

(옆면)

(앞면)

RS-2024
-821037
-3

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

발간등록번호

11-1543000-004698-01

에너지
절감형
태양광
식물공장

기반
새싹작물
생산
기술

2024

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

에너지 절감형 태양광 식물공장 기반 새싹작물 생산 기술

2024.07.09.

주관연구기관 / 주식회사 드림팜
공동연구기관 / 경상국립대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “에너지 절감형 태양광 식물공장 기반 새싹작물 생산 기술”(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 09.

주관연구기관명 : 주식회사 드림팜 (대표자) 박 향 진 (인)
공동연구기관명 : 경상국립대학교 산학협력단 (대표자) 최 병 근 (인)

주관연구책임자 : 박 향 진 (인)
공동연구책임자 : 손 기 호 (인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	기술사업화지원사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	-		
내역사업명 (해당 시 작성)	민간 R&D 사업화지원			연구개발과제번호	821037-3		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0104 식량작물 재배/생산	40 %	LB0107 공예/사료/약용작물	40 %	LB1704 식품가공학	20%
	농림식품 과학기술분류	AA0103 식량작물 재배/생산	40 %	AA0303 특4용작물 재배/생산	40 %	PA0103 식품가공/공정	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명	에너지 절감형 태양광 식물공장 기반 새싹작물 생산 개발						
전체 연구개발기간	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)						
총 연구개발비	총 925,000천원 (정부지원연구개발비: 803,000천원, 기관부담연구개발비 : 122,000천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		1. 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발 2. 새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발				
	전체 내용		1. 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발 ○ 에너지 모델 설계 ○ 스마트팜 솔라 큐브 제작 ○ 스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축 ○ 새싹작물 이용 제품화 및 사업화 추진 2. 새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발 ○ 새싹작물별 재배기술 최적화 ○ 미생물 활용 상토 개발 ○ 성분분석 및 가공기술 표준화 ○ 스마트팜 큐브 에너지 분석				
	1단계	목표	1. 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발 ○ 최적 태양광 연계 에너지 모델/시스템 설계 ○ 그리드 연계형과 ESS 연계형 및 태양광 직접 이용 모델을 적용 ○ 그리드 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작 ○ ESS 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작 ○ 태양광 직접 이용 채광형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작				

			<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트팜 솔라 큐브 내 환경데이터 수집 및 분석 ○ 스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축 ○ 스마트팜 솔라 큐브 사업화 추진 ○ 새싹작물 이용 제품화 및 사업화 추진 <p>2. 새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물의 생산을 위한 환경 및 재배기술 최적화 ○ 새싹작물 전용 미생물 활용 상토 개발 ○ 새싹식물의 기능성 소재를 생산하기 위한 지표(유효) 성분 분석법 확립 ○ 지표(유효)성분 및 가공기술 표준화 ○ 스마트팜 솔라 큐브에서 새싹작물 실증 ○ 스마트팜 솔라 큐브의 에너지 정밀 분석 실시 ○ 새싹작물 이용 제조공정 표준화 및 성분 분석 실시
	2단계	내용	<p>1. 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 최적 태양광 연계 시스템 설계 ○ 그리드 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시작품 제작 ○ 스마트팜 솔라 큐브(그리드형) 시 운전 ○ ESS 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시작품 제작 ○ 태양광 직접 이용 채광형 스마트팜 솔라 큐브 시작품 제작 ○ 스마트팜 솔라 큐브(ESS형) 시 운전 ○ 스마트팜 솔라 큐브 내 다양한 환경인자 빅데이터화 ○ 그리드형(에너지 절감형), ESS형(에너지 자립형) 및 채광형(태양광 직접 이용) 모델 제시 ○ 경제성 분석 : 큐브 1동 생산비, 작물별 경제성 분석 실시 ○ 큐브 양산을 위한 기반 조성 <p>2. 새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물의 생산을 위한 적정 재배방식 선정 ○ 새싹작물의 적정 광원 선정 ○ 상토 적용을 위한 미생물 제제 후보군 선정 ○ 미생물 제제의 생화학적 특성 규명 ○ 미생물 제제의 생육촉진 특성 규명 ○ 새싹작물별 설정한 지표(유효)성분 분석법 확립과 활용 ○ 미생물 제제의 병원성미생물 제어 특성 규명 ○ 미생물 제제 적용에 따른 근권(rhizosphere) 미생물군 분석 ○ 식물부위별/생육(수확)시기별 지표(유효)성분 함량 조사 ○ 새싹작물 이용 가공기술 탐색 ○ 고기능성 원료 새싹작물의 대량생산시스템 구축 ○ '스마트팜 솔라 큐브'의 실증 ○ 솔라 큐브 에너지 데이터 분석 : 그리드형 및 ESS형 대상 ○ 새싹작물 이용 일반 식품(절임식품/혹은 액상차) 제조공정 표준화 ○ 유효성분 강화 가공 소재화
		목표	<p>1. 스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축 및 사업화 추진</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 그리드 연계형, ESS 연계형 및 태양광 직접 이용 모델 제시 ○ 새싹작물의 최적 재배조건 및 상토 제시

			<ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물별 생산비 등의 경제성 분석 ○ 큐브 양산을 위한 기반 조성 ○ 새싹작물 기반 일반 식품 제품화 ○ 제품의 홍보, 판매 및 마케팅 등의 수익 창출 <p>1. 새싹작물의 실증, 제조공정의 표준화 및 성분 분석, 에너지 정밀 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물의 고 기능성 원료로의 대량생산시스템 구축 ○ 스마트팜 솔라 큐브 실증 ○ 그리드형 및 ESS 형 솔라 큐브 에너지 데이터 분석 ○ 새싹작물 기반 일반 식품의 제조공정 표준화 및 성분분석 ○ 새싹작물 기반 성분 강화 소재의 제조공정 표준화 및 성분분석
	내용		<p>1. 스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 그리드형(에너지 절감형, 농업시설 등) 및 ESS형(에너지 자립형, 산지 등)의 모델 제시 ○ 농민 친화형 상토 모델 제시 ○ 스마트팜 솔라 큐브 활용법의 매뉴얼화 ○ 큐브 1동의 생산비 및 재배된 작물의 적정 판매가격 제시 및 payback period 등의 경제성 지표 제시 ○ 기존 스마트팜 큐브를 활용한 스마트팜 솔라 큐브 양산화 기반 조성 ○ 새싹작물을 활용한 일반 식품 제품화 ○ 기존 새싹삼 장아찌와 세트 제품으로 사업화 추진 ○ 성분 강화 소재 및 다양한 건강기능식품 원료 가공 ○ 연계기업에 B2B 방식의 원재 납품 및 마케팅을 통한 수익 모델 창출 <p>1. 새싹작물의 실증, 가공기술의 표준화 및 에너지 정밀 분석</p>

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 태양광 연계 시스템 설계 및 예비 TEST 수행 - 태양광 직접 이용 채광형 스마트팜 예비 제작(드림팜 내) - 스마트팜 솔라 큐브 내 작물 재배 가능성 확인 - 새싹작물 활용 제품 개발 ○ 새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 새싹작물의 생산을 작물 선정: 새싹도라지, 새싹콩, 새싹인삼 - 새싹작물의 적정 환경 선정: 광도, 광질, 온도, 재배 방법 등 - 상토개발을 위한 미생물 제제의 생화학적 특성 규명 - 미생물 제제의 생육촉진 특성 규명 - 작물별 설정한 지표(유효)성분 분석법 확립과 활용 - 식물부위별/생육(수확)시기별 지표(유효)성분 함량 조사 - 선정 작물의 고기능성 원료 새싹작물의 대량생산시스템 구축 - 스마트팜 솔라 큐브 에너지 효율성 확인
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>1. 기술적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물의 맞춤형 일관 체계화를 통한 농산물 수출모델 제시 ○ 새싹작물의 유효성분(기능성 물질)이 향상된 식물공장 기술개발 ○ 새싹작물의 적합 품종 선발 및 재배기술 확립 ○ 연구개발을 통한 제품 다양화 ○ 연구 투자비의 효율성 확대 ○ 맞춤형 식물생산 식물공장(스마트팜 솔라 큐브) 기술을 통한 생산 최적 플랫폼 실현 ○ 맞춤형 식물생산 식물공장 '스마트팜 솔라 큐브' 기술 확보 및 농가/기업에 보급

	<p>2. 경제·산업적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 새싹작물의 생산량 및 상품성 향상으로 수출시장 확대 ○ 새싹작물 생산 전용 기술개발을 통한 전문 생산 단지 조성 가능 ○ 지역 대학과의 공동연구를 통한 R&D 전문기업의 대외적 이미지 제고 작용 ○ 식물공장 적용 가능한 에너지 절감 기술 보급으로 농가 고소득 보장 및 4차산업 육성 ○ 식물공장을 통한 중소(영세)농가와 영농조합법인 및 중소기업 모두 상생 ○ 생산-수매-가공-유통 통합적 연계 구축을 통한 농민과 기업이 상생할 수 있는 모델 제시 <p>3. 사회적·정책적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오소재 활용 분야 다양화로 시장수요 확대에 의한 고용창출 증대 ○ 태양광 식물공장 개발은 국내 첨단 농업 기술의 발전 및 농업의 그린 뉴딜 실현 ○ 농·생명 산업의 제4차 산업혁명 육성 효과 											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
	4	6						생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	식물공장		에너지 절감		태양광		환경제어		새싹작물			
영문핵심어 (5개 이내)	plant factory		energy-saving		solar		environmental control		sprout crop			

< 목 차 >

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

별첨 자료 (참고 문헌 등)

최종보고서										보안등급	
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]	
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			기술사업화지원사업	
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			사업명		내역사업명 (해당 시 작성)			민간R&D사업화지원	
공고번호		제농축 2021-41호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)						
					연구개발과제번호		821037-3				
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0104	40	LB0107	40	LB1704	20				
	농림식품과학기술분류	AA0103	40	AA0303	40	PA0103	20				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		에너지 절감형 태양광 식물공장 기반 새싹작물 생산 기술							
		영문		Production technology of sprout crop based on energy-saving solar-plant factory							
주관연구개발기관		기관명		주식회사 드림팜		사업자등록번호		613-81-66132			
		주소		(우) 52847 경남 진주시 정촌면 뿌리산대로 87		법인등록번호		195411-0039145			
연구책임자		성명		박향진		직위		대표			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)							
		1단계		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)							
		2단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원		기관부담		그 외 기관 등의 지원금		합계			연구개발비 외
		연구개발비		연구개발비		지방자치단체 기타()					지원금
		현금		현금		현금		현금		합계	
총계		803,00		12,200		109,800		0		925,000	
1단계		1년차		219,000		3,700		33,300		256,000	
		2년차		292,000		4,400		39,600		336,000	
2단계		3년차		292,000		4,100		36,900		333,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
		경상국립대학교 산학협력단		손기호		교수				비고	
										역할	
										기관유형	
										공동 대학	
연구개발담당자 실무담당자		성명		김수철		직위		선임 연구원			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

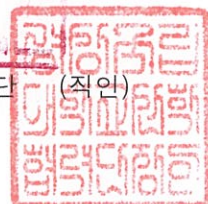
2024년 05월 31일

연구책임자: 박향진 (인)

주관연구개발기관의 장: 주식회사 드림팜 (직인)

공동연구개발기관의 장: 경상국립대학교 산학협력단 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



1. 연구개발과제의 개요

(1) 개발 대상 기술·제품의 목표 선정배경 및 기술 분야

가. 연구개발 배경 :

○ 본 기술 배경 선행 국가 R&D 사업 : 본 기술은 농업의 4차 산업 대응 기술인 ‘스마트팜 혹은 식물공장’ 구축을 통한 기능성 작물 생산을 위한 연구로서 2018년부터 중소벤처기업부 산학연협력 기술개발사업인 ‘연구마을사업 : 유효성분이 극대화된 새싹삼 이용 항산화 이너뷰티 제품 개발(2018.11.01.-2021.01.31.)’로 파생된 식물공장인 ‘새싹인삼 생산용 스마트팜 큐브(특허등록 : 10-213481, 2020.07.21.)’를 개량하여 태양광 시스템을 도입하여 ‘에너지 절감형 스마트팜 솔라 큐브’를 개발하고 이로부터 향후 농가들의 고 소득 작물 보급을 위한 새싹인삼을 비롯한 새싹작물 생산 기술과 이들의 가공기술을 확립하여 농업의 스마트 혁신을 위한 산업화 기술연구

○ 선정의 배경 :

▪ 관련 근거 : 8대 핵심 선도사업(스마트팜) 및 제3차 생명공학육성 기본계획(바이오 기반 융합연구/융합형 신산업 육성), 고령친화산업 진흥법(법률 제9932호), 항노화바이오산업(경남 주력산업)

▪ 식물 유래 천연물 기반 생명산업 육성 목표 : 천연물 소재의 생산/유통/수익 창출이 가능한 재배 원천기술 개발(원료 품질 규격화, 2025년 3종 이상) → 천연물 소재 제품의 원료 함량 및 효능에 대한 신뢰성을 구축(기능 성분 균일성 95% 이상 확보) → 천연물 기반 제품들의 국내와 글로벌시장 경쟁력 강화(제품 점유율 50% 이상 증대)

나. 핵심기술 : 본 기술은 선행 핵심기술(스마트팜 큐브) 토대로 에너지 절감형 식물공장을 개발한 후 고 소득 기능성 작물인 새싹작물 최적 생산 기술(새싹작물 생산용 전용 상토 포함)과 이로부터 생산된 새싹작물의 부가가치를 향상을 위한 가공기술 개발

다. 산업화 추진 방향 : 본 연구에서 중점 산업화 추진 방향은 (1) ‘태양광 시스템이 도입된 ICT 기반 에너지 절감형 식물공장[가칭 상품명 : 스마트팜 솔라 큐브] 모델’을 개발하여 농가 혹은 귀농인들에게 보급. (2) ‘농가의 고 소득보장을 위한 기능성 새싹작물(새싹인삼, 새싹도라지, 새싹황기, 새싹당귀 등) 최적 생산 기술(새싹작물 생산용 전용 상토 포함)을 확립한 후 이들의 가공기술을 개발을 통한 안정적인 수급-판매 시스템’을 구축할 예정

(2) 개발 대상 기술·제품의 용도 및 적용 분야

가. 기술·제품의 용도 : 본 기술은 선행기술로 확보된 ‘새싹인삼 생산용 스마트팜 큐브(특허등록 : 10-213481)’를 개량한 ‘새싹작물 생산용 에너지 절감형 스마트팜 솔라 큐브’ 제작하여 새싹작물의 최적 생산 기술(새싹작물 생산용 전용 상토 포함)을 확립한 후 중소·영세농가에 보급하고 스마트팜 솔라 큐브에서 생산된 새싹작물의 부가가치 향상을 위한 가공기술 확립하여 가공 제품화의 산업화 기술을 확립

나. 적용 분야 :

○ 에너지 절감형 식물공장 : 스마트팜 솔라 큐브 - 영농형 태양광과 식물공장 결합

▪ 기 개발된 스마트팜 큐브 전력 소모량 : 약 3 kw/1대 기준

▪ 개발 예정인 스마트팜 솔라 큐브 에너지 절감 목표 : 30% 이상(약 2 kw/1대 기준)

- 사업화 목표 시점 : 2022년 스마트팜 솔라 큐브 출시

○ 가공제품 : 가공식품

- 판매 중 가공원료 및 가공식품 :

- 가공식품 : 새싹인삼장아찌, 새싹인삼 액상차 등
- 가공원료 소재 공급 : 한미헬스케어, 서울우유 등에 새싹인삼 건조 분말 납품

- 개발 예정인 일반 가공식품 :

- 가공식품 : 기 새싹인삼 제품과 세트 제품으로 구성
- 가공원료 소재 공급 : 한미헬스케어, 서울우유 이외에 콜마 등 다양한 소재 공급

개척

- 사업화 목표 시점 : 2023년 새싹인삼장아찌(황제인삼장)와 세트 제품 출시



그림 1. 본 연구의 최종 제품(스마트팜 솔라 큐브와 가공식품) 개발 전략

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1차년도

1) 태양광 연계 식물공장 제작

○ 자연 태양광 연계 식물공장인 스마트팜 솔라 큐브: 자연광을 이용을 이용한 그린하우스형 식물공장인 스마트팜 솔라 큐브 제작을 진행하였다. 지붕에 경사를 주어 보다 다양한 각도에서 빛이 들어오도록하였으며, 벽면과 천장의 빛 투과율을 약 70%로 하여 설치하였다. 내부에는 이동이 가능하도록 선반을 만들어 총 3단으로 재배가 가능하도록 설계되었으

며, 자연 채광을 활용하다보니 태양의 이동에 따라 최대한 채광을 많이 받을수 있도록 설계하기 위해 이동식을 선택하였다.(Figure 1).



Figure 1. 자연 채광 활용 가능 스마트팜 큐브.

○ 태양광 패널 연계 식물공장인 스마트팜 솔라 큐브: 기존의 모델인 샌드위치 판넬로 이루어진 음지형 스마트팜 큐브를 제작하여 이게 태양광 패널을 설치하고자 한다. 사방이 샌드위치 판넬로 구성되어있어 외부의 빛이 투과가 되지않아 LED 만으로 작물 재배가 가능하고, 단열소재가 사용됨으로 내부 온도 컨트롤에 용의해 에너지 사용이 작은 모델이다. 태양광 발전 만으로 전기가 공급되지 않은 곳에서도 재배가 가능할 것으로 예상되어 이러한 모델을 구성하였다. 새싹작물을 재배를 위해 작물의 성장 높이가 크지않다라고 판단되어 기존에 LED만을 사용하여 새싹삼을 키우던 내부 공간을 그대로 설비하여 양옆에 4단으로 재배가 가능한 선반을 만들어 제작하였다.(Figure 2).



Figure 2. 태양광 패널 연계 스마트팜 큐브.

2) 새싹작물 재배기술 최적화

○ 새싹작물의 Screening

■ 새싹 작물-약용 식물 중점 Screening: 식물공장에 새로운 작물을 도입할 시에는 여러 선정 기준을 고려하여야 한다. 작물 선정 기준에는 ① (태양광)식물공장의 경제성을 위한 작물의 선정 ② 인지도 있는 판매되는 작물의 선정 ③ 종자 수급이 쉬운 작물의 선정 등이 있으며, 이를 위해 고부가가치를 지닌 약용 작물 중에서도 대중화 되어 있고, 농촌진흥청에서 발행한 농업기술길잡이 007 약용작물(발간등록번호: 11-1390000-004672-01)에 기재 되어 있는 작물 중 시중에 종자가 상용화 되어 있어 접근성이 좋으며, 경제성 부분에서 유리한 식물 종을 중심으로 재배 스크리닝을 수행하였다.

약용 작물의 이용 및 효능			
약용 작물	주 이용 형태	가격(원/600g)	주 효능
감초	뿌리 건조 차	-	피부 개선, 소염 작용, 항암 효과
결명자	결명자 차(씨앗)	5,600	소염 작용, 혈압강하 작용
당귀	참당귀 분말, 추출물 정	8,900	발암 억제 작용, 치매 예방 및 치료 효과
더덕	뿌리 생식	-	최유, 해독 효과
식방풍	뿌리 건조 차	7,020	발한, 해열, 진통, 이뇨 효과
영경귀	전초 건조 차	-	어혈 해독 작용
우슬	뿌리 건조 차, 환, 즙	12,960	진통, 자궁수축 작용
황기	뿌리 건조 차	15,540	강장, 이뇨, 항균 작용

[출처: 2022 농림축산식품부(작물 가격), 농사로(주 효능)]

■ **새싹 작물별 종자 발아 실험:** 선정된 예비 후보 작물들 대부분 종자 발아에 대한 연구가 미흡하거나 발아 조건이 까다롭기 때문에, 적정 작물을 선정에 앞서 종자발아에 대한 조건을 파악하기 위한 실험을 실시하였다. 종자 발아 시 조건은 광 유/무, 온도, 발아소요 일수, 배지 등을 평가하여 작물별 최적 조건을 구명하였다.

○ 새싹작물의 생산을 위한 적정 재배방식 선정

■ **새싹 도라지의 온도별 토양과 수경 재배:** 실험재료는 도라지 1년근을 사용하였으며, 토경재배 및 수경재배 재배형태 별 비교 및 온도 조건별 생육 평가를 실시하였다. 온도 조건은 각 20, 25 및 30℃으로 설정하였으며 온도별 토경 및 수경재배 형태로 습도 70%, 광도 $100 \pm 1.01 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (광주기 12h)의 조건으로 정식 후 17일간 재배 후 조사하였다.

■ **Saponin 분석 :** Saponin 분석은 high performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany)를 사용하여 분석하였으며, 분석 컬럼은 TSKgel ODS-100Z을 사용하였다.

3) 상토 적용을 위한 미생물 제제 후보군 선정

○ 노지재배와 식물공장(스마트-대사체 챔베) 재배 콩 식물체의 비교·분석

■ **노지재배 콩 식물체 확보:** 밭(노지)에 콩을 파종한 후 60일간 생육시키고 밭에 수확한 후 대사체 챔버로 이동시킨 다음 온도 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 습도 $80 \pm 5\%$ 조건에서 2시간 안정화시키고 5,000 ppm의 에틸렌 가스를 24시간 처리한 후 콩 식물체를 제1세부 과제인 경상대학교 천연물화학실에 공급받았다.

■ **식물공장 재배 콩 식물체 확보:** 콩 종자 무게에 약 2배 정도의 물을 넣고 15℃에서 25℃ 내에서 담아서 콩을 불린 후 20℃에서 30℃ 내의 콩 발아기 또는 콩나물 제조기에 넣고 암실에서 16시간에서 24시간 내 발아를 시킨 발아된 콩(발아콩)을 준비하였다. 식물용 포트(pot)에 일반 원예 상토를 채운 후 발아콩을 2알 내지 3알 파종하였다. 식물공장(스마트팜 큐브) 내의 혼합 광원(백색:청색:적색 = 2:1:1)을 사용하였고 이때 광량은 약 PPFD (Photosynthetic Photon Flux Density) $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 있었다. 식물공장 내의 온도는 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 및 습도는 $65 \pm 5\%$ 로 설정하여 파종한 콩의 포트를 챔버에 넣고 약 30일간 생육시켰다. 대사체 챔버에서의 에틸렌 처리는 완전히 차단된 밀폐된 공간에서 진행하였다. 대사체 챔버의 환기 팬 등을 완전히 막은 후 밀폐된 공간으로 만들고 온도 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 습도

80±5% 조건에서 2시간 안정화시키고 8,000 ppm의 에틸렌 가스를 12시간 2회 처리한 후 콩 식물체를 수확하였다. 수확한 콩 식물체는 흐르는 물에 3회 세척하고 잎과 줄기, 뿌리로 구분하여 50±2°C에서 48시간 건조하여 냉장실에 보관하였다.

■ **추출물 제조:** 건조된 콩잎과 줄기, 뿌리 1 g에 50% 에탄올 40 mL을 넣고 25°C에서 24시간 추출하였다. 상기 추출한 에탄올 추출물을 0.2 μm의 공극을 가진 막 여과 필터를 이용하여 여과한 후 콩잎과 콩 줄기, 콩 뿌리의 이소플라본을 분석하였다.

■ **Isoflavone 분석:** HPLC(Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany)를 이용하였으며, 칼럼은 Lichrophore 100 RP C18 column (4.6×250 mm, 5 μm, Merck, Germany)을 사용하였다. 용매 유속은 1 mL/min로 조절하였고 주입된 추출 용액의 양은 20 μL 있었으며, 이동상은 0.2% 아세트산 수용액(용매 A)를 0.2% 아세트산을 첨가한 아세토니트릴(용매 B) 혼합용액을 사용하여 표 5와 같은 구배 용출(gradient elution)을 적용하여 이소플라본 유도체 분리하였다. 이때 DAD (diode array detector) 검출기 254 nm의 검출 파장에서 분석하였다. 정량분석에 이용한 표준용액은 시그마사(Sigma, USA)에서 구입한 순도 98%의 daidzin과 genistin, daidzein 및 genistein 등을 메탄올에 용해시켜 1-100 μg/mL 범위로 제조하였다. 제조한 표준용액으로 HPLC 분석을 실시하였으며, 피크 면적(peak area)으로부터 검량선을 작성하였다.

■ **Isoflavone 유도체 확인:** 이소플라본 유도체에 대해 UPLC-ESI-TOF/MS (Acquity UPLC system coupled with SYNAPT G2-Si HDMS, Waters) 분석을 수행하여 확인하였다. 즉, UPLC BEH C18 칼럼(2.1 mm ×100 mm, 1.7 μm, waters)을 이용하고, 용리 조건은 0.1% 포름산 수용액(용매 A)과 0.1% 포름산 아세토니트릴(용매 B) 혼합용액으로 표 3과 같은 구배 용출(gradient elution)을 적용하여 이소플라본 유도체를 분리하였다. 이 때 주입된 추출용액의 양은 1 μL 있었으며, UPLC-ESI-TOF 질량 분석하였다.

○ 콩 토양과 뿌리로부터 근권미생물 확보 및 세포벽 분해효소 활성 확인

■ **배지 및 시약:** 미생물 분리를 위한 배지는 근권미생물 분리용 배지 및 Luria Bertani (LB, Difco, Co., Detroit, MI, USA)를 사용하였다. 기기 분석 등에 사용한 유기용매 (methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고 이 외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

■ **기기:** Isoflavone 분석은 high performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany)를 사용하여 분석하였다.

■ **콩 뿌리와 토양의 근권미생물(RB, rhizobacteria) 분리:** 콩 뿌리는 멸균증류수 10배 가하여 막자사발에 깔고 콩 재배토양에 10배 멸균증류수를 가하여 강하게 흔들여 준비하였다. 준비된 시료를 적당히 희석하고 근권미생물 분리배지에 도말하고 30°C에서 48시간 배양하여 RB를 분리하였다.

■ **근권미생물 확인:** 분리된 RB를 1차적으로 형태학적으로 분리한 후 16S rRNA 염기서열을 분석하여 최종 phytobiome을 확인하였다. 즉, RB의 16S rDNA 염기서열 결정은 Cho *et al.*(2007)에 기술된 방법대로 실시하였다. 선발된 균주를 TS 배지에서 24시간동안 액체배양을 한 후 Intron Genomic DNA Purification kit (Intron Botechnol. Co., Suwon, Korea)을 사용하여 genomic DNA를 분리하고 이를 주형으로 하여 PCR를 통하여 16S rDNA 염기

서열을 결정하였다. PCR 반응은 94°C에서 denaturation 1 분, 55°C에서 annealing 30 초, 72°C에서 extension 1 분 동안 30 cycle을 수행하였다. Primer 제작은 bacteria의 16S rDNA conserved region에서 약 1,500 bp 정도가 되게 제작을 하였다. Forward oligonucleotide primer는 5'-CGGAGAGTTTGATCCTGG-3', reverse oligonucleotide primer는 5'-TACGGCTACCTTGTACGAC-3'을 사용하였다(13). PCR 반응이 끝난 후 전기 영동하여 16S rRNA 단편을 확인하고 Intron Gel Extraction Kit (Intron Botechnol. Co.)를 각 kit에 포함된 방법에 따라 gel에서 DNA를 분리하였다. 정제한 16S rRNA 단편을 주형으로 사용하여 염기서열 결정을 행하였다. 염기서열 결정은 PRISM Ready Reaction Dye terminator/primer cycle sequencing kit(Perkin-Elmer Corp., Norwalk, CT, USA)를 사용한 dideoxychain termination method로 하였다. Sample은 automated DNA sequencer (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)로 분석하였다. 결정된 염기서열 16S rRNA는 GeneBank database로부터 얻은 또 다른 세균의 16S rRNA와 비교 분석하였다.

■ **세포벽 분해효소 활성:** 내생세균의 세포벽 가수분해효소 활성을 검출하기 위해 한천 확산법을 사용하였다. Celluase 활성은 CMC 배지[0.5%(w/v) carboxymethylcellulose, 1% trypton blue 및 1.5% 한천(w/v)를 함유하는 TS 배지], xylanase 활성은 OSX 배지[0.5%(w/v) oat spelled xylan 및 1.5% 한천(w/v)를 함유하는 TS 배지], mannanase 활성은 LBG 배지[0.5%(w/v) locust bean gum 및 1.5% 한천(w/v)을 함유하는 TS 배지], xylanase 활성은 OSX 배지[0.5%(w/v) oat spelled xylan 및 1.5% 한천(w/v)], β -glucosidase 활성은 Esculin-ferric citrate 배지[0.1%(w/v) esculin, 0.05% ferric citrate 및 1.5% 한천(w/v)를 함유하는 TS 배지]에서 확인하였다. Cellulase 활성은 파란색 배경으로 하얀색 halo zone, xylanase와 mannanase 활성은 빨간색 배경으로 둘러싸인 노란색 halo zone 및 β -glucosidase 활성은 dark brown zone 크기를 측정하였다.

○ 근권미생물 군집 처리에 따른 isoflavone 유도체 증진 콩 식물체 생산

■ **근권미생물 처리 및 콩 식물체 확보:** 콩 종자 무게에 약 2배 정도의 물을 넣고 25°C에서 콩을 불린 후 25°C 내의 콩나물 제조기에 넣고 암실에서 16시간 동안 발아를 시킨 발아된 콩(발아콩)과 녹두(발아녹두)를 준비하였다. 식물용 포트(pot)에 일반 원예 상토를 채운 후 발아콩을 3알 파종하였다. 스마트-대사체 챔버 내의 광원 백색과 청색, 적색의 광 비율을 1 : 1 : 1로 설정하고 이때 광량은 $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 정도 있었다. 스마트-대사체 챔버 내의 온도는 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 및 습도는 $65 \pm 5\%$ 로 설정하여 파종한 발아콩의 포토를 챔버에 넣고 30일간 생육시켰다. RB 처리는 파종 후 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 1차 접종하였고 수확 10일 전 즉 재배 20일째 역시 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 2차 접종하였다(Figure 3).

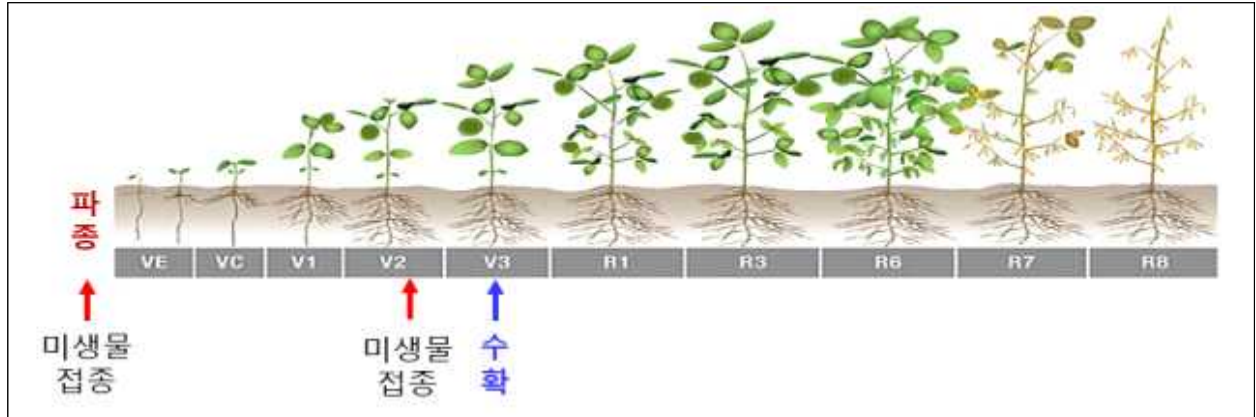


Figure 3. 콩 생육 시기, 근권미생물 처리 시기 및 수확 시기.

■ **Isoflavone 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.

■ **총 phenolics와 총 flavonoids 분석:** 총 phenolics 측정은 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL 첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30°C/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였고 총 flavonoids는 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL를 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다.

■ **항산화 활성 분석:** DPPH 라디칼 소거활성은 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 매탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였고 ABTS 라디칼 소거활성은 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였으며, FRAP 환원력은 FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl_3 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37°C/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분주 후 FRAP 시약 0.95 mL를 첨가하여 37°C에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 590 nm에서 측정하였다.

○ 에틸렌과 근권미생물 균집 처리에 따른 isoflavone 유도체 증진 콩 식물체 생산

■ **콩 식물체 확보:** 콩 식물체 재배는 상기와 동일하게 수행하였다. Phytobiome 처리는 파종 후 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 1차 접종하였고 수확 10일 전 즉 재배 20일째 역시 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 2차 접종하였다.

■ **근권미생물 처리:** Phytobiome 균집처리를 위해 SSR 유래 36종의 미생물을 종배양하여 준비하였다. 파종 후 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 1차 접종하였고 수확 10일 전 즉 재배 20일째 역시 원예상토 무게 대비 5%를 관수에 혼합하여 2차 접종하여 phytobiome을 처리하였다.

■ **Ethylene 처리:** 에틸렌 처리는 30일 생육된 콩 식물체를 완전히 차단된 밀폐된 공간에서 진행하였다. 스마트-대사체 챔버의 환기 팬 등을 완전히 막은 후 밀폐된 공간으로 만들고 온도 $35 \pm 1^\circ\text{C}$ 및 습도 $80 \pm 5\%$ 조건에서 2시간 안정화시키고, 10000 ppm의 에틸렌을

24시간 처리한 후 콩 식물체를 수확하였다. 수확한 콩과 녹두 식물체는 흐르는 물에 3회 세척하고 잎과 줄기, 뿌리로 구분하여 50±2℃에서 24시간 내지 48시간 건조하여 냉장실에 보관하였다.

■ **NGS 기반 콩 재배상토의 미생물 군집 분석:** 콩 재배상토에 존재하는 미생물 군집을 분석하기 위해 차세대 염기서열 분석을 수행하였다. Illumina사의 iSeq 플랫폼을 사용하였으며, 권장 프로토콜에 충실히 따르되 약간 수정하여 분석하였다.

■ **휘발성 유기화합물(VOC, volatile organic compounds) 분석:** 재배상토의 VOC 분석을 위한 추출 및 포집 방법은 solid phase-micro extraction(SPME)을 이용한 headspace(Autosampler, HS-7697A, Agilent technologies, Santa Clara, CA, USA) 분석 방법을 사용하였다(Jo et al., 2013). 5mL를 정확히 취해 20mL headspace vial에 넣은 후 알루미늄 캡으로 밀봉한 다음 100µm polydimethylsiloxane (PDMS) fiber에 100rpm, 100℃에서 8분 동안 흡착하였다. VOC 분석은 Jo et al.(2013)의 방법을 변형하여 분리 및 동정하였다. 즉, GC-MS(Gas Chromatograph-Mass spectrometer, GC-7890A, MSD-5975C, Agilent technologies, Santa Clara)를 이용하였으며, column은 HP-5MS (30m×0.25mm, 0.25µm film thickness)를 사용하였다. Oven의 온도 프로그램은 40℃에서 3분간 머물게 한 후 180℃까지 1분당 5℃로 승온 후 3분간 머물게 하고 다시 280℃까지 승온시켰다. 시료는 분할 주입법(10:1)을 사용하여 0.2분간 주입하였으며 운반기체로 헬륨을 사용하였으며, 유속은 1mL/분으로 설정하였다. Injector 및 quadrapole의 온도는 각각 110℃로 설정하였고 질량분석은 전자충격 이온화(69.9eV) 방식을 이용하여 scene mode(범위 50~550)로 실시하였다. 얻어진 chromatogram으로부터 각각의 peak에 대한 질량 spectrum을 확인하였고 이를 GC-MS NIST library와 비교하여 각각의 성분을 확인하였다.

■ **Isoflavone 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.

■ **총 phenolics와 총 flavonoids 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.

■ **항산화 활성 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.

○ **묘삼(인삼) 등으로부터 내생세균 확보 및 세포벽 분해효소 활성 확인**

■ **묘삼 시료:** 1년근 묘삼은 경남 사천시 소재 (주)드림팜에서 공급받아 사용하였다.

■ **배지 및 시약:** 내생세균 분리를 위한 배지는 tryptic soy broth or agar (TSB or TSA, Difco, Becton, Dickinson Co., Sparks) 및 Luria Bertani (LB, Difco, Co., Detroit, MI, USA)를 사용하였다. Ginsenoside 표준품과 분석 시약은 상기에 기술한 것과 동일한 것을 사용하였다.

■ **기기:** Ginsenoside 분석은 HPLC를 사용하여 분석하였다.

■ **새싹인삼 뿌리의 내생세균(EB, endophytic bacteria) 분리:** EB의 분리는 새싹인삼 10뿌리를 세척한 후 물기를 제거하고 3% 염소 소독제에 10분간 담근 후 다시 물기를 제거하고 70% 에탄올에 10분 침지하여 표면 소독을 하였다. 이를 살균된 칼로 껍질을(약 0.1 cm) 제거하고 5-6 등분한 후 막자사발에서 멸균증류수(10배)를 넣은 후 갈아서 시료를 준비하였다. 준비된 시료를 TSA 배지에 도말한 후 30℃에서 48시간 배양한 후 균의 색깔, 모양 등의 형태학적 특징을 토대로 분류하였다. 분류된 미생물에 대해 대표적인 클론을 5 mL의 TSB 배지 접종하고 30℃에서 48시간 배양한 후 균체를 모집한 후 G-spin™ Genomic DNA Extraction Kit(Intron Co., Suwon, Korea)를 이용하여 추출하였다. 추출된 DNA는 16S rDNA PCR의

주형으로 이용하였다.

■ **내생세균 확인:** 상기 RB와 동일한 방법으로 수행하여 확인하였다.

■ **뿌리 썩음병 곰팡이에 대한 항진균 활성:** 실험실에서 이전에 썩은 묘삼으로부터 분리한 *Fusarium proliferatum* 20SGPFI, *Fusarium solani* 20SGPFI, *Fusarium oxysporum* 20SGPFI, 및 *Fusarium caucasicum* 20SGPFI를 포함하는 뿌리 썩음병 곰팡이에 대한 EB의 항진균력을 평가하였다. 뿌리 썩음병 곰팡이를 8 mm 직경 블록을 PDA 배지 중앙에 이식하고 살균된 EB를 배지와 곰팡이 이식 중간지점에 picking하여 plate를 25°C에서 72시간 동안 배양하였다. 항진균 활성은 성장 억제 영역의 직경을 측정하여 확인하였다.

○ 근권미생물 군집 처리에 따른 새싹인삼 생육 평가

■ **새싹인삼 생육:**

- 1차 생육: 새싹인삼 뿌리 유래 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 조사를 위해 우선 각각의 내생세균을 TSB 배지에서 배양하여 종균을 준비하였다. 인삼 전용상토(명품 인삼상토, (주)신성미네랄, 한국)에 각각의 배양한 내생세균 종균을 5% (50 mL/kg) 혼합하여 준비하였다. 내생세균을 혼합한 인삼 전용상토를 채운 삼목상자(51.5 × 36 × 8.5cm, 가로 × 세로 × 높이)에 10 × 10 밀도로 1년근 묘삼을 총 50개체를 정식하고 온도 20±2°C, 습도 70±5%, 평균 광량(혼합광원 : 백색과 청색, 적색)은 80 μmol/m²/s로 유지되는 환경인 식물공장(스마트팜 큐브)에서 30일간 재배하였다. 관수방법은 표면이 말랐을 때 미리 받아들인 수돗물을 1 L씩 두상 관수하였다. 새싹인삼은 이식 후 30일째 수확하여 생육 특성을 조사한 후 50±2°C에서 열풍건조하여 ginsenosides 함량을 조사하였다.

- 2차 생육: 1차 생육 시험에서 생육 정도와 항진균력 등이 우수한 내생세균 8종인 NGSRB05, NGSRB07, NGSRB08, NGSRB12, NGSRB15, NGSRB19, NGSRB20 및 NGSRB21에 대해서 2차 생육 시험을 진행하였다. 시험은 1차 생육 시험과 동일한 방법으로 진행하였다.

■ **새싹인삼 생육 특성:**

- 발아율: 1년근 묘삼을 총 50개체를 정식하여 새싹인삼으로 생육한 개체를 측정하여 백분율로 나타내었다.

- 길이와 무게: 생육된 새싹인삼의 길이와 무게를 측정한 후 평균값으로 나타내었다.

■ **Ginsenosides 분석:** Ginsenosides 분석은 Lee et al/(2021) 기술된 방법인 고압액체 크로마토그래피(HPLC)로 분석하였다. 분석 컬럼은 TSKgel ODS-100Z를 사용하여 시료주입량 10 μL, 온도는 30°C 측정파장은 203 nm, 유속은 1.0 mL/min으로 하였고 이동상으로는 A용액은 HPLC water, B용액은 아세토니트릴을 사용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 0분때 A용액 81%:B용액 19%로 흘려주고 15분때에는 A용액 80%: B용액 20%로 흘려주고 40분때 A용액 77%: B용액 23%, 42분때 A용액 70%: B용액 30%, 75분때에 A용액 65%: B용액 35%, 80분때에 A용액 30%: B용액 70%, 90분때에 A용액 10%: B용액 90%로 이동상을 흘려주었다 (Figure 4).

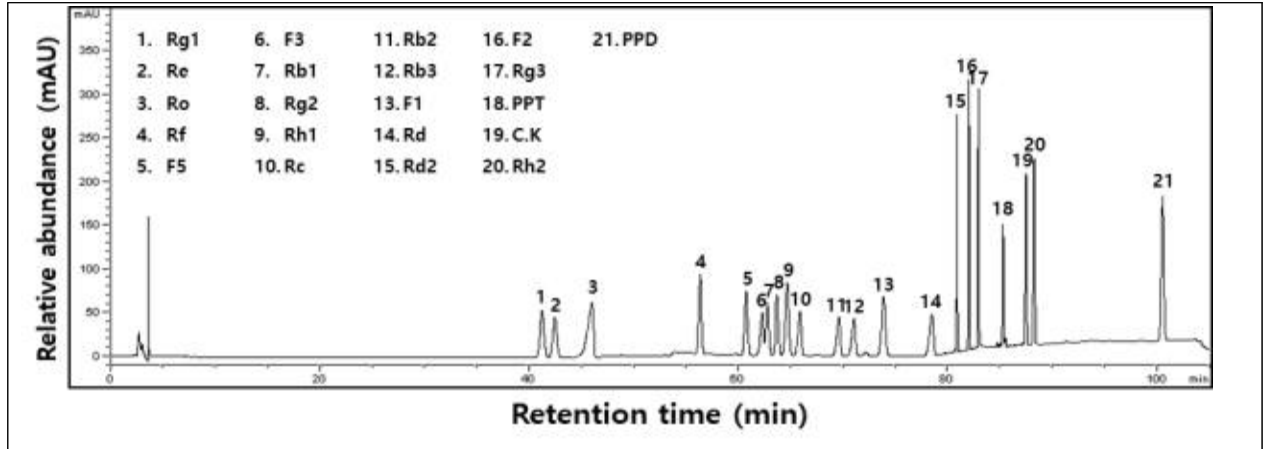


Figure 4. 21종의 ginsenoside 표준품 HPLC 크로마토그램.

4) 새싹콩나물 생산을 광원 및 수확시기 최적 조건 확립

○ 새싹콩나물(YSS, young soybean sprout) 생산 조건을 위한 적정 광원 선정

■ 스마트-대사체 챔버: 아래 Figure 5와 같이 제작한 스마트-대사체 챔버에서 새싹콩나물(young soybean sprout) 최적 생산을 위한 광원 등의 생육조건 확립하였다.

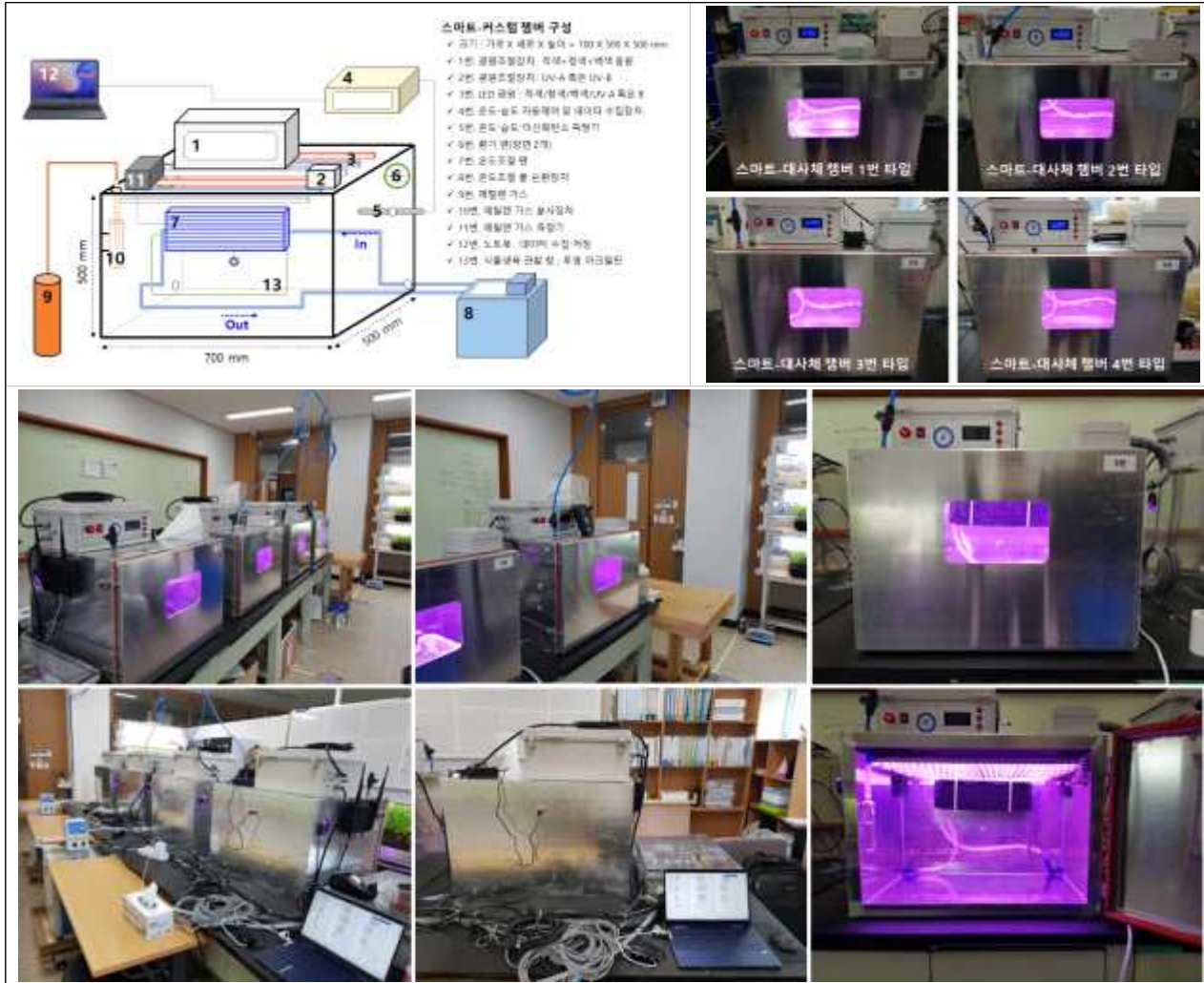


Figure 5. 본 연구에서 자체 제작한 스마트-대사체 챔버.

■ 광원 조건: 아래 Table 1과 같이 Red, Blue 및 white 광원 비를 설정하고 새싹콩나물 최적 생육조건을 확립하였다.

Table 1. 본 연구에서 사용된 광원의 광합성 광자속밀도(PPFD) 및 비율

Experiment	Ratio (%) source (Red : Blue : White)	Light PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Light source ¹⁾	Ratio (%)
Experiment 1	1 : 0 : 0	30.00	Red Blue White	100 0 0
Experiment 2	0 : 1 : 0	68.13	Red Blue White	0 100 0
Experiment 3	0 : 0 : 1	233.40	Red Blue White	0 0 100
Experiment 4	1 : 1 : 0	20.16	Red Blue White	50 50 0
Experiment 5	1 : 0 : 1	162.30	Red Blue White	50 0 50
Experiment 6	0 : 1 : 1	111.99	Red Blue White	0 50 50
Experiment 7	1 : 1 : 1	85.80	Red Blue White	33 33 33
Experiment 8	2 : 1 : 1	89.70	Red Blue White	50 25 25
Experiment 9	1 : 2 : 1	63.81	Red Blue White	25 50 25
Experiment 10	1 : 1 : 2	111.66	Red Blue White	25 25 50

■ **새싹콩나물 생육:** 콩 종자 무게에 약 2배 정도의 물을 넣고 15℃에서 25℃ 내에서 담아서 콩을 불린 후 20℃에서 30℃ 내의 콩 발아기 또는 콩나물 제조기에 넣고 암실에서 16시간에서 24시간 내 발아를 시킨 발아된 콩(발아콩)을 준비하였다. 169구 식물포토에 원예상토를 채운 후 발아콩 1알을 파종하였다, 챔버 내의 온도는 25±0.5℃ 및 습도는 65±5%로 설정하여 파종한 콩의 포토를 챔버에 넣고 8일간 생육시켰다.

■ **Isoflavone 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.

■ **총 phenolics와 총 flavonoids 분석:** 총 phenolics와 총 flavonoids 분석은 상기에 기술된 방법으로 수행하였다.

■ **항산화 활성 분석:** DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성은 상기에 기술된 방법으로 수행하였다.

○ 최적 광원 조건에서 최적 생육/수확시기 선정

■ **새싹콩나물 생육:** 콩 종자 무게에 약 2배 정도의 물을 넣고 15℃에서 25℃ 내에서 담아서 콩을 불린 후 20℃에서 30℃ 내의 콩 발아기 또는 콩나물 제조기에 넣고 암실에서 16시간에서 24시간 내 발아를 시킨 발아된 콩(발아콩)을 준비하였다. 169구 식물포토에 원예

상토를 채운 후 발아콩 1알을 파종하였다, 챔버 내의 온도는 $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 및 습도는 $65\pm 5\%$ 로 설정하여 파종한 콩의 포도를 챔버에 넣고 11일간 생육시켰다. 챔버 내의 혼합 광원(백색:청색:적색 = 1:2:1)을 사용하였고 이때 광량은 약 PPF (Photosynthetic Photon Flux Density) $64 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 있었다.

- **Isoflavone 분석:** 상기와 동일한 기기와 방법으로 수행하였다.
- **총 phenolics와 총 flavonoids 분석:** 총 phenolics와 총 flavonoids 분석은 상기에 기술된 방법으로 수행하였다.
- **항산화 활성 분석:** DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성은 상기에 기술된 방법으로 수행하였다.

2차년도

1) 태양광 연계 식물공장 제작

○ **태양광 패널 연계 식물공장인 스마트팜 솔라 큐브:** 1차년도 때 제작된 채광형 스마트팜 큐브의 경우 자연채광이 너무 과하게 들어옴에 따른 열로 인해 큐브 내 온도 조절이 쉽지 않은 단점이 발생하였다. 샌드위치 패널을 활용한 기존 음지형 스마트팜 큐브의 경우 LED에만 의존하다보니 작물 재배에 한계가 있었다. 천장을 제외한 나머지 부분은 샌드위치 패널로 구성하고, 천장은 자연채광이 투과되는 소재로 하여 두 큐브의 단점을 보완한 복합형 스마트팜 큐브를 제작하게 되었다. 자연채광은 최대한으로 받기위해 내부에는 이동이 가능한 선반을 제작하였으며, 재배 편리성을 위해 3단으로하여 제작하였다. 다양한 모델을 설치하기위해 복합형 큐브에 태양광 패널을 설치하여 전력생산량 및 패널이 천장을 가렸을때의 내부 조도량 등을 확인하여 작물의 재배가 가능한지, 내부 온도 컨트롤에 문제가 있는지 등을 확인하였다(Figure 6).



Figure 6. 스마트팜 큐브.

2) 스마트-커스텀 챔버에서의 재배 광원별 새싹 녹두 실험

○ 시료 및 시약 준비

■ **녹두 종자 및 상토 :** 녹두 종자는 종묘사에서 구입하여 사용하였다. 원예상토는 (주)신안그로에서 제작 및 판매하는 토실이라는 제품을 사용하였다.

■ **시약 :** Isoflavones 및 vitexins 표준품은 daidzin 및 genistin은 Indofine사 (Hillsborough, NJ, USA), daidzein, genistein, isovitexin, vitexin 및 apigenin 은 Sigma-Aldrich사(Saint Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis (3-ethylbenzthia zoline-6-sulphnoic acid) (ABTS),

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 역시 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고 이외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

○ 식물 챔버, 파종 및 성장 조건

■ 식물 챔버 : 스마트-대사체 챔버 및 구성요소는 Figure 7와 같다. 재질은 스텐레이스로 제작되었으며, 가로×세로×높이는 700 mm × 500 mm × 500 mm 이다. 구성요소는 1. 적색과 청색, 백색 광원의 광원 조절 장치, 2. UV-A 혹은 UV-B 광원의 광원 조절 장치, 3. 적색과 청색, 백색, UV-A, UV-B의 LED 광원, 4. 온도와 습도 자동제어 및 데이터 수집 장치, 5. 온도와 습도, 이산화탄소 측정 센서, 6. 환기를 위한 양쪽의 환기 팬, 7. 온도조절 팬, 8. 챔버 내 온도조절을 위한 순환식 물 공급장치, 9. 에틸렌 가스통, 10. 에틸렌 가스 분사 장치, 11. 에틸렌 가스 측정 센서, 12. 환경제어(온도와 습도) 및 데이터 수집과 저장을 위한 노트북, 13. 식물생육 관찰을 위한 투명 아크릴판 창으로 이루어져 있고 각 조건에 따라 온도, 습도 및 LED 광원 등을 조정하여 본 실험에 사용하였다.

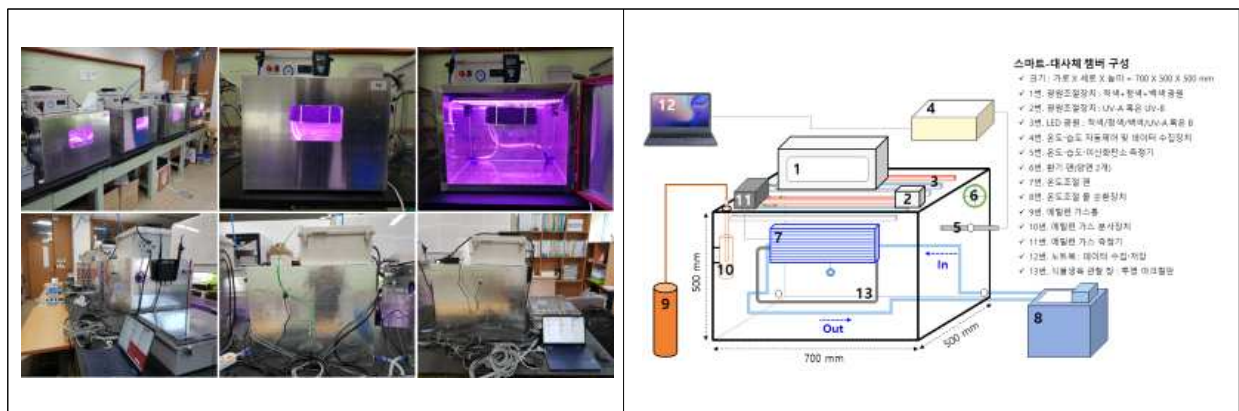


Figure 7. 스마트 커스텀 챔버 및 구성 요소

■ 파종 및 성장 조건 : 광원 조건 및 8일간 생육한 Figure 2와 같았다. 흐르는 물에 2회 세척한 녹두 종자에 물을 첨가하여 6시간 동안 수침한 후 수침이 완료된 녹두를 암실의 발아기에 넣어 12시간 동안 발아하였다. 이후 162구 식물트레이에 원예 상토를 채운 후 녹두를 1개씩 파종하여 약 1L의 물을 공급하였다. 스마트-커스텀 챔버의 LED 광원 조건 및 광량은 Table 2과 같았으며, 온도는 25±2℃에서 습도는 60±5%로 설정하여 8일간 생육하였고 수확 전 새싹 녹두는 Figure 8와 같았다. 수확 후 55 ℃에서 2일간 건조하였고 이후 분말화 하여 시료로 이용하였다.

Table 2. 광원 조건 및 광량

Contents ¹⁾	LED Ratio (R:B:W)									
	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:0	1:0:1	0:1:1	2:1:1	1:2:1	1:1:2	1:1:1
Lux	1000	2271	7780	672	5410	3733	2127	3722	2860	2990
FC	82.5	32.3	711.0	57.0	384.0	357.0	200.4	371.0	243.3	213.5

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

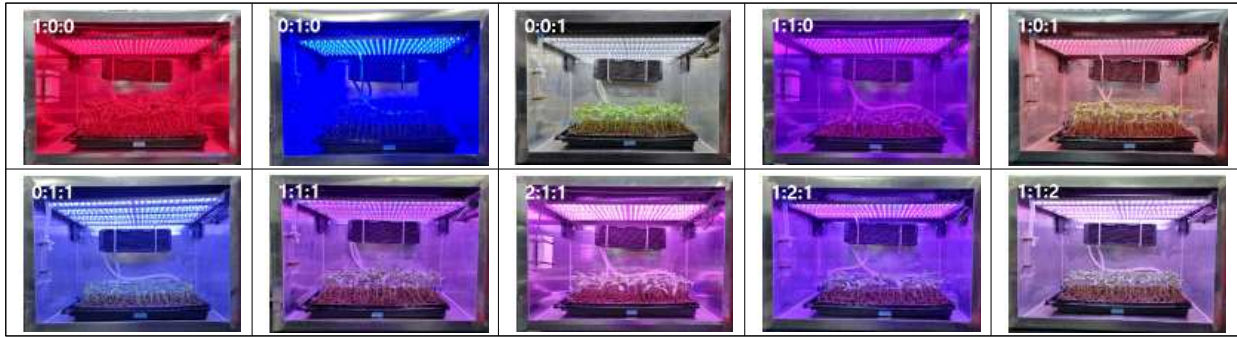


Figure 8. 광조건별에 따른 8일차 새싹녹두

○ 생장특성

■ 발아개수, 길이 및 무게 측정

■ 발아개수 측정 : 각 조건별에 따른 한 트레이에서 수확한 새싹 녹두 개수를 측정하여 나타내었다.

■ 길이 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 숙주를 무작위로 30개체 선발하여 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

■ 무게 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 숙주를 무작위로 30개체 선발하여 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

■ 추출물 제조 : 분말 시료 1 g에 50% 메탄올을 20배 첨가하여 12시간 동안 추출한 후 0.45 μm 여과 필터로 여과하여 총 phenolics, 총 flavonoids와 이소플라본 함량 및 항산화활성 분석에 사용하였다.

■ 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL 첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30°C/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL를 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ Isoflavones 및 vitexins 분석: Isoflavones 및 vitexins 분석은 high performance liquid chromatograph (HPLC, Agilent 1200 series, Agilent Co. Forest Hill, Vic, USA)를 이용하였고 column은 Lichrophore 100 RP C18 column (4.6×250 mm, 5 μm , Merck, Germany)을 이용하였으며, 검출기는 diode array detector (Agilent 1260 series, Agilent Co.)를 이용하였다. 또한, 이동상으로는 A 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 3차 증류수, B 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 acetonitrile을 이용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 B 용매를 기준으로 0분때 0%로 흘려주고 15분때 10%로 흘려주고 25분때 20%로

흘려주고 35분때 25%로 흘려주고 45분때 35%로 흘려주고 50분때에는 35%로 이동상을 흘려주었다.

■ 항산화활성

■ DPPH 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 매탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

■ ABTS 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

■ FRAP 환원력 : FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl_3 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37°C/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분주 후 FRAP 시약 0.95 mL를 첨가하여 37°C에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 590 nm에서 측정하였다.

3) 스마트-커스텀 챔버에서의 재배 일수별 새싹 녹두 실험

○ 시료 및 시약 준비

■ 녹두 종자 및 상토 : 녹두 종자는 종묘사에서 구입하여 사용하였다. 원예상토는 (주)신안그로에서 제작 및 판매하는 토실이라는 제품을 사용하였다.

■ 시약 : Isoflavones 및 vitexins 표준품은 daidzin 및 genistin은 Indofine사(Hillsborough, NJ, USA), daidzein, genistein, isovitexin, vitexin 및 apigenin 은 Sigma-Aldrich사(Saint Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picryldrazyl (DPPH) 역시 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고 이외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

○ 식물 챔버, 파종 및 성장 조건

■ 식물 챔버 : 스마트-대사체 챔버 및 구성요소는 Figure 7와 같다.

■ 파종 및 성장 조건 : R:B:W = 2:1:1인 광조건에서 5, 7, 9, 11일간 생육한 Figure 9와 같았다. 흐르는 물에 2회 세척한 녹두 종자에 물을 첨가하여 6시간 동안 수침한 후 수침이 완료된 녹두를 암실의 발아기에 넣어 12시간 동안 발아하였다. 이후 162구 식물트레이에 원예 상토를 채운 후 녹두를 1개씩 파종하여 약 1L의 물을 공급하였다. 스마트-커스텀 챔버의 LED 광원 조건은 LED red, blue, white 비율 2:1:1과 광량은 Lux 2990 및 FC 213.5 온도는 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 습도는 $60 \pm 5\%$ 로 설정하여 5, 7, 9, 11일간 생육하였으며, 수확 전 새싹 녹두는 Figure 9와 같았고 수확 후 55°C 에서 2일간 건조하였고 이후 분말화하여 시료로 이용하였다.

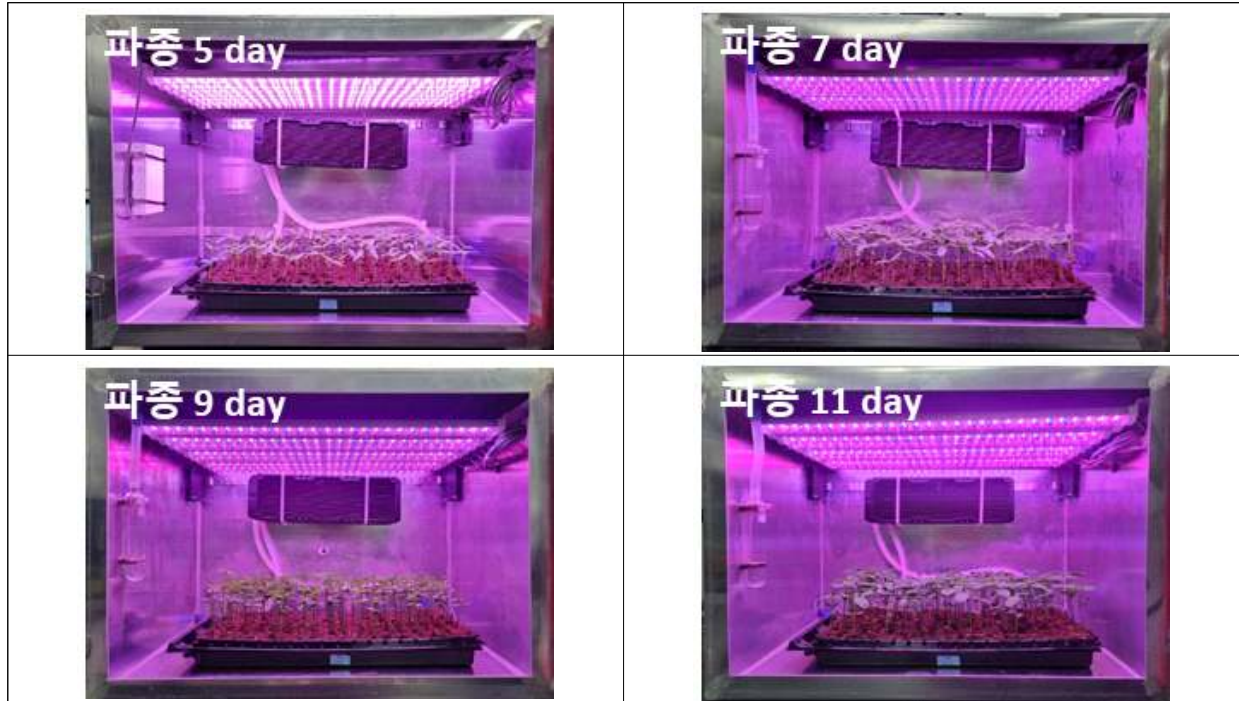


Figure 9. R:B:W=2:1:1인 광조건에서 생육기간에 따른 새싹녹두.

○ 생장특성

■ 발아수, 길이 및 무게 측정

■ 발아수 측정 : 생육기간에 따른 한 트레이에서 수확한 새싹 녹두 개수를 측정하여 나타내었다.

■ 길이 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 녹두를 무작위로 30개체 선발하여 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

■ 무게 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 녹두를 무작위로 30개체 선발하여 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

■ 추출물 제조 : 분말 시료 1 g에 50% 메탄올을 20배 첨가하여 12시간 동안 추출한 후 0.45 μ m 여과 필터로 여과하여 총 phenolics, 총 flavonoids, Isoflavones 및 vitexins 함량 및 항산화 활성 분석에 사용하였다.

■ 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL 첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30°C/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL를 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ Isoflavones 및 vitexins 분석 : Isoflavones 및 vitexins 분석은 high performance liquid chromatograph (HPLC, Agilent 1200 series, Agilent Co. Forest Hill, Vic, USA)를 이용하였고 column은 Lichrophore 100 RP C18 column (4.6×250 mm, 5 μm, Merck, Germany)을 이용하였으며, 검출기는 diode array detector (Agilent 1260 series, Agilent Co.)를 이용하였다. 또한, 이동상으로는 A 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 3차 증류수, B 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 acetonitrile을 이용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 B 용매를 기준으로 0분때 0%로 흘려주고 15분때 10%로 흘려주고 25분때 20%로 흘려주고 35분때 25%로 흘려주고 45분때 35%로 흘려주고 50분때에는 35%로 이동상을 흘려주었다.

■ 항산화활성

■ DPPH 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 매탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

■ ABTS 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

라디칼 소거활성(%) = [(1-(실험구 흡광도 값/음성대조구 흡광도 값)]×100

■ FRAP 환원력 : FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl₃ 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37°C/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분주 후 FRAP 시약 0.95 mL를 첨가하여 37°C에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 590 nm에서 측정하였다.

4) 스마트-커스텀 챔버에서의 새싹 브로콜리 실험

○ 시료 및 시약 준비

■ 브로콜리 종자 및 상토 : 브로콜리 종자는 종묘사에서 구매하였습니다. 파종은 트레이에 바구니를 끼워 원예상토를 담고 발아 브로콜리를 흘뿌린 뒤 상토로 살짝 덮어서 파종하였습니다. 원예상토는 (주)신안그로에서 제작 및 판매하는 토실이라는 제품을 사용하였다.

■ 시약 : Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline - 6-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picryldrazyl (DPPH) 역시 Sigma-Aldrich Co.에서 구입 하여 사용하였다. 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기 용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고 이 외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

○ 식물 챔버, 파종 및 성장 조건

■ 식물 챔버 : 스마트-대사체 챔버 및 구성요소는 Figure 7과 같다.

■ 파종 및 성장 조건 : 광원 조건 및 4일간 생육한 Figure 10와 같았다. 흐르는 물에 1

회

세척 한 새싹 브로콜리 종자에 2배의 물을 첨가하여 48시간 동안 수침한 후 수침이 완료된 새싹 브로콜리를 암실에서 24시간 발아하였다. 이후 식물트레이에 원에 상토를 채운 후 새싹 브로콜리를 흩뿌려서 파종하여 약 1L의 물을 공급하였다. 스마트-커스텀 챔버의 LED 광원 조건 및 광량은 Table 3과 같았다. 이때 단일광, 2개 혼합광, 3개 혼합광을 3차례에 걸쳐서 실험을 진행하였고, 1:1:1(n)은 실험이 진행될 때마다 대조군으로 같이 파종을 진행을 하였다. 온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 습도는 $60\pm 5\%$ 로 설정하여 4일간 생육하였으며, 재배 4일(수확일) 새싹 브로콜리는 Figure 10와 같았다. 새싹 브로콜리는 싹과 뿌리를 모두 수확 후 세척하여 동결건조 후 분말화하여 시료로 이용하였다.

Table 3. 광원 조건 및 광량.

Contents ¹⁾	LED Ratio (R:B:W)									
	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:0	1:0:1	0:1:1	1:1:1	2:1:1	1:2:1	1:1:2
Lux	1000	2271	7780	672	5410	3733	2860	2990	2127	3722
FC	82.5	32.3	711.0	57.0	384.0	357.0	243.3	213.5	200.4	371

¹⁾ All values are presented as the mean \pm SD of triplicate determination.

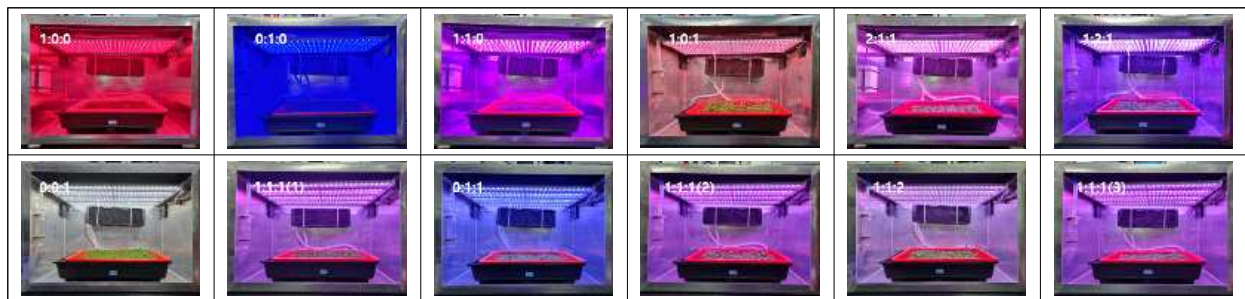


Figure 10. 광조건별에 따른 4일차 새싹 브로콜리.

○ 성장특성

■ 길이 및 무게 측정

■ 길이 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 브로콜리를 무작위로 30개체 선발하여 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다. 30개체를 선발하여 1개체로 정하였다.

■ 무게 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 브로콜리를 무작위로 30개체 선발하여 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다. 30개체를 선발하여 1개체로 정하였다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

■ 추출물 제조 : Sulforaphane 분석용 추출물은 분말 시료 1 g 70% 메탄올을 10배 가하여 실온에서 12시간 추출하여 3,000 \times rpm에서 15-20분간 원심분리 후 0.45 μm 여과 필터로 여과하여 분석시료로 사용하였으며, 총 phenolics, flavonoids 함량 및 항산화 활성 분석용 추출물은 분말 시료 1 g 70% 메탄올을 20배 가하여 이후 조건은 sulforaphane 추출 조건과 동일하게 진행하여 실험에 사용하였다.

■ 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30 $^{\circ}\text{C}$ /1hr 정치

시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

- 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL을 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

- Sulforaphane 분석 : Sulforaphane 분석은 high performance liquid chromatograph (HPLC, Agilent 1200 series, Agilent Co. Forest Hill, Vic, USA)를 이용하였다. 이 연구에 사용된 column은 TSKgel ODS-100Z (5 μm, (5)4.6 mm×250 mm, Japan)을 이용하였으며, 검출기는 Diode array detector (Agilent 1260 series, Agilent Co.)를 이용하였다. 또한, 이동상으로는 A 용매; HPLC water, B 용매; HPLC acetonitrile를 이용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 B 용매를 기준으로 0분때 15%로 흘려주고 16분때 50%로 흘려주고 18분때 50%로 흘려주고 19분때 100%로 흘려주고 29분때 100%로 흘려주고 30분때 15%로 흘려주고 45분때에는 15% 이동상을 흘려주었다.

■ 항산화 활성

- DPPH 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 메탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

- FRAP 환원력 : FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl₃ 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37°C/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분주 후 FRAP 시약 0.95 mL을 첨가하여 37°C에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 590 nm에서 측정하였다.

5) 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 양파 특성 분석

○ 시료 및 시약 준비

- 양파 종자 및 상토 : 양파 종자는 종묘사에서 구입하여 사용하였다. 원예상토는 (주)신안그로에서 제작 및 판매하는 토실이라는 제품을 사용하였다.

- 시약 : Quercetin 표준품은 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picryldrazyl (DPPH) 역시 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker

(Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고 이 외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

○ 식물 챔버, 파종 및 성장 조건

■ 식물 챔버: 스마트-대사체 챔버 및 구성요소는 Figure 7과 같다.

■ 파종 및 성장 조건: 광원 조건 및 4일간 생육한 Figure 11와 같았다. 흐르는 물에 2회 세척한 양파 종자에 물을 첨가하여 6시간 동안 수침한 후 수침이 완료된 양파를 암실의 발아기에 넣어 12시간 동안 발아하였다. 이후 식물트레이에 원에 상토를 채운 후 양파 종자를 흩뿌려 준 뒤 약 1L의 물을 공급하였다. 스마트-커스텀 챔버의 LED 광원 조건 및 광량은 Table 4과 같았으며, 온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 습도는 $60\pm 5\%$ 로 설정하여 4일간 생육하였으며, 수확 전 새싹 양파는 Figure 11와 같았고 수확 후 55°C 에서 2일간 건조하였고 이후 분말화 하여 시료로 이용하였다. 광 조건별 새싹 양파 생육 실험은 4처리구씩 3번 진행하였으며, 각 회당 1:1:1을 대조구로 이후 실험을 진행하였다.

Table 4. 광원 조건 및 광량

Contents ¹⁾	LED Ratio (R:B:W)									
	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:0	1:0:1	0:1:1	1:1:1	2:1:1	1:2:1	1:1:2
Lux	1000	2271	7780	672	5410	3733	2990	2127	3722	2860
FC	82.5	32.3	711.0	57.0	384.0	357.0	213.5	200.4	371.0	243.3

¹⁾ All values are presented as the mean \pm SD of triplicate determination.

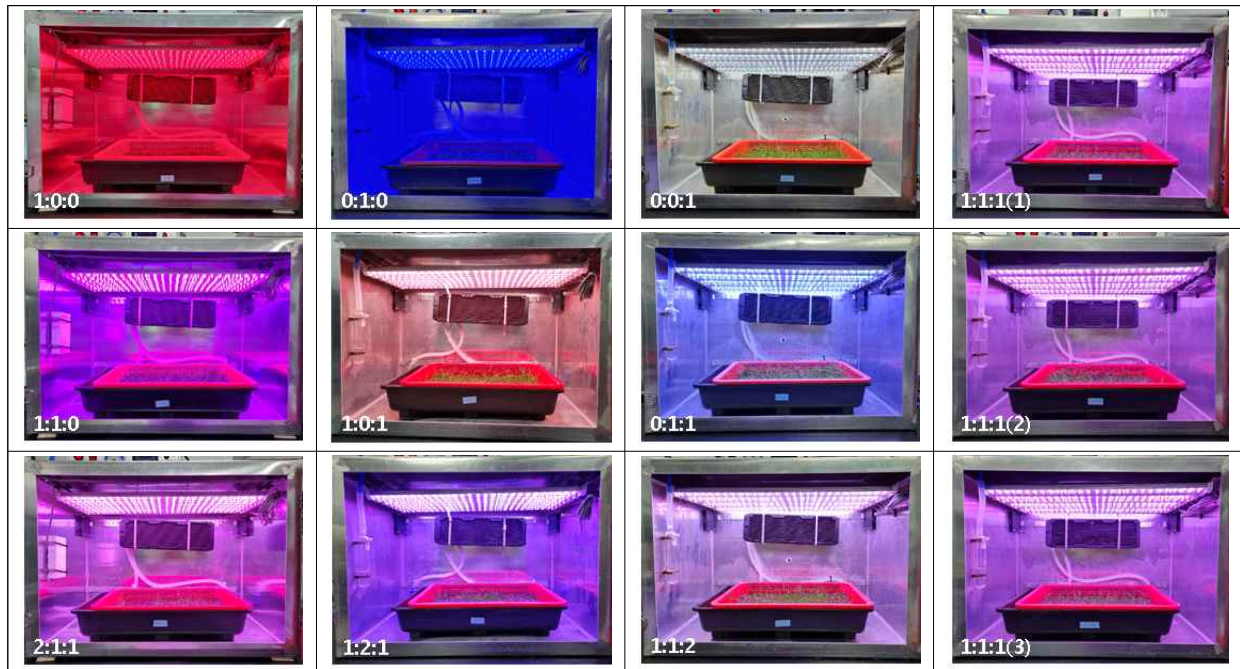


Figure 11. 광조건별에 따른 4일차 새싹양파.

○ 생장특성

■ 발아수, 길이 및 무게 측정

■ 발아수 : 각 조건별에 따른 한 트레이에서 수확한 새싹 양파 무게를 측정하여 나타내

었다.

- 길이 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 양파를 무작위로 30개체 선발하여 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

- 무게 측정 : 스마트-커스텀 챔버에서 수확한 새싹 양파를 무작위로 30개체 선발하여 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

- 추출물 제조 : 분말 시료 1 g에 50% 메탄올을 20배 첨가하여 12시간 동안 추출한 후 0.45 μ m 여과 필터로 여과하여 항산화활성을 분석하였다. 분말 시료 1 g에 70 % 메탄올을 20배 첨가하여 12시간 동안 추출한 후 농축하여 70 % 메탄올 2 ml로 녹여 0.45 μ m 여과 필터로 여과한 후 quercetin을 분석하였다.

- 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL 첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30°C/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

- 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL을 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

- Quercetin 분석: Quercetin 분석은 high performance liquid chromatograph (HPLC, Agilent 1200 series, Agilent Co. Forest Hill, Vic, USA)를 이용하였고 column은 XBridge™ C18 column (4.6×250 mm, 5 μ m, Ireland)을 이용하였으며, 검출기는 diode array detector (Agilent 1260 series, Agilent Co.)를 이용하였다. 또한, 이동상으로는 A 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 3차 증류수, B 용매; 0.2% acetic acid을 첨가한 acetonitrile을 이용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 B 용매를 기준으로 0 %로 시작하여 3분때 3, 5분때 5, 8분때 10, 10분때 15, 14분때 3, 15분때 5, 17분때 8, 19분때 10, 20분때 15, 22분때 20, 25분때 5, 26분때 15, 27분때 20, 28분때 30, 30분때 10, 32분때 40, 35분때 50, 36분때 60, 37분때 30, 38분때 40, 40분때 50, 45분때 60, 50분때 80, 그리고 55분때 100 %로 하여 이동상을 흘려주었고, 270 nm에서 측정하였다.

■ 항산화활성

- DPPH 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 메탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

- ABTS 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

■ FRAP 환원력: FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl₃ 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37°C/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분 주 후 FRAP 시약 0.95 mL을 첨가하여 37°C에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 590 nm에서 측정하였다.

6) 미생물 처리별 새싹삼의 특성 분석

○ 시료 준비 및 기기

■ **재배 토양, 미생물 및 지베렐린(Gibberellin: GBA):** 인삼 상토는 (주) 신성미네랄에서 구입하여 사용하였다. 미생물은 NSGB8, NSGB19, NSGB21를 TSB 액체 배지에 30°C에서 2일간 진탕 배양하여 준비하여 NSGB8 배양액 60 mL, NSGB19 배양액 60 mL, NSGB21 배양액 60 mL, NSGB8 배양액 30 mL+ NSGB19 배양액 30 mL, NSGB8 배양액 30 mL + NSGB21 배양액 30 mL, NSGB19 배양액 30 mL + NSGB21 배양액 30 mL, NSGB8 배양액 20 mL + NSGB19 배양액 20 mL + NSGB21 배양액 20 mL 에 각각 살균된 증류수 440 mL를 희석하여 준비하였다. 지베렐린은 증류수 500 mL에 지베렐린 0.2 g을 녹여 400 ppm 농도로 희석하여 토양에 최종 100 ppm이 되도록 처리하였다(Table 5).

■ **새싹삼 파종 :** 1년생 묘삼 드림팜에서 구매하여 파종에 사용하였다. 미생물 처리 조건에 증류수, 지베렐린 및 미생물 배양액을 아래와 같은 조건으로 혼합 후 살균 처리한 토양 2kg과 혼합하여 식물성장 트레이에 담아 묘삼 50개체를 비스듬하게 파종하였다. 파종 후 온도 22°C, 상대습도 55% 및 광량은 FC 71-98.1와 Lux 952-1049 조건으로 스마트 팜 큐브에서 30일간 재배하였다. 이때 지베렐린 및 미생물 처리구의 경우 파종 후 15일에 파종 당시 미생물 처리 농도와 동일하게 미생물 배양액을 증류수와 혼합하여 분무 처리하였다(Figure 12).

Table 5. 새싹삼 미생물 처리 3차 토양 및 미생물 처리 조건

Sample	Content				
	Water	400 ppm GBA	Microorganism (NSGB number)		
			8	19	21
1	500 mL	-	-	-	-
2	-	500 mL	-	-	-
3	440 mL	-	60 mL	-	-
4	440 mL	-	-	60 mL	-
5	440 mL	-	-	-	60 mL
6	440 mL	-	30 mL	30 mL	-
7	440 mL	-	30 mL	-	30 mL
8	440 mL	-	-	30 mL	30 mL
9	440 mL	-	20 mL	20 mL	20 mL

			
[묘삼]	[식물성장트레이]	[인삼상토]	[GBA]
			
[NSGB 8 배양액]	[NSGB 19 배양액]	[NSGB 21 배양액]	

Figure 12. 묘삼, 식물성장 트레이, 토양, GBA 및 미생물 배양액

■ **새싹삼 수확 및 처리**: 재배 30일 후 수확하여 길이 및 무게를 측정 완료 후 흐르는 물에 세척하여 건조기를 이용해 55℃에서 2일간 건조하여 분쇄 후 -20℃에 보관하며 성분분석에 이용하였다.

■ **시약**: Ginsenoside 표준품은 Rg1, Re, Ro, Rf, F3, Rg2, Rh1, Rb1, Rc, F1, Rb2, Rb3, Rd, Fd2, F2, Rg3, compound K, Rh2 화합물들은 대전 소재 KOC biotech사 구입하여 사용하였다. Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picryldrazyl (DPPH)은 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. 그밖에 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고, 이 외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

■ **기기**: Ginsenosides 분석은 high performance liquid chromatography (HPLC, Agilent 1260 system, Agilent Technologies Inc., Waldbronn, Germany)를 사용하여 분석하였다. 이 외 총 phenolics, 총 flavonoids 및 라디칼 소거활성 측정은 분광광도계 (UV-1800 240V, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)를 사용하여 측정하였다.

○ 성장특성 및 토양 이화학적 특성

■ 발아율, 길이 및 무게 측정

■ **발아율 측정**: 발아율은 파종한 묘종 50개체 당 잎과 줄기가 모두 성장하여 수확한 새싹삼 개체 수량을 백분율(%)로 나타내었다.

■ **길이 측정**: 발아되지 않은 묘삼을 제외한 새싹삼을 수확하여 개체의 개별 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

■ 무게 측정 : 발아되지 않은 묘삼을 제외한 새싹삼을 수확하여 개체의 개별 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

■ 이화학적 특성

■ 토양 pH 및 산도 측정 : 토양 추출액 1 g을 증류수로 49 mL에 희석하여 30분간 교반 후 토양 입자를 거즈로 걸러 액체 부분을 이용하여 pH와 산도 측정에 사용하였다. pH는 pH meter를 사용하여 측정하였고, 총 산도는 pH 8.2±0.1까지 중화시키는데 소비된 0.1 N-NaOH 양을 구한 후 아래와 같은 식으로 산출하여 환산하였다.

$$\text{Acidity (\%, lactic acid)} = 0.009 \times \text{mL of 0.1 N NaOH} \times F \times 100 / \text{시료량(mL)}$$

F: factor of 0.1 N NaOH

■ 생균수 측정: 토양 10 g을 멸균 증류수 90 mL에 1차 희석 후 단계 희석하여 TSA 평판배지에 도말하여 log CFU/g 으로 나타내었다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

■ 추출물 제조 : 분말 시료 1 g에 70% 메탄올을 20배 첨가하여 항온수조에 100℃, 1시간 방치 후 15000×rpm 15~20분간 원심분리하는 과정을 2회 반복 후 0.45 μm 여과 필터로 여과하여 20 mL vial에 담고 완전히 농축한 후 HPLC water 2 mL을 첨가하여 녹인 후 0.45 μm 여과 필터로 여과하여 HPLC vial에 담아 ginsenosides를 분석하였다. 분말 시료 1 g에 50% 메탄올을 20배 첨가하여 실온에서 12시간 진탕 추출하여 3,000 rpm로 15분 원심분리 후 상층액을 0.45 μm 여과 필터로 여과하여 총 phenolics, 총 flavonoids 측정 및 생리활성 시험에 사용하였다.

■ 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na₂CO₃ 0.5 mL첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30℃/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL을 첨가하여 37℃에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ Ginsenosides : Ginsenosides 분석은 기능성식품분석법의 홍삼 사포닌 분석법에 기술된 방법을 약간 변형하여 고압액체크로마토그래피(HPLC)로 분석하였다. 분석 컬럼은 TSKgel ODS-100Z을 사용하여 시료주입량 10 μL, 온도는 30℃ 측정파장은 203 nm, 유속은 1.0 mL/min으로 하였고 이동상으로는 A용액은 HPLC water, B용액은 아세트니트릴을 사용하였다. HPLC 분석 조건은 이동상 용액은 0분때 A용액 81%:B용액 19%로 흘려주고 15분때에는 A용액 80%: B용액 20%로 흘려주고 40분때 A용액 77%: B용액 23%, 42분때 A용액 70%: B용액 30%, 75분때에 A용액 65%: B용액 35%, 80분때에 A용액 30%: B용액 70%, 90분때에 A용액 10%: B용액 90%로 이동상을 흘려주었다.

■ 항산화 활성

■ DPPH 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 매탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

■ ABTS 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

7) 새싹삼 재배 토양 조성 및 미생물 처리

○ 시료 준비 및 기기

■ 재배 토양, 미생물 및 지베렐린(Gibberellin: GBA): 인삼 상토는 (주) 신성미네랄에서 구입하였으며, 미사용 인삼 상토와 재사용 인삼 상토로 나누어 사용하였다. 미사용 인삼 상토는 한번도 사용하지 않은 인삼상토이며, 재사용 인삼상토는 묘삼을 파종하여 30일간 재배한 인삼 상토를 음건하여 사용하였다. 에코 바이오차는 (주)케이아그로에서 구입하여 사용하였다. 미생물은 NSGB19과 NSGB21를 TSB 액체 배지에 30°C에서 2일간 진탕 배양하여 준비하여 NSGB19 배양액 30 mL과 NSGB21 배양액 30 mL와 살균된 증류수 440 mL를 희석하여 준비하였다. 지베렐린은 증류수 500 mL에 지베렐린 0.2 g을 녹여 400 ppm 농도로 희석하여 토양에 최종 100 ppm이 되도록 처리하였다(Table 6).

■ 새싹삼 파종 : 1년생 묘삼 드림팜에서 구매하여 파종에 사용하였다. 토양 및 미생물 처리 조건에 토양과 증류수, 지베렐린 및 미생물 배양액을 아래와 같은 조건으로 혼합 후 살균 처리한 토양 2kg과 혼합하여 식물성장 트레이에 담아 묘삼 50개체를 비스듬하게 파종하였다. 파종 후 온도 22°C, 상대습도 55% 및 광량은 FC 71-98.1와 Lux 952-1049 조건으로 스마트 팜 큐브에서 30일간 재배하였다. 이때 미생물 처리구에 경우 파종 후 15일에 파종 당시 미생물 처리 농도와 동일하게 미생물 배양액을 증류수와 혼합하여 분무 처리하였다 (Figure 13).

Table 6. 새싹삼 재배 토양 및 미생물 처리 조건

Sample	Ginseng bed condition	Ginseng bed soil : Biochar soil	Content		
			Water	400 ppm GBA	Microorganism (NSGB19+21)
0A-1	Unuse	100% : 0% = 2 kg : 0 kg	500 mL	-	-
0A-2			-	500 mL	-
0A-3			440 mL	-	30 mL+30 mL
0B-1	Unuse	95% : 5% = 1.9 kg : 0.1 kg	500 mL	-	-
0B-2			-	500 mL	-
0B-3			440 mL	-	30 mL+30 mL
0C-1	Unuse	90% : 10% = 1.8 kg : 0.2 kg	500 mL	-	-
0C-2			-	500 mL	-
0C-3			440 mL	-	30 mL+30 mL
1A-1	Reuse	100% : 0% = 2 kg : 0 kg	500 mL	-	-
1A-2			-	500 mL	-
1A-3			440 mL	-	30 mL+30 mL
1B-1	Reuse	95% : 5% = 1.9 kg : 0.1 kg	500 mL	-	-
1B-2			-	500 mL	-
1B-3			440 mL	-	30 mL+30 mL
1C-1	Reuse	90% : 10% = 1.8 kg : 0.2 kg	500 mL	-	-
1C-2			-	500 mL	-
1C-3			440 mL	-	30 mL+30 mL

			
[묘삼]	[식물성장트레이]	[인삼상토]	[바이오차]
			
[GBA]	[NSGB 19 배양액]	[NSGB 21 배양액]	

Figure 13. 묘삼, 식물성장 트레이, 토양, GBA 및 미생물 배양액.

- 새싹삼 수확 및 처리: 재배 30일 후 수확하여 길이 및 무게를 측정 완료 후 흐르는 물에 세척하여 건조기를 이용해 55℃에서 2일간 건조하여 분쇄 후 -20℃에 보관하며 성분분석에 이용하였다.

- 시약 : Folin-cialteu reagent, diethylen glycol, 2,4,6-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picryldrazyl (DPPH)은 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다. 그밖에 추출물 제조와 라디칼 소거활성 및 기기 분석 등에 사용한 유기용매(methanol, acetonitrile, water 및 acetic acid 등)는 J.T.Baker (Philpsbug, NJ, USA)에서 구입하여 사용하였고, 이 외 기타 시약은 필요에 따라서 분석용 특급 또는 1급을 구입하여 사용하였다.

- 기기 : 총 phenolics, 총 flavonoids 및 라디칼 소거활성 측정은 분광광도계 (UV-1800 240V, Shimadzu Corp., Kyoto, Japan)를 사용하여 측정하였다.

○ 생장특성 및 토양 이화학적 특성

■ 발아율, 길이 및 무게 측정

- 발아율 측정 : 발아율은 파종한 묘종 50개체 당 싹과 줄기가 모두 성장하여 수확한 새싹삼 개체 수량을 백분율(%)로 나타내었다.

- 길이 측정 : 발아되지 않은 묘삼을 제외한 새싹삼을 수확하여 개체의 개별 길이를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

- 무게 측정 : 발아되지 않은 묘삼을 제외한 새싹삼을 수확하여 개체의 개별 무게를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

■ 이화학적 특성

■ 토양 pH 및 산도 측정 : 토양 추출액 1 g을 증류수로 49 mL에 희석하여 30분간 교반 후 토양 입자를 거즈로 걸러 액체 부분을 이용하여 pH와 산도 측정에 사용하였다. pH는 pH meter를 사용하여 측정하였고, 총 산도는 pH 8.2±0.1까지 중화시키는데 소비된 0.1 N-NaOH 양을 구한 후 아래와 같은 식으로 산출하여 환산하였다.

$$\text{Acidity (\%, lactic acid)} = 0.009 \times \text{mL of 0.1 N NaOH} \times F \times 100 / \text{시료량(mL)}$$

F: factor of 0.1 N NaOH

■ 생균수 측정: 토양 10 g을 멸균 증류수 90 mL에 1차 희석 후 단계 희석하여 TSA 평판배지에 도말하여 log CFU/g 으로 나타내었다.

○ 성분분석

■ 생리활성물질 분석

■ 추출물 제조 : 분말 시료 1 g에 50% 메탄올을 20배 첨가하여 실온에서 12시간 진탕 추출하여 3,000 rpm로 15분 원심분리 후 상층액을 0.45 µm 여과 필터로 여과하여 총 phenolics, 총 flavonoids 측정 및 생리활성 시험에 사용하였다.

■ 총 phenolics : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na₂CO₃ 0.5 mL첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30°C/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였다. 이때 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ 총 flavonoids : 시험관에 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL를 첨가하여 37°C에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 이때 총 flavonoids 함량은 rutin을 이용하여 나타난 표준 곡선에서 함량을 구했다.

■ 항산화활성

■ DPPH 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10⁻⁴ M DPPH 메탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

■ ABTS 라디칼 소거활성: 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. 음성대조구는 시료 대신에 추출 용매를 취하여 실험하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

8) 새싹작물 선정 및 종자 발아 연구

○ 재료 및 방법

■ 다양한 종류의 특용 작물을 선정하여 새싹작물로의 발아 실험을 진행하였다(Figure 14).

결명자	<i>Cassia tora</i> L.	콩과
식방풍	<i>Ledebouriella seseloides</i> (Hoffm.) H. Wolff	산형과
감초	<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch.	콩과
우슬 (쇠무릅)	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai	비름과
당귀 (참당귀)	<i>Angelica gigas</i> Nakai	산형과
영경귀	<i>Cirsium japonicum</i> var. <i>maackii</i> (Maxim.) Matsum.	국화과
황기	<i>Astragalus membranaceus</i> Bunge var. <i>membranaceus</i>	콩과
더덕	<i>Codonopsis lanceolata</i> (Siebold et Zucc.) Trautv.	초롱꽃과

Figure 14. Screening 선정 test 작물들 list

○ 실험구상 내용

- 종자를 침종시켜 종자 무게의 변화에 따른 수분함량을 통해 종자 침종 시간 결정
- 수분함량으로 결정된 종자 침종 시간동안 테트라졸륨 시약으로 침종하여 종자 활력 확인
- 챔버에서 페트리디쉬로 종자의 온도별(15, 20, 25 °C : 광주기12h, 25/15 °C : 광주기 16/8h) 광/암 조건에서의 종자의 발아수 확인

9) 새싹도라지 생산성 연구

○ 새싹도라지 생산 연구(최적 광도 설정)

- 1년근 도라지 모종을 상토에 심어 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, and 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도에서 각각의 성장과 사포닌 함량을 분석하였다. 생육특성 및 사포닌 분석을 위한 검체는 이식 후 17일 후에 채취하였으며, 각 처리에서 6개의 싹(촬영 부위)을 무작위로 채취하였다. 환경조건은 17일 동안 상대습도 $70 \pm 10\%$, 온도 25 °C, 광주기 12 시간을 유지하였다.

10) 새싹콩 이소플라본 향상을 위한 저온 및 고온 stress 연구

○ 재료 및 방법

- 식물공장에서의 성장 조건은 온도 25°C, 상대습도 70%, 광주기 12 h, 광도는 $100 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 유지하였다. 파종 3주 후 콩을 각 온도 스트레스 치료 환경으로 이동시켰다. 저온처리 환경은 5°C의 온도로 유지하여 0D, 1D(1일 저온처리), 1DR(저온처리 1D 회수처리군), 2D, 2DR로 진행하였다. 고온 처리 환경은 40°C의 온도로 유지하여 0D, 1D, 1DR, 2D, 2DR로 진행하였다. 회수처리군은 온도처리 전 환경인 식물공장으로 이동하였다 (Figure 15).

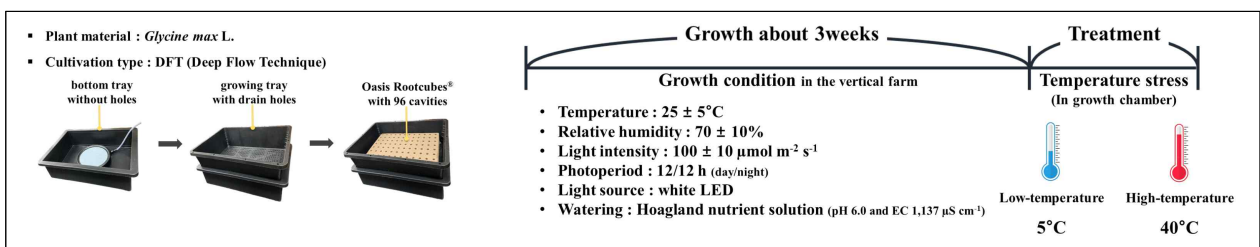


Table 15. 식물 재배 방법 및 생육 조건

11) 고부가 작물-염생식물(갯질경) 연구

○ 재료 및 방법

■ 재배 양액의 염농도를 0, 25, 50, 75, 100 mM으로 처리하여 수경재배시스템에서 8주 동안 갯질경을 재배하였다(Figure 16).

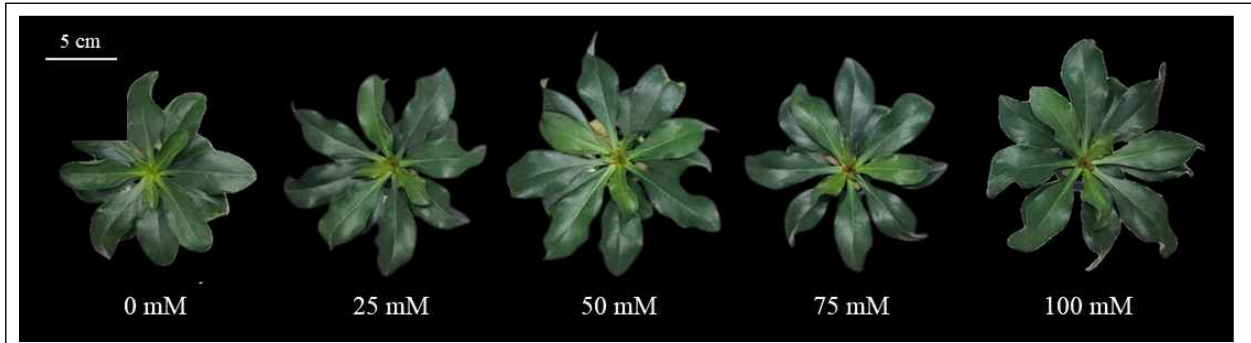


Table 16. 다양한 염농도에 따른 갯질경의 생육 사진

12) 새싹 브로콜리의 설폴라판 향상을 위한 광질 연구

○ 재료 및 방법

■ LED 광원의 처리는 상용 백색 LED(Normal-type of White LED, NWL)와 다른 스펙트럼의 다른 백색 LED(Blue-Specific White LED, BWL; Blue and Green Specific White LED, BGWL) 하에 브로콜리 새싹을 6일간 조사하여 재배하였다(Figure 17).

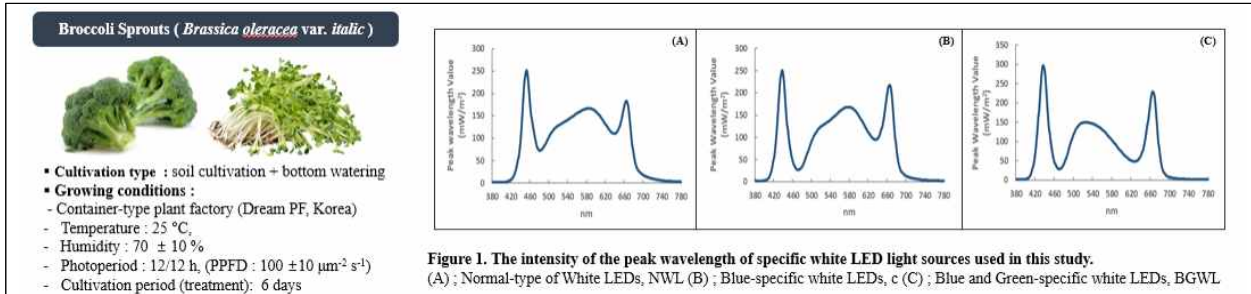


Figure 1. The intensity of the peak wavelength of specific white LED light sources used in this study. (A); Normal-type of White LEDs, NWL (B); Blue-specific white LEDs, c (C); Blue and Green-specific white LEDs, BGWL

Table 17. 재료 및 성장 조건(왼쪽) 및 연구에 사용된 특정 백색 LED 광원의 피크 파장 강도. (A); 일반형 백색 LED, NWL (B); 청색 특정 백색 LED, (C); 청색 및 녹색 특정 백색 LED, BGWL

13) 새싹 콩의 이소플라본 향상을 위한 UV 연구

○ 재료 및 방법

■ 수직농업시스템의 환경조건은 약 25°C, 습도 70%, 광주기 12/12(낮/밤)h, 광도 220±10µmolm⁻²s⁻¹로 유지되었다. 대두 발아기에 50 mL의 증류수를 1일 1회 관개하고, 파종 후 1주일 후에 호아그랜드 영양액(pH 6.0, EC 1134µm⁻¹)을 관개하였다. 약 3주간 재배한 콩 식물을 UV-BLED로 처리해 실험을 진행했다. 챔버 내 UV-B 처리 환경조건은 25°C, 습도 70%, 광주율 12/12(낮/밤) h, UV-B 강도 0.340.05Wm⁻²s⁻¹로 유지했다. 이 실험은 1D(1일 치료, 이하 설명은 동일), 2D, 2DR(치료 2D 회복 치료) 치료군, 대조군으로 구성됐다. 회복치료군은 치료 때마다 정상적인 상태로 이동해 하루 회복할 수 있도록 했다

14) 새싹 콩의 이소플라본 향상을 위한 LED 광질 연구

○ 재료 및 방법

■ 식물공장에서의 성장조건은 온도 25°C, 습도 70%, 광주기 12/12(낮/밤) h, 광강도 190 ± 10 μm⁻² s⁻¹로 유지하였다. 이식 후 2주 동안 백색 광원을 다른 청색 및/또는 녹색 스펙트럼(일반 백색 LED, NWL, 청색 특정 백색 LED, BWL, 청색 및 녹색 특정 백색 LED, BGWL)으로 처리했습니다(Figure 18-20).

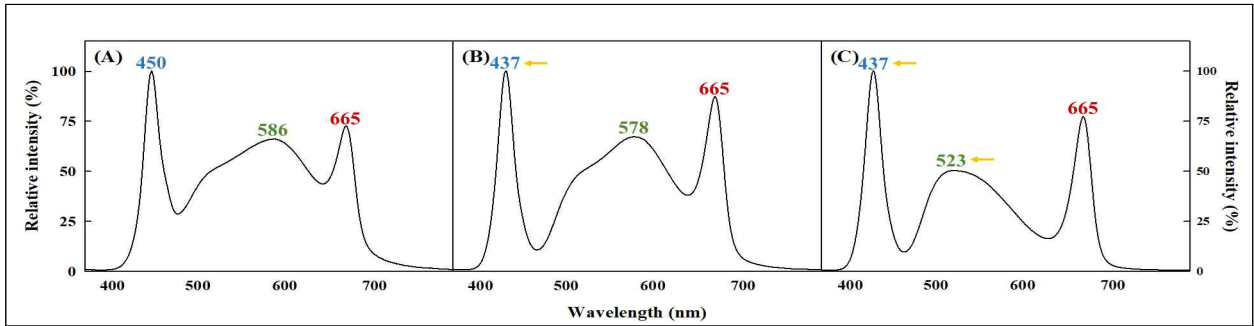


Figure 18. 본 연구에서 사용된 특정 백색 LED 광원의 상대 강도 NWL, 일반 백색 LED(A), BWL, 청색 특정 백색 LED(B), BGWL, 청색 및 녹색 특정 백색 LED(C).

Type of White-LED Lightings	Peak wavelength (nm)			PPFD-ratio (%)		
	Red	Green	Blue	Red	Green	Blue
NWL	665	586	450	36.96	41.66	21.38
BWL	665	578	437	38.13	42.68	19.20
BGWL	665	523	437	32.95	41.10	25.94

Figure 19. 다양한 청색 및/또는 녹색 스펙트럼의 피크 파장 및 PPFD 비율.

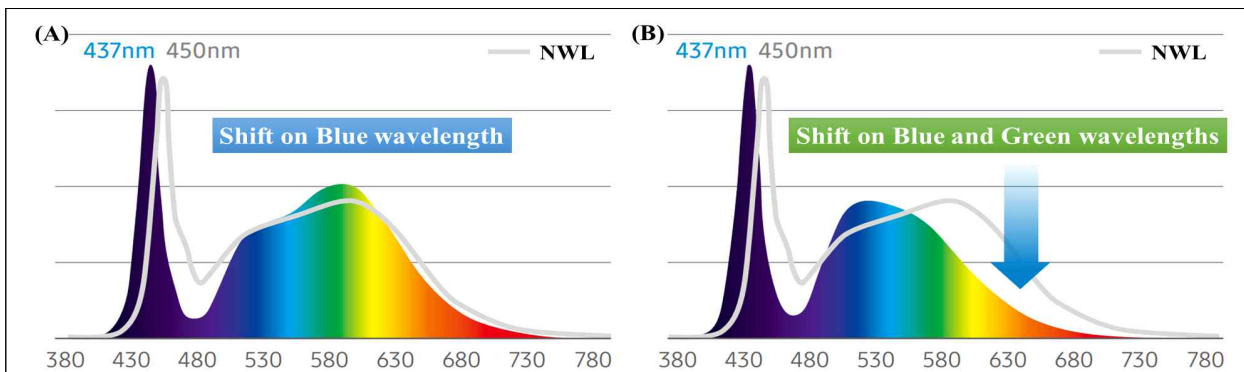


Figure 20. 일반 백색 LED와 특정 백색 LED 광원의 스펙트럼 중첩. BWL, 청색 특정 흰색 LED(A); BGWL, 청색 및 녹색 특정 흰색 LED(B) NWL, 일반 흰색 LED.

15) 작물의 기능 향상(생산 및 2차 대사산물)을 위한 유전자 교정 연구

○ 재료 및 방법

■ 상추 (*Lactucasativa* L.) 재배종: 로메인 천강, 로메인 청치마, 버터헤드, 빙산(Figure 21).

■ 아그로박테럼 균주: GV3101::pMMP90 및 슈퍼 아그로박테럼 ver.4 (EHA-105 (EV))

■ 식물 선택 가능 마커: 히그로마이신(Figure 22)

■ 리포터 유전자: RUBY

■ 호르몬: NAA 및 BAP

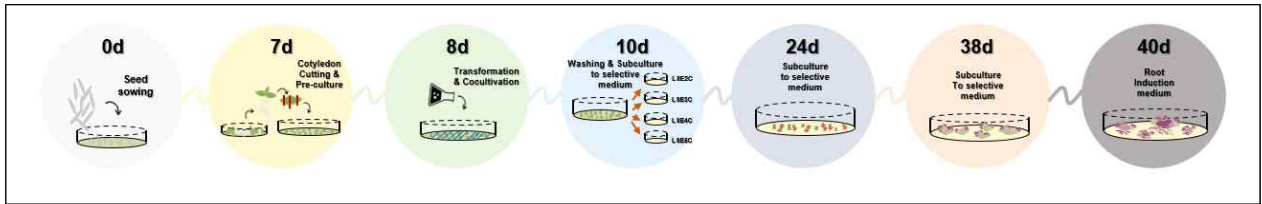


Figure 21. 상추 자엽의 아그로박테륨 매개 변형의 연대표. 씨 뿌리기 후 날짜에 따른 단계별 프로토콜.

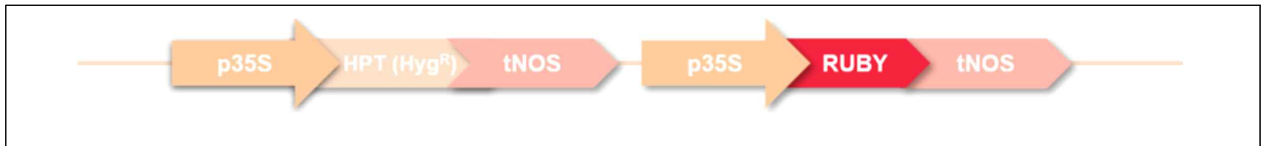


Figure 22. 접근 방식의 시스템 구성. RUBY Reporter 시스템을 사용하여 잠재적으로 예상되는 색상 Calli와 촬영을 생성. RUBY는 CaMV:35S프로모터와 NOS 터미네이터에 의해 구동되는 식물 선택 마커인 하이그로마이신과 함께 바이너리 벡터로 복제되고 배열.

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

3차년도

1) 전시용 스마트팜 솔라 큐브 제작

○ 전시형 및 이동형 스마트팜 솔라 큐브: 현재까지 제작된 스마트팜 솔라 큐브는 기존 8평(3m x 3m x 8m)의 크기로 제작되었다. 이를 홍보 및 전시하기 위해 박람회 등에 참가하기 위해서 대형 운반 트럭이 필요했으며 상·하차 시 지게차 및 운반 트레이 등이 필요하였다. 또한 크기 때문에 공간에 대한 제약, 운반의 어려움 등으로 전시 및 박람회에서 홍보에 큰 어려움이 있었다. 일단 강당 등의 메인 문에 출입이 가능하게 가로 1m, 길이 2.5m, 높이 2m의 전시용 큐브를 제작하고 내부 시설로 에어컨, 2-3단 선반, LED, 환경 컨트롤러 등의 설비하였으며, 바닥에 바퀴를 설계하여 이동식으로 가능한지 확인하고 제작하였다(Figure 23).



Figure 23. 홍보 전시용 이동식 스마트팜 솔라 큐브

2) 새싹작물 이용 제품화

○ 장아찌 또는 액상차 제품화: 스마트팜에서 생산되는 새싹인삼은 일반 가공식품으로 개발이 미흡한 부분이 있어 활용증대를 위해 새싹인삼을 주성분으로 하여 우유 또는 따뜻한 물에 타서 먹는 라떼 혹은 인삼 특유의 쓴맛을 없애기 위해 꿀과 같은 당류에 함께 먹는 것을 착안하여 스틱형 제품을 개발하였다(Figure 24).

		
비타민 C	미립당	석류농축액
		
새싹삼 분말	산양삼 분말	새싹삼 농축액

Figure 24. 실험 재료

3) 새싹작물 재배기술 최적화 - 배지실험: 우슬, 더덕, 식방풍, 당귀

○ 재료 및 방법

■ 종자 및 배지 준비

- 우슬, 더덕, 식방풍, 당귀 종자를 시중에서 구입하여 사용하였다.
- 실험에 사용된 배지는 Figure 25과 같다.

- 저면 관수 트레이 가로×세로×높이 (31.5 × 23 × 7.5 cm, L × W × H)를 사용하였다.

■ 파종 및 성장 조건

- 성장 조건: 트레이에 종자 100립씩 파종하였다. 환경조건은 온도는 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 습도는 $60 \pm 10\%$ 로 설정하였다. 모두 암발아를 시킨 뒤 발아가 된 트레이를 광조건으로 바꿔주었다. 우슬과 더덕은 파종 후 27일째에 수확하였으며, 식방풍과 당귀는 발아속도가 느려 파종 후 55일째에 수확하였다. 분무수경을 방법을 이용하여 1일에 1번씩 관수하였다. Figure 26는 우슬, 더덕의 파종 후 11일째, 25일째 생육 사진이다. Figure 27는 식방풍, 당귀의 파종 후 21일째 사진이다.



Figure 25. 배지실험 재료











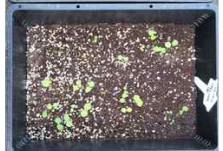
<i>Achyranthes japonica</i>	11days after sowing	25days after sowing	<i>Codonopsis lanceolata</i>	11days after sowing	25days after sowing
Ginseng soil medium			Ginseng soil medium		
Horticulture medium			Horticulture medium		
Mat medium (Cover with soil)			Mat medium (Cover with soil)		

Figure 26. Growth of *Achyranthes japonica* and *Codonopsis lanceolata* 11 and 25 days after sowing.

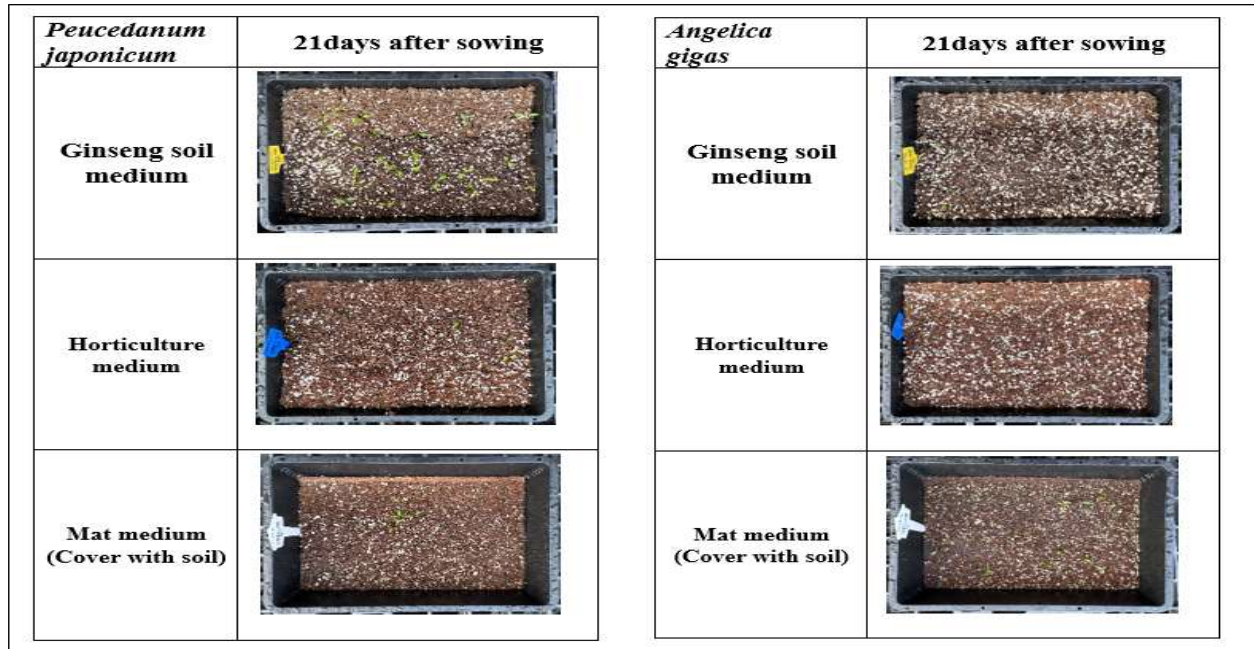


Figure 27. Growth of *Peucedanum japonicum* and *Angelica gigas* 21 days after sowing.

4) 새싹작물 재배기술 최적화 - 양액 및 변온처리 비교 실험: 당귀

○ 재료 및 방법

■ 파종 및 성장 조건

- 당귀 종자 3g을 저면관수 트레이 (31.5 × 23 × 7.5 cm, L × W × H)와 인삼전용 상토를 사용하여 파종하였다.

- 실험 처리는 1. 25/15℃ 변온처리에서 증류수 공급 2. 25/15℃ 변온처리에서 양액 공급 3. 25℃에서 양액 공급 4. 25℃에서 증류수 공급으로 설정하여 변온처리 및 양액 공급에 따른 생체 및 건물중을 확인하였다. 양액은 Hoagland's nutrient solution (pH 6.0, EC 1.0 dS·m⁻¹)으로 공급하였다. 저면관수를 통해 공급하였으며 파종 후 68일째에 수확하였다.

5) 새싹작물 재배기술 최적화 - 실증 실험: 우슬

(수직농장 형태에 따른 우슬의 생육 비교 실험)

○ 재료 및 방법



Figure 28. 드림팜의 두 형태의 수직농장

■ 파종 및 성장 조건

- 우슬을 파종 전 3일 동안 침종 시킨 후 복합형 및 음지형 수직농장형태 (Figure 28) 에 사용되는 트레이 (Figure 29)를 사용하여 3g씩 파종하였다. 배지는 인삼전용상토를 사용 하였다. 온도는 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 습도는 $60\pm 10\%$ 로 설정하였다. 7일동안 암발아를 시킨 뒤 광 조건으로 바꿔주었다. 우슬은 파종 후 40일째에 수확하였다.

- 성장조건

- ① 밀폐형 : 12/12 h(light/dark) 18tray, 오전 8시 1분 동안 자동 관수(1time/day)
- ② 태양광 병용형 : 10-16시(천막 close + LED on), 16-10시(천막 open + LED off), 14tray

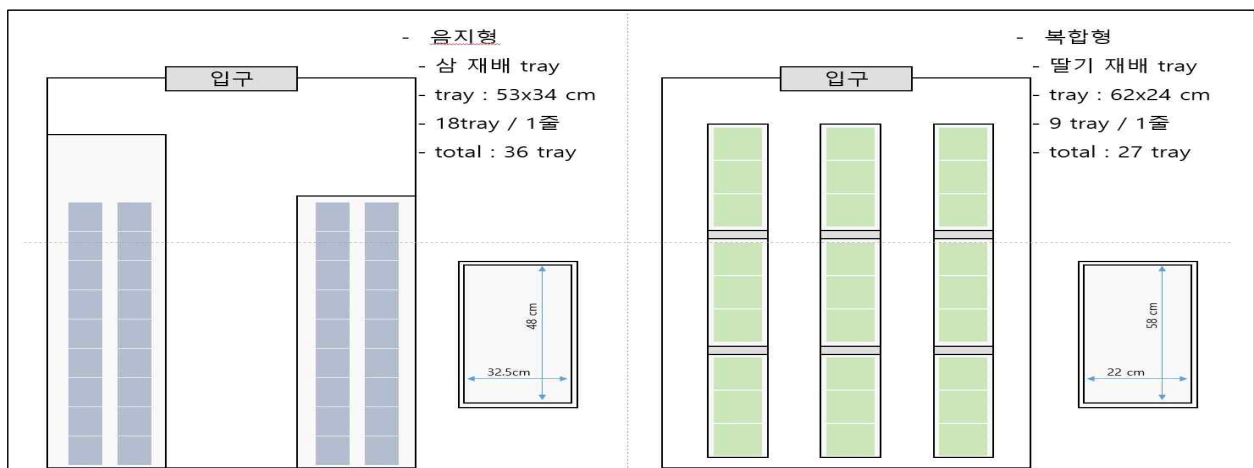


Figure 29. 음지형 및 복합형 실내 모식도.

6) 솔라큐브 태양광 발전 시뮬레이션 및 음지형 및 복합형 경제성 분석

○ 솔라 큐브 태양광 발전 시뮬레이션

■ 제작한 솔라 큐브의 태양광 발전량을 평가하기 위해서 Laplace system 社の Solar Pro software를 사용하여 simulation을 수행하였음(Figure 30).

■ Solar Pro는 일사량, 온도, 각 지역의 위치 정보에 대한 데이터와 태양광 모듈에 대한 데이터를 고려하여 그림자 분석, I-V 계산, 발전량 계산, 경제성 분석 등을 제공하는 솔루션임.

■ 그림자의 궤적과 발전량을 계산하여 움직이는 화면으로 볼 수가 있고, 경제성을 포함한 시스템 성능을 표시할 수 있으므로, 태양광 설치 고객에게 태양광 발전 시스템 자체에 대한 이해와 설득력 있는 자료를 제공할 수 있음.

■ 솔라 큐브에 사용된 태양광 모듈은 현대 에너지 솔루션 社の HiS-S5900J-ET 모델로 정격 출력은 $590W_p \pm 3\%$ 의 사양을 가지고 있음. 날씨 데이터는 기상청에서 측정한 데이터베이스가 SW 내부에 탑재되어 있어서 해당 데이터를 이용하여 발전량 평가를 진행하였음.

■ 음지형은 1개월에 약 1,176 kWh의 에너지를 사용하고, 태양광 설치 후 827 kWh만큼 사용해서 탄소 배출이 1개월에 0.55825 tC 에서 0.36413 tC로 절감되어 1개월에 약 0.19412 tC, 연간 2.32944 tC의 탄소 절감효과가 나타남.

■ 복합형은 1개월에 약 1,894 kWh의 에너지를 사용하고, 태양광 설치 후 1,025 kWh만큼의 에너지를 사용하여 탄소 배출이 1개월에 0.78705 tC에서 0.48657 tC로 감소하고 1개월에 약 0.30048 tC, 연간 3.60576 tC의 탄소 절감 효과를 얻을 수 있음.



Figure 30. 솔라 큐브에 사용한 태양광 모듈의 사진 및 electrical specification

■ 솔라 큐브가 실제 설치되어 있는 주관기관의 위치를 기준으로, 3D CAD를 이용하여 실제 모델과 같이 기준이 되는 건물을 디자인한 후에 태양광 모듈을 동일하게 배치함. 태양광 모듈을 배치한 다음에 위 그림의 태양광 모듈의 전기적 특성을 입력해 주게 됨(Figure 31, 32).



Figure 31. 주관기관에 설치한 솔라 큐브 사진



Figure 32. 3D CAD를 이용하여 구현한 솔라 큐브 구조물 및 태양광 패널의 디자인

7) 새싹우슬 적정 파종량 결정 및 새싹우슬과 시판우슬 (뿌리, 줄기, 잎)의 대사체 비교 분석

○ 재료 및 방법

■ 식물재료: *Achyranthes japonica* Nakai (AJN) 종자 (Aram Seeds Co., Ltd., 서울, 한국)가 본 연구에 사용되었다. 파종하기 전에 종자를 증류수에 3일 동안 침종하였다. 3일 동

안 담근 후 70% 에탄올에 30초 동안 담근 후 증류수로 3회 헹구었다. 그 후 20% NaOCl (덕산사이언스, 서울)로 15분간 소독 후 증류수로 4회 헹구었다. 시판되고 있는 우슬 뿌리 (제천농업조합법인, 한국 제천), 줄기, 잎((주)미산허브팜, 대구, 한국)을 구입하여 새싹우슬 과 2차대사산물 함량을 비교하기 위해 분석하였다 (Figure 33).



Figure 33. 시중 판매되고 있는 우슬의 뿌리, 잎 그리고 줄기와 새싹형태의 우슬

■ **생장조건:** 우슬 종자를 31.5 × 23 × 7.5 cm 크기의 저면관수 트레이에 심었고, 인삼 전용 상토로 채워진 환경 제어 수직 농장형 재배실에서 재배되었다. 파종 4일 후 암조건에서 광조건으로 변경되었다. 재배실의 환경 조건은 온도가 23 ± 2°C, 상대 습도가 50 ± 10%, 광 속도가 170 ± 15 μmol·m⁻²·s⁻¹로 유지되었다. 양액은 200 mL 저면관수로 공급 해주었다, 이때 사용된 용액은 Hoagland의 영양액 용액 (pH 6.0, EC 1.0 dS·m⁻¹)이었습니다. 파종량의 성장 효율을 비교하기 위해 0.5 g(낮은 밀도), 1.0 g(중간 밀도), 및 2.0 g(높은 밀도)로 설정하였다. 우슬의 성장을 파종량에 따라 비교하기 위해 파종 후 27일 후에 생체중(FW), 건물중(DW), 그리고 성장 효율을 측정했다. 식물의 높이와 줄기 직경은 이미지 J 소프트웨어를 사용하여 측정하였다. 생체중 및 건물중은 디지털 저울(PAG214C, 오하우스 주식회사, 파시패니, 미국)를 사용하여 측정되었습니다. 샘플은 건조기(EP-20, 코테스 주식회사, 서울, 한국)에서 55°C에서 72시간 동안 건조되었으며, 이를 통해 건조 무게를 측정하였다. 성장 효율은 FW와 DW를 기반으로 계산되었다.

■ **성분분석**

- **생리활성물질 분석 :** 페놀 함량은 약간 수정된 Folin-Denis 방법을 사용하여 측정되었다. 우슬의 총 페놀 농도는 DW 당 갈릭 산 (GAE) 밀리그램으로 표현하였다. 총 플라보노이드 함량을 측정하기 위해 Pękal과 Pyrznska의 방법을 약간 수정하여 사용했다. 각 샘플의 흡광도는 510 nm에서 측정했다 (Libra S32, Biochrom, 프랑스).

- **항산화활성 :** 항산화 능력은 항산화 활성을 가진 물질인 ABTS (아미노벤조트리아졸; 2,2'-아지노-비스 [3-에틸 벤조티아졸린 6-스룰포닉 산] 이암모늄 염)을 사용하여 측정되었다.

- **크로마토그래피 분석 :** 건조된 샘플(1 g)은 메탄올(50 mL)을 사용하여 초음파로 180 분 동안 추출되었다. 추출물 중 10μL이 Agilent Technologies의 HPLC (Agilent 1260 Infinity II, Agilent Technologies)의 다이오드 배열 검출기와 연결된 XBridge C18 컬럼 (5 μm 4.6 mm × 150 mm, Waters, Milford, MA, USA)에 주입되었다. 용출 용매는 A(0.1% 아세트산을 포함하는 물) 및 B(0.1% 아세트산을 포함하는 아세트니트릴)를 gradient 방법을

사용하여 구성되었다.

- 20-Hydroxyecdysone의 액체 크로마토그래피-질량분석법(LC-MS/MS) 분석 : 건조된 샘플(0.1 g)은 50% 메탄올(15 mL)을 사용하여 10 분 동안 초음파로 추출되었다. 추출물 중 2 μ L이 Shimadzu Nexera X2 UHPLC 시스템 (Shimadzu, 일본 교토)과 연결된 LIChrospher®100 RP-18 5 μ m, end-capped (Merck Eurolab, 독일 Darmstadt) 컬럼에 주입되었습니다. 액체 크로마토그래피 시스템은 전기 분무 이온화 (ESI)용으로 Turbo V 이온 소스 및 터보 이온 스프레이 프로브가 장착된 SCIEX QTRAP 4500 질량 분석기에 연결되었다 (SCIEX, 미국 매사추세츠 주 Framingham).

8) 우슬에 수확 전 단기 UV-B 처리를 통한 이차대사산물 증진 효과

○ 재료 및 방법

■ **식물재료** : *Achyranthes japonica* Nakai (AJN) 종자 (Aram Seeds Co., Ltd., 서울, 한국)가 본 연구에 사용되었다. 파종하기 전에 종자를 증류수에 3일 동안 침종하였다. 3일 동안 담근 후 70% 에탄올에 30초 동안 담근 후 증류수로 3회 헹구었다. 그 후 20% NaOCl(덕산사이언스, 서울)로 15분간 소독 후 증류수로 4회 소독하였음.

■ **생장조건** : 우슬 종자를 31.5 × 23 × 7.5 cm 크기의 저면관수 트레이에 심었고, 인삼 전용 상토로 채워진 환경 제어 수직 농장형 재배실에서 재배되었다. 파종 4일 후 암조건에서 광조건으로 변경되었다. 재배실의 환경 조건은 온도가 23 ± 2°C, 상대 습도가 50 ± 10%, 광도는 170 ± 15 μ mol·m⁻²·s⁻¹로 유지되었다. 양액은 200 mL 저면관수로 공급해 주었다, 이때 사용된 용액은 Hoagland의 영양액 용액 (pH 6.0, EC 1.0 dS·m⁻¹)으로 공급하였음.

■ **UV-B 처리** : 광 처리와 관련하여 UV-B LED(TUNP-AG120-UV-B100%-23W-PA, 일본 마그넷, 일본; 피크 308 nm)에 1.0 ± 0.3 W·m⁻²를 추가 조사하였다(Figure 34B). 17 일 된 ANJ 식물에 수확 전 하루 동안 UV-B LED를 조사함(18일에 수확). 처리구는 연속 12시간 치료(UV12/C1), 명암 주기당 6시간 간헐 치료 2회(UV06/C2), 각각 3시간 간헐 치료 4회(UV03/C4)로 설정되었다. 누적 UV-B 시간은 총 12시간이며, 대조군(control)은 UV-B 방사선에 노출되지 않았다(Figure 34A).

■ **생장특성** : Fresh weight (FW), dry weight (DW), shoot height, leaf and stem dry weight, leaf area, specific leaf area (SLA), and relative moisture content (RWC)

- RWC (%) = FW (g) - DW (g) / FW (g) * 100

- SLA (cm²/g) = leaf area (cm²) / leaf dry weight (g)

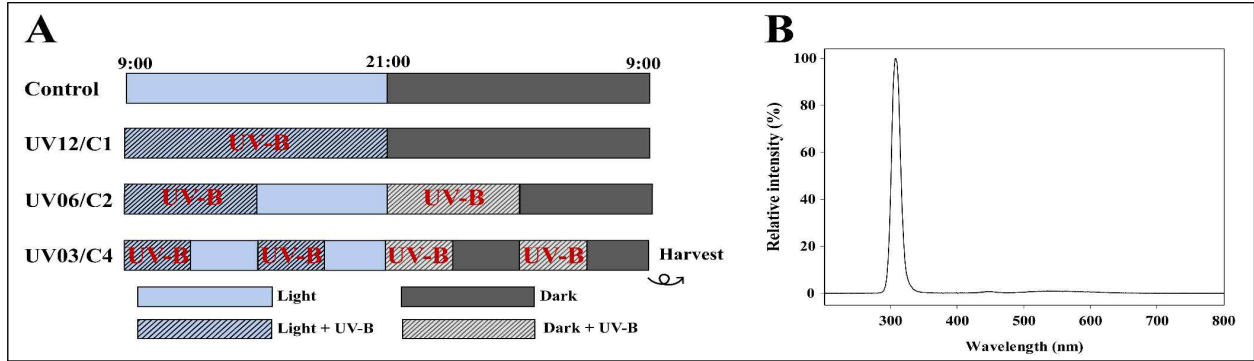


Figure 34. The treatments (A) and relative intensity (B) of UV-B LEDs used in this study. The periods of UV-B irradiation were from 9:00 to 21:00 (UV12/C1), twice in a 6 h cycle (UV06/C2), and four times in a 3 h cycle (UV03/C4). The energy of the UV-B was set to $1.0 \pm 0.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

■ 성분분석 : 페놀함량, 플라보노이드 함량, 항산화도 DPPH, ABTS, FRAP, 20-Hydroxyecdysone

9) 새싹더덕 재배를 위한 파종량 실험

○ 재료 및 방법

■ 파종

- 더덕 종자 0.5, 1.0, 2.0g을 저면관수 트레이 ($31.5 \times 23 \times 7.5 \text{ cm}$, L × W × H)와 인삼전용상토를 사용하여 파종하였다. 파종하기 전에 종자를 증류수에 1일 동안 침종하였다. 3일 동안 담근 후 70% 에탄올에 30초 동안 담근 후 증류수로 3회 헹구었다. 그 후 20% NaOCl(덕산사이언스, 서울)로 15분간 소독 후 증류수로 4회 헹구었다.

■ 성장 조건

- 파종 7일 후 암조건에서 광조건으로 변경했다. 파종 후 42일째 수확했다. 재배실의 환경 조건은 온도가 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대 습도가 $50 \pm 10\%$, 광도는 $170 \pm 15 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 유지되었다. 양액은 200 mL 저면관수로 공급해주었다, 이때 사용된 용액은 Hoagland의 영양액 용액 (pH 6.0, EC $1.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)이다.

10) 수확 전 새싹 더덕에 R/FR 비율별 처리 효과

○ 재료 및 방법

■ 파종 및 성장 조건

- 더덕 종자 3g을 저면관수 트레이 ($31.5 \times 23 \times 7.5 \text{ cm}$, L × W × H)와 인삼전용상토를 사용하여 파종하였다. 파종하기 전에 종자를 증류수에 1일 동안 침종하였다. 3일 동안 담근 후 70% 에탄올에 30초 동안 담근 후 증류수로 3회 헹구었다. 그 후 20% NaOCl(덕산사이언스, 서울)로 15분간 소독 후 증류수로 4회 헹구었다.

- 성장조건: 파종 7일 후 암조건에서 광조건으로 변경했다. 파종 후 49일째 수확했다. 재배실의 환경 조건은 온도가 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대 습도가 $50 \pm 10\%$, 광도는 $180 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 유지되었다. 양액은 200 mL 저면관수로 공급해주었다, 이때 사용된 용액은 Hoagland의 영양액 용액 (pH 6.5, EC $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$)이다.

■ R/FR 처리

- 더덕 파종 후 39일째 R/FR 처리를 시작했다. 총 10일 간 처리하였으며 파종 후 49 일째 수확했다. 대조구는 White 광만 처리하였으며 R/FR 비율은 12, 처리구는 High(R/FR, 3), Normal(R/FR, 1.2), Low(R/FR 0.75)로 설정하였다 (Figure 35).

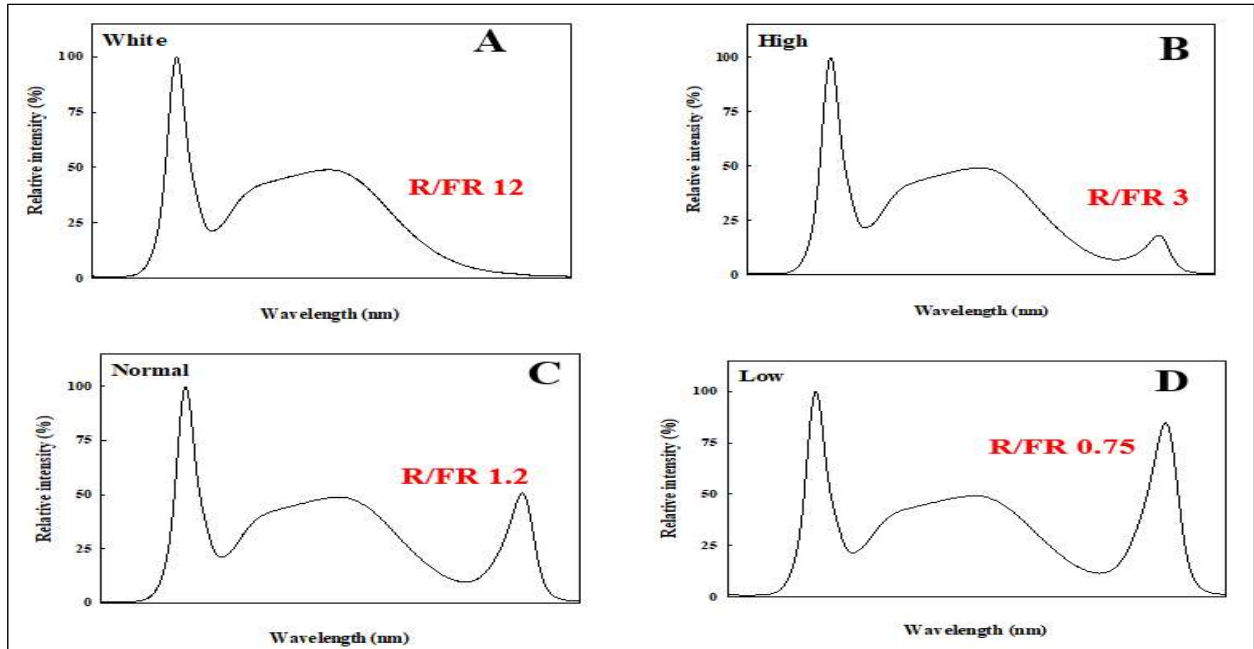


Figure 35. Light relative intensity used in treatment of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio

■ **생장특성**

- 측정 항목: 생체중 및 건물중, 노드수, 초장, 엽면적

■ **생리활성물질 및 항산화 분석**

- 측정 항목: 페놀, 플라보, 항산화 능력, Lancemasid A

11) 수확 전 콩의 UV-B 처리의 이소플라본 함량 향상

○ 재료 및 방법

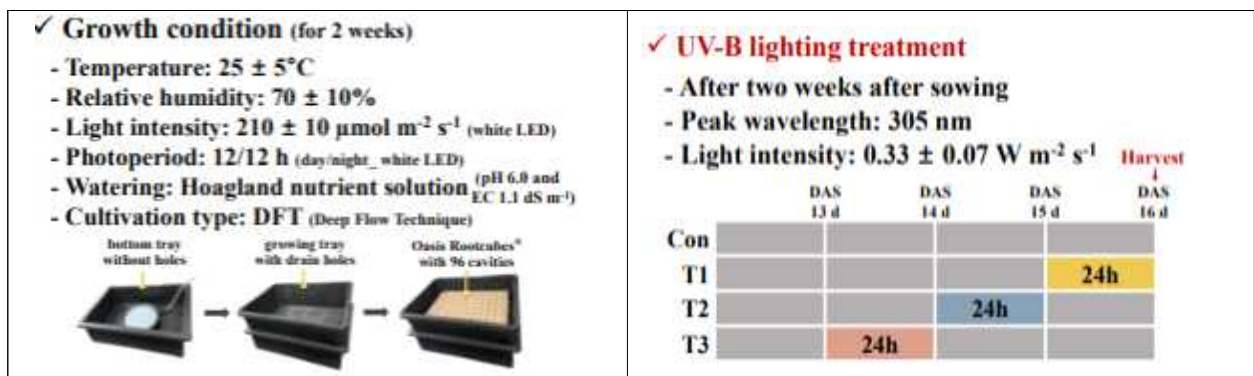


Figure 36. UV-B 처리에 따른 재료 및 방법

■ 수직농장의 환경조건은 온도 25°C , 습도 70 %, 광주기 12/12 (day/night) h, 광도 $210 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. 콩 발아시기에는 증류수를 1일 1회 관수하였고, 파종 후 일주일 후 호아글랜드 양액으로 (pH 6.0 and EC 1,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$) 관수하였다.

■ UV 세기는 $0.33 \pm 0.07 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 로 설정하였으며 T1은 수확하루전 24시간, T2는 수확 2일전 24시간 처리 후 24시간 회복, T3는 수확 3일전 24시간 처리 후 48시간 회복을 시켰다(Figure 36).

12) R/FR 비율에 따른 콩의 성장 및 생리활성 화합물의 변화

○ 재료 및 방법

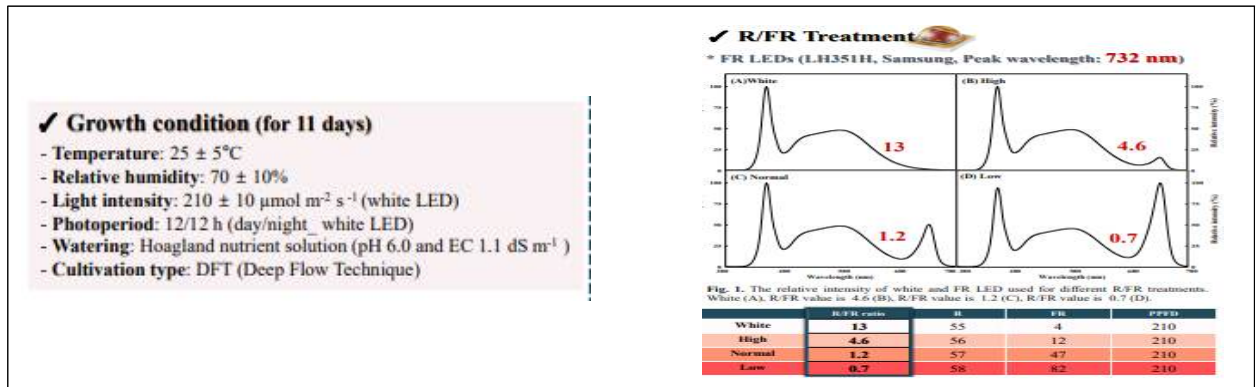


Figure 37. UV-B 처리에 따른 재료 및 방법

■ 수직농장의 환경조건은 온도 25°C , 습도 70 %, 광주기 12/12 (day/night) h, 광도 $210 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. 콩 발아시기에는 증류수를 1일 1회 관수하였고, 파종 후 일주일 후 호아글랜드 양액으로 (pH 6.0 and EC $1.1 \mu\text{S cm}^{-1}$) 관수하였다.

■ Red와 Far-red 비율별로 설정하여 추가로 처리하였다. White 처리구의 R/FR 비율은 13, High는 4.6, Normal은 1.2, Low는 0.7로 설정하였다. 파종 후부터 수확까지 R/FR 비율로 처리하였다(Figure 37).

13) 수확 전 저온 및 고온 처리에 따른 한국민들레(Taraxacum coreanum)의 생리활성 및 대사 변화

○ 재료 및 방법

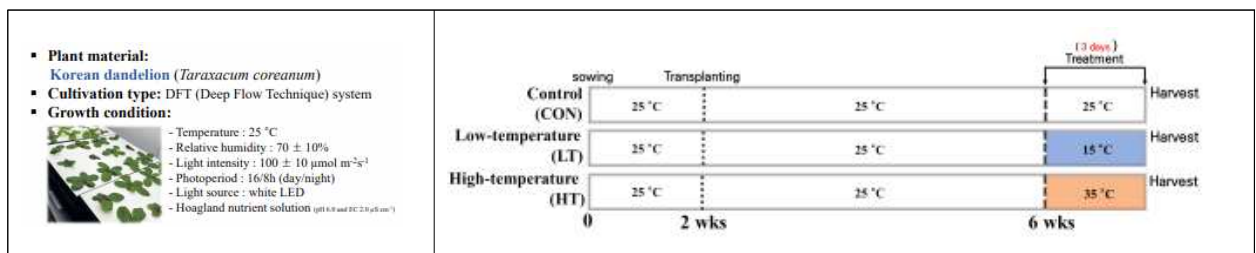


Figure 38. UV-B 처리에 따른 재료 및 방법

■ 수직농장의 환경조건은 온도 25°C , 습도 70 %, 광주기 16/8 (day/night) h, 광도 $100 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. 호아글랜드 양액으로 (pH 6.0 and EC $2.0 \mu\text{S cm}^{-1}$) 관수하였다.

■ Low-temperature 처리구는 수확 전 3일 동안 15°C 에서 저온 처리를 하였고, High-temperature 처리구는 수확 전 3일 동안 35°C 에서 고온 처리를 하였다(Figure 38).

14) 새싹작물 이용 성분 강화 소재 생산

○ 새싹 도라지 에틸렌 처리 횟수별 재배:

■ **식물 조건:** 인삼상토를 담은 트레이에 수침된 도라지 종자 1g을 흩뿌려 파종하였다. 식물공장은 온도 25℃, 습도 60%를 유지하였으며, 생육조건으로 14일간 암실에서 암발아를 하였다. 이후 광량 144 PPF($\mu\text{mol/s/m}^2$; 광주기 16시간)에 옮겨 15주차까지 생육하였다.

■ **에틸렌 처리 조건:** 밀폐된 식물 챔버(온도 25℃, 습도 95%)로 옮겨 에틸렌 10,000 ppm을 0, 3, 5회 처리한 후 수확

○ **새싹 도라지 길이 및 무게 측정:** 생육된 새싹도라지의 길이와 무게를 측정한 후 평균값으로 나타내었다.

○ 새싹 도라지 생리활성 물질 및 항산화 활성:

■ **총 phenolics와 총 flavonoids 분석:** 총 phenolics 측정은 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 25% Na_2CO_3 0.5 mL 첨가하여 3분간 정치시킨 후 2N Folin-Ciocalteu's phenol 0.25 mL 첨가하여 30℃/1hr 정치시켜 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 750nm에서 측정하였고 총 flavonoids는 시료 추출액을 0.5 mL를 분주한 후 diethylene glycol 1 mL 및 1N-NaOH 0.01 mL을 첨가하여 37℃에서 1시간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420nm에서 측정하였다. 양성 대조군으로는 총 phenolics는 gallic acid을 총 flavonoids는 rutin을 표준 물질로 사용하였으며, 일련의 농도로 측정된 값으로 도출된 계산식에 대입하였다.

■ 항산화 활성 분석:

- **DPPH 라디칼 소거활성:** 시험관에 시료 추출액 0.2 mL 분주 후 1.5×10^{-4} M DPPH 매탄올 용액 0.8 mL를 첨가하여 균질화 후 암실에서 30분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 525 nm에서 측정하였다.

- **ABTS 라디칼 소거활성:** 시험관에 시료 추출액 0.1 mL 분주 후 ABTS 라디칼 용액 0.9 mL를 첨가하여 암실에서 3분 동안 정치시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 732 nm에서 측정하였다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거활성의 양성 대조군으로는 trolox를 표준 물질로 사용하였으며, 일련의 농도로 측정된 값으로 도출된 계산식에 대입하였다.

- **Hydroxyl 라디칼 소거활성:** 시험관에 시료 추출액 1.4 mL 분주 후 10 mM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -EDTA 0.2 mL, 10 mM 2-deoxyribose 0.2 mL 및 10 mM H_2O_2 0.2 mL를 첨가한 후 37℃에서 4시간 동안 정치시킨 후 1% thiobarbituric acid 1 mL와 2.8% trichloroacetic acid 1 mL을 첨가한 후 항온수조에서 100℃에서 20분 동안 발색시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 520 nm에서 측정하였다. 음성 대조군으로는 시료 대신에 PBS를 취하여 실험하였다. 실험구와 음성대조구의 흡광도 차이를 %로 나타내었으며 아래와 같은 식에 의해 산출하였다.

$$\text{라디칼 소거활성(\%)} = [(1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})) \times 100]$$

- **FRAP :** FRAP 시약은 acetate buffer(30 mM, pH 3.6), TPTZ시약(10mM in 40mM HCl) 및 FeCl_3 용액(20 mM in D.W)을 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 조제하여 항온수조에서 37℃/15min 동안 예비반응 시킨다. 이후 시험관에 시료 추출액 0.05 mL 분주 후 FRAP 시약 0.95 mL을 첨가하여 37℃에서 15분 동안 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여

흡광도 590 nm에서 측정하였다. 양성 대조군으로는 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 를 표준 물질로 사용하였으며, 일련의 농도로 측정된 값으로 도출된 계산식에 대입하였다.

■ **소화효소 저해 활성:**

- **α -Glucosidase 저해 활성:** 시험관에 시료 추출액 30 μL 분주 후 200 mM 인산나트륨 완충액(pH 6.8) 50 μL 와 0.5 U/mL α -glucosidase 효소액 70 μL 첨가하여 항온수조에서 37°C에서 10분 동안 예비반응 후 10 mM p-nitrophenol- α -D-glucopyranoside 100 μL 첨가하여 항온수조에서 37°C에서 10분 동안 반응시킨 후 100 mM Na_2CO_3 750 μL 을 첨가하여 반응을 정지시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420 nm에서 측정함. 음성대조구는 시료 대신에 추출용매를 취하였다.

- **췌장 lipase 저해 활성:** 시험관에 시료 추출액 30 μL 분주 후 200 mM 인산나트륨 완충액(pH 6.8) 50 μL 와 0.5 U/mL pancreatic lipase 효소액 70 μL 첨가하여 항온수조에서 37°C에서 10분 동안 예비반응 후 10 mM p-nitrophenyl butyrate 100 μL 첨가하여 항온수조에서 37°C에서 10분 동안 반응시킨 후 100 mM Na_2CO_3 750 μL 을 첨가하여 반응을 정지시킨 후 분광광도계를 이용하여 흡광도 420 nm에서 측정함. 음성대조구는 시료 대신에 추출용매를 취하였음. 모든 소화효소 저해 활성은 실험구와 음성대조구의 흡광도 차이를 %로 나타내었으며 아래와 같은 식에 의해 산출하였다.

$$\text{소화효소 저해 활성(\%)} = [1 - (\text{실험구 흡광도 값} / \text{음성대조구 흡광도 값})] \times 100$$

■ **DNA 보호효과 분석:** 분석을 위해 1X TE buffer(10 mM Tris-Cl 및 1 mM EDTA) 이용하여 분리한 SK+ vector plasmid DNA 및 Fenton's 시약(100 mM H_2O_2 , 0.1 mM acetic acid 및 1.6 mM FeCl_3)을 준비. 실험구는 시료 농축액 10 μL + DNA 2 μL + Fenton's 시약 8 μL , 음성 대조구 실험은 DNA 2 μL + 증류수 18 μL , 양성 대조구는 DNA 2 μL + 시료추출용매 10 μL + Fenton's 시약 8 μL 을 혼합하여 30°C에서 1시간 동안 반응시킨 후 반응 액에 6X dye 5 μL 첨가하여 1.2% 아가로오스 겔에 10 μL 씩 분주하였고 size mark는 4 μL 분주하여 50V 조건으로 1시간 20분간 전기 영동하여 확인하였다.

○ **새싹 도라지 일반 대사체 분석:**

■ **유도체화:** 시료의 GC-MS 분석을 위해 분쇄된 시료는 80% methanol을 사용하여 25 mg/800 μL 농도로 blender를 이용하여 추출하였다. 추출물은 12,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상등액 20 μL 을 speed vac을 이용하여 건조하고 건조된 샘플은 hydroxymethoxy amine을 70 μL 넣어 37°C에서 90분간 반응 후 N,O-비스(트리메틸실릴)트리플루오로아세트아미드(BSTFA) 70 μL 첨가한 후 70°C에서 30분간 유도체화 반응을 시켰다. 반응물은 12,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상등액을 이용하여 GC/MS 분석을 진행하였다.

■ **GC-MS 분석:** 유도체화된 추출물은 DB-5 모세관 컬럼(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm , Agilent J-W, Santa Clara, CA, USA)이 제공된 gas chromatography mass (Shimadzu GC-2010 plus, Tokyo, Japan)를 사용하여 주입량 1 μL 로 분석을 진행하였다. 운반 가스는 헬륨을 사용하여 1 mL/min의 유속으로 진행하였으며, 주입 온도는 200°C로 설정하였다. 오븐 온도는 초기 70°C로 2분간 유지시켜 70°C에서 210°C까지 7°C/min로 속도로 설정, 이후 210°C에서 320°C까지 10°C/min의 속도로 설정하였으며 320°C 도달 후 7분간 유지시켰다. GC 컬럼 유출물은 Shimadzu GC-MS-TQ 8030 질량 분석기(Tokyo, Japan)로 검출되

었습니다. MS 조건은 Q3 스캔모드에서 소스와 인터페이스의 온도는 각각 230 및 280°C이며 검출 전압 0.1 kV, 이벤트 시간이 0.03초 및 15 eV로 모니터링하였다.

○ **새싹도라지 기능성 대사체 분석:** Functional metabolites 분석은 내부표준 물질로 테르페나딘 (terfenadine)를 포함한 80% methanol에 시료를 시료 20 mg/800 µL 농도로 추출 후 UPLC-Q-TOF MS (Xevo G2-S, Waters, Milford, MA, USA)와 UPLC-Q-TOF MS (Vion, Waters, Milford, MA, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석에 사용된 column은 Waters 사의 ACQUITY BEH C18 컬럼(100 x 2.1 mm, 1.7 µm; waters Corp.)을 사용하였다. LC 조건은 시료 주입량 1µL, 이동상은 (A) 0.1% formic acid in H₂O, (B) 0.1% formic acid in CH₃CN을 사용하였으며, 유속은 0.35 mL/min으로 설정하였다. 질량 분석기의 이온화 방식은 전기분무이온화(electrospray ionization, ESI)법을 사용하여 positive 이온화 모드에서 측정하였다. Capillary voltage는 3 kV이고, 시료 cone 전압은 30 V, desolvation gas 유속은 800 L/h, Lock mass는 Leucine-enkephalin (556.2771 Da), Cone gas 유속은 30 L/h로 설정하였다. Desolvation temperature는 400°C이며, source temperature는 100°C로 설정함. 질량분석 데이터는 스캔 시간이 0.2 sec인 m/z 50-1500 범위에서 측정하였고, MS/MS 조건은 collision energy ramp는 10-40 eV로 설정하였고 측정하였다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1차년도

1) 식물공장 제작

○ 스마트팜 큐브 제작

■ 자연채광 활용 가능 식물공장인 채광형 스마트팜 큐브: 천장을 포함한 벽면을 빛이 투과 가능한 소재로 변경하여 자연채광을 최대한 활용할 수 있는 스마트팜 큐브를 제작하였다. 다단의 선반을 활용하게 되고 기존의 고정형 선반일 때 선반 안쪽, 즉 벽면 쪽으로는 작업의 어려움이 있어 내부 선반에 레일 및 이동 가능한 바퀴를 달아 선반을 양옆으로 이동시켜 작업의 효율성을 높였다. 여름에 과도한 빛의 투과와 그로 인한 열로 에너지 사용량이 커 개폐가능한 차광막을 설치하여 이를 방지하였다. 이로 인해 일조량의 조절도 가능하고, 작물의 적정온도를 맞추기 위해 사용되는 냉난방기의 온도 컨트롤이 편이해져 보다 다양한 작물의 재배가 가능할 것으로 예상된다(Figure 39).



Figure 39. 자연채광을 활용 가능한 채광형 스마트팜 큐브

■ 태양광 연계 음지형 스마트팜 큐브: 새싹삼과 같은 약용작물의 재배가 가능한 음지형 스마트팜 큐브에 태양광 패널을 설치하여 생산된 전기를 사용하여 에너지 사용량을 줄일 수 있는 스마트팜 솔라 큐브를 제작하였다(Figure 40). 8평 스마트팜 큐브 외부에서 전력 생산량을 최대한으로 올리기 위해 천장과 벽면에 태양광 패널을 설치하여 최대 9 kWh의 전력을 생산할 수 있게 하였다. 휴대폰 앱을 통한 총 생산량, 당일 생산량 등을 확인할 수 있고, 전압계를 통해 일반 전기의 사용량과 태양광으로 생성된 사용량 모두 확인 가능하도록 설계하여 실증 운행중에 있다. 패널을 통해 발전된 전력은 인버터를 통해 AC로 전환되어 내부의 LED, 냉방시설, 환기시설 등에 공급되는 시스템으로 외부와의 환경의 차단율이 높은 음지형으로써 전력사용량이 적은편이다. 이로인해 발전량이 사용량에 비해 높게 나타나고 있으며, 기존 계획대로라면 한전에 매전되어 수익을 창출하는 목표였으나, 그리드형의 인허가로 인해 현재는 메인 계량기에 역으로 전력이 들어가 전력 사용량을 감소하는 형태로 하여 수익률을 판단하고 있다. 이러한 데이터를 기반으로 음지형의 경우 전기가 들어오지 않는 곳에서도 자가 발전으로만 사용이 가능하다고 판단되며, 수개월간 더 데이터를 분석하여 사업화, 제품화를 추진할 예정이다. 현재 음지형 스마트 솔라 큐브의 경우 전력생산량이 소비량 보다 많음으로 이를 ESS 저장장치에 저장하여 전력이 필요한 다른 곳에 사용이 가능할 것이라 판단하여 추후 소형 ESS 저장장치를 설치하여 제품화를 추진할 예정이다.



Figure 40. 음지형 스마트팜 솔라 큐브

2) 새싹작물 재배기술 최적화

○ 새싹작물의 Screening

- 새싹 작물-약용 식물 중점 Screening: 종자 수급이 용이하며, 기존에 알려진 약용/야생 작물들을 선정하였다 (Figure 41).









			
감초 (<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fischer)	식방풍 (<i>Peucedanum japonicum</i> Thunberg)	참당귀 (<i>Angelica gigas</i> NAKAI)	만삼 (<i>Codonopsis pilosula</i>)
			
익모초 (<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.)	자초 (<i>Lithospermum erythrorhizon</i> S. et Z)	디기탈리스 (<i>Digitalis purpurea</i>)	구절초 (<i>Dendranthema zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>)

Figure 41. 스마트팜 큐브용 작물 선별(8종)

■ 새싹 작물별 종자 발아 실험: 다음 표 2는 작물별 종자 발아 실험에 나온 고찰들을 나타낸다. 결과적으로 각 작물별 종자 발아 특성이 다르기 때문에 작물별 배지/온도/광조건을 계절별, 태양광 수준별로 구분하여 생산할 필요가 있을 것으로 판단된다 (Table 7).

Table 7. 본 연구에서 사용된 작물별 종자 발아 특성

작물명	실험 내용
감초	-25℃ 광발아 / 오아시스 1. 오아시스 파종, 2. 플러그에 토양 파종. 25℃ 광발아함. 오아시스에서 더 발아가 빠르고 일정하게 발아됨. 키우는 기간 동안 본엽까지 나옴.
구절초	-20℃ 광발아 / 상토(미세종자-복토 필요) 미세종자로 큰 플러그에 토양을 담아서 씨 뿌리고 복토함. 20℃ 광발아함. 키우는 기간동안 본엽까지 나옴.
참당귀	- 1차 실험 : 새싹통에 (수돗물) 3일 침지 후 냉동 보관 1일 > 상토 파종, 상토 파종(복토), 암면, 스펀지에 파종 (트레이 총 3개) > 20℃ 광조건 > 발아되지 않음 - 2차 실험 : 전처리가 잘못되었다 판단하여, 전처리 없이 바로 파종 실시 상토 파종 (복토), 오아시스 파종 (트레이 총 2개) > 20℃ 광조건 > 7d 최초 발아
디기탈리스	- 전처리 없이 바로 파종

	- 1구당 2립씩 상토 파종 (복토 X), 암면에 파종 > 20℃ 광조건 > 11d 최초 발아
만삼	- 1구당 2립씩 오아시스, TP배지를 2트레이 나눠서 파종(광,암) - 관수는 하루에 한번 관수하였고 발아 한 뒤에는 양액 공급 - 결과: 만삼은 20℃ 암발아, 광발아 종자.
익모초	-1차 실험 :새싹통에 (수돗물) 3일 침지 후 냉동 보관 1일 -> 암면, 스펀지에 파종 (트레이 총 1개)> 20℃ 광조건,암조건 > 발아되지 않음 - 2차 실험 : 전처리가 잘못되었다 판단하여, 전처리 없이 바로 파종 실시 - 1구당 2립씩 오아시스,TP배지를 2트레이 나눠서 파종(광,암) - 관수는 하루에 한번 관수하였고 발아 한 뒤에는 양액 공급 - 결과: 만삼은 20℃ 암발아,광발아 종자.
자초	-1. 오아시스 파종, 2. 플러그에 토양 파종. 15℃ 암발아 조건에서 발아 하였으며 오아시스와 플러그 균일하게 발아하였으며 성장속도도 균일함
식방풍	-1. 오아시스 파종, 2. 플러그에 토양 파종. 15℃ 암발아 조건에서 발아 하였으며 오아시스와 플러그 균일하게 발아하였으며 성장속도도 균일함

Table 8. 본 연구에서 사용된 작물별 종자 발아 특성

작물명	광 조건*	온도	발아소요 일수	배지	비고
감초	○	25℃	12	오아시스 > 상토	
구절초	○	20℃	14	상토	
참당귀	○	20℃	7(발아 거의 안됨)	오아시스 > 상토	진행중
디기탈리스	○	20℃	11	상토 < 암면	
만삼	△	20℃	8	오아시스>TP배지	
익모초	△	20℃	8	오아시스>TP배지	
자초	×	15℃	-	오아시스,상토	발아가 안됨
식방풍	×	15℃		오아시스>상토	

*광 조건: ○(광발아), ×(암발아), △(상관없음)

○ 새싹작물의 생산을 위한 적정 재배방식 선정:

■ 새싹 도라지의 온도별 토양과 수경 재배: 새싹 도라지를 토양 재배와 수경재배로 17일간 재배하여 전체적인 온도별 생육을 보였다 (Figure 42 & 43). 지상부 생체중 및 건물중에서 토경과 수경재배 및 온도별 차이는 수경재배 25℃에서 유의적으로 높았다(토경재배 대비 각각 1.29 및 1.58배, (Figure 44). 전반적으로 지상부 건물중에서 수경재배 25℃가 가장 높았다. 한편, 지하부 생체중 및 건물중에서는 재배 형태 및 온도에 따른 통계적 차이를 보이지 않았다(Figure 45). 초장 역시 재배 형태 및 온도별 모든 처리구에서 수경재배에서 높았으며(토경재배 대비 각각 1.84배, 1.38배, 1.85배 및 1.48배, Figure 46), 전반적으로 수경재배 25℃에서 가장 높았다. 지상부 새싹 도라지에서 재배 형태에 따른 사포닌 함량은 수경재배가 높게 나타났으며(토경재배 대비 4.37배, 3.34배, 2.78배, (Table 9), 수경재배 20℃에서 가장 높았다. 지하부 새싹 도라지에서 사포닌 함량은 토경, 수경재배 20℃에서 높게 나타났다(Table 10). 지상부 및 지하부 새싹 도라지에서 사포닌 함량은 토경 재배에 비해 수경재배에서 높게 나타났으며(Figure 47). 수경재

배 20°C에서 가장 높았다. 따라서, 본 연구 결과 새싹 도라지의 생산 가능성을 확인하였으며, 재배방식별 온도에 따른 영향이 큰 것으로 판단되어 추가적 실험 수행으로 대량생산 체계를 구축할 예정이다.

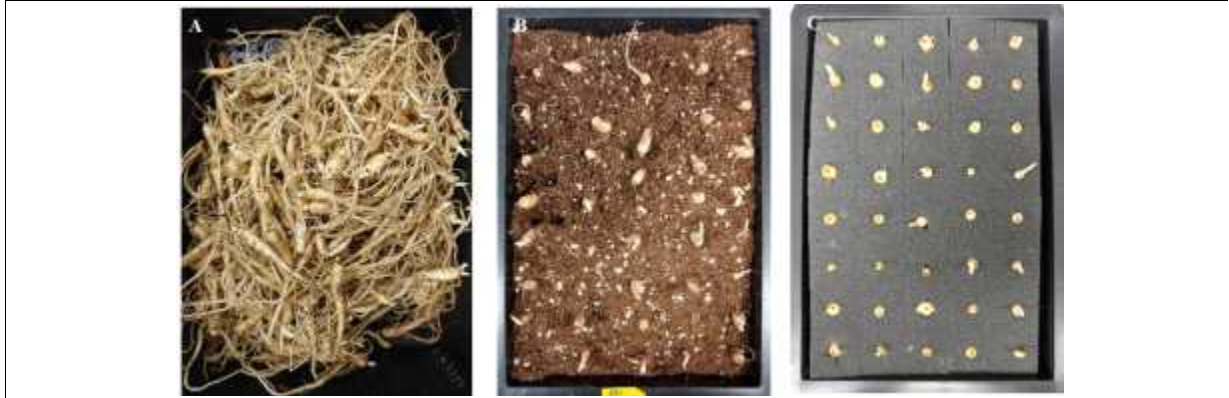


Figure 42. *Platycodon grandiflorum* 정식 전 (A), 상토 & 정식 후 (B) (C) 수경재배.

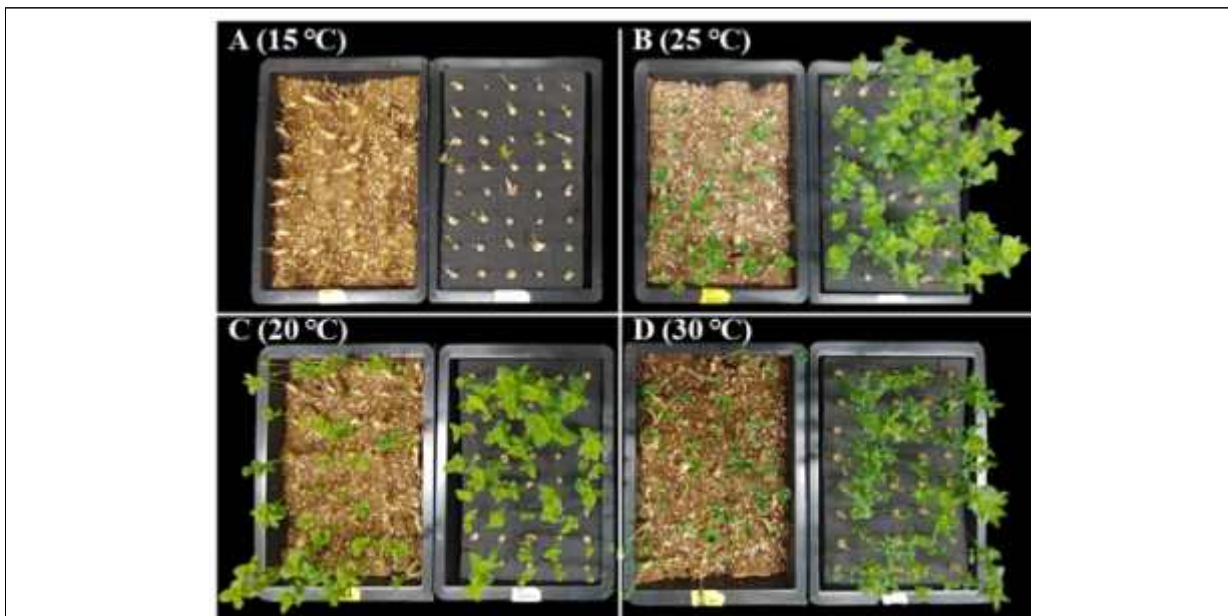


Figure 43. *Platycodon grandiflorum* 정식 후 토경 및 수경 재배에 따라 온도에 따른 17일 성장

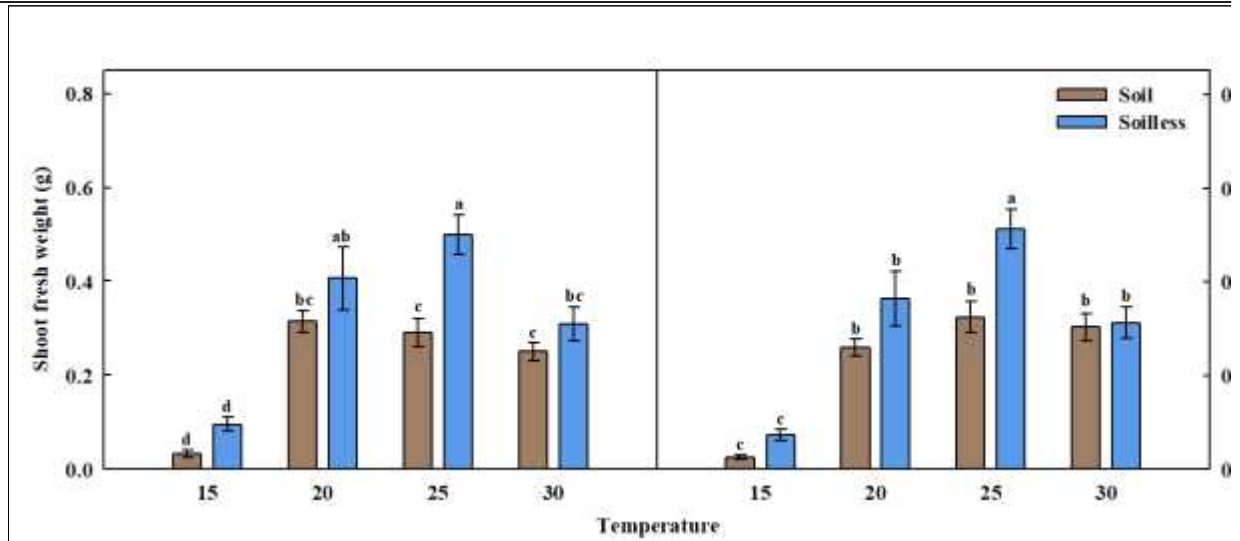


Figure 44. 생 (A), 건조 (B); *Platycodon grandiflorum* 정식 후 토경 및 수경 재배에 따라 온도에 따른 17일 후 생체중 및 건물중에서 길이 및 무게 비교. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ ($n=10$).

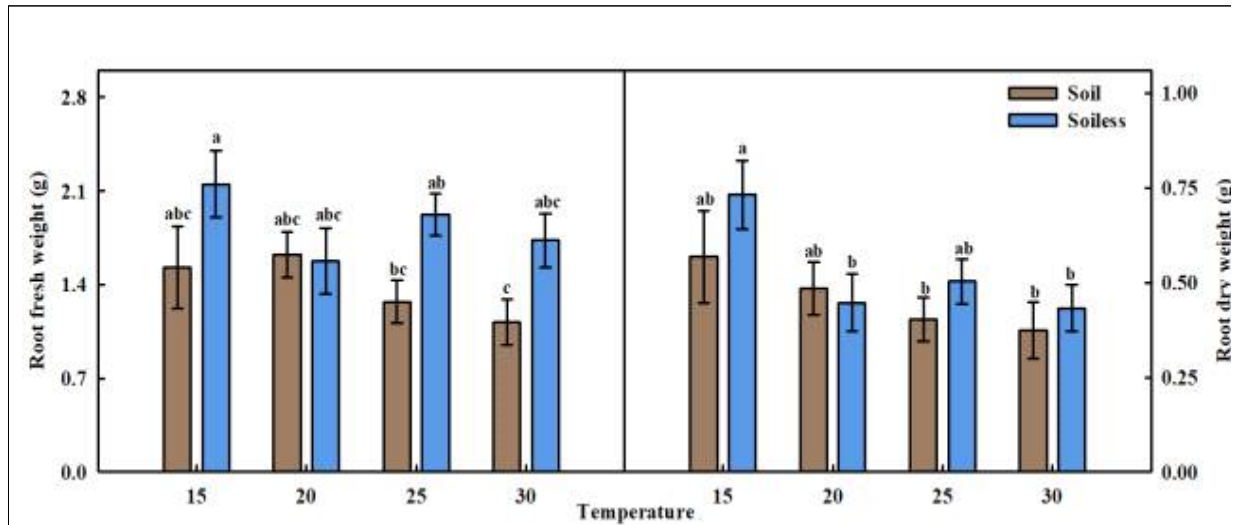


Figure 45. 생 (A), 건조 (B); *Platycodon grandiflorum* 정식 후 토경 및 수경 재배에 따라 온도에 따른 17일 후 뿌리 성장 후 길이 및 무게 비교. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ ($n=10$).

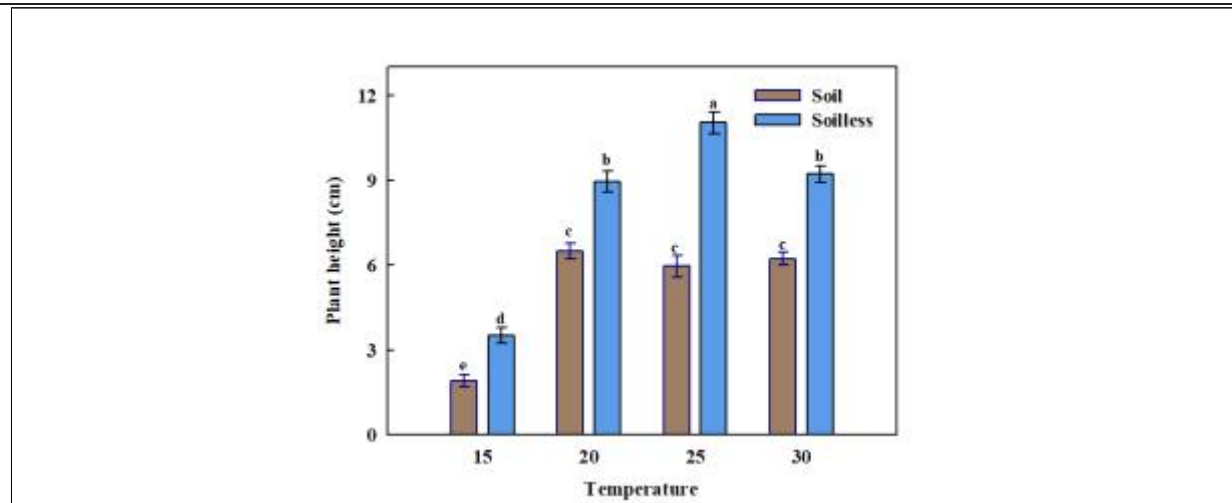


Figure 46. 생 (A), 건조 (B); *Platycodon grandiflorum* 정식 후 토경 및 수경 재배에 따라 온도에 따른 17일 후 전반적인 성장 후 길이 및 무게 비교. Different letters indicate significant difference at $p < 0.05$ ($n=10$).

Table 9. Balloon flower의 토경 및 수경 재배에 따라 17일 성장 후 온도에 따른 사포닌 함량 비교($n=10$).

Culture	°C	Saponin (Shoot; mg/g dw.)			
		Pd-D3 ^z	Dpd-D	Pc-D	Total
Soil	20	0.65 ± 0.05 d ^y	0.04 ± 0.01 c	2.04 ± 0.01 c	2.72 ± 0.05 c
	25	0.18 ± 0.02 e	0.65 ± 0.02 b	1.17 ± 0.04 e	1.99 ± 0.06 d
	30	0.13 ± 0.02 e	0.21 ± 0.01 c	0.72 ± 0.01 f	1.04 ± 0.02 e
Soilless	20	6.00 ± 0.17 a	0.90 ± 0.01 ab	3.03 ± 0.09 a	9.92 ± 0.11 a
	25	2.81 ± 0.02 b	1.21 ± 0.28 a	2.63 ± 0.11 b	6.64 ± 0.38 b
	30	1.28 ± 0.07 c	0.08 ± 0.01 c	1.54 ± 0.01 d	2.89 ± 0.07 c
Significance ^x					
Culture (C)		***	***	***	***
Temperature (T)		***	***	***	***
C × T		***	**	***	***

^z Pd-D3: Platycodin D3, Dpd-D: Deapioplatycodin D, Pc-D: Polygalcin D.

^y Different letters within columns indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by Duncan ($n=10$).

^x NS = non-significant; *, **, and *** = significant at $p < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

Table 10. Balloon flower 뿌리의 토경 및 수경 재배에 따라 17일 성장 후 온도에 따른 사포닌 함량 비교($n=10$).

Culture	°C	Saponin (Root; mg/g dw.)			
		Pd-D3 ^z	Dpd-D	Pc-D	Total
Soil	20	0.75 ± 0.09 cd ^y	0.62 ± 0.05 c	5.03 ± 0.10 a	6.38 ± 0.07 c

	25	0.54 ± 0.27	de	0.46 ± 0.26	c	4.48 ± 0.05	b	5.47 ± 0.49	c	
	30	0.21 ± 0.01	e	0.50 ± 0.02	c	3.15 ± 0.01	d	3.85 ± 0.03	d	
Soilless	20	1.22 ± 0.03	ab	1.98 ± 0.06	b	4.44 ± 0.10	b	7.63 ± 0.17	b	
	25	1.55 ± 0.07	a	2.72 ± 0.51	b	3.96 ± 0.02	c	8.22 ± 0.43	b	
	30	0.97 ± 0.06	bc	6.59 ± 0.29	a	4.47 ± 0.02	b	12.02 ± 0.25	a	
Significance ^x										
Culture (C)		***			***			NS		***
Temperature (T)		**			***			***		**
C × T		NS			***			***		***

^z Pd-D3: Platycodin D3, Dpd-D: Deapioplatycodin D, Pc-D: Polygalcin D.

^y Different letters within columns indicate significant differences at $p \leq 0.05$ by Duncan ($n=10$).

^x NS = non-significant; *, **, and *** = significant at $p < 0.05, 0.01, \text{ and } 0.001$, respectively.

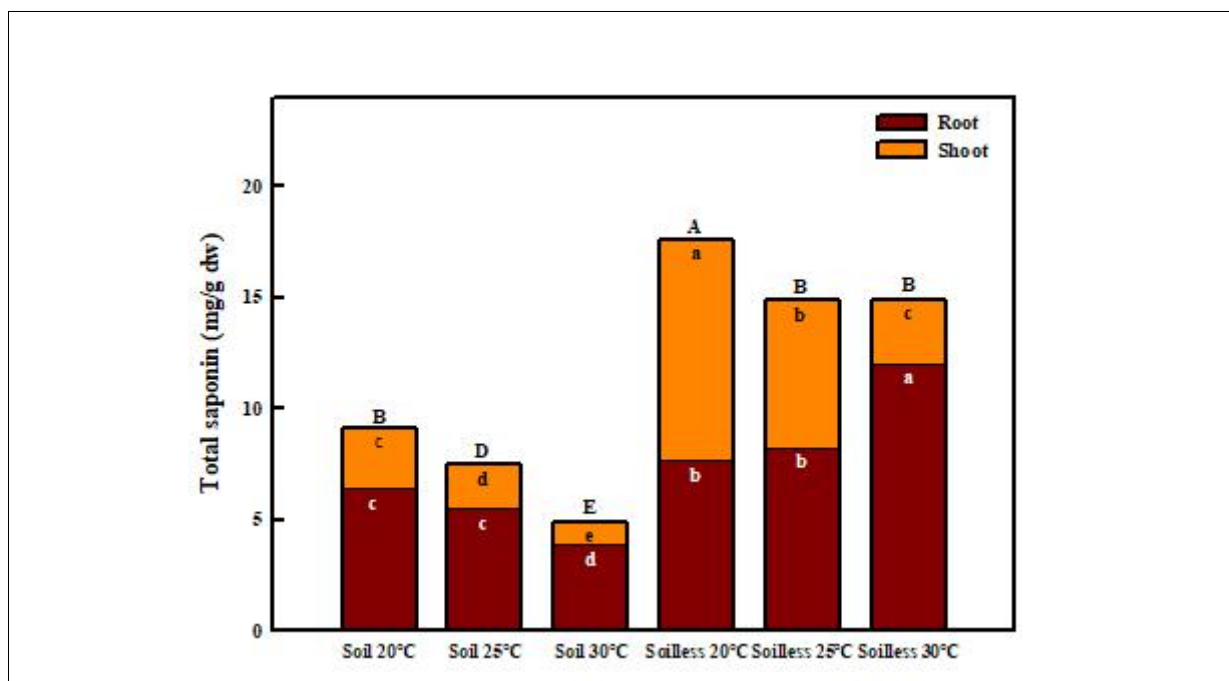


Figure 47. Balloon flower의 토경 및 수경 재배에 따라 17일 성장 후 뿌리 및 줄기의 사포닌 함량 비교($n=10$).

3) 상토 적용을 위한 미생물 제제 후보군 선정

○ 노지재배와 식물공장(스마트-대사체 챔베) 재배 콩 식물체의 비교·분석

■ 식물성장 LEDs의 광 조건(광원과 광량)에서 고 isoflavone 콩 식물체 생산 비교:

- 콩 식물체 생산 및 에틸렌 처리: 스마트팜 큐브(smart farm cube) 재질은 철 판넬로 제작할 수 있으며, 크기는 가로 × 세로 × 높이는 8 m × 3 m × 3 m 이다. 스마트팜 큐브는 1. 조절 장치, 햇빛과 같은 역할을 하는 적색과 청색, 백색 광원의 식물 성장용 LED 광원으로 재배환경에 맞게 조절 가능한 LED 조명 시설, 2. 외부 온도와 습도에 맞춰 축적된 데이터 프로그램을 활용해 온도 및 습도 조절 가능한 냉방 및 난방 시설, 3. 자동으로 원하는 때에 원하는 시간만큼 물을 주고 쉽고 간편하게 사용이 가능한 관수 시설, 4. 환기를 통해 산소는 멀리 이동하고 광합성에 필요한 탄산가스가 기공으로 오게 하

는 역할을 하는 환기 시설, 5. 온도, 습도 및 환기 등을 원격으로 자동제어 및 6. 모바일로 원격 생육환경을 조절하며 빅데이터 활용 작물 생육 정보 분석 장치로 구성되어 있으며, 추가적으로 에틸렌 가스처리 장치로 구성되어 있다(Figure 48). 한편, 상기 재료 및 방법의 Table 1과 Table 2로 설계된 광질과 광량 조건 및 스마트팜 큐브에서 약 30일간 콩 식물체를 생육시킨 후 대사체 챔버에서 에틸렌을 처리한 결과 Figure 14와 같았다. 콩 생육의 차이도 있었으며, 에틸렌 처리 후 하단부의 콩잎은 노란색으로 변화는 모습을 관찰할 수 있었다.

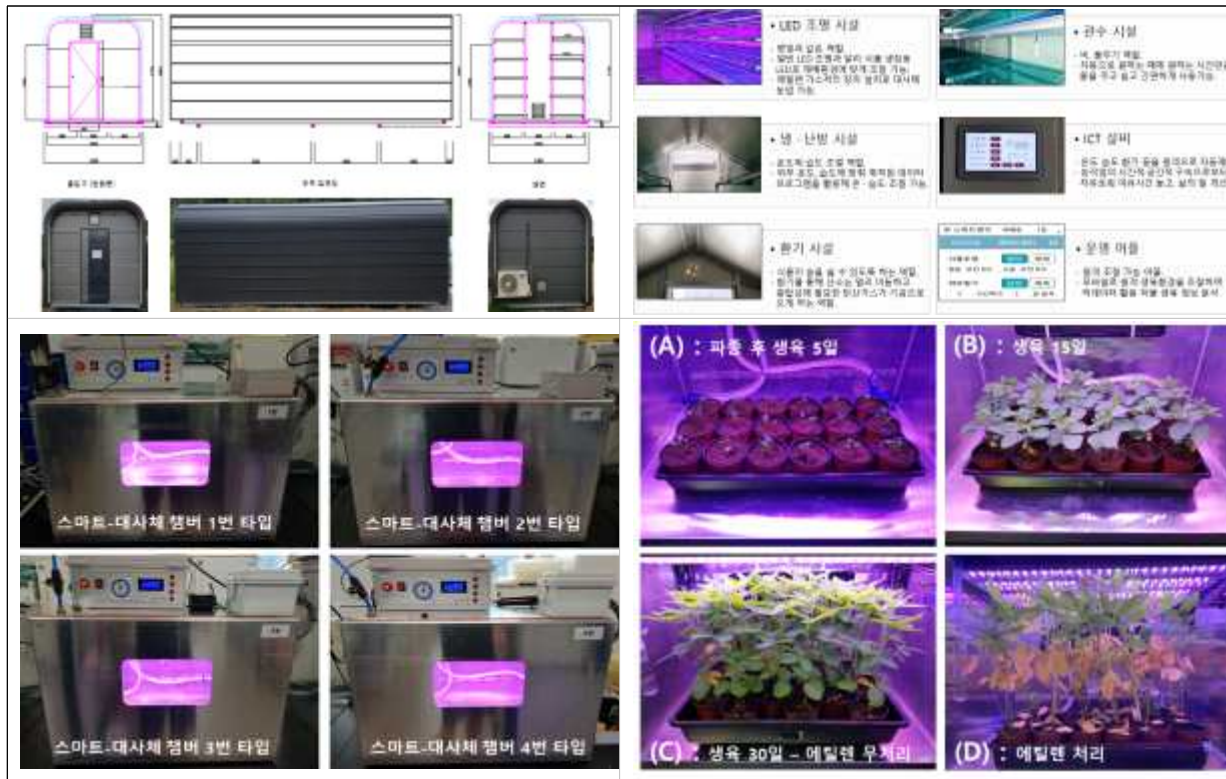


Figure 48. 대사체 가능 식물공장 평면도 및 구성내용.

■ **Isolflavones 유도체 확인:** 식물공장에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리하지 않은 콩 식물체의 isoflavone 유도체 함량이 거의 낮으나, 에틸렌을 처리한 콩 식물체의 경우 4종 혹은 6종의 isoflavone 유도체가 현저히 축적됨을 확인할 수 있으며, 또한 발(노지)에 콩 파종 후 60일 정도 생육시키고 챔버에서 에틸렌을 처리한 콩 식물체보다 4종 혹은 6종의 isoflavone 유도체가 증가하였다(Figure 49). 식물공장에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리하지 않은 콩 잎은 isoflavone 유도체 피크가 낮으나, 식물공장에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩잎은 6종의 isoflavone 유도체가 현저히 증가됨을 확인할 수 있었고 노지에 콩 파종 후 60일 정도 생육시키고 챔버에서 에틸렌을 처리한 콩잎 보다도 증가됨을 확인할 수 있었다. 또한, 식물공장에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리하지 않은 콩 줄기는 isoflavone 유도체 피크가 낮으나, 에틸렌을 처리한 콩 줄기는 6종의 isoflavone 유도체가 현저히 증가됨을 확인할 수 있었고 노지에 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩 줄기 (Figure 15B)보다도 증가됨을 확인할 수 있었다. 끝으로, 식물공장에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩 뿌리에서는 4종의 isoflavone 유도체(다이드진, 제니스틴, 말로닐 다이드진 및 말로닐 제니스틴)이 에틸렌을 처리하지 않은 콩 뿌리 보다 증가됨을 확인하였으며,

또한 밭(노지)에 콩 파종 후 60일 정도 생육시키고 챔버에서 에틸렌을 처리한 콩 뿌리보다는 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩 뿌리에서는 종의 4종의 isoflavone 유도체(daidzin, malonyldaidzin, daidzein 및 genistein) 현저히 증가하였다.

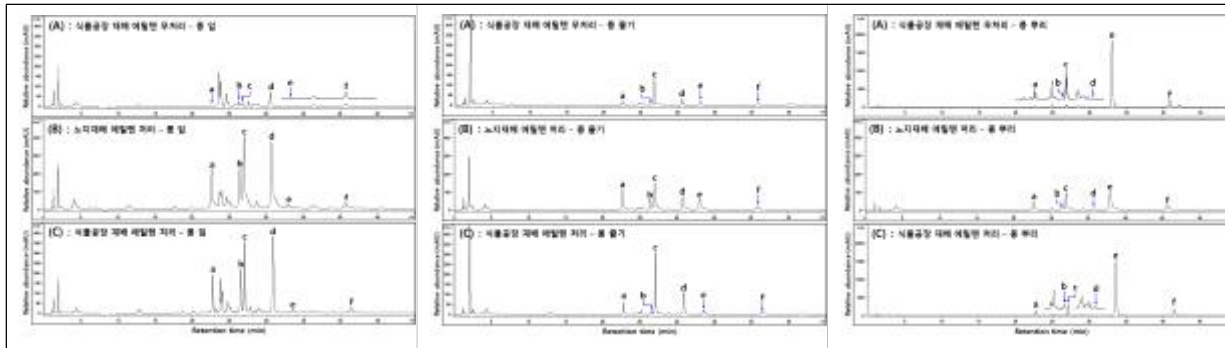


Figure 49. 노지 재배와 식물공장 재배 콩 식물체의 isoflavone HPLC 크로마토그램.

Figure 50의 피크 a의 질량분석 스펙트럼에서 $M+H]^+$ 는 415.0 (이론치 분자량: 416.3)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 daidzin의 원소 구성과 일치하는 $C_{21}H_{21}O_9$ 임을 확인하였다. 피크 a는 참고문헌(J. Agric. Food Chem. 2016, 64, 7315–7324)에 나타난 daidzin과 일치하는바, daidzin으로 동정하였다. **Figure 50**의 피크 b의 질량분석 스펙트럼에서 $[M+H]^+$ 는 431.1 (이론치 분자량: 432.3)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 genistin의 원소 구성과 일치하는 $C_{21}H_{21}O_{10}$ 임을 확인하였다. 피크 a는 참고문헌(J. Agric. Food Chem. 2016, 64, 7315–7324)에 나타난 genistin과 일치하는바, genistin으로 동정하였다. **Figure 50**의 피크 c의 질량분석 스펙트럼에서 $M+H]^+$ 는 501.4 (이론치 분자량: 502.4)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 malonyldadzin의 원소 구성과 일치하는 $C_{24}H_{23}O_{12}$ 임을 확인하였다. 피크 c는 참고문헌(J. Agric. Food Chem. 2016, 64, 7315–7324)에 나타난 malonyldadzin과 일치하는바, malonyldadzin으로 동정하였다. **Figure 50**의 피크 d의 질량분석 스펙트럼에서 $M+H]^+$ 는 517.1 (이론치 분자량: 518.4)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 malonylgenistin의 원소 구성과 일치하는 $C_{24}H_{23}O_{13}$ 임을 확인하였다. 피크 a는 참고문헌(J. Agric. Food Chem. 2016, 64, 7315–7324)에 나타난 malonylgenistin과 일치하는바, malonylgenistin으로 동정하였다. **Figure 50**의 피크 e의 질량분석 스펙트럼에서 $M+H]^+$ 는 253.1 (이론치 분자량: 254.2)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 daidzein의 원소 구성과 일치하는 $C_{15}H_{10}O_4$ 임을 확인하였다. 피크 c는 참고문헌(Food Chem. 2020, 305, 125462)에 나타난 daidzein과 일치하는바, daidzein으로 동정하였다. **Figure 50**의 피크 f의 질량분석 스펙트럼에서 $M+H]^+$ 는 269.0 (이론치 분자량: 270.4)로 나타났다. 이로부터 원소 조성이 genistein의 원소 구성과 일치하는 $C_{15}H_{10}O_5$ 임을 확인하였다. 피크 a는 참고문헌(Food Chem. 2020, 305, 125462)에 나타난 genistein과 일치하는바, genistein으로 동정하였다.

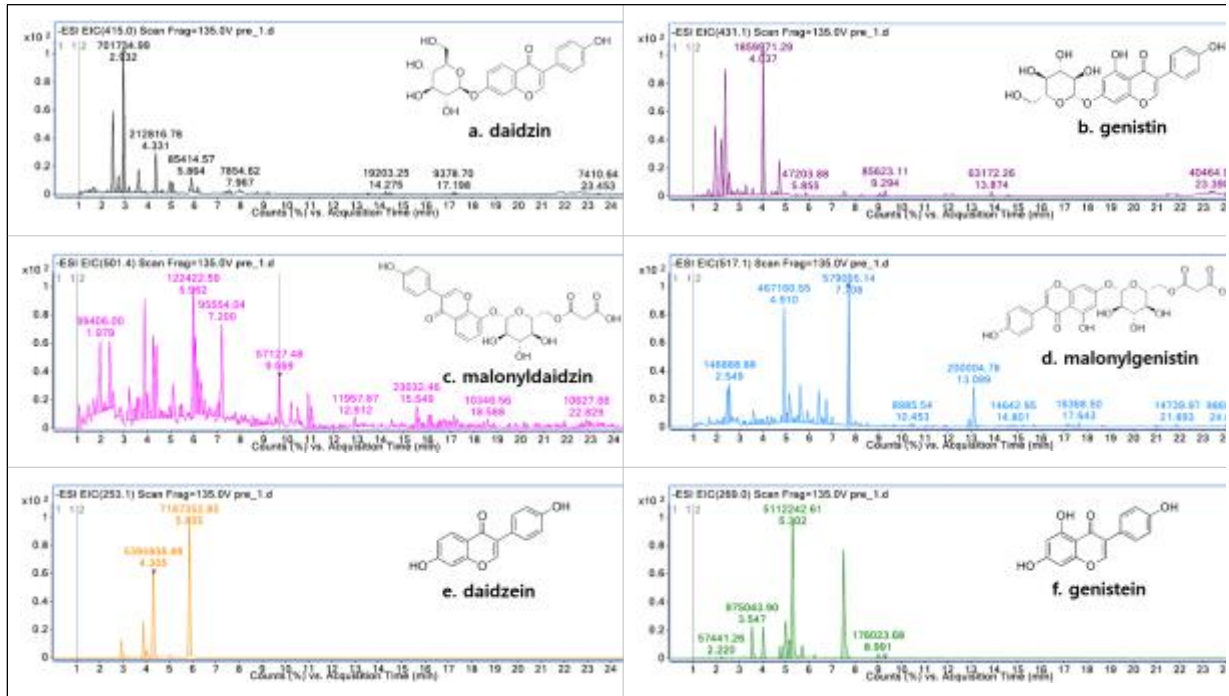


Figure 50. UPLC-ESI-TOF/MS 크로마토그램 및 6종의 isoflavone 유도체 화학구조식.

■ **Isoflavones 함량 비교:** 식물공장에서 생육하여 에틸렌을 처리한 콩 식물체의 각각의 이소플라본 유도체 함량 및 총량을 살펴본 결과 Table 6와 같다. 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩잎의 경우 daidzin은 1550.28 $\mu\text{g/g}$, 제니스틴은 1449.34 $\mu\text{g/g}$, malonyldaidzin은 2692.37 $\mu\text{g/g}$ 및 malonylgenistin은 3200.12 $\mu\text{g/g}$ 으로 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리하지 않은 콩잎보다 각각 2.3배, 3.6배, 5.7배 및 2.9배 증가하였고, 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩 줄기의 경우 daidzin은 406.68 $\mu\text{g/g}$, genistin은 78.74 $\mu\text{g/g}$, malonyldaidzin은 1827.62 $\mu\text{g/g}$ 및 malonylgenistin은 812.52 $\mu\text{g/g}$ 으로 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리하지 않은 콩 줄기보다 각각 2.2배, 7.2배, 2.4배 및 3.4배 증가하였다. 한편, 에틸렌을 처리한 콩 뿌리의 경우 daidzin은 868.85 $\mu\text{g/g}$, genistin은 43.79 $\mu\text{g/g}$ 및 malonyldaidzin은 1908.42 $\mu\text{g/g}$ 으로 에틸렌을 처리하지 않은 콩 뿌리보다 각각 2.2배, 7.2배 및 2.4배 증가하였다(표 7). 한편 발(노지)에 콩 파종 후 60일 정도 생육시키고 챔버에서 에틸렌을 처리한 콩잎보다 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩잎의 daidzin, genistin, malonylgenistin, daidzein 및 genistein은 각각 1.2배, 16배, 1.2배, 2.1배 및 1.5배 증가하였으며, 콩 줄기의 경우 malonyldaidzin과 malonylgenistin이 각각 2.1배와 1.5배 증가하였고, 특히, 콩 뿌리의 경우 daidzin, malonyldaidzin, daidzein 및 genistein이 각각 3.0배, 3.8배, 17.5배 및 8.6배로 현저히 증가하였다(Table 11). 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩 식물체의 총 isoflavone 함량은 도 12와 같다. 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩잎 및 콩 줄기의 총 isoflavone 함량은 각각 9595.99 $\mu\text{g/g}$ 및 3311.91 $\mu\text{g/g}$ 에틸렌을 처리하지 않은 콩잎 및 콩 줄기보다 2.9배 및 2.5배로 현저히 증가하였으나, 에틸렌을 처리한 콩 뿌리는 약간 높았다(Figure 51). 한편 발(노지)에 콩 파종 후 60일

정도 생육시키고 챔버에서 에틸렌을 처리한 콩잎보다 스마트-대사체 챔버에서 생육시킨 후 에틸렌을 처리한 콩잎 및 콩 줄기의 총 isoflavone 함량은 각각 1.2배 높았으나, 콩 뿌리의 경우 8.0배로 현저히 높았다(Figure 51).

Table 11. 노지재배와 식물공장 재배 콩 식물체의 isoflavone 유도체 함량

Contents ¹⁾ (µg/g)	Untreatment of ethylene			Treatment of ethylene					
	Plant factory			Field			Plant factory		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Glycosides									
Daidzin (a)	683.16	185.11	220.24	1236.73	590.23	292.88	1,550.28	406.68	868.85
Genistin (b)	402.41	11.01	14.46	883.10	224.99	39.25	1,449.34	78.74	43.79
Total	1,085.57	196.12	234.7	2,119.82	815.22	332.13	2,999.62	485.42	912.64
Malony-glycosides									
Daidzin (c)	475.07	761.33	529.50	2,644.20	875.54	500.51	2,692.37	1,827.62	1,908.42
Genistin (d)	1,089.32	239.14	104.77	2,571.35	554.72	108.64	3,200.12	812.52	106.93
Total	1,564.39	1,000.47	634.27	5,215.55	1,430.25	609.15	5,892.49	2,640.14	2,015.35
Aglycones									
Daidzein (e)	431.79	107.83	9,645.31	220.91	349.24	483.16	452.76	138.30	8,467.71
Genistein (f)	206.11	27.15	822.96	167.18	72.43	86.29	251.12	48.05	743.74
Total	637.90	134.98	10,468.27	518.16	421.67	569.45	703.88	186.35	9,211.45

¹⁾All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾nd: not detected.

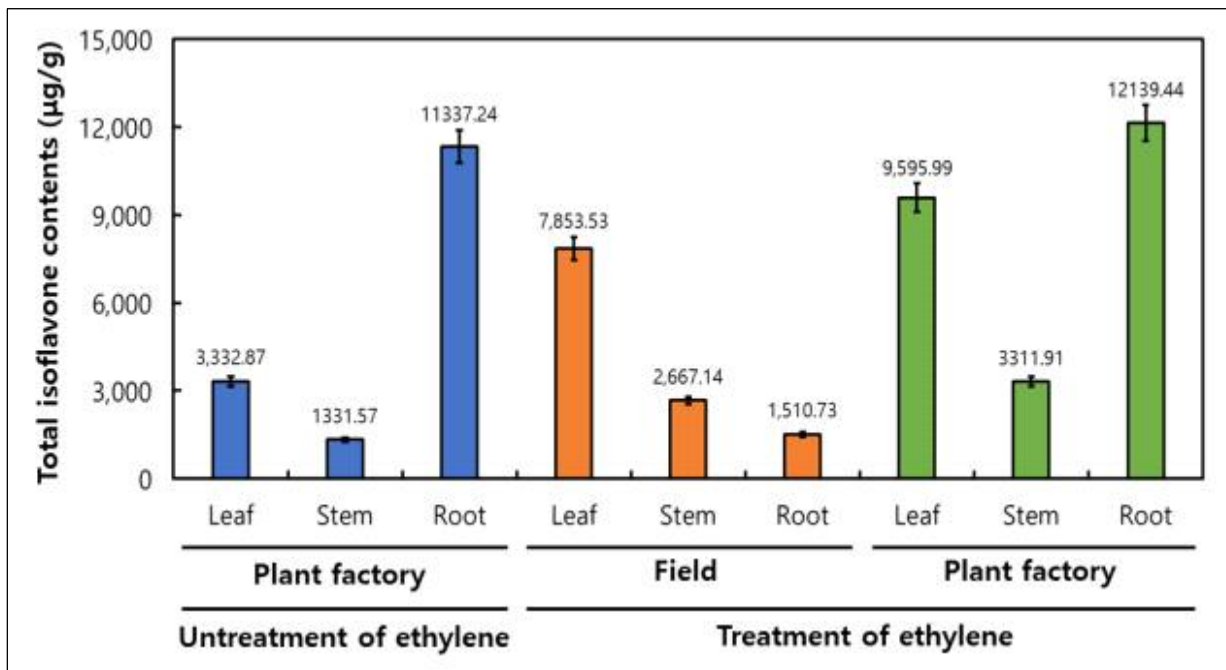


Figure 51. 노지재배와 식물공장 재배 콩 식물체의 총 isoflavone 함량.

○ 콩 토양과 뿌리로부터 근권미생물 확보 및 세포벽 분해효소 활성 확인

■ 콩 뿌리와 토양의 근권미생물 분포: 콩 뿌리, 재배토양으로부터 분리한 phytobiome 16S rRNA 염기서열 상동성 및 생균수는 Table 12, Table 13와 같았고, 콩 뿌리, 토양의 phytobiome 군집분석 결과는 Figure 52와 같았다. 콩 뿌리로부터 분리한 phytobiome은

총 28개의 미생물이 분리되었으며 SRR02인 *Microbacterium thalassium* JQZLG-1 균주의 수가 많았고, γ -*proteobacteria* 문이 46.3 %로 가장 많이 차지하고 있었다. 콩 재배토양으로부터 분리한 phytobiome은 총 36개의 미생물이 분리되었고, β -*proteobacteria* 문이 28.0 %로 가장 많이 차지하고 있으며, SSR13인 *Nocardioides nitrophenolicus* S303 균주의 수가 많았다.

Table 12. 콩 뿌리로부터 분리한 근권미생물 16S rRNA 염기서열 상동성 및 생균수

Isolates	Phylum	Result of NCBI search (Accession No.)	Identity (%)	Cell numbers (log cfu/g)
SRR01	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Chryseobacterium</i> sp. B20 (MH688786)	99	4.73
SRR02	<i>Actinobacteria</i>	<i>Microbacterium thalassium</i> JQZLG-1 (KF973240)	99	5.46
SRR03	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Raoultella ornithinolytica</i> RT1902 (MT568560)	99	4.93
SRR04	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas viridiflava</i> Atecer10B (MT386206)	100	3.57
SRR05	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> Pf29A (DQ473439)	99	3.57
SRR06	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> cqsH5 (MN826558)	99	4.45
SRR07	β - <i>Proteobacteria</i>	<i>Delftia acidovorans</i> IAE185 (MK414884)	99	5.96
SRR08	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Rhizobium</i> sp. R-31762 (AM403584)	100	4.57
SRR09	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Sphingobacterium</i> sp. M46 (MG696220)	99	4.55
SRR10	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Acinetobacter guillouiae</i> NDS2b (KX871891)	99	4.35
SRR11	β - <i>Proteobacteria</i>	<i>Delftia acidovorans</i> RAY209 (CP022656)	100	4.70
SRR12	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus</i> sp. P8(2014) (KJ604989)	99	5.52
SRR13	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Enterobacter</i> sp. LSRC69 (JF772075)	99	4.21
SRR14	γ - <i>Proteobacteria</i>	<i>Stenotrophomonas</i> sp. 816OP9 (MK757667)	99	5.52
SRR15	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pantoea agglomerans</i> 4GW7 (GU991862)	99	4.49
SRR16	<i>Actinobacteria</i>	<i>Microbacterium foliorum</i> MBT2 (JX966439)	99	5.19
SRR17	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Novosphingobium resinovorum</i> 3-6 (KP742347)	99	5.19
SRR18	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Novosphingobium pokkali</i> PKS58a (MW080538)	99	3.10
SRR24	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pantoea ananatis</i> DF-2 (JN613378)	99	3.10
SRR26	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Raoultella</i> sp. UIWRF0460 (KR189657)	99	4.80
SRR27	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas koreensis</i> Y5-11 (MH817853)	99	4.21
SRR28	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas putida</i> sXSH (MT075806)	99	3.10

¹⁾Accession number of the nearest relative. When more than one sequence had the same similarity value, only the accession number of the first sequence is given.

Table 13. 콩 토양으로부터 분리한 근권미생물 16S rRNA 염기서열 상동성 및 생균수

Isolates	Phylum	Result of NCBI search (Accession No.)	Identity (%)	Cell numbers (log cfu/g)
SSR01	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Flavobacterium cutihirudinis</i> DCY106 (KR338992)	99	5.57
SSR02	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Flectobacillus rhizosphaerae</i> sPeD7 (MN258894)	99	4.70
SSR03	<i>Actinobacteria</i>	<i>Paenarthrobacter nicotinovorans</i> MSSRF_2C50A (MG597201)	99	5.00
SSR04	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Massilia</i> sp. HKS24 (KT950758)	99	6.27
SSR05	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas putida</i> 96G25 (MT192475)	99	4.88
SSR06	<i>Actinobacteria</i>	<i>Arthrobacter</i> sp. HAR1 (MN081011)	100	5.24
SSR07	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Enterobacter cancerogenus</i> 5 (MF457488)	99	5.00
SSR08	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Novosphingobium capsulatum</i> zzx03 (KJ009428)	99	5.76
SSR09	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Acidovorax delafieldii</i> A3R07 (JQ689177)	99	5.10
SSR10	<i>Actinobacteria</i>	<i>Streptomyces griseoaurantiacus</i> BQAB-05d (FJ217193)	100	6.27
SSR11	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Rhodanobacter ginsenosidimitans</i> NBRC 106411 (AB682427)	99	6.08
SSR12	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Pantoea</i> sp. GNH-R4 (MT012251)	99	5.48
SSR13	<i>Actinobacteria</i>	<i>Nocardioides nitrophenolicus</i> S303 (MK431776)	99	6.88
SSR14	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Comamonas aquatica</i> CB26 (MT527532)	99	5.57
SSR15	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Pelomonas</i> sp. JD4003 (MT940993)	99	5.68
SSR16	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Flavobacterium</i> sp. 816OP8 (MK757666)	99	5.81
SSR17	<i>Actinobacteria</i>	<i>Microbacterium oxydans</i> AzoM7 (MK942422)	99	4.40
SSR18	<i>Actinobacteria</i>	<i>Herbiconiux</i> sp. SR5-11 (KF891411)	100	4.70
SSR19	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Chryseobacterium</i> sp. RU37D (MK095762)	98	4.40
SSR20	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Alcaligenes</i> sp. Ic4 (DQ421393)	99	4.40
SSR21	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Duganella</i> sp. SB1456 (MG491553)	99	4.40
SSR22	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus sonorensis</i> 1779 (MT597627)	99	4.40
SSR23	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Enterobacter</i> sp. 5112 (JX566614)	99	6.40
SSR24	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Asticcacaulis</i> sp. ECN-2008 (AM940946)	98	5.85

¹⁾Accession number of the nearest relative. When more than one sequence had the same similarity value, only the accession number of the first sequence is given.

Table 14. 콩 토양으로부터 분리한 근권미생물 16S rRNA 염기서열 상동성 및 생균수

Isolates	Phylum	Result of NCBI search (Accession No.)	Identity (%)	Cell number (log cfu/g)
SSR25	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Arachidicoccus ginsenosidivorans</i> Gsoil 809 (NR156832)	99	5.76
SSR26	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Burkholderia</i> sp. Br1-11 (KY908239)	99	6.19
SSR27	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Chryseobacterium</i> sp. CA10 (MK896290)	99	5.60
SSR28	<i>Actinobacteria</i>	<i>Oerskovia</i> sp. W29 (KY402240)	99	4.88
SSR29	<i>Actinobacteria</i>	<i>Microbacterium</i> sp. PX16a_S2 (JF274931)	99	4.70
SSR30	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Alcaligenes</i> sp. 'ESPY2 (A-III)' (EF205261)	99	5.81
SSR31	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Vogesella oryzae</i> L1E9 (KR363131)	99	4.70
SSR32	<i>Actinobacteria</i>	<i>Gryllotalpicola</i> sp. BPM8 (MK13954)	98	4.70
SSR33	β - <i>proteobacteria</i>	<i>Acidovorax delafieldii</i> PA1 (MN788650)	100	5.60
SSR34	<i>Actinobacteria</i>	<i>Arthrobacter</i> sp. Lewis_Bac_12 (MH329939)	99	4.40
SSR35	α - <i>proteobacteria</i>	<i>Caulobacter</i> sp. CR 7-03 (KM252977)	99	5.68
SSR36	γ - <i>proteobacteria</i>	<i>Rhodanobacter spathiphylli</i> Gsoil 3009 (KY078839)	99	5.60

¹⁾Accession number of the nearest relative. When more than one sequence had the same similarity value, only accession number of the first sequence is given.

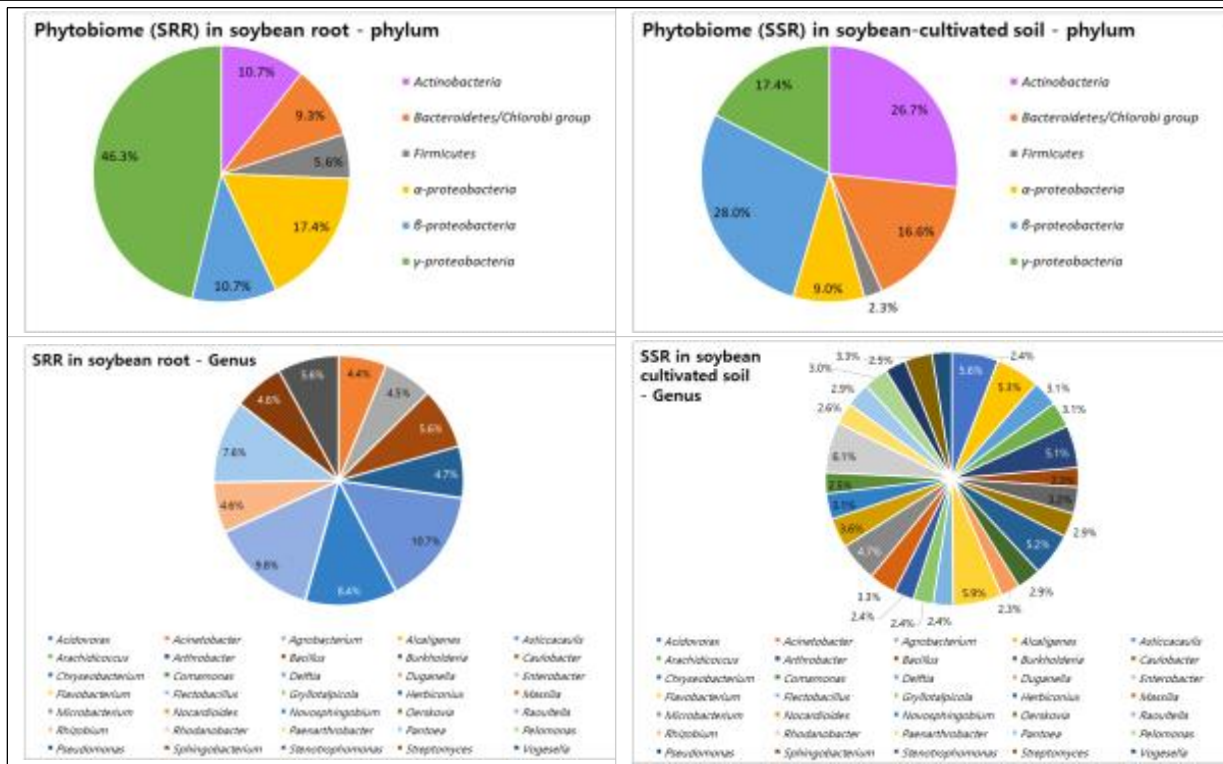


Figure 52. 콩 뿌리와 토양의 근권미생물 군집 분석.

■ 콩 뿌리와 토양 근권미생물의 세포벽 분해 효소활성: 콩 뿌리부터 분리한 근권세균의 세포벽 분해효소 활성의 경우 β-glucosidase 활성은 대부분의 균에서 관찰되었지만 cellulase, xylanase 및 mannase 활성은 대부분 균주들에서도 활성을 보이지 않았다. 단, *Stenotrophomonas* sp. SSR14 균주는 cellulase, xylanase, mannase 및 β-glucosidase 활성 모두 관찰되었다. 한편, 콩 토양으로부터 분리한 근권세균의 세포벽 분해효소 활성의 경우도 β-glucosidase 활성은 대부분의 균에서 관찰되었지만 cellulase, xylanase 및 mannase 활성은 몇몇 균주들에서만 활성이 보였다. *Duganella* sp. SSR21 과 *Bacillus sonorensis* SSR22 균주는 cellulase, xylanase, mannase 및 β-glucosidase 활성 모두 관찰되었다.

Table 15. 콩 뿌리 유래 근권세균의 세포벽 분해효소 활성

Isolates	Nearest Relative ¹⁾ (Result of NCBI Search)	Extracellular enzyme activities ²⁾			
		Cellulase	Xylanase	Mannase	β -GLUDase
SRR01	<i>Chryseobacterium</i> sp. B20 (MH688786)	-	-	8	12
SRR02	<i>Microbacterium thalassium</i> JQZLG-1 (KF973240)	-	-	-	8
SRR03	<i>Raoultella ornithinolytica</i> RT1902 (MT568560)	-	-	-	15
SRR04	<i>Pseudomonas viridiflava</i> Atecer10B (MT386206)	-	-	-	-
SRR05	<i>Pseudomonas fluorescens</i> Pf29A (DQ473439)	-	3	-	-
SRR06	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> cqsH5 (MN826558)	-	-	-	8
SRR07	<i>Delftia acidovorans</i> IAE185 (MK414884)	-	-	-	-
SRR08	<i>Rhizobium</i> sp. R-31762 (AM403584)	-	-	-	8
SRR09	<i>Sphingobacterium</i> sp. M46 (MG696220)	-	-	-	6
SRR10	<i>Acinetobacter guillouiae</i> NDS2b (KX871891)	-	-	-	-
SRR11	<i>Delftia acidovorans</i> RAY209 (CP022656)	-	-	-	-
SRR12	<i>Bacillus</i> sp. P8(2014) (KJ604989)	-	-	-	8
SRR13	<i>Enterobacter</i> sp. LSRC69 (JF772075)	-	-	7	12
SRR14	<i>Stenotrophomonas</i> sp. 816OP9 (MK757667)	12	14	14	6
SRR15	<i>Pantoea agglomerans</i> 4GW7 (GU991862)	-	-	-	12
SRR16	<i>Microbacterium foliorum</i> MBT2 (JX966439)	-	-	-	7
SRR17	<i>Novosphingobium resinovorum</i> 3-6 (KP742347)	-	-	-	10
SRR18	<i>Novosphingobium pokkali</i> PKS58a (MW080538)	-	-	-	8
SRR24	<i>Pantoea ananatis</i> DF-2 (JN613378)	-	-	-	16
SRR26	<i>Raoultella</i> sp. UIWRF0460 (KR189657)	-	-	-	13
SRR27	<i>Pseudomonas koreensis</i> Y5-11 (MH817853)	-	-	-	15
SRR28	<i>Pseudomonas putida</i> sXSH (MT075806)	-	-	-	20

¹⁾When more than one sequence had the same similarity, only the accession number of the first sequence is given.

²⁾The enzyme activity was estimated by measuring the diameter of halo formed on agar media(including bacterial colonies).

Table 16. 콩 토양 유래 근권세균의 세포벽 분해효소 활성

Isolates	Nearest Relative ¹⁾ (Result of NCBI Search)	Extracellular enzyme activities ²⁾			
		Cellulase	Xylanase	Mannase	β -GLUDase
SSR01	<i>Flavobacterium cutihirudinis</i> DCY106 (KR338992)	w	-	-	12
SSR02	<i>Flectobacillus rhizosphaerae</i> sPeD7 (MN258894)	-	-	-	4
SSR03	<i>Paenarthrobacter nicotinovorans</i> MSSRF_2C50A (MG597201)	-	-	-	-
SSR04	<i>Massilia</i> sp. HKS24 (KT950758)	w	w	-	5
SSR05	<i>Pseudomonas putida</i> 96G25 (MT192475)	-	3	3	-
SSR06	<i>Arthrobacter</i> sp. HAR1 (MN081011)	-	-	-	-
SSR07	<i>Enterobacter cancerogenus</i> 5 (MF457488)	-	5	-	12
SSR08	<i>Novosphingobium capsulatum</i> zzx03 (KJ009428)	-	-	-	8
SSR09	<i>Acidovorax delafieldii</i> A3RO7 (JQ689177)	-	-	-	-
SSR10	<i>Streptomyces griseoaurantiacus</i> BQAB-05d (FJ217193)	-	-	-	-
SSR11	<i>Rhodanobacter ginsenosidimutans</i> NBRC 106411 (AB682427)	-	-	-	5
SSR12	<i>Pantoea</i> sp. GNH-R4 (MT012251)	-	-	-	8
SSR13	<i>Nocardioides nitrophenolicus</i> S303 (MK431776)	-	-	-	-
SSR14	<i>Comamonas aquatica</i> CB26 (MT527532)	-	-	-	-
SSR15	<i>Pelomonas</i> sp. JD4003 (MT940993)	-	-	-	-
SSR16	<i>Flavobacterium</i> sp. 816OP8 (MK757666)	-	-	-	-
SSR17	<i>Microbacterium oxydans</i> AzoM7 (MK942422)	-	-	-	15
SSR18	<i>Herbiconiux</i> sp. SR5-11 (KF891411)	-	-	-	3
SSR19	<i>Chryseobacterium</i> sp. RU37D (MK095762)	-	-	-	4
SSR20	<i>Alcaligenes</i> sp. Ic4 (DQ421393)	10	-	5	-
SSR21	<i>Duganella</i> sp. SB1456 (MG491553)	10	10	10	12
SSR22	<i>Bacillus sonorensis</i> 1779 (MT597627)	14	15	15	20
SSR23	<i>Enterobacter</i> sp. 5112 (JX566614)	-	-	-	17
SSR24	<i>Asticcacaulis</i> sp. ECN-2008 (AM940946)	w	-	-	7
SSR25	<i>Arachidicoccus ginsenosidivorans</i> Gsoil 809 (NR156832)	-	-	4	4
SSR26	<i>Burkholderia</i> sp. Br1-11 (KY908239)	w	-	-	15
SSR27	<i>Chryseobacterium</i> sp. CA10 (MK896290)	-	-	-	8
SSR28	<i>Oerskovia</i> sp. W29 (KY402240)	-	-	-	8
SSR29	<i>Microbacterium</i> sp. PX16a_S2 (JF274931)	w	7	-	8
SSR30	<i>Alcaligenes</i> sp. 'ESPY2 (A-III)' (EF205261)	-	-	8	-
SSR31	<i>Vogesella oryzae</i> L1E9 (KR363131)	4	-	-	-
SSR32	<i>Gryllotalpicola</i> sp. BPM8 (MK13954)	-	-	-	13
SSR33	<i>Acidovorax delafieldii</i> PA1 (MN788650)	w	-	-	-
SSR34	<i>Arthrobacter</i> sp. Lewis_Bac_12 (MH329939)	-	-	-	-
SSR35	<i>Caulobacter</i> sp. CR 7-03 (KM252977)	-	-	-	3
SSR36	<i>Rhodanobacter spathiphylli</i> Gsoil 3009 (KY078839)	-	5	-	5

¹⁾When more than one sequence had the same similarity, only the accession number of the first sequence is given.

²⁾The enzyme activity was estimated by measuring the diameter of halo formed on agar media(including bacterial colonies).

○ 근권미생물 군집 처리에 따른 isoflavone 유도체 증진 콩 식물체 생산

■ 콩 식물체 생산: 온도와 습도, 광원, 관수량 조건을 동일하게 하여 control(무처리구), SRR 처리구, SSR 처리구로 하여 실험을 진행하였다. 생육기간은 30일로 하였고 수확 후 각 처리구 별 사진은 Figure 56와 같았다.

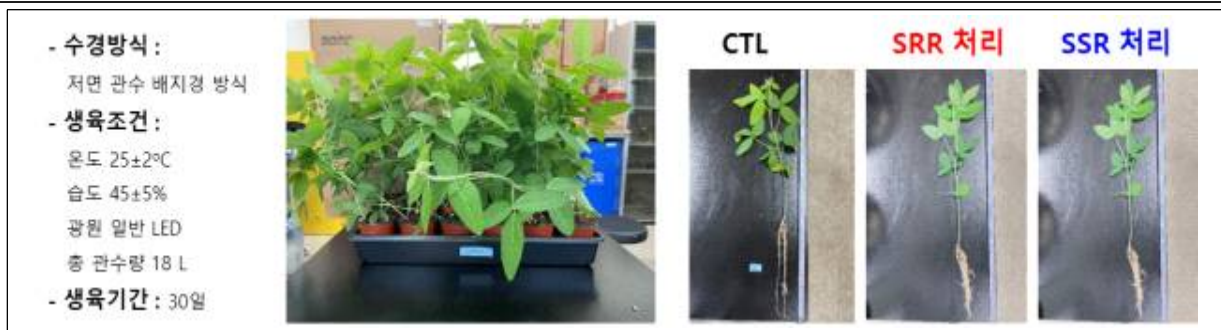


Figure 56. Phytobiome 처리 및 콩 식물체 수확.

■ **Isolflavone 함량:** 무처리, SRR, SSR 처리에 따른 콩 부위별 isolflavone 함량을 분석한 결과는 Table 17 및 Figure 57와 같았다. Glycosides 3종, malonyl- β -glycosides 3종, aglycones 3종을 분석한 결과, 잎의 총 isolflavone 함량은 SSR 처리구가 6137.60 μ g/g으로 가장 높았고, 줄기의 총 isolflavone 함량은 무처리구가 708.96 μ g/g으로 가장 높았으며, 뿌리의 총 isolflavone 함량은 SRR 처리구가 3504.60 μ g/g으로 가장 높게 검출되었다. Glycosides의 daidzin, genistin은 SSR 처리구의 잎에서 가장 많이 검출되었으며 각각의 함량은 2353.08, 1720.00 μ g/g이었다. Malonyl- β -glycosides의 daidzin, genistin 역시 SSR 처리구의 잎에서 가장 많이 검출되었다. Aglycones의 daidzein, genistein은 뿌리에서 많이 검출되었으며, 그 중 daidzein은 SSR 처리구에서 3553.62 μ g/g로 가장 많이 검출되었다.

Table 17. 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 isolflavone 함량

Contents ¹⁾ (μ g/g)	Plant parts								
	Leaf			Stem			Root		
	CTL	SRR	SSR	CTL	SRR	SSR	CTL	SRR	SSR
β-Glycosides									
Daidzin	261.06	454.73	2353.08	176.95	116.17	134.56	218.18	100.49	175.59
Genistin	423.49	427.09	1720.00	36.39	15.96	16.16	17.94	12.78	19.73
Total	684.55	881.82	4073.08	213.34	132.12	150.72	236.12	113.26	195.31
Malonyl-β-glycosides									
Daidzin	364.30	537.99	700.14	304.29	200.95	266.26	235.48	218.23	362.71
Genistin	778.10	713.39	828.30	119.95	72.77	76.02	29.91	42.44	65.07
Total	1142.40	1251.37	1528.44	424.24	273.72	342.28	265.39	260.67	427.78
Aglycones									
Daidzein	93.45	242.42	422.76	52.26	40.03	58.65	2183.26	2967.21	3553.62
Genistein	65.81	92.59	113.33	19.12	15.04	15.83	163.40	163.45	274.15
Total	159.26	335.01	536.08	71.38	55.08	74.48	2346.66	3130.67	3827.77
Sum of isolflavones	1986.21	2468.21	6137.60	708.96	460.92	567.48	2848.17	3504.60	4450.86

¹⁾All values are presented as the mean \pm SD of triplicate determination.

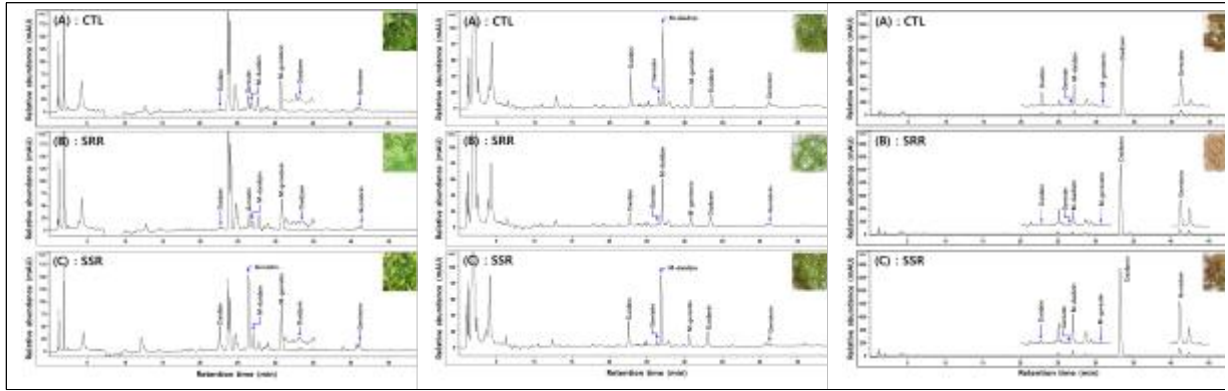


Figure 57. 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체 추출물의 isoflavone HPLC 크로마토그램.

■ 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량: SRR, SSR 처리에 따른 콩 부위별 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량을 분석한 결과는 Figure 58와 같았다. 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량은 잎, 뿌리, 줄기 순으로 함량이 높았다. 총 phenolics 함량은 잎 부위에서 무처리구, SRR 처리구, SSR 처리구 순으로 높았으며, 각각 12.97, 14.28, 14.45 mg/g 이다. 총 flavonoids 함량은 잎 부위에서 눈에 띄게 높게 확인되었으며, 무처리구, SRR 처리구, SSR 처리구 각각 5.03, 5.71, 6.14 mg/g이 확인되었다.

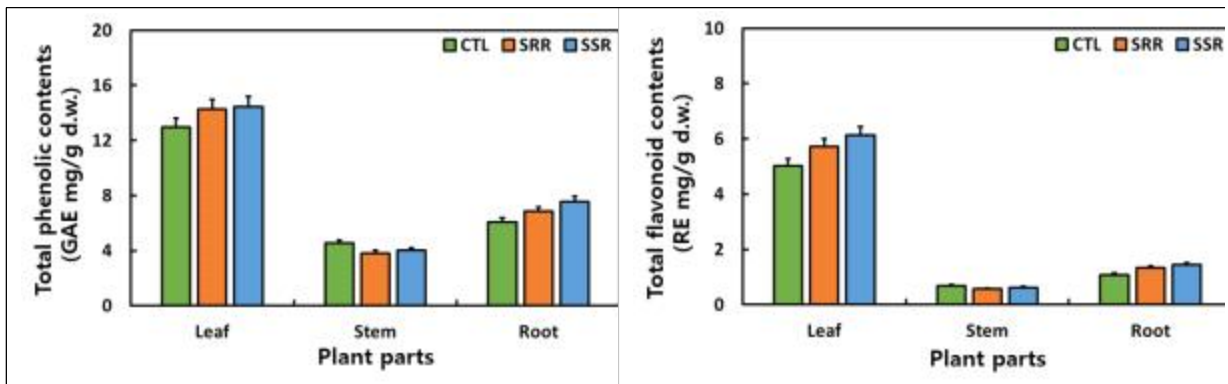


Figure 58. 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 총 phenolics와 총 flavonoids 함량.

■ *in vitro* 상 항산화 활성: SRR, SSR 처리에 따른 콩 부위별 *in vitro* 상 항산화 활성을 확인해본 결과는 Figure 60와 같았다. 항산화 활성 결과는 전체적으로 잎, 뿌리, 줄기 순으로 높았다. DPPH 라디칼 소거활성은 잎에서 무처리구(41.26 %), SRR 처리구(47.47 %), SSR 처리구(55.45 %) 순으로 높았으며, 줄기는 무처리구가 13.72 %로 가장 높았다. ABTS 라디칼 소거활성은 잎, 뿌리, 줄기 순으로 높게 확인되었고, DPPH 라디칼 소거활성과 마찬가지로 줄기는 무처리구, SSR, SRR 처리구 순으로 높게 확인되었다. FRAP 환원력도 역시 줄기를 제외한 잎, 뿌리는 무처리구, SRR 처리구, SSR 처리구 순으로 높았으며, 잎의 활성은 각각 1.37, 1.52, 1.64로 확인되었다.

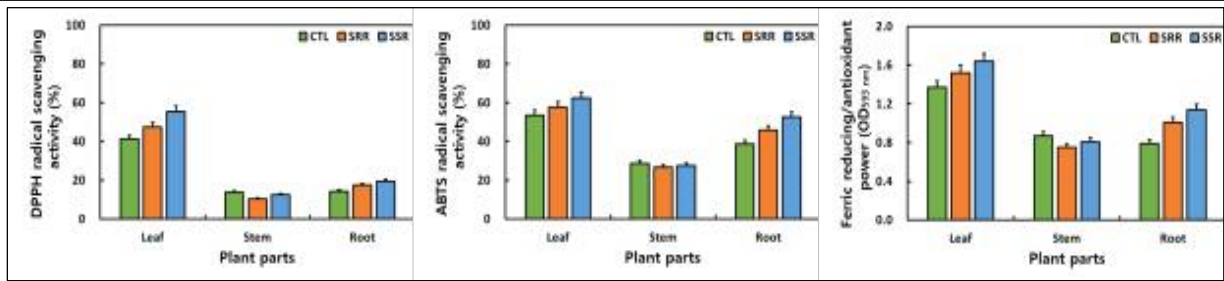


Figure 60. 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 항산화 활성.

○ 에틸렌과 Phytobiome 처리에 따른 이소플라본 증진 콩 식물체 생산:

■ 콩 식물체 생산: 온도와 습도, 광원, 관수량 조건을 동일하게 하여 콩 식물체를 생육시킨 후 무처리구, 에틸렌 처리구 및 phytobiome 처리구 사진은 Figure 61와 같았다. 모든 처리구에서 하단부에 콩 잎이 노란색으로 변화였으나, 에틸렌 처리가 좀 더 심한 양상을 보였다.

■ 콩 재배 상토의 이화학적 특성 및 미생물 군집 비교: 무처리(control), 에틸렌과 phytobiome (SSR 36종) 처리에 따른 콩 식물체 재배 상토의 이화학적 특성과 미생물 군집을 분석한 결과는 Figure 62와 같았다. pH의 경우 무처리구는 5.55, 에틸렌 처리구는 5.85 및 phytobiome 처리구는 6.36으로 약 산성에 가까웠다. 생균수는 에틸렌 처리구에서 가장 낮았고 phytobiome 처리구에서 7.41 log cfu/g으로 가장 높았다. 무처리구의 재배 상토에는 *Proteobacteria* 문이 48.99 %로 가장 많이 분포해있고, *Firmicutes* 문이 19.78 %, *Actinobacteria* 문이 15.05 % 순으로 높게 분포해있었다. Ethylene 처리구의 재배 상토에서 가장 많이 분포해있는 것은 *Proteobacteria* 문(51.58 %)이었고, *Firmicutes* 문(18.88 %), *Actinobacteria* 문(17.46 %) 순으로 높았다. Phytobiome 처리구 재배 상토에는 *Proteobacteria* 문이 43.41 %, *Firmicutes* 문이 25.61 %, *Actinobacteria* 문이 17.90 % 분포하고 있었다. 무처리구, ethylene 처리구, phytobiome 처리구 재배 상토에서 *Proteobacteria* 문이 가장 많이 분포하였다. 특히, phytobiome 처리구는 무처리구와 에틸렌 처리구보다 *Proteobacteria* 문이 감소한 반면 *Firmicutes* 문이 증가하는 양상을 보였다.



Figure 61. Phytobiome 처리 및 콩 식물체 수확.

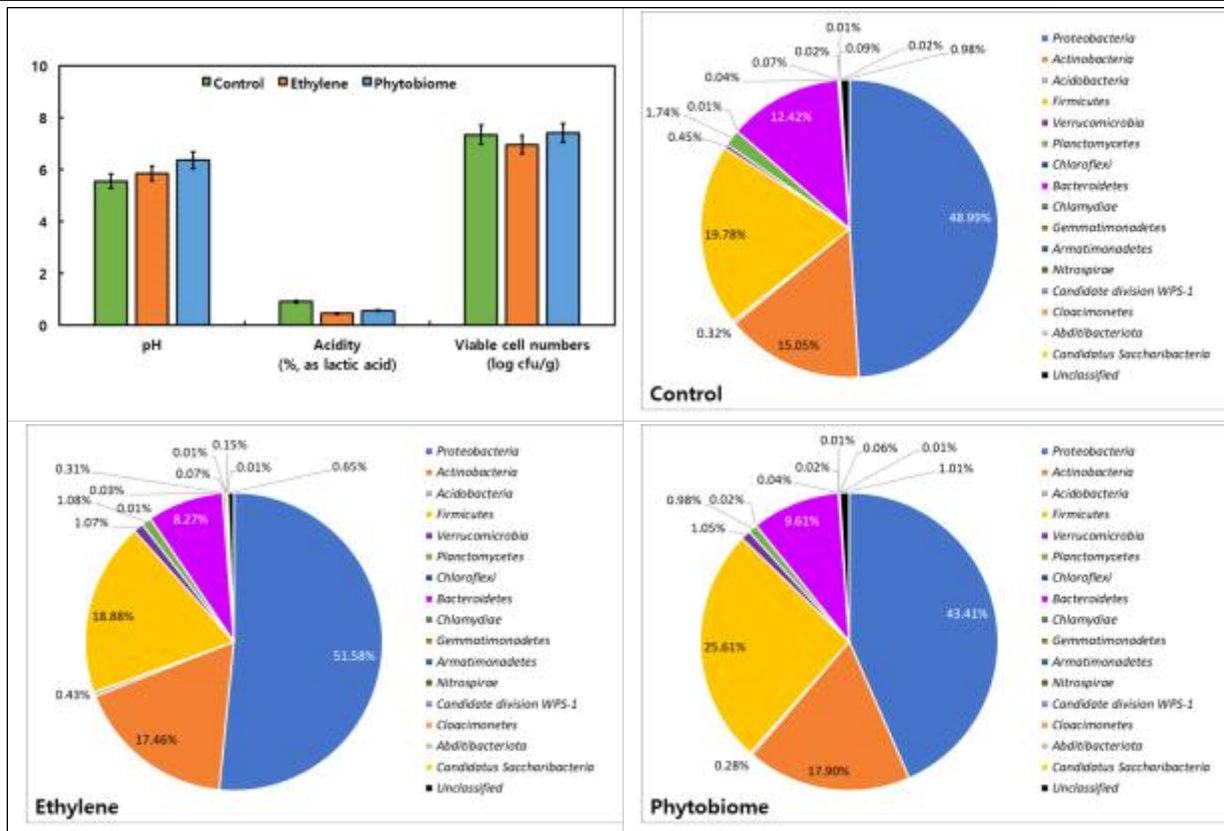


Figure 62. NGS 기반 콩 재배상토의 미생물 군집.

■ 콩 재배 상토의 휘발성 유기화합물: 무처리(control), 에틸렌과 phytobiome (SSR 36종) 처리에 따른 콩 식물체 재배 상토의 휘발성 유기화합물(VOCs) 결과는 Figure 63, Table 18 및 Figure 64와 같았다. 무처리구와 phytobiome 처리구는 총 22종의 VOCs가 검출되었고 에틸렌 처리구는 총 8종의 VOCs만이 확인되었다. 무처리구보다는 처리구에서 VOCs 함량은 감소하는 경향을 보였으나, phytobiome 처리구에서 aromatic hydrocarbons는 5.673 ng/g으로 무처리구의 4,037 ng/g보다 증가하였다. 특히, aromatic hydrocarbons 중 Methylbenzene (1921.90 → 3597.09 ng/g), Ethylbenzene (184.23 → 287.79 ng/g) 및 *p*-Xylene (126.49 → 492.92 ng/g)은 각각 약 1.9배, 1.5배 및 3.9배 증가하였다. 한편 에틸렌 처리구에서는 유일하게 *p*-Xylene만이 증가하였다.

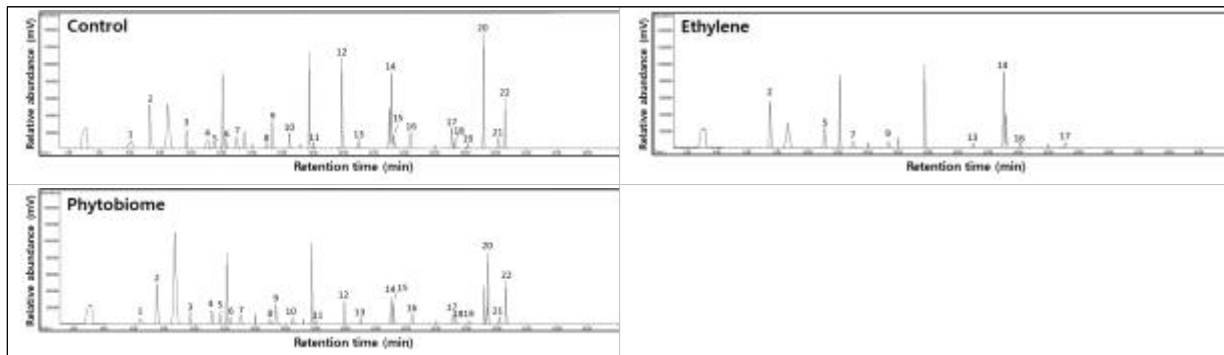


Figure 63. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 재배 상토의 VOCs 크로마토그램.

Table 18. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 재배 상토의 휘발성 유기화합물(VOCs) 함량

Contents ¹⁾ (ng/g)	Treatment conditions		
	Control	Ethylene	Phytobiome
Alcohols			
Ethanol (1)	409.22±29.47	nd ²⁾	267.50±4.12
1-Hexanol (14)	1211.20±35.91	1139.52±29.64	425.60±21.50
Aromatic hydrocarbons			
Methylbenzene (2)	1921.90±19.56	834.52±42.54	3597.09±174.14
Ethylbenzene (4)	184.23±2.79	nd	285.79±6.39
<i>p</i> -Xylene (5)	126.49±2.57	508.18±18.51	492.92±21.52
Styrene (9)	610.07±20.92	81.43±4.16	442.45±20.07
1,3-Bis(bromomethyl)benzene (13)	172.24±4.38	85.36±4.16	97.22±3.68
Naphthalene (16)	381.07±4.61	164.7±3.04	246.3±2.76
Oxime-, methoxy-phenyl (22)	640.72±48.34	nd	511.26±18.81
Aldehydes			
Hexanal (3)	378.78±7.85	nd	264.98±3.95
Heptanal (7)	375.69±18.86	283.84±6.69	271.18±3.07
Octanal (10)	269.86±4.81	nd	118.69±6.24
Nonanal (12)	1274.93±50.71	nd	335.53±7.54
Decanal (15)	242.99±2.73	nd	59.7±0.89
Terpenes			
β-Myrcene (6)	209.11±2.48	nd	165.42±4.30
β-Elemene (17)	477.51±29.31	111.65±3.83	218.57±2.88
β-Gurjunene (18)	119.18±1.94	nd	66.42±2.92
(+)-Viridiflorol (19)	82.32±3.27	nd	48.42±2.55
β-Famesene (20)	1238.92±50.18	nd	36.83±2.73
α-Selinene (21)	129.43±2.28	nd	49.45±2.40
Fatty acids			
Decanedioic acid (8)	112.97±3.85	nd	94.51±3.41
Ketones			
2-Heptanone (11)	79.77±1.38	nd	42.38±2.29

¹⁾All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾nd: not detected.

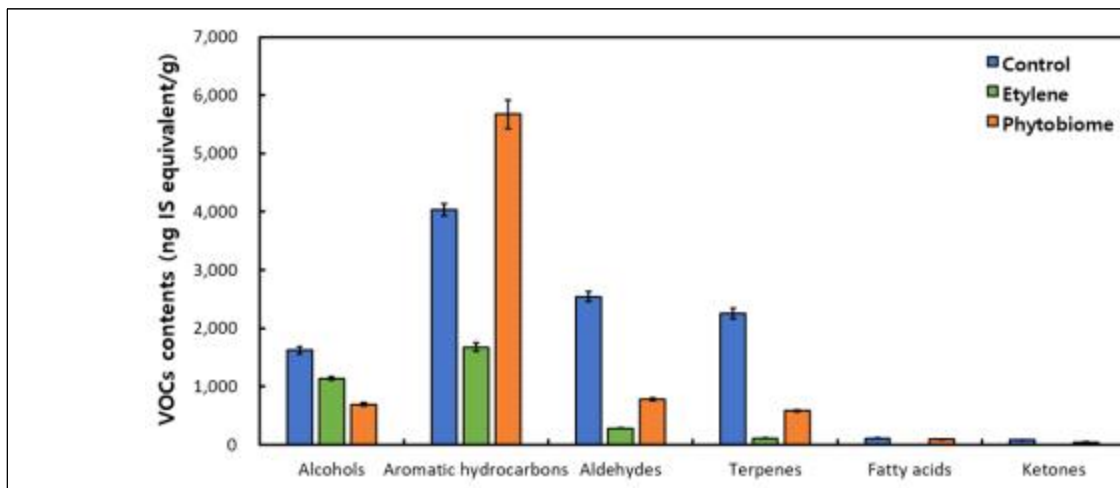


Figure 64. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 재배 상토의 VOCs 함량

■ **Isolavone 함량:** 에틸렌과 phytobiome 처리에 따른 콩 식물체 부위별 isolavone 함량을 분석한 결과는 Table 19, Figure 65와 같았다. Glycosides 3종, malonyl-β

-glycosides 3종, aglycones 3종을 분석한 결과, 총 isoflavone 함량은 잎, 뿌리, 줄기 순으로 높게 검출되었으며, 각 처리별 부위 중 phytochrome 처리구의 잎(7088.55 µg/g)에서 가장 많이 검출되었다. 줄기 부위에서는 총 isoflavone 함량이 ethylene 처리구(2086.95 µg/g)에서 가장 높았고, 무처리구의 줄기 부위에서 851.81 µg/g으로 가장 적게 검출되었다. 뿌리 부위에서는 phytochrome 처리구에서 5756.63 µg/g으로 가장 높았다. 잎에서 malonyl-β-glycosides의 genistin이 많이 검출되었으며, phytochrome 처리구에서 총 isoflavone 함량의 33 % 이상이 차지하고, 무처리구, 처리구 중 가장 높은 비율을 차지하는 물질임을 확인하였다. 줄기에서 malonyl-β-glycosides의 daidzin이 많이 검출되었으며, 무처리구에서 총 isoflavone 함량의 약 48 %을 차지하고, 처리구, 처리구 중 가장 높은 비율을 차지하였다. 뿌리에서 aglycones의 daidzein이 다량으로 검출되었으며, 무처리구, ethylene 처리구, phytochrome 처리구 모두 85 % 이상 차지하고 있었다.

Table 19. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 부위별 isoflavone 함량

Contents ¹⁾ (µg/g)	Plant parts / Treatment conditions								
	Leaf			Stem			Root		
	CTL	ETL	PTB	CTL	ETL	PTB	CTL	ETL	PTB
β-Glycosides									
Daidzin	903.80	1534.56	1385.51	200.31	513.71	256.22	107.97	140.24	220.69
Genistin	675.46	1741.13	925.91	22.48	110.07	50.03	nd ²⁾	nd	8.98
Total	1579.26	3275.69	2311.42	222.78	623.78	306.26	107.97	140.24	229.68
Malonyl-β-glycosides									
Daidzin	1212.53	1138.69	1824.46	406.98	964.68	509.27	29.50	15.39	97.32
Genistin	1525.06	1896.00	2366.27	160.27	360.45	249.53	nd	70.60	52.51
Total	2737.59	3034.69	4190.73	567.25	1325.13	758.81	29.50	85.99	149.84
Aglycones									
Daidzein	241.49	383.77	409.60	49.91	112.02	64.26	1971.54	2767.29	4957.67
Genistein	125.78	180.82	176.81	11.87	26.02	17.46	169.51	241.15	419.45
Total	367.27	564.59	586.40	61.78	138.04	81.73	2141.05	3008.44	5377.12
Sum of isoflavones	4684.12	6874.97	7088.55	851.81	2086.95	1146.79	2278.52	3234.67	5756.63

¹⁾All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾nd: not detected.

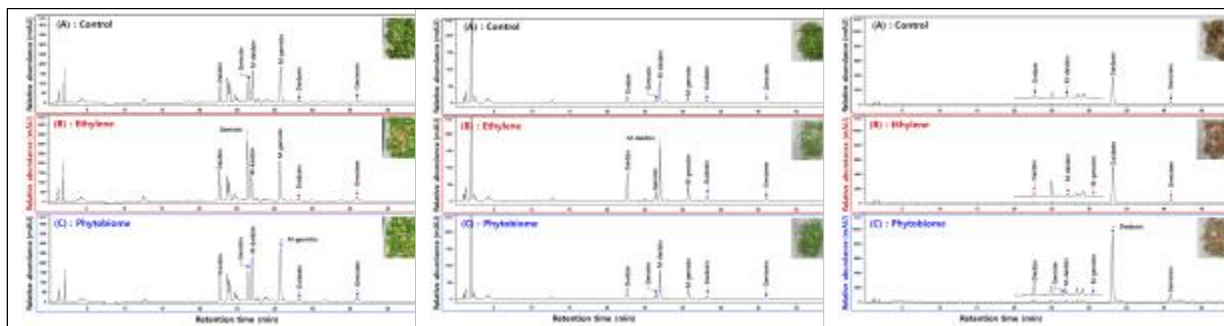


Figure 65. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 isoflavone HPLC 크로마토그램.

■ **총 phenolics와 총 flavonoids 함량 비교:** 에틸렌과 phytochrome 처리에 따른 콩 식물체 부위별 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량을 분석한 결과는 **Figure 66**와 같았다. 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량은 잎, 뿌리, 줄기 순으로 함량이 높았다. 총 phenolics 함량은 줄기를 제외한 잎, 뿌리에서는 무처리구, ethylene 처리구, phytochrome 처리구 순으로 높게 나타났다. 잎, 줄기, 뿌리 중에서 잎의 함량이 제일 높았으며 무처리구, ethylene 처리구, phytochrome 처리구 각각 7.93, 8.51, 8.71 GAE mg/g이 검출되었다. 총 flavonoids 함량은 잎 부위에서 눈에 띄게 높게 확인되었으며 잎의 함량은 줄기의 10배, 뿌리의 4~5배 높은 함량이 검출되었으며, 무처리구, ethylene 처리구, phytochrome 처리구 각각 5.21, 5.78, 5.95 RE mg/g이 검출되었다.

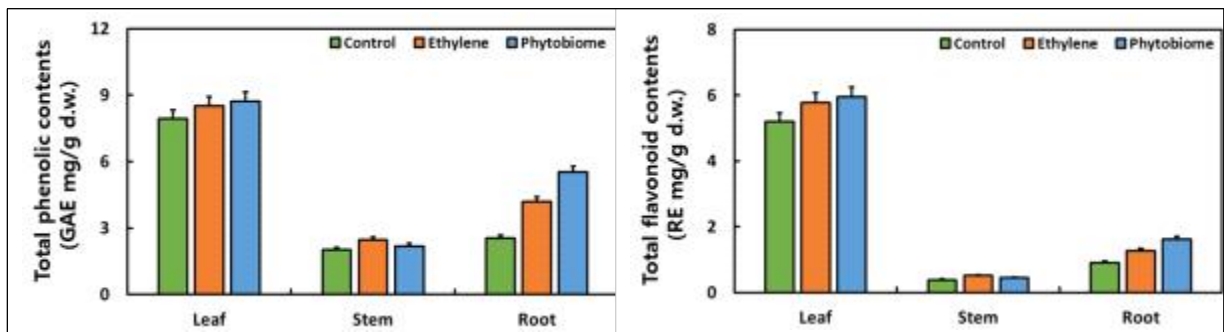


Figure 66. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 총 phenolics와 총 flavonoids 함량.

■ **항산화 활성 비교:** 에틸렌과 phytochrome 처리에 따른 콩 식물체 부위별 항산화 활성을 확인해본 결과는 **Figure 67**와 같았다. DPPH 라디칼 소거활성은 잎, 줄기, 뿌리 순으로 활성이 높았으며, phytochrome 처리구의 잎 부위에서 60.62 %로 가장 높았다. 줄기에서는 ethylene 처리구, phytochrome 처리구, 무처리구 순으로 높게 나타났고, 뿌리에서는 phytochrome 처리구, ethylene 처리구, 무처리구 순으로 라디칼 소거활성이 높았으며, 각각 2.51, 3.23, 3.87 %로 큰 차이는 보이지 않았다. ABTS 라디칼 소거활성은 잎, 뿌리, 줄기 순으로 높게 확인되었고, 잎 부위 중 phytochrome 처리구에서 63.15 %로 가장 높았다. FRAP 환원력은 잎 부위에서 환원력이 높았고(무처리구:1.69, ethylene 처리구:1.85, phytochrome 처리구:1.92), 줄기와 뿌리의 환원력은 비슷하게 나타났다. 잎, 뿌리는 무처리구, ethylene 처리구, phytochrome 처리구 순으로 높았으며, 줄기는 ethylene 처리구, phytochrome 처리구, 무처리구 순으로 높게 나타났다.

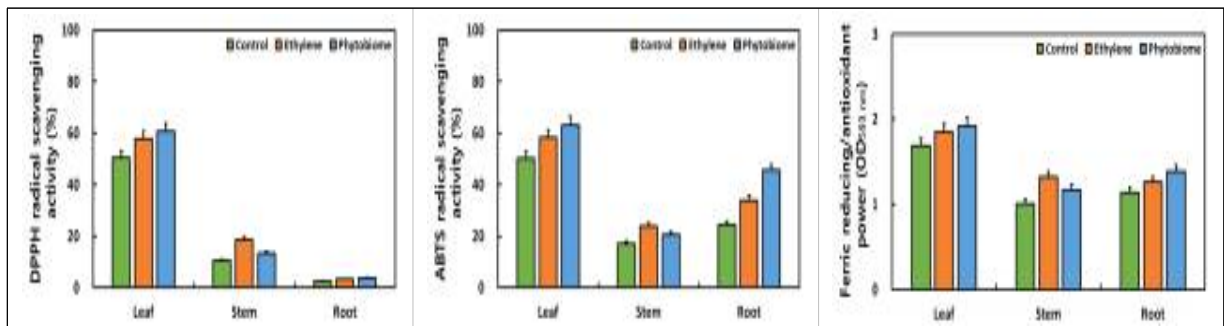


Figure 67. 에틸렌과 근권미생물 처리에 따른 콩 식물체의 항산화 활성.

○ 새싹인삼 뿌리로부터 분리한 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 생육 특성

■ **내생세균 분리 및 확인:** 새싹인삼 뿌리를 세척하여 표면소독을 한 후, 막자사발에서 멸균 증류수(10배)를 넣어 갈아서 시료를 준비하였다. 준비된 시료를 TSA 배지에 도말한 후, 30℃에서 48시간 배양하였다. 배양 후 TSA 배지에서 균의 색깔, 모양 등의 형태학적 특징을 토대로 21종의 내생세균을 분류하였다. 분류된 미생물을 5ml TSB 배지에 접종하여 30℃에서 24시간 배양한 후, genomic DNA를 분리하고 이를 주형으로 하여 PCR를 통하여 16S rDNA 염기서열을 결정하였다. PCR을 진행한 후 전기 영동하여 16S rRNA 단편을 확인하고, 전기 영동 gel에서 DNA를 분리하였다. 정제한 16S rRNA 단편을 주형으로 사용하여 염기서열 결정을 행하였다. 결정된 염기서열을 분석한 후, GeneBank database로부터 얻은 또 다른 세균의 16S rRNA와 비교 분석하였다.

■ **내생세균의 세포벽 분해효소 활성:** 새싹인삼 뿌리로부터 분리한 내생세균의 세포벽 분해효소(Cellulase, Xylanase, Mannase, β -GLUDase) 활성에 대해서 실험한 결과는 표 14와 같았다. NGSRB01, 02, 03, 05, 13, 20을 제외한 나머지 내생세균에서는 세포벽 분해효소 활성을 나타내었다. NGSRB04과 NGSRB06 내생세균은 다른 효소활성에서는 활성이 나타나지 않았으나 β -GLUDase에서는 각각 지름 7mm, 10mm의 활성이 확인되었고, NGSRB08 내생세균은 약한 활성을 확인할 수 있었다. NGSRB09, 10, 15, 17, 18, 19 내생세균은 네 가지의 세포벽 분해효소 활성이 나타났고, 그 중 10, 15 내생세균의 활성이 뛰어났다.

■ **내생세균의 항진균 활성:** 새싹인삼 뿌리로부터 분리한 내생세균의 뿌리 썩음병 곰팡이(20SGPFI, 20SGPFII, 20SGPFIII, 20SGPFIV)에 대한 항진균 활성에 대해서 실험한 결과는 표 15와 같았다. 4종의 뿌리 썩음병 곰팡이에 대해서 항진균력을 모두 가지는 균주는 *Pseudomonas* sp. NGSRB03, *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* NGSRB15 및 *Bacillus velezensis* NGSRB19으로 그 중에도 *Pseudomonas* sp. NGSRB03 및 *Bacillus velezensis* NGSRB19 있었다. 이들 균주들은 향후 잠재적인 생물학적 방제제로 사용성 여부를 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 20. 새싹인삼 뿌리 유래 내생세균의 16S rRNA 염기 서열 상동성 및 분포

Isolates	Phylum	Nearest Relative (Result of NCBI Search)	Accession No.	Identities (%)	Distribution (%)
NGSRB01	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas reinekei</i> LY25	KC790251	100	8.01
NGSRB02	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas koreensis</i> shebah-500	MN602520	100	8.41
NGSRB03	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. Brn9	LC420197	99	8.19
NGSRB04	<i>α-Proteobacteria</i>	<i>Beijerinckia fluminensis</i> NAC54	MK872339	100	8.77
NGSRB05	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. PCH78	KY628896	99	6.01
NGSRB06	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pantoea agglomerans</i> ASB05	CP046722	99	6.85
NGSRB07	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 285	GU451217	98	5.42
NGSRB08	<i>Firmicutes</i>	<i>Paenibacillus</i> sp. CAU 1503	MK053922	100	6.10
NGSRB09	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> 3619	MT538491	100	4.02
NGSRB10	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus subtilis</i> soilG2B	MT641205	99-100	3.20
NGSRB11	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus cereus</i> S8	MT611946	100	4.02
NGSRB12	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> P134	MT323142	100	4.97
NGSRB13	<i>γ-Proteobacteria</i>	<i>Pseudomonas</i> sp. RGM_2739	MK970845	100	5.59
NGSRB14	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus mobilis</i> HFBP14	MT538261	100	4.02
NGSRB15	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> HZMJW 1-10	MT605412	99	3.30
NGSRB16	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus</i> sp. SAUF167	KX879842	100	2.37
NGSRB17	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus megaterium</i> AK4	MK966390	99-100	2.66
NGSRB18	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus altitudinis</i> WS1-4	MT627439	100	2.72
NGSRB19	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus velezensis</i> XC1	MT649755	99	1.79
NGSRB20	<i>Firmicutes</i>	<i>Lysinibacillus pakistanensis</i> INA01164	MT023089	99	1.79
NGSRB21	<i>Firmicutes</i>	<i>Bacillus aryabhatai</i> ZJJH-2	MT605509	99	1.79

¹⁾Accession number of the nearest relative. When more than one sequence had the same similarity, only the accession number of the first sequence is given.

Table 21. 새싹인삼 뿌리 유래 내생세균의 세포벽 분해효소 활성

Isolates	Nearest Relative ¹⁾ (Result of NCBI Search)	Extracellular enzyme activities ²⁾			
		Cellulase	Xylanase	Mannase	β -GLUDase
NGSRB01	<i>Pseudomonas reinekei</i> LY25	-	-	-	-
NGSRB02	<i>Pseudomonas koreensis</i> shebah-500	-	-	-	-
NGSRB03	<i>Pseudomonas</i> sp. Brn9	-	-	-	-
NGSRB04	<i>Beijerinckia fluminensis</i> NAC54	-	-	-	7
NGSRB05	<i>Pseudomonas</i> sp. PCH78	-	-	-	-
NGSRB06	<i>Pantoea agglomerans</i> ASB05	-	-	-	10
NGSRB07	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 285	w	-	-	13
NGSRB08	<i>Paenibacillus</i> sp. CAU 1503	-	-	-	w
NGSRB09	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> 3619	6	10	14	w
NGSRB10	<i>Bacillus subtilis</i> soilG2B	9	7	7	14
NGSRB11	<i>Bacillus cereus</i> S8	4	-	5	w
NGSRB12	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> P134	-	-	w	w
NGSRB13	<i>Pseudomonas</i> sp. RGM_2739	-	-	-	-
NGSRB14	<i>Bacillus mobilis</i> HFBP14	3	-	6	12
NGSRB15	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> HZMJW 1-10	7	10	7	7
NGSRB16	<i>Bacillus</i> sp. SAUF167	-	-	w	9
NGSRB17	<i>Bacillus megaterium</i> AK4	11	w	w	13
NGSRB18	<i>Bacillus altitudinis</i> WS1-4	3	3	w	7
NGSRB19	<i>Bacillus velezensis</i> XC1	9	19	7	w
NGSRB20	<i>Lysinibacillus pakistanensis</i> INA01164	-	-	-	-
NGSRB21	<i>Bacillus aryabhatai</i> ZJJH-2	-	w	w	8

¹⁾When more than one sequence had the same similarity, only the accession number of the first sequence is given.

²⁾The enzyme activity was estimated by measuring the diameter of halo formed on agar media including bacterial colonies.

Table 22. 새싹인삼 뿌리 유래 내생세균의 뿌리 썩음병 곰팡이에 대한 항진균 활성

Isolates	Nearest Relative ¹⁾ (Result of NCBI Search)	Inhibition activities against pathogenic fungi ²⁾			
		20SGPFI	20SGPFII	20SGPFIII	20SGPFIV
NGSRB01	<i>Pseudomonas reinekei</i> LY25	-	-	-	w
NGSRB02	<i>Pseudomonas koreensis</i> shebah-500	-	w	+	+
NGSRB03	<i>Pseudomonas</i> sp. Brn9	+	++	+	+
NGSRB04	<i>Beijerinckia fluminensis</i> NAC54	-	-	-	-
NGSRB05	<i>Pseudomonas</i> sp. PCH78	-	-	w	-
NGSRB06	<i>Pantoea agglomerans</i> ASB05	-	w	-	-
NGSRB07	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 285	-	-	-	-
NGSRB08	<i>Paenibacillus</i> sp. CAU 1503	-	-	-	-
NGSRB09	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> 3619	-	-	-	-
NGSRB10	<i>Bacillus subtilis</i> soilG2B	-	+	w	+
NGSRB11	<i>Bacillus cereus</i> S8	-	-	-	+
NGSRB12	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> P134	-	-	-	-
NGSRB13	<i>Pseudomonas</i> sp. RGM_2739	-	-	-	-
NGSRB14	<i>Bacillus mobilis</i> HFBP14	-	-	-	-
NGSRB15	<i>Bacillus subtilis</i> subsp. <i>subtilis</i> HZMJW 1-10	+	+	+	+
NGSRB16	<i>Bacillus</i> sp. SAUF167	-	-	-	-
NGSRB17	<i>Bacillus megaterium</i> AK4	-	-	-	-
NGSRB18	<i>Bacillus altitudinis</i> WS1-4	-	-	-	-
NGSRB19	<i>Bacillus velezensis</i> XC1	+	++	+	+
NGSRB20	<i>Lysinibacillus pakistanensis</i> INA01164	-	-	-	-
NGSRB21	<i>Bacillus aryabhatai</i> ZJH-2	-	-	-	-

¹⁾When more than one sequence had the same similarity, only the accession number of the first sequence is given.

²⁾Inhibition zone (-; 0 mm; w: ≤ 1mm diameter of the halo zone indicates weak activity; +: ≤ 5 mm; ++: ≤ 10 mm; +++: ≤ 20 mm). SGPF: *Fusarium proliferatum* 20SGPFI, *Fusarium solani* 20SGPFII, *Fusarium oxysporum* 20SGPFIII, and *Fusarium caucasicum* 20SGPFIV.

○ 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 특성 확인

■ 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 확인:

- 발아율, 길이 및 무게: 묘삼에 내생세균(NGSRB01~21)를 처리하여 기른 새싹인삼을 30일째 수확하여 발아율, 길이 및 무게를 측정한 결과는 **Figure 68-70**과 같았다. 30일째 수확 후 발아율을 비교하였을 때, NGSRB05, 07, 08, 12, 13, 15, 19, 20, 21 처리구가 각각 88, 80, 84, 80, 70, 78, 74, 88, 84%로 무처리구의 발아율인 68%보다 높았다. 발아율 80% 이상인 처리구는 NGSRB05, 07, 08, 12, 20, 21이며, GBA 비교구의 발아율(88%)과 동일한 발아율을 보인 처리구는 NGSRB05, 20 처리구로 내생세균 중에서는 발아율이 가장 높았다. 평균 길이를 비교하였을 때, 길이가 가장 길었던 처리구는 NGSRB08(16.58 cm)이었고, 두 번째로 길었던 처리구는 NGSRB12(15.11cm)이다(GBA 비교구 제외). GBA 비교구의 길이는 17.10 cm로 NGSRB08 처리구가 큰 차이를 보이지 않았다. 무처리구의 길이(13.12 cm)로 NGSRB02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 12, 17, 18, 19, 21 처리구의 길이가 더 길었다. 평균 무게를 비교하였을 때, Mixture, NGSRB02, 05, 08, 12, 15, 21 처리구의 무게가 무처리구의 무게보다 더 높게 나타났고, 대체적으로 0.7 g 정도의 무게가 나갔으나, NGSRB12 처리구는 0.81 g으로 내생세균 처리구 중 가장 높았다. NGSRB11 처리구는 0.5 g 이하로 무게가 가장 적게 측정되었다. 발아율, 길이, 무게를 비교한 결과, NGSRB05, 07, 08, 12, 15, 19, 20, 21 내생세균을 처리한 새싹인삼의 결과를 보고 선별하였다.

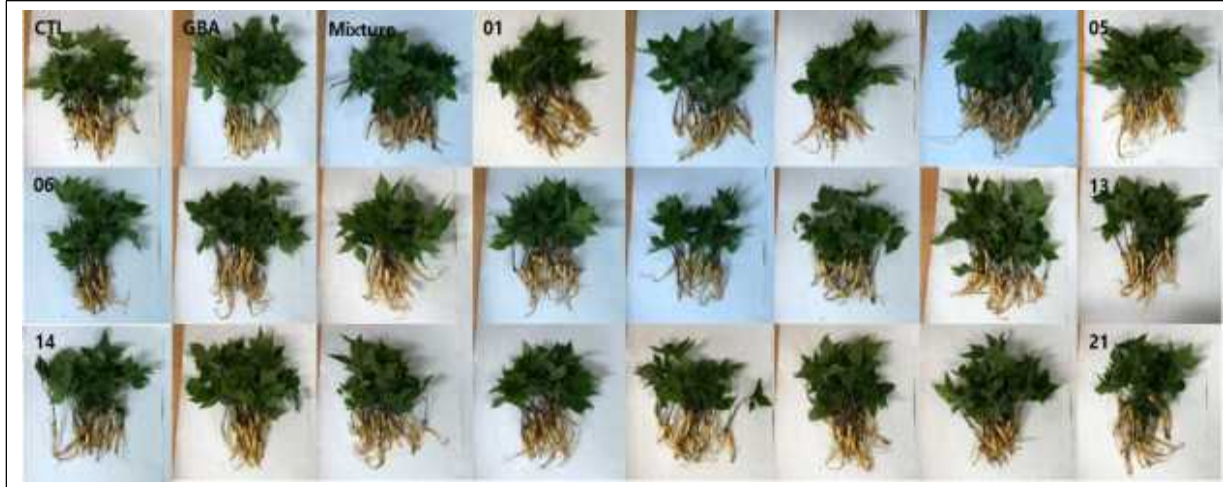


Figure 68. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 사진.

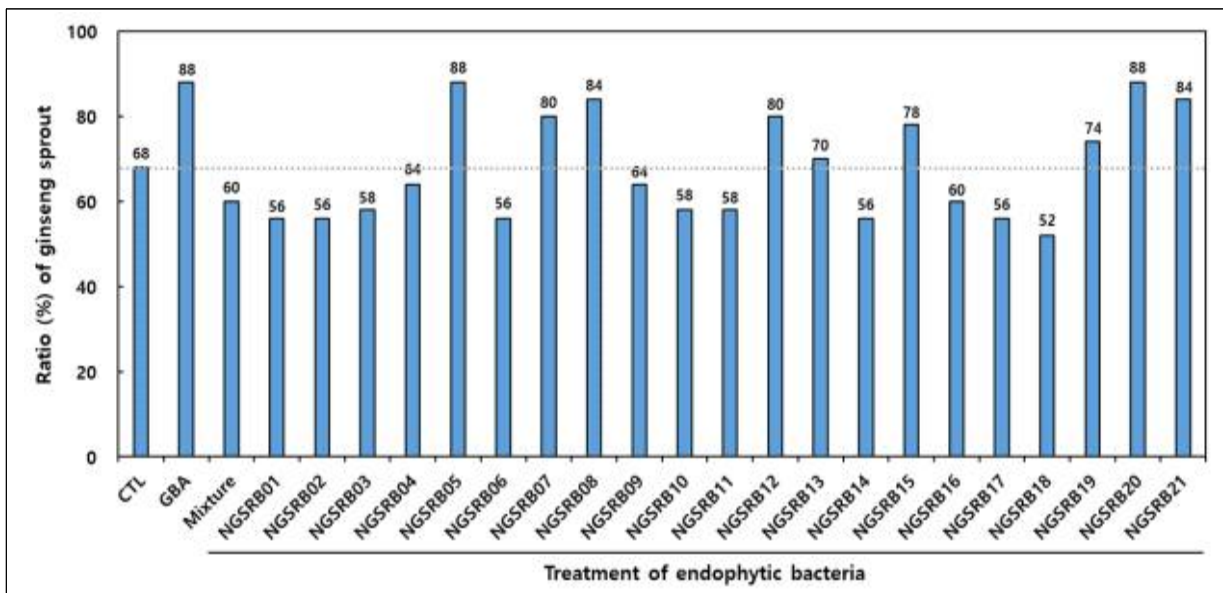


Figure 69. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 발아율.

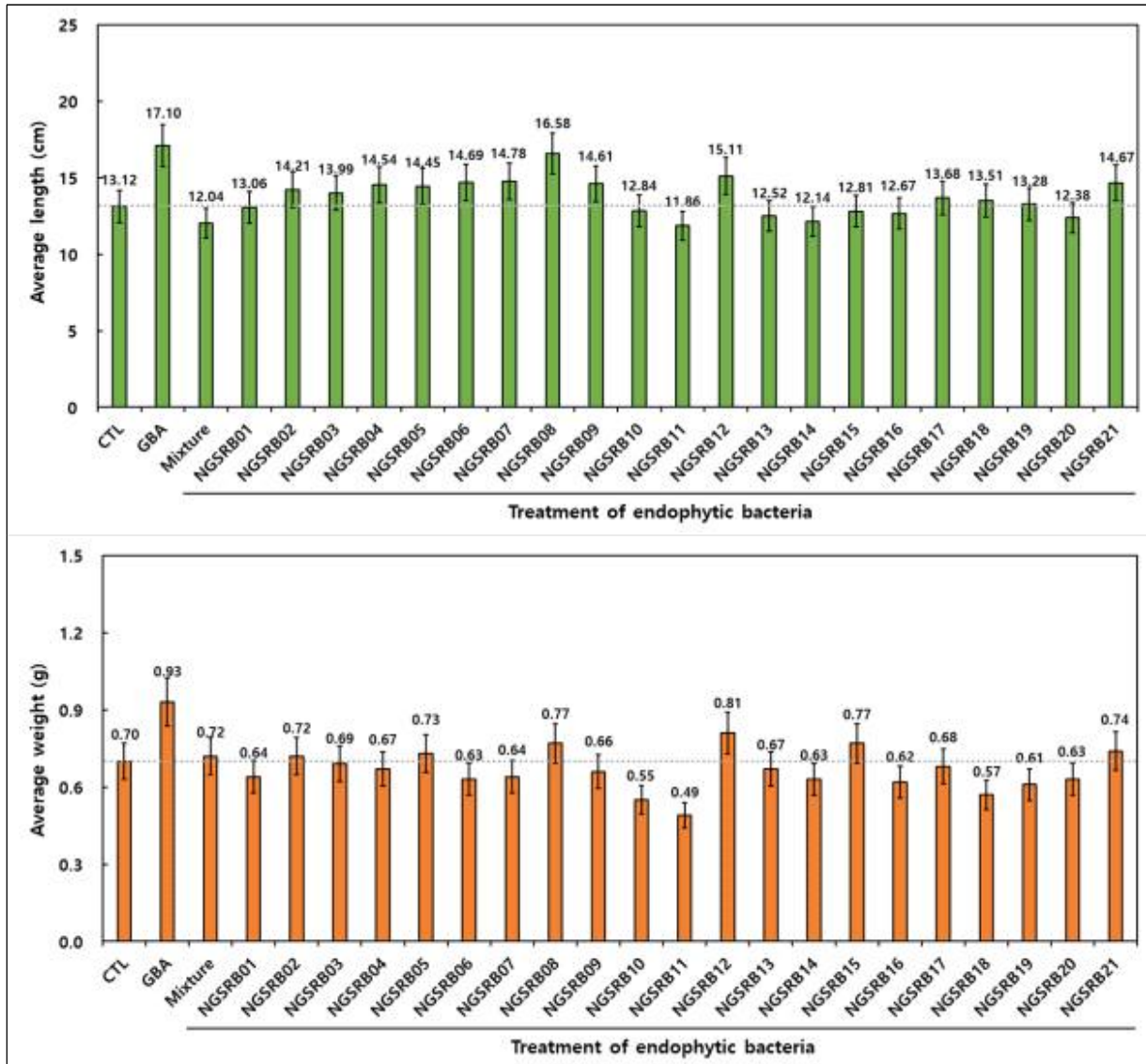


Figure 70. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 생체 길이 및 무게.

- Ginsenosides 함량: 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 함량은 Figure 71와 같았다. 총 ginsenoside 함량은 지베렐린 처리구에서 59.85 mg/g으로 가장 높았고 무처리구는 51.71 mg/g 있었다. 무처리구보다 높은 함량은 보인 것은 NGSRB05(52.71 mg/g), NGSRB06(55.86 mg/g), NGSRB09(53.91 mg/g), NGSRB15(58.04 mg/g) 및 NGSRB16(55.32 mg/g) 있었다. 또한 발아율이 지베렐린과 유사한 NGSRB20번은 42.77 mg/g으로 무처리구보다 낮은 함량을 나타내었다.

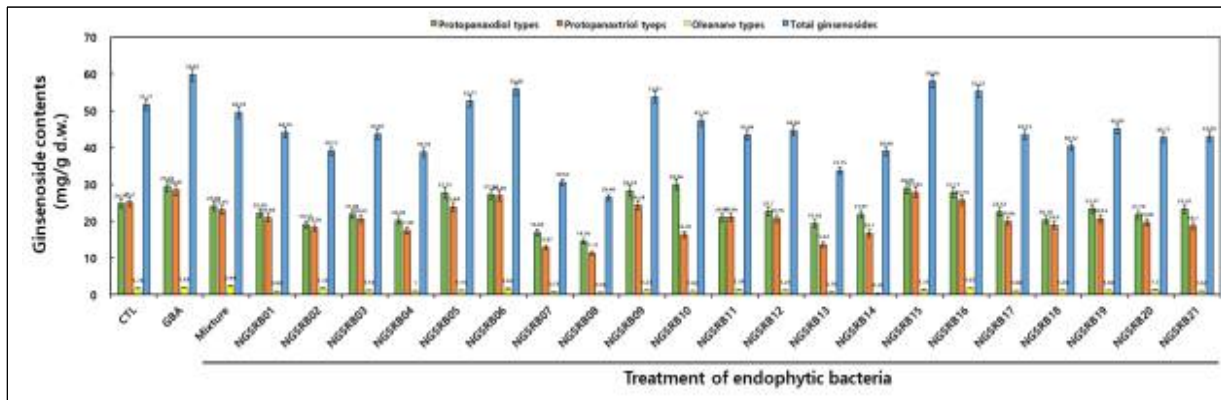


Figure 71. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 함량.

Table 23. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 유도체 함량

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	CTL	GBA	Treatment of endophytic bacteria (NGSRB)					
			Mixture	01	02	03	04	05
Protopanaxtriol types								
Ginsenoside Rg1 (1)	3.53	5.30	3.18	3.68	3.25	4.78	2.82	5.45
Ginsenoside Re (2)	14.79	13.91	12.99	11.43	10.08	10.41	10.03	11.71
Ginsenoside Rf (4)	0.62	0.78	0.71	0.44	0.45	0.46	0.48	0.71
Ginsenoside F5 (5)	1.31	1.64	1.64	1.32	0.96	1.11	0.93	1.55
Ginsenoside F3 (7)	1.33	1.73	1.25	1.07	0.98	1.22	0.93	1.11
Ginsenoside Rg2 (8)	0.94	1.20	0.91	0.72	0.61	0.64	0.64	0.86
Ginsenoside Rh1 (9)	nd ²⁾	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ginsenoside F1 (13)	2.31	2.88	1.82	1.92	1.69	1.76	1.40	2.33
Protopanaxtriol (18)	0.32	0.74	0.57	0.31	0.18	0.17	0.25	0.48
Protopanaxdiol types								
Ginsenoside Rb1 (6)	2.31	2.07	2.19	1.77	1.90	1.80	1.80	2.11
Ginsenoside Rc (10)	2.33	2.29	2.29	1.97	1.62	1.92	1.98	4.45
Ginsenoside Rb2 (11)	2.18	1.84	1.92	1.79	1.43	1.90	1.76	1.83
Ginsenoside Rb3 (12)	0.24	0.30	0.24	0.22	0.17	0.27	0.19	0.25
Ginsenoside Rd (14)	5.73	4.35	4.93	6.43	3.81	5.37	4.68	5.06
Ginsenoside Rd2 (15)	2.93	4.16	2.84	2.27	2.58	2.49	2.15	2.90
Ginsenoside F2 (16)	6.98	11.03	6.62	5.29	5.86	5.43	4.68	7.48
Ginsenoside Rg3 (17)	0.31	0.78	0.62	0.31	0.25	0.49	0.34	0.91
Compound K (19)	0.39	0.52	0.40	0.33	0.24	0.20	0.31	0.53
Ginsenoside Rh2 (20)	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.21	0.25	0.48
Protopanaxdiol (21)	1.09	1.86	1.79	1.63	1.10	1.80	2.13	1.72
Oleanane types								
Ginsenoside Ro (3)	1.74	1.95	2.44	0.98	1.72	1.16	1.00	1.15

¹⁾All values are presented as the mean±SD of quintuple determination.

²⁾nd: not detected.

Table 23. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 유도체 함량 (계속)

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	Treatment of endophytic bacteria (NGSRB)							
	06	07	08	09	10	11	12	13
Protopanaxtriol types								
Ginsenoside Rg1 (1)	4.42	1.80	2.07	4.77	2.82	3.51	3.70	2.49
Ginsenoside Re (2)	13.87	7.71	6.63	12.72	9.11	11.60	11.43	10.96
Ginsenoside Rf (4)	0.80	0.32	0.34	0.62	0.38	0.55	0.56	0.53
Ginsenoside F5 (5)	1.56	0.61	0.34	1.35	0.87	1.37	1.10	0.83
Ginsenoside F3 (7)	1.75	0.69	0.55	1.39	0.93	1.23	1.19	0.98
Ginsenoside Rg2 (8)	0.97	0.43	0.43	0.80	0.53	0.70	0.74	0.63
Ginsenoside Rh1 (9)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ginsenoside F1 (13)	2.73	1.07	1.00	2.28	1.54	1.78	1.85	1.54
Protopanaxtriol (18)	0.80	0.26	0.14	0.26	0.18	0.31	0.16	0.15
Protopanaxdiol types								
Ginsenoside Rb1 (6)	2.04	1.29	1.17	2.31	1.69	1.75	1.90	1.90
Ginsenoside Rc (10)	2.26	1.21	1.13	2.23	1.61	2.04	2.34	1.84
Ginsenoside Rb2 (11)	1.94	1.20	0.95	2.16	1.71	1.73	2.43	1.67
Ginsenoside Rb3 (12)	0.27	0.15	0.14	0.25	0.20	0.21	0.32	0.25
Ginsenoside Rd (14)	5.83	2.87	2.22	5.95	4.16	4.88	6.56	4.21
Ginsenoside Rd2 (15)	3.23	1.82	1.59	3.40	2.06	2.12	2.15	2.05
Ginsenoside F2 (16)	7.52	3.97	3.35	7.97	4.39	5.01	4.84	5.19
Ginsenoside Rg3 (17)	0.56	0.30	0.25	0.50	10.24	0.30	0.30	0.22
Compound K (19)	0.57	0.30	0.21	0.35	0.22	0.36	0.19	0.18
Ginsenoside Rh2 (20)	0.74	0.35	0.18	0.21	0.20	0.47	0.21	0.23
Protopanaxdiol (21)	2.35	3.50	3.38	2.90	3.47	2.11	1.47	1.63
Oleanane types								
Ginsenoside Ro (3)	1.65	0.75	0.59	1.23	1.02	1.39	1.21	0.76

¹⁾All values are presented as the mean±SD of quintuple determination.²⁾nd: not detected.

Table 23. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 유도체 함량 (계속)

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	Treatment of endophytic bacteria (NGSRB)							
	14	15	16	17	18	19	20	21
Protopanaxtriol types								
Ginsenoside Rg1 (1)	2.24	5.42	3.93	3.11	3.64	3.54	3.05	3.22
Ginsenoside Re (2)	10.21	14.74	14.59	11.61	10.24	11.54	10.94	10.75
Ginsenoside Rf (4)	0.43	0.58	0.53	0.52	0.51	0.51	0.42	0.42
Ginsenoside F5 (5)	0.68	1.42	1.66	0.96	0.96	1.18	0.79	0.98
Ginsenoside F3 (7)	0.94	1.79	1.37	1.03	1.07	1.24	1.10	0.94
Ginsenoside Rg2 (8)	0.80	1.02	0.97	0.74	0.65	0.76	0.84	0.68
Ginsenoside Rh1 (9)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ginsenoside F1 (13)	1.21	2.58	2.35	1.73	1.61	1.59	2.22	1.45
Protopanaxtriol (18)	0.24	0.30	0.34	0.22	0.22	0.28	0.24	0.25
Protopanaxdiol types								
Ginsenoside Rb1 (6)	1.83	2.14	2.25	2.35	1.81	2.13	2.71	2.42
Ginsenoside Rc (10)	1.73	2.36	2.65	2.07	1.77	2.14	2.39	2.32
Ginsenoside Rb2 (11)	1.69	2.17	2.28	1.85	1.62	1.77	1.47	2.11
Ginsenoside Rb3 (12)	0.22	0.29	0.28	0.22	0.24	0.27	0.91	0.27
Ginsenoside Rd (14)	3.96	6.23	6.48	4.45	3.99	4.16	4.31	4.99
Ginsenoside Rd2 (15)	2.35	3.81	2.47	2.46	2.10	3.11	3.67	1.61
Ginsenoside F2 (16)	4.81	8.72	6.60	6.01	4.81	6.31	3.74	5.56
Ginsenoside Rg3 (17)	0.43	0.31	0.36	0.25	0.41	0.45	0.40	0.37
Compound K (19)	0.54	0.59	0.25	0.29	0.34	0.43	0.53	0.37
Ginsenoside Rh2 (20)	0.43	0.53	0.53	0.22	0.23	0.24	0.44	0.15
Protopanaxdiol (21)	3.93	1.73	3.62	2.34	3.05	2.36	1.22	3.16
Oleanane types								
Ginsenoside Ro (3)	0.38	1.31	1.81	1.08	1.24	1.09	1.30	1.02

¹⁾All values are presented as the mean±SD of quintuple determination.

²⁾nd: not detected.

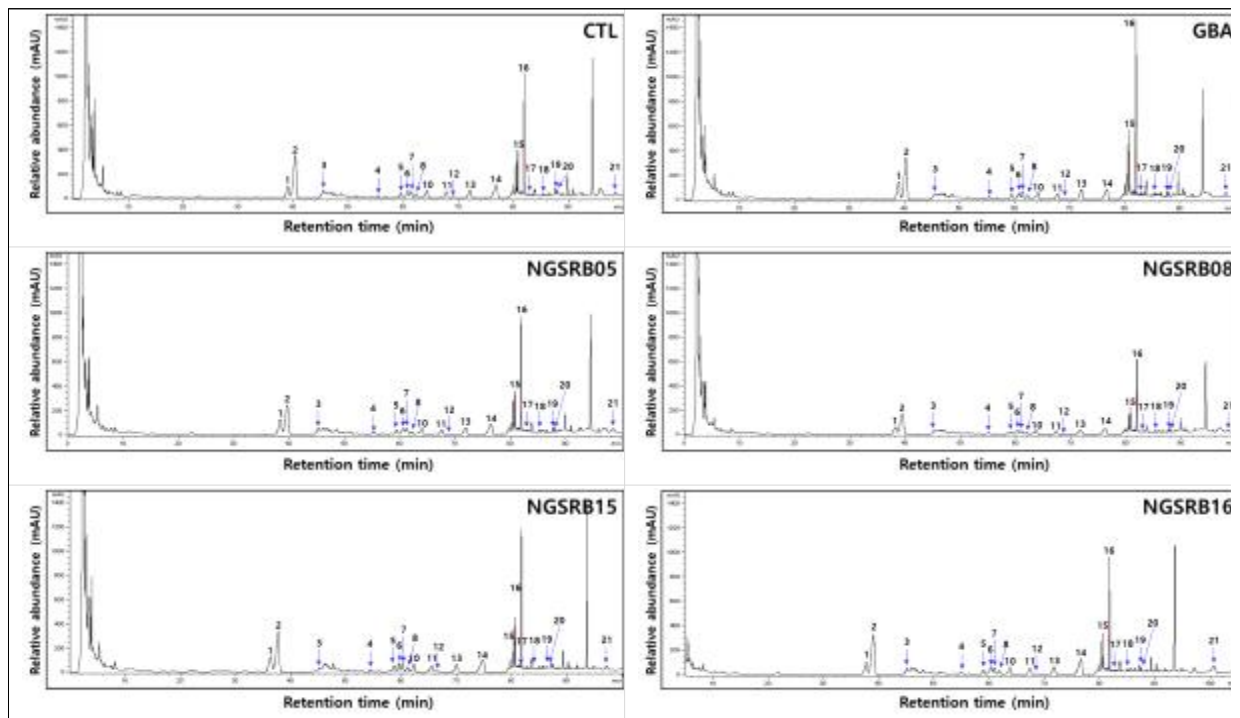


Figure 72. SA와 GBA 처리에 따른 30일째 새싹인삼의 ginsenoside HPLC 크로마토그램.

- 항산화 활성: 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거

활성을 확인한 결과 Figure 73과 74와 같았다. DPPH 라디칼 소거활성의 경우 Control의 경우 미생물을 처리하지 않은 것으로 64.05로 확인되었으며 양성대조군인 GBA 처리군은 74.77%의 활성을 나타내었다. 미생물 처리구중 NGSRB05(65.42%), 06(67.37%) 및 09(64.27%) 처리구에서 control과 비교해 높은 활성을 보였으며 그밖에 NGSRB15(61.21%)와 16(58.94%) 처리구 또한 비교적 높은 활성을 나타내었다. 모든 미생물 처리구는 GBA 처리군과 비교해 낮게 확인되었다. ABTS 라디칼 소거활성 확인결과 control에서 75.68%였으며 GBA 처리구의 경우 87.72%로 확인되었다. DPPH 라디칼 소거활성과 마찬가지로 모든 미생물 처리구에서 양성대조군인 GBA 처리구보다 낮게 확인되었다. 미생물 처리구중 NGSRB05(77.52%), 06(78.69%), 09(74.97%), 15(82.32)와 16(78.11%)는 비교적 높은 활성을 나타내었으며 이는 DPPH에서 높게 확인되었던 군주와 같았다.

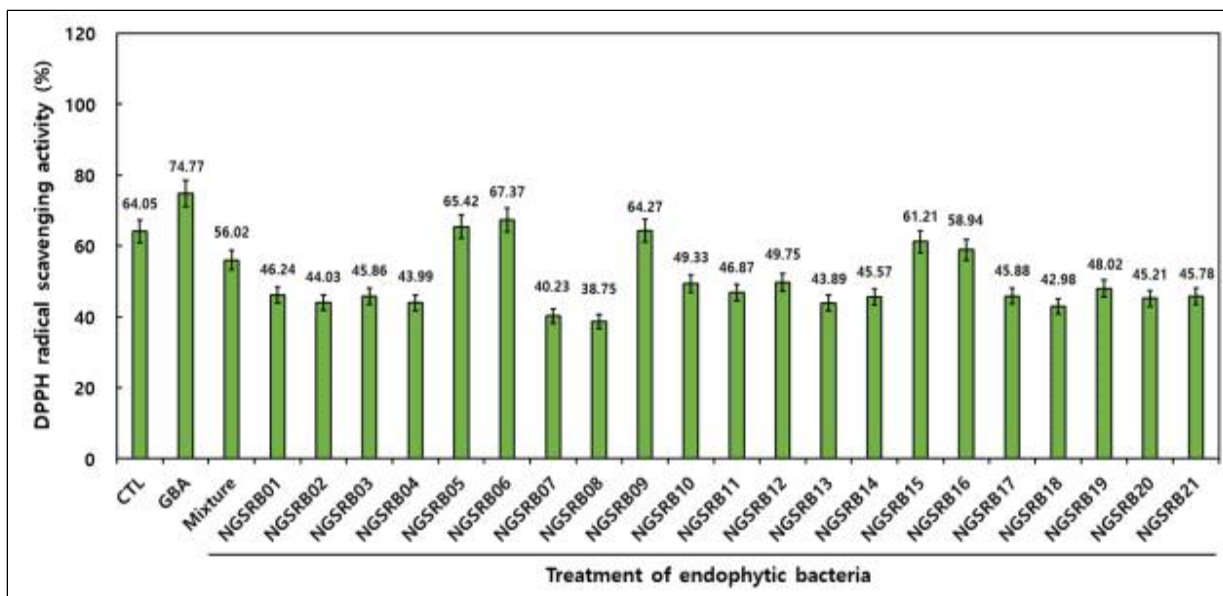


Figure 73. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 DPPH 라디칼 소거활성.

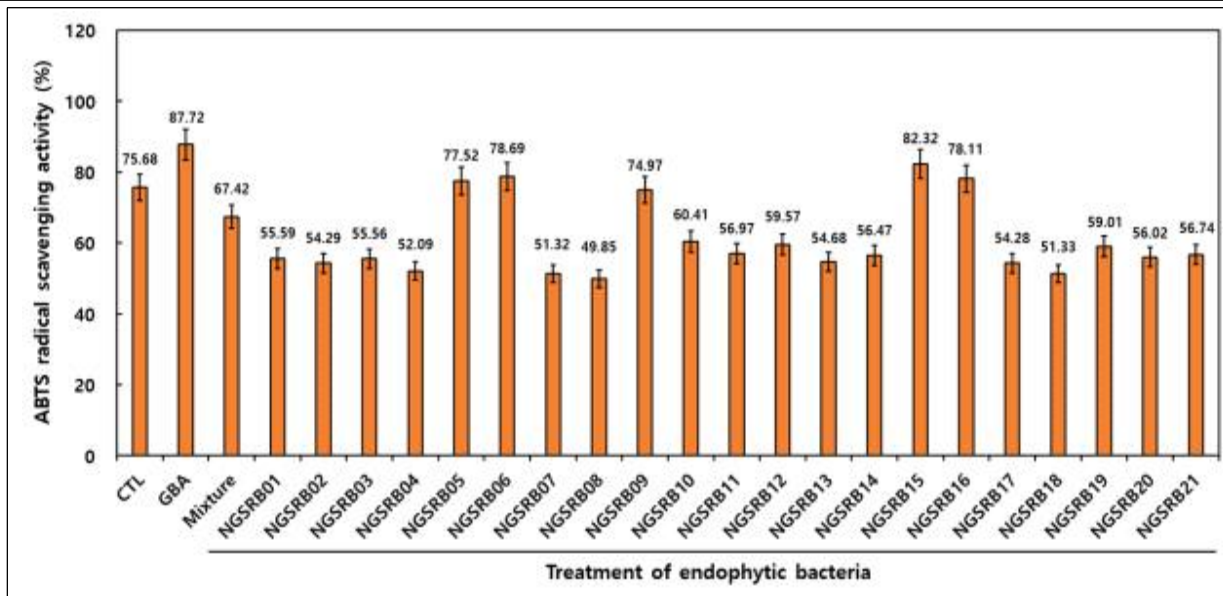


Figure 74. 1차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ABTS 라디칼 소거활성.

■ 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 확인:

- 발아율, 길이 및 무게: 내생세균(NGSRB05, 07, 08, 12, 15, 19, 20, 21)를 처리하여 기른 새싹인삼을 30일째 수확하여 발아율, 길이 및 무게를 측정한 결과는 Figure 75, Figure 76과 같았다. 30일째 수확 후 발아율을 측정한 결과, NGSRB07, 12 처리구를 제외한 NGSRB05, 08, 15, 19, 20, 21 처리구는 무처리구의 발아율(72%)보다 높았다. 그 중 NGSRB08, 21 처리구의 발아율은 모두 92% 이며, GBA 비교구의 발아율인 90%보다 높게 확인되었다. 평균 길이를 측정한 결과, NGSRB20 처리구를 제외한 나머지 처리구의 개체 길이가 무처리구의 길이(20.27 cm)보다 길었다. GBA 비교구의 평균 길이는 21.02 cm 이며, NGSRB05, 07, 15, 19 처리구의 평균 길이가 각각 22.07, 21.24, 21.43, 21.08 cm 로 GBA 비교구보다 더 길었다. 평균 무게를 비교하였을 때, NGSRB20 처리구를 제외한 나머지는 GBA 비교구의 평균 무게에 비해 같거나 높았다. GBA 비교구의 평균 무게는 0.85 g으로 NGSRB08 처리구의 평균 무게가 같았고, NGSRB05, 19 처리구의 평균 무게는 각각 0.96 g, 0.94 g으로 다른 처리구에 비하여 평균 무게가 더 높은 것으로 확인되었다.

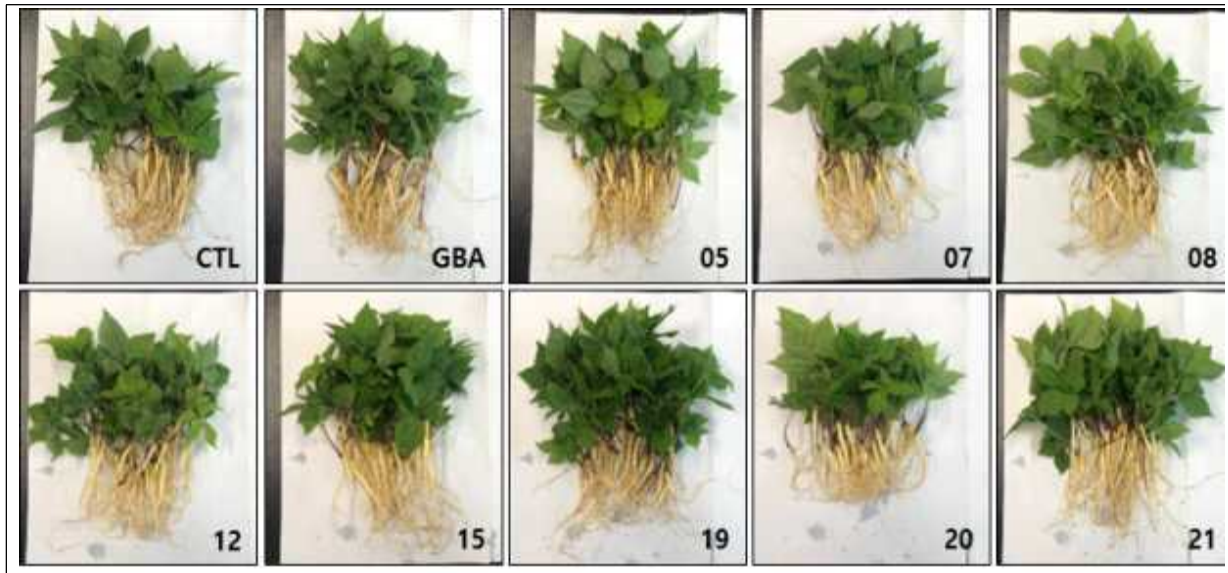


Figure 75. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼 생육 사진.

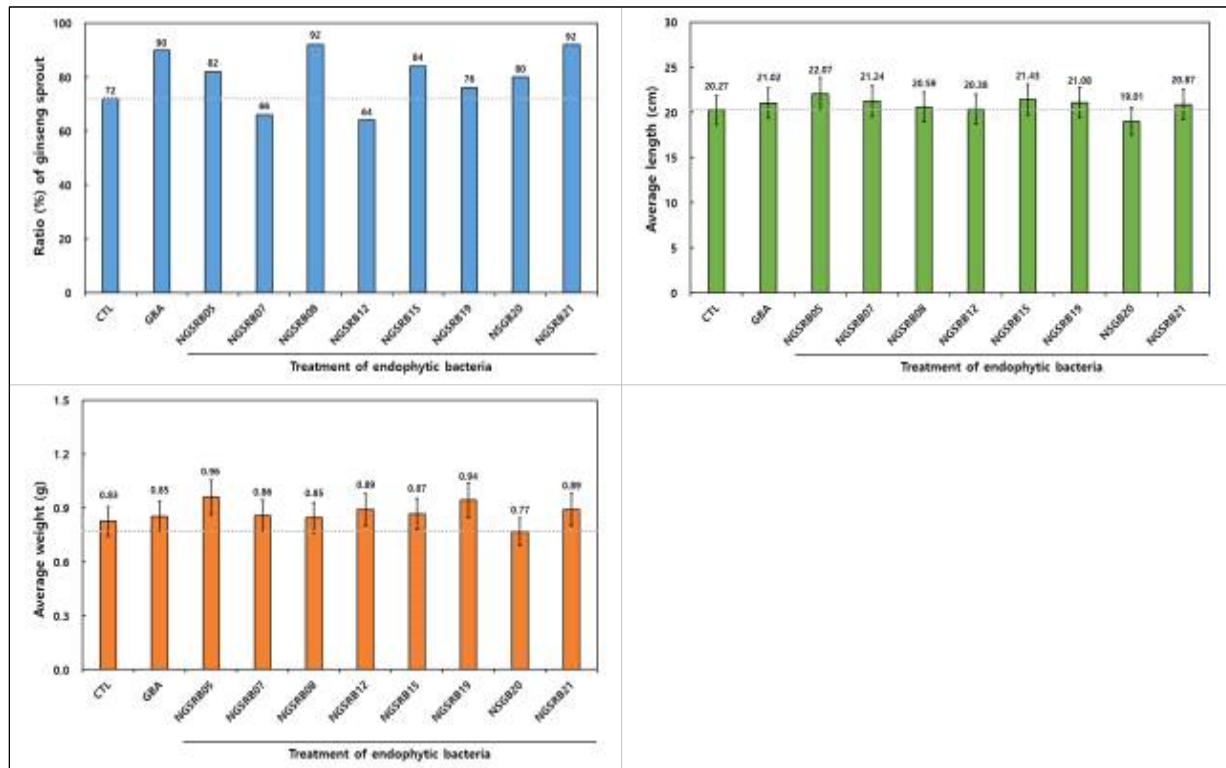


Figure 76. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 발아율 및 생체 길이와 무게.

- Ginsenosides : 내생세균(NSGRB05, 07, 08, 12, 15, 19, 20, 21)를 처리하여 기른 새싹인삼을 30일째 수확하여 ginsenoside 함량을 분석한 결과는 Figure 77 및 Table 24와 같았다. 30일째 수확 후 ginsenoside 함량을 측정된 결과, 총 ginsenoside 함량은 지베레린(GBA)를 처리한 것이 52.86 mg/g으로 가장 높았고 그 다음으로 NSGB20을 처리한 것이 49.32 mg/g, NSGB18은 48.73 mg/g로 높았다. 한편 NSGB07와 NSGBB20를 처리한 것은 무처리구(Control)보다 낮았으나, 이외 균주들은 무처리구와 비슷한 함량을 보였다. 상기 향균력이 NSGB19번의 경우 주요 ginsenoside는 G-Re과 G-Rd로 각각

11.2 mg/g과 6.94 mg/g 있었다.

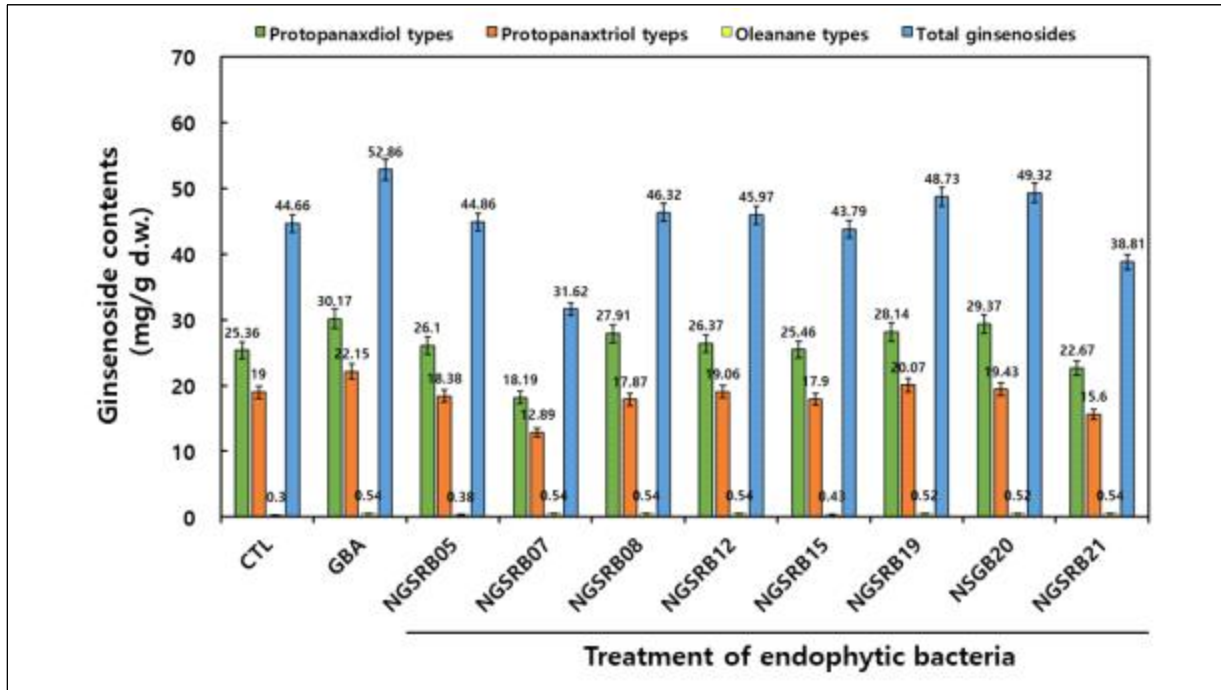


Figure 77. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 발아율, 길이와 무게.

Table 24. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 유도체 함량

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	Control	GBA	Treatment of endophytic bacteria (NGSRB)		
			NSGB05	NSGB07	NSGB08
Protopanaxtriol types					
Ginsenoside Rg1 (1)	4.5	4.63	3.86	2.01	3.22
Ginsenoside Re (2)	9.68	11.88	9.85	7.58	9.96
Ginsenoside Rf (4)	0.67	0.55	0.45	0.41	0.59
Ginsenoside F5 (5)	0.84	1	0.87	0.64	0.76
Ginsenoside F3 (7)	1.13	1.43	1.34	0.8	1.23
Ginsenoside Rg2 (8)	0.62	0.75	0.64	0.46	0.66
Ginsenoside Rh1 (9)	nd	nd	nd	nd	nd
Ginsenoside F1 (13)	1.21	1.53	1.08	0.69	1.12
Protopanaxtriol (18)	0.35	0.38	0.29	0.3	0.33
Protopanaxdiol types					
Ginsenoside Rb1 (6)	2.77	3.21	2.76	2.07	3.19
Ginsenoside Rc (10)	3.26	3.87	3.46	2.23	3.76
Ginsenoside Rb2 (11)	2.85	3.63	3.23	1.85	3.43
Ginsenoside Rb3 (12)	0.37	0.56	0.4	0.2	0.42
Ginsenoside Rd (14)	5.37	6.78	6.32	3.33	7.03
Ginsenoside Rd2 (15)	2.32	2.72	2.27	1.44	1.95
Ginsenoside F2 (16)	5.81	6.22	4.48	2.71	3.8
Ginsenoside Rg3 (17)	0.26	0.36	0.29	0.19	0.3
Compound K (19)	0.51	0.62	0.5	0.47	0.59
Ginsenoside Rh2 (20)	0.43	0.6	0.43	0.39	0.55
Protopanaxdiol (21)	1.41	1.6	1.96	3.31	2.89
Oleanane types					
Ginsenoside Ro (3)	0.3	0.54	0.38	0.54	0.54

¹⁾All values are presented as the mean±SD of quintuple determination.

²⁾nd: not detected.

Table 24. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenosides 유도체 함량 (계속)

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	Treatment of endophytic bacteria (NGSRB)				
	NSGB12	NSGB15	NSGB19	NSGB20	NSGB21
Protopanaxtriol types					
Ginsenoside Rg1 (1)	3.16	3.5	3.55	3.87	2.77
Ginsenoside Re (2)	10.91	10.13	11.2	10.33	8.69
Ginsenoside Rf (4)	0.57	0.49	0.58	0.71	0.43
Ginsenoside F5 (5)	0.77	0.71	0.85	0.87	0.8
Ginsenoside F3 (7)	1.36	1.14	1.37	1.44	1.03
Ginsenoside Rg2 (8)	0.75	0.62	0.73	0.68	0.55
Ginsenoside Rh1 (9)	nd	nd	nd	nd	nd
Ginsenoside F1 (13)	1.17	0.97	1.36	1.17	0.91
Protopanaxtriol (18)	0.37	0.34	0.43	0.36	0.42
Protopanaxdiol types					
Ginsenoside Rb1 (6)	3.39	3.26	2.91	3.72	2.26
Ginsenoside Rc (10)	3.64	3.72	3.44	3.88	2.88
Ginsenoside Rb2 (11)	2.95	3.42	3.02	3.43	2.67
Ginsenoside Rb3 (12)	0.42	0.44	0.35	0.42	0.34
Ginsenoside Rd (14)	5.38	6.67	6.94	6.52	4.98
Ginsenoside Rd2 (15)	2.42	1.5	2.58	2.69	2.28
Ginsenoside F2 (16)	4.96	3	5.47	5.16	4.15
Ginsenoside Rg3 (17)	0.29	0.27	0.33	0.33	0.3
Compound K (19)	0.49	0.51	0.57	0.7	0.59
Ginsenoside Rh2 (20)	0.41	0.43	0.7	0.62	0.46
Protopanaxdiol (21)	2.02	2.24	1.83	1.9	1.76
Oleanane types					
Ginsenoside Ro (3)	0.54	0.43	0.52	0.52	0.54

¹⁾All values are presented as the mean±SD of quintuple determination.

²⁾nd: not detected.

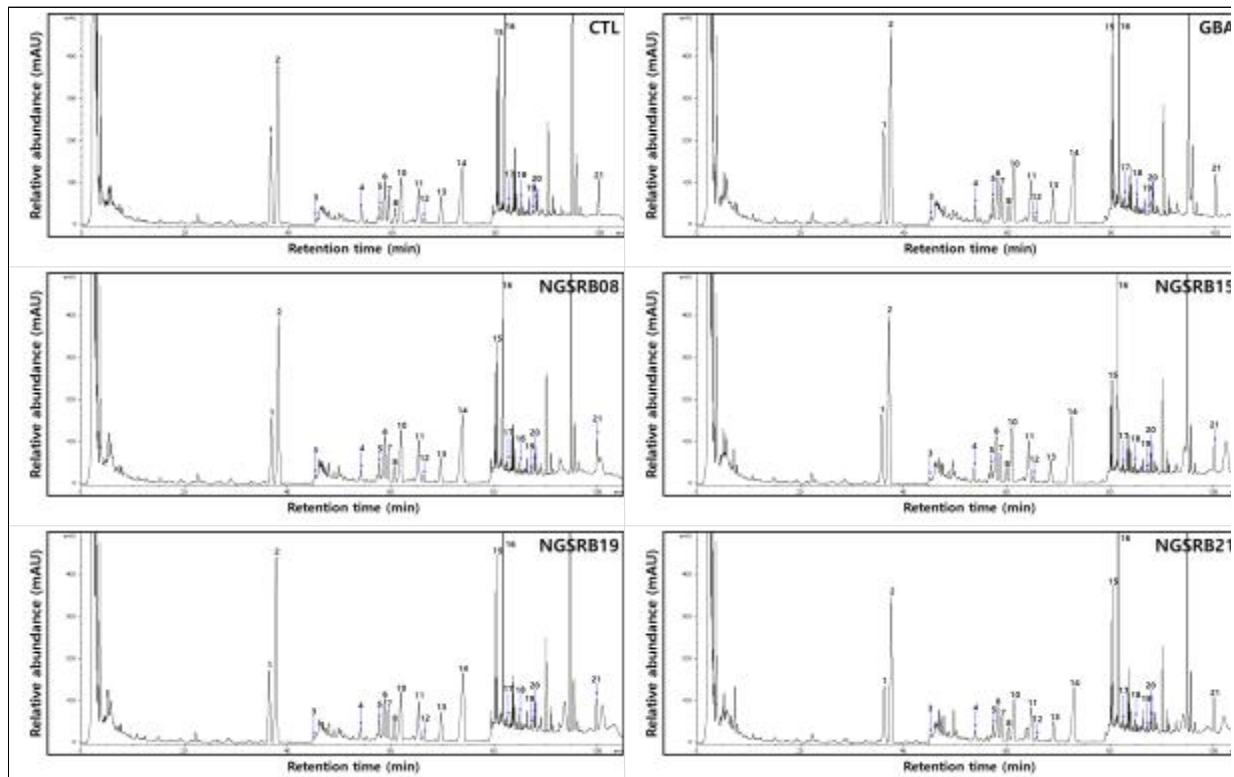


Figure 78. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 ginsenoside HPLC 크로마토그램.

- 항산화 활성: 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거

활성을 확인한 결과 Figure 79와 같았다. 1차 내생세균 처리에서 선발된 균주를 이용하여 2차 미생물 처리에 따라 라디칼 소거활성을 확인한 결과 control과 GBA 처리구의 경우 DPPH의 경우 각각 32.53 및 38.14%로 확인되었으며 ABTS는 27.21 및 29.86%로 확인되었다. NGSRB12(30.29%, 24.24%), 15(29.63%, 22.82%), 19(29.36%, 24.18%) 및 21(26.32%, 23.14%)은 다른 균주에 비해 다소 낮게 확인되었으며 NGSRB20(38.34%, 30.70%) 처리구의 경우 양성 대조구 보다 높은 활성을 나타낸 유일한 처리구로 확인되었다.

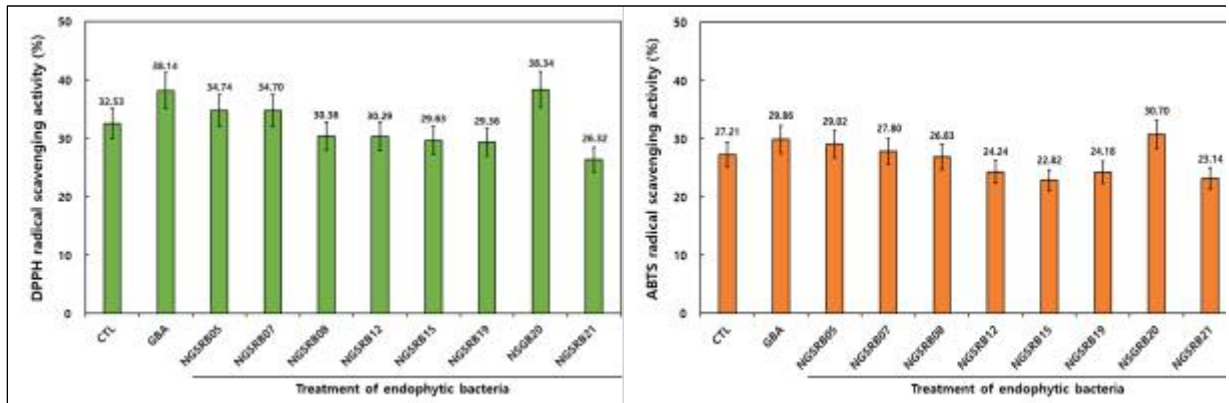


Figure 79. 2차 내생세균 처리에 따른 새싹인삼의 항산화 활성.

4) 새싹콩나물 생산을 광원 및 수확시기 최적 조건 확립

○ 새싹콩나물(YSS, young soybean sprout) 생산 조건을 위한 적정 광원 선정

■ 새싹콩나물 생육: 아래 Figure 80와 같이 제작한 스마트-대사체 챔버에서 새싹콩나물(young soybean sprout) 최적 생산을 위한 광원 등의 생육조건 확립하였다.

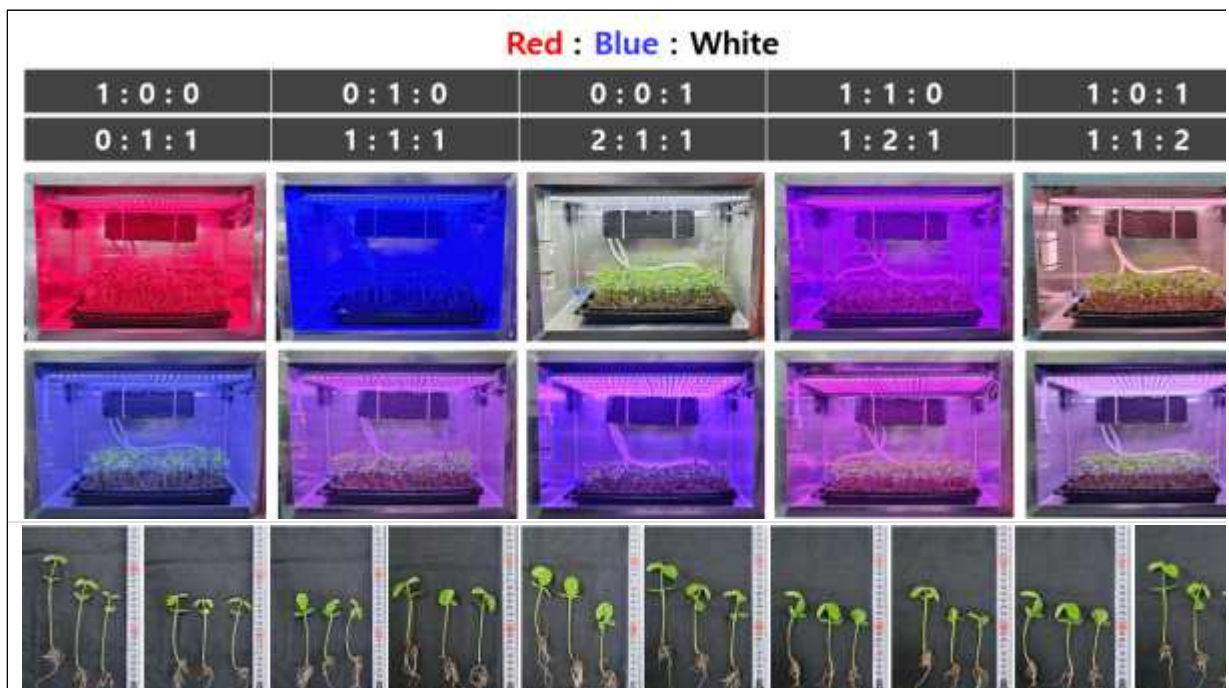


Figure 80. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물 생육.

- 생체 길이: 광원 조건에 따른 새싹콩나물을 7일째 수확하여 생체 길이를 측정한 결과는 Figure 81와 같았다. 10개의 광원 조건 중 광의 비(Red:Blue:White)가 1:0:1, 0:1:1 일 때 생체 평균 길이가 각각 21.07, 20.85 cm로 가장 길었다. 광의 비가 1:1:0 일 때 생체 길이가 16.57 cm였으며 가장 짧았고, 0:1:0, 0:0:1, 1:1:0의 생체 길이 (16.93, 16.85, 16.57 cm)는 비슷하였다.

- 생체 무게: 광원 조건에 따른 새싹콩나물을 7일째 수확하여 생체 무게를 측정한 결과는 Figure 81와 같았다. 광원의 조건 중 1:0:1, 0:1:0, 1:0:0 처리구의 순으로 생체 무게가 높았으며, 각각 1.15, 1.14, 1.13 g으로 측정되었다. 일부를 제외한 나머지 시료는 1 g 이상이었으며, 1:1:1, 2:1:1, 1:1:2의 처리구(0.95, 0.90, 0.99 g)는 1 g 이하였고, 2:1:1의 처리구에서 무게가 가장 적게 나갔다.

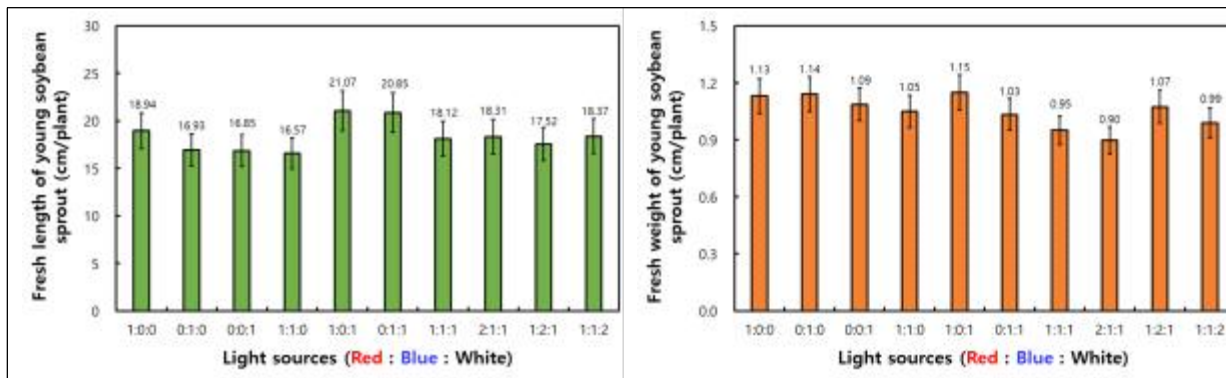


Figure 81. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 생체 길이와 무게.

○ 새싹콩나물의 생리활성 물질 및 항산화 활성:

■ 총 phenolics와 총 flavonoids 함량: 광원 조건에 따른 새싹콩나물을 7일째 수확하여 총 phenolics와 총 flavonoids을 분석한 결과, Figure 82와 같았다. 총 phenolics에서 10개의 광원 조건 중 광의 비(Red:Blue:White)가 1:2:1일 때 0.16 GAE mg/g 으로 가장 높았다. 두 번째로 높았던 처리구는 0:1:0, 2:1:1이며 0.15 GAE mg/g 검출되었다. 이외 나머지 시료는 0.13~0.14 GAE mg/g 으로 큰 차이를 보이지 않았다. 10개 광원의 총 flavonoids 함량을 분석하였을 때, 1:2:1에서 0.033 RE mg/g 검출되었으며, 10개의 광원 조건 중 가장 높게 확인되었다. 2:1:1 처리구에서 0.032 RE mg/g로 두 번째로 높았으며, 1:1:2의 광조건에서 0.025 RE mg/g 으로 가장 낮게 검출되었다.

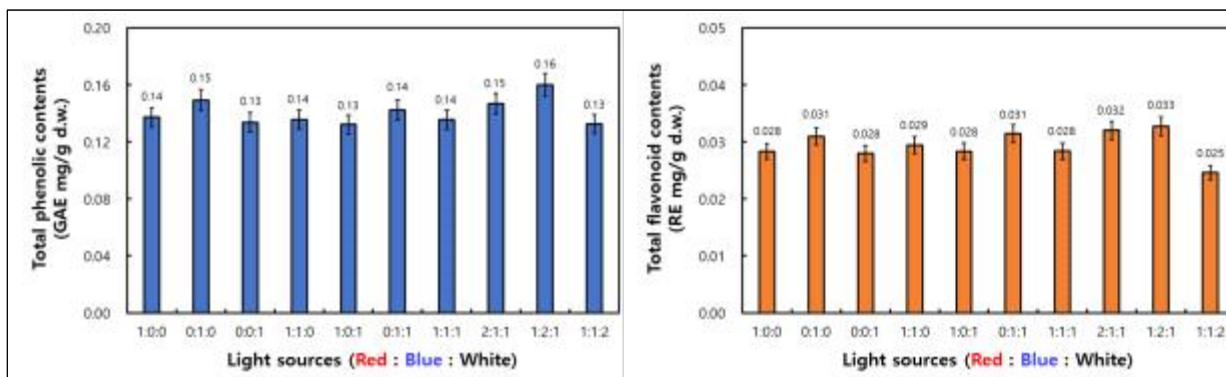


Figure 82. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 총 phenolics/flavonoids 함량.

■ Isoflavones 함량: 광원 조건에 따른 새싹콩나물의 isoflavones 함량을 분석한 결과

는 Table 25, Figure 83, Figure 84와 같았다. Glycosides 3종, malonyl- β -glycosides 3종, aglycones 3종을 분석한 결과, 모든 처리구에서 malonyl- β -glycosides, glycosides, aglycones 순으로 높게 검출되었다. 총 isoflavone 함량은 1:2:1 처리구에서 2073.14 μ g/g 로 가장 높게 검출되었다. 두 번째로 2:1:1(1928.68 μ g/g), 그 다음으로 0:1:0(1870.77 μ g/g) 으로 높게 검출되었다. 1:2:1 처리구에서 aglycones 3종 중 glycitein을 제외한 모든 물질이 다른 처리구에 비해 높게 나타났으며, glycitein은 1:1:0 처리구에서 15.56 μ g/g으로 가장 높았다. Glycosides 중 glycitin은 1:0:1 처리구에서만 확인되었다(86.17 μ g/g). Malonyl- β -glycosides 중 주요물질인 genistin이 1:2:1 처리구에서 560.33 μ g/g 로 가장 높게 검출되었다.

Table 25. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 isoflavone 유도체 함량.

Contents ¹⁾ (μ g/g)	Light sources (Red : Blue : White)									
	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:0	1:0:1	0:1:1	1:1:1	2:1:1	1:2:1	1:1:2
β-Glycosides										
Daidzin	354.41 \pm 17.72	364.74 \pm 18.24	386.11 \pm 19.31	270.31 \pm 13.52	249.02 \pm 12.45	286.32 \pm 14.32	308.51 \pm 15.43	367.89 \pm 18.39	386.82 \pm 19.34	337.19 \pm 16.86
Glycitin	nd ²⁾	nd	nd	nd	86.17 \pm 4 .31	nd	nd	nd	nd	nd
Genistin	368.61 \pm 18.43	439.19 \pm 21.96	397.52 \pm 19.88	287.87 \pm 14.39	292.39 \pm 14.62	301.73 \pm 15.09	295.87 \pm 14.79	370.35 \pm 18.52	407.04 \pm 20.35	328.97 \pm 16.45
Total	723.02	803.93	783.63	558.17	627.59	588.05	604.38	738.24	793.86	666.17
Malonyl-β-glycosides										
Daidzin	416.16 \pm 20.81	385.35 \pm 19.27	376.97 \pm 18.85	420.21 \pm 21.01	350.15 \pm 17.51	411.99 \pm 20.60	396.53 \pm 19.83	476.67 \pm 23.83	479.10 \pm 23.96	407.90 \pm 20.40
Glycitin	46.71 \pm 2 .34	59.69 \pm 2 .98	53.94 \pm 2 .70	55.72 \pm 2 .79	35.89 \pm 1 .79	59.05 \pm 2 .95	56.55 \pm 2 .83	59.44 \pm 2 .97	64.05 \pm 3 .20	53.86 \pm 2 .69
Genistin	446.34 \pm 22.32	486.08 \pm 24.30	432.56 \pm 21.63	517.47 \pm 25.87	500.73 \pm 25.04	516.17 \pm 25.81	462.50 \pm 23.13	499.15 \pm 24.96	560.33 \pm 28.02	457.18 \pm 22.86
Total	909.20	931.12	863.47	993.40	886.76	987.21	915.57	1,035.27	1103.48	918.93
Aglycones										
Daidzein	68.49 \pm 3 .42	68.51 \pm 3 .43	65.75 \pm 3 .29	68.32 \pm 3 .42	89.87 \pm 4 .49	78.99 \pm 3 .95	63.40 \pm 3 .17	87.31 \pm 4 .37	94.46 \pm 4 .72	80.44 \pm 4 .02
Glycitein	nd	9.30 \pm 0. 47	nd	15.56 \pm 0 .78	6.67 \pm 0. 33	9.27 \pm 0. 46	7.85 \pm 0. 39	8.45 \pm 0. 42	9.90 \pm 0. 50	8.57 \pm 0. 43
Genistein	41.62 \pm 2 .08	59.78 \pm 2 .99	49.83 \pm 2 .49	48.51 \pm 2 .43	63.54 \pm 3 .18	56.75 \pm 2 .84	48.91 \pm 2 .45	61.10 \pm 3 .06	71.44 \pm 3 .57	60.95 \pm 3 .05
Total	110.10	135.73	115.59	126.17	158.74	143.15	117.02	155.17	175.80	148.24

¹⁾All values are presented as the mean \pm SD of triplicate determination.

²⁾nd: not detected.

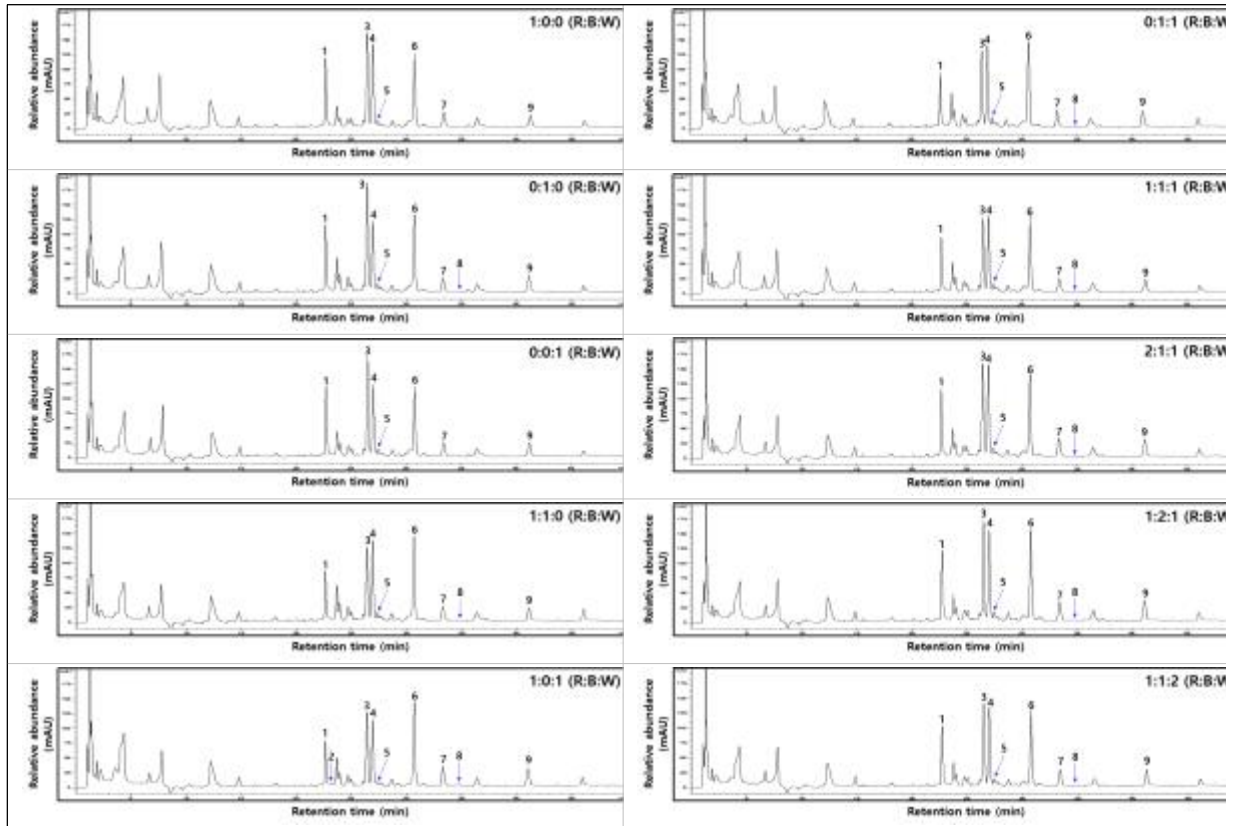


Figure 83. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 isoflavone HPLC 크로마토그램.

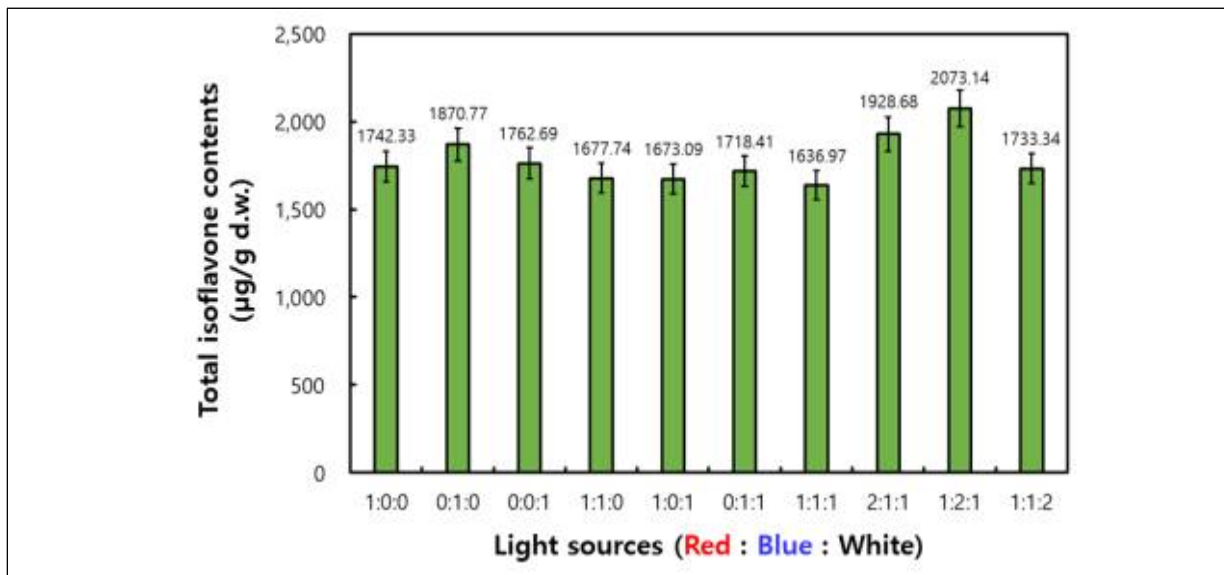


Figure 84. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 총 isoflavones 함량.

■ 항산화 활성: 광원 조건에 따른 새싹콩나물의 항산화 활성을 분석해본 결과는 Figure 85와 같았다. DPPH 라디칼 소거활성은 1:2:1 처리구에서 가장 높았으며, 2:1:1, 0:1:0 순으로 높았으며, 1:1:2 처리구에서 비교적 낮은 활성을 보였다. 가장 높았던 1:2:1 처리구는 21.29 %, 2:1:1은 20.62 %, 0:1:0은 19.97 %로 나타났다. ABTS 라디칼 소거활성 역시 1:2:1 처리구에서 47.97 %로 가장 높은 활성을 보였다. 두 번째로 45.99 %로 2:1:1 처리구가 높았고, 0:1:0 처리구가 43.25%로 그 다음으로 높았다. 나머

지 시료는 40 % 정도로 비슷하게 나타났다.

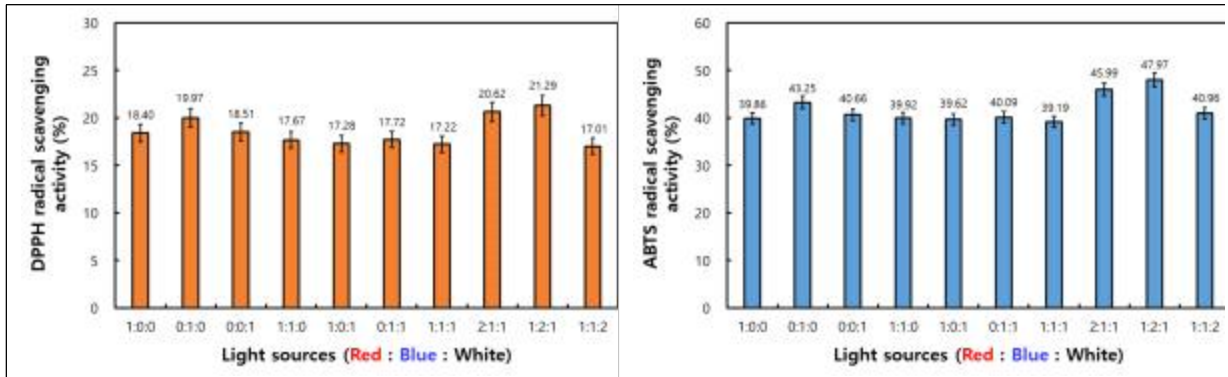


Figure 85. 광원(광량과 광질) 조건에 따른 새싹콩나물의 항산화 활성.

○ 새싹콩나물(YSS, young soybean sprout) 생산 조건을 위한 최적 수확시기 선정

■ 새싹콩나물 생육: 콩 파종 후 혼합광원(Red:Blue:White = 1:2:1)에서 11일간 생육시키고 5일차, 7일차, 9일차 및 11일차에 수확하였다.

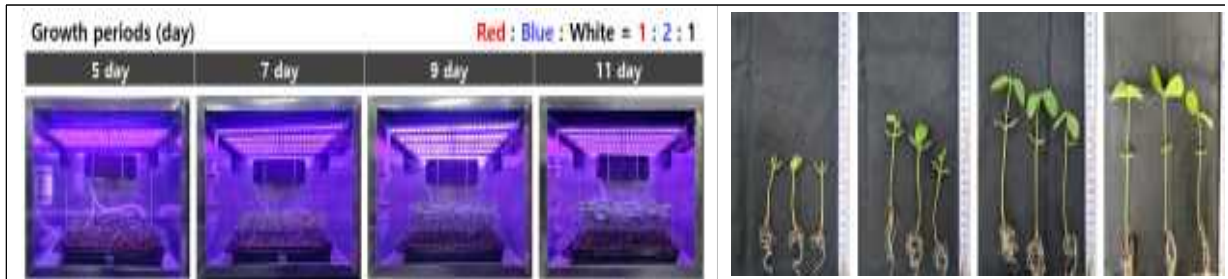


Figure 66. 새싹콩나물 생육시기.

■ 생체 길이: 광원 Red:Blue:White=1:2:1 조건에서 생육기간에 따른 새싹콩나물의 생체 길이를 측정한 결과는 Figure 86와 같았다. 1:2:1 광원 조건에서 5 day의 생체 길이는 14.09 cm, 7 day의 생체 길이는 18.79 cm, 9 day의 생체 길이는 21.78 cm, 11 day 생체 길이는 22.07cm로, 11day의 생체 길이가 가장 길었다. 5 day에서 9 day까지는 생체 길이 차이가 2~3cm 차이를 보였으나 9 day ~ 11 day의 차이는 적었다.

■ 생체 무게:광원 Red:Blue:White=1:2:1 조건에서 생육기간에 따른 새싹콩나물의 생체 무게를 측정한 결과는 Figure 87와 같았다. 5 day에서 11 day로 생육 기간이 길어질수록 생체의 무게는 증가하는 것으로 나타났다. 5 day의 생체 무게는 0.66 g, 11 day의 생체 무게는 1.18 g으로 약 2배 정도의 차이를 보였다.

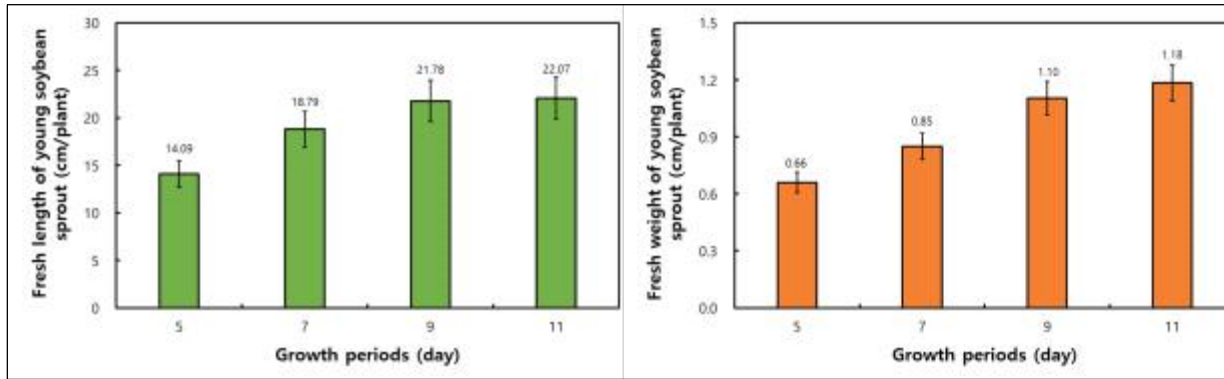


Figure 87. 새싹콩나물 생육시기의 생체 길이와 무게.

○ 새싹콩나물의 생리활성 물질 및 항산화 활성:

■ 총 phenolics와 총 flavonoids 함량 : 광원 Red:Blue:White=1:2:1 조건에서 생육기간에 따른 새싹콩나물의 총 phenolics와 총 flavonoids을 분석한 결과, Figure 68와 같았다. 총 phenolics의 함량은 9 day에 0.25 GAE mg/g으로 가장 높게 검출되었고, 11 day보다 검출된 함량이 많았다. 5 day부터 9 day까지는 함량이 0.22, 0.24, 0.25 GAE mg/g으로 점차적으로 증가하였으며, 11 day에서는 0.23 GAE mg/g으로 감소하는 것으로 확인되었다. 총 flavonoids의 함량은 9 day때 가장 높았으며, 0.068 RE mg/g 검출되었다. 5 day, 7 day, 9 day 순으로 함량이 증가하였다(0.028, 0.058, 0.068 RE mg/g). 11 day 때 0.052 RE mg/g 검출되었고, 7 day의 총 flavonoids의 함량보다 낮은 것으로 나타났다.

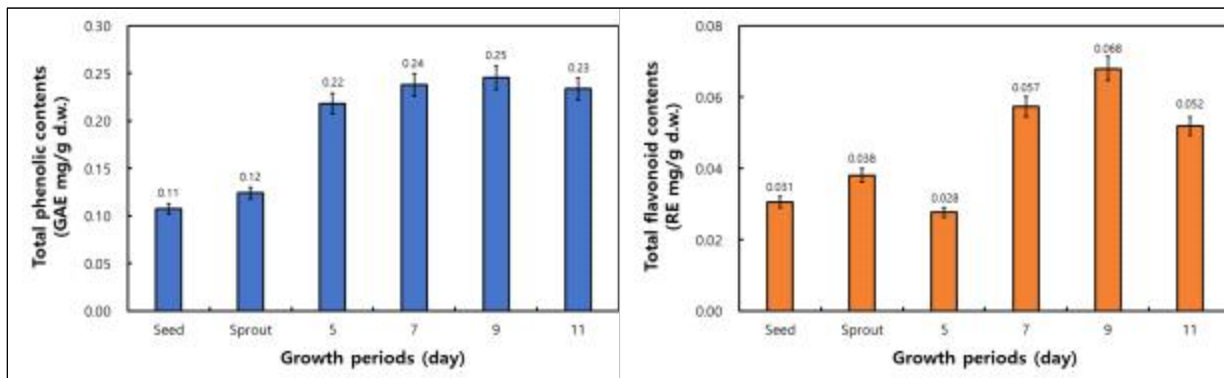


Figure 88. 새싹콩나물 생육시기의 총 phenolics/flavonoids 함량.

■ Isoflavones 함량 : 광원 Red:Blue:White=1:2:1 조건에서 생육기간에 따른 새싹콩나물의 isoflavones 함량을 분석한 결과는 Table 26, Figure 89, Figure 90와 같았다. Glycosides 3종, malonyl-β-glycosides 3종, aglycones 3종을 분석한 결과, seed와 sprout를 제외한 생육 기간 5 ~ 11 day에서 malonyl-β-glycosides, aglycones, glycosides 순으로 높게 검출되었다. 생육기간이 길어질수록 총 총 isoflavone 함량은 증가하다가 11 day에 감소하며, 9 day때 1996.47 μg/g로 가장 높게 검출되었다. Seed와 sprout에서 malonyl-β-glycosides의 genistin 함량이 가장 많이 검출되었으나 5 day때 감소하였으며 5 day부터 9 day까지 증가하다가 11 day에 감소하는 것을 확인할 수 있었다(seed : 734.97, sprout : 715.71, 5 day : 303.41, 7 day : 330.87, 9 day : 363.31, 11 day : 342.84 μg/g).

Table 26. 새싹콩나물 생육시기의 isoflavone 유도체 함량

Contents ¹⁾ ($\mu\text{g/g}$)	Grwoth periods (day, light sources: Red : Blue : White = 1 : 2 : 1)					
	Seed	Sprout	5 day	7 day	9 day	11 day
β-Glycosides						
Daidzin	104.11 \pm 5.21	119.48 \pm 5.97	128.25 \pm 6.41	190.60 \pm 9.53	207.57 \pm 10.38	158.32 \pm 7.92
Glyctin	29.34 \pm 1.47	51.63 \pm 2.58	39.88 \pm 1.99	80.36 \pm 4.02	88.07 \pm 4.40	76.42 \pm 3.82
Genistin	56.87 \pm 2.84	66.21 \pm 3.31	48.11 \pm 2.41	79.97 \pm 4.00	77.43 \pm 3.87	63.85 \pm 3.19
Total	190.31	237.32	216.24	350.93	373.07	298.60
Malonyl-β-glycosides						
Daidzin	566.50 \pm 28.33	550.79 \pm 27.54	503.94 \pm 25.20	526.54 \pm 26.34	639.05 \pm 31.99	521.88 \pm 26.09
Glyctin	122.26 \pm 6.11	103.32 \pm 5.17	54.70 \pm 2.74	62.70 \pm 3.14	84.36 \pm 4.22	66.95 \pm 3.35
Genistin	734.97 \pm 36.75	715.71 \pm 35.79	303.41 \pm 15.17	330.87 \pm 16.54	363.31 \pm 1.81	342.84 \pm 17.14
Total	1423.72	1369.82	862.04	920.11	1086.72	931.67
Aglycones						
Daidzein	17.11 \pm 0.86	24.05 \pm 1.20	141.56 \pm 7.08	222.73 \pm 11.14	275.78 \pm 13.79	174.62 \pm 8.73
Glyctein	nd ²⁾	nd	7.82\pm0.39	21.33\pm1.07	13.86\pm0.69	13.82\pm0.69
Genistein	19.18\pm0.96	30.26\pm1.51	130.38\pm6.52	204.90\pm10.25	247.05\pm12.35	174.61\pm8.73
Total	36.29	54.31	279.76	448.96	536.68	363.05

¹⁾All values are presented as the mean \pm SD of triplicate determination.

²⁾nd: not detected.

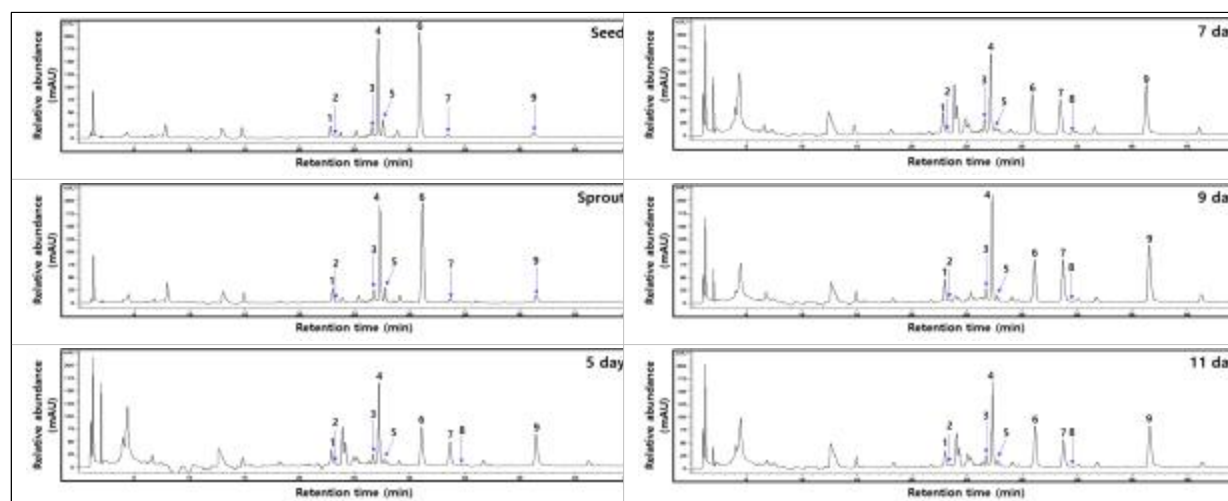


Figure 89. 새싹콩나물 생육시기의 isoflavone HPLC 크로마토그램.

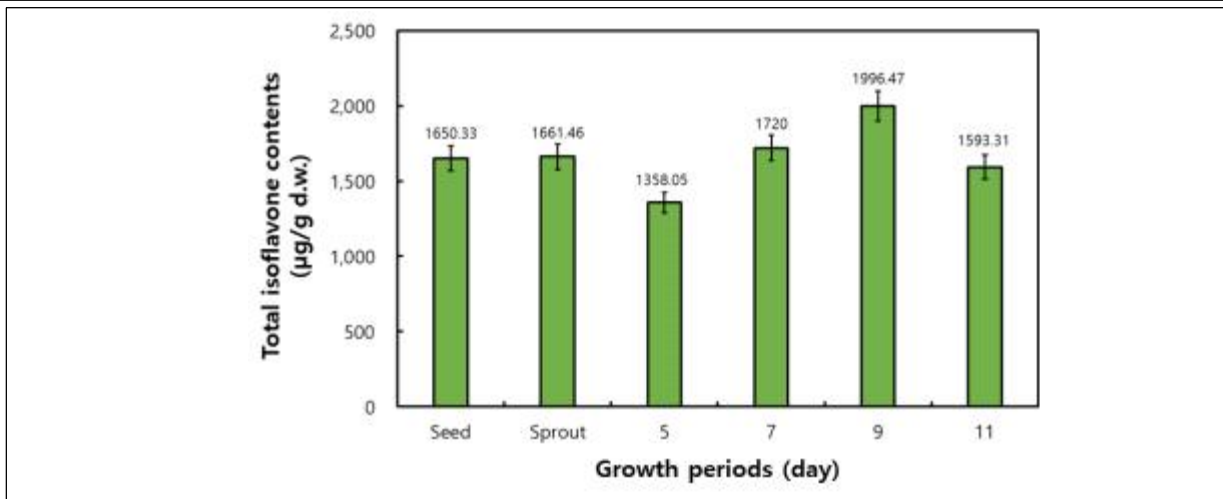


Figure 90. 새싹콩나물 생육시기의 총 isoflavone 함량.

■ 항산화 활성: 광원 Red:Blue:White=1:2:1 조건에서 생육기간에 따른 새싹콩나물의 항산화 활성을 분석해 본 결과는 **Figure 91**와 같았다. DPPH 라디칼 소거활성은 생육 기간이 길어질수록 활성은 증가하다가 11 day 때에는 감소하는 것으로 확인되었다(5 day:25.96, 7 day:50.02, 9 day:68.90, 11 day:47.85 %). 9 day때 라디칼 소거활성은 68.90 %로 가장 높게 검출되었으며, seed(콩 원료)보다 약 7배 높은 활성을 보였다. ABTS 라디칼 소거활성 역시 생육 기간이 길어질수록 증가하다가 11 day에 감소하였다. 5 day는 43.38, 7 day는 59.98, 9 day는 75.52, 11 day는 59.19 %로 확인되었으며, 활성이 제일 높은 9 day는 seed(콩 원료)보다 2.5배 이상의 활성이 나타났다.

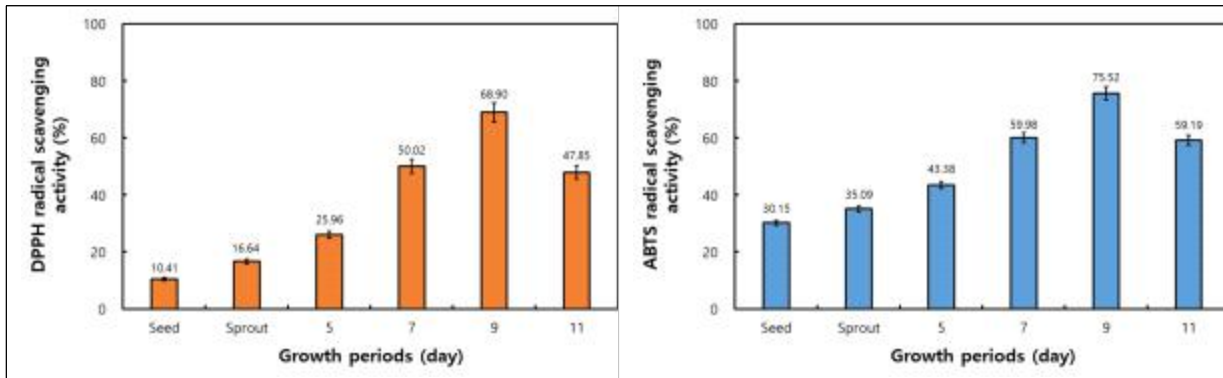


Figure 91. 새싹콩나물 생육시기의 항산화 활성.

○ 1차년도 목표 달성 정도

1차년도 생산 기술 개발 목록	
번호	생산 기술
1	재배시스템(수경 재배)을 통한 새싹 도라지의 사포닌 함량 증진 기술
2	식물성장 LEDs의 광 조건(광원과 광량)에서 고 isoflavone 콩 식물체 생산 기술
3	근권미생물(<i>Stenotrophomonas</i> sp. SRR14 균주 등) 접종을 통한 콩의 이소플라본 함량 증진 기술
4	근권미생물(NSGB05, NSGB07 및 NSGB21 등) 접종을 통한 새싹인삼의 진세노사이드 함량 증진 기술
5	새싹콩나물의 광원 및 수확시기 조절을 통한 최적 이소플라본 증진 기술
6	새싹 작물별 최적 종자 발아 기술
7	재배 방식(토경 및 수경재배) 및 온도(15, 20, 25, 30°C)에 따른 새싹 도라지의 최적 생장 및 사포닌 함량 증진 기술

- **자연채광형**(스마트팜 큐브 내부에 자연채광이 조사되어 LED만으로 부족한 작물에 대한 재배가 가능한 큐브) 모델 제작한 결과 **내부 온도 등 환경제어에 어려움이 커 관리에 어려움 발생 확인**

- 기존 LED만으로 운영하던 음지형(외부와의 빛, 온도 등의 환경적인 부분이 대부분 차단되어 내부에서 LED만으로 작물 재배가 가능한 큐브) 모델에 **태양광 패널을 부착하여 최대 생산량(7~8 kWh) 및 사용량(6~7 kWh) 등을 확인**

- 식의약소재로 많이 쓰이나 환경 또는 생산량 등의 공급이 어려운 참당귀, 만삼, 식방풍 등의 작물을 선정하여 발아 온도, 광량, 습도 등의 환경 요소 확인 등 스마트팜 큐브에서의 재배 적합성 확인 결과 **식방풍, 당귀 등이 적합하다고 판단됨.**

- 수경 및 토경 재배를 통한 새싹도라지 재배 기술 확립 결과 수경으로 재배 하였을 때 사포닌 함량이 좋았으며, 재배온도 25°C에서 생육이 뛰어나 수경에서 재배하는 것이 적합하다고 판단됨.

- **콩 토양 및 뿌리에서 근권미생물의 확보 후** 세포벽 분해효소 등 다양한 실험 결과 *Stenotrophomonas* sp. SRR14 균주 등에서 활성을 보였으며 이를 활용해 **상토에 접종 후 이소플라본 등의 함량이 증가하는 것으로 보아 추후 미생물 상토 개발에 유용할 것으로 보임.**

- 새싹인삼에서 내생세균 분리 후 뿌리 썩음병, 세포벽 분해효소 등에 활성을 보인 균주를 상토에 접종하여 **진세노사이드 분석한 결과 차이를 보였으며 새싹인삼 재배 전용 상토 개발에 도움이 될 것으로 판단됨.**

- R:B:W 비율에 따른 LED 조사 후 새싹콩의 이소플라본의 분석 결과 비율에 따른 차이가 발생하였으며, **현재 주관에서 사용중인 LED에 접목하면 유효성분의 증진에 도움이 되는 LED 개발이 가능할 것으로 판단됨.**

2차년도

1) 스마트팜 큐브 제작

○ 태양광 연계 복합형 스마트팜 큐브: 약용작물 외 엽채류, 과채류의 재배가 가능한 복합형 스마트팜 큐브에 태양광 패널을 설치하였다(Figure 92). 천장을 투명소재로 [지출] 2024년 05월 28일 그린바이오 스마트팜 사업 과제 재료비 지출품의서 [파밍(주)]바꿈에 따라 자연채광의 투과가 가능하였으나 과도한 빛의 투과로 인해 온도 제어에 어려움이 있었다. 또한 다양한 종류의 큐브에서의 태양광 패널 설치 및 전력 생산량의 실증 확인이 필요하여 이를 확인 중이다. 새싹작물 뿐아니라 추후에 보다 다양한 작물 재배가 가능하며, 천장에 설치된 태양광 패널의 일부가 차광막과 같은 역할을 하여 큐브 내부에 온도 컨트롤에 편의하게 되었다.

○ 전력생산량 : 설치 후 현재까지 약 7-10일간 데이터를 수집한 결과 하루 약 6.5~7 kWh의 전력을 생산하는 것으로 나타났다. 현재 설치된 장소가 옆에 건물로 인해 그늘이 빨리 지며, 앞쪽 다른 출고 스마트팜 큐브로 인해 태양광을 받는데 많이 방해를 받아 이와 같은 생산량이 나온 것으로 추측된다. 또한 가을에서 겨울로 접어드는 시기이고 여름에 생산되는 전력량을 확인 하지 못해 앞으로 수개월간의 데이터 축적이 필요하다고 판단된다.

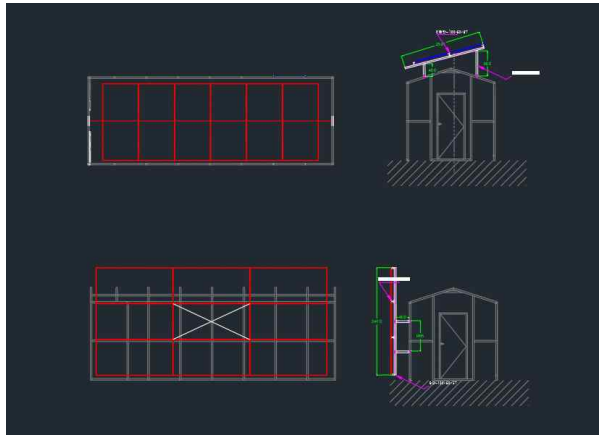


Figure 92. 복합형 스마트팜 솔라 큐브

2) 새싹작물 재배 및 특성 분석

○ 광원 비율에 따른 새싹 녹두 재배

■ 생장특성 비교

- 발아수, 길이 및 무게: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 발아 개수, 길이 및 무게를 살펴본 결과 Figure 93와 같다.

- 발아수 : 전체적으로 약 120~150개의 새싹녹두가 발아되었고 각 1:1:1 광원을 비교군으로 보았을 때 1:0:0, 0:1:0 및 0:1:1에서 발아양이 더 많았다.

- 길이 : 평균 길이는 광조건에 따라 큰 차이가 나타났고 특히 red 광원이 첨가되거나 비율이 높았던 실험군에서 다른 광원에 비해 길이가 길었던 결과가 나타났다.

- 무게 : 생체 무게에서는 길이와 마찬가지로 red 광원이 첨가 또는 비율이 무게가 높았던 결과가 나타났고 건조 무게는 큰 차이가 나타나지 않았지만 red 광원이 약간 더 높았다.

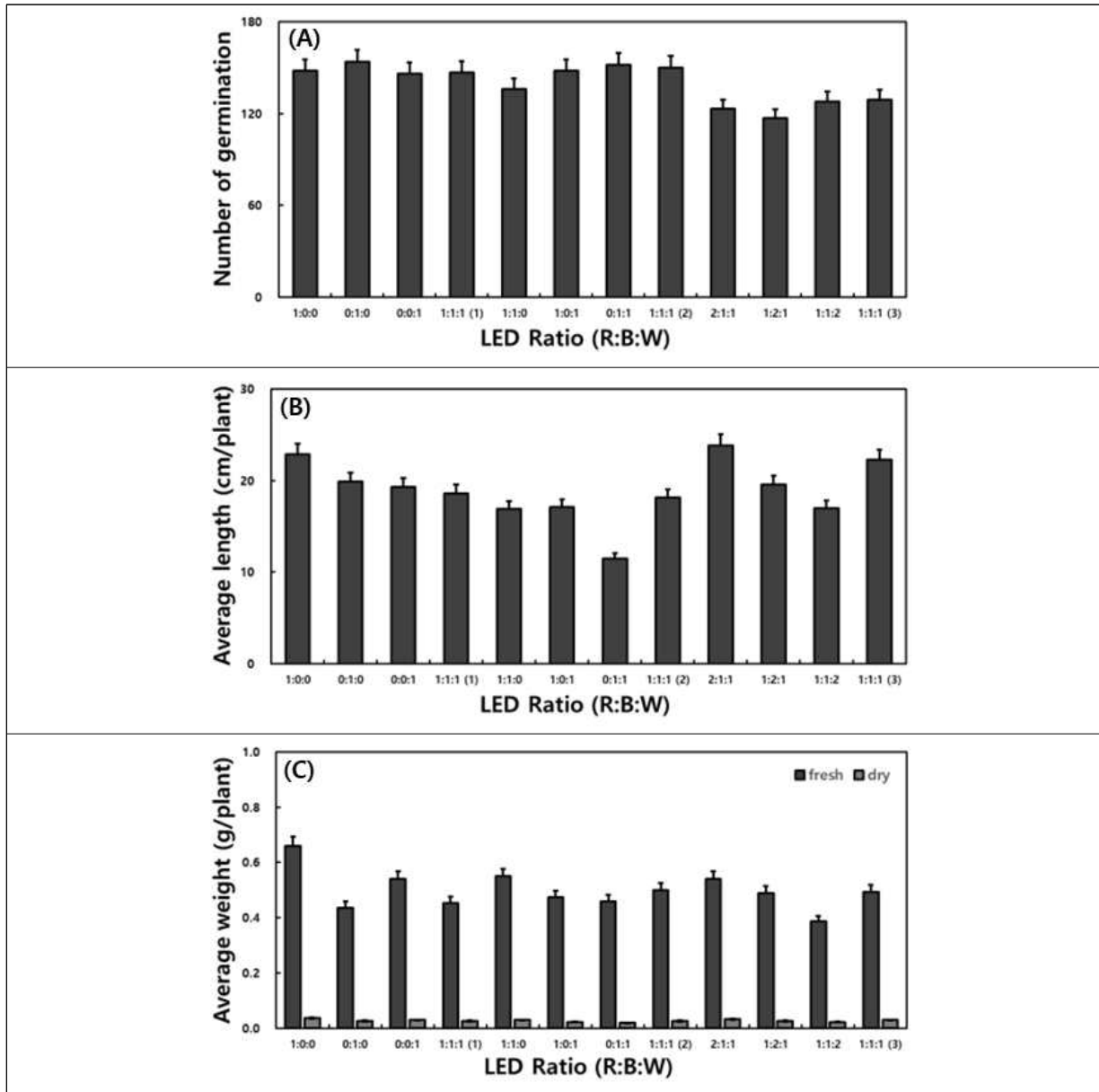


Figure 93. 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 발아수(A), 길이(B)와 무게(C).

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolics 및 총 flavonoids: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 총 phenolics 및 flavonoids를 살펴본 결과 **Figure 94**와 같다. 총 phenolics 함량을 비교하였을 때 평균적으로 새싹녹두는 4.0-4.8 GAE mg/g로 녹두 종자(1.90 GAE mg/g) 및 발아(1.25 GAE mg/g)에 비해 약 2-4배 정도 함량이 높았고 광조건에 따라 큰 차이는 나타나지 않았지만 0:1:0 (4.79 GAE mg/g) 및 0:1:1 (4.82 GAE mg/g)에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 총 flavonoids 함량을 비교하였을 때 녹두 종자(3.16 RE mg/g)에서 가장 높은 함량이 나타났고 광조건에 중에서는 1:1:1 비율과 비교하였을 때 0:1:0 (0.98 RE mg/g), 1:1:0 (1.05 RE mg/g) 및 2:1:1 (0.96 RE mg/g)에서 높았던 결과가 나타났다.

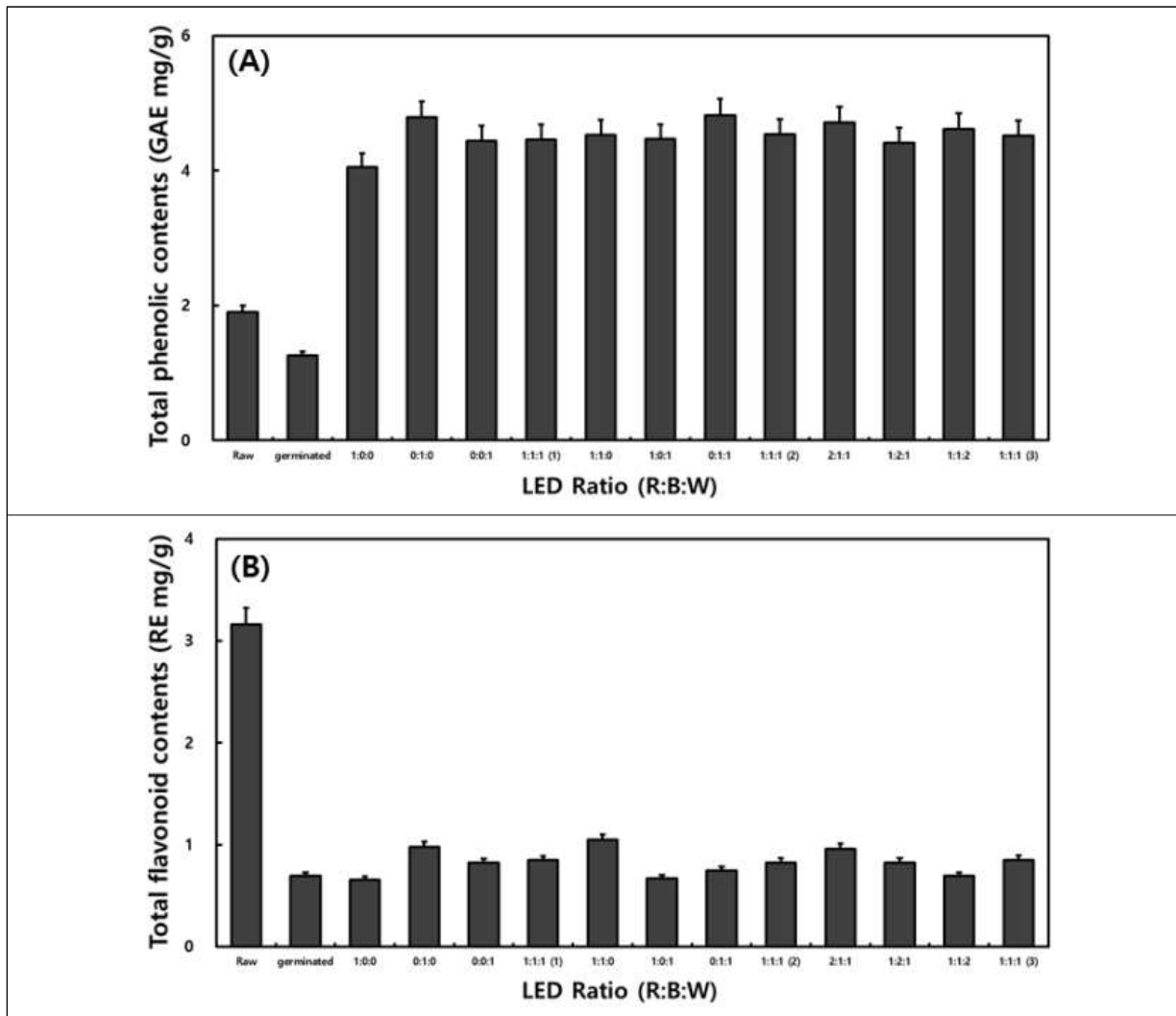


Figure 94. 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 총 phenolics(A) 및 총 flavonoids(B) 함량.

- Isoflavones 및 vitexins 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 Isoflavones 함량을 살펴본 결과 Table 27 및 Figure 95와 같다. 총 Isoflavones 함량을 비교한 결과에서 녹두 종자 (0.95 $\mu\text{g/g}$)는 거의 검출되지 않았고 발아녹두 (56.96 $\mu\text{g/g}$)와 평균적인 새싹녹두(103.61~161.57 $\mu\text{g/g}$) 함량을 비교하였을 때 새싹녹두에서 약 2~3배 함량이 높았음을 확인할 수 있었다. 또한, 광조건의 경우 1:1:1 (114.76~138.02 $\mu\text{g/g}$)을 기준으로 하여 비교한 결과 0:1:1 (161.57 $\mu\text{g/g}$), 2:1:1 (148.43 $\mu\text{g/g}$) 및 1:2:1 (142.52 $\mu\text{g/g}$)에서 약간 높았다. 총 vitexins 함량을 비교한 결과에서 가장 높았던 1:1:0 (9293.57 $\mu\text{g/g}$) 광원의 새싹녹두를 녹두 종자 (4734.18 $\mu\text{g/g}$) 및 발아 (3122.91 $\mu\text{g/g}$)와 비교하였을 때 약 2배 및 3배 높았던 결과가 나타났다.

Table 27-A. 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 isoflavones 및 vitexins 함량

Contents ¹⁾ (µg/g)	LED Ratio (R:B:W)						
	Raw	Germinated	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:1 (1)	1:1:0
Glycosides							
1. Daidzin	nd ²⁾	37.58	42.67	39.03	46.78	48.96	52.65
2. Glycitin	nd	nd	10.55	12.09	17.92	17.37	23.49
5. Genistin	nd	nd	nd	2.96	nd	nd	1.26
Total	0.00	37.58	53.22	54.08	64.70	66.33	77.40
Malonly glycosides							
6. Malonly daidzin	nd	nd	2.29	1.19	nd	nd	nd
7. Malonly glycitin	nd	nd	22.04	22.90	19.44	20.67	20.91
8. Malonly genistin	nd	17.79	20.11	18.94	19.71	19.06	20.73
Total	0.00	17.79	44.44	43.03	39.15	39.73	41.65
Aglycones							
9. Daidzein	0.95	1.60	4.07	3.22	5.58	5.65	6.80
10. Glycitein	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
11. Genistein	nd	nd	3.71	3.29	3.00	3.06	3.60
Total	0.95	1.60	7.78	6.51	8.58	8.71	10.40
Total isoflavones	0.95	56.96	105.44	103.61	112.43	114.76	129.45
Flavonoid-C-glycoside							
3. Vitexin	2085.86	948.24	900.34	896.82	949.28	959.87	1107.64
4. Isovitexin	2648.31	2174.67	4756.55	7600.82	6159.47	6612.18	7500.12
12. Apigenin	nd	nd	676.49	671.84	671.62	661.90	685.82
Total	4734.18	3122.91	6333.39	9169.47	7780.36	8233.95	9293.57

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾ **nd: not detected.**

Table 27-B. 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 isoflavones 및 vitexins 함량

Contents ¹⁾ (µg/g)	LED Ratio (R:B:W)						
	1:0:1	0:1:1	1:1:1 (2)	2:1:1	1:2:1	1:1:2	1:1:1 (3)
Glycosides							
1. Daidzin	50.11	71.78	50.31	61.94	58.68	55.25	45.18
2. Glycitin	17.21	27.93	19.55	28.06	24.35	21.82	21.47
5. Genistin	0.14	4.11	nd	nd	0.50	nd	nd
Total	67.46	103.82	69.86	90.00	83.53	77.07	66.65
Malonly glycosides							
6. Malonly daidzin	nd ²⁾	0.27	nd	nd	2.36	nd	10.97
7. Malonly glycitin	18.96	18.53	22.09	22.13	19.52	18.56	30.53
8. Malonly genistin	19.17	22.66	18.85	21.54	20.67	20.10	20.26
Total	38.13	41.46	40.94	43.67	42.55	38.66	61.76
Aglycones							
9. Daidzein	3.32	7.74	5.53	8.99	8.84	7.38	7.00
10. Glycitein	nd	3.05	nd	2.62	4.72	2.45	nd
11. Genistein	3.36	5.51	3.29	3.16	2.88	3.76	2.62
Total	6.68	16.29	8.83	14.77	16.44	13.59	9.62
Total isoflavones	112.27	161.57	119.62	148.43	142.52	129.32	138.02
Flavonoid-C-glycoside							
3. Vitexin	894.56	960.09	938.24	1030.79	976.94	972.84	896.86
4. Isovitexin	5759.89	5792.57	6291.50	6364.08	6381.50	5771.93	6163.56
12. Apigenin	649.06	661.99	678.77	705.02	679.84	665.37	669.64
Total	7303.50	7414.65	7908.51	8099.89	8038.28	7410.13	7730.06

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾ **nd: not detected.**

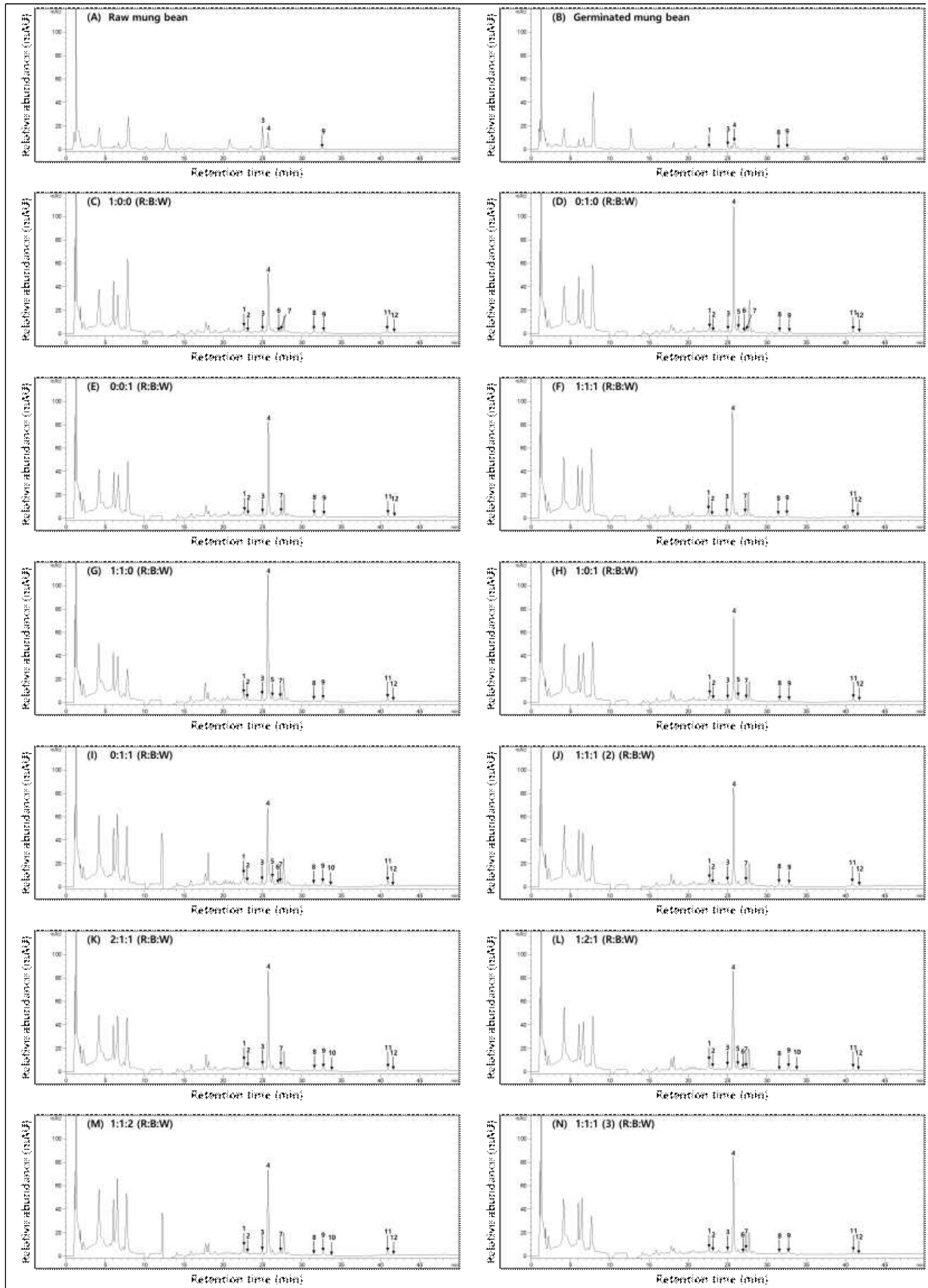


Figure 95. 광원 처리에 따른 새싹 숙주의 isoflavones 및 vitexins HPLC 크로마토그램.

- DPPH 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 숙주의

DPPH 라디칼 소거활성을 측정한 결과 Figure 96와 같았다. 녹두 종자 (25.45%) 및 발아 (8.73%)에서는 새싹 녹두에 비해 활성이 낮았으며, 광조건에 따른 새싹녹두를 비교했을 때 1:1:1의 기준으로 0:1:0, 0:0:1 및 1:1:0에서 약간 더 높은 활성이 나타났다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 숙주의 ABTS 라디칼 소거활성을 측정한 결과 Figure 76와 같았다. 녹두 종자 (33.74%) 및 발아 (12.85%)에서는 앞에 결과와 비슷하였으며, 광조건에 따른 새싹녹두를 비교했을 때 1:1:1의 기준으로 0:1:0, 0:0:1, 1:1:0 및 2:1:1에서 활성이 더 높았다.

- FRAP 환원력 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 숙주의 FRAP 환원력 측정한 결과 Figure 76와 같았다. 녹두 종자 (0.87 OD_{593nm}) 및 발아 (0.55 OD_{593nm})에서는 앞에 결과와 비슷하였으며, 광조건에 따른 새싹녹두를 비교했을 때 1:1:1의 기준으로 0:1:0, 0:0:1, 1:1:0 및 2:1:1에서 환원력이 더 높았다.

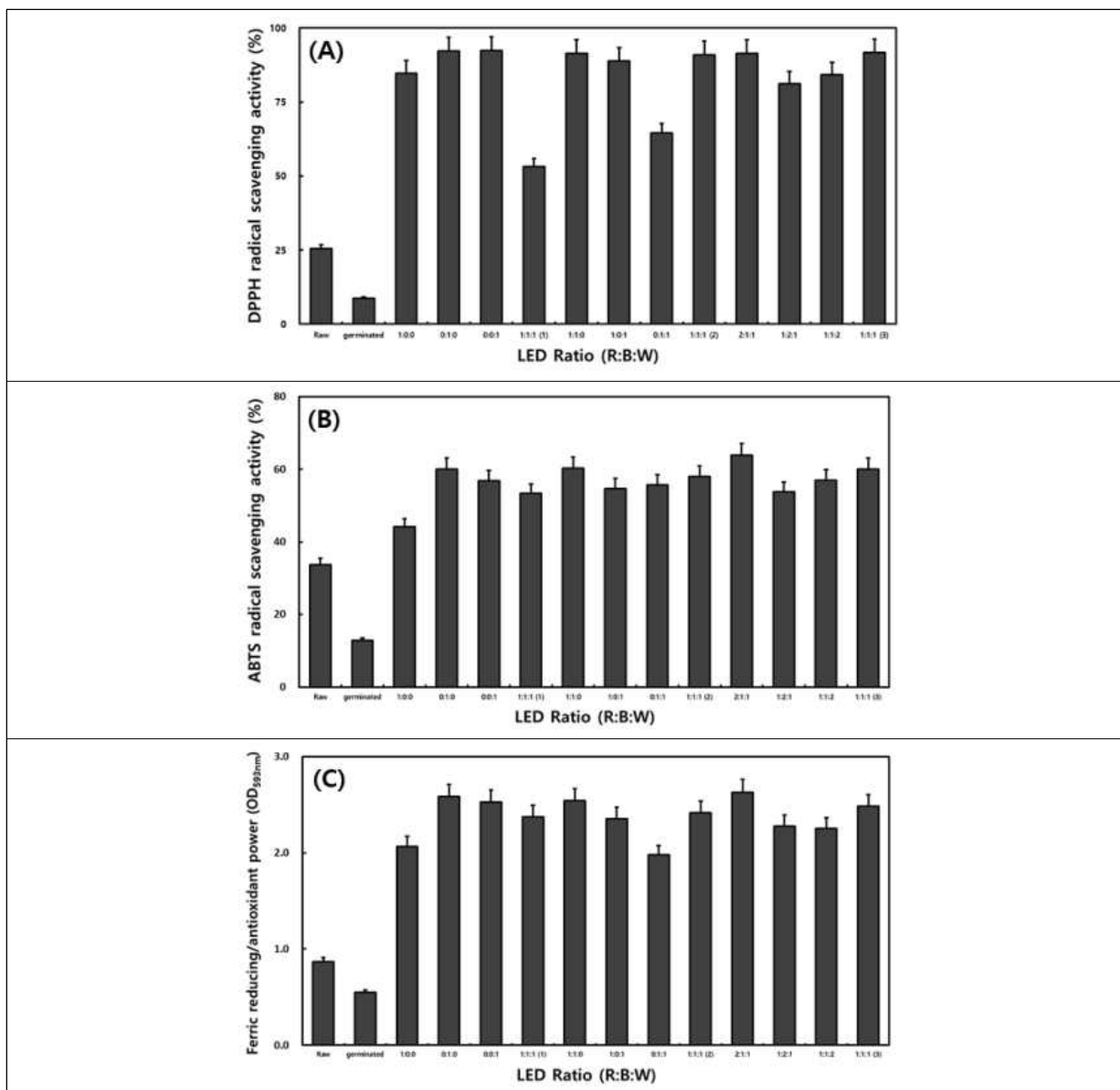


Figure 96. 광원 처리에 따른 새싹 숙주의 DPPH(A)과 ABTS(B) 라디칼 소거활성 및 FRAP 환원력(C).

○ 생육기간에 따른 새싹 녹두 재배

■ 성장특성 비교

- 발아수, 길이 및 무게: 스마트-커스텀 챔버에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 발아 개수, 길이 및 무게를 살펴본 결과 Figure 77&78와 같았다.

- 발아수 : 광조건 R:B:W=2:1:1에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 발아 개수 결과, 큰 차이는 보이지 않았다.

- 길이 : 광조건 R:B:W=2:1:1에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 길이를 측정한 결과, 생육기간이 5, 7, 9, 11일로 길어질수록 새싹 녹두의 길이는 증가한 것을 확인하였다.

- 무게 : 광조건 R:B:W=2:1:1에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 생체중과 건물중을 측정한 결과, 생육기간이 5, 7, 9, 11일로 길어질수록 새싹 녹두의 생체중과 건물중은 점차적으로 증가한 것을 확인하였(Figure 97, 98)다.

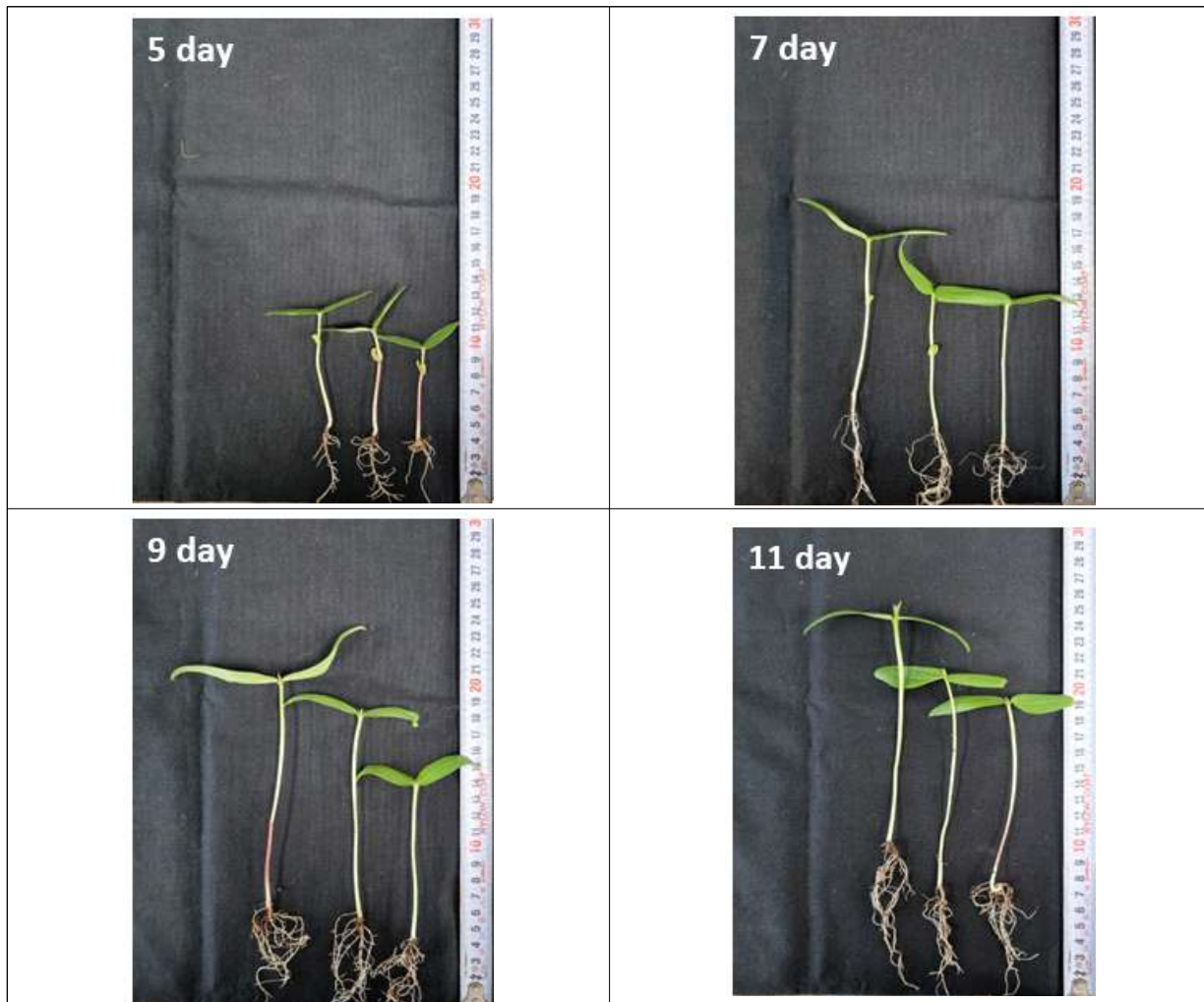


Figure 97. R:B:W=2:1:1인 광조건에서 생육기간에 따른 새싹녹두 1개체당 길이 사진.

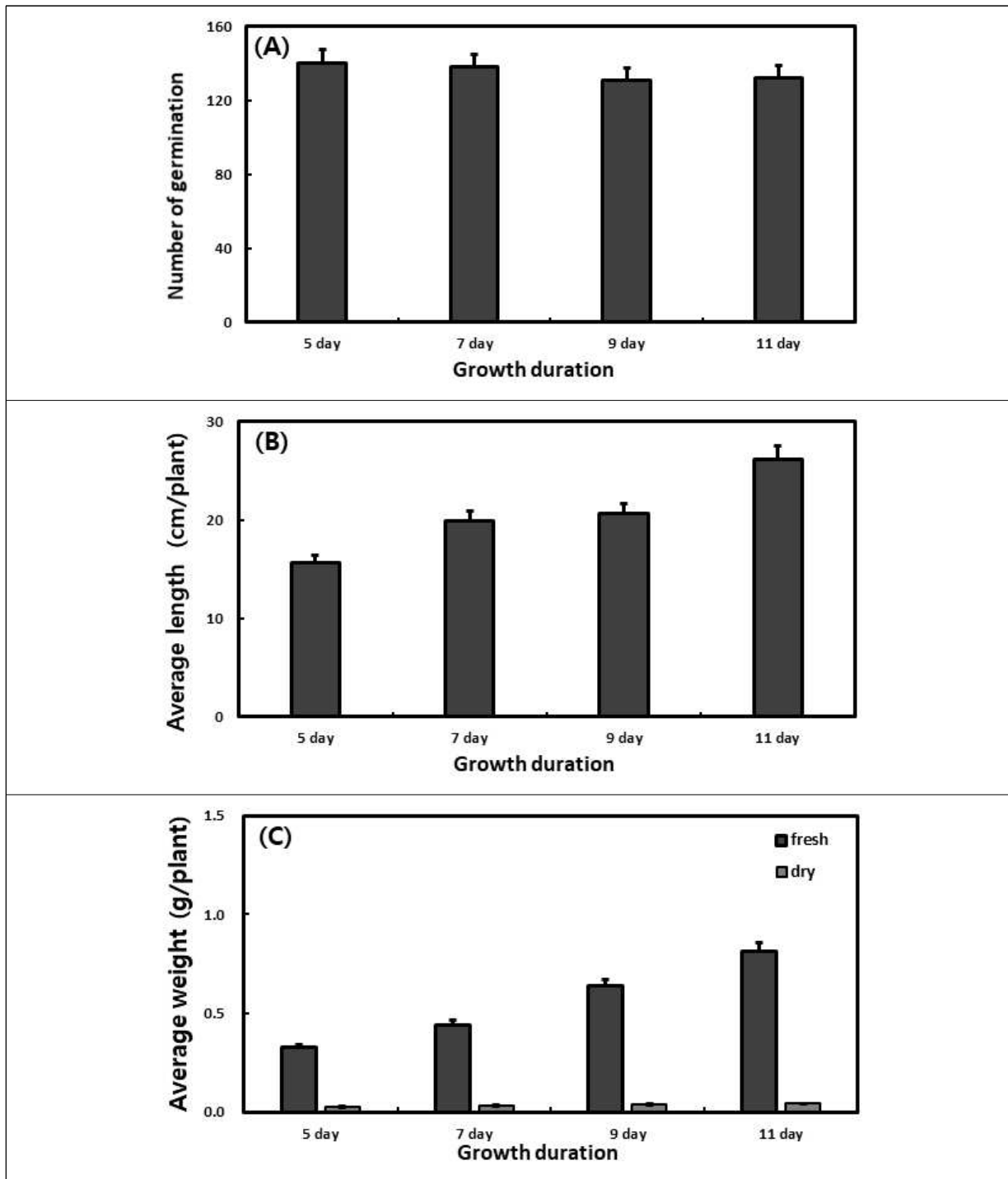


Figure 98. 생육기간에 따른 새싹 녹두의 발아수(A), 길이(B)와 무게(C).

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 총 phenolics 및 flavonoids 함량을 살펴본 결과 **Figure 99**와 같다. 총 phenolics 함량은 녹두 종자는 녹두 발아하였을 때보다 함량이 높았고, 녹두 발아 상태와 비교하였을 때 생육 5, 7, 9, 11일차에 함량이 더 높았다. 생육기간별로 비교를 했을 때, 5일차에서 11일차로 기간이 길어질수록 총 phenolics 함량이 감소하는 결과가 나타났다.

총 flavonoids 함량은 녹두 종자에서 가장 높았고, 녹두 발아하였을 때 가장 낮았다. 생육기간별로 비교를 했을 때, 5일차에서 11일차로 기간이 길어질수록 총 flavonoids 함량이 감소하는 결과가 나타났고, 생육 11일차에는 발아한 것과 비교하였을 때 큰 차이가 없었다.

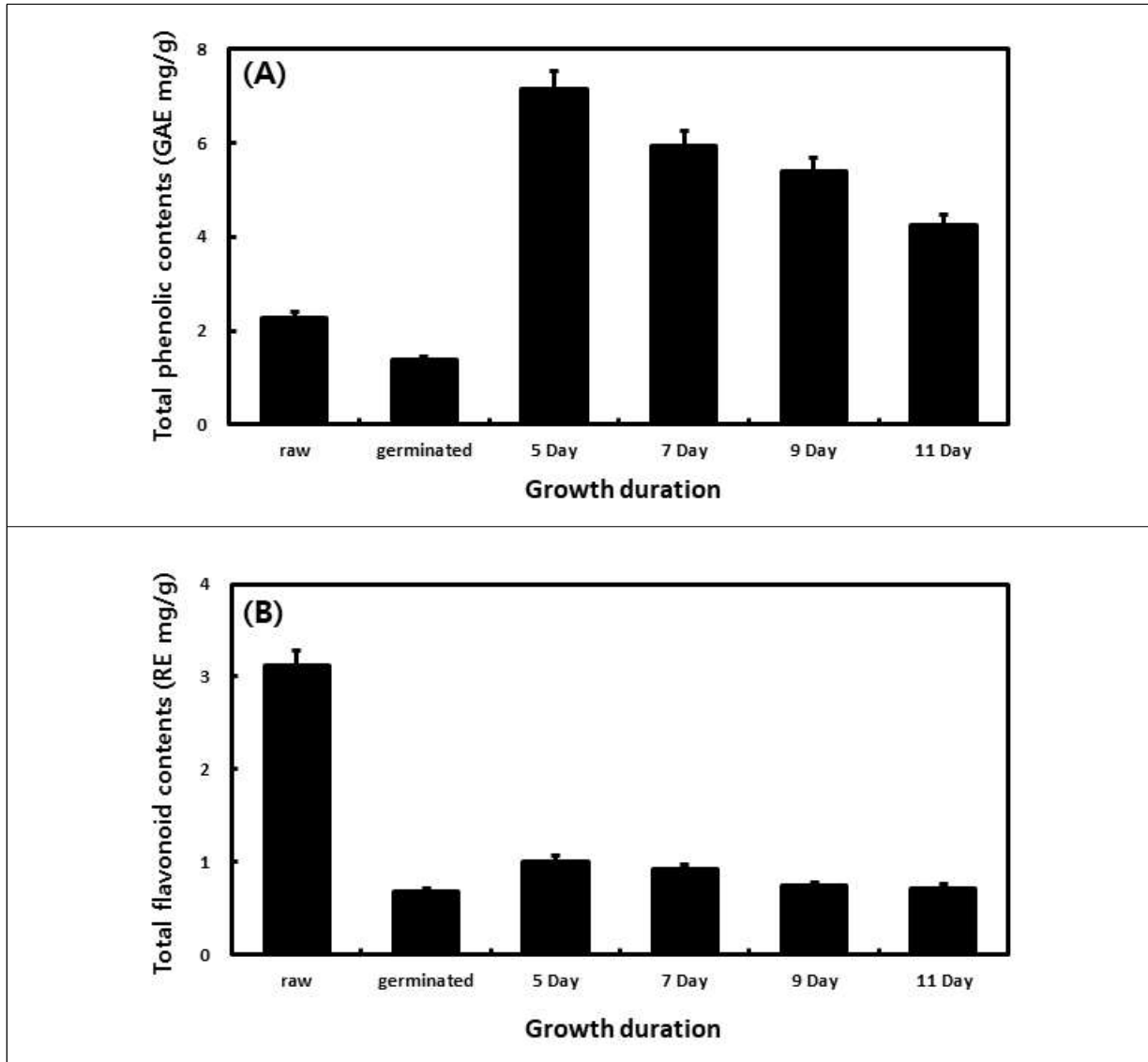


Figure 99. 생육기간에 따른 새싹 녹두의 총 phenolics 및 flavonoids 함량.

- Isoflavones 및 vitexins 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 생육기간에 따른 새싹 녹두의 Isoflavones 함량을 살펴본 결과 Table 28 및 Figure 100와 같다. 총 Isoflavones 및 vitexins 함량을 확인한 결과, 총 Isoflavones 함량은 녹두 종자에 비해 녹두 발아하였을 때 함량이 높았고, 녹두 발아 상태와 비교하였을 때 생육 5, 7, 9, 11일차에 함량이 더 높았으며, 생육기간이 길어질수록 감소하는 것으로 나타났다. 총 vitexins 함량은 녹두 종자의 함량이 녹두 발아한 것에 비해 더 높았다. 전체적으로 비교해보았을 때 5일차에서 가장 높았으며, 생육기간별로 비교 시, 5일차에서 11일차로 기간이 길어질수록 총 vitexins 함량이 감소하는 결과가 나타났다.

Table 28. 생육기간에 따른 새싹 녹두의 isoflavones 및 vitexins 함량

Contents ¹⁾ (µg/g)	LED Ratio (R:B:W)					
	Raw	Germinate d	5 day	7 day	9 day	11 day
Glycosides						
1. Daidzin	nd	36.18	58.72	51.16	41.43	46.05
2. Glycitin	nd	nd	39.25	30.96	19.46	15.67
5. Genistin	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Total	0.00	36.18	97.98	82.12	60.89	61.72
Malonly glycosides						
6. Malonly daidzin	nd	nd	9.76	1.38	nd	nd
7. Malonly glycitin	nd	nd	nd	14.72	15.48	nd
8. Malonly genistin	nd	13.89	18.08	nd	nd	nd
Total	0.00	13.89	27.83	16.11	15.48	0.00
Aglycones						
9. Daidzein	0.96	2.67	13.28	6.89	6.35	4.97
10. Glycitein	nd	nd	11.93	nd	nd	nd
11. Genistein	nd	nd	2.97	nd	nd	nd
Total	0.96	2.67	28.18	6.89	6.35	4.97
Total isoflavones						
	0.96	52.74	153.99	105.12	82.72	66.69
Flavonoid-C-glycoside						
3. Vitexin	2046.03	900.58	1061.06	996.15	978.83	973.12
4. Isovitexin	2555.97	2106.91	5935.69	5599.86	5165.07	4449.09
12. Apigenin	nd	nd	692.53	772.47	743.37	738.95
Total	4602.00	3007.49	7689.28	7368.48	6887.26	6161.17

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾ **nd: not detected.**

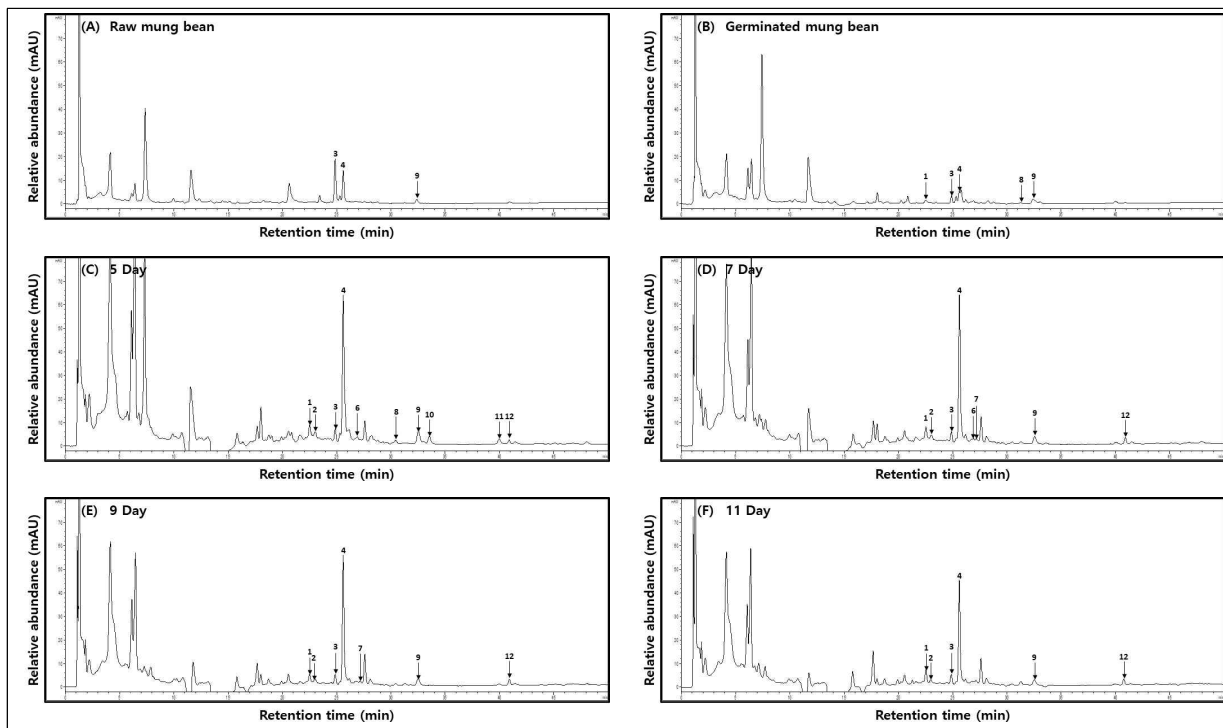


Figure 100. 생육기간에 따른 새싹 녹두의 isoflavones 및 vitexins HPLC 크로마토그램.

■ **항산화활성**

- DPPH 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의

DPPH 라디칼 소거 활성을 측정한 결과 **Figure 101**와 같았다. 녹두 종자에 비해 발아하였을 때 약간 증가하였고, 생육기간이 길어질수록 감소하는 결과가 나타났다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 ABTS 라디칼 소거 활성을 측정한 결과 **Figure 101**와 같았다. 발아했을 때보다 녹두 종자의 라디칼 소거활성이 더 높았고, 녹두 발아 상태와 비교하였을 때 생육 5, 7, 9, 11 일차에 활성이 더 높았으며, 생육기간이 길어질수록 ABTS 라디칼 소거활성이 감소하는 것을 확인하였다.

- FRAP 환원력 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 녹두의 FRAP 환원력 측정한 결과 **Figure 101**와 같았다. 발아했을 때보다 녹두 종자의 FRAP 환원력이 더 높았고, 녹두 발아 상태와 비교하였을 때 생육 5, 7, 9, 11일차에 환원력이 더 높았으며, 생육기간이 길어질수록 감소하는 것을 확인하였다.

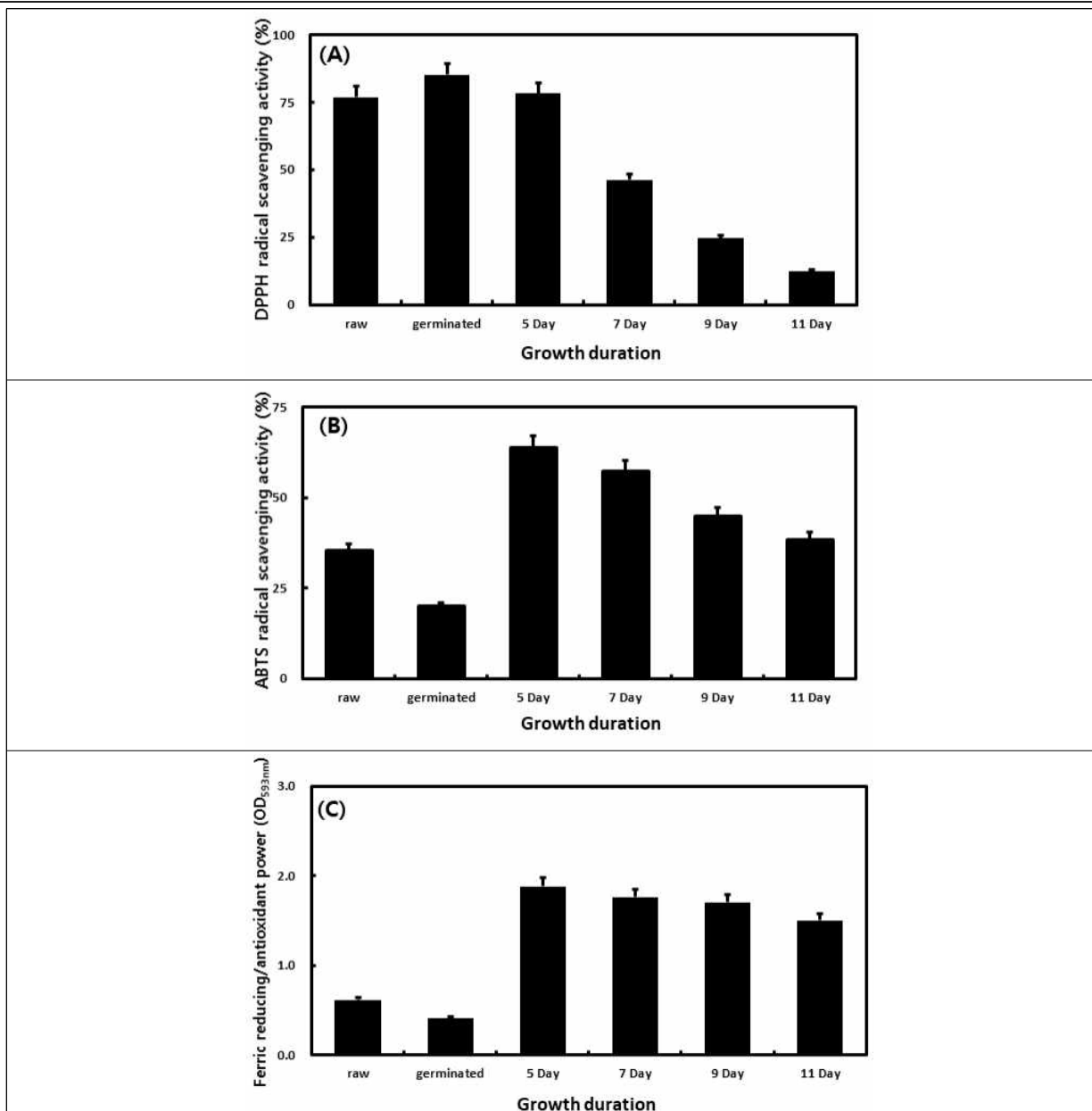


Figure 82. 생육기간에 따른 새싹 녹두의 DPPH(A)과 ABTS(B) 라디칼 소거활성 및 FRAI 환원력(C).

○ 광원에 따른 새싹 브로콜리 재배

■ 새싹 브로콜리 성장특성

- 길이 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 길이를 살펴본 결과 Figure 102 & 103와 같았다. 무작위로 30개체의 평균 길이를 측정한 결과 그래프이다. 광 조건 1:1:1(1)보다 광조건을 변경하여 처리 한 개체의 길이가 대부분 짧았고, 광 조건 1:1:1(2)보다 광 조건을 변경하여 처리 한 개체의 길이가 대부분 길었고, 광 조건 1:1:1(3)보다 광 조건을 변경하여 처리 한 2:1:1 및 1:2:1은 길었으나 1:1:2는 짧았다.

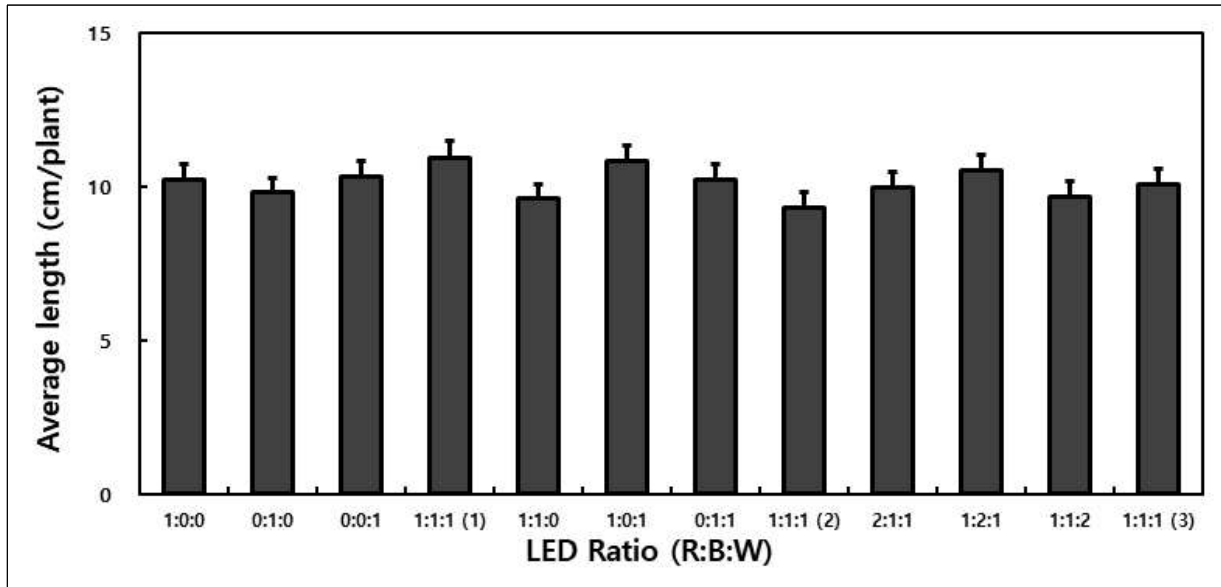


Figure 102. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 평균 길이.

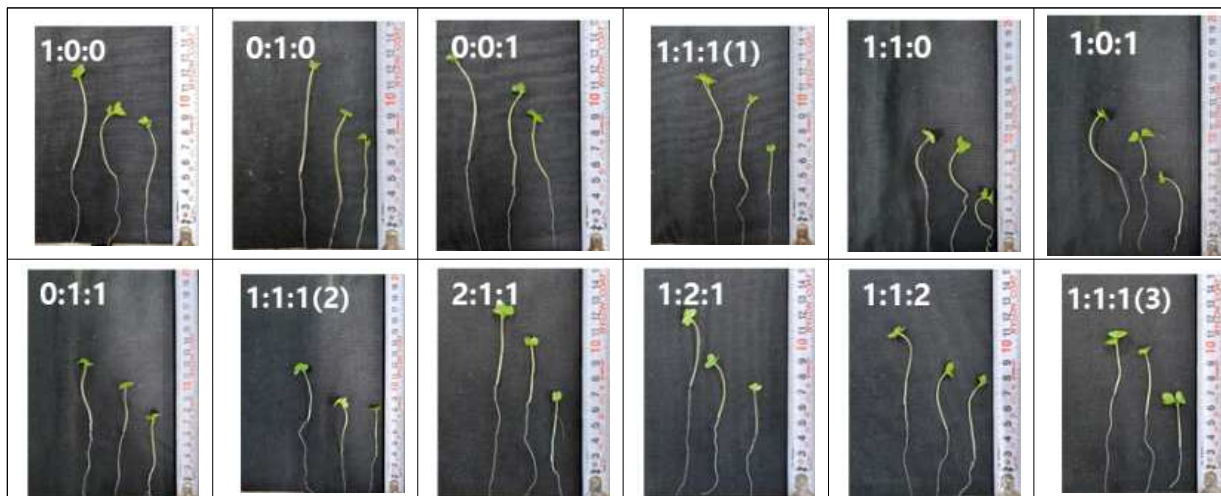


Figure 103. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리 1개체당 길이.

- 무게 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 무게를 살펴본 결과 Figure 104와 같았다.

- 1개체당 평균 무게 : 무작위 30개체의 평균 생체중과 건물중을 측정한 결과 그래프이다. 생체중과 건물중 모두 광 조건 1:1:1(1)보다 광 조건을 변경하여 처리 1개체의 무게와 유의미한 차이가 없었고, 광 조건 1:1:1(2)보다 광 조건을 변경하여 처리 1개체의 무게는 거의 다 높았고, 광 조건 1:1:1(3)보다 광 조건을 변경하여 처리 1개체의 무게와 유의미한 차이가 없었다.

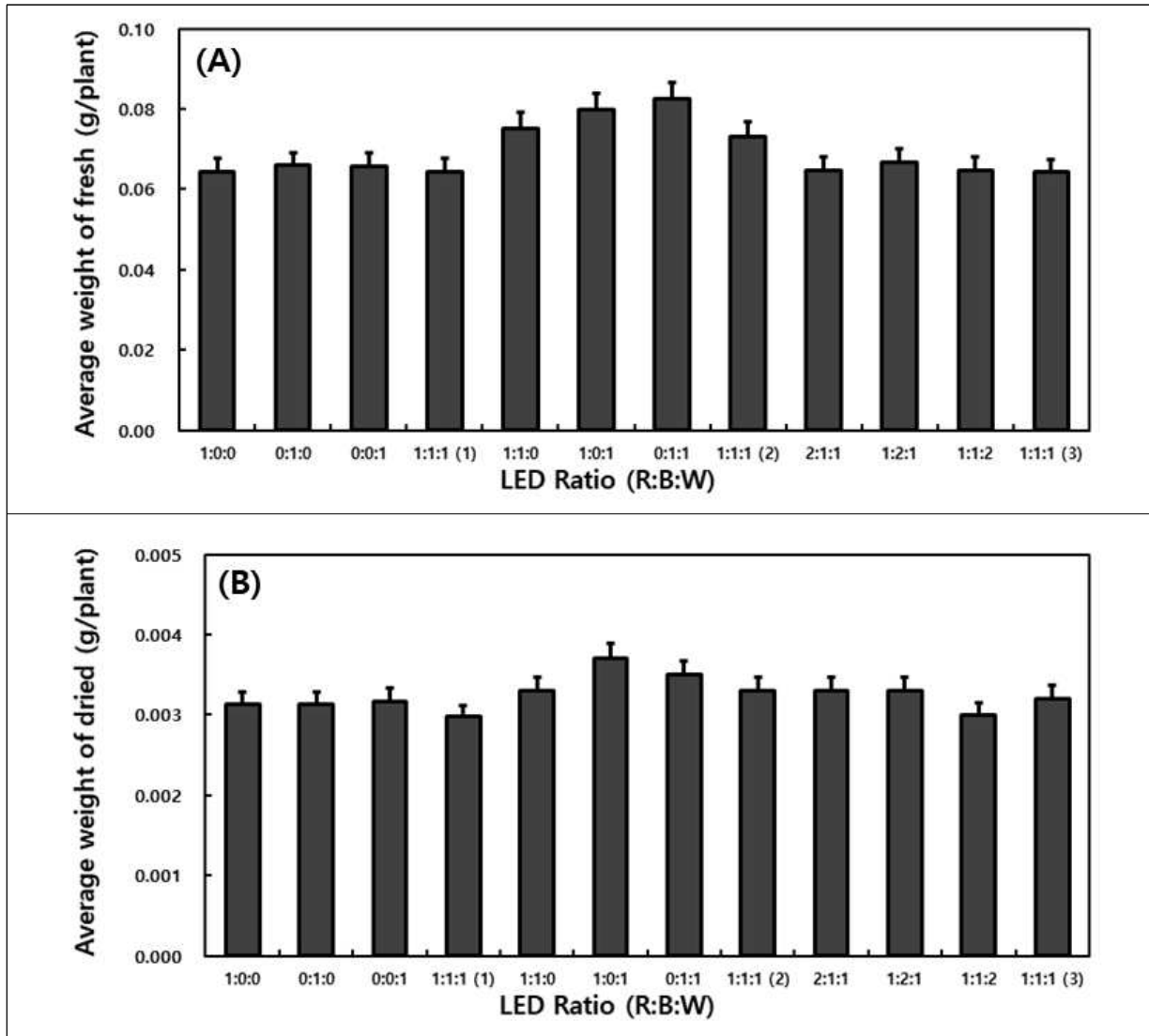


Figure 104. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 1개체당 평균 생체(A) 및 건조(B) 무게.

- 1트레이 수확 개체 무게 : 1트레이의 생체중과 건물중을 측정한 결과 그래프이다. 광 조건 1:1:1(1)보다 광조건을 변경하여 처리 1트레이의 무게는 낮았고, 광 조건 1:1:1(2)보다 광 조건을 변경하여 처리 1트레이의 무게와 유의미한 차이를 보이지 않았고, 광 조건 1:1:1(3)보다 광 조건을 변경하여 처리 1트레이의 무게는 2:1:1은 제외한 나머지에서 높았다.

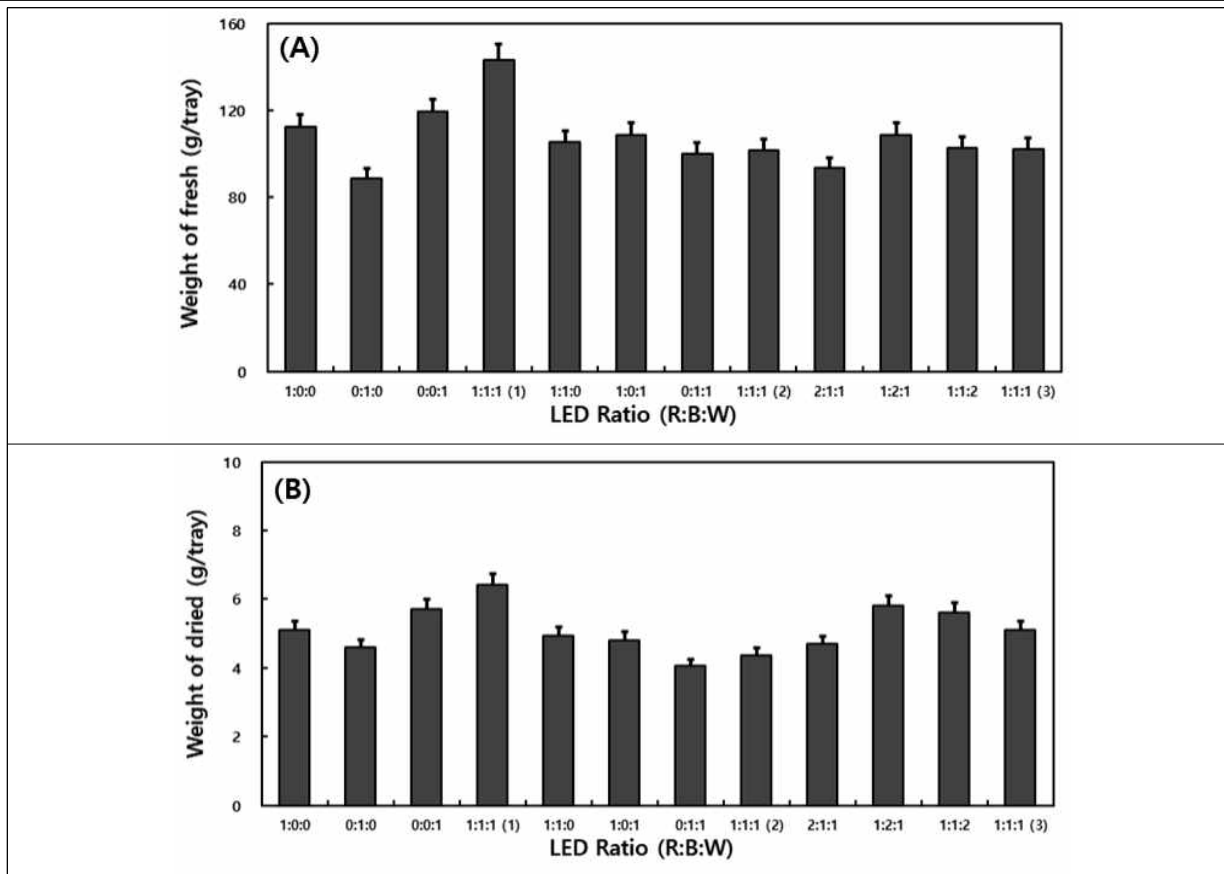


Figure 105. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 1트레이당 생체(A) 및 건조(B) 무게.



Figure 106. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리 수확 개체 사진.

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolics와 총 flavonoids 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 총 phenolics와 총 flavonoids 함량을 살펴본 결과 Figure 107와 같다. 총

phenolics 결과 1:1:0을 제외한 모든 광 조건에서 종자보다 함량이 높았다. 광 조건 1:1:1(1)과 광 조건을 변경하여 처리한 실험군은 유의미한 차이가 없었고, 광 조건 1:1:1(2)보다 0:1:1만 물질 함량이 높았으며, 광 조건 1:1:1(3)보다 광 조건을 변경하여 처리한 실험군이 전체적으로 낮았다. 총 flavonoids 결과 1:0:0 및 0:1:0을 제외한 나머지는 종자보다 함량이 낮았다. 광 조건 1:1:1(1)과 광 조건을 변경하여 처리한 실험군이 전체적으로 높았고, 광 조건 1:1:1(2)보다 0:1:1만 함량이 높았으며, 광 조건 1:1:1(3)보다 광 조건을 변경하여 처리한 2:1:1은 결과가 높았다.

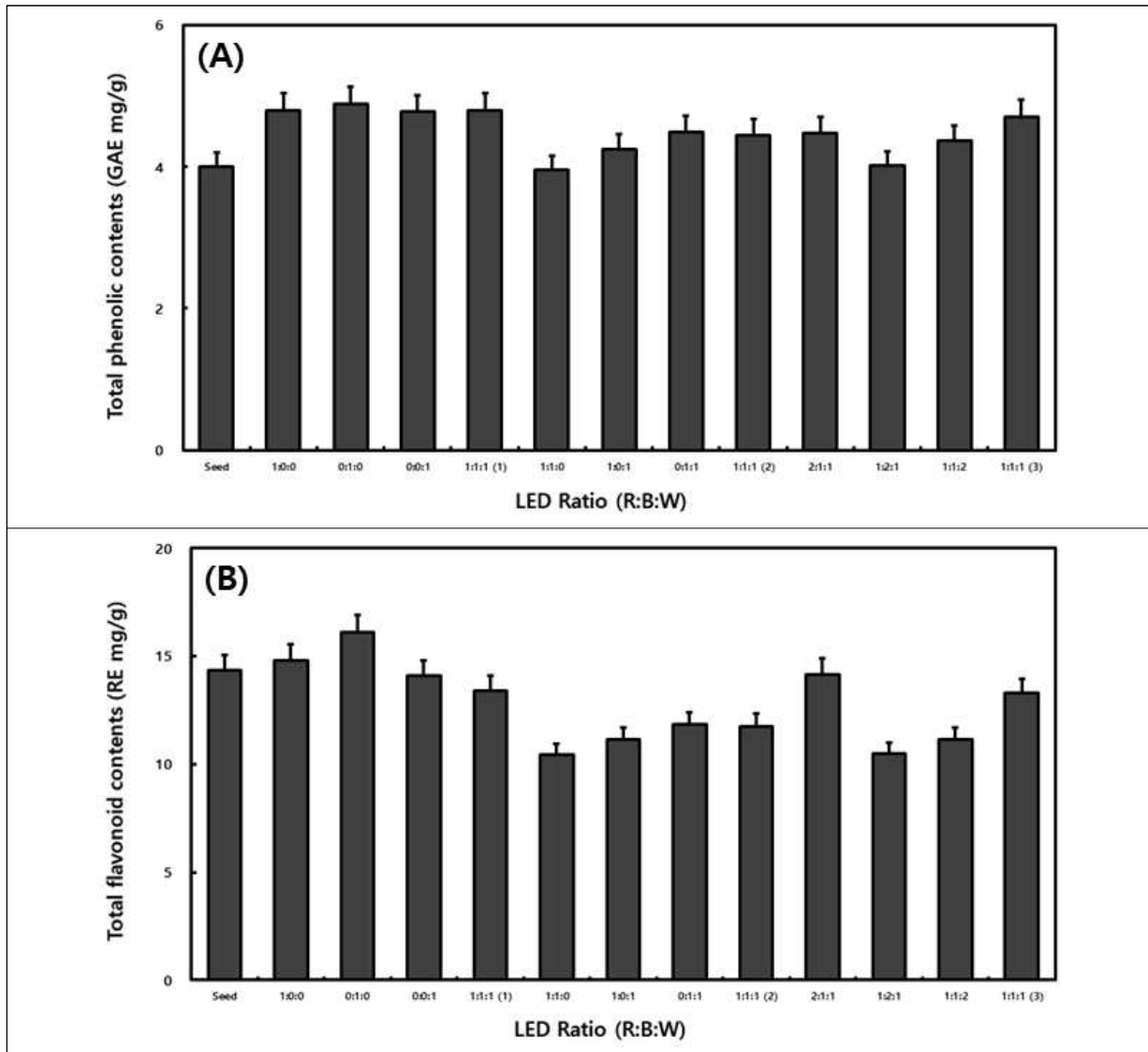


Figure 107. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리 총 phenolics(A) 및 총 flavonoids(B) 함량.

- Sulforaphane 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 sulforaphane 함량을 살펴본 결과 Table 29-A, Table 29-B 및 Figure 89와 같다. 브로콜리의 sulforaphane 함량은 대조군보다 광 조건을 변경하여 처리한 실험군은 전체적으로 낮았다. 단일 광 조건으로 처리한 실험군들이 광을 혼합하여 처리한 실험군들보다 sulforaphane 함량이 높은 결과를 보였다. 혼합하여 광을 처리하였을 때 1:2:1이 sulforaphane 함량이 가장 높았고, 1:0:1이 sulforaphane 함량이 가장 낮았으며, 이를 토

대로 Red 광은 단일로 처리하였을 때는 좋은 효과를 보이지만 혼합을 하여 처리하였을 때는 좋은 효과를 보이지 못한다고 판단된다.

Table 29-A. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 sulforaphane 함량

Contents ¹⁾ (µg/mL)	sample (R:B:W)					
	Seed	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:1 (1)	1:1:0
Isothiocyanate						
Sulforaphane	707.39	220.58	163.33	147.44	301.37	60.30

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾ nd: not detected.

Table 29-B. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 sulforaphane 함량

Contents ¹⁾ (µg/mL)	sample (R:B:W)						
	1:0:1	0:1:1	1:1:1 (2)	2:1:1	1:2:1	1:1:2	1:1:1 (3)
Isothiocyanate							
Sulforaphane	25.16	95.95	153.28	93.15	121.51	96.17	150.65

¹⁾ All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

²⁾ nd: not detected.

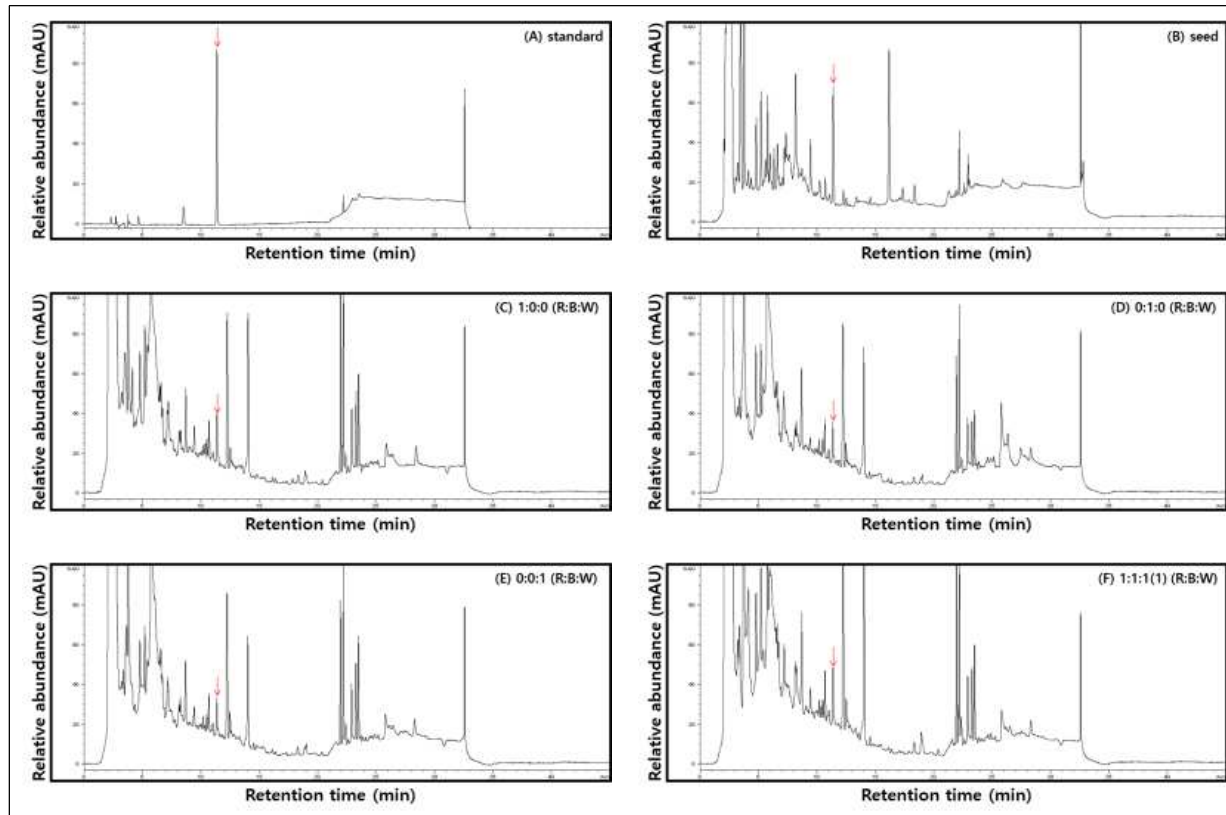


Figure 108-A. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 sulforaphane HPLC 크로마토그램.

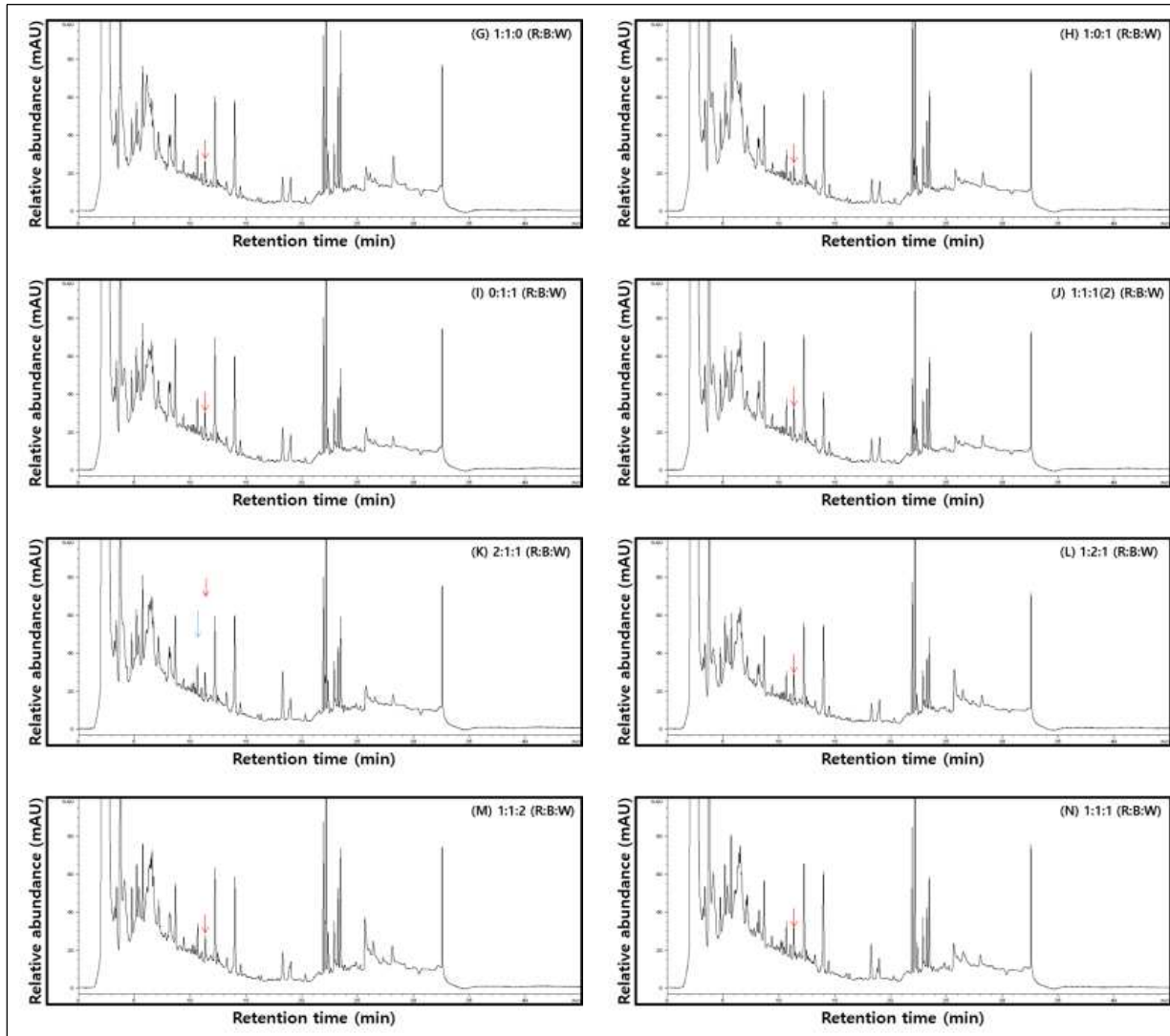


Figure 108-B. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 sulforaphane HPLC 크로마토그램.

■ 항산화활성

- DPPH 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 DPPH 라디칼 소거활성을 확인한 결과 **Figure 109**와 같았다. 광 조건 0:1:0은 1:1:1(1)보다 활성이 좋았고, 광 조건 0:1:1은 1:1:1(2)보다 근소하게 활성이 좋았다. 3개의 광을 혼합한 실험군들은 1:1:1(3)보다 활성이 좋지 못하였다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 ABTS 라디칼 소거활성을 확인한 결과 **Figure 109**와 같았다. 광 조건 1:0:0 및 0:1:0이 대조군에 비해 활성이 가장 우수했고, 나머지는 유의미한 차이를 보이지 않았다.

- FRAP 환원력 : 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 FRAP 환원력을 확인한 결과 **Figure 109**와 같았다. 단일 광 조건은 대조군보다 실험군이 활성이 모두 우수했다. 실험군 0:1:1은 1:1:1(2)보다 활성이 우수했고, 3개의 광을 혼합하여 처리한 실험군은 1:1:1(3)보다 활성이 좋지 못하였다.

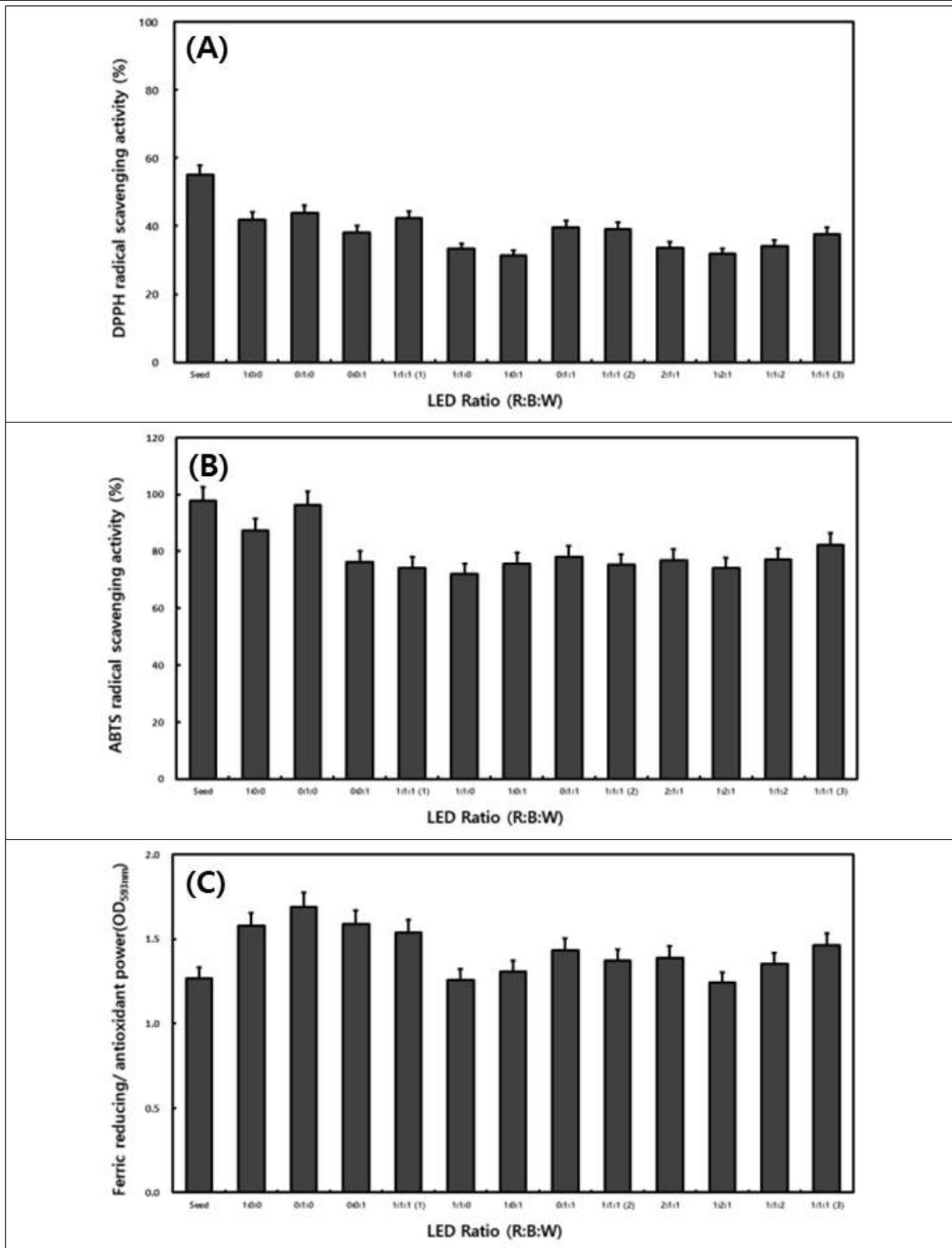


Figure 109. 광원 처리에 따른 새싹 브로콜리의 DPPH(A)와 ABTS(B) 라디칼 소거활성 및 FRAP 환원력(C).

- 미생물 처리별 새싹상 성분 분석
- 발아율, 길이 및 무게 측정

- 발아율: 새싹삼의 생육 및 미생물 처리후 파종 후 30일 새싹삼은 Figure 110 와 같았다. 미생물 처리에 따른 새싹삼의 발아율은 Figure 26 와 같았다. 전체적으로 큰 차이를 보이지 않았으나 NSGB8+19+21 처리구가 비교적 낮은 발아율을 나타내었다.

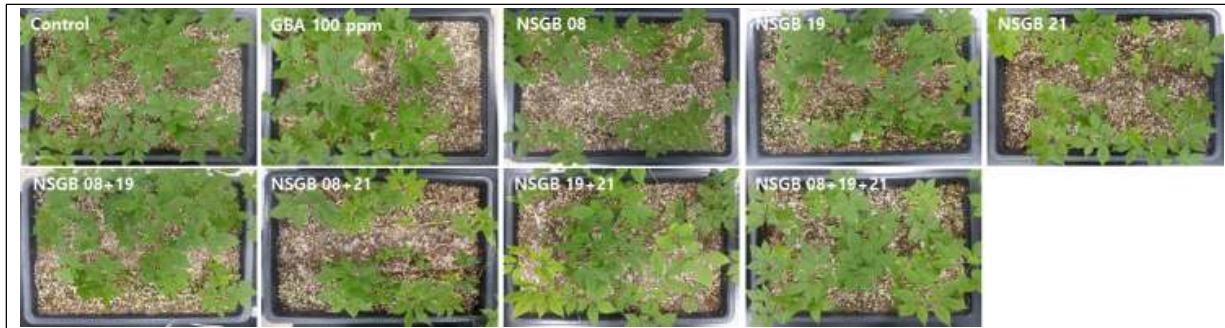


Figure 110. 식물공장(스마트팜 큐브)에서 재배된 새싹삼의 미생물 처리별 사진.

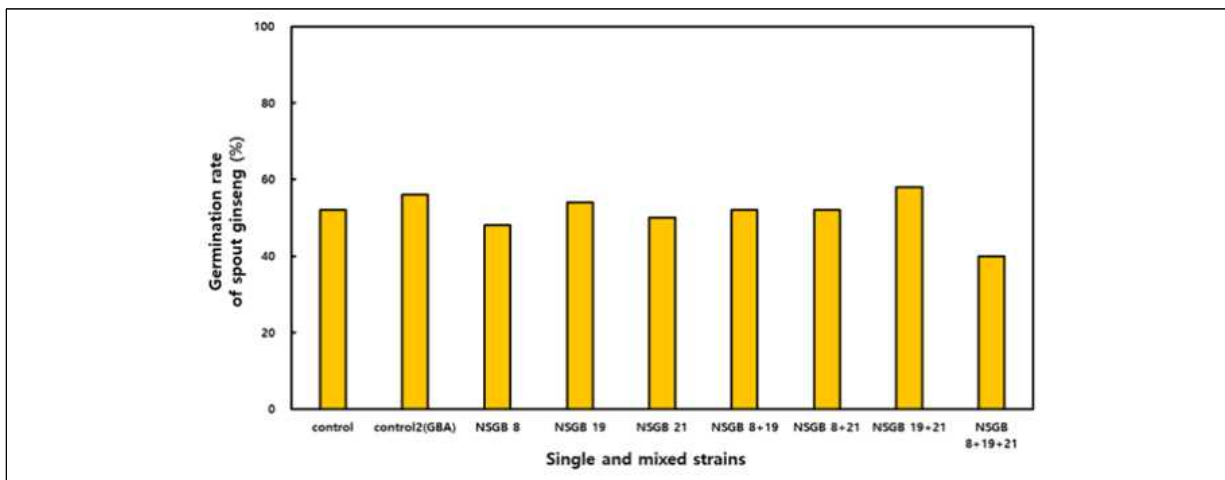


Figure 111. 미생물 처리에 따른 새싹삼의 발아율.

- 평균 길이: 미생물 처리에 따른 새싹삼의 평균 길이는 Figure 111 와 같았다. 지베렐린 처리구가 가장 길었으며 길이가 가장 작은 NSGB21 처리구와는 큰 차이를 보이지만 대조구와 비교하였을 때 모든 미생물 처리구는 큰 차이를 보이지 않았다.

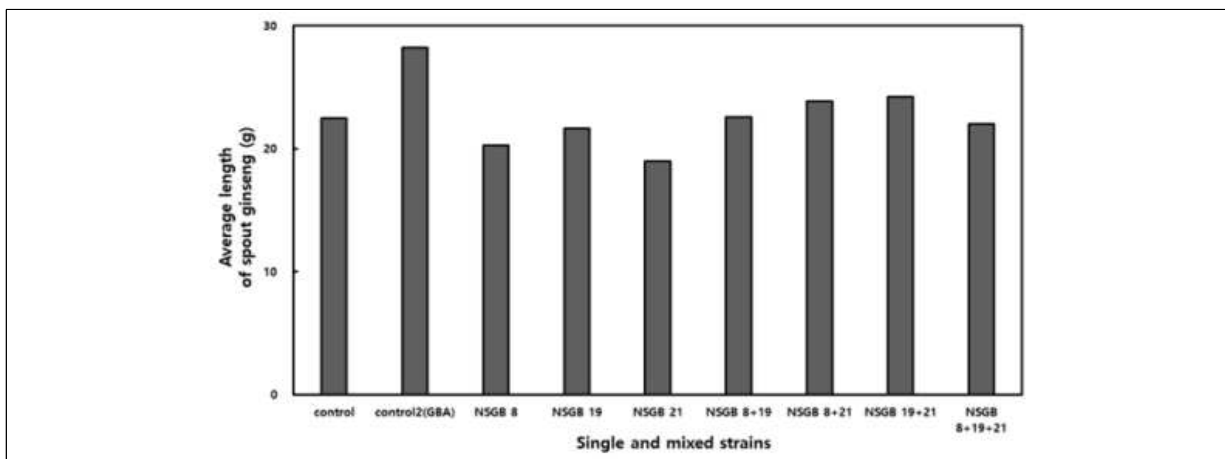


Figure 112. 미생물 처리에 따른 새싹삼의 평균 길이.

- 평균 무게: 미생물 처리에 따른 새싹삼의 평균 무게는 Figure 112 와 같았다. 평균 길이와 마찬가지로 지베렐린 처리구가 가장 높았고 NSGB21 처리구가 가장 낮은 결

과를 나타내었으며 대조구와 비교하였을 때 모든 미생물 처리구는 큰 차이를 보이지 않았다.

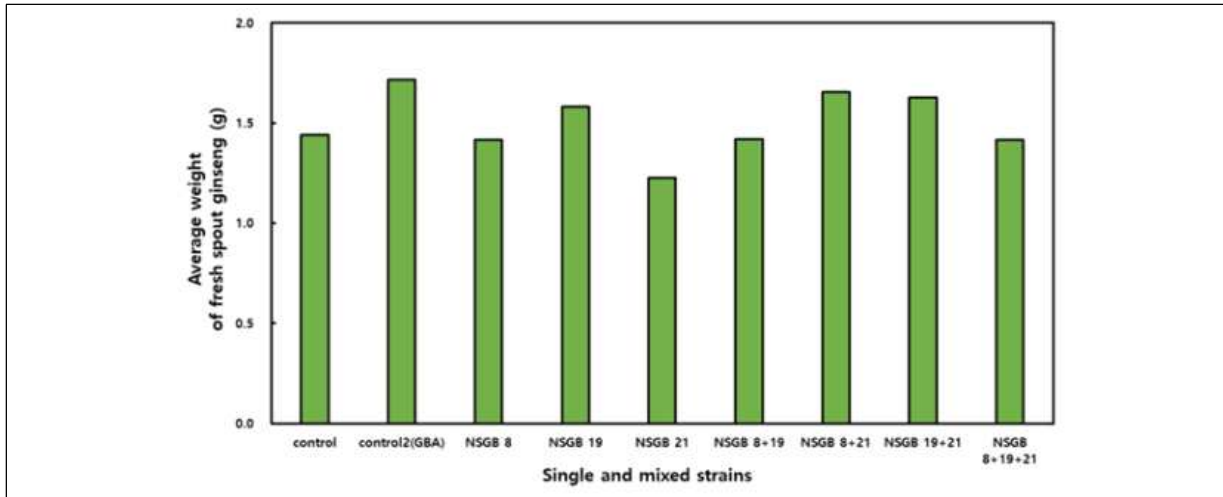


Figure 113. 미생물 처리에 따른 새싹삼의 평균 무게.

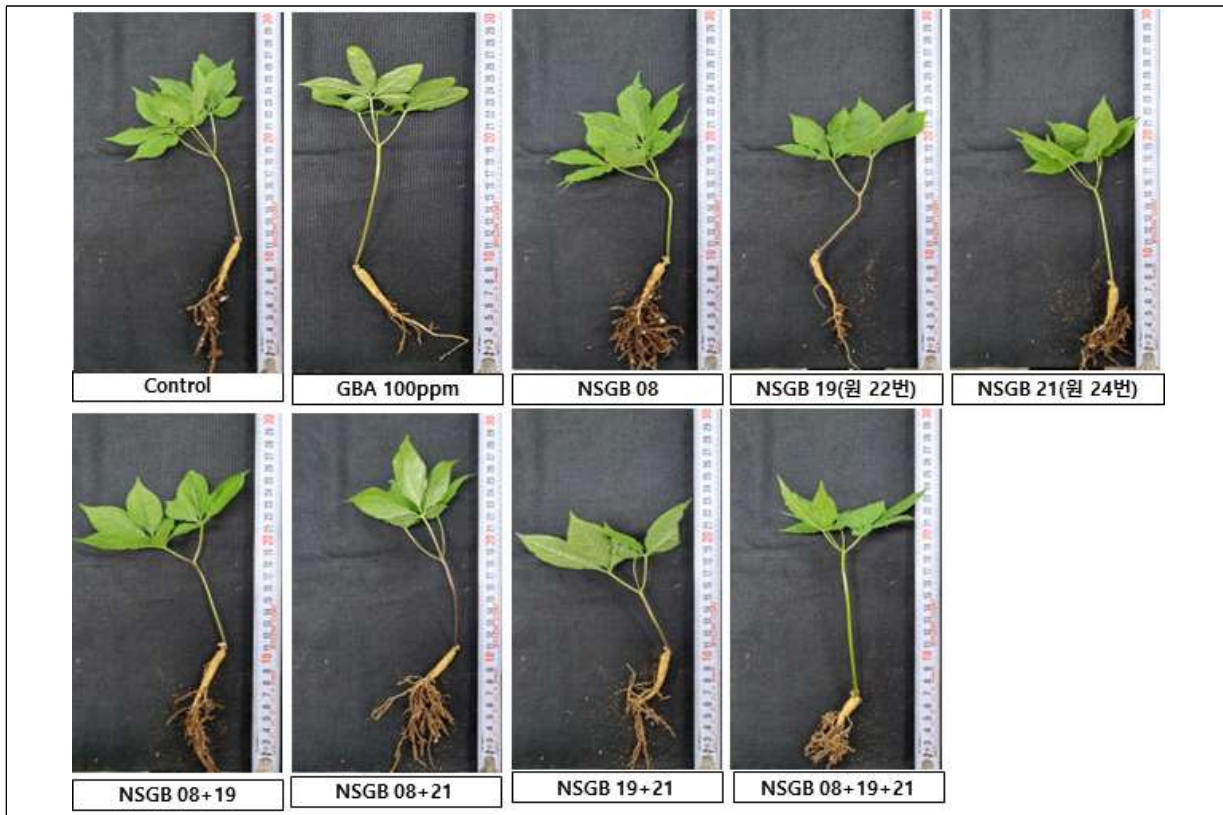


Figure 114. 미생물 처리에 따른 새싹삼의 생체 사진.

■ 이화학적 특성: 새싹삼 재배 토양의 미생물 처리별 이화학적 특성을 살펴본 결과 Table 30와 같았다.

- 토양 pH 및 산도: pH와 산도를 비교하여 측정한 결과 pH의 경우 대조구와 지베렐린 처리구는 차이를 보이지 않았으나 이에 비해 미생물 처리구는 두 처리구에 비해 높은 pH로 알칼리화가 진행되었음을 알 수 있었다. 산도의 경우 NSGB19 처리구가 0.31%로 가장 높았고 다른 처리구들은 큰 차이를 보이지 않았다. 최종적으로 미생물 처리시

pH는 증가하고 산도는 특정 미생물 처리구에서만 높게 나타났다.

- 생균수 : 생균수는 지베렐린 처리구에서 7.26 CFU/g으로 가장 적은 결과를 나타내었고 이외 처리구에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 30. 미생물 처리별 새싹삼의 이화학적 특성

Sample	Contents ¹⁾		
	pH	Acidity(% as acid)	lactic log CFU/g
Control	5.33	0.11	7.72
Gibberellin	5.31	0.15	7.26
NSGB 8	8.00	5.87	0.13
NSGB 19	5.97	0.31	7.88
NSGB 21	5.8	0.11	8.10
NSGB 8+19	5.84	0.14	7.51
NSGB 8+21	5.74	0.14	7.59
NSGB 19+21	5.87	0.11	7.36
NSGB 8+19+21	5.75	0.13	8.01

1) All values are means of determinations in three independent experiments.

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolics : 미생물 처리별 새싹삼의 총 phenolics 함량을 확인한 결과 Figure 115 와 같았다. 좌측부터 3.87, 4.18, 3.72, 4.05, 3.92, 3.89, 3.35, 3.73, 3.94 GAE mg/g으로 큰 차이는 관찰되지 않았으며 지베렐린 처리구가 가장 높은 결과를 보였다.

- 총 flavonoids : 미생물 처리별 새싹삼의 총 flavonoids 함량을 확인한 결과 Figure 115 와 같았다. 좌측부터 1.512, 1.576, 1.355, 1.654, 1.627, 1.345, 1.359, 1.454, 1.473 RE mg/g으로 큰 차이는 관찰되지 않았으며 NSGB19 처리구가 가장 높은 결과를 보였다.

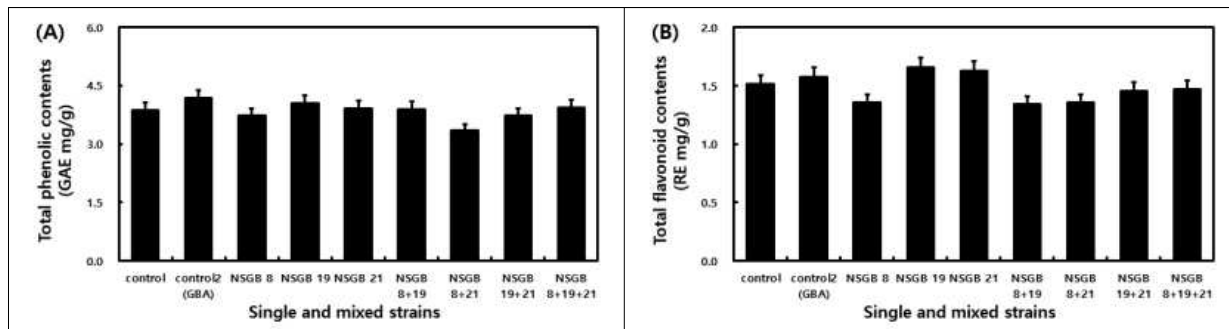


Figure 115. 미생물 처리별 새싹삼의 총 phenolics(A)와 총 flavonoids(B) 함량.

- Ginsenosides : 미생물 처리별 새싹삼의 ginsenoside 조성을 확인한 결과 Table 31 및 Figure 116와 같았다. 9종의 PPT type과 11종의 PPD type 및 1종의 oleanane type을 분석한 결과 모든 시료에서 검출된 ginsenoside의 총합은 좌측부터 43.94, 34.57, 48.73, 40.72, 41.75, 40.98, 47.80, 44.90, 50.08 mg/100 g으로 확인되었다. NSGB8+19+21 처리구는 다른 처리구에 비해 가장 높은 함량을 나타내었고 NSGB8 처리구는 가장 낮은 함량을 나타내었으며 두 처리구의 차이는 15.51 mg/100 g으로 높은 차이를 보였다. 주요 물질로는 PPT type과 PPD type에서 각각 Re 와 F2 가 주요 물질로 검출되었다. PPT type의 경우 NSGB8+19+21(25.06 mg/100 g)에서 PPD type 경우

NSGB8(24.42 mg/100 g)에서 높게 검출되었다.

Table 31. 미생물 처리별 새싹삼의 ginsenosides 조성

Contents ¹⁾ (mg/g d.w.)	Control	Gibberellin	Microorganism (NSGB number)						
			8	19	21	8+19	8+21	19+21	8+19+21
Protopanaxtriol types									
Ginsenoside Rg1 (1)	3.36	3.25	3.56	3.18	3.36	3.59	4.36	3.54	4.12
Ginsenoside Re (2)	12.22	10.14	11.90	11.25	10.57	11.17	12.69	12.89	14.02
Ginsenoside Rf (4)	0.49	0.36	0.50	0.49	0.43	0.52	0.49	0.45	0.63
Ginsenoside F5 (5)	1.25	1.23	1.64	1.26	1.27	1.35	1.44	1.39	1.53
Ginsenoside F3 (6)	1.51	0.95	1.59	1.37	1.30	1.08	1.51	1.55	1.85
Ginsenoside Rg2 (8)	1.04	0.70	0.85	0.84	0.87	0.85	0.92	0.90	0.94
Ginsenoside Rh1 (9)	0.33	0.12	0.17	0.23	0.36	0.32	0.27	0.20	0.21
Ginsenoside F1 (13)	1.38	0.98	1.38	1.11	1.51	1.11	1.39	1.27	1.57
Protopanaxtriol (18)	0.18	0.13	0.16	0.17	0.19	0.22	0.19	0.16	0.19
Total	21.76	17.86	21.73	19.90	19.87	20.21	23.25	22.36	25.06
Protopanaxdiol types									
Ginsenoside Rb1 (7)	2.03	2.02	2.43	1.87	2.19	1.96	2.19	2.10	2.30
Ginsenoside Rc (10)	2.46	1.31	2.39	2.09	1.61	1.63	3.02	2.60	2.88
Ginsenoside Rb2 (11)	2.40	1.12	2.07	1.77	1.50	1.38	3.01	2.34	2.63
Ginsenoside Rb3 (12)	0.34	0.20	0.33	0.41	0.27	0.26	0.47	0.47	0.47
Ginsenoside Rd (14)	5.58	1.25	3.99	4.27	3.12	3.32	7.99	6.09	6.70
Ginsenoside Rd2 (15)	1.73	2.25	3.77	1.98	2.94	2.85	1.47	1.75	1.97
Ginsenoside F2 (16)	4.14	4.86	7.29	4.50	6.98	5.75	2.89	3.72	3.97
Ginsenoside Rg3 (17)	0.34	0.15	0.20	0.23	0.30	0.27	0.30	0.23	0.19
Compound K (19)	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
Ginsenoside Rh2 (20)	0.22	0.25	0.27	0.23	0.24	0.21	0.21	0.23	0.25
Protopanaxdiol (21)	1.31	1.84	1.66	1.46	1.27	1.41	1.37	1.59	1.83
Total	20.60	15.25	24.42	18.83	20.44	19.08	22.96	21.15	23.22
Oleanane types									
Ginsenoside Ro (3)	1.58	1.46	2.57	1.99	1.43	1.69	1.60	1.39	1.79
Total ginsenosides	43.94	34.57	48.73	40.72	41.75	40.98	47.80	44.90	50.08

1) All values are presented as the mean±SD of triplicate determination.

2) ND: not detected.

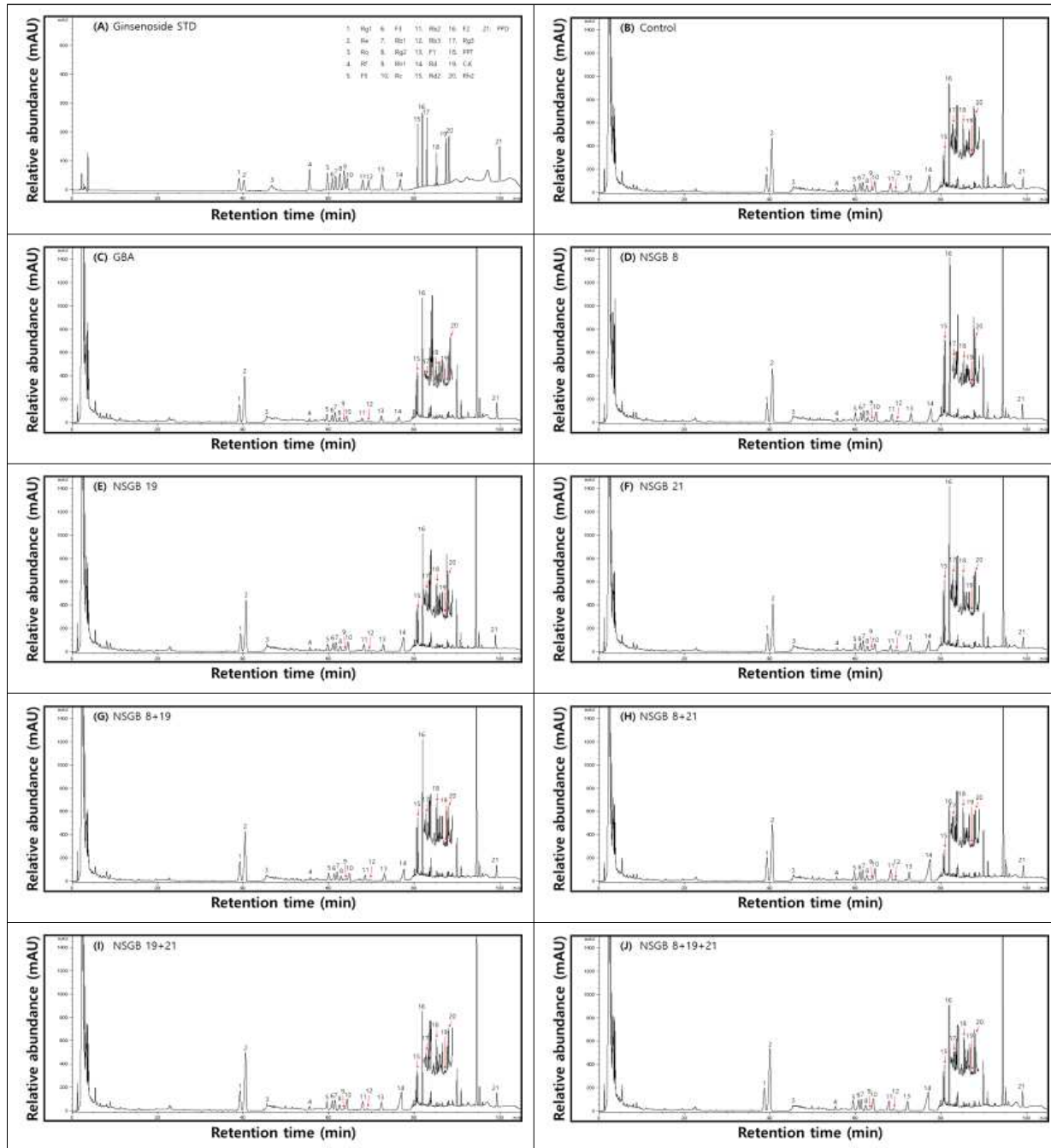


Figure 116. 미생물 처리별 새싹삼의 ginsenosides HPLC 크로마토그램. (A)Ginsenoside STD, (B)Control, (C)Control(GBA), (D)NSGB8, (E)NSGB19, (F)NSGB21, (G)NSGB8+19, (H)NSGB8+21, (I)NSGB19+21, (J)NSGB8+19+21.

■ 항산화 활성

- DPPH 라디칼 소거활성 : 미생물 처리별 새싹삼의 DPPH 라디칼 소거활성 실험 결과 Figure 117 와 같았다. 모든 처리구에서 NSGB19 처리구가 가장 높은 소거활성을 나타내었고 미생물 처리구에서 NSGB19가 들어간 처리구가 활성이 증가하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 미생물 처리구 측정 결과를 통해 NSGB19(43.51%) > NSGB21(36.43%) > NSGB8(25.82%) 순으로 활성이 높은 것을 확인할 수 있었다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 미생물 처리별 새싹삼의 ABTS 라디칼 소거활성 실험 결

과 Figure 32 와 같았다. NSGB8+19+21 처리구가 65.38%로 가장 높은 소거활성을 나타내었고 대조구가 63.91%로 두 번째로 높은 활성을 보였다. 모든 처리구에서 큰 변화를 보이지 않은 것으로 확인할 수 있었다.

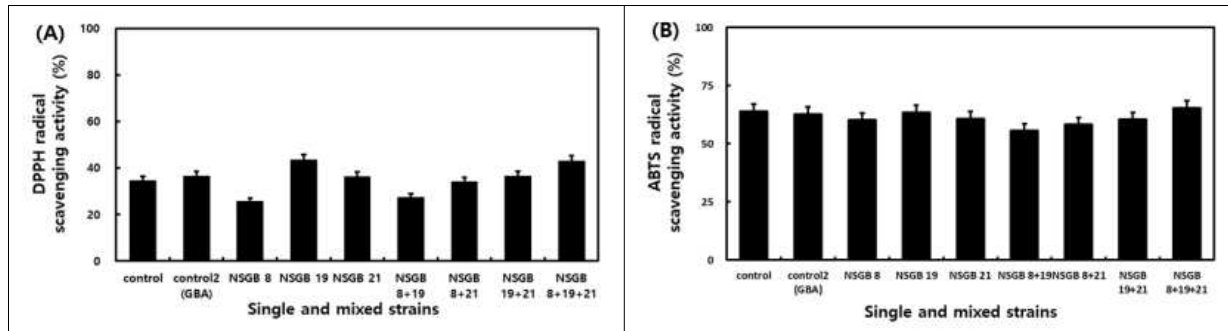


Figure 117. 미생물 처리별 새싹삼의 DPPH(A) 및 ABTS(B) 라디칼 소거활성.

○ 새싹삼 재배 토양 및 미생물 처리에 따른 특성 분석

■ 생육특성

- 새싹삼 시료 : 파종 5일 후 싹이 올라오기 시작했으며 재배 15일까지 발아가 이루어지지 않은 묘삼은 재배 30일까지 발아되지 않았으며, 발아된 개체는 30일까지 잎과 줄기가 지속적으로 성장하는 것을 확인할 수 있었다.





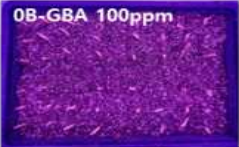







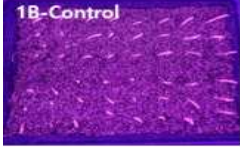





Unuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
Reuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21

Figure 118. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 재배 0일(파종일) 새싹삼 생육 사진














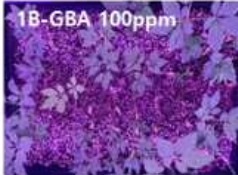
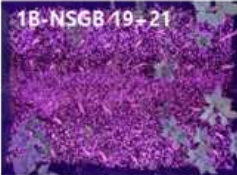

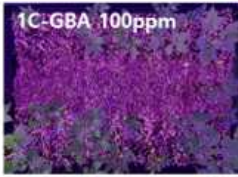

Unuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
Reuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21

Figure 119. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 재배 15일 새싹삼 생육 사진



















Unuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
Reuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21
	90% (Biochar 10%)	 Control	 GBA 100ppm	 NSGB 19+21

Figure 120. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 재배 30일(수확일) 새싹삼 생육 사진



















Unuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 0A-Control	 0A-GBA 100ppm	 0A-NSGB 19+21
		Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 0B-Control	 0B-GBA 100ppm	 0B-NSGB 19+21
	Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21	
	90% (Biochar 10%)	 0C-Control	 0C-GBA 100ppm	 0C-NSGB 19+21
	Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21	
Reuse bed soil	100% (Biochar 0%)	 1A-Control	 1A-GBA 100ppm	 1A-NSGB 19+21
		Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21
	95% (Biochar 5%)	 1B-Control	 1B-GBA 100ppm	 1B-NSGB 19+21
	Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21	
	90% (Biochar 10%)	 1C-Control	 1C-GBA 100ppm	 1C-NSGB 19+21
	Control	GBA 100ppm	NSGB 19+21	

Figure 121. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 재배 30일 수확 개체 새싹삼 생육 사진.

- 발아율, 길이 및 무게 : 토양 및 미생물 처리에 따른 새싹삼의 발아율, 생체 평균 길이 및 무게는 Figure 121와 같았다. 파종 된 50개체 중 발아된 새싹삼의 발아율은 바이오차를 10% 혼합 및 미생물 처리구에서 인삼 상토 재사용 여부에 따른 그룹에서 각각 가장 낮은 발아율을 보였으며, 0C-3과 1C-3 각각 42%와 26%의 발아율을 보였다. 반면

바이오차 5% 혼합 및 GBA 처리구에서 인삼상토 재사용 여부에 관계 없이 공통적으로 높은 발아율을 보였으며 0A-2과 1A-2는 각각 72%와 76%의 발아율을 보였다. 한편, 1A-2 실험구는 1개체당 평균 길이 및 무게 또한 각각 20.41 cm 및 2.81 g 로 우수한 성장성을 보였다. 반면 0C-3 실험구는 1개체당 평균 길이 및 무게가 각각 14.20 cm 및 0.57 g으로 가장 낮은 성장성을 보였다.

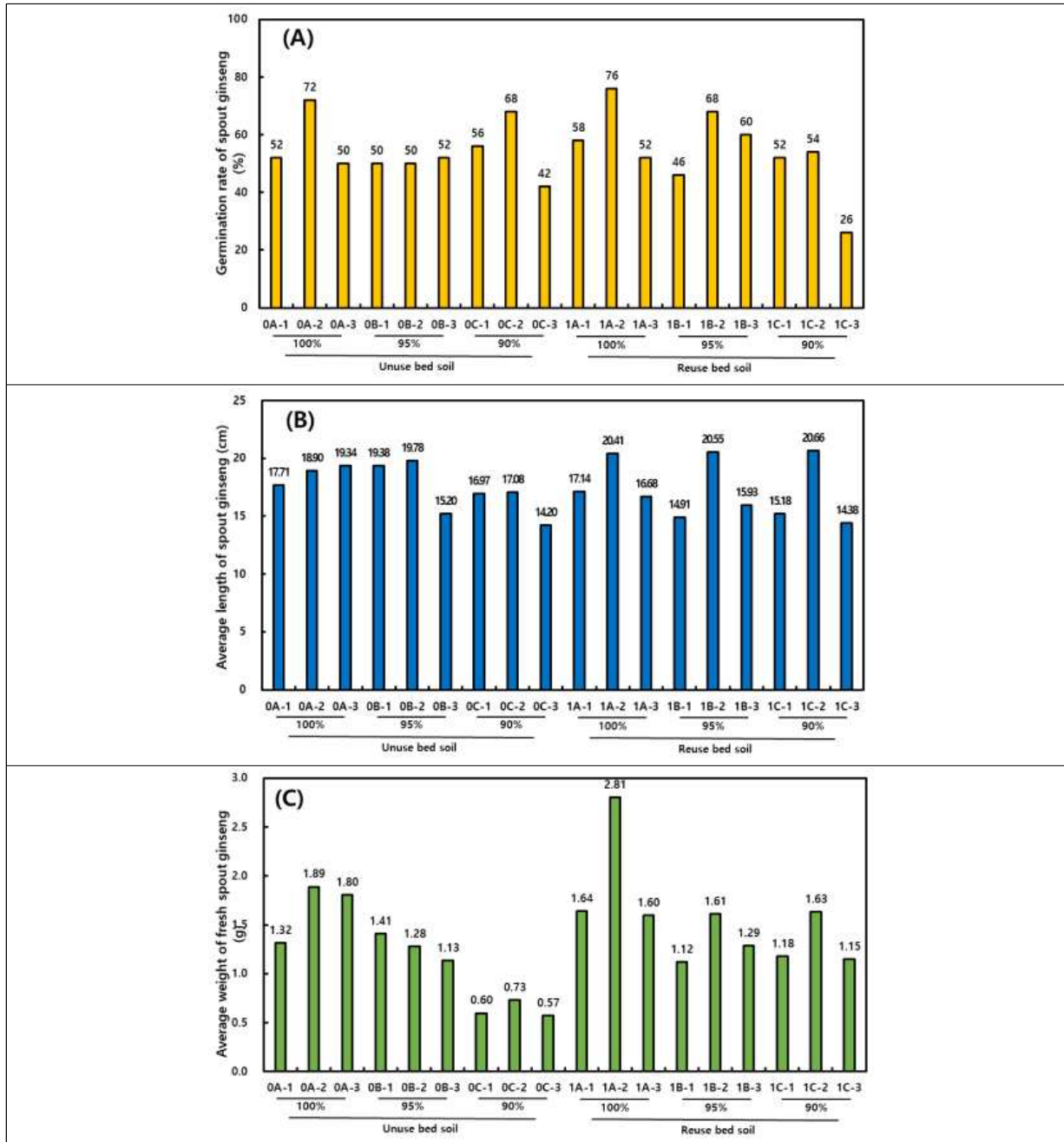


Figure 122. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 발아율 (A), 생체 평균 길이(B) 및 평균 무게.

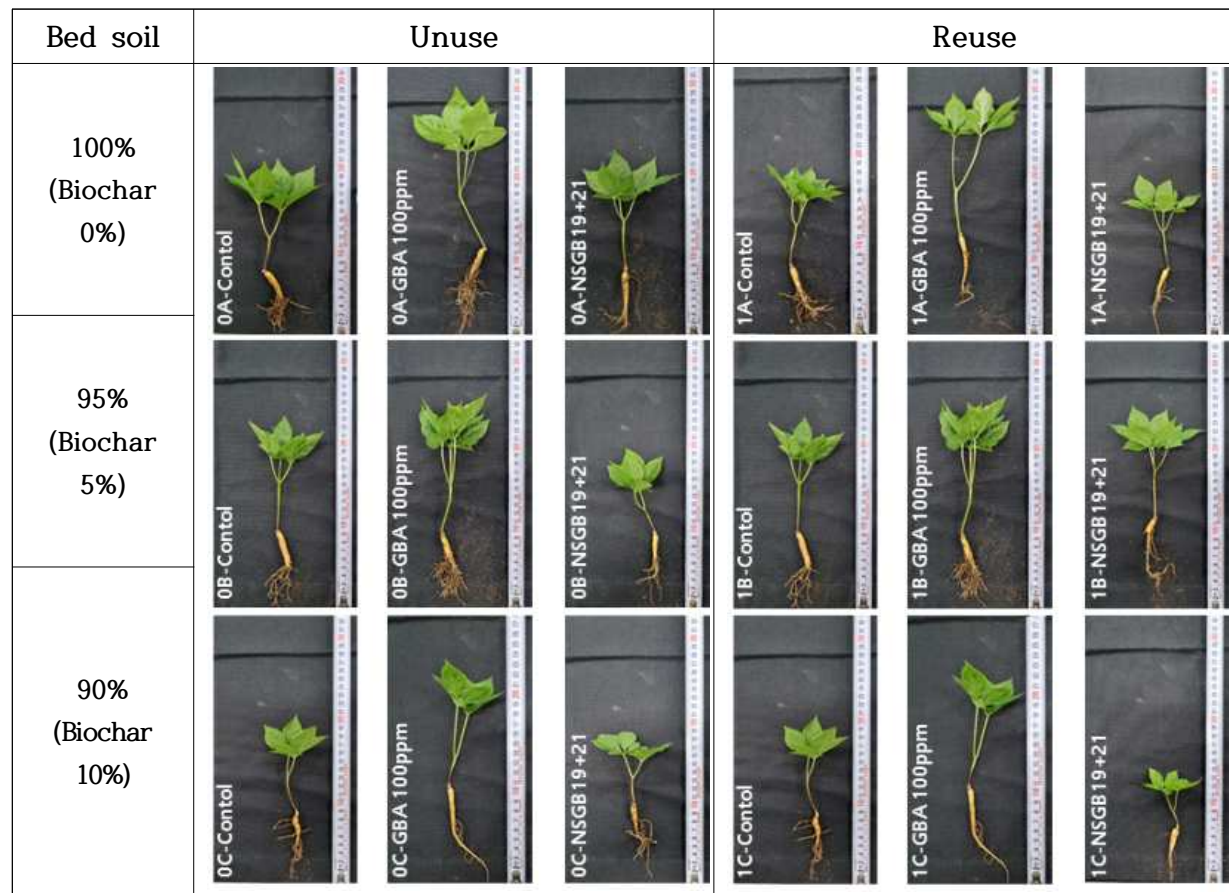


Figure 123. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 재배 30일 수확 새싹삼 1개체 사진

■ 새싹삼 미생물 처리 4차 토양 이화학적 특성

- pH, 산도 및 생균수 : 새싹삼 수확 후 실험구 토양의 pH, 산도 및 생균수를 측정 한 결과 Table 32와 같았다. 토양의 pH는 바이오차의 함량의 비율이 높을수록 pH가 높았으며, 이는 다시 미생물 처리구 > 무처리구 > GBA 처리구 순으로 높은 pH를 나타내어 0C-3과 1C-3 시료의 토양에서 각각 pH 6.90 및 6.93을 나타내었고, 산도 역시 이에 상응하여 pH가 높은 실험구에서 대체로 산도가 낮게 관찰되었다. 생균수는 대체로 미생물을 처리한 실험구에서 높게 확인되었으나 재사용 상토를 사용한 실험구 중 바이오차 10% 혼합한 그룹은 GBA 처리구에서 8.06 log CFU/g으로 미생물 처리구 (7.87 log CFU/g)보다 높은 생균수를 보였으며, 모든 실험구 중에서 또한 가장 높은 생균수가 확인되었다.

Table 32. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 토양 pH, 산도 및 생균수

Sample	Contents ¹⁾				
	pH	Acidity (%, as lactic acid)	log CFU/g		
Unuse bed soil	100% (Biochar 0%)	0A-1	5.33	0.09	7.58
		0A-2	5.22	0.14	6.86
		0A-3	5.84	0.11	7.63
	95% (Biochar 5%)	0B-1	6.53	0.11	7.34
		0B-2	6.17	0.11	7.31
		0B-3	6.53	0.09	7.24
	90% (Biochar 10%)	0C-1	6.75	0.07	7.27
		0C-2	6.29	0.07	7.18
		0C-3	6.90	0.07	7.74
Reuse bed soil	100% (Biochar 0%)	1A-1	5.78	0.11	7.03
		1A-2	5.75	0.07	7.15
		1A-3	6.04	0.09	7.45
	95% (Biochar 5%)	1B-1	6.35	0.07	7.42
		1B-2	6.29	0.07	7.38
		1B-3	6.22	0.11	7.57
	90% (Biochar 10%)	1C-1	6.74	0.05	7.42
		1C-2	6.45	0.06	8.06
		1C-3	6.93	0.05	7.87

¹⁾All values are means of determinations in three independent experiments.

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolic : 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 새싹삼의 총 phenolic 함량은 Figure 124(A)와 같았다. 인삼 상토 재사용 여부 및 바이오차 비율에 따른 총 phenolic 함량의 경향은 없었으나 무처리와 미생물 처리구와 비교하여 GBA 처리구에서 비교적 높은 함량을 보여 1B-2 실험구에서 3.57 GAE mg/g으로 가장 높은 함량을 보였고 0A-3 실험구에서 2.47 GAE mg/g으로 가장 낮은 함량을 보였다.

- 총 flavonoid : 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 새싹삼의 총 flavonoid 함량은 Figure 124(B)와 같았다. 인삼 상토 재사용 여부 및 바이오차 비율에 따른 총 flavonoid 함량의 경향은 없었으며, 무처리, GBA 및 미생물 처리에 따른 경향 또한 보이지 않았다. 모든 처리구의 총 flavonoid 함량이 24.26-31.87 RE mg/g 수준으로 검출되었으며 1C-3에서 가장 높게 나타났으며 1A-1에서 가장 높은 함량을 보였다.

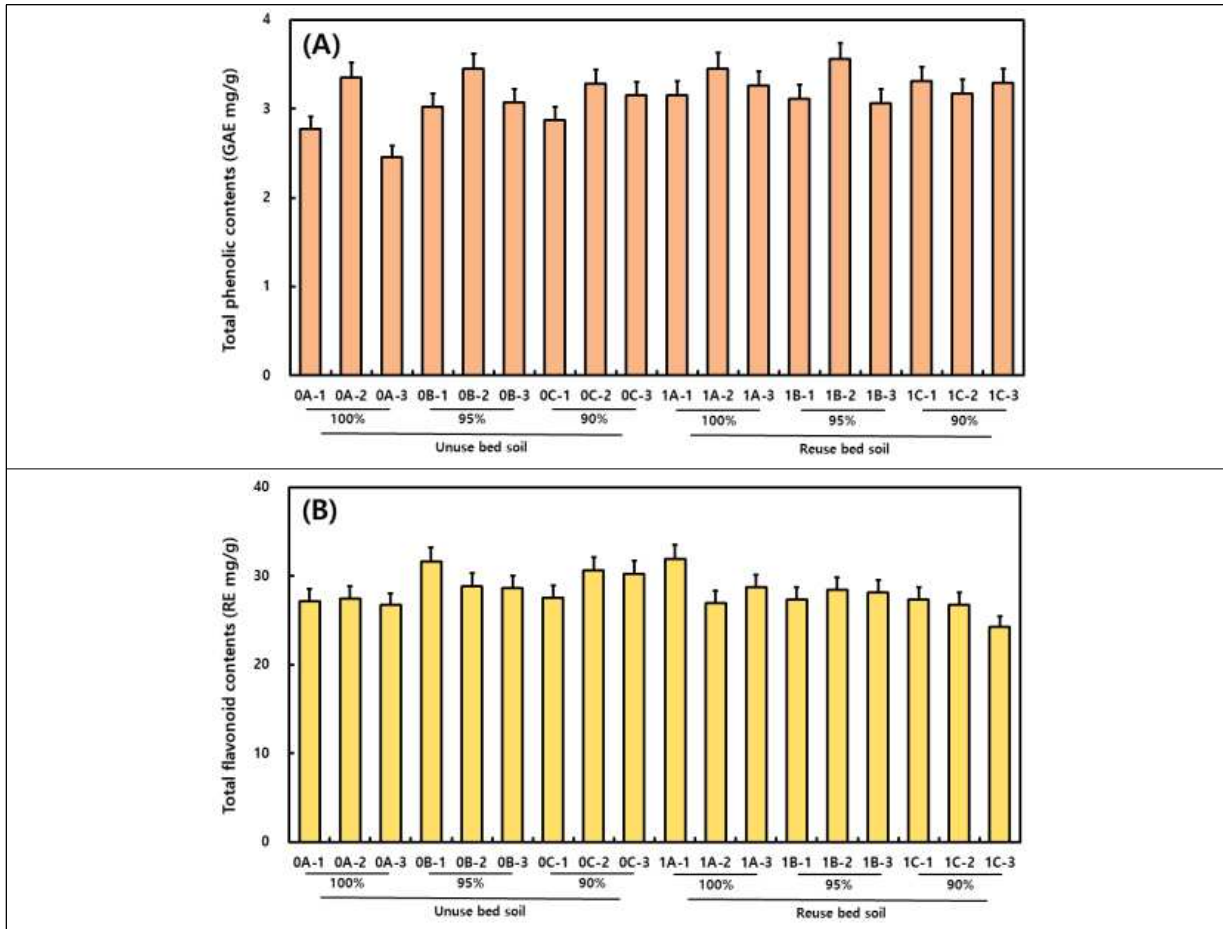


Figure 124. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 총 phenolic(A) 및 총 flavonoid 함량 (B).

■ 항산화활성

- DPPH 라디칼 소거활성 : 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 새싹삼의 DPPH 라디칼 소거활성은 Figure 125(A)와 같았다. 생리활성물질과 같이 인삼 상토 재사용 여부 및 바이오차 비율에 따른 DPPH 라디칼 소거활성의 경향은 없었다. 무처리, GBA 및 미생물 처리에 따른 경향 또한 보이지 않았다. 1A-2와 0C-3에서 각각 42.69% 및 66.93%로 가장 낮은 활성과 높은 활성을 보였다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 새싹삼의 ABTS 라디칼 소거활성은 Figure 125(B)와 같았다. DPPH 라디칼 소거활성과 같이 토양 혼합비, 무처리, GBA 및 미생물 처리에 따른 경향을 보이지 않았으며 DPPH 라디칼 소거활성과 마찬가지로 1A-2에서 51.29%로 가장 낮은 활성을 보였으나 1C-3에서 70.93%로 가장 높은 활성을 보였다.

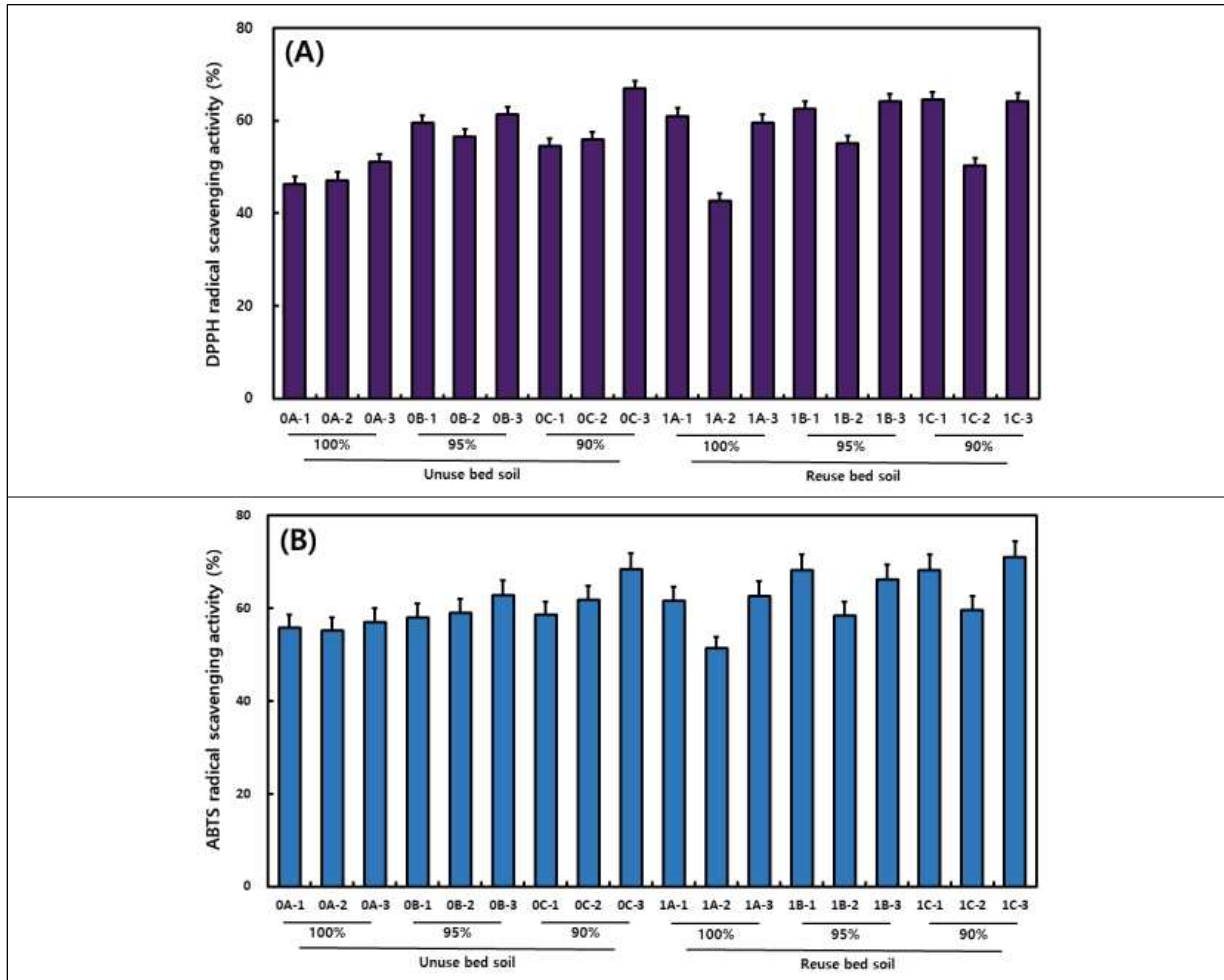


Figure 125. 새싹삼 토양 및 미생물 처리에 따른 DPPH 라디칼(A) 및 ABTS 라디칼(B) 소거활성.

○ 광원 처리에 따른 새싹 양파 특성 분석

■ 성장 특성 비교

- 발아수, 길이 및 무게: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 양파의 발아수, 길이 및 무게를 살펴본 결과 Figure 126와 Figure 127 같았다.

- 발아수 : 단일 광 실험에서는 1:1:1에 비해 모두 발아수량이 높았으며, 그 중 0:0:1에서 가장 높았다. 두 개의 광을 혼합한 실험에서는 1:1:0과 0:1:1에서 발아량이 높았으며, 세 개의 광을 혼합한 실험에서는 비슷한 발아량을 나타냈다.

- 길이 : 각 조건별에 따른 새싹 양파 1개체 당 평균 길이를 측정한 결과, 0:1:0을 제외하고는 11 cm 정도로 비슷하게 자란 것을 확인하였다.

- 무게 : 각 조건별에 따른 새싹 양파의 1개체 당 평균 무게를 측정한 결과, 단일 광 실험에서는 1:1:1에 비해 0:1:0에서 조금 낮았으며, 나머지는 비슷하였다. 두 개의 광을 혼합한 실험에서는 1:1:1에 비해 모두 무게가 많이 나갔으며 1:0:1에서 가장 높았으며, 세 개의 광을 혼합하였을 때 큰 차이가 없는 것을 확인하였다.

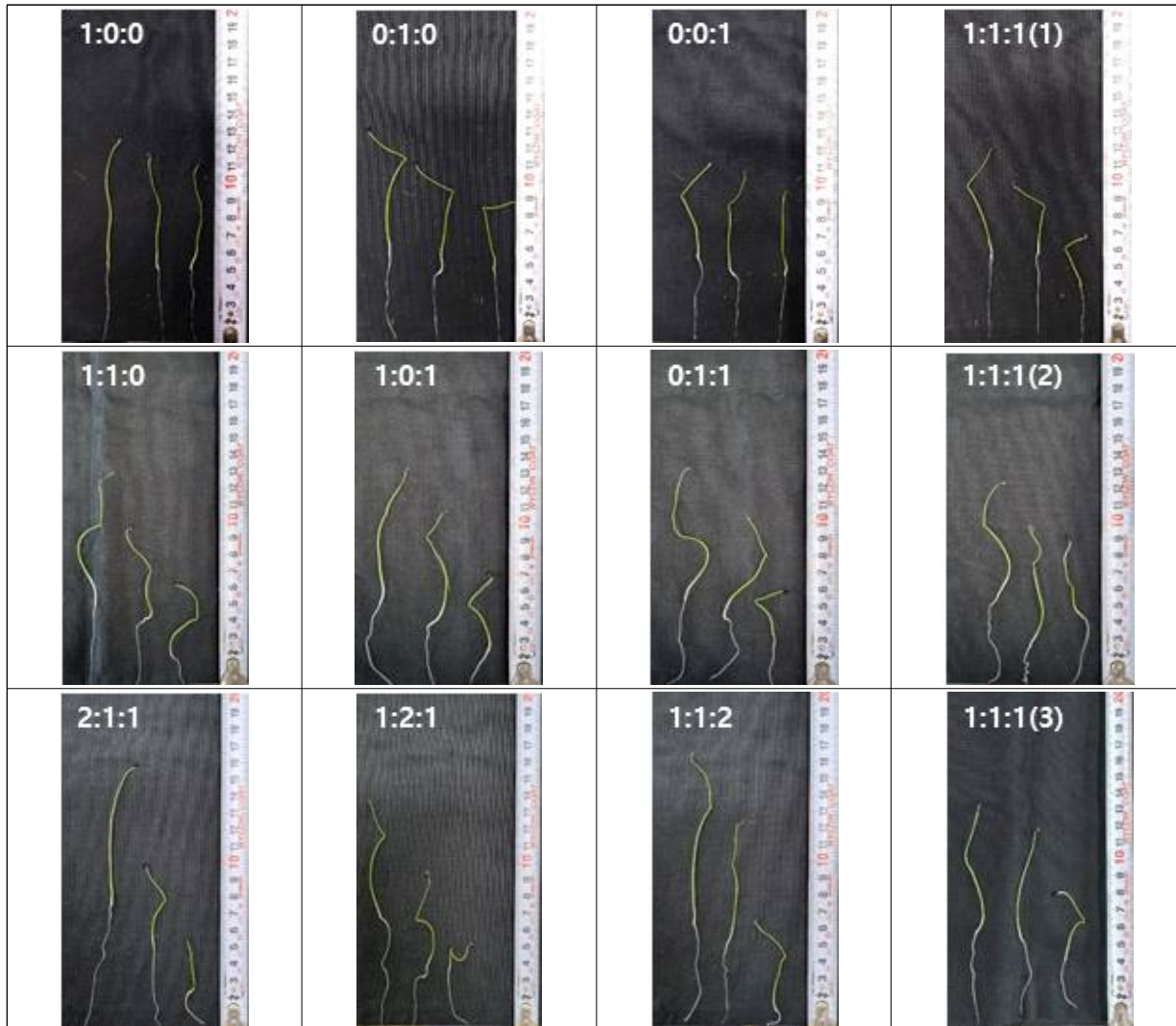


Figure 126. 광조건별에 따른 4일차 새싹양파 1개체 당 길이 사진.

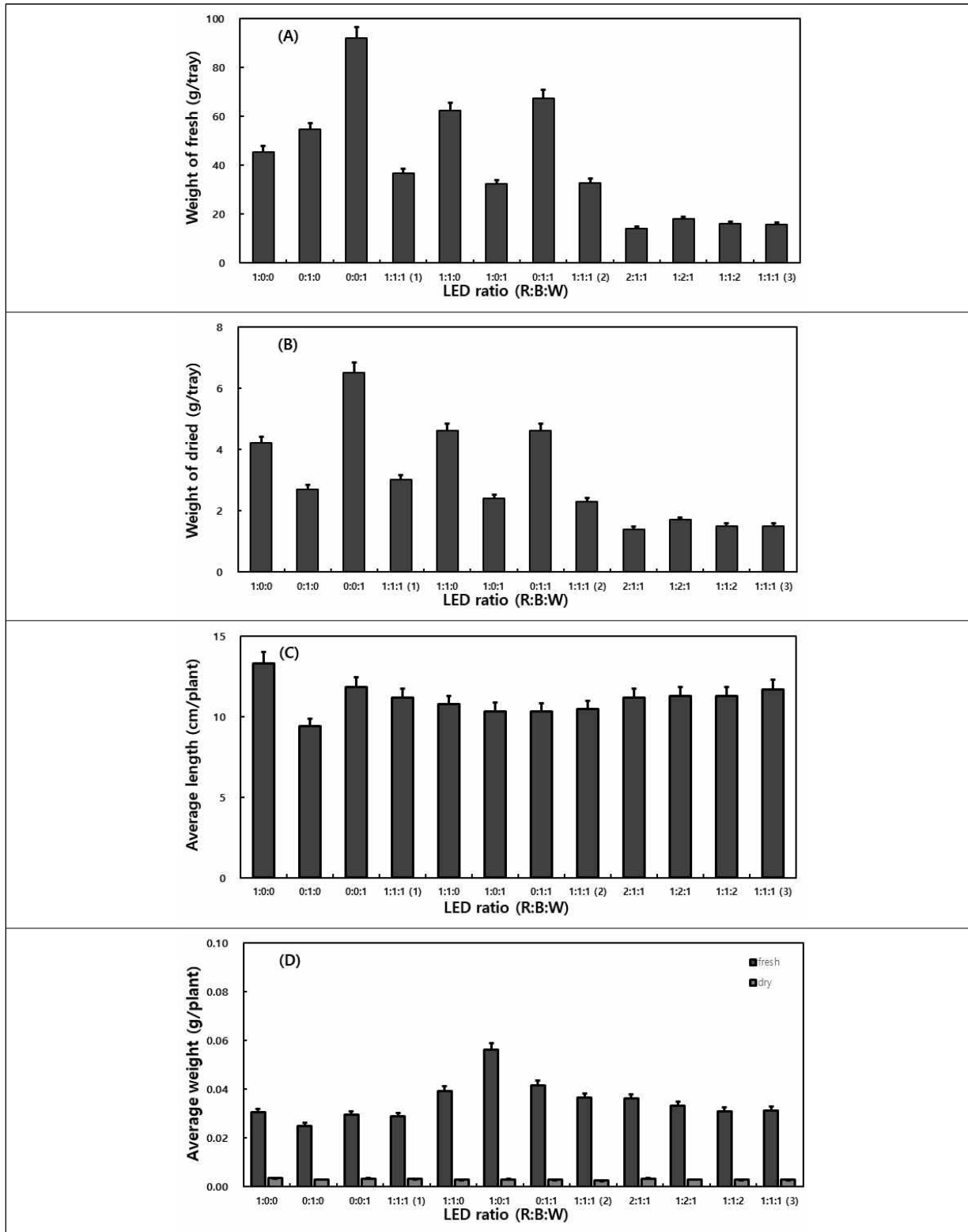


Figure 127. 광원 처리에 따른 새싹 양파의 발아수(A, B), 길이(C) 와 무게(D).

■ 생리활성물질 분석

- 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 양파의 총 phenolics 및 총 flavonoids 함량을 살펴본 결과 Figure 128와 같았다. 총 phenolics 함량은 종자에 비해 새싹 양파에서 모두 증가한 것을 확인하였다. 단일 광

에서는 1:1:1에 비해 0:0:1에서 조금 높았으며, 두 개의 광을 혼합한 처리구에서는 1:1:1에 비해 낮은 것을 확인하였다. 또한 세 개의 광을 혼합한 처리구에서는 1:1:1에 비해 2:1:1과 1:1:2는 낮았고, 1:2:1이 비슷한 것으로 나타났다.

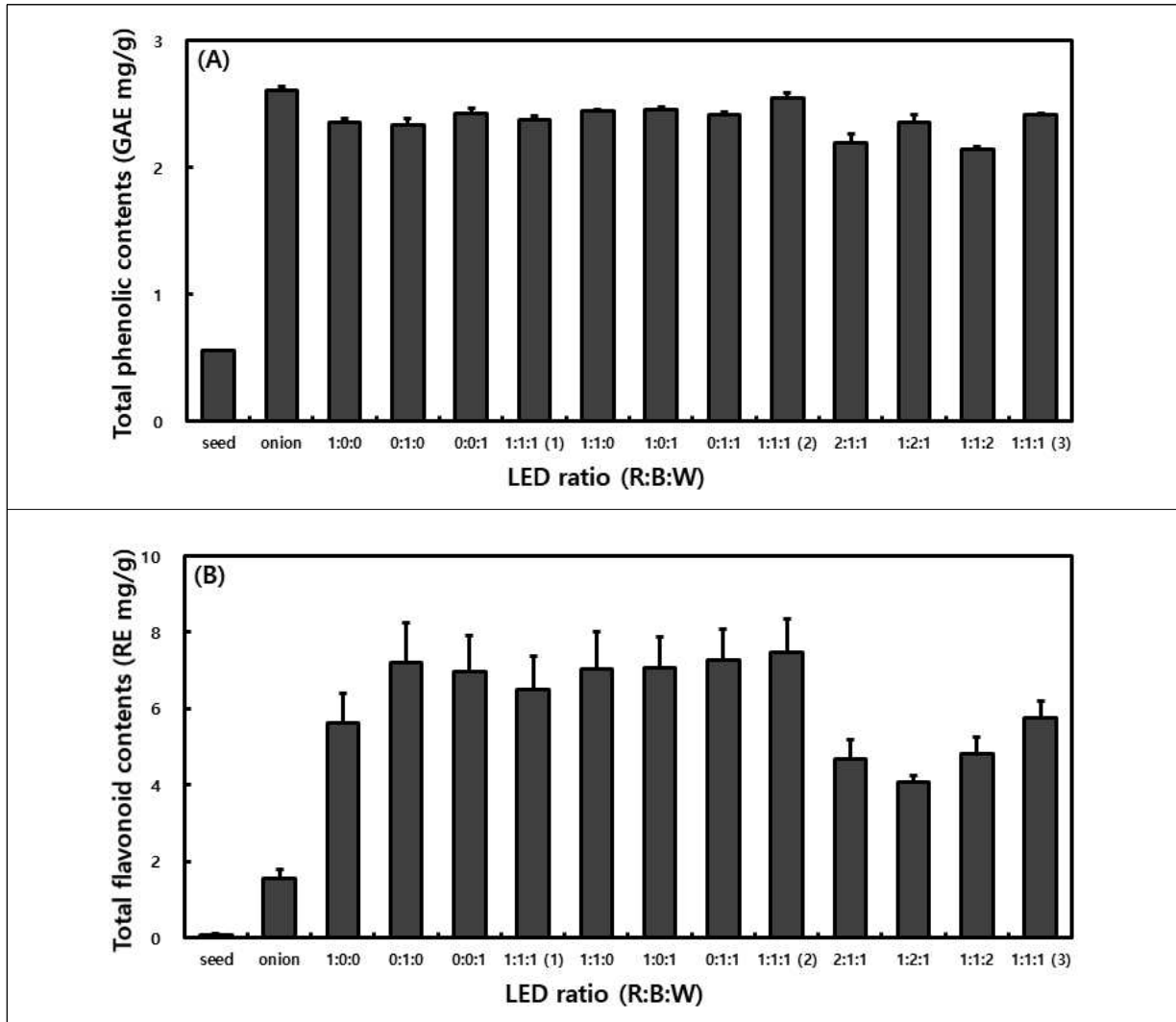


Figure 128. 광원 처리에 따른 새싹 양파의 총 phenolics 및 flavonoids 함량.

- Quercetin 함량: 스마트-커스텀 챔버에서 광원 처리에 따른 새싹 양파의 퀘르세틴 함량을 살펴본 결과 Table 33-A 및 Table 33-B와 같았다.

Table 33-A. 광원 처리에 따른 새싹 양파의 quercetin 함량

Contents ($\mu\text{g/g}$) ¹⁾	LED Ratio (R:B:W)						
	Seed	Onion	1:0:0	0:1:0	0:0:1	1:1:1 (1)	1:1:0
Quercetin	197.07	937.97	911.17	797.28	1011.34	1006.54	1171.93

¹⁾ Value indicated the mean's of three replication ($n=5$).

Table 33-B. 광원 처리에 따른 새싹 양파의 quercetin 함량

Contents ($\mu\text{g/g}$) ¹⁾	LED Ratio (R:B:W)						
	1:0:1	0:1:1	1:1:1 (2)	2:1:1	1:2:1	1:1:2	1:1:1 (3)
Quercetin	1264.27	1037.88	1350.33	939.8	1105.72	1349.11	1620.35

¹⁾ Value indicated the mean's of three replication ($n=5$).

■ 항산화활성

- DPPH 라디칼 소거활성 : DPPH 라디칼 소거 활성 측정 결과 Figure 129와 같았다. 각 조건별에 따른 새싹 양파의 DPPH 라디칼 소거활성을 측정한 결과, 양파 종자에 비해서는 모두 2배 이상의 높은 활성을 나타냈으나, 양파에 비해서는 낮은 활성을 나타냈다. 단일 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 0:1:0과 0:0:1에서 조금 높았고, 두 개의 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 1:1:0은 높았고, 0:1:1에서 조금 낮은 것을 확인하였다. 또한 세 개의 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 모두 낮은 활성을 나타냈으며, 그 중 1:2:1이 비슷한 활성이 나타났다.

- ABTS 라디칼 소거활성 : ABTS 라디칼 소거 활성 측정 결과 Figure 129와 같았다. 각 조건별에 따른 새싹 양파의 ABTS 라디칼 소거활성을 측정한 결과, 양파 종자에 비해서는 모두 3배 이상의 높은 활성을 나타냈으나, 양파에 비해서는 낮은 활성을 나타냈다. 단일 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 비슷하였으나 낮았고, 두 개의 광 처리구에서는 0:1:1에서 낮은 활성을 나타냈으며, 세 개의 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 모두 낮은 활성을 나타냈다.

- FRAP 환원력 : FRAP 환원력 측정 결과 Figure 129와 같았다. 각 조건별에 따른 새싹 양파의 FRAP 환원력을 측정한 결과, 양파 종자에 비해서는 모두 3배 정도 높은 환원력을 나타냈으나, 양파에 비해서는 낮은 환원력을 나타냈다. 단일 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 비슷하였고, 0:0:1에서 조금 높았다. 두 개의 광 처리구에서는 비슷한 환원력을 나타냈고, 세 개의 광 처리구에서는 1:1:1에 비해 낮은 환원력을 나타냈다.

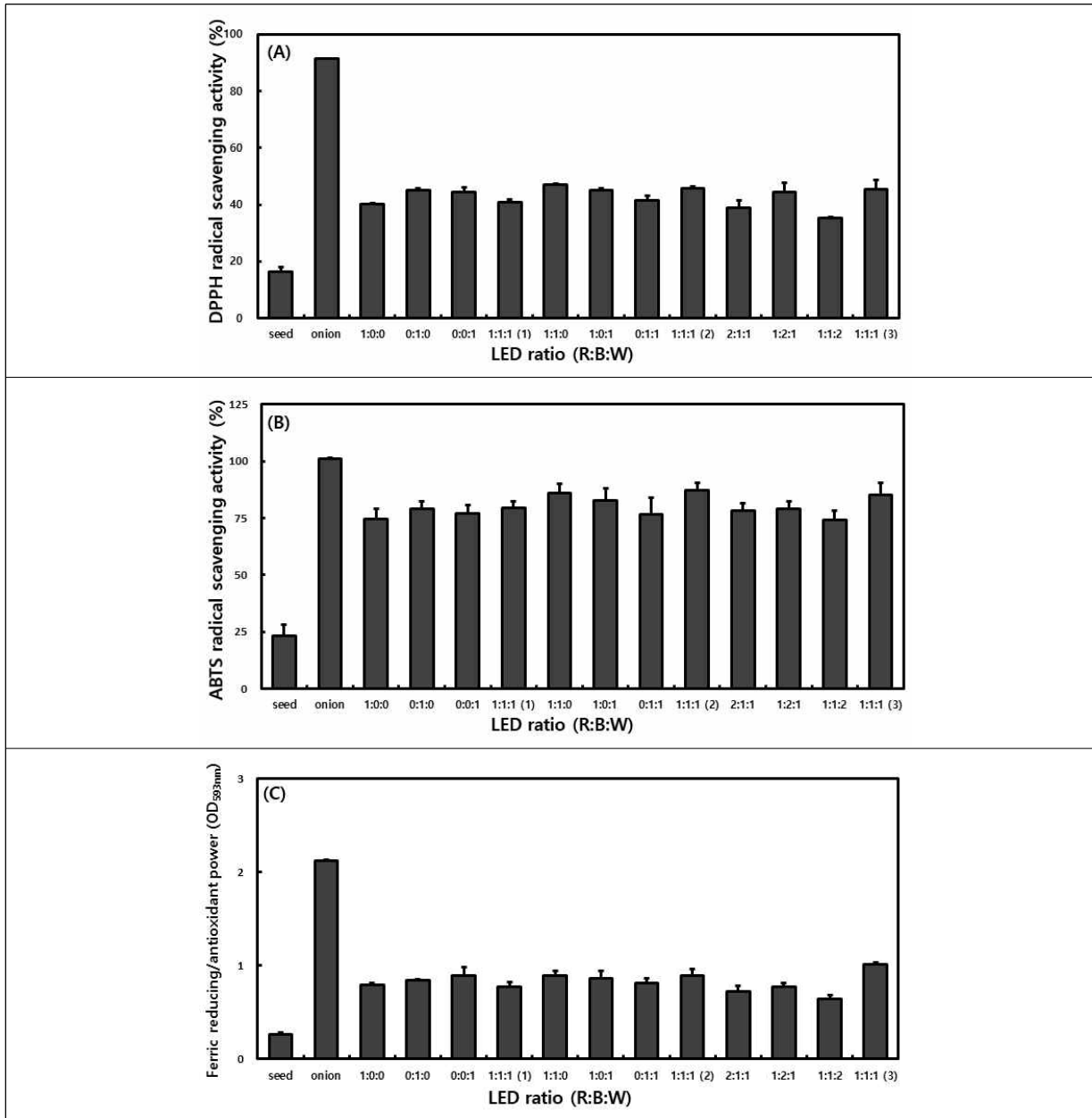


Figure 129. 광원 처리에 따른 새싹 양파의 DPPH(A)와 ABTS(B) 라디칼 소거활성 및 FRAP 환원력(C).

7) 새싹작물 선정 및 종자 발아 연구

○ 새싹 작물 발아율

함수율(%)	1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
결명자	34.58 ± 2.19	46.48 ± 2.01	50.47 ± 1.30	60.65 ± 11.20	49.60 ± 0.49	51.06 ± 0.57	50.51 ± 0.70
식방풍	52.20 ± 0.50	56.56 ± 0.40	58.06 ± 0.24	58.98 ± 0.61	58.51 ± 0.99	59.20 ± 0.86	59.15 ± 0.37
감초	45.28 ± 0.35	48.08 ± 0.43	51.06 ± 0.76	50.47 ± 1.10	50.53 ± 1.10	50.53 ± 1.14	50.02 ± 1.17
우슬	30.84 ± 2.91	47.71 ± 0.25	49.34 ± 0.65	52.68 ± 0.53	52.81 ± 2.30	53.97 ± 0.49	52.18 ± 2.05
당귀	79.18 ± 1.14	79.67 ± 0.92	81.62 ± 0.51	79.31 ± 0.50	81.12 ± 0.81	83.07 ± 0.34	83.07 ± 0.34
영경귀	72.31 ± 1.28	71.49 ± 1.24	75.21 ± 1.13	72.38 ± 1.48	72.02 ± 1.30	73.92 ± 1.58	76.71 ± 0.97
황기	51.55 ± 11.75	74.63 ± 0.52	75.74 ± 0.41	74.05 ± 0.43	74.76 ± 0.73	76.05 ± 0.46	76.05 ± 0.46
더덕	54.33 ± 0.46	56.22 ± 0.50	55.28 ± 1.70	56.93 ± 0.97	54.30 ± 1.32	56.16 ± 0.97	52.68 ± 3.74

Figure 130. 종자의 수분 함량(함수량, %)



Figure 131. 약용종자의 활력 Test

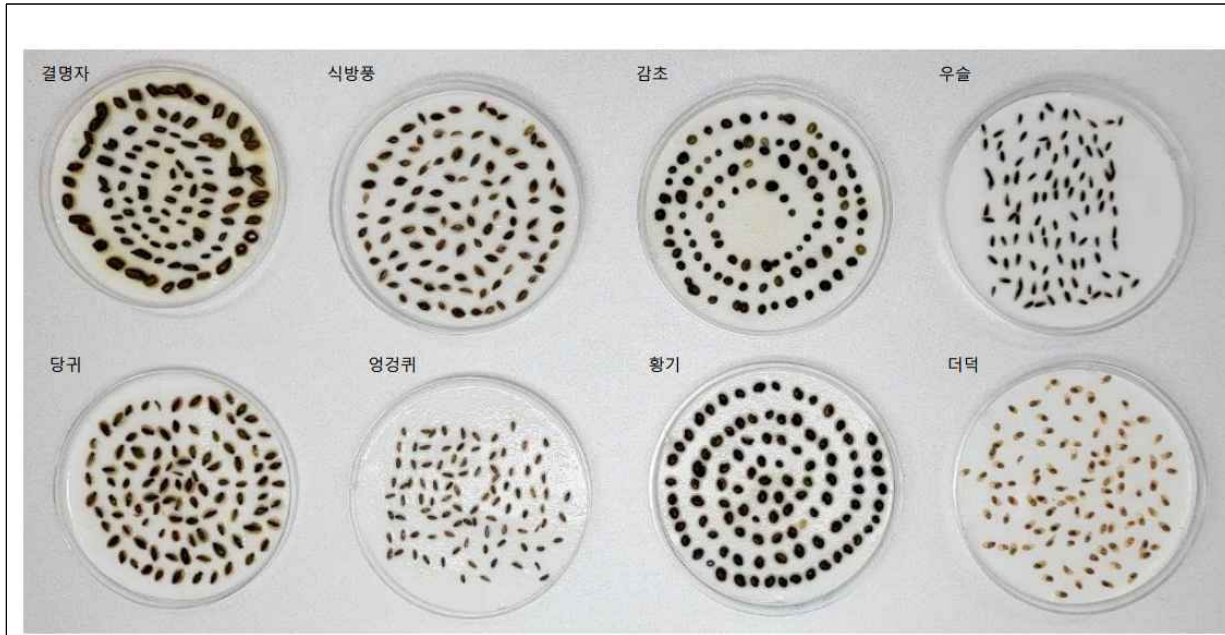


Figure 132. 약용종자의 최적 발아 조건을 위한 발아율 체크

	결명자	식방풍	감초	우슬	당귀	영경귀	황기	더덕
최적 온도	25°C 광	25°C 광	25/15°C 암	25/15°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암	25°C 암	25/15°C 암
발아율	23.00 ± 3.06	51.67 ± 2.73	30.34 ± 7.84	51.00 ± 1.53	67.34 ± 4.38	15.00 ± 4.59	46.34 ± 5.79	81.34 ± 6.67
평균발아일수 (Mean Germination Time, day)	4.25 ± 0.38	12.14 ± 0.44	5.06 ± 0.64	4.65 ± 0.02	12.45 ± 0.45	6.20 ± 0.49	1.90 ± 0.18	6.23 ± 0.13
평균발아속도 (Mean Daily Germination, ea/day)	1.28 ± 0.17	2.87 ± 0.15	1.69 ± 0.44	2.83 ± 0.08	3.74 ± 0.24	0.83 ± 0.25	2.57 ± 0.32	4.52 ± 0.37

Figure 133. 약용종자의 최적 발아 조건 확립

결명자	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.67	1.34 ± 1.34	0.00 ± 0.00	8.34 ± 1.86	6.67 ± 1.67	2.00 ± 1.16	1.67 ± 0.34
2d	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.67	3.34 ± 1.46	2.00 ± 0.00	12.34 ± 2.97	10.67 ± 2.67	5.34 ± 1.86	5.67 ± 0.89
3d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.89	5.34 ± 1.34	4.34 ± 0.67	13.67 ± 2.67	12.00 ± 2.52	6.67 ± 2.19	8.00 ± 0.58
4d	1.34 ± 0.67	2.67 ± 0.89	7.67 ± 1.77	5.34 ± 0.89	17.34 ± 3.53	14.00 ± 3.06	7.34 ± 2.34	9.67 ± 0.34
5d	1.67 ± 0.89	2.67 ± 0.89	8.00 ± 1.53	5.67 ± 0.67	17.67 ± 3.29	14.34 ± 2.97	9.67 ± 2.91	9.67 ± 0.34
6d	2.34 ± 1.21	2.67 ± 0.89	8.34 ± 1.86	5.67 ± 0.67	18.67 ± 3.29	15.00 ± 3.22	10.34 ± 2.97	11.67 ± 0.89
7d	2.34 ± 1.21	2.67 ± 0.89	8.67 ± 1.77	5.67 ± 0.67	18.67 ± 3.29	15.00 ± 3.22	11.00 ± 2.52	11.67 ± 0.89
8d	2.34 ± 1.21	2.67 ± 0.89	8.67 ± 1.77	5.67 ± 0.67	18.67 ± 3.29	15.00 ± 3.22	11.67 ± 2.73	12.34 ± 0.89
9d	2.67 ± 0.89	2.67 ± 0.89	9.00 ± 1.74	5.67 ± 0.67	19.34 ± 2.97	16.34 ± 2.61	11.67 ± 2.73	12.67 ± 0.89
10d	2.67 ± 0.89	2.67 ± 0.89	9.34 ± 1.46	6.00 ± 1.00	20.00 ± 3.06	16.34 ± 2.61	13.67 ± 3.72	12.67 ± 0.89
11d	2.67 ± 0.89	2.67 ± 0.89	9.34 ± 1.46	6.00 ± 1.00	20.67 ± 3.18	16.34 ± 2.61	13.67 ± 3.72	12.67 ± 0.89
12d	3.67 ± 1.21	2.67 ± 0.89	9.34 ± 1.46	6.00 ± 1.00	21.34 ± 3.34	16.67 ± 2.34	13.67 ± 3.72	13.00 ± 1.00
13d	3.67 ± 1.21	2.67 ± 0.89	10.34 ± 1.77	6.00 ± 1.00	21.67 ± 3.18	17.00 ± 2.31	14.00 ± 3.61	13.67 ± 0.34
14d	3.67 ± 1.21	2.67 ± 0.89	10.67 ± 2.03	6.67 ± 0.67	22.00 ± 3.06	17.00 ± 2.31	14.67 ± 3.29	14.00 ± 0.00
15d	4.67 ± 0.89	3.67 ± 0.34	11.67 ± 2.61	7.67 ± 0.89	22.67 ± 3.29	17.00 ± 2.31	14.67 ± 3.29	14.00 ± 0.00
16d	5.00 ± 1.16	3.67 ± 0.34	11.67 ± 2.61	7.67 ± 0.89	22.67 ± 3.29	17.00 ± 2.31	15.67 ± 3.49	14.00 ± 0.00
17d	5.00 ± 1.16	4.00 ± 0.58	11.67 ± 2.61	8.00 ± 1.00	23.00 ± 3.06	17.00 ± 2.31	15.67 ± 3.49	14.00 ± 0.00
18d	5.67 ± 1.77	4.00 ± 0.58	11.67 ± 2.61	8.34 ± 0.67	23.00 ± 3.06	17.00 ± 2.31	15.67 ± 3.49	14.00 ± 0.00

Figure 135. 결명자의 온도, 광암 조건에서의 발아율

식방품	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
3d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
4d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
5d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	0.34 ± 0.34	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
6d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	0.34 ± 0.34	0.67 ± 0.67	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.34 ± 0.34	0.00 ± 0.00
7d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	0.67 ± 0.67	4.00 ± 1.53	0.00 ± 0.00	1.00 ± 1.00	0.34 ± 0.34	0.67 ± 0.67
8d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	1.00 ± 0.58	4.00 ± 1.53	0.00 ± 0.00	2.00 ± 0.58	0.34 ± 0.34	1.00 ± 1.00
9d	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.34	5.34 ± 1.21	7.67 ± 2.19	10.00 ± 3.79	5.67 ± 1.46	0.34 ± 0.34	1.67 ± 1.21
10d	0.00 ± 0.00	2.34 ± 0.34	8.34 ± 1.46	11.67 ± 3.29	20.67 ± 2.19	8.67 ± 2.03	6.00 ± 1.16	6.00 ± 2.00
11d	5.67 ± 1.21	2.67 ± 0.34	11.67 ± 0.89	23.34 ± 4.92	21.67 ± 2.73	9.00 ± 1.74	10.34 ± 2.85	6.34 ± 1.86
12d	5.67 ± 1.21	3.34 ± 0.34	11.67 ± 0.89	35.00 ± 3.22	31.00 ± 2.09	11.34 ± 1.86	11.34 ± 2.41	11.34 ± 1.34
13d	8.00 ± 2.09	16.34 ± 2.73	20.67 ± 2.67	39.67 ± 2.97	38.00 ± 2.31	13.67 ± 1.77	21.34 ± 1.77	18.67 ± 0.89
14d	10.67 ± 1.46	18.67 ± 0.89	26.34 ± 3.85	40.00 ± 3.22	38.00 ± 2.31	17.00 ± 3.06	29.34 ± 2.67	25.67 ± 1.86
15d	33.67 ± 2.03	34.34 ± 6.97	34.67 ± 3.93	49.34 ± 1.67	45.00 ± 1.16	18.00 ± 3.00	30.34 ± 2.73	29.00 ± 3.52
16d	34.34 ± 2.34	42.34 ± 13.78	34.67 ± 3.93	50.67 ± 1.86	46.34 ± 0.89	20.67 ± 1.86	33.67 ± 2.41	34.67 ± 1.34
17d	38.67 ± 4.10	49.67 ± 14.52	36.34 ± 4.71	52.34 ± 1.77	49.67 ± 1.46	23.00 ± 2.65	36.67 ± 2.34	40.00 ± 1.53
18d	45.00 ± 4.73	51.00 ± 13.87	37.34 ± 3.72	52.34 ± 1.77	51.67 ± 2.73	23.00 ± 2.65	38.00 ± 1.53	41.34 ± 1.46

Figure 136. 식방품의 온도, 광암 조건에서의 발아율

감초	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.34 ± 0.34	0.34 ± 0.34	4.34 ± 1.77	3.00 ± 1.74	8.00 ± 1.16	8.34 ± 0.89	5.34 ± 0.34	6.67 ± 0.89
2d	2.67 ± 1.46	1.34 ± 0.34	9.34 ± 2.73	8.00 ± 2.09	13.67 ± 1.21	14.34 ± 2.85	11.67 ± 0.34	10.34 ± 1.34
3d	9.34 ± 2.34	7.00 ± 0.58	13.00 ± 2.65	12.67 ± 0.67	17.34 ± 1.21	15.34 ± 2.85	15.34 ± 1.77	14.00 ± 2.31
4d	13.00 ± 1.53	9.34 ± 0.34	19.00 ± 2.65	16.67 ± 0.34	19.67 ± 1.46	19.34 ± 3.53	20.00 ± 2.65	17.00 ± 2.65
5d	14.34 ± 2.19	11.00 ± 0.00	19.34 ± 2.34	17.67 ± 0.67	20.34 ± 1.67	21.67 ± 3.76	21.34 ± 1.46	19.00 ± 3.52
6d	15.34 ± 2.73	12.67 ± 0.34	21.00 ± 2.31	19.34 ± 0.34	21.67 ± 2.03	23.00 ± 3.79	23.67 ± 2.19	22.00 ± 4.59
7d	17.34 ± 3.67	16.67 ± 1.21	22.67 ± 1.67	21.00 ± 0.58	22.67 ± 2.91	24.67 ± 4.06	24.00 ± 2.52	24.00 ± 4.59
8d	17.34 ± 3.67	18.00 ± 0.58	23.00 ± 2.00	21.67 ± 0.89	23.00 ± 3.22	25.00 ± 3.79	24.34 ± 2.41	24.00 ± 4.59
9d	19.00 ± 3.61	18.34 ± 0.34	23.67 ± 1.67	23.34 ± 1.34	24.00 ± 3.61	25.67 ± 4.06	25.00 ± 2.31	24.34 ± 4.38
10d	20.00 ± 4.00	18.34 ± 0.34	25.00 ± 1.74	23.67 ± 1.67	24.34 ± 3.93	26.34 ± 4.10	25.34 ± 2.34	25.00 ± 5.04
11d	21.00 ± 4.51	20.34 ± 0.34	25.34 ± 2.03	24.00 ± 1.53	24.67 ± 3.72	26.34 ± 4.10	26.34 ± 1.77	25.67 ± 5.24
12d	21.00 ± 4.51	23.67 ± 1.46	25.34 ± 2.03	24.00 ± 1.53	24.67 ± 3.72	27.00 ± 4.05	26.67 ± 1.86	26.00 ± 5.14
13d	21.34 ± 4.71	24.67 ± 2.03	26.00 ± 2.09	24.00 ± 1.53	24.67 ± 3.72	27.00 ± 4.05	27.34 ± 2.19	26.34 ± 5.46
14d	22.34 ± 4.71	25.67 ± 2.03	26.00 ± 2.09	24.34 ± 1.86	25.67 ± 4.18	27.34 ± 4.06	27.34 ± 2.19	29.67 ± 8.22
15d	23.34 ± 4.18	27.34 ± 1.86	29.34 ± 4.06	24.67 ± 2.19	25.67 ± 4.18	28.00 ± 3.47	28.67 ± 2.41	29.67 ± 8.22
16d	23.34 ± 4.18	27.34 ± 1.86	29.34 ± 4.06	25.34 ± 2.85	25.67 ± 4.18	28.00 ± 3.47	28.67 ± 2.41	30.00 ± 8.03
17d	23.34 ± 4.18	27.67 ± 2.19	29.67 ± 4.10	25.34 ± 2.85	25.67 ± 4.18	28.00 ± 3.47	29.00 ± 2.65	30.34 ± 7.84
18d	24.00 ± 4.59	28.00 ± 2.09	29.67 ± 4.10	25.34 ± 2.85	25.67 ± 4.18	28.00 ± 3.47	29.00 ± 2.65	30.34 ± 7.84

Figure 137. 감초의 온도, 광암 조건에서의 발아율

우슬	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	12.00 ± 2.52	13.00 ± 3.06	2.67 ± 1.34	2.34 ± 0.89
3d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	16.34 ± 0.67	9.34 ± 1.21	20.00 ± 3.61	25.67 ± 4.18	16.00 ± 3.79	16.67 ± 1.67
4d	0.67 ± 0.67	0.67 ± 0.34	33.34 ± 1.77	34.67 ± 2.19	32.67 ± 4.06	39.00 ± 4.59	32.34 ± 7.32	33.00 ± 0.00
5d	1.67 ± 1.21	8.00 ± 2.09	35.34 ± 2.03	40.34 ± 0.89	35.00 ± 3.79	40.67 ± 4.26	36.67 ± 6.34	38.00 ± 1.74
6d	18.67 ± 2.67	10.34 ± 2.19	38.67 ± 2.73	40.67 ± 0.89	37.34 ± 3.39	41.00 ± 4.17	39.34 ± 6.44	42.00 ± 2.31
7d	36.00 ± 3.61	43.00 ± 5.69	40.00 ± 3.61	44.34 ± 0.89	39.00 ± 3.79	44.34 ± 2.85	39.67 ± 6.34	47.34 ± 2.03
8d	36.00 ± 3.61	46.67 ± 5.90	40.67 ± 3.29	44.67 ± 1.21	39.00 ± 3.79	44.67 ± 3.18	40.00 ± 6.66	47.67 ± 2.34
9d	39.00 ± 4.59	46.67 ± 5.90	41.67 ± 2.67	45.34 ± 1.34	39.34 ± 3.53	46.34 ± 3.39	40.00 ± 6.66	48.67 ± 2.19
10d	40.00 ± 5.30	48.67 ± 4.49	42.00 ± 2.52	46.00 ± 1.16	39.67 ± 3.85	46.67 ± 3.29	42.34 ± 6.57	50.00 ± 1.53
11d	40.00 ± 5.30	49.34 ± 4.41	42.67 ± 2.67	46.00 ± 1.16	40.34 ± 3.76	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	50.34 ± 1.46
12d	42.00 ± 4.36	50.67 ± 3.76	42.67 ± 2.67	46.34 ± 1.46	40.67 ± 4.06	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	50.34 ± 1.46
13d	43.34 ± 4.64	51.00 ± 3.79	43.00 ± 3.00	46.34 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	50.67 ± 1.77
14d	43.34 ± 4.64	51.00 ± 3.79	43.34 ± 3.34	46.34 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	51.00 ± 1.53
15d	44.00 ± 4.64	51.67 ± 3.79	44.00 ± 3.34	46.67 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	51.00 ± 1.53
16d	44.00 ± 4.64	51.67 ± 3.79	44.00 ± 3.34	46.67 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	51.00 ± 1.53
17d	44.00 ± 4.64	51.67 ± 3.79	44.00 ± 3.34	46.67 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	51.00 ± 1.53
18d	44.00 ± 4.64	51.67 ± 3.79	44.00 ± 3.34	46.67 ± 1.46	41.00 ± 4.36	46.67 ± 3.29	42.67 ± 6.34	51.00 ± 1.53

Figure 138. 우슬의 온도, 광암 조건에서의 발아율

당귀	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
3d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
4d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
5d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
6d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.34 ± 0.34	0.00 ± 0.00
7d	0.34 ± 0.34	0.00 ± 0.00	2.34 ± 1.21	0.00 ± 0.00	1.00 ± 0.58	0.67 ± 0.67	2.67 ± 1.67	2.67 ± 2.67
8d	0.34 ± 0.34	0.00 ± 0.00	2.34 ± 1.21	0.00 ± 0.00	1.34 ± 0.34	1.00 ± 1.00	4.34 ± 2.41	4.34 ± 3.39
9d	0.67 ± 0.34	0.00 ± 0.00	6.67 ± 1.77	3.34 ± 0.89	6.00 ± 2.09	4.67 ± 0.89	7.67 ± 4.26	10.34 ± 4.49
10d	2.00 ± 0.58	1.34 ± 0.67	8.67 ± 2.41	5.00 ± 1.53	10.34 ± 3.18	5.00 ± 0.58	14.67 ± 3.76	17.00 ± 7.22
11d	6.67 ± 0.34	7.34 ± 0.89	11.67 ± 2.41	6.67 ± 1.67	14.00 ± 3.61	9.67 ± 2.34	28.00 ± 4.17	20.67 ± 7.32
12d	7.00 ± 0.58	7.34 ± 0.89	15.67 ± 2.34	6.67 ± 1.67	15.34 ± 4.06	12.00 ± 2.52	33.67 ± 3.93	29.00 ± 5.00
13d	11.34 ± 0.34	12.67 ± 1.77	16.00 ± 2.00	11.00 ± 2.65	21.34 ± 3.67	13.00 ± 3.00	43.67 ± 0.89	34.34 ± 3.93
14d	17.34 ± 1.86	13.67 ± 1.21	17.34 ± 1.67	13.00 ± 3.06	21.34 ± 3.67	14.00 ± 3.06	54.67 ± 1.77	38.00 ± 4.05
15d	24.34 ± 1.67	15.00 ± 1.00	19.34 ± 2.03	17.67 ± 4.67	26.34 ± 2.19	16.00 ± 3.22	57.67 ± 2.19	41.00 ± 2.52
16d	27.00 ± 3.47	15.67 ± 1.67	22.00 ± 1.16	17.67 ± 4.67	28.00 ± 3.22	17.34 ± 3.53	59.67 ± 2.73	43.34 ± 2.85
17d	29.34 ± 4.64	17.34 ± 1.46	25.67 ± 0.89	19.00 ± 5.51	31.34 ± 3.53	19.00 ± 3.79	63.00 ± 3.00	49.34 ± 2.97
18d	30.34 ± 4.98	18.00 ± 1.53	28.00 ± 1.00	20.00 ± 6.03	33.34 ± 3.18	19.67 ± 4.06	67.34 ± 4.38	50.34 ± 2.97

Figure 139. 당귀의 온도, 광암 조건에서의 발아율

영경귀	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
3d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.34	3.67 ± 1.21	0.34 ± 0.34	3.67 ± 0.67
4d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.67 ± 0.67	1.67 ± 0.34	3.34 ± 1.86	7.34 ± 1.34	4.00 ± 0.00	6.34 ± 1.46
5d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.67 ± 0.89	2.34 ± 0.34	5.67 ± 2.19	7.67 ± 1.21	4.67 ± 0.67	7.67 ± 1.67
6d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	4.67 ± 0.89	4.00 ± 1.53	5.67 ± 2.19	9.34 ± 2.03	7.34 ± 2.03	10.34 ± 2.41
7d	0.34 ± 0.34	0.67 ± 0.34	5.00 ± 0.58	6.00 ± 1.00	8.00 ± 3.06	10.67 ± 2.34	8.34 ± 1.86	11.00 ± 3.06
8d	0.34 ± 0.34	0.67 ± 0.34	5.00 ± 0.58	7.00 ± 0.58	9.00 ± 4.05	11.34 ± 2.34	8.67 ± 1.77	11.34 ± 3.39
9d	1.67 ± 0.34	2.00 ± 1.00	6.67 ± 0.34	7.34 ± 0.89	10.00 ± 4.00	11.67 ± 2.41	8.67 ± 1.77	11.34 ± 3.39
10d	3.34 ± 0.89	4.67 ± 0.67	7.67 ± 1.21	8.34 ± 0.89	10.00 ± 4.00	11.67 ± 2.41	11.00 ± 2.09	13.34 ± 3.85
11d	4.34 ± 0.89	5.34 ± 0.89	9.67 ± 1.34	9.00 ± 0.58	10.00 ± 4.00	14.00 ± 2.09	11.00 ± 2.09	13.34 ± 3.85
12d	4.67 ± 0.67	5.34 ± 0.89	11.00 ± 1.16	10.00 ± 0.58	10.00 ± 4.00	14.34 ± 2.19	12.67 ± 3.18	13.67 ± 4.18
13d	5.34 ± 0.89	7.00 ± 1.00	12.00 ± 1.53	10.00 ± 0.58	10.34 ± 3.85	14.34 ± 2.19	12.67 ± 3.18	13.67 ± 4.18
14d	5.67 ± 0.89	7.67 ± 0.89	12.00 ± 1.53	10.00 ± 0.58	10.34 ± 3.85	14.34 ± 2.19	12.67 ± 3.18	14.34 ± 4.38
15d	7.34 ± 0.67	8.00 ± 1.00	12.67 ± 1.46	10.34 ± 0.67	10.34 ± 3.85	14.34 ± 2.19	12.67 ± 3.18	14.34 ± 4.38
16d	7.34 ± 0.67	8.00 ± 1.00	12.67 ± 1.46	10.34 ± 0.67	10.34 ± 3.85	14.34 ± 2.19	13.34 ± 3.85	15.00 ± 4.59
17d	7.34 ± 0.67	8.34 ± 1.21	12.67 ± 1.46	10.34 ± 0.67	10.34 ± 3.85	14.67 ± 2.34	13.67 ± 3.72	15.00 ± 4.59
18d	9.34 ± 0.67	9.00 ± 1.16	12.67 ± 1.46	10.34 ± 0.67	10.34 ± 3.85	14.67 ± 2.34	13.67 ± 3.72	15.00 ± 4.59

Figure 140. 영경귀의 온도, 광암 조건에서의 발아율

황기	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	8.00 ± 1.16	11.34 ± 1.67	17.67 ± 4.34	21.00 ± 5.14	22.00 ± 3.61	23.67 ± 6.89	25.00 ± 4.51	23.67 ± 5.18
2d	23.00 ± 3.00	22.34 ± 1.21	28.34 ± 4.41	30.34 ± 2.34	30.34 ± 4.92	35.00 ± 5.51	38.67 ± 5.05	34.00 ± 4.59
3d	36.00 ± 3.52	37.67 ± 2.19	34.34 ± 2.34	36.34 ± 2.03	32.00 ± 6.03	40.00 ± 7.00	42.67 ± 5.05	38.34 ± 5.46
4d	41.00 ± 3.52	43.00 ± 2.52	38.67 ± 2.34	43.00 ± 1.53	35.00 ± 6.51	46.34 ± 5.79	45.00 ± 5.14	42.00 ± 6.81
5d	41.00 ± 3.52	45.00 ± 2.00	40.00 ± 2.52	43.67 ± 1.77	37.00 ± 6.56	46.34 ± 5.79	45.00 ± 5.14	42.34 ± 6.75
6d	43.67 ± 5.70	45.67 ± 2.19	40.00 ± 2.52	44.00 ± 1.74	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
7d	46.00 ± 6.25	46.67 ± 1.77	40.00 ± 2.52	44.00 ± 1.74	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
8d	46.34 ± 6.57	46.67 ± 1.77	40.00 ± 2.52	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
9d	46.34 ± 6.57	46.67 ± 1.77	40.00 ± 2.52	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
10d	46.34 ± 6.57	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
11d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
12d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
13d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
14d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
15d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
16d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
17d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75
18d	46.67 ± 6.89	46.67 ± 1.77	40.34 ± 2.19	44.34 ± 2.03	37.34 ± 6.89	46.34 ± 5.79	47.67 ± 4.85	42.34 ± 6.75

Figure 141. 황기의 온도, 광암 조건에서의 발아율

더덕	15°C 광	15°C 암	20°C 광	20°C 암	25°C 광	25°C 암	25/15°C 광	25/15°C 암
1d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
3d	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.00 ± 0.58	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	2.67 ± 0.89	1.00 ± 0.58	0.00 ± 0.00
4d	0.34 ± 0.34	1.67 ± 1.67	17.00 ± 1.16	38.34 ± 2.73	28.34 ± 2.91	34.67 ± 1.77	15.00 ± 0.58	23.34 ± 1.86
5d	13.34 ± 1.46	10.67 ± 3.72	45.34 ± 3.18	50.67 ± 3.49	42.00 ± 2.09	46.00 ± 3.06	32.67 ± 3.53	42.67 ± 2.67
6d	16.67 ± 0.34	52.67 ± 3.39	52.34 ± 3.18	61.67 ± 3.18	43.67 ± 2.34	54.67 ± 2.97	45.34 ± 2.73	47.67 ± 2.34
7d	58.00 ± 2.31	70.00 ± 1.53	62.00 ± 4.36	66.00 ± 2.31	59.67 ± 0.89	62.34 ± 2.73	58.34 ± 2.34	60.00 ± 4.59
8d	60.67 ± 1.67	73.34 ± 0.89	63.67 ± 3.49	66.67 ± 2.03	59.67 ± 0.89	62.34 ± 2.73	58.34 ± 2.34	66.34 ± 5.79
9d	63.00 ± 0.58	73.34 ± 0.89	67.34 ± 4.67	68.34 ± 1.86	65.34 ± 0.34	66.34 ± 3.72	66.00 ± 1.53	74.00 ± 4.94
10d	69.34 ± 1.46	79.67 ± 0.67	71.00 ± 4.05	71.34 ± 1.46	67.34 ± 0.34	67.67 ± 4.38	68.67 ± 2.61	77.34 ± 5.70
11d	75.67 ± 2.61	81.34 ± 1.21	73.00 ± 4.05	73.00 ± 1.74	68.00 ± 0.58	68.67 ± 4.85	69.00 ± 2.89	78.34 ± 5.67
12d	78.34 ± 2.91	82.34 ± 1.21	73.00 ± 4.05	74.67 ± 1.46	68.67 ± 0.67	68.67 ± 4.85	72.00 ± 4.62	79.67 ± 6.36
13d	78.67 ± 2.61	82.67 ± 1.46	74.34 ± 4.34	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.00 ± 4.36	80.67 ± 6.34
14d	79.00 ± 2.65	82.67 ± 1.46	75.67 ± 4.10	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.67 ± 4.34	81.34 ± 6.67
15d	79.00 ± 2.65	82.67 ± 1.46	75.67 ± 4.10	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.67 ± 4.34	81.34 ± 6.67
16d	79.00 ± 2.65	82.67 ± 1.46	75.67 ± 4.10	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.67 ± 4.34	81.34 ± 6.67
17d	79.00 ± 2.65	82.67 ± 1.46	75.67 ± 4.10	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.67 ± 4.34	81.34 ± 6.67
18d	79.00 ± 2.65	82.67 ± 1.46	75.67 ± 4.10	74.67 ± 1.46	69.00 ± 0.58	69.34 ± 4.71	73.67 ± 4.34	81.34 ± 6.67

Figure 142. 더덕의 온도, 광암 조건에서의 발아율

	수분함량	종자활력	광유무	온도조건	발아율
결명자	60.65 ± 11.20	○	○	25	23.00 ± 3.06
식방풍	58.98 ± 0.61	○	○	25	51.67 ± 2.73
감초	51.06 ± 0.76	○	X	25/15	30.34 ± 7.84
우슬	52.68 ± 0.53	△	X	25/15	51.00 ± 1.53
당귀	81.62 ± 0.51	○	○	25/15	67.34 ± 4.38
영경귀	75.21 ± 1.13	X	X	25/15	15.00 ± 4.59
황기	75.74 ± 0.41	○	X	25	46.34 ± 5.79
더덕	56.22 ± 0.50	○	X	25/15	81.34 ± 6.67

Figure 143. 작물별 정리

■ 발아율이 50% 넘는 종자들(식방풍, 우슬, 당귀, 더덕)을 토양재배(인삼전용상토)로 최적 발아조건을 맞춰서 재배할 예정(Figure 143).

■ 차후 실험 계획

- 식방풍 : 4일간 증류수에 종자를 담아서 종자 수분 함량을 최대한으로 맞춘 후에 종자를 인삼전용상토를 담은 삼목상자에 심지로 관수한 후에 25°C 광조건에서 평균 발아일수인 12일간 처리 후에 컨테이너형 식물공장에서 생육에 따라 3, 6, 9, 12cm로 수확하고 기능성 분석을 진행할 계획.

- 우슬 : 4일간 증류수에 종자를 담아서 종자 수분 함량을 최대한으로 맞춘 후에 종자를 인삼전용상토를 담은 삼목상자에 심지로 관수한 후에 25/15°C 암조건에서 평균 발아일수인 4일간 처리 후에 컨테이너형 식물공장에서 생육에 따라 3, 6, 9, 12cm로 수확하고 기능성 분석을 진행할 계획.

- 당귀 : 3일간 증류수에 종자를 담아서 종자 수분 함량을 최대한으로 맞춘 후에 종자를 인삼전용상토를 담은 삼목상자에 심지로 관수한 후에 25/15°C 광조건에서 평균 발아일수

인 12일간 처리 후에 컨테이너형 식물공장에서 생육에 따라 3, 6, 9, 12cm로 수확하고 기능성 분석을 진행할 계획.

- 더덕 : 2일간 증류수에 종자를 담아서 종자 수분 함량을 최대로 맞춘 후에 종자를 인삼전용상토를 담은 삼목상자에 심지로 관수한 후에 25/15℃ 암조건에서 평균 발아일수인 6일간 처리 후에 컨테이너형 식물공장에서 생육에 따라 3, 6, 9, 12cm로 수확하고 기능성 분석을 진행할 계획.

○ 새싹 도라지 생산성

■ 다양한 빛 강도에 노출된 식물의 성장에는 큰 차이가 없었다(Figure 144-145). 도라지꽃순의 Platycodin D3는 130 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높았다(Figure 146-147). 도라지꽃순에 포함된 deapioplatycodin D, polygalcin은 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 가장 높았다(Figure 146-147). 새싹 도라지의 총 사포닌 함량은 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 가장 높았다. 사포닌 함량은 빛의 세기에 따라 증가하는 경향이 있었다.

■ 빛의 세기를 증가시키면 성장과 사포닌 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 그 결과 빛의 세기가 사포닌 함량이 높은 도라지 새싹에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Light intensity ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	90	100	110	120	130	140	150	160	
Shoot (g/plant)	Fresh weight	2.71 \pm 0.26 ¹⁾	2.35 \pm 0.23	2.80 \pm 0.35	2.47 \pm 0.87	2.17 \pm 0.17	2.18 \pm 0.38	2.46 \pm 0.38	3.71 \pm 0.57
	Dry weight	0.25 \pm 0.03	0.21 \pm 0.03	0.25 \pm 0.04	0.22 \pm 0.08	0.19 \pm 0.02	0.22 \pm 0.04	0.24 \pm 0.03	0.37 \pm 0.05
No. of shoot	2.00 \pm 0.41	2.25 \pm 0.48	2.00 \pm 0.00	2.75 \pm 0.75	2.25 \pm 0.48	2.50 \pm 0.29	1.75 \pm 0.25	2.00 \pm 0.00	
Plant height (cm)	14.18 \pm 1.31	13.50 \pm 0.94	13.73 \pm 0.48	13.55 \pm 2.84	15.15 \pm 1.11	11.28 \pm 1.90	14.20 \pm 0.25	15.90 \pm 1.15	

Figure 144. 다양한 빛의 강도에 노출된 도라지 새싹의 성장 특성

Contents (mg/g dw)	90	100	110	120	130	140	150	160
platycodin D3	1.12 \pm 0.05 ¹⁾	de ²⁾ 1.41 \pm 0.04	b 1.23 \pm 0.01	c 1.04 \pm 0.04	e 1.60 \pm 0.02	a 1.19 \pm 0.04	cd 1.19 \pm 0.01	cd 1.20 \pm 0.01
deapioplatycodin D	0.36 \pm 0.02	e 0.43 \pm 0.01	d 0.28 \pm 0.02	f 0.35 \pm 0.03	e 0.56 \pm 0.03	c 0.58 \pm 0.01	c 0.78 \pm 0.01	b 0.90 \pm 0.04
polygalcin D	0.76 \pm 0.06	f 0.98 \pm 0.01	c 0.88 \pm 0.03	de 0.79 \pm 0.02	ef 0.93 \pm 0.02	cd 1.10 \pm 0.05	b 0.99 \pm 0.03	c 1.29 \pm 0.02
Total saponin	2.24 \pm 0.07	de 2.81 \pm 0.05	c 2.39 \pm 0.03	d 2.17 \pm 0.06	e 3.08 \pm 0.05	b 2.86 \pm 0.07	c 2.95 \pm 0.03	bc 3.38 \pm 0.04

Figure 145. 다양한 빛의 강도에 노출된 도라지의 사포닌 함량

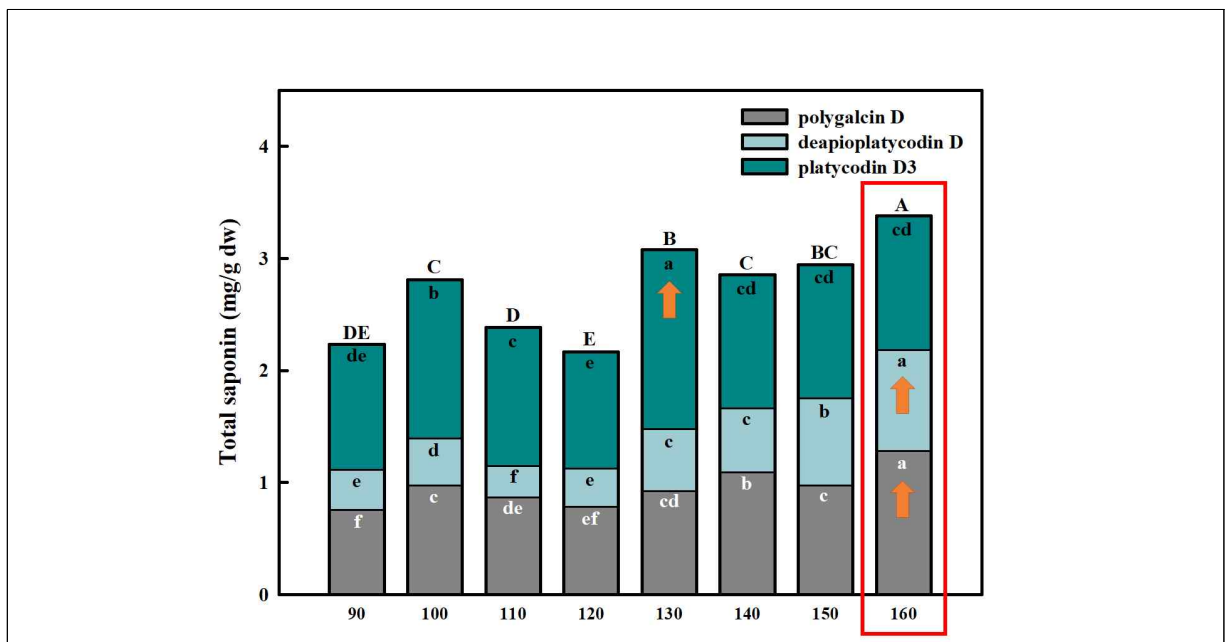


Figure 146. 다양한 빛의 강도에 노출된 새싹 도라지의 총 사포닌 함량 n=10)

○ 새싹콩 이소플라본 향상을 위한 저온 및 고온 stress 연구

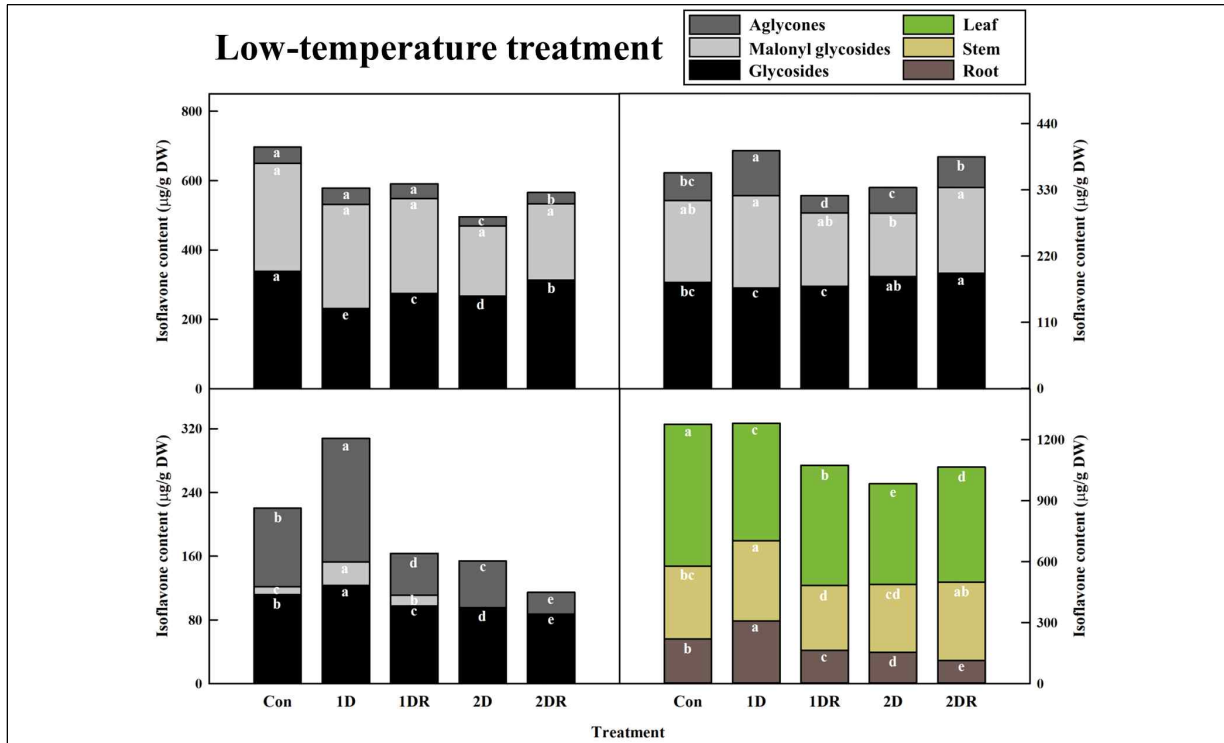


Figure 147. 저온 스트레스에서 각 부위별 콩잎(A), 줄기(B), 뿌리(C), 총 이소플라본 함량(D)의 변화

- 저온 1D 처리를 통해 줄기와 뿌리의 아글리콘 함량이 크게 증가하였다.
- 저온 1D 처리로 인해 뿌리 내 malonyl glycosides와 glycosides의 농도가 크게 증가하였다(Figure 148).

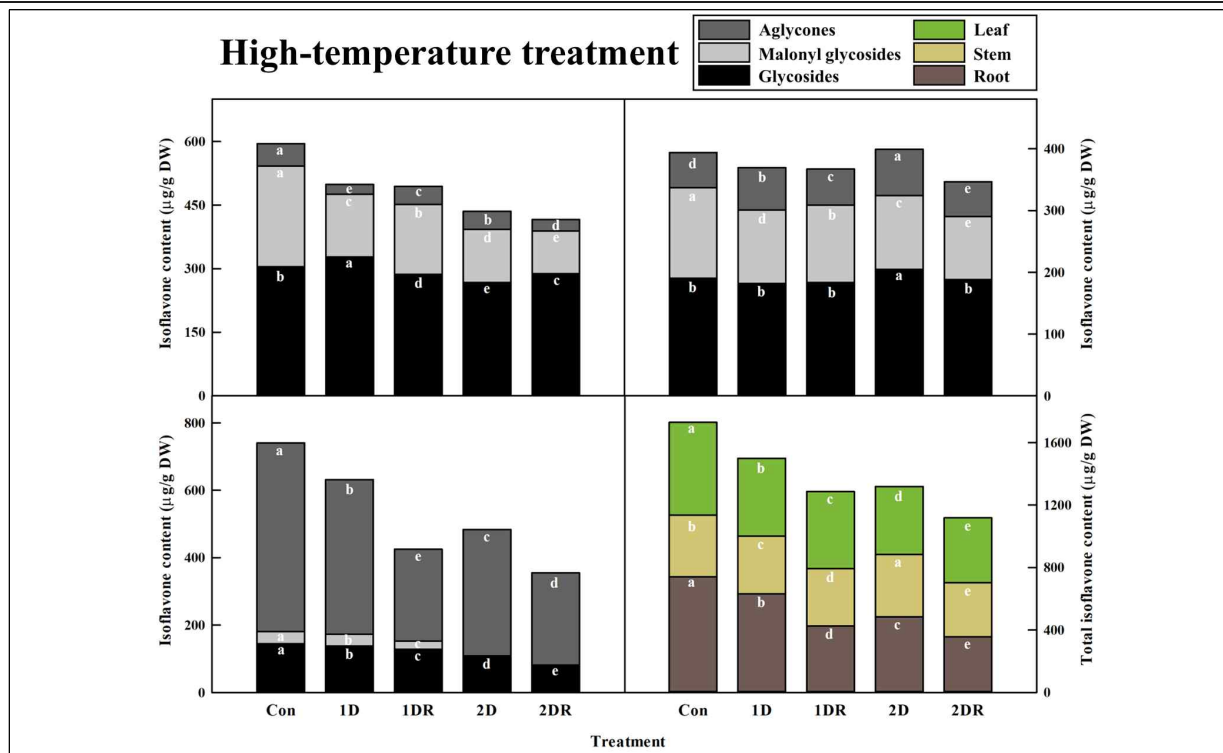


Figure 148. 고온 스트레스에서 각 부위별 콩잎(A), 줄기(B), 뿌리(C), 총 이소플라본 함량(D)의 변화

- 고온에서 1D 처리를 통해 잎의 aglycones 함량이 크게 증가하였다.
- 고온에서 2D 처리는 줄기에서 glycosides와 aglycones의 함량을 크게 증가시켰다.

Increase pattern of each isoflavones		Low temperature			High temperature		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Glycosides	Daidzin	-	↑	↑	↑	↑	-
	Genistin	-	-	-	↑	↑	-
Malonyl glycosides	Malonyl daidzin	-	↑	↑	-	-	-
	Malonyl genistin	↑	↑	-	-	-	-
Aglycones	Daidzein	↑	↑	↑	-	↑	-
	Genistein	↑	↑	↑	↑	↑	-

↑, increase; -, non-increase.

Figure 149. 수확 전 온도 스트레스 처리를 통해 각 이소플라본의 증가 패턴

■ 저온 및 고온처리는 개별 이소플라본 농도에 양/음의 영향을 미치는 것으로 나타났 다.

■ 하루 동안 저온처리에서 상당한 증가가 관찰되었기 때문에 저온처리 시간을 더욱 세분화하여 연구할 예정이다(Figure 149).

○ 고부가 작물-염생식물(갯질경) 연구

■ 염처리한 양액으로 갯질경을 재배한 결과, 100 mM 이하의 염농도에서 생육에는 영 향이 없었으나(Figure 150), 염처리구에서 Proline, Flavonoid, Mirycetin, Flavanone 물질 이 증진되었다(Figure 151).

NaCl (mM)	Biomass (g/plant)		Total Leaf Area (cm ²)	Leaf Number	SLW ^z (g DW/cm ²)
	Fresh Weight	Dry Weight			
0	5.89 ± 0.53 ^y	0.88 ± 0.06	96.94 ± 6.14	12.80 ± 0.58	0.09 ± 0.01
25	5.76 ± 0.38	0.88 ± 0.10	94.90 ± 10.56	12.10 ± 0.80	0.08 ± 0.01
50	5.43 ± 0.48	0.82 ± 0.08	92.40 ± 8.99	11.40 ± 0.48	0.07 ± 0.01
75	6.36 ± 0.36	0.94 ± 0.05	102.44 ± 5.68	13.00 ± 0.62	0.09 ± 0.01
100	6.13 ± 0.51	0.89 ± 0.06	100.32 ± 6.97	12.60 ± 0.48	0.08 ± 0.01
Significant ^x	NS	NS	NS	NS	NS

Figure 150. 다양한 NaCl 농도에서 *L. tetragonum*의 성장 특성 (n=10)

■ 염처리한 양액으로 갯질경을 재배한 결과, 100 mM 이하의 염농도에서 생육과 엽록소 형광에는 영향이 없었다(Figure 149-150).

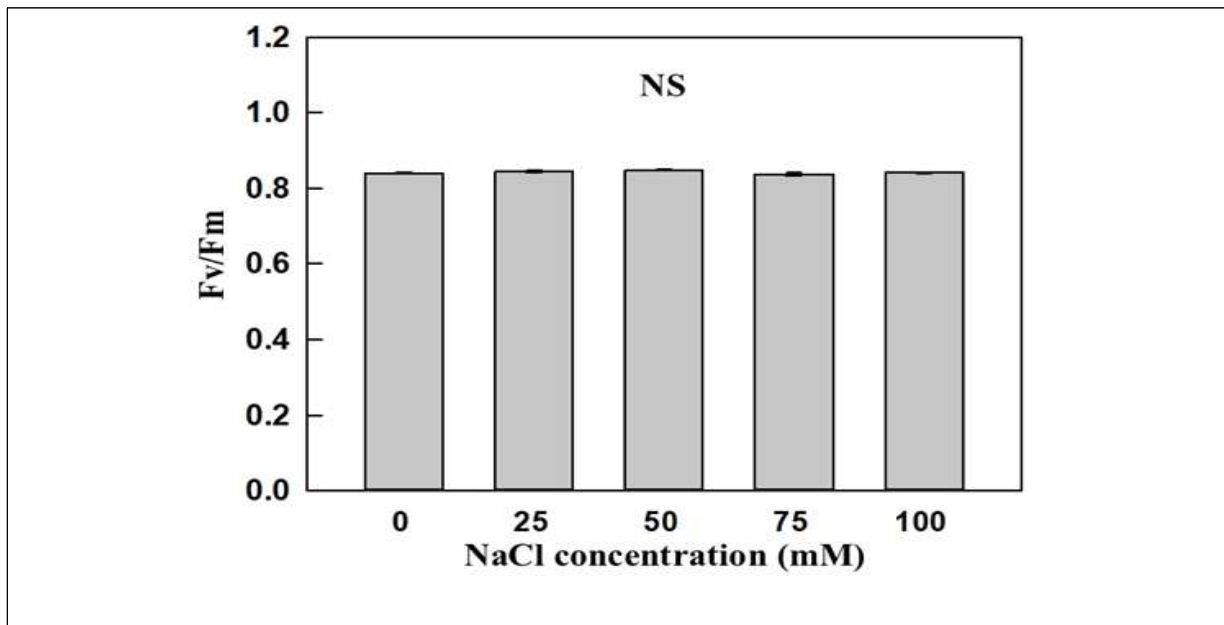


Figure 151. 다양한 NaCl 농도에서 *L. tetragonum*의 광화학적 특성 (n=4)

NaCl (mM)	Water potential (MPa)
0	-1.68 ± 0.08 a ^z
25	-2.40 ± 0.06 b
50	-2.58 ± 0.11 b
75	-2.35 ± 0.01 b
100	-3.01 ± 0.06 c
Significant ^y	***

^zStatistical analysis was performed with Duncan's multiple range test in the same column. Values are means ± S.E.
^y*** indicates at P = 0.001.

Figure 152. 상이한 NaCl 농도에서 *L. tetragonum*의 수분 포텐셜 (n=4)

■ NaCl 농도에 따라 수분 포텐셜이 감소하였다.

- 수분 포텐셜이 낮을수록 용질의 농도가 높아졌다.
- 수경재배양액의 NaCl 농도가 증가함에 따라 용질이 앞에 축적됨을 볼 수 있었다.

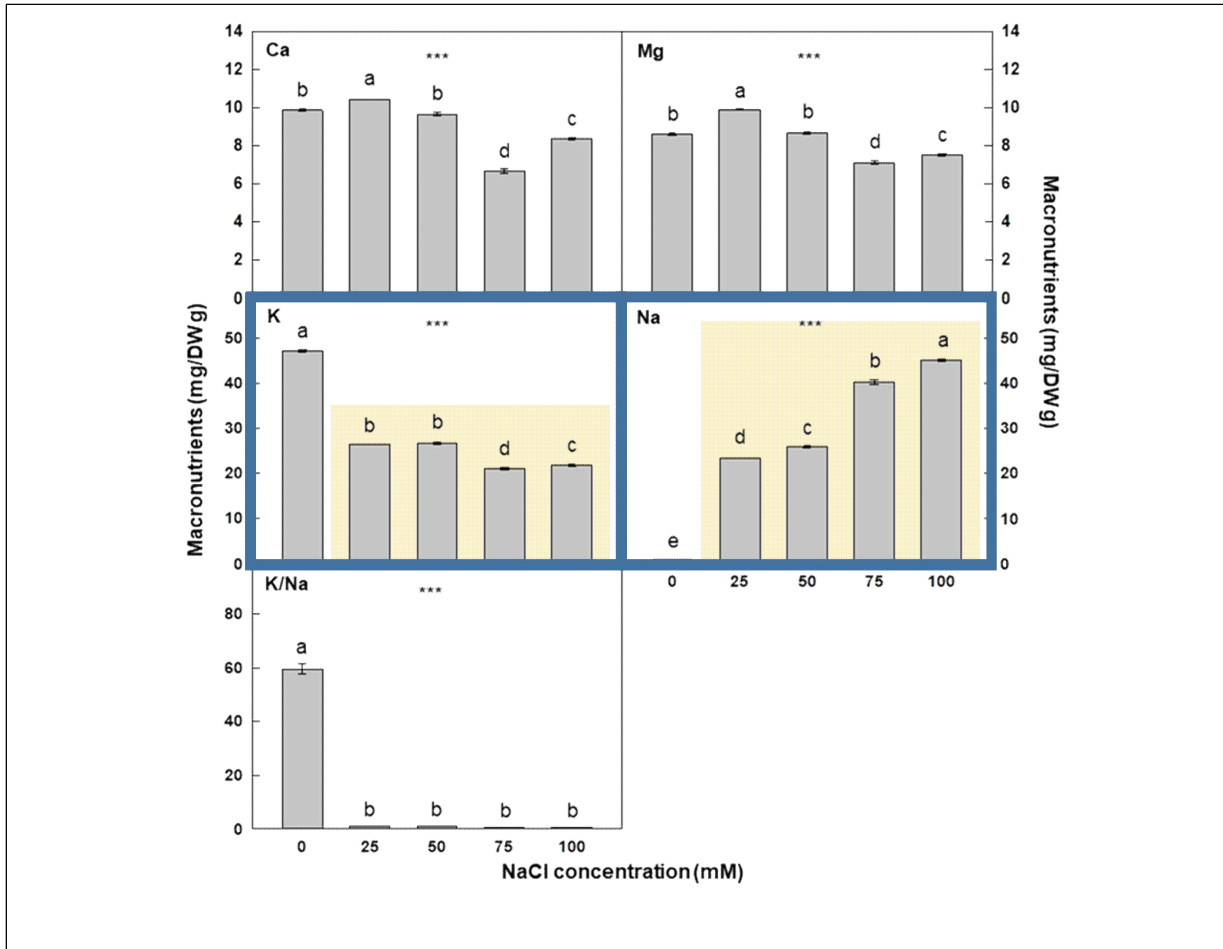


Figure 153. 다양한 NaCl 농도에 따른 *L. tetragonum*의 다양 영양소 (n=5)

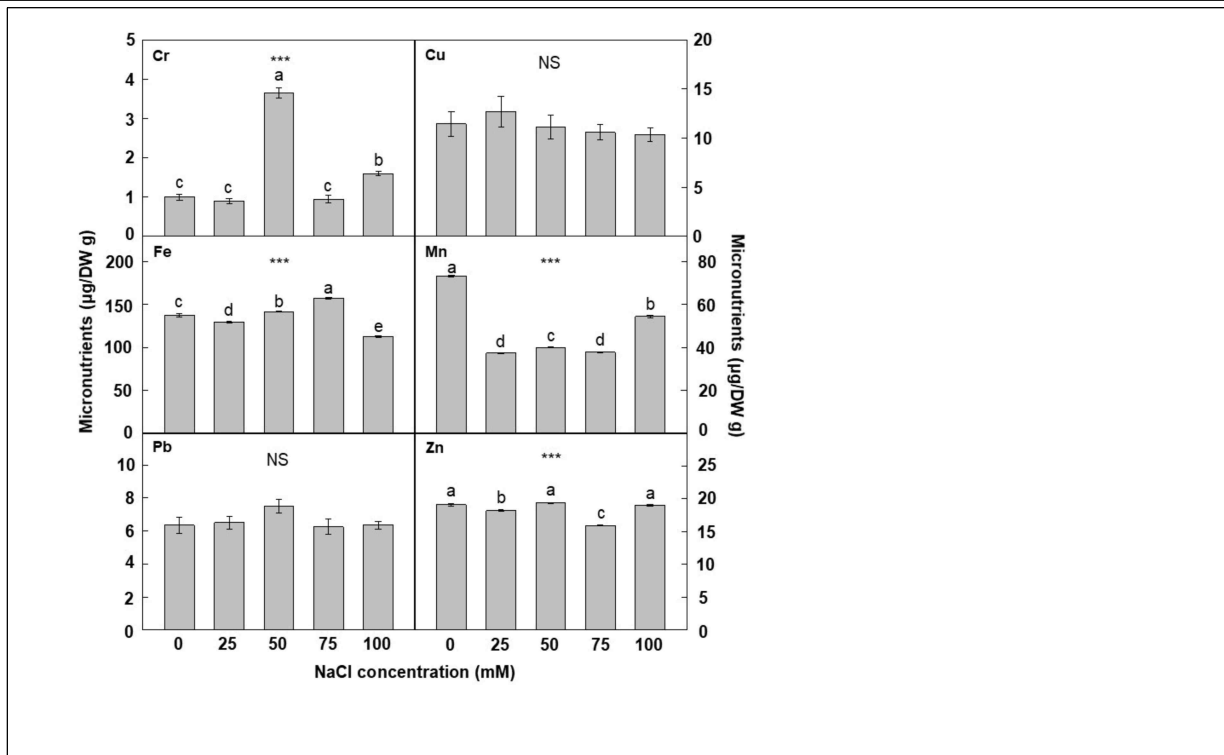


Figure 154. 다양한 NaCl 농도에 따른 *L. tetragonum*의 다양 영양소 (n=5)

■ K⁺/Na⁺ 비율은 대조구보다 처리구에서 훨씬 낮았으나, *L. tetragonum*은 생육 및 광합성에 영향을 미치지 않아 내염성이 강한 식물로 판단된다.

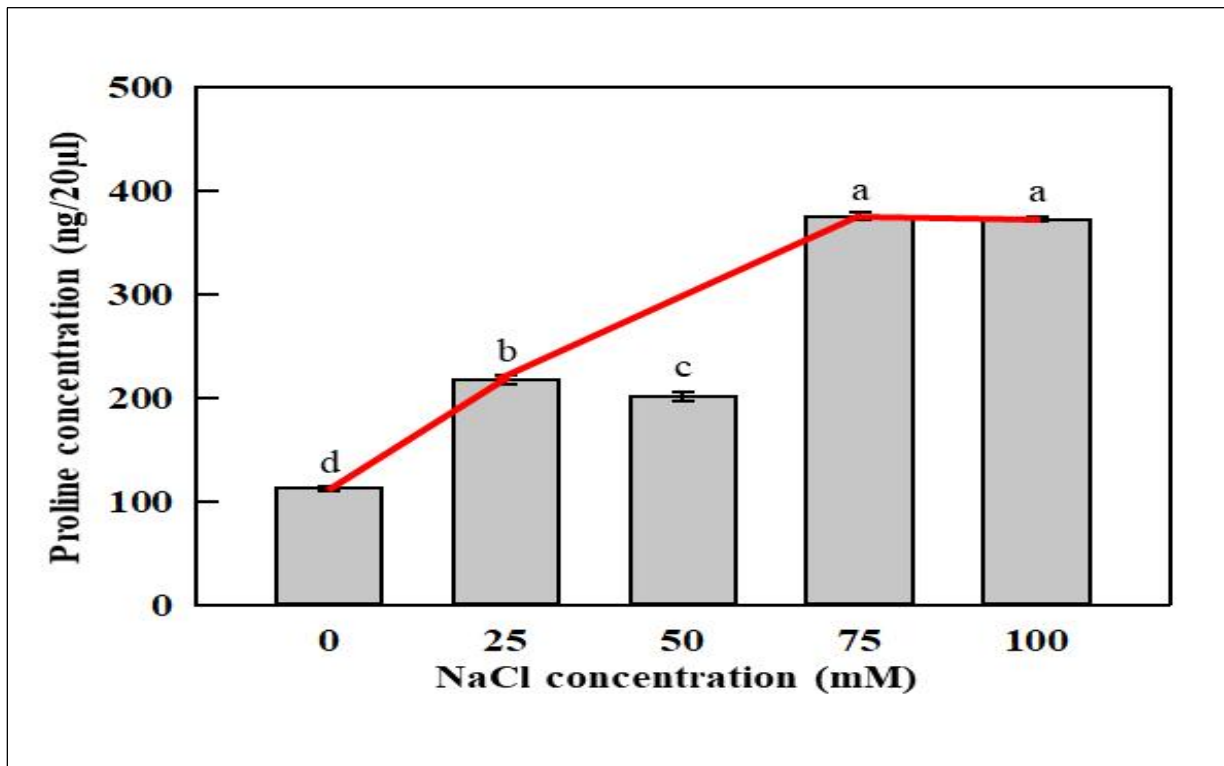


Figure 155. 다양한 NaCl 농도에 따른 *L. tetragonum*의 프롤린 함량 (n=5)

■ 프롤린은 염생식물에 있어서 중요한 삼투조절물질이며, 강한 항산화 활성을 가지고

있는 물질으로, 재배 양액의 염농도가 증가할수록 갯질경 잎의 프롤린 농도가 증가하였다.

■ 플라보노이드 함량은 대조구에 비해 NaCl 처리구에서 증가하였다.

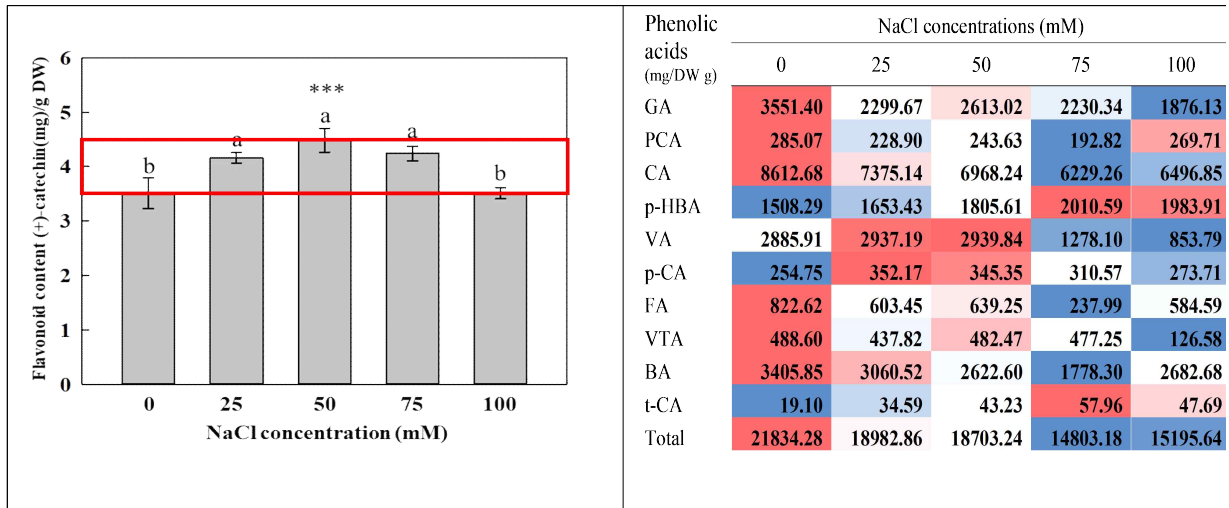


Figure 156. 다양한 NaCl 농도에 따른 *L. tetragonum*의 flavonoid 및 phenolic 함량 (n=5)

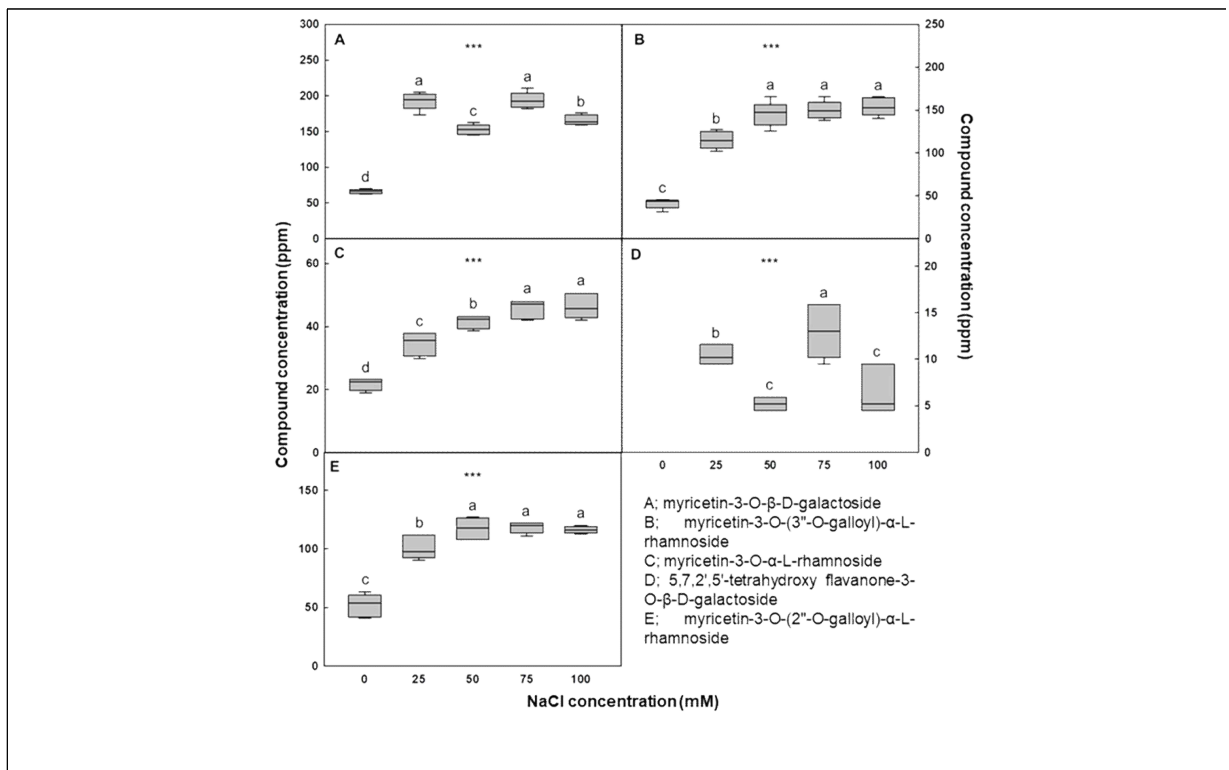


Figure 157. 다양한 NaCl 농도에 따른 *L. tetragonum*의 주요 화합물 분석 (n=5)

■ 미리세틴의 경우 NaCl 처리군에서 높은 함량을 보였다. 이는 염 스트레스에 대한 방어기전으로 플라보노이드 계열의 함량이 증가한 것으로 보인다(Figure 133).

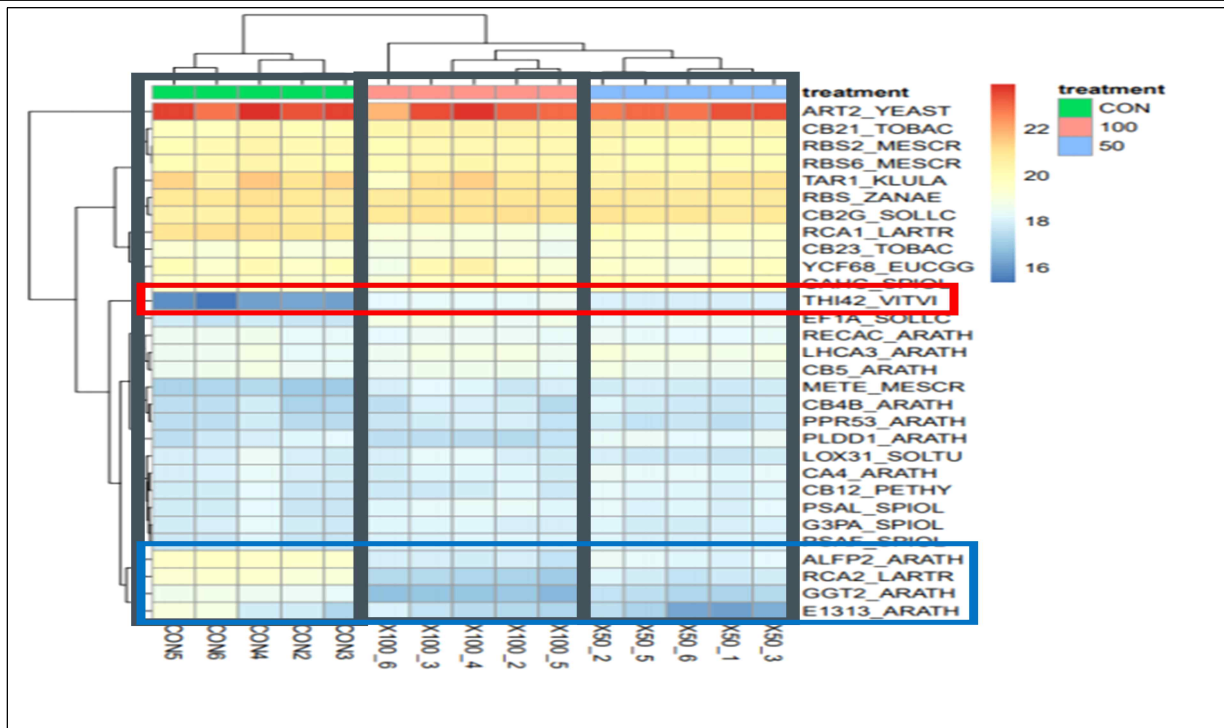


Figure 158. 계층적 클러스터링 분석이 포함된 히트맵 유전자

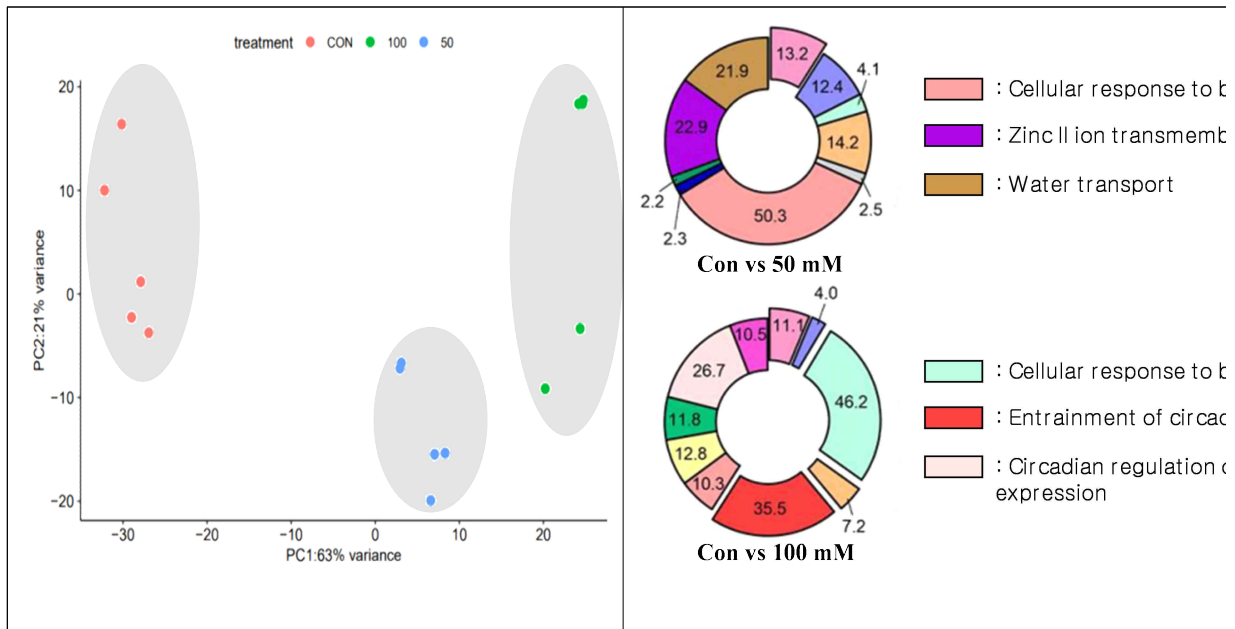


Figure 159. 그룹 간 샘플 분리와 각 PC에 의한 분석 및 Go 분석을 통한 NaCl 농도에 대한 생물학적 프로세스 (n=5)

- 대조구와 NaCl 처리구는 유전자 수준에서 뚜렷하게 구분되었으며, 염농도에 따라서도 구분된 경향을 보였다(Figure 158).

- 대조구에 비해 NaCl 처리구에서 유전자 수준에서 생물학적 과정 중 물 수송과 일주기 리듬, 세포 반응에 대해 가장 크게 상향 조절되었다(Figure 159).

○ 새싹 브로콜리의 설포라판 향상을 위한 광질 연구

■ 수확 후 생체중을 측정하였고, HPLC를 통해 설포라판 함량을 분석하였고 그 밖에 Total phenolics 함량, Flavonoid 함량, ABTs 라디칼 소거 활성을 분석하였다(Figure 160). 특정 백색 LED(BWL 및 BGWL)에서 ABTs 라디칼 소거 활성, 생중량, 총 페놀릭 및 플라보노이드 함량이 높게 나타났다.

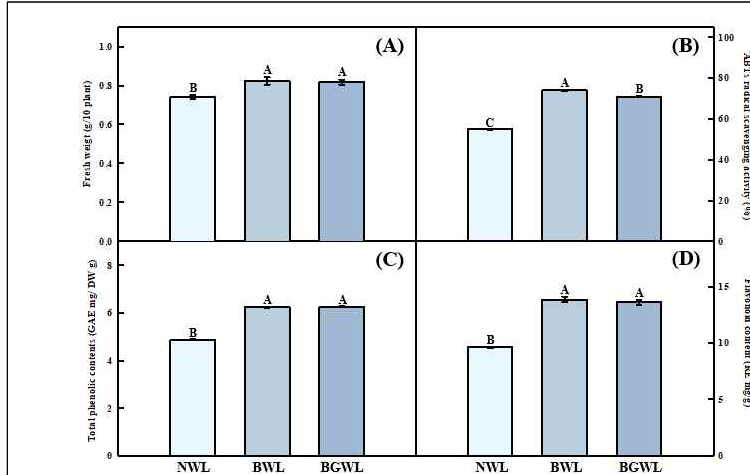


Figure 160. 다양한 청색 또는 녹색 스펙트럼에서 자란 새싹 브로콜리의 생리활성 화합물 및 중량. 생중량(A); ABTs 라디칼 소거능(B); 총 페놀릭(C); 총 플라보노이드 함량(D); 특정 백색 LED 조명에서 자란 새싹 브로콜리의 설포라판 함량(E).

○ 새싹 콩의 이소플라본 향상을 위한 UV 연구

Contents (µg/g DW)	Glycosides			Malonyl glycosides			Aglycones			Total isoflavones
	Daidzin	Genistin	Total	Malonyl daidzin	Malonyl genistin	Total	Daidzein	Genistein	Total	
Leaf										
con	172.34 ± 2.20 ^d	159.67 ± 0.86 ^e	332.02 ± 3.06 ^e	153.41 ± 2.47 ^d	347.51 ± 4.77 ^a	500.92 ± 7.25 ^a	52.79 ± 4.32 ^a	30.71 ± 2.95 ^a	83.50 ± 7.05 ^a	916.44 ± 17.24 ^{bc}
5h	194.26 ± 1.20 ^a	227.57 ± 1.15 ^b	421.83 ± 2.32 ^b	168.60 ± 1.95 ^a	335.43 ± 4.11 ^b	504.04 ± 6.06 ^a	50.45 ± 3.34 ^a	31.14 ± 1.73 ^a	81.58 ± 5.02 ^a	1007.46 ± 13.40 ^a
5hR	182.48 ± 1.26 ^c	191.87 ± 0.83 ^d	374.36 ± 2.05 ^d	166.61 ± 1.86 ^{ab}	327.08 ± 3.04 ^b	493.69 ± 4.90 ^a	46.60 ± 2.38 ^a	25.67 ± 1.53 ^a	72.27 ± 3.91 ^a	940.33 ± 10.52 ^b
10h	189.66 ± 1.07 ^b	248.30 ± 0.71 ^a	437.96 ± 1.71 ^a	162.47 ± 1.15 ^{bc}	309.28 ± 1.12 ^c	471.75 ± 2.28 ^b	47.50 ± 1.21 ^a	29.61 ± 0.41 ^a	77.11 ± 1.62 ^a	986.82 ± 5.32 ^a
10hR	180.87 ± 1.35 ^c	211.93 ± 1.13 ^c	392.81 ± 2.00 ^c	158.12 ± 1.11 ^{cd}	276.30 ± 2.08 ^d	434.42 ± 3.18 ^c	50.71 ± 1.93 ^a	25.65 ± 0.40 ^a	76.35 ± 2.15 ^a	903.58 ± 7.24 ^c
Stem										
con	127.56 ± 0.56 ^c	N.D. ^a	127.56 ± 0.56 ^c	126.04 ± 0.81 ^c	100.86 ± 1.00 ^{bc}	226.91 ± 1.81 ^c	41.23 ± 1.02 ^b	17.62 ± 0.05 ^a	58.84 ± 0.97 ^b	413.31 ± 3.31 ^c
5h	137.74 ± 0.32 ^a	N.D.	137.74 ± 0.32 ^a	142.30 ± 0.25 ^a	109.85 ± 0.21 ^a	252.16 ± 0.46 ^a	49.19 ± 0.35 ^a	17.55 ± 0.37 ^a	66.75 ± 0.49 ^a	456.65 ± 0.99 ^a
5hR	128.50 ± 0.57 ^c	N.D.	128.50 ± 0.57 ^c	113.58 ± 0.19 ^d	99.67 ± 0.55 ^{cd}	213.25 ± 0.73 ^d	39.68 ± 0.82 ^b	17.14 ± 0.03 ^a	56.82 ± 0.82 ^b	398.59 ± 0.95 ^d
10h	137.92 ± 0.59 ^a	N.D.	137.92 ± 0.59 ^a	139.15 ± 0.33 ^b	97.74 ± 0.42 ^d	236.90 ± 0.76 ^b	41.57 ± 0.40 ^b	17.29 ± 0.21 ^a	58.86 ± 0.22 ^b	433.68 ± 1.50 ^b
10hR	131.37 ± 0.93 ^b	N.D.	131.37 ± 0.93 ^b	127.22 ± 0.83 ^c	103.00 ± 0.99 ^b	230.23 ± 1.83 ^c	47.99 ± 1.36 ^a	16.98 ± 0.57 ^a	64.96 ± 1.94 ^a	426.57 ± 4.66 ^b
Root										
con	150.85 ± 0.98 ^c	N.D.	150.85 ± 0.98 ^c	40.83 ± 0.40 ^e	56.85 ± 1.21 ^b	97.67 ± 1.19 ^d	1375.18 ± 1.35 ^c	141.10 ± 0.96 ^d	1516.29 ± 0.94 ^c	1764.82 ± 2.78 ^d
5h	158.01 ± 0.96 ^b	N.D.	158.01 ± 0.96 ^b	56.29 ± 0.51 ^c	62.05 ± 2.04 ^a	118.33 ± 2.56 ^b	1715.76 ± 1.27 ^a	171.86 ± 2.27 ^a	1887.63 ± 3.50 ^a	2163.99 ± 6.64 ^a
5hR	163.43 ± 1.57 ^a	N.D.	163.43 ± 1.57 ^a	74.58 ± 0.77 ^a	62.83 ± 0.75 ^a	137.40 ± 1.51 ^a	1662.53 ± 1.37 ^b	152.25 ± 0.75 ^b	1814.78 ± 1.68 ^b	2115.63 ± 4.67 ^b
10h	151.62 ± 1.95 ^c	N.D.	151.62 ± 1.95 ^c	48.87 ± 0.79 ^d	61.88 ± 1.27 ^a	110.74 ± 2.06 ^c	1309.13 ± 1.53 ^e	145.48 ± 0.83 ^c	1454.61 ± 1.81 ^e	1716.98 ± 5.57 ^e
10hR	166.06 ± 2.85 ^a	N.D.	166.06 ± 2.85 ^a	70.32 ± 1.79 ^b	61.03 ± 0.98 ^{ab}	131.34 ± 2.43 ^a	1351.12 ± 2.10 ^d	134.94 ± 0.65 ^e	1486.06 ± 2.73 ^d	1783.48 ± 7.91 ^c

*Mean ± S.E.; *Mean separation within rows in each part by Duncan's multiple range test at 5% level; *N.D. is Non-Detection.
 ※ nh : n hour of treatment; nhR : n hour of treatment + 1 day of recovery

Figure 161. 수확 UV-B 조사에 따른 콩의 각 부분별 이소플라본 함량 변화

Increase pattern of each isoflavones		UV-B 5h			UV-B 10h		
		Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
Glycosides	Daidzin	↑	↑	↑	↑	↑	-
	Genistin	↑	-	-	↑	-	-
Malonyl glycosides	Malonyl daidzin	↑	↑	↑	↑	↑	↑
	Malonyl genistin	-	↑	↑	-	-	↑
Aglycones	Daidzein	-	↑	↑	-	-	-
	Genistein	-	-	↑	-	-	↑

↑, increase; -, non-increase.

Figure 162. 수확 UV-B 조사에 따른 콩의 각 부분별 이소플라본 패턴

■ 개별 이소플라본은 10시간 UV-B를 조사하였을 때 5시간 조사한 것보다 함량이 증가하였다. 스마트 팜 내에서 수확전 적절한 처리를 통해 특정 이소플라본의 함량을 증가시켜 효율적인 생산이 가능할 것이라고 판단된다(Figure 161-162).

○ 새싹 콩의 이소플라본 향상을 위한 LED 광질 연구

■ 지상부와 뿌리 총 glycoside 함량은 NWL보다 BWL에서 높았다. 또한 alycone 함량 또한 높게 나타났다.

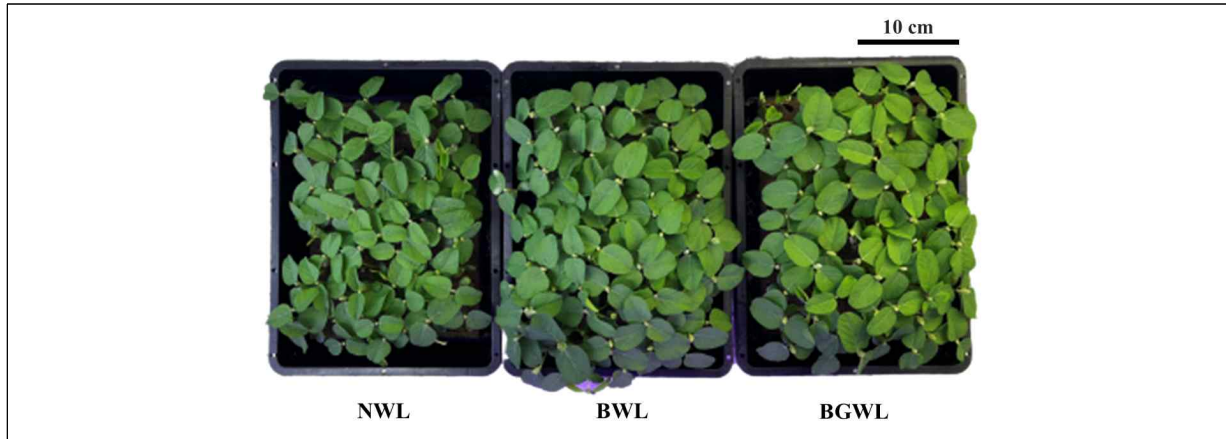


Figure 163. 다양한 백색 LED 조명에서의 콩의 성장 비교

Contents (g/plant FW)	Glycosides			Malonyl glycosides			Aglycones			Total isoflavones
	Daidzin	Genistin	Total	Malonyl daidzin	Malonyl genistin	Total	Daidzein	Genistein	Total	
NWL	374.85 ± 14.73 ^{ab}	558.19 ± 14.07 ^b	733.04 ± 28.81 ^b	710.89 ± 27.94 ^a	833.38 ± 22.75 ^a	1544.26 ± 40.70 ^a	53.77 ± 2.11 ^b	46.26 ± 1.81 ^b	100.04 ± 3.93 ^b	2377.33 ± 93.44 ^a
Shoot	434.54 ± 12.49 ^a	421.07 ± 12.10 ^a	855.61 ± 24.59 ^a	736.94 ± 21.18 ^a	816.46 ± 23.47 ^a	1553.40 ± 44.65 ^a	64.15 ± 1.84 ^a	54.12 ± 1.55 ^a	118.27 ± 3.40 ^a	2571.29 ± 72.85 ^a
BWL	408.07 ± 23.16 ^{ab}	406.55 ± 23.08 ^{ab}	814.62 ± 46.25 ^{ab}	671.72 ± 58.13 ^a	711.10 ± 40.37 ^b	1382.83 ± 78.51 ^a	43.50 ± 2.45 ^c	48.57 ± 2.75 ^{ab}	91.88 ± 5.21 ^b	2289.34 ± 129.98 ^a
NWL	15.98 ± 0.90 ^b	N.D. ³	15.98 ± 0.90 ^b	13.87 ± 0.69 ^a	N.D.	13.87 ± 0.69 ^a	211.70 ± 15.71 ^b	16.18 ± 1.04 ^b	227.89 ± 14.76 ^b	235.75 ± 16.57 ^b
Root	18.79 ± 0.90 ^a	N.D.	18.79 ± 0.90 ^a	16.29 ± 0.78 ^a	N.D.	16.29 ± 0.78 ^a	331.37 ± 15.95 ^a	22.54 ± 1.08 ^b	353.91 ± 17.02 ^a	389.01 ± 18.70 ^a
BWL	16.96 ± 1.25 ^{ab}	N.D.	16.96 ± 1.25 ^{ab}	10.53 ± 0.77 ^b	N.D.	10.53 ± 0.77 ^b	210.30 ± 15.57 ^b	14.42 ± 1.06 ^b	224.72 ± 16.63 ^b	232.27 ± 18.67 ^b

Increase pattern of each isoflavones	BWL		BGWL	
	Shoot	Root	Shoot	Root
Glycosides	Daidzin	↑	↑	↑
	Genistin	↑	-	↑
Malonyl glycosides	Malonyl daidzin	-	-	-
	Malonyl genistin	-	-	-
Aglycones	Daidzein	↑	↑	-
	Genistein	↑	↑	↑

↑, increase; -, non-increase.

Figure 164. 다양한 청색 또는 녹색 스펙트럼에 의한 이소플라본 함량 변화 및 패턴

■ 백색 광원의 조성이 콩 식물의 성장과 이소플라본 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수직 농장에서 주로 사용되는 백색광 파장의 설계에 따라 콩잎과 뿌리로부터 이소플라본을 효율적으로 생산할 수 있는 것으로 판단된다(Figure 165).

○ 작물의 기능 향상(생산 및 2차 대사산물)을 위한 유전자 교정 연구

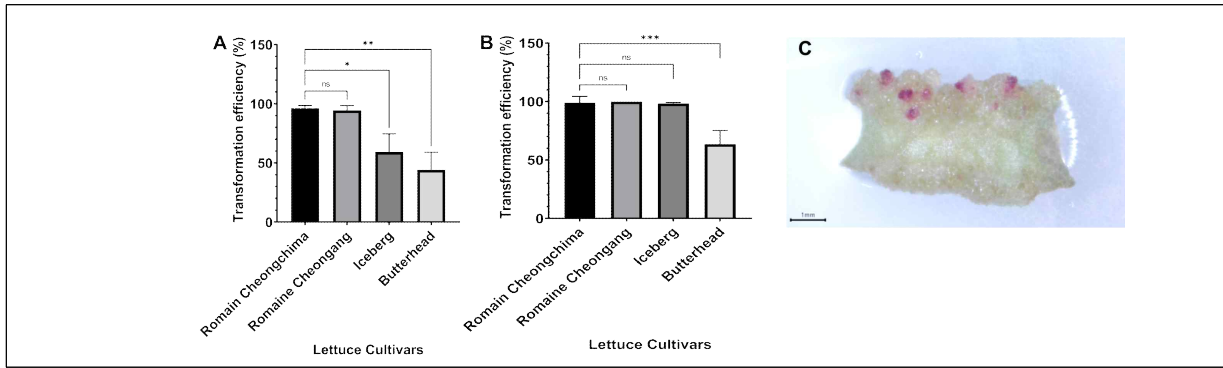


Figure 165. 로메인 상추 14일째 핑크칼루스 유도 성능

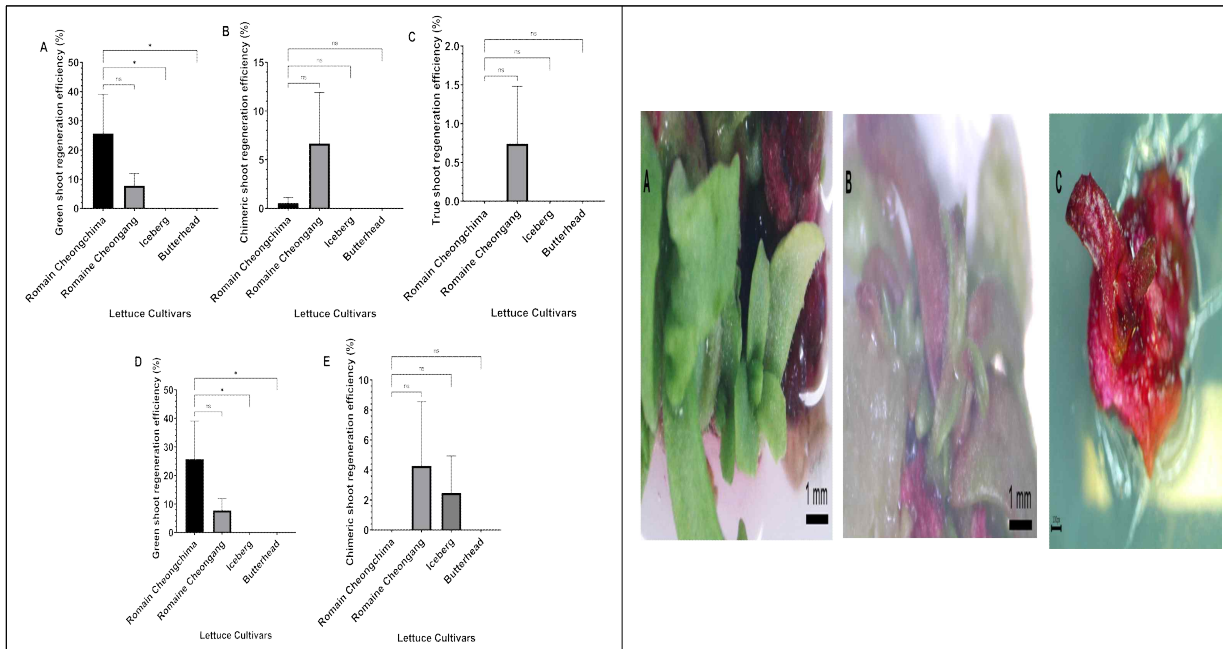


Figure 166. GV3101을 기반으로 그린 발아, 키메라 발아, 트루 발아 재생 효과. 칭치마, 로메인, 아이스 버그, 버터헤드 품종 등 성능 비교

■ RUBY reporter를 사용하여 재배에 시간 절약과 비용의 효율적으로 식물을 생성하는 것에 대한 게놈 편집 등 추가적인 연구를 위한 프로토콜 개발 기초가 될 것으로 예상된다.

○ 2차년도 목표 달성 정도

2차년도 생산 기술 개발 목록	
번호	생산 기술
1	식물공장(스마트 챔버)의 광질 및 생육기간 조절을 통한 새싹 녹두의 이소플라본 및 아피제닌 유도체 화합물 증진 기술
2	식물공장(스마트 챔버)의 광질 조절을 통한 새싹 브로콜리의 Sulforaphane 증진 기술
3	근권미생물(NSGB 08, 19, 및 21) 혼합 접종 및 재배토양 비교를 통한 새싹삼 최적 재배 생산 및 진세노사이드 증진 기술 확립
4	식물공장(스마트 챔버)의 광질 조절을 통한 새싹 양파의 퀘르세틴 증진 기술
5	약용 종자의 최적 발아 조건 확립 기술
6	광도($90\sim 160\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 조절을 통한 새싹 도라지의 생장 및 사포닌 함량 증진 기술
7	저온 및 고온 스트레스에 따른 새싹 콩의 생장 및 이소플라본 함량 증진 기술
8	양액의 염 농도(0, 25, 50, 75, 100mM) 조절을 통한 갯질경의 생장 및 Proline, Flavonoid, Myricetin, Flavanone 물질 함량 증진 기술
9	LED 광질(청색 또는 녹색 스펙트럼) 조절을 통한 새싹 브로콜리의 생장 및 설포라판 함량 증진 기술
10	UV 처리를 통한 새싹 콩의 생장 및 이소플라본 함량 증진 기술
11	LED 광질(청색 또는 녹색 스펙트럼)조절을 통한 새싹 콩의 생장 및 이소플라본 함량 증진 기술
12	작물의 기능 향상(생산 및 2차 대사산물)을 위한 유전자 교정 기술

- 자연채광형 큐브에 태양광 패널을 부착하여 전력생산 등을 실험하려했으나 내부 환경의 컨트롤이 힘들어 벽면은 기존의 샌드위치 판넬로 설정하고 천장에서만 자연채광이 들어오는 복합형 큐브를 제작하고 태양광 패널을 부착하여 전력 생산을 확인(생산량 : 7-8 kWh / 사용량 : 8-9 kWh).

- 새싹 녹두의 재배 R:B:W 비율에 따른 재배 후 이소플라본 등의 확인 결과 특정 파장에서 높은 함량을 보였으며 이는 1차년도 새싹 콩과는 조금 다른 파장이었으며, 작물에 따른 특정 파장의 확인 필요할 것으로 판단됨.

- 새싹 브로콜리의 설포라판 함량을 광원에 따라 비교하였을 때 선행연구였던 새싹 콩에서의 R:B:W 비율이 1:2:1 비율의 파장과 동일한 파장에서 높은 함량을 보인 것을 보아 새싹 작물의 파장은 1:2:1을 기준으로 하여 개발이 진행될 것으로 기대됨.

- 1차년도 선행결과인 새싹인삼의 내생세균을 활용한 발아율 및 진세노사이드 함량을 지베렐린, 바이오차 등과 비교한 결과 약간의 차이를 보였으며 이를 농가에 적용시킬 방안에 대한 논의가 필요할 것으로 보임.

- 식방풍, 당귀, 우슬, 결명자 등 종자의 발아율을 높이기 위한 실험 결과 내부 수분 함량 등에 영향이 많이 미치는 것을 확인하였고 이중 우슬과 당귀에 대한 새싹작물화 및 스마트팜 큐브 적용 실험이 필요하다고 판단됨.

- 음지형의 큐브에서 LED 만으로 부족한 UV파장의 조사여부에 따른 작물의 변화를 확인하기 위해 새싹 콩 등에 UV를 조사한 결과 하루 약 5시간 정도 조사하였을 때 유효성분 등이 증가하는 것으로 보아 스마트팜 큐브 농가 등에 보급되었을 때의 질 높은 생산물을 재배할 수 있을것으로 판단되며, 이에 따른 운영 방안 등

이 필요하다고 생각됨.

3차년도

1) 전시용 스마트팜 솔라 큐브 제작

○ 가로 1m 길이 2.5m 높이 2m의 규격에 내부에는 3단형태의 재배 시설 및 LED, 환경 컨트롤러 등이 부착되어 전시 및 홍보시 내부에서 작물의 생육이 가능한 스마트팜 솔라 큐브를 제작하였다. 또한 지게차 등의 도움없이 손쉽게 이동이 가능하도록 바닥에 바퀴를 달았으며, 지정 자리에 고정 또한 가능하다. 발전량은 적지만 기존의 8평 스마트팜 솔라 큐브를 재연하여 벽면에 2장, 지붕에 1장의 태양광 패널을 설치하였다(Figure 166).



Figure 167. 전시홍보용 이동식 스마트팜 솔라 큐브

2) 새싹작물 이용 제품화

○ 새싹삼 라떼 최적 배합 비율 설정

■ 기본 베이스가 되는 미립당의 경우 82.9%로 설정하고 0.1%의 비타민 C를 혼합하였다. 새싹삼 건조 분말 및 꿀 분말을 조합하여 나머지 성분을 설정하였으며, 새싹삼 건조 분말은 1~10% 내로 설정하였다. 제조 후 pH는 평균 약 7.5로 나타났으며, Brix 역시 약 13.5로 동일하게 나타났음. 시음 후 새싹삼의 비율이 너무 낮을 경우 새싹삼 특유의

향보다는 미립당과 꿀분말의 단향만 난다는 의견이 대부분이었으며, 새싹삼의 비율이 높을 경우 앞에서 나는 풀향이 강해 먹기 거둑하다는 의견이 많았다. 새싹삼 비율이 5%, 7%, 8%의 경우 비슷한 맛의 평가가 나타났으나, 새싹삼 향과 원가에 대한 부분을 고려하여 새싹삼 비율이 7%일때의 레시피로 설정하였다(Table 34).

Table 34. 새싹삼 최적 배합 비율

성분(%)	제품1	제품2	제품3	제품4	제품5	제품6
새싹삼건조분말	1	3	5	7	8	10
미립당	82.9	82.9	82.9	82.9	82.9	82.9
꿀분말	16	14	12	10	9	7
비타민C	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
합계	100	100	100	100	100	100
특성						
pH	7.0	7.3	7.2	7.5	7.9	7.9
Brix	13.4	13.6	13.5	13.5	13.6	13.6
기호성 평가	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★☆☆☆

■ 새싹삼 라떼 공정 과정: 최종 배합 비율에 따른 공정 과정으로 농가에서 재배되어 수매된 새싹인삼 중 원물로써 상품성이 조금 떨어지나 가공에는 문제없는 상품으로 흐르는 물에 3회 세척 후 55℃에서 3일간 건조하여 100 mesh 규격으로 분쇄하였다. 이에 미립당, 꿀 분말, 비타민 C를 혼합하여 충전 및 성형 과정을 통해 제품을 생산하였다 (Figure 168).

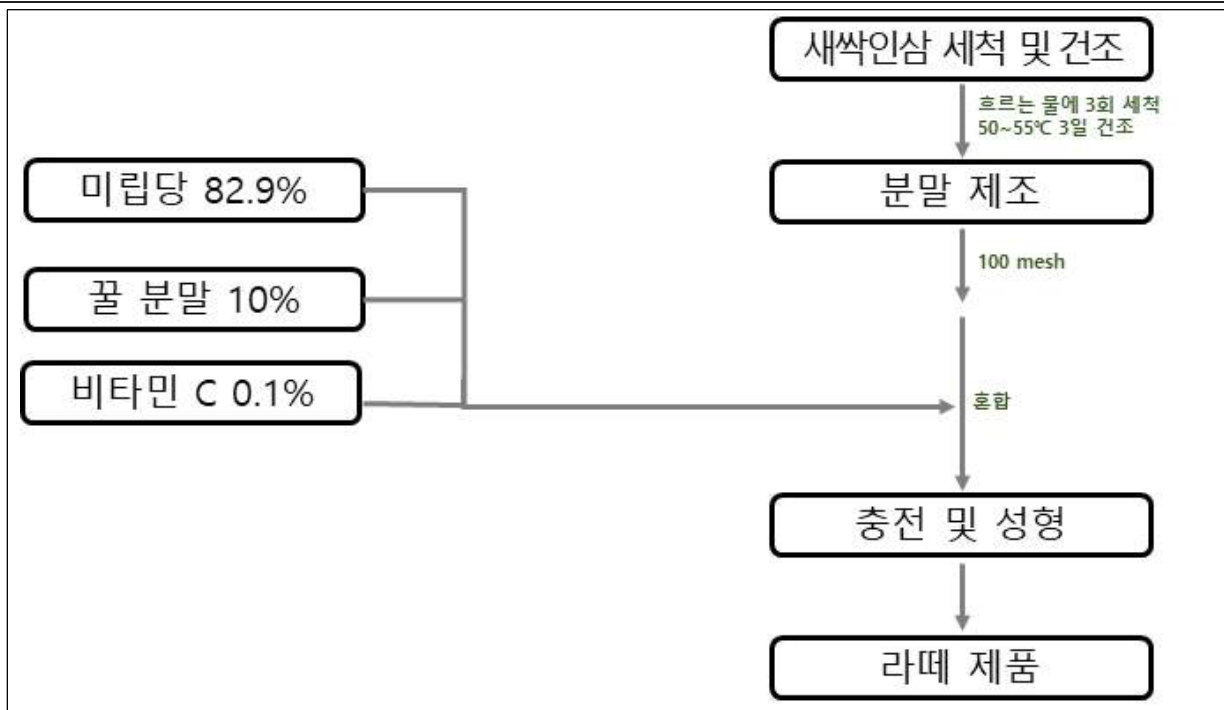


Figure 168. 새싹삼 라떼 공정 과정

■ 새싹삼 라떼(천하장삼 삼삼라떼) 제품 및 9대 영양소: 최종 제품명은 천하장삼 삼삼라떼로 정하였으며 식품 유형은 고형차로 하였다. 1포 기준 9 g으로 구성되어 있으며, 9대 영양소 검사 결과 100 g 기준 열량은 402 kcal, 나트륨 25mg, 지방은 1.5 g, 당류는 95.2 g으로 나타났다(Figure 169).



Figure 169. 새싹삼 라떼 제품

○ 새싹삼 꿀 스틱 최적 배합 비율 설정

■ 꿀 스틱의 기본 재료인 꿀을 약 90%로 설정하고 시각적인 효과를 위한 고품분으로 산양삼 분말과 향과 맛을 위한 새싹삼 농축액을 혼합하여 첨가하였으나 특유의 텁텁한 맛 때문에 매실농축액을 조금 첨가하였다. 산양삼 분말 및 새싹삼 농축액의 함유량을 달리하여 시음한 결과 건조분말 0.5%, 새싹삼 농축액 0.5%일 때 삼의 향과 맛이 적절하다는 평가가 많아 1차 레시피로 채택하였다. 이후 매실 농축액이 아닌 다른 과일 농축액을 더해보자는 의견으로 배, 석류 등의 농축액을 혼합 또는 단독으로 배합하였다. 과일 농축액을 혼합하여 사용하였을 경우 여러 맛이 중첩되어 나타나는 현상이 발생하였으며, 매실과 석류보다는 배 농축액일 때 가장 좋은 평가를 받아 최종 배합 비율로 설정하였다 (Table 35).

Table 35. 새싹삼 꿀 스틱 최적 조건 확립

성분(%)	제품1	제품2	제품3	제품4	제품5	제품6
산양삼 건조 분말	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0
새싹삼 농축액	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
사양꿀	90	90	90	90	90	90
매실농축액	9	9	9	9	9	9
합계	100	100	100	100	100	100
특성						
pH	6.0	6.4	7.0	6.9	6.4	6.7
쓴맛 (10점 만점)	7	6	6	6	5	5
기호성 평가	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆

성분(%)	제품1	제품2	제품3	제품4	제품5	제품6
산양삼 건조 분말(g)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
새싹삼 농축액(g)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
사양꿀(g)	89	89	89	89	89	89
매실농축액(g)	10	7	2	1	0	0
배농축액(g)	0	1	4	2	10	0
석류농축액(g)	0	2	4	7	0	10
합계	100	100	100	100	100	100
특성						
pH	6.4	6.2	6.8	6.3	6.4	6.9
쓴맛 (10점 만점)	5	5	5	5	5	5
기호성 평가	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆

■ 새싹삼 꿀 스틱 공정 과정: 새싹삼을 세척한 후 55°C에서 3일간 건조 후 100 mesh로 분쇄한다. 분쇄된 새싹삼을 250 kg 기준 93°C에서 13시간 추출 농축을 거쳐 200 kg으로 약 65 Brix의 농도에 맞춰 농축하였다. 새싹삼 농축액에 산양삼 분말 0.5%, 사양꿀 89% 및 배 농축액 10%을 혼합한 후 충전 및 성형을 하여 제품을 생산하였다 (Figure 170).

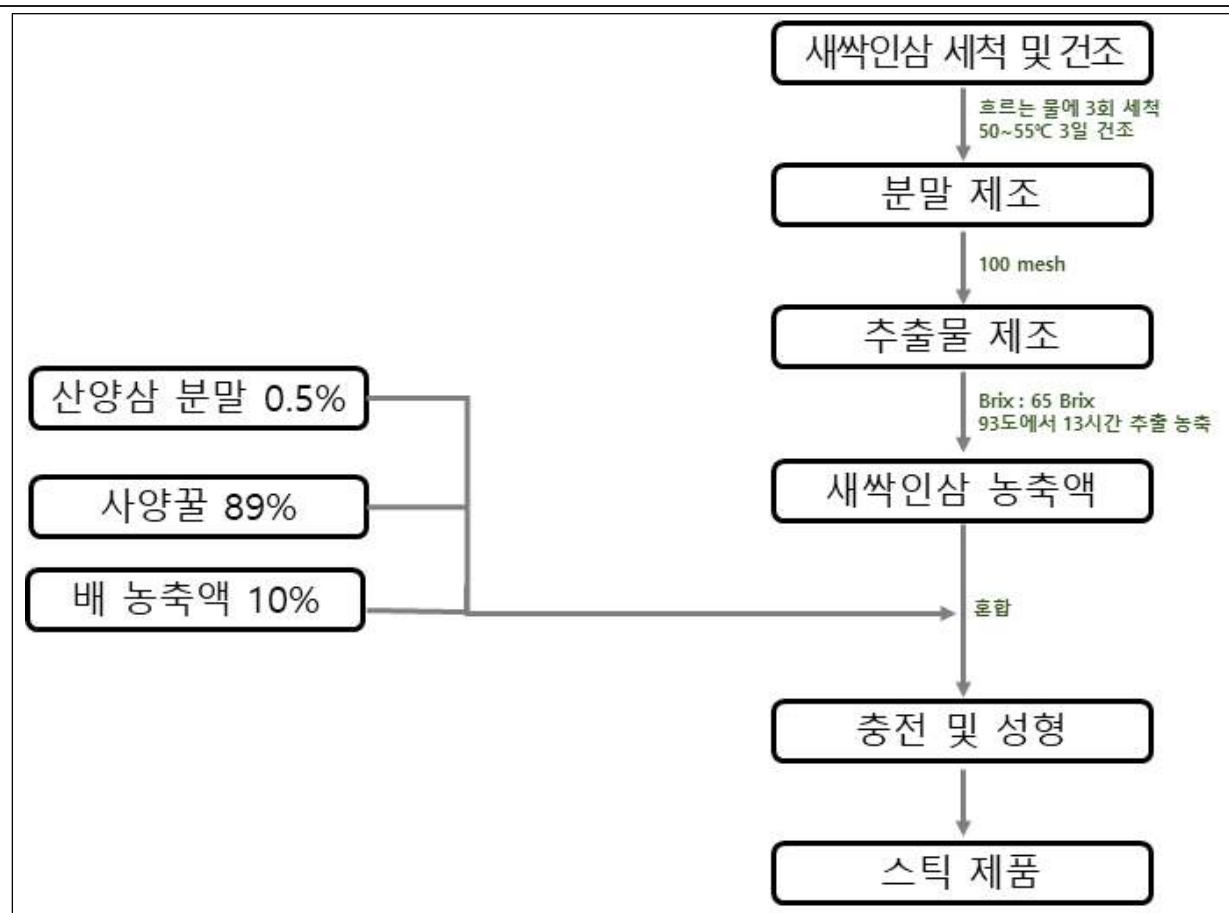


Figure 170. 새싹삼 꿀 스틱 공정 과정

■ 새싹삼 꿀 스틱(천하장삼 허니스틱) 제품 및 9대영양소: 최종 제품명은 천하장삼 허니스틱으로 설정하였으며, 기타가공품으로 식품 유형을 설정하였다. 1포(10 g) 기준 열량은 32.06kcal, 나트륨 0.46 mg으로 나타났다(Figure 171).



Figure 171. 새싹삼 꿀 스틱 제품

2) 새싹작물 재배기술 최적화 - 배지실험: 우슬, 더덕, 식방풍, 당귀
○ 생장특성 비교

Table 36. Fresh and dry weights of *Achyranthes japonica* and *Codonopsis lanceolata* at 27 days

	Medium	Fresh weight (g/Plant)	Dry weight (g/Plant)
<i>Achyranthes japonica</i>	Ginseng soil medium	1.49 ± 0.16 a	0.09 ± 0.00 a
	Horticulture medium	1.33 ± 0.12 a	0.09 ± 0.01 a
	Mat medium (Cover with soil)	1.74 ± 0.24 a	0.13 ± 0.02 a
<i>Codonopsis lanceolata</i>	Ginseng soil medium	0.89 ± 0.08 a	0.08 ± 0.01 a
	Horticulture medium	0.52 ± 0.05 b	0.05 ± 0.01 a
	Mat medium (Cover with soil)	0.69 ± 0.12 ab	0.07 ± 0.01 a

- 우슬과 더덕의 생체 및 건물중의 측정 결과는 Table 36과 같다.
- 우슬의 생체중과 건물중은 배지별로 통계적으로 차이가 없었음
- 더덕의 생체중은 인삼 전용 상토배지에서 최적의 성장을 보였음

Table 37. Average germination number and germination rate of *Peucedanum japonicum* and *Angelica gigas* 55 days after sowing.

	Medium	Number of germination	Germination rate (%)
<i>Peucedanum japonicum</i>	Ginseng soil medium	65	64.67
	Horticulture medium	53	52.67
	Mat medium (Cover with soil)	47	46.67
<i>Angelica gigas</i>	Ginseng soil medium	9	9
	Horticulture medium	2	2.33
	Mat medium (Cover with soil)	17	17.33

■ 식방풍과 당귀는 발아율이 낮아 생체 및 건물중은 측정하지 않고 발아수만 확인하였다. 발아수 및 발아율은 Table 37와 같다.

■ 식방풍은 인삼상토와 원예용 상토에서 발아율 50%이상이었으나, 매트복토는 46.67%의 발아율을 보였다.

■ 당귀는 모든 배지에서 50% 이하의 발아율을 보였음

■ 식방풍 및 당귀는 추가로 파종 전 침종 또는 저온처리를 통해 발아율을 높이는 것이 필요하다고 생각됨

3) 새싹작물 재배기술 최적화 - 양액 및 변온처리 비교 실험: 당귀

Table 38. Fresh and dry weights of *Angelica gigas* at 68 days.

	Fresh weight (g/6 Plants)	Dry weight (g/6 Plants)
25/15°C 증류수	0.13 ± 0.01 c	0.04 ± 0.01 c
25/15°C 양액	0.91 ± 0.04 b	0.10 ± 0.01 b
25°C 양액	1.23 ± 0.06 a	0.14 ± 0.01 a
25°C 증류수	0.11 ± 0.01 c	0.03 ± 0.01 c

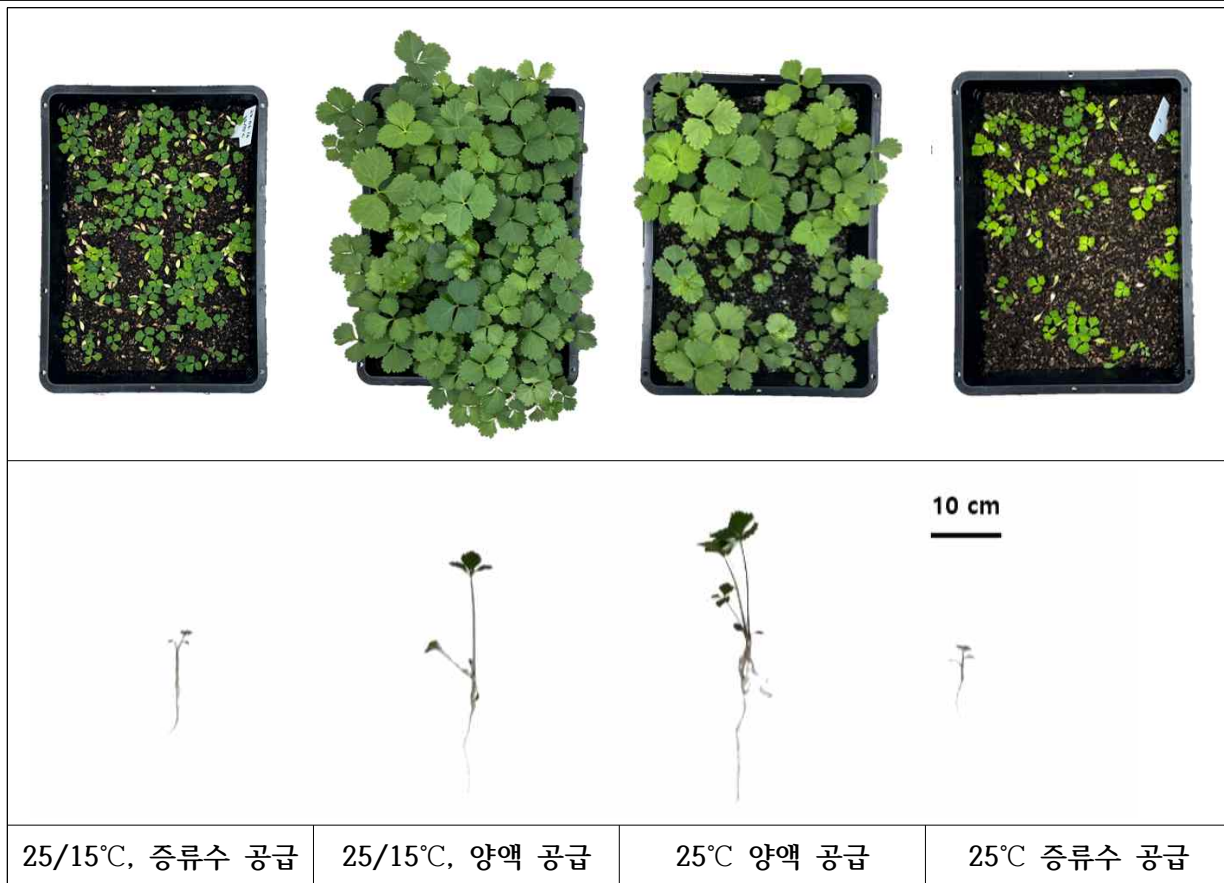


Figure 172. Growth of *Angelica gigas* at 68 days.

- 당귀의 생체 및 건물중은 Table 38과 같다.
- 생체중 및 건물중은 변온처리 없이 양액을 공급하였을 때 가장 높은 값을 보였다.
- 증류수만 공급하였을때는 변온처리를 하였을 때 생체 및 건물중은 유의적인 차이가 없었다.
- 생체 및 건물중은 변온처리 없을 때 높았지만 전체적인 고른 생육상태와 초기 생장률은 변온처리를 하였을 때 눈에 띄게 생육상태가 좋았다.
- 따라서, 당귀의 발아를 위해서는 초기에는 변온처리를 하는 것이 좋으면 양액공급은 필수적이라고 판단된다.

4) 새싹작물 재배기술 최적화 - 실증실험: 우슬

3-2. 결과 및 고찰

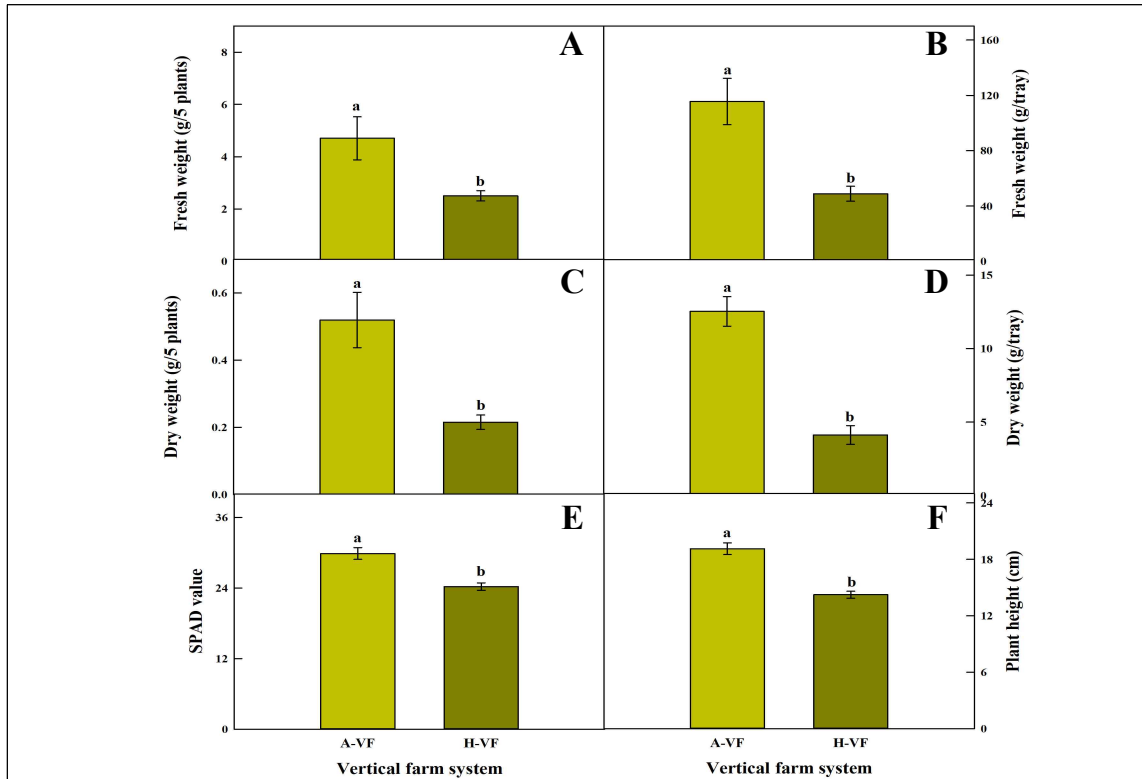


Figure 173. Growth of *Achyranthes japonica* Nakai under the different vertical farming systems. Fresh weight of Individual plant and total yield (A–B), dry weight of Individual plant and total yield (C–D), SPAD value (E), and plant height (F). The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$).

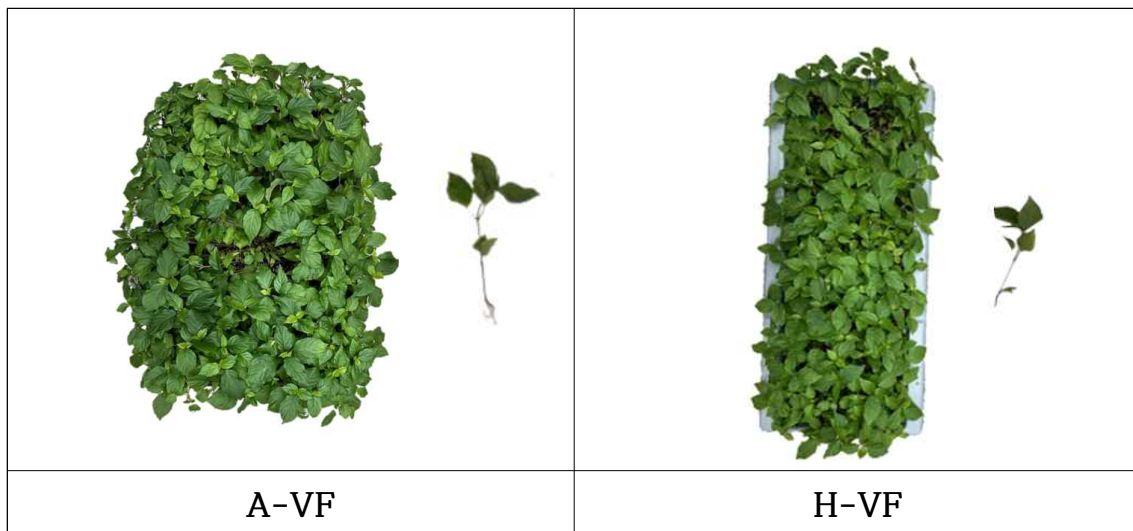


Figure 174. Total yield and growth *Achyranthes japonica* Nakai under the two types of vertical farming systems.

- A-VF 조건에서 자란 우슬의 바이오매스는 H-VF 조건에 비해 약 2.4배와 3배 정도 유의하게 높게 나타났다 (Figure 173 A-D).
- SPAD와 식물 높이도 H-VF보다 유의하게 높게 나타났다 (Figure 173 E-F).
- 수직농장 재배환경의 시스템화를 통해 약 40일 동안 수직농장에서 우슬의 재배 및

생산이 가능 할 것으로 생각된다.

- 수직농장 형태는 음지형 수직농장에서 재배하는 것이 더 효율적인 결과를 보였으나 본 실험의 계절은 여름철이라 온도 차이가 커서 다음과 같은 결과를 나타낸 것으로 생각 된다.

5) 솔라 큐브 태양광 발전 시뮬레이션 및 음지형 및 복합형 경제성 분석

- 구조물과 태양광 패널의 위치를 완성하게 되면 해당 모델을 기준으로 그림자 궤적 분석을 진행함. 그리고 입력한 태양광의 전기적 특성을 기반으로 하여, 모듈 하나 및 전체 모듈에 대한 P_{max} , V_{pm} , I_{pm} 등의 정보를 계산하여 보여줌.



Figure 175. 사용된 태양광 패널의 I-V curve 및 전체 연결의 전기적 parameters

- 태양광 패널의 parameter를 기반으로, 일조량, 기온, 음영 등의 기상 데이터를 반영하여 연간 시뮬레이션을 진행한 결과를 Figure 176에 나타내었음.

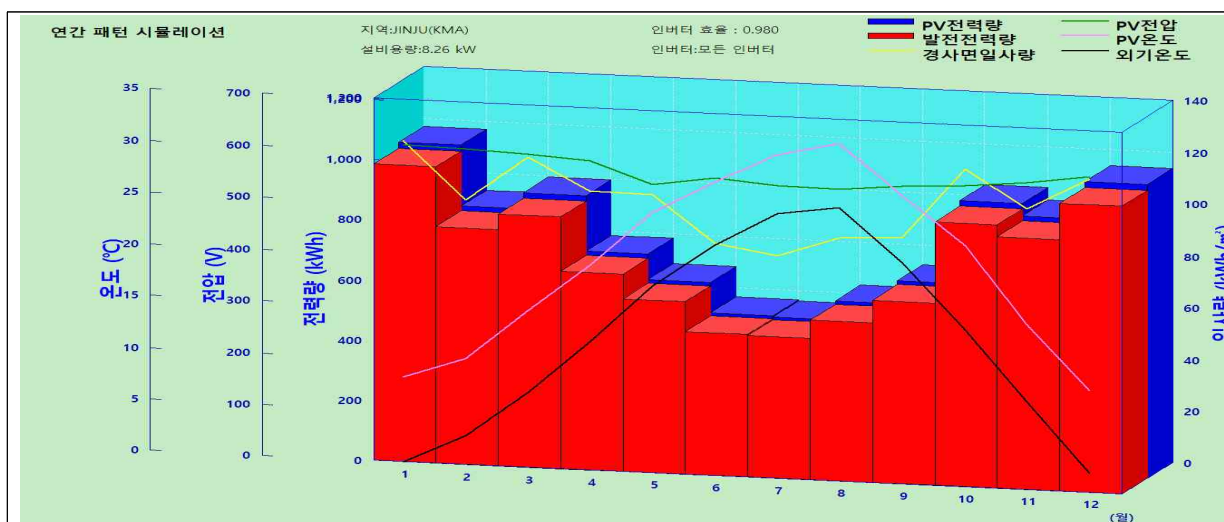


Figure 176. 연간 발전량 시뮬레이션 결과

- 실제 설치된 인버터의 효율인 0.98을 기준으로 하여 발전량을 산출하였음. 해당 발

전량 정보를 기반으로 아래와 같은 정보를 얻을 수 있음.

Table 39. 솔라 큐브 발전량 시뮬레이션 결과 요약

항목	결과
설치용량	8.26 kW
월평균 발전량	728.3 kWh
연간 발전량 합계	8.74 GWh
일평균 발전시간	2.89 hr

■ 실제 태양광 발전의 경우 정남향을 기준으로 하고, 기울기가 위도로 설치된 경우에 일반적으로 5월에 발전량이 제일 많음. 솔라 큐브에 설치된 전체 태양광 모듈은 발전량이 많을 수 있는 정남향을 향해 있으나, 지붕에 설치된 태양광은 약 20~30도 기울기로 설치되어 있지만 측면에 설치된 태양광 패널은 수직으로 설치되어 있으며 용량도 지붕보다 많음. 따라서 일반적인 형태인 5월에 최대 발전량을 보이는 것이 아니라, 겨울에 최대 발전량을 보이는 것이 시뮬레이션 결과 상으로 확인되었음(Figure 177).

■ 월별로 시뮬레이션 결과를 분석해 보면 7월에 가장 낮은 발전량을 나타내었으며, 7월 1일을 기준으로 31일까지는 시간이 지날수록 계속 증가하는 경향을 보였음.

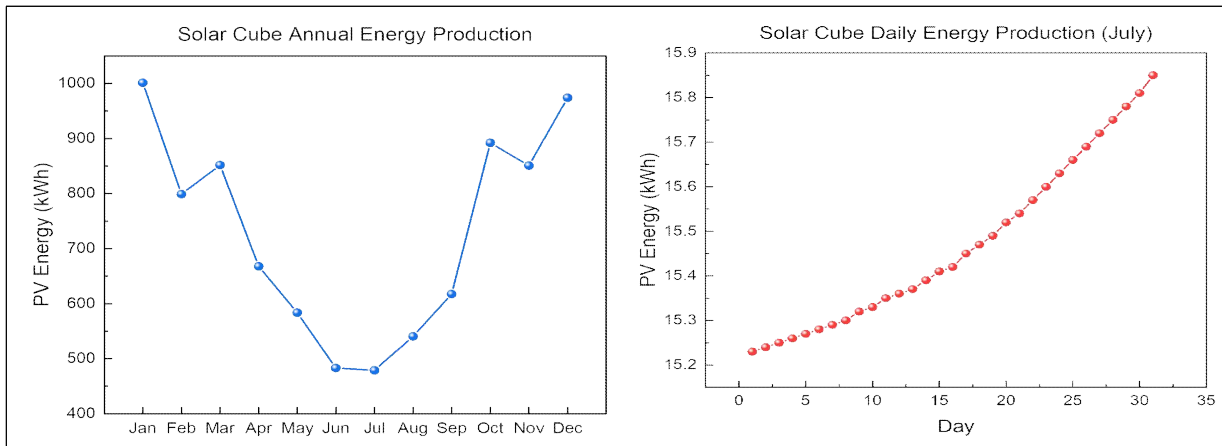


Figure 177. 연간 발전량 시뮬레이션 결과(좌) 및 7월의 일간 발전량(우) 비교 결과

■ 발전량 시뮬레이션 결과를 바탕으로, 실제 솔라 큐브가 가지는 경제성 분석을 진행하였음. 경제성 분석은 솔라 큐브의 설치비와 소모 전력량, 전기 요금 등 아래와 같은 항목들을 고려하여 진행하였음.

○ 경제성 분석을 위한 고려 항목

- 총 설치비용(솔라 큐브 1동 기준): 19,800,000
- 일일 소모 전력량: 음지형 최대 20kWh, 복합형 최대 80kWh
- 산업용 전력(을) 300kW 이상(선택 I): 7,220 + 135.6원/kWh
- 월평균 생산 전력: 728.3 kWh
- ESS(저장용 배터리) 미사용, 잔여 전력 매전 (SMT, REC) 없음.

Table 40. 슬라 큐브 경제성 분석 결과 (월 기준)

	소비 용량 (kWh)	태양광 발전 충당 비율(%)	절약 비용(원)	투자 비용 예상 환수 기간
음지형	600	100	88,580	약 224개월
복합형	2,400	30.3		

6) 새싹우슬 적정 파종량 결정 및 새싹우슬과 시판우슬 (뿌리, 줄기, 잎)의 대사체 비교 분석

4-2. 결과 및 고찰



Figure 178. Growth of *Achyranthes japonica* Nakai under the different sowing amount.

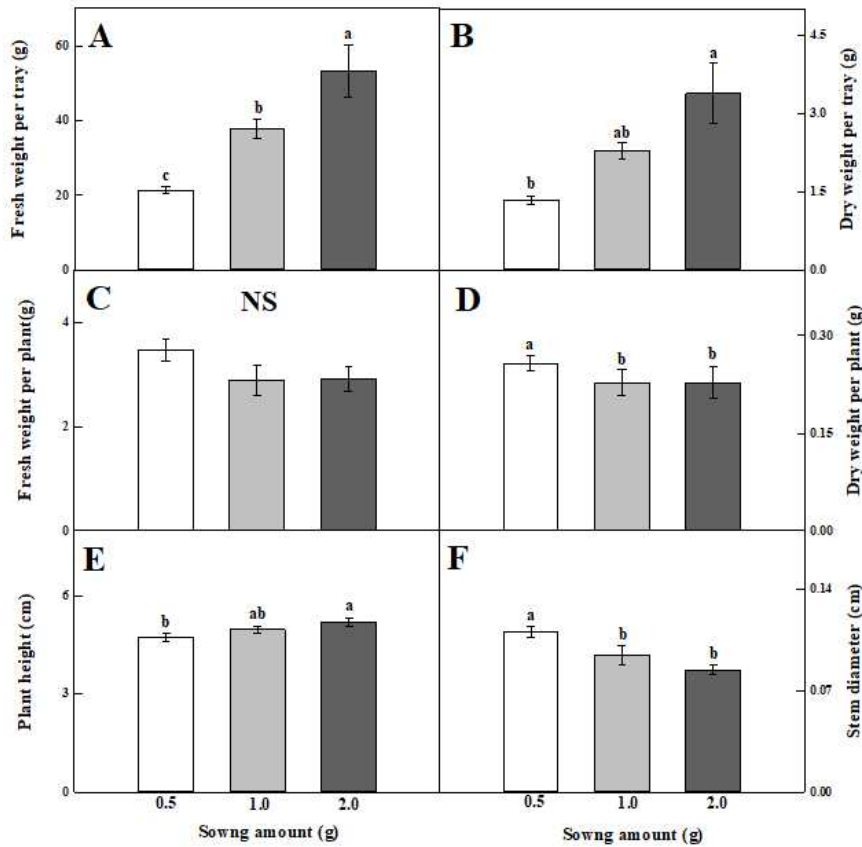


Figure 179. Growth of *Achyranthes japonica* Nakai under the different sowing amounts. Fresh (A) and dry weights (B) per tray, and fresh (C) and dry weights (D) per plant. Plant height (E) and Stem diameter (F) per plant. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 4 (A–D) or 5 (E, F) replicates.

■ 생장특성 비교

Achyranthes japonica Nakai(AJN)는 환경 조건이 통제된 수직 농장에서 재배되었다. 서로 다른 파종량(Figure 178)으로 자란 우슬은 서로 다른 성장 특성을 나타냈다. 트레이당 생체중(FW)(Figure 179A)과 건물중(DW)(Figure 179B)은 파종량이 증가함에 따라 증가했다. 그러나 파종량에 따른 식물당 FW에는 큰 차이가 없었고(Figure 179C), 0.5g 파종량 처리에서 식물당 DW는 유의하게 증가하였다(Figure 179D). 파종량이 증가함에 따라 식물의 줄기 길이는 증가하였고(Figure 179E), 파종량이 증가함에 따라 줄기 직경은 감소하였다(Figure 179F). 파종량 대비 생체중의 생장효율(gFW/g 파종량)은 2.0g 처리구에 비해 0.5g 및 1.0g 처리구에서 약 1.6배 및 1.4배 더 높았다(Figure 180). 건물중의 생장효율(g DW/g 파종량)은 0.5 g 처리에 비해 2.0 g 처리에서 감소하였다(Figure 180B).

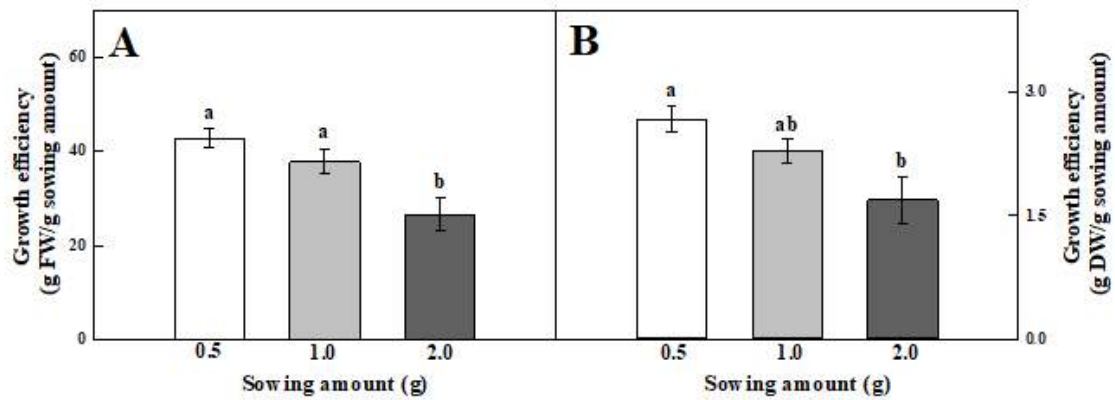


Figure 180. Growth efficiency (g/g) based on fresh (A) and dry weights (B) of *Achyranthes japonica* Nakai according to the different sowing amounts. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 4 replicates.

■ 생리활성물질 및 향산화 분석

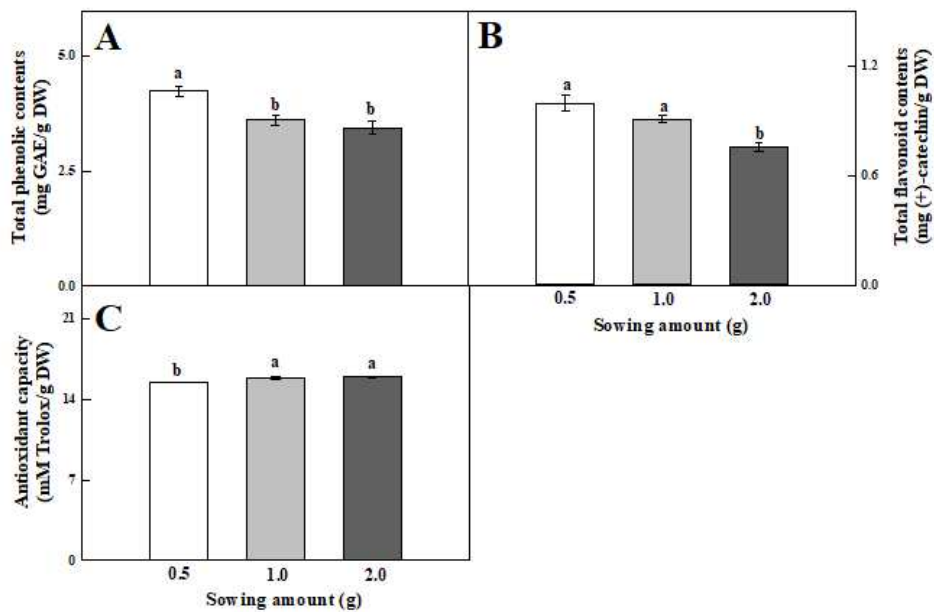


Figure 181. Total phenolic contents (A), total flavonoid contents (B), antioxidant capacity (C) according to the sowing amount. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 9 replicates.

- 총 페놀 함량은 0.5g에서 가장 높았고(Figure 181A), 총 플라보노이드 함량은 0.5g과 1.0g에서 가장 높았다(Figure 181B). 한편, 항산화능력은 1.0g과 2.0g에서 가장

높았다(Figure 181C).

■ 시판 우슬과 새싹우슬 간의 20-Hydroxyecdysone 함량의 대사체 분석 및 비교

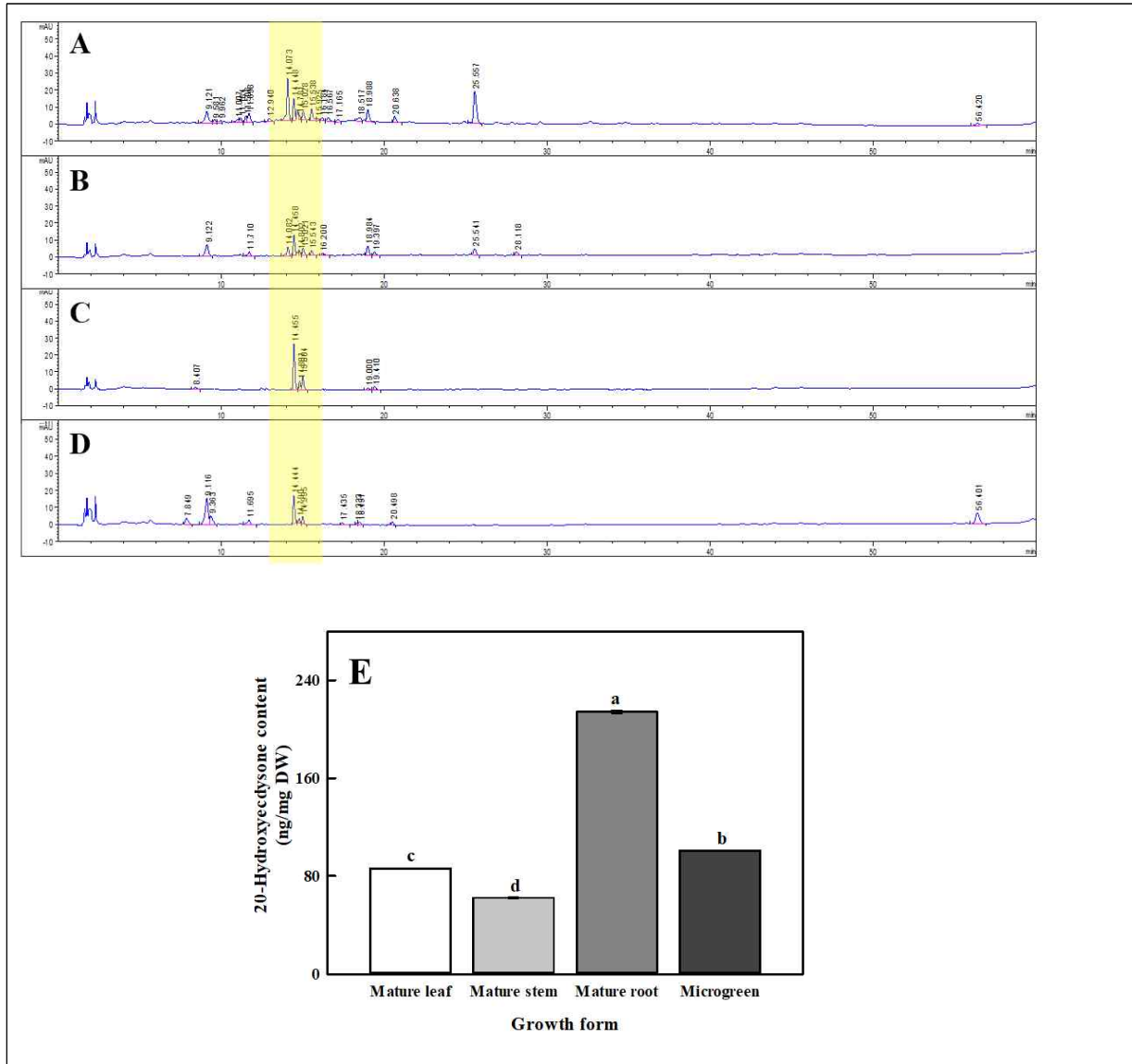


Figure 182. LC chromatogram of *Achyranthes japonica* Nakai extracts. Leaf (A), stem (B), root (C) and microgreen (D) of *Achyranthes japonica* Nakai. 20-Hydroxyecdysone content of AJN (E) in the form of mature leaves, stems, roots, and microgreens. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 3 replicates.

- 성체 우슬의 잎, 줄기, 뿌리와 새싹우슬의 대사산물 패턴은 유사했다(Figure 182D). 이는 시판되는 우슬 대신 마이크로그린 형태로 사용할 수 있음을 나타냅니다. 엑디스테론과 20-하이드록시에디손(20E)은 골격근에 영향을 미치고 동화작용 효과. 비만

예방, 당뇨병과 같은 예방 효과가 있다. 20E 함량은 성체 뿌리에서 가장 높았고 마이크로로그린이 그 뒤를 이었다(Figure 182E). 수직농장에서 자란 우슬의 마이크로로그린의 20E는 노지에서 자란 성체의 잎과 줄기에 비해 약 1.2배와 1.6배 더 높았다(Figure 182E). 그러나 성체의 뿌리는 우슬의 새싹보다 약 2.1배 더 높았다. 따라서, 수직농장에서 키운 새싹우슬에도 20-하이드록시에디손(20E)이 함유되어 있기 때문에 추후에 식품이나 의약품 원료로의 활용 가능성을 보여준다.

7) 우슬에 수확 전 단기 UV-B 처리를 통한 이차대사산물 증진 효과

5-2. 결과 및 고찰

가. 생장특성 비교

우슬의 생장은 UV-B 처리 기간에 따라 다양했다(Figure 183). UV-B 처리 기간에 따라 AJN 식물의 FW와 DW 또는 식물 높이에는 유의한 차이가 관찰되지 않았다. RWC는 대조군에 비해 UV12/C1, UV06/C2, UV03/C4 처리구에서 감소하였다(Table 41).

잎(Figure 183A)과 줄기 건물중(Figure 183B)은 대조군과 처리군 간에 유의미한 차이가 없었다. 그러나 대조군에 비해 모든 처리구에서 잎 면적이 감소했다(Figure 184C). SLA(Figure 184D)도 처리에서 크게 감소했으며 UV12/C1 처리가 가장 낮았다.

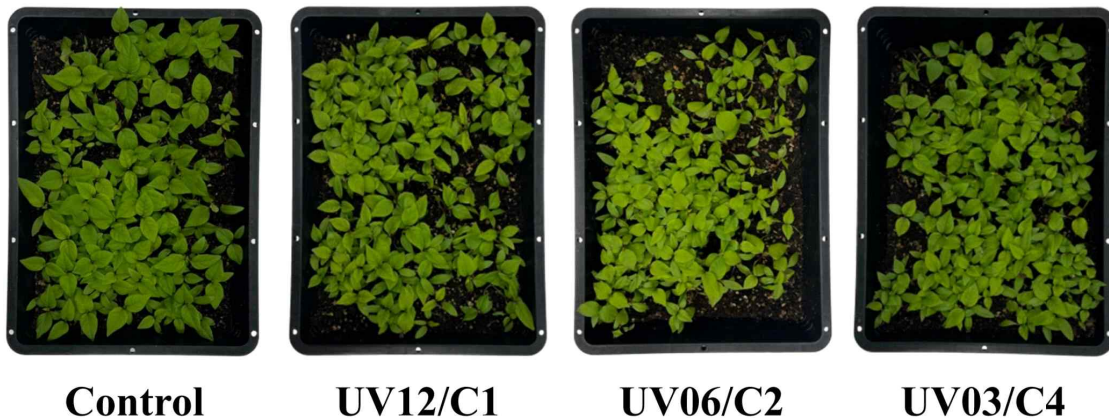


Figure 183. Growth of *Achyranthes japonica* Nakai under the different UV-B treatment periods.

Table 41. Growth parameter of *Achyranthes japonica* Nakai under the different UV-B treatment periods.

Treatments	Growth parameter			
	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Relative water content (%)	Plant height (cm)
Control	11.52 ± 0.50 ^a	0.90 ± 0.04 a	92.19 ± 0.10 a	2.78 ± 0.16 a
UV12/C1	10.23 ± 0.48 a	0.91 ± 0.03 a	91.16 ± 0.22 b	2.73 ± 0.13 a
UV06/C2	10.41 ± 0.33 a	0.89 ± 0.03 a	91.47 ± 0.05 b	2.63 ± 0.10 a
UV03/C4	9.93 ± 0.77 a	0.85 ± 0.06 a	91.53 ± 0.09 b	2.68 ± 0.08 a

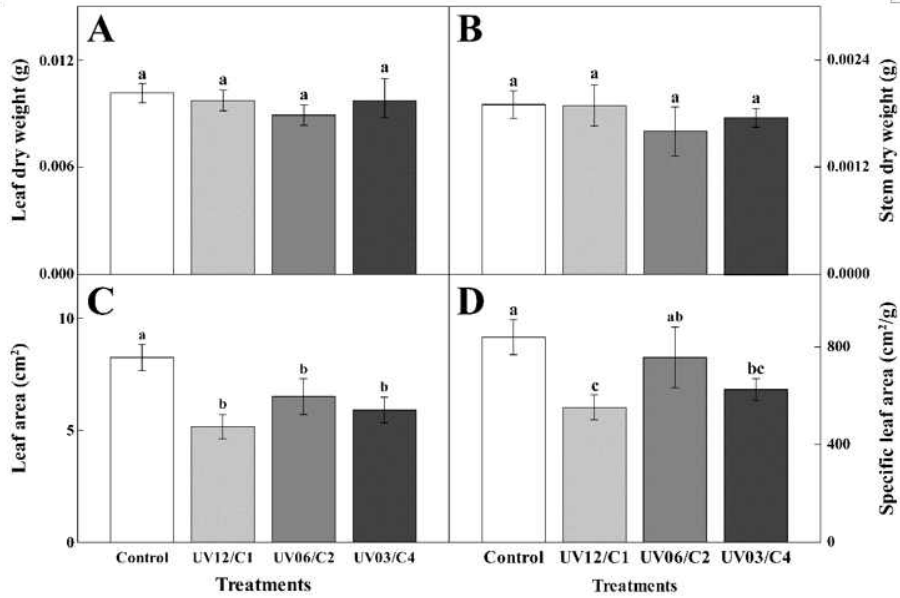


Figure 184. Leaf dry weight (A), stem dry weight (B), leaf area (C), and specific leaf area (D) under the different UV-B treatment periods. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 10 replicates.

■ 엽록소 함량 및 형광 분석

SPAD 수치(Figure 185)는 대조군에 비해 UV 처리에서 모두 감소하였습니다. Fv/Fm 값(Figure 186)은 대조군의 감소를 나타내지 않았습니다. 또한, UV12/C1 처리 Fv/Fm은 12시간 처리 동안 감소했으나 이후 회복되는 모습을 보였습니다. UV06/C2 처리에서는 Fv/Fm 값이 UV-B 처리에서 점차 감소했습니다. 그러나 회복 능력은 다른 치료법보다 느렸습니다. UV03/C4 처리에서는 UV-B 처리 동안 Fv/Fm 값이 감소하였지만 회복이 빨랐습니다. 최종적으로 UV06/C2 처리를 제외하면 Fv/Fm 값이 0.7~0.8로 회복되었습니다.

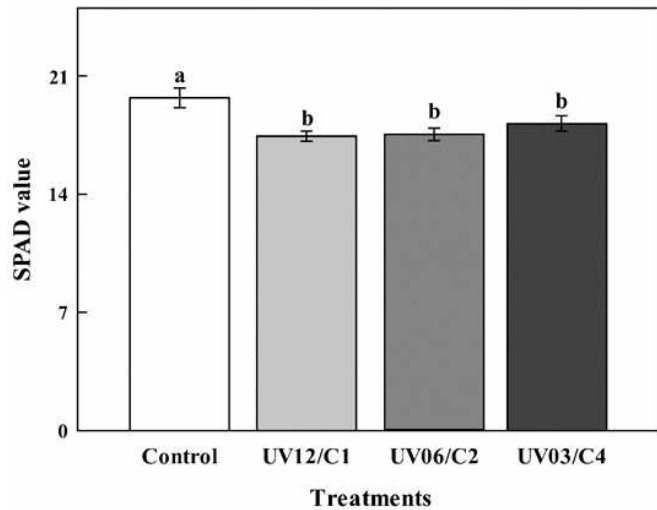


Figure 185. The SPAD value under the different UV-B treatment periods. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 10 replicates.

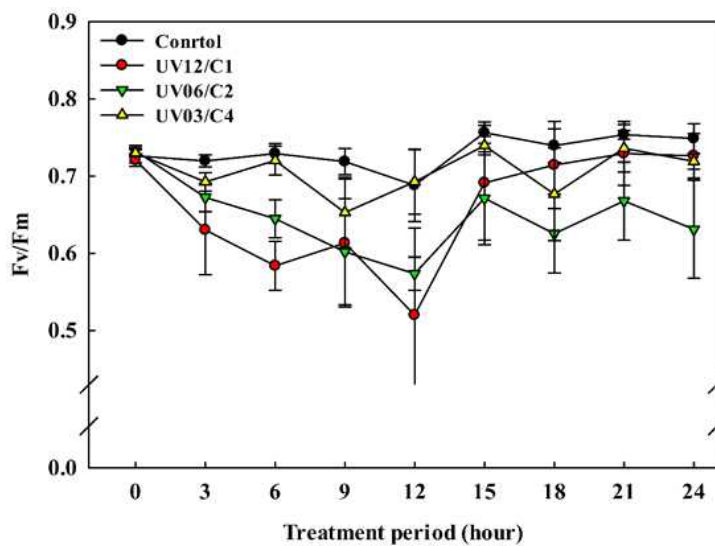
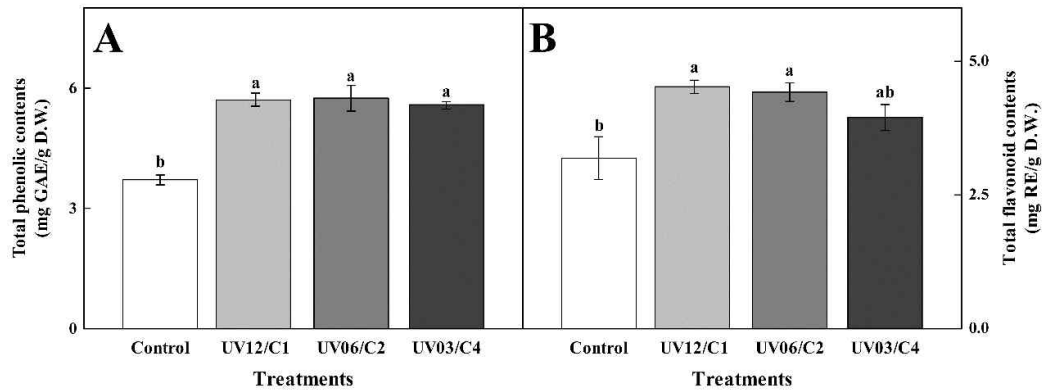


Figure 186. Variations of Fv/Fm for leaves in all treatments under different UV-B treatment periods. Measurements were conducted once every three hours. Error bars represent the standard error of five replicates.

■ 생리활성물질 및 항산화 분석

총 페놀 함량(Figure 187A)과 총 플라보노이드 함량(Figure 187B)은 UV-B 처리 기간 동안 달랐다. 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 UV-B 처리에서 크게 증가했다. 모든 UV-B 처리군에서 총 페놀 함량은 대조군에 비해 약 1.5배 증가하였으며, 총 플라보노이드 함량은 UV12/C1 및 UV06/C2에서 1.4배, UV03/C4에서 1.2배 증가하였다.

본 연구에서 AJN은 DPPH, ABTS 및 FARP의 항산화 활성을 나타냈다(Figure 188). DPPH 및 FRAP 수준은 UV12/C1 처리에서 유의하게 증가했으며(Figure 188A, C), 또한 ABTS 발현은 UV12/C1 및 UV06/C2 처리에서 크게 증가했다(Figure 188B).



2 **Figure 187.** Total phenolic contents (A) and total flavonoid contents (B) according to the UV-B treatment periods. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of four replicates.

0-Hydroxyecdysone(20E) 함량은 UV-B 처리 기간 동안 달랐다(Figure 189). 모든 UV-B 처리에서 증가했다. UV06/C2 처리군에서 가장 높은 증가율을 보여 1.4배의 개선 효과를 보였다. UV12/C1에서는 1.1배, UV03/C4에서는 1.2배 증가했다.

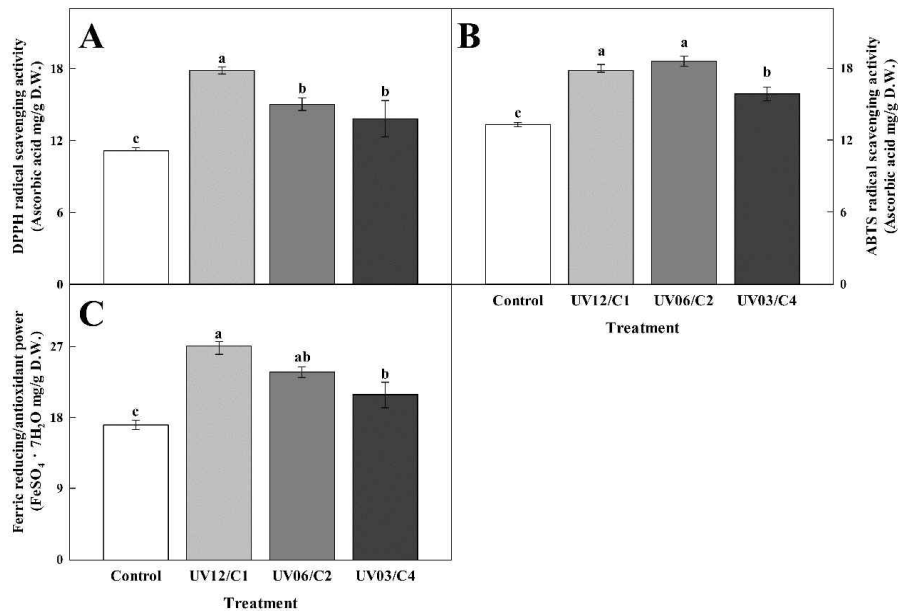


Figure 188. Antioxidant activities of DPPH (A), ABTS (B) and FRAP (C) according to the UV-B treatment periods. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of four replicates.

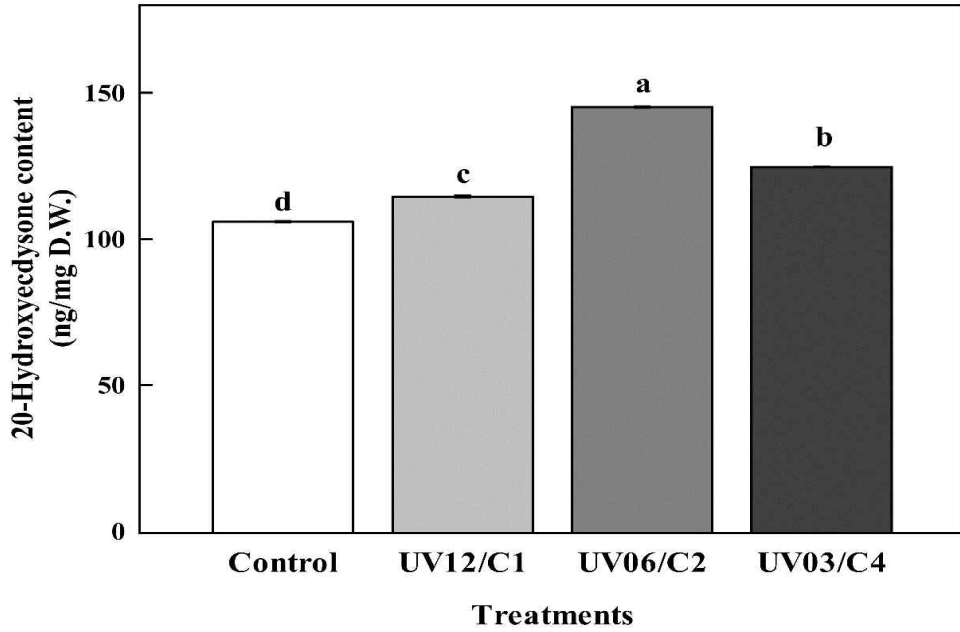


Figure 189. The 20-Hydroxyecdysone content of *Achyranthes japonica* Nakai according to UV-B treatment period. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of three replicates.

8) 새싹더덕 재배를 위한 파종량 실험

7-2. 결과 및 고찰

■ 성장특성 비교

생체중 및 건물중 모두 파종량이 증가할수록 증가했다(Figure 190). 성장효율 또한 파종량이 증가할수록 증가했다(Figure 191). 더덕은 발아율이 매우 저조하기 때문에 파종하기 전 지베렐린 또는 저온처리가 필요할 것으로 생각된다.

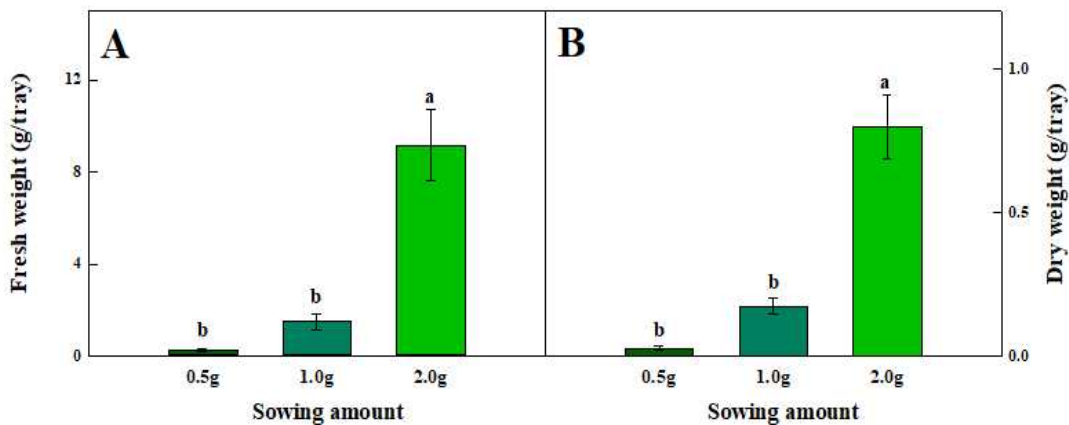


Figure 190. Growth of *Codonopsis lanceolata* under the different sowing amounts. Fresh (A) and dry weights (B).

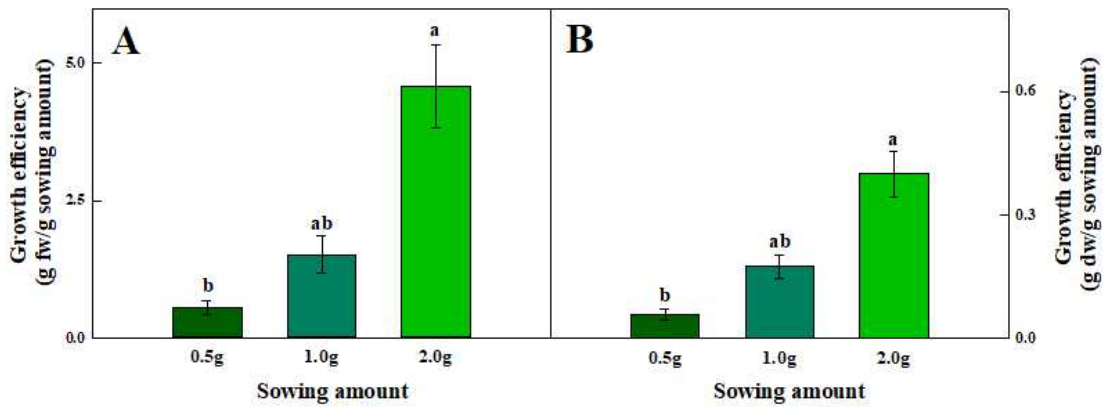


Figure 191. Growth efficiency of *Codonopsis lanceolata* under the different sowing amounts. Fresh (A) and dry weights (B).

9) 수확 전 새싹 더덕에 R/FR 비율별 처리 효과

8-2. 결과 및 고찰

■ 생장특성 비교

- R/FR 비율별 처리에 따른 더덕의 생육사진이다 (Figure 192). 더덕의 전체 생체중 및 건물중은 모든 처리구에서 유의적으로 차이가 없었으나(Figure 193A,B) 개체별 생체중 및 건물중은 Normal, Low 처리구에서 유의하게 높았다(Figure 193C,D). 노드수는 Low 처리구에서 가장 높았으며(Figure 194A), 초장은 Normal, Low 처리구에서 높았다(Figure 194B). 엽면적 또한 Normal, Low 처리구에서 높았다(Figure 194C).

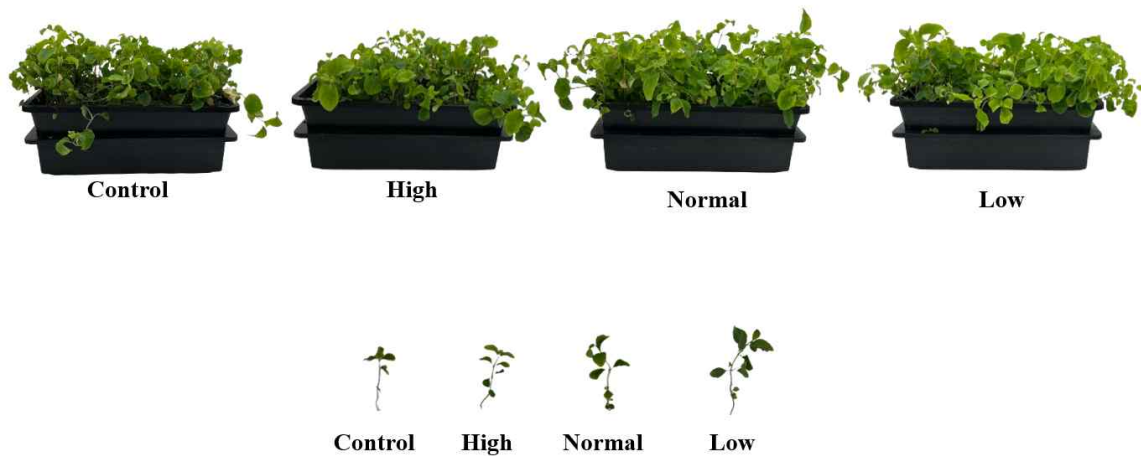


Figure 192. Growth of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio

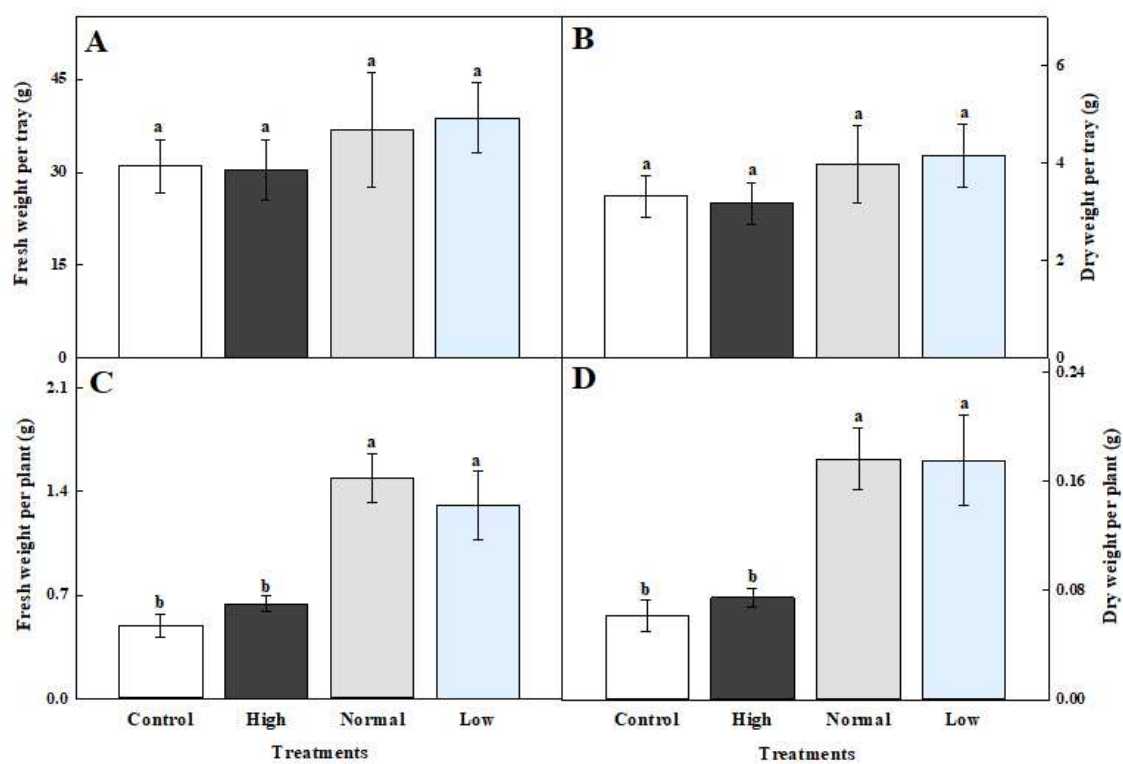


Figure 193. Total Fresh weight (A) dry weight (B) and per plant fresh weight (C) and dry weight (D) of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio.

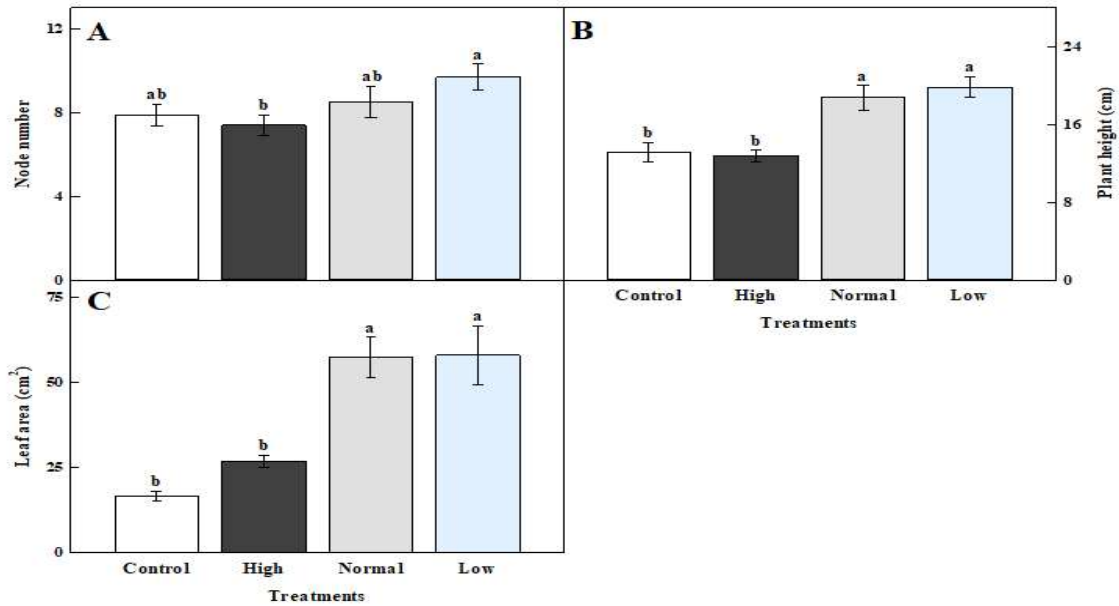


Figure 194. Node number (A), Plant height (B) and Leaf area (C) of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio.

■ 생리활성물질, 항산화 및 Lacemasid A 분석

- 페놀함량은 대조구와 Low 처리구에서 가장 높았으며(Figure 195A) 플라보노이드 함량은 대조구에서 높게 나타났다 (Figure 195B). 항산화 능력은 Low 처리구에서 유의적으로 높게 나타났다 (Figure 195C). 더덕의 메인 지표물질인 Lacemasid A 분석 결과는 Normal 처리구에서 대조구보다 1.2배 증가한 결과를 보였다(Figure 196). 따라서 새싹 더덕에 Far-red 처리는 Lacemasid A 함량을 증가시키는데 어느정도 효과가 있으며 R/FR 비율은 1.2가 가장 효과가 좋은 것으로 확인된다.

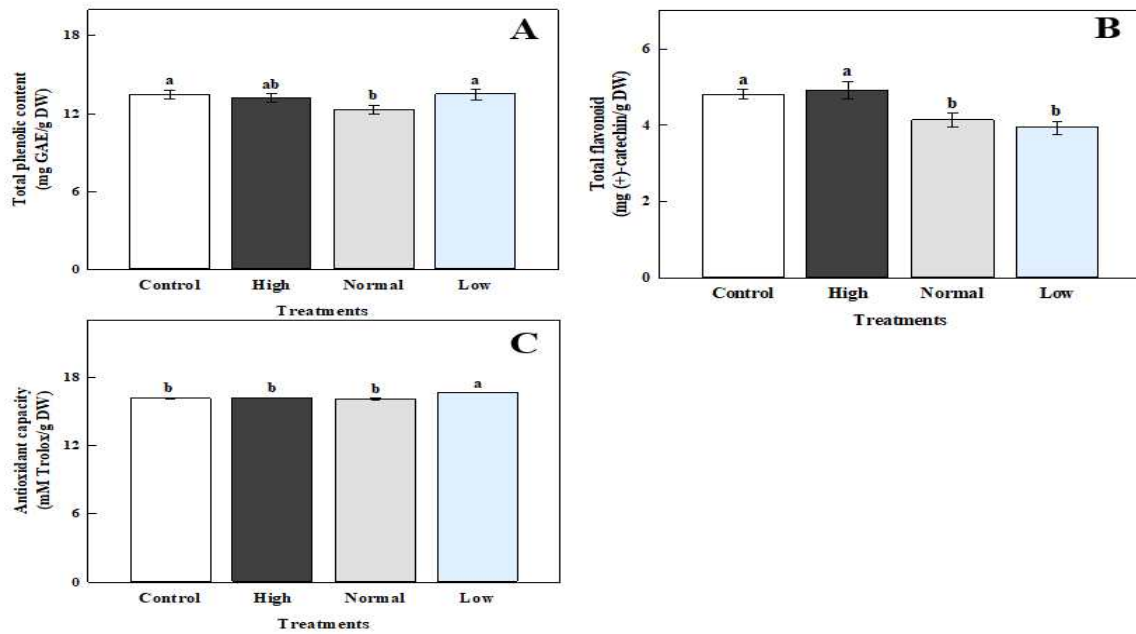


Figure 195. Total phenolic content (A), total flavonoid (B) and antioxidant capacity (C) of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio.

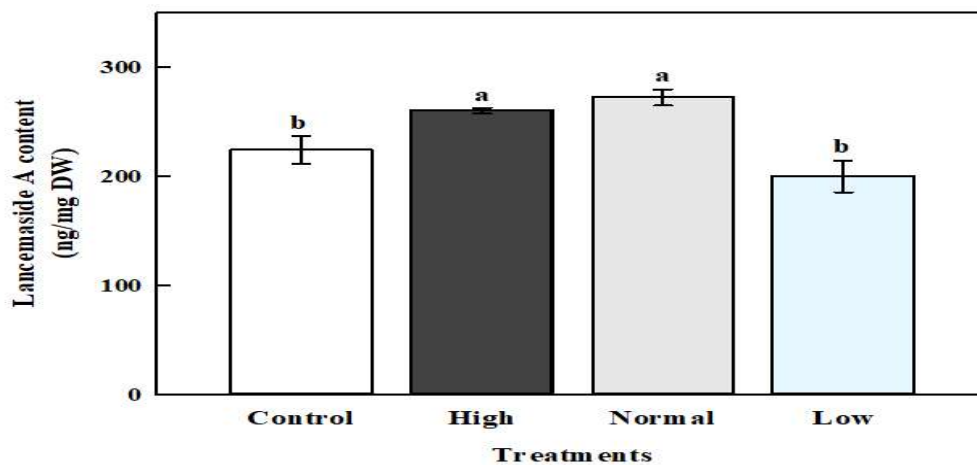


Figure 196. Lancesid A content of *Codonopsis lanceolata* by R/FR ratio.

10) 수확 전 콩의 UV-B 처리의 이소플라본 함량 향상

9-2. 결과 및 고찰

- 모든 UV-B 처리는 콩의 성장을 감소시키지 않았다(Figure. 197,198). Fv/Fm 값은 UV-B 처리 이후 감소했으나 수확 전 회복 기간이 주어지면 다시 증가하는 경향도 보였다(Figure. 199).

- T1은 뿌리의 아글리콘 이소플라본 함량을 유의하게 증가시켜 전체 이소플라본 함량을 약 1.6배 증가시켰다(Table 42,43).

- T2는 콩의 지상부의 다이드진 및 다이드제인 함량을 각각 1.9배 및 1.6배 증가시켰다.

- T3는 말로닐다이진 함량을 지상부에서 약 2.7배, 뿌리에서 약 2.4배 증가시켰다.
- 본 연구 결과는 UV-B 처리 직후 아글리콘 이소플라본이 뿌리에 축적 되었다가 회복기를 가지면서 이소플라본 중 가장 흔한 저장체인 말로닐글리코시드 이소플라본으로 전환되어 지상부에서 저장됨을 알 수 있다.



Figure 197. Growth of soybean plants by the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting.

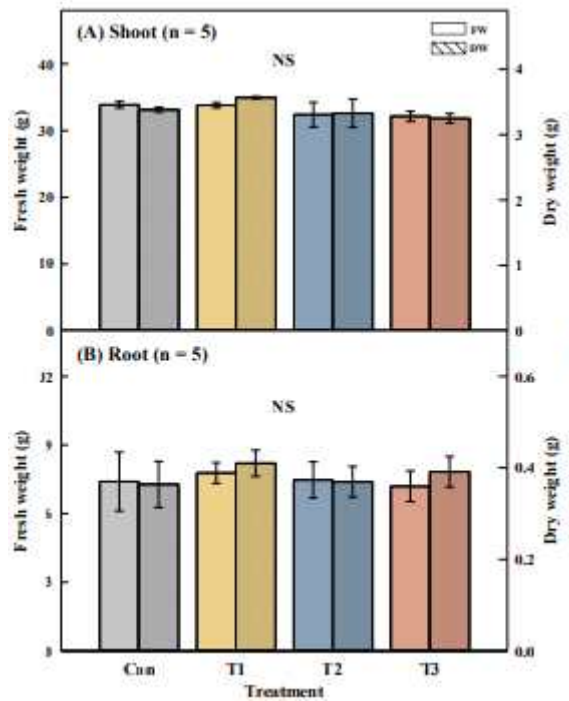


Figure 198. Effects of the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting on shoot (A) and root (B) growth per tray. NS is Not significant. Error bars represent the standard error of 5 replicates

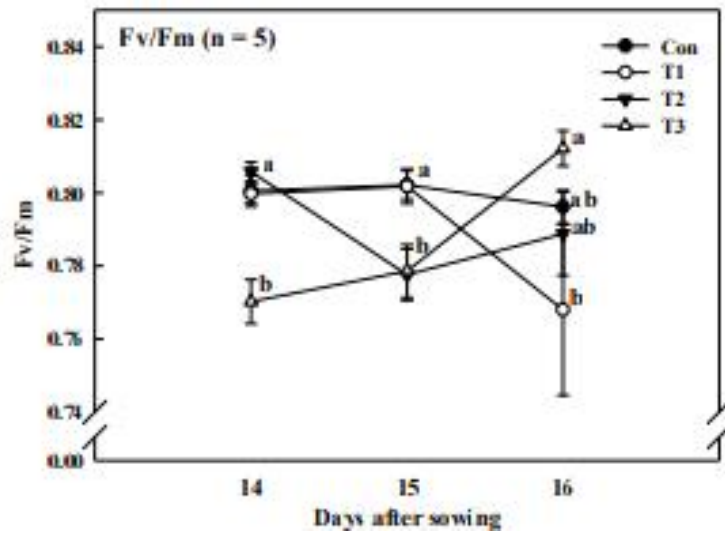


Figure 199. Maximum quantum yield (Fv/Fm) of soybean leaves by the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting. The different letters above the symbols indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 5 replicates.

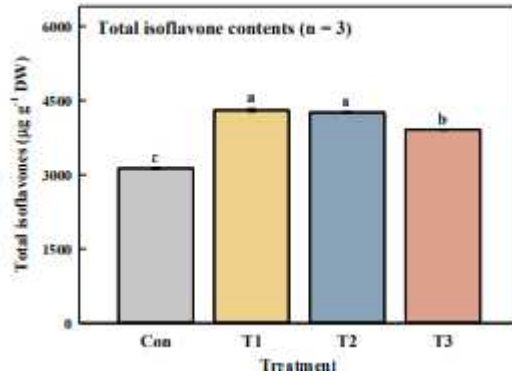


Figure 200. Effects of the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting on total isoflavone contents of soybean plants. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 3 replicates

Table 42. Increase pattern of isoflavone by treatment timing of UV-B.

Increase pattern of each isoflavones		T1		T2		T3	
		Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Glycosides	Daidzin	↑	↑	↑*	↑	↑	↑
	Genistin	↑*	-	↑	-	↑	-
Malonyl glycosides	Malonyl daidzin	↑	↑	↑	↑	↑*	↑*
	Malonyl genistin	-	-	-	-	↑*	-
Aglycones	Daidzein	↑	↑*	↑*	↑	↑	-
	Genistein	-	↑*	-	↑	-	-

↑, increase; -, non-increase.

Table 43. Changes of isoflavone contents in each part of soybean by the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting.

Contents (µg g ⁻¹ DW)	Glycosides			Malonyl glycosides			Aglycones			Total isoflavones
	Daidzin	Genistin	Total	Malonyl daidzin	Malonyl genistin	Total	Daidzein	Genistein	Total	
Con	312.21 ± 0.52 ^a d	277.03 ± 1.76 ^d	589.24 ± 2.25 ^c	376.15 ± 0.56 ^d	704.16 ± 1.95 ^b	1080.30 ± 2.42 ^d	111.40 ± 2.50 ^c	106.50 ± 3.07 ^a	217.73 ± 2.84 ^c	1887.29 ± 2.80 ^d
Shoot										
T1	443.76 ± 0.70 ^c	442.62 ± 2.00 ^a	886.38 ± 1.94 ^b	533.24 ± 5.45 ^c	620.94 ± 8.86 ^d	1154.10 ± 14.29 ^c	147.50 ± 11.18 ^b	96.60 ± 1.28 ^b	244.13 ± 12.44 ^b	2284.71 ± 27.46 ^c
T2	598.16 ± 0.20 ^a	393.61 ± 0.51 ^b	991.78 ± 0.71 ^a	888.32 ± 2.17 ^b	652.83 ± 2.75 ^c	1541.15 ± 2.03 ^b	176.70 ± 3.37 ^a	99.78 ± 2.81 ^{ab}	276.52 ± 1.77 ^a	2809.45 ± 4.30 ^b
T3	549.35 ± 2.35 ^b	343.95 ± 1.57 ^c	893.31 ± 3.92 ^b	1011.30 ± 1.52 ^a	765.50 ± 5.32 ^a	1776.82 ± 6.39 ^a	157.70 ± 0.30 ^{ab}	83.02 ± 3.56 ^c	240.80 ± 3.44 ^b	2918.94 ± 0.64 ^a
Root										
Con	97.31 ± 0.89 ^d	N.D. ^a	97.31 ± 0.89 ^d	36.96 ± 0.46 ^d	N.D.	36.96 ± 0.46 ^d	1060.15 ± 0.18 ^c	47.05 ± 0.09 ^c	1107.21 ± 0.19 ^c	1241.49 ± 1.02 ^c
T1	141.96 ± 0.51 ^a	N.D.	141.96 ± 0.51 ^a	50.79 ± 0.31 ^c	N.D.	50.79 ± 0.31 ^c	1748.09 ± 0.16 ^a	86.95 ± 2.75 ^a	1827.04 ± 2.88 ^a	2019.80 ± 2.75 ^a
T2	132.43 ± 0.18 ^b	N.D.	132.43 ± 0.18 ^b	76.95 ± 0.96 ^b	N.D.	76.95 ± 0.96 ^b	1185.84 ± 1.86 ^b	54.15 ± 1.33 ^b	1239.99 ± 0.53 ^b	1449.39 ± 1.49 ^b
T3	116.83 ± 0.08 ^c	N.D.	116.83 ± 0.08 ^c	88.36 ± 1.30 ^a	N.D.	88.36 ± 1.30 ^a	758.69 ± 2.23 ^d	37.03 ± 2.00 ^d	795.73 ± 4.14 ^d	1000.93 ± 5.32 ^d

^aMean ± S.E.; ^bMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level (n = 3). N.D. is Non-Detection.

11). R/FR 비율에 따른 콩의 생장 및 생리활성 화합물의 변화

10-2. 결과 및 고찰

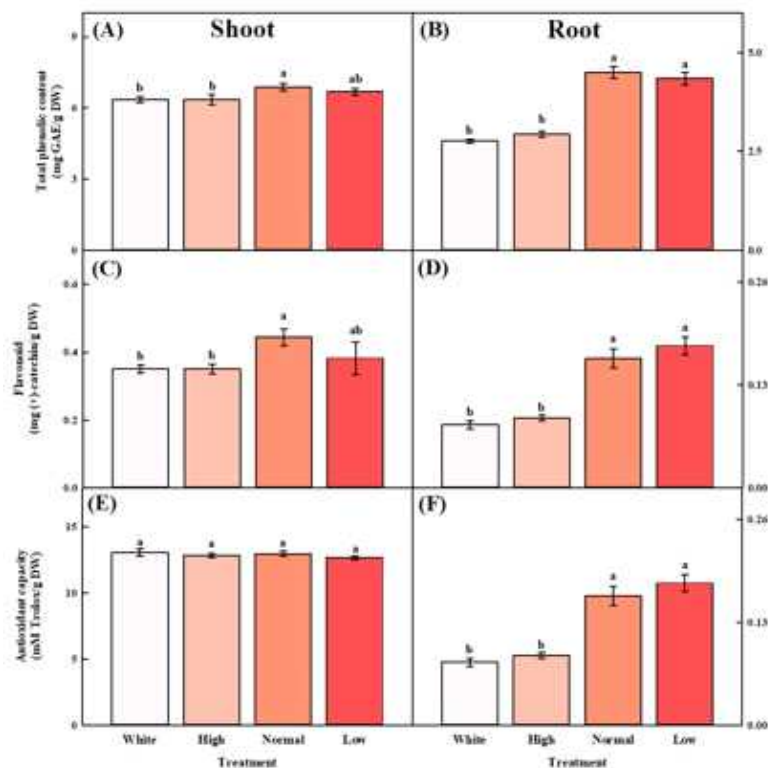


Figure 201. Effects of the different pre-harvest treatment timing of UV-B lighting on shoot (A) and root (B) growth per tray. NS is Not significant. Error bars represent the standard error of 5 replicates

- 지상부와 지하부의 생체 및 건물중: White 및 High R/FR 비율 처리보다 Normal 및 Low R/FR 비율 처리가 더 높았다(Table 44).
- 지상부 및 지하부 생리활성 화합물(Figure 201):
 - 지상부: 모든 치료에서 유의미한 차이가 없었다.
 - 지하부: White 및 High 처리보다 높은 Normal 및 Low 처리구였다.
- SPAD 값 및 안토시아닌 지수(Figure 202 A-B): 이는 낮은 R/FR 비율 처리에서 크게 감소했습니다. 광합성 속도(Figure 202C): 1.2 R/FR 비율 치료가 크게 증가했다.
- 엽면적(Figure 202D): White 및 High 처리보다 더 높은 Normal 및 Low 처리구에서 더 높았다.
- 따라서 R/FR 비율을 조정하면 수직 농장에서 콩 식물의 성장과 생리활성 화합물을 제어할 수 있음을 시사함.

Table 44. Growth of soybean per tray under the different R/FR ratio treatment. Fresh weight (FW) and dry weight (DW) of shoot and root.

Treatment	FW (g)		DW (g)	
	Shoot	Root	Shoot	Root
White	54.57 ± 3.79 ^b	13.84 ± 0.98 ^{ab}	5.08 ± 0.32 ^b	0.67 ± 0.05 ^b
High	58.88 ± 2.19 ^b	12.37 ± 0.72 ^b	5.37 ± 0.27 ^b	0.59 ± 0.04 ^b
Normal	65.96 ± 4.23 ^{ab}	15.79 ± 0.62 ^a	6.71 ± 0.24 ^a	0.84 ± 0.04 ^a
Low	73.53 ± 4.48 ^a	15.54 ± 1.43 ^a	7.50 ± 0.37 ^a	0.86 ± 0.07 ^a

^aMean ± S.E.; ^bMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level (n = 6).

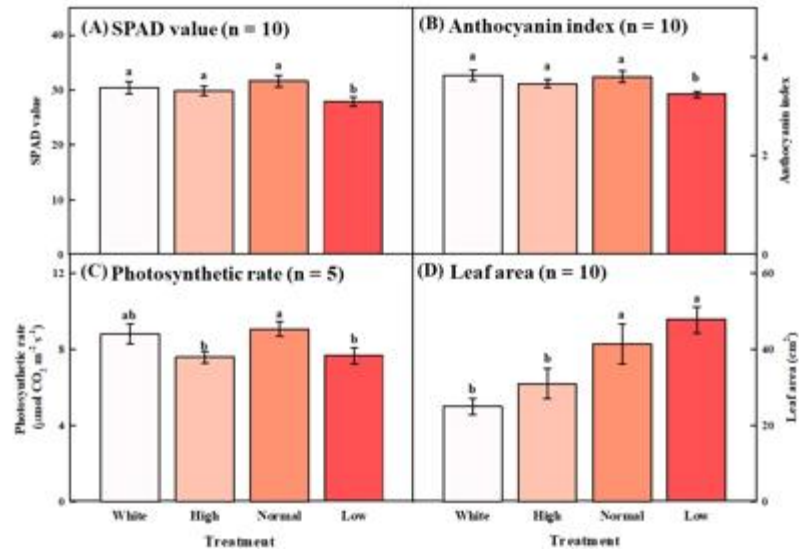


Figure 202. Effects of the different R/FR ratio treatment on SPAD value (A), anthocyanin index (B), Photosynthetic rate (C), and leaf area (D) of soybean plants. The different letters above the bars indicate the significant difference among means ($p < 0.05$). Error bars represent the standard error of 5 or 10 replicates



Figure 203. Growth of soybean under the different R/FR ratio treatment.

12) 수확 전 저온 및 고온 처리에 따른 한국민들레(*Taraxacum coreanum*)의 생리활성 및 대사 변화

11-2. 결과 및 고찰

- Fv/Fm : HT는 치료 3일 후부터 유의하게 감소하였다(Figure. 204).
- 새싹과 뿌리의 생중량 : 대조구보다 LT와 HT(▼)가 높다(Figure 205).
- 총 페놀 및 플라보노이드 함량과 ABTS 라디칼 소거 활성: 대조구(그림 41-43)보다 LT(▲)에서 증가했다.
 - 대사산물의 유의적인 변화는 LT처리에서 나타났다.
 - 254 nm의 UV 크로마토그램에서 피크($T_r = 9.3 \text{ min}$) : 2배 ▲ (LT > CON) (Figure 206).
- 결론적으로 고온처리보다는 저온처리가 흰민들레에서 페놀 및 플라보노이드 함량과 대사산물의 변화에 긍정적인 영향을 미쳤다.

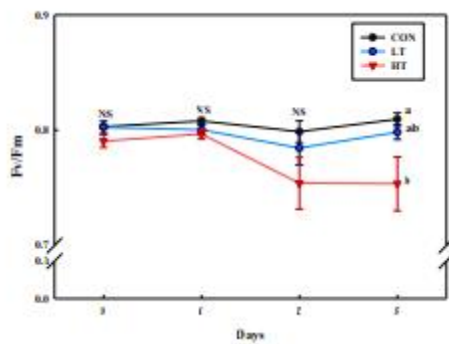


Figure 204. Fv/Fm of Korean Dandelion by temperature treatment

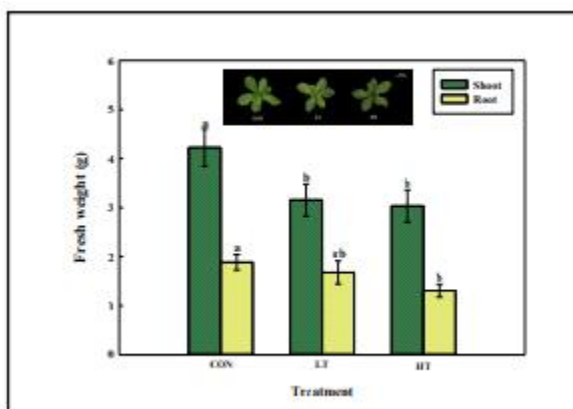


Figure 205. Fresh weight of Korean Dandelion by temperature treatment

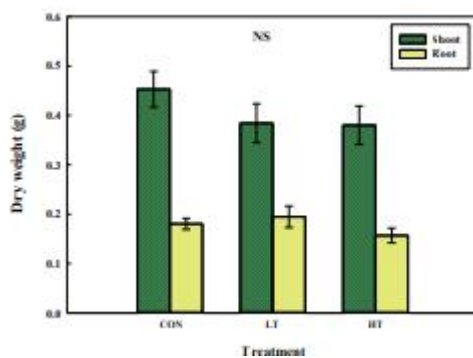


Figure 206. Dry weight of Korean Dandelion. by temperature treatment

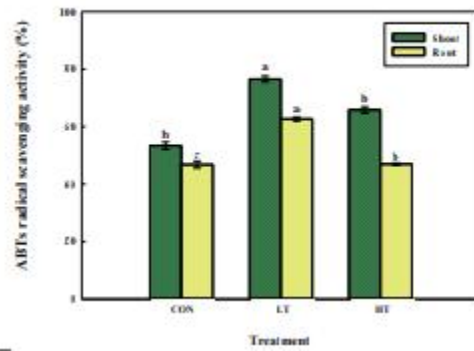


Figure 207. ABTs radical scavenging activity of Korean Dandelion by temperature treatment

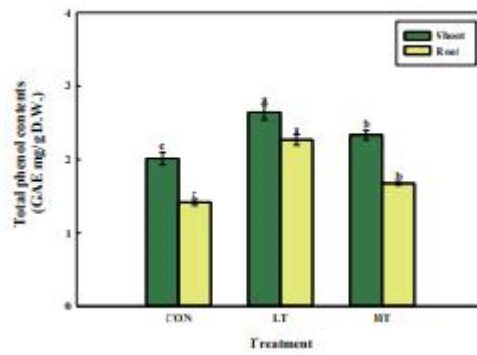


Figure 208. Total phenol contents of Korean Dandelion by temperature treatment

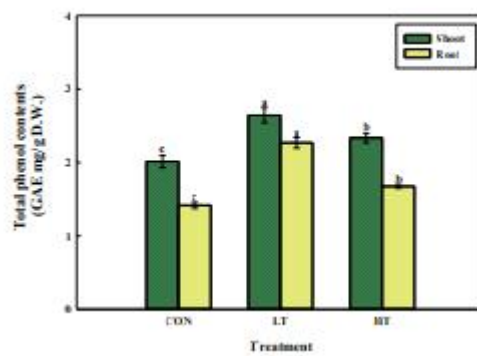


Figure 209. Total flavonoid contents of Korean Dandelion by temperature treatment.

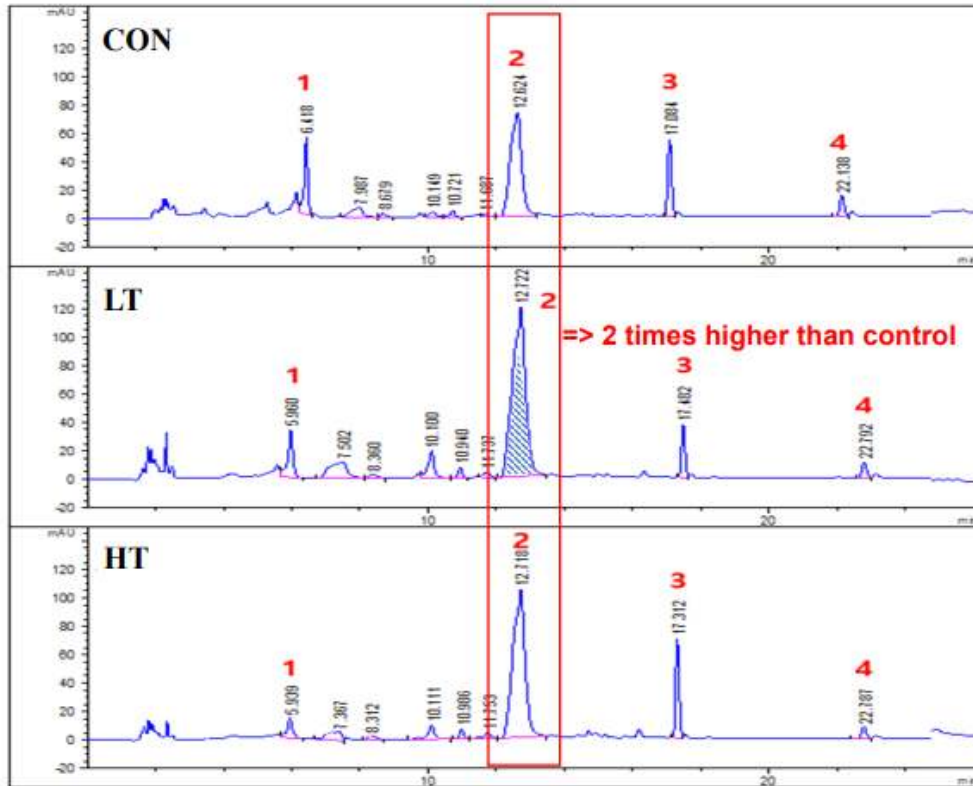


Figure 210. Fv/Fm of Korean Dandelion by temperature treatment

13). 새싹작물 이용 성분 강화 소재 생산

○ 에틸렌 처리 횟수별 도라지 수확 및 전초 길이 : 에틸렌 처리 횟수별 도라지 수확한 결과물은 Figure 211와 같았다. 0회, 3회, 및 5회를 육안으로 보았을 때의 뚜렷한 색의 차이는 보이지 않았다. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 전초의 길이를 비교한 결과는 Figure 212와 같았다. 에틸렌을 처리하지 않은 도라지의 개체당 평균 길이가 78.98 cm로 가장 길었으며, 5회처리구의 도라지의 평균 길이가 33.34 cm로 가장 짧았으며 약 2.37배의 차이를 보였다.

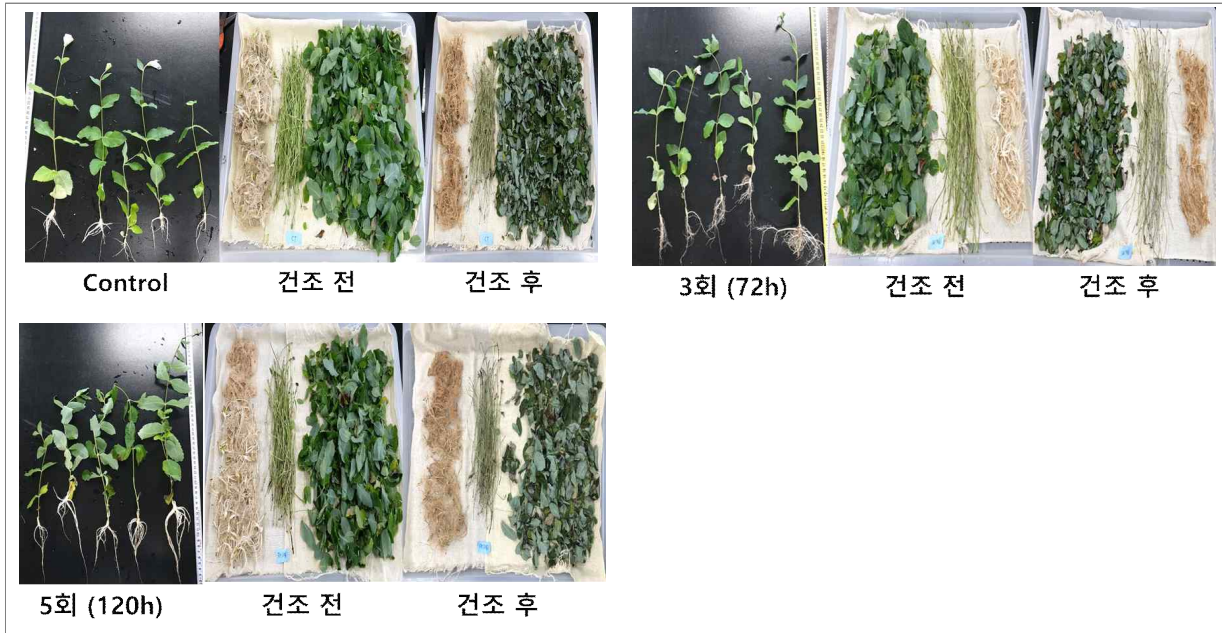


Figure 211. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 수확 후 결과물

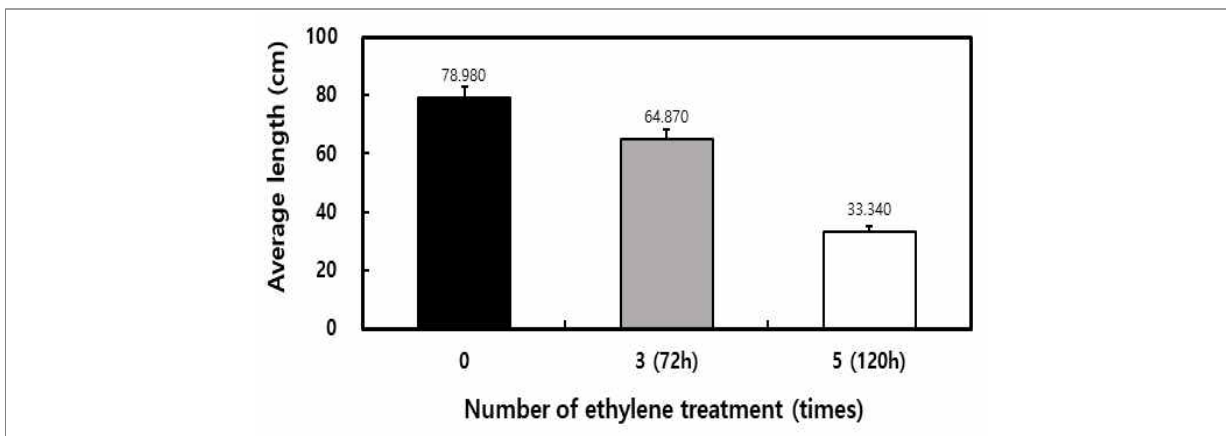


Figure 212. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 전초 길이.

○ 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 분석

■ 건조 전후 무게: 도라지 잎의 건조 전 무게는 1.778 - 2.388 g으로 3회 처리구의 잎이 가장 무게가 높았고 5회 처리구가 가장 낮았으며 약 1.34배 차이를 보였다. 건조 후 무게는 0.227 - 0.383 g으로 5회 처리구 잎이 가장 무게가 높았고 3회 처리구가 가장 낮았으며 약 1.43배 차이를 보였다.

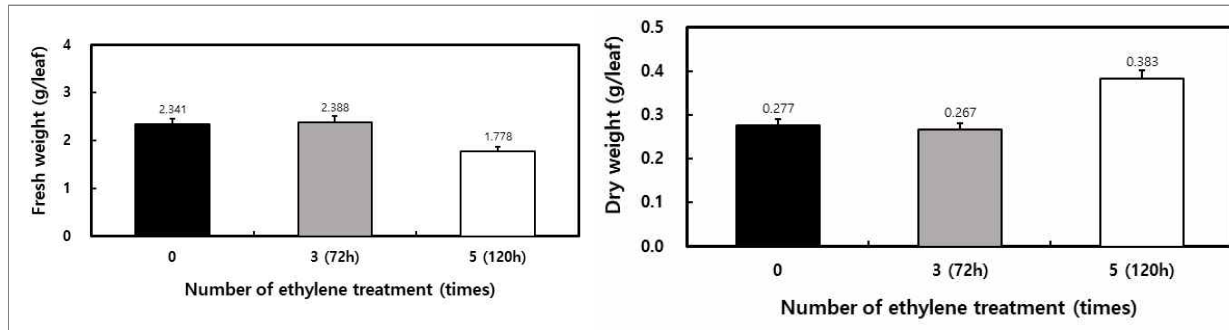


Figure 213. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 건조 전후 무게.

■ 생리활성 물질 및 항산화 활성

- 총 phenolics와 총 flavonoids 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 총 페놀릭, 플라보노이드의 변화를 측정된 결과는 Figure 214와 같았다. 총 페놀릭 함량은 3(72h) > 0 > 5(120h) 으로 측정되었다(23.221 > 21.299 > 18.335 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 중 가장 함량이 높은 횟수는 3(72h)에서, 가장 낮은 함량은 5(120h)에서 나타났다. 총 플라보노이드 함량은 3(72h) > 0 > 5(120h) 으로 측정되었다(11.297 > 10.596 > 9.064 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 중 가장 함량이 높은 횟수는 3(72h)에서, 가장 낮은 함량은 5(120h)에서 나타났다.

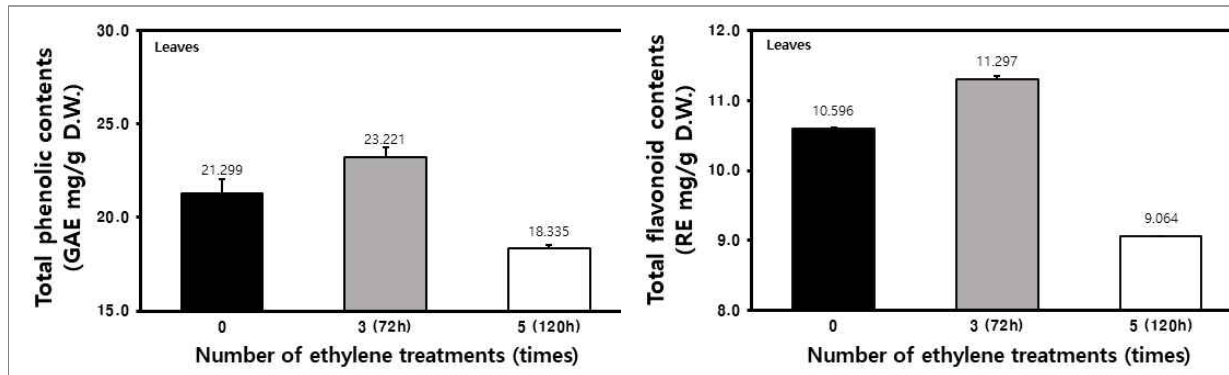


Figure 214. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 총 phenolics 및 총 flavonoids .

- 항산화 활성 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 항산화 활성 DPPH, ABTs, hydroxyl 라디칼소거 활성 및 FRAP 환원력의 그 결과 Figure 215과 같다. DPPH 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 3(72h) > 0 > 5(120h) 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 19.569 > 18.480 > 17.859 mg/g), (0.5mg/mL: 12.796 > 10.754 > 9.785 mg/g), (0.25mg/mL: 6.575 > 5.743 > 5.059 mg/g). ABTs 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 3(72h) > 0 > 5(120h) 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 33.023 > 29.885 > 25.406 mg/g), (0.5mg/mL: 18.000 > 15.438 > 13.200 mg/g), (0.25mg/mL: 11.562 > 10.177 > 9.485 mg/g). hydroxyl 라디칼 소거 활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 3(72h) > 5(120h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 66.082 > 65.265 > 64.667 %), (0.5mg/mL: 58.925 > 57.850 > 57.143 %), (0.25mg/mL: 51.184 > 50.599 > 50.653 %). FRAP 환원력의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 3(72h) > 0 > 5(120h) 순

으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 20.924 > 17.543 > 14.055 mg/g), (0.5mg/mL: 8.840 > 7.079 > 5.579 mg/g), (0.25mg/mL: 1.674 > 1.186 > 0.614 mg/g).

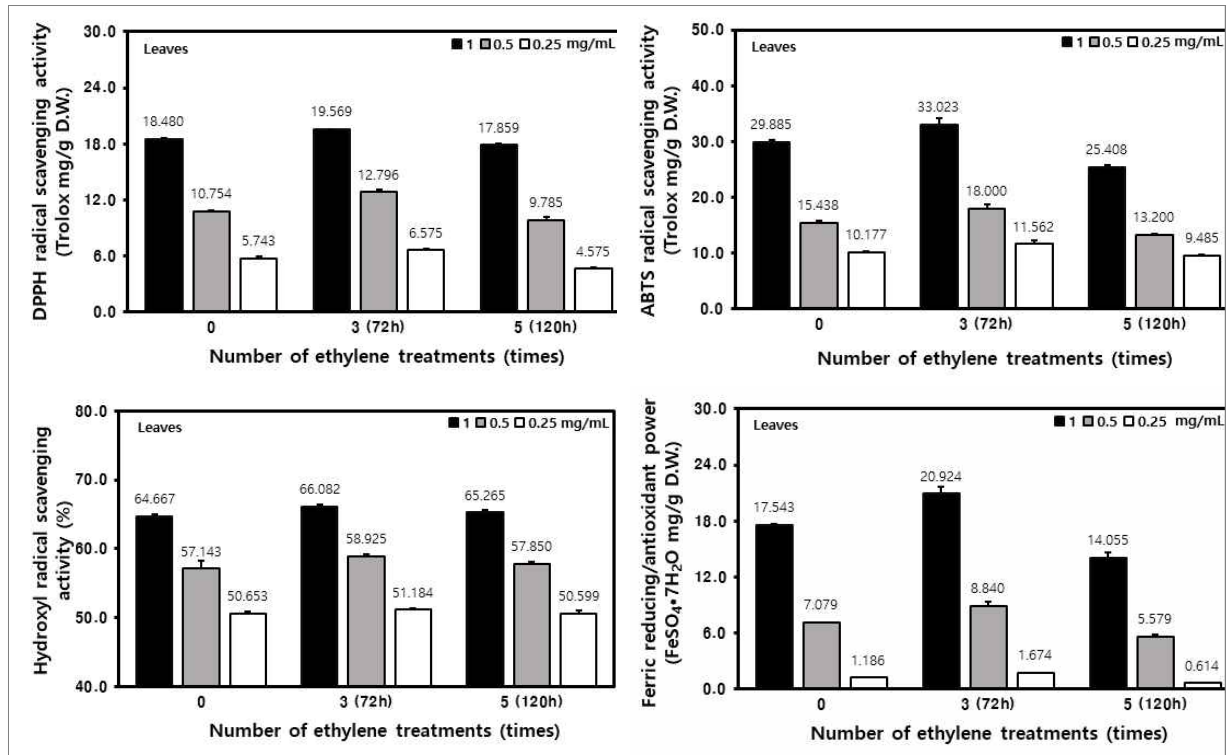


Figure 215. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 DPPH, ABTS, hydroxyl 라디칼 소거활성 및 FRAP.

- 소화효소 저해활성 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 소화효소 저해활성의 결과는 Figure 216와 같다. α -glucosidase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였다. 1 mg/mL의 농도에서는 처리 횟수별로 3(72h) > 5(120h) > 0 순으로 측정되었으나 (1mg/mL: 86.323 > 85.258 > 80.580 %), 0.5 및 0.25 mg/mL 농도에서는 3(72h) > 0 > 5(120h) 순으로 측정되었다 (0.5mg/mL: 56.336 > 31.138 > 27.293 %), (0.25mg/mL: 12.477 > 0.747 > 0.478 %). 췌장 lipase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고, 활성이 3(72h) > 0 > 5(120h) 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 49.430 > 41.930 > 39.079 %), (0.5mg/mL: 30.351 > 28.289 > 22.632 %), (0.25mg/mL: 16.754 > 11.053 > 9.342 %).

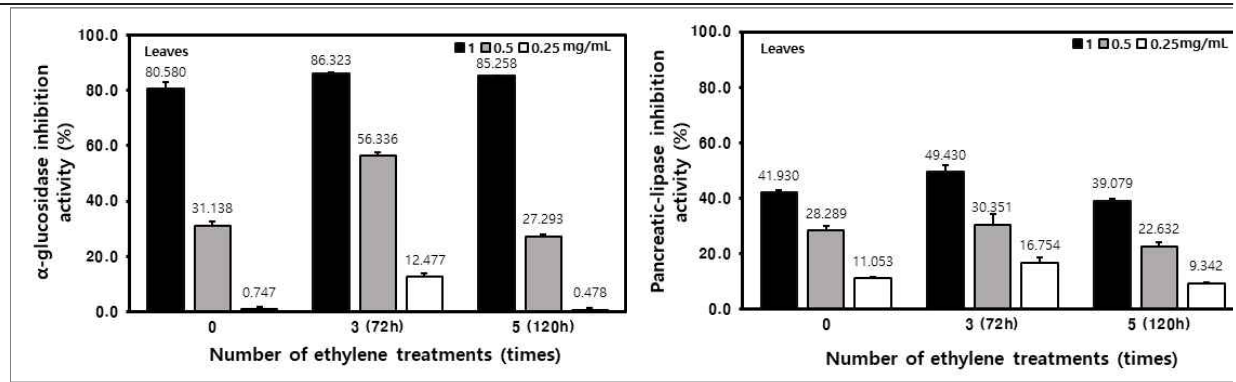


Figure 216. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 α-glucosidase 및 췌장 lipase 저해활성.

- DNA 보호효과 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 DNA 보호효과의 결과는 Figure 217와 같았다. 음성대조구에서는 DNA 손상이 나타나지 않아 Supercoiled(SC)의 형태로 나타났으며, 양성대조구에서는 H₂O₂ 및 Fe₃의 Fenton 반응에 의한 DNA 손상이 나타났음을 알 수 있다. 에틸렌 처리 횟수에 따른 도라지 잎 농축액의 DNA 보호 효과를 보면 모두 Open-circular(OC) 형태로의 전환을 관찰할 수 있다. 이것은 보호효과가 낮다는 것을 의미하며 특히 농축 농도가 낮을수록 효과도 비례하여 낮았다. 공통적으로 3가지 처리구 모두 2.5 mg/mL의 농도에서는 SC 형태의 밴드가 관찰되지 않았으며 농축액의 농도가 높아질수록 (5, 10 mg/mL) SC 형태의 밴드가 선명해졌다. 이것은 DNA 보호효과가 존재함을 나타낸다. 세부적인 차이는 미미하지만 에틸렌을 많이 처리할수록 밴드가 선명해지는 것으로 보아 에틸렌의 처리가 도라지 잎 농축액의 DNA 보호효과에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.

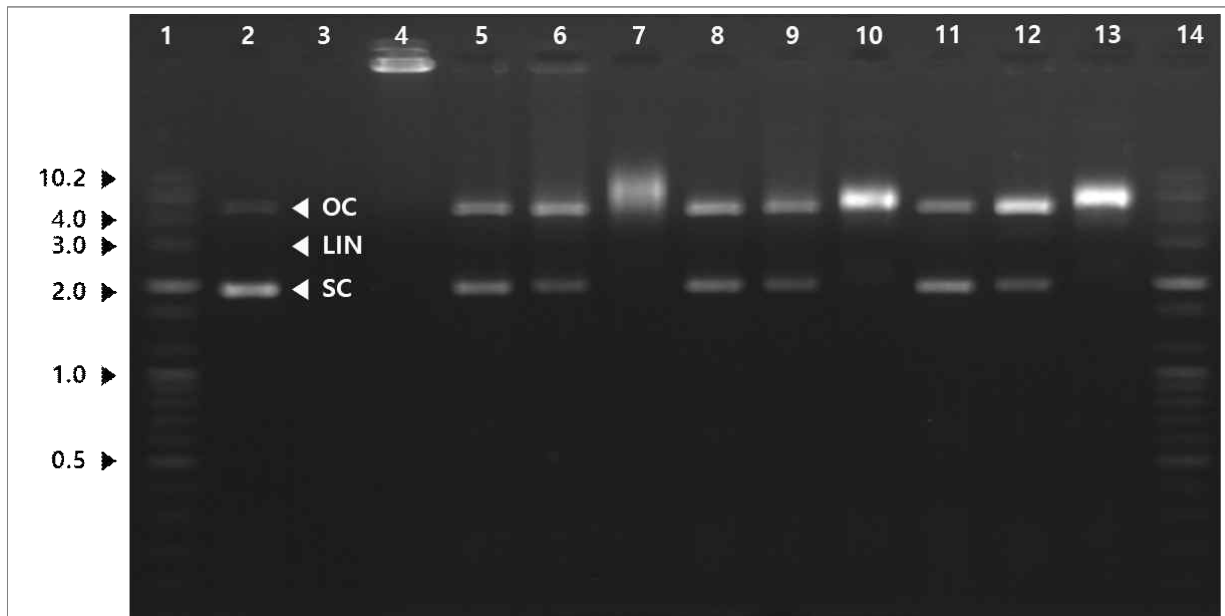


Figure 217. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 DNA 보호효과. Lane 1, size mark; lane 2, untreated; lane 3, blank; lane 4, treated; lane 5, 0 (0 hr) 10 mg/mL; lane 6, 0 (0 hr) 5 mg/mL; lane 7, 0 (0 hr) 2.5 mg/mL; lane 8, 3 (72 hr) 10 mg/mL; lane 9, 3 (72 hr) 5 mg/mL; lane 10, 3 (72 hr) 2.5 mg/mL; lane 11, 5 (120 hr) 10 mg/mL; lane 12, 5 (120 hr) 5 mg/mL; lane 13, 5 (120 hr) 2.5 mg/mL; lane 14, size mark.

■ 일반 대사체 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 (*Platycodon grandiflorus* leaves:

PGL)의 일반 대사체에 대한 결과는 Figure 218, 219, 220 및 221와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 0→3회 처리 시 상당한 변화가 나타났으며, 3→5회에서 거의 비슷한 양상이 나타났다. PLS-DA 점수 플롯에서 샘플 간의 상당한 차이가 나타나고 유의성 검사에서 p -값은 $9.26E-03$ 로 유의미한 변화를 보여준다. 순열검정에서 시료간의 상관관계에서 유의미한 차이가 나타났다. 박스플롯 및 히트맵은 샘플 간의 대사산물 함량 및 상관관계에 대해 나타내었다. 아미노산 대사산물은 에틸렌 처리 후 3회에서는 비슷하거나 약간의 변화가 있었으며, 5회에서 대부분 감소하였다. 유기산 및 당 대사산물은 처리 후에 급격히 증가하였고 5회 처리에서는 mannitol 및 trehalose은 급격한 증가가 나타났고 이외에는 비슷한 경향이 나타났다.

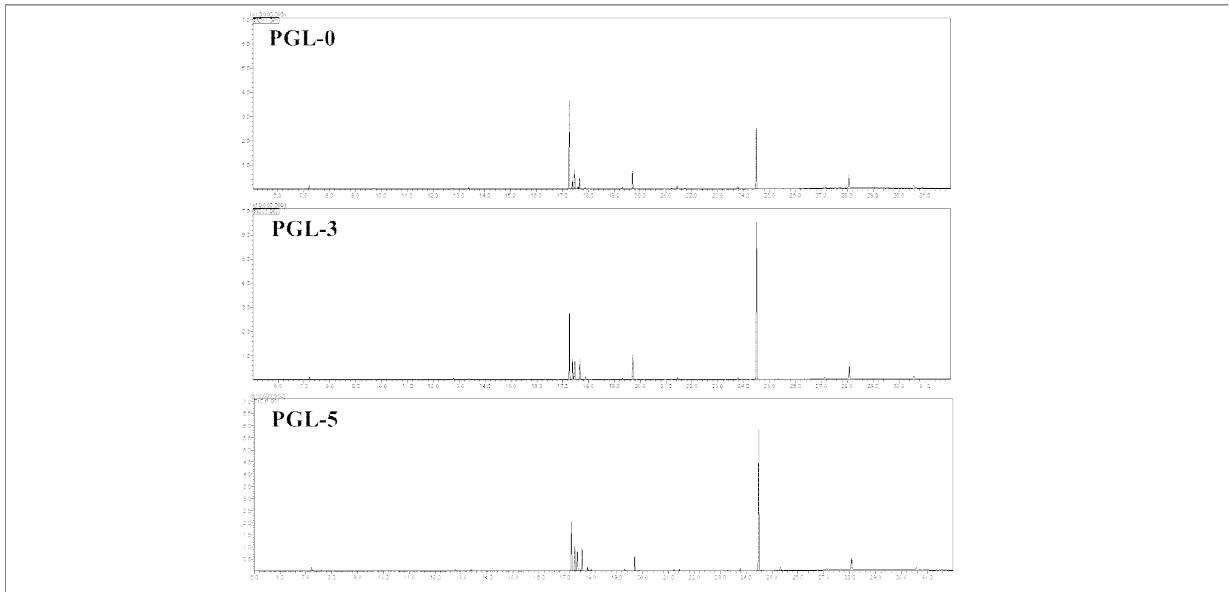


Figure 218. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 일반 대사체 GC-MS 크로마토그램.

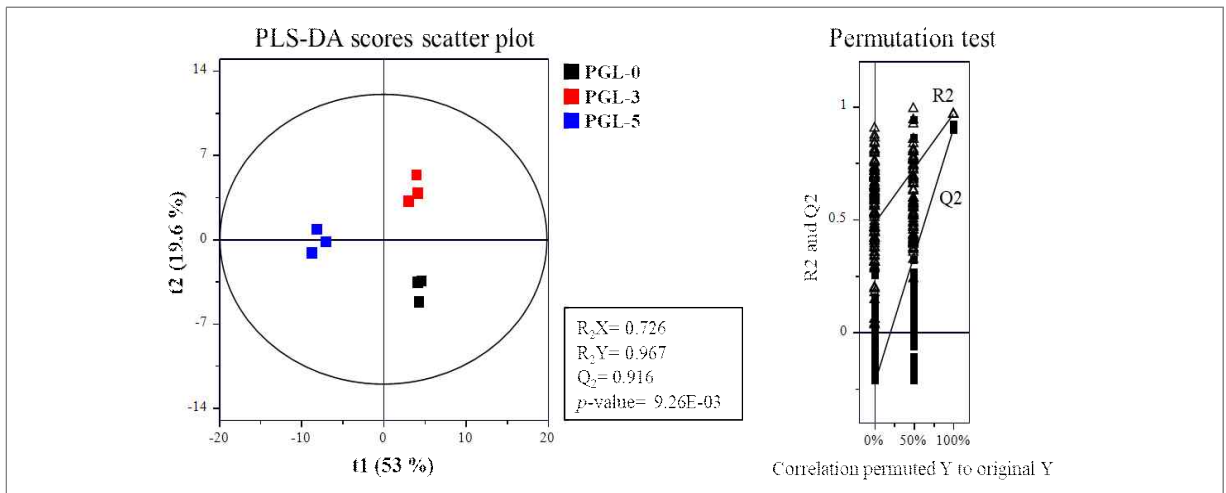


Figure 219. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

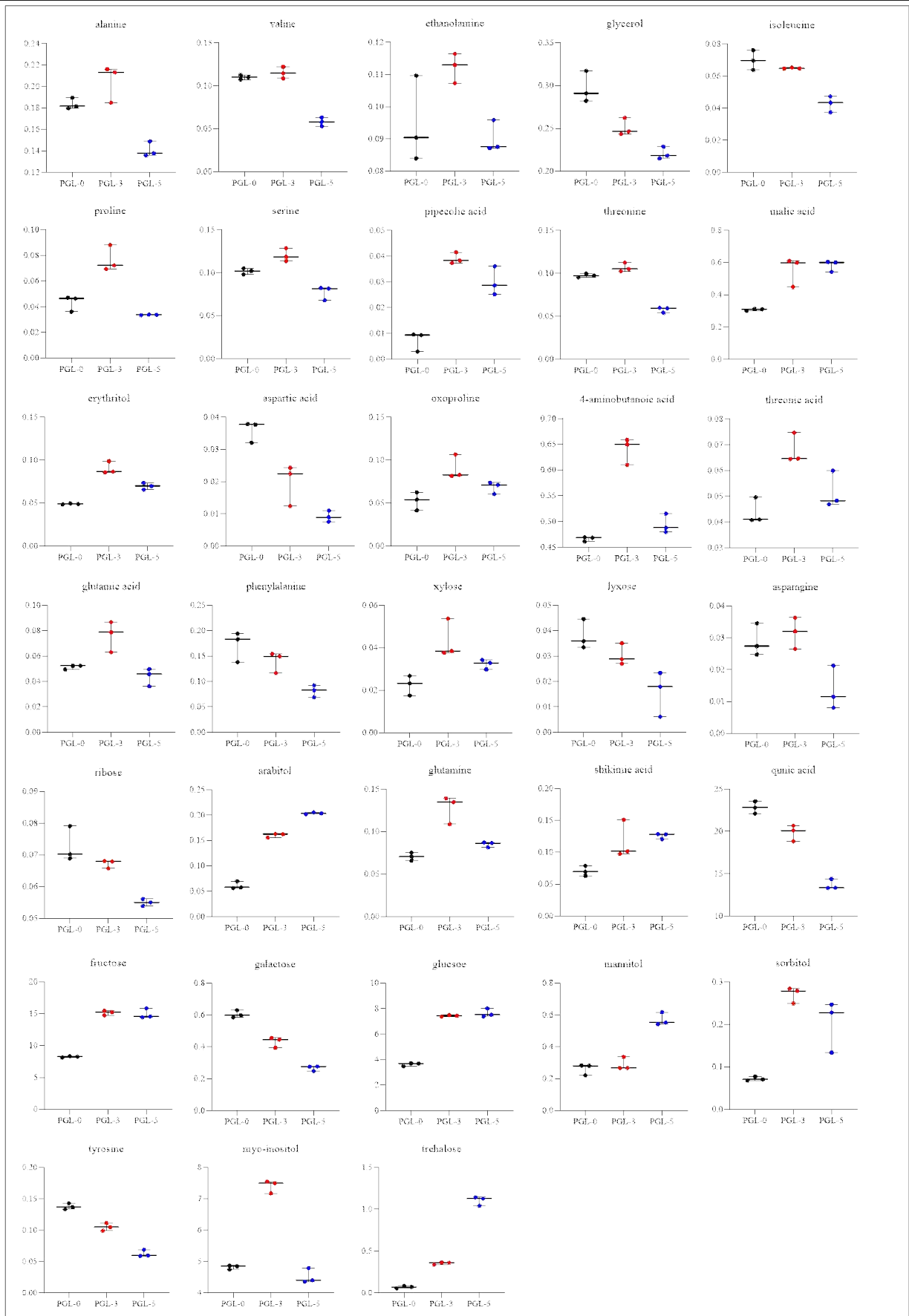


Figure 220. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 Boxplot.

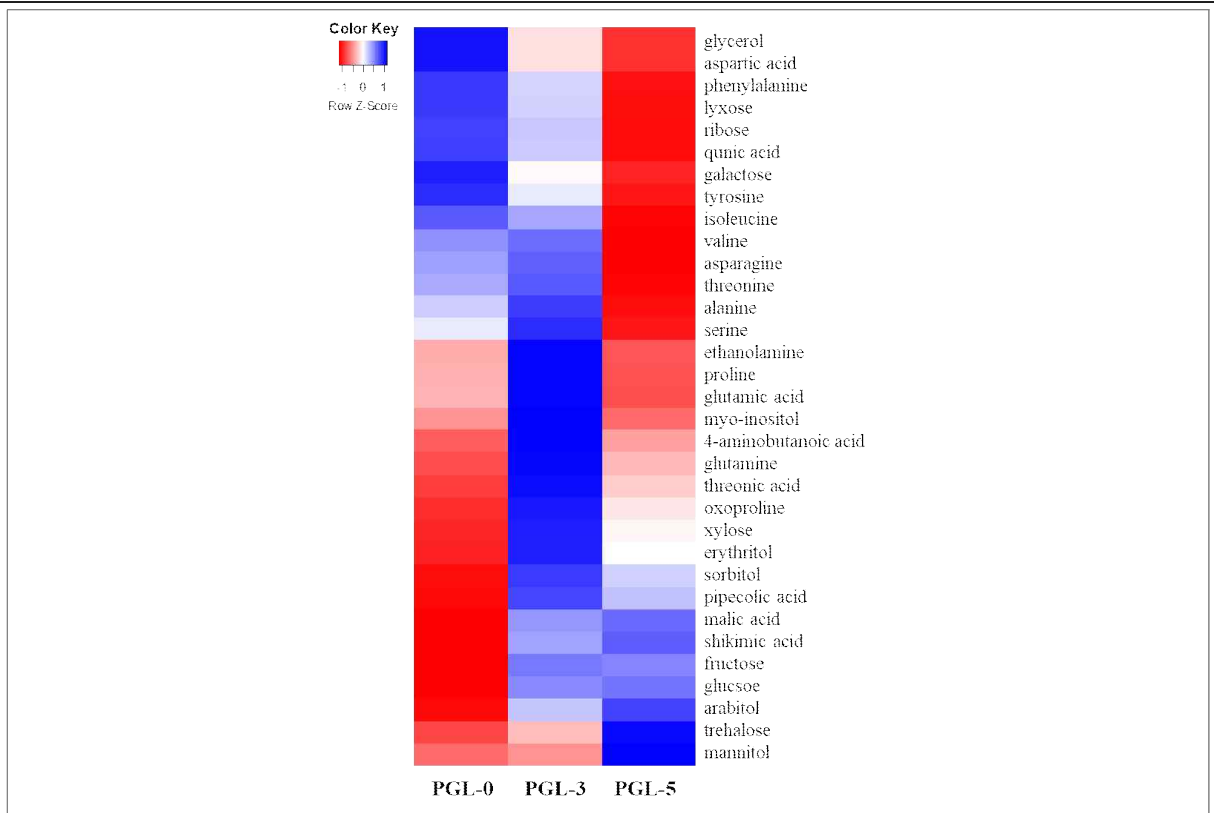


Figure 221. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 Heatmap.

■ **기능성 대사체 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 기능성 대사체에 대한 결과는 Figure 222, 223, 224 및 225와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 0→3회 처리 시 6.56분의 대사산물이 상당히 변화되는 것이 나타났다. PLS-DA 점수 플롯은 샘플 간의 상당한 변화와 p -값은 $3.07E-04$ 로 유의미한 변화를 보여준다. 순열검정은 시료간 상관관계가 뚜렷함이 보였다. 샘플 간의 대사산물 함량을 보여주는 박스 플롯에서 lusitanicoside 및 apigenin은 에틸렌 처리 후 상당히 증가되는 것이 나타났다. 히트맵에서 에틸렌 처리 후 대부분 음의 상관성이 보였지만 3회에서는 apigenin, 3-fumarylpyruvic acid, tryptophan, tangshenoside I 및 neochlorogenic acid가 5회에서는 16-OXO-platycodin, 3-p-coumaroylquinic acid, methylchlorogenic acid, ferulic acid 및 lusitanicoside가 양의 상관성을 나타내었다.

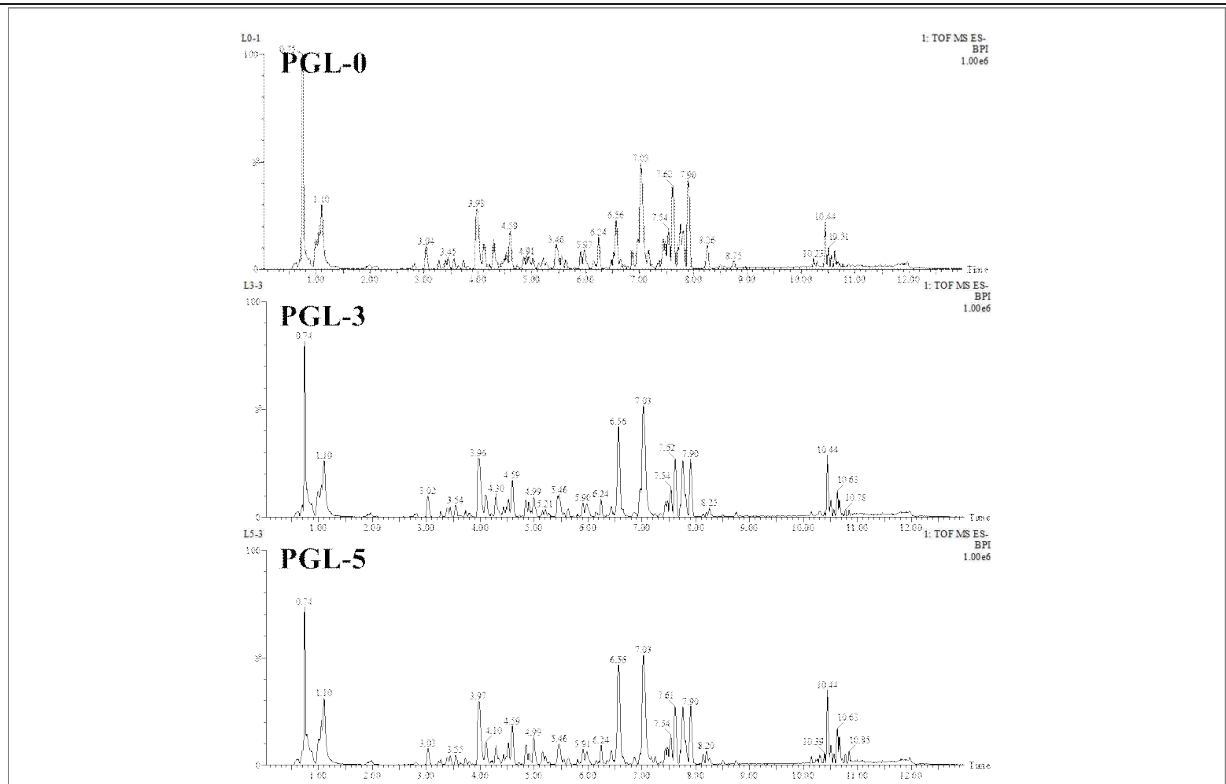


Figure 222. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 일반 대사체 LC-MS 크로마토그램.

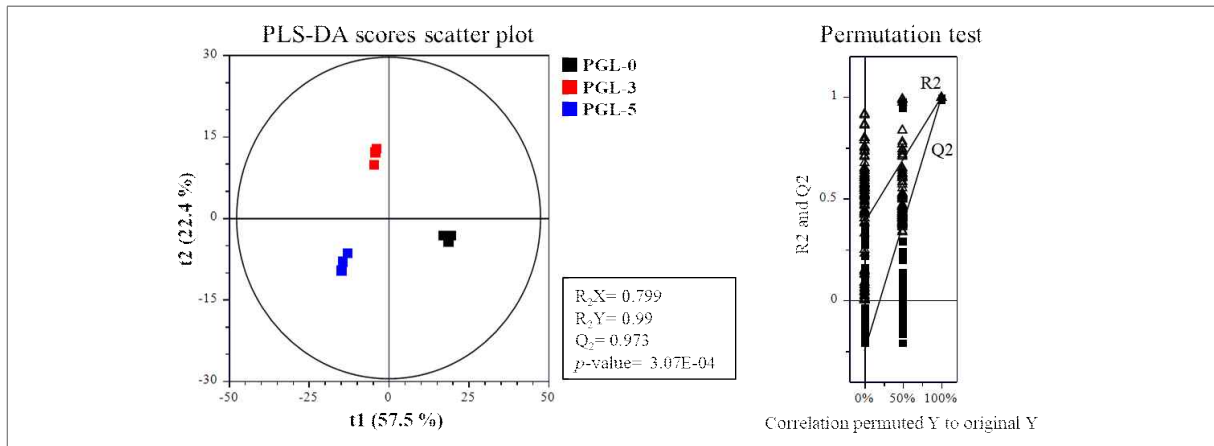


Figure 223. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

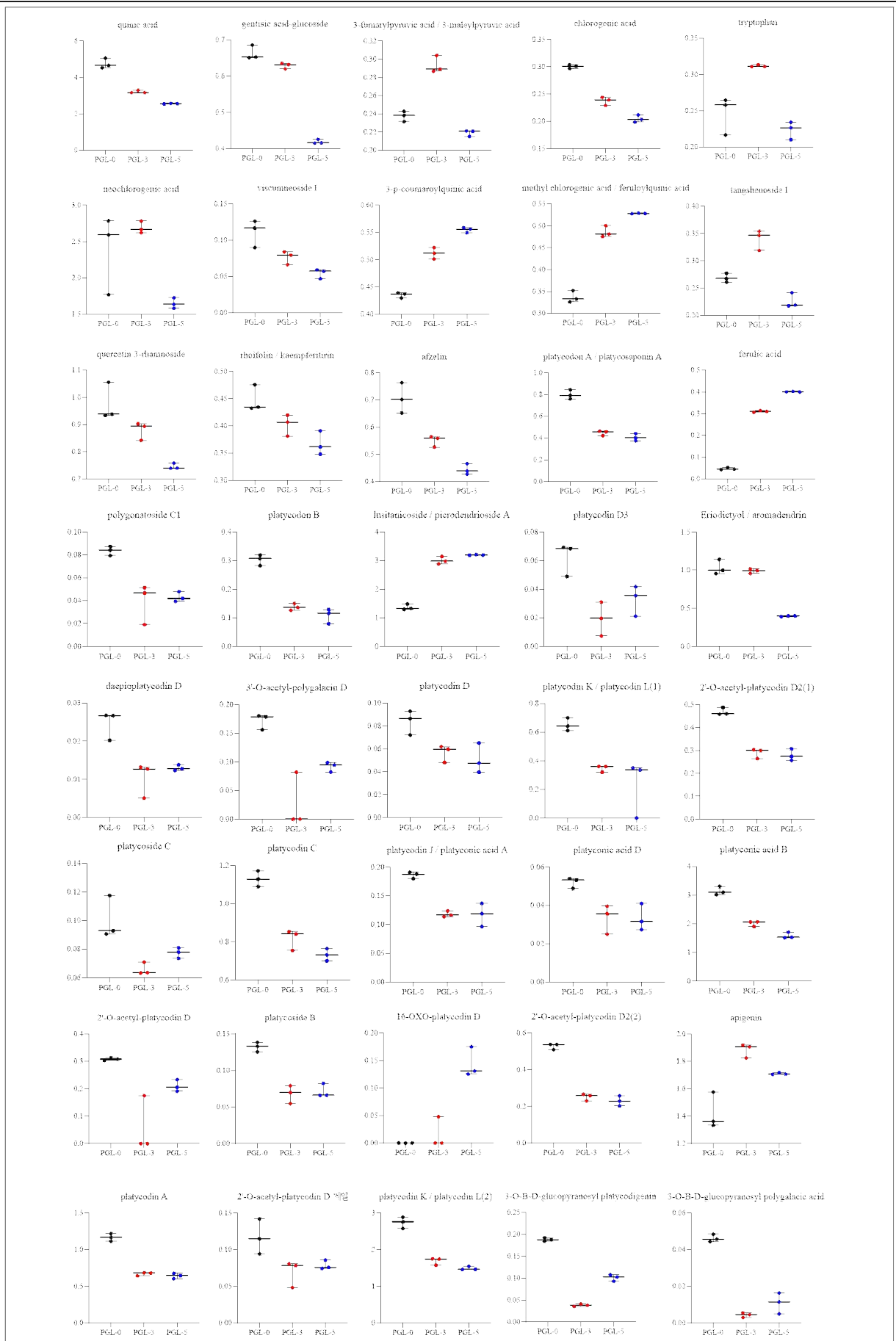


Figure 224. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 Boxplot.

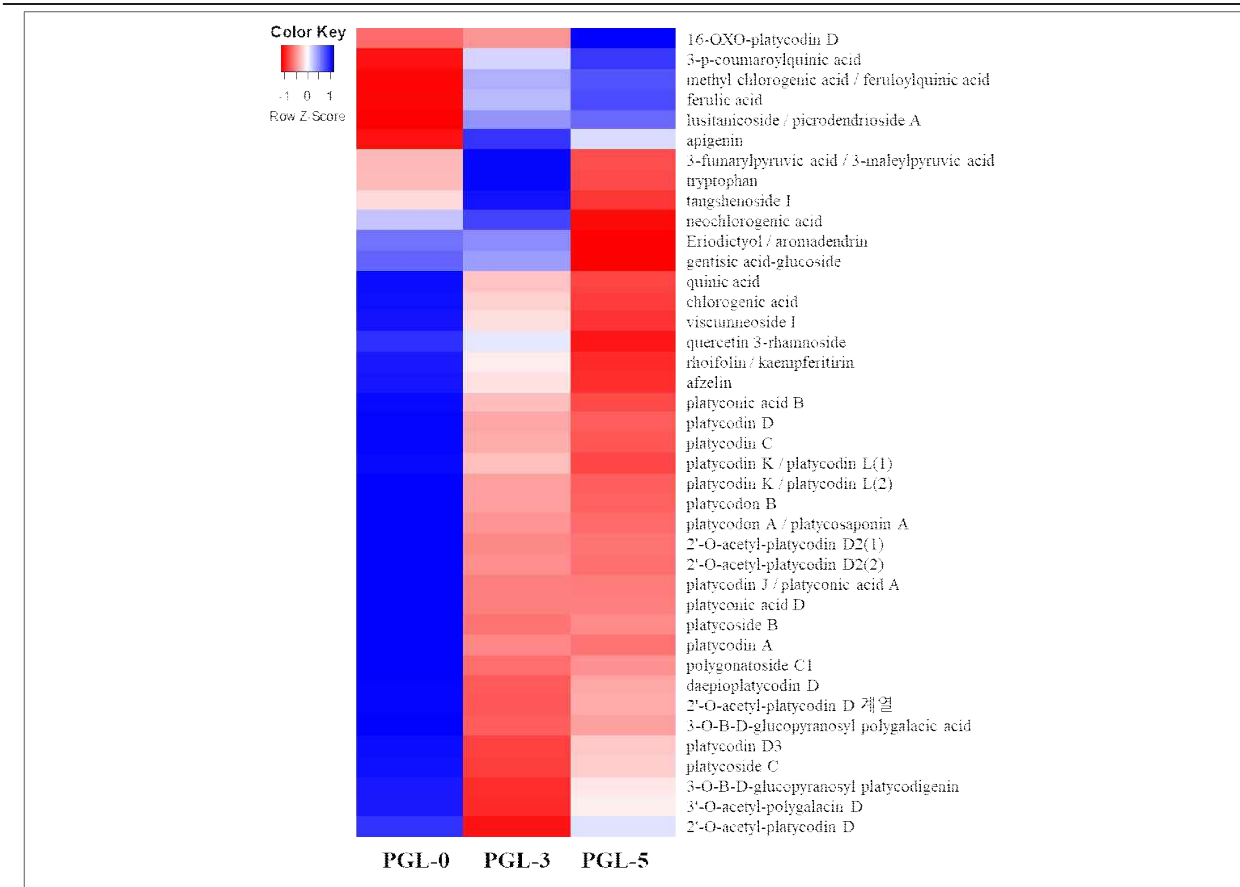


Figure 225. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎 기능성 대사체 Heatmap.

○ 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 분석

■ 건조 전후 무게: 도라지 줄기의 건조 전 무게는 0.625 - 1.034 g으로 3회 처리구의 잎이 가장 무게가 높았고 무처리구가 가장 낮았으며 약 1.65배 차이를 보였다. 건조 후 무게는 0.085 - 0.139 g으로 5회 처리구 잎이 가장 무게가 높았고 무처리구가 가장 낮았으며 약 1.64배 차이가 나며 건조 전후 일정한 양상을 보여준다.

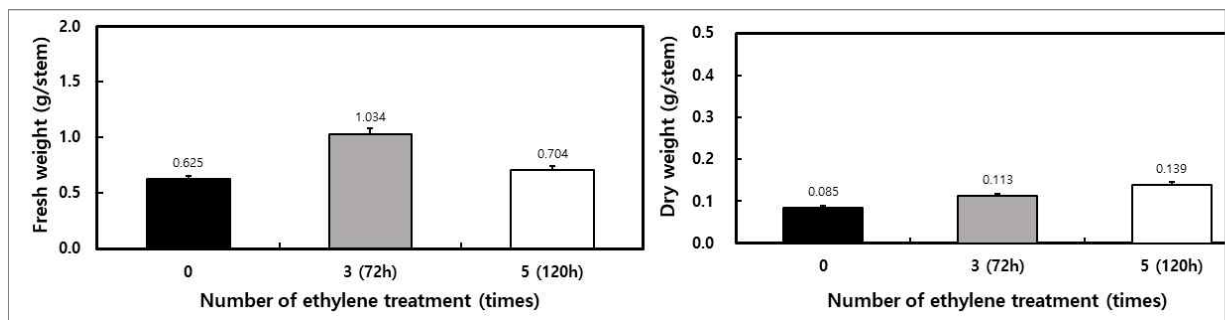


Figure 226. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 건조 전후 무게.

■ 생리활성 물질 및 항산화 활성

- 총 phenolics와 총 flavonoids 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기의 총 페놀릭, 플라보노이드의 변화를 측정 한 결과는 Figure 227와 같았다. 총 페놀릭 함량은 5(120h) > 3(72h) > 0 으로 측정되었다(8.464 > 7.964 > 7.398 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 중 가장 함량이 높은 횟수는 5(120h)에서, 가장 낮은 함량은 0에서 나타났

다. 총 플라보노이드 함량은 3(72h) > 5(120h) > 0 으로 측정되었다(1.942 > 1.907 > 1561 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 중 가장 함량이 높은 횟수는 3(72h)에서, 가장 낮은 함량은 0에서 나타났다.

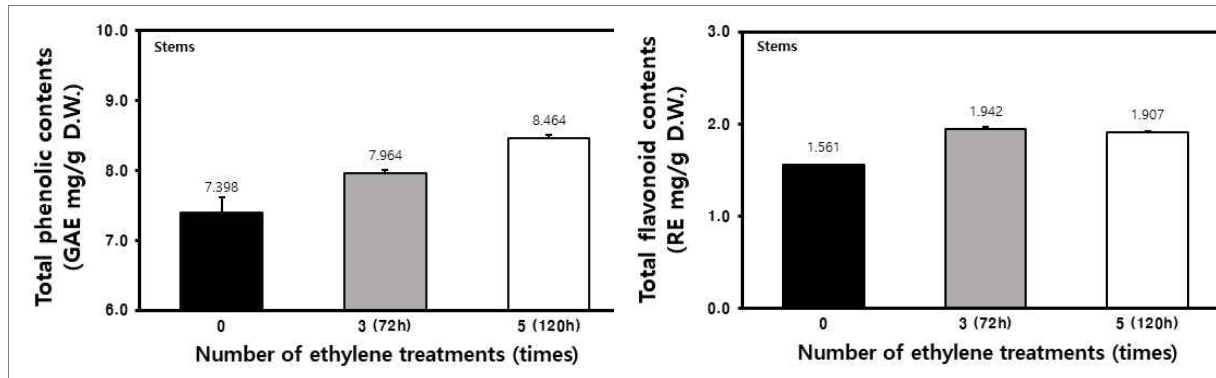


Figure 227. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 총 phenolics 및 총 flavonoids .

- **항산화 활성 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기의 항산화 활성 DPPH, ABTs, hydroxyl 라디컬소거 활성 및 FRAP 환원력의 그 결과 Figure 228과 같다. DPPH 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 3.180 > 2.856 > 2.551 mg/g), (0.5mg/mL: 1.450 > 1.438 > 1.257 mg/g), (0.25mg/mL: 0.808 > 0.760 > 0.605 mg/g). ABTs 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 1, 0.5 mg/mL에서는 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 측정되었지만 0.25 mg/mL의 농도에서는 0 > 5(120h) > 3(72h) 순으로 측정 되었다. (1mg/mL: 3.201 > 3.039 > 2.905 mg/g), (0.5mg/mL: 1.770 > 1.461 > 1.313 mg/g), (0.25mg/mL: 0.132 > 0.113 > 0.108 mg/g). hydroxyl 라디칼 소거 활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도 별로 측정하였고 1, 0.25 mg/mL에서는 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 측정되었지만 0.5 mg/mL의 농도에서는 5(120h) > 0 > 3(72h) 순으로 측정 되었다.(1mg/mL: 65.061 > 64.952 > 63.850 %), (0.5mg/mL: 60.816 > 60.259 > 60.259 %), (0.25mg/mL: 52.925 > 51.401 > 49.714 %). FRAP 환원력의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 3.992 > 3.590 > 3.470 mg/g), (0.5mg/mL: 1.342 > 1.256 > 1.047 mg/g), (0.25mg/mL: 0.556 > 0.420 > 0.323 mg/g).

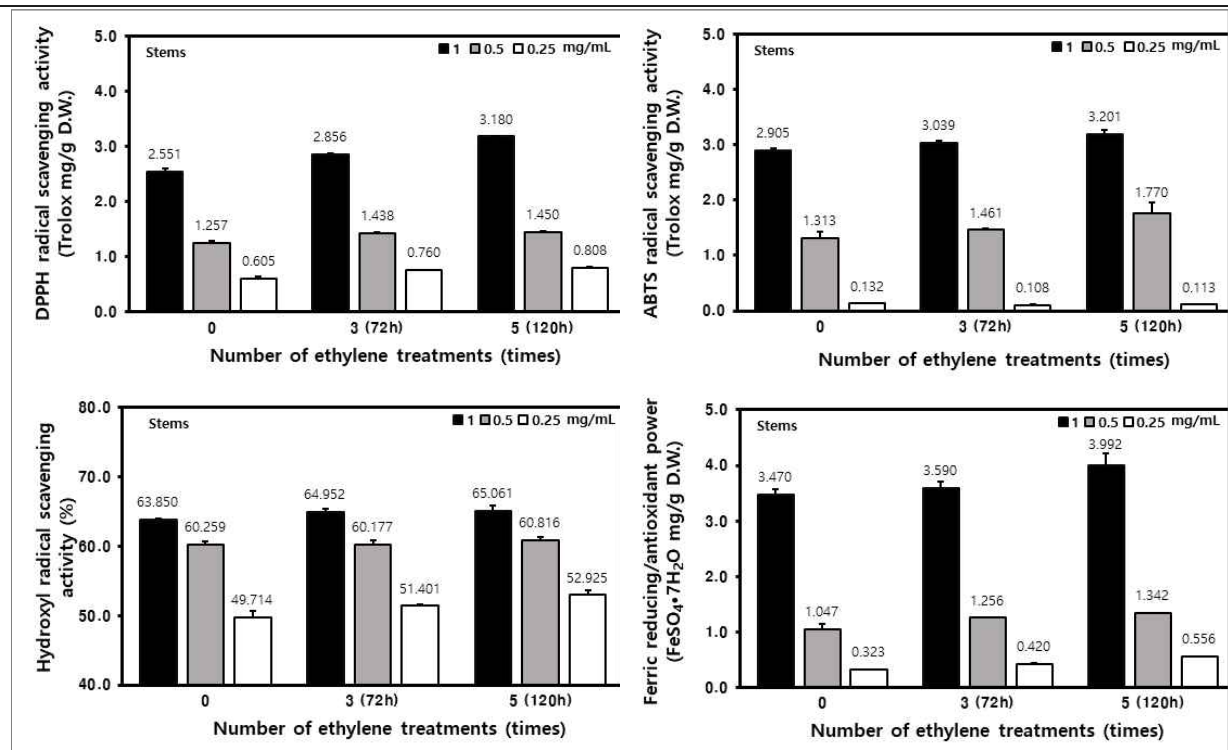


Figure 228. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 DPPH, ABTS, hydroxyl 라디칼 소거활성 및 FRAP.

- 소화효소 저해활성 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기의 소화효소 저해활성의 결과는 Figure 229와 같다. α -glucosidase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였다. 1 및 0.5 mg/mL의 농도에서는 처리 횟수별로 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 측정되었으나 (1mg/mL: 67.234 > 62.238 > 58.687 %), (0.5mg/mL: 28.738 > 10.236 > 0.294 %), 0.25 mg/mL 농도에서는 3(72h) > 5(120h) > 0 순으로 측정되었다 (0.25mg/mL: 1.371 > 0.453 > 0.184 %). 췌장 lipase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였다. 1 및 0.5 mg/mL의 농도에서는 처리 횟수별로 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 측정되었으나 (1mg/mL: 31.974 > 31.579 > 25.000 %), (0.5mg/mL: 18.860 > 17.412 > 16.228 %), 0.25 mg/mL 농도에서는 5(120h) = 0 > 3(72h) 순으로 측정되었다. (0.25mg/mL: 7.939 = 7.939 > 7.149 %).

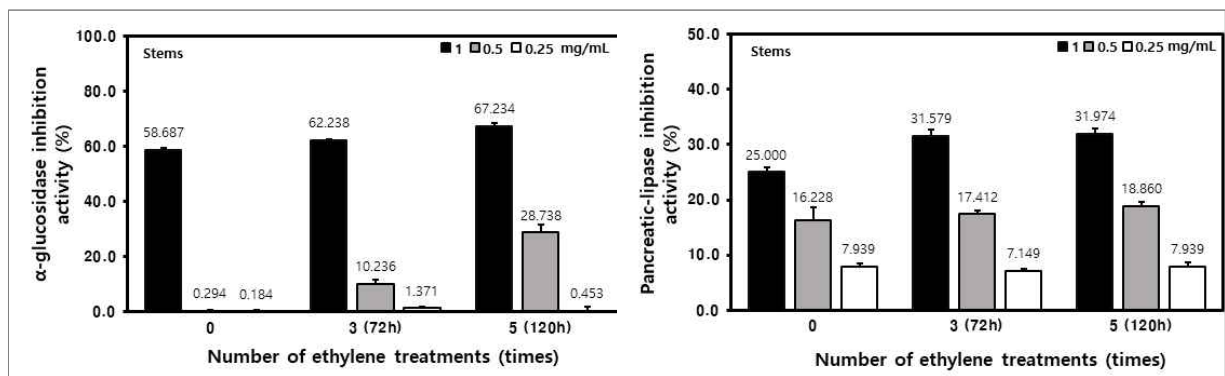


Figure 229. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 α -glucosidase 및 췌장 lipase 저해활성.

- DNA 보호효과 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기의 DNA 보호효과의 결과는 Figure 230와 같았다. 음성대조구에서는 DNA 손상이 나타나지 않아 Supercoiled(SC)의

형태로 나타났으며, 양성대조구에서는 H₂O₂ 및 Fe₃의 Fenton 반응에 의한 DNA 손상이 나타났음을 알 수 있다. 에틸렌 처리 횟수에 따른 도라지 줄기 농축액의 DNA 보호 효과를 보면 대부분의 샘플에서 Open-circular(OC) 형태로의 전환을 관찰할 수 있다. 이것은 보호효과가 낮다는 것을 의미한다. 공통적으로 3가지 처리구 모두 2.5, 5 mg/mL 농도에서는 SC 형태의 밴드가 관찰되지 않았으며 10 mg/mL에서는 희미하게 관찰되었다. 10 mg/mL 농도의 밴드를 확인하였을 때 줄기에서는 앞과는 다르게 에틸렌을 처리할수록 희미해졌으며 이는 에틸렌의 처리가 줄기의 DNA 보호 효과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

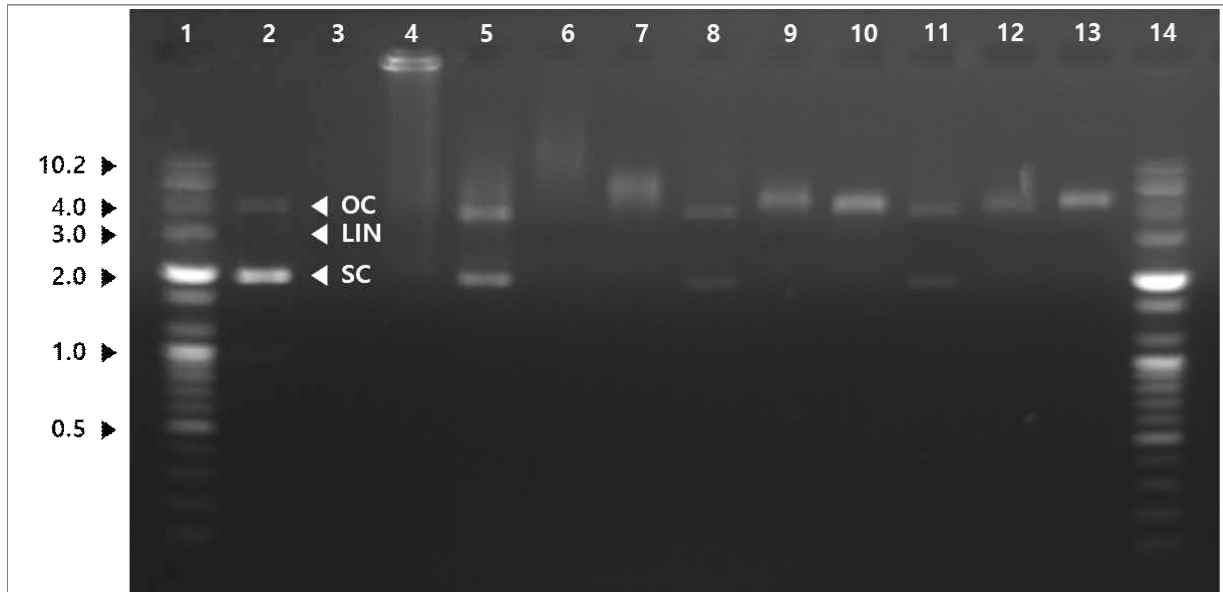


Figure 230. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 DNA 보호효과. Lane 1, size mark; lane 2, untreated; lane 3, blank; lane 4, treated; lane 5, 0 (0 hr) 10 mg/mL; lane 6, 0 (0 hr) 5 mg/mL; lane 7, 0 (0 hr) 2.5 mg/mL; lane 8, 3 (72 hr) 10 mg/mL; lane 9, 3 (72 hr) 5 mg/mL; lane 10, 3 (72 hr) 2.5 mg/mL; lane 11, 5 (120 hr) 10 mg/mL; lane 12, 5 (120 hr) 5 mg/mL; lane 13, 5 (120 hr) 2.5 mg/mL; lane 14, size mark.

■ **일반 대사체 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기(PGST)의 일반 대사체에 대한 결과는 Figure 231, 232, 233 및 234와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 에틸렌 처리 시 상당한 변화가 나타났다. PLS-DA 점수 플롯에서 샘플 간의 유의성 검사에서 p -값은 4.75E-04로 유의미한 변화를 보여준다. 순열검정에서 시료 간의 상관관계의 차이가 나타났다. 박스플롯 및 히트맵은 샘플 간의 대사산물 함량 및 상관관계에 대해 나타내었다. 아미노산 대사산물은 에틸렌 처리 후 3회에서 상당히 증가되는 것이 검출되었으며, 5회에서 대부분 감소하였다. 유기산 및 당 대사산물은 5회 처리에서는 상당히 증가되었고, 특히 myo-inositol 및 glucose가 높은 수치의 함량이 증가되었다.

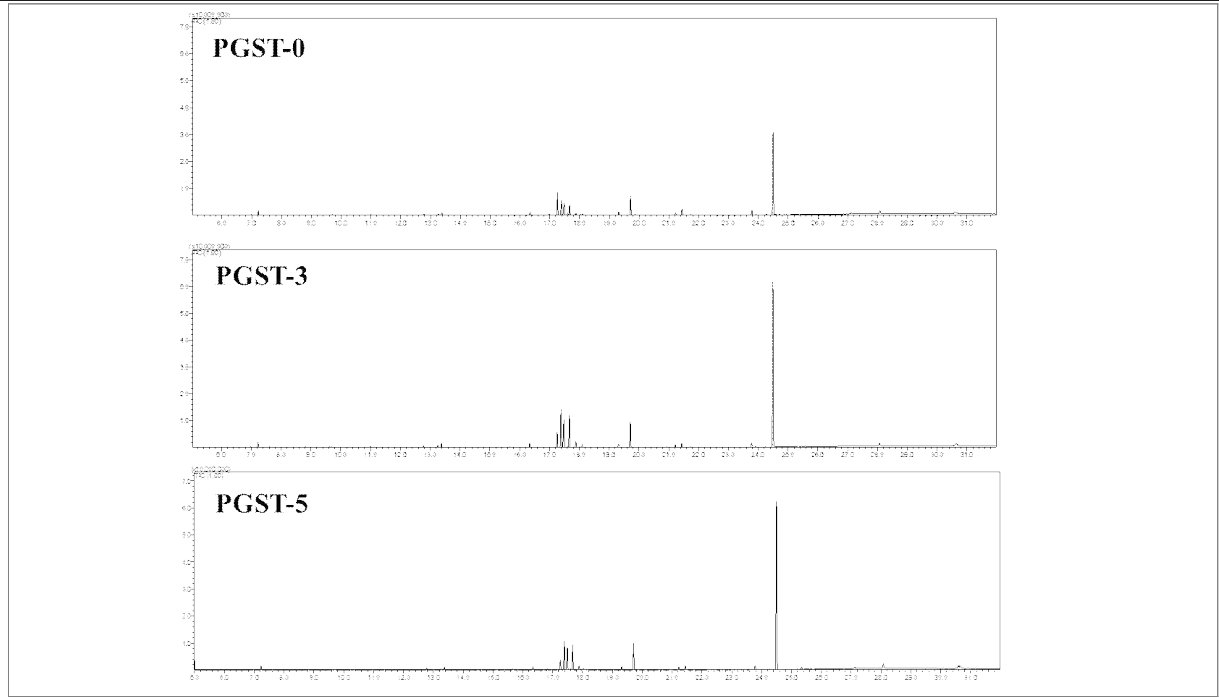


Figure 231. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 일반 대사체 GC-MS 크로마토그램.

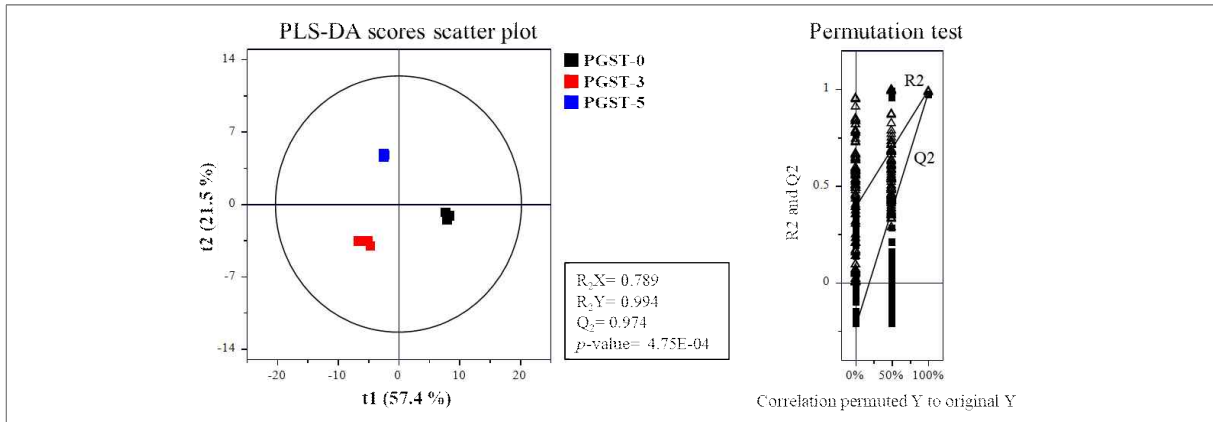


Figure 232. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

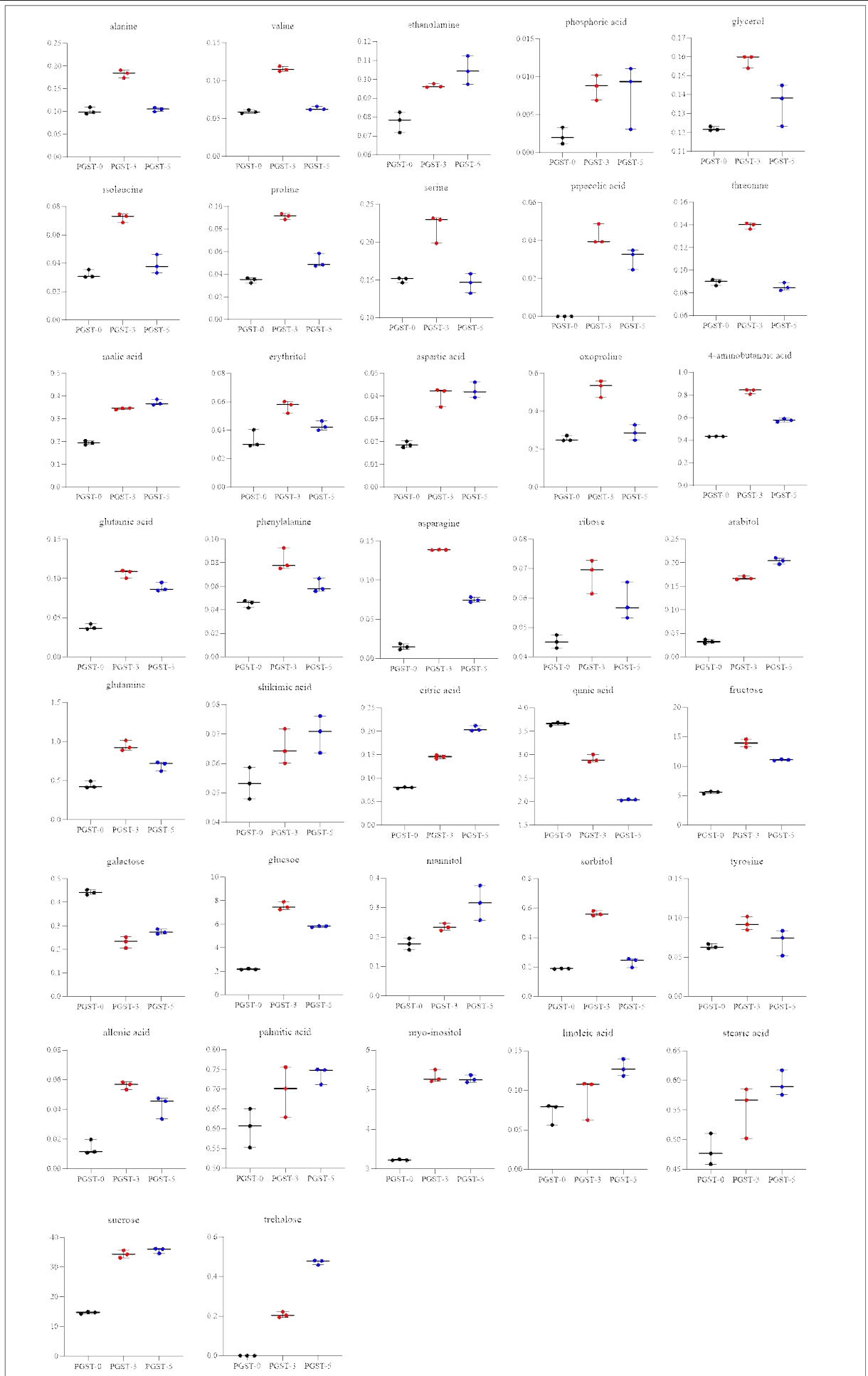


Figure 233. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 Boxplot.

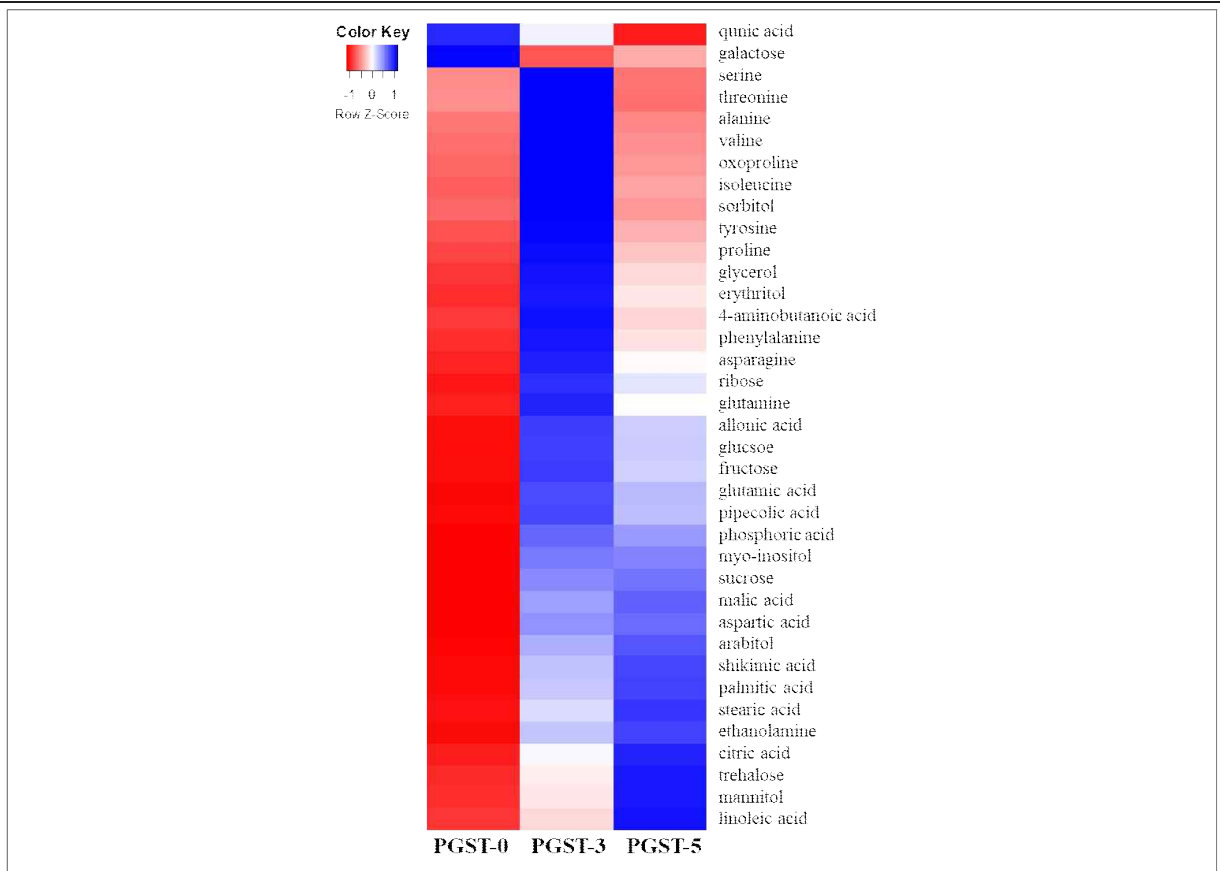


Figure 234. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 Heatmap.

■ **기능성 대사체 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 기능성 대사체에 대한 결과는 Figure 235, 236, 237 및 238와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 에틸렌 처리 시 6.56분의 대사산물이 상당히 변화되는 것이 나타났다. PLS-DA 점수 플롯은 샘플 간의 상당한 변화와 p -값은 $3.72E-03$ 로 유의미한 변화를 보여준다. 순열검정은 시료간 상관성이 나타났다. 샘플 간의 대사산물 함량을 보여주는 박스 플롯에서 lusitanicoside은 에틸렌 처리 후 상당히 증가되는 것이 나타났다. 히트맵에서 에틸렌 처리 후 3회에서는 kaempferol, gentisic acid-glucoside가 5회에서는 lusitanicoside, tryptophan, 3-fumarylpyruvic acid 및 citric acid가 양의 상관성을 나타내었다.

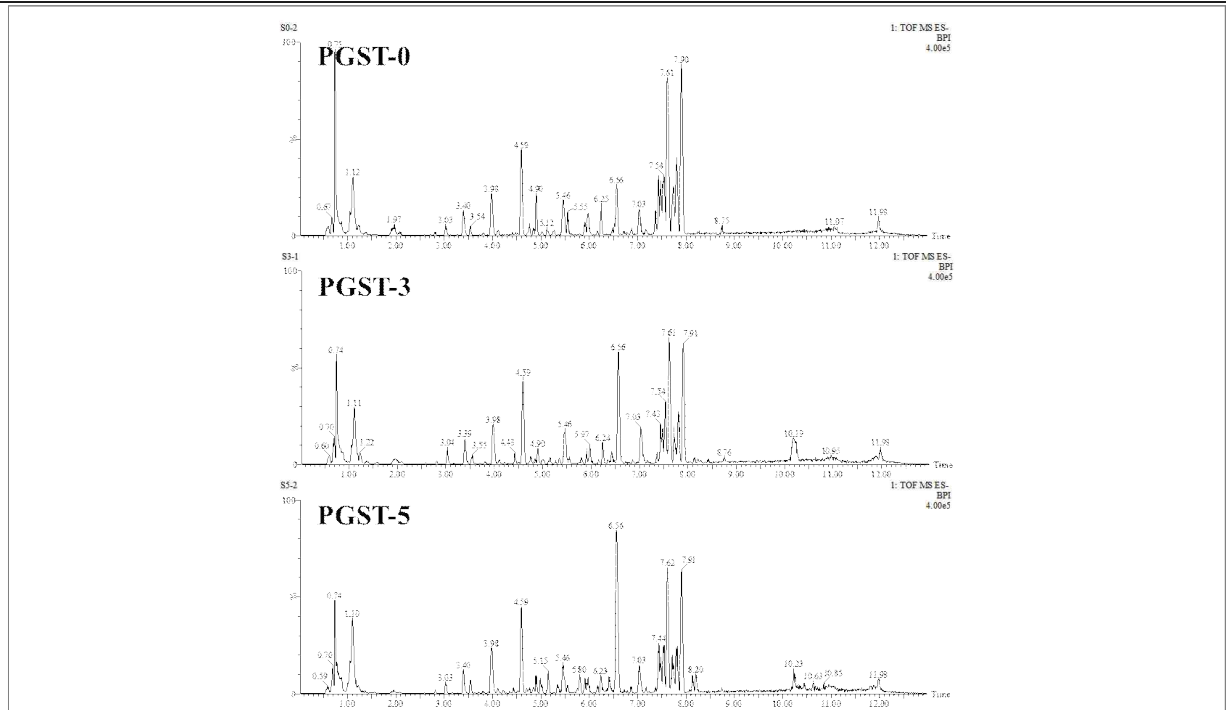


Figure 235. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 일반 대사체 LC-MS 크로마토그램.

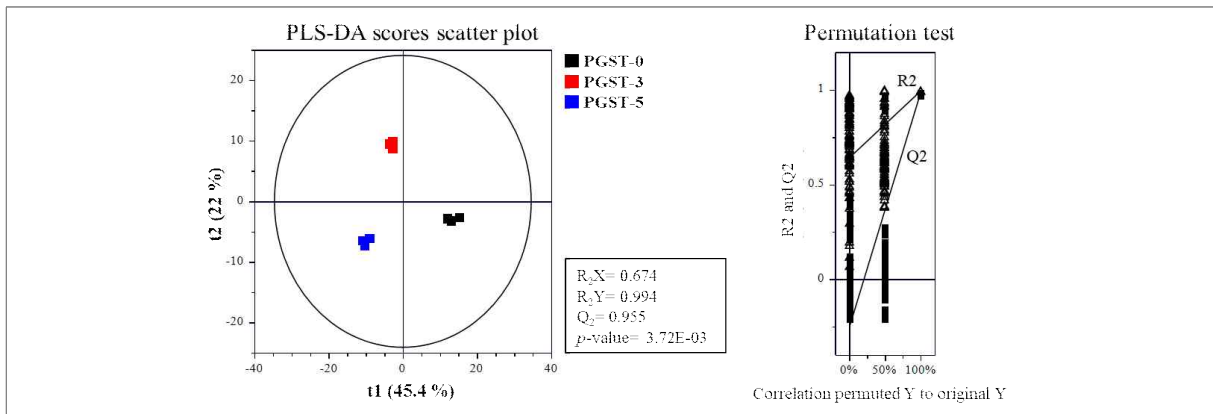


Figure 236. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

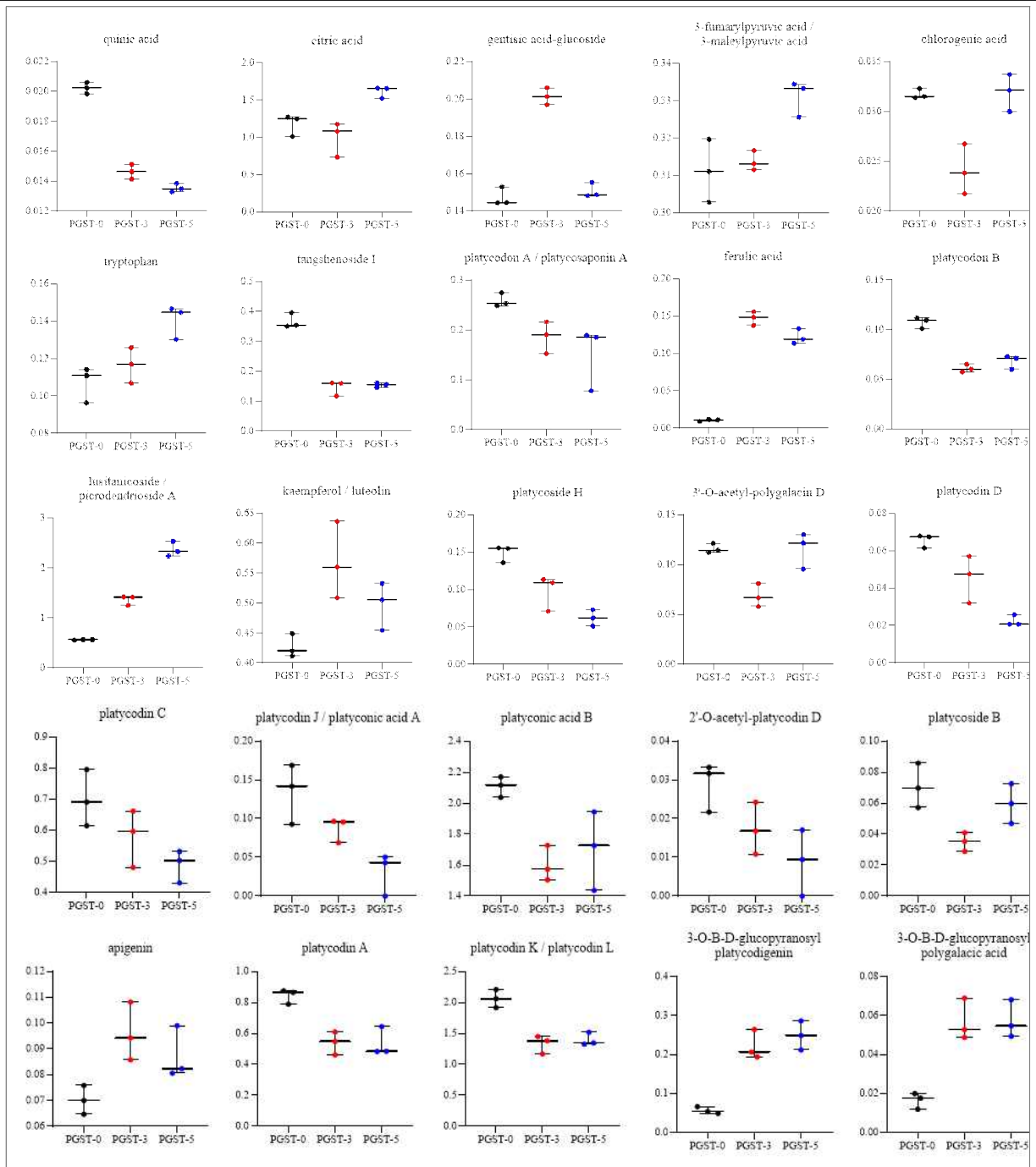


Figure 237. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 Boxplot.

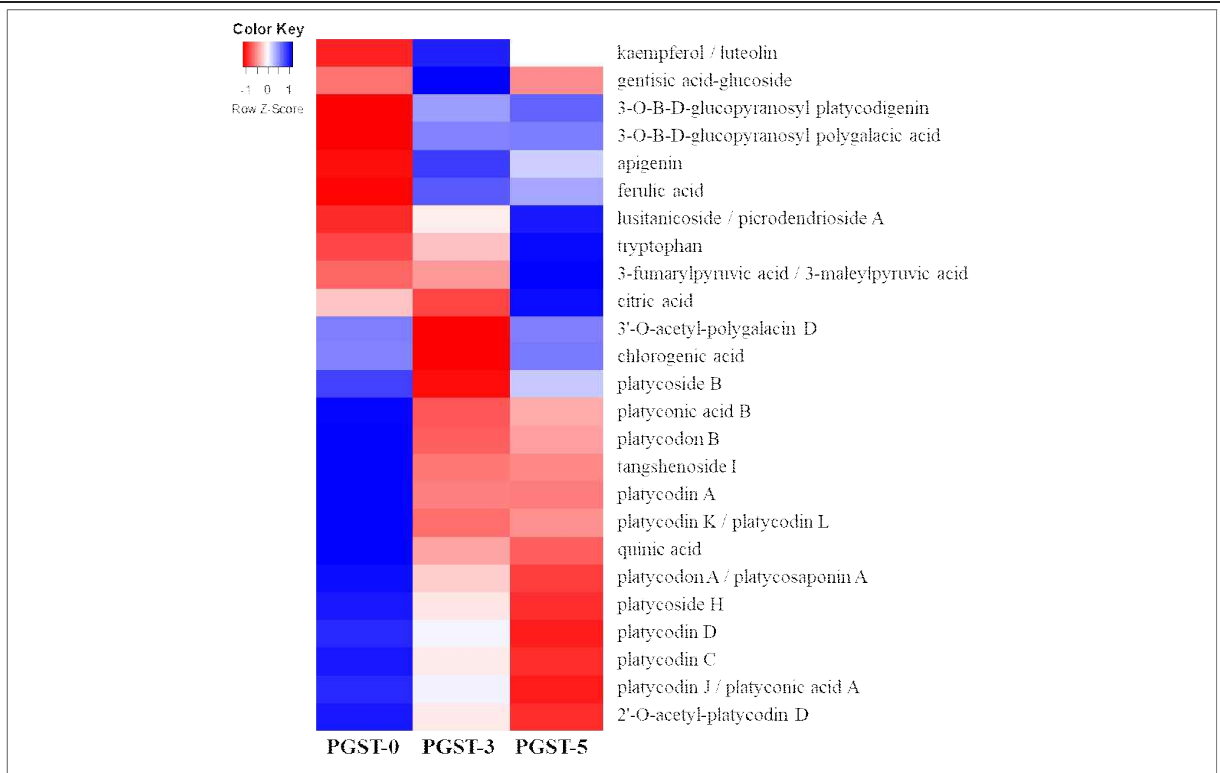


Figure 238. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 줄기 기능성 대사체 Heatmap.

○ 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 분석

■ 건조 전후 무게: 도라지 뿌리의 건조 전 무게는 0.811 - 2.085 g으로 5회 처리구의 잎이 가장 무게가 높았고 3회 처리구가 가장 낮았으며 약 2.57배 차이를 보였다. 건조 후 무게는 0.140 - 0.193 g으로 5회 처리구 잎이 가장 무게가 높았고 무처리구가 가장 낮았으며 약 1.39배 차이를 보였다.

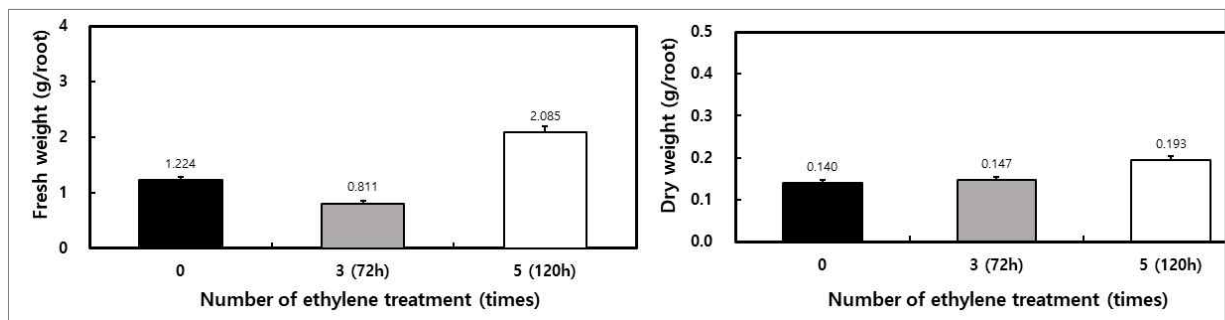


Figure 239. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 건조 전후 무게.

■ 생리활성 물질 및 항산화 활성

- 총 phenolics와 총 flavonoids 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리의 총 페놀릭, 플라보노이드의 변화를 측정한 결과는 Figure 240와 같았다. 총 페놀릭 함량은 5(120h) > 3(72h) > 0 으로 측정되었다(10.330 > 9.745 > 8.000 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 중 가장 함량이 높은 횟수는 5(120h)에서 가장 낮은 함량은 0에서 나타났다. 총 플라보노이드 함량은 3(72h) > 5(120h) > 0 으로 측정되었다(1.942 > 1.907 > 1561 mg/g). 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 중 가장 함량이 높은 횟수는 5(120h)에서 가장 낮은 함량은 0에서 나타났다.

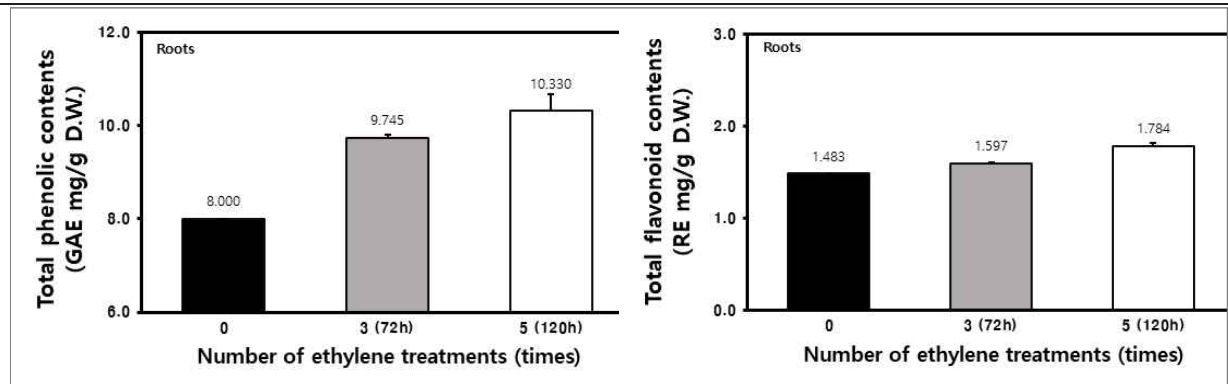


Figure 240. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 총 phenolics 및 총 flavonoids .

- **항산화 활성 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리의 항산화 활성 DPPH, ABTs, hydroxyl 라디컬소거 활성 및 FRAP 환원력의 그 결과 Figure 241과 같다. DPPH 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 2.622 > 2.335 > 2.007 mg/g), (0.5mg/mL: 1322 > 1.224 > 0.965 mg/g), (0.25mg/mL: 0.717 > 0.652 > 0.553 mg/g). ABTs 라디칼 소거활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 3.252 > 2.892 > 2.725 mg/g), (0.5mg/mL: 1.359 > 1.101 > 0.870 mg/g), (0.25mg/mL: 0.399 > 0.288 > 0.118 mg/g). hydroxyl 라디칼 소거 활성의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 67.224 > 66.143 > 66.041 %), (0.5mg/mL: 59.857 > 59.490 > 57.673 %), (0.25mg/mL: 52.082 > 49.980 > 47.796 %). FRAP 환원력의 경우 1, 0.5, 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 3.978 > 3.151 > 2.211 mg/g), (0.5mg/mL: 1.266 > 1.070 > 0.806 mg/g), (0.25mg/mL: 0.506 > 0.275 > 0.054 mg/g).

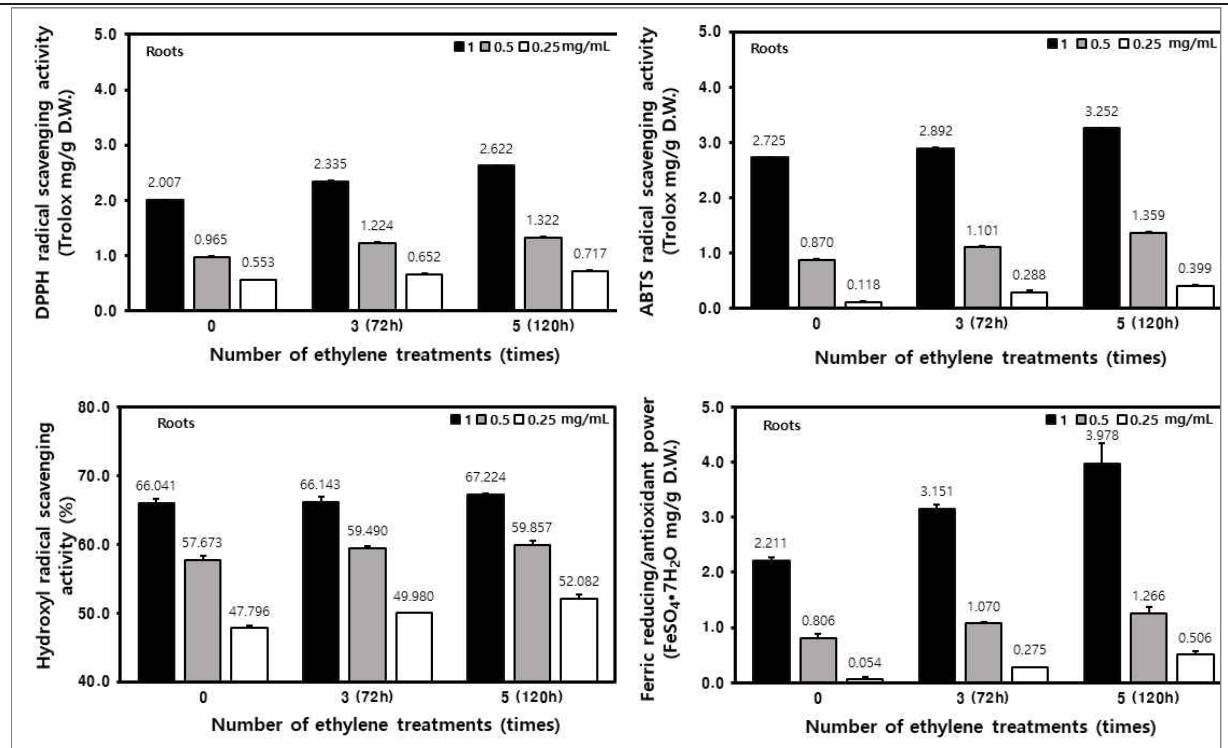


Figure 241. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 DPPH, ABTS, hydroxyl 라디칼 소거활성 및 FRAP.

- 소화효소 저해활성 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리의 소화효소 저해활성의 결과는 Figure 242와 같다. α -glucosidase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였다. 1 및 0.5 mg/mL의 농도에서는 처리 횟수별로 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 측정되었으나 (1mg/mL: 81.560 > 76.993 > 67.050 %), (0.5mg/mL: 54.194 > 29.791 > 8.412 %), 0.25 mg/mL 농도에서는 5(120h) times에서 0.747% 로 측정되었고, 나머지는 측정되지 않았다. 췌장 lipase 저해활성은 1, 0.5 및 0.25 mg/mL의 농도별로 측정하였고, 활성이 5(120h) > 3(72h) > 0 순으로 모두 동일하게 측정되었다. (1mg/mL: 25.570 > 24.605 > 21.316 %), (0.5mg/mL: 14.956 > 12.456 > 9.474 %), (0.25mg/mL: 5.658 > 3.772 > 2.412 %).

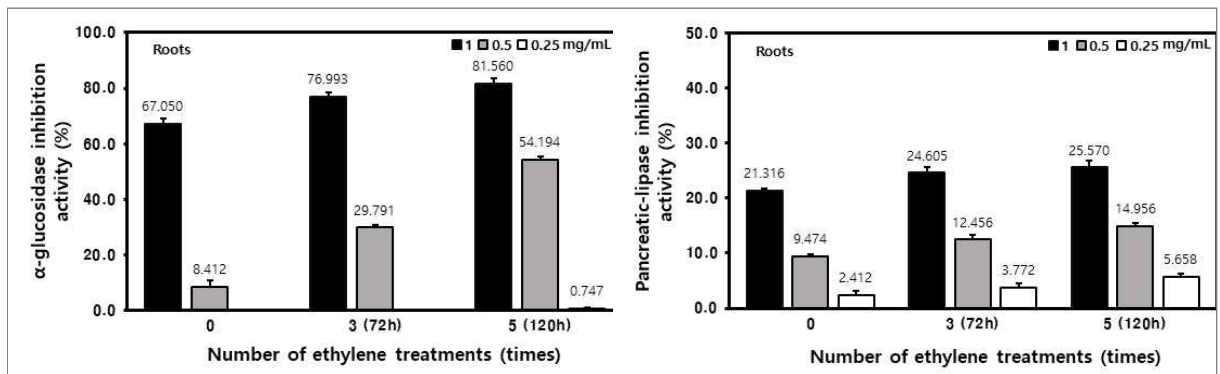


Figure 242. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 α -glucosidase 및 췌장 lipase 저해활성.

- DNA 보호효과 분석: 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리의 DNA 보호효과의 결과는 Figure 241와 같았다. 음성대조구에서는 DNA 손상이 나타나지 않아 Supercoiled(SC)의 형태로 나타났으며, 양성대조구에서는 H₂O₂ 및 Fe₃의 Fenton 반응에 의한 DNA 손상이 나타났음을 알 수 있다. 에틸렌 처리 횟수에 따른 도라지 뿌리 농축액의 DNA 보호 효과

를 보면 모두 Open-circular(OC) 형태로의 전환을 관찰할 수 있다. 이것은 보호효과가 낮다는 것을 의미하며 앞에서와 같이 농축 농도가 낮을수록 효과도 비례하여 낮았다. 공통적으로 3가지 처리구 모두 2.5 mg/mL의 농도에서는 SC 형태의 밴드가 관찰되지 않을 정도로 희미하였으며 농축액의 농도가 높아질수록 (5,10 mg/mL) SC 형태의 밴드가 조금씩 선명해졌다. 이것은 DNA 보호 효과가 존재함을 나타낸다. 에틸렌 처리 횟수별로 밴드를 구분하여 관찰하였을 때는 유의한 차이를 보이지 않아 뿌리에서는 에틸렌 처리 횟수가 DNA 보호 효과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있다.

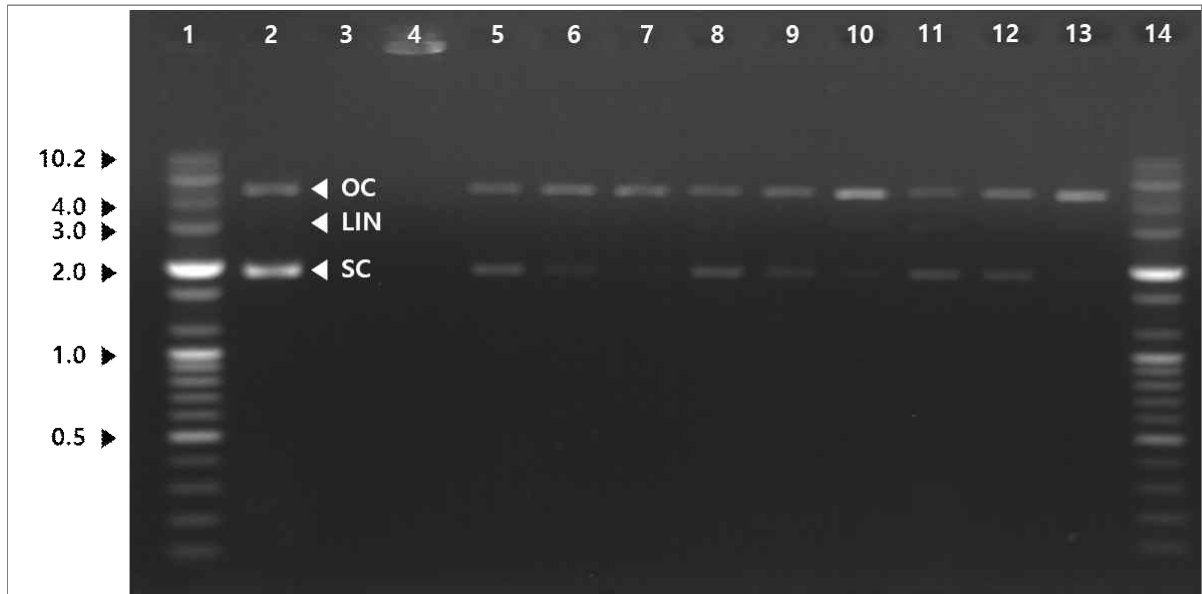


Figure 243. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 DNA 보호효과. Lane 1, size mark; lane 2, untreated; lane 3, blank; lane 4, treated; lane 5, 0 (0 hr) 10 mg/mL; lane 6, 0 (0 hr) 5 mg/mL; lane 7, 0 (0 hr) 2.5 mg/mL; lane 8, 3 (72 hr) 10 mg/mL; lane 9, 3 (72 hr) 5 mg/mL; lane 10, 3 (72 hr) 2.5 mg/mL; lane 11, 5 (120 hr) 10 mg/mL; lane 12, 5 (120 hr) 5 mg/mL; lane 13, 5 (120 hr) 2.5 mg/mL; lane 14, size mark.

■ **일반 대사체 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리(PGR)의 일반 대사체에 대한 결과는 Figure 244, 245, 246 및 247와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 5회 처리 시 상당한 변화가 나타났다. PLS-DA 점수 플롯에서 샘플 간의 유의성 검사에서 p -값은 0.137로 유의미한 변화는 나타나지 않았다. 순열검정에서 시료 간의 상관관계가 상당한 수준을 나타냈다. 박스플롯 및 히트맵은 샘플 간의 대사산물 함량 및 상관관계에 대해 나타내었다. 아미노산 대사산물은 에틸렌 처리 후 5회에서 증가하는 경향이 나타났다. 유기산 및 당 대사산물은 처리 횟수가 증가할수록 함량도 증가하는 경향이 나타났다. 특히, sucrose는 5회 처리 시 상당한 수준의 증가가 나타났다.

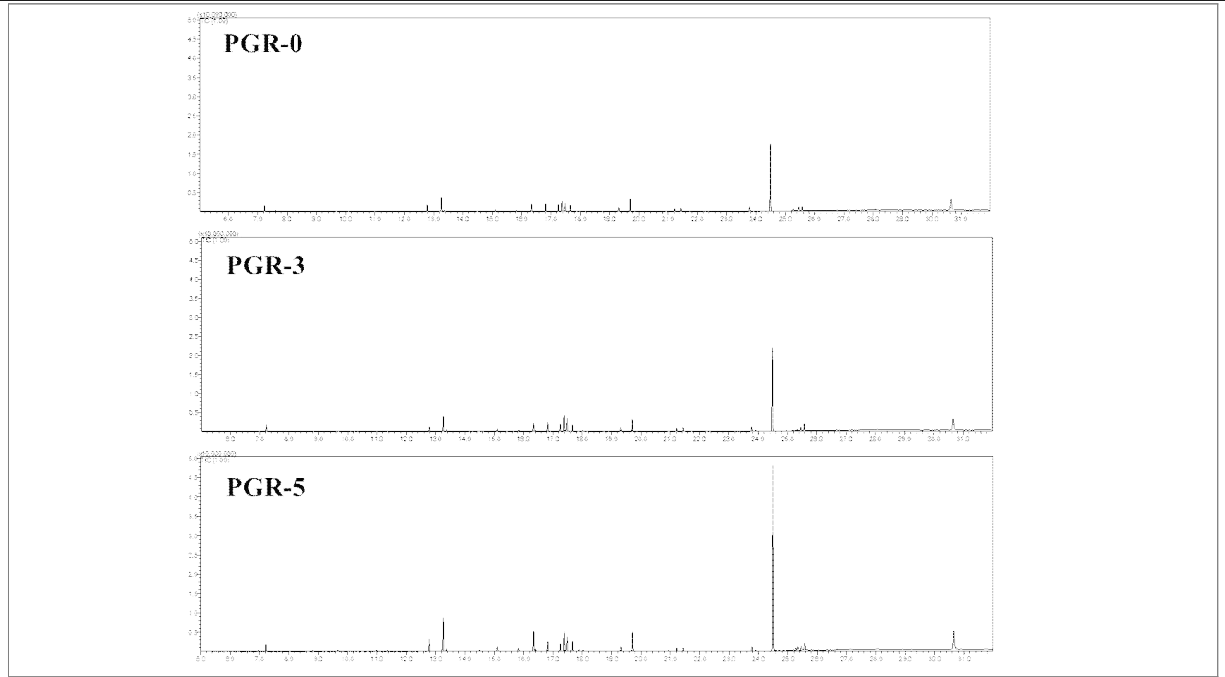


Figure 244. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 일반 대사체 GC-MS 크로마토그램.

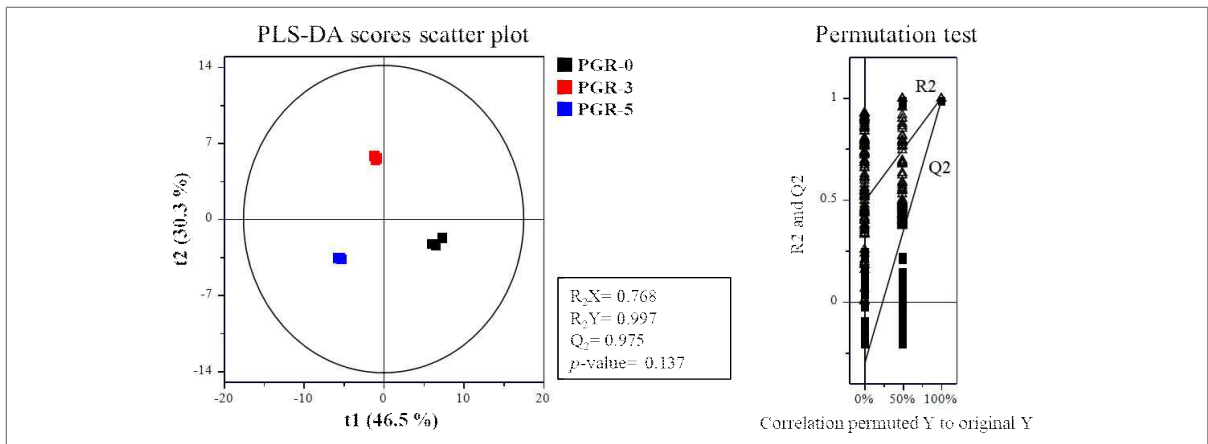


Figure 245. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

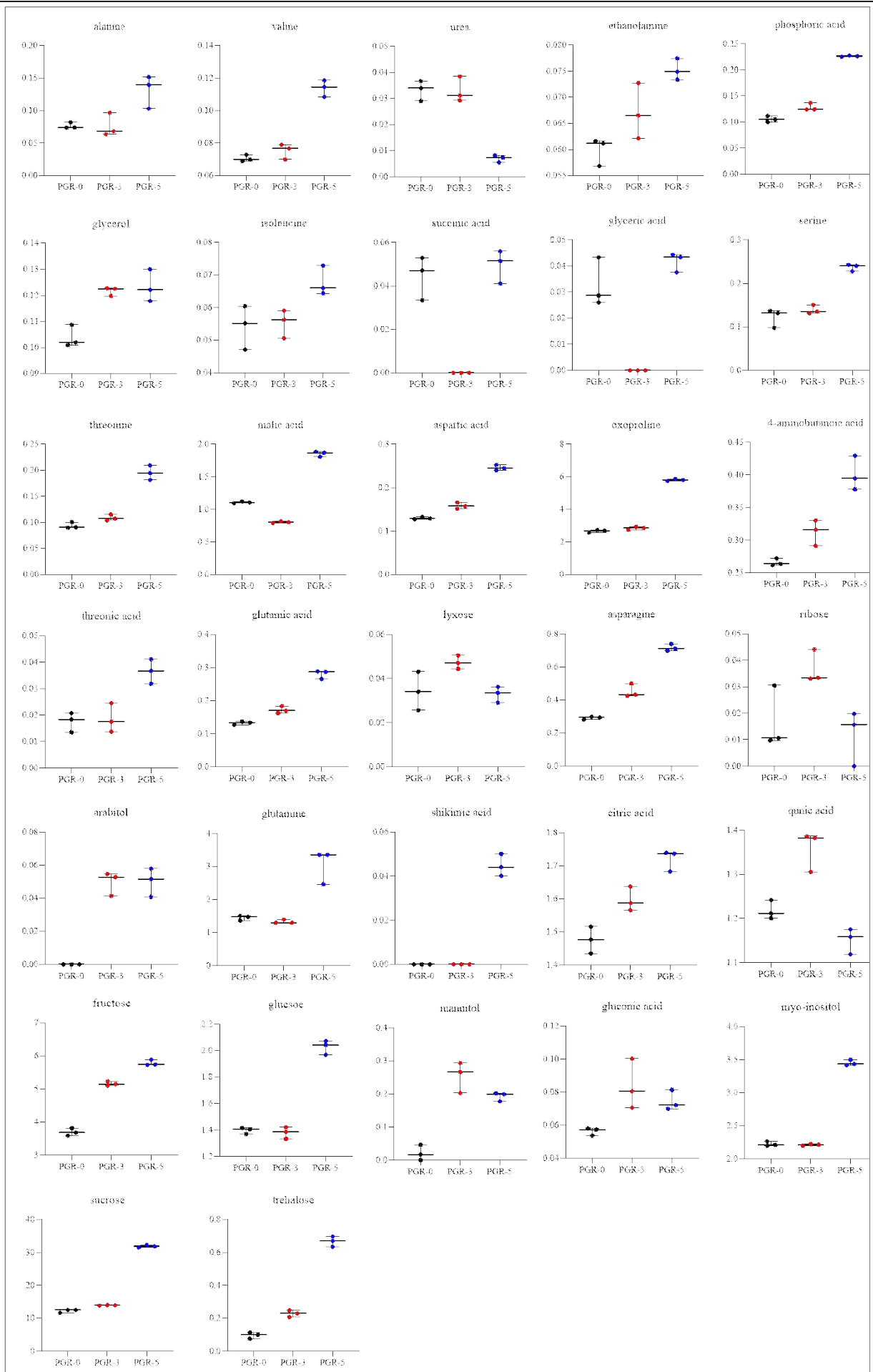


Figure 246. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 Boxplot.

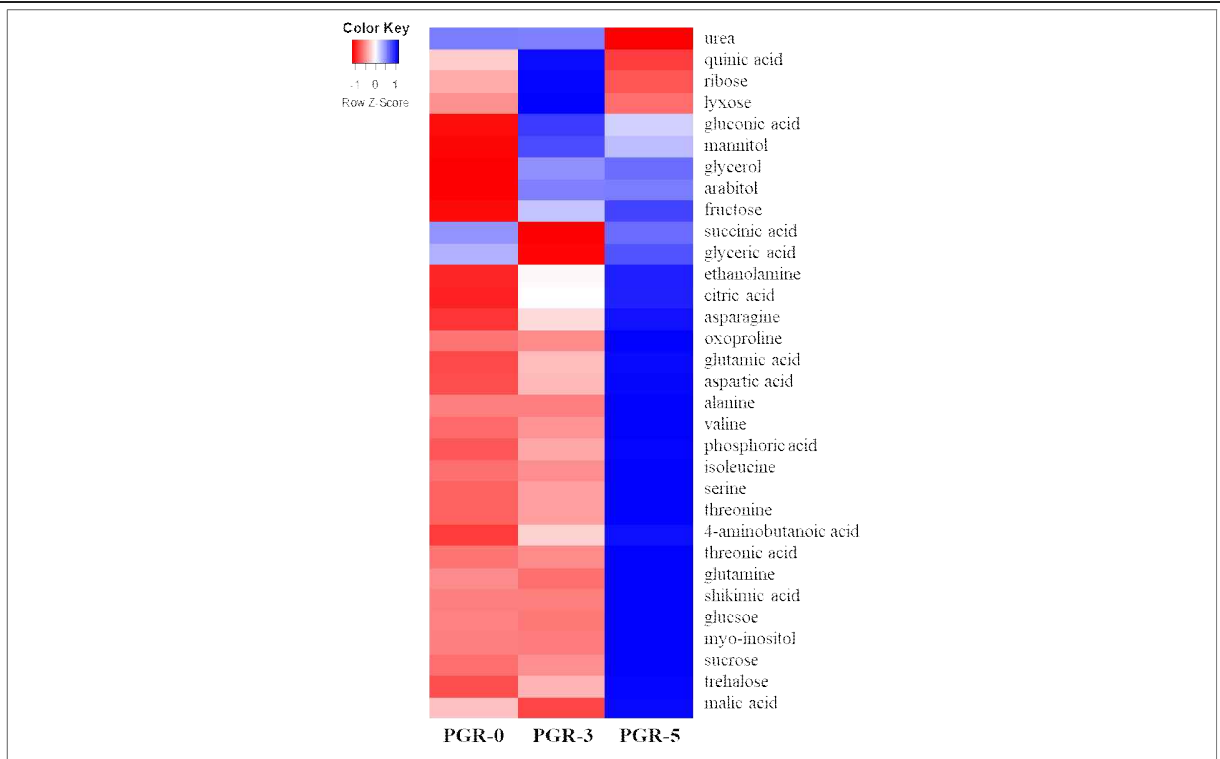


Figure 247. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 Heatmap.

■ **기능성 대사체 분석:** 에틸렌 처리 횟수별 도라지 잎의 기능성 대사체에 대한 결과는 Figure 248, 249, 250 및 251와 같았다. GC-MS 크로마토그램에서 잎, 줄기와 마찬가지로 6.56분의 대사산물이 증가하는 것으로 나타났다. PLS-DA 점수 플롯은 샘플 간의 상당한 변화와 p -값은 0.235로 유의미한 변화는 나타나지 않았다 순열검정은 시료간 상관관계가 뚜렷함이 보였다. 샘플 간의 대사산물 함량을 보여주는 박스 플롯에서 lusitanicoside은 에틸렌 처리 후 상당히 증가되는 것이 나타났다. 히트맵에서 3회에서는 3-O-B-D-glucopyranosyl, platycodigenin platycodon B 및 gentisic acid-glucoside가 5회에서는 kaempferol 3-O-rutinosdie, ftryptophan, neochlorogenic acid, tangshenoside I 및 lusitanicoside가 양의 상관성을 나타내었다.

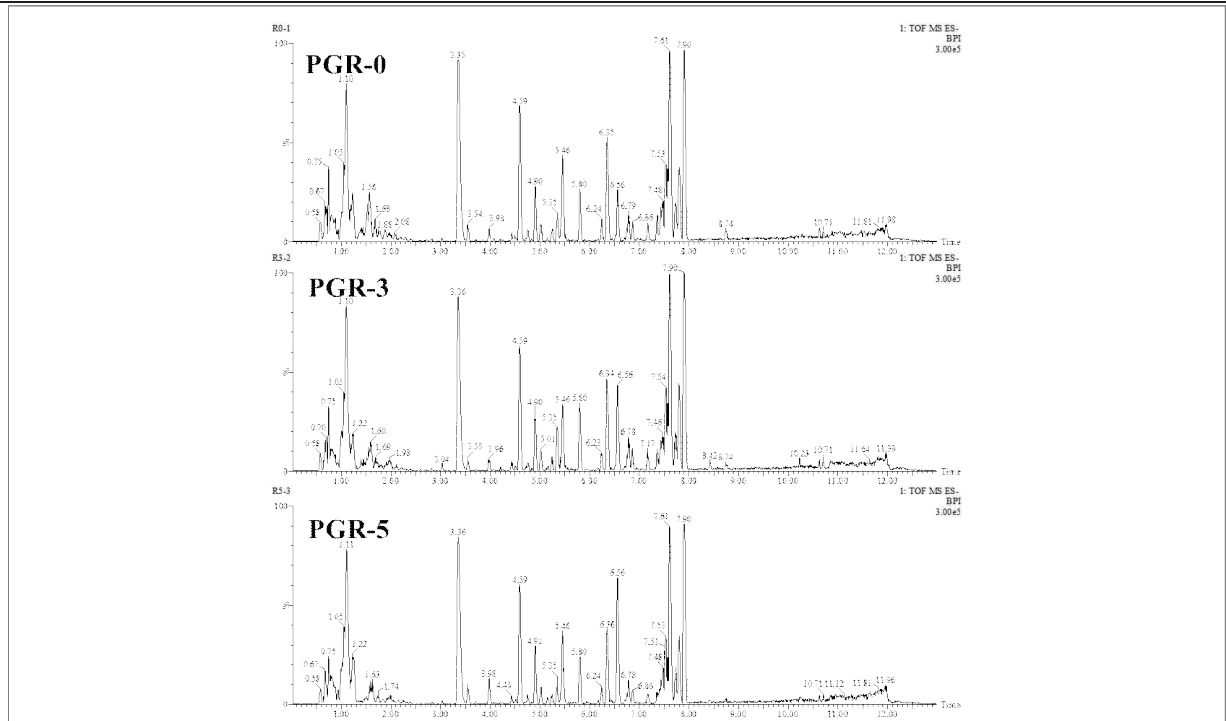


Figure 248. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 일반 대사체 LC-MS 크로마토그램.

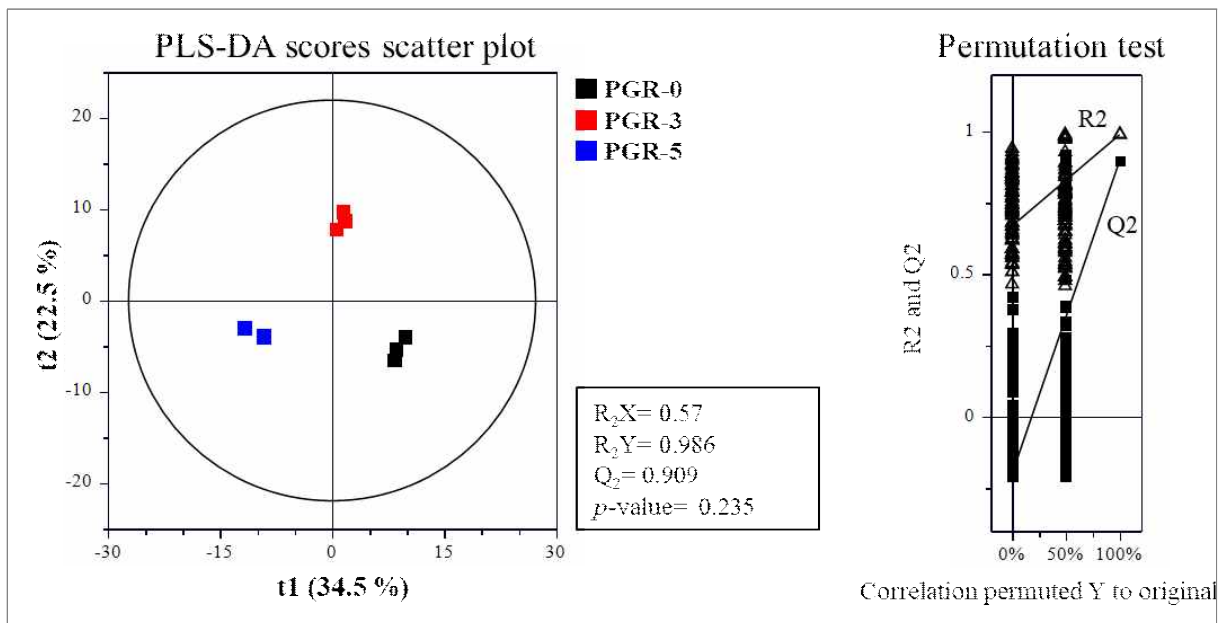


Figure 249. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 PLS-DA Scores.

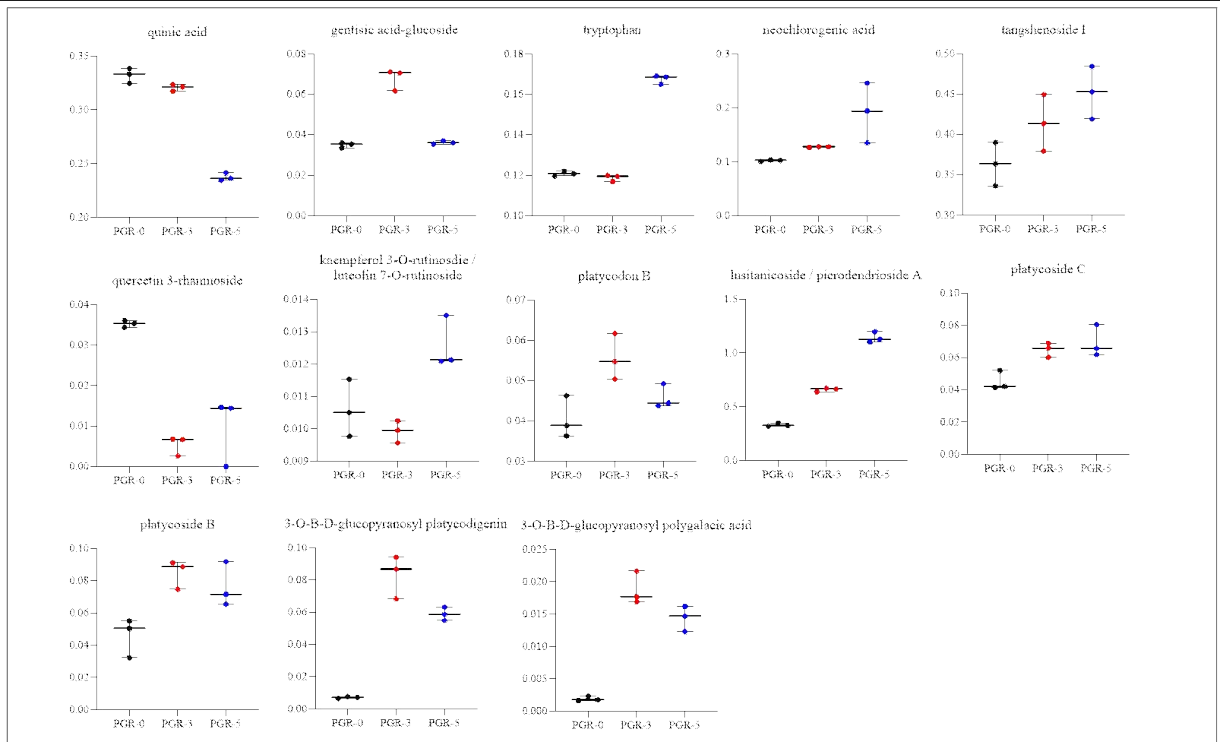


Figure 250. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 Boxplot.

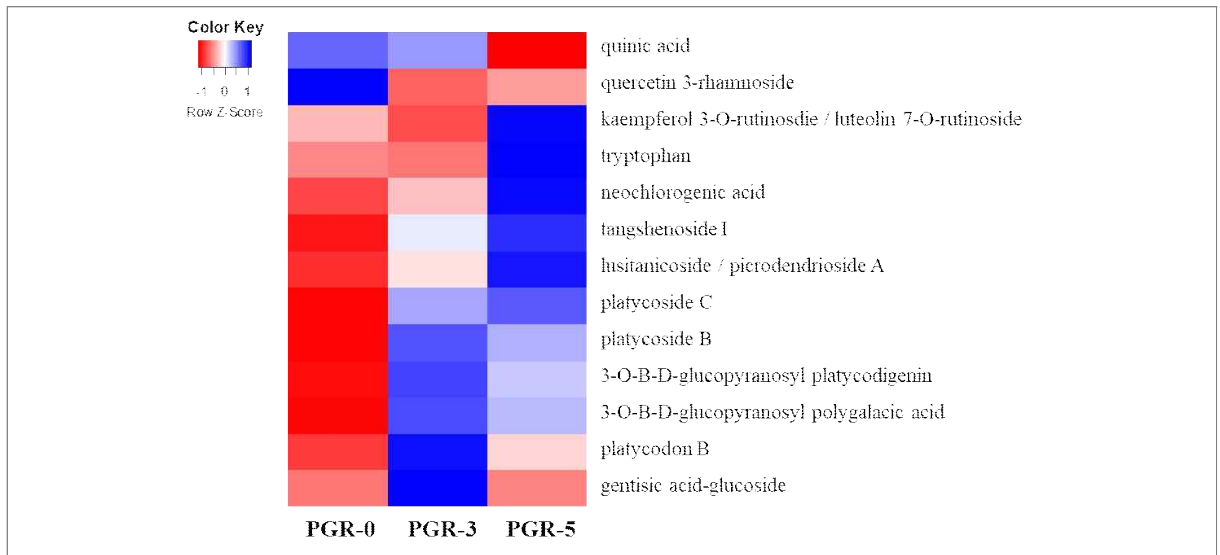


Figure 251. 에틸렌 처리 횟수별 도라지 뿌리 기능성 대사체 Heatmap.

○ 3차년도 목표 달성 정도

3차년도 생산 기술 개발 목록	
번호	생산 기술
1	에틸렌 적용을 통한 새싹작물(도라지)의 유효성분(사포닌, 1차, 및 2차 대사산물) 증진 기술
2	약용 새싹 작물의 최적 재배(배지, 양액 및 변온처리) 기술
3	재배시스템(음지형 및 솔라 큐브) 설계를 통한 최적 새싹 우슬 생산 기술
4	수확 전 단기 UV-B 처리에 따른 새싹 우슬의 생장 및 이차대사산물 증진 기술
5	수확 전 R/FR 비율 조절을 통한 새싹 더덕 및 콩의 생장 및 이차대사산물 증진 기술
6	수확 전 UV-B 처리를 통한 새싹 콩의 생장 및 이소플라본 함량 증진 기술
7	수확 전 저온 및 고온 처리를 통한 한국민들레의 생장 및 이차대사산물 증진 기술

- 복합형 및 음지형에서의 다개월간의 전력 생산 및 사용량을 확인한 결과 음지형에서는 생산량이 사용량보다 약간 높았으나, 복합형의 경우 내부 자연채광의 열에 의해 내부 온도를 낮추기 위해 냉방기의 가동이 많아 사용량이 조금 더 높았으나 이를 중동, 동남아 등의 일조량이 좋은 곳에 설치 시 보다 높은 효율이 있을 것으로 판단됨.

- 현재 몽골, 중동(사우디아라비아 등), 동남아(필리핀, 베트남 등)에 복합형 및 음지형 식물공장의 설치 관련하여 협의 중에 있으며, 국내 또는 국외에 설치되는 장소의 수질 검사를 통한 맞춤형 양액 조성 확인 및 일조량에 따른 천장 부분의 소재 변경 등, 새싹작물의 생산량을 증대시키기 위한 연구를 지속적으로 진행 중이며, 연구 중 재배 되는 작물에 따른 지표성분의 분석이 계속 진행될 예정.

- 새싹작물을 활용한 라떼 및 허니스틱의 개발로 간편성과 편리성을 지는 제품 개발 진행.

- 우슬, 더덕, 당귀, 식방풍을 동일한 트레이에 동일 조건으로 재배 후 수확하였을 때 통계적인 차이는 발생하지 않아 스마트팜 큐브에서의 재배에는 큰 문제가 없는 것으로 생각됨.

- 새싹당귀 재배시 양액 및 변온처리에 따라 생체 무게가 최대 10배이상 차이가 발생하여 현재 운영중인 항온처리 방식의 변경이 필요하다고 판단됨.

- 태양광 패널이 부착된 스마트팜 큐브에서의 새싹 우슬의 재배 결과 음지형이 복합형에 비해 수확 후 2.4~3배의 바이오매스가 나왔으며, 여름철에 한정적으로 실증 연구가 진행되어 추후 실험을 통한 검증이 필요.

- 시판 성체 우슬 및 새싹 우슬의 20-Hydroxyecdysone의 함량 비교 결과 성체 뿌리에서 2배 정도 함량이 높게 나타나 새싹 우슬의 양액 및 변온 처리 등의 추가 실험이 필요하다고 판단됨.

- 새싹더덕 재배 시 파종량에 따른 유효성분의 차이는 크게 없었으나 R/FR 비율에 따른 결과 R/FR 1.2에서 높은 Lacemasid A 함량을 보여 식물의 재배 시 환경에 대한 조건 변화로 스트레스를 부여하는 것이 좋다고 생각됨.

- 수확 전 콩의 UV-B 처리에 따라 이소플라본 함량의 변화가 있었으며 이를 활용하여 대사체 스마트팜 큐브의 활용이 가능하다고 판단됨.

- 새싹도라지의 에틸렌 처리시 횡수에 따른 DNA 손상은 없었으며, 기능성 대사체의 변화는 확인되어 에틸렌 처리에 따른 외부 인식 변화에 도움이 될것으로 판단됨.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계	2단계	종료	계	가중치 (%)
			(2021~2022)	(2022~2023)	(2024~2026)		
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원(건)	목표(단계별)	1	1	1	0	15
		실적(누적)	3	0	0	2	15
	특허등록(건)	목표(단계별)	0	0	3	3	0
		실적(누적)	0	0	0	0	0
	기술이전(건)	목표(단계별)	0	1	-	1	10
		실적(누적)	0	0	0	0	0
	사업화(백만원)	목표(단계별)	0	200	1150	1400	15
		실적(누적)	21,274	0	-	21,274	15
	고용창출(명)	목표(단계별)	8	2	2	12	10
		실적(누적)	10	4	0	14	10
	논문(편)	목표(단계별)	0	1	1	4	15
		실적(누적)	3	3	0	6	0
	인력양성(명)	목표(단계별)	1	5	1	7	10
		실적(누적)	2	2	0	4	2
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	태양광 식물공장 (실증기)	목표(단계별)	4	0	-	4	10
		실적(누적)	2	0	-	2	5
계						100	

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (2021~2023)	종료 (2024~2026)	
1 식물공장 에너지 효율	%	40	-	-	-	> 30%		에너지 절감 비율
2 기능표시 제품 (이너뷰티)	mg/day	30	콜마비엔에이치 등	24-27 mg/day	24-27 mg/day	24-27 mg/day		대두추출물의 기능성 고시원료 기준
3 기능표시 제품 (면역증진)	mg/day	30	정관장 등	> 30 mg/day	> 30 mg/day	> 30 mg/day		홍삼추출물의 기능성 고시원료 기준

* 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.
 * 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

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

(23쪽 중 7쪽)

(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	Optimization of Cultivation Type and Temperature for the Production of Balloon Flower (<i>Platycodon grandiflorum</i> A. DC) Sprouts in a Plant Factory with Artificial Lighting	Horticulture	Thi Kim Loan Nguyen 이진희 이가운 조계만 조두용 손기호	8	스위스	MDPI	SCIE	2022.04.08.	2311-7524	50%
2	Comprehensive Comparison of Chemical Composition and Antioxidant Activity of <i>Panax ginseng</i> Sprouts by Different Cultivation Systems in a Plant Factory	Plants	이희율 조두용 정재각 김민주 정종빈 장성남 이가운 심한솔 강민지 김예린 이지현 임수연 손기호	11	스위스	MDPI	SCIE	2022.07.10.	2223-7747	50%
3	식물공장에서 생산된 새싹인삼의 생육 시기에 따른 영양성분 및 항산화 활성 변화	응용생명화학회	성진아 이희율 김수철 조두용 정재각 김진주 이애련 정종빈 손기호 조계만	65	대한민국	한국응용생명화학회	비SCIE	2022.09.30.	2234-7941	50%
4	Comparison of Growth Efficiency and Bioactive Compounds of <i>Achyranthes japonica</i> Nakai according to Sowing Amount in Vertical Farms	Horticultural Science and Technology	김예린 장성남 김수철 손윤곤 김정운 조계만 윤재길 손기호	3	대한민국	한국원예학회	SCIE	2024.06.30.	2465-8588	50%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC	Eun Hye Jeong, Ae Ryeon Lee, Su Cheol Kim, Du Yong Cho, Hee Yul Lee, Jea Gack Jung1, Seong-Nam Jang, Ki-Ho Son, Kye Man Cho	2021.08.23.-24	제주 라마다 호텔	대한민국
2	2021 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC	Jea Gack Jung, Ae Ryeon Lee, Eun Hye Jeong, Du Yong Cho1, Hee Yul Lee, Seong-Nam Jang, Ki-Ho Son, Kye Man Cho	2021.08.23.-24	제주 라마다 호텔	대한민국
3	2021년 (사)한국생물환경조절학회 추계학술발표회	이가운, 심한솔, 이애련, 정재각, 조계만, 손기호	2021.10.07.-13	온라인(비대면)	대한민국
4	2022년 (사)한국생물환경조절학회 정기총회 및 추계학술대회	Han Sol Sim, Ye Lin Kim, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2022.05.12.-13	국립원에특작과학원	대한민국
5	2022 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC	Ae Ryeon Lee, Hee Yul Lee, Du Yong Cho, Jae Gack Jeong, Min Ju Kim, Jong Bin Jeong, Jin Hwan Lee, Ki Ho Son, Kye Man Cho	2022.06.27.-29	바르미 호텔 인터볼고 대구	대한민국
6	2022 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC	Ga Oun Lee, Seong-Nam Jang, Du Yong Cho, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2022.06.27.-29	바르미 호텔 인터볼고 대구	대한민국
7	IHC 2022	Hansol Sim, Thi Kim Loan Nguyen, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2022.08.14.-20	Angers Congress Centre, France	프랑스
8	2022 한국원예학회 임시총회 및 제 116차 추계학술대회	Ye Lin Kim, Mil Thi Tran, Swati Das, Jae-Yean Kim, Ki-Ho Son	2022.11.02.-05	제주국제컨벤션센터	대한민국
9	2022 한국원예학회 임시총회 및 제 116차 추계학술대회	Min-Ji Knag, Min Ju Kim, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2022.11.02.-05	제주국제컨벤션센터	대한민국
10	2022 한국원예학회 임시총회 및 제 116차 추계학술대회	Han-Sol Sim, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2022.11.02.-05	제주국제컨벤션센터	대한민국
11	2023년 (사)한국생물환경조절학회	김예린, 장성남, 조두용, 정종빈, 김수철, 고진석, 신갑균, 조계만, 손기호	2023.09.21.-22	서울대학교 시흥캠퍼스 연수동&컨벤션센터	대한민국
12	AHC 2023 The 4 th Asian horticultural Congress	Min-Ji Kang, Yun Gon Son, Jeong Yoon Kim, Ki-Ho Son	2023.08.28.-31	The University of Tokyo Hongo/Yayoi Campus	일본
13	GreenSys 2023 International Symposium on New Technologies for Sustainable Greenhouse Systems	Han-Sol Sim, Ye Lin Kim, Kye Man Cho, Ki-Ho Son	2023.10.22.-27	Mexico, Cancun, Iberostar Selection Cancun Hotel	멕시코
14	GreenSys 2023 International Symposium on New Technologies for Sustainable Greenhouse Systems	Ye Lin kim, Han-Sol Sim. Ki-Ho Son	2023.10.22.-27	Mexico, Cancun, Iberostar Selection Cancun Hotel	멕시코

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[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	진세노사이드가 증진된 새싹인삼의 제조방법 및 상기 방법으로 제조된 진세노사이드 증진 새싹 인삼	대한민국	경상국립 대학교 산학협력 단	2021.11 .15.	10-2021 -015678 7				50%		
2	스마트-대사체 챔버를 이용한 이소플라본 유도체가 증진된 콩 식물체 재배방법	대한민국	경상국립 대학교 산학협력 단	2021.11 .15.	10-2021 -015631 0				50%		
3	새싹인삼의 재배 방법 및 그에 따라 재배된 새싹인삼	대한민국	주식회사 드림팜	2022.06 .21.	10-2022 -007562 8				50%		
4	미리세틴 배당체가 증진된 갯질경의 재배방법 및 그 이용	대한민국	경상국립 대학교 산학협력 단	2023.01 .06	10-2023 -000223 1				50%		
5	설포라판이 증진된 새싹 브로콜리의 재배방법 및 그 이용	대한민국	경상국립 대학교 산학협력 단	2023.05 .15	10-2023 -006229 7				50%		

○ 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

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(23쪽 중 8쪽)]

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*
1	유큐아이피 농식품투자조합 제2호	0	1,000,008,000	1,000,008,000	투자 유치
2	(주)우아	0	2,000,003,100	2,000,003,100	투자 유치
3	경남리버스이노베이션투자조합	0	500,012,580	500,012,580	투자 유치
4	미래에셋 Innovative Growth 투자조합	0	1,000,025,160	1,000,025,160	투자 유치
5	컴퍼니케이고성장펀드	0	1,000,025,160	1,000,025,160	투자 유치
6	위지방기업육성펀드1호	0	1,000,025,160	1,000,025,160	투자 유치
7	비엔케이미세먼지해결투자조합	0	3,000,028,260	3,000,028,260	투자 유치

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

(23쪽 중 9쪽)

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
		국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			1단계	2단계	
1	기술사업화지원사업	(주) 드림팜	10	4	14
합계					

□ 고용 효과

고용 효과	구분	고용 효과(명)	
		개발 전	개발 후
	연구인력		1
	생산인력		3
	연구인력		3
	생산인력		5

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

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

(23쪽 중 10쪽)

기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
	-	2023		4			1	3				4	

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(23쪽 중 11쪽)]

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발	○ 최적 태양광 연계 에너지 모델/시스템 설계 ○ 그리드 연계형과 ESS 연계형 및 태양광 직접 이용 모델을 적용 ○ 그리드 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작 ○ ESS 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작 ○ 태양광 직접 이용 채광형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작 ○ 스마트팜 솔라 큐브 내 환경데이터 수집 및 분석 ○ 스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축 ○ 스마트팜 솔라 큐브 사업화 추진 ○ 새싹작물 이용 제품화 및 사업화 추진	80%
○ 새싹작물 생산을 위한 최적 환경 제어 시스템 및 전용 상토 개발	○ 새싹작물의 생산을 위한 환경 및 재배기술 최적화 ○ 새싹작물 전용 미생물 활용 상토 개발 ○ 새싹식물의 기능성 소재를 생산하기 위한 지표(유효) 성분분석법 확립 ○ 지표(유효)성분 및 가공기술 표준화 ○ 스마트팜 솔라 큐브에서 새싹작물 실증 ○ 스마트팜 솔라 큐브의 에너지 정밀 분석 실시 ○ 새싹작물 이용 제조공정 표준화 및 성분 분석 실시	90%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- ESS 연계형 스마트팜 솔라 큐브 시제품 제작
 - 1단계(2021~2022년) 보고서 보완사항에서 ESS 연계형에 대한 언급이 있어서 2단계에서 작은 용량의 저장장치로 하여 시제품을 제작하려 했으나 저장장치의 경우 외부 환경(비, 눈, 태풍 등)의 요인으로부터 보호가 가능해야된다하여 내부에 설치하려 위치 등을 조율하려 했으나 이미 농작물 재배에 최적화된 동선으로 선반들을 제작하였고 선반들 다른 방식으로 하여 제작한다 한들 열 관리, 관수시 물이 튼에 의한 합선 등의 여러 요인에 의해 불가능하다고 판단되었다. 그래서 외부에 설치를 목적으로 진행하였다. 큐브가 외부에 박스(공간)을 만들어 외부로부터의 환경을 차단할 수는 있었으나 배터리의 관리(온도, 습도 등)에 어려움이 있다는 판단으로 시제품 개발이 취소되었다.
 - 2단계(2023년)에서 스마트팜 솔라 큐브에서 재배된 우슬, 더덕 등의 새싹작물을 활용하여 장아찌 등의 제품 개발 진행 중 새싹이라는 특성으로 절임하였을 때 특유의 맛이 없고 단순 소스맛이 강하였고, 분말을 활용하려고 하였으나 수율적인 부분에서 문제가 발생하여 제품화에 대해 심도 깊은 생각이 필요하다고 판단되어 현재 개발이 중지된 상태이다.

2) 자체 보완활동

- 8평 스마트팜 큐브 외 40평 등 큰 규모의 스마트팜을 구성하고 있으며 여기에도 태양광을 활용한 에너지 절약형 제품을 만들 계획으로 8평 작은 모델이 아닌 큰 모델에서의 시제품 구상을 진행할 필요가 보인다.

3) 연구개발 과정의 성실성

- 8평의 자사의 스마트팜 큐브의 농기계로의 등록이 완료되었고, 현재는 유리온실, 비닐하우스와 같은 스마트팜으로 인정받기 위해 노력에 있다. 몇 개월전 2024년도에 스마트팜으로의 인정이 완료된다는 소식을 들었다. 태양광 패널 또한 음영을 줄기 위한 각도 조절 가능성을 꾸준히 확인중이다. 유압프레스, 수동 다양한 방법에 대해 연구 중이다.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 대부분 인공광원을 이용한 단순 엽채류 생산
- 태양광 활용이 아닌 인공광에 의존한 생산 방법

【국내 경쟁 기관의 특징 및 본 연구팀의 차별성】

회사명	재배작물	주요기술
베지텍스 일산팜	청치마상추, 웨이브 양상추, 비타민 등	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 재배상은 원통형 재배호통을 길이 방향으로 3라인, 프레임을 중심으로 좌우 2열 배치 ▶ 재배호통을 덮는 재식판으로 염화비닐(PVC)판을 이용 ▶ 형광등에 반사 튜브를 씌워 광효율을 높임 ▶ 공기와 열분배를 위한 공조덕트는 베드 사이에 설치 ▶ 재식판을 로프로 끌어당겨 한쪽에서 수확하는 방식 ▶ 주 5회 1일당 80g 단위 500봉지 수확
★ 광효율을 높이기 위한 반사 튜브 기술 → 본 연구팀은 에너지를 절감하면서 근본적인 광효율성을 향상시키고자 함.		
인성테크	로메인, 롤로로사, 비타민, 바질,	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 재배상은 작물을 심는 재배판과 공간확보용 재배판을 사용 ▶ 식물공장용 형광등 개발 ▶ 방열부, 반사판, 확산판이 조합된 원통형의 구조로 그 내부에 형광등을

	수입 샐러드류	삽입 → 반사판에 의해 형광등의 빛을 반사함으로써 빛 쪼임(광조사) 효율을 높이고, 밀폐된 등기구에 외기를 통과시켜 광원에서 발생하는 열을 외부로 배출해 냉방부하를 줄임 ▶에어컨으로 20~24℃ 범위 관리 ▶식물공장 시스템의 브랜드화(City farm), 신세계백화점 등에 설치
★ 광효율을 높이기 위한 기술 / 시스템의 브랜드화 → 본 연구팀은 에너지를 절감하면서 근본적인 광효율성을 향상시키고, '스마트팜 솔라 큐브'를 브랜드화 및 적극 보급하고자 함.		
태연친환경농업기술	아이스플랜트	▶재배상은 스티로폼 재식판에 얇은 알루미늄 막을 씌워 사용 ▶외기 유입 없이 항온항습기로 온·습도를 조절 ▶일본의 Advanced agri에서 기술지원 및 배양액, 씨앗, 스펀지 등 자재 사용 ▶온실용 시설자재 사업, 식물공장(가정용, 업소용 등) 사업 ▶아이스플랜트의 브랜드화(Crispy) -호텔 등에 납품 및 Crispy 프랜차이즈 사업
★ 아이스플랜트 재배 및 가정용/업소용 사업 → 본 연구팀은 고부가 작물로 경쟁력 강화는 물론 추후 가정/업소용으로 개발 하고자 함.		
○ 국외 경쟁기관 및 기술 현황 <ul style="list-style-type: none"> ■ 자연광 이용 및 병용형 식물공장이 존재 ■ 태양광을 적절히 이용한 국외 기관 다수 존재함 【국외 경쟁 기관의 특징 및 본 연구팀의 차별성】		
회사명	재배작물	주요기술
가태채원과 향탄채원 - (쥬카고메 (일본))	토마토	▶일본 최대의 토마토 생산을 하는 자연광 이용 식물공장 ▶브랜드화해 전국 슈퍼마켓에 판매 ▶가태채원은 칸사이 국제공항 용지의 매립용 토사를 채취 후 정비된 공업단지에 건축 ▶향탄채원은 석탄 발전의 실증, 실험을 하기 위한 땅을 매립 후 공업 용지에 건축 ▶공장 지붕에 태양전지 패널을 설치하여 발전된 전력을 활용해 전기를 절약하는 효과가 있음
★ 공장 지붕에 태양전지 패널을 설치하여 전기 절약 → 본 연구팀의 목표와 같이 에너지를 절감하기 위한 시스템으로 구성되었으나, 작물이 한계.		
구주고원 야채공방 (일본)	이탈리안 파슬리, 샐러드 파슬리, 바실, 허브 등	▶일본 최초로 스웨덴의 스웨데포닉사의 시스템 도입 ▶태양광, 인공광, 온도, 습도, 이산화탄소(CO ₂), 양액 관리 등을 컴퓨터에 의해 자동 조절 ▶포트 형태로 수확된 채소는 상자에 넣어 트럭이나 항공을 이용해 다음날 오전에 전국의 백화점, 슈퍼마켓에 판매
★ 태양광 관리를 통한 광의 적극 이용 → 태양광 이용형 식물공장으로 광 효율이 높으나, 에너지 절감 측면이 부족함.		

Agritech Innovation A (스웨덴)	상추류, 허브	<ul style="list-style-type: none"> ▶스웨데포닉(Swedeponic) 시스템은 작물의 성장에 따라 빛을 잘 받도록 자동적으로 라인의 폭 간격(4단계)을 조절함 ▶피트모스를 이용한 피트 블록에 씨를 뿌려 모종을 기른 후 재배 생산라인에 아주심어 생육단계에 따라 거리 간격을 자동 조절 ▶재배베드 이송시스템, 거리 간격(스페이싱) 조절, 아주심기 로봇 등 자동화시스템 도입 ▶피트모스에 재배한 모종은 재배한 후에도 배지와 함께 뿌리째로 수확·유통, 소비자까지 전달해 신선도 유지를 유지하고 부가가치를 높임 ▶지열 히트펌프로 온도관리 ▶재배 베드 자동 이송시스템(MGS : Mobile Gully System)은 호주, 이탈리아, 네덜란드, 영국, 미국에서도 운영
<p>★ 태양광을 적극 활용하는 식물공장 형태이지만, 상추류 허브류 작물에 국한 → 본 연구팀은 태양광으로부터 에너지를 활용 가능하고, 고부가가치 작물을 생산하고자 함.</p>		
<p>→ 영농형 태양광을 결합한 식물공장인 ‘스마트팜 솔라 큐브(SmartFarm Solar Cube)’ 제작을 통한 기존 국내외 기업과의 차별적 식물공장 개발(작물선정 및 에너지 효율)이 필요</p>		

○ 스마트팜 큐브는 전기를 에너지 원으로 사용하기 때문에 전기가 잘 안들어오는 산간지방 등은 설치 및 운영이 힘들었다. 이를 생각하고 ESS 저장장치를 달아 언제나 전기를 사용할 수 있게 할 계획이었으나, 저장 장치의 소형화로 했다. 스마트팜 큐브 등의 작은 규모에서의 태양광 발전 등이 알려진다면 생산이 멈춘 소형 저장장치의 재생산 또는 다른 여러 방안이 제시되어 확실한 에너지 절감형 스마트팜 큐브 제작이 가능할 것이라 생각한다.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

○ 주관연구기관 : 주식회사 드림팜

- 새싹작물 재배 전문가 등과의 교류 및 협력
 - 주관기관의 스마트팜 큐브에 적합한 경제적인 새싹작물 품종 정보 등을 공유
 - 과학적 근거가 기반된 다양한 새싹작물 재배 현장 적용
- 연구진 및 스마트팜 큐브 재배 농가 간 협업
 - 스마트팜 큐브 재배 환경 모니터링 정보 등을 생산 농가와 공유
- 판로 확대를 위한 홍보 매체 발굴 등 대외활동 추진
 - 새싹작물의 새로운 새싹류의 레시피 개발, 각종 콘텐츠 제작
 - 일조량이 뛰어나 태양광 발전에 특화된 해외에 수출 추진



동남아시아 사업 확대를 위한 드림팜 아시아 본부(AHQ) 설립 (말레이시아 쿠알라룸푸르

사우디아라비아 스마트팜 집적시설 설치 (약 10,740평 | 1,540억 규모 | 23.06.13 체결)

스마트팜 큐브 해외 구축현황

베트남, 괌(University of Guam), 남아프리카(Pele Energy Group),
볼리비아 (Global Green Energy Group), 카타르 (QIECO)

- 공동연구기관 : 경상국립대학교(구 경남과학기술대학교)
 - 식물공장 시스템 적용 새싹작물의 Biomass 확보의 용이성
 - 고품질·고기능성 새싹작물 생산과 산업화를 위한 연구팀의 인프라
 - 식물공장형 생산 시스템에서 새싹작물의 우수성
 - 기능성 소재 발굴 및 원료생산은 현 농업 트렌드에 부합
 - 식물공장 생산 방식으로 독점적 원천소재로 개발 가능
 - 농업인이 식물공장 내에서 쉽게 활용 가능한 재배 매뉴얼 공유

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	1	
	비SCIE	-	
	계	1	
국내논문	SCIE	-	
	비SCIE	-	
	계	-	
특허출원	국내	1	
	국외	-	
	계	1	
특허등록	국내	3	
	국외	-	
	계	3	
인력양성	학사	1	
	석사	-	
	박사	-	
	계	1	
사업화	상품출시	-	
	기술이전	-	
	공정개발	-	
제품개발	시제품개발	-	
비임상시험 실시		-	
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	-
		2상	-
		3상	-
	의료기기	-	
진료지침개발		-	
신의료기술개발		-	
성과홍보		-	
포상 및 수상실적		-	
정성적 성과 주요 내용		-	

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.

자체평가의견서

1. 과제현황

	과제번호			821039-3	
사업구분	기술사업화지원사업				
연구분야	농산/특용작물과학/특용작물 재배, 생산			과제구분	단위
사업명	민간중심 R&D사업화 지원 사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산기반 개발			과제유형	(개발)
연구개발기관	주식회사 드림팜			연구책임자	박향진
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.04-2021.12	219,000	37,000	
	2차년도	2022.01-2022.12	292,000	44,000	
	3차년도	2023.01-2023.12	292,000	41,000	
	4차년도	-	-	-	
	5차년도	-	-	-	
	계	2021.04-2023.12	803,000	122,000	
참여기업	경상국립대학교 산학협력단				
상대국		상대국연구개발기관			

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망


2. 평가일 :2024.02.01

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
주식회사 드림팜	대표	박향진

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확약	
----	---

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히 불량)

농업용 스마트팜 큐브에 태양광 패널을 부착하여 에너지 효율을 증진시키는 연구를 진행하여 미비하지만 가능성을 확인하였다. 지제차, 규정 등에 제재가 있어 어려움이 있었으나 샌드위치 패널형 큐브의 스마트팜 인정 진행과 큰 평수의 큐브 개발로 인해 앞으로의 가능성이 커 보인다.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히 불량)

새싹작물을 키우는 음지형의 경우 LED만으로도 재배가 가능하여 산간 또는 농지 등에 남향으로 하여 음영을 최소화하여 최대한으로 태양광 발전이 가능하다면 전기가 공급되지 않는 곳 또는 산간 오지 등에서도 사계절 연중 식물의 재배가 가능할 것으로 보인다.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히 불량)

현재 주관기관인 주식회사 드림팜에서 사우디, 베트남 등 중동, 동남아 등에 스마트팜 큐브의 사업이 진행되고 있으며, 특히 사우디에서는 일조량이 좋아 스마트팜 솔라 큐브에 대한 관심이 높으며, 현지에서의 실용가능성에 대한 분석을 진행할 예정이다.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히 불량)

주관기관인 드림팜에서 규정 등에 의해 어려움이 컸으나 시제품으로 태양광 부착형 스마트팜 큐브를 제작하여 재배 및 운영 가능성에 대한 연구를 진행하였고, 이를 활용한 사업을 추진하고 있다. 공동개발기관인 경상대학교 산학협력단은 다양한 새싹작물의 천연물질의 함량을 증가시키기 위한 다양한 물리, 화학적 처리 등을 통해 최적 재배에 관한 연구를 꾸준히 진행하였다.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수, **보통**, 미흡, 극히 불량)

기존 목표보다 많은 연구개발성과를 냈다.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
에너지 모델 설계	10	90	스마트팜 큐브에 측면과 윗면에 태양광 패널을 부착하여 에너지 효율을 극대화
스마트팜 솔라 큐브 제작	20	85	인공광형 스마트팜 큐브 및 자연채광형 스마트팜 큐브 모두 태양광 에너지 발전형 제작
스마트팜 솔라 큐브 최적 활용법 구축	10	90	태양광 패널의 부착 후 내부 환경 제어 등에는 큰 변화가 없어 기존의 활용법 응용
새싹작물 이용 제품화 및 사업화 추진	10	70	새싹삼을 활용한 라떼 및 허니스틱 개발 및 판매 시작. 새싹 우슬, 더덕을 활용한 제품 추진 예정
새싹작물별 재배기술 최적화	20	90	우슬, 더덕, 도라지 등의 약용 또는 특용 작물의 재배 기술 최적화 적립. 식방패에 대한 연구 필요
미생물 활용 상토 개발	10	80	미생물을 활용한 상토를 개발하였으나 농가에 적용이 힘들어 기존 인삼상토를 생산하는 회사와 협업 예정
성분분석 및 가공기술 표준화	10	80	각 새싹작물의 유효성분에 대한 HPLC 등의 분석 표준화
스마트팜 큐브 에너지 분석	10	90	8평에 대한 분석으로 설치 비용에 큰 효율이 적어 40평 이상의 큐브 제작 시 태양광 패널 설치 후 에너지 분석 예정
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

-개발 초기 스마트팜 큐브의 설치에 대한 인허가부터 태양광 패널 설치에 대한 규정 등으로 많이 어려움이 있었으나 어려 시도 끝나 스마트팜 큐브 설치에 대한 부분은 조금 해소 하였고 태양광 패널에 대한 부분은 앞으로도 지속적으로 연구가 필요할것으로 판단된다. 다양한 가공 공정의 개발을 위한 협력이 필요하며, 연구의 목적보단 기업의 가치와 농가의 수익 창출이 예상되는 개발을 진행 하였으면 합니다.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

없습니다.

3. 연구결과와 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 지금 추진중인 사우디 관련한 사업에 연구 결과 등을 활용할 수 있는지에 대한 연구를 진행 중입니다. 현재 새싹삼의 경우 시장이 하락하고 있다고 봐도 무방하여 농가에 바로 적용 가능한 작물 선정을 지속적으로 연구하고, 현재 매뉴얼이 개발된 새싹 우슬, 더덕, 도라지의 시장성 평가 및 제품화를 통한 사업화를 추진할 예정입니다.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구개발기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	농산/특용작물과학/특용작물 재배		
연구과제명	에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기반 개발					
주관연구개발기관	주식회사 드림팜			주관연구책임자	박향진	
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비		
	803,000	122,000	0	925,000		
연구개발기간	2021.04.01. ` 2023.12.31					
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도		<input type="checkbox"/> 정책자료		<input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체 사업화)	
	<input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)					

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
①에너지 절감형 식물공장 구축을 통한 새싹작물 생산 기술 개발	기존 스마트팜 큐브에 태양광 패널 부착하여 에너지 효율 확인. 인공광형을 사용하는 음지형의 경우 에너지 절감이 예상됨. 특용 및 약용 작물의 재배 가능성 확인
②새싹작물 생산을 위한 최적 환경제어 시스템 및 전용 상토 개발	특용 및 약용 작물의 최적 환경 확인. 생산성 및 유효성분 등의 증진 효과가 있는 상토 개발
③	

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표										
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용등) (건)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문	SCI	비 SCI	논 문 평 균 I F			학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	15				10	5	5	15	5	10	5			10	5	5	5			3	2	
최종 목표	3	3		B	1	50	2	120 0	200	12	500		3	1	7.0	5	2	7			1	
당해 년도	목표	2			B	1	50	2	200	50	10	500		2	1	5.0	5	2	6		3	1
	실적	6			B	0	0	2	200	86	14	15, 600		5	1	5.0	14	4	4		4	0

달성실적																			
연구종료후																			
성과장출	1	3		B				1000	150	2		1	1		2.0			1	
계획																			

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

[별첨 2]

(23쪽 중 22쪽)

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성

2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리

통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리

3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등

4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)