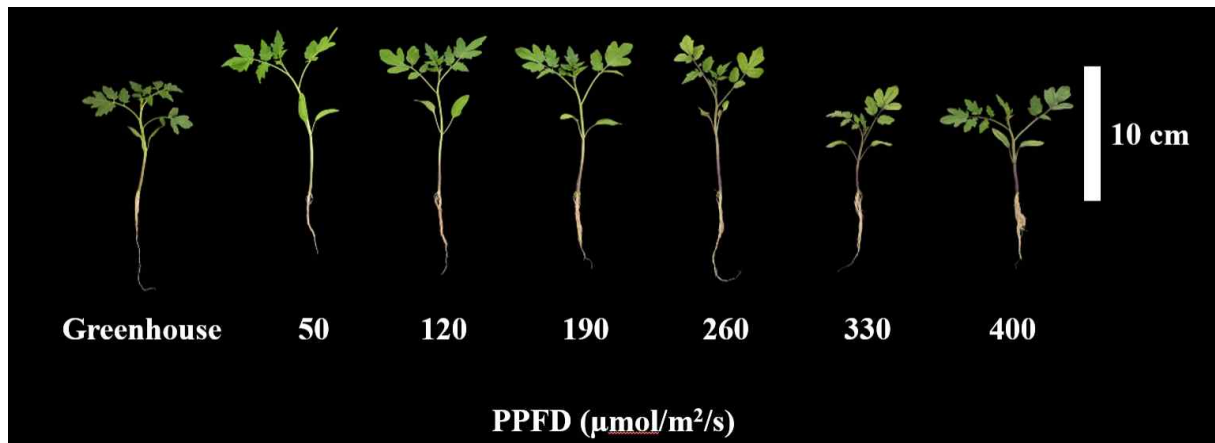


그림. 식물공장 내에서 광도에 따른 토마토 대목 생육

표. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 대목의 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Greenhouse	8.6 ± 0.7 c	1.6 ± 0.2 bcd	4.9 ± 0.3 a	46.9 ± 2.6 a	21.9 ± 4.9 a	11.3 ± 2.7 a
50	11.8 ± 1.5 a	1.4 ± 0.2 d	3.2 ± 0.4 c	26.8 ± 2.9 d	17.1 ± 5.0 b	3.2 ± 0.5 d
120	10.4 ± 1.9 b	1.5 ± 0.3 cd	3.2 ± 0.4 c	33.7 ± 2.7 c	19.8 ± 5.0 ab	5.7 ± 1.4 c
190	11.4 ± 1.5 ab	1.7 ± 0.3 abc	3.3 ± 0.5 c	35.3 ± 2.8 c	23.5 ± 4.4 a	8.5 ± 1.3 c
260	10.5 ± 1.0 b	1.8 ± 0.3 ab	3.8 ± 0.4 b	35.8 ± 2.8 c	22.1 ± 5.7 a	11.1 ± 2.0 a
330	6.7 ± 1.1 d	1.7 ± 0.2 abc	3.8 ± 0.4 b	42.5 ± 3.8 b	15.5 ± 2.1 b	11.6 ± 2.4 a
400	6.8 ± 0.7 d	1.9 ± 0.2 a	4.0 ± 0.1 b	47.0 ± 2.4 a	16.6 ± 2.2 b	12.4 ± 1.0 a

- 관행 온실 및 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 대목의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적이 넓었던 관행 온실 및 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 잎 생체중이 0.6 g 으로 무거웠으며 광도가 낮은 50 및 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 가 약 0.3 g 이하로 가벼웠음. 이와 달리, 건물중에서는 관행 온실보다 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 무게가 약 0.015 g 만큼 더 무거워졌음
- 줄기의 생체중은 초장의 차이와 유사하였으며 온실이 0.62 g 으로 가장 무거웠음. 광도 처리구 중에서 190 및 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 온실과 통계적으로는 유사하였지만 약 0.07 g 정도 가벼웠음. 하지만, 건물중은 온실이 0.028 g 으로 생체중과 유사했던 190 및 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 인 약 0.033 g 보다 약 0.005 g 가벼워졌음

- 온실의 뿌리 생체중은 0.19 g 으로 약간 광도 보다는 무거웠지만 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도보다는 가벼웠음. 그 중 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.19 g 로 온실과 유사한 무게를 보였음. 건물중도 비슷한 경향이였으며 온실의 무게와 유사한 광도가 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 변경되었음

표. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 대목의 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Greenhouse	0.68 \pm 0.14 a	0.62 \pm 0.10 a	0.19 \pm 0.04 b	0.069 \pm 0.019 b	0.028 \pm 0.007 a	0.011 \pm 0.002 c
50	0.24 \pm 0.05 c	0.39 \pm 0.09 bc	0.07 \pm 0.02 d	0.023 \pm 0.006 d	0.022 \pm 0.003 b	0.002 \pm 0.001 e
120	0.32 \pm 0.09 c	0.40 \pm 0.11 b	0.12 \pm 0.06 b	0.036 \pm 0.011 c	0.014 \pm 0.006 c	0.006 \pm 0.003 d
190	0.51 \pm 0.07 b	0.56 \pm 0.08 a	0.27 \pm 0.05 a	0.064 \pm 0.009 b	0.032 \pm 0.004 a	0.013 \pm 0.002 ab
260	0.61 \pm 0.12 a	0.55 \pm 0.10 a	0.28 \pm 0.03 a	0.084 \pm 0.017 a	0.032 \pm 0.009 a	0.014 \pm 0.003 a
330	0.46 \pm 0.06 b	0.29 \pm 0.07 d	0.20 \pm 0.05 b	0.060 \pm 0.015 b	0.016 \pm 0.005 c	0.011 \pm 0.002 c
400	0.53 \pm 0.07 b	0.31 \pm 0.05 cd	0.19 \pm 0.03 b	0.066 \pm 0.011 b	0.018 \pm 0.003 bc	0.012 \pm 0.001 bc

- 토마토 대목은 접목 시 뿌리를 사용하기 때문에 지하부 스캔을 통해 특성을 비교하였음. 0.5 mm 미만의 뿌리에서 관행 온실은 88.4 cm 로 가장 약광인 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 보다는 컸지만 그 이상의 광도보다는 작았음
- 0.5 ~ 1.0 mm 의 뿌리에서는 이전과 유사하였지만 온실이 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 광도보다도 커지는 경향이 있었음
- 1.0 ~ 1.5 mm 의 뿌리는 온실과 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 값이 약 1.9 cm 로 유사하였음
- 온실의 1.5 ~ 2.0 mm 의 뿌리가 0.8 cm 로 광도가 가장 높은 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 를 제외하고는 가장 컸음
- 하지만, 2.0mm 를 초과하는 뿌리에서는 온실 및 광도에 따른 차이가 나타나지 않았음
- 종합적으로 총 뿌리를 본 결과 광도에서는 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 까지 증가할 때 뿌리 또한 증가하였으며 온실이 102.2 cm 로 가장 유사했던 광도는 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 판단됨

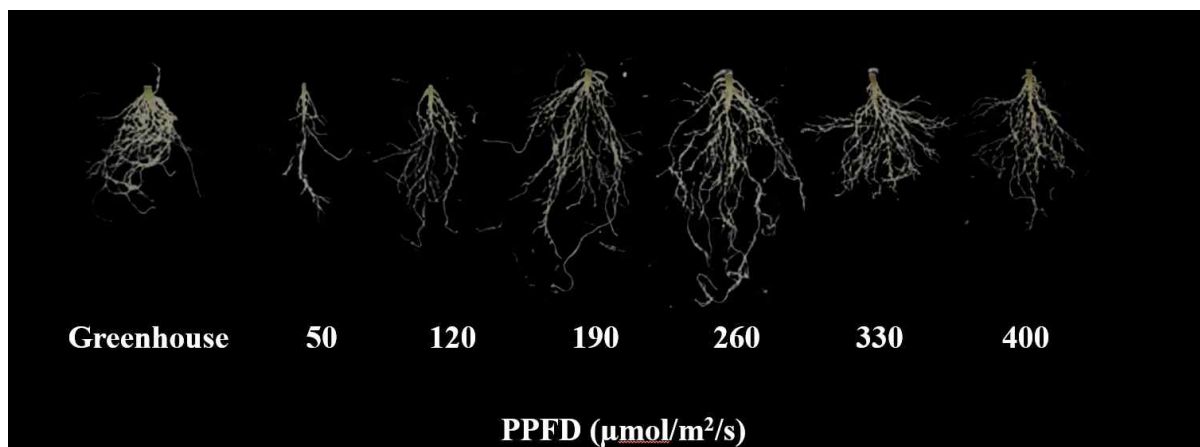


그림. 식물공장 내에서 광도에 따른 토마토 대목 지하부 생육

표. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 대목의 지하부 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	Total
Greenhouse	88.4 \pm 20.6 d	10.1 \pm 2.8 b	1.9 \pm 0.6 b	0.8 \pm 0.3 ab	0.9 \pm 0.4 a	102.2 \pm 22.3 d
50	64.5 \pm 22.7 e	3.5 \pm 1.7 c	0.4 \pm 0.2 c	0.3 \pm 0.4 cd	0.7 \pm 1.0 a	69.5 \pm 25.2 e
120	90.8 \pm 35.8 d	6.8 \pm 3.5 bc	0.6 \pm 0.4 c	0.2 \pm 0.2 d	0.6 \pm 0.2 a	99.3 \pm 39.1 d
190	158.4 \pm 24.8 bc	18.2 \pm 6.0 a	2.7 \pm 1.3 ab	0.6 \pm 0.4 bcd	0.9 \pm 0.3 a	181.0 \pm 28.9 bc
260	207.3 \pm 22.5 a	18.7 \pm 4.1 a	2.5 \pm 0.5 ab	0.7 \pm 0.3 bc	0.8 \pm 0.2 a	230.1 \pm 25.7 a
330	138.1 \pm 17.1 c	16.5 \pm 6.0 a	1.9 \pm 1.3 b	0.4 \pm 0.3 cd	1.0 \pm 0.3 a	158.0 \pm 21.7 c
400	162.2 \pm 16.7 b	20.1 \pm 4.7 a	3.1 \pm 1.3 a	1.1 \pm 0.7 a	0.9 \pm 0.5 a	187.5 \pm 17.5 b

- 뿌리 표면적은 관행 온실이 3.8 cm^2 로 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이전의 광도보다는 높았지만 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상 보다는 낮았으며 광도 처리구 중에서 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 7.4 로 가장 넓었음
- 뿌리 평균 경경도 표면적과 유사한 경향이였으며 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.19 mm 로 가장 두꺼웠고 온실은 0.11 mm 로 전체에서 중간 정도에 해당하는 굵기였음
- 온실의 근단수는 408 로 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이하의 약광과 같이 전체 중 가장 적었으며 260 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 약 1100 이상으로 가장 많았음

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
Greenhouse	3.8 \pm 0.9 d	0.11 \pm 0.03 c	408 \pm 106 c
50	2.0 \pm 1.2 e	0.05 \pm 0.05 d	343 \pm 90.1 c
120	2.9 \pm 1.3 de	0.06 \pm 0.03 d	452 \pm 141 c
190	6.1 \pm 1.3 bc	0.16 \pm 0.04 ab	762 \pm 180 b
260	7.4 \pm 1.2 a	0.19 \pm 0.04 a	1183 \pm 160 a
330	5.4 \pm 1.1 c	0.14 \pm 0.04 bc	728 \pm 195 b
400	6.6 \pm 0.9 ab	0.18 \pm 0.04 a	1102 \pm 215 a

- 관행 온실 및 광도에 따른 지상부 생체중의 변화를 확인하기 위하여 2일 간격으로 조사를 진행하였음
- 접수의 지상부 생체중은 파종 후 8 일차 (DAS) 까지는 온실 및 광도 처리구간 차이가 크게 나타나지 않았음. 이후 10 DAS부터 온실의 무게가 광도보다 높아지는 것을 확인할 수 있음
- 이후 16 DAS 까지 진행되었을 때 온실이 0.79 g 으로 가장 무거웠으며 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.76 g 으로 가장 유사하였음. 광도 중 가장 가벼웠던 것은 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이였으며 그 무게는 0.37 g 이였음
- 대목의 경우 6 DAS 까지는 큰 차이가 나타나지 않았지만 8 DAS부터 차이가 나타나기 시작하였고 12 DAS에서 확실한 무게의 차이가 나타나기 시작했음
- 접목 전인 16 DAS에서 관행 온실의 무게가 1.01 g 으로 가장 무거웠으며 처리구 중에서 무게를

따라가는 광도는 없었음. 광도 중 가장 무거웠던 것은 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 인 0.75 g 이었으며 가장 가벼운 것은 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 인 0.46 g 이었음

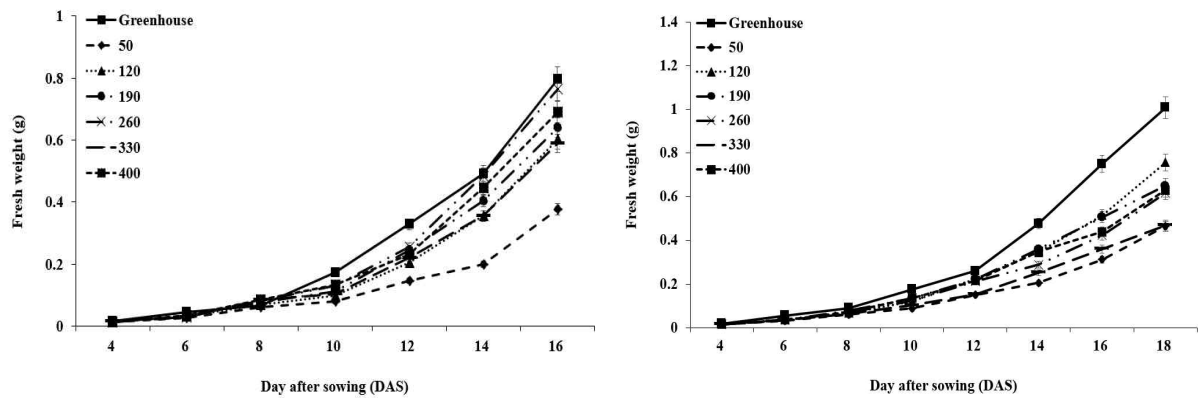


그림. 서로 다른 광도에서 재배된 토마토 접수(좌) 및 대목(우)의 지상부(잎+줄기) 성장 생체중

▶ 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목의 접목 이후 출하 전 작물 생육 비교 실험 결과

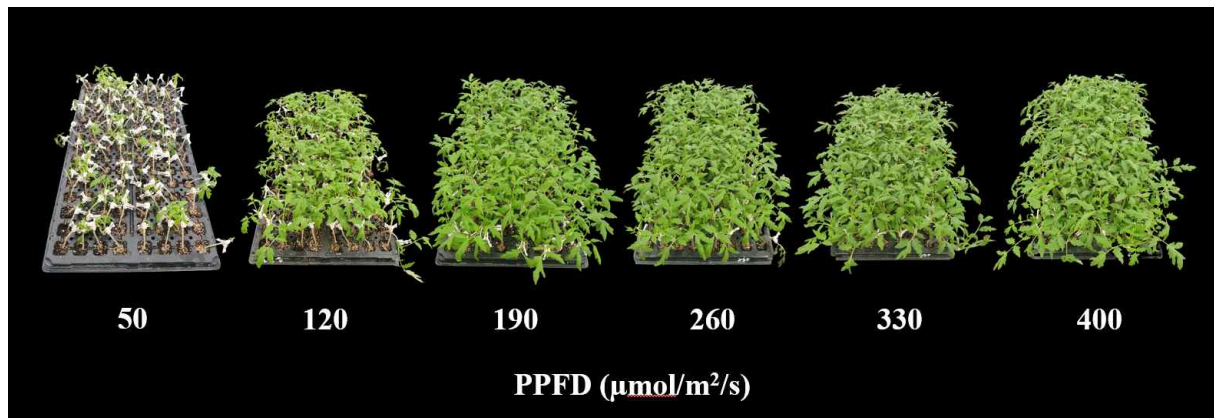


그림. 광도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 접목 활착률

- 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 접목 활착률을 비교 조사한 결과 접목 후 3일 경과한 시점에서 광이 가장 약했던 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 은 10.7 % 로 대부분 접목 부위가 떨어지거나 시드는 결과를 보여줌
- 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 은 78.1 % 로 이전보다는 활착률이 높아졌지만, 실제 접목 성공률과 비교하였을 때는 손실률이 높은 경향이 있음
- 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도부터는 약 97 % 이상으로 높은 접목 활착률을 보임
- 접목 후 7일이 경과하였을 때에도 3일차와 같은 경향을 나타냄

표. 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 접목 활착률

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Graft-take ratio (%) after grafting	
	3 days	7 days
50	10.7 ± 22.4 c	10.1 ± 26.7 c
120	78.1 ± 37.3 b	79.2 ± 39.7 b
190	98.0 ± 9.6 a	98.8 ± 9.7 a
260	98.8 ± 9.7 a	97.3 ± 14.3 a
330	98.8 ± 9.7 a	97.3 ± 14.3 a
400	97.6 ± 10.5 a	98.0 ± 9.6 a

- 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 생육 특성을 비교 조사한 결과 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 은 활착이 거의 실패하였기 때문에 비교 항목에서 제외하였음
- 접목을 하면서 높이가 어느 정도 맞춰지기 때문에 이전에는 광도에 따라 높이 차이가 나타났지만, 접목 이후 출하까지 생육을 하였을 때에는 광도에 따른 초장의 차이가 나타나지 않았음
- 경경은 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1.9 mm 로 두꺼운 경향이 있었지만 유의미한 차이는 아니었음
- 하지만, 엽수에서는 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 6.3 ea 로 가장 적었으며 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도에서는 6.9 ea 이상으로 비슷하였음
- SPAD는 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 45.5 로 가장 높았지만 엽면적에서는 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 135.7 cm^2 로 가장 넓었음
- 종합적으로 총실도를 비교한 결과 260 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 약 52 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이상으로 높았으며 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 44.4 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 떨어졌음

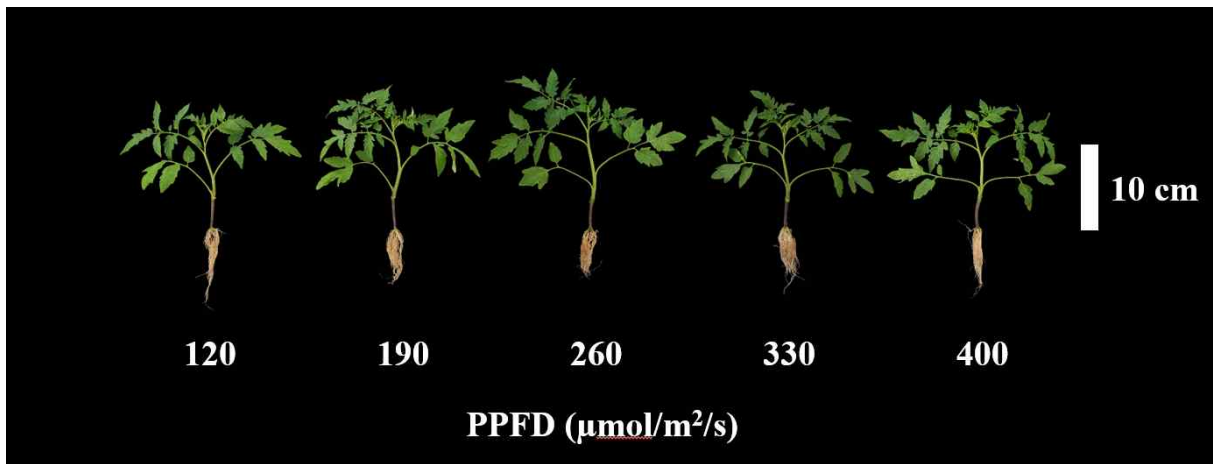


그림. 광도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 생육

표. 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
50	x	x	x	x	x	x
120	14.5 ± 1.8 a	1.7 ± 0.2 a	6.3 ± 0.5 b	41.8 ± 3.6 a	128.2 ± 20.3 a	46.4 ± 6.9 ab
190	16.2 ± 1.7 a	1.8 ± 0.2 a	6.9 ± 0.6 a	41.3 ± 4.5 a	129.5 ± 15.8 a	44.4 ± 7.8 b
260	14.3 ± 2.1 a	1.8 ± 0.3 a	7.1 ± 0.3 a	45.5 ± 4.9 a	127.3 ± 17.4 a	52.1 ± 8.2 a
330	14.4 ± 2.0 a	1.9 ± 0.2 a	7.1 ± 0.7 a	41.6 ± 13.9 a	118.1 ± 19.4 a	48.2 ± 5.7 ab
400	14.7 ± 2.1 a	1.7 ± 0.2 a	7.2 ± 0.4 a	42.9 ± 2.8 a	135.7 ± 19.6 a	52.3 ± 8.4 a

- 접목묘의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 가장 넓었지만 유의미한 차이가 나타나지 않았던 반면, 잎 생체중에서는 4.52 g 으로 유의하게 무거웠음. 하지만, 건물중에서는 0.558 g 으로 가장 무거웠던 것은 동일하였으나 유의미한 차이는 나타나지 않았음
- 줄기 생체중은 초장 및 경경에서 유의한 차이가 나타나지 않았기 때문에 생체중 또한 처리구간 차이가 나타나지 않았음. 하지만, 건물중은 260 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.197 g 이상으로 가장 무거웠으며 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.164 g 으로 가벼웠음
- 이와 달리 뿌리 생체중에서는 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1.76 g 으로 가장 무거웠음. 건물중에서도 동리하게 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.081 g 으로 가장 무거웠으며 190 및 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 약 0.064 g 으로 가벼웠음

표. 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
50	x	x	x	x	x	x
120	3.88 \pm 0.66 b	2.19 \pm 0.37 a	1.76 \pm 0.41 a	0.504 \pm 0.071 a	0.164 \pm 0.021 b	0.081 \pm 0.014 a
190	4.01 \pm 0.49 ab	2.42 \pm 0.31 a	1.25 \pm 0.18 b	0.526 \pm 0.091 a	0.187 \pm 0.043 ab	0.064 \pm 0.011 b
260	4.01 \pm 0.57 ab	2.31 \pm 0.48 a	1.39 \pm 0.32 b	0.542 \pm 0.083 a	0.197 \pm 0.035 a	0.074 \pm 0.017 ab
330	3.99 \pm 0.73 ab	2.23 \pm 5.81 a	1.41 \pm 0.30 b	0.506 \pm 0.086 a	0.189 \pm 0.022 ab	0.064 \pm 0.022 b
400	4.52 \pm 0.62 a	2.56 \pm 0.47 a	1.44 \pm 0.19 b	0.558 \pm 0.059 a	0.202 \pm 0.022 a	0.075 \pm 0.001 ab

- 접목묘의 지하부 특성을 비교 조사한 결과 0.5 mm 미만의 뿌리에서는 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 169.3 cm 로 가장 낮았으며 이를 제외한 다른 처리구에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 0.5 ~ 1.0 mm 사이의 뿌리는 광도가 높았던 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 50.3 cm 이상으로 높았음
- 0.5 mm 미만의 뿌리에서 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 가장 낮았던 것과 달리 1.0 mm 이상에서는 처리구 중 높은 값을 나타냄
- 종합적인 총 뿌리에서는 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 297.6 이상으로 가장 높은 값을 보였으며 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이하의 광도에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음

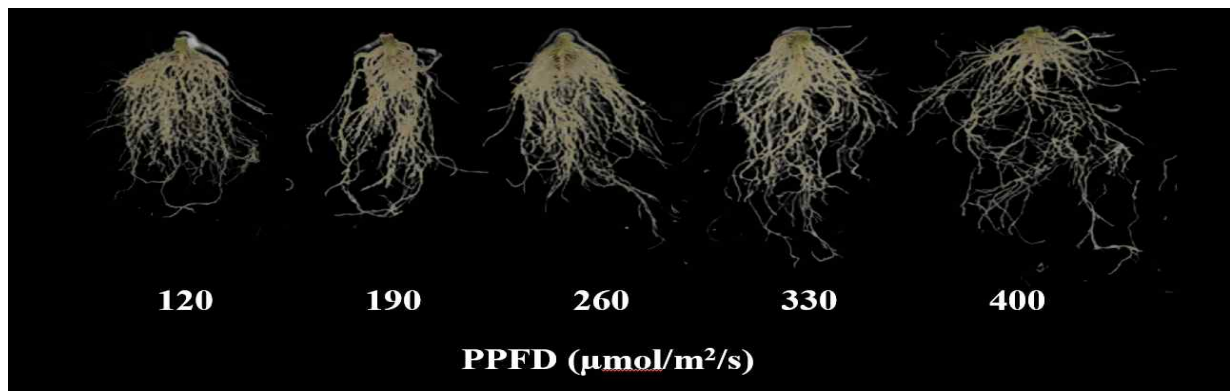


그림. 광도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 지하부 생육

표. 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목을 이용한 접목묘의 출하 전 지하부 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Total
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	
50	x	x	x	x	x	x
120	160.4 \pm 18.9 a	39.0 \pm 6.3 b	7.1 \pm 1.1 b	2.1 \pm 1.1 b	1.2 \pm 1.3 b	210.1 \pm 22.5 b
190	152.2 \pm 31.2 a	39.1 \pm 8.7 b	8.6 \pm 2.2 ab	3.2 \pm 0.7 ab	3.2 \pm 2.2 a	206.6 \pm 39.3 b
260	169.3 \pm 32.2 b	45.3 \pm 4.1 ab	10.2 \pm 1.9 a	3.9 \pm 1.0 a	4.2 \pm 1.7 a	233.1 \pm 36.8 b
330	242.8 \pm 53.8 a	50.4 \pm 14.9 a	8.5 \pm 4.1 ab	2.8 \pm 1.9 ab	3.5 \pm 1.8 a	308.2 \pm 68.4 a
400	232.2 \pm 27.9 a	50.3 \pm 11.8 a	8.9 \pm 2.7 ab	3.5 \pm 1.4 a	2.6 \pm 1.4 ab	297.6 \pm 40.8 a

- 뿌리 표면적은 120 및 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 20.7 cm^2 로 가장 넓었으며 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 15.8 cm^2 로 가장 낮았음
- 뿌리 평균 경경 또한 유사한 경향으로 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1.64 mm 로 가장 두꺼웠으며 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이후의 광도에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 이와 달리 근단수는 이전에 가장 높았던 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 906.0 으로 가장 낮아졌으며 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1643.3 으로 가장 많았음

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Root surface (cm^2)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
50	x	x	x
120	20.7 \pm 2.9 a	1.64 \pm 0.4 a	906.0 \pm 216.2 a
190	15.8 \pm 2.3 c	0.98 \pm 0.3 b	1093.6 \pm 264.0 a
260	16.8 \pm 2.9 bc	0.98 \pm 0.3 b	1010.4 \pm 266.8 a
330	19.6 \pm 3.4 a	1.11 \pm 0.7 b	1643.3 \pm 429.9 a
400	18.6 \pm 3.3 ab	0.92 \pm 0.2 b	1497.2 \pm 409.3 a

▶ 서로 다른 광도에서 재배한 토마토 접수 및 대목의 접목 및 출하 이후 정식 일수(정식 후 7일, 14일)에 따른 작물 생육 비교 실험 결과

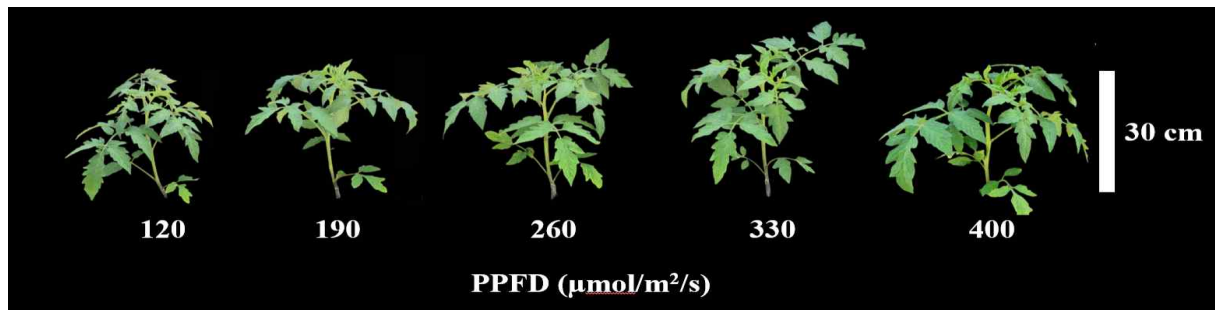


그림. 광도가 다른 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘 정식 7일차 생육

- 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7일차의 생육 특성을 비교 조사한 결과 이전 출하 전에서 초장 차이가 없었던 것과 동일하게 정식 초반에도 큰 차이가 나타나지 않았음
- 경경, 엽수 및 SPAD 에서도 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽면적은 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 610.6 cm^2 으로 가장 넓었으나 통계적으로 유의한 차이는 아니었음
- 충실도에서는 광도가 가장 강했던 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 128.0 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 높았으며 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이하의 광도에서는 처리구간 큰 차이가 없었음

표. 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7일차 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
50	x	x	x	x	x	x
120	29.4 \pm 5.0 a	2.84 \pm 0.3 a	10.2 \pm 1.3 a	47.1 \pm 4.0 a	552.4 \pm 50.8 a	107.0 \pm 9.5 b
190	30.9 \pm 1.3 a	2.82 \pm 0.1 a	10.4 \pm 0.5 a	48.6 \pm 4.4 a	596.4 \pm 56.0 a	112.6 \pm 9.9 b
260	29.9 \pm 1.7 a	3.05 \pm 0.1 a	10.0 \pm 0.7 a	49.9 \pm 1.8 a	610.6 \pm 78.0 a	112.9 \pm 8.4 b
330	29.3 \pm 1.9 a	3.08 \pm 0.2 a	9.6 \pm 0.9 a	45.1 \pm 4.4 a	544.0 \pm 15.2 a	105.8 \pm 9.4 b
400	28.1 \pm 1.0 a	2.83 \pm 0.2 a	9.8 \pm 0.4 a	48.6 \pm 2.4 a	608.9 \pm 28.7 a	128.0 \pm 9.7 a

- 정식 후 7일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 엽면적에서 큰 차이가 없었기 때문에 잎 생체중 또한 유사하게 큰 차이가 나타나지 않았음. 하지만, 건물주에서는 광도가 가장 강했던 400 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 2.80 g 으로 가장 무거웠으며 광도가 낮은 120 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 2.35 g 으로 가벼웠음
- 줄기 생체중은 초장에서 큰 차이가 없었지만 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 12.1 g 으로 가장 무거웠음. 하지만, 건물중에서는 190 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 0.84 g 으로 가장 무거웠으며 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 0.81 g 으로 그 다음으로 무거웠음. 가장 가벼웠던 광도는 120 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 으로 0.70 g 이었음

표. 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 7일차 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
50	x	x	x	x
120	19.2 \pm 2.2 a	10.2 \pm 0.9 b	2.35 \pm 0.31 b	0.70 \pm 0.10 c
190	21.2 \pm 2.5 a	11.4 \pm 1.1 ab	2.63 \pm 0.31 ab	0.84 \pm 0.09 a
260	21.8 \pm 3.1 a	12.1 \pm 1.1 a	2.56 \pm 0.37 ab	0.81 \pm 0.08 ab
330	19.8 \pm 1.8 a	10.2 \pm 1.1 b	2.37 \pm 0.15 b	0.71 \pm 0.06 bc
400	22.5 \pm 1.7 a	11.1 \pm 0.6 ab	2.80 \pm 0.18 a	0.79 \pm 0.04 abc

- 정식 후 14일차의 생육 특성을 비교 조사한 결과 이전까지는 초장에서 차이가 없었지만 14일차부터 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 58.2 cm 로 가장 컸으며 400 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 53.2 cm 로 가장 작았음
- 경경에서도 120 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 2.7 mm 로 가장 두꺼웠으며 330 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 2.1 mm 로 얇았음
- 총실도는 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 289.8 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 높았으며 120 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 244.1 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 낮았음

표. 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 14일차 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
50	x	x	x	x
120	54.6 \pm 2.5 bc	2.7 \pm 0.4 a	58.5 \pm 1.1 a	244.1 \pm 31.1 a
190	57.2 \pm 3.0 ab	2.6 \pm 0.6 ab	57.3 \pm 2.0 a	264.7 \pm 30.5 a
260	58.2 \pm 2.3 a	2.6 \pm 0.2 ab	57.1 \pm 3.8 a	289.8 \pm 31.1 a
330	56.1 \pm 0.5 abc	2.1 \pm 0.2 b	56.8 \pm 0.9 a	256.8 \pm 40.9 a
400	53.2 \pm 1.9 c	2.6 \pm 0.5 ab	57.9 \pm 5.5 a	278.7 \pm 28.2 a

- 정식 후 14일차의 무게 특성을 비교 조사한 결과 잎 생체중에서 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 111.3 g 으로 가장 무거웠으며 이를 제외한 처리구에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았음. 건물중 또한 유사한 경향으로 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 12.84 g 으로 가장 무거웠음
- 줄기 생체중 또한 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 50.6 g 으로 가장 무거웠음. 건물중에서도 260 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 3.99 g 으로 가장 무거웠으며 120 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 이 2.91 g 으로 가벼웠음

표. 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 14일차 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
50	x	x	x	x
120	85.1 \pm 12.5 b	39.9 \pm 6.4 b	10.45 \pm 1.59 b	2.91 \pm 0.76 b
190	96.2 \pm 6.4 b	46.5 \pm 4.1 ab	11.76 \pm 0.83 ab	3.33 \pm 0.71 ab
260	111.3 \pm 11.8 a	50.6 \pm 4.5 a	12.84 \pm 1.08 a	3.99 \pm 0.34 a
330	89.5 \pm 13.2 b	46.3 \pm 8.3 ab	10.75 \pm 1.60 b	3.65 \pm 1.04 ab
400	91.1 \pm 10.7 b	41.8 \pm 4.0 b	11.56 \pm 1.66 ab	3.31 \pm 0.39 ab

- 정식 후 14일차의 잎 및 개화특성을 비교 조사한 결과 엽수는 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 12.2 ea 로 가장 많았으며 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 10.6 ea 로 적었음
- 이와 달리 엽면적은 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 2003.9 cm^2 로 가장 넓었으며 엽수가 가장 많았던 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1741.1 cm^2 로 낮은 경향을 보임
- 첫 화방이 나온 마디를 조사한 결과 120 ~ 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 9.2 node 이상으로 높았으며 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 에서 8.6 node 로 낮았음. 통계적으로 유의성은 없었지만 농가에서 선호하는 마디인 7 ~ 8 node 에는 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 인접하다고 판단됨
- 개화 위치에서는 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 가 화방 발달이 빨랐기 때문에 10.8 cm 이상으로 높았으며 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이하의 광도에서는 9.6 cm 이하로 낮은 값을 나타냄

표. 서로 다른 광도에서 재배한 접수 및 대목을 이용한 토마토 접목묘의 정식 후 14일차 잎 및 개화 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm^2)	Flower cluster (node)	Flower position (cm)
50	x	x	x	x
120	12.2 \pm 0.4 a	1741.1 \pm 213.5 a	9.4 \pm 0.9 a	9.6 \pm 3.0 a
190	10.6 \pm 0.5 c	1836.1 \pm 59.4 a	9.2 \pm 1.3 a	8.3 \pm 5.2 a
260	11.8 \pm 0.8 ab	2003.9 \pm 198.9 a	9.2 \pm 1.6 a	8.4 \pm 1.9 a
330	11.4 \pm 0.5 b	1806.8 \pm 201.0 a	8.6 \pm 0.5 a	10.8 \pm 5.5 a
400	12.0 \pm 0.1 ab	1755.6 \pm 199.2 a	8.6 \pm 0.9 a	11.8 \pm 5.1 a

• 오이 접목묘 육묘 시 광도의 변화(PPFD : 50, 120, 190, 260, 330, 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)에 따른 생육 변화

▶ 오이 접수 및 대목 재배 시 광도의 변화에 따른 접목 전 작물 생육 비교 실험 결과

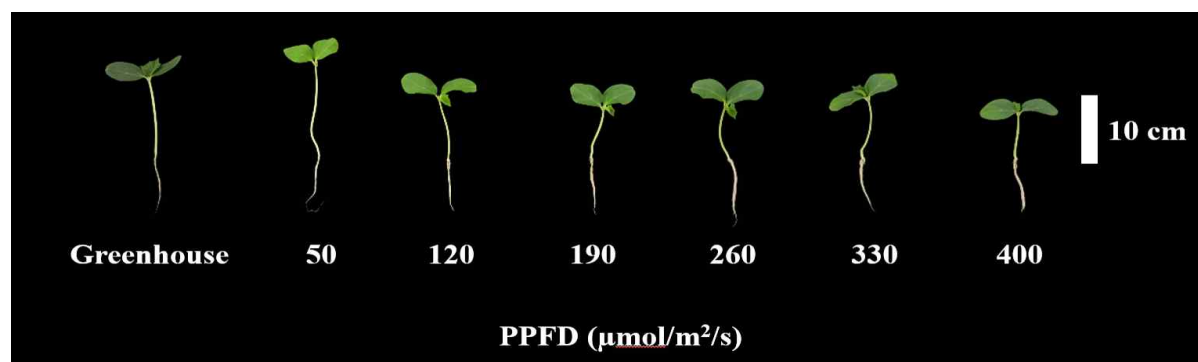


그림. 식물공장 내에서 광도에 따른 오이 접수 생육

- 관행 온실 및 서로 다른 광도에서 재배된 오이 접수의 생육 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실의 초장이 10.2 cm 였으며 가장 약광인 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 10.6 cm 가 가장 유사하였음. 서로 다른 광도 안에서는 광도가 높아질수록 초장 또한 감소하는 경향을 보임
- 초장과 달리 경경은 광도가 높아질수록 두꺼워지는 경향이 있었으며 온실이 1.5 mm 로 120 ~ 260 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 광도가 유사하였음. 그 중 강광인 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 은 온실보다 더 두꺼웠음
- 엽수는 온실이 3.2 ea 로 가장 많았으며 광도 처리구들은 3.0 ea 로 차이가 없었음
- 광도가 높아짐에 따라 SPAD 값이 증가하는 경향을 보였으며 온실이 58.9 로 가장 높았으며 광도 중 가장 높았던 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 50.1 도 온실에 비하여는 낮았음
- 이와 달리 엽면적은 온실이 15.6 cm^2 으로 가장 낮았으며 강광인 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 20.6 cm^2 으로 전체 중 가장 넓었음
- 총실도를 살펴보았을 때 온실은 4.8 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 4.7 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이 유사하였으나 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도에서 6.8 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 이상으로 더 높아지는 경향이 나타났음

표. 서로 다른 광도에서 재배된 오이 접수의 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Greenhouse	10.2 ± 1.1 a	1.5 ± 0.1 b	3.2 ± 0.4 a	58.9 ± 3.0 a	15.6 ± 2.2 d	4.8 ± 1.1 d
50	10.6 ± 1.1 a	1.2 ± 0.2 c	3.0 ± 0.1 b	37.6 ± 2.6 d	15.3 ± 2.6 d	3.8 ± 0.6 d
120	9.2 ± 1.1 b	1.5 ± 0.1 b	3.0 ± 0.1 b	37.9 ± 1.8 d	17.8 ± 2.1 c	4.7 ± 1.1 d
190	7.7 ± 1.6 c	1.5 ± 0.1 b	3.0 ± 0.1 b	44.5 ± 2.6 c	18.5 ± 1.6 bc	6.8 ± 1.0 c
260	6.9 ± 0.7 cd	1.5 ± 0.2 b	3.0 ± 0.1 b	45.7 ± 2.5 c	20.3 ± 2.2 ab	8.3 ± 1.1 b
330	6.4 ± 0.9 d	1.7 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 b	48.6 ± 3.3 b	20.1 ± 1.9 ab	9.6 ± 1.3 ab
400	6.0 ± 1.1 d	1.8 ± 0.1 a	3.0 ± 0.1 b	50.1 ± 2.8 b	20.6 ± 2.0 a	10.5 ± 3.1 a

- 무게 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실이 0.42 g 으로 광도가 가장 낮으며 무게 또한 가장 가벼운 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 0.42 g 과 가장 유사하였음. 하지만, 광도 처리구에서는 광도가 높아짐에 따라 무게가 증가하는 경향이 있었으며 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 온실보다 0.25 g 더 무거웠음. 건물중에서는 생체중에서는 비슷했던 온실이 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 보다 0.008 g 더 무거워졌으며 이보다 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이상의 광도가 0.049 g 으로 가장 무거웠음
- 이와 달리 줄기 생체중은 초장에서 온실이 컸기 때문에 무게 또한 0.50 g 으로 가장 무거웠으며 광도가 강해질수록 생체중이 감소하는 경향을 보임. 건물중도 유사한 경향으로 온실 및 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 약 0.016 g 으로 유사하게 무거웠음
- 뿌리 생체중은 온실이 0.11 g 으로 전체 중 가장 낮았으며 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 또한 0.11 g 으로 같았음. 광도가 증가함에 따라 생체중 또한 증가하였으며 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.25 g 으로 가장 무거웠음. 건물중 또한 온실 및 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 약 0.005 g 으로 가장 가벼웠으며 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 0.013 g 으로 무거웠음

표. 서로 다른 광도에서 재배된 오이 접수의 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Greenhouse	0.42 \pm 0.05 d	0.50 \pm 0.06 a	0.11 \pm 0.03 b	0.033 \pm 0.007 c	0.016 \pm 0.003 a	0.005 \pm 0.002 d
50	0.42 \pm 0.06 d	0.43 \pm 0.07 ab	0.11 \pm 0.02 b	0.025 \pm 0.005 d	0.015 \pm 0.002 a	0.004 \pm 0.002 d
120	0.49 \pm 0.05 c	0.40 \pm 0.11 bc	0.13 \pm 0.03 b	0.029 \pm 0.006 cd	0.013 \pm 0.003 ab	0.006 \pm 0.001 d
190	0.57 \pm 0.07 b	0.36 \pm 0.12 bcd	0.22 \pm 0.03 a	0.039 \pm 0.006 b	0.013 \pm 0.003 ab	0.008 \pm 0.002 c
260	0.65 \pm 0.05 a	0.34 \pm 0.05 cd	0.22 \pm 0.05 a	0.044 \pm 0.007 ab	0.013 \pm 0.004 ab	0.007 \pm 0.001 c
330	0.63 \pm 0.06 a	0.34 \pm 0.05 cd	0.23 \pm 0.04 a	0.049 \pm 0.005 a	0.011 \pm 0.004 b	0.010 \pm 0.002 b
400	0.67 \pm 0.07 a	0.31 \pm 0.06 d	0.25 \pm 0.05 a	0.049 \pm 0.010 a	0.011 \pm 0.003 b	0.013 \pm 0.002 a

- 관행 온실 및 서로 다른 광도에서 재배한 오이 대목의 생육 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실의 초장이 11.5 cm 로 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 11.9 cm 와 비슷하였음. 광도가 증가함에 따라 초장이 감소하는 경향을 보임
- 경경에서는 광도가 가장 낮은 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 2.2 mm 로 가장 얇았으며 이를 제외한 온실 및 광도 처리구는 유사한 굵기를 보였음
- 광도가 높아짐에 따라 SPAD 또한 높아졌으며 온실은 53.7 로 광도가 가장 낮은 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 52.1 과 비슷하였음
- 엽면적은 온실이 59.8 cm^2 로 전체 중 가장 넓었으며 광도가 증가함에 따라 엽면적 또한 증가하였고 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 54.7 cm^2 도 온실 보단 못미쳤음
- 종합적으로 총실도를 확인한 결과 광도가 증가함에 따라 총실도 또한 증가하였고 온실의 18.5 $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 와 유사한 광도는 120 ~ 190 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이였음

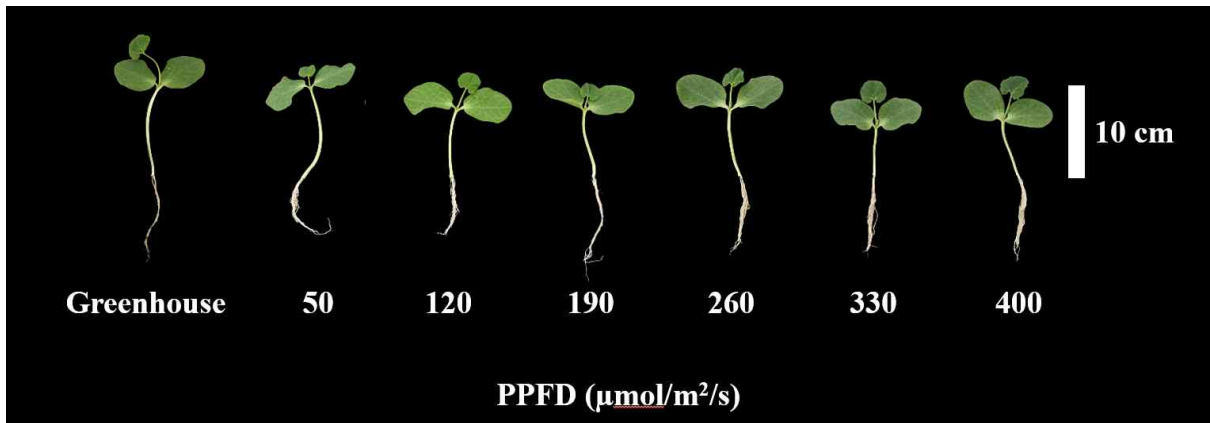


그림. 식물공장 내에서 광도에 따른 오이 대목 생육

표. 서로 다른 광도에서 재배된 오이 대목의 생육 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm^2)	Compactness ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)
Greenhouse	11.5 \pm 1.0 a	2.7 \pm 0.1 a	3.1 \pm 0.3 a	53.7 \pm 3.4 bc	59.8 \pm 7.5 a	18.5 \pm 2.3 d
50	11.9 \pm 1.2 a	2.2 \pm 0.4 b	3.0 \pm 0.0 a	52.1 \pm 4.8 c	43.9 \pm 5.3 d	14.6 \pm 3.0 e
120	9.5 \pm 1.3 b	2.7 \pm 0.3 a	3.0 \pm 0.0 a	56.6 \pm 7.3 abc	48.3 \pm 2.4 cd	19.7 \pm 4.2 d
190	7.7 \pm 1.1 c	2.6 \pm 0.2 a	3.0 \pm 0.0 a	57.1 \pm 4.2 ab	50.1 \pm 4.0 bc	24.6 \pm 4.2 c
260	7.7 \pm 1.2 c	2.6 \pm 0.2 a	3.0 \pm 0.0 a	58.5 \pm 5.0 ab	51.8 \pm 7.7 bc	26.0 \pm 4.2 c
330	6.8 \pm 1.0 cd	2.7 \pm 0.2 a	3.0 \pm 0.0 a	59.3 \pm 6.0 a	54.0 \pm 4.2 b	30.6 \pm 4.9 b
400	5.9 \pm 1.0 d	2.7 \pm 0.2 a	3.0 \pm 0.0 a	59.7 \pm 3.2 a	54.7 \pm 7.5 ab	36.6 \pm 5.8 a

- 무게의 특성을 비교 조사한 결과 관행 온실의 잎 생체중이 2.44 g 으로 엽면적에서는 가장 넓었지만 무게는 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 광도를 제외한 처리구보다 떨어지는 경향이 있었음. 건물중 또한 온실의 0.162 g 보다 330 및 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 무게가 약 0.168 g 이상으로 더 무거웠음
- 줄기의 생체중은 온실이 1.17 g 으로 초장이 비슷하였던 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 1.32 g 보단 조금 떨어지는 경향이 있었음. 하지만, 건물중에서는 온실이 0.050 g 으로 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 0.043 g 보다 더 무거웠으며 전체 처리구 중에서도 가장 무거운 경향을 나타냄
- 이와 달리 뿌리의 생체중은 0.44 g 으로 전체처리구 중에서 가장 가벼웠으며 건물중 또한 0.019 g 으로 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 0.018 g 과 유사하게 가장 가벼웠음. 뿌리는 330 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 의 광도에서 생체중 및 건물중이 가장 무거웠음

표. 서로 다른 광도에서 재배된 오이 대목의 무게 특성

PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Greenhouse	2.44 \pm 0.26 ab	1.17 \pm 0.14 b	0.44 \pm 0.08 b	0.162 \pm 0.019 ab	0.050 \pm 0.009 a	0.019 \pm 0.002 c
50	2.31 \pm 0.49 b	1.32 \pm 0.19 a	0.58 \pm 0.07 a	0.128 \pm 0.026 d	0.043 \pm 0.003 b	0.018 \pm 0.003 c
120	2.45 \pm 0.18 ab	1.12 \pm 0.13 b	0.57 \pm 0.12 a	0.143 \pm 0.022 cd	0.041 \pm 0.006 bc	0.021 \pm 0.004 bc
190	2.57 \pm 0.24 ab	0.95 \pm 0.23 c	0.62 \pm 0.17 a	0.146 \pm 0.024 bcd	0.040 \pm 0.011 bc	0.024 \pm 0.005 ab
260	2.57 \pm 0.30 ab	0.89 \pm 0.17 cd	0.56 \pm 0.11 a	0.158 \pm 0.020 abc	0.039 \pm 0.006 bc	0.021 \pm 0.004 bc
330	2.58 \pm 0.26 ab	0.68 \pm 0.16 e	0.67 \pm 0.01 a	0.168 \pm 0.008 a	0.035 \pm 0.006 c	0.027 \pm 0.004 a
400	2.68 \pm 0.39 a	0.77 \pm 0.13 de	0.60 \pm 0.09 a	0.176 \pm 0.013 a	0.036 \pm 0.005 bc	0.025 \pm 0.004 a

- 관행 온실 및 광도에 따른 지상부 생체중의 변화를 확인하기 위하여 2일 간격으로 조사를 진행하였음. 오이는 접수 및 대목을 파종할 때 접수를 2일 먼저 파종하기 때문에 접수는 10 일차, 대목을 8 일차까지 진행하였음
- 접수의 경우 파종 후 6 일차 (DAS) 까지는 처리구간 큰 차이가 나타나지 않았지만, 이후 부터는 무게의 편차가 나타나기 시작함
- 접목 전인 10 DAS 에서는 관행 온실이 1.27 g 으로 가장 무거웠으며 광도가 높아짐에 따라 무게 또한 증가하여 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 이 1.06 g 으로 광도 중에서는 가장 무거운 경향이 있었음
- 대목의 경우 오이와 달리 초기에 처리구간 미세한 차이가 나타났지만 이후로 갈수록 그 차이가 줄어드는 것을 확인하였음
- 광도가 증가함에 따라 지상부 생체중이 증가하는 것은 접수와 동일하였으며 관행 온실이 3.66 g 으로 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 또한 3.66 g 으로 유사하였음

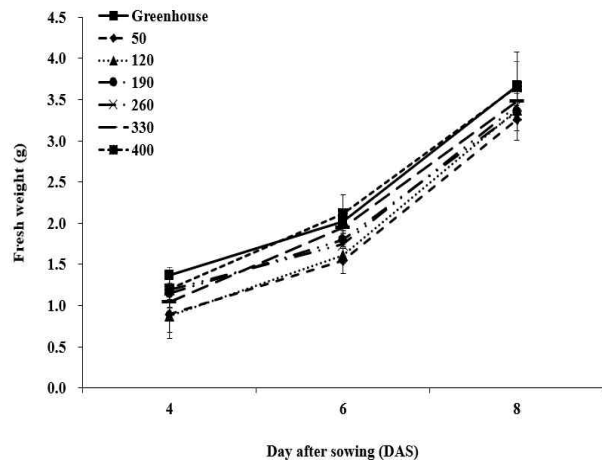
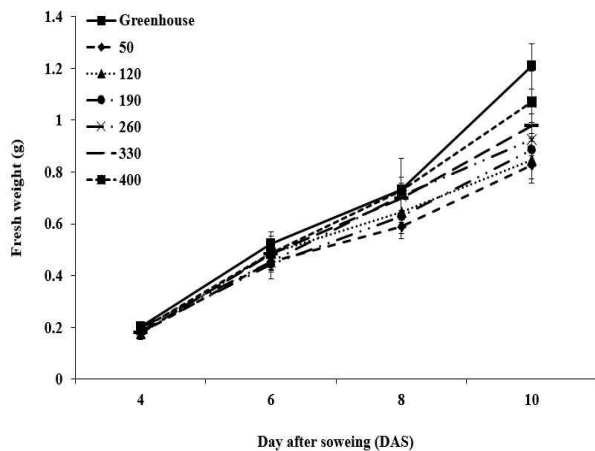


그림. 서로 다른 광도에서 재배된 오이 접수(좌) 및 대목(우)의 지상부(잎+줄기) 성장 생체중

- 폐쇄형 육묘장치는 대부분의 에너지를 전기를 사용하여 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요함. 폐쇄형 육묘장치에서 가장 많은 에너지를 사용하는 것은 인공광원으로 최적의 광도를 구명하여 낮은 에너지를 사용하는 것이 농가 경영성에 큰 도움을 줄 수 있음
- 광원은 광도 뿐만 아니라 광원도 중요한 요소 중 하나임. 본 연구과제 이전에 경북대학교에서 진행한 '인공광 이용 고효율 육묘생산시스템 표준모델 개발 및 실증' 사업을 통하여 만들어진 폐쇄형 육묘장치를 이용한 후속 과제로서 이전 과제에서 적정 광도를 구명하였기 때문에 본 연구과제에서는 광도를 중점적으로 연구를 진행하였음
- 하지만, 광질의 종류가 매우 다양하기 때문에 보다 고품질의 육묘를 생산하기 위해서는 각 작목에 맞는 광질을 찾는 것이 필요하다고 연구를 진행하면서 생각하게 되었음. 따라서, 추후 후속 연구 과제 수주를 통해 다양한 광질을 조합하여 저투입 고효율의 광질을 각 작목에 맞는 Light recipe를 찾아낼 예정임

◆ 3차년도

▪ 연구내용 1 : 폐쇄형 식물공장에 적합한 자외선(UV-B) 처리에 따른 과채류 묘의 연질화 저감 및 생산성 검토

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 생육 변화

- 폐쇄형 식물공장 내에서 UV-B를 서로 다른 생육 단계 및 선량으로 조사하였을 때 오이 접수와 대목의 외적 형질 변화를 확인하였음
- 오이 접수에서 ST1의 2.88 및 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량과 ST2와 ST3의 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 잎이 말리고 광택이 생기며 심할 경우 잎이 황변되는 증상이 나타났음. 해당 시기와 선량을 제외하고는 UV-B에 따른 초장 및 엽면적과 같은 생육의 변화는 나타났지만, 식물체가 피해를 입진 않은 것으로 나타났음
- 오이 대목은 ST1의 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사하였을 때 초장과 엽면적이 크게 감소하였으며, 잎이 말리고 황변이 발생하였음. ST2의 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서는 황변은 나타나지 않았으나 잎이 말리는 증상이 발생하였음. 이외의 생육 단계와 선량에서는 오이 접수와 대목에서 UV-B로 인한 식물체의 피해가 크게 나타나지 않았음

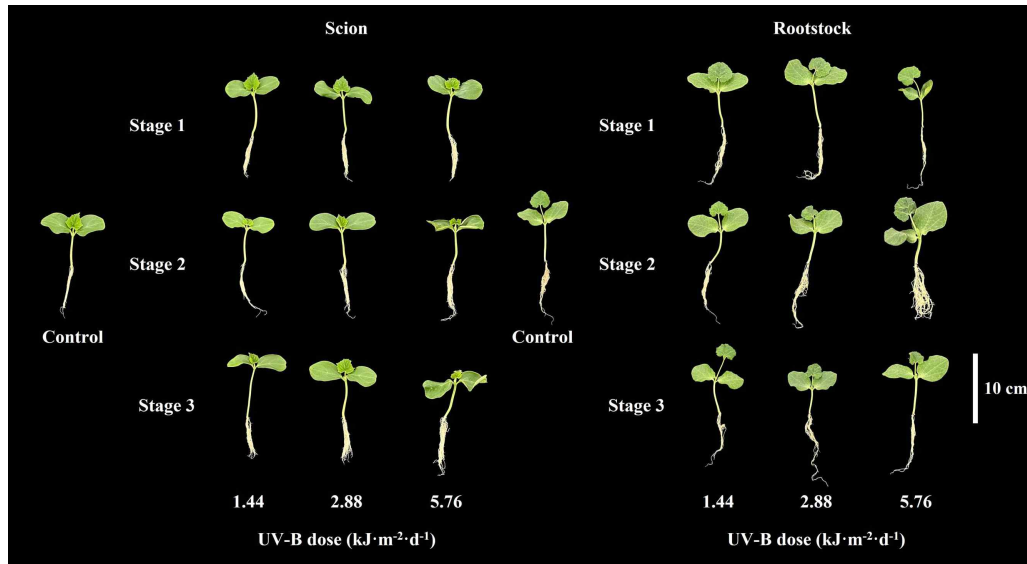


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 외적 형질 변화

- 오이 접수와 대목의 하배축장과 엽면적은 UV-B 조사함에 따라 대조구에 비해 줄어드는 경향을 보였음
- 오이 접수의 하배축장은 8 DAS까지 ST1에서 UV-B를 조사하였을 때 긴 경향이 있었으나, 처리구간 큰 차이를 보이진 않았음. 8 DAS에서 10 DAS로 지남에 따라 오이 접수의 하배축장이 모든 처리구에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, ST2에서 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 모든 처리구 중에 하배축장이 가장 짧았음
- 오이 접수의 접목일 직전인 12 DAS에서는 대조구, ST1의 1.44 및 ST2의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 약 6.8 cm로 가장 길었음. ST2에서 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 3.8 cm로 대조구에 비해 3.1 cm(45%) 감소하였음
- 오이 대목의 하배축장의 경우 6 DAS부터 처리구간 생육의 차이가 나타났으며, 생육 전반적으로 ST1에서 UV-B를 조사하였을 때 하배축장이 긴 경향을 보였음. 9 DAS에서 대조구와 ST1의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 약 8.2 cm로 가장 길었으며, ST2와 ST3의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 약 6.3 cm로 대조구에 비해 2 cm(24%) 작았음
- 오이 접수의 엽면적은 12 DAS에서 대조구가 20.9 cm²로 가장 넓었으며, UV-B를 ST3에 조사하기 시작한 8 DAS 이후부터 ST3의 2.88 및 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 엽면적이 다른 처리구에 비해 작아지는 경향을 보였음. 12 DAS에서 ST3의 2.88 및 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 엽면적은 약 16.4 cm²로 대조구에 비해 약 4.5 cm²(22%) 줄어들었음
- 오이 대목의 엽면적은 5-9 DAS에서 ST1, ST3 및 ST2의 순서로 엽면적이 작은 경향을 보였음. 그 중 9 DAS에서 ST2의 모든 UV-B 선량에서 엽면적이 약 41.7 cm²로 대조구에 비해 약 8.9 cm²(18%) 작았음

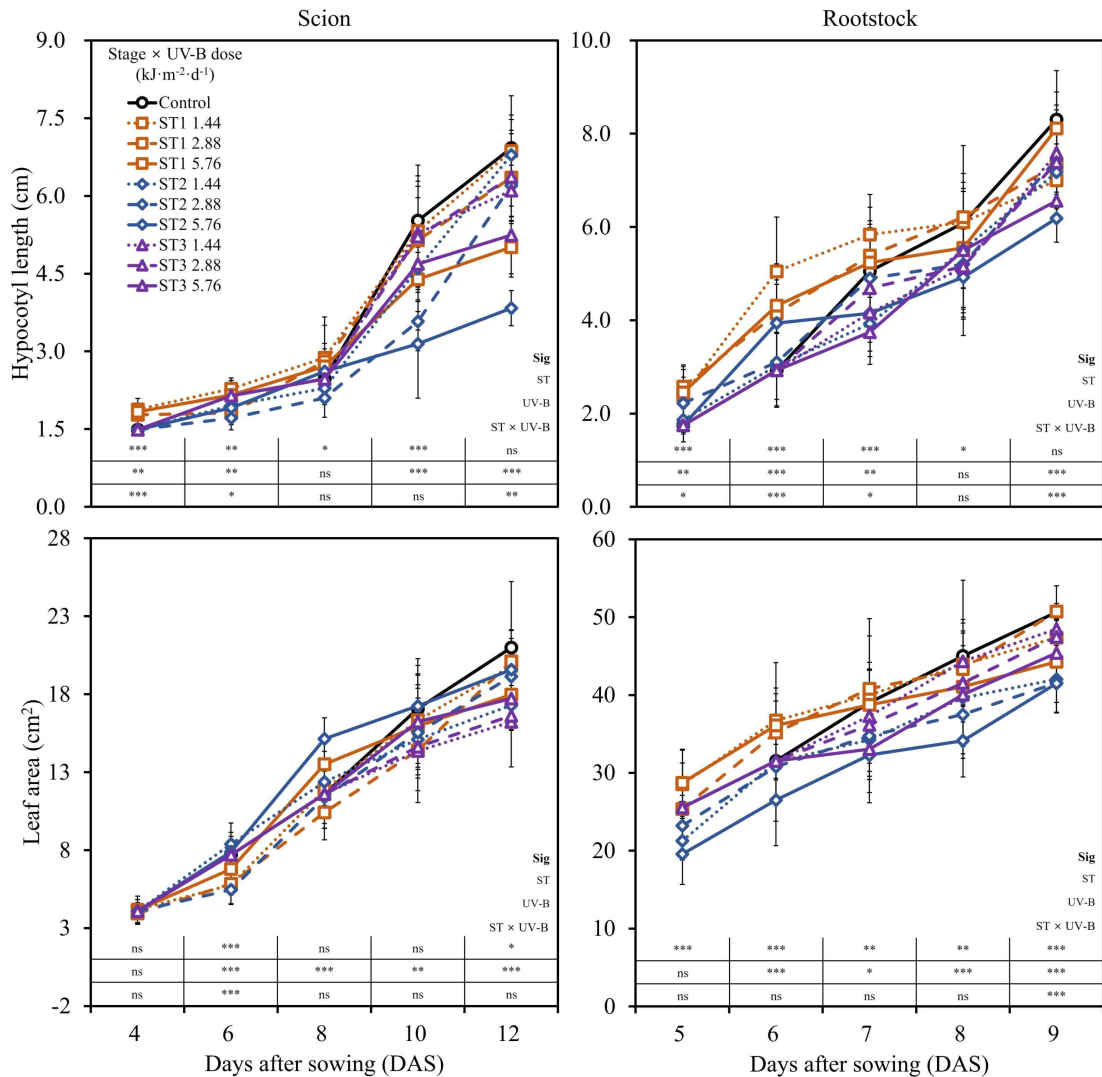


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량과 파종 후 일수에 따른 오이 접수 및 대목의 하배축장과 엽면적의 변화

- UV-B를 조사함에 따라 오이 접수의 생육 변화를 확인하였을 때, 대조구에 비해 UV-B를 2.88 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이상으로 조사하였을 때 경경이 얇아지는 경향이 있었으며, 그 중 ST2의 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이 1.68 mm로 가장 얇았음
- SPAD의 경우 ST1과 ST2에서 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 값이 증가하였음
- 지상부 생체중은 모든 생육 단계에서 UV-B를 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 각 생육 단계에서 가장 가벼웠으며, ST2의 5.76 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이 0.81 g으로 모든 처리구 중 가장 가벼웠음. 이는 지상부 건물중에서도 유사한 결과를 보였음
- 지하부 생체중은 모든 생육 단계에서 대조구 및 2.88 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 UV-B를 조사하였을 때 다른 선량에 비해 무거운 경향을 보였음. 이와 달리 지하부 건물중은 모든 처리구에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 접수의 경경, 엽록소 함량, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 지상부 건물중 및 지하부 건물중

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
				Shoot	Root	Shoot	Root
Stage 1	0	1.98 ± 0.12 A ^y a ^x	44.2 ± 2.3 B b	1.17 ± 0.10 A a	0.30 ± 0.04 A abc	0.078 ± 0.008 A a	0.009 ± 0.003 A a
	1.44	1.93 ± 0.48 A ab	44.4 ± 4.4 B b	1.11 ± 0.12 A ab	0.26 ± 0.03 B d	0.070 ± 0.007 BC bcd	0.008 ± 0.002 A a
	2.88	1.91 ± 0.09 ABabc	44.5 ± 3.4 B b	1.14 ± 0.12 A a	0.31 ± 0.05 A abc	0.075 ± 0.006 AB abc	0.010 ± 0.003 A a
	5.76	1.84 ± 0.14 B bcd	50.6 ± 7.2 A a	1.00 ± 0.09 B cd	0.25 ± 0.04 B d	0.065 ± 0.009 C de	0.008 ± 0.002 A a
Stage 2	0	1.98 ± 0.12 A a	44.2 ± 2.3 B b	1.17 ± 0.10 A a	0.30 ± 0.04 AB abc	0.078 ± 0.008 A a	0.009 ± 0.003 A a
	1.44	1.88 ± 0.13 A abc	44.3 ± 2.4 B b	1.12 ± 0.06 A ab	0.28 ± 0.03 BC cd	0.072 ± 0.005 B bcd	0.009 ± 0.002 A a
	2.88	1.88 ± 0.14 A abc	43.2 ± 6.3 B b	1.16 ± 0.07 A a	0.33 ± 0.03 A a	0.078 ± 0.006 A a	0.009 ± 0.003 A a
	5.76	1.68 ± 0.14 B e	52.7 ± 4.4 A a	0.81 ± 0.13 B e	0.26 ± 0.05 C d	0.063 ± 0.010 C e	0.007 ± 0.003 A a
Stage 3	0	1.98 ± 0.12 A a	44.2 ± 2.3 A b	1.17 ± 0.10 A a	0.30 ± 0.04 AB abc	0.078 ± 0.008 A a	0.009 ± 0.003 A a
	1.44	1.76 ± 0.15 C de	46.4 ± 5.1 A b	1.05 ± 0.12 B bc	0.28 ± 0.05 B bcd	0.069 ± 0.006 B cd	0.008 ± 0.002 A a
	2.88	1.87 ± 0.13 B bc	43.8 ± 4.3 A b	1.14 ± 0.11 A a	0.32 ± 0.03 A ab	0.075 ± 0.009 A ab	0.009 ± 0.002 A a
	5.76	1.83 ± 0.14 BC cd	43.8 ± 5.4 A b	0.94 ± 0.05 C d	0.28 ± 0.04 B cd	0.069 ± 0.006 B cd	0.009 ± 0.003 A a
Significance ^w							
Stage (A)		*	ns	ns	ns	ns	ns
UV-B (B)		***	***	***	ns	***	ns
Interaction (A × B)		**	***	**	***	ns	ns

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-5 days after sowing, Stage 2 refers to 6-8 days after sowing, and Stage 3 refers to 9-11 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001.

- 오이 대목의 경경은 UV-B를 ST3에서 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 3.03 mm로 가장 두꺼웠으나, 생육 단계 및 UV-B 선량에 따른 경향성이 뚜렷하게 나타나지 않았음
- SPAD는 ST1과 ST3에서는 UV-B의 선량에 따른 차이를 보이지 않았지만, ST2에서는 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 60.2로 모든 처리구 중에서 가장 높았음
- 지상부 생체중과 건물중은 각 생육 단계에서 UV-B 선량에 따른 차이를 보이지 않았음. 지상부 생체중은 처리구 전체에서도 유의미한 차이가 없었지만, 지상부 건물중은 ST3과 ST1의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 가장 무겁고 가벼웠음
- 지하부 생체중은 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 가벼워지는 경향이 나타났음. 지하부 건물중은 ST2와 ST3에서는 UV-B를 조사하여도 대조구에 비해 유의미한 차이가 나타나지 않았지만, ST1에서는 UV-B의 선량이 높아질수록 가벼워지는 경향을 보였음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 대목의 경경, 엽록소 함량, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 지상부 건물중 및 지하부 건물중

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
				Shoot	Root	Shoot	Root
Stage 1	0	2.94 ± 0.30 AB ^y abc ^x	52.6 ± 8.2 A bc	3.26 ± 0.36 A a	0.76 ± 0.16 A a	0.208 ± 0.024 A ab	0.028 ± 0.010 A a
	1.44	3.01 ± 0.16 A ab	53.6 ± 5.0 A bc	3.26 ± 0.26 A a	0.70 ± 0.17 A ab	0.208 ± 0.019 A ab	0.026 ± 0.007 AB ab
	2.88	2.77 ± 0.26 BC cd	52.4 ± 7.6 A c	3.27 ± 0.39 A a	0.70 ± 0.11 A ab	0.214 ± 0.029 A ab	0.026 ± 0.006 AB ab
Stage 2	5.76	2.69 ± 0.17 C d	53.5 ± 9.1 A bc	3.07 ± 0.32 A a	0.56 ± 0.11 B c	0.196 ± 0.029 A b	0.021 ± 0.007 B b
	0	2.94 ± 0.30 A abc	52.6 ± 8.2 B bc	3.26 ± 0.36 A a	0.76 ± 0.16 A a	0.208 ± 0.024 A ab	0.028 ± 0.010 A a
	1.44	2.70 ± 0.29 B d	56.1 ± 4.0 AB abc	2.85 ± 0.28 A a	0.63 ± 0.13 B bc	0.195 ± 0.025 A b	0.023 ± 0.007 A ab
Stage 3	2.88	2.95 ± 0.19 A abc	60.2 ± 7.9 A a	3.04 ± 0.47 A a	0.63 ± 0.11 B bc	0.201 ± 0.027 A ab	0.024 ± 0.007 A ab
	5.76	2.81 ± 0.31 AB bcd	58.7 ± 9.1 A ab	3.17 ± 1.37 A a	0.69 ± 0.14 AB ab	0.202 ± 0.026 A ab	0.023 ± 0.008 A ab
	0	2.94 ± 0.30 A abc	52.6 ± 8.2 A bc	3.26 ± 0.36 A a	0.76 ± 0.16 A a	0.208 ± 0.024 A ab	0.028 ± 0.010 A a
Stage 3	1.44	2.89 ± 0.30 A bcd	53.0 ± 6.0 A bc	3.22 ± 0.26 A a	0.66 ± 0.11 AB abc	0.206 ± 0.024 A ab	0.023 ± 0.004 A ab
	2.88	2.96 ± 0.28 A abc	55.8 ± 4.2 A abc	3.14 ± 0.35 A a	0.63 ± 0.10 B bc	0.206 ± 0.018 A ab	0.024 ± 0.004 A ab
	5.76	3.03 ± 0.39 A a	56.7 ± 9.8 A abc	3.16 ± 0.59 A a	0.72 ± 0.14 AB ab	0.223 ± 0.037 A a	0.026 ± 0.008 A ab

Significance^w
 Stage (A) ns ns ns ns ns ns
 UV-B (B) ns ns ** ns *
 Interaction (A × B) ** ns ns ns ns ns

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-4 days after sowing, Stage 2 refers to 5-6 days after sowing, and Stage 3 refers to 7-8 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test (p < 0.05). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test (p < 0.05). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at p < 0.05, 0.01 and 0.001.

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 지하부 특성 변화

- 오이 접수의 지하부 발달 특성은 UV-B의 조사 시기에 따라 UV-B의 선량이 증가할 때 서로 다른 양상을 보였음
- 총 근장은 대조구와 ST1의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 가장 길었으며, ST1의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹은 모든 처리구 중에서도 가장 길었음.
- 뿌리 볼륨은 ST1과 ST3에서는 UV-B 선량에 따른 큰 차이를 보이지 않았지만, ST2에서 UV-B를 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 0.42 cm³로 ST2 및 전체 중에서 가장 큰 값을 나타냈음
- 이와 유사하게 뿌리 표면적과 평균 경경에서도 ST2의 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 다른 처리구들에 비해 높은 것을 확인할 수 있었음

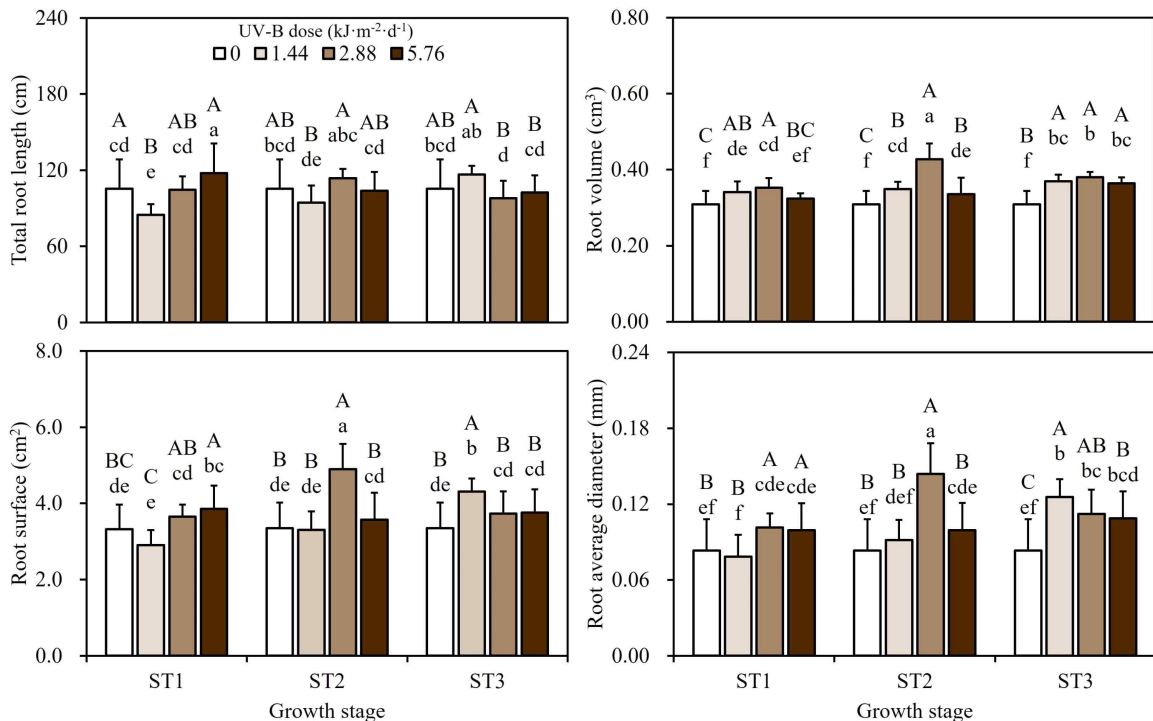


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 접수의 지하부 특성 변화

- 오이 대목의 총 근장은 접수와 유사하게 ST1의 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 가장 높았으며, ST2와 ST3에서는 UV-B 조사에 따른 큰 경향성을 보이지 않았음
- 뿌리 볼륨은 ST1에서 1.44 및 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 UV-B를 조사하였을 때 0.65 cm^3 로 모든 처리구 중에서 가장 높았으며, 대조구가 제일 낮은 결과를 보였음
- 뿌리 표면적은 모든 생육 단계에서 UV-B를 조사하였을 때 모든 선량에서 대조구보다 증가하였으며, ST1과 ST3의 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 약 12.5 cm^2 로 가장 넓었음
- 뿌리 평균 경경에서도 뿌리 표면적과 유사하게 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 두꺼워지는 경향을 보였으며, ST1의 1.44 및 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 약 0.6 mm 로 모든 처리구 중에서 가장 두꺼웠음

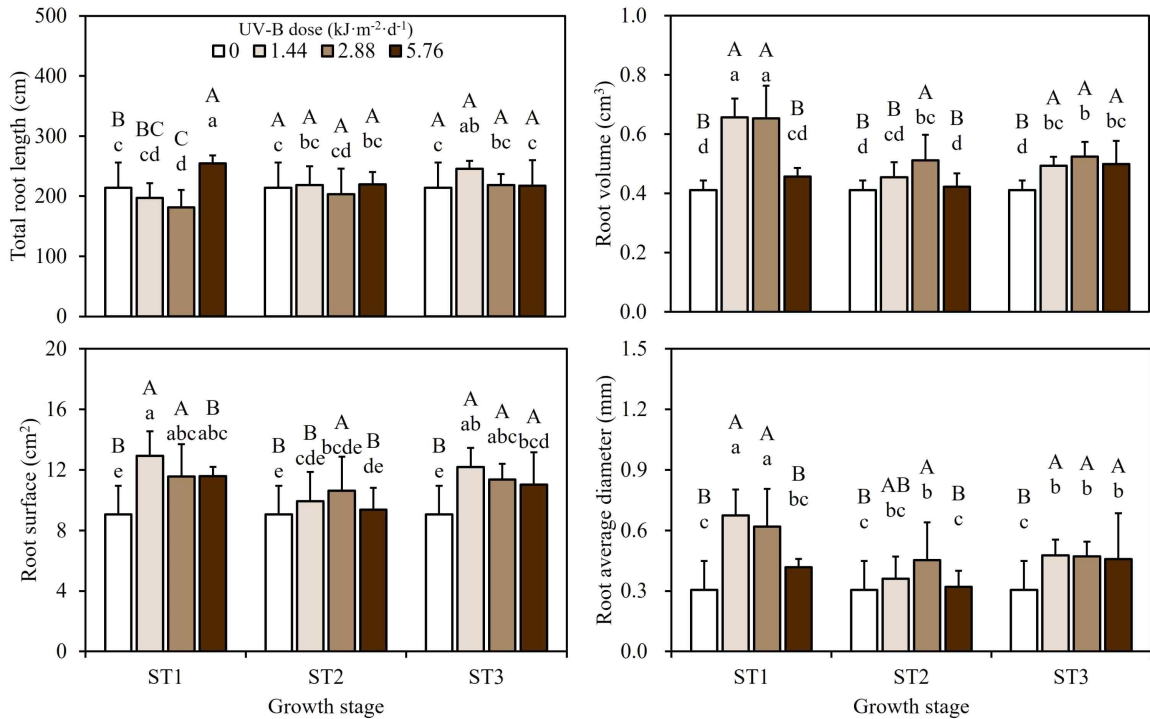


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 접수의 지하부 특성 변화

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 건물률(Dry matter content, DMC) 및 충실도(Compactness, CP)

- 오이 접수와 대목의 DMC와 CP는 UV-B의 조사 시기 및 선량에 따른 변화가 나타났음
- 오이 접수의 DMC는 ST2와 ST3에서 UV-B를 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 약 7%로 대조구 및 다른 선량들에 비해 높은 결과를 보였으며, 이는 모든 처리구 중에서도 가장 높았음. ST1의 경우 UV-B 선량에 따른 DMC의 차이가 유의미하게 나타나지 않았음
- CP는 모든 생육 단계에서 UV-B의 선량이 높아질수록 증가하는 경향을 보였으며, $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 유의미하게 높아졌음
- 오이 대목은 UV-B를 ST3에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사할 경우 DMC가 유의미하게 증가하였으며, 다른 생육 단계 및 선량에서는 큰 차이를 보이지 않았음
- CP는 UV-B를 ST1에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 대조구에 비해 감소하였지만, ST2와 ST3에서는 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 CP가 향상되었으며 UV-B의 선량이 증가할수록 CP가 향상되는 경향을 보였음

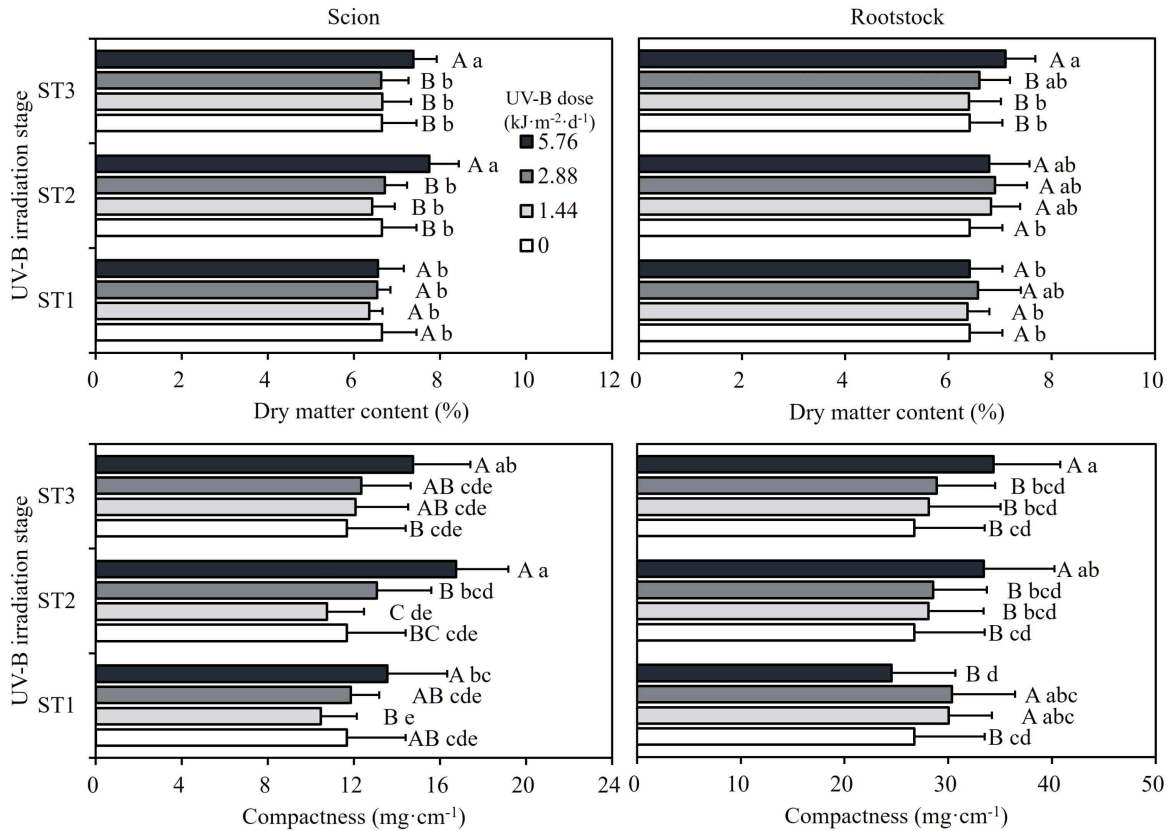


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 건물물 및 충실도 변화

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 오이 접수 및 대목의 엽록소 형광 매개변수의 변화

- 오이 접수의 엽록소 형광 매개변수들은 UV-B를 조사하여도 큰 감소율을 보이지 않았음
- 4 DAS에서 F_v/F_m 은 모든 생육 단계 및 UV-B 선량에서 0.8 이하로 나타났음. 8 DAS 이후부터는 F_v/F_m 이 0.8 이상으로 회복되었으며, 12 DAS까지 모든 처리구에서 0.8 이상으로 유지되었음
- PI_{ABS} 는 4-6 DAS에서 ST1에 UV-B를 조사하였을 때 상대적으로 높은 경향을 보였으며, 12 DAS까지 시간이 지남에 따라 ST2에서 2.88 및 5.76 $kJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 로 UV-B를 조사하였을 때 PI_{ABS} 가 증가하여 ST1의 1.44 $kJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 과 약 5.5로 유사해졌음
- ABS/RC , TR_0/RC 및 $D1_0/RC$ 는 DAS에 따른 변화 양상이 유사하게 나타났음. 세 가지 매개변수는 4 DAS에서 6 DAS로 넘어갈 때 가장 큰 감소율을 보였으며, ST1에서 UV-B를 조사하였을 때 상대적으로 낮은 경향을 보였음. 이후 12 DAS로 시간이 지남에 따라 지속적으로 감소하였으며, 12 DAS에서는 UV-B의 조사 시기 및 선량에 따른 큰 경향성을 확인하기 어려웠음

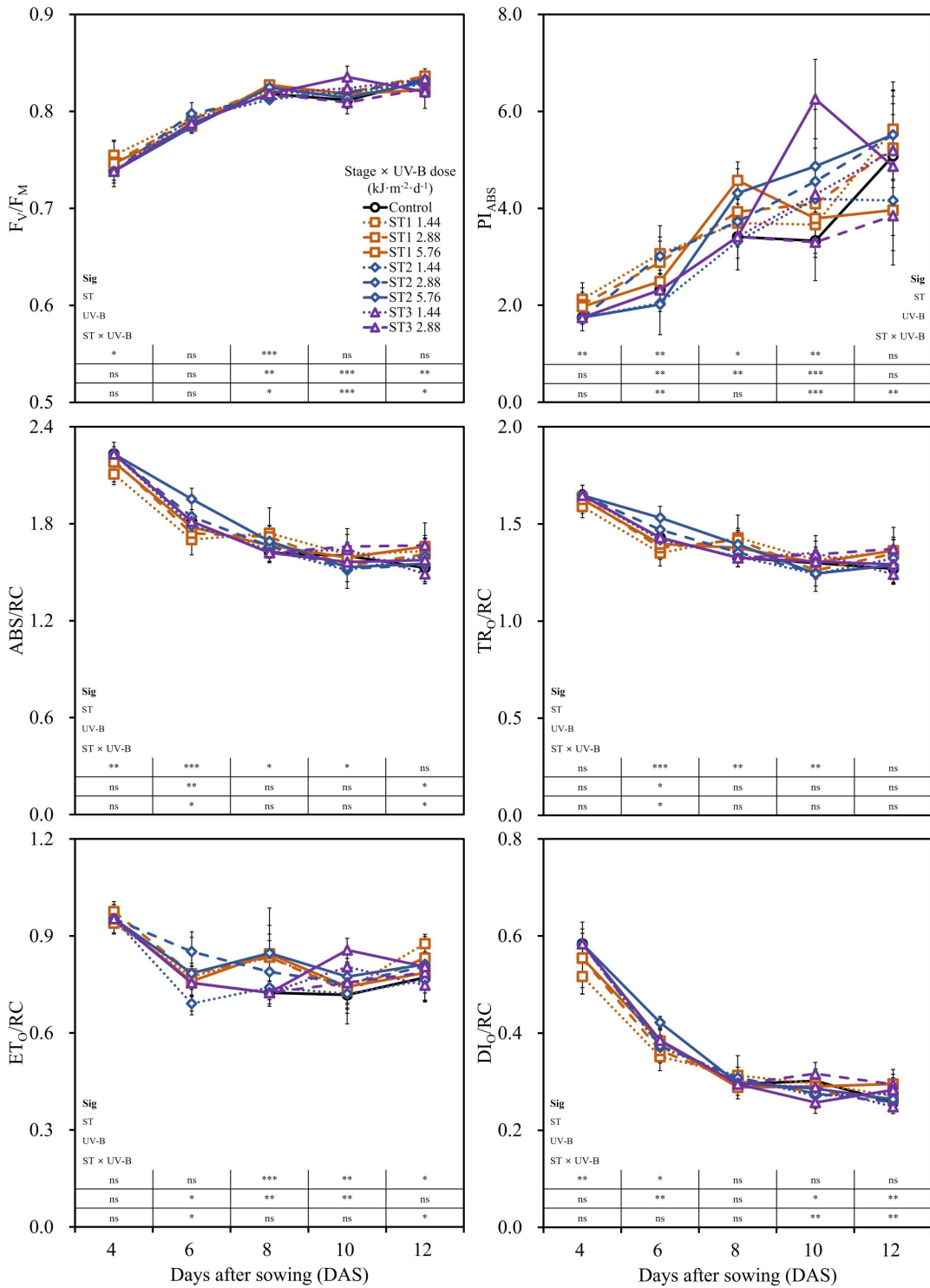


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량과 파종 후 일수에 따른 오이 접수의 엽록소 형광 매개변수의 변화

- 오이 대목의 F_v/F_m 의 경우 접수와 달리 모든 처리구에서 5 DAS부터 0.8 이상으로 나타났으며, 이후 9 DAS까지 0.8 이상으로 유지되었음
- PI_{ABS} 는 대부분의 처리구에서 5-9 DAS로 시간이 지남에 따라 비슷한 변화 양상을 보였으며, ST1에 UV-B를 조사하였을 때 낮고 ST3에 조사하였을 때 높은 경향을 보였음. 9 DAS에서 PI_{ABS} 는 ST2의 1.44 $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 6.0으로 대조구의 4.6에 비해 1.4(30%) 증가하여 처리구들 중 가장 높았음
- 접수와 마찬가지로 ABS/RC , TR_o/RC 및 DI_o/RC 는 5-9 DAS에서 UV-B 조사에 따른 변화가 유사하게 나타났음. 세 가지 매개변수는 ST1에 UV-B를 조사하였을 때 5-9 DAS에서 높아지는 경향이 있었으며, ST2와 ST3에서는 UV-B 조사에 따른 큰 경향성을 확인하기 어려웠다. ET_o/RC 의 경우 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았음

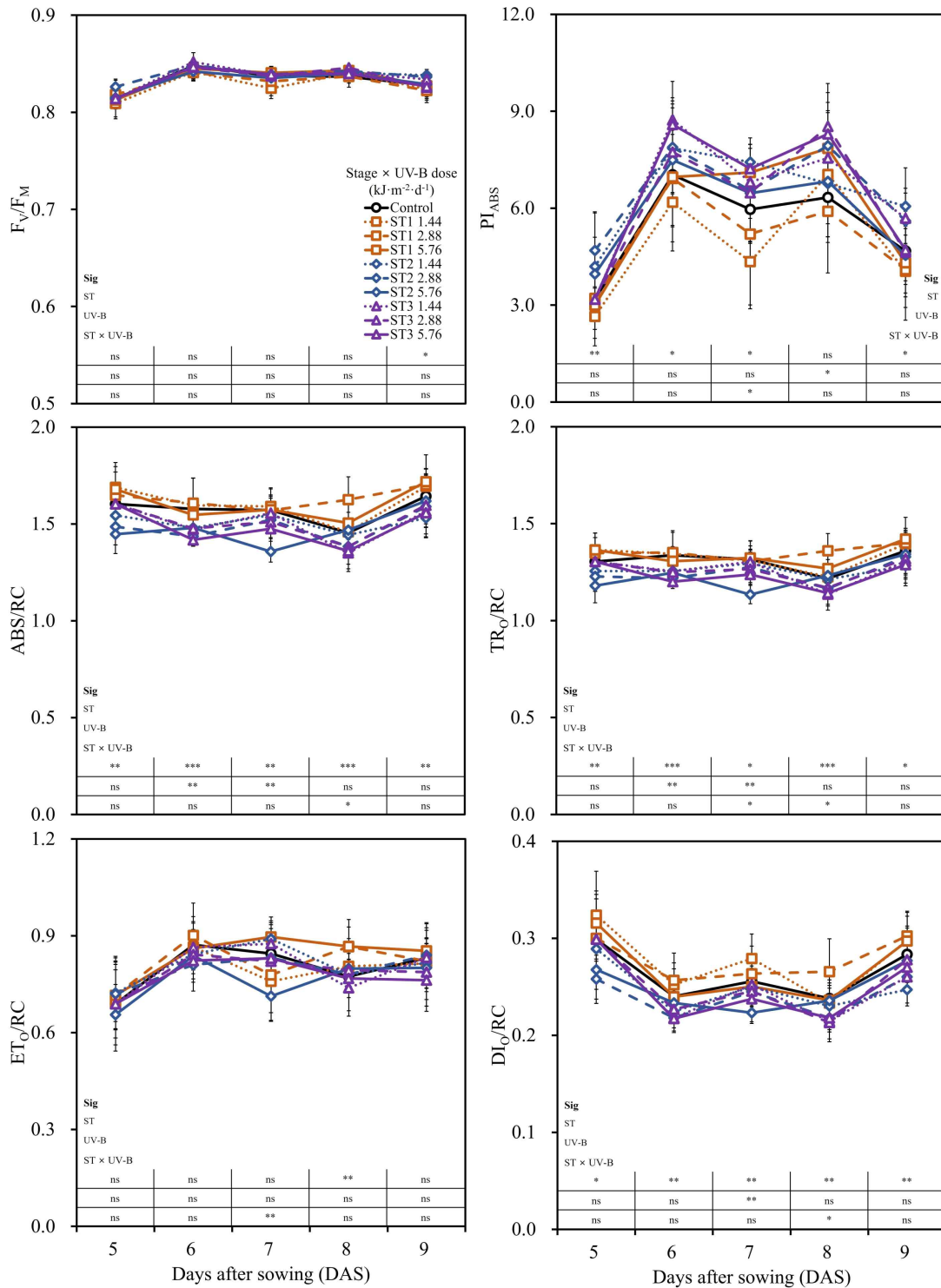


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량과 파종 후 일수에 따른 오이 접수의 엽록소 형광 매개변수의 변화

▶ 오이 접수 및 대목의 생육지표, 지하부 특성 및 엽록소 형광 매개변수의 상관관계

- 생육지표, 지하부 특성 및 엽록소 형광 매개변수 사이의 상관관계의 정도를 시각적으로 쉽게 판단하기 위해 오이 접수, 대목, UV-B 조사 시기 및 선량에 구분없이 상관관계를 분석 후, 히트맵 (Heatmap)을 활용하여 지표의 배열을 색상으로 나타냈음. x축과 y축은 묘의 주요 생육 지표를 표시하였으며, 청색에 가까울수록 양의 상관관계 및 적색에 가까울수록 음의 상관관계를 나타냄
- 하배축장은 건물들과 -0.48의 낮은 음의 상관관계를 보였음. 경경은 지상부 생체중, 지상부 건물중, 총실도, 엽면적, 총 근장 및 뿌리 표면적에서 0.8 이상의 높은 양의 상관관계를 나타냈음. CP는 엽면적과 0.82의 매우 높은 양의 상관관계를 보였음

- F_V/F_M 은 PI_{ABS} 와 0.78의 양의 상관관계를 보인 반면, DIO/RC 와 -0.74의 음의 상관관계를 보였음. PI_{ABS} 는 DIO/RC 와 -0.81로 높은 음의 상관관계를 보였으며, ABS/RC 는 TR_0/RC 및 DIO/RC 와 0.8 이상의 높은 양의 상관관계를 나타냈음. 전체적으로 생육 지표들 간에는 높은 상관관계를 보였으며, 엽록소 형광 매개변수들과 생육지표 간에는 높은 상관관계가 나타나지 않았음

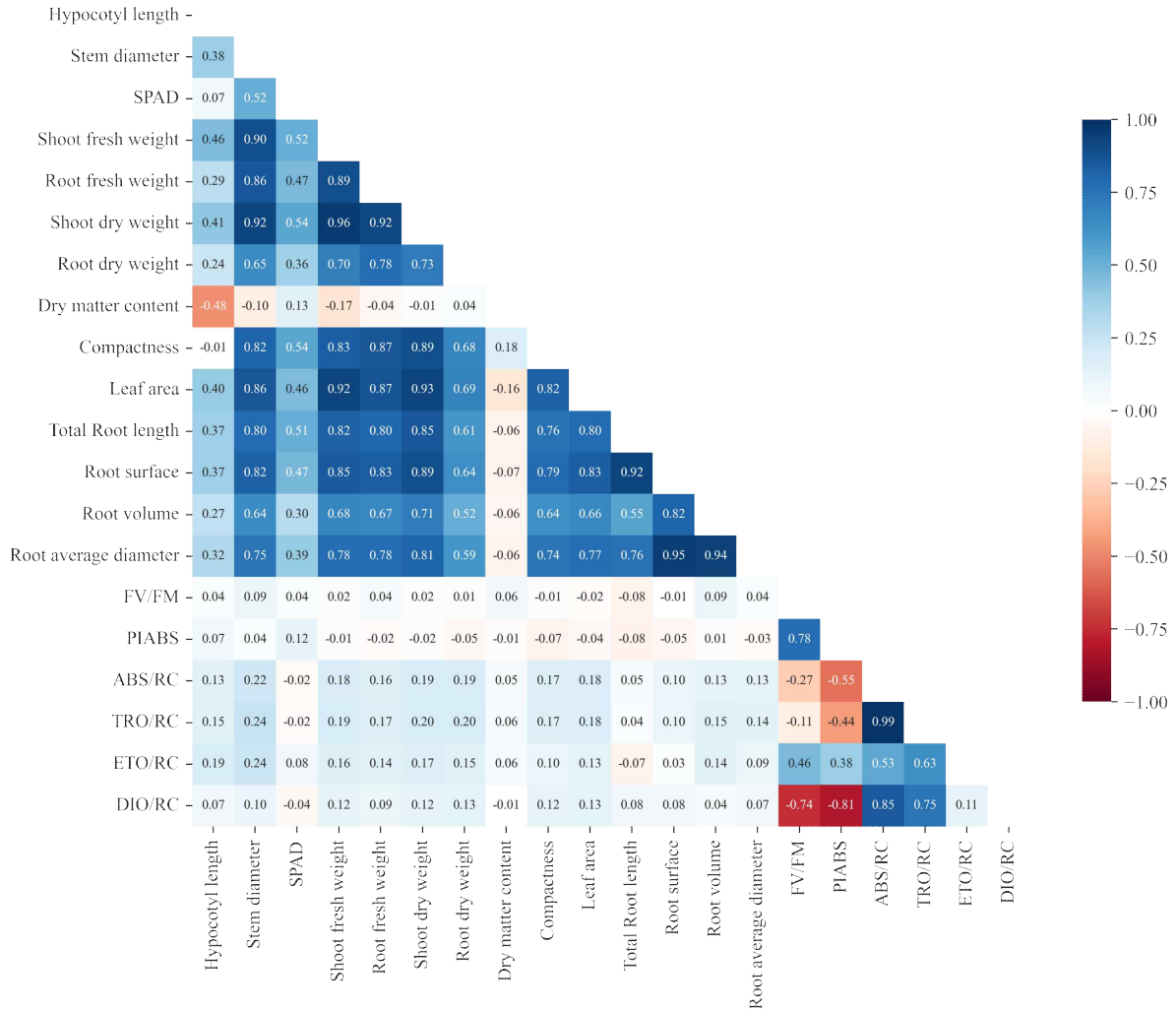


그림. 오이 접수 및 대목의 데이터를 결합하고 UV-B 조사 단계 및 선량에 따른 데이터를 기반으로 한 Pearson's 상관관계의 히트맵

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 생육 변화

- 폐쇄형 식물공장 내에서 토마토 접수 및 대목에 UV-B를 서로 다른 조사 시기 및 선량으로 조사하였을 때 외적 형질의 변화가 나타났음
- 토마토 접수의 경우 모든 생육 단계에서 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이하의 선량으로 UV-B를 조사해도 눈에 띄는 외적 형질의 변화는 나타나지 않았음. 하지만, $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이상의 선량에서는 잎이 말리거나 엽색이 변하는 현상이 나타났음
- 토마토 대목에서도 비슷한 경향으로 모든 생육 단계에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이상의 선량에서는 식물체의 손상이 나타났으며, ST2와 ST3에서는 접수에 비해 잎의 말림과 엽색 변화가 더욱 심각하게 나타났음

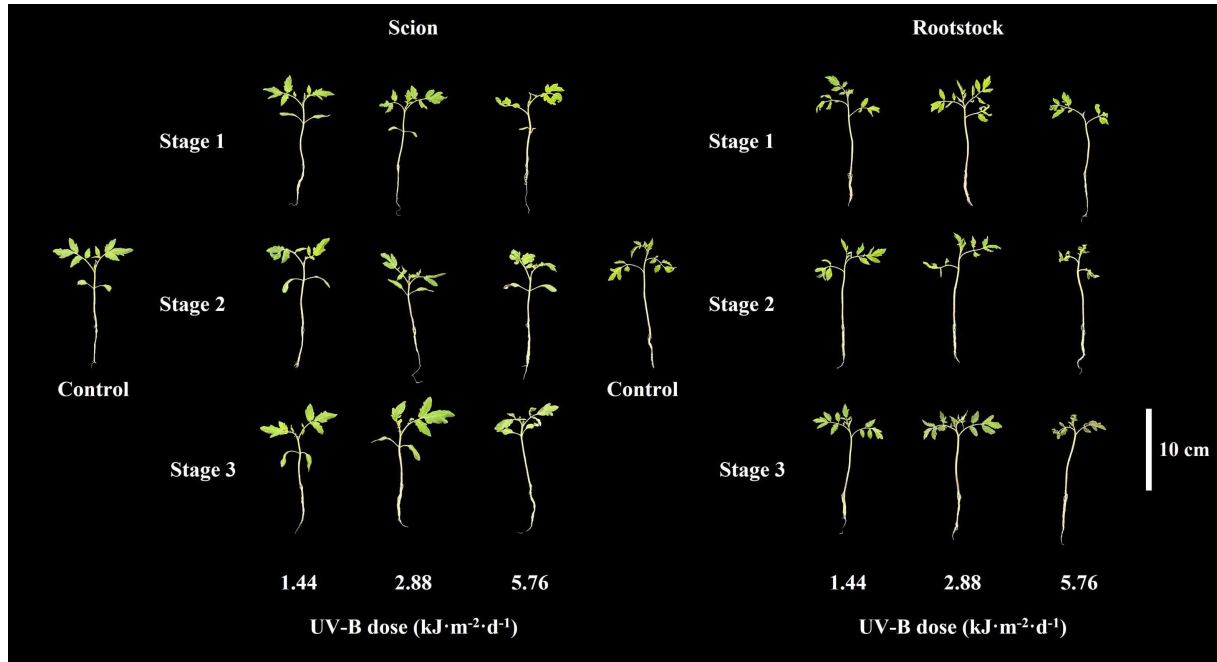


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 외적 형질 변화

- 토마토 접수와 대목에 UV-B를 조사할 경우 대조구에 비해 초장과 엽면적이 감소하는 경향을 보였음
- 접수의 초장은 14 DAS까지는 대조구의 초장이 가장 길었지만, 14-17 DAS로 시간이 지남에 따라 ST1에 UV-B를 1.44 및 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사한 처리구가 빠른 생육을 보이며 대조구보다 약 1.1 cm(13%) 더 길어졌음
- 17 DAS에서는 ST2에 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 약 5.9 cm로 대조구보다 약 2.3 cm(28%)의 차이를 보이며 모든 처리구 중 가장 짧았음
- 엽면적의 경우 11 DAS까지는 대조구와 ST3에서 UV-B를 조사하였을 때 유사하게 높았지만, 17 DAS까지 시간이 지남에 따라 대조구와 ST3에 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사한 것이 약 28 cm²로 다른 처리구들에 비해 넓었음. 가장 작은 엽면적은 초장과 동일하게 ST2의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 10.3 cm²로 대조구에 비해 18.1 cm²(64%) 감소하였음
- 대목의 초장은 8 DAS까지는 ST1에 UV-B를 조사하였을 때 다른 처리구에 비해 짧았으며, 이후 17 DAS로 지남에 따라 대조구가 약 13.1 cm로 가장 길어졌으며 ST2의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 약 8.6 cm로 가장 짧았음
- 엽면적은 8 DAS까지 ST1에서 UV-B를 조사하였을 때 다른 처리구들에 비해 작았으며, 11-14 DAS에서 ST2의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹를 제외한 나머지 처리구에서 엽면적이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었음. 17 DAS로 지남에 따라 각 생육 단계에서 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 엽면적이 약 9.7 cm² 이하로 다른 처리구들에 비해 작아졌으며, 대조구가 약 14.1 cm²로 가장 넓은 엽면적을 유지하였음

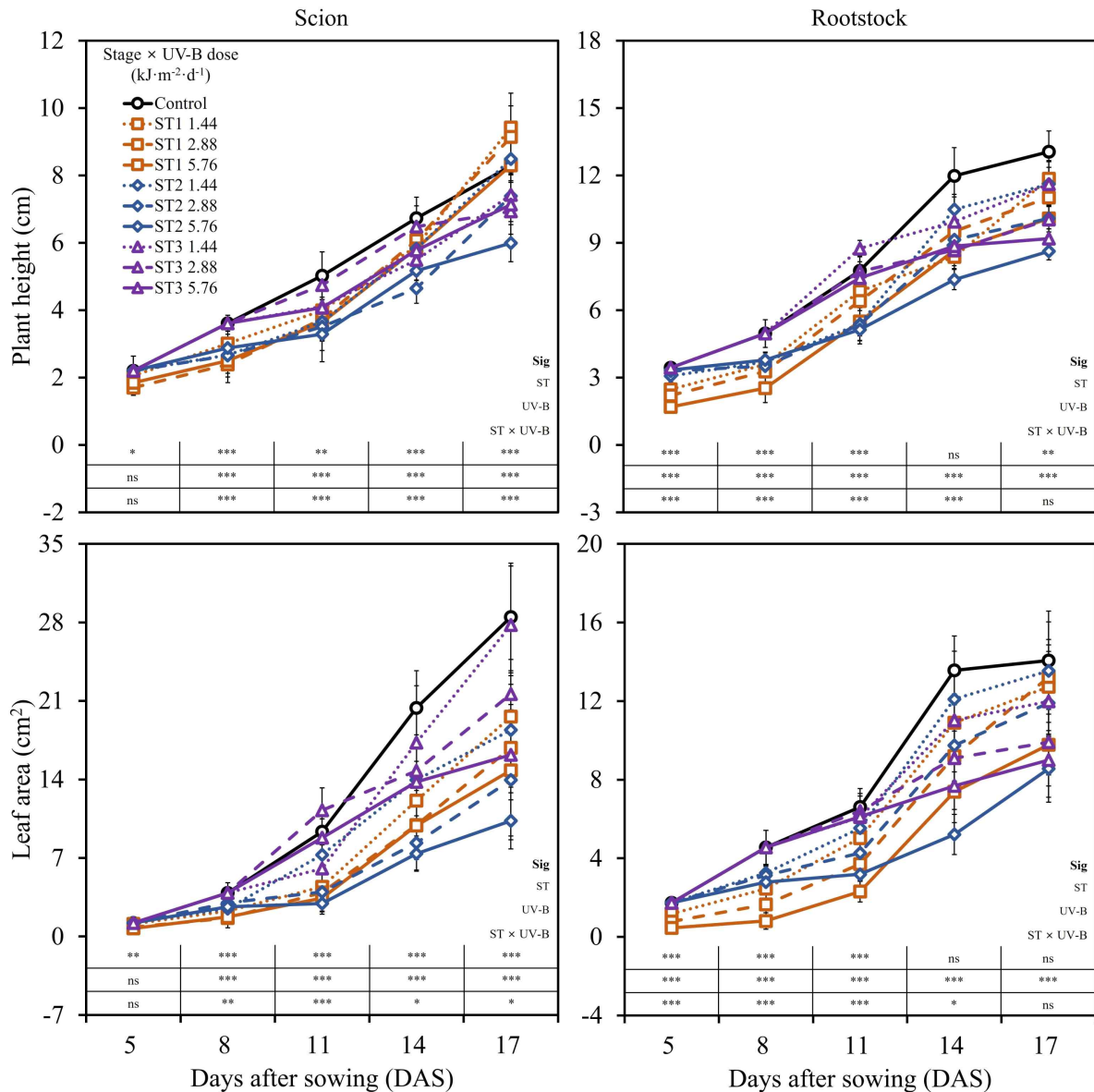


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량과 파종 후 일수에 따른 토마토 접수 및 대목의 초장과 엽면적의 변화

- UV-B를 조사함에 따라 토마토 접수의 생육 변화를 확인하였을 때, UV-B를 1.44-5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 경경이 두꺼워지는 경향을 보였으며, ST1에 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사할 때 2.04 mm로 가장 두꺼웠음
- SPAD의 경우 ST1의 생육 단계에 UV-B를 조사하였을 때 모든 선량에서 대조구보다 낮아졌으며, UV-B의 선량이 증가할수록 값이 감소하는 경향을 보였음. ST3에서는 UV-B의 선량이 증가할수록 SPAD는 감소한 것은 ST1과 유사하였지만, 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서는 45.5로 대조구에 비해 2.4(6%) 증가하였음
- 이와 달리, ST2에서는 UV-B의 선량이 증가할수록 SPAD의 값이 증가하였으며, 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 45.6으로 대조구에 비해 43.1에 비해 2.5(6%) 증가하여 ST3의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹과 같이 전체 처리구 중 가장 높은 값을 보였음
- 지상부 생체중과 건물중은 ST2와 ST3에서 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 가벼워지는 경향을 보인 반면, ST1에 1.44 및 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 증가하였지만 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았음
- 지하부 생체중과 건물중은 UV-B 선량이 증가함에 따라 가벼워지는 경향을 보였음. 가장 큰 감소를 보인 생육 단계는 ST2였으며 지하부 생체중에서 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량은 대조구에 비해 0.08 g(53%), 건물중에서 0.004 g(57%)만큼 가벼워졌음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 접수의 경경, 엽록소 함량, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 지상부 건물중 및 지하부 건물중

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
				Shoot		Root		Shoot		Root	
Stage 1	0	1.65 ± 0.14 C ^y cd ^x	43.1 ± 2.5 A ab	0.61 ± 0.09 A b	0.15 ± 0.03 A a	0.045 ± 0.009 ABabc	0.007 ± 0.002 A a				
	1.44	2.04 ± 0.22 A a	39.6 ± 3.8 B bcd	0.71 ± 0.15 A a	0.14 ± 0.03 AB ab	0.049 ± 0.011 A a	0.007 ± 0.002 A a				
	2.88	1.87 ± 0.21 B b	38.5 ± 4.2 B cd	0.70 ± 0.13 A a	0.12 ± 0.02 B bc	0.048 ± 0.011 AB ab	0.006 ± 0.001 A a				
	5.76	1.83 ± 0.16 B b	38.2 ± 4.8 B d	0.65 ± 0.12 A ab	0.09 ± 0.03 C d	0.041 ± 0.007 B bc	0.005 ± 0.002 B bc				
Stage 2	0	1.65 ± 0.14 B cd	43.1 ± 2.5 AB ab	0.61 ± 0.09 A b	0.15 ± 0.03 A a	0.045 ± 0.009 A abc	0.007 ± 0.002 A a				
	1.44	1.86 ± 0.18 A b	40.6 ± 5.9 B bcd	0.57 ± 0.11 A bc	0.09 ± 0.02 C d	0.041 ± 0.009 A bc	0.004 ± 0.001 C cd				
	2.88	1.83 ± 0.19 A b	42.3 ± 4.9 AB ab	0.60 ± 0.08 A b	0.12 ± 0.04 B c	0.040 ± 0.008 A c	0.005 ± 0.002 B ab				
	5.76	1.61 ± 0.22 B d	45.6 ± 5.6 A a	0.42 ± 0.06 B d	0.07 ± 0.02 D d	0.028 ± 0.004 B d	0.003 ± 0.001 D d				
Stage 3	0	1.65 ± 0.14 BC cd	43.1 ± 2.5 B ab	0.61 ± 0.09 A b	0.15 ± 0.03 A a	0.045 ± 0.009 A abc	0.007 ± 0.002 A a				
	1.44	1.78 ± 0.16 AB bc	45.5 ± 3.2 A a	0.59 ± 0.09 A b	0.14 ± 0.03 AB ab	0.047 ± 0.006 A abc	0.006 ± 0.002 A ab				
	2.88	1.61 ± 0.25 C d	41.8 ± 2.7 BC bc	0.49 ± 0.10 B cd	0.12 ± 0.04 B c	0.040 ± 0.011 A c	0.005 ± 0.001 A ab				
	5.76	1.80 ± 0.17 A bc	39.9 ± 3.3 C bcd	0.43 ± 0.08 B d	0.14 ± 0.03 ABabc	0.041 ± 0.011 A bc	0.005 ± 0.002 A ab				
Significance ^w											
Stage (A)		***	***	***	***	***	***				
UV-B (B)		***	ns	***	***	***	***				
Interaction (A × B)		***	***	***	***	*	**				

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-7 days after sowing, Stage 2 refers to 8-12 days after sowing, and Stage 3 refers to 13-17 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001.

- 대목의 경경은 대조구가 2.06 mm로 UV-B를 조사하였을 때 보다 두꺼운 경향을 보였지만, ST3에 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 2.10 mm로 대조구보다 0.04 mm(2%) 두꺼웠음
- SPAD의 경우 ST1을 제외한 ST2와 ST3에서는 UV-B의 선량이 증가함에 따라 값이 증가하는 경향을 보였다. ST1에 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 SPAD가 가장 낮았으며, ST2에 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 44.1로 가장 높았음
- 지상부 생체중과 건물중은 UV-B의 조사 선량이 높아질수록 가벼워지는 경향을 보였으며, ST2에 조사하였을 때 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 생체중이 0.49 g, 건물중이 0.036 g으로 가장 큰 영향을 받았음. ST3에서 1.44-2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 생체중 및 건물중이 증가하였지만, 통계적으로 유의성이 나타나지 않았음
- 지하부 생체중과 건물중도 생체중과 유사하게 모든 생육 단계에서 UV-B의 선량이 높아질수록 가벼워지는 경향을 보였음. ST1과 ST2에서 UV-B를 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹로 조사하였을 때 0.07 g으로 대조구에 비해 0.05 g(42%) 만큼 가벼워졌으며 모든 처리구 중 가장 가벼웠음. 이와 달리, ST3에 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹에서는 0.15 g으로 대조구에 비해 0.03 g(20%) 증가하여 모든 처리구 중 가장 무거웠음
- 지하부 건물중은 ST1에 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 0.003 g으로 대조구에 비해 0.002 g(40%)만큼 감소하여 모든 처리구 중 가장 가벼웠으며, ST3에 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량이 0.008 g으로 대조구에 비해 0.003 g(60%) 증가하여 전체 처리구 중 가장 무거운 결과를 나타냈음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 대목의 경경, 엽록소 함량, 지상부 생체중, 지하부 생체중, 지상부 건물중 및 지하부 건물중

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	Stem diameter (mm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
				Shoot		Root		Shoot		Root	
Stage 1	0	2.06 ± 0.12 A ^y ab ^x	35.1 ± 2.5 AB de	0.81 ± 0.13 A a	0.12 ± 0.02 A bc	0.059 ± 0.010 A ab	0.005 ± 0.001 A bcd				
	1.44	1.96 ± 0.15 A abc	37.1 ± 4.4 A cd	0.78 ± 0.11 A ab	0.12 ± 0.03 A bc	0.054 ± 0.009 A bc	0.004 ± 0.002 AB cde				
	2.88	1.83 ± 0.23 B cd	32.2 ± 3.4 C e	0.68 ± 0.15 B c	0.09 ± 0.03 B c	0.046 ± 0.010 B cde	0.004 ± 0.001 AB cde				
	5.76	1.65 ± 0.19 C ef	33.9 ± 3.1 BC e	0.57 ± 0.08 C de	0.07 ± 0.01 C d	0.038 ± 0.006 C ef	0.003 ± 0.001 B de				
Stage 2	0	2.06 ± 0.12 A ab	35.1 ± 2.5 B de	0.81 ± 0.13 A a	0.12 ± 0.02 AB bc	0.059 ± 0.010 A ab	0.005 ± 0.001 A bcd				
	1.44	1.71 ± 0.16 BC def	34.1 ± 2.1 B e	0.64 ± 0.07 B cd	0.10 ± 0.01 B c	0.049 ± 0.009 B cd	0.006 ± 0.003 A bc				
	2.88	1.81 ± 0.25 B cde	44.1 ± 5.6 A a	0.71 ± 0.13 B bc	0.13 ± 0.02 A b	0.048 ± 0.012 B cd	0.005 ± 0.001 A bcd				
	5.76	1.61 ± 0.17 C f	42.2 ± 5.2 A ab	0.49 ± 0.09 C e	0.07 ± 0.02 C d	0.036 ± 0.005 C f	0.004 ± 0.001 B e				
Stage 3	0	2.06 ± 0.12 AB ab	35.1 ± 2.5 B de	0.81 ± 0.13 A a	0.12 ± 0.02 B bc	0.059 ± 0.010 A ab	0.005 ± 0.001 B bcd				
	1.44	1.93 ± 0.15 BC bc	39.5 ± 1.5 A bc	0.87 ± 0.10 A a	0.15 ± 0.03 A a	0.065 ± 0.009 A a	0.007 ± 0.002 AB ab				
	2.88	2.10 ± 0.23 A a	41.3 ± 3.7 A ab	0.81 ± 0.14 A a	0.14 ± 0.03 A a	0.065 ± 0.015 A a	0.008 ± 0.002 A a				
	5.76	1.87 ± 0.31 C c	41.9 ± 4.4 A ab	0.51 ± 0.12 B e	0.11 ± 0.03 B bc	0.045 ± 0.012 B de	0.006 ± 0.004 AB bc				
Significance ^w											
Stage (A)		***	***	***	***	***	***				
UV-B (B)		***	***	***	***	***	**				
Interaction (A × B)		**	***	***	***	**	*				

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-7 days after sowing, Stage 2 refers to 8-12 days after sowing, and Stage 3 refers to 13-17 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001.

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 지하부 특성 변화

- UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 토마토 접수의 지하부 특성을 비교 조사한 결과, 총 근장은 ST1의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹와 ST2의 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 UV-B를 조사하였을 때 약 125 cm로 대조구보다 약 18 cm(17%) 길어졌으며, 이외 모든 생육단계에서 UV-B 선량이 증가함에 따른 경향성은 두드러지게 나타나지 않았음
- 뿌리 볼륨의 경우 ST1에서 UV-B의 선량이 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹ 이상으로 조사할 경우 감소하는 경향을 보였으며 ST3에서는 UV-B 조사에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았음
- 뿌리 표면적은 ST1의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹과 ST2의 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 대조구보다 증가하였으며, ST3에서는 UV-B를 조사하였을 때 값이 증가하였지만 통계적으로 유의적인 차이가 나타나지 않았음
- 뿌리 평균 경경은 뿌리 표면적과 유사하게 ST1의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹과 ST2의 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹가 대조구에 비해 높았으며 ST2의 2.88 kJ·m⁻²·d⁻¹이 전체 중 가장 두꺼웠음. ST3에서는 UV-B 조사하였을 때 두꺼워지는 경향이 있었으나 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았음

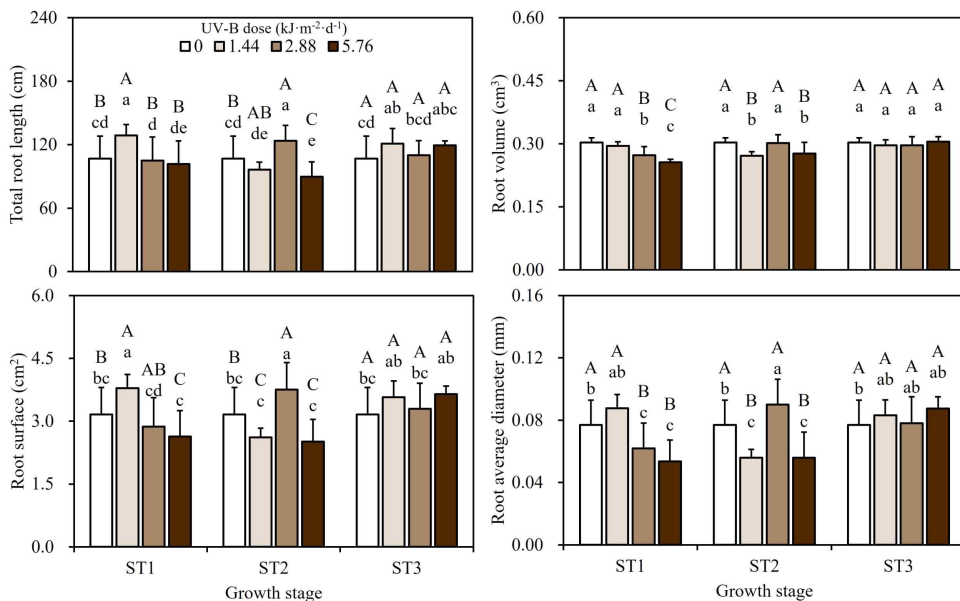


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 접수의 지하부 특성 변화

- 토마토 대목의 총 근장은 ST1과 ST2에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 UV-B를 조사할 때 대조구에 비해 큰 감소율을 보였으며, $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이하의 선량에서는 대조구와 큰 차이가 나타나지 않았음. ST3에서는 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이하의 선량으로 조사하게 되면 대조구보다 증가하는 경향을 보였으며, $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서는 145.2 cm^3 로 대조구에 비해 41.9 cm^3 (41%)의 차이를 보이며 모든 처리구 중 가장 컸음
- 뿌리 볼륨은 ST1에서 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 과 ST2에서 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 대조구보다 증가하였으며, 이외의 선량에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. ST3에서는 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 때 뿌리 볼륨이 0.32 cm^3 로 대조구에 비해 0.06 cm^3 (23%) 증가하였으며, 모든 처리구 중에서 가장 높았음
- 뿌리 표면적은 ST1의 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 과 ST2의 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 증가하였으나, 두 생육 단계 모두에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 크게 감소하는 결과가 나타났음. ST3에서는 UV-B를 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사하여도 뿌리 표면적이 대조구와 유사하였으며, $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 4.6 cm^2 로 대조구에 비해 1.9 cm^2 (70%) 증가하여 전체 중 가장 높은 값을 보였음
- 뿌리 평균 경경도 뿌리 표면적과 유사한 경향을 보였으며 ST3의 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 0.12 mm 로 대조구에 비해 0.06 mm (100%) 증가하여 전체 중 가장 두꺼웠음

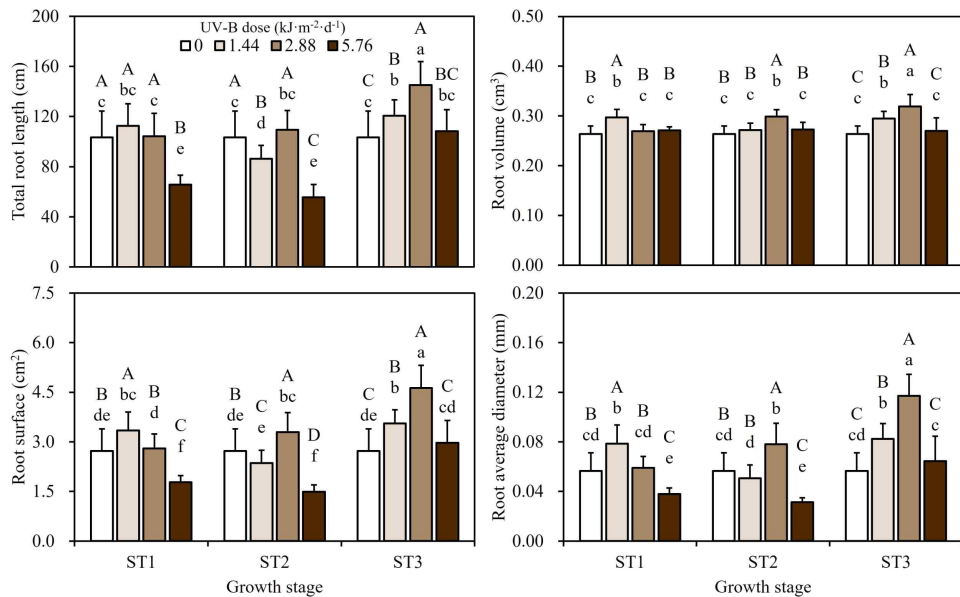


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 대목의 지하부 특성 변화

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 건물률(Dry matter content, DMC) 및 충실도(Compactness, CP)

- 토마토 접수와 대목에 UV-B를 서로 다른 생육 단계와 선량으로 조사하였을 때 일부 조건에서 DMC와 CP가 향상되는 것을 확인할 수 있었음
- 접수의 DMC는 ST1과 ST2에서 UV-B의 조사 선량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 모든 선량에서 대조구에 비해 낮아졌음. 이와 달리, ST3에서는 UV-B의 조사 선량이 증가함에 따라 DMC가 증가하였으며, $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 9.5 %로 대조구에 비해 2.3 % 증가하였고 전체 처리구 중 가장 높았음
- 각 생육 단계에서 CP를 비교할 경우 UV-B 조사에 따라 변화는 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이가 나타나진 않았음. 하지만, 전체 UV-B 조사 시기 및 선량에서 비교할 경우 ST3의 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 $6.3 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 다른 처리구에 비해 유의하게 높았음
- 대목의 DMC는 ST1에서 UV-B를 조사할 경우 모든 선량에서 대조구보다 낮아졌으며, ST2에서는 1.44 및 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사하였을 때 감소하지 않고 대조구와 유사한 값을 나타냈음. 이

와 달리 ST3에서는 UV-B의 선량이 높아질수록 DMC도 증가하는 경향을 보였으며, $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 8.6 %로 전체 중 가장 높았음

- CP의 경우 ST1에서는 UV-B를 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 때 대조구와 유사하였지만, $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이상의 선량으로 조사할 경우에는 감소하는 경향을 보였음. ST2에서는 UV-B 조사에 따른 CP의 유의적인 차이가 나타나지 않았음
- ST3에서는 UV-B를 $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량까지 증가함에 따라 CP가 대조구보다 높아지는 경향을 보였으며, $2.88 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 $6.4 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 대조구에 비해 $1.9 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-1}$ (42%) 증가하여 모든 처리구 중에서 가장 높았음

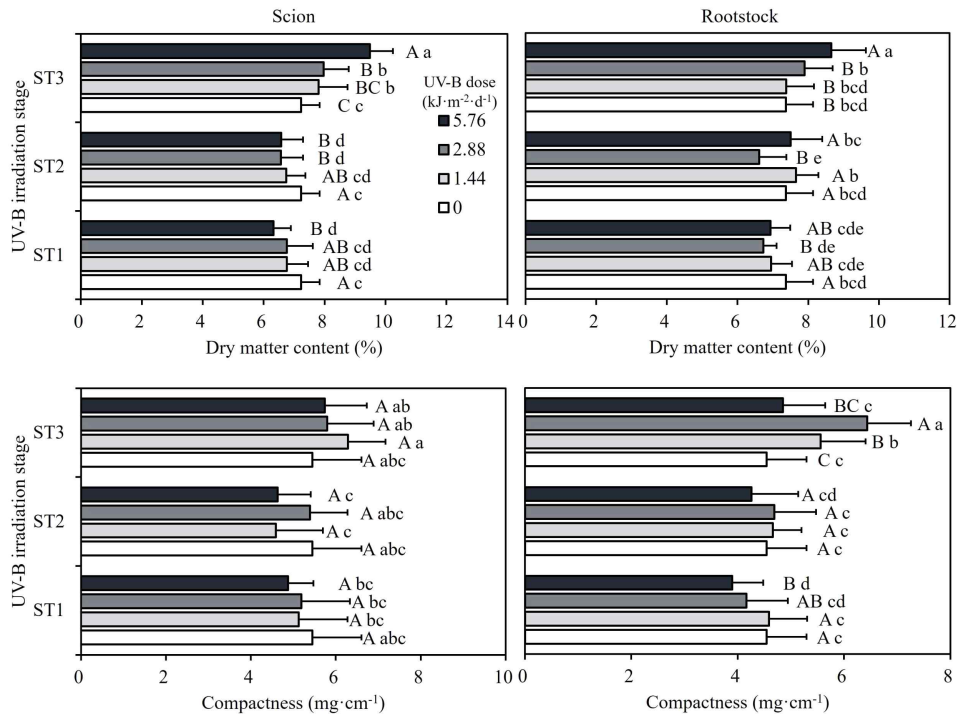


그림. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 건물물 및 총실도 변화

▶ UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 토마토 접수 및 대목의 엽록소 형광 매개변수의 변화

- ST1에서 F_V/F_M 모든 선량에서 0.83 이상으로 UV-B 선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았음. ST2의 F_V/F_M 은 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 0.82로 다른 처리구에 비해 낮았지만, 모두 정상 생육 범위인 0.8 이상의 값을 나타냈음. 이와 달리 ST3에서 F_V/F_M 은 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량에서 0.71로 모든 처리구 중에서 가장 낮았으며 정상 생육 범위인 0.8 이하로 떨어졌음
- PI_{ABS} 는 ST1과 ST2에서 UV-B를 조사하였을 때 대조구에 비해 값이 증가하는 경향을 보였다. ST3에서 PI_{ABS} 는 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 2.84로 대조구에 비해 낮아졌으며, 이를 제외한 선량에서는 대조구와 유사하였다.
- TR_0/RC 의 경우 ST1에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 1.56으로 가장 높았으며, ST3에 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 조사하였을 때 1.32로 가장 낮았음. ST2에서는 UV-B 선량에 따른 TR_0/RC 의 유의적인 차이가 나타나지 않았음
- ABS/RC 는 ST2와 ST3에서는 UV-B의 선량에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았지만, ST1과 ST3에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사하였을 때 모든 처리구 중 유의하게 높았으며, ST1의 $1.44 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 이 유의하게 낮았다. ET_0/RC 는 ST1에서 UV-B의 선량이 증가할수록 값이 증가하는 경향을 보였으며, $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서는 1.04로 대조구에 비해 유의미하게 높아졌음
- 이와 달리 ST3에서는 UV-B의 선량이 증가함에 따라 ET_0/RC 가 감소하였으며 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서는 0.86으로 대조구에 비해 감소하였다. DI_0/RC 의 경우 ST2와 ST3에서 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 선량으로 조사할 경우 대조구에 비해 유의미하게 증가하였으며, ST3의 $5.76 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 0.56으로 모든 처리구 중 가장 높게 나타났음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 접수의 엽록소 형광 매개변수의 변화

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	F _v /F _M	PI _{ABS}	TR ₀ /RC	ABS/RC	ET ₀ /RC	DI ₀ /RC
Stage 1	0	0.84 ± 0.01 A ^y a ^x	4.69 ± 0.76 B b	1.51 ± 0.06 AB ab	1.80 ± 0.07 AB ab	0.94 ± 0.08 B cd	0.29 ± 0.01 A b
	1.44	0.84 ± 0.01 A a	5.91 ± 0.81 A a	1.45 ± 0.06 B b	1.73 ± 0.07 B b	0.95 ± 0.07 B bc	0.27 ± 0.01 B b
	2.88	0.83 ± 0.01 A a	5.84 ± 0.65 A a	1.52 ± 0.08 AB ab	1.81 ± 0.09 AB ab	1.01 ± 0.05 AB abc	0.29 ± 0.02 A b
	5.76	0.84 ± 0.01 A a	5.53 ± 0.63 AB ab	1.56 ± 0.06 A a	1.86 ± 0.06 A a	1.04 ± 0.05 A a	0.30 ± 0.01 A b
Stage 2	0	0.84 ± 0.01 A a	4.69 ± 0.76 B b	1.51 ± 0.06 A ab	1.80 ± 0.07 A ab	0.94 ± 0.08 A cd	0.29 ± 0.01 B b
	1.44	0.84 ± 0.02 A a	6.05 ± 0.44 A a	1.50 ± 0.06 A ab	1.79 ± 0.07 A ab	1.01 ± 0.04 A abc	0.29 ± 0.01 B b
	2.88	0.84 ± 0.01 A a	5.64 ± 0.88 AB ab	1.49 ± 0.05 A ab	1.79 ± 0.06 A ab	0.95 ± 0.05 A abc	0.29 ± 0.01 B b
	5.76	0.82 ± 0.11 B a	5.08 ± 0.95 AB ab	1.52 ± 0.06 A ab	1.84 ± 0.06 A ab	1.00 ± 0.05 A abc	0.32 ± 0.02 A b
Stage 3	0	0.84 ± 0.01 A a	4.69 ± 0.76 A b	1.51 ± 0.06 A ab	1.80 ± 0.07 A ab	0.94 ± 0.08 BC cd	0.29 ± 0.01 B b
	1.44	0.84 ± 0.01 A a	5.54 ± 0.46 A ab	1.54 ± 0.09 A ab	1.84 ± 0.11 A ab	1.02 ± 0.07 A ab	0.30 ± 0.01 B b
	2.88	0.83 ± 0.01 A a	5.68 ± 0.26 A ab	1.52 ± 0.02 A ab	1.81 ± 0.03 A ab	1.02 ± 0.01 A ab	0.29 ± 0.01 B b
	5.76	0.71 ± 0.07 B b	2.84 ± 1.41 B c	1.32 ± 0.11 B c	1.88 ± 0.22 A a	0.86 ± 0.08 C d	0.56 ± 0.19 A a

Significance^w

Stage (A)

UV-B (B)

Interaction (A × B)

*** ** ns ns ns ns ***

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-7 days after sowing, Stage 2 refers to 8-12 days after sowing, and Stage 3 refers to 13-17 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001.

- 토마토 대목에서 UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 엽록소 형광 매개변수의 변화 양상이 접수와 유사하게 나타났음. F_v/F_M은 ST1과 ST2에서는 UV-B를 조사하였을 때 통계적인 차이는 나타났으나, 모든 선량에서 0.8 이상으로 나타났음. ST3의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서는 F_v/F_M이 0.69로 모든 처리구 중 가장 낮았으며 정상 생육 범위인 0.8 이하로 낮아졌음
- PI_{ABS}는 대조구가 UV-B 조사를 하였을 때 보다 낮은 경향을 보였음. ST1과 ST2에서는 PI_{ABS}가 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 높게 나타났으며, ST3에서는 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 높았음. 그 중 ST2의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 PI_{ABS}가 6.18로 모든 처리구 중 가장 높은 값을 보였음
- TR₀/RC와 ABS/RC는 UV-B 조사 시기 및 선량에 따른 경향성이 유사하게 나타났음. ST2의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 TR₀/RC와 ABS/RC가 유의하게 높게 나타났으며, ST3의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 낮게 나타났음
- ET₀/RC의 경우 ST3의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹을 제외한 UV-B 조사 시기 및 선량에서 대조구에 비해 증가하는 경향을 보였음. ST2의 1.44 kJ·m⁻²·d⁻¹에서 ET₀/RC가 2.07로 가장 높았으며, ST3의 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량에서 0.72로 가장 낮았음
- DI₀/RC는 ST1에서는 UV-B 선량에 따른 통계적으로 차이가 나타났으나 그 차이가 크지 않았으며, ST2에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았음. 이와 달리 ST3에서 DI₀/RC는 5.76 kJ·m⁻²·d⁻¹의 선량으로 조사하였을 때 0.61로 대조구에 비해 0.27(79%) 증가하여 큰 차이를 보였음

표. 서로 다른 UV-B 조사 시기와 선량에 따른 토마토 대목의 엽록소 형광 매개변수의 변화

Growth Stage ^z	UV-B dose (kJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	F _v /F _M	PI _{ABS}	TR ₀ /RC	ABS/RC	ET ₀ /RC	DI ₀ /RC
Stage 1	0	0.82 ± 0.01 B ^y a ^x	2.86 ± 0.89 C d	1.54 ± 0.11 A b	1.88 ± 0.12 A b	0.82 ± 0.15 B de	0.34 ± 0.02 AB b
	1.44	0.83 ± 0.01 A a	4.02 ± 0.75 B cd	1.65 ± 0.16 A ab	1.98 ± 0.19 A ab	1.01 ± 0.18 A abc	0.33 ± 0.03 AB b
	2.88	0.82 ± 0.01 B a	3.14 ± 0.91 BC d	1.59 ± 0.11 A ab	1.95 ± 0.11 A ab	0.89 ± 0.14 AB cd	0.35 ± 0.02 A b
	5.76	0.84 ± 0.01 A a	5.17 ± 0.96 A abc	1.64 ± 0.05 A ab	1.96 ± 0.06 A ab	1.08 ± 0.06 A ab	0.32 ± 0.02 B b
Stage 2	0	0.82 ± 0.01 A a	2.86 ± 0.89 C d	1.54 ± 0.11 B b	1.88 ± 0.12 B b	0.82 ± 0.15 B de	0.34 ± 0.02 A b
	1.44	0.83 ± 0.01 A a	4.92 ± 0.96 B bc	1.73 ± 0.14 A a	2.07 ± 0.17 A a	1.15 ± 0.13 A a	0.34 ± 0.03 A b
	2.88	0.82 ± 0.01 A a	4.52 ± 0.78 B c	1.65 ± 0.12 AB ab	1.98 ± 0.14 AB ab	1.05 ± 0.12 A ab	0.33 ± 0.02 A b
	5.76	0.83 ± 0.02 A a	6.18 ± 1.19 A a	1.61 ± 0.08 AB ab	1.93 ± 0.09 AB ab	1.12 ± 0.06 A ab	0.32 ± 0.04 A b
Stage 3	0	0.82 ± 0.01 A a	2.86 ± 0.89 C d	1.54 ± 0.11 A b	1.88 ± 0.12 A b	0.82 ± 0.15 B de	0.34 ± 0.02 B b
	1.44	0.85 ± 0.01 A a	6.05 ± 1.11 A ab	1.56 ± 0.09 A b	1.84 ± 0.12 A b	1.03 ± 0.05 A abc	0.28 ± 0.02 B b
	2.88	0.84 ± 0.01 A a	4.81 ± 0.80 B c	1.58 ± 0.09 A ab	1.88 ± 0.11 A b	0.99 ± 0.04 A bc	0.30 ± 0.03 B b
	5.76	0.69 ± 0.07 B b	3.18 ± 0.99 C d	1.08 ± 0.13 B c	1.57 ± 0.11 B c	0.72 ± 0.05 B e	0.61 ± 0.15 A a

Significance^w

Stage (A)

UV-B (B)

Interaction (A × B)

*** * *** *** *** *** **

^z Stage 1 of the growth stage refers to 3-7 days after sowing, Stage 2 refers to 8-12 days after sowing, and Stage 3 refers to 13-17 days after sowing. ^y Different capital letters indicate significant differences between same stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^x Different lowercase letters indicate significant differences between all stage according to Duncan's multiple range test ($p < 0.05$). ^w NS: non-significant, *, ** and *** of significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001.

▶ 토마토 접수 및 대목의 생육지표, 지하부 특성 및 엽록소 형광 매개변수의 상관관계

- 생육지표, 지하부 특성 및 엽록소 형광 매개변수 사이의 상관관계의 정도를 시각적으로 쉽게 판단하기 위해 토마토 접수, 대목, UV-B 조사 시기 및 선량에 구분 없이 상관관계를 분석 후, 히트맵(Heatmap)을 활용하여 지표의 배열을 색상으로 나타냄. x축과 y축은 묘의 주요 생육 지표를 표시하였으며, 적색에 가까울수록 양의 상관관계 및 청색에 가까울수록 음의 상관관계를 나타냄
- 지하부 생체중은 총실도와 엽면적과 0.7 이상의 높은 양의 상관관계를 보였음. 총 근장은 뿌리 표면적과 뿌리 평균 경경에서 0.9 이상으로 매우 높은 양의 상관관계를 나타냈으며, 뿌리 볼륨 또한 뿌리 평균 경경과 0.98의 매우 높은 양의 상관관계를 나타냈음.
- F_V/F_M 은 PI_{ABS} , TR_0/RC 및 ET_0/RC 와 0.58-0.68의 양의 상관관계를 보였으며, DIO/RC 와 매우 높은 음의 상관관계를 보였음. ABS/RC 는 TR_0/RC 와 0.84로 매우 높은 양의 상관관계를 보였으며, TR_0/RC 와 ET_0/RC 또한 0.82로 매우 높은 상관관계를 보였음
- 오이 접수 및 대목과 유사하게 토마토 접수 및 대목의 생육지표, 지하부 특성 및 엽록소 형광 매개변수 사이의 상관관계 또한 생육 지표 및 지하부 특성에서는 일부 지표에서 서로 상관성이 높은 결과가 나타났지만, 생육 지표 및 지하부 특성과 엽록소 형광 매개변수 간에는 0.4 이상의 상관관계가 나타나지 않았음

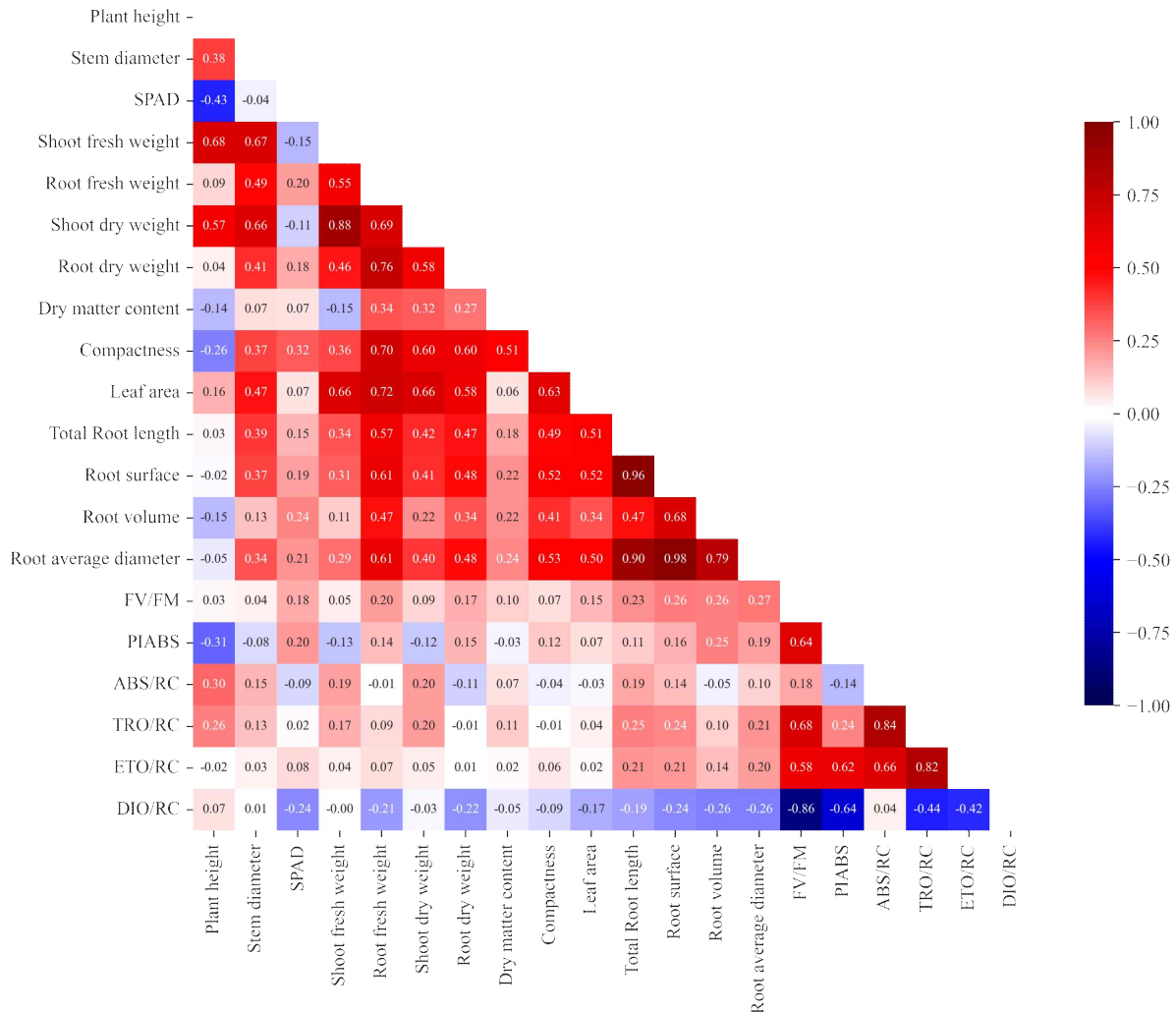


그림. 토마토 접수 및 대목의 데이터를 결합하고 UV-B 조사 단계 및 선량에 따른 데이터를 기반으로 한 Pearson's 상관관계의 히트맵

- 본 연구에서는 호반육묘장에서 주로 생산하고 있는 오이와 토마토 접수 및 대목을 주 작목으로 선정하여 실험을 진행하였음. 하지만, UV-B는 작목마다 반응하는 정도가 다르기 때문에 실용화하기 위해서는 다양한 작목의 반응을 확인할 필요가 있음. 과제종료 이후 배추, 수박, 멜론 및 파프리카 작목에 대한 UV-B 조사에 대한 추후 실험을 진행할 예정임

▪ 연구내용 2 : Potassuim(KCl)의 처리 시기 및 농도에 따른 과채류 묘의 생육 억제 효과 탐색

▶ 생육 단계 별 KCL 처리를 통한 토마토 접수 및 대목의 생육 억제 효과

- KCl처리에 따른 생육 단계 별 토마토 접수·대목의 생육 특성 비교 결과 접수와 대목 모두 공장에서 가장 긴 초장을 보였고, 성장조절제 처리구에서 각각 6.6, 5.8cm로 가장 짧았음
- 토마토 접수의 EC5 처리는 ST3에서 6.5cm로 가장 짧았으며, 대목의 경우 ST1에서 6.6cm로 가장 짧았고 EC10에서는 둘 다 ST2에서 짧았으나, 대목의 경우 다른 처리구들과 유의한 차이가 나타나지 않았음
- 경경은 토마토 접수에서 EC5 ST2, EC10 ST1에서 2.0, 2.1mm로 가장 두꺼웠으며, 대목의 경우 대조구와 공장 묘가 가장 두꺼웠음
- SPAD는 접수와 대목 모두 처리구에 비해 대조구, 성장조절제, 공장묘가 낮은 경향을 보였음
- 토마토 접수의 엽면적의 경우 EC10 ST3이 18.8cm²로 가장 넓었고, EC5 ST3이 15.1cm²로 그 다음이었음. 나머지 처리구의 경우 유의한 차이가 나타나지 않았음
- 대목의 경우 공장이 11.3cm²로 가장 넓었으며 접수와는 다르게 ST1의 처리구들이 다른 생육 단계에 비해 넓은 엽면적을 보였음



그림. 고염류 처리에 따른 토마토 접수·대목의 생육

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 토마토 접수·대목의 생육특성 비교

Crop	Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm ²)	
Tomato scion	Control	7.8 ± 1.1 cde ^z	1.9 ± 0.2 abc	31.8 ± 3.2 d	17.6 ± 3.4 c	
	PGR	6.6 ± 0.9 f	1.7 ± 0.3 cd	36.8 ± 2.5 c	14.5 ± 4.1 c	
	PFAL	11.5 ± 1.5 a	2.0 ± 0.2 ab	36.9 ± 3.5 c	22.6 ± 4.7 c	
	5	ST 1	8.4 ± 0.8 bcd	1.9 ± 0.2 abc	39.6 ± 2.3 bc	16.8 ± 2.6 c
		ST 2	9.2 ± 1.5 b	2.0 ± 0.3 a	42.5 ± 3.9 ab	21.6 ± 4.7 c
		ST 3	6.5 ± 0.8 f	1.5 ± 0.3 d	38.9 ± 3.2 c	15.1 ± 2.8 b
	10	ST 1	8.7 ± 1.6 bc	2.1 ± 0.2 a	40.0 ± 3.3 bc	18.7 ± 3.1 c
		ST 2	7.2 ± 1.1 ef	1.8 ± 0.4 bcd	43.5 ± 3.9 a	13.9 ± 1.8 c
		ST 3	7.3 ± 0.8 def	1.8 ± 0.2 bcd	39.6 ± 3.9 bc	18.8 ± 3.8 a
Tomato rootstock	Control	7.3 ± 0.5 cd	1.9 ± 0.2 a	28.2 ± 2.9 e	9.0 ± 1.1 bc	
	PGR	5.8 ± 0.7 e	1.5 ± 0.1 cd	29.4 ± 1.7 e	6.3 ± 0.9 df	
	PFAL	9.7 ± 1.6 a	1.9 ± 0.2 a	35.3 ± 3.5 d	11.3 ± 1.9 a	
	5	ST 1	6.6 ± 0.6 de	1.4 ± 0.2 d	40.2 ± 1.9 ab	8.2 ± 2.1 bcd
		ST 2	7.3 ± 1.0 cd	1.5 ± 0.2 cd	35.7 ± 4.1 d	7.7 ± 1.2 cde
		ST 3	8.4 ± 1.1 b	1.8 ± 0.2 ab	37.5 ± 3.9 bcd	6.6 ± 1.3 def
	10	ST 1	7.4 ± 0.4 cd	1.6 ± 0.2 bc	38.8 ± 2.5 abc	9.3 ± 1.5 b
		ST 2	7.1 ± 0.7 cd	1.4 ± 0.1 d	36.6 ± 2.0 cd	5.3 ± 0.7 e
		ST 3	7.5 ± 1.0 c	1.7 ± 0.2 b	40.4 ± 3.4 a	8.1 ± 3.0 bcd

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 대조구를 기준으로 하는 접수·대목의 왜화율의 경우 접수와 대목 모두 성장조절제가 가장 많은 왜화율을 보였으며, 공장묘가 접수 -46.4%, 대목 -33.7%로 가장 왜화율이 적은 것을 확인 할 수 있었음
- 고염류 처리구중 가장 왜화율이 높았던 처리구는 접수의 경우 EC5 ST3 처리구가 17.5%로 가장 높은 왜화율을 보였으며, 대목의 경우 EC5 ST1 처리구가 9.6%로 가장 높은 왜화율을 보였음
- 대목의 경우 EC5에서 생육단계가 증가함에 따라 왜화율이 낮아지는 경향을 보였고 EC10의 경우 처리구 간 유의한 차이는 나타나지 않았음

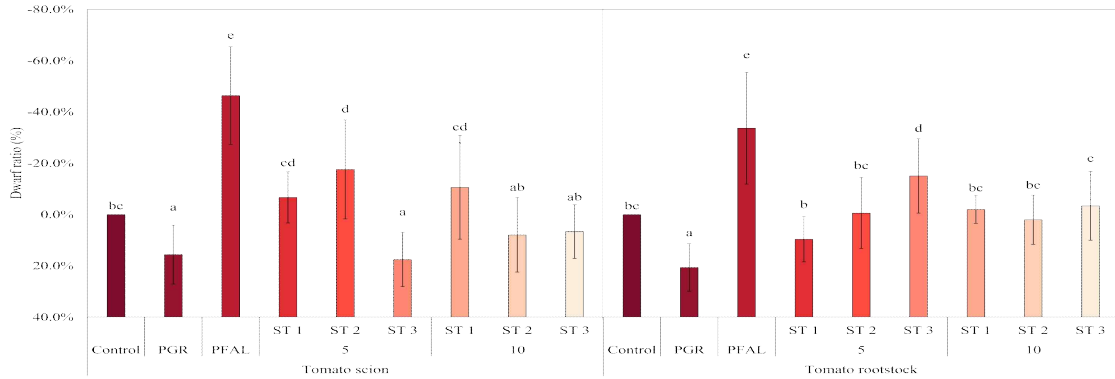


그림. KCl 처리에 따른 토마토 접수·대목의 왜화율

- 접수와 대목 모두 지상부 생체중은 초장이 가장 길었던 식물공장 처리구가 가장 무거웠으며, 접수의 경우 초장이 가장 짧았던 성장조절제 처리구와 EC5 ST3의 지상부 생체중이 가장 가벼웠고 대목은 성장조절제 처리구가 가장 가벼웠음
- 지하부 생체중은 접수와 대목 모두 대조구에서 각각 0.23, 0.16g으로 가장 무거웠음
- 접수는 지상부 생체중이 가장 가벼웠던 EC5 ST3이 지하부 생체중도 가장 가벼웠으며, 대목은 EC10 ST2의 생체중이 가장 가벼웠음
- 지상부 건물중과 지하부 건물중은 접수와 대목 모두 생체중과 약간의 차이는 있었으나 비슷한 경향을 보였음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 토마토 접수·대목의 무게 특성 비교

Crop	Treatment	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		
		Shoot	Root	Shoot	Root	
Tomato scion	Control	0.70 ± 0.14 c ^z	0.23 ± 0.03 a	0.05 ± 0.01bc	0.014 ± 0.003 a	
	PGR	0.54 ± 0.17 d	0.19 ± 0.06 ab	0.04 ± 0.01 cd	0.011 ± 0.003 b	
	PFAL	0.97 ± 0.20 a	0.18 ± 0.03 b	0.07 ± 0.02 a	0.010 ± 0.002 b	
	5	ST 1	0.67 ± 0.13 cd	0.16 ± 0.03 bc	0.05 ± 0.01 cd	0.009 ± 0.001 bc
		ST 2	0.88 ± 0.21 ab	0.20 ± 0.04 ab	0.06 ± 0.02 ab	0.010 ± 0.003 b
		ST 3	0.51 ± 0.11 d	0.13 ± 0.02 c	0.04 ± 0.01 d	0.007 ± 0.001 c
	10	ST 1	0.78 ± 0.18 bc	0.20 ± 0.04 ab	0.05 ± 0.01 cd	0.009 ± 0.002 b
		ST 2	0.54 ± 0.11 d	0.17 ± 0.03 bc	0.05 ± 0.01 cd	0.008 ± 0.002 bc
		ST 3	0.65 ± 0.14 cd	0.18 ± 0.05 b	0.05 ± 0.01 bc	0.009 ± 0.003 bc
	Tomato rootstock	Control	0.45 ± 0.04 c	0.16 ± 0.03 a	0.036 ± 0.007 cd	0.010 ± 0.002 a
		PGR	0.28 ± 0.04 e	0.14 ± 0.02 b	0.024 ± 0.007 e	0.008 ± 0.001 ab
		PFAL	0.65 ± 0.14 a	0.14 ± 0.03 b	0.053 ± 0.012 a	0.007 ± 0.002 bc
5		ST 1	0.35 ± 0.08 de	0.10 ± 0.03 de	0.030 ± 0.009 de	0.005 ± 0.002 e
		ST 2	0.38 ± 0.06 d	0.11 ± 0.02 de	0.032 ± 0.004 de	0.006 ± 0.001 de
		ST 3	0.49 ± 0.07 bc	0.12 ± 0.02 cde	0.044 ± 0.011 bc	0.007 ± 0.001 cd
10		ST 1	0.47 ± 0.04 c	0.13 ± 0.01 bc	0.038 ± 0.009 bcd	0.007 ± 0.001 bc
		ST 2	0.35 ± 0.03 de	0.10 ± 0.01 e	0.034 ± 0.005 d	0.005 ± 0.001 e
		ST 3	0.55 ± 0.12 b	0.12 ± 0.02 bcd	0.046 ± 0.013 ab	0.007 ± 0.001 cd

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 총실도는 요소질을 확인 할 수 있는 지표중 하나로, 총실도가 높을수록 안정적인 묘로 판단함
- 접수는 대조구의 총실도가 2.0mg·cm⁻¹로 가장 낮았으며, EC10 ST3이 7.2mg·cm⁻¹으로 가장 높음

- 수치였고 나머지 처리들은 수치 간 차이는 있었으나, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았음
- 대목은 생장조절제 처리구의 총실도가 가장 $4.3\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 으로 가장 낮았으며, 접수와 동일하게 EC10 ST3에서 가장 높았음
- EC5 ST3이 $5.4\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 처리구 중 가장 높은 총실도를 보였지만 접수와 동일하게 다른 처리구들과 유의한 차이가 나타나지 않았음

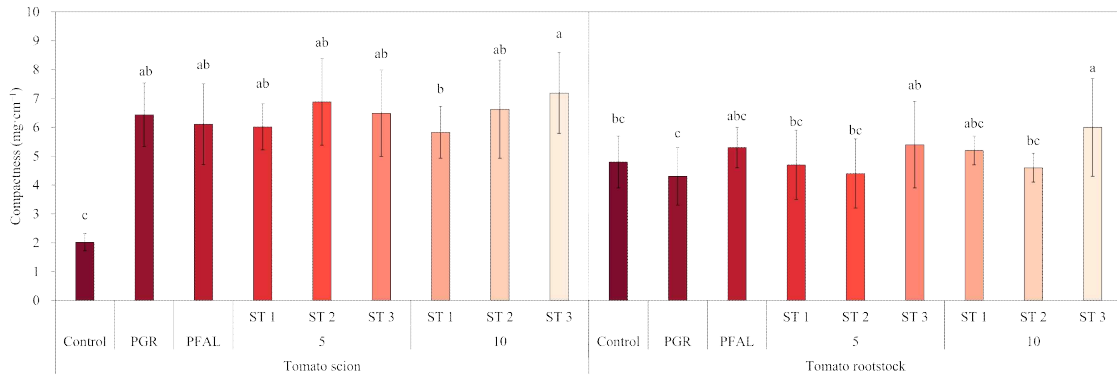


그림. KCl 처리에 따른 토마토 접수·대목의 총실도

- 토마토 접수의 근장은 지상부 생육과 지하부 생육이 가장 컸던 대조구가 158.30cm 로 가장 길었으며, EC5 ST3이 92.34cm 로 가장 작았는데 이는 EC5 ST3의 생육이 억제되며 지상부 뿐만 아니라 지하부 발달 또한 억제된 것으로 판단됨
- 대목 또한 지상부 발달이 가장 큰 식물공장 처리구가 109.2cm 로 가장 길었고, EC10 ST2가 75.2cm 로 가장 짧았음
- 뿌리 면적의 경우 접수와 대목 모두 대조구와 생장조절제 처리구에서 높은 수치를 보였고, 뿌리 부피, 평균 근경 또한 면적과 비슷한 경향을 보였음
- 접수의 근단수의 경우 뿌리 발달정도가 높았던 대조구와 생장조절제 처리구가 $624,20$ 638.70ea 로 가장 적었으며, 대목 또한 동일하였음
- 접수에서 근단수가 많았던 처리구는 EC5 ST2와 EC10 ST3이었으며, 대목은 EC5 ST2와 3, EC10 ST3이 가장 많았음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 토마토 접수·대목의 근권부 특성 비교

Crop	Treatment	Root length (cm)	Root surface (cm ²)	Root volume (cm ³)	Root average diameter (mm)	Ntips (ea)	
Tomato scion	Control	158.3 ± 26.4 a ^z	5.9 ± 1.1 a	0.37 ± 0.03 a	0.17 ± 0.04 a	624.20 ± 230.05 c	
	PGR	134.8 ± 31.5 abc	5.2 ± 1.7 ab	0.38 ± 0.04 a	0.16 ± 0.07 a	638.70 ± 145.90 c	
	PFAL	121.6 ± 15.9 c	3.9 ± 0.8 cd	0.32 ± 0.03 bc	0.10 ± 0.03 bc	787.90 ± 109.53 bc	
	5	ST 1	122.3 ± 31.0 c	4.0 ± 1.2 cd	0.32 ± 0.03 bc	0.10 ± 0.03 bc	792.10 ± 179.17 bc
		ST 2	149.6 ± 24.5 ab	4.8 ± 1.0 bc	0.32 ± 0.03 bc	0.12 ± 0.03 b	1057.60 ± 314.97 a
		ST 3	92.3 ± 17.0 d	2.7 ± 0.5 e	0.29 ± 0.02 d	0.06 ± 0.01 d	739.30 ± 198.76 bc
	10	ST 1	133.6 ± 25.7 abc	4.6 ± 1.0 bcd	0.34 ± 0.02 b	0.12 ± 0.03 b	798.90 ± 211.12 bc
		ST 2	123.7 ± 14.5 c	3.6 ± 0.6 de	0.29 ± 0.02 d	0.08 ± 0.01 cd	853.50 ± 212.71 b
		ST 3	125.1 ± 35.2 bc	3.8 ± 1.1 cd	0.31 ± 0.02 cd	0.09 ± 0.03 bcd	1065.90 ± 145.70 a
	Tomato rootstock	Control	103.9 ± 16.1 ab	3.7 ± 0.8 a	0.36 ± 0.03 a	0.11 ± 0.03 a	465.4 ± 121.2 c
PGR		97.4 ± 18.8 abc	3.5 ± 0.7 a	0.36 ± 0.04 a	0.10 ± 0.03 a	544.6 ± 83.0 c	
PFAL		109.2 ± 23.8 a	3.5 ± 0.8 bc	0.32 ± 0.02 bc	0.09 ± 0.02 ab	709.9 ± 130.1 ab	
5		ST 1	80.8 ± 20.3 cd	2.5 ± 0.8 bc	0.31 ± 0.03 bc	0.06 ± 0.03 cd	590.1 ± 97.0 bc
		ST 2	91.4 ± 15.7 abcd	2.7 ± 0.5 c	0.30 ± 0.02 c	0.07 ± 0.01 cd	757.2 ± 205.0 a
		ST 3	78.5 ± 19.0 cd	2.5 ± 0.6 bc	0.32 ± 0.02 bc	0.06 ± 0.02 cd	750.3 ± 166.9 a
10		ST 1	87.6 ± 23.4 bcd	2.9 ± 0.7 ab	0.33 ± 0.04 ab	0.08 ± 0.02 bc	596.3 ± 236.5 bc
		ST 2	75.2 ± 10.9 e	2.3 ± 0.3 c	0.30 ± 0.02 c	0.05 ± 0.01 d	737.5 ± 170.8 ab
		ST 3	88.5 ± 18.5 bcd	2.7 ± 0.6 c	0.31 ± 0.02 c	0.06 ± 0.02 cd	815.8 ± 121.8 a

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 모든 길이의 뿌리가 접수, 대목 모두 대부분 대조구에서 많이 나타났으며, 접수의 경우 EC5 ST3의 뿌리가 가장 발달이 저조하였음
- 대목의 경우 EC10 ST2의 뿌리 발달이 가장 저조하였는데, 이는 다른 처리구들에 비해 잔뿌리 발달 정도가 저조하여 근면적과 뿌리 볼륨이 적었던 것으로 판단됨
- 총길이의 경우 대조구의 뿌리가 158.3으로 가장 많았으며, 대목의 경우 식물공장의 뿌리가 109.2로 가장 많았음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 토마토 접수·대목의 뿌리 발달 비교

Crop	Treatment	< 0.5mm	0.5~1.0 mm	1.0~1.5 mm	1.5~2.0 mm	> 2.0 mm	Total	
Tomato scion	Control	134.0 ± 23.0 a ^z	19.0 ± 4.9 a	3.1 ± 1.3 a	0.9 ± 0.8 a	1.2 ± 0.4 a	158.3 ± 26.4 a	
	PGR	111.7 ± 21.2 b	17.3 ± 7.9 ab	3.8 ± 2.5 a	1.0 ± 0.8 a	1.1 ± 0.6 ab	134.8 ± 31.5 abc	
	PFAL	109.0 ± 12.9 b	10.0 ± 3.5 cde	1.3 ± 0.8 bc	0.5 ± 0.4 b	0.8 ± 0.5 abc	121.6 ± 15.9 c	
	5	ST 1	108.9 ± 26.8 b	10.8 ± 4.1 cde	1.5 ± 0.8 bc	0.5 ± 0.3 b	0.7 ± 0.5 bcd	122.3 ± 31.0 c
		ST 2	134.0 ± 21.2 a	12.9 ± 4.4 cd	1.7 ± 0.8 bc	0.4 ± 0.2 b	0.7 ± 0.4 bcd	149.6 ± 24.5 ab
		ST 3	83.6 ± 15.7 c	7.2 ± 2.1 e	0.8 ± 0.3 c	0.4 ± 0.2 b	0.3 ± 0.2 e	92.3 ± 17.0 d
	10	ST 1	116.8 ± 22.2 ab	13.6 ± 3.6 bc	2.0 ± 1.2 b	0.5 ± 0.2 b	0.6 ± 0.3 cde	133.5 ± 25.6 abc
		ST 2	113.1 ± 12.5 ab	8.9 ± 2.4 de	0.9 ± 0.4 bc	0.5 ± 0.3 b	0.3 ± 0.3 de	123.7 ± 14.5 c
		ST 3	112.9 ± 31.6 ab	10.0 ± 3.5 cde	1.2 ± 0.6 bc	0.3 ± 0.2 b	0.6 ± 0.4 cde	125.1 ± 35.2 bc
	Tomato rootstock	Control	89.4 ± 12.9 ab	11.2 ± 3.4 a	1.8 ± 0.9 a	0.7 ± 0.5 a	0.8 ± 0.4 ab	103.9 ± 16.1 ab
		PGR	83.8 ± 16.6 abc	10.2 ± 3.9 ab	1.9 ± 0.9 a	0.7 ± 0.4 ab	0.8 ± 0.4 a	97.4 ± 18.8 abc
		PFAL	97.3 ± 21.4 a	9.4 ± 3.0 ab	1.2 ± 0.5 b	0.5 ± 0.3 abc	0.7 ± 0.3 ab	109.2 ± 23.8 a
5		ST 1	72.6 ± 17.7 bc	6.2 ± 2.5 cd	0.9 ± 0.8 b	0.6 ± 0.4 abc	0.5 ± 0.4 bc	80.8 ± 20.3 cd
		ST 2	83.4 ± 14.4 abc	6.4 ± 1.7 d	0.7 ± 0.3 b	0.5 ± 0.3 abc	0.4 ± 0.3 bc	91.4 ± 15.7 abc
		ST 3	69.9 ± 16.8 c	6.8 ± 2.2 cd	0.9 ± 0.4 b	0.4 ± 0.2 bc	0.6 ± 0.4 abc	78.5 ± 19.0 cd
10		ST 1	77.6 ± 22.1 bc	8.0 ± 2.2 bc	1.2 ± 0.7 b	0.4 ± 0.2 c	0.5 ± 0.3 abc	87.6 ± 23.4 bcd
		ST 2	68.7 ± 10.1 c	4.9 ± 1.5 cd	0.6 ± 0.3 b	0.6 ± 0.3 abc	0.3 ± 0.1 c	75.2 ± 10.9 d
		ST 3	79.8 ± 16.2 bc	6.8 ± 2.3 cd	0.8 ± 0.6 b	0.4 ± 0.3 abc	0.6 ± 0.4 abc	88.5 ± 18.5 bcd

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 엽록소형광 조사 결과 접수와 대목 모두 성장조절제 처리구에서 유독 낮은 것을 확인 할 수 있었음
- 또한, 접수의 엽류 처리구들의 O-J-I-P 전이는 비교적 잘 이루어졌으나, 대조구의 J-I 구간에서의 전이가 다른 처리구들에 비해 잘 이루어지지 않은 것으로 나타났음
- 대목 또한 대조구의 J-I 구간에서의 전이가 다른 처리구들에 비해 잘 이루어지지 않았으며, EC5 ST1처리구 또한 J-I 구간에서의 전이가 잘 이루어지지 못한 것을 확인 할 수 있었음
- 접수의 대조구와 성장조절제 처리구, 대목의 대조구와 성장조절제 처리구, EC5 ST1 처리구를 제외한 고염류 처리구의 전이과정은 매우 유사하였으며, 각 수처에 이상 변형 또한 나타나지 않았음
- 이를 통해 고염류 처리에 따른 광계 II의 광화학적 반응 효율 차이는 거의 없었던 것으로 판단됨

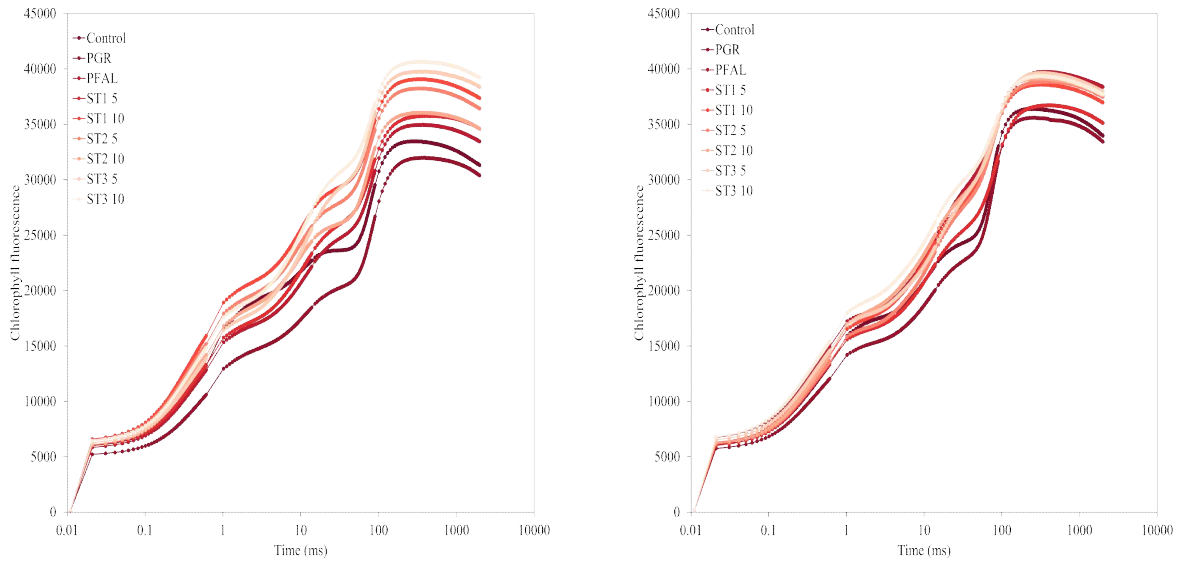


그림. 토마토 접수·대목 OJIP변화 곡선

▶ 생육 단계 별 KCL 처리를 통한 오이 접수 및 대목의 생육 억제 효과

- 오이 접수의 초장은 대조구가 11.6cm로 가장 길었고, 대목은 EC5 ST2 가 9.6cm로 가장 길었으며, 접수와 대목 모두 EC10 ST2에서 초장이 가장 짧았음
- 경경은 접수와 대목 모두 성장조절제 처리구에서 두꺼웠고, 대목의 경우 EC 5 처리의 경경 또한 두꺼운 것을 확인할 수 있었음
- SPAD의 경우 EC10 ST2의 엽색이 가장 진했으며, 대목은 수치간의 차이는 있었으나 통계적 유의성은 없었음
- 접수의 엽면적은 EC5의 처리구와 EC10 ST1 이 대조구와 식물공장, 성장조절제 처리구에 비해 넓었으며, 대목의 경우 대조구와 EC10 ST1이 가장 넓었음

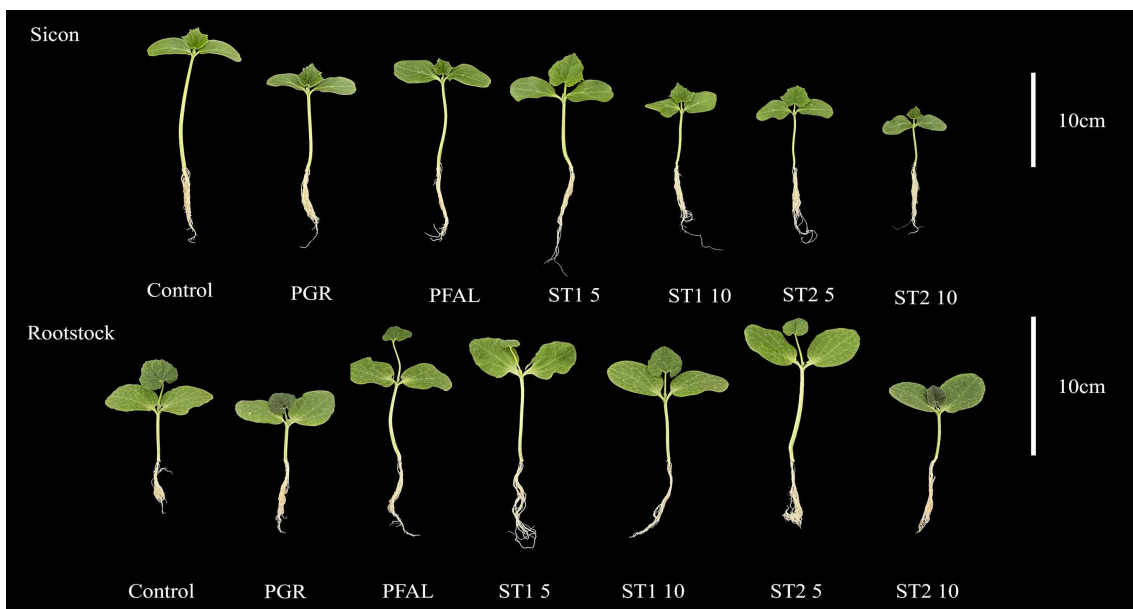


그림. 고염류 처리에 따른 오이 접수·대목의 생육

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 오이 접수·대목의 생육특성 비교

Crop	Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD	Leaf area (cm ²)	
Cucumber scion	Control	11.6 ± 1.0 a ^z	1.9 ± 0.2 d	43.1 ± 3.9 c	21.4 ± 1.3 b	
	PGR	6.8 ± 0.9 c	2.6 ± 0.2 a	49.4 ± 3.5 ab	19.0 ± 1.4 b	
	PFAL	6.6 ± 0.7 c	1.9 ± 0.1 d	47.4 ± 3.0 b	22.0 ± 2.3 b	
	5	ST 1	7.0 ± 1.2 c	2.2 ± 0.2 b	43.6 ± 2.2 c	28.7 ± 7.6 a
		ST 2	7.9 ± 1.2 b	2.1 ± 0.2 bc	41.7 ± 2.1 c	28.0 ± 7.2 a
	10	ST 1	6.5 ± 0.7 c	2.1 ± 0.2 bcd	44.0 ± 2.7 c	28.0 ± 4.4 a
		ST 2	3.9 ± 0.7 d	1.9 ± 0.2 cd	51.5 ± 3.3 a	17.9 ± 2.1 b
	Cucumber rootstock	Control	6.6 ± 0.8 c	3.1 ± 0.3 ab	48.1 ± 3.8 a	64.1 ± 13.1 a
PGR		4.6 ± 0.6 d	3.3 ± 0.3 a	53.0 ± 4.5 a	52.5 ± 7.1 c	
PFAL		9.1 ± 1.1 ab	2.8 ± 0.3 c	49.4 ± 4.0 a	53.4 ± 10.9 bc	
5		ST 1	8.3 ± 2.1 b	3.3 ± 0.3 a	46.6 ± 3.9 a	62.3 ± 8.6 ab
		ST 2	9.6 ± 1.4 a	3.4 ± 0.3 a	48.5 ± 6.3 a	54.6 ± 11.4 bc
10		ST 1	6.6 ± 1.0 c	2.9 ± 0.3 bc	45.3 ± 4.9 a	64.1 ± 8.4 a
		ST 2	5.1 ± 0.9 d	3.0 ± 0.4 bc	53.2 ± 18.1 a	41.5 ± 4.2 d

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 접수는 모든 처리구가 대조구에 비해 생육이 억제된 것을 확인 할 수 있었음
- 그 중, EC10 ST2가 66.3%로 가장 많이 억제되었으며, EC5 ST2를 제외한 처리구들은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았음
- 대목은 생장조절제 처리구와 EC10 ST2를 제외한 나머지 처리구들의 생육 억제 정도가 저조하였고 그 중, EC5 ST2가 -45.9%로 가장 생육억제 효과가 낮았음

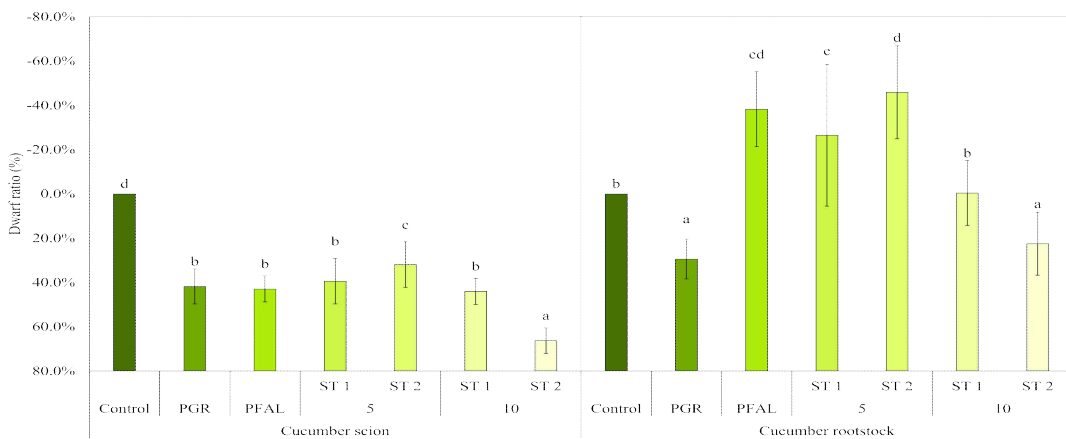


그림. KCl 처리에 따른 오이 접수·대목의 왜화율

- 지상부 생체중은 생육억제 정도가 가장 높았던 접수의 EC10 ST2가 0.81g으로 접수 처리구중 가장 가벼웠으며, 대목은 생장조절제 처리구와 EC10 ST2가 각각 2.97, 2.37g으로 가벼웠음
- 접수의 경우 가장 가벼웠던 EC10 ST2와 생장조절제, 식물공장 처리구를 제외한 처리구들의 차이가 없었으며, 이는 대목도 생장조절제, EC10 ST2를 제외한 처리구들간의 차이는 보이지 않았음
- 지하부 생체중의 경우 접수와 대목 모두 EC5 ST1과 EC10 ST1에서 가장 무거웠으며, EC10 ST2에서 가장 가벼웠음
- 건물중은 접수에서 EC10 ST1이 0.070g으로 가장 가벼웠고, 대목의 경우 생체중과 동일하게 EC10 ST2이 0.174g로 가장 가벼웠음
- 접수의 지상부 건물중의 경우 가장 가벼웠던 EC ST1을 제외한 처리구들 간의 유의한 차이가 없었음
- 지하부 건물중은 접수는 모든 처리구들이 유의한 값을 보였으며, 대목의 경우 지하부 생체중이 가장 가벼웠던 EC10 ST2가 0.034g으로 가장 무거웠음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 오이 접수·대목의 무게 특성 비교

Crop	Treatment	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		
		Shoot	Root	Shoot	Root	
Cucumber scion	Control	1.35 ± 0.11 a ^z	0.35 ± 0.06 bc	0.091 ± 0.007 a	0.012 ± 0.002 a	
	PGR	1.12 ± 0.09 b	0.39 ± 0.06 ab	0.085 ± 0.007 a	0.013 ± 0.002 a	
	PFAL	1.04 ± 0.08 b	0.34 ± 0.05 c	0.080 ± 0.012 ab	0.014 ± 0.003 a	
	5	ST 1	1.50 ± 0.40 a	0.43 ± 0.09 a	0.093 ± 0.022 a	0.013 ± 0.003 a
		ST 2	1.39 ± 0.36 a	0.41 ± 0.05 ab	0.085 ± 0.015 a	0.013 ± 0.002 a
	10	ST 1	1.40 ± 0.20 a	0.42 ± 0.06 a	0.070 ± 0.011 b	0.013 ± 0.002 a
		ST 2	0.81 ± 0.12 c	0.33 ± 0.04 c	0.088 ± 0.016 a	0.013 ± 0.003 a
	Cucumber rootstock	Control	3.71 ± 0.30 a	0.75 ± 0.16 abc	0.226 ± 0.051 a	0.029 ± 0.008 abc
PGR		2.97 ± 0.33 b	0.82 ± 0.09 ab	0.221 ± 0.030 ab	0.033 ± 0.005 ab	
PFAL		3.59 ± 0.57 a	0.70 ± 0.14 bc	0.195 ± 0.042 abc	0.025 ± 0.006 c	
5		ST 1	4.00 ± 0.48 a	0.86 ± 0.12 a	0.191 ± 0.018 abc	0.028 ± 0.004 bc
		ST 2	3.60 ± 0.52 a	0.65 ± 0.12 c	0.184 ± 0.030 bc	0.025 ± 0.005 c
10		ST 1	3.79 ± 0.66 a	0.86 ± 0.18 a	0.198 ± 0.032 abc	0.028 ± 0.006 bc
		ST 2	2.37 ± 0.57 c	0.66 ± 0.05 c	0.174 ± 0.049 c	0.034 ± 0.005 a

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 오이 접수의 총실도는 대조구가 $7.8\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 낮았으며, EC10 ST2가 $22.7\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 컸음
- 나머지 처리구들은 수치간 차이는 있었으나 통계적으로 유의하지 않았음
- 대목의 경우 생장조절제 처리구가 $48.7\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 컸고, 식물공장과 EC5 ST2가 $21.4, 19.6\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로 가장 작았음
- EC10 ST2가 접수와 대목 모두 처리구 중 가장 총실도가 높은 것을 확인 할 수 있었음

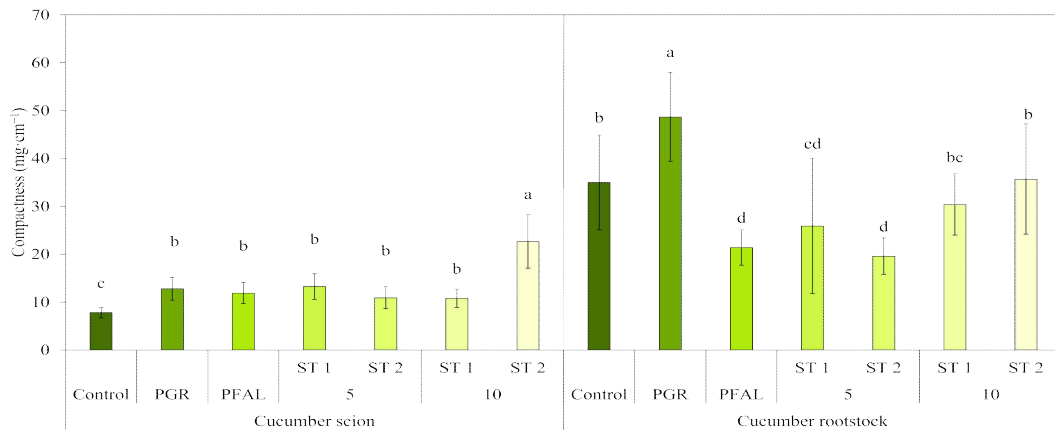


그림. KCl 처리에 따른 오이 접수·대목의 총실도

- 오이 접수의 근장은 뿌리 생체중이 가장 무거웠던 EC5 ST1와 EC10 ST1이 215.8, 216.5cm로 가장 길었으며, 대조구의 근장이 138.8cm로 가장 짧았음
- 대목 또한 지하부 생체중이 무거웠던 EC5 ST1이 371.2cm로 가장 길었으며, EC10 ST1의 경우 저조한 근장을 보였음
- 뿌리볼륨은 접수의 경우 EC5 ST2에서 0.59cm^3 로 가장 컸지만, EC10 처리구들을 제외한 처리구들과 유의한 차이는 없었음
- 대목은 EC10 ST1이 0.72cm^3 으로 가장 컸으며 식물공장 처리구가 0.41cm^3 으로 가장 작은 것을 확인 하였음
- 평균 근경의 경우 접수와 대목 모두 특정 처리구를 제외한 처리구들 간의 유의한 차이는 발생하지 않았음

- 대목의 근단수의 경우 뿌리 발달이 다른 처리구에 비해 저조 하였던 식물공장 처리구가 가장 많았으며, 가장 적은 근단수를 가진 처리구는 뿌리 면적과, 부피가 가장 컸던 EC10 ST1 처리구였음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 오이 접수·대목의 근권부 특성 비교

Crop	Treatment	Root length (cm)	Root surface (cm ²)	Root volume (cm ³)	Root average diameter (mm)	Ntips (ea)	
Cucumber scion	Control	138.8 ± 8.4 c ^z	6.6 ± 1.4 bc	0.48 ± 0.12 ab	0.26 ± 0.14 b	637.0 ± 97.6 b	
	PGR	176.5 ± 20.6 b	8.6 ± 1.3 abc	0.49 ± 0.08 ab	0.34 ± 0.10 ab	798.4 ± 213.1 b	
	PFAL	193.4 ± 45.5 ab	9.4 ± 4.1 a	0.48 ± 0.14 ab	0.39 ± 0.28 ab	118.3 ± 347.6 a	
	5	ST 1	215.8 ± 32.3 a	10.2 ± 2.9 a	0.49 ± 0.19 ab	0.42 ± 0.32 ab	1209.9 ± 387.4 a
		ST 2	196.7 ± 43.2 ab	11.0 ± 4.1 a	0.59 ± 0.31 a	0.58 ± 0.48 a	1210.6 ± 335.8 a
	10	ST 1	216.5 ± 34.5 a	9.1 ± 1.5 ab	0.42 ± 0.07 b	0.31 ± 0.09 b	1243.8 ± 337.5 a
		ST 2	165.4 ± 29.7 bc	6.5 ± 1.3 c	0.39 ± 0.05 b	0.20 ± 0.06 b	1098.9 ± 266.6 a
	Cucumber rootstock	Control	262.2 ± 71.6 bcd	12.9 ± 4.9 b	0.48 ± 0.08 bc	0.51 ± 0.26 b	1701.3 ± 398.1 bc
PGR		294.1 ± 43.1 bc	13.5 ± 4.3 b	0.45 ± 0.10 bc	0.51 ± 0.29 b	1901.5 ± 445.0 b	
PFAL		314.5 ± 80.8 ab	13.0 ± 4.5 b	0.41 ± 0.06 c	0.43 ± 0.20 b	2618.1 ± 803.1 a	
5		ST 1	371.2 ± 81.4 a	24.2 ± 13.5 a	0.62 ± 0.26 ab	1.42 ± 1.21 a	2367.3 ± 649.5 a
		ST 2	224.2 ± 76.8 d	11.7 ± 6.1 b	0.51 ± 0.15 bc	0.52 ± 0.48 b	1100.2 ± 275.2 d
10		ST 1	286.4 ± 61.7 bcd	20.5 ± 9.6 a	0.72 ± 0.33 a	1.35 ± 1.13 a	1215.4 ± 355.1 d
		ST 2	236.4 ± 31.4 cd	12.2 ± 3.1 b	0.51 ± 0.10 bc	0.51 ± 0.24 b	1335.7 ± 225.2 cd

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 접수와 대목 모두 EC5 ST1가 가장 많은 뿌리 발달을 보였으며, 전체적으로 접수에서는 대조구, 대목은 EC5 ST2 가 가장 저조하였음
- 접수와 대목 모두 뿌리 길이가 발달함에 따라 처리구간의 유의한 차이를 보이지 않는 경향을 보였으며, 특히 세근의 경우 고염류 처리가 성장조절제에 비해 많이 발달하였는데, 이는 성장 조절제 이용시 뿌리 과도한 억제로 인해 지하부의 발달이 저조 하였던 것으로 판단됨
- 토마토 또한 특정 처리구를 제외한 나머지 처리구는 성장조절제 처리구에 비해 발달된 것을 확인할 수 있었음

표. KCl 처리에 따른 생육단계별 오이 접수·대목의 뿌리 길이 발달 비교

Crop	Treatment	< 0.5mm	0.5~1.0 mm	1.0~1.5 mm	1.5~2.0 mm	> 2.0 mm	Total	
Cucumber scion	Control	107.3 ± 8.0 c ^z	23.7 ± 2.9 d	4.5 ± 1.6 ab	1.5 ± 0.6 ab	1.5 ± 1.0 a	138.4 ± 8.8 c	
	PGR	134.0 ± 21.7 b	31.3 ± 5.2 bc	6.4 ± 1.8 a	2.4 ± 0.8 a	2.1 ± 1.2 a	176.1 ± 20.8 b	
	PFAL	150.2 ± 38.3 ab	35.1 ± 10.4 b	5.0 ± 1.8 ab	1.4 ± 0.7 ab	0.9 ± 0.7 a	192.6 ± 44.9 ab	
	5	ST 1	161.1 ± 29.5 ab	42.8 ± 9.1 a	6.7 ± 3.1 a	2.2 ± 1.3 a	2.2 ± 2.6 a	215.0 ± 33.4 a
		ST 2	150.9 ± 35 ab	34.8 ± 9.0 b	5.6 ± 3.3 ab	2.1 ± 2.0 a	1.9 ± 2.0 a	195.2 ± 43.7 ab
	10	ST 1	170.5 ± 30.3 a	37.6 ± 7.9 ab	4.9 ± 1.5 ab	1.6 ± 0.7 ab	1.7 ± 1.5 a	216.3 ± 34.5 a
		ST 2	135.1 ± 26.2 b	24.9 ± 5.7 cd	3.5 ± 2.1 b	0.9 ± 0.9 b	1.0 ± 0.9 a	165.3 ± 29.8 bc
	Cucumber rootstock	Control	190.6 ± 48 cd	53.5 ± 15.7 b	10.3 ± 5.6 b	3.7 ± 2.2 ab	3.3 ± 2.4 a	261.4 ± 71.1 bcd
PGR		223.8 ± 30.1 bc	52.8 ± 11.4 b	10.2 ± 3.4 b	3.4 ± 1.9 b	3.2 ± 3.0 a	293.3 ± 42.5 bc	
PFAL		242.8 ± 59.4 ab	56.6 ± 18.1 ab	9.3 ± 4.7 b	2.9 ± 1.9 b	2.5 ± 2.6 a	314.1 ± 80.4 ab	
5		ST 1	271.7 ± 48.1 a	64.9 ± 19.9 ab	15.0 ± 8.0 a	6.9 ± 5.3 a	7.1 ± 7.6 a	365.6 ± 77.7 a
		ST 2	151.4 ± 52.1 d	55.6 ± 17.9 b	8.8 ± 4.2 b	3.9 ± 3.0 ab	3.3 ± 5.6 a	223.0 ± 75.8 d
10		ST 1	183.4 ± 37.9 cd	71.5 ± 18.3 a	15.1 ± 4.4 a	6.1 ± 4.9 ab	6.6 ± 9.3 a	282.7 ± 58.3 bcd
		ST 2	167.7 ± 23.8 d	51.5 ± 7.3 b	9.8 ± 3.8 b	4.0 ± 2.2 ab	2.8 ± 3.0 a	235.9 ± 31.2 cd

^zMeans with the same letters were not significantly according to Duncan's multiple range test (DMRT) at $p \leq 0.05$

- 오이 접수의 경우 고염류 처리의 O-J-I-P 전이가 대조구, 식물공장 및 성장조절제 처리구에 비해 높은 형광 값을 보였음
- 반면, 대목의 경우 EC10 ST1의 형광 값이 가장 높았지만, 다른 고염류 처리의 경우 대조구에 비해 낮았으며, ST2 처리구들의 경우 성장조절제와 식물공장 처리구에 비해 낮은 것을 확인할 수 있었음
- 그러나, O-J-I-P 전이 곡선이 유사하였으며, 이를 통해 고염류 스트레스가 광계 II 시스템에는 직접적인 손상을 야기하지 않았다고 사료됨

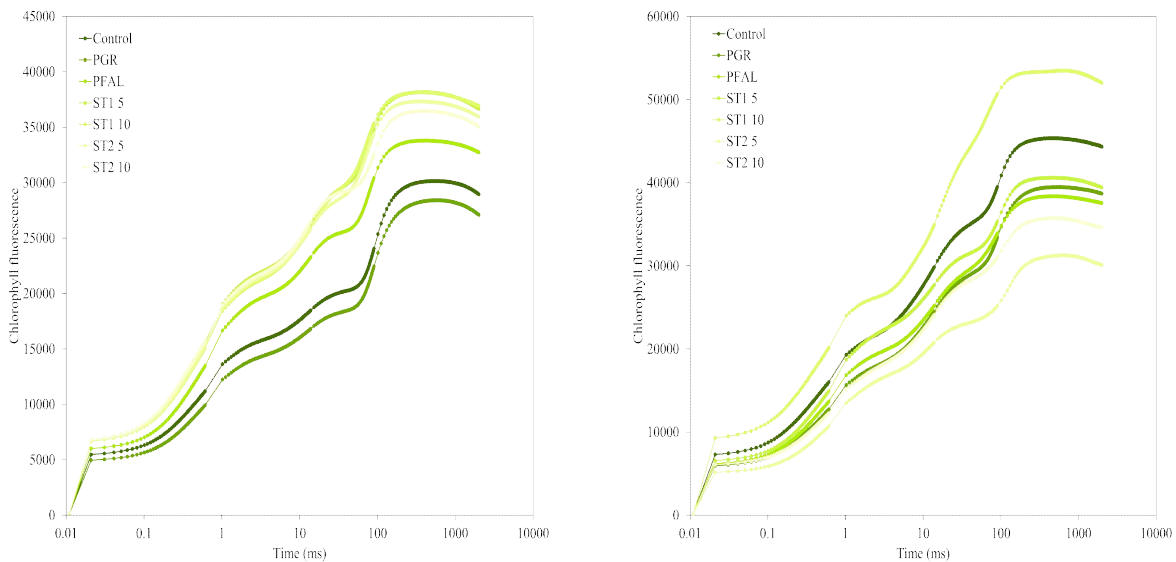


그림. 오이 접수·대목 OJIP변화 곡선

- 종합적으로 토마토와 오이 모두 OJIP변화를 보았을 때 고염류 처리시 광계II의 광화학적 반응 효율 차이는 거의 없었던 것으로 판단됨
- 토마토의 경우 접수와 대목 모두 EC10 ST3이 다른 처리구에 비해 높은 총실도를 보였으나, 왜화율을 고려하였을 때 접수는 총실도에 유의한 차이가 없고 왜화율이 높은 EC5 ST3을 처리구를 이용하는 것이 유리할 것이라고 사료되며, 대목의 경우 성장억제를 위해 EC10 ST1의 처리가 적절할 것이라고 판단됨
- 오이의 경우 접수와 대목 모두 억제효과가 높고, 총실도가 높은 EC10 ST2를 이용하는 것이 가장 적절할 것으로 판단됨
- 또한, 뿌리 발달을 고려하였을 때, 뿌리 발달이 다른 처리구들에 비해 높았던 EC5 ST1를 이용할 경우 정식 후 생육에 긍정적인 영향을 기대할 수 있음
- 관행적인 육묘 방법은 인력이 많이 필요한 전통적인 작업 방식으로 진행되고 있음. 본 연구과제 수행을 통해 폐쇄형 육묘장치라는 새로운 방법을 제시해 줌으로써 첨단육묘산업으로의 진출이 가능해 질 것으로 판단됨
- 또한, UV-B 및 고염류(KCL)의 처리를 통해 폐쇄형 육묘장치에서 성장억제제를 사용하지 않고 생육을 억제시킨 작고 단단한 고품질의 묘의 생산이 가능해졌으며, 이를 기반으로 무농약 무병묘의 친환경 묘 생산을 통해 과채류 묘의 해외 수출 규모가 더 커질 것으로 기대됨

▪ 연구내용 3 : 고농도 CO₂ 처리에 따른 과채류 묘의 엽록소 형광 및 광합성률 비교를 통한 한계 농도 구명

▶ 고농도 CO₂ 처리에 따른 오이의 엽록소형광 반응

- 최대 양자수율로 알려져있는 F_v/F_m은 식물이 정상적인 생육을 할 때 0.78-0.84의 값을 나타낸다고 알려져 있음. 대조구 및 10%처리에서 0.8 이상으로 정상 생육 범위를 나타냈으나, 20%처리 이후 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였음
- 통합적으로 나타내는 광합성 활성 정도인 Pi_{Abs}는 대조구가 4.14로 가장 높은 값을 나타냈음. CO₂ 처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였음
- 식물이 스트레스를 받게 되면 값이 증가하는 엽록소 형광 매개변수인 ABS/RC 및 DI_o/RC는 CO₂ 처리 농도가 짙어짐에 따라 증가하는 경향을 보였음
- 흡수된 광자의 고정 효율 값인 TR_o/RC는 20%처리까지 1.70으로 증가했으나, 이후 처리의 농도가 짙어질수록 감소하는 경향을 보였음
- 전자전달효율을 나타내는 값인 ET_o/RC는 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였음

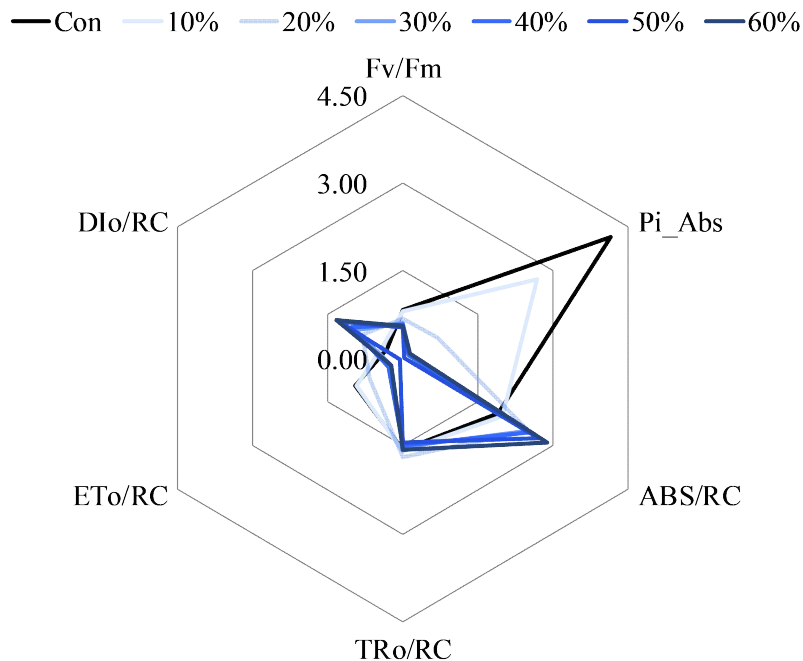


그림. 고농도 CO₂처리 1일차 오이의 엽록소형광

- F_v/F_m은 대조구와 10%처리 까지 정상 범주인 0.78 이상의 값을 보였음. 이후 20%처리부터 급격하게 감소하다 60%처리에서 0.28로 증가하였음
- Pi_{Abs}는 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보이다 60%처리에서 다시 회복하였음
- ABS/RC 및 DI_o/RC는 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 30%처리까지 각각 14.54 및 13.24로 증가하는 경향을 보였으나, 이후 처리 농도가 짙어질수록 감소하는 경향을 보임
- TR_o/RC는 10%처리에서 1.63으로 가장 높은 값을 보였으며, 60%처리에서 1.24로 가장 낮은 값을 보임
- ET_o/RC는 대조구에서 0.93으로 가장 높은 값을 보였으며, 이후 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보임

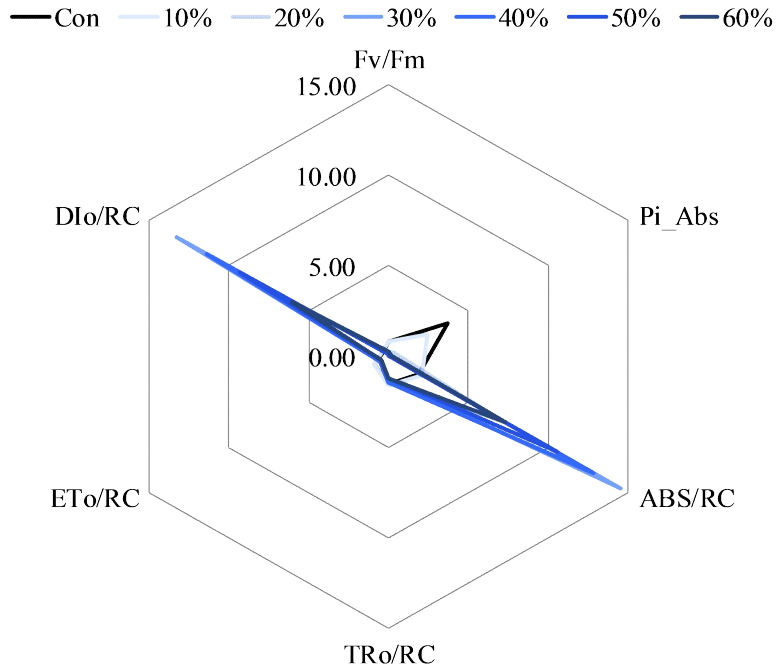


그림. 고농도 CO₂처리 2일차 오이의 엽록소 형광

▶ 고농도 CO₂ 처리에 따른 오이의 광합성을 변화

- 건조 1일차에서 10%처리가 8.1 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 가장 높은 증산량을 보였으며, 대조구에 비해 385% 증가한 값을 보였음. 처리 농도가 짙어질수록 증산량이 감소하는 경향을 보였으며 40%처리 이후로 2.1 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹인 대조구에 비해 낮은 값을 보였음
- 건조 2일차에서 처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 건조 1일차에 비해 30%처리를 제외하고 평균적으로 35.4% 감소한 값을 보였음
- 대조구에서 건조 1일차 2.1 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 0일차에 비해 35% 감소하였으나, 건조 2일차에 4.0 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 0일차에 비해 22% 증가하였음
- 대조구를 제외한 모든 처리구에서 건조 1일차에 증산량이 증가하였으나, 건조 2일차에 증산량이 감소하는 경향을 보였음

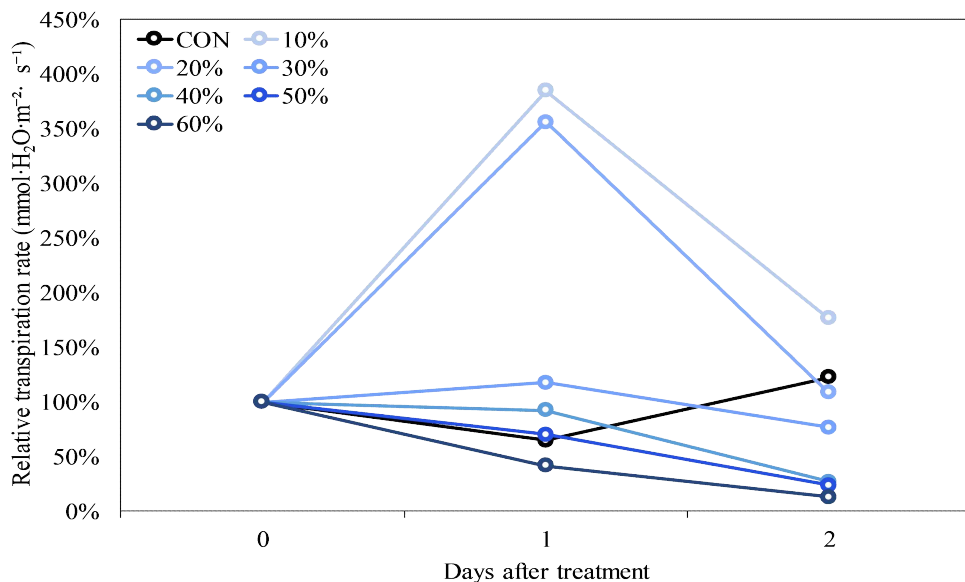


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 오이의 증산량 변화

- 건조 1일차에서 10%처리를 제외한 모든 처리구의 광합성률이 감소한 값을 보였음
- 건조 2일차에서 대조구 및 10%처리는 1일차에 비해 약 52% 증가한 값을 볼수있으며, 20%처리부터 농도가 짙어짐에 따라 광합성률이 감소하였음
- 10%처리는 모든 일차에서 각각 7.2 및 10.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 큰 값을 나타냈음
- 10%처리를 제외한 모든 처리구에서 건조 시간이 흐름에 따라 광합성률이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 10%처리는 건조에 따른 스트레스가 적은 것을 알수있음

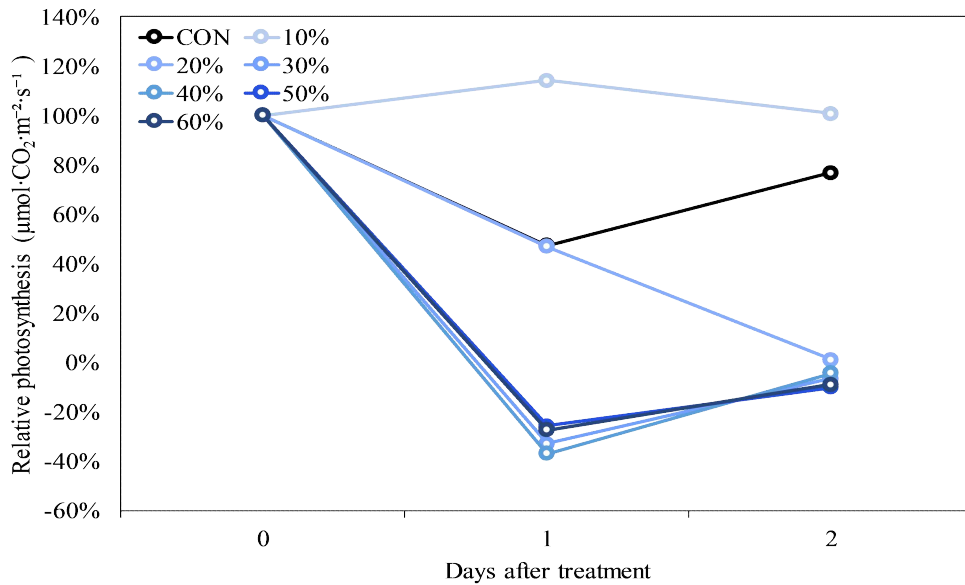


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 오이의 광합성률 변화

- 엽육 내 CO₂는 광합성을 수행하는데 필요한 가스교환이 원활히 이루어지지 않는지를 알수 있는 지표임
- 건조 1일차에서 엽육 내 CO₂는 모든 처리구에서 대조구 보다 높은 값을 보였으며, 처리의 농도가 짙어짐에 따라 증가하여 60%처리일 때 452.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{air}^{-1}$ 로 가장 큰 값을 보였음
- 건조 2일차에서 대조구는 1일차에 비해 6% 증가한 값을 보였으나, 모든 처리구에서 1일차에 비해 평균 2% 감소하였음
- 모든 일차에서 60%처리가 각각 452.5 및 443.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{air}^{-1}$ 으로 가장 높은 값을 보였으며, 대조구가 각각 296.3 및 315.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{air}^{-1}$ 으로 가장 낮은 값을 보였음

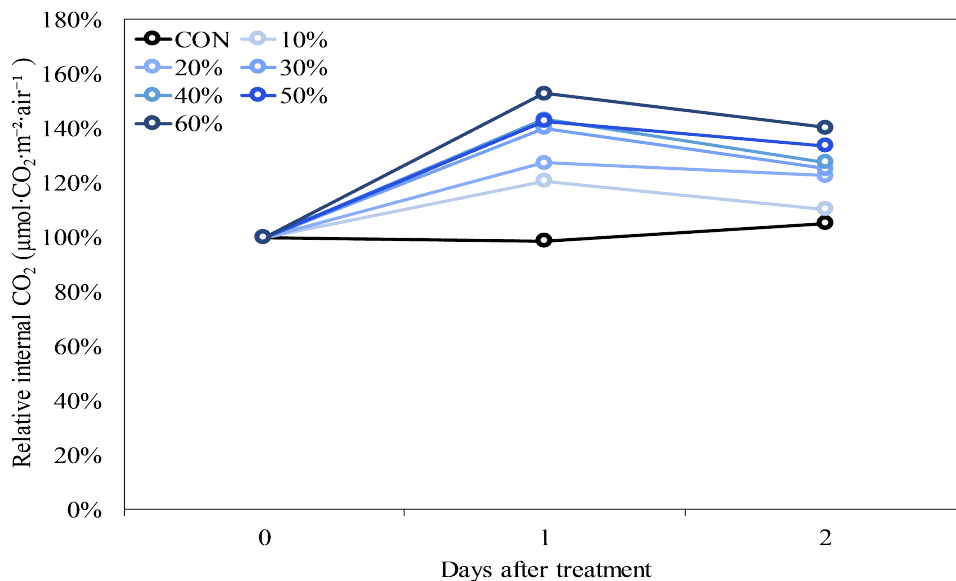


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 오이의 엽육내 CO₂ 변화

- 기공전도도는 건조 1일차에서 처리농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였음. 대조구의 경우 $0.116 \mu\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 0일차에 비해 42% 감소하였으며, 10%처리에서 $0.591 \mu\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 큰 값을 보였음
- 건조 2일차에서 1일차와 동일하게 처리농도가 짙어짐에 따라 기공전도도가 감소하는 경향을 보였음. 대조구의 경우 1일차에 비해 116% 증가한 $0.251 \mu\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 였으며, 각 처리구는 1일차에 비해 평균 46% 감소한 값을 얻음

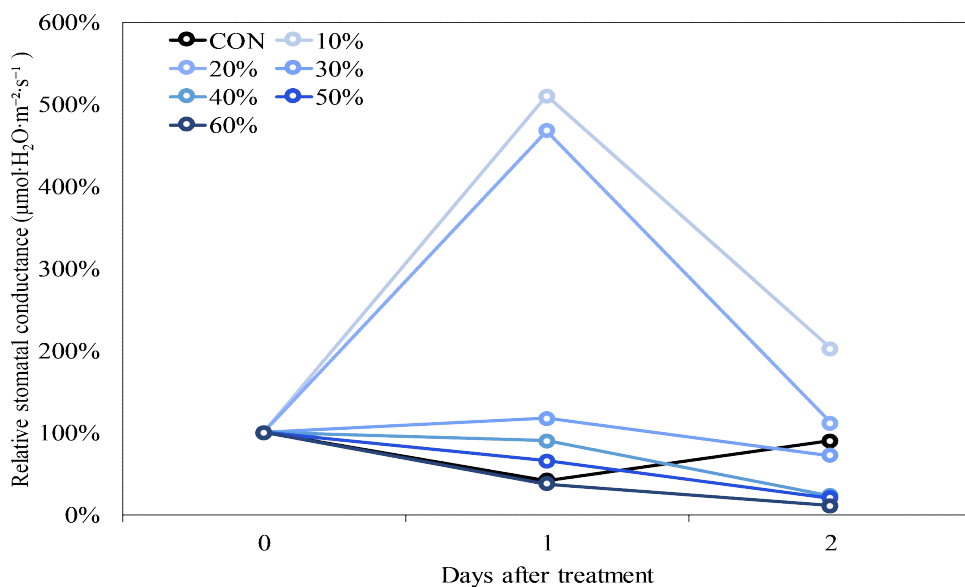


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 오이의 기공전도도 변화

▶ 고농도 CO₂ 처리에 따른 토마토의 엽록소형광 반응

- 최대 양자수율로 알려져있는 F_v/F_m 은 식물이 정상적인 생육을 할 때 0.78-0.84의 값을 나타낸다고 알려져 있음. 대조구, 10%, 20% 및 30%처리에서 0.8 이상으로 정상 생육 범위를 나타냈음. 이후 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 감소하는 경향을 보였음
- 통합적으로 나타내는 광합성 활성 정도인 P_i_{Abs} 는 30%처리가 5.27로 가장 높은 값을 50%처리에서 0.72로 가장 낮은 값을 나타내었음
- 식물이 스트레스를 받게되면 값이 증가하는 엽록소 형광 매개변수인 ABS/RC 및 DI_0/RC 는 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 증가하는 경향을 보였음
- 흡수된 광자의 고정 효율 값인 TR_0/RC 는 50%처리까지 증가하는 경향을 보였으나, 60%처리에서 1.60으로 감소하였음
- 전자전달효율을 나타내는 값인 ET_0/RC 는 CO₂처리 농도가 짙어짐에 따라 40%처리 까지 감소하는 경향을 보였음

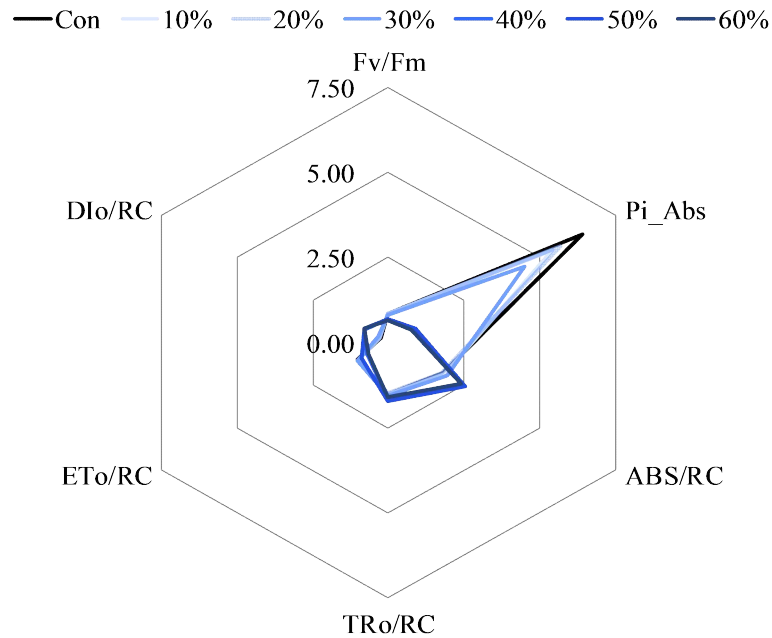


그림. 고농도 CO₂처리 1일차 토마토의 엽록소 형광

- F_v/F_M은 대조구, 10%, 20%, 및 30%처리에서 정상 범주인 0.8 이상의 값을 나타내었음. 이후 처리의 농도가 짙어질수록 감소하는 경향을 보였음
- Pi_{Abs}는 30%처리에서 5.27로 가장 높은 값을 보였으며 50%처리에서 0.72로 가장 낮은 값을 보였음
- ABS/RC 및 D_{l0}/RC는 처리농도가 짙어짐에 따라 증가하는 경향을 보임
- TR₀/RC는 50% 및 60%처리에서 대조구에 비해 17% 감소하였음
- E_{T0}/RC는 30%처리에서 1.06으로 가장 높은 값을 보였으며, 50%처리에서 0.75로 가장 낮은 값을 보임

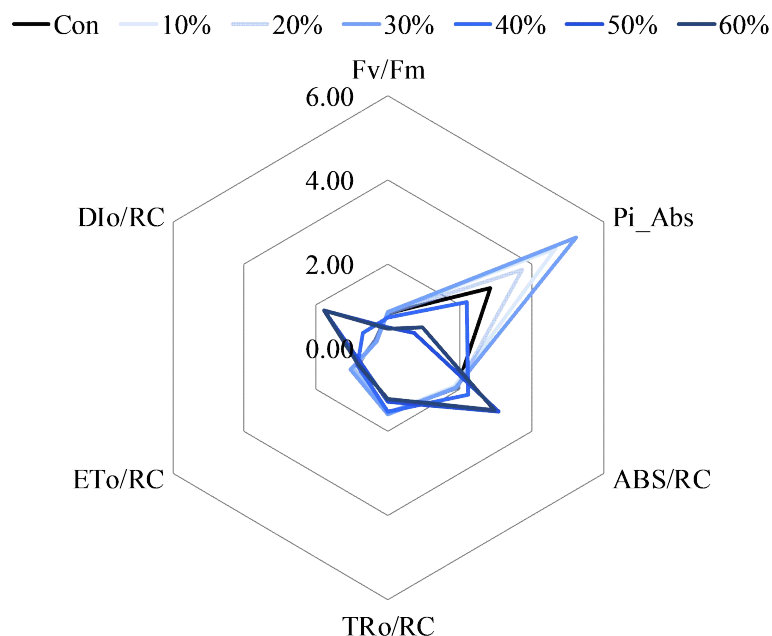


그림. 고농도 CO₂처리 2일차 토마토의 엽록소 형광

▶ 고농도 CO₂ 처리에 따른 토마토의 광합성률 변화

- 건조 1일차에 대조구의 증산량은 0일차에 비해 17% 증가하였음, 처리농도가 짙어짐에 따라 증산량이 감소하는 경향을 보였으며 10%처리에서 4.4 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 가장 높은 값을 보였고, 60%처리에서 0.7 mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 가장 낮은 값을 보였음
- 건조 2일차에 처리구의 농도가 짙어짐에 따라 증산량이 감소하는 경향을 보였으며, 10%처리가

3.5mmol·H₂O·m⁻²·s⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 60%처리에서 0.2로 가장 낮은 값을 보였음

- 모든 처리구에서 1일차에 비해 2일차에서 증산량이 감소하였으나, 대조구의 경우 건조 일차가 지남에 따라 증산량이 증가하였음

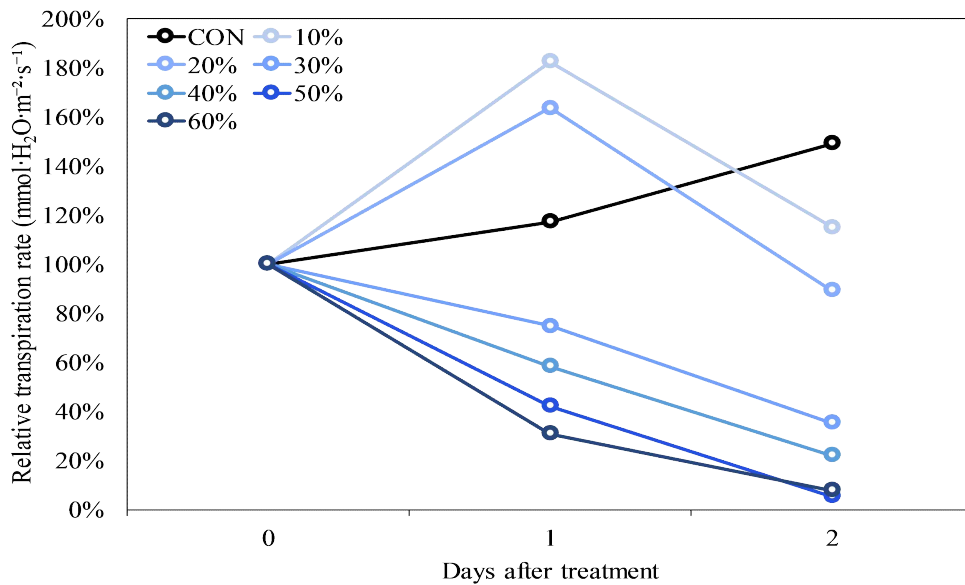


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 토마토의 증산량 변화

- 건조 1일차에 처리구의 농도가 짙어질수록 광합성률이 감소하는 경향을 보였음. 10%처리에서 9.4 mmol·CO₂·m⁻²·s⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 60%처리에서 0.8 mmol·CO₂·m⁻²·s⁻¹로 가장 낮은 값을 보였음
- 건조 2일차에서 처리구의 농도가 짙어질수록 광합성률이 감소하는 경향을 보였음. 대조구에서 10.3 mmol·CO₂·m⁻²·s⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 60%처리에서 -0.2 mmol·CO₂·m⁻²·s⁻¹로 가장 낮은 값을 보였음
- 모든 일차에서 0일차의 대조구 광합성률이 12.7로 가장 높은 값을 보였으며, CO₂처리 후 건조 일차가 증가함에 따라 광합성률이 감소하는 경향을 보였음
- 대조구의 경우 건조 1일차에서 29% 감소한 9.0 mmol·CO₂·m⁻²·s⁻¹의 값을 보였으나, 2일차에서 다시 증가하였음

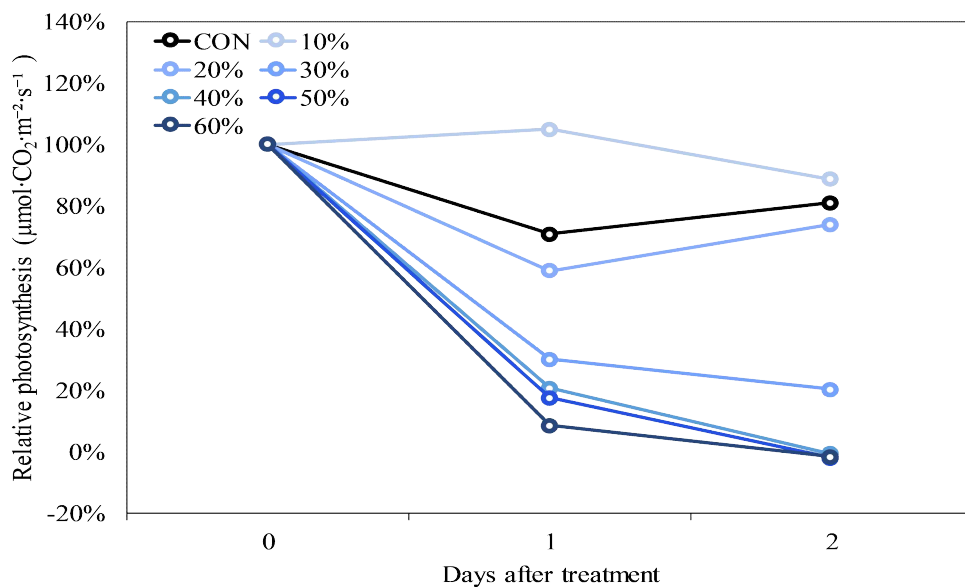


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 토마토의 광합성률 변화

- 엽육내 CO₂의 경우 건조 1일차에서 대조구에 비해 모두 증가한 값을 보였으며 60%에서 359.8 μmol·CO₂·m⁻²·air⁻¹로 가장 큰 값을 보였음

- 건조 2일차에서 50%처리까지 처리농도가 증가함에 따라 엽육내 CO₂의 값도 증가하는 경향을 보였으나 60%처리에서 감소하였음
- 10%, 20% 및 30%처리에서 1일차에 값이 증가하였다 2일차에 감소하는 경향을 보였으나, 40%, 50% 및 60%처리에서 1일차에 비해 2일차에 값이 증가하는 경향을 보였음

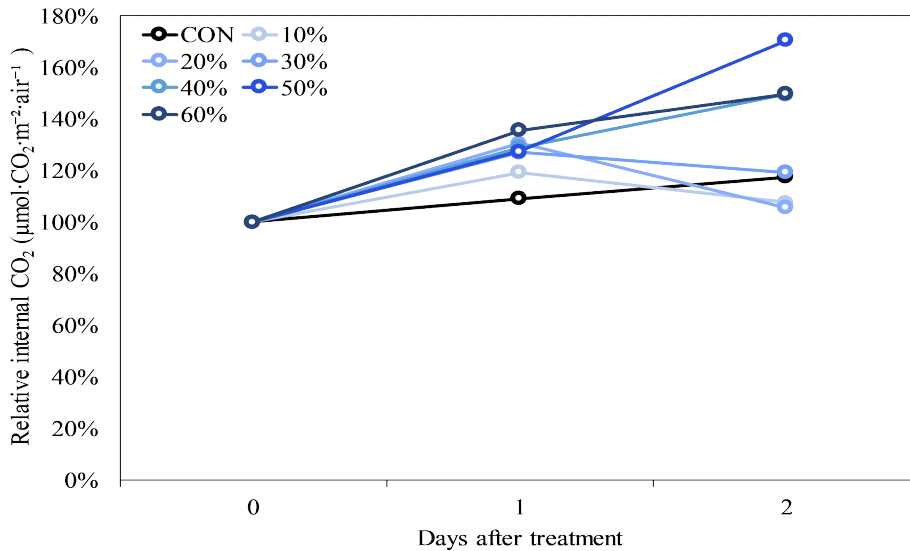


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 토마토의 엽육 내 CO₂ 변화

- 기공전도도는 건조 1일차에서 처리농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였음
- 건조 2일차에서 처리농도가 증가함에 따라 기공전도도 또한 감소하였으나 60%처리에서 증가하였음
- 모든 처리구에서 1일차에 비해 2일차에서 기공전도도가 감소하였으나, 대조구의 경우 1일차보다 2일차의 기공전도도가 20% 증가한 값을 보였음

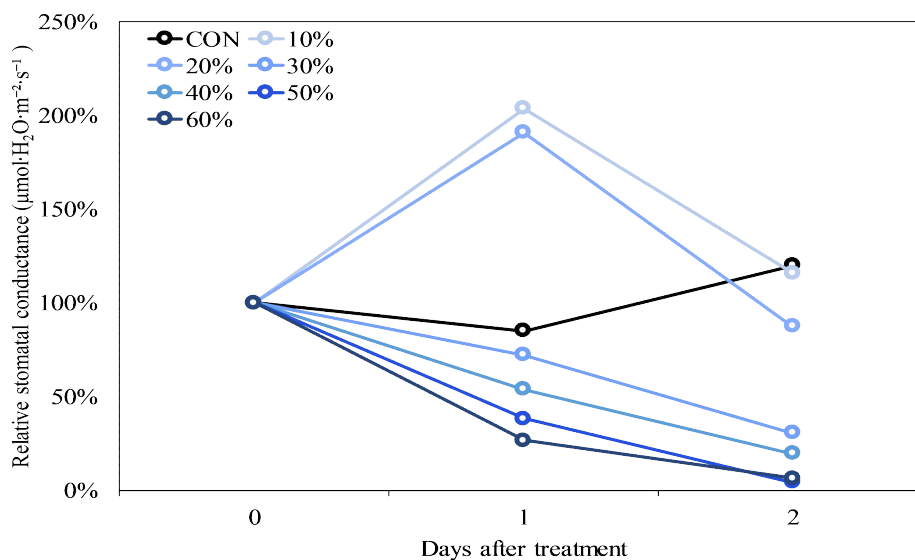


그림. 고농도 CO₂처리에 따른 시간별 토마토의 기공전도도 변화

- 고농도 CO₂를 과채류 묘에 시비하여 해충을 방제하기 위해 연구를 진행하였으나, 일본의 선행연구 자료와 다르게 낮은 농도의 CO₂(20%=200,000ppm)에서도 대부분의 묘가 고사하는 현상이 나타나 실용화까지 이어지진 못하였음
- 추후 연구를 진행하게 된다면 CO₂를 시비하는 환경(온도, 광 등)을 조절하여 식물체가 죽지 않고 방충을 할 수 있는 환경을 찾아 볼 예정이며, 방충 뿐만 아닌 공정육묘장에서 문제가 나타나고 있는 곰팡이나 바이러스 병에 대한 친환경적인 방제 방안도 탐색할 예정임

▪ 연구내용 4 : 관행 공정육묘와 폐쇄형 식물공장 묘의 오이 생육 및 과실 특성 비교

▶ 육묘 장소에 따른 오이 생육 특성 비교

- 육묘 장소에 따른 오이묘의 생육조사를 비교한 결과, 초장은 PF의 초장은 18.0cm로 GH의 초장 6.6cm보다 11.4cm (173%), PG의 초장 9.7cm보다 8.3cm (86%) 정도 높은 수치를 보임
- PF의 경경은 5.8mm로 GH, PG 각각 3.3, 4.0mm보다 2.5mm (76%), 1.8mm(45%) 정도 굵어짐을 확인할 수 있음
- 엽면적에서도 또한 PF의 엽면적은 289.0cm²로 GH와 PG의 엽면적 32.1, 70.1cm²보다 256.9cm² (800%), 218.9cm² (312%)정도 더 넓은 것을 확인하였음, 이러한 엽면적의 차이는 처리구간 엽수의 차이로 인한 것으로 보임
- 초장, 경경, 엽수, 엽면적 모두 식물공장에서 육묘할수록 높은 값을 가지는 경향을 보임
- 그러나, SPAD수치는 PF가 41.0으로 가장 낮았고, PG가 46.8로 5.8 (14%)정도 높은 수치를 보였음

표. 육묘 장소에 따른 오이의 생육 특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
GH	6.6 ± 0.4 c ^z	3.3 ± 0.1 c	2.4 ± 0.5 c	44.2 ± 3.7 ab	32.1 ± 2.1 c
PG	9.7 ± 0.9 b	4.0 ± 0.4 b	3.4 ± 0.5 b	46.8 ± 3.9 a	70.1 ± 9.6 b
PF	18.0 ± 1.2 a	5.8 ± 0.4 a	4.3 ± 0.5 a	41.0 ± 3.4 b	289.0 ± 26.7 a
Significance ^y	***	***	***	**	***

^zMeans of three replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$ ^yNS,notsignificant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$

- 육묘 장소에 따라 오이 묘의 뿌리 생육 및 건물중 비교 결과 식물공장에서 육묘한 처리구가 다른 처리구 보다 모두 높은 수치를 나타냈음
- 표면적의 경우 GH는 11.3cm², PG는 23.8cm², PF는 42.0cm²으로 GH는 PF에 비해 30.7cm² (73%), PG는 PF에 비해 18.2cm² (43%) 정도 작은 경향을 보였음
- 뿌리의 평균 근경 또한 PF가 2.5mm로 가장 두꺼웠고, GH는 0.5mm로 PF에 비해 2.0mm (80%) 정도 얇았고, PG는 1.1mm로 1.4mm (56%) 정도 얇았음
- 근단수 또한 위의 결과와 비슷함. GH, PG, PF 각각, 791.9, 2146.9, 3780.5 개로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈음
- 뿌리 볼륨은 앞선 결과들과 비슷하게 PF가 0.7cm³로 가장 높았고, GH와 PG는 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음
- 오이 묘의 지하부 건물중을 비교하였을 때, PF가 0.103g으로 가장 무거웠고, GH가 0.025g으로 PF에 비해 0.078g (76%) 가벼웠으며, 처리구별 유의미한 차이를 나타냈음

표. 육묘 장소에 따른 오이묘의 뿌리 생육과 건물중

Treatment	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips (ea)	Root volume (cm ³)	Root dry weight (g)
GH	11.3 ± 2.4 c ^z	0.5 ± 0.3 c	791.9 ± 276.6 c	0.5 ± 0.3 b	0.025 ± 0.004 c
PG	23.8 ± 4.0 b	1.1 ± 0.4 b	2146.9 ± 463.1 b	0.6 ± 0.1 b	0.046 ± 0.007 b
PF	42.0 ± 9.1 a	2.5 ± 0.9 a	3780.5 ± 1422.0 a	0.7 ± 0.2 a	0.103 ± 0.028 a
Significance ^y	***	***	***	*	***

^zMeans of three replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$ ^yNS,notsignificant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$

- 육묘 장소에 따른 상대 성장률과 총실도의 비교 결과 두 개의 지표 모두 PF가 높은 값을 나타냈음
- 상대성장률에서 PG의 값이 $0.024\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ 로 가장 낮게 나왔지만 GH와 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음
- PG의 초장이 GH보다 길었지만, 상대성장률은 GH보다 낮았음, 이는 가식 이후 PG의 성장속도가 늦어진 것임을 알 수 있음
- 묘소질을 판단하는 지표인 총실도에서 처리구 GH, PG, PF 각각 21.7, 33.0, $56.9\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$ 으로 통계적으로 유의성을 나타냈음
- 식물공장에서 육묘 오래 할수록 총실도가 높은 경향을 보였으며, PG는 GH보다, PF는 PG보다 초장이 길고, 경경도 두꺼워 도장했다고 판단되지 않음

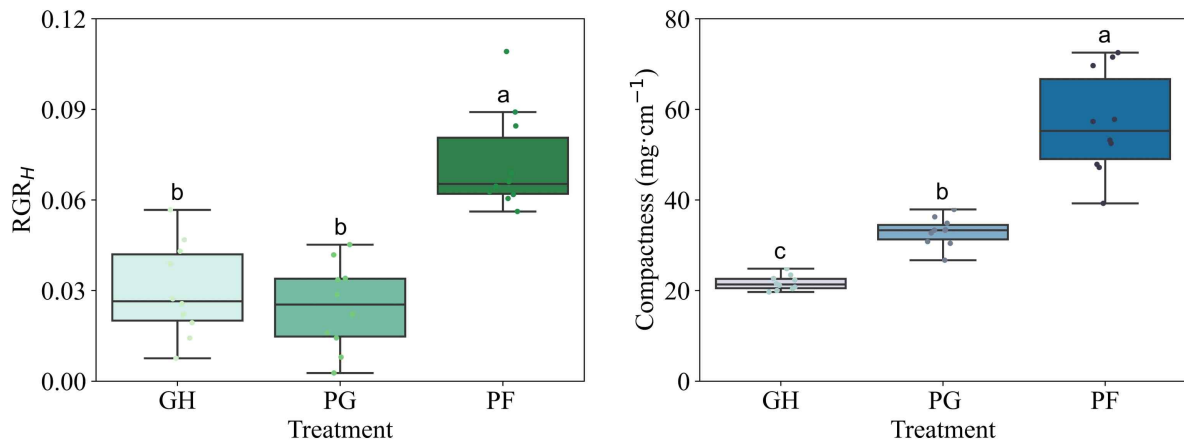


그림. 육묘 장소에 따른 상대성장률 (좌), 총실도 (우)

▶ 서로 다른 육묘 장소에서 육묘된 오이 묘의 정식 후 생육 특성 비교

- 육묘 장소에 따른 오이의 정식 후 생육 비교 조사한 결과, 초장에서 정식 후 4주차까지 PF가 161.3cm로 가장 길었음
- 5주차에서 오이의 초장은 GH, PG, PF 각각 182.7, 188.7, 179.2cm로 PF의 초장이 역전되는 것을 확인할 수 있음
- 그러나 마디수를 비교한 결과, 5주차까지 PF가 24.2개로 가장 높은 값을 나타냈음, 이를 통해 5주차에 PF의 절간장이 짧아진 것을 확인할 수 있음
- 엽수 또한 마디수와 비슷한 경향을 보임
- 경경은 모든 처리구에서 4주차까지 두꺼워지는 경향을 보였으며, 5주차에서 1.6-2.1mm (23-32%) 감소하였음
- 정식 후 주차에 따른 처리구간 엽장 및 엽폭을 비교한 결과, 2주차의 엽장이 10.6-11.3cm, 엽폭이 11.9-15.4cm로 가장 큰 값을 나타내었음
- 5주차의 엽장 및 엽폭은 6.0-7.1cm, 7.2-8.8cm로 가장 낮은 값을 나타내었고, 2주차와 비교하여 3.6-5.3cm (34-47%), 4.7-6.6cm (39-43%)정도 감소하였음
- SPAD의 결과 2주차까지 모든 처리구가 감소하는 경향을 나타냈으며, 3주차부터 일정 수준을 유지하는 경향을 나타냄

표. 육묘 장소에 따른 오이의 정식 후 생육 특성

WAT ^z	Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of nodes (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves (ea)	SPAD
1	GH	7.0 ± 1.0 c ^y	4.7 ± 0.6 a	2.0 ± 0.0 c	7.9 ± 0.7 b	9.8 ± 0.6 b	4.3 ± 0.5 c	49.5 ± 5.5 a
	PG	14.1 ± 1.5 b	4.8 ± 0.8 a	3.0 ± 0.0 b	7.6 ± 1.1 b	9.3 ± 0.9 b	5.9 ± 0.6 b	46.9 ± 2.7 a
	PF	25.7 ± 2.2 a	5.2 ± 0.9 a	4.7 ± 0.5 a	9.8 ± 1.3 a	12.2 ± 1.5 a	7.0 ± 0.5 a	45.6 ± 4.3 a
2	GH	23.8 ± 2.7 c	5.1 ± 1.0 b	4.9 ± 0.3 c	11.3 ± 1.4 a	15.4 ± 2.2 b	7.0 ± 0.4 c	40.9 ± 3.5 b
	PG	40.3 ± 4.0 b	5.8 ± 1.0 b	6.0 ± 0.6 b	10.6 ± 1.4 a	14.9 ± 1.9 a	8.5 ± 0.5 b	42.3 ± 4.1 a
	PF	61.8 ± 3.1 a	6.7 ± 0.5 a	7.9 ± 0.5 a	11.3 ± 1.4 a	11.9 ± 1.5 a	10.1 ± 0.5 a	37.1 ± 3.0 a
3	GH	67.5 ± 2.3 c	6.6 ± 0.9 a	9.6 ± 0.5 c	8.0 ± 1.0 a	10.5 ± 1.2 a	9.8 ± 0.6 c	32.9 ± 3.7 b
	PG	83.4 ± 4.7 b	6.4 ± 0.7 a	11.7 ± 0.5 b	8.0 ± 0.8 a	10.2 ± 1.0 a	11.7 ± 0.5 b	34.3 ± 2.0 ab
	PF	109.1 ± 4.2 a	6.0 ± 0.7 a	14.4 ± 0.7 a	8.0 ± 1.0 a	10.3 ± 1.3 a	14.4 ± 0.7 a	35.6 ± 2.0 a
4	GH	125.9 ± 4.8 c	7.1 ± 0.5 a	14.8 ± 0.4 c	8.7 ± 0.9 a	11.6 ± 0.6 a	15.0 ± 0.5 c	32.9 ± 1.6 b
	PG	143.0 ± 5.3 b	6.5 ± 0.9 a	17.0 ± 0.7 b	8.0 ± 0.5 ab	10.2 ± 0.7 b	17.0 ± 0.7 b	34.6 ± 6.3 b
	PF	161.3 ± 4.6 a	6.5 ± 0.7 a	19.5 ± 0.5 a	7.4 ± 0.9 b	9.7 ± 1.1 b	19.5 ± 0.5 a	42.0 ± 2.9 a
5	GH	182.7 ± 9.1 ab	5.5 ± 0.6 a	22.2 ± 0.9 c	7.1 ± 0.7 a	8.8 ± 1.1 a	23.3 ± 0.8 b	34.1 ± 3.5 a
	PG	188.7 ± 8.9 a	4.8 ± 0.7 b	23.2 ± 1.0 b	7.0 ± 1.7 a	8.6 ± 2.2 ab	24.2 ± 1.0 b	35.9 ± 4.4 a
	PF	179.2 ± 10.3 b	4.4 ± 0.5 b	24.2 ± 1.2 a	6.0 ± 0.9 a	7.2 ± 1.4 b	25.2 ± 1.2 a	37.2 ± 2.9 a
Significance ^x								
WAT (A)		***	***	***	***	***	***	***
Treatment (B)		***	NS	***	*	**	***	*
Interaction (A × B)		***	***	***	***	***	***	***

^z Weeks after transplant

^y Means of three replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$ ^x NS, not significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$

- 육묘 장소에 따른 처리구별 과실을 비교한 결과 PG와 PF의 과장이 23.0cm로 가장 길었음
- 과폭에서는 GH가 36.9mm로 가장 두꺼웠고, PF가 36.3mm로 가장 얇았지만 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음
- 과중 또한 과폭과 유사하게 처리구간 차이는 있지만, 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음
- 암꽃 개화율을 비교하였을 때 PF가 96.8%로 가장 높고, GH가 89.2%로 PF에 비해 7.6% 낮은 개화율을 나타냈으며, 통계적으로 유의성을 나타냈음
- 그러나, 착과율에서 GH가 88.2%로 가장 높았고, PF는 78.4%로 GH에 비해 9.8% 감소하였으나 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음

표. 육묘 장소에 따른 처리구별 과실의 생육과 착화 및 착과 특성

Treatment	Fruit length (cm)	Fruit width (mm)	Fruit weight (g)	Female flowering rate (%)	Fruit set rate (%)
GH	22.4 ± 1.5 b ^z	36.9 ± 2.3 a	193.2 ± 33.5 a	89.2 ± 5.5 b	88.2 ± 7.1 a
PG	23.0 ± 1.7 a	36.6 ± 2.9 ab	199.0 ± 49.0 a	95.6 ± 4.3 a	83.8 ± 7.1 ab
PF	23.0 ± 1.8 a	36.3 ± 3.0 b	193.0 ± 36.2 a	96.8 ± 3.7 a	78.4 ± 11.7 b
Significance ^y	***	NS	NS	**	NS

^zMeans of three replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$ ^yNS, not significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$



그림. 육묘 장소에 따른 수확된 오이 과실

- 육묘 장소에 따른 처리구별 오이 생산량을 비교한 결과 PG와 PF가 정식 후 31일차에 수확을 시작

하였고, GH가 2일 뒤인 정식 후 33일차에 수확을 시작해, GH가 PG, PF에 비해 수확 시작이 늦은 것을 확인 할 수 있음

- 정식 후 33일차에 GH의 단위 면적당 생산량은 $0.37\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, PF는 $1.71\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 두 처리구간 $1.34\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 차이가 발생하였음
- 이후 모든 처리구가 정식 후 60일차까지의 생산량이 꾸준히 증가하였으나, PG와 PF는 정식 후 60일차 이후 생산량이 저조하였음
- GH는 PG와 PF에 비하여 60일차 이후 생산량이 증가하였으며, 모든 처리구의 단위 면적당 생산량이 유사해지는 경향을 나타냈음

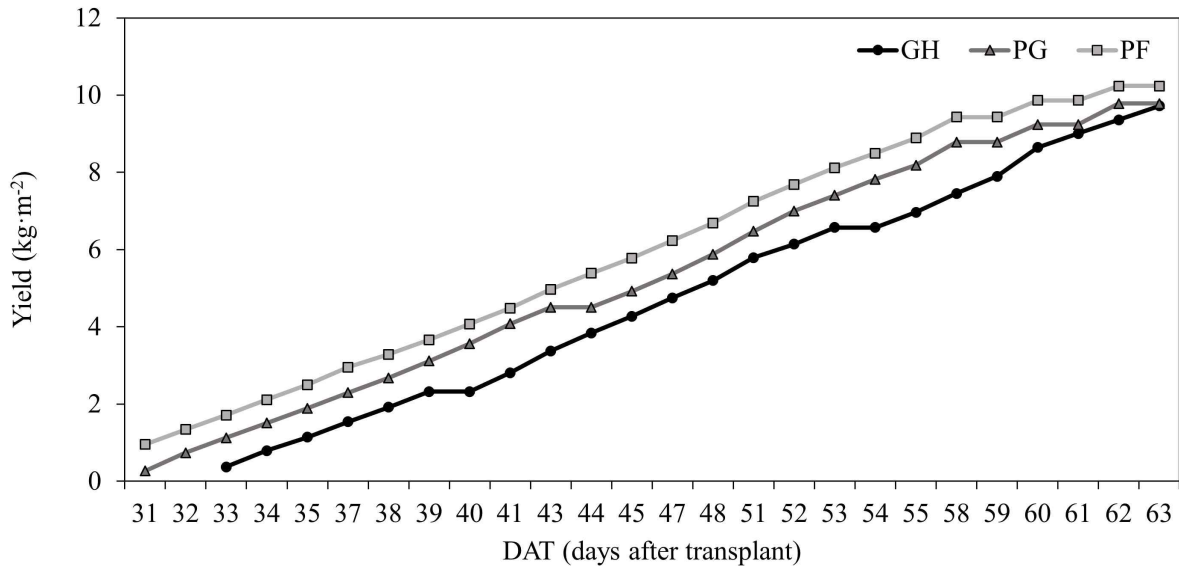


그림. 육묘 장소에 따른 단위 면적당 오이 생산량

- 광화학 최대 양자 수율을 나타내는 F_V/F_M 을 비교한 결과 모든 생육조사 기간동안 GH, PG, PF의 최소값은 각각 0.76, 0.76, 0.75이었으며, 과채류에서는 0.75이상에서는 정상 생육으로 보기 때문에 정상 생육이라 볼 수 있음
- 광계 II의 광에너지 흡수 능력, 전자전달효율 및 전자고정 효율의 세가지 광합성 활성정도를 통합적으로 나타내는 PI_{ABS} 를 비교한 결과 GH, PG, PF 모두 정식 후 14일차까지 감소하는 경향을 보였음
- GH와 PG는 정식 후 21일차까지 감소하는 결과를 보였으나 PF는 정식 후 21일차에서 2.23으로 증가하였음
- 정식 후 35일차에 PI_{ABS} 를 비교한 결과 GH, PG, PF 각각 2.46, 2.35, 3.32의 값을 나타냈지만 통계적으로 유의하지 않았음
- 광계 II의 반응 중심 활성화 정도를 나타내는 ABS/RC 는 정식 후 28일차에 GH, PG, PF 각각 1.98, 1.95, 1.88로 가장 낮은 값을 나타냈음
- 흡수된 광자의 고정효율을 나타내는 TR_0/RC 는 전 처리구가 정식 후 7일차부터 35일차까지 유사하게 변화하는 경향을 보였고, 정식 후 14일차를 제외한 모든 조사 기간 TR_0/RC 의 수치는 통계적으로 유의성을 나타내지 않았음
- 광계 II의 전자전달효율을 나타내는 ET_0/RC 는 정식 후 7일차를 제외하고, 모든 처리구가 비슷한 경향을 나타냈음
- 흡수된 빛 에너지가 광합성에 사용되지 못하고 열로 소실된 정도를 나타내는 DI_0/RC 에서 PF의 경우 정식 후 14일차에 0.60으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 28일 차에 0.40으로 가장 낮은 값을 나타내 다른 처리구에 비하여 환경에 대한 반응성이 민감한 것을 확인 할 수 있음
- ABS/RC , TR_0/RC , DI_0/RC 는 작물이 스트레스 받으면 해당 지수가 증가하고, F_V/F_M 과 PI_{ABS} 는 작물이 스트레스 받으면 해당 지수가 감소함
- 따라서, 정식 후 35일차를 28일차와 비교한 결과 F_V/F_M 과 PI_{ABS} 는 28일차에 비해 전처리구에서 감소하는 경향을 나타냈으며, ABS/RC , TR_0/RC , DI_0/RC 는 전처리구에서 증가하는 경향을 나타냈음

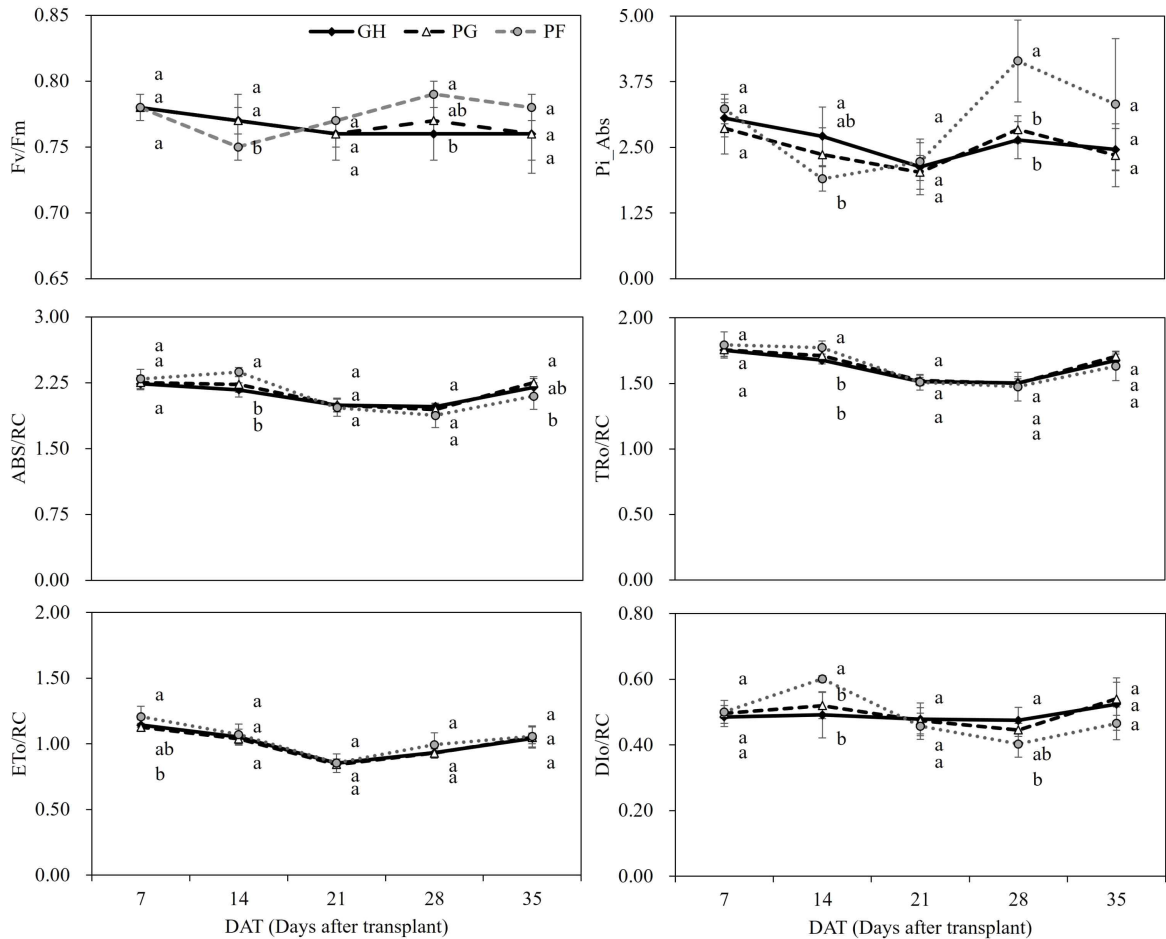


그림. 육묘 장소에 따른 처리구별 정식 후 엽록소 형광 반응

○ 공동 연구기관의 수행과정

◆ 1차년도

▪ 연구내용 1 : 두상관수 시스템과 저면 급수 매트 시스템의 관수 균일성 및 지상부·지하부 생육 비교

▶ 오이 접목묘 재배시 관수 방식에 따른 균일성 비교 실험 결과

- 공정육묘시 육묘 트레이의 가장자리는 내부에 비하여 증산량이 많아서 작물의 생육이 감퇴하는 특징이 있음
- 이를 위해 공정 육묘장에서는 트레이의 내·외부 작물을 바꿔주는 선별작업을 수행하거나 트레이의 위치를 주기적으로 바꿔주는 작업을 수행함
- 관수 방법에 따른 오이 접목묘의 생육 편차를 비교 조사한 결과, 초장은 두상관수는 내·외부 편차가 3.8cm, 저면관수의 편차는 6.8cm로 저면관수 시스템이 트레이 내부외부의 편차가 약 1.8배 심하였음
- 이러한 편차는 22.46cm 와 22.89cm로 유사하였던 내부 모종의 생육 차이보다는 외부 모종의 생육 감퇴 정도에 의한 차이로 발생 함
- 저면관수의 경우 당초 실험 설계 시는 트레이의 전체면적에 동일한 관수량으로 인해 생육 편차가 적을 것으로 예상하였지만, 실험 결과 편차가 크게 발생한 이유는 두상관수에 비하여 관수의 균

- 일도는 높지만 관수량 자체가 많음으로 인한 도장 효과가 발생한 것 때문으로 판단됨
- 엽면적은 두상관수의 경우 내·외부의 편차가 거의 없고, 저면관수는 두상관수에 비하여 엽면적이 약 30cm² 적으면서 처리구간의 편차도 발생하였음
 - 이것으로 보아 저면관수가 두상관수에 비하여 도장이 심하였다는 것을 재차 확인할 수 있었음

표. 오이 두상관수, 저면 관수 내, 외부 생육

Irrigation method	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
OHI outside	19.0 ± 3.0 b	4.3 ± 0.6 a	4.0 ± 0.2 a	34.9 ± 1.7 a	159.5 ± 28.5 a
OHI inside	22.8 ± 2.0 a	4.2 ± 0.4 a	4.0 ± 0.2 a	33.7 ± 3.7 a	159.1 ± 32.9 a
SI outside	15.6 ± 4.9 c	4.1 ± 0.5 a	4.0 ± 0.4 a	34.9 ± 2.1 a	123.9 ± 18.4 b
SI inside	22.4 ± 1.4 a	4.3 ± 0.6 a	4.1 ± 0.3 a	34.6 ± 2.6 a	131.4 ± 34.2 ab

- 엽면적은 차이와 같이 잎의 생체중 및 건물중도 같은 경향을 보였음
- 엽면적과 생체중을 상호 비교한 결과, 저면관수 처리의 잎이 두상관수에 비하여 얇게 발달한 것을 알 수 있었음
- 초장과 줄기의 생체중을 비교한 결과도 저면관수가 두상관수에 비하여 줄기가 얇게 생육한 것을 경경값을 통하여 알 수 있었음

표. 오이 두상관수, 저면 관수 내, 외부 생체중, 건물중

Irrigation method	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
OHI outside	2.66 ± 0.5 a	3.64 ± 0.4 b	1.12 ± 0.2 a	0.33 ± 0.07 a	0.14 ± 0.07 ab	0.06 ± 0.01 ab
OHI inside	2.60 ± 0.5 a	4.44 ± 0.8 a	1.07 ± 0.2 a	0.30 ± 0.07 ab	0.16 ± 0.03 a	0.04 ± 0.01 bc
SI outside	2.09 ± 0.3 b	2.80 ± 0.5 c	1.10 ± 0.2 a	0.25 ± 0.05 b	0.11 b ± 0.03	0.06 ± 0.01 a
SI inside	2.10 ± 0.6 b	3.64 ± 0.6 b	0.84 ± 0.2 b	0.25 ± 0.08 b	0.13 b ± 0.03	0.04 ± 0.02 c

- 관수 시스템에 따른 근권부 생육 편차를 비교하기 위해 정밀 생육 수행 결과, 트레이 내부가 외부에 비하여 약 65% 수준으로 근권부 표면적이 적었음
- 총 근장은 두상관수가 저면관수에 비하여 156cm 길었지만, 트레이 위치에 따른 경향성은 보이지 않았음
- 두상관수의 근단수는 트레이의 위치에 따른 차이를 보이지 않았지만, 저면관수는 내·외부의 편차가 심하였으나, 통계적인 유의성이 발견되지는 않아서 처리구간 경향성을 나타내지는 않았음
- 따라서 관수방법에 따른 트레이의 위치별 생육편차는 단순한 관수 방법에 의한 차이보다는 실제 근권부에 공급되는 수분량이 동일하게 제어되는 환경에서의 지상부 증산량의 차이에 의하여 발생하는 수분부족분에 의하여 야기되는 것으로 생각됨
- 이를 극복하기 위해 시도한 저면관수 방법은 저면관수의 치명적인 약점인 과습에 인한 도장을 제어하지 못한다면 균일성이라는 장점을 얻기보다는 부작용이 클 것으로 판단됨
- 다음 차년도 실험시 저면관수의 최적 관수방법을 규명한다고하여도 두상관수와 상호비교시 두상관수방법으로 저면관수와 동일한 수분량을 공급할 수가 없기 때문에, 관수 방법간의 상호비교는 의미가 없을 것으로 판단되고, 차년도 실험시에는 저면관수의 최적 관수방법을 탐색하는 과정에

서 내·외부간의 생육편차의 정도를 함께 상호비교하려고 함

표. 오이 두상관수, 저면 관수 내, 외부 뿌리

Irrigation method	Root surface (cm ²)	Root length (cm)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
OHI outside	26.50 ± 15.2 a	862.75 ± 497.8 a	1.21 ± 0.9 a	3428.90 ± 1555.1 a
OHI inside	17.08 ± 6.7 b	822.59 ± 514.2 a	0.60 ± 0.2 b	3497.70 ± 1134.7 a
SI outside	21.44 ± 5.8 ab	706.37 ± 370.1 a	0.99 ± 0.3 a	3746.70 ± 1016.0 a
SI inside	14.94 ± 7.7 b	756.33 ± 385.4 a	0.58 ± 0.4 a	3167.20 ± 1337.7 a

▶ 오이 접목묘 재배시 관수 방식에 따른 생육 특성 조사 결과

- 관수 방법에 따른 오이 접목묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과, 저면급수매트 처리구의 초장이 13.9cm 로 두상관수에 비하여 39% 길었고, 엽수는 1.2장(42%) 많았고, 엽면적은 26.9cm² (29%) 많았음
- 공정육묘장의 관리 목표는 최대한 도장을 억제하여 충실도가 높은 모종을 생산하는 것임
- 저면급수매트 처리구의 초장이 큰 것은 이와 같은 방향과는 상반되는 효과로 현장에 적용하기에는 부정적인 상황임
- 특히, 줄기의 경경은 시험구간 차이가 없는 것으로 보아 줄기의 굵기는 얇고 길이만 길어지는 도장된 모종의 형태를 나타내고 있음
- 하지만 잎의 클로로필 함량은 2.66으로 두상관수에 비하여 0.3 높았으나 통계적으로 유의성을 보이지는 않았음

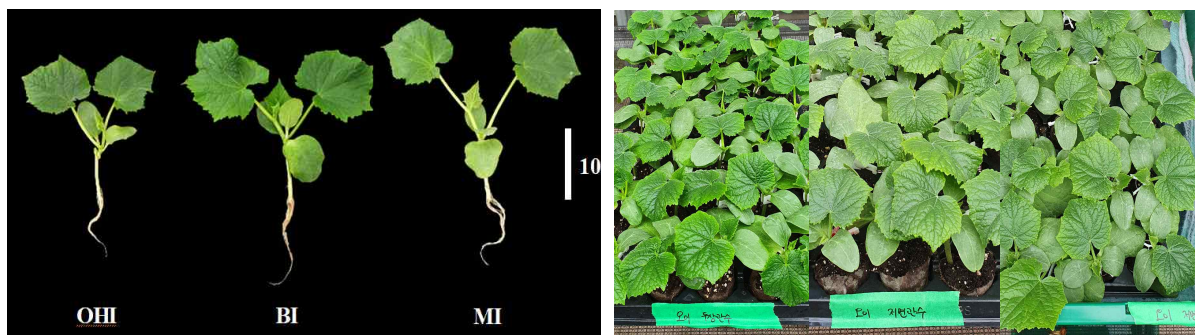


그림. 관수 처리방법에 따른 오이생육 비교 (좌), 처리구 설치 (우)

표. 오이 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수]에 따른 생육

Irrigation method	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
OHI	10.0 ± 0.6 c	2.7 ± 0.2 a	2.8 ± 0.4 b	2.3 ± 5.5 a	87.0 ± 15.7 b
SI	11.8 ± 0.9 b	2.7 ± 0.1 a	3.6 ± 0.8 a	2.5 ± 3.4 a	108.7 ± 14.2ab
MI	13.9 ± 1.7 a	2.7 ± 0.5 a	4.0 ± 0.0 a	2.6 ± 2.2 a	113.9 ± 17.9 a

- 관수 방법에 따른 오이 접목묘의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 저면급수매트의 줄기 생체중이 2.6g으로 두상관수에 비하여 1.0g(62%) 무거웠고, 건물중은 0.11g으로 두상관수에 비하여 0.03g(37%) 무거웠음
- 이와 같은 결과는 초장이 길었던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 하지만, 잎의 생체중은 2.6g으로 두상관수에 비해 2.3g(13%) 무겁고, 건물중은 0.3g으로 0.1g 무거웠지만 두 값모두 통계적인 유의성을 보이지 않았음
- 이것으로 보아 지상부 생육조사 결과와 시험구간 큰 차이를 보였던 잎은 줄기와 달리 시험구간

차이가 미미하였기에, 저면급수 매트로 인해 발생한 지상부생육 차이는 지상부 전체 발달 보다는 육묘의 도장에 영향을 미쳤다고 판단 됨

표. 오이 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 생체중, 건물중

Irrigation method	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
OHI	2.3 ± 0.48 a	1.6 ± 0.24 b	0.6 ± 0.20 a	0.2 ± 0.05 a	0.08 ± 0.01 b	0.02 ± 0.01 a
SI	2.5 ± 0.52 a	1.9 ± 0.36 b	0.5 ± 0.25 a	0.3 ± 0.06 a	0.09 ± 0.02 ab	0.02 ± 0.01 a
MI	2.6 ± 0.56 a	2.6 ± 0.30 a	0.6 ± 0.21 a	0.3 ± 0.06 a	0.11 ± 0.01 a	0.03 ± 0.01 a

- 이와 같은 지상부 생육차이의 원인을 규명하기 위해 근권부 발달을 정밀 조사하여 비교한 결과 저면급수매트의 총근권부 표면적은 10.62cm²로 두상관수의 88%, 총 근장은 88% 및 총 근단수는 81% 에 불과하였음
- 하지만, 본 실험에서 조사된 수치는 오류가 있었음
- 저면급수매트의 경우 두상관수, 저면관수와 달리 급수매트 내부로 뿌리가 내리면서 종이포트의 단근효과가 상쇄되었음 (사진좌측)
- 저면급수매트 내부로 발달한 근권부 생육이 제외된 수치임에도 약 12~19% 차이를 발생한 것으로 보아, 매트내부의 근권부 생육은 반영한다면 저면급수매트의 근권부 발달 정도가 클 것으로 생각됨
- 본 연구팀은 이와 같은 수치의 오류를 개선하기 위하여 차년도 실험수행시 저면급수매트와 종이 포트 트레이 사이에 방근매트를(사진 우측) 설치하여 단근효과가 유지된 조건에서의 지상부 · 지하부 생육차이를 비교 조사할 계획임



그림. 저면급수매트 내부로 침부터 뿌리발달 (좌), 방근매트 (우)

표. 오이 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 뿌리 2

Irrigation method	Root surface (cm ²)	Root length (cm)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
OHI	12.0 ± 6.7 a	249.3 ± 78.0 a	0.4 ± 0.4 a	2537.4 ± 863.6 a
SI	10.0 ± 6.3 a	208.3 ± 52.8 a	0.4 ± 0.5 a	2734.2 ± 664.9 a
MI	10.62 ± 5.1 a	219.7 ± 117.8 a	0.4 ± 0.2 a	2074.4 ± 936.5 a

- 모종의 종합적인 묘소질을 판단하기 위하여 총실도와 T/R율을 조사한 결과 저면급수매트는 8.4로 두상관수에비해 0.3 작았음
- 총실도는 근권부 지표가 반영되지 않았기에 신뢰도가 높은 값으로 판단되며 이는 줄기의 초장이 도장된 것이 원인으로 생각 됨

- 하지만 시험구간 통계적인 차이는 없었기 때문에 관수 방법에 따라 모종의 충실도는 영향을 받지 않은 것으로 판단됨
- T/R율을 지하부의 수치가 반영되지에 본 실험에서 매트내부로 투입된 수치를 반영하면 저면급수 매트의 T/R율이 통계적으로 유의하게 가장 높을 것으로 추정됨

표. 오이 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 충실도, T/R율

Irrigation method	Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)	T/R ^z ratio (fresh weight)	T/R ^z ratio (dry weight)
OHI	8.7 ± 1.2 a	6.3 ± 2.1 a	13.6 ± 1.7 b
SI	8.1 ± 1.8 a	9.9 ± 3.6 a	18.3 ± 4.7 a
MI	8.4 ± 0.8 a	8.2 ± 1.6 a	14.2 ± 1.9 ab

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 묘소질을 판단하는 지표인 DQI와 모종의 잎의 발달 정도를 비교하는 NAR을 비교 조사한 결과, 저면급수매트의 DQI가 두상관수와 비슷하였지만 유실된 근권부 발달량을 반영하면 저면급수매트의 DQI가 시험구간 가장 높아질 것으로 예상됨
- 작물의 초기 활착시 중요한 지표인 잎의 발달 정도를 비교한 결과 저면급수매트의 NARI이 두상관수에 비하여 유의하게 높았고, 저면관수와는 유사한 수준이었음
- 이것으로 보아 저면관수 혹은 저면급수매트 시스템이 두상관수에 비하여는 엽면적 발달에 긍정적인 효과를 미친다는 것을 확인할 수 있었음

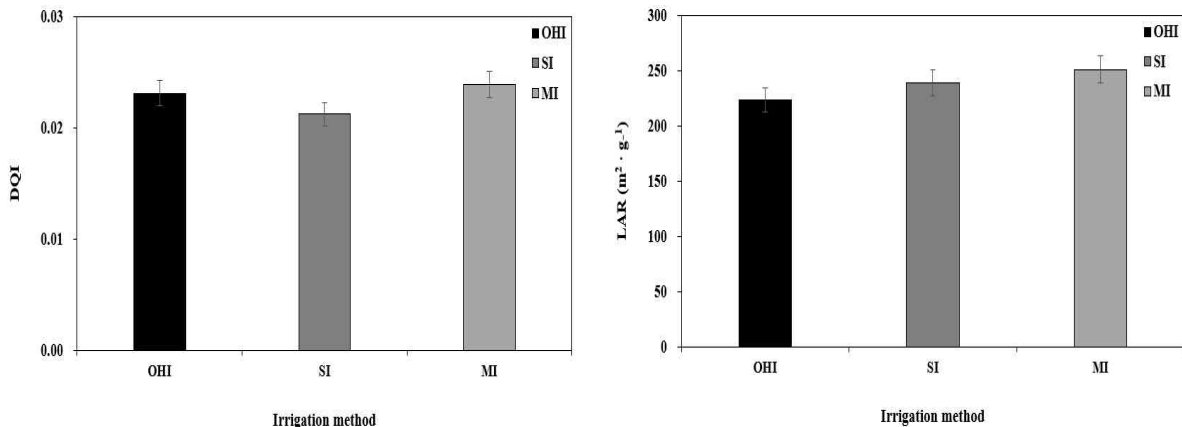


그림. 오이 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] DQI(좌) and LAR(우)

▶ 토마토 접목묘 재배시 관수 방식에 따른 생육 특성 조사 결과

- 관수 방법에 따른 토마토 접목묘의 생육 특성을 비교 조사한 결과, 저면급수매트 처리구의 초장이 14.7cm로 두상관수에 비하여 7% 길었음
- 경경은 8% 두꺼웠고, 엽수는 0.2장(2%), 엽면적은 2.1cm² (1%) 많았지만, 통계적으로 유의성을 보이지는 않았음

표. 토마토 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수]에 따른 생육

Irrigation method	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
OHI	13.7 ± 0.8 ab	3.7 ± 1.0 a	6.8 ± 0.4 a	47.4 ± 1.9 a	134.3 ± 14.5 a
SI	13.3 ± 0.5 b	3.8 ± 0.5 a	6.6 ± 0.5 a	48.7 ± 3.9 a	132.3 ± 28.8 a
MI	14.7 ± 1.1 a	4.0 ± 0.6 a	7.0 ± 0.0 a	48.2 ± 5.5 a	136.4 ± 18.5 a

- 관수 방법에 따른 토마토 접목묘의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 저면급수 매트와 줄기 생체중이 3.3g으로 두상관수와 동일한 값이며, 건물중 또한 0.17g으로 동일한 값을 나타내지만, 통계적으로 유의성을 보이지는 않았음
- 잎의 생체중은 4.0g으로 두상관수에 비해 0.1g(0.2%) 가벼웠고, 건물중은 0.42g으로 0.01g(0.2%) 무거웠지만, 통계적으로 유의성을 보이지는 않았음
- 이와 같은 결과는 초장, 경경, 엽면적 모두 저면급수매트가 높았지만, 생체중 및 건물중은 오히려 낮거나 동일한 값을 나타낸 것으로 보아 저면급수매트로 인해 육묘의 도장에 영향을 주어 충실도가 낮아졌다고 판단 됨

표. 토마토 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 생체중, 건물중

Irrigation method	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
OHI	4.1 ± 0.5 a	3.3 ± 0.6 a	1.9 ± 0.1 a	0.41 ± 0.07 a	0.17 ± 0.04 a	0.07 ± 0.01 a
SI	4.0 ± 1.1 a	2.9 ± 0.6 a	1.4 ± 0.6 a	0.43 ± 0.16 a	0.17 ± 0.05 a	0.07 ± 0.03 a
MI	4.0 ± 0.6 a	3.3 ± 0.6 a	1.8 ± 5.3 a	0.42 ± 0.11 a	0.17 ± 0.03 a	0.05 ± 0.01 a

- 이와 같은 지상부 생육 차이의 원인을 규명하기 위해 근권부 발달을 정밀 조사하여 비교한 결과 저면급수매트의 총 근권부 표면적은 18.3cm²로 두상관수의 12%, 뿌리 평균 경경은 0.97mm로 42% 높은 값을 나타냄
- 하지만 총 근장은 282.6cm로 두상관수의 91%, 뿌리 끝의 수는 2527.7ea로 72%에 불과하였음
- 이전 오이 실험에서와 같이 저면 급수 매트 내부로 뿌리가 발달하였지만, 32구인 큰 트레이를 사용함으로써 종이포트 안에 뿌리가 들어갈 여유 공간이 많아 비교적 적게 유실되었다고 판단됨
- 본 연구팀은 이와 같은 수치의 오류를 개선하기 위하여 차년도 실험 수행 시 저면 급수 매트와 종이포트 트레이 사이에 방근매트를 설치하여 단근효과가 유지된 조건에서의 지상부·지하부 생육 차이를 비교 조사할 계획임

표. 토마토 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 뿌리

Irrigation method	Root surface (cm ²)	Root length (cm)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
OHI	16.2 ± 2.6 a	308.0 ± 73.0 a	0.68 ± 0.0 a	3253.4 ± 458.8 a
SI	15.8 ± 1.2 a	242.1 ± 53.1 a	0.84 ± 0.1 a	2402.8 ± 301.3 a
MI	18.3 ± 6.0 a	282.6 ± 118.3 a	0.97 ± 0.3 a	2527.2 ± 957.9 a

- 모종의 종합적인 묘소질을 판단하기 위하여 총실도와 T/R율을 조사한 결과 저면 급수 매트는 11.5로 두상관수에 비해 0.9 작았음
- 이는 도장으로 인해 줄기의 초장이 길었지만, 생체중 및 건물중이 낮게 나온 결과와 일치하는 것으로 판단됨
- T/R율이 생체중과 건물중 모두 높게 나온 것을 보아 지상부가 과도하게 성장하여 도장한 것으로 판단됨
- 하지만 지하부에서 매트 내부로 투입된 수치를 반영하면 수치가 감소하여 도장율이 줄어든 것으로 추정됨

표. 토마토 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] 총실도, T/R율

Irrigation method	Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)	T/R ^z ratio (fresh weight)	T/R ^z ratio (dry weight)
OHI	12.4 ± 2.5 a	3.8 ± 0.5 a	7.8 ± 1.5 a
SI	12.6 ± 3.4 a	5.1 ± 0.9 a	8.6 ± 1.5 ab
MI	11.5 ± 1.3 a	5.2 ± 2.9 a	10.3 ± 1.9 b

- 묘소질을 판단하는 지표인 DQI를 조사한 결과, 저면급수매트의 DQI가 시험구간 가장 낮은 값으로 나타났음
- 이것은 총실도가 가장 낮았던 결과와 일치하였음
- 하지만 유실된 근권부 발달량을 반영하면 저면 급수 매트의 DQI가 시험구 간 유사해질 것으로 예상됨
- 사진을 통해 저면 급수 매트의 생육이 가장 좋은 것으로 보이지만, 총실도가 작은 것을 보았을 때 도장하였다는 것으로 판단됨

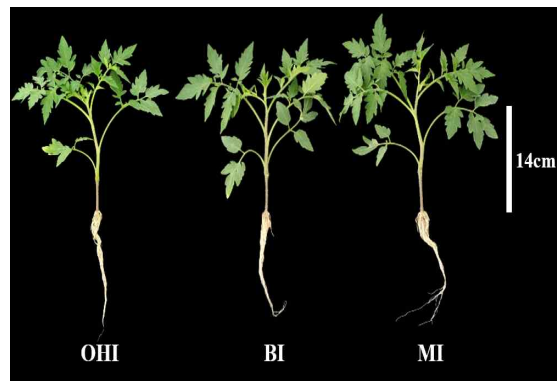
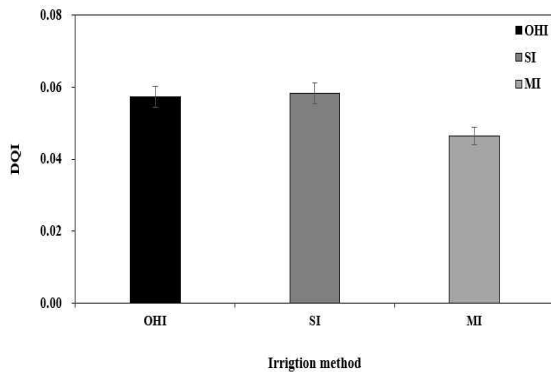


그림. 토마토 관수 방법 [두상관수, 저면관수, 저면매트관수] DQI (좌), 토마토 생육 비교 (우)

■ 연구내용 2 : 주요 접목묘의 고접에 따른 접목 활착을 비교

▶ 고접 높이에 따른 종이포트 오이 접목묘의 생육 특성 비교

- 오이의 고접 활착 직후 생육조사 비교 결과, 기존 관행으로 접목을 하고 있는 6cm 처리구가 3.9mm로 다른 처리구에 비해 0.2~0.3mm(5~8%) 높은 값을 보이지만 통계적으로 유의성을 보이지는 않았음
- 잎의 클로로필 함량은 9cm 처리구가 42.3으로 6cm 처리구에 비해 3.2(8%) 높은 값을 나타냄
- 이는 고접에 따라 높이가 높아지면서 활착 LED에 가까워졌기 때문이라 판단됨
- 엽수는 전 처리구 모두 1.0ea로 동일한 값을 나타냈음
- 하지만 엽면적은 7cm 처리구가 3.3cm²로 6cm 처리구에 비하여 0.9cm²(30%) 컷지만, 통계적으로 유의성은 보이지는 않았음

표. 오이 고접 활착 직후 생육

Graft height (cm)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
6	6.0 ± 0.2 d	3.9 ± 0.2 a	1.0 ± 0 a	39.1 ± 5.9 a	2.4 ± 0.7 a
7	7.6 ± 0.2 c	3.6 ± 0.7 a	1.0 ± 0 a	41.7 ± 4.3 a	3.3 ± 2.3 a
8	8.8 ± 0.4 b	3.7 ± 0.3 a	1.0 ± 0 a	41.4 ± 7.5 a	2.1 ± 0.3 a
9	9.7 ± 0.6 a	3.7 ± 0.2 a	1.0 ± 0 a	42.3 ± 1.6 a	2.9 ± 0.7 a

- 고접에 따른 오이 접목묘의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 줄기의 생체중 및 건물중은 초장이 길어짐에 따라 크게 나온 것이지만, 잎 생체중 및 건물중은 접목 이후 활착률의 차이라고 생각됨
- 7cm 처리구의 잎 생체중은 0.9g으로 다른 처리구에 비해 0.2~0.3g(20%~ 50%) 높았지만 통계적 유의성은 없었음
- 이와 같은 결과는 엽면적이 가장 컸던 7cm 처리구와 같은 결과를 나타냄
- 하지만 건물중은 0.007g으로 다른 처리구에 비해 같거나 0.001g 작은 값을 보이지만, 매우 작은 값인 것을 고려하면 큰 차이가 없다고 고려됨
- 오이 접목묘는 단근접목을 하기 때문에 뿌리의 생장은 접목 활착률에 영향을 받았다고 생각되지만, 생체중은 처리구 모두 0.1g으로 유의미한 차이를 보이지 않았음

표. 오이 고접 활착 직후 생체중, 건물중

Graft height (cm)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
6	0.7 ± 0.03 a	0.4 ± 0.31 b	0.1 ± 0.04 a	0.008 ± 0.002 a	0.027 ± 0.004 c	0.006 ± 0.001 a
7	0.9 ± 0.03 a	0.8 ± 0.15 a	0.1 ± 0.01 a	0.007 ± 0.002 a	0.034 ± 0.002 b	0.004 ± 0.001 a
8	0.6 ± 0.01 a	0.9 ± 0.06 a	0.1 ± 0.05 a	0.007 ± 0.002 a	0.037 ± 0.004 ab	0.007 ± 0.006 a
9	0.7 ± 0.02 a	1.0 ± 0.11 a	0.1 ± 0.04 a	0.008 ± 0.002 a	0.041 ± 0.003 a	0.006 ± 0.003 a

- 고접에 따른 오이 접목묘의 근권부 발달을 조사하여 비교한 결과 근단수는 9cm 처리구가 437.4ea로 6cm 처리구의 272.0ea에 비해 165.4ea(60%) 많았지만 통계적으로 유의성은 보이지는 않았음
- 이와 같은 결과는 전 처리구의 뿌리 생체중이 0.1g으로 차이가 없었지만 근단수는 접목 높이가 높아질수록 많아지므로, 동일한 무게라도 근단수인 생장점이 많았기 때문에 이후 성장에서 많은 뿌리를 가지게 될 것이라 생각됨

표. 오이 고접 활착 직후 뿌리

Graft height (cm)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
6	1.2 ± 0.1 a	0.05 ± 0.01 a	272.0 ± 81.54 a
7	1.1 ± 0.3 a	0.04 ± 0.01 a	340.6 ± 148.48 a
8	1.0 ± 0.3 a	0.04 ± 0.02 a	394.6 ± 139.35 a
9	1.2 ± 0.3 a	0.04 ± 0.01 a	437.4 ± 163.03 a

- 오이 고접 이후 출하 직전 생육 특성을 비교 조사한 결과, 초장은 9cm 처리구가 12.1cm로 6cm 처리구에 비해 2.4cm 큰 값을 나타내지만, 생육에 영향을 받은 것이 아닌 고접에 의한 것이라 판단됨
- 엽수는 3.0ea로 처리구별 차이가 없었지만, 엽면적은 6cm 처리구가 37.6cm²로 9cm 처리구에 비하여 11.1cm² (40%) 컸음
- 이와 같은 결과는 아래 사진(우)을 통해 너무 높은 높이에 의해 넘어지는 현상이 발생함으로써 광합성을 제대로 하지 못하여 생육이 저하된 것으로 판단됨

표. 오이 고접 출하 직전 생육

Graft height (cm)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
6	9.7 ± 0.8 c	4.6 ± 0.4 a	3.00 ± 0 a	42.0 ± 1.7 a	37.6 ± 6.8 a
7	10.9 ± 0.4 b	4.2 ± 0.1 a	3.0 ± 0 a	41.6 ± 2.1 a	35.0 ± 11.4 ab
8	11.5 ± 0.7 ab	4.6 ± 0.3 a	3.0 ± 0 a	41.1 ± 2.1 a	28.5 ± 6.7 ab
9	12.1 ± 0.6 a	4.2 ± 0.2 a	3.0 ± 0 a	41.3 ± 2.9 a	26.5 ± 2.1 b



그림. 오이 고접 8cm 처리구 (좌), 9cm 처리구 (우)

- 고접 높이에 따른 오이 접목묘의 부위별 생체중과 건물중을 비교 조사한 결과, 6cm 처리구의 잎 생체중이 0.7g으로 9cm 처리구에 비하여 0.3g(75%) 무거웠고, 건물중은 0.09g으로 9cm 처리구에 비하여 0.03g(50%) 무거웠음
- 이와 같은 결과는 엽면적이 컸던 지상부 생육조사 결과와 일치하였음
- 하지만 줄기의 생체중은 9cm 처리구가 6cm 처리구에 비하여 0.3g(30%), 건물중은 0.02g(50%) 무거웠음
- 이는 고접에 의해 긴 줄기를 가지고 있는 9cm 처리구이기 때문에 무겁게 나온 것이라 판단됨

표. 오이 고접 출하 직전 생체중, 건물중

Graft height (cm)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
6	0.7 ± 0.1 a	1.0 ± 0.1 c	0.2 ± 0.05 a	0.09 ± 0.02 a	0.04 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 a
7	0.5 ± 0.1 ab	1.1 ± 0.1 b	0.4 ± 0.30 a	0.08 ± 0.02 ab	0.05 ± 0.01 ab	0.01 ± 0.01 a
8	0.5 ± 0.1 ab	1.3 ± 0.1 ab	0.3 ± 0.04 a	0.07 ± 0.02 ab	0.05 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 a
9	0.4 ± 0.1 b	1.3 ± 0.1 a	0.3 ± 0.05 a	0.06 ± 0.01 b	0.06 ± 0.01 a	0.01 ± 0.01 a

- 고접에 따른 오이 접목묘 출하 직전 근권부 발달을 조사하여 비교한 결과, 6cm 처리구의 근권부 표면적은 3.9cm²로 9cm 처리구에 비해 0.2cm² 작으며, 평균 뿌리 경경은 0.10mm로 9cm 처리구에 비하여 0.02mm 작지만 통계적으로 유의성은 보이지 않았음
- 근단수는 6cm 처리구가 1205.8ea로 9cm 처리구에 비하여 19ea(1%) 많지만 통계적 유의성은 보이지 않았음
- 이와 같은 결과로 활착 직후 뿌리의 차이를 고려했을 때 고접의 높이가 높아질 수록 근권부의 발달이 저하된다고 판단됨
- 하지만 8cm 처리구의 근단수가 1554.8ea로 가장 큰 것으로 나타났음
- 이는 정밀 근권부를 측정하는 과정에서 흙이 묻어있는 뿌리를 씻는 과정으로 인한 측정 오류가 있다고 판단되어, 차년도 실험수행 시 개선 측정 방법으로 비교 조사할 계획임

표. 오이 고접 출하 직전 뿌리

Graft height (cm)	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
6	3.9 ± 0.1 a	0.10 ± 0.01 a	1205.8 ± 81.5 a
7	4.2 ± 0.3 a	0.11 ± 0.04 a	1129.8 ± 148.4 a
8	4.3 ± 0.3 a	0.12 ± 0.01 a	1554.8 ± 139.3 a
9	4.1 ± 0.3 a	0.12 ± 0.05 a	1186.8 ± 163.0 a

- 모든 생육조사 지표를 종합하여 총실도를 판단하는 지표인 CP와 묘소질을 판단하는 지표인 SHI를 비교 조사한 결과, 6cm 처리구의 CP가 시험구간 유의하게 큰 값을 나타내며, 높이가 증가할수록 감소하는 경향을 보임
- 육묘에서 중요한 지표인 묘소질을 비교한 결과 6cm 처리구의 SHI가 시험구간 유의하게 높은 값을 나타내며, 높이가 증가할수록 감소하는 경향을 보임
- 이것으로 보아 접목의 높이가 높을수록 육묘에서 중요한 지표인 총실도 및 묘소질이 감소하는 것으로 판단됨

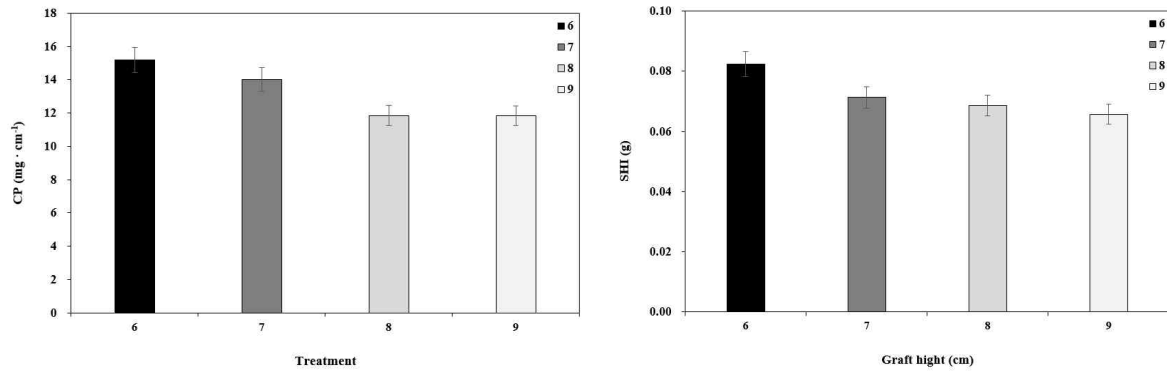


그림. 오이 고접 출하 직전 CP (좌), SHI(우)

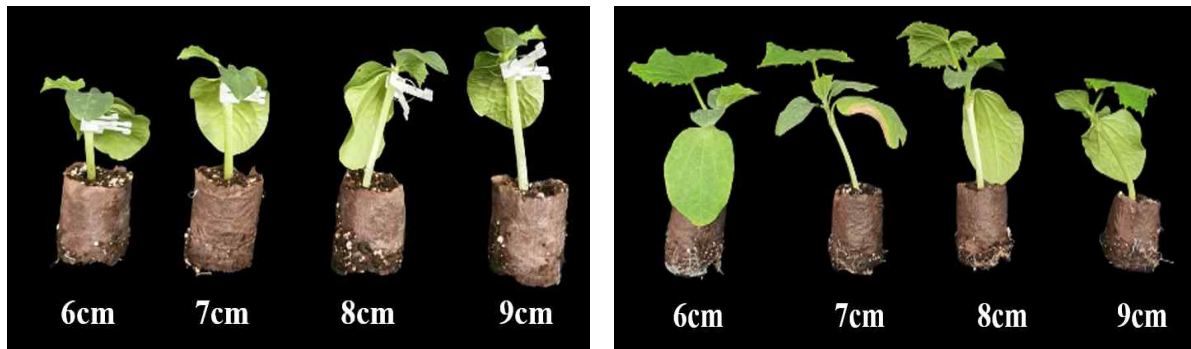


그림. 오이 고접 활착 직후 (좌), 출하 직전 (우)

- 오이 고접묘는 시삭 초장의 길이가 다르기 때문에 성장률을 보기 위하여 출하 직전 모종에서 활착 직후 모종의 생육조사 값의 차이를 비교하였음
- 6cm 처리구의 성장률이 100%일 때 접목의 높이가 높아질수록 성장률이 감소하는 경향을 보임
- 경경의 성장률을 비교하였을 때, 6cm 처리구의 성장률이 100%일 때 접목의 높이가 높아질수록 감소하는 경향을 보이며, 특히 9cm 처리구의 성장률이 낮은 것을 볼 수 있음
- 이와 같은 결과는 높이를 버티지 못해 모종이 꺾이면서 생장이 저하된 것으로 판단됨

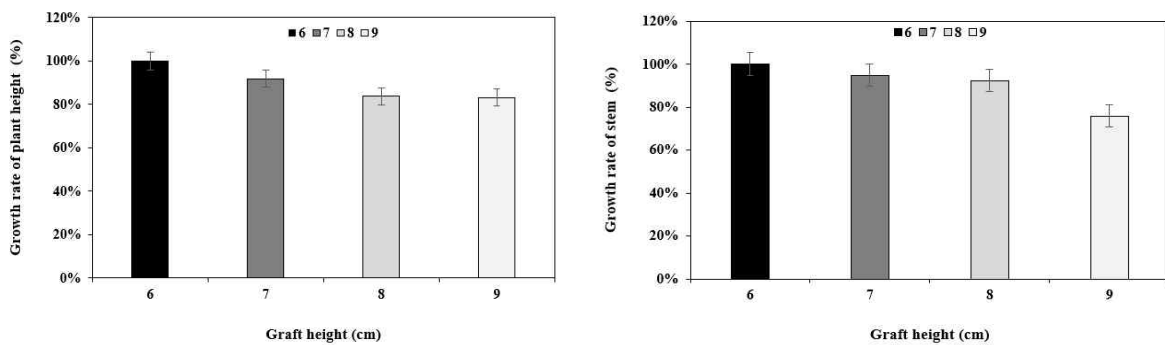


그림. 오이 고접 초장 성장률(좌), 경경 성장률(우)

- 오이 고접묘의 생육 차이에 따른 성장률을 보기 위해 엽면적과 총 근권부 표면적의 성장률을 비교 조사한 결과, 엽면적 성장률은 6cm 처리구의 성장률이 100%일 때 접목의 높이가 높아질수록 감소하는 경향을 보이지만 7~9cm 처리구에서는 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 총 근권부 표면적의 성장률을 비교하였을 때, 6cm 처리구의 성장률이 100%일 때 접목의 높이가 높아질수록 감소하는 경향을 보이며, 특히 9cm 처리구의 성장률이 낮은 것을 볼 수 있음
- 이와 같은 결과는 지상부가 꺾이면서 생육이 저하되었고, 지하부까지 영향을 주었다고 판단됨

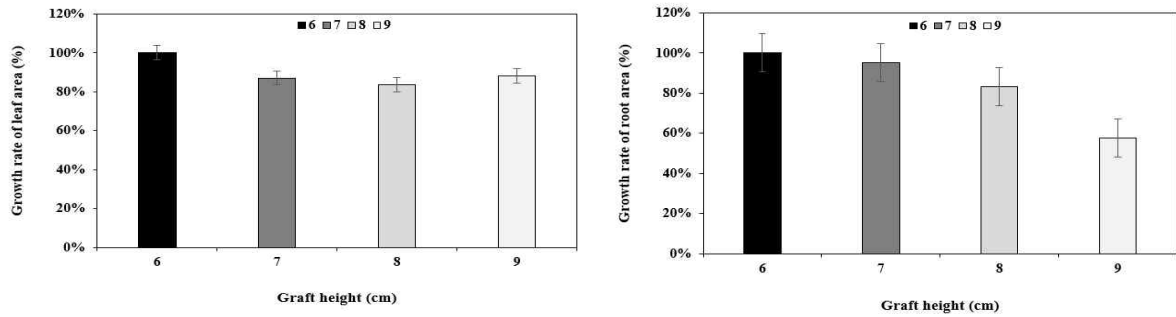


그림. 오이 고접 엽면적 성장률(좌), 총 근권부 표면적 성장률(우)

▪ 연구내용 3 : 주요 접목묘의 고농도 CO₂ 처리시 생육 부작용이 발생하는 농도 및 시간 검토

- 고농도 CO₂ 시비 시, 농도 및 시간에 따른 과채류 접목묘의 생육 부작용 발생 조건 탐색

▶ 농도별 오이 접목묘의 생육 편차 결과

표. 오이 60%에서 처리 시간에 따른 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
0	11.3 ± 1.1 a	4.2 ± 0.4 a	4.0 ± 0.0 a	43.6 ± 3.5 a	64.1 ± 9.3 a
24	9.0 ± 0.9 b	4.3 ± 0.4 a	4.0 ± 0.4 a	45.5 ± 2.5 a	56.6 ± 6.2 a
48	8.6 ± 1.0 b	4.0 ± 0.6 a	4.0 ± 0.0 a	43.5 ± 4.0 a	48.6 ± 4.7 b
72	8.3 ± 0.7 b	3.3 ± 0.4 b	3.1 ± 0.3 b	43.1 ± 6.1 a	36.3 ± 11.6 c

- CO₂ 농도 60% 처리 시간에 따른 오이 생육 결과, 초장과 엽면적은 대조구인 0h에서 처리구 24h를 넘어가는 것을 기점 값이 확연하게 떨어지는 차이를 보였음
- 이와 같은 변화는 처리구인 24h를 기점으로 두고 나타났음
- 변화를 보인 대조구 0h와 처리구 24h의 초장과 엽면적을 비교하였을 때에 초장은 2.3cm가 줄었고 엽면적은 7.5cm²줄었음
- 그러나 경경, 엽수, 잎의 클로로필 함량은 통계적으로 유의미한 차이를 보일 정도로 변화하지는 않았음

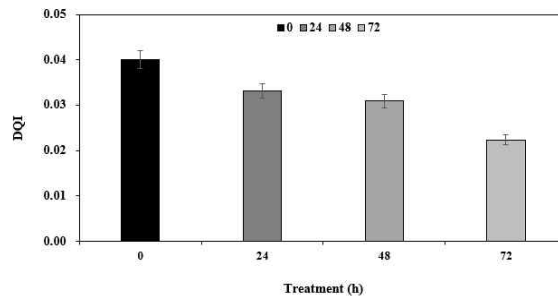


그림. 오이 60%에서 처리 시간에 따른 DQI



그림. 오이 60%에서 처리시간에 따른 영향 (좌측부터 24h, 48h, 72h 순)

- 묘소질을 판단하는 지표인 DQI를 조사하였을 때, 대조구인 0h의 DQI가 가장 높은 값을 나타냄
- 이는 오이 60%에서 처리 시간에 따른 생육 표와 일치하며 24h 처리구를 기점으로 DQI가 하락하는 형태를 보였음
- 가시적인 변화로는 잎이 노랗게 말라가는 현상을 들 수 있었는데, 처리구 24h, 48h, 72h 순으로 해당 현상이 심해지는 것으로 나타났음
- 특히 72h 처리구의 경우가 가장 이 현상이 심하였고 줄기도 노랗게 말라가는 현상이 발생하였음

표. 오이 60%에서 처리 시간에 따른 뿌리

Treatment (h)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)						Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips
	> 0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	total			
0	273.4 ± 57.7 a	36.1 ± 8.7 a	5.2 ± 2.7 a	1.1 ± 1.2 a	1.2 ± 1.3 a	317.0 ± 122.8 a	0.7 ± 4.7 a	16.3 ± 0.2 a	3445.8 ± 867.9 a
24	221.1 ± 44.2 b	34.6 ± 6.0 a	5.6 ± 1.6 a	1.1 ± 0.8 a	1.4 ± 0.4 a	263.8 ± 49.2 b	0.5 ± 3.2 b	13.5 ± 0.2 a	2630.1 ± 597.3 b
48	249.9 ± 27.6 ab	33.2 ± 8.5 a	5.7 ± 1.4 a	1.5 ± 1.0 a	1.2 ± 0.4 a	291.5 ± 31.5 ab	0.5 ± 2.1 b	13.6 ± 0.1 a	2701.3 ± 468.9 b
72	300.1 ± 71.2 a	35.7 ± 13.4 a	5.7 ± 4.2 a	1.6 ± 1.5 a	1.1 ± 0.6 a	344.2 ± 85.0 a	0.4 ± 2.8 b	14.4 ± 0.1 a	1989.7 ± 522.0 c

- 오이 60%에서 처리 시간에 따른 근권부 생육 비교 결과 근권부 표면적, 근장, 근단수 모두 처리구인 24h를 기준으로 감소하였음
- 특히 근단수는 대조구인 0h에서는 3445.8의 값을 보였지만 처리구인 24h에서는 2630.1로 815.7의 차이가 나타났음

표. 오이 60% 처리 시간에 따른 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
0	1.4 ± 0.2 a	1.5 ± 0.1 a	1.4 ± 0.3 a	0.17 ± 0.02 a	0.08 ± 0.01 a	0.05 ± 0.009 a
24	1.3 ± 0.2 ab	1.4 ± 0.2 a	1.3 ± 0.1 ab	0.14 ± 0.02 b	0.07 ± 0.01 b	0.03 ± 0.010 b
48	1.1 ± 0.1 b	1.1 ± 0.2 b	1.2 ± 0.1 ab	0.13 ± 0.01 b	0.66 ± 0.01 bc	0.03 ± 0.009 b
72	0.8 ± 0.2 c	1.0 ± 0.1 b	1.1 ± 0.2 b	0.01 ± 0.03 c	0.65 ± 0.01 c	0.02 ± 0.007 c

- CO₂ 농도 60% 처리 시간에 따른 오이 생육 결과 생체중과 건물중 두 경우 모두 처리구 24 ~ 72h를 순서로 생육 조사 결과값이 낮아지는 추세를 보임
- 대조구 0h에서 처리구 24h를 비교했을 때 큰 차이는 별로 없었지만, 처리구 72h에서는 생체중과 건물중 모두 확실히 낮은 값이 나타남
- 대조구 0h와 처리구 24h, 48h, 72h를 비교해보았을 때 미미한 차이지만 점점 줄어드는 양상을 보임
- 따라서 차후년도 실험계획설계 시 변화의 기준점이었던 24h를 최대 설정하여 0 ~ 24h 사이에서 실험을 진행할 예정임

표. 오이 24h 처리 시간에 따른 CO₂ 농도별 생육

Treatment (%)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
	Leaf	Stem	Leaf	Stem
0	2.8 ± 0.5 a	3.1 ± 0.5 a	0.31 ± 0.06 a	0.22 ± 0.18 a
20	0.5 ± 0.2 b	2.4 ± 0.7 b	0.20 ± 0.04 b	0.11 ± 0.02 b
40	0.4 ± 0.2 b	1.5 ± 0.7 c	0.21 ± 0.05 b	0.10 ± 0.01 b
60	0.2 ± 0.1 b	1.3 ± 0.4 c	0.17 ± 0.04 b	0.10 ± 0.02 b
80	0.2 ± 0.1 b	1.2 ± 0.3 c	0.17 ± 0.05 b	0.07 ± 0.01 b

- 같은 처리시간(24h)에서 CO₂ 농도별 오이 생육 비교 조사 결과 대조구인 0%에서는 정상 생육을 유지하였다고 볼 수 있을 정도의 잎과 줄기의 생체중 값이 나타남
- 그러나 0%를 넘어간 처리구 20%부터 눈에 띄게 차이가 나타났음
- 대조구 0%와 처리구 20%를 두고 비교하였을 때에 잎의 생체중은 2.3g, 줄기의 생체중은 0.7g의 값이 차이가 났음
- 더 높은 농도에서도 차이가 나타나기는 했지만 대조구 0%와 처리구 20%를 비교하였을 때가 제일 값의 차이가 컸음

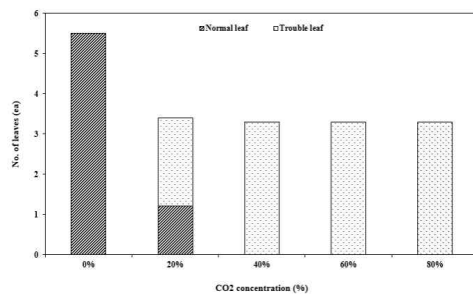


그림. 오이 같은 처리시간에서 CO₂ 농도별 정상엽, 장해엽

- 같은 처리시간(24h)에서 CO₂ 농도별 오이의 생육 조사 결과를 토대로 정상엽과 장해엽의 상대비율로 살펴본 결과, 대조구 0%에서는 정상엽이 잎의 100%를 차지함
- 그러나 처리구 20%를 기점으로 40%, 60%, 80%의 처리구의 잎들은 모두 장해엽으로 나타났음

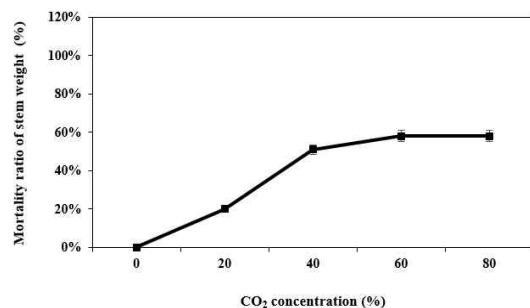
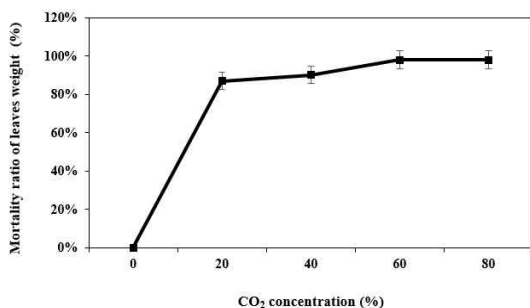


그림. 오이 같은 처리시간에서 CO₂ 농도별 잎 사망률(좌)과 줄기 사망률(우)

- 같은 처리시간(24h)에서 CO₂ 농도별 오이의 생육 조사 결과를 기반으로 하여 잎과 줄기의 사망률을 살펴보면, 잎은 처리구 20%에서 급격히 사망하는 것이 확인됨
- 이에 비해 줄기는 처리구 40%에서 급격한 사망률을 보임
- 같은 처리시간(24h)에서 CO₂ 농도별 오이의 생육 조사 결과를 기반으로 하여 잎과 줄기의 사망률

- 을 본 반면, 뿌리는 CO₂ 처리한 후 정식한 직후 사망하여 사망률을 살펴볼 수 없었음
- 따라서 차후년도 계획설계 시 급격한 변화를 보인 20%를 최대로 설정하여 0 ~ 20% 사이에서 CO₂ 농도를 설정할 예정임

▶ 농도별 수박 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도 CO₂ 처리에 따른 수박 생육 부작용 (좌측부터 30%, 40%, 50%, 60% 순)

- 같은 처리 시간(24h)에서 고농도 CO₂ 처리에 따른 수박의 생육은 그림을 보면, 농도가 높아질수록 작물의 초장이 짧아지면서 시드는 모습을 확인할 수 있었음
- 대체로 작물의 잎이 오그라드는 양상을 보이며 줄기도 이와 같은 현상을 보였음
- 고농도 CO₂ 처리에 따른 수박의 생육 비교 결과, 초장과 경경은 40%에서 유의미한 결과를 나타내었음
- 처리구 40%를 기준으로 초장은 짧아지는 모습을 보였고, 경경은 두꺼워지는 모습을 보였음
- 그림으로 보았을 때에는 육안상 초장이 농도가 높아질수록 짧아지는 경향을 보이는 줄 알았으나, 생육 조사 결과 40% 처리구에서 증가하였다가 다시 감소하는 모습을 확인할 수 있었음
- 그 외 엽수, SPAD와 엽면적에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 처리구 40% 기준으로 변화가 나타남

표. 수박 같은 처리 시간에서 농도별 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
30	7.3 ± 0.4 a	4.1 ± 0.7 b	5.4 ± 0.6 a	71.9 ± 9.2 a	20.4 ± 4.1 a
40	7.6 ± 0.2 a	4.0 ± 0.3 b	5.6 ± 0.6 a	71.1 ± 6.3 a	24.9 ± 8.8 a
50	6.3 ± 0.8 b	4.9 ± 0.7 a	5.4 ± 0.6 a	67.8 ± 11.3 a	36.1 ± 20.7 a
60	6.6 ± 0.6 b	4.9 ± 0.1 a	5.8 ± 0.5 a	76.2 ± 3.2 a	32.0 ± 9.3 a

- 농도별 수박의 접목묘 생체중 비교 결과, 잎의 경우에는 농도가 높아질수록 생체중과 건물중이 증가하였음
- 경경과 뿌리의 경우 생체중과 건물중 모두에서 처리구 50%까지 감소하다가 60%에서 다시 증가하는 양상을 보였음
- 총실도의 면에서는 처리구 50%를 기준으로 나누어 볼 수 있었는데, 처리구 50% 이전에는 감소하였음
- 처리구 50%로 처리구가 바뀔 때에는 증가하는 모습을 보였으나, 처리구 60%에서는 0.7 정도 감소하였음

표. 농도별 수박 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
30	1.16 ± 0.33 a	1.55 ± 0.11 a	0.80 ± 0.25 a	0.211 ± 0.056 a	0.107 ± 0.008 a	0.035 ± 0.013 a	43.5 ± 6.7 a
40	1.37 ± 0.43 a	1.59 ± 0.07 a	0.76 ± 0.25 a	0.224 ± 0.056 a	0.100 ± 0.008 a	0.033 ± 0.005 a	42.5 ± 10.8 a
50	1.82 ± 0.72 a	1.34 ± 0.32 a	0.73 ± 0.17 a	0.243 ± 0.089 a	0.092 ± 0.026 a	0.032 ± 0.009 a	52.8 ± 11.9 a
60	1.73 ± 0.50 a	1.49 ± 0.22 a	0.94 ± 0.08 a	0.237 ± 0.078 a	0.095 ± 0.015 a	0.040 ± 0.014 a	52.1 ± 17.1 a

▶ 농도별 토마토 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도에 CO₂ 처리 따른 토마토 생육 부작용 (좌측부터 30%, 40%, 50%, 60% 순)

- 같은 처리 시간(24h)에 고농도 CO₂ 처리에 따른 토마토 접목묘 생육의 그림으로 육안상의 차이를 확인해보았을 때에 40% 처리구까지는 눈에 띄는 차이가 없다가 50%부터 눈에 띄는 차이가 보이기 시작하였음
- 대체로 작물의 잎이 오그라들었으며, 시드는 모습을 보였음
- 특히 60% 처리구에서 육안상으로 이러한 현상들이 가장 크게 나타났음
- 농도별 토마토 접목묘의 생육 비교 결과, 대체로 각 생육 조사 항목에서 50% 처리구가 변화의 기준점이 되었음
- 초장과 엽면적은 50% 처리구에서 유의한 차이를 보이며 이전 처리구들과 60% 처리구에서 확연한 차이를 보였음
- 경경, 엽수, 클로로필 함량의 경우 통계적으로는 차이는 없었지만 50% 처리구를 기점으로 차이를 보였음

표. 농도별 토마토 접목묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
30	15.4 ± 1.4 ab	1.7 ± 0.2 ab	7.0 ± 0.0 a	42.0 ± 3.8 ab	4.9 ± 11.1 ab
40	15.7 ± 1.2 ab	1.8 ± 0.2 a	7.6 ± 0.6 a	44.5 ± 4.0 a	5.3 ± 17.8 a
50	16.4 ± 0.2 a	1.6 ± 0.1 abc	7.6 ± 0.6 a	45.2 ± 3.6 a	5.2 ± 8.6 a
60	14.5 ± 0.4 bc	1.8 ± 0.1 a	7.2 ± 0.5 a	39.5 ± 7.5 abc	4.0 ± 14.8 b

- 농도별 토마토 접목묘의 생체중과 건물중의 경우, 농도별 토마토 접목묘의 생육 조사 결과와 비슷한 결과를 보였음
- 건물중의 줄기와 총실도를 제외한 모든 항목에서 50% 처리구를 기준으로 변화를 보였음
- 총실도의 경우, 40%를 기준으로 차이가 나타났으며, 50% 처리구에서는 54.7, 60% 처리구의 경우 47.1으로 감소하는 경향이 나타났음

표. 농도별 토마토 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
30	2.31 ± 0.86 bc	1.56 ± 0.12 a	0.59 ± 0.19 ab	0.188 ± 0.067 a	0.128 ± 0.039 a	50.648 ± 0.055 ab	50.6 ± 5.26 ab
40	2.53 ± 0.65 ab	1.69 ± 0.20 a	0.66 ± 0.12 a	0.222 ± 0.090 ab	0.119 ± 0.026 a	56.454 ± 0.007 a	56.4 ± 5.39 a
50	2.64 ± 0.83 a	1.86 ± 0.19 a	0.65 ± 0.46 ab	0.247 ± 0.090 a	0.116 ± 0.020 a	54.796 ± 0.021 ab	54.7 ± 5.07 ab
60	2.18 ± 0.93 cd	1.68 ± 0.24 a	0.53 ± 0.35 bc	0.202 ± 0.142 bc	0.108 ± 0.018 a	50.699 ± 0.019 ab	47.1 ± 10.12 b

▶ 농도별 고추 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도에 CO₂ 처리 따른 고추 생육 부작용 (좌측부터 0%, 30%, 50%, 70% 순)

- 고농도 CO₂ 처리 시 고추 실생묘의 경우, 다른 작물보다 육안 상으로 확실한 차이를 보였음
- 특히 무처리구에서 30% 처리구를 비교하였을 때에도 큰 변화가 보였으며, 고농도로 갈수록 처리구 간 차이가 큰 것을 확인할 수 있었음
- 농도별 고추 실생묘의 생육을 살펴본 결과, 초장의 경우에는 통계적으로 유의미한 차이도 있었을 뿐더러 고농도 처리구로 갈수록 초장이 감소하는 경향을 보였음
- 경경의 경우 50% 처리구에서 70% 처리구 간의 유의한 차가 있었으며, 특히 70% 처리구에서 눈에 띄게 경경이 0.6mm으로 급격히 감소하였음
- 엽수의 경우, 무처리구와 처리구들을 비교하였을 때에 유의한 차가 있었으나, 초장과 경경의 결과와 다르게 30% 처리구에서 최소값이 나타났음
- 잎의 클로로필 함량은 무처리구인 Control에서만 측정할 수 있었으며, 그 외의 처리구들에서는 측정이 불가하였음

표. 농도별 고추 실생묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	29.0 a ± 2.2	2.2 b ± 0.2	13.2 a ± 1.1	36.1 a ± 2.7
30	19.0 b ± 1.8	2.6 ab ± 0.5	5.8 c ± 1.3	0
50	13.3 c ± 1.9	2.8 a ± 0.4	8.6 b ± 2.5	0
70	11.5 b ± 2.7	0.6 c ± 0.3	6.6 bc ± 2.3	0

- 농도별 고추 실생묘의 생체중과 건물중 결과를 확인하였을 때, 생체중의 경우 뿌리를 제외하고 무처리구에 비해 처리구들은 유의한 차이를 갖고 있었음
- 생체중 뿌리의 경우, 유의한 차이는 없었으나 70% 처리구가 0.49g으로 최소값이었음
- 건물중의 경우, 줄기만 유의한 차이를 갖고 있었으며, 50% 처리구가 최소값으로 나타났고, 30% 처리구와 70% 처리구는 0.132g으로 비슷한 값으로 나타났음
- 고추 실생묘의 총실도는 무처리구와 처리구들간의 유의미한 차이는 없었으나, 30% 처리구에서 15.12로 최소값이었고, 50% 처리구에서 27.09로 무처리구인 Control 값 22.08보다 높은 값이 나타나 흥미로운 결과를 보였음

표. 농도별 고추 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	3.51 ± 0.93 a	2.85 ± 0.56 a	1.25 ± 0.64 a	0.347 ± 0.074 b	0.300 ± 0.142 a	0.095 ± 0.051 a	22.08 ± 5.15 ab
30	0.23 ± 0.16 b	1.64 ± 0.22 b	0.72 ± 0.15 ab	0.151 ± 0.086 b	0.132 ± 0.030 b	0.056 ± 0.014 ab	15.12 ± 7.10 b
50	0.42 ± 0.21 b	1.17 ± 0.44 b	0.76 ± 0.36 ab	0.239 ± 0.104 ab	0.124 ± 0.054 b	0.063 ± 0.026 ab	27.09 ± 9.48 a
70	0.34 ± 0.17 b	1.44 ± 0.49 b	0.49 ± 0.13 b	0.204 ± 0.084 b	0.132 ± 0.039 b	0.048 ± 0.014 b	17.70 ± 7.45 ab

▶ 농도별 파프리카 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도에 CO2 처리 따른 파프리카 생육 부작용 (좌측부터 0%, 30%, 50%, 70% 순)

- 고농도 CO₂ 처리에 따른 파프리카 실생묘의 생육 부작용을 그림으로 살펴보았을 때, 고추의 실생묘와 비슷한 양상을 보였음
- 무처리구에서 처리구로 넘어가자마자 바로 육안상으로 확인할 수 있는 생육 부작용이 나타났음
- 농도별 파프리카 실생묘의 생육 결과, 초장과 잎의 클로로필 함량은 처리구들의 농도가 높아질수록 감소하는 모습이 나타났음
- 특히 잎의 클로로필 함량의 경우 무처리구에 비하여 다른 처리구들은 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났음
- 경경의 경우 처리구 간의 비교에서 50% 처리구가 2.1로 최대값으로 나타났고, 70% 처리구가 1.3으로 최소값으로 나타났음
- 엽수의 경우 처리구 사이의 비교에서 50% 처리구가 3.2로 최소값이었으나, 30% 처리구에서 6.6으로 최대값이었음

표. 농도별 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	18.1 ± 1.8 a	2.6 ± 0.4 a	12.6 ± 1.3 c	37.0 ± 5.1 a
30	16.1 ± 1.5 ab	1.9 ± 0.4 ab	6.6 ± 1.7 b	35.5 ± 2.5 b
50	15.6 ± 1.6 ab	2.1 ± 0.8 ab	3.2 ± 1.1 a	26.2 ± 5.9 b
70	14.6 ± 2.5 b	1.3 ± 1.0 b	7.4 ± 2.1 b	23.2 ± 4.7 b

- 농도별 파프리카 실생묘의 생체중과 건물중 결과를 보았을 때, 생체중의 경우 잎을 제외한 줄기와 뿌리는 처리구의 농도가 높아질수록 값들이 감소하는 경향을 보였음
- 생체중의 잎의 경우 50% 처리구에서 0.84로 최소값으로 나타났으며, 처리구 안에서 30% 처리구가 2.09로 최대값으로 나타났음
- 건물중의 잎의 경우 30% 처리구와 50% 처리구에서는 감소하는 모습을 보였으나, 70% 처리구에서는 0.344의 값으로 처리구 간에서 최대값으로 나타났음
- 건물중 줄기의 결과, 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났으나, 무처리구를 포함하여 처리구들에서 30%는 0.27로 최소값으로 나타났고, 나머지 처리구들은 0.29로 동일한 값을 보였음
- 총실도의 경우, 70% 처리구가 43.5로 무처리구를 포함한 처리구들의 비교 중 최대값이었으며, 50% 처리구가 27.4로 최소값이었음

표. 농도별 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	3.40 ± 0.89 a	2.24 ± 0.51 a	2.15 ± 0.42 a	0.394 ± 0.133 a	0.29 ± 0.100 a	0.176 ± 0.039 a	36.7 ± 8.7 ab
30	2.09 ± 0.72 b	2.07 ± 0.37 a	1.86 ± 0.65 ab	0.287 ± 0.093 a	0.27 ± 0.063 a	0.163 ± 0.051 ab	34.3 ± 8.1 bc
50	0.84 ± 0.20 c	2.06 ± 0.33 a	1.72 ± 0.35 a	0.137 ± 0.021 a	0.29 ± 0.054 a	0.163 ± 0.018 ab	27.4 ± 2.8 c
70	1.29 ± 0.30 bc	1.88 ± 0.21 a	1.30 ± 0.23 b	0.344 ± 0.088 a	0.29 ± 0.037 a	0.123 ± 0.022 b	43.5 ± 4.4 a

▶ 시간별 수박 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도 CO₂ 장시간 처리에 따른 수박 생육 부작용 (좌측부터 0h, 24h, 48h, 72h 순)

- 시간별 고농도 CO₂ 처리 (20%)에 따른 수박의 생육 부작용 그림을 확인한 바, 24h 처리구에서부터 생육 부작용을 육안으로 확인할 수 있었음
- 시간별(20%) 수박 접목묘 생육 결과, 초장, 엽수와 잎의 클로로필 함량은 통계적으로 유의미한 차이가 나타났음
- 초장의 경우 시간이 지속될수록 초장이 감소하는 경향을 보였으며, 엽수와 잎의 클로로필 함량도 마찬가지로 시간이 지남에 따라 감소하는 형태를 보였음
- 경경은 48h 처리구를 기점으로 경경이 급격하게 감소하는 모습이 나타났음

표. 시간별 수박 접목묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	18.7 ± 1.8 a	1.9 ± 0.3 a	6.6 ± 0.5 a	38.7 ± 2.3 a
24	12.1 ± 1.9 b	2.1 ± 0.3 a	4.8 ± 0.8 b	21.7 ± 4.2 b
48	11.1 ± 0.7 b	0.7 ± 0.2 b	4.4 ± 0.4 b	14.8 ± 10.7 b
72	11.1 ± 1.1 b	0.6 ± 0.1 b	4.4 ± 0.5 b	15.4 ± 7.0 b

- 시간별 (20%) 수박 접목묘의 생체중의 경우 시간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보였음
- 건물중은 잎을 제외하고 생체중과 같은 경향을 보였음
- 총실도를 보았을 때에는 시간이 지남에 따라 감소하는 양상을 보이지 않았으며 48h 처리구에서 증가하였다가 72h 처리구에서 다시 감소하는 모습이 나타났음

표. 시간별 수박 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	2.82 ± 0.43 a	3.06 ± 1.45 a	1.05 ± 0.09 a	0.312 ± 0.042 a	0.190 ± 0.020 a	0.046 ± 0.004 a	26.9 ± 1.2 a
24	0.18 ± 0.08 b	2.25 ± 1.13 ab	0.77 ± 0.15 b	0.134 ± 0.031 b	0.120 ± 0.022 b	0.033 ± 0.006 b	21.4 ± 4.5 b
48	0.17 ± 0.04 b	1.81 ± 0.33 ab	0.64 ± 0.27 bc	0.158 ± 0.045 b	0.104 ± 0.006 bc	0.030 ± 0.011 b	23.4 ± 3.5 ab
72	0.21 ± 0.10 b	1.32 ± 0.26 b	0.40 ± 0.20 c	0.141 ± 0.040 b	0.095 ± 0.007 c	0.029 ± 0.013 b	21.5 ± 4.2 b

▶ 시간별 오이 접목묘의 생육 편차 결과

- 시간별(20%) 오이 접목묘 생육 결과, 초장, 경경, 엽수, 클로로필 함량, 엽면적 모두 처리구의 시간이 길어짐에 따라 감소하였음
- 초장의 경우 무처리구와 처리구들간의 유의미한 차이가 나타났음

표. 시간별 오이 접목묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	11.4 ± 1.1 a	4.3 ± 0.4 a	4.0 ± 0.0 a	43.6 ± 3.6 a	64.1 ± 2.0 a
24	9.0 ± 0.9 b	4.3 ± 0.5 a	4.0 ± 0.5 a	45.5 ± 2.5 a	56.6 ± 1.4 a
48	8.7 ± 1.0 b	4.1 ± 0.6 a	4.0 ± 0.0 a	43.5 ± 4.1 a	48.7 ± 1.1 b
72	8.3 ± 0.8 b	3.3 ± 0.5 b	3.1 ± 0.3 b	43.2 ± 6.1 a	36.4 ± 2.2 c

- 오이 접목묘의 시간별 근권부 생육 비교 결과 근장은 처리구인 24h를 기준으로 감소하였음
- 근권부 표면적과 근단수의 경우 24h 처리구에서 감소하였다가 48h, 72h 처리구를 거치며 다시 증가하는 모습을 보였음

표. 시간별 오이 접목묘의 뿌리

Treatment (h)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)						Root surface (cm ²)	Root Volume (cm ³)	Root average diameter (mm)
	>0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	total			
Control	273.4 ± 57.8 a	36.1 ± 8.7 a	5.3 ± 2.8 a	1.1 ± 1.2 a	1.3 ± 1.9 a	317.1 ± 65.1 ab	16.4 ± 4.8 a	0.8 ± 0.3 a	3445.8 ± 868.0 a
24	224.1 ± 44.3 b	34.6 ± 6.0 a	5.8 ± 1.6 a	1.1 ± 0.8 a	1.5 ± 0.9 a	291.5 ± 49.6 ab	13.5 ± 3.3 a	0.6 ± 0.2 b	2630.1 ± 597.3 b
48	250.0 ± 27.6 ab	33.2 ± 8.5 a	5.7 ± 1.5 a	1.5 ± 1.1 a	1.1 ± 0.9 a	264.1 ± 31.4 b	13.7 ± 2.2 a	0.5 ± 0.2 b	2701.3 ± 468.9 b
72	300.1 ± 71.2 a	35.3 ± 13.5 a	5.8 ± 4.2 a	1.7 ± 1.5 a	1.1 ± 1.0 a	343.9 ± 85.3 a	14.5 ± 2.9 a	0.5 ± 0.2 b	1989.7 ± 522.0 c

- 시간별 처리 시간에 따른 오이 접목묘의 생체중과 건물중 모두 처리구 시간 순서 별로 값이 감소하는 경향을 보였음
- 총실도의 경우 24h 처리구에서 무처리구보다 높아지는 값을 보였으나 처리구들의 시간이 지남에 따라 다시 감소하는 모습이 나타났음

표. 시간별 오이 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	1.43 ± 0.22 a	1.54 ± 0.18 a	1.44 ± 0.36 a	0.177 ± 0.024 a	0.088 ± 0.024 a	0.051 ± 0.009 a	23.4 ± 3.4 a
24	1.35 ± 0.22 ab	1.41 ± 0.22 a	1.32 ± 0.20 ab	0.147 ± 0.027 b	0.070 ± 0.027 b	0.038 ± 0.013 b	24.4 ± 4.6 a
48	1.17 ± 0.12 b	1.17 ± 0.29 b	1.23 ± 0.19 ab	0.133 ± 0.020 b	0.067 ± 0.020 bc	0.036 ± 0.009 bc	23.5 ± 5.7 a
72	0.83 ± 0.25 c	1.05 ± 0.17 b	1.12 ± 0.25 b	0.102 ± 0.033 c	0.057 ± 0.033 c	0.028 ± 0.008 c	18.8 ± 4.0 b

▶ 시간별 토마토 접목묘의 생육 편차 결과

표. 시간별 토마토 접목묘의 생육



그림. 고농도 CO₂ 장시간 처리에 따른 토마토 생육 부작용 (좌측부터 0h, 24h, 48h, 72h 순)

- 고농도 CO₂ 처리에 따른 토마토 생육의 부작용을 확인한 결과, 처리 시간이 길어짐에 따라 작물은 점차 아래로 처지며 시들어보이는 현상을 보였음
- 특히 24h 처리구에서 48h, 72h 처리구로 지나면서 작물의 색이 노랗게 변하는 현상이 발생하였음
- 시간별 토마토 접목묘의 생육 비교 결과, 초장, 경경과 엽면적의 경우 무처리구에서 24h 처리구로 시간이 지나면서 감소하는 양상을 보였다가, 48h 처리구에서 다시 증가하며 72h 처리구에서 다시 감소하는 모습을 보였음
- 엽수의 경우 처리구가 변화함에 따라 감소하는 모습을 보였음
- 잎의 클로로필 함량의 경우, 통계적으로 유의한 차이는 없었지만, 무처리구를 포함한 처리구들에서 24h에서 54.5로 최대값이 나타났으며, 24h에서 처리구의 시간이 변화함에 따라 감소하는 양상이 나타났음

표. 시간별 토마토 접목묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	11.6 ± 0.5 ab	4.1 ± 0.4 a	7.6 ± 0.9 a	50.8 ± 3.1 a	137.0 ± 13.9 a
24	11.7 ± 1.4 ab	2.5 ± 0.3 b	7.0 ± 0.0 ab	54.5 ± 8.1 a	69.8 ± 9.5 bc
48	12.2 ± 1.5 a	2.6 ± 0.4 b	7.0 ± 0.7 ab	53.9 ± 4.7 a	77.6 ± 14.4 b
72	10.6 ± 0.7 b	2.7 ± 0.1 b	6.6 ± 0.5 b	51.7 ± 6.2 a	55.4 ± 14.2 c

- 토마토 접목묘의 시간별 근권부 생육 비교 결과, 근권부 표면적과 근단수는 처리구인 24h를 기준으로 감소하였음
- 근장의 경우 무처리구에서 24h 처리구로 변화함에 따라 증가하였으나, 처리구의 시간이 변화함에 영향을 받아 다시 감소하는 양상을 보였음

표. 시간별 토마토 접목묘의 뿌리

Treatment (h)	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)						Root surface (cm ²)	Root volume (cm ³)	Root average diameter (mm)
	>0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	<2.0mm	total			
Control	381.5 ± 131.9 a	49.4 ± 18.7 a	6.8 ± 4.3 a	1.1 ± 2.0 a	0.4 ± 0.7 ab	439.3 ± 149.0 a	29.2 ± 5.8 a	1.6 ± 0.5 a	5261.8 ± 1502.9 a
24	322.7 ± 40.9 a	31.2 ± 16.8 a	3.2 ± 3.0 a	0.4 ± 0.6 a	0.0 ± 0.0 b	357.6 ± 48.6 a	27.4 ± 6.9 a	1.8 ± 1.0 a	3624.8 ± 523.4 b
48	294.1 ± 33.5 a	38.7 ± 9.6 a	2.2 ± 2.9 a	1.0 ± 2.2 a	0.1 ± 0.1 b	336.1 ± 36.6 a	25.2 ± 6.1 a	1.6 ± 0.7 a	3159.6 ± 565.2 b
72	274.7 ± 75.5 a	40.2 ± 13.1 a	6.3 ± 2.1 a	1.2 ± 0.8 a	1.0 ± 1.0 a	323.4 ± 86.1 a	14.9 ± 5.5 b	0.5 ± 0.3 b	2461.8 ± 1097.2 b

- 시간별 토마토 접목묘의 생체중의 경우, 잎을 제외한 줄기와 뿌리는 처리구가 변화함에 따라 감소하는 모습을 보였음
- 생체중 잎의 경우, 무처리구에서 24h 처리구로 변화하였을 때 감소하였으나 48h 처리구에서 72h 처리구로 변화하며 해당 값은 다시 감소하는 값을 보였음
- 시간별 토마토 접목묘의 건물중 모두 무처리구에서 24h 처리구로 가며 감소하였으나 48h 처리구에서 다시 증가하였고, 72h 처리구에서는 감소하였음

표. 시간별 토마토 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	5.19 ± 0.42 a	2.03 ± 0.22 a	1.77 ± 0.23 a	0.573 ± 0.033 a	0.145 ± 0.017 a	0.108 ± 0.019 a	12.5 ± 4.1 a
24	3.42 ± 1.02 b	1.96 ± 0.18 a	1.53 ± 0.50 a	0.416 ± 0.132 b	0.113 ± 0.036 ab	0.067 ± 0.035 b	9.5 ± 10.9 b
48	4.15 ± 0.74 b	1.95 ± 0.36 a	1.45 ± 0.37 a	0.450 ± 0.096 ab	0.118 ± 0.020 ab	0.073 ± 0.025 ab	9.7 ± 7.7 b
72	3.19 ± 0.81 b	1.56 ± 0.24 b	0.88 ± 0.29 b	0.364 ± 0.098 b	0.101 ± 0.023 b	0.053 ± 0.024 b	9.5 ± 9.7 b

▶ 시간별 고추 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도 CO₂ 장시간 처리에 따른 고추 생육 부작용 (좌측부터 0h, 24h, 48h, 72h 순)

- 시간별 고추 생육의 부작용을 검토한 결과, 24h 처리구에서는 잎이 모두 떨어졌으나, 이는 24h 처리구의 생육 부작용 그림 측정 당시 잎이 떨어져 발생한 문제로 예상됨
- 48h 처리구에서는 잎이 떨어지지 않는 않았으나, 지상부의 맨 윗 부분이 하얗게 변하는 현상이 발생하였음
- 72h 처리구에서는 작물이 시들어보이는 모습을 보이며 작물의 줄기가 꺾이는 현상이 나타남
- 시간별 고추 실생묘의 생육을 살펴본 결과, 무처리구부터 48h 처리구까지 감소하는 모습을 보이다가 72h 처리구에서는 다시 증가하는 모습을 보였음
- 경경의 경우, 무처리구에서 처리구들로 시간이 변화함에 따라 감소하였음

- 엽수의 경우, 24h 처리구에서 최소값이었으나 이는 위 생육 부작용의 서술과 동일하게 측정 당시 잎이 떨어지면서 발생한 값 차이라고 생각됨
- 잎의 클로로필 함량은 무처리구에서만 측정이 가능하였고, 처리구들에서는 측정할 수 없는 상태였음

표. 시간별 고추 실생묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	36.6 ± 0.8 a	2.2 ± 0.2 a	15.4 ± 1.5 a	37.2 ± 1.4 a
24	29.3 ± 3.3 a	1.2 ± 0.5 b	5.2 ± 2.2 a	0
48	27.2 ± 5.3 b	0.3 ± 0.1 c	10.6 ± 1.7 b	0
72	29.8 ± 1.6 b	0.3 ± 0.1 c	9.8 ± 1.9 b	0

- 시간별 고추 실생묘의 생체중을 확인하였을 때, 잎은 처리구들이 변화함에 따라 값이 증가하는 양상을 띄었음
- 생체중의 줄기와 뿌리는 무처리구에서 처리구들로 시간이 변화함에 따라 값이 감소하는 모습을 보였음
- 건물중의 경우, 생체중의 줄기와 뿌리와 같은 동일한 모습을 보였음
- 그러나 건물중의 잎의 경우, 72h 처리구에서 다시 증가하는 값을 보였음
- 총실도는 오히려 무처리구에 비해 처리구들의 값은 감소하였지만, 처리구간 비교시 24 ~ 72h 처리구 순으로 증가하는 경향이 나타났음

표. 시간별 고추 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	4.65 ± 0.71 a	0.47 ± 0.26 a	1.48 ± 0.35 a	0.608 ± 0.089 a	0.528 ± 0.041 a	0.143 ± 0.027 a	168.0 ± 26.8 a
24	0.18 ± 0.08 c	2.44 ± 0.62 b	0.58 ± 0.22 b	0.958 ± 0.038 c	0.183 ± 0.040 b	0.458 ± 0.015 b	26.4 ± 8.1 b
48	0.40 ± 0.20 bc	1.23 ± 0.31 c	0.58 ± 0.23 b	0.256 ± 0.114 b	0.144 ± 0.046 b	0.442 ± 0.017 b	35.4 ± 8.7 b
72	0.86 ± 0.18 b	1.23 ± 0.43 c	0.49 ± 0.25 b	0.373 ± 0.098 b	0.136 ± 0.044 b	0.424 ± 0.019 b	45.0 ± 11.3 b

▶ 시간별 파프리카 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 고농도 CO₂ 장시간 처리에 따른 파프리카 생육 부작용 (좌측부터 0h, 24h, 48h, 72h 순)

- 파프리카 실생묘 생육 부작용 검토 결과, 처리 시간이 지남에 따라 줄기가 꺾이며 초장이 줄어드는 모습을 보임
- 또한, 처리 시간이 길어짐에 따라 엽색이 노랗게 변화하는 현상이 발생하였음
- 시간별 파프리카 실생묘의 생육 비교 결과, 초장, 경경과 잎의 클로로필 함량은 처리 시간이 지남에 따라 해당 값들이 감소하는 모습을 보였음

- 또한, 초장, 경경과 잎의 클로로필 함량은 무처리과 처리구들간의 비교시, 통계적으로 유의미한 차이를 갖고 있는 것으로 나타났음
- 엽수의 경우는 처리 시간이 지나면서 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 측정 당시 엽들이 떨어지는 것을 감안하지 못한 값으로 생각됨
- 따라서 차후년도 실험 시에는 이를 보완하여 떨어진 엽들까지 조사 결과에 포함할 수 있도록 할 계획임

표. 시간별 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	17.3 ± 0.7 a	2.8 ± 0.2 a	15.2 ± 2.5 a	51.7 ± 4.2 a
24	14.6 ± 1.5 b	2.3 ± 0.2 b	7.6 ± 2.9 a	28.2 ± 22.0 b
48	14.5 ± 1.1 b	0.7 ± 0.1 c	8.2 ± 0.8 a	28.2 ± 14.1 b
72	12.4 ± 2.1 c	0.6 ± 0.1 c	9.6 ± 0.5 a	27.0 ± 11.4 b

- 시간별 파프리카 실생묘의 생체중 검토 결과, 처리 시간이 지남에 따라 값들이 모두 감소하는 모습을 보였음
- 건물중의 경우에는 줄기와 뿌리만 생체중과 비슷한 양상을 보였고, 잎의 경우에는 48h 처리구부터 다시 값이 증가하였음
- 총실도의 경우, 무처리구에 비하여 처리구들의 값은 많이 감소하였으나, 72h 처리구에서는 앞선 처리구들과 다르게 42.3으로 증가한 값을 보였음

표. 시간별 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	6.45 ± 1.21 a	3.47 ± 0.66 a	3.81 ± 0.86 a	0.745 ± 0.129 a	0.530 ± 0.236 a	0.286 ± 0.045 a	73.7 ± 21.3 a
24	0.95 ± 0.16 b	2.24 ± 0.50 b	1.64 ± 0.46 b	0.303 ± 0.070 b	0.229 ± 0.052 b	0.133 ± 0.037 b	36.2 ± 4.7 b
48	0.84 ± 0.16 b	1.13 ± 0.19 c	1.30 ± 0.30 bc	0.352 ± 0.066 b	0.154 ± 0.041 b	0.107 ± 0.017 bc	34.8 ± 4.2 b
72	1.47 ± 0.24 b	1.12 ± 0.23 c	0.77 ± 0.21 c	0.363 ± 0.182 b	0.154 ± 0.049 b	0.079 ± 0.018 c	42.3 ± 17.8 b

◆ 2차년도

▪ 연구내용 1 : 저면 급수 매트 시스템의 최적 관수 기술 정립

- 저면 급수 매트를 이용한 과채류 접목 및 실생묘 생육 편차 비교

▶ 저면 급수 매트를 이용한 고추 실생묘 재배 균일성 비교 실험 결과



그림. 고추 뿌리 스캔 사진

- 저면 급수 매트를 이용하여 관수한 고추 실생묘의 관수 균일성 조사 결과 두상관수 시 숙련도의 부족으로 인해 발생할 수 있는 문제점인 관수 편차가 감소하는 것으로 조사되었음
- 트레이의 중앙부분(center)에 비하여 가장자리(edge)부분의 초장이 약 13%(5cm) 정도의 적었는데, 이는 공기 유동으로 인해 증산량이 많은 가장자리 부분에서 초장이 억제되는 것이 원인으로 생각됨
- 두상관수 시에도 이와 같은 현상이 발생하기 때문에 생육 편차를 줄이기 위하여 증산량이 많은 부분의 관수량을 늘리는 방법을 사용하고 있음
- 엽폭도 중앙 1.7cm, 가장자리 1.9cm로 가장자리 부분이 11% 더 컸는데, 이는 중앙부분에 비하여 작물 간의 간섭현상이 적어서 잎의 발달이 원활하였던 것의 결과로 생각됨
- 본 실험에서는 소량의 트레이를 실험하였기에, 다음 단계(2023년) 연구 수행 시 30판 이상의 대량의 실증실험을 수행하여 이와 같은 편차를 극복할 수 있는 방안을 연구할 계획임

표. 트레이 위치에 따른 고추 실생묘의 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Total leaf length (cm)	Average leaf width (cm)
Center	31.6 ± 1.0	1.6 ± 0.2	11.4 ± 0.8	32.5 ± 2.1	152.5 ± 13.0	88.7 ± 6.8	1.7 ± 0.1
Edge	27.7 ± 1.0	1.6 ± 0.1	11.2 ± 0.8	33.0 ± 3.2	152.4 ± 25.7	83.4 ± 14.9	1.9 ± 0.2
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

- 초장을 제외한 경경, 엽수, SPAD, 엽면적, 엽장의 생육지표면 위치에 따른 생육 편차가 발생하지 않았음
- 지상부, 지하부의 생체중과 건물중을 비교한 결과, 중앙 부분의 줄기 생체중과 건물중이 각각 13%, 9% 더 높았고, 이는 초장의 차이에 의한 결과와 일치하였음
- 근권부 생육은 줄기와 달리 가장자리 부분이 생체중과 건물중이 각각 3%, 7% 무겁게 조사되었음
- 이것으로 보아 가장자리 부분은 모종의 키가 작고 뿌리는 많이 발달한 것을 알 수 있었음
- 일반적으로 두상관수 재배 시 중앙부위의 모종이 충실하고, 가장자리 부분은 약하게 크는 경향이 있지만, 저면 급수 매트의 경우 관수량이 두상관수에 비하여 많다 보니 오히려 증산이 활발한 가장자리의 모종이 충실하고 중앙 부분이 과습으로 인해 도장하는 모습이 나타났음
- 이와 같은 결과는 모종의 충실도를 나타내는 지표인 Compactness 조사 결과 가장자리는 21.7mg/cm, 중앙은 18.9mg/cm로 가장자리 부분의 충실도가 5% 높았음
- 지상부와 지하부의 비율을 나타내는 T/R을 비교 결과 생체중과 건물중 모두 중앙 부분이 높았는데, 이는 지하부에 비하여 지상부의 생육이 컸다는 것을 의미함

표. 트레이 위치에 따른 고추 실생묘의 생체중, 건물중, 충실도와 T/R율

Treat ment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)	T/Rratio (fresh weight)	T/Rratio (dry weight)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root			
Center	3.11 ± 0.30	2.83 ± 0.24	0.79 ± 0.08	0.333 ± 0.077	0.266 ± 0.021	0.066 ± 0.004	18.9 ± 2.5	7.6 ± 0.6	9.0 ± 0.9
Edge	3.09 ± 0.54	2.47 ± 0.21	0.82 ± 0.14	0.358 ± 0.067	0.243 ± 0.024	0.071 ± 0.016	21.7 ± 3.0	6.9 ± 1.0	8.7 ± 1.2
Signif icance	NS	NS	*	NS	NS	***	NS	NS	NS

- 세부적인 근권부 발달 정도를 비교하기 위하여 뿌리스캐너를 활용하여 세근의 발달 정도를 비교한 결과, 뿌리의 총 발달 양도 중앙보다 가장자리가 약 18% 많았고, 세근의 발생 비율은 두 처리구 모두 77%로 같은 비율을 보였음
- 평균 근경과 양 모두 통계적으로는 유의미한 차이를 보이지 않았는데 이로 보아 전체적인 뿌리 발달의 양은 차이가 있으나, 형태적인 발달 차이는 나타나지 않은 것으로 생각됨
- 이것으로 종이포트의 관수 시스템을 기존 두상관수 방식이 아닌 저면관수 방식으로 전환한다면, 관수 자동화로 인한 작업의 용이성은 높아지지만 중앙 부분의 과습으로 발생하는 도장의 위험을 줄이기 위한 조치가 필요할 것으로 판단됨
- 따라서 본 연구팀에서는 이러한 실용화 단계의 문제점을 극복하기 위하여 다음 단계(2023년) 연구 수행 시 모델 수준이 아닌 저면관수 테스트 베드 수준의 설비를 설치하여 200평 규모의 실용화 연구를 수행하고 이 결과를 토대로 대규모 관수 설비 개선을 고려할 예정임

표. 트레이 위치에 따른 고추 실생묘의 뿌리

Treat ment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)						Root surface (cm ²)	Root Volume (cm ³)	Root average diameter (mm)
	>0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm	total			
Center	136.1 ± 28.5	30.6 ± 6.4	5.9 ± 2.5	2.1 ± 1.4	1.9 ± 1.4	176.7 ± 31.9	13.8 ± 2.2	0.78 ± 0.03	0.84 ± 0.12
Edge	162.0 ± 40.9	36.0 ± 9.9	7.1 ± 3.1	2.4 ± 1.5	1.4 ± 1.2	208.9 ± 53.3	14.9 ± 3.8	0.73 ± 0.20	0.88 ± 0.40
Signif icance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	**

▶ 저면 급수 매트를 이용한 수박 접목묘 재배 균일성 비교 실험 결과

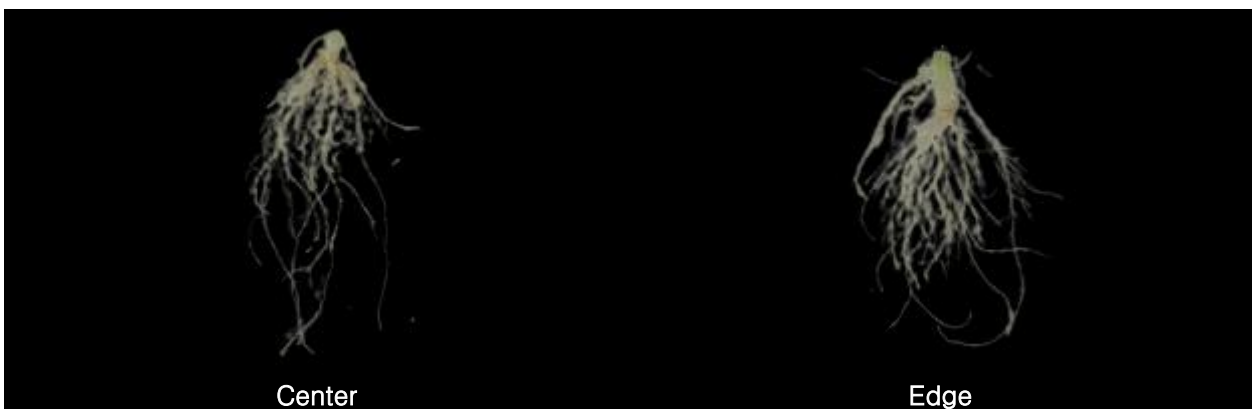


그림. 수박 뿌리 스캔 사진

- 대표적인 호기성 채소인 수박의 생육 비교 조사 결과 초장은 중앙이 20.4cm, 가장자리 18.5cm로 가장자리가 10% 작았고, 경경은 15% 작았음
- 엽면적은 중앙과 가장자리 각각 81.2m², 82.3cm²로 처리구 간의 차이는 없었고, 이러한 결과는 엽수, SPAD 등의 지표에서도 동일하게 나타났음

- 이것으로 보아 수박은 저면관수 시 트레이 위치에 의한 차이는 크지 않은 것으로 판단 됨

표. 트레이 위치에 따른 수박 접목묘의 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Total leaf length (cm)	Average leaf width (cm)
Center	20.4 ± 3.7	2.0 ± 0.6	6.7 ± 0.6	32.5 ± 1.1	81.2 ± 12.3	35.3 ± 13.4	2.3 ± 0.5
Edge	18.5 ± 2.1	1.7 ± 0.5	6.9 ± 0.3	33.6 ± 3.3	82.3 ± 10.1	38.3 ± 9.7	2.2 ± 0.4
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

- 수박의 생체중 비교 결과 앞의 생체중은 중앙 2.29g, 가장자리 2.3g, 줄기의 생체중은 중앙 2.78g, 가장자리 2.68g, 뿌리의 생체중은 중앙 0.83g, 가장자리 0.85g으로 처리구간 차이가 없었음
- 건물중도 생체중과 같이 트레이 위치에 따른 편차는 보이지 않았고, 묘소질의 지표로 활용되는 총실도는 가장자리 15.5mg/cm, 중앙 14.8mg/cm으로 가장자리 모종의 총실도가 4.7% 높았음
- 이와 같은 결과로 보아 수박은 다른 작목에 비하여 과습에 따른 생육 저하 현상이 적은 것으로 관찰되었으며 이는 플러그 트레이 저면관수 시스템에 비하여 배수가 용이하고 통기성이 뛰어난 원통형 종이포트 시스템의 특징으로 인한 것으로 생각됨

표. 트레이 위치에 따른 수박 접목묘의 생체중, 건물중, 총실도와 T/R율

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)	T/Rratio (fresh weight)	T/Rratio (dry weight)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root			
Center	2.29 ± 0.96	2.78 ± 0.57	0.83 ± 0.18	0.183 ± 0.081	0.119 ± 0.035	0.029 ± 0.006	14.8 ± 5.1	6.0 ± 0.7	10.1 ± 1.9
Edge	2.30 ± 0.60	2.68 ± 0.32	0.85 ± 0.14	0.196 ± 0.047	0.093 ± 0.034	0.035 ± 0.006	15.5 ± 2.5	5.9 ± 0.8	8.6 ± 2.4
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

▶ 저면 급수 매트를 이용한 오이 접목묘 재배 균일성 비교 실험 결과

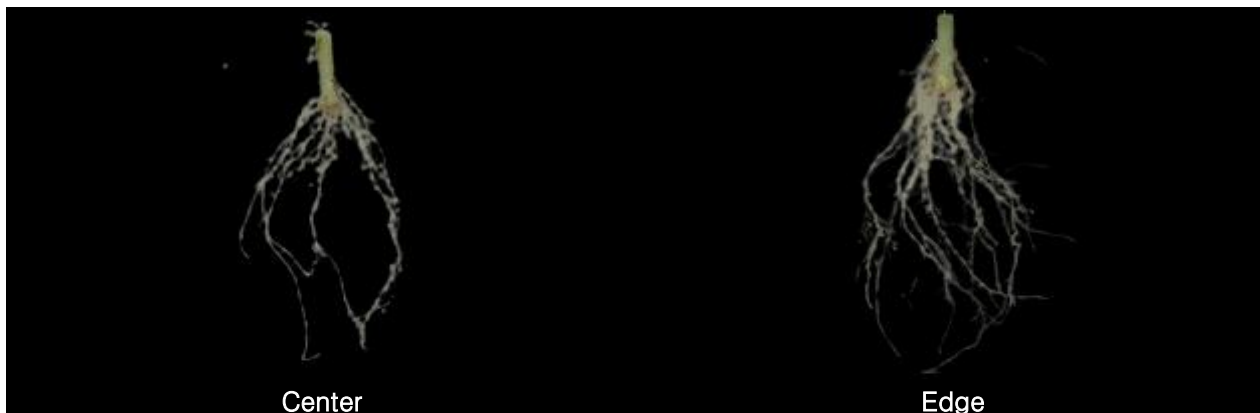


그림. 오이 뿌리 스캔 사진

- 오이의 저면 급수 매트 생육 비교 결과 초장은 중앙 27.7cm, 가장자리 27.1cm로 위치에 의한 생육 차이는 보이지 않았음
- 이와 같은 결과는 경경, 엽수, SPAD, 엽면적 등의 지표에서도 동일하게 나타났음
- 가장자리의 엽면적이 중앙에 비하여 20.7cm² 크긴 하였지만, 통계적으로 유의미한 차이를

보이지는 않았음

- 오이는 타작물에 비하여 위치 간 평균값의 차이도 적었는데 이것으로 보아 기존의 두상관수를 저면관수로 변경할 경우 오이 육묘에 있어서는 생육 안정성이 담보될 것으로 생각됨

표. 트레이 위치에 따른 오이 접목묘의 생육

Treat ment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Total leaf length (cm)	Average leaf width (cm)
Center	27.7 ± 4.2	1.8 ± 0.4	5.1 ± 0.3	30.8 ± 3.6	160.9 ± 39.0	36.1 ± 5.8	5.0 ± 2.2
Edge	27.1 ± 2.2	1.9 ± 0.3	5.1 ± 0.2	31.2 ± 2.5	181.6 ± 34.2	36.3 ± 3.8	4.9 ± 0.6
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

- 이와 같은 결과는 생체중과 건물중에서도 동일하게 나타났음
- 잎, 줄기 및 뿌리의 생체중 모두 처리구가 차이가 거의 없었음
- 묘의 총실도는 가장자리가 15.1mg/cm로 중앙에 비하여 2.6mg/cm 높았으나 통계적인 유의성은 없는 것으로 나타났음.
- 이것으로 보아 오이는 수박과 같이 위치별 생육 편차가 거의 없는 것으로 판단됨
- 따라서 박과 채소 육묘 매출의 70% 수준을 차지하는 오이 모종의 관수 관리를 기존 두상관수 방식에서 저면관수 시스템으로 전환한다면, 공정 육묘장의 경영성 안정화에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 생각됨

표. 트레이 위치에 따른 오이 접목묘의 생체중, 건물중, 총실도와 T/R율

Treat ment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)	T/Rratio (fresh weight)	T/Rratio (dry weight)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root			
Center	3.30 ± 0.64	3.15 ± 0.69	0.75 ± 0.22	0.243 ± 0.771	0.107 ± 0.048	0.032 ± 0.012	12.5 ± 2.1	8.5 ± 1.5	11.6 ± 3.7
Edge	3.36 ± 0.66	3.17 ± 0.40	0.82 ± 0.24	0.289 ± 0.095	0.121 ± 0.023	0.038 ± 0.015	15.1 ± 3.8	8.2 ± 1.2	11.1 ± 2.4
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

▶ 저면 급수 매트를 이용한 토마토 접목묘 재배 균일성 비교 실험 결과

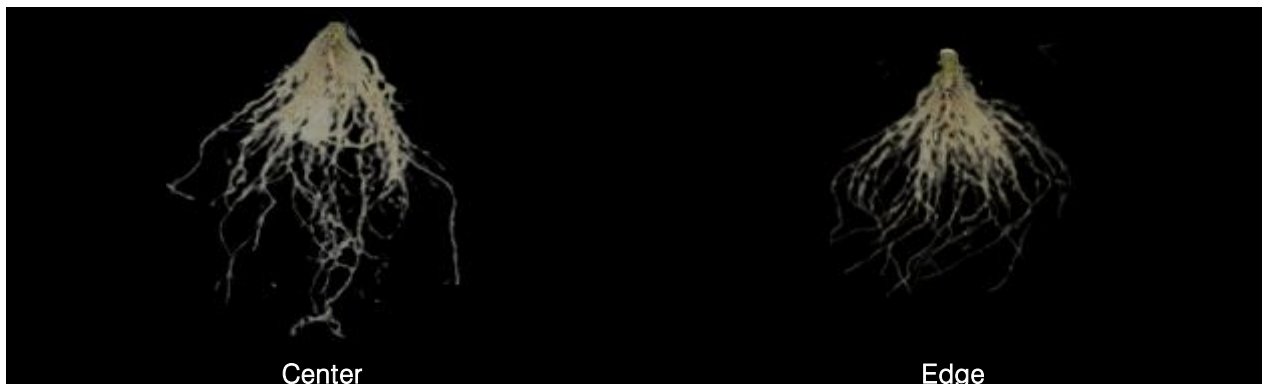


그림. 토마토 뿌리 스캔 사진

- 토마토 저면 급수 매트 균일성 비교를 위하여 모종의 생육 특성을 비교한 결과 초장은 중앙과 가장자리는 각각 23.6cm, 22cm로 오차 범위 내 처리구간 차이가 없었음
- 경경, 엽수, 엽장 등의 지상부 생육 지표들도 두 처리구간의 유의미한 차이를 보이지 않았고, 엽면적은 평균값이 164.1cm², 158.6cm²로 차이가 있었지만, 통계적으로 의미가 있는 차이는

없었음

- 이것으로 보아 토마토 접목묘는 저면관수로 인한 중앙부의 과습 도장 정도가 적은 것으로 생각됨

표. 트레이 위치에 따른 토마토 접목묘의 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Total leaf length (cm)	Average leaf width (cm)
Center	23.6 ± 2.3	1.8 ± 0.3	7.8 ± 0.8	42.1 ± 3.5	164.1 ± 24.1	78.4 ± 10.1	2.1 ± 0.2
Edge	22.0 ± 1.9	1.9 ± 0.3	7.8 ± 0.6	44.4 ± 4.4	158.6 ± 32.6	77.7 ± 11.9	2.0 ± 0.1
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

- 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중 조사 결과 생체중의 지상부와 지하부의 생육 비율을 표현하는 T/R율이 중앙 6.8, 가장자리 5.7로 중앙 부분의 지상부가 컸다는 유의미한 차이를 보였지만, 다른 지표들과 비교한 경우 처리구간 유의미한 차이가 크지 않았다고 판단됨

- 모종의 품질을 의미하는 지표인 총실도는 중앙 부분이 10.9, 가장자리 부분이 12.6으로 가장 자리 부분의 총실도가 높은 것으로 조사되었고, 이는 모든 작물에서 동일하게 나타났음

표. 트레이 위치에 따른 토마토 접목묘의 생체중, 건물중, 총실도와 T/R율

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)	T/Rratio (fresh weight)	T/Rratio (dry weight)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root			
Center	4.68 ± 0.91	4.05 ± 0.68	1.30 ± 0.21	0.595 ± 0.143	0.256 ± 0.051	0.068 ± 0.016	10.9 ± 2.0	6.8 ± 0.7	13.0 ± 4.2
Edge	4.98 ± 1.57	4.19 ± 0.77	1.71 ± 0.48	0.670 ± 0.168	0.275 ± 0.067	0.089 ± 0.032	12.6 ± 3.2	5.7 ± 1.7	11.4 ± 2.6
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS

- 근권부의 세부적 발달은 비교한 결과 가장자리 부분의 근권부 발달이 중앙 부분에 비하여 약 30% 많은 것으로 조사되었으며, 이는 0.5mm 미만의 세근의 발달에서도 유의미한 차이를 보였음

- 이는 토마토도 역시 다른 작물과 같이 저면관수 시스템을 적용할 경우 중앙 부분의 과습으로 인한 지상부 도장 및 지하부 발달 저해 현상을 주의해야 할 것으로 판단됨

표. 트레이 위치에 따른 토마토 접목묘의 뿌리

Treatment	Root length (cm) & Ratio between five types root diameter (%)					Root surface (cm ²)	Root Volume (cm ³)	Root average diameter (mm)	
	>0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~1.5mm	1.5~2.0mm	< 2.0mm				total
Center	182.2 ± 43.3	35.8 ± 9.3	6.4 ± 2.5	2.5 ± 1.1	2.3 ± 1.4	229.2 ± 52.6	15.4 ± 3.2	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.3
Edge	258.3 ± 74.1	42.6 ± 9.3	6.6 ± 1.4	2.9 ± 1.1	2.4 ± 1.3	312.9 ± 53.8	28.0 ± 4.3	0.9 ± 0.2	2.0 ± 0.6
Significance	*	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*

▶ 저면 급수 매트를 이용한 파프리카 실생묘 재배 균일성 비교 실험 결과

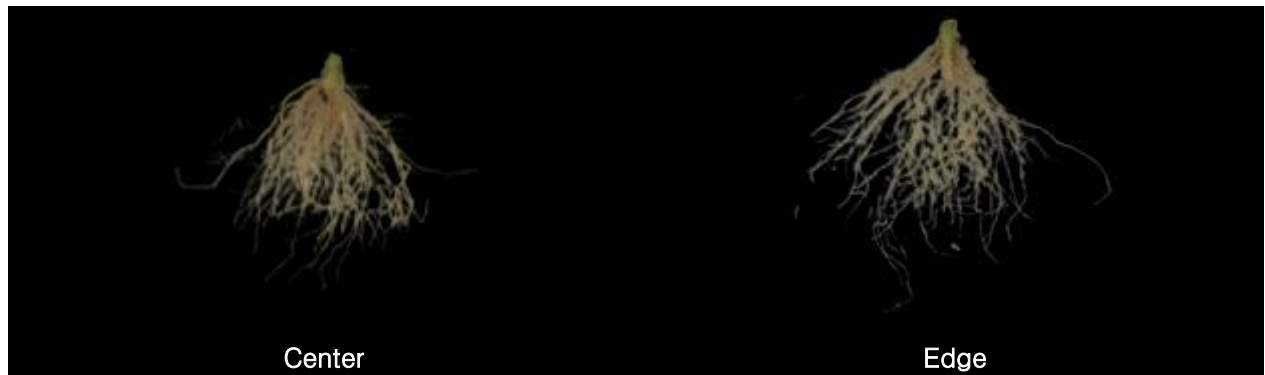


그림. 파프리카 뿌리 스캔 사진

- 파프리카 육묘 저면관수 시 균일성 비교 결과 초장은 중앙 21.2cm, 가장자리 20.8cm로 처리구간 차이가 없었으며 경경, 엽수 및 SPAD도 동일한 경향을 보였음
- 엽면적은 가장자리가 221.6cm²로 중앙에 비하여 28% 높았고, 이는 잎의 겹침으로 인한 간섭 현상에 예민한 파프리카의 생육 특성으로 인해 발생한 것으로 생각됨
- 이와 같이 중앙 부분의 초장이 약간 크고 엽면적이 적은 생육은 대규모로 적용하였을 때, 90% 이상의 모종 생육이 키가 크고 잎이 작은 도장묘의 모습을 보인다는 것으로 판단할 수 있음
- 따라서 저면 급수 매트 시스템을 적용할 경우, EC 조절 및 관수 개시점을 조정하여 이와 같은 현상을 해결하는 방안이 필요할 것으로 판단됨

표. 트레이 위치에 따른 파프리카 실생묘의 생육

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)	Average leaf width (cm)
Center	21.2 ± 2.5	2.4 ± 0.3	8.3 ± 1.4	37.1 ± 4.0	172.4 ± 26.4	2.3 ± 0.2
Edge	20.8 ± 2.1	2.6 ± 0.3	8.6 ± 1.2	38.3 ± 2.7	221.6 ± 50.0	2.5 ± 0.2
Significance	NS	NS	NS	NS	*	NS

- 지상부 생체중은 엽면적 결과의 차이와 같이 잎의 생체중은 가장 자리 부분이 4.21g으로 중앙에 비하여 약 23% 많았음
- 이외의 줄기, 뿌리의 생체중과 건물중은 처리구간 유의미한 차이를 보이지 않았음
- 파프리카는 잎의 발달 차이 이외에는 처리구간 차이가 거의 없는 것으로 조사되었고, 이것으로 보아 파프리카는 저면관수로 인한 과습의 영향을 상대적으로 적게 받는 것으로 판단됨

표. 트레이 위치에 따른 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중, 충실도와 T/R을

Treatment	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)	T/Rratio (fresh weight)	T/Rratio (dry weight)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root			
Center	3.41 ± 0.68	2.78 ± 0.97	1.13 ± 0.50	0.266 ± 0.139	0.148 ± 0.081	0.054 ± 0.030	19.2 ± 9.1	5.6 ± 0.6	9.7 ± 1.0
Edge	4.21 ± 0.69	3.04 ± 0.76	1.31 ± 0.47	0.362 ± 0.109	0.170 ± 0.051	0.070 ± 0.024	25.5 ± 6.0	5.8 ± 0.5	7.9 ± 1.0
Significance	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*

▶ 출하 전 토마토 접목묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 농도별 나타나는 건조

스트레스 내성 비교

- 강원도 지역의 하계작형 토마토 온실의 경우 일사량이 높은 5월~6월 사이에 정식을 하는 경우가 많은데, 이와 같은 환경에서 양액기의 고장, 재배자의 부주의 등으로 인해 초기 관수가 정상적으로 공급되지 않는 경우가 발생함
- 이와 같은 현상을 예방하기 위하여 정식 직후 건조 스트레스에 노출 이후 정상관수가 시작되었을 때 작물의 회복 정도를 비교하기 위하여 고염류를 농도별로 처리하여 실험한 결과 무처리에 비하여 처리구들의 초장이 1.8 ~ 7.4cm 컸음
- 엽수는 고농도 처리구인 EC 10 처리구에서 가장 적었음
- 잎색을 표현하는 SPAD 조사 결과 무처리구는 39.2, 처리구는 41.3~46.68로 고염류 처리로 인한 잎색의 황백화 현상은 저감되는 것으로 조사되었음
- 흥미로웠던 것은 무처리구의 엽면적은 659.8cm², 처리구의 엽면적은 735.4~849.6cm²로 고염류 처리를 할 경우 건조 스트레스로 인한 생육 저해 현상이 약화될 수 있다고 판단됨
- 처리구간 엽수의 차이는 거의 없었음에도 엽면적의 차이가 위와 같이 크게 나타난 것은 개별 잎의 크기 차이가 매우 컸다는 것을 의미하며, 정식 초기 잎의 면적은 영양 생장을 해야 하는 작물에게 매우 큰 영향을 미치는 지표임
- 이것으로 보아 출하 직전 고염류 처리는 정식 후 예기치 못하게 발생하는 건조 스트레스로 인한 생육 불량 문제를 다소 예방할 수 있는 효과가 있다고 판단됨

표. 고농도 염류 처리 농도에 따른 토마토 접목묘의 생육

Treatment (EC)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	38.8 ± 4.0 c	2.62 ± 0.1 a	11.2 ± 0.8 bc	39.20 ± 3.5 b	659.8 ± 80.7 c
2	42.6 ± 0.9 b	2.34 ± 0.1 a	12.2 ± 0.4 a	41.32 ± 1.2 ab	766.6 ± 45.2 ab
4	46.2 ± 1.6 a	2.24 ± 0.2 a	11.8 ± 0.4 ab	43.60 ± 1.7 a	849.6 ± 123.2 a
6	43.6 ± 1.8 ab	2.28 ± 0.5 a	11.0 ± 0.7 bc	43.12 ± 2.5 a	763.6 ± 72.2 ab
8	40.6 ± 2.3 bc	2.20 ± 0.5 a	11.6 ± 0.5 ab	43.68 ± 1.1 a	823.0 ± 151.3 a
10	43.7 ± 2.4 ab	2.10 ± 0.2 a	10.6 ± 0.5 c	43.60 ± 1.3 a	735.4 ± 57.0 b

- 토마토 접목묘의 정식 15일 후 지상부의 생체중과 건물중 조사 결과 처리구의 잎 생체중은 20.87g으로 가장 작았고, 처리구는 24.5~29.9로 처리구에 비하여 잎의 생육량은 17~43%, 줄기도 19~40% 높았음
- 이러한 결과로 보아 고염류 처리가 건조 스트레스 내성을 증진시키는 효과가 있는 것으로 판단되고, 예상과 달리 농도에 의한 차이는 크지 않은 것이 나타났음

표. 고농도 염류 처리 농도에 따른 토마토 접목묘의 생육 생체중, 건물중, 총실도

Treatment (EC)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	20.87 ± 2.91 b	13.16 ± 2.49 c	2.012 ± 0.294 b	0.774 ± 0.184 b	71.8 ± 9.1 b
2	24.50 ± 2.41 ab	15.77 ± 1.66 b	2.466 ± 0.206 ab	1.003 ± 0.141 a	81.4 ± 7.8 ab
4	28.07 ± 3.54 a	18.53 ± 1.91 a	2.680 ± 0.435 a	1.089 ± 0.203 a	81.6 ± 13.5 ab
6	25.78 ± 2.31 ab	16.23 ± 1.11 ab	2.434 ± 0.239 ab	0.962 ± 0.073 ab	77.8 ± 4.7 b
8	29.93 ± 6.95 a	17.17 ± 2.49 ab	2.844 ± 0.684 a	1.055 ± 0.205 a	95.6 ± 18.9 a
10	26.28 ± 3.54 ab	16.48 ± 1.25 ab	2.454 ± 0.331 ab	0.962 ± 0.117 ab	78.2 ± 8.4 b

▶ 출하 전 토마토 접목묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 시간별 나타나는 건조 스트레스 내성 비교

- 고염류 처리의 실용화를 위해 처리 시간에 따른 효과 증진 정도를 비교한 결과, 농도별 처리와 같이 무처리구와 처리구간의 생육 차이는 나타났지만, 처리 시간에 의한 차이는 보이지 않았음
- 오히려 농도 시험 시 처리하였던 15분을 넘어갈 경우, 고염류 처리로 인한 긍정적인 효과가 감소하는 경향을 보였음
- 무처리구의 초장은 38.8cm로 15분 처리구 43.7cm에 비하여 4.9cm 차이로 유의미하였지만, 30분 처리구는 40.4cm, 45분 처리구는 39.6cm, 60분 처리구는 40cm로 무처리구와 0.8~1.6cm 밖에 차이가 나지 않았고, 통계적으로도 유사한 결과를 보였음

표. 고농도 염류 처리 시간에 따른 토마토 접목묘의 생육

Treatment (m)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	38.8 ± 4.0 b	2.6 ± 0.1 a	11.2 ± 0.8 a	39.2 ± 3.5 b	626.8 ± 80.7 b
15	43.7 ± 2.4 a	2.1 ± 0.2 b	10.6 ± 0.5 a	43.6 ± 1.3 a	735.4 ± 7.0 a
30	40.4 ± 2.0 ab	1.6 ± 0.2 c	10.8 ± 0.4 a	44.6 ± 2.1 a	665.1 ± 3.1 ab
45	39.6 ± 1.8 b	1.5 ± 0.2 c	10.4 ± 0.5 a	43.6 ± 0.7 a	702.2 ± 40.7 ab
60	40.0 ± 1.4 b	2.2 ± 0.2 b	11.0 ± 0.7 a	43.6 ± 1.4 a	606.6 ± 53.8 b

표. 고농도 염류 처리 시간에 따른 토마토 접목묘의 생체중, 건물중, 충실도

Treatment (m)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	20.87 ± 2.91 b	13.16 ± 2.49 c	2.012 ± 0.294 c	0.774 ± 0.184 c	71.9 ± 9.1 b
15	26.28 ± 3.54 a	16.47 ± 1.25 a	2.454 ± 0.331 ab	0.965 ± 0.117 ab	78.2 ± 8.4 ab
30	25.61 ± 39.3 a	15.46 ± 1.62 ab	2.412 ± 0.397 abc	0.929 ± 0.127 abc	82.70 ± 11.4 ab
45	26.54 ± 2.40 a	13.93 ± 1.11 bc	2.544 ± 0.240 a	0.979 ± 0.061 a	89.2 ± 10.1 a
60	22.14 ± 2.96 ab	22.1 ± 1.01 ab	2.064 ± 0.243 bc	0.796 ± 0.085 bc	71.7 ± 9.1 b

▶ 출하 전 고추 실생묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 농도별 나타나는 건조

스트레스 내성 비교

- 고추의 경우 고염류 처리 모종을 정식하여 생육을 비교한 결과 무처리구의 초장이 64.7cm로 가장 컸고, 처리구가 58.6~61.1cm 수준이었음
- 경경, 엽수, SPAD 및 엽면적 등의 생육지표들은 모두 무처리구가 고염류 처리구들에 비하여 높았음
- 잎의 생체중 9.58g, 줄기의 생체중 10.24g으로 처리구 7.91~9.46g, 8.16~9.24g 에 비하여 높았고, 통계적인 유의성을 보이지 않았고, 이와 같은 경향은 건물중에서도 동일하게 나타났음
- 처리구들 사이에서는 농도의 차이에 따라 발생하는 특정 경향이 뚜렷하게 관찰되지 않았고, 대부분 비슷한 생육수준을 보였음
- 이러한 결과로 보아, 고추 실생묘의 경우 출하 직전 고염류 처리를 하여도 정식 이후 건조 스트레스에 대한 내성이 향상되지 않는 것으로 판단됨

표. 고농도 염류 처리 농도에 따른 고추 실생묘의 생육

Treatment (EC)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	64.7 ± 3.5 a	2.70 ± 0.1 a	31.5 ± 5.8 a	43.8 ± 1.2 a	554.9 ± 82.8 a
2.5	59.0 ± 4.8 b	2.42 ± 0.6 a	20.40 ± 2.0 b	41.0 ± 2.1 a	340.3 ± 138.2 b
5	58.7 ± 4.2 b	2.46 ± 0.1 a	27.6 ± 10.6 ab	42.7 ± 4.0 a	506.4 ± 109.5 a
7.5	61.1 ± 1.6 ab	2.70 ± 0.2 a	26.6 ± 7.7 ab	40.7 ± 4.3 a	527.8 ± 86.5 a
10	58.6 ± 2.5 b	2.48 ± 0.3 a	26.6 ± 1.6 ab	40.0 ± 1.3 a	489.7 ± 56.1 ab

표. 고농도 염류 처리 농도에 따른 고추 실생묘의 생체중, 건물중, 총실도

Treatment (EC)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	9.58 ± 2.14 a	10.24 ± 1.70 a	1.484 ± 0.349 a	1.550 ± 0.208 a	58.6 ± 7.9 a
2.5	7.91 ± 0.86 a	8.16 ± 1.15 a	1.396 ± 0.153 a	1.459 ± 0.197 a	48.3 ± 3.8 a
5	9.92 ± 0.90 a	9.24 ± 1.05 a	1.613 ± 0.156 a	1.704 ± 0.179 a	55.9 ± 4.2 a
7.5	9.28 ± 1.91 a	9.02 ± 1.97 a	1.526 ± 0.291 a	1.619 ± 0.301 a	51.6 ± 8.1 a
10	9.46 ± 2.76 a	8.63 ± 4.05 a	1.570 ± 0.299 a	1.612 ± 0.531 a	54.1 ± 5.7 a

▶ 출하 전 고추 실생묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 시간별 나타나는 건조 스트레스 내성 비교

- 고추 실생묘의 EC 10 고농도 처리의 처리 시간에 따른 효과를 비교한 결과 기존 15분 동안 농도 별로 처리하였을 경우 처리 효과가 보이지 않았던 것과 같이 10~30분 처리구까지는 무처리구에 비하여 생육이 떨어지는 경향을 보였음
- 하지만 60분 처리구의 경우 초장이 72.8cm로 무처리구 64.7cm에 비하여 8.1cm 길었음
- 엽수, SPAD, 엽면적의 수치도 60분 처리구에서 가장 높았고, 무처리구가 10~30분 처리구에 비하여 높았으며 이러한 경향은 생체중, 건물중에서도 동일하게 나타났음
- 이러한 결과로 보아 고추 실생묘를 출하 직전 고염류 처리 한다면, 저농도 단시간의 처리는

- 효과가 없고 EC 10 이상의 고농도로 60분 이상의 장시간 처리를 해야 할 것으로 생각됨
- 고추 실생묘의 경우 시설재배보다는 노지재배 농가가 많고 타 작목에 비하여 수분 스트레스에 대한 저항성이 강함으로 이와 같은 결과가 도출된 것으로 판단됨

표. 고농도 염류 처리 시간에 따른 고추 실생묘의 생육

Treatment (m)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	64.7 ± 3.5 ab	2.1 ± 0.1 a	31.5 ± 5.8 ab	43.8 ± 1.2 ab	555.9 ± 82.8 b
10	58.1 ± 4.8 b	2.2 ± 0.6 a	22.0 ± 2.0 c	38.2 ± 2.1 b	404.0 ± 138.2 c
15	58.6 ± 4.2 b	2.3 ± 0.1 a	26.6 ± 10.6 bc	40.0 ± 4.0 ab	489.7 ± 109.5 bc
30	60.8 ± 1.6 b	2.1 ± 0.2 a	22.6 ± 7.7 c	41.5 ± 4.3 ab	482.1 ± 86.5 bc
60	72.8 ± 2.5 a	2.4 ± 0.3 a	36.2 ± 1.6 a	44.9 ± 1.3 a	742.5 ± 56.1 a

표. 고농도 염류 처리 시간에 따른 고추 실생묘의 생체중, 건물중, 총실도

Treatment (m)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	9.58 ± 2.14 b	10.24 ± 1.70 b	1.484 ± 0.349 b	1.550 ± 0.208 b	58.6 ± 7.9 ab
10	7.92 ± 1.06 b	7.56 ± 1.14 b	1.337 ± 0.262 b	1.398 ± 0.198 b	47.0 ± 3.3 c
15	9.46 ± 2.30 b	8.63 ± 2.30 b	1.570 ± 0.383 b	1.612 ± 0.450 b	54.1 ± 10.7 bc
30	9.22 ± 0.91 b	8.53 ± 1.28 b	1.433 ± 0.140 b	1.467 ± 0.313 b	47.6 ± 7.8 c
60	14.38 ± 0.90 a	16.65 ± 1.05 a	2.178 ± 0.156 a	2.442 ± 0.179 a	63.1 ± 4.2 a

▶ 출하 전 파프리카 실생묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 농도별 나타나는 건조 스트레스 내성 비교

- 파프리카 실생묘의 출하 전 고염류 처리가 정식 후 건조 스트레스 내성 향상에 미치는 영향을 비교 조사한 결과 고추와 같이 무처리구의 초장이 39.6cm로 처리구 34.1~36.7cm에 비하여 길었음
- 이러한 경향은 경경 3.7mm, SPAD 51로 고염류 처리구에 비하여 가장 높았음
- 이 결과로 보아 파프리카는 고추와 같이 출하 직전 고염류 처리로 인한 건조 스트레스 내성 증진 효과가 미미한 것으로 보임
- 이는 정식 직후 충분한 관수를 통해 안정적인 활착을 기반으로 초기 생육을 영양 성장형으로 유도해야 하는 파프리카의 생육 특성상, 정식 직후 7일간의 단수는 작물의 활착을 불량하게 하고 작물을 생식 성장형으로 유도하는 영향을 주었을 것으로 생각됨
- 따라서 파프리카 실생묘의 경우는 출하 직전 고염류 처리를 하는 것은 오히려 초기 생육 발달에 부정적인 영향을 미칠 있어 처리하지 않는 것이 좋을 것으로 판단됨

표 고농도 염류 처리 농도에 따른 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (EC)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	39.6 ± 3.5 a	3.7 ± 0.5 a	15.4 ± 6.7 a	51.0 ± 2.3 a	493.6 ± 220.0 a
2.5	34.1 ± 3.8 b	3.4 ± 0.5 a	17.0 ± 1 a	33.8 ± 2.1 d	567.2 ± 48.6 a
5	36.7 ± 2.9 ab	3.1 ± 0.6 a	15.6 ± 3.3 a	41.2 ± 1.1 bc	497.7 ± 101.7 a
7.5	36.2 ± 2.6 ab	3.6 ± 0.8 a	17.0 ± 1.4 a	39.1 ± 3.1 c	618.6 ± 63.4 a
10	35.9 ± 3.4 ab	3.3 ± 0.7 a	15.2 ± 3.2 a	48.9 ± 3.9 b	483.4 ± 47.2 a

표 고농도 염류 처리 농도에 따른 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중, 총실도

Treatment (EC)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	12.45 ± 6.03 a	13.28 ± 2.60 a	1.662 ± 0.702 a	1.976 ± 0.249 a	92.9 ± 25.3 a
2.5	13.87 ± 1.41 a	8.41 ± 1.02 a	1.703 ± 0.177 a	1.227 ± 0.113 b	86.1 ± 4.3 a
5	11.78 ± 2.50 a	7.96 ± 1.54 a	1.494 ± 0.377 a	1.160 ± 0.311 b	73.1 ± 21.9 a
7.5	14.41 ± 1.49 a	9.73 ± 1.24 a	1.882 ± 0.197 a	1.434 ± 0.141 b	92.0 ± 11.4 a
10	12.61 ± 2.62 a	8.81 ± 1.14 a	1.590 ± 0.246 a	1.246 ± 0.172 b	78.9 ± 8.0 a

▶ 출하 전 파프리카 실생묘의 고염류 처리 후, 코코피트 배지 정식에서 처리 시간별 나타나는 건조 스트레스 내성 비교

- 농도별 처리 실험을 통해 파프리카 실생묘는 고염류 처리의 효과가 적다고 확인된 것과 같이 EC 10의 염화칼륨을 장기간 처리할수록 생육이 불량해지는 결과가 나타났음
- 초장은 무처리가 39.6cm로 처리구 31.2~35.9cm에 비하여 컸고, 그 중 60분 처리구는 31.2cm로 가장 작았음
- 엽수도 무처리 19.4개, 처리구 12.4~15.2로 고염류 처리구의 생육이 불량한 것이 재확인되었음
- 종합하여 보면 파프리카 실생묘는 농도와 처리 시간에 따른 어떠한 고염류 처리도 정식 초기 생육에 긍정적인 영향을 주지 못하는 것으로 조사되었음
- 따라서 파프리카는 출하 직전 고염류 처리를 하지 않고 정식하는 것이 적정할 것으로 판단됨

표. 고농도 염류 처리 시간에 따른 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (m)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	39.6 ± 3.5 a	3.7 ± 0.5 a	19.4 ± 6.7 a	51.0 ± 2.3 a	493.7 ± 220.0 a
10	32.6 ± 1.5 bc	3.8 ± 12.1 a	12.4 ± 1.8 b	46.1 ± 3.4 ab	457.3 ± 62.2 a
15	35.9 ± 3.4 b	3.4 ± 0.7 a	15.2 ± 3.2 ab	42.98 ± 3.9 b	483.4 ± 47.2 a
30	34.2 ± 1.6 bc	2.8 ± 0.4 a	15.0 ± 4.2 ab	41.0 ± 4.0 b	584.3 ± 127.6 a
60	31.2 ± 1.3 c	3.5 ± 0.7 a	13.4 ± 1.1 b	42.7 ± 4.9 b	463.0 ± 63.3 a

표 고농도 염류 처리 시간에 따른 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중, 총실도

Treatment (m)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Leaf	Stem	
Control	12.45 ± 6.03 a	13.28 ± 2.60 a	1.662 ± 0.702 a	1.976 ± 0.249 a	92.9 ± 25.3 a
10	10.57 ± 1.92 a	7.71 ± 1.46 b	1.286 ± 0.246 a	1.138 ± 0.265 b	74.4 ± 16.3 a
15	12.61 ± 2.62 a	8.81 ± 1.14 b	1.590 ± 0.246 a	1.246 ± 0.172 b	48.9 ± 8.0 a
30	13.75 ± 3.63 a	9.56 ± 1.73 b	1.680 ± 0.487 a	1.311 ± 0.220 b	87.7 ± 21.7 a
60	10.64 ± 1.75 a	7.57 ± 1.66 b	1.428 ± 0.330 a	1.171 ± 0.335 b	83.2 ± 19.7 a

▪ 연구내용 2 : 주요 과채류 접목묘의 고접 높이에 따른 활착율 및 시들음병 저감을 비교

• 주요 과채류 접목묘의 고접 높이에 따른 활착율 비교

- 육묘 출하 이후 농가에서 정식하였을 때 큰 문제가 되는 것이 청고병 및 시들음병으로 알려져있음. 그렇기 때문에 육묘장에서는 토양전염병에 저항성이 있는 대목을 사용하여 사전에 방지하고 있음
- 하지만, 농가에서 정식을 할 때 너무 깊게 심게 되거나 위치가 올바르지 않으면 접수에서 부정근이 발생하여 대목의 역할을 제대로 하지 못하여 병이 발생하는 경우가 나타나고 있음
- 이러한 문제를 방지하기 위해 접목 부위의 높이를 올려 정식 위치가 올바르지 않더라도 접수에서 부정근이 발생하지 않게 방지하기 위하여 고접을 진행하였음

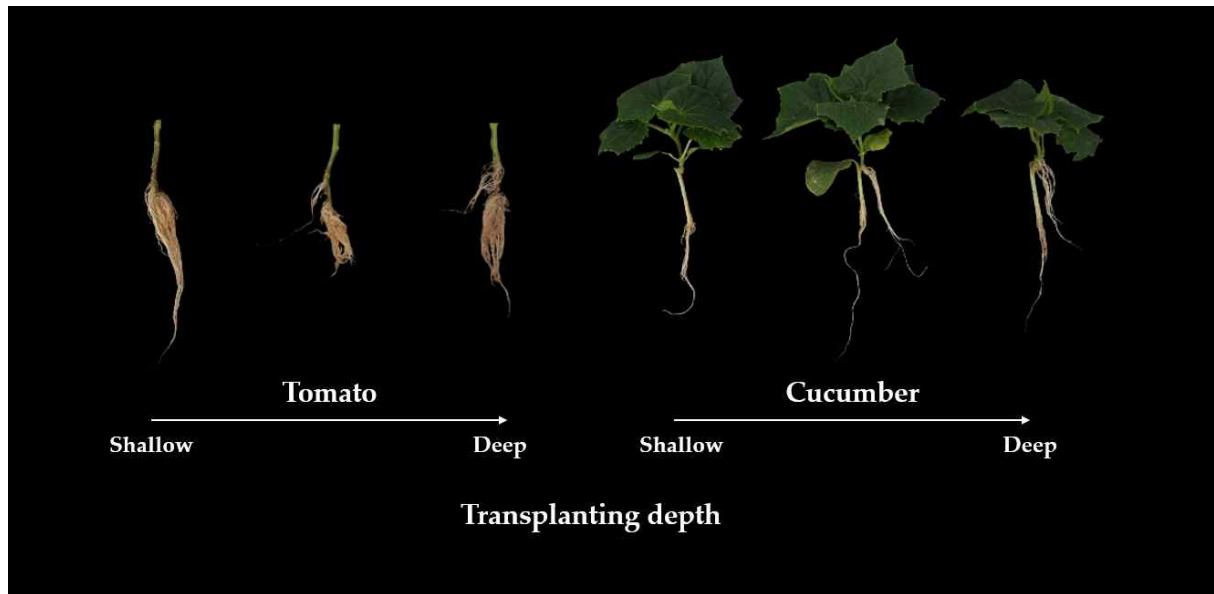


그림. 정식 깊이에 따른 오이 및 토마토 접목묘의 부정근 발생 정도

▶ 토마토 접목묘의 고접 높이에 따른 활착률 비교

- 육묘장에서 토마토를 접목할 때 관행적으로 사용하는 높이인 6 cm 는 접목 3일 후 활착률을 조사하였을 때 97.1 % 높은 활착률을 보였음
- 고접을 위해 1cm 씩 접목 높이를 올린 후 접목을 하였을 때 7 cm부터 95.2 %, 96.2 % 및 94.1 % 로 모든 처리구에서도 우수한 활착률을 나타냈음
- 접목 활착이 끝나는 일수인 7일차에서도 높이에 상관 없이 높은 활착률을 보였음
- 고접을 하였을 때 높이가 올라감에 따라 이동 및 관수 과정 중 꺾이거나 넘어지는 경우는 생길 수 있지만 접목 및 활착 과정에서는 큰 문제가 없는 것으로 확인되었음

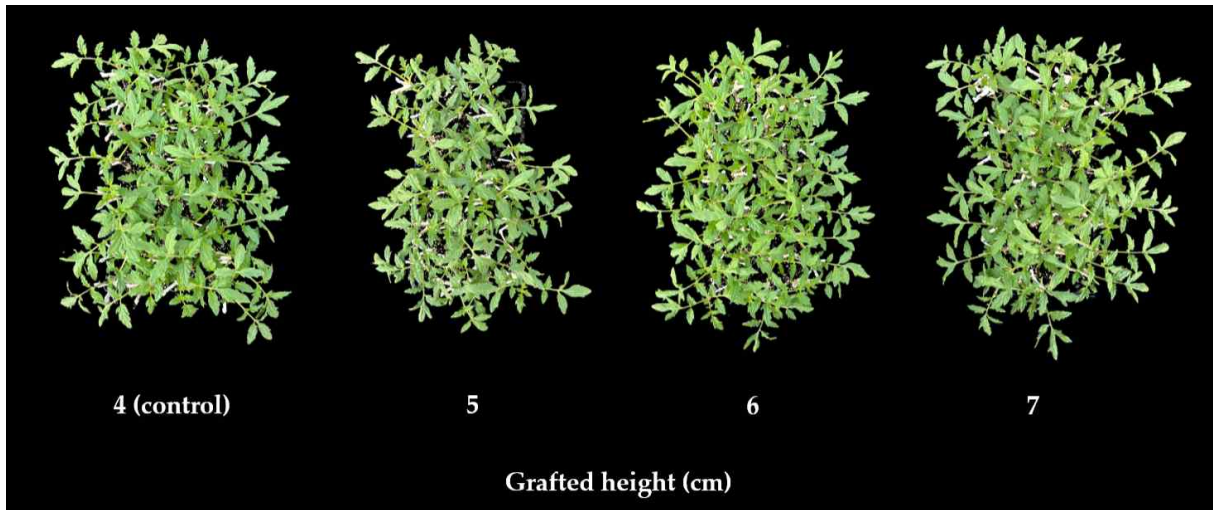


그림. 토마토 접목묘의 높이별 접목 시 활착률 비교

표. 고접 높이에 따른 토마토 접목묘의 접목 활착률

Grafted height (cm)	Graft-take ratio (%) after grafting	
	3 days	7 days
6 (control)	97.1 ± 11.7 a	97.2 ± 10.5 a
7	95.2 ± 14.8 a	96.3 ± 10.3 a
8	96.2 ± 13.1 a	95.2 ± 11.8 a
9	94.1 ± 11.4 a	97.9 ± 8.5 a

▶ 오이 접목묘의 고접 높이에 따른 활착률 비교

- 육묘장에서 오이를 접목할 때 관행적으로 사용하는 높이인 4 cm 는 접목 3일 후 95.2 % 로 우수한 접목 활착률을 보였음
- 고접을 위해 1 cm 씩 접목 높이를 높였을 때 활착률은 94.2 %, 97.1 % 및 96.1 % 로 전 처리구에서 높은 활착률을 나타냈음
- 7일 이후에도 접목 활착률은 모든 높이에서 95 % 이상의 우수한 접목 활착률을 보였음
- 토마토와 동일하게 접목 및 활착 과정 중에서는 고접에 따른 문제가 발생하지 않았지만, 토마토에 비해 오이 대목인 호박은 연한 축에 속하기 때문에 꺾일 위험이 더 높을 수 있다고 판단됨



그림. 오이 접목묘의 높이별 접목 시 활착률 비교

표. 고접 높이에 따른 토마토 접목묘의 접목 활착률

Grafted height (cm)	Graft-take ratio (%) after grafting	
	3days	7days
4 (control)	95.2 ± 14.8 a	98.0 ± 5.7 a
5	94.2 ± 16.1 a	96.1 ± 13.4 a
6	97.1 ± 11.7 a	95.2 ± 15.0 a
7	96.1 ± 13.4 a	98.1 ± 9.7 a

• 주요 과채류 접목묘의 고접 높이에 따른 시들음병 저감을 비교

- 본 실험의 계획상 청고병의 관한 실험을 진행했어야 하지만 청고병을 유발하는 병원균인 *Ralstonia solanacearum*은 생물작용제로 등록되어있으며 바이오협회 승이 없으면 일반 분양이 금지되어있음. 또한, 생물작용제를 사용하려면 미생물 실험 기구 및 관리 가능 여부가 확인되어야 하며 유전자변형 생물체(Living Modified Organism; LMO)를 다룰 수 있는 농림부의 허가가 필요함
- 그렇기 때문에 농가에서 청고병과 같이 큰 문제로 나타나며 외부 허가 규제가 비교적 약하여 분양을 받을 수 있는 시들음병으로 대체하여 실험을 진행하였음



그림. 시들음병 병원균 조제 및 토마토, 오이 접종 모습

▶ 토마토 및 오이 접목묘의 고접 높이에 따른 시들음병 저감을 비교

- 토마토 관행 접목묘 및 고접묘를 정식하였을 때 관행 접목 높이인 4cm를 농가에서 깊게 심었을 때를 가정하여 접목부위가 흠에 덮히게 정식하였음
- 이후 고접묘인 5cm부터 관행묘 기준 접목 부위가 지면으로부터 1, 2, 3cm 씩 올라오게 정식하였음
- 오이 또한 관행 접목 높이인 6cm를 기준으로 접목부위가 지면으로부터 1cm 씩 올라가게 정식하였음

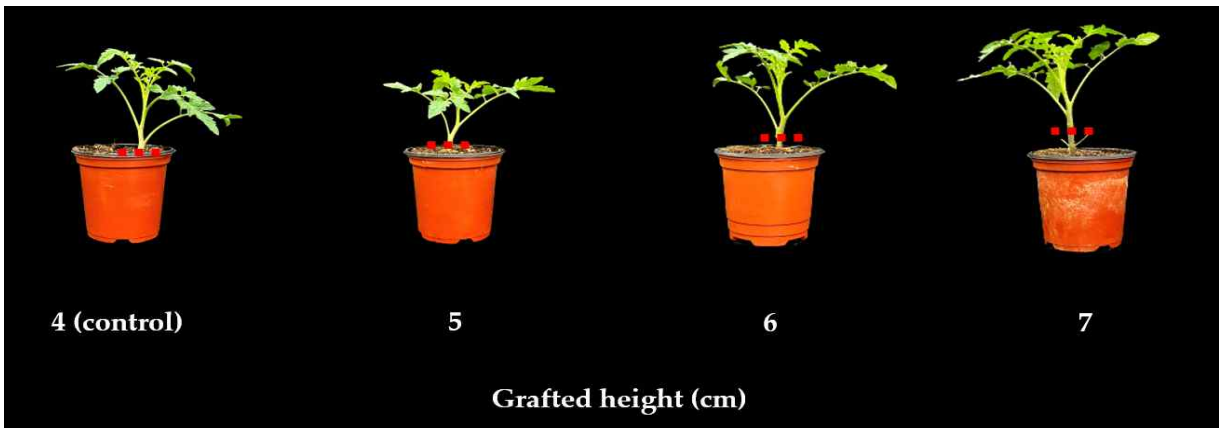


그림. 토마토 접목묘의 고접 높이에 따른 포트 정식 및 접목 위치

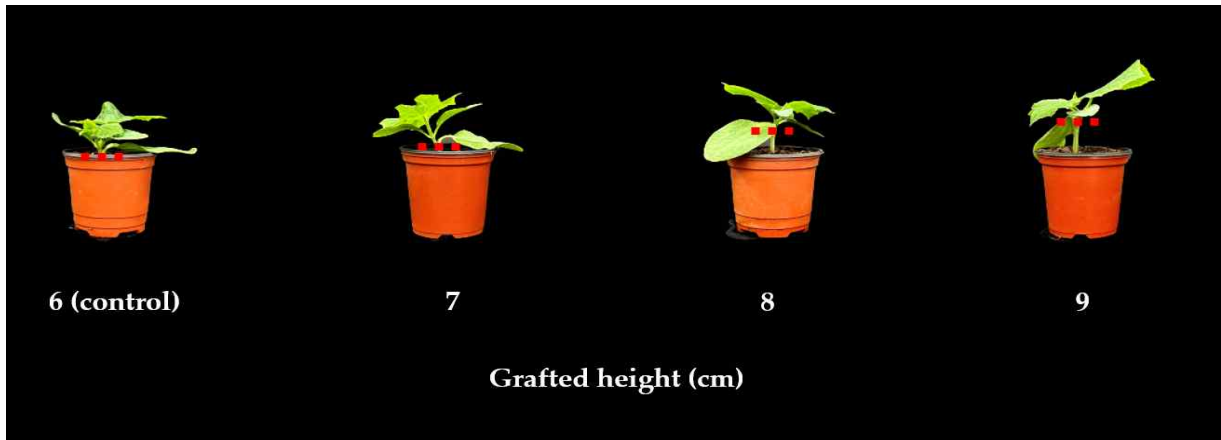


그림. 오이 접목묘의 고접 높이에 따른 포트 정식 및 접목 위치

- 농가에서 문제가 발생하는 가장 큰 원인인 부정근의 발생을 확인하였음
- 관행적인 접목 높이에서는 정식을 신경써서 일정 높이 이상으로 심는다면 부정근이 발생하지 않겠지만 정식량이 많은 농가에서는 하나하나 신경쓰기 어렵기 때문에 깊게 심기는 경우가 발생할 수 있으며 그럴 경우 첫 번째 사진의 빨간 동그라미와 같이 부정근이 발생하는 것을 확인할 수 있었음
- 부정근이 발생하는 것은 토마토와 오이 모두 동일하였으며 토마토의 5cm 및 오이의 7cm는 부정근이 발생하지 않았지만 지면과 접목부위가 가까운편에 속하기 때문에 위험성은 있다고 판단됨
- 그 이상의 높이인 토마토의 6cm 와 오이의 8cm 는 접목부위와 지면이 비교적 높이 떨어져있기 때문에 부정근 발생이 나타나지 않았음

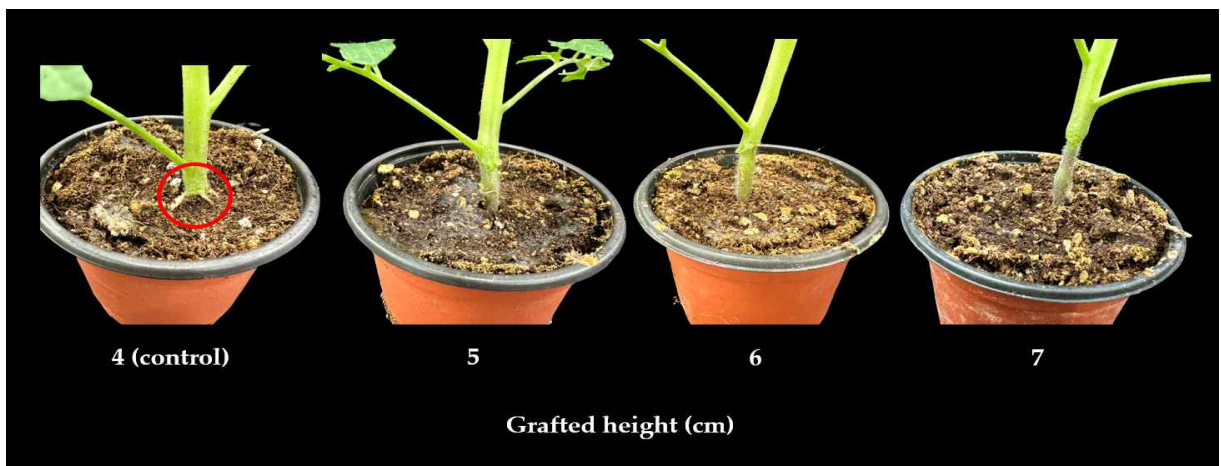


그림. 토마토 접목묘의 정식 이후 부정근 발생 확인

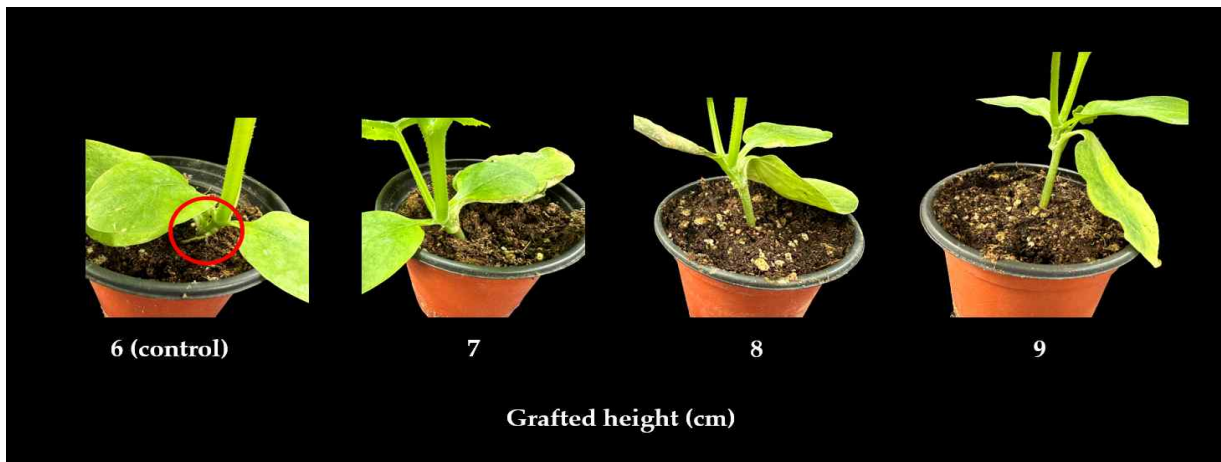


그림. 오이 접목묘의 정식 이후 부정근 발생 확인

- 시들음병 접종 이후 생육을 확인한 결과 토마토에서 관행 접목묘 및 고접묘 모두 시들음병이 발병하지 않은 것을 확인할 수 있음
- 오이 또한 고접묘에서 시들음병이 발병되지 않았으며 관행 접목묘 또한 정상적인 생육을 보였음
- 이러한 결과가 나타난 이유는 정식 이후 7일 정도 뒤에 병을 접종하였기 때문에 관행 접목묘에서 부정근이 발생하였지만 그 정도가 부족하여 저항성이 있는 대목의 양수분 흡수율이 높아 시들음병에 대해서 저항하였다고 판단됨
- 2022.11 현재 고접에 관하여 추가 보완 실험 중에 있으므로 데이터를 모두 담지 못하였음. 추후 3차년도에 보다 자세히 연구할 예정임

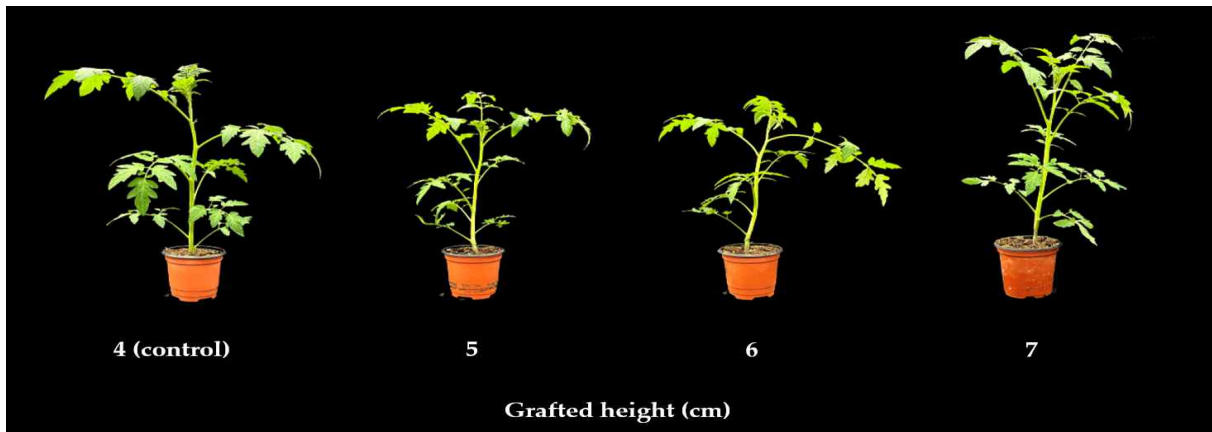


그림. 토마토 접목묘의 정식 이후 시들음병 접종 이후 생육

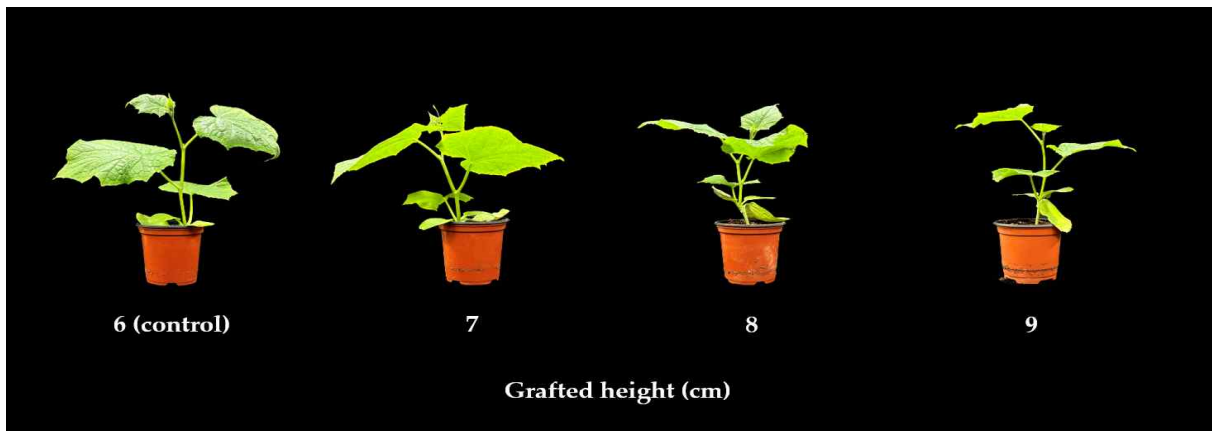


그림. 오이 접목묘의 정식 이후 시들음병 접종 이후 생육

- 연구내용 3 : 고농도 CO₂ 시비에 따른 주요 모종의 생육 한계 조건 탐색
- 저농도 CO₂ 시비 시, 농도에 따른 모종의 생육 한계 조건 탐색
- ▶ 농도별 수박 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 처리에 따른 수박 생육 (좌측부터 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 순)

- 같은 처리 시간(24h)에서 CO₂ 농도별 수박 접목묘의 생육 편차 비교 결과 초장에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았지만, 무처리구를 비롯한 다른 처리구와 달리 20% 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 경경과 엽면적은 20% 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 농도별 수박 접목묘의 생육 조사 결과 엽수는 10%와 15% 처리구에서 다른 처리구에 비하여 감소하였고 이와 달리 엽의 클로로필 함량은 15%와 20% 처리구에서 감소하는 모습이 나타났음

표. 농도별 수박 접목묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	27.8 ± 3.5 a	3.6 ± 0.2 a	8.0 ± 0.7 a	38.8 ± 2.1 a	175.7 ± 17.5 ab
5	30.0 ± 7.6 a	3.3 ± 0.5 ab	7.8 ± 1.0 a	37.1 ± 2.8 ab	219.7 ± 35.2 a
10	25.5 ± 4.2 a	3.5 ± 0.1 a	7.6 ± 1.5 a	37.2 ± 2.3 ab	180.3 ± 13.5 ab
15	31.2 ± 6.6 a	3.5 ± 0.4 a	8.6 ± 1.1 a	33.1 ± 2.1 c	218.4 ± 40.6 a
20	23.9 ± 7.4 a	2.9 ± 0.2 b	8.4 ± 0.5 a	34.5 ± 2.8 bc	155.0 ± 58.2 b

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 수박 접목묘의 생체중을 살펴본 결과, 무처리구에 비하여 15% 처리구는 비슷한 경향을 보였고, 20% 처리구의 경우 무처리구와 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났음
- 건물중의 경우도 생체중과 비슷한 경향을 보였음
- 그러나 총실도는 유의미한 차이가 없었고, 5% 처리구에서부터 증가하는 모습을 보이다가 20% 처리구에서 감소하는 모습을 보였음
- 따라서 차후년도 수박 접목묘에서 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 실험을 계획할 경우에 해당 처리구들의 % 차이를 세부적으로 조정하여 살펴보아야 할 것으로 생각됨

표. 농도별 수박 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	6.17 ± 1.02 a	5.74 ± 0.71 a	1.85 ± 0.25 ab	0.555 ± 0.081 ab	0.359 ± 0.497 a	0.096 ± 0.021 a	33.5 ± 8.8 a
5	5.45 ± 1.74 a	5.44 ± 0.88 a	1.61 ± 0.17 ab	0.507 ± 0.184 ab	0.324 ± 0.068 a	0.081 ± 0.013 ab	28.7 ± 11.3 a
10	4.54 ± 1.43 ab	4.81 ± 0.80 ab	1.45 ± 0.35 b	0.484 ± 0.119 ab	0.285 ± 0.049 ab	0.071 ± 0.009 b	30.5 ± 6.0 a
15	6.09 ± 0.86 a	5.76 ± 0.42 a	2.07 ± 0.65 a	0.638 ± 0.056 a	0.328 ± 0.058 a	0.099 ± 0.026 a	31.7 ± 5.5 a
20	3.01 ± 0.58 b	4.41 ± 0.77 b	1.45 ± 0.13 b	0.439 ± 0.103 b	0.237 ± 0.041 b	0.071 ± 0.010 b	29.17 ± 4.2 a

▶ 농도별 오이 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 처리에 따른 오이 생육 (좌측부터 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 순)

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 오이 접목묘의 생육 편차 비교 결과 초장의 경우, 통계적인 차이는 없었으나 다른 처리구들에 비하여 10% 처리구에서 초장이 줄어든 모습이 나타났음
- 경경과 엽의 클로로필 함량 모두 유의미한 차이는 없었으나, 20% 처리구로 갈수록 감소하는 경향을 보였고, 엽수의 경우에는 처리구들간 차이가 없었음
- 엽면적은 처리구간 비교시 10%의 처리구에서 최대값을 보였고, 20%의 처리구에서 최소값이 나타났음

표. 농도별 오이 접목묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
5	9.6 ± 0.3 a	3.1 ± 0.3 a	3.0 ± 0 a	47.5 ± 2.7 a	62.0 ± 15.4 a
10	8.7 ± 0.5 a	3.2 ± 0.4 a	3.0 ± 0 a	43.1 ± 4.6 ab	67.2 ± 14.8 a
15	8.9 ± 1.0 a	3.2 ± 0.4 a	3.0 ± 0 a	38.5 ± 8.8 b	49.4 ± 19.5 ab
20	8.8 ± 0.7 a	2.8 ± 0.4 a	3.0 ± 0 a	37.1 ± 5.7 b	34.2 ± 9.3 b

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 오이 접목묘의 생체중을 살펴본 결과 잎과 줄기는 20% 처리구에서 최소값을 보였고, 뿌리의 경우 15% 처리구에서 최소값이 나타났음
- 이러한 경향은 건물중에서도 동일하게 나타났음
- 이를 통해 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 실험 중 오이 접목묘의 경우, 생체중과 건물중은 잎과 줄기는 20% 처리구에서 최소값을 보였고, 뿌리는 15% 처리구에서 최소값을 보인다는 것을 확인할 수 있었음
- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 오이 접목묘 실험 결과 중 총실도 지표에서는 5% 처리구에서 최대값을 보이고, 20% 처리구에서 최소값을 보였음
- 이로 인해 오이 접목묘도 마찬가지로 차후년도 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 실험을 계획 시 해당 처리구들 간의 %폭을 세부적으로 조정하여 실험해야 할 것으로 판단됨

표. 농도별 오이 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
5	1.82 ± 0.47 ab	1.12 ± 0.17 a	0.49 ± 0.35 a	0.219 ± 0.051 ab	0.069 ± 0.016 a	0.018 ± 0.012 a	29.8 ± 6.2 ab
10	2.05 ± 0.46 a	1.15 ± 0.11 a	0.62 ± 0.12 a	0.256 ± 0.049 a	0.067 ± 0.011 ab	0.024 ± 0.006 a	36.9 ± 6.5 a
15	1.39 ± 0.50 bc	1.04 ± 0.13 a	0.38 ± 0.12 a	0.192 ± 0.058 ab	0.059 ± 0.007 ab	0.013 ± 0.005 a	28.2 ± 6.0 ab
20	0.93 ± 0.20 c	0.99 ± 0.12 a	0.55 ± 0.10 a	0.155 ± 0.036 b	0.052 ± 0.003 b	0.018 ± 0.001 a	23.7 ± 6.0 b

▶ 농도별 토마토 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 처리에 따른 토마토 생육 (좌측부터 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 순)

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 토마토 접목묘의 생육 편차 비교 결과, 초장과 엽수는 20% 처리구에서 급감하는 모습을 보였음
- 엽의 클로로필 함량은 유의미한 차이는 없었으나, 15% 처리구까지 증가하는 경향을 보이다가 20% 처리구에서 감소하였으며 20% 처리구에서 최소값을 보였음
- 경경은 엽의 클로로필 함량과 같은 경향을 보였으나, 5% 처리구에서 최소값을 보였음
- 엽면적은 15%에서 최대값으로 나타났으며 20% 처리구에서 최소값으로 나타났음

표. 농도별 토마토 접목묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
5	21.9 ± 3.0 ab	1.6 ± 0.2 c	10.2 ± 1.0 a	43.4 ± 3.1 a	126.1 ± 3.1 ab
10	24.0 ± 2.7 a	2.1 ± 0.2 ab	9.6 ± 0.8 ab	44.4 ± 7.1 a	120.0 ± 7.1 ab
15	19.8 ± 1.4 bc	2.3 ± 0.15 a	9.6 ± 0.5 ab	46.3 ± 3.0 a	133.7 ± 3.0 a
20	18.1 ± 1.6 c	1.9 ± 0.3 bc	8.6 ± 0.5 b	43.2 ± 6.0 a	107.1 ± 6.0 b

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 토마토 접목묘의 생체중과 건물중을 살펴본 결과, 생체중 항목 중 뿌리 부분에서는 5% 처리구에서 최소값이 나타났으며, 생체중의 뿌리를 제외하고 나머지 항목들 모두에서는 20% 처리구에서 최소값을 보였음
- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 토마토 접목묘 실험 항목 중 총실도 지표에서는 5% 처리구에서 최소값이 나타났고 15% 처리구에서 최대값이 나타났음
- 따라서 토마토 접목묘도 차후 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 실험계획 시 해당 처리구들의 폭을 세부적으로 조정하여 실험해야 할 것으로 판단됨

표. 농도별 토마토 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
5	5.73 ± 0.84 ab	2.89 ± 0.93 a	1.64 ± 0.31 b	0.552 ± 0.101 b	0.277 ± 0.068 b	0.112 ± 0.028 bc	37.88 ± 3.9 b
10	5.52 ± 0.57 b	3.64 ± 0.47 a	2.13 ± 0.37 ab	0.549 ± 0.097 b	0.308 ± 0.045 ab	0.147 ± 0.02 ab	35.93 ± 5.8 b
15	6.57 ± 0.66 a	3.51 ± 0.31 a	2.43 ± 0.51 a	0.674 ± 0.055 a	0.342 ± 0.031 a	0.178 ± 0.04 a	51.14 ± 4.7 a
20	4.83 ± 0.42 b	2.63 ± 0.19 a	1.67 ± 0.16 b	0.534 ± 0.033 b	0.211 ± 0.021 c	0.097 ± 0.01 c	41.24 ± 1.9 b

▶ 농도별 고추 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 처리에 따른 고추 생육 (좌측부터 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 순)

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 고추 실생묘의 생육 편차 비교 결과 경경과 엽수에서는 미미한 정도의 차이를 보였으며 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았으나, 경경의 경우 20% 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 초장, 엽의 클로로필과 엽면적은 모두 20% 처리구에서 최소값을 보였음

표. 농도별 고추 실생묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	29.1 ± 1.3 b	2.6 ± 0.3 a	12.8 ± 0.4 a	38.7 ± 3.7 a	175.7 ± 17.5 ab
5	32.5 ± 1.4 a	2.5 ± 0.1 a	13.8 ± 0.1 a	35.8 ± 2.7 ab	219.7 ± 35.2 a
10	29.9 ± 1.4 b	2.5 ± 0.1 a	13.0 ± 0.0 a	37.5 ± 2.4 a	180.3 ± 13.5 ab
15	32.9 ± 1.8 a	2.6 ± 0.1 a	13.6 ± 0.8 a	34.4 ± 3.0 ab	218.4 ± 40.6 a
20	29.0 ± 1.4 b	2.3 ± 0.3 a	12.8 ± 1.6 a	31.0 ± 6.7 b	155.0 ± 58.2 b

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 고추 실생묘의 생체중과 건물중을 살펴보았을 때에 생체중과 건물중 모두 20%의 처리구에서 가장 낮은 값들을 보였음
- 총실도 지표에서는 통계적인 차이는 없었으나, 20% 처리구에서 최소값으로 나타났고 15% 처리구에서 최대값으로 나타났음
- 이를 통해 고추 실생묘의 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 차후 실험계획 시 해당 처리구들 간의 폭을 세부적으로 조정하여 실험해야 할 것으로 판단됨

표. 농도별 고추 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness ^y (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	3.59 ± 0.36 a	2.91 ± 0.16 b	1.14 ± 0.13 a	0.393 ± 0.255 a	0.257 ± 0.013 ab	0.113 ± 0.022 a	22.3 ± 1.1 a
5	4.65 ± 1.00 a	3.63 ± 0.52 a	1.23 ± 0.36 a	0.476 ± 0.132 a	0.297 ± 0.041 a	0.101 ± 0.037 a	23.6 ± 4.6 a
10	3.78 ± 0.38 a	2.99 ± 0.24 b	1.18 ± 0.13 a	0.403 ± 0.035 a	0.270 ± 0.027 ab	0.091 ± 0.016 a	22.5 ± 2.2 a
15	4.62 ± 0.94 a	3.68 ± 0.44 a	1.31 ± 0.28 a	0.478 ± 0.104 a	0.314 ± 0.057 a	0.109 ± 0.024 a	23.9 ± 4.6 a
20	3.41 ± 1.34 a	2.68 ± 0.73 b	0.95 ± 0.34 a	0.387 ± 0.151 a	0.206 ± 0.075 b	0.078 ± 0.031 a	20.2 ± 6.8 a

▶ 농도별 파프리카 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 처리에 따른 파프리카 생육 (좌측부터 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 순)

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 파프리카 실생묘의 생육 편차 비교 결과, 초장과 경경의 경우 통계적으로 유의미한 차이가 없었으나, 두 항목 모두 무처리구가 최소값으로 나타났음
- 엽수와 엽의 클로로필 함량의 항목들에서도 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음
- 엽수 부분에서는 5%의 처리구가 최소값으로 나타났고, 최대값은 20% 처리구였음
- 엽의 클로로필에서는 20% 처리구의 값이 최소값으로 나타났고, 15%가 최대값인 처리구였음

표. 농도별 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (%)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	21.8 ± 2.2 a	2.8 ± 0.6 a	14.4 ± 1.1 a	34.6 ± 4.2 a
5	22.7 ± 0.8 a	3.0 ± 0.5 a	13.6 ± 3.1 a	40.6 ± 4.2 a
10	22.4 ± 1.4 a	3.4 ± 0.4 a	14.2 ± 3.7 a	35.7 ± 5.6 a
15	22.4 ± 1.0 a	2.9 ± 0.1 a	16.0 ± 2.1 a	41.6 ± 5.3 a
20	21.9 ± 0.8 a	2.9 ± 0.5 a	16.2 ± 2.7 a	33.5 ± 5.4 a

- 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 파프리카 실생묘의 생체중과 건물중을 살펴보았을 때에 생체중과 건물중 항목에서 뿌리를 제외한 모든 항목에서 20% 처리구가 최소값을 보였음
- 생체중과 건물중의 뿌리의 경우 모두 5%의 처리구에서 최소값을 보였음
- 총실도 부분에서는 20% 처리구에서 최소값을 보였고, 무처리구가 최대값이었음
- 이를 고려하여 파프리카 실생묘의 같은 처리 시간(24h) 내 CO₂ 농도별 다음연도 실험계획 시 해당 처리구들 간의 폭을 세부적으로 조정해야 할 것으로 생각됨

표. 농도별 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (%)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	7.25 ± 1.03 a	4.21 ± 0.47 a	3.53 ± 0.51 a	0.652 ± 0.103 a	0.418 ± 0.045 a	0.257 ± 0.030 a	49.4 ± 7.6 a
5	6.44 ± 0.83 b	4.42 ± 0.16 a	1.62 ± 0.62 b	0.569 ± 0.100 ab	0.363 ± 0.048 a	0.131 ± 0.031 b	40.9 ± 6.7 ab
10	7.24 ± 1.34 a	4.31 ± 0.64 a	2.61 ± 0.81 ab	0.644 ± 0.132 ab	0.389 ± 0.083 a	0.189 ± 0.055 b	45.7 ± 7.4 ab
15	7.40 ± 0.81 a	4.27 ± 0.60 a	2.57 ± 0.89 ab	0.690 ± 0.08 a	0.384 ± 0.065 a	0.182 ± 0.058 b	47.8 ± 5.6 a
20	5.31 ± 1.19 b	4.11 ± 0.70 a	2.02 ± 0.59 b	0.495 ± 0.119 b	0.328 ± 0.096 a	0.136 ± 0.048 b	37.3 ± 8.1 a

• 저농도 CO₂ 시비 시, 시간에 따른 모종의 생육 한계 조건 탐색

▶ 시간별 수박 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 시간 처리에 따른 수박 생육 (좌측부터 0h, 5h, 10h, 15h, 20h 순)

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 수박 접목묘의 생육 편차 비교 결과, 초장과 엽수의 경우 15h 처리구에서 최소값을 보였음
- 경경은 5h의 처리구에서 최소값이었으며 무처리구에 비해 약 2배 정도 작은 값을 보였고, 15h 처리구에서 처리구간 최대값으로 나타났음
- 엽의 클로로필 함량은 처리 시간에 따라 감소하는 형태를 보였으나 15h 처리구에서 최소값이었고 20h 처리구에서는 15h 처리구보다 약간 큰 값을 보였음

표. 시간별 수박 접목묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	11.9 ± 1.8 bc	3.2 ± 0.4 a	5.6 ± 0.5 b	41.7 ± 3.7 a
5	14.0 ± 1.4 ab	1.5 ± 0.3 c	5.8 ± 0.4 ab	40.3 ± 5.0 a
10	16.1 ± 2.5 a	2.0 ± 0.2 b	6.2 ± 0.4 ab	35.8 ± 3.9 ab
15	11.2 ± 1.3 c	2.1 ± 0.2 b	5.4 ± 1.1 b	28.0 ± 5.4 c
20	11.8 ± 1.1 bc	1.9 ± 0.2 bc	6.6 ± 0.5 a	31.8 ± 5.0 bc

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 수박 접목묘의 생체중과 건물중을 비교한 결과, 모두 10h 처리구를 기준으로 최대값으로 증가하였다가 감소하는 추세를 보였음
- 묘소질의 지표인 총실도 부분에서는 오히려 처리 시간이 증가함에 따라 15h 처리구까지 값이 증가하다가 20h 처리구에서는 다시 감소하는 형태를 보였음
- 총실도의 경우 15h의 처리구가 처리구간 최대값으로 나타났으며 5h 처리구에서 최소값으로 나타났음

표. 시간별 수박 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	0.80 ± 0.15 c	1.94 ± 0.61 b	0.84 ± 0.11 b	0.350 ± 0.064 a	0.226 ± 0.023 a	0.062 ± 0.011 a	48.89 ± 8.4 a
5	1.30 ± 0.30 b	2.36 ± 0.35 b	1.07 ± 0.28 ab	0.189 ± 0.051 bc	0.106 ± 0.018 b	0.037 ± 0.008 bc	21.27 ± 4.1 b
10	2.74 ± 0.47 a	3.44 ± 0.29 a	1.28 ± 0.33 a	0.254 ± 0.037 b	0.109 ± 0.006 b	0.041 ± 0.003 b	23.11 ± 5.4 b
15	0.72 ± 0.23 c	2.14 ± 0.14 b	0.95 ± 0.09 b	0.163 ± 0.054 c	0.104 ± 0.076 b	0.037 ± 0.004 bc	24.22 ± 6.7 b
20	0.68 ± 0.23 c	2.13 ± 0.37 b	0.77 ± 0.12 b	0.167 ± 0.056 c	0.098 ± 0.020 b	0.030 ± 0.004 c	22.36 ± 5.5 b

▶ 시간별 오이 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 시간 처리에 따른 오이 생육 (좌측부터 0h, 5h, 10h, 15h, 20h 순)

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 오이 접목묘의 생육 편차 비교 결과, 초장의 경우 15h 처리구까지 감소하는 경향을 보였으며 15h 처리구가 최소값으로 나타났지만, 20h 처리구의 값과 미미한 차이를 보였음
- 경경의 경우 5h의 처리구가 최소값이었으나, 처리 시간이 증가할수록 경경도 증가하는 추세를 보였음
- 엽수와 엽의 클로로필 함량은 처리 시간이 증가할수록 감소하는 반비례의 양상을 보였음

표. 시간별 오이 접목묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	7.9 ± 0.4 a	2.4 ± 0.50 b	4.0 ± 0 bc	47.4 ± 6.0 a
5	7.2 ± 0.5 b	2.1 ± 0.49 b	4.6 ± 0.5 ab	6.4 ± 2.3 b
10	6.4 ± 0.3 c	2.3 ± 0.07 b	4.8 ± 0.4 a	7.6 ± 5.1 b
15	6.0 ± 0.6 c	2.3 ± 0.08 b	3.4 ± 0.5 cd	5.0 ± 8.1 b
20	6.1 ± 0.7 c	3.2 ± 0.41 a	3.0 ± 0.7 d	3.0 ± 2.4 b

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 오이 접목묘의 생체중 비교 결과, 잎과 줄기의 경우 처리 시간이 증가할수록 감소하는 형태를 보였으나, 잎은 20h 처리구가 최소값이었고 줄기는 15h 처리구가 최소값이었음
- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 오이 접목묘의 건물중 비교 결과, 생체중과 비슷하게 잎과 줄기의 경우 처리 시간이 증가할수록 감소하는 형태를 보였으나 15h 처리구에서 둘 다 최소값이었음
- 오이 접목묘의 건물중 중 뿌리는 15h 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 총실도에서는 10h와 15h 처리구에서 미미한 차이를 보이며 최소값으로 나타났고, 무처리구가 최대값으로 나타났음

표. 시간별 오이 접목묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	3.07 ± 0.47 a	1.20 ± 0.07 a	0.84 ± 0.17 a	0.368 ± 0.043 a	0.099 ± 0.010 a	0.060 ± 0.009 a	58.6 ± 5.3 a
5	1.05 ± 0.25 b	0.89 ± 0.14 b	0.66 ± 0.06 b	0.187 ± 0.049 b	0.050 ± 0.011 b	0.030 ± 0.005 b	32.6 ± 6.0 b
10	0.75 ± 0.15 bc	0.87 ± 0.06 b	0.69 ± 0.07 b	0.158 ± 0.026 b	0.046 ± 0.007 b	0.033 ± 0.003 b	31.9 ± 4.8 b
15	0.55 ± 0.13 cd	0.80 ± 0.03 b	0.59 ± 0.04 b	0.147 ± 0.062 b	0.042 ± 0.004 b	0.025 ± 0.004 b	31.9 ± 12.0 b
20	0.37 ± 0.13 d	0.82 ± 0.11 b	0.67 ± 0.07 b	0.157 ± 0.026 b	0.049 ± 0.009 b	0.030 ± 0.005 b	33.7 ± 1.5 b

▷ 시간별 토마토 접목묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 시간 처리에 따른 토마토 생육 (좌측부터 0h, 5h, 10h, 15h, 20h 순)

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 토마토 접목묘의 생육 편차 비교 결과, 초장은 15h 처리구에서 최소값을 보였음

- 경경의 경우 처리 시간이 증가할수록 값이 감소하는 형태를 보이며 20h 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 엽수는 처리구간에서는 미미한 차이만 보였음
- 엽의 클로로필 함량 부분에서는 처리 시간이 증가할수록 감소하는 추세를 15h 처리구까지 보였으며 15h 처리구에서 최소값을 보였으나, 20h 처리구에서는 오히려 최대값을 보였음

표. 시간별 토마토 접목묘의 생육

Treat ment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	20.1 ± 1.7 a	2.0 ± 0.1 a	9.8 ± 1.0 a	42.7 ± 2.2 a
5	16.6 ± 0.7 b	2.0 ± 0.1 a	8.6 ± 0.5 b	46.7 ± 5.3 a
10	17.0 ± 1.3 b	1.8 ± 0.1 ab	8.6 ± 0.8 b	45.6 ± 3.1 a
15	15.3 ± 1.5 b	1.9 ± 0.1 a	8.6 ± 0.5 b	43.6 ± 1.8 a
20	16.8 ± 0.8 b	1.6 ± 0.1 b	8.6 ± 0.5 b	47.0 ± 2.1 a

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 토마토 접목묘의 생체중 비교 결과, 처리 시간이 증가할수록 값이 감소하며 15h 처리구에서 최소값을 보였음
- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 토마토 접목묘의 건물중 비교 결과, 처리 시간이 증가할수록 감소하는 형태를 보였으나, 잎의 경우 15h 처리구에서 최소값이었고, 줄기와 뿌리는 20h 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 총실도에서도 시간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 처리구간 비교에서 15h 처리구가 최소값으로 나타났고, 5h 처리구가 최대값으로 나타났음

표. 시간별 토마토 접목묘의 생체중, 건물중

Treat ment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	7.19 ± 0.15 a	3.98 ± 0.35 a	1.95 ± 0.25 a	0.907 ± 0.084 a	0.367 ± 0.027 a	0.167 ± 0.027 ab	63.6 ± 8.5 a
5	7.44 ± 0.80 a	3.21 ± 0.24 b	2.18 ± 0.34 a	0.861 ± 0.109 a	0.324 ± 0.035 ab	0.196 ± 0.021 a	71.0 ± 6.3 a
10	7.00 ± 0.32 a	3.12 ± 0.16 b	1.77 ± 0.16 ab	0.846 ± 0.035 a	0.297 ± 0.014 bc	0.163 ± 0.014 ab	67.4 ± 6.3 a
15	5.97 ± 0.45 b	2.54 ± 0.33 c	1.43 ± 0.13 b	0.754 ± 0.085 a	0.249 ± 0.034 cd	0.138 ± 0.014 b	65.6 ± 6.0 a
20	6.65 ± 1.14 ab	2.72 ± 0.32 c	1.44 ± 0.63 b	0.875 ± 0.175 a	0.239 ± 0.058 d	0.133 ± 0.055 b	66.4 ± 14.1 a

▶ 시간별 고추 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 시간 처리에 따른 고추 생육 (좌측부터 0h, 5h, 10h, 15h, 20h 순)

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 고추 실생묘의 생육 편차 비교 결과, 초장은 5h 처리구에서 최소값을 보였고 무처리구에서 최대값으로 나타났음
- 경경의 경우 처리구간 미미한 차이로 통계적인 유의미한 차이는 없었으나, 무처리구와 최대값을 보인 15h 처리구 간 값이 비슷하게 나타났음

- 엽수는 처리 시간이 증가할수록 증가하는 형태를 보였으며 15h 처리구에서 처리구간 최대값으로 나타났으며 20h 처리구에서는 5h와 동일한 값으로 최소값으로 나타났음
- 엽의 클로로필 함량 부분에서는 처리 시간이 증가할수록 감소하는 추세를 보이며 20h 처리구에서 최소값으로 나타났고 5h 처리구에서 최대값으로 나타났음
- 엽면적의 경우 무처리구가 최소값으로 나타났으며, 처리 시간이 증가할수록 엽면적은 감소하는 경향을 보이며 20h 처리구에서 처리구간 최소값으로 나타났음

표. 시간별 고추 실생묘의 생육

Treat ment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)	Leaf area (cm ²)
Control	36.3 ± 1.9 a	2.0 ± 0.05 a	17.4 ± 1.6 a	37.4 ± 3.5 abc	98.9 ± 118.4 a
5	33.3 ± 1.5 b	1.9 ± 0.20 a	11.6 ± 5.1 b	40.7 ± 3.7 a	193.5 ± 7.04 a
10	35.3 ± 0.9 ab	1.9 ± 0.16 a	13.0 ± 3.8 ab	34.5 ± 4.0 bc	134.6 ± 47.3 a
15	34.4 ± 2.4 ab	2.0 ± 0.13 a	15.4 ± 2.1 ab	39.2 ± 5.7 ab	115.6 ± 81.0 a
20	35.3 ± 1.1 ab	1.9 ± 0.11 a	11.6 ± 3.2 b	31.8 ± 3.0 c	109.3 ± 76.0 a

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 고추 실생묘의 생체중 비교 결과, 생체중의 앞의 경우 20h 처리구가 최소값이었고, 뿌리의 경우 10h와 20h 처리구가 동일한 값으로 최소값으로 나타났음
- 생체중의 줄기의 경우 처리 시간이 증가할수록 값이 경경이 증가하는 추세를 보였으며 이는 건물 중의 줄기도 같은 경향을 보였음
- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 고추 실생묘의 건물중 비교 결과, 잎과 뿌리 모두 20h 처리구에서 최소값으로 나타났음
- 총실도는 20h 처리구에서 최소값으로 나타났고, 무처리구가 최대값이었음

표. 시간별 고추 실생묘의 생체중, 건물중

Treat ment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	5.78 ± 0.89 a	4.55 ± 0.36 a	1.90 ± 0.43 a	0.842 ± 0.154 a	0.616 ± 0.025 a	0.200 ± 0.041 a	40.1 ± 4.4 a
5	4.16 ± 1.20 b	3.58 ± 0.56 b	1.25 ± 0.39 b	0.630 ± 0.211 b	0.455 ± 0.124 b	0.130 ± 0.049 b	32.4 ± 9.3 a
10	2.67 ± 0.91 cd	3.64 ± 0.46 b	1.18 ± 0.30 b	0.326 ± 0.124 c	0.378 ± 0.079 c	0.113 ± 0.0474 b	18.0 ± 5.0 b
15	3.17 ± 1.03 bc	3.81 ± 0.72 ab	1.35 ± 0.39 b	0.464 ± 0.111 bc	0.367 ± 0.111 bc	0.132 ± 0.057 b	23.8 ± 5.13 b
20	1.70 ± 1.20 d	3.96 ± 0.51 ab	1.18 ± 0.31 b	0.327 ± 0.135 c	0.271 ± 0.077 c	0.095 ± 0.028 b	16.9 ± 5.3 b

▶ 시간별 파프리카 실생묘의 생육 편차 결과



그림. 저농도 CO₂ 시간 처리에 따른 파프리카 생육 (좌측부터 0h, 5h, 10h, 15h, 20h 순)

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 파프리카 실생묘의 생육 편차 비교 결과, 초장은 15h 처리구에서 20h 처리구와 간소한 차이로 최소값으로 나타났고 무처리구가 최대값으로 나타났음
- 경경의 경우 5h와 20h 처리구가 최소값으로 나타났으며 무처리구가 최대값이었음
- 엽수는 처리 시간이 증가할수록 감소하는 형태를 보였으며 20h 처리구가 최소값으로 나타났음
- 엽의 클로로필 함량 부분에서는 20h 처리구가 최소값이었으며 무처리구가 최대값이었음

표. 시간별 파프리카 실생묘의 생육

Treatment (h)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (ea)	Leaf chlorophyll (SPAD)
Control	16.6 ± 0.2 a	2.2 ± 0.5 a	13.2 ± 1.6 a	50.4 ± 3.1 a
5	15.3 ± 1.1 b	1.6 ± 0.3 b	11.2 ± 3.0 ab	34.4 ± 1.5bc
10	14.0 ± 0.6 c	2.0 ± 0.2 ab	10.4 ± 1.1 b	38.5 ± 5.9 b
15	12.2 ± 1.3 d	1.8 ± 0.3 ab	6.2 ± 2.2 c	38.3 ± 2.4 b
20	12.3 ± 0.7 d	1.6 ± 0.2 b	5.0 ± 1.2 c	28.6 ± 7.6 c

- CO₂ 시비 농도 20% 처리 시간에 따른 파프리카 실생묘의 생체중과 건물중 비교 결과, 생체중과 건물중의 뿌리를 제외한 항목들은 처리 시간이 증가할수록 처리구의 값들이 떨어지는 추세를 보였음
- 생체중과 건물중의 뿌리의 경우 처리 시간이 증가함에 따라 값이 감소하여 20h 처리구에서 최소값을 보였으나, 10h 처리구에서 처리구 사이에서 최대값을 보이는 현상이 나타났음
- 묘소질의 지표 충실도는 처리 시간이 증가할수록 감소하였으며 20h 처리구에서 최소값으로 나타났음

표. 시간별 파프리카 실생묘의 생체중, 건물중

Treatment (h)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Compactness (mg·cm ⁻¹)
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	
Control	4.63 ± 0.53 a	2.63 ± 0.21 a	2.96 ± 0.13 a	0.498 ± 0.052 a	0.287 ± 0.020 a	0.210 ± 0.022 a	47.33 ± 2.7 a
5	2.81 ± 0.63 b	2.21 ± 0.39 ab	1.62 ± 0.34 bc	0.384 ± 0.084 b	0.201 ± 0.055 b	0.113 ± 0.017 bc	38.10 ± 4.9 b
10	2.22 ± 0.33 b	1.83 ± 0.18 bc	1.82 ± 0.20 b	0.354 ± 0.084 b	0.166 ± 0.014 bc	0.139 ± 0.019 b	37.02 ± 6.1 b
15	1.55 ± 0.46 c	1.50 ± 0.23 cd	1.31 ± 0.17 c	0.217 ± 0.049 c	0.128 ± 0.019 c	0.095 ± 0.015 c	28.41 c ± 5.5
20	0.81 ± 0.43 d	1.17 ± 0.57 d	1.26 ± 0.38 c	0.166 ± 0.077 c	0.126 ± 0.016 c	0.090 ± 0.029 c	23.60 ± 6.1 c

- 고품질 묘를 생산하기 위해 식물공장, 환경(온도, 광), 고염류(KCL), CO₂, UV-B 등 다양한 시도를 하였으며, 일부 실험에서 상용화 가능성을 확인하였음. 이를 기반으로 상용화가 불가능 했던 실험은 추가 실험을 통해 상용화까지 이어나갈 예정이며, 상용화 가능성이 있는 처리들은 각각 처리하는 것이 아닌 한 폐쇄형 육묘장치 내 종합적으로 적용하여 육묘 시장에서 경쟁력 있는 고품질 묘를 생산해보고자 추가적인 연구 계획 중에 있음
- 현재 주관연구기관에 설치되어있는 폐쇄형 육묘장치는 프로토타입으로서 본 연구과제를 진행하면서 수정보완할 항목들을 확인하였고 수열클러스터 단지 내로 이전 시 이를 보완하여 구축할 예정임
- 현재 폐쇄형 육묘장치는 자동화 하기에 부족한 부분들이 많아 아직 인력의 도움이 많이 필요한 시설이기 때문에 경제성 분석을 하기에 적합하지 않다고 판단되었음
- 추후 상업적 판매를 목적으로 한 폐쇄형 육묘장치를 설치한 후 관행적인 육묘 방법과 폐쇄형 육묘장치 내에서 육묘한 묘의 경제성을 분석해보기 위해 1년간 인건비, 양액비용, 육묘 생산 기간 등 종합적으로 경제성을 비교·분석할 예정임

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성, 연구개발과제의 특성에 따라 수정 가능합니다)

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명	연도	1단계	2단계	계	가중치 (%)	
		(2021~2022)	(2023~2023)			
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	학술발표	목표(단계별)		0	20	
		실적(누적)	3	2		5
	특허출원	목표(단계별)	1	1		2
		실적(누적)	1	1		2
	논문SCI	목표(단계별)	1			1
		실적(누적)		1		1
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	제품화	목표(단계별)		0		
		실적(누적)	2	2		
	기술이전	목표(단계별)		1 / 10,000	1 / 10,000	
		실적(누적)	1 / 0	1 / 10,000	2 / 10,000	
	매출액	목표(단계별)	15,000	20,000	35,000	
		실적(누적)	22,700	50,657	73,357	
	인력양성	목표(단계별)	2	1	3	
		실적(누적)	2	3	5	
	고용창출	목표(단계별)				
		실적(누적)	2		2	
교육지도	목표(단계별)	2		2		
	실적(누적)	5		5		
홍보전시	목표(단계별)		1			
	실적(누적)					
계	목표(단계별)	6 / 25,000	4 / 30,000	10 / 45,000		
	실적(누적)	13 / 42,700	8 / 60,657	21 / 83,357		

■ 학술발표 (5건)

- ▶ Demonstration of Pesticide-free Seedling Production Technology Using High-concentration CO₂ Treatment, 2021 추계한국생물환경조절학회

보스터발표-생육재관리 분야

P1-46

고농도 CO₂ 처리를 활용한 무농약 묘 생산기술 실증

Demonstration of Pesticide-free Seedling Production Technology Using High-concentration CO₂ Treatment

말원찬¹⁾, 나원호²⁾, 정민혁³⁾, 김용호³⁾, 홍은혜³⁾, 장동철³⁾, 김일섭^{1,2*)}

¹⁾강원대학교 원예학과, ²⁾강원대학교 스마트농업융합학과

Hwi-Chan Yang¹⁾, Won-Ho Na²⁾, Min-Hyeok Jeong³⁾, Young-Ho Kim³⁾, Eun-Hye Hong³⁾, Dong-Cheol Jang³⁾, Il-Seop Kim^{1,2*)}

¹⁾Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²⁾Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

본 연구는 오이 육묘 재배 시 무농약, 무병묘를 생산하기 위한 고농도 CO₂ 환경 안에서 작물 생육을 확인하고자 관행온실에서 키온셋과 CO₂ 농도를 다르게 하여 처리한 것을 비교하였다. 오이 품종으로 정수는 강인한, 대목은 신트라인 품종을 사용하였다. CO₂ 농도는 60%로 동일하게 처리하였고, 밀폐공간을 형성한 리빙박스 안에 처리 후 생육 조사 10구, 정식 후 생육 조사 10구로 총 20구씩 24시간, 48시간 및 72시간 처리하였다. 정식 전 생육 조사에서는 초장은 대조구에 비해 감소하였고, 경장은 72시간 처리구에서만 감소하는 경향을 보였다. LA는 처리 시간이 길어질수록 줄어는 경향을 보인다. 지하부에서는 뿌리 길이와 표면적은 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 평균 뿌리 경장은 처리 시간이 길어질수록 길이가 감소하는 경향을 보였다. 뿌리 끝의 수도 유의하게 감소했다. 정식 후 생육조사에서는 작물체가 시들었기 때문에 사망률을 판단하기 위하여 생체중과 건물중의 차이를 비교했다. 잎의 경우 대조구는 생체중과 건물중의 차이가 있었던 것에 비해 처리구들은 생체중이 매우 낮게 나왔고 건물중과 차이를 내보내며 0에 가까운 값을 나타내어 사망한 것으로 보였다. 고농도 CO₂ 안에서 살충 효과는 확실하며 무병묘를 생산할 수 있지만 너무 과한 농도는 살충 뿐만 아니라 식물체에도 부정적인 영향을 주는 것으로 보인다. 따라서, 적절한 농도와 시간을 찾는 후유 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구는 농림축산식품부(농림축산식품기획평가과) 연구사업(세부과제번호: 82-1045-3)의 지원에 의해 이루어진 것임.

고농도 CO₂ 처리를 활용한 무농약 묘 생산기술 실증

Demonstration of pesticide-free seedling production technology using high-concentration CO₂ treatment

말원찬¹⁾, 나원호²⁾, 정민혁³⁾, 김용호³⁾, 홍은혜³⁾, 장동철³⁾, 김일섭^{1,2*)}

¹⁾강원대학교 원예학과, ²⁾강원대학교 스마트농업융합학과, ³⁾Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Gangneung-da 24341, Korea

^{*)}Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Gangneung-da 24341, Korea

Table 1. Root growth characteristics of cucumber seedlings with changes in 60% CO₂ concentrations

Crop	Treatment	Root length (mm)			Root diameter (mm)			Average diameter (mm)	No. of root
		LA	LA	LA	LA	LA	LA		
Cucumber	control	21.76	22.16	22.56	1.26	1.26	1.26	107	107.00
	60%	19.76	19.76	19.76	1.26	1.26	1.26	107	107.00
	72h	19.76	19.76	19.76	1.26	1.26	1.26	107	107.00

Table 2. Root growth characteristics of cucumber seedlings after planting (A). Root growth characteristics of cucumber seedlings after planting (B).

Crop	Treatment	Leaf weight (g)			Stem weight (g)			Average weight (g)	No. of seedling
		LA	LA	LA	LA	LA	LA		
Cucumber	control	1.26	1.26	1.26	0.26	0.26	0.26	107	107.00
	60%	1.26	1.26	1.26	0.26	0.26	0.26	107	107.00
	72h	1.26	1.26	1.26	0.26	0.26	0.26	107	107.00

Results and Discussion

▶ 고농도 CO₂의 처리로 무병묘를 생산할 수 있지만, 과도한 농도는 살충뿐만 아니라 식물체에도 부정적인 영향을 주는 것으로 보임.

▶ 추후 실험 결과를 유지하면서 식물체가 사망하지 않는 농도 및 시간을 찾는 연구가 수행될 예정이다.

▶ Comparison of Seedling Quality and After Transplanting Growth Characteristics of Cucumber Seedling Using a Plant Factory with Artificial Lighting, 2023 추계 생물환경 조절학회

교수저널
P-105

인공광 이용형 식물공장을 활용한 오이묘의 묘소질 및 정식 후生育특성 비교
Comparison of Seedling Quality and Growth Characteristics After Transplanting of Cucumber Seedlings Using a Plant Factory with Artificial Lighting

현순재¹, 임휘찬², 김윤호³, 배운형³, 장동철^{1,2*}
¹경원대학교 원예학과, ²경원대학교 스마트농업융합학과

Sonjae Hyun¹, HwiChan Yang², Youngho Kim³, Yunhyeong Bae³, Dongcheol Jang^{1,2*}
¹Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 오이와 인공광 이용형 식물공장의 상립 작 사용 가능성을 검토하고자 수행되었다. 오이의 육묘종은 '청순'으로 2023년 4월 11일에 파종하였다. 파종 후 11일차에 원통형 종묘로트를 이용해 50구 9cm x 9cm 트레이에 가식하였고, 파종 후 24일차에 플라스틱 온실에서 정식하였다. 온실에서 육묘한 GH(Greenhouse, GH)와 인공광 이용형 식물공장에서 가식 후 온실에서 육묘한 GF(Plant factory to Greenhouse, PG), 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 PF(Plant Factory, PF) 총 3가지의 처리구로 구분하였다. 오이의 정식 전 생육 비교 조사는 GH, PG, PF 각각 6.6, 9.7, 18.0cm로 GH가 가장 짧았고, PF가 가장 길었다. 오이의 최대생장률은 PF가 가장 높았지만, 오이가 가장 짧았던 GH가 PG보다 높았다. 생체 중과 건물중은 GH가 가장 작아졌고, PF가 가장 작아졌다. 출실도 또한 GH가 가장 낮고, PF가 가장 높았다. 정식 후 초기 생육 비교 결과, GH, PG, PF의 초장은 각각 7.0, 14.1, 25.7cm로 GH가 가장 짧고, PF가 가장 길었으나, 생육 후기로 관측된 길이차 역전되어 GH가 182.7mm로 가장 길고, PF가 179.2mm로 가장 짧았다. 앞선 결과들을 통해 식물공장에서 육묘할 묘가 생육 초기 생장이 빠른 경향을 파악하였다. 따라서 인공광 이용형 식물공장의 생육 속도가 빠른 묘를 이용해 육묘 기간을 단축하여 육묘 생산 비용 및 시간을 절약할 가능성이 확인되었지만, 정식 후 생장량의 비교가 부족하여 이에 관한 추가 연구가 진행 중이다.

본 연구는 농림축산식품부 기술사업화지원사업(과제번호: K21045-53)의 지원을 받아 수행되었음.

인공광 이용형 식물공장을 활용한 오이묘의 묘소질 및 정식 후生育특성 비교

Comparison of Seedling Quality and After Transplanting Growth Characteristics of Cucumber Seedling Using a Plant Factory with Artificial Lighting
현순재¹, 임휘찬², 김윤호³, 배운형³, 장동철^{1,2*}
¹경원대학교 원예학과, ²경원대학교 스마트농업융합학과
Sonjae Hyun¹, HwiChan Yang², Youngho Kim³, Yunhyeong Bae³, Dongcheol Jang^{1,2*}
¹Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Gangwon-do 24341, Korea
²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Gangwon-do 24341, Korea

Introduction

최근 농, 가축의 먹장 및 다양한 환경 등의 이상기후가 발생하고 있음.
- 공중육묘장에서는 이상기후로 인한 도장 및 생육특성 등의 이유로 영종 균질한 묘 생산에 어려움을 겪고 있음.
- 인공광 이용형 식물공장은 내부 기상환경에 영향을 받지 않고, 사용자가 원하는 조건으로 환경설정이 가능하기 때문에 이상기후의 해결책으로 가능성이 대두되고 있음.

인공광 이용형 식물공장을 이용한 다양한 연구가 진행되어 육묘 생산 기술은 빠르게 발전하고 있음(Kweack and An, 2021; An et al., 2020). 그러나 인공광 이용형 식물공장의 초기 생육 부담 및 온가에서 식물공장을 운영 유지하기 때문에 상업적으로 사용하기 어려운 상황임. 따라서 본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 묘와 공립묘의 생육을 비교하여 인공광 식물공장의 상업적 사용 가능성을 검토하고자 수행하였음.

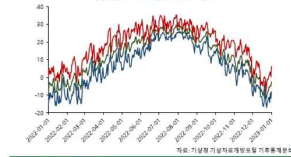


Fig. 1. Growth of cucumbers according to raising seedlings place after temporary planting.

Material & Method

본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 오이와 인공광 이용형 식물공장의 상립 작 사용 가능성을 검토하고자 수행되었다. 오이의 육묘종은 '청순'으로 2023년 4월 11일에 파종하였다. 파종 후 11일차에 원통형 종묘로트를 이용해 50구 9cm x 9cm 트레이에 가식하였고, 파종 후 24일차에 플라스틱 온실에서 정식하였다. 온실에서 육묘한 GH(Greenhouse, GH)와 인공광 이용형 식물공장에서 가식 후 온실에서 육묘한 GF(Plant factory to Greenhouse, PG), 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 PF(Plant Factory, PF) 총 3가지의 처리구로 구분하였다. 오이의 정식 전 생육 비교 조사는 GH, PG, PF 각각 6.6, 9.7, 18.0cm로 GH가 가장 짧았고, PF가 가장 길었다. 오이의 최대생장률은 PF가 가장 높았지만, 오이가 가장 짧았던 GH가 PG보다 높았다. 생체 중과 건물중은 GH가 가장 작아졌고, PF가 가장 작아졌다. 출실도 또한 GH가 가장 낮고, PF가 가장 높았다. 정식 후 초기 생육 비교 결과, GH, PG, PF의 초장은 각각 7.0, 14.1, 25.7cm로 GH가 가장 짧고, PF가 가장 길었으나, 생육 후기로 관측된 길이차 역전되어 GH가 182.7mm로 가장 길고, PF가 179.2mm로 가장 짧았다. 앞선 결과들을 통해 식물공장에서 육묘할 묘가 생육 초기 생장이 빠른 경향을 파악하였다. 따라서 인공광 이용형 식물공장의 생육 속도가 빠른 묘를 이용해 육묘 기간을 단축하여 육묘 생산 비용 및 시간을 절약할 가능성이 확인되었지만, 정식 후 생장량의 비교가 부족하여 이에 관한 추가 연구가 진행 중이다.



Result

본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 오이와 인공광 이용형 식물공장의 상립 작 사용 가능성을 검토하고자 수행되었다. 오이의 육묘종은 '청순'으로 2023년 4월 11일에 파종하였다. 파종 후 11일차에 원통형 종묘로트를 이용해 50구 9cm x 9cm 트레이에 가식하였고, 파종 후 24일차에 플라스틱 온실에서 정식하였다. 온실에서 육묘한 GH(Greenhouse, GH)와 인공광 이용형 식물공장에서 가식 후 온실에서 육묘한 GF(Plant factory to Greenhouse, PG), 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 PF(Plant Factory, PF) 총 3가지의 처리구로 구분하였다. 오이의 정식 전 생육 비교 조사는 GH, PG, PF 각각 6.6, 9.7, 18.0cm로 GH가 가장 짧았고, PF가 가장 길었다. 오이의 최대생장률은 PF가 가장 높았지만, 오이가 가장 짧았던 GH가 PG보다 높았다. 생체 중과 건물중은 GH가 가장 작아졌고, PF가 가장 작아졌다. 출실도 또한 GH가 가장 낮고, PF가 가장 높았다. 정식 후 초기 생육 비교 결과, GH, PG, PF의 초장은 각각 7.0, 14.1, 25.7cm로 GH가 가장 짧고, PF가 가장 길었으나, 생육 후기로 관측된 길이차 역전되어 GH가 182.7mm로 가장 길고, PF가 179.2mm로 가장 짧았다. 앞선 결과들을 통해 식물공장에서 육묘할 묘가 생육 초기 생장이 빠른 경향을 파악하였다. 따라서 인공광 이용형 식물공장의 생육 속도가 빠른 묘를 이용해 육묘 기간을 단축하여 육묘 생산 비용 및 시간을 절약할 가능성이 확인되었지만, 정식 후 생장량의 비교가 부족하여 이에 관한 추가 연구가 진행 중이다.

Fig. 1. Growth of cucumbers according to raising seedlings place after temporary planting.

인공광 이용형 식물공장을 활용한 오이묘의 묘소질 및 정식 후生育특성 비교

Comparison of Seedling Quality and After Transplanting Growth Characteristics of Cucumber Seedling Using a Plant Factory with Artificial Lighting
현순재¹, 임휘찬², 김윤호³, 배운형³, 장동철^{1,2*}
¹경원대학교 원예학과, ²경원대학교 스마트농업융합학과
Sonjae Hyun¹, HwiChan Yang², Youngho Kim³, Yunhyeong Bae³, Dongcheol Jang^{1,2*}
¹Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Gangwon-do 24341, Korea
²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Gangwon-do 24341, Korea

Table 1. Growth of cucumber seedlings at the 14 days after temporary planting

Crop	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves (nos)	Leaf area (cm ²)	Leaf area (cm ²)	Compaction ¹ (mm ³)
GH	6.6±0.4	3.3±0.1	2.4±0.5	43.2±2.7	20.1±2.1	23.7±1.4
PG	9.7±0.3	4.0±0.4	3.4±0.5	48.8±3.9	20.1±2.0	33.6±2.3
PF	18.0±1.2	5.8±0.4	4.3±0.5	41.9±4.4	28.0±2.6	86.8±13.9

¹Compaction is the value of the dry weight divided by the plant height

Table 2. Weight of cucumber seedlings at the 14 days after temporary planting

Crop	Shoot weight (g)	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
GH	0.082	0.043	0.011	0.008	0.002	0.002	0.002
PG	0.277	0.243	0.187	0.023	0.009	0.007	0.004
PF	0.874	0.474	0.389	0.024	0.039	0.039	0.039

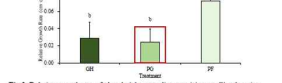


Fig. 2. Relative growth rate of plant height according to raising seedling location

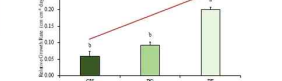


Fig. 3. Relative growth rate of leaf area according to raising seedling location

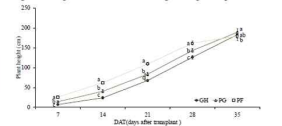


Fig. 4. Cucumber plant height according to the number of days after transplanting - 조종의 상대생장률에서 pg의 qn보다 높게 나타난 것은, 가치 시 인공광 이용형 식물공장에서 온실로 이동 후 저온의 생육 때문이라고 판단됨.

Conclusion

인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 묘와 공립 묘를 가져온 온실묘에 비해 육묘기 및 정식 초기 생장이 빠른 것을 확인 할 수 있었음. 이를 통해 정식시 및 초기 생장을 앞당릴 수 있다 판단되지만, 정식 후 생장량 등의 지표가 확보되지 않아 이에 관한 추가 연구가 진행 중이다.

Acknowledgment

본 연구는 농림축산식품부 기술사업화지원사업(과제번호: K21045-53)의 지원을 받아 수행되었음.

▶ Effect of Potassium Chloride Treatment on Seedling Growth in Plant Factory with Artificial Lighting, 2023 American Society for Horticultural Science

ASHS 2023 American Society for Horticultural Science 2023 Annual Conference Orlando
Tuesday, August 1, 2023
12:33 PM - 12:39 PM
Booth VI (Caribe Royale Orlando)

Abstract
At plant factories that can produce uniform crops throughout the year, cultivation and production of fruit and vegetable seedlings are being attempted. Plant factories have the advantage of a fast growth rate, but there is a risk of softening and overgrowth. Therefore, in this study, potassium chloride (KCl), one of the high salt stresses, was used as a way to suppress softening while maintaining pesticide-free and disease-free seedlings, which are the advantages of plant factories. Cucumber, watermelon, and tomato, which are mainly used in seedling factories, were used as public plants. Since these crops are often used as grafted seedlings, high salinity was treated by dividing them into early, middle, and late stages and treated with EC 10dS/m. When potassium was treated by concentration in the case of plant growth, tomato stolon tended to decrease as EC increased in addition as EC increased, plant length became shorter in tomato and watermelon rootstocks. The stem was the thickest when EC 4dS/m in cucumber and watermelon and EC 6dS/m in tomato. The leaf area was the widest at 2dS/m at EC 4dS/m in tomato stolon and there was no statistically significant difference between cucumber and watermelon. The fidelity of tomato stolon and rootstock was the highest at EC 6dS/m with 13.9 and 12.4mg/cm², respectively, but there was no statistically significant difference between rootstocks. In the treatment according to the growth stage, the rootstock height of tomato and watermelon was the longest at 5.0 and 8.1 cm, respectively. In the control group but in the case of cucumber, it was the longest at 12.3 cm in the mid growth stage. The leaf area was the widest at 8.1 cm² and 13.2 cm², respectively, in the stolon of tomato and watermelon when treated in the mid growth stage. In the case of rootstocks, the leaf area in the middle of growth was the largest in tomato, watermelon, and cucumber, and the smallest in control.

Funding source:
This work funded by the Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs(South Korea)(E21045-3)

Presenting Author:
Yunhyeong Bae
Kangwon National University

Authors:
Youngho Kim
Kangwon National University
HwiChan Yang
Kangwon National University
Dongcheol Jang
Kangwon National University

View Related:
Plant Growth Regulation (Poster)
Moderator: Shuang Andy Zhou, University of Florida
Tuesday, August 1, 2023
12:15 PM - 1:00 PM
Booth VI (Caribe Royale Orlando)

Effect of Potassium Chloride Treatment on Seedling Growth in Plant Factory with Artificial Lighting
Yunhyeong Bae
Department of Horticulture, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Gangwon-do, 24341, Korea

Introduction
Several attempts at stable vegetable production have recently been made due to the expansion of smart agriculture, such as year-round production, disease and pest resistance, and high yield. However, the use of high salinity stresses, which are used as a way to suppress softening while maintaining pesticide-free and disease-free seedlings, which are the advantages of plant factories, cucumber, watermelon, and tomato, which are mainly used in seedling factories, were used as public plants. Since these crops are often used as grafted seedlings, high salinity was treated by dividing them into early, middle, and late stages and treated with EC 10dS/m. When potassium was treated by concentration in the case of plant growth, tomato stolon tended to decrease as EC increased in addition as EC increased, plant length became shorter in tomato and watermelon rootstocks. The stem was the thickest when EC 4dS/m in cucumber and watermelon and EC 6dS/m in tomato. The leaf area was the widest at 2dS/m at EC 4dS/m in tomato stolon and there was no statistically significant difference between cucumber and watermelon. The fidelity of tomato stolon and rootstock was the highest at EC 6dS/m with 13.9 and 12.4mg/cm², respectively, but there was no statistically significant difference between rootstocks. In the treatment according to the growth stage, the rootstock height of tomato and watermelon was the longest at 5.0 and 8.1 cm, respectively. In the control group but in the case of cucumber, it was the longest at 12.3 cm in the mid growth stage. The leaf area was the widest at 8.1 cm² and 13.2 cm², respectively, in the stolon of tomato and watermelon when treated in the mid growth stage. In the case of rootstocks, the leaf area in the middle of growth was the largest in tomato, watermelon, and cucumber, and the smallest in control.

Material & Method
- Raising seedling place
- Separated after temporary planting
- Plant Factory Environment (Day/Night)
- Temperature: 26.18°C - Humidity: 60/70%
- Light: 250 μmol m⁻² s⁻¹ - Light period: 16/8 h

Figure&Table
Table 1. Growth of cucumber seedlings at the 14 days after temporary planting
Table 2. Weight of cucumber seedlings at the 14 days after temporary planting

Result
본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 오이와 인공광 이용형 식물공장의 상립 작 사용 가능성을 검토하고자 수행되었다. 오이의 육묘종은 '청순'으로 2023년 4월 11일에 파종하였다. 파종 후 11일차에 원통형 종묘로트를 이용해 50구 9cm x 9cm 트레이에 가식하였고, 파종 후 24일차에 플라스틱 온실에서 정식하였다. 온실에서 육묘한 GH(Greenhouse, GH)와 인공광 이용형 식물공장에서 가식 후 온실에서 육묘한 GF(Plant factory to Greenhouse, PG), 인공광 이용형 식물공장에서 육묘한 PF(Plant Factory, PF) 총 3가지의 처리구로 구분하였다. 오이의 정식 전 생육 비교 조사는 GH, PG, PF 각각 6.6, 9.7, 18.0cm로 GH가 가장 짧았고, PF가 가장 길었다. 오이의 최대생장률은 PF가 가장 높았지만, 오이가 가장 짧았던 GH가 PG보다 높았다. 생체 중과 건물중은 GH가 가장 작아졌고, PF가 가장 작아졌다. 출실도 또한 GH가 가장 낮고, PF가 가장 높았다. 정식 후 초기 생육 비교 결과, GH, PG, PF의 초장은 각각 7.0, 14.1, 25.7cm로 GH가 가장 짧고, PF가 가장 길었으나, 생육 후기로 관측된 길이차 역전되어 GH가 182.7mm로 가장 길고, PF가 179.2mm로 가장 짧았다. 앞선 결과들을 통해 식물공장에서 육묘할 묘가 생육 초기 생장이 빠른 경향을 파악하였다. 따라서 인공광 이용형 식물공장의 생육 속도가 빠른 묘를 이용해 육묘 기간을 단축하여 육묘 생산 비용 및 시간을 절약할 가능성이 확인되었지만, 정식 후 생장량의 비교가 부족하여 이에 관한 추가 연구가 진행 중이다.

■ 교육지도 (5건)

관인생략
출원번호통지서


출원일자 2023.03.28
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(P231312)
출원번호 10-2023-0040763 (접수번호 1-1-2023-0351050-03)
(DAS접근코드4C3D)
출원인명칭 호반영농조합법인(1-2004-006437-1)
대리인성명 서광강(9-2018-000032-5)
발명자성명 김대훈 양위찬 김효용
발명의명칭 인공광 이용형 식물공장을 이용하여 고품질의 오이 접수 및 대륙을 생산하기 위한 온도 및 광도 설정 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허포털페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
3. 납부자번호: 0191(기초코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(경정), 청정신고서)를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
특사제도 안내: https://www.kipko.go.kr/지식재산제도

[별지 제3호 서식] * 지면이 부족한 경우 별지를 첨부하여 작성

 강원대학교	발명 요약서	지식재산권규정에 의거 심의위원회 의결사항
발명(창작)의 명칭		
인공광 이용형 식물공장을 이용하여 고품질의 오이 접수 및 대륙을 생산하기 위한 온도 및 광도 설정 방법		
종래기술(구상, 작동 및 도면, 종래기술의 문제점 등)		
최근 국고온 극저온, 가열 및 복수의 같은 기후 불일정의 심화로 인한 안정적인 채소 생산을 위한 다양한 방법이 시도되고 있다. 그 중 직파를 하는 것이 아닌 고품질의 육질을 통한 인공적인 광조건을 활용하여 채소를 재배하는 것이다. 종래기술은 생산성 향상, 수확기간 연장, 해충 저항성, 높은 내염성 및 내습성의 장점이 있다. 고품질의 장점이 있다. 고품질의 장점이 위해서는 온도조절과 통풍 면이 일치하는 일정한 크기의 접수와 대륙을 생산하는 것이 필수적이다. 이를 위해 공중육묘장은 불안정한 외부 기후를 극복하기 위하여 여러 기술이 적용된 시설 온실에서 재배되고 있다. 하지만, 최근 과도한 기후변화로 인하여 시설온실에서도 연중 균일한 접수와 대륙의 생산이 어려워지고 있다.		
발명(창작)의 내용		
기술의향에 의한 연중 균일한 접수 및 대륙을 생산하지 못하는 문제의 대안으로 인공광 이용형 식물공장의 도입이 시도되고 있다. 인공광 이용형 식물공장은 다양한 환경 요인을 완벽하게 통지하는 만큼 재배에 관련된 기술이 복잡하기 때문에, 접수 및 대륙 생산에 활용하기 위해서는 환경 요인에 대한 식물의 반응을 연구하여 유망한 성장 환경을 확인해야 한다. 여러 환경 요인 중 종래기술에 영향을 주어 식물의 형태 및 광합성 효율에 영향을 미치는 온도와 광합성에 주 요인으로 탄소화물 생산에 영향을 주어 생육 속도와 묘의 활력을 결정하는 광도에 중점을 두어 발명을 진행하였다. 주간 온도를 25~28℃ 내에서 1도씩 차이를 두어 4가지 주간온도에서 오이 접수 및 대륙의 생육을 비교조사하였다. 50~400 μmol m ⁻² m ⁻² 내에서 70 μmol m ⁻² m ⁻² 의 차이를 두어 8단계의 광도 내에서 생육을 비교조사하여 적정 주간온도 및 광도를 구명하였다. 또한, 과채류 육묘의 주요 생육 지표인의 상관관계를 통해 묘소질을 예측하였다.		
발명(창작)의 효과		
인공광 이용형 식물공장을 사용하게 된다면 외부환경에 영향을 받지 않기 때문에 연중 균일한 접수 및 대륙을 생산 할 수 있는 장점이 있다. 또한, 식물재배 최적의 환경을 연중 균일하게 제공할 수 있기 때문에 시설온실의 육묘보다 생산 속도가 빨라 공중 육묘장에 소독을 함으로써 경영안정성에 도움이 될 것으로 생각된다. 종장육묘장에서 묘소질을 판단하기 위해서는 식물을 파헤칠 수 없기 때문에 재배사의 숙련도나 경험으로만 판단이 가능하지만, 주요 생육지표간의 상관관계를 나타낸 히트맵을 통해 묘소질을 판단하는 지표들과 비파괴로 측정할 수 있는 지표들 중의 높은 상관관계를 통해 누구나 현장에서 간단한 조사를 통해 묘소질을 판단할 수 있을 것이다.		
발명(창작)의 대표도면		
(별도 첨부)		
발명(창작) 도면의 간단한 설명		
(별지 첨부)		
적용·응용분야 및 시장성		
인공광 이용형 식물공장은 5개의 육묘 배드가 수직함으로 이루어져있기 때문에 공간 활용도가 시설온실의 육묘 배드에 비하여 높다. 그리고 관수는 ebb and flow 방식을 사용하여 자동 관수가 가능하다. 이를 통해 공중육묘장의 인건비 등 대부분을 저지하는 관수 관리 부분에서 인건비의 절감에 가능하고 공간활용도가 높아지기 때문에 생산성 또한 증가시킬 수 있다.		
기술이전 가능성		
국내 유수의 공중육묘장인 호반영농조합에 기술이전하고, 그 이후 국내 공중육묘장에 기술이전이 가능할 것이다. 호반영농조합법인 은 연구과제의 주관기관으로 과제가 수행되는 동안 각종 연구 수확의 편이를 제공하였을 뿐만 아니라, 국내 유수의 공중육묘장 생산 시설을 보유하고, 김뿐만 아니라, 분출 전과를 대상으로 과채류 접목묘를 공급하는 생산단지로서 연구과제에서 개발된 현장 애로 기술을 조기 정착시키는데 적합한 기업으로 판단된다.		

고용창출 (2건)

NPS 함께 나누고 함께 누려요 (1/2 페이지)

국민연금 가입자 가입증명

발급번호	20211001-H308-552335	발급일자	2021-10-01	검증번호	4LC1
성명	나영호	생년월일		출력구분	전체이력

■ 가입 이력

지속유지기간	가입자종별	사업장명칭(지역)
2021.09.23 ~ 현재	사업장	광원도농업기술원(작물연구과 경영정보)
2021.03.01 ~ 2021.07.31	사업장	강원대학교산학협력단
2020.11.18 ~ 2020.12.31	사업장	광원도농업기술원(작물연구과 경영정보)

■ 가입자 자격 상세내역

사업장명칭(지역)	가입자종별	변동사유	변동일	차리일
광원도농업기술원(작물연구과 경영정보)	사업장	취득	2021-09-23	2021-09-30
강원대학교산학협력단	사업장	상실	2021-08-01	2021-08-03
강원대학교산학협력단	사업장	취득	2021-03-01	2021-03-15
광원도농업기술원(작물연구과 경영정보)	사업장	상실	2021-01-01	2021-01-04
광원도농업기술원(작물연구과 경영정보)	사업장	취득	2020-11-18	2020-11-24

■ 사업장 명칭 변경 내역

변동일	변동명목	변경전 명칭	변경후 명칭	차리일
2016-04-05	사업장명칭	광원도농업기술원(경영정보부)	작물연구과 경영정보	2016-04-05
2016-04-06	사업장명칭	작물연구과 경영정보	광원도농업기술원(작물연구과)	2016-04-06

문서확인번호: 1633-0729-9016-8837

건강보험자격득실확인서

가입자	성명	주민등록번호
	나영호	

자격득실확인내역

NO	가입자구분	사업장명칭	자격득실일	자격상실일
1	직장가입자	강원도농업기술원(작물연구과 경영정보)	2021-09-23	
2	직장피부양자	철원소방서	2021-08-01	2021-09-23
3	직장가입자	강원대학교산학협력단	2021-03-01	2021-08-01
4	지역세대원		2021-01-01	2021-03-01
5	직장가입자	강원도농업기술원(작물연구과 경영정보)	2020-11-18	2021-01-01
6	지역세대원		2019-06-30	2020-11-18
7	직장피부양자	서울특별시청	2019-01-01	2019-06-30
8	직장피부양자	서울대공원	1997-01-11	2019-01-01



이 증명서는 국민연금 홈페이지(https://www.nps.or.kr)에서 발급된 문서입니다. 발급일시의 컴퓨터로 확인한 국민연금 홈페이지(전자서명)인식결과와 동일함을 증명합니다. 이를 증명하는 서류는 국민연금 홈페이지(전자서명)인식결과와 동일함을 증명합니다.

◆ 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, http://24gov.kr)의 인터넷발급문서진행확인 메뉴를 통해 위·변조 여부를 확인할 수 있습니다. (발급일로부터 90일 이내) 또한 문서확인번호(1633-0729-9016-8837)를 통해 위·변조 여부를 확인할 수 있습니다.



4대 사회보험 가입자 가입내역 확인서



1 / 1

발급번호	20220308503985	발급일시	2022-03-08 15:16
주민(외국인)등록번호		성명	정민혁

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 1

구분	내역	성명	가입자종별	사업장 관리번호	사업장명칭	자격취득일 (신고접수일)
국민연금	정민혁	사업장가입자	78088012000	농업회사법인지세엘팜주식회사	2022.01.17 (2022.02.14)	
건강보험	정민혁	직장가입자	78088012000	농업회사법인지세엘팜주식회사	2022.01.17 (2022.02.14)	
산재보험	정민혁	사업장가입자	78088012000	농업회사법인지세엘팜주식회사	2022.01.17 (2022.02.14)	
고용보험	정민혁	사업장가입자	78088012000	농업회사법인지세엘팜주식회사	2022.01.17 (2022.02.14)	

- ▷ 위 가입자 가입내역 확인서는 [확인용]으로 신청·발급된 것임을 알려드립니다.
- [확인용]은 4대 사회보험의 업무목적에 대해서만 제공하는 것이므로 재직증명용, 경력증명용, 대출용 등 다른 용도로 사용시에는 발급 기관에 법적 책임이 없다는 점을 알려드립니다.
- 타 기관 제출을 위한 용도로 발급을 원하시는 경우에는 각 공단 기사 청구로 신청하시기 바랍니다.
- ▷ 위 가입자 가입내역 확인서는 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것입니다. (문의전화: 국민연금 1355, 건강보험 1577-1000, 산재·고용보험 1588-0075)
- 가입자 가입내역 확인서의 내용이 사실과 다를 경우에는 해당 공단으로 직접 문의하시기 바랍니다.
- 과거 가입내역은 해당 보험별 각 공단에 문의하여 발급받으시기 바랍니다.
- ▷ [산재보험]의 경우, 건설업 및 벌목업 등 '직접신고 사업장'은 근로자 고용정보 신고 대상이 아니므로 자격취득일은 표기되지 않습니다.
- ▷ 가입자 가입내역 확인서는 [사업장 관리번호]를 기준으로 작성되었습니다.

위와 같이 국민연금 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 건강보험 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 산재보험 가입내역을 확인합니다.	위와 같이 고용보험 가입내역을 확인합니다.
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------



▷ 위 가입자 가입내역 확인서는 4대 사회보험정보연계시스템이 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 가입자 정보를 실시간 연계받아 제공하는 것이며, 발급사실 여부는 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.dinsure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.
*정확한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.

발급번호 : G2022030403211660

건강보험자격득실확인서

확인정구자	성명	주민등록번호
	정민혁	

자격득실확인내역

No	가입자구분	사업장명칭	자격취득일	자격상실일
1	직장가입자	농업회사법인지세엘팜주식회사	2022.01.17	
	이하여백			

건강보험 자격득실내역을 위와 같이 확인 합니다.
2022.03.04

국민건강보험공단 이사장

- * 이 확인서의 위·변조·상실일은 실제의 사업장 입사일·퇴직일과 다를 수 있습니다.
- * 이 확인서는 국민건강보험공단 인터넷 홈페이지(www.nhis.or.kr)에서 직접 발급이 가능합니다. (공인인증서 필요)
- * 이 확인서는 건강보험 자격확인용이므로 다른 용도(재직증명용, 경력증명용, 대출용 등)

■ 인력양성 (5명)

문서 확인번호 ■ XMA7-3230-9513-3D42 ■
본 증명서는 <http://www.dinsure.or.kr>의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다. (발급일로부터 90일)

졸업예정증명서

제 20211 - 1546134 호

성 명 : 양휘찬

생년월일 :

소속(전공) : 농업생명과학대학 원예·시스템공학부 원예과학전공

(편)입학일 : 2016년 3월 2일

재학(수료)학년 : 제 4 학년

졸업예정일 : 2022년 2월 22일

위 사실을 증명합니다.

2021년 9월 3일

강원대학교 총장

문원시 강원대학교(11호)중앙문원센터 학사지원과 TEL : 0330250-8272
행정시 중앙로 346 학생서비스 교육지원과 TEL : 0330570-6211

문서 확인번호 ■ XDCF-CAAE-DE09-1B1C ■
본 증명서는 <http://www.dinsure.or.kr>의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다. (발급일로부터 90일)

재학증명서

제 202312 - 1912861 호

성 명 : 배용형 성별 : 남

생년월일 :

소속 : 일반대학원 스마트농업융합학과

과 정 : 석사과정

전 공 : 스마트농업

입학일 : 2023년 9월 1일

재학학기 : 제 1 학기

위 사실을 증명합니다.

2023년 12월 28일


강원대학교 총장

문원시 강원대학교(11호)중앙문원센터 학사지원과 TEL : 0330250-8272
행정시 중앙로 346 학생서비스 교육지원과 TEL : 0330570-6211

■ 제품출시 (2건)

<첨부3>

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서


과 계 명	폐해형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구			
주관연구기관	호반영농조합법인	참여기관	강원대학교 산학협력단	
연구책임자	김 대 훈	연구기간	21년 4월 ~ 23년 12월(총 3년)	
총 정부출연금	732,000,000 원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	()	기존 제품 공정개선	(●)	
신제품(제품출시 완료)	()	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
원통형 엘리포트 오이 모종		오이 생산을 위한 육묘	2021.5.3	50%
* 첨부: 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수				
상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.				

2021년 5월 3일
연구책임자: 김 대 훈 (서명 또는 인)

- 1 -

<첨부3>

농림축산식품 연구개발과제 제품출시 확인서

과 계 명	폐해형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구			
주관연구기관	호반영농조합법인	참여기관	강원대학교 산학협력단	
연구책임자	김 대 훈	연구기간	21년 4월 ~ 23년 12월(총 3년)	
총 정부출연금	732,000,000 원			
해당 기술의 제품출시 유형				
시제품(제품출시 예정)	(●)	기존 제품 공정개선	()	
신제품(제품출시 완료)	()	기 타	()	
제품 출시 실적				
제품명	제품사진	제품용도	제품 출시일	해당 기술의 제품출시 기여율(%)
식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 모종		오이 점목묘 생산을 위한 점수/대목 생산	2022.9.3	100%
* 첨부: 당해연도 제품출시 여부를 확인할 수 있는 자료(제조년월일 표기사진, 제품등록번호 등) **식품R&D는 품목제조보고서 제출 필수				
상기와 같이 R&D 기술을 제품화한 실적을 보고합니다.				


2022년 10월 7일
연구책임자: 김 대 훈 (서명 또는 인)

- 1 -

■ 매출 확인서 73,357,000원 (3건)

<첨부4>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과 계 명	폐해형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구		
주관연구기관	호반영농조합법인	참여기관	강원대학교 산학협력단
연구책임자	김 대 훈	연구기간	21년 4월 ~ 23년 12월(총 3년)
기업 정보	기업 매출 총액: 950,000,000 원		
관련 실적	특허(○), 품종(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상표) 명칭(번호): 원통형 엘리포트 시스템을 활용한 오이 육묘 체계 관리방법 (10-2020-0117545, 2020.09.14) 기술상시 명칭: 주요 채소류 기계정식 효율화를 위한 원통형 엘리포트 육묘 기술 개발		
해당제품의 매출 실적			
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
원통형 엘리포트 오이 모종		국내	44,520,000
		국외	협약중
* 첨부: 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자회매출진표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등			
상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.			

2021년 10월 14일
연구책임자: 김 대 훈 (서명 또는 인)

전자계산서		승인번호	20211004-1000000-6969171	
등록번호 상호 (법인명)	221-81-10822 호반영농조합법인	회사업장 번호	511-81-04922	회사업장 번호
대표이사명	성명 김병교	상호 (법인명)	상호 김관영	상호 (법인명)
사업장	강원도 춘천시 동면 소양길로 686	사업장 명칭	경상북도 상주시 결성대로 321(안산동)	사업장 명칭
업체	도매업 종목 채소 (일반)	업체	서비스업 종목 농약비료	업체
이메일	hoban2988@daum.net	이메일	love@love@empas.com	이메일
작성일자	2021/10/04	금급가액	44,520,000	수정사유
비고				
월 일	10 04	종목	목요요금	수량
		단가	106,500	44,520,000
합계금액	44,520,000	현금	수표	어음
		회상미수금	이 금액을 (청구) 함	

본 인보장은 국제표준 호환(www.hoban2988.com)에서 발급 또는 전용 인력만 전자계산서(계산서)입니다.
HomeTax, 발급사실 확인은 정기 홈페이지(www.hoban2988.com) 전자계산서(계산서) 제3차 발급실정 조회 등 이용하시기 바랍니다.

<첨부4>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	배재형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구		
주관연구기관	호반영농조합법인	참여기관	강원대학교 산학협력단
연구책임자	김대훈	연구기간	21년 4월 ~ 23년 12월(총 3년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 950,000,000 원		
관련 실적	특허(○), 품종(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상경)		
	명칭(번호) : 식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도관리기술 (10-2022-0105902, 2022.08.24.)		
기술실시 명칭 : 식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술			

해당제품의 매출 실적

제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 모종		국내	13,820,000
		국외	협의중
			100%

• 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.

2022년 10월 7일

연구책임자 : 김대훈 (서명 또는 인)

전자계산서		승인번호		20220915-10220915-20966192	
등록번호	221-81-10822	종사업장번호	등록번호	690829-1323910	종사업장번호
상호(법인명)	호반영농조합법인	성명	김영교	상호(법인명)	성명
사업장	강원도 춘천시 동면 소양강로 686	사업장	황성군 뜰내면 석문길63	사업장	황성군 뜰내면 석문길63
업태	도매업	종목	채소 (일반)	업태	종목
이메일	hoban2988@daum.net	이메일	이메일	이메일	이메일
작성일자	2022/09/15	공급가액	9,600,000	수령사유	비고
월	09	일	15	종목	육묘대금
합계금액	9,600,000	원금	9,600,000	이 금액을 (청구) 함	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 '조회/발급' 전자세금계산서> 제3차 발급사실 조회'를 이용하시기 바랍니다.

전자계산서		승인번호		20221006-10221006-39049439	
등록번호	221-81-10822	종사업장번호	등록번호	591006-1343611	종사업장번호
상호(법인명)	호반영농조합법인	성명	김영교	상호(법인명)	성명
사업장	강원도 춘천시 동면 소양강로 686	사업장	황성군 뜰내면 석문길52-21	사업장	황성군 뜰내면 석문길52-21
업태	도매업	종목	채소 (일반)	업태	종목
이메일	hoban2988@daum.net	이메일	이메일	이메일	이메일
작성일자	2022-10-06	공급가액	4,220,000	수령사유	비고
월	10	일	06	종목	육묘대금
합계금액	4,220,000	원금	4,220,000	이 금액을 (청구) 함	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급, 또는 홈택스로 전송된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 '조회/발급' 전자세금계산서> 제3차 발급사실 조회'를 이용하시기 바랍니다.

<첨부4>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	배재형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구		
주관연구기관	호반영농조합법인	참여기관	강원대학교 산학협력단
연구책임자	김대훈	연구기간	21년 4월 ~ 23년 12월(총 3년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 950,000,000 원		
관련 실적	특허(○), 품종(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상경)		
	명칭(번호) : 식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도관리기술 (10-2022-0105902, 2022.08.24.)		
기술실시 명칭 : 식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술			

해당제품의 매출 실적

제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
고품질 오이 전묘묘		국내	50,656,900
		국외	협의중
			50%

• 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.

2023년 10월 27일

연구책임자 : 김대훈 (서명 또는 인)

전자계산서		승인번호		20230727-10230727-37874053	
등록번호	221-81-10822	종사업장번호	등록번호	720510-1323913	종사업장번호
상호(법인명)	호반영농조합법인	성명	김영교	상호(법인명)	성명
사업장	강원특별자치도 춘천시 동면 소양강로 686	사업장	황성군 뜰내면 석문길 412	사업장	황성군 뜰내면 석문길 412
업태	도매업	종목	채소 (일반)	업태	종목
이메일	hoban2988@daum.net	이메일	이메일	이메일	이메일
작성일자	2023-07-27	공급가액	22,860,000	수령사유	비고
월	07	일	27	종목	육묘대금
합계금액	22,860,000	원금	22,860,000	이 금액을 (청구) 함	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급, 또는 홈택스로 전송된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 '조회/발급' 전자세금계산서> 제3차 발급사실 조회'를 이용하시기 바랍니다. QR코드를 통해 손택스에서 쉽게 확인할 수 있습니다.

전자계산서		승인번호		20230906-10230906-77256321	
등록번호	221-81-10822	종사업장번호	등록번호	221-82-02256	종사업장번호
상호(법인명)	호반영농조합법인	성명	김영교	상호(법인명)	성명
사업장	강원특별자치도 춘천시 동면 소양강로 686	사업장	강원도 춘천시 동면 가산로 72(용곡동1동)	사업장	강원도 춘천시 동면 가산로 72(용곡동1동)
업태	도매업	종목	채소 (일반)	업태	종목
이메일	hoban2988@daum.net	이메일	이메일	이메일	이메일
작성일자	2023-09-06	공급가액	27,796,900	수령사유	비고
월	09	일	06	종목	육묘대금
합계금액	27,796,900	원금	27,796,900	이 금액을 (청구) 함	

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급, 또는 홈택스로 전송된 전자(세금)계산서입니다. 발급사실 확인은 상기 홈페이지의 '조회/발급' 전자세금계산서> 제3차 발급사실 조회'를 이용하시기 바랍니다. QR코드를 통해 손택스에서 쉽게 확인할 수 있습니다.

■ 기술이전 (2건)

기술이전 계약서

농업생명과학대학 원예학과 교수 김일성 (이하, '연구자'라 한다)이 개발하고 직무 발명의 귀속에 관한 강원대학교 지식재산규정에 따라 강원대학교 산학협력단 (이하, '甲'이라 한다)이 보유하고 있는 "식물공정형 육묘시스템을 활용한 오이 주간 온도 관리 기술(10-2022-0105902, 2022.08.24)"에 관하여 호반영농조합법인(이하, '乙'이라 한다)에게 기술을 제공하고 통상실시권을 허여하고자 한다. 이에 甲과 乙은 다음과 같이 합의하고 계약을 체결한다.

제 1 장 총칙

제1조(용어의 정의)

본 계약의 적용을 위한 용어는 다른 특별한 언급이 없는 한 다음 각 호의 의미로 사용된다.

- '특허기술'이라 함은 어떤 기술에 관한 특허출원이 특허청에 유효하게 특허 등록된 기술을 말한다.
- '실시'라 함은 대한민국 특허법 제2조 제3호 각목의 1에 해당하는 것을 말한다.
- '특허품'이란 특허기술을 적용하여 제조한 제품 또는 물품을 말한다.
- '실시기간'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 기간을 의미한다.
- '실시지역'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 지역을 의미한다.
- '실시내용'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 범위를 의미한다.
- '기술전수도'라 함은 본 기술의 원만한 실시를 위하여 필요한 자료, 연구 등을 포함하는 일체의 행위를 의미한다.
- '기술의 개량'이라 함은 본 기술을 활용하여 상당한 경제적 또는 기술적 진보를 가져오는 기술을 의미한다.
- '판매수입액'이란 본 계약의 목적이 되는 기술을 적용하여 생산한 제품 또는 물품의 국내외 총 판매액을 말한다.

제2조 (기술의 정의)

본 계약에서 '기술'이라 함은 甲이 출원 또는 등록하거나 甲이 실시권을 허락할 권리를 보유하고 있는 산업재산권의 보호대상으로 된 기술 또는 Know-How로 하기에 명시한 것을 말하며, 본 기술 이외의 파생기술이나 개량기술은 포함되지 아니한다. 또한, 본 계약의 기술은 향후 산업재산권의 등록, 유지 또는 무효 여부에 영향을 받지 아니한다.

- 대상기술: 식물공정형 육묘시스템을 활용한 오이 주간 온도 관리 기술 (출원번호: 10-2022-0105902 / 출원일자: 2022.08.24.)

제3조(기술이전의 목적)

본 기술이전의 목적은 乙로 하여금 본 기술의 산업화를 촉진하기 위함이다.

제4조(신의성실 및 상호협력)

- 甲과 乙은 신의를 가지고 각 조항을 성실히 이행하여야 한다.
- 甲은 계약이행 과정을 통하여 乙의 요청이 있을 때에는 수시로 제공기술에 관하여 협조하여야 하며, 乙 또한 필요한 사항을 甲에 적극 협조하여야 한다.
- 甲과 乙은 甲으로부터 본 기술의 실시권을 허락받지 아니한 제3자의 실시에 대한 증거확보에 노력하여야 하고, 확보된 증거에 대하여는 상호 이를 시면으로 통지하고 필요한 조치를 위하여 협조하여야 한다.

제5조(비밀보장 및 기술보호)

- 甲과 乙은 상대방의 상호 동의 없이 본 계약과 관련하여 취득한 연구 활동상 또는 경영상의 비밀을 외부에 누설하여서는 아니된다. 다만, 甲의 일반적인 연구 활동과 乙의 일반적인 기업 활동에 대해서는 적용되지 아니한다.
- 乙은 기술에 대해 甲의 사전 승인 없이 어떠한 경우에도 대내외의 유출 및 제3자에게 제공할 수 없다. 단, 乙은 본 기술의 실시를 위하여 임/직원, 대리인, 피고용인, 제실시권자에게 특허기술 및 관련 Know-How를 제공할 수 있으며(제실시권을 허락하였을 경우), 이 경우 乙은 본 기술의 비밀보장을 위한 필요한 합리적인 예방조치를 취하여야 한다.
- 본 계약이 해지 또는 해제된 경우에도 비밀유지 의무는 유효하다.

제6조(주요사항의 변경)

乙은 본 계약 체결 이후 甲의 주소, 대표 등 주요사항을 변경하였을 경우에는 이를 지체 없이 甲에 통보하여야 하며, 그 불이행으로 인한 甲의 착오는 乙의 책임으로부터 면책된다.

제7조(통지)

양 당사자 간의 통지는 등기우편에 의해 상대방 주소 중 가장 최근의 주소로 하며, 어느 당사자가 그들의 주소나 연락장소를 변경했을 때에는 상대방에게 이 사실을 알

려야 한다.

제 2 장 실시권의 허락

제8조(실시권의 허락)

- 甲이 乙에게 제공하는 기술에 관한 기술자료 및 기술정보는 甲이 개발하여 보유하고 있는 것으로 별첨 기술이전 내용 및 범위와 같다. 또한, 甲은 본 기술자료 및 기술정보를 기술문서나 기술에 대한 설명으로서 乙에게 제공한다.
- 甲은 乙이 본 기술 중 실시하지 아니하는 부분에 대하여는 실시권을 포기한 것으로 간주할 수 있다.

제9조(계약기간)

- 본 계약은 계약체결일로부터 1년(2022년 8월 23일)까지로 한다.
- 계약이 만료된 후 乙이 甲에 본 계약에 따른 통상실시권의 기간 연장을 요구하는 경우 그 때부터 본 계약상의 통상실시권의 기간은 연장된 것으로 본다. 단, 乙이 계약만료 6개월 이전에 계약기간 연장사유를 甲에게 표시하여 계약만료 전까지 재계약을 체결하여야 하며, 계약기간을 연장하지 아니한 경우에는 계약기간만료와 동시에 乙은 본 기술의 사용을 중지하여야 한다.
- 원항의 경우 통상실시권은 기존의 조건과 동일한 조건으로 연장된 것으로 본다. 다만 甲은 조건 변경을 요구할 수 있고 이 경우 乙은 협상에 응하여야 한다.

제10조(국외실시)

'국외실시'는 대한민국 이외의 지역에 실시권을 허락하거나 본 기술을 수출하는 것 (동 지역에서 본 기술을 적용한 제품을 생산, 판매하는 행위를 포함)을 말하며, 乙이 본 기술의 국외실시를 원하는 경우에는 甲과 별도로 국외실시에 관한 실시협약을 체결하여야 한다.

제11조(기술의 실시 등)

- 甲은 본 기술을 현재 있는 상태로 乙에게 제공하며, 본 기술을 이용한 제품의 시장 적합성과 경제성 및 판로시장 개척 또는 영업에 대하여 甲은 책임지지 아니한다.
- 甲은 乙의 기술의 실시 능에 있어서 기술적인 지원을 요청할 경우 이에 합리적인 범위의 기술지도를 제공하여야 한다. 다만 기술지도를 제공함에 따라 발생하는 합리적인 비용은 乙이 부담하고 그 기간은 1년을 초과할 수 없다.

[별지 13의2]

기술실시보고서				(단위: 원)	
사업명	기술사업화지원사업 민간주요사업 사업화지원	연구과제번호	821045-3		
연구과제명	델리프로트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 토 생산 실증 연구	연구기관명	강원대학교 산학협력단	연구책임자	김일성
연구협약일	2021-04-01	연구기간	2021-04-01 ~ 2022-12-31		
연구개발비	정부출연금 233,000,000	기업부담금	기타 ()	계	233,000,000
계약(활동)명	식물공정형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술				
계약(활동)일	2022.9.1	실시(활동)기간	2022.9.1 ~ 2023.8.31		
지적권 종류	특허(출원)	실시권 유형	직권 실시		
기술실시계약 및 성과확산 현황	명 칭	식물공정형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술	일 차	2022.08.24	
	별 호	10-2022-0105902	일 차	2022.08.24	
	기관명	호반영농조합법인	기관유형	영농조합법인	
	주 소	강원도 춘천시 동면 지내리 909	대 표 자	김 영 료	
	사업제번호	221-81-10822	전화번호		
	부세담당자	김 태 훈	e-mail		
기술표산영역	기술표(식물 공정형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술) : 20,000,000원	정상기술표	기타 조건		
	산출내역 : 20,000,000원(기술표) - 20,000,000원(장면료, 100%) = 0 원				
기술 표	장(단부)매칭일	장수(단부)금액	장수(단부)매칭일	장수(단부)금액	기타 조건
	2022.9.1	0	장수(단부)매칭일	장수(단부)금액	기타 조건
			매출에 따른	기술표	기술표 금액 100%
			기술표	장수(단부)매칭일	장수(단부)금액
	계	0			
기타특기사항	해당 기업은 농업법인(단체)에 해당하여 정부출연금의 100% 감면 요건				
국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.					
별첨 1. 기술실시계약서 사본 1부(민기관으로 기술이전시) 2. 국가산업권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부 (타기관으로 기술이전시), 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).					
2022년 8월 24일 주관연구기관 강원대학교의 산학협력단 대표 농림식품기술기획평가원장 귀하					

기술이전 계약서

생산하기 위한 온도 및 광도 설정방법
(출원번호 : 10-2023-0040763 / 출원일자 : 2023.03.28.)

호반영농조합법인 이사 김대훈 (이하, '연구자'라 한다)이 개발하고 호반영농조합 법인이 보유하고 있는 "인공광 이용형 식물공장을 이용하여 고품질의 오이 접수 및 대목을 생산하기 위한 온도 및 광도 설정방법(10-2023-0040763, 2023.03.28.)"에 관하여 주식회사 지엠티(이하, 'Z'이라 한다)에게 기술을 제공하고 통상실시권을 허여하고자 한다. 이에甲乙双方가 합의하고 계약을 체결한다.

제 1 장 총 칙

제1조(용어의 정의)

본 계약의 적용을 위한 용어는 다른 특별한 언급이 없는 한 다음 각 호의 의미로 사용된다.

- '특허기술'이라 함은 어떤 기술에 관한 특허출원이 특허청에 유효하게 특허 등록된 기술을 말한다.
- '실시'라 함은 대한민국 특허법 제2조 제3호 각목의 1에 해당하는 것을 말한다.
- '특허품'이란 특허기술을 적용하여 제조한 제품 또는 물품을 말한다.
- '실시기간'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 기간을 의미한다.
- '실시지역'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 지역을 의미한다.
- '실시내용'이란 본 계약에 의해 본 기술의 실시가 허락된 범위를 의미한다.
- '기술권수지도'라 함은 본 기술의 원만한 실시를 위하여 필요한 자료, 연구 등을 포함하는 일체의 행위를 의미한다.
- '기술의 개발'이라 함은 본 기술을 활용하여 상당한 경제적 또는 기술적 진보를 가져오는 기술을 의미한다.
- '판매수입액'이란 본 계약의 목적이 되는 기술을 적용하여 생산한 제품 또는 물품의 국내의 총 판매액을 말한다.

제2조(기술의 정의)

본 계약에서 '기술'이라 함은甲乙双方이 출원 또는 등록하거나甲乙双方이 실시권을 허락한 권리를 보유하고 있는 산업재산권의 보호대상으로 된 기술 또는 Know-How로 하기에 명시한 것을 말하며, 본 기술 이외의 파생기술이나 개량기술은 포함되지 아니한다. 또한, 본 계약의 기술은 향후 산업재산권의 등록, 유지 또는 무효 여부에 영향을 받지 아니한다.

- 대상기술 : 인공광 이용형 식물공장을 이용하여 고품질의 오이 접수 및 대목을

려야 한다.

제 2 장 실시권의 허락

제8조(실시권의 허락)

- 甲乙双方이 제공하는 기술에 관한 기술자료 및 기술정보는甲乙双方이 개발하여 보유하고 있는 것으로 별첨 기술이전 내용 및 범위와 같다. 또한,甲乙双方이 기술정보를 기술문서나 기술에 대한 설명으로서甲乙双方에게 제공한다.
- 甲方은乙方이 본 기술 중 실시하지 아니하는 부분에 대하여는 실시권을 포기한 것으로 간주할 수 있다.

제9조(계약기간)

- 본 계약은 계약체결일로부터 1년(2024년 4월 14일)까지로 한다.
- 계약이 만료된후乙方이甲方에 본 계약에 따른 통상실시권의 기간 연장을 요구하는 경우 그때부터 본 계약상의 통상실시권의 기간은 연장된 것으로 본다. 단,乙方이 계약만료 6개월 이전에 계약기간 연장사항을甲方에게 표시하여 계약만료 전까지 재계약을 체결하여야 하며, 계약기간을 연장하지 아니한 경우에는 계약기간만료와 동시에乙方은본 기술의 사용을 중지하여야 한다.
- 전항의 경우 통상실시권은 기존의 조건과 동일한 조건으로 연장된 것으로 본다. 다만甲方은조건 변경을 요구할수 있고 이 경우乙方은협상에 응하여야 한다.

제10조(국외실시)

'국외실시'는 대한민국 이외의 지역에 실시권을 허락하거나 본 기술을 수출하는 것 (동 지역에서 본 기술을 적용한 제품을 생산, 판매하는 행위를 포함)을 말하며,乙方이 본 기술의 국외실시를 원하는 경우에는甲方과 별도로 국외실시에 관한 실시협약을 체결하여야 한다.

제11조(기술의 실시 등)

- 甲方은 본 기술을 현재 있는 상태로乙方에게 제공하며, 본 기술을 이용한 제품의 시장 적합성과 경제성 및 판로시장 개척 또는 영업에 대하여甲方은 책임지지 아니한다.
- 甲方은乙方이 기술의 실시 등에 있어서 기술적인 지원을 요청할 경우 이에 합리적인 범위의 기술지도를 제공하여야 한다. 다만 기술지도를 제공함에 따라 발생하는 합리적인 비용은乙方이 부담하고 그 기간은 1년을 초과할수 없다

제3조(기술이전의 목적)

본 기술이전의 목적은乙方이 하역금 본 기술의 산업화를 촉진하기 위함이다.

제4조(신의 성실 및 상호협조)

- 甲方과乙方은 신의를 가지고 각 조항을 성실히 이행하여야 한다.
- 甲方은 계약이행 과정을 통하여乙方의 요청이 있을 때에는 수시로 제공기술에 관하여 협조하여야 하며,乙方 또한 필요한 사항을甲方에 적극 협조하여야 한다.
- 甲方과乙方은甲方으로부터 본 기술의 실시권을 허락받지 아니한 제3자의 실시에 대한 증거확보에 노력하여야 하고, 확보된 증거에 대하여는 상호 이를 서면으로 통지하고 필요한 조치를 위하여 협조하여야 한다.

제5조(비밀보장 및 기술보호)

- 甲方과乙方은 상대방의 상호 동의 없이 본 계약과 관련하여 취득한 연구 활동상 또는 경영상의 비밀을甲方에게 누설하여서는 아니된다. 다만,甲方의일반적인 연구 활동과乙方의일반적인 기업 활동에 대해서는 적용되지 아니한다.
- 乙方은 기술에 대해甲方의 사전 승인 없이 어떠한 경우에도 대외의 유출 및 제3자에게 제공할 수 없다. 단,乙方은 본 기술의 실시를 위하여 임/직원, 대리인, 피고용인, 계열사관계자에게 특허기술 및 관련 Know-How를 제공할 수 있으며(제실시권을 허락하였을 경우), 이 경우乙方은 본 기술의 비밀보장을 위한 필요한 합리적인 예방조치를 취하여야 한다.
- 본 계약이 해지 또는 해제된 경우에도 비밀유지의 의무는 유효하다.

제6조(주요사항의 변경)

乙方은 본 계약 체결 이후甲方的의 주소, 대표 등 주요사항을 변경하였을 경우에는 이를 지체 없이甲方에 통보하여야 하며, 그 불이행으로 인한甲方의 착오는乙方의 책임으로 부터 면책된다.

제7조(통지)

양 당사자 간의 통지는 등기우편에 의해 상대방 주소 중 가장 최근의 주소로 하며, 어느 당사자가 그들의 주소나 연락장소를 변경했을 때에는 상대방에게 이 사실을 알

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Identification of Appropriate Light Intensity and Daytime Temperature for Cucumber (Cucumis sativus L.) Seedlings in a Plant Factory with Artificial Lighting for Use as Grafting Material	Sustainability	Hwichan Yang	15(5)	스위스	MDPI	SCIE	2023.3.2	2071-1050	100%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 추계한국생물환경조절학회	양휘찬	2021. 10. 7	e-conference	대한민국
2	2021 추계한국생물환경조절학회	정민혁	2021. 10. 7	e-conference	대한민국
3	2022 춘계한국원예학회	양휘찬	2022.5.26	대전	대한민국
4	2023 American Society for Horticultural Science	YunHyeong Bae	2023.8.1	Orlando	미국
5	2023 추계한국생물환경조절학회	현순재	2023.9.22	서울	대한민국

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허	대한민국	강원대학교 산학협력단	2022.08.24.	10-2022-0105902					100	기술 이전
2	특허	대한민국	호반영농조합법인	2023.03.28.	10-2023-0040763					100	기술 이전

지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√		√							

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	직접 실시	식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 주간온도 관리 기술	호반영농조합법인	2022.9.1.	20,000,000원 (100% 감면)	해당없음
2	직접 실시	인공광 이용형 식물공장을 이용하여 고품질의 오이 접수 및 대목을 생산하기 위한 온도 및 광도 설정방법	주식회사 GMP	2023.03.28.	10,000,000원	해당없음

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
원통형 종이포트 오이 모종 사업화	2022	8,900		8,900	매출액 * 해당과제의 매출액 기여율(%)
식물공장형 육묘시스템을 활용한 오이 모종 사업회	2022	13,820		13,820	매출액 * 해당과제의 매출액 기여율(%)
고품질 오이 접목묘 사업화	2023	50,657		50,657	매출액 * 해당과제의 매출액 기여율(%)
합계		73,377		73,377	

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 증질지(80g/m²)

(30쪽 중 9쪽)

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	정규직_취업		1	1	2
합계			1	1	2

[사회적 성과]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	학사	2021			1		√							√
2	학사	2022			1		√							√
3	학사	2023			2		√							√
4	석사	2023		1			√							√

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비
1	농촌진흥청 국립원예특작과학원	디지털 육묘 품질 안정 생산 연구_우량 규격묘 품질 유지관리 기술 연구	우량묘 생산 관리 기준을 적용한 생육 및 환경조절 기술 개발	황승재 (위탁:김대훈)	2,408,000,000

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 폐쇄형 식물공장형 과채류 모 생산 장치의 문제점 도출 및 개선점 모색	○ 자외선(UV-B) 광선 처리에 의한 과채류묘의 수포증 저감 효과 규명 ○ 고염류 단기 처리에 의한 육묘의 스트레스 내성 증진 ○ 명·암기 조절을 통한 폐쇄형 식물공장 접수·대목의 경도 증진 ○ 변온 기술을 통한 식물공장묘의 묘의 연질화 저감	100
○ 엘리포트 과채류 묘 생산 장치를 활용한 기능성 과채류 묘 생산기술 개발	○ 저면 급수 매트 시스템 적용 엘리포트 적정 관수 관리 기준 설정 ○ 고접(high-grafting)묘의 정식 후 청고병 경감 효과 규명 ○ 출하 전 고농도 CO ₂ 처리를 통한 해충 살충 효과 규명	100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 목표미달 성과 : (정량성과) SCI급 논문 작성 1건 [2차년도]
- 본 연구과제는 민간기업의 사업화에 집중한 기술사업화지원사업으로 학술적으로 깊이있는 연구를 위한 연구를 수행하기보다는, 즉각 산업현장에 적용될 수 있는 연구를 중심으로 수행되었음
- 사업화를 위해 '제품'을 '효율적'으로 만드는 조건을 탐색 하다보니 시험연구의 처리구가 세밀하게 설정되었고, 이로인해 SCI급 학술실제 게재 될 수 있을 정도의 수준의 데이터를 확보하고 분석하기에 시간이 늦어졌음
- 농업에서 다루는 다양한 식물체중 작은편에 속하는 '육묘'의 특성상 다양한 측정장비로 측정을 하여도 최소 수치에 미치지 못하는 경우가 있음. 더욱이 본 연구과제는 자동화를 위한 '접수', '대목'을 탐색하기에 일반적인 육묘보다도 훨씬 개체의 크기가 작음. 그로 인해 육안으로는 차이가 발생하여도 데이터로 차이를 표현하기에 어려움이 많았음
○ 목표미달 성과 : (정량성과) 홍보전시 1건 [3차년도]
- 기술사업화지원사업으로 본 과제를 진행하였기 때문에 3년 동안 진행하면서 홍보전시를 하기 위한 많은 양의 결과물이 나왔음
- 홍보전시를 할 경우 농업계에서는 전파 속도가 빠르기 때문에 결과를 신중하게 선택했어야 하며, 3년차에 결과를 정리하는 시간과 내부적으로 결정하는데 오랜 시간이 걸리게 되어 홍보전시를 3차년도에 바로 진행하지 못하였음

2) 자체 보완활동

- 수집된 데이터를 생육지표와 환경요인간의 상관성을 규명할 수 있는 통계처리 방법을 다양하게 적용하여 유의미한 결과를 도출하려고 분석하고 있음
- '엽록소형광측정기'를 활용하여 작물의 스트레스지수를 측정하는 방법을 적용하여 생육조사 지표를 고도화 하였음
- DIF(주야간온도편차)를 자연계에서 발생할 수 없는 -DIF를 조성하여 실험진행 중, 2023년 1월중으로 SCI급 논문에 투고 가능 할 것으로 보임
- 과제종료 직후 달성하지 못하였던 홍보전시를 하기 위해 '새농사'와 협의 중에 있음

3) 연구개발 과정의 성실성

- 본 연구과제의 미달성 성과인 SCI급 논문 성과를 달성하기 위해서 agronomy 저널에 투고하기 위하여 논문을 작성하였음. 현재 마지막 수정 진행중으로 2023년 1월에 게재가 완료될 것으로 예상됨
- 현재 작성완료한 논문 뿐만아니라 DIF를 주제로한 연구도 2023년 2월중으로 작성하여 SCI급 국외학술지에 투고할 계획임

Article

Identification of Growth Changes and the Appropriate Daytime Temperature for Cucumber Scions and Rootstocks by Growth Stage According to Daytime Temperature Changes in a Plant Factory Seedling System

Hwi-Chan Yang ¹, Young-Ho Kim ², Eun-Hye Hong ², Sang-Jin Lee ², Seong-Ho Yang ², Seon-Woo Park ³, Hye-Jeung Byun ⁴, Il-Seop Kim ^{1,2} and Dong-Cheol Jang ^{2,*}

Citation: Yang, H.-C.; Kim, Y.-H.; Hong, E.-H.; Lee, S.-J.; Yang, S.-H.; Park, S.-W.; Byun, H.-J.; Kim, I.-S.; Jang, D.-C. Identification of Growth Changes and an Appropriate Daytime Temperature of Cucumber Scions and Rootstocks by Growth Stage According to Daytime Temperature Change in Plant Factory Seedling System. *Agronomy* **2022**, *12*, x. <https://doi.org/10.3390/agr2022121200000>

Academic Editor: Received date: Accepted date: Published date:

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: To produce high-quality seedlings, an appropriate daytime temperature is important, and is considered an even more important factor in plant factory seedling systems. By examining the growth variation according to daytime temperature at a fixed nighttime temperature in a plant factory, experiments were carried out on cucumber scions and rootstocks to determine an acceptable daytime temperature. Before grafting, the growth was divided into early growth and late growth according to the seedling phase. The experiments were carried out under four distinct conditions, with daytime temperatures of 25, 26, 27, and 28 °C, after a nighttime temperature of 18 °C. For rootstocks, there was no discernible difference in the above-ground growth between the treatment groups. In scions, the overall growth slowed as the daytime temperature rose, but the hypocotyl length became excessive. Between treatment groups, there was no significant difference in the dry matter ratio of rootstocks. However, the 25/18 °C treatment had the highest leaf dry weight ratio, stem dry weight ratio and root dry weight ratio values of the three criteria of seedling quality. The optimal growing conditions for scions and rootstocks were 25/18 °C and 26/18 °C, respectively. However, if energy conservation and economic viability were fully taken into account, 25/18 °C was also determined to be the ideal daytime temperature for rootstocks.

Keywords: seedling; air temperature; grafting; seedling quality

1. Introduction
 The expansion of the horticultural industry, the aging of farm households, and the decline in the trained labor force are all contributing to a progressive rise in the number of farms using nurseries to obtain seedlings. The nursery has greatly expanded, from 27 ha in 1997 to 195 ha in 2014 [1]. The need for grafted seedlings, with benefits [2] such as enhanced production, longer harvest times, pest resistance, high salt tolerance, and moisture tolerance, is growing as the seedling industry matures. It is important to generate uniform scions and rootstocks year-round to produce grafted seedlings, and grafting is only achievable when the cutting plane and the fusing plane are the same [3]. It is challenging for nurseries to produce uniform seedlings and stocks throughout the year due to

Agronomy 2022, 12, x, <https://doi.org/10.3390/agr2022121200000>
www.mdpi.com/journal/agronomy

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 원통형 종이포트(엘리포트) 시스템은 10년전 국내 도입되어 기존 플러그트레이 육묘 생산 시스템이 비하여 높은 생산성으로 보급 확대가 기대되었음. 하지만 자동화 기계시스템 보다는 인력에 의존한 시스템이 대부분이 국내 육묘산업의 특성상 관행의 재배기술을 탈피함에 따른 어려움으로 인해 보급이 정체되고 있는 실정임
- 하지만 본 연구과제를 통해 달성된 연구개발성과로 인해 원통형 종이포트 시스템의 저면관수 실용화 타당성이 규명되었고, 2단계 연구수행을 통하여 대규모 실용화 검증 및 홍보 과정을 마친다면 국내 공정육묘산업의 큰 숙제였던 육묘용 트레이 저면관수 방법을 해결 및 급·배수 시스템 자동화를 통한 인건비를 감소 시킴으로써 해당 산업의 패러다임을 전환 수 있는 기회가 될 것으로 판단
- 최근 공정육묘 산업은 농업후계자 2세대 경영인으로 전환이 완료되어 시설의 개축 및 신축이 활발하게 고려되고 있음. 이러한 시기에 본 연구과제를 통하여 인력을 절감하고 경제성이 높은 시스템이 도입된다면 공정육묘를 생산하는 생산농가 뿐 만 아니라, 설치의 확대로 인한 전방산업의 확산과, 고품질 육묘를 저렴하게 공급받음으로 인한 후방산업의 활성화까지 기여할 것으로 생각됨
- 폐쇄형 육묘장치 생산 시스템은 최근 이상 기후로 인한 묘소질 저하가 심각해지면서 필요성이 부상하고 있는 실정임. 오이, 수박, 고추 및 토마토 접목묘 생산 시 병충해가 적은 접수 및 대목의 연중 안정적인 생산으로 접목 작업 효율성 개선하여 공정육묘 분야의 발전에 기여함
- 작물별 최적의 광량 설정 및 병해충 저감 뿐만 아니라, 접목 시기에 규격에 맞지 않는 접수 및 대목 모종 손실분 회복에 따른 접목묘 생산성 증대 및 고품질 오이, 수박, 고추 및 토마토 접목묘의 안정적인 생산 기여
- 본 연구과제의 개발 성과는 육묘를 생산하는 것 뿐 아니라 인공광 이용형 육묘생산시스템의 사업화를 통하여 압축스티로폼(EPS) 성형배드 채택으로 원가 절감, 데이터 기반으로 연중 고품질묘의 안정적인 생산이 가능한 시스템을 고온·다습한 동남아시아지역, 고온·건조한 사막 지역 상관없이 설치하여도 연중 안정된 생산이 가능한 사업화를 통하여

해외에 한국형 스마트팜 수출에 획기적인 기여

- 개발된 시스템은 접수/대목 생산 기간 10~30% 감소, 육묘장 공간 이용도 10~30% 증대를 통한 식물공장육묘시스템의 해외 플랜트 수주 및 수출을 기대 할 수 있고, 국내에서 개발된 자동접목로봇과 연계한 육묘시스템 패키지, 한국의 IT기술과 접목한 첨단육묘시스템 개발, 유리온실(반밀폐형)과 연계한 육묘플랜트 수출 사업을 고도화하여 KOICA 농업분야 ODA 대외 무상원조 사업으로 활용 가능

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 2021년 ~ 2022년까지 총 2년간의 ‘폐쇄형 육묘 장치 및 엘리포트 생산 시스템의 고도화를 통한 고품질 과채류 묘 생산 실증연구’ 연구수행을 통해 도출된 연구개발 성과는 현재 까지 1건의 특허출원과, 4건의 학술발표로 발표 되었음
- 아직 발표가 되지 않은 결과들은 2단계(2023년) 연구수행 기간 중에 2건의 국외 SCI급 논문 발표를 위해 70% 되었고, 이를 기반으로 2건의 국내 특허 출원을 계획하고 있음. 이중 최소 1건 이상의 특허를 등록하여 지적재산권을 확보할 계획임
- 1단계 연구를 통해 2021년 4명의 강원대학교 원예학과 학부생이 참여하였고 이중 1명은 2022년 대학원 석사과정 진학, 1명은 폐쇄형 식물공장 회사에 취업하였음. 석사과정에 진학한 학생은 본 연구과제의 2단계기간인 2023년 12월 석사학위 졸업을 계획하고 있고, 2명의 학부연구생도 2023년 대학원 석사과정을 진학 예정임
- 2년간의 연구를 통해 수집된 다양한 연구결과 들은 2023년 2단계 연구를 통해 실용화·사업화를 검증하여 지적재산권 확보 및 제품화할 예정으로 현재 예정되어있는 2027년 강원도 수열에너지 융복합 클러스터의 대규모 설치를 위해 파일럿 규모를 ‘호반영농조합 법인’내에 확보하여 홍보할 계획임
- 이후 시스템 설치 및 수출사업을 위하여는 폐쇄형 식물공장 전문 설치 기업인 ‘주식회사 지엠피’와 업무협약 및 기술이전을 통하여 사업화 및 매출화를 계획하고 있음

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내
국외논문	SCIE	2
	계	2
특허출원	국내	2
	계	2
특허등록	국내	1
	계	1
인력양성	학사	2
	석사	1
	박사	1
	계	4
사업화	기술이전	2
제품개발	시제품개발	2

7. 연구개발비 사용실적 (별지 제23호 서식을 활용하여 작성할 수 있습니다)

※ 1차년도

<주관연구기관 : 호반영농조합법인>

(단위 : 원, %)

항목	구분	연구개발비 현황				사용 금액 ⑥	사용 잔액 (⑤-⑥)	집행예정	이월예정 (해당 시)
		전 단 계 이 월 액 (해 당 시) ①	당 초 연구개발비 ②	변 경 연구개발비 ③	소 계 ⑤ (①+② +③+④)				
가. 직접비	현금								
	현물								
	소계								
1) 인건비	현금								
	현물		20,000,000	-20,000,000	0	0	0		
2) 학생인건비	현금								
3) 연구시설·장비비	현금								
	현물		25,000,000	+20,000,000	45,000,000	45,000,000	0		
4) 연구재료비	현금		70,000,000		70,000,000	49,476,500	20,523,500	10,000,000	
	현물								
5) 위탁연구개발비 ¹⁾	현금								
6) 국제공동연구개발비	현금								
7) 연구개발부담비	현금								
8) 연구활동비	현금		21,000,000	+4,000,000	25,000,000	6,069,500	18,930,500	5,000,000	
	현물								
9) 연구수당	현금		4,000,000	-4,000,000	0				
나. 간접비	현금								
	소계								
합계	현금								
	현물								
	합계		140,000,000	0	140,000,000	100,546,000	39,454,000	15,000,000	24,454,000

* 1) 위탁연구개발비 현황 및 사용금액은 주관연구개발기관만 기재합니다.

** 위 표를 복사하여 세부과제별로 작성합니다.

<공동연구기관 : 강원대학교 산학협력단>

(단위 : 원, %)

항목	구분	연구개발비 현황				사용 금액 ⑥	사용 잔액 (⑤-⑥)	집행예정	이월예정 (해당 시)
		전 단 계 이 월 액 (해 당 시) ①	당 초 연구 개발 비 ②	변 경 연구 개발 비 ③	발 생 이 자 중 연구 개발 비 산 입 금 ④				
가. 직접비	현금								
	현물								
	소계								
1) 인건비	현금	15,000,000	-2,200,040		12,799,960	12,799,960	0	0	
	현물								
2) 학생인건비	현금	6,500,000	+11,494,340		17,994,340	17,994,340	0		
3) 연구시설·장비비	현금								
	현물								
4) 연구재료비	현금	21,000,000	-4,994,300		16,005,700	4,675,700	11,330,000	0	11,330,000
	현물								
5) 위탁연구개발비 ¹⁾	현금								
6) 국제공동연구개발비	현금								
7) 연구개발부담비	현금								
8) 연구활동비	현금	30,000,000	-4,300,000		25,700,000	25,547,770	152,230	0	152,230
	현물								
9) 연구수당	현금	6,000,000			6,000,000	6,000,000	0		0
나. 간접비	현금	21,500,000			21,500,000	21,500,000	0		
	소계	21,500,000			21,500,000	21,500,000	0		
합계	현금	100,000,000			100,000,000	88,517,770	11,482,230	0	11,482,230
	현물								
	합계	100,000,000			100,000,000	88,517,770	11,482,230	0	11,482,230

* 1) 위탁연구개발비 현황 및 사용금액은 주관연구개발기관만 기재합니다.

** 위 표를 복사하여 세부과제별로 작성합니다.

※ 2차년도

<주관연구기관 : 호반영농조합법인>

(단위 : 원, %)

항목	구분	연구개발비 현황				사용 금액 ⑥	사용 잔액 (⑤-⑥)	집행예정	이 월 예 정 (해 당 시)
		전단계 이월액 (해당 시) ①	당초 연구개발비 ②	변경 연구개발비 ③	소계 ⑤ (①+② +③+④)				
가. 직접비	현금								
	현물								
	소계								
1) 인건비	현금								
	현물								
2) 학생인건비	현금								
3) 연구시설·장비비	현금								
	현물		55,000,000		55,000,000	55,000,000		0	
4) 연구재료비	현금	23,582,269	110,000,000	+10,000,000	143,582,269	108,447,641	35,134,628	35,134,628	
	현물								
5) 위탁연구개발비 ¹⁾	현금								
6) 국제공동연구개발비	현금								
7) 연구개발부담비	현금								
8) 연구활동비	현금	15,142,444	20,000,000	-10,000,000	25,142,444	9,930,289	15,212,155	15,212,155	
	현물								
9) 연구수당	현금								
나. 간접비	현금								
	소계								
합계	현금	38,724,713	130,000,000		168,724,713	118,377,930	50,346,783	50,346,783	
	현물		55,000,000		55,000,000	55,000,000		0	
	합계	38,724,713	180,000,000		223,724,713	173,377,930	50,346,783	50,346,783	

* 1) 위탁연구개발비 현황 및 사용금액은 주관연구개발기관만 기재합니다.

** 위 표를 복사하여 세부과제별로 작성합니다.

<공동연구기관 : 강원대학교 산학협력단>

(단위 : 원, %)

항목	구분	연구개발비 현황				사용 금액 ⑥	사용 잔액 (⑤-⑥)	집행예정	이 월 예 정 (해 당 시)
		전단계 이월액 (해당 시) ①	당초 연구개발비 ②	변경 연구개발비 ③	소계 ⑤ (①+② +③+④)				
가. 직접비	현금								
	현물								
	소계								
1) 인건비	현금		30,000,000		30,000,000	23,918,590	6,081,410	6,081,410	0
	현물								
2) 학생인건비	현금		25,000,000	+4,500,000	29,500,000	29,500,000	0	0	
3) 연구시설·장비비	현금								
	현물								
4) 연구재료비	현금	11,330,000	5,000,000	+1,200,000	17,530,000	12,185,800	5,344,200	5,344,200	0
	현물								
5) 위탁연구개발비 ¹⁾	현금								
6) 국제공동연구개발비	현금								
7) 연구개발부담비	현금								
8) 연구활동비	현금	152,230	35,000,000	-5,700,000	29,452,230	26,409,310	3,042,920	3,042,920	0
	현물								
9) 연구수당	현금		7,000,000		7,000,000	0	7,000,000	7,000,000	0
나. 간접비	현금		28,000,000		28,000,000	28,000,000	0	0	0
	소계								
합계	현금	11,482,230	130,000,000	-	141,482,230	120,013,700	21,468,530	21,468,530	
	현물								
	합계	11,482,230	130,000,000	-	141,482,230	120,013,700	21,468,530	21,468,530	

* 1) 위탁연구개발비 현황 및 사용금액은 주관연구개발기관만 기재합니다.

** 위 표를 복사하여 세부과제별로 작성합니다.

※ 3차년도

<주관연구기관 : 호반영농조합법인>

(단위 : 원, %)

항목	구분	연구개발비 현황				사용 금액 ⑥	사용 잔액 (⑤-⑥)	집행예정	이 월 예 정 (해 당 시)
		전단계 이월액 (해당 시) ①	당초 연구개발비 ②	변경 연구개발비 ③	소계 ⑤ (①+② +③+④)				
가. 직접비	현금								
	현물								
	소계								
1) 인건비	현금								
	현물								
2) 학생인건비	현금								
3) 연구시설·장비비	현금								
	현물		58,500,000		58,500,000	58,500,000	0	0	
4) 연구재료비	현금		111,000,000	+97,506,500	208,506,500	208,506,500	0	0	
	현물								
5) 위탁연구개발비 ¹⁾	현금								
6) 국제공동연구개발비	현금								
7) 연구개발부담비	현금								
8) 연구활동비	현금		155,500,000	-100,256,500	55,243,500	55,243,500	0	0	
	현물								
9) 연구수당	현금								
나. 간접비	현금		0	+2,750,000	2,750,000	2,750,000	0	0	
	소계		0	+2,750,000	2,750,000	2,750,000	0	0	
합계	현금		266,500,000	-	266,500,000	266,500,000	0	0	
	현물		58,500,000	-	58,500,000	58,500,000	0	0	
	합계		325,000,000	-	325,000,000	325,000,000	0	0	

* 1) 위탁연구개발비 현황 및 사용금액은 주관연구개발기관만 기재합니다.

** 위 표를 복사하여 세부과제별로 작성합니다.

8. 중요 연구변경 사항

구분 ¹⁾	변경 전	변경 후	변경사유 및 조치사항	변경근거 ²⁾
연구개발비	(현물) 내부인건비 20,000 (현금) 연구수당 4,000	(현물) 내부인건비 5,000 (현금) 연구수당 0	참여연구원 퇴사로 인한 내부인건비 및 연구수당 감액	호반영농 2021-60(2021.10)
연구개발비	(현물) 내부인건비 5,000 (현물) 연구시설장비비 40,000	(현물) 내부인건비 0 (현물) 연구시설장비비 45,000	내부인건비 지급 관련 규정의 추후 안내에 따라 지급이 불가하게 되어 부득히 연구시설장비비로 비목변경	호반영농 2021-70(2021.12)
연구개발비	(현금) 연구활동비 155,500 (현금) 간접비 0	(현금) 연구활동비 152,750 (현금) 간접비 2,750	지식재산권 취득을 위한 간접비 변경	호반영농 2023-54(2023.07)

* 1) 연구개발목표, 연구개발비, 연구개발기관, 연구책임자 등에서 해당 사항을 기재합니다.

* 2) 문서번호 또는 승인일자 중에서 해당 사항을 기재합니다.

7) 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과

(1) 연구개발성과의 활용방안

- (실용화) 폐쇄형 식물공장 묘 생산시스템 실용화
- (실용화) 엘리포트의 고효율 관수 시스템 실용화
- (사업화) 기능성 특수 무병묘 관련 기술 사업화

(2) 연구개발성과의 기대효과

- 연중 안정적인 접수·대목 생산을 통한 공정육묘장 경영성 개선
 - 특수 처리를 활용한 고품질 모종 생산으로 육묘산업의 신시장 개척 가능
 - 신규 도입 시스템의 환경 및 관수 조절을 통한 생육조절 기술 경쟁력 제고
 - 저투입·고효율 정밀관수기술 적용을 통한 묘소질 향상 및 경제성 증대
 - 친환경 기술을 통한 기능성 무병묘의 제품화로 육묘산업의 저변 확대
-

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.