

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002138-01

ICT 스마트팜 기반 나노버블을 이용한
글루코시놀레이트 함량 증대
물냉이 생산시스템 개발

최종보고서

2018. 01

주관연구기관 / 충남대학교 산학협력단

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT 스마트팜 기반 나노버블을 이용한 글루코시놀레이트 함량 증대 물
냉이 생산시스템 개발” (개발기간 : 2015.12.18. ~ 2017.12.17.)과제의 최종보고서로 제출
합니다.

2018.01.

주관연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (인)

주관연구책임자 : 박 종 석 (인)

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

〈 보고서 요약서 〉

과제고유번호	115054-2	해당 단계 연구 기간	2016-12-18 ~ 2017-12-17	단계 구분	2/2
연구 사업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발			
연구 과제 명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	(해당 없음)			
연구 책임 자	박종석	해당단계 참 여 연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 0명	해당단계 연구 개발 비	정부: 90,000천원 민간: 30,000천원 계:120,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 15명 내부: 15명 외부: 0명	총 연구개발비	정부:180,000천원 민간: 60,000천원 계:240,000천원
연구기관명 및 소속 부서 명	충남대학교 산학협력단 / 충남대학교 원예학과			참여기업명	서동농자재

<p>요약</p> <ul style="list-style-type: none"> - 종자 발아에서 유묘까지 안정화 기술 - 배지 종류에 따른 발아율 조사 - 배양액 종류에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석 - LED광 처리에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석 - 광도&광주기에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석 - 온실에서의 직파재배와 이식재배 차이 규명 - 이동식 베드에서의 재배조건에 따른 물냉이 생육조사 및 glucosinolate 함량분석 - 정식 간격에 따른 물냉이 생산량 및 glucosinolate 함량 분석 - 마이크로버블의 물리화학적 특성분석 - 버블 믹싱 방법 및 공급 시스템 개발 - 버블 처리에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석 - UV-B 처리에 따른 물냉이 glucosinolate 함량 분석 - 마이크로버블 처리에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석 - 물냉이 부위별 기능성 물질 분석 - 이동식 담액 수경재배 시스템 개발 - ICT 스마트팜 기본 사양 및 환경제어 시스템 스펙 제시 - ICT 스마트팜 기반의 물냉이 환경제어 매뉴얼 개발 	<p>보고서 면수</p> <p style="font-size: 24px;">80</p>
--	--

〈 국 문 요약 문 〉

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 미국 질병예방통제센터에서 보고된 영양밀도가 가장 높은 작물로 물냉이가 선정되었고 상추대비 5배 비싼 물냉이의 기능성 성분 및 약리효과를 규명하고 안정된 생산과 기능성 물질의 함량을 증대시키기 위하여 ICT 스마트 팜 기반의 나노버블을 이용한 농가(기업) 보급형 재배시스템 개발 - 물냉이 종자 발아에서 유평까지의 생장 관리기술 개발 - 물냉이 최적 환경조건(양액온도, 기온, 광조건) 구명 - 마이크로나노버블 활용 ICT 근원제어 기술 개발 - 물냉이 기능성 물질 증대기술 개발 및 성분 분석/약리효과 검토 - 토지이용 효율 극대화 물냉이 담액 수경재배 시스템 개발 - ICT 스마트팜 기반의 물냉이 환경제어 매뉴얼 개발 					
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 물냉이 발아에 있어 배지 종류는 탈지면, 거즈, 솜 순서로 좋았으며, 육묘시 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $70 \pm 10\%$, 광도 $200 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 생육이 우수하였음 - 배양액은 오즈카, 한국원시, 호아글랜드 중에서 glucosinolate 함량은 오즈카 처리에서 가장 높았음 - 다양한 LED광 처리(W10, R3B1, R5B1, R10, R2B1G1, W2B1G1) 조건에서 물냉이 생육은 W10, R3B1, W2B1G1, 처리에서 높았으며 glucosinolate 함량은 R3B1처리에서 유의적으로 높게 나타났음 - 온실에서 유묘 이식은 직파재배와 비교하여 생산량 55%가 증가되었음 - 이동식 베드에서 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량은 Control 과 EMF 처리에서 높았음 - 정식간격에 따른 물냉이 수확량 및 glucosinolate 함량은 14cm 처리구에서 높았음 - 물냉이의 부위별 glucosinolate 함량은 잎에서 가장 높게 나타났음 - 마이크로 버블의 물리화학적 특성을 분석한 결과 pH에 따른 제타전위가 변화하며 발생된 버블의 직경은 $10\mu\text{m}$조건에서 발생량이 가장 많았음 - 마이크로 버블 처리 시 물냉이 생육은 감소하였으나 glucosinolate 함량은 증가되었음 - 물냉이 생육은 광주기와 광강도 20h-160μmol조건에서 증가되었으며 glucosinolate 함량은 24h-133μmol조건에서 39.6% 증가되었음 - UV-B 처리(4h 처리, 1.55 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$조건)에서 물냉이 glucosinolate 함량은 대조구와 비교하여 33.7% 증가되었음 - ICT 기반의 스마트팜을 제작하여 물냉이 생산 수경재배 시스템을 개발하였음 - ICT 스마트팜 기반의 물냉이 환경제어 및 재배 매뉴얼을 제작하였음 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> - 물냉이를 천연물 소재로한 신약의 적용 가능성 검토 - 물냉이+나노버블+ICT 스마트팜 기술의 패키지화를 통한 기업대상 기술이전 - 귀농 대상자를 위한 소규모 안정생산 시스템 보급 - 연중 생산 안정성+기능성 물질의 계절에 따른 무변동성을 특성으로 산업화 기초 토대 마련 					
중심어 (5개 이내)	물냉이	나노버블	스마트팜	글루코시놀레이트	생산시스템	

< SUMMARY >

		코드번호	D-01
Purpose& Contents	<p>Watercress was selected as the highest nutrient density reported by the US Centers for Disease Control and Prevention. Development of low-income farming system using nano-bubble in order to identify the functional ingredients and pharmacological effects of watercress which is five times higher than lettuce and to increase the production of stable and functional ingredients</p> <ul style="list-style-type: none"> - Development of growth management technique from watercress seed germination to seedlings - The optimum environmental conditions of watercress (nutrient solution temperature, temperature, light condition etc.) - Development of ICT rhizosphere control technology using micro nano bubble - Development of watercress functional substance enhancement technology and ingredient analysis / review of pharmacological effect - Development of watercress deep flow technique system for maximization of land use efficiency - Development of ICT smart farm based environment control manual for watercress 		
Results	<ul style="list-style-type: none"> - The seeds of watercress were germinated in the order of absorbent cotton, gauze and cotton. The watercress was grown well at a temperature of $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, humidity of $70 \pm 10\%$ and light intensity of $200 \pm 20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ - The content of glucosinolate in OTS, HES and PBG was highest in OTS treatment - Growth of watercress was high in W10, R3B1, W2B1G1, and glucosinolate content was significantly higher in R3B1 treatment under various LED light treatments (W10, R3B1, R5B1, R10, R2B1G1, W2B1G1) - The seedling transplantation in the greenhouse increased the yield by 55% compared with direct seeding - Growth and glucosinolate content of watercress in moving bed were higher in Control and EMF treatment - The yield and glucosinolate content of watercress according to transplant distance were highest in 14cm treatment - Glucosinolate content of watercress was highest in leaf - As a result of analyzing the physicochemical properties of microbubbles, zeta potential was changed according to pH, and bubble diameter was the largest at $10\mu\text{m}$ - Microbubble treatment decreased the growth of water cold, but glucosinolate content increased - Growth of watercress increased with light intensity of 20h-160μmol, and glucosinolate increased by 39.6% at 24h-133μmol - Glucosinolate content of watercress in UV-B treatment(4h, 1.55 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) was increased by 33.7% compared with the control - ICT-based smart farm was built and watercress production water hydroponics system was developed - Development of ICT smart farm based environment control manual for watercress 		

Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> - Examination of applicability of new drugs as natural material using watercress - Technology transfer to companies through watercress+nano-bubble+ICT smart farm technology packaging of technology - Provision of small-scale stable production system for urban to rural returners - Production stability throughout the year + foundation of industrialization of functional materials 				
Keywords	watercress	micro bubbles	smart farm	glucosinolate	production system

◀ CONTENTS ▶

1. Overview of research and development	08
2. Present status of technical development at domestic and abroad	15
3. Research contents and results	16
4. Goal achievement and contribution to related fields	67
5. Application plan of results	68
6. International science and technology information obtained during the research	69
7. Security level of results	70
8. Present status for the facilities and equipments of the research center	71
9. The actual implementation of safety measures	72
10. Representative research achievements of research and development	73
11. The others	79
12. Cited literatures	80

〈 목 차 〉

01. 연구개발과제의개요	08
02. 국내외 기술개발 현황	15
03. 연구수행 내용 및 결과	16
04. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	67
05. 연구결과의 활용계획 등	68
06. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	69
07. 연구개발성과의 보안등급	70
08. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	71
09. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	72
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	73
11. 기타사항	79
12. 참고문헌	80

1장 연구개발과제의 개요

코드번호

D-03

1-1. 연구개발 목적

- 영양 및 기능성 물질 밀도가 가장 높은 것으로 판명된 물냉이(크레송)의 기능성 성분 및 약리효과를 분석하고, 기능성물질 함량 증대 및 생산성 향상을 위한 ICT 스마트팜기반의 마이크로나노버블을 활용한 농가(기업) 보급형 물냉이 고효율 생산시스템 개발을 목표로 함

1-2. 연구개발의 필요성

가. 작물선정

- 물냉이(Nasturtium officinale)는 유럽 원산의 귀화식물로 우리나라 전역에 냇가나 도랑에서 서식하는 십자화과의 다년생 수생 초본식물로 높이는 20-40cm 정도 자람
- 물냉이는 영명으로는 “워터크레스(watercress)”로 불리지만 유럽에서는 프랑스명인 “크레송(cresson)”으로 더 잘 알려진 향신 채소이며 우리나라에는 선교사를 따라 들어와 귀화한 것으로 추정하고 있지만 채소로 많이 소비되고 있지 않은 편임
- 2014년 미국 질병통제예방센터(The Centers for Disease Control and Prevention: CDC)에서는 만성질병에 대한 위험을 줄일 수 있는 '최강의 과일과 채소'(powerhouse fruits and vegetables: PFV)를 선정하기 위해, 47개 품목에 대해서 칼로리 대비 영양소의 비율을 파악하였는데, 그 중 물냉이(watercress)가 1등을 하였음(Di Noia, 2014)
- 영양소 밀도(nutrient density)란 식품의 칼로리당 영양소 함량을 뜻하는데, 분석 결과 물냉이(워터크레스)가 47가지 과일과 채소 중 가장 영양소 밀도(nutrient density)가 가장 높은 식품으로 랭크됐으며, 배추, 시금치, 치커리, 양상추 등이 영양이 풍부한 채소들로 나타났다



Centers for Disease Control and Prevention

CDC 24/7: Saving Lives, Protecting People™

Watercress Tops Ranking of Nutrient-Dense Foods

CDC compiles list of "powerhouse fruits and vegetables."

By Scott Douglas MONDAY, JUNE 9, 2014, 11:57 AM



	Item	Type	Nutrient Density Score
1	Watercress	cruciferous	100.00
2	Chinese cabbage	cruciferous	91.99
3	Chard	green leaf	89.27
4	Beet green	green leaf	87.08
5	Spinach	green leaf	86.43
6	Chicory	green leaf	73.36
7	Leaf lettuce	green leaf	70.73
8	Parsley	green leaf	65.59
9	Romaine lettuce	green leaf	63.48
10	Collard green	cruciferous	62.49
11	Turnip green	green leaf	62.12
12	Mustard green	green leaf	61.39
13	Endive	green leaf	60.44
14	Chive	green leaf	54.80
15	Kale	cruciferous	49.07

[그림1] CDC(질병예방통제센터)에서 발표한 물냉이의 영양성분 순위

* 윌리엄 페터슨 대학의 제니퍼 디 노이아 교수팀이 이끈 이 연구에서는 일반적으로 건강에 유익한 것으로 알려진 47가지의 과채류를 대상으로 식품당 각 100Kcal에 들어있는 17가지 주요 영양성분의 함량을 측정하였음

- PFV (powerhouse fruits and vegetables: PFV)는 만성 질환 위험 감소에 가장 강력하게 연관되어 있는 식품으로 분류하였으나, 그동안 미연방정부는 국민들에게 얼마의 채소와 과일류를 먹어야 하는가에 대한 권장량만 밝혔을 뿐, 어떤 종류를 섭취해야 하는가에 대해서는 구체적으로 권고하지 않았음
- 물냉이가 만성질병에 대한 위험을 줄일 수 있는 '최강의 과일과 채소'(powerhouse fruits and vegetables: PFV)로 알려지면서 국내에서도 소폭 소비가 늘어나고 있는 실정이나 가격이 비싸고 양식 음식점이나 호텔 등에서 유통되고 있는 수준임
- 한국인의 물냉이에 대한 소비층이 아직 많지 않은 관계로 온라인상의 가격적인 면에서 시설에서 생산되는 상추, 깻잎 1kg당 가격에 비하여 물냉이는 약 5배 정도의 높은 가격으로 유통되고 있음



워터 클래스 크레송 물냉이 후추풀 향신료 1kg

GRAND SALE 가을정기세일

상품번호: A793442616 [상산에딧컴] 워터 클래스 크레송 물냉이 후추풀 향신료 1kg

47,470원

판매자 혜택: 6만원이상 무이자 카드보기 >

Plus(+) 할인: 옥션제휴카드 결제시 청구할인 -7,121원 조건보기 >

적립/기타혜택: 바트록션 Smile Point 237P
아시아나항공 23마일 또는 OK캐쉬백 237P

판매수량: 6개 (남은수량 14,000개) ? >

원산지: 각 상품별 원산지는 상세설명 참조

배송방법: 택배

배송비: 무료

배송장르: 추가 배송비 : 제주도 4,000원/기타도서 6,000원

구매수량: 개

[그림2] 온라인에서 시판 중인 물냉이의 가격

- 물냉이는 수생식물이라는 장점에 수경재배가 어렵지 않은 작물이며, 최근 지속적인 소비 증가 추세로 근권제어가 가능한 물냉이 시설 수경재배법 개발은 매우 필요하며 국민건강 증대라는 측면에서도 반드시 필요한 연구로 판단됨

나. 국내외 재배기술 현황

- 물냉이의 재배기술은 특별히 정형화 되어있지 않지만 수생식물이라는 점에서 수경재배가 어렵지 않은 작물이며, 최근에는 미나리재배와 같이 논의 일정 구역에 물을 받아 물냉이 줄기를 던져놓고 영양번식 시켜 지상부를 수확하는 시스템임



[그림3] 물냉이의 재배 방식 및 재배모습

- 최신 농가의 현재 재배 기술은 온실의 수경재배 시스템을 이용하여 재배하는데 그 구조는 폭 1200mm 높이 200mm 베드를 고정식 구조물에 올려놓고 베드를 길게 연결하여 베드안에 양액을 채우고 담액경과 같은 형식으로 재배 함

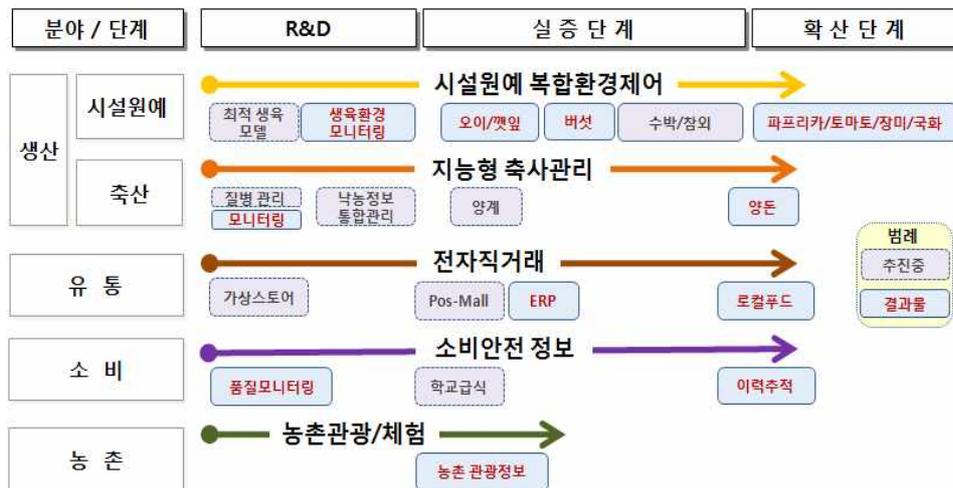


[그림4] 온실에서의 물냉이 재배 모습

- 물냉이는 서늘한 곳에서 잘 자라므로, 여름철에는 양액의 온도가 20도가 넘지 않아야 하며, 겨울철에는 최소 10도 이상을 유지시켜야 함. 이러한 조건을 맞추지 못할 경우 품질이 떨어져서 (웃자라고 연약해짐) 가격을 받지 못함
- 물냉이의 연중 최적 재배 시스템을 구축하기 위해서는 온습도, 차광 및 난방을 설정값으로 유지시켜줄 수 있도록 구성된 스마트 팜 온실에서, 양액의 온도를 적정하게 맞출 수 있는 자재 및 양액온도 제어 기술, 마이크로나노 버블을 이용한 근권부 제어 최적 시스템을 개발하여 연중 고품질 물냉이 생산 시스템 구축이 필요함

다. ICT 융복합 기술의 현황

- 전반적인 농지면적의 변화, 농업 노동인구의 고령화에 따른 농업 경쟁력의 약화 및 농가 소득 정체 그리고 농업에 큰 영향을 미치는 한반도 기상 이변 등의 문제점을 타개하기 위한 노력의 일환으로 ICT 기반 스마트 농업 기술 도입이 추진되고 있음

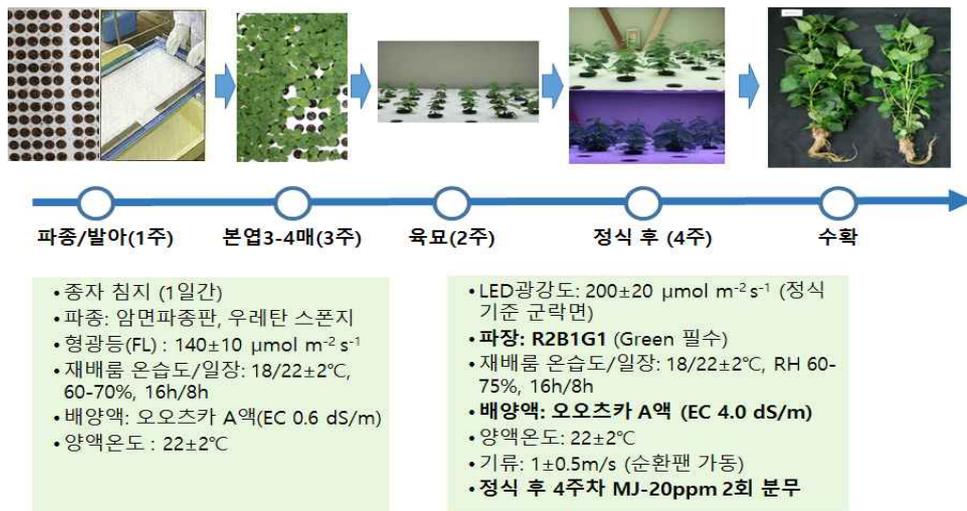


[그림5] ICT 융복합 모델 개발 현황

- 농산물 생산 및 유통 등에서 ICT를 접목한 사업은 현장 활용도가 일부 시설하우스에 국한되어 낮은 상황으로 평가되고 있고, 최적생육 모델 등의 알고리즘은 연구 추진 중으로 현장에서 활용은 아직 미미함
- 현재 우리나라의 스마트팜 기술은 주요 부품(센서, 제어기 등)은 외산을 구입하여 시스템을 구축하고 있어 농가 입장에 서는 제품 가격 및 운용·유지보수비가 비싸고, 제품(부품)간 상호 호환성 결여로 유지보수에 어려움을 겪고 있음
- 원예산업 분야의 온실 및 시설 농업에 대한 ICT 융복합·스마트 농장 기술개발 노력 및 성숙도는 기술 선도국에 근접한 수준으로 발전하고 있으나 구체적인 요소기술의 개발이 전체 생산량 증대 또는 효율 증대로 이어져서 농가들이 피부로 와 닿는 기술개발은 매우 미미한 수준에 머무르고 있음
- 도입에서 성장단계로 들어가는 시설원예 기술수준을 높이기 위해서는 대상 작물에 대해 특화된 재배 시스템과 메뉴얼 개발은 매우 중요하다고 할 수 있음
- 따라서 시설원예에 가장 중요한 시설 환경관리 및 생산 시스템을 개발하고 이를 통합한 재배 생산 메뉴얼을 개발하여 국내 물냉이 생산 농가에 보급 하는 것이 필요함

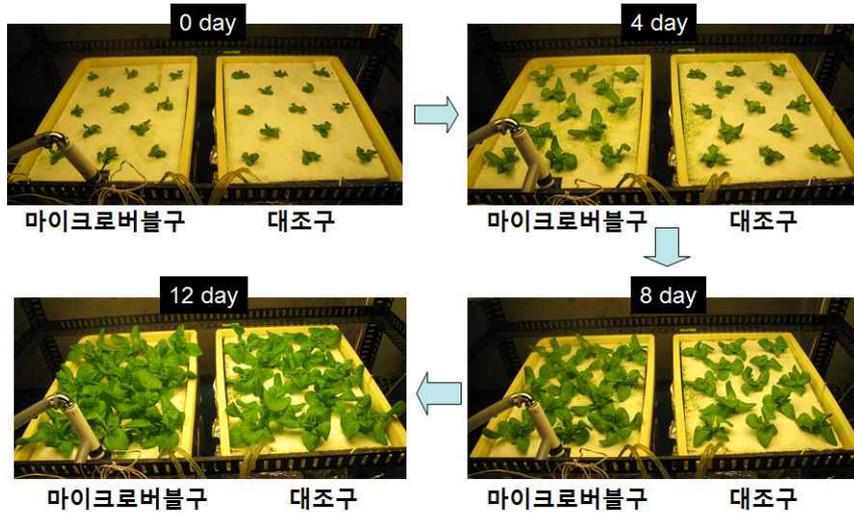
1-3. 연구개발 범위

- 물냉이의 발아에서 육묘, 및 정식 이후 수확까지의 재배실험을 통하여 적절한 환경(양액 온도, 최적 배양액, 적절한 온습도, 광) 조건을 도출함 → 실제 재배 실험을 통한 검증 및 도출



[그림6] 물냉이 재배 프로토콜의 예시

- 마이크로 나노 버블기술을 도입하여 생산성 증대 또는 기능성 물질을 강화시키는 재배 기술을 개발 함 → 실제 재배를 통한 기술 검증 및 개발



[그림7] 마이크로버블 기술을 이용한 상추의 생육 결과 예시
(생체중 20% 증대)

- 물냉이 기능성 물질 증대기술 개발 및 성분 분석/약리효과 검토
 각 재배 환경 또는 조건별 물냉이 재배를 통하여 글루코시놀레이트 성분을 분석함. 최근 물냉이 잎에 글루코나스투틴(Gluconasturtiin) 함량이 매우 높게 분석되었으며, 탁월한 항암효과를 가진 기능성 물질로 각광받고 있음

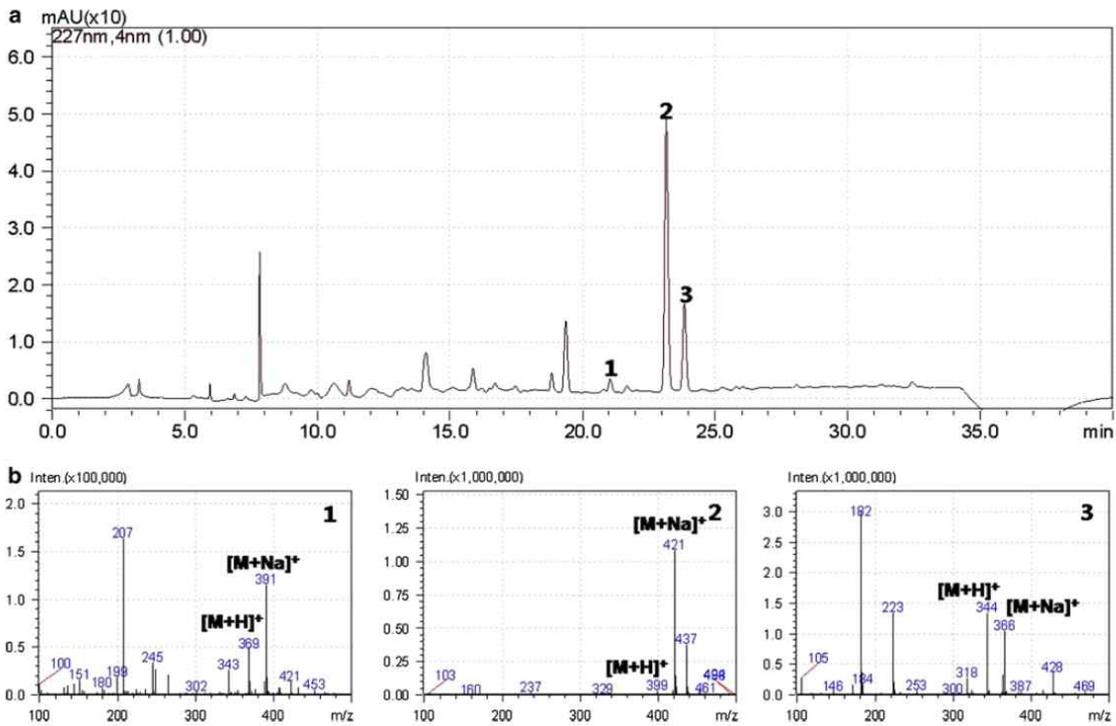
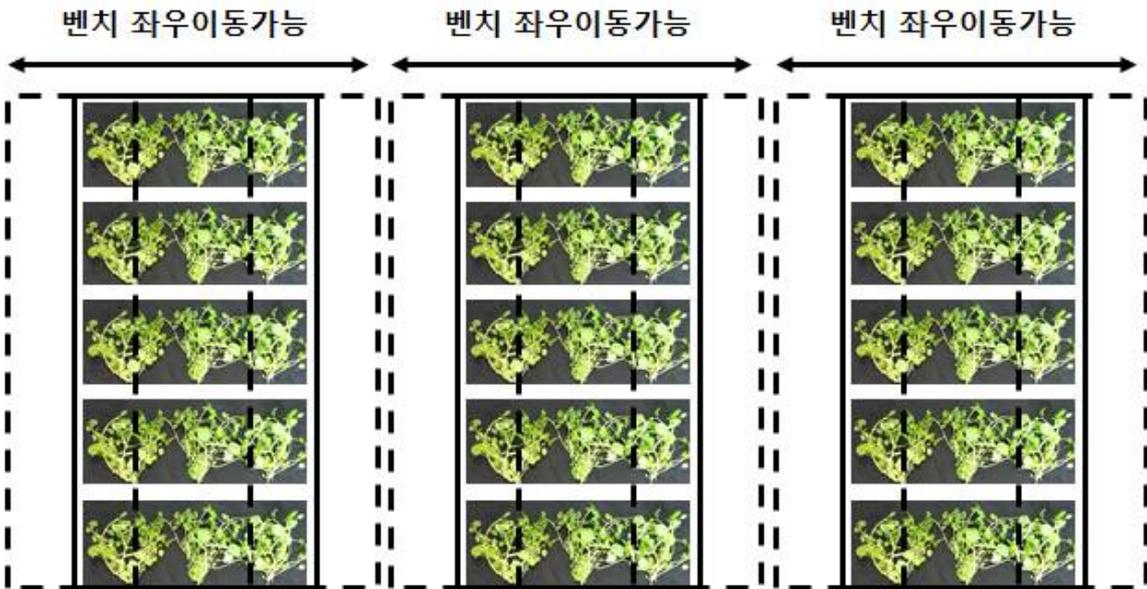


Fig. 4 HPLC chromatogram (a) and MS spectra (b) of desulphoglucosinolates extracted from hairy roots of *N. officinale*. (1) Desulphoglucobrassicin; (2) Desulpho-4-methoxyglucobrassicin; (3) Desulphogluconasturtiin

[그림8] HPLC를 이용한 glucosinolate 분석 그래프

- 토지이용 효율 극대화 물냉이 담액 수경재배 시스템 개발
실제 설치된 베드가 좌우로 이동이 가능하도록 물냉이 전용 재배시스템 설치 및 재배실험



[그림9] 이동식 베드 예시

- ICT 스마트팜 기반의 물냉이 환경제어 재배 매뉴얼 개발
팜시스를 이용한 스마트팜 환경제어 및 원격 시스템을 이용한 환경 데이터 수집



[그림10] 팜시스 시스템 구성

2장 국내외 기술개발 현황

코드번호	D-04
------	------

- 물냉이의 재배기술은 특별히 정형화 되어있지 않지만 수생식물이라는 점에서 수경재배가 어렵지 않은 작물이며, 최근에는 미나리재배와 같이 논의 일정 구역에 물을 받아 물냉이 줄기를 던져놓고 영양번식 시켜 지상부를 수확하는 시스템임



[그림11] 서유럽 국가의 물냉이 재배 시스템

- 최신 농가의 현재 재배 기술은 온실의 수경재배 시스템을 이용하여 재배하는데 그 구조는 폭 1200mm 높이 200mm 베드를 고정식 구조물에 올려놓고 베드를 길게 연결하여 베드 안에 양액을 채우고 담액경과 같은 형식으로 재배 함



[그림12] 물냉이 수경재배 시스템과 수확 기계 모습

- 물냉이는 서늘한 곳에서 잘자라므로, 여름철에는 양액의 온도가 20도가 넘지 않아야 하며, 겨울철에는 최소 10도 이상을 유지시켜야 함. 이러한 조건을 맞추지 못할 경우 품질이 떨어져서 (웃자라고 연약해짐) 가격을 받지 못함
- 물냉이의 연중 최적 재배 시스템을 구축하기 위해서는 온습도, 차광 및 난방을 설정값으로 유지 시켜줄 수 있도록 구성된 스마트 팜 온실에서, 양액의 온도를 적정하게 맞출 수 있는 자재 및 양액온도 제어 기술, 마이크로나노 버블을 이용한 근권부 제어 최적 시스템을 개발하여 연중 고품질 물냉이 생산 시스템 구축이 필요함

3장 연구수행 내용 및 결과

코드번호

D-05

1. 종자 발아에서 유묘까지 안정화 기술

(1)종자 및 파종준비

- 종자는 종자소독된 것을 사용
- 파종전 육묘용 암면을 준비
- 육묘용 암면은 오염되지 않은 것을 사용
- 베드의 구멍과 육묘용 암면 크기를 맞출 것
- 암면을 충분히 포수 시킬 것

(2)파종방법

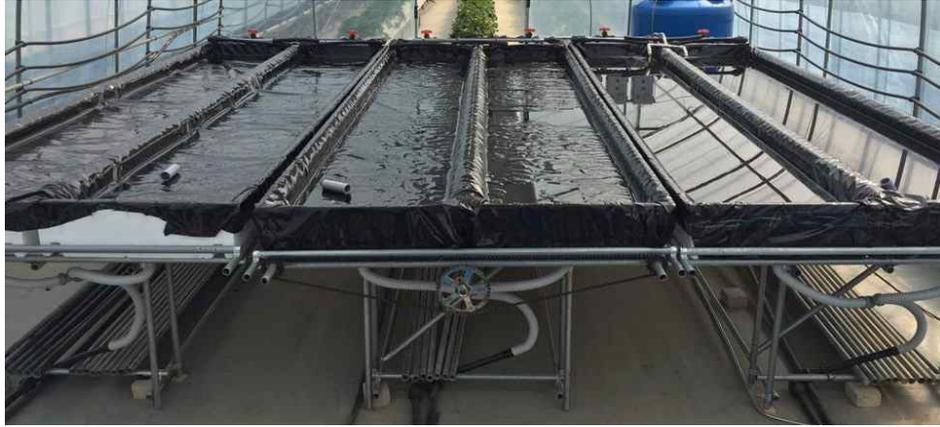
- 종자는 구멍당 3~5립 씩 넣고, 복토용 버미큘라이트로 덮어줌
- 파종 후 물을 흠뻑 주어 발아가 잘되도록 하고, 암면이 마르면 발아가 안 될 수 있으므로 가급적 마르지 않도록 관리함
- 온도는 20~25℃, 습도 60~80% 정도로 관리 함

(3)육묘관리

- 발아가 되면(파종 후 3~6일 소요) 구멍당 1주만 남기고 솟아줌
- 발아된 후에도 암면이 마르지 않도록 저면관수방법으로 물을 줌
- 본엽이 전개되면 EC 0.5~1.0 dS/m 정도로 양액
- 발아 후 온도는 20~25℃ 내외를 유지할 것
- 병에 이병된 묘는 정식하지 말 것

(4)정식준비

- 스티로폼 베드에 재식거리 15cm × 15cm 간격으로 구멍을 뚫음
- 베드 바닥을 깨끗하게 청소하여 이물질이 없도록 함
- 양액은 pH 6.0~6.5 정도, EC 1.5~2.0 dS/m 정도로 사전에 조성하여 시운전을 해볼 것



[그림13] 물냉이 정식을 위한 베드 준비

(5)정식

- 암면 한 개씩 베드 위의 구멍에 꽂아 넣음
- 암면과 뿌리부분이 양액에 잠기도록 해야 함
- 양액에 잠기지 않아 말라서 죽지 않도록 주의해야함
- 정식 후 2~4일 동안은 양액에 암면과 뿌리가 잠겨 있는지 확인하고, 만약 잠기지 않은 식물체가 있으면 잠기도록 해줄 것
- 온도와 양액농도를 수시로 체크하여 적정 온도와 양액농도가 유지되도록 할 것



[그림14] 물냉이 정식 시 모습

(6)양액관리

- 양액조성은 작물에 따라 다르게 조성해야 하지만 일반적 Hoagland 양액 조성표(Hoagland and Arnon, 1938)로 조성하면 무난하게 재배 가능함
- 양액은 보통 A액과 B액을 따로 조성해야하므로 2개의 통을 준비할 것
- pH조절을 위한 C액 통도 있으면 좋음

- 칼슘과 황산은 결합하여 응고가 되므로 반드시 다른 통에 녹여야 함
- 사용하는 물은 사전에 분석하여 pH 변화에 영향을 미치지 않는 물을 사용해야함
- 양액은 10분씩 on/off 주기로 공급함
- 양액온도는 20℃ 이하로 유지해줌
- 식물체가 크면 양액이 부족할 가능성이 크므로 수시로 확인하여 부족하면 보충해줌
- 보충할 때는 물만 보충해 주면 영양분이 부족할 수 있으므로 식물체 관찰 후 양분 부족 시 새로운 양액을 보충해 줌

[표] Hoagland 양액 조성표

원소 함유량	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S
me/L	14	1	3	6	8	4	4
ppm	196	14	31	235	160	49	64

(7)수확

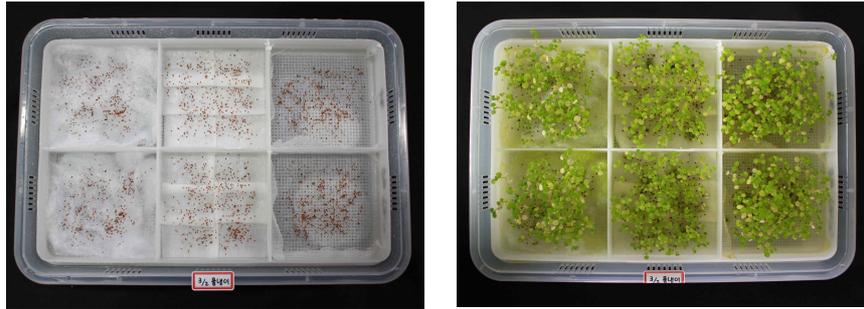
- 수확 시기는 작물에 따라 다른데 잎이 지나치게 크거나 작을 때 하지 말고 적당한 크기에 실시함
- 수확 시 뿌리가 길게 자라서 잘 빠지지 않으므로 뿌리 위를 절단하여 수확하는 것이 편리함
- 수확 시 사용하는 도구는 항상 깨끗한 상태를 유지하면서 사용할 것



[그림15] 물냉이 수확 시 모습

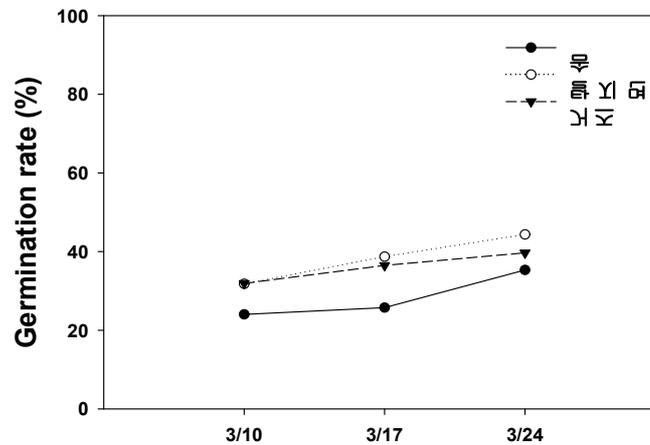
2. 배지 종류(솜, 탈지면, 거즈)에 따른 발아율 조사

- 새싹재배기에 솜, 탈지면, 거즈를 깔고 0.1g의 물냉이 종자를 각 처리구에 파종하여 growth chamber에서 3주간 재배



[그림16] 솜, 탈지면, 거즈를 이용한 물냉이 파종된 모습과 발아상태

- 솜, 탈지면, 거즈를 이용하여 처리구별 발아율을 측정한 결과 솜(35.5%), 탈지면(44.5%), 거즈(39.5%)로 탈지면>거즈>솜 순으로 발아율이 높음을 확인



	솜	탈지면	거즈
3월 10일	117(25%)	152(32%)	168(36%)
	109(23%)	147(31%)	132(28%)
3월 17일	132(28%)	167(36%)	191(41%)
	110(23%)	197(42%)	152(32%)
3월 24일	186(40%)	191(41%)	199(42%)
	146(31%)	226(48%)	174(37%)

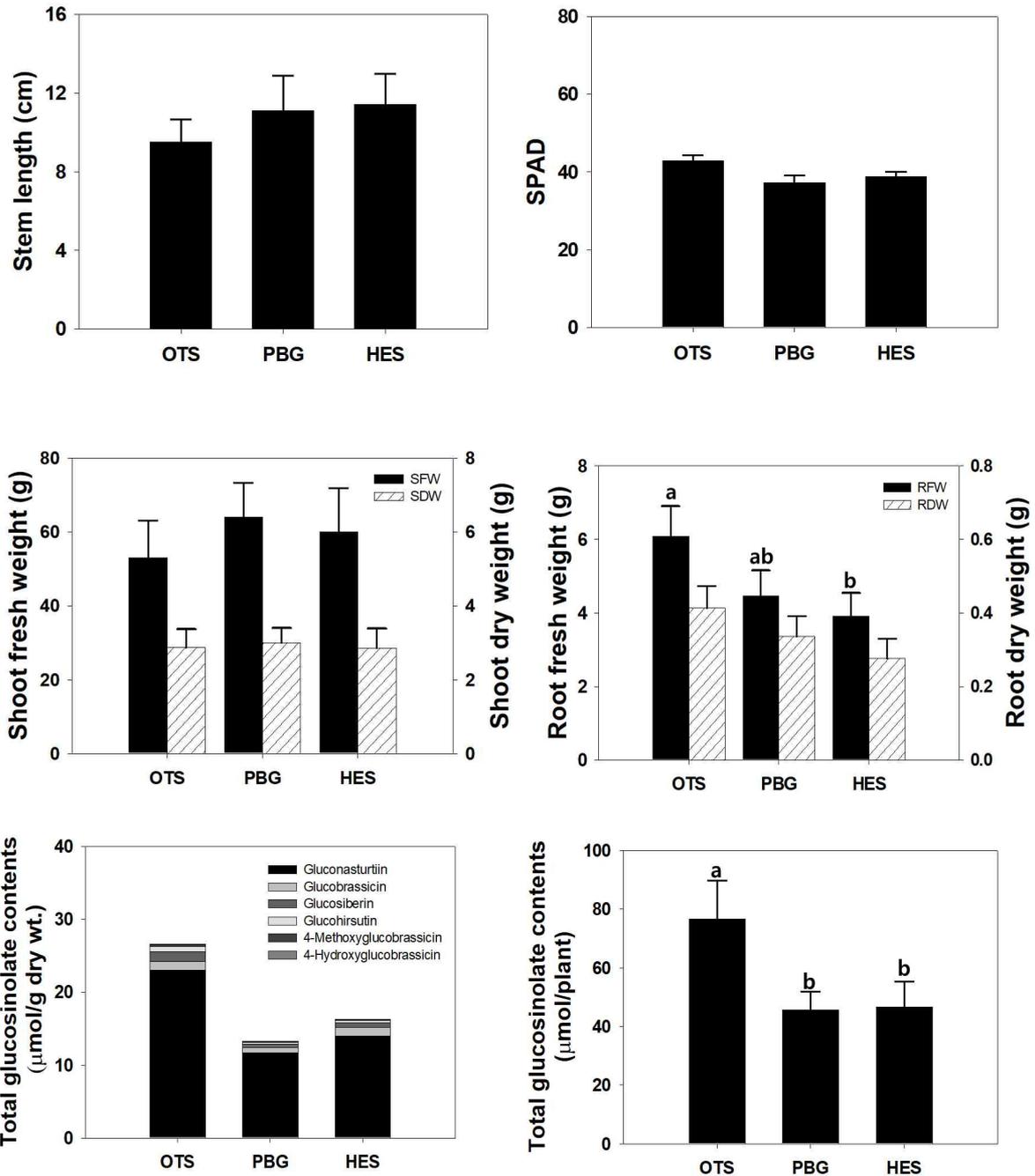
3. 배양액 종류(오츠키, 한국원시, 호아글랜드)에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 20°C, 습도 80% 광도 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 7주간 육묘 후 배양액을 오츠키(OTS), 한국원시(HES), 호아글랜드(PBG)로 처리하여 온도 18±2°C, 습도 70±10%, 광도 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, EC 1.3±0.1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 3주간 재배



[그림17] 각각의 배양액 조건에 따른 물냉이의 재배 실험

- OTS, PBG, HES 처리구 사이의 초장과 SPAD는 유의성이 보이지 않음
- 지상부의 생체중과 건물중은 배양액 종류별 유의성이 보이지 않았음
- OTS 처리구의 지하부 생체중과 건물중은 유의적으로 HES의 처리구 보다 높았으나, PBG와는 유의적 차이가 발생하지 않았음
- 건물중 단위 g 당 glucosinolate의 함량은 OTS 처리구에서 유의적으로 높았으며, 각 처리구 물냉이의 건물중 당 glucosinolate 함량도 OTS 처리구에서 가장 높게 나타났음



[그림18] 배양액 종류에 따른 물냉이 초장, SPAD, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

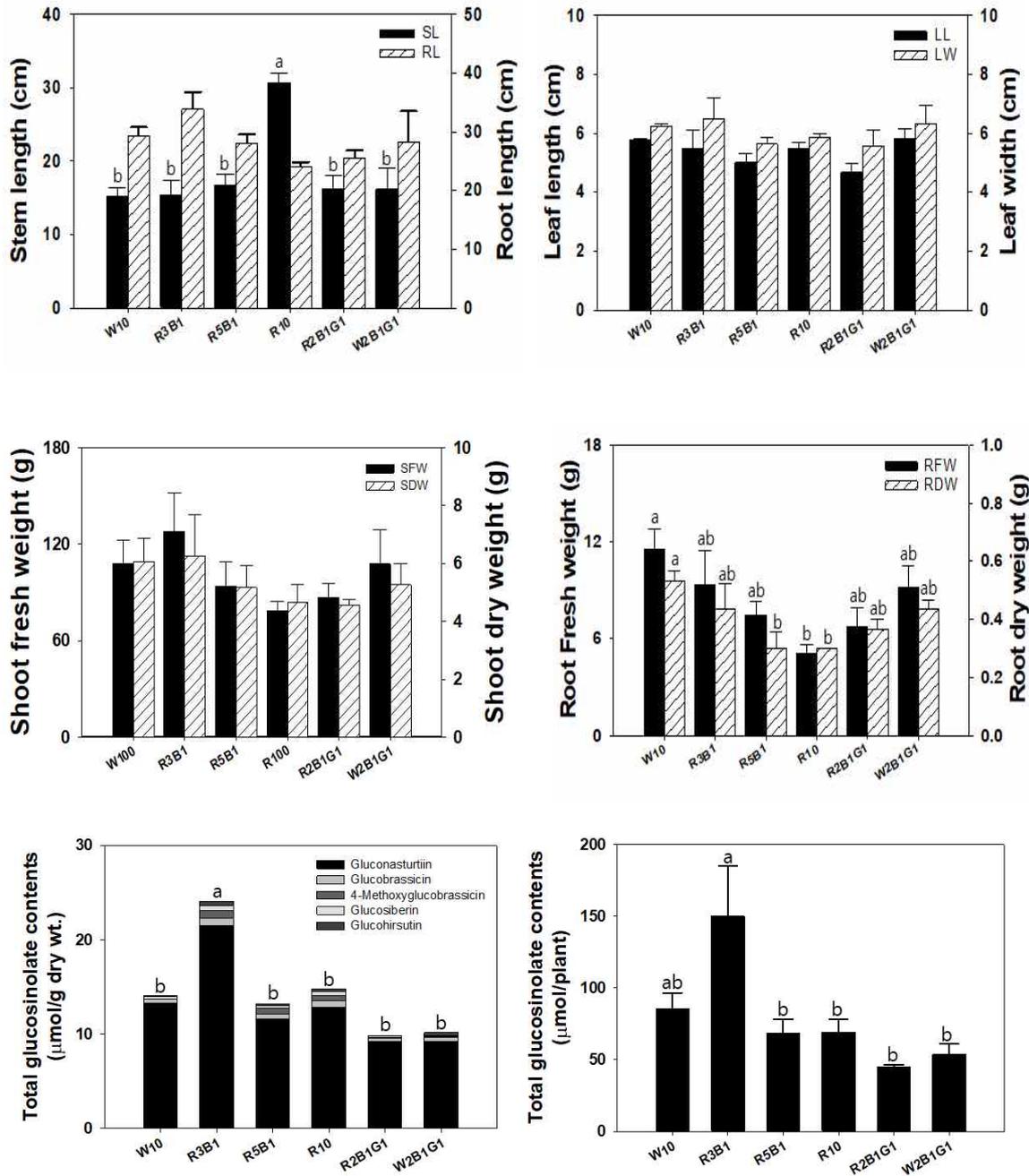
4. LED광 처리(W10, R3B1, R5B1, R10, R2B1G1, W2B1G1)에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도20℃, 습도80% 광도160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 5주간 육묘 후 LED 광 조건 백색광 (W10), 적색광 (R10), 적색과 청색 혼합광 (R3B1, R5B1), 적색, 청색과 녹색광 혼합 (R2B1G1), 백색광, 청색광과 녹색광 혼합 (W2B1G1)의 6개 처리구 조건과 온도 $20\pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $70\pm 10\%$, 광도 $180\pm 5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, EC $1.3\pm 0.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (호아글랜드 배양액)로 3주간 재배



[그림19] 각각의 LED조건에 따른 물냉이의 재배 실험

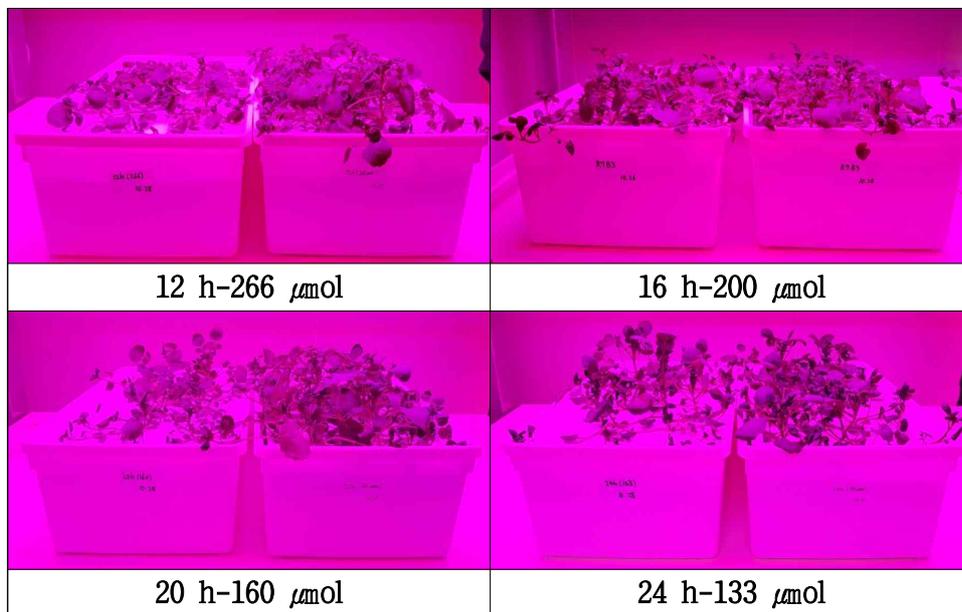
- LED광 조건에 따른 생육측정 결과 초장은 R10 처리구에서 유의적으로 높았음
- 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중은 처리구별 유의적 차이가 없었음
- 지하부 생체중 및 건물중은 W10 처리구에서 가장 높았으며, R10 처리구에서 낮았음
- 건물중 단위 g 당 glucosinolate함량을 HPLC로 분석한 결과 W10에서 $14.09\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., R3B1에서 $24.06\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., R5B1에서 $13.32\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ry wt., R10에서 $14.79\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., R2B1G1에서 $9.84\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., W2B1G1에서 $10.17\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt.로 R3B1처리구에서 높았음
- 식물체당 glucosinolates 함량은 R3B1 처리구에서 높았으며 W10 처리구와 유의적 차이는 없었음



[그림20] 단색광 또는 혼합광 조건에 따른 물냉이 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

5. 광도&광주기에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도20℃, 습도80% 광도160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 2주간 육묘 후 광도 및 광주기 처리를 일적산광량(Daily light integral; DLI)을 동일하게 11.52 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 로 맞추어 12 h-266 μmol (광주기 12/12 hour, 광강도 266 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 16 h-200 μmol (광주기 16/8 hour, 광강도 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 20 h-160 μmol (광주기 20/4 hour, 광강도 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 24 h-133 μmol (광주기 24/0 hour, 광강도 133 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)로 설정하였음
- 광질 처리는 침두 파장이 각각 적색 (R: 630, 660 nm), 청색 (B: 450 nm) (쥬성광LED, Korea)인 발광 다이오드를 사용하여 광합성유효광량자속밀도(PPFD: photosynthetic photon flux density)비율을 기준 R7B3 (R:B:G = 7:3:0)으로 처리하였음. 정식 후 배양액은 Hoagland를 사용하여 EC $2.1\pm 0.1\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 7.1 ± 0.7 로 유지하였음. 온도 및 습도는 주간 20℃, 야간 18℃, $60\pm 10\%$ 로 3주간 재배함

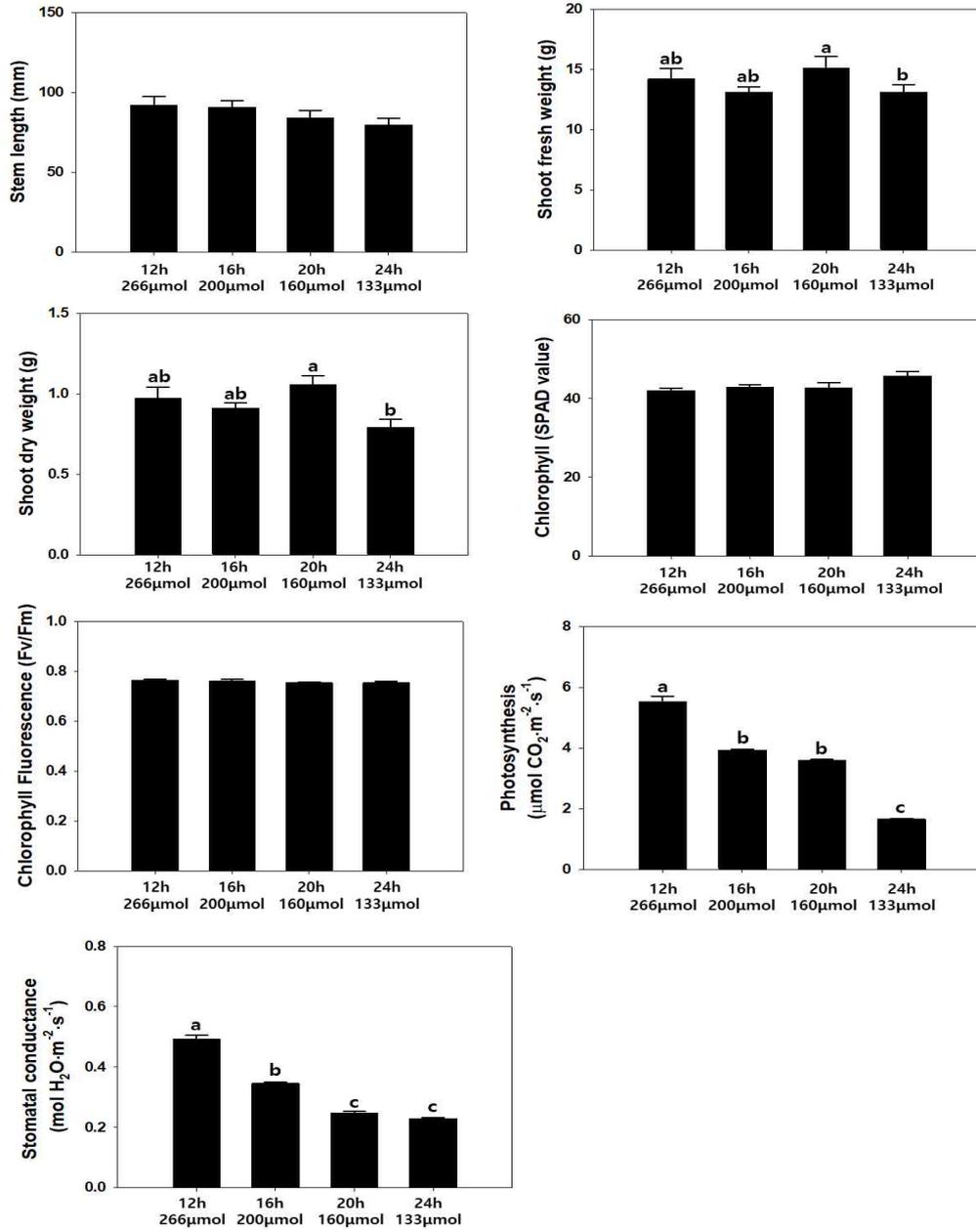


[그림21] 광도 및 광주기에 따른 물냉이 생육

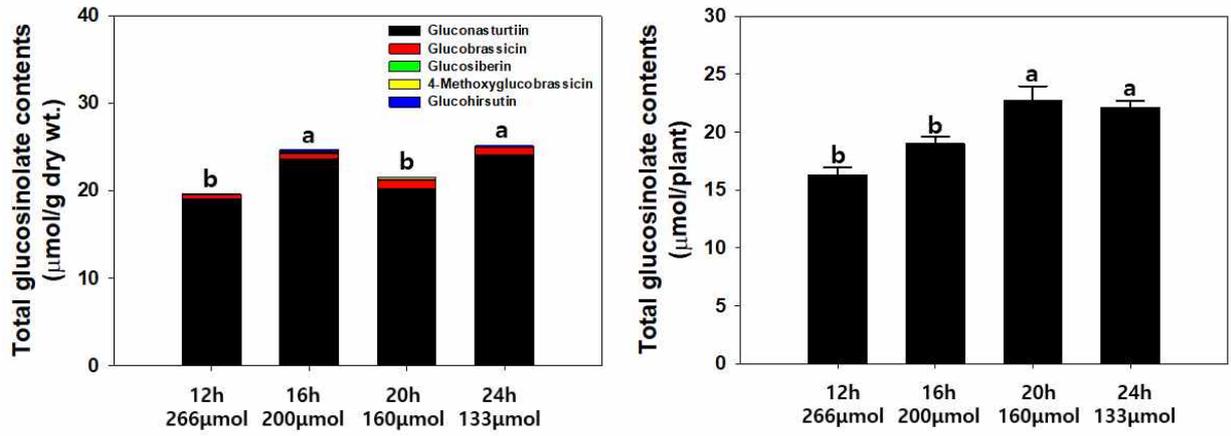
- 초장은 광도 및 광주기 처리에 따른 유의적 차이가 없었음
- 지상부 생체중은 20 h-160 μmol 처리구에서 높았으며 24 h-133 μmol 처리구에서 낮았음
- 일적산광량이 동일할 때 광주기가 길고 광도가 낮은 처리구가 광주기가 짧고 광도가 높은 처리구보다 상추의 생육이 증가했다는 보고(Koontz and Prince, 1986)와 상반되는 결과를 얻었음
- 지상부의 건물중은 지상부 생체중과 마찬가지로 20 h-160 μmol 처리구에서 높았으며 24 h-133 μmol 처리구에서 낮았음
- 광도가 낮고 광주기가 긴 처리구에서 아키메네스의 건물중이 증가하였다는 다른 연구(Vlahos et al., 1991)와 상반되는 결과를 얻었음
- 엽록소 함량과 엽록소 형광은 광도 및 광주기 처리에 따른 유의적 차이가 없었음. 광합

성 측정은 특정 앞에서 특정 시간에 이루어져 광주기에 대한 영향 보다는 광도에 영향을 받았을 것으로 생각하였음

- 그러므로 광합성률 및 기공전도도에 대한 결과는 광도에 따른 차이로 설명하였음. 광합성률은 광도가 증가할수록 증가하였음
- 24 h-133 μ mol 처리구는 12 h-266 μ mol 처리구에 비해 광합성률이 70.2% 감소하였음. 광도가 높을수록 생육이 증가하고 광합성률이 감소한다는 결과(Kang et al., 2013)와 상반되는 결과를 얻었음. 이는 Kang et al.(2013)의 연구에서는 수확 전 1000 μ mol \cdot m⁻² \cdot s⁻¹의 인공광에서 광합성을 측정하였고 본 연구는 각 처리의 광도 및 광질에서 광합성을 측정하여 광합성 환경 차이에 의한 결과로 판단됨
- 기공전도도 또한 광도가 증가할수록 증가하였음. 24 h-133 μ mol 처리구는 12 h-266 μ mol 처리구에 비해 기공전도도가 53.3% 감소하였음. 물냉이 건물중 0.1g 당 glucosinolates 함량은 16 h-200 μ mol과 24 h-133 μ mol 처리구에서 각각 24.64 μ mol \cdot g⁻¹, 25.10 μ mol \cdot g⁻¹으로 높았으며, 12 h-266 μ mol 과 20 h-160 μ mol 처리구에서 19.61 μ mol \cdot g⁻¹ 21.54 μ mol \cdot g⁻¹로 낮았음. 광도와 광주기에 따른 총 안토시아닌 함량은 광도가 높고, 광주기가 짧아질수록 증가하였으나(Kang et al., 2013) 물냉이의 2차대사산물 glucosinolates 함량은 광도가 낮고 광주기가 길어질수록 증가하였음
- 광도 및 광주기에 따라 단위 g 당 glucosinolates 함량이 최대 28% 차이가 났음. 지상부 건물중과 단위 g당 glucosinolates 함량을 이용하여 식물체당 glucosinolates 함량을 구하여 비교하였을 때 20 h-160 μ mol과 24 h-133 μ mol 처리구에서 각각 22.76 μ mol/plant, 22.15 μ mol/plant으로 높았으며, 12 h-266 μ mol과 16 h-200 μ mol 처리구에서 각각 16.30 μ mol/plant, 19.00 μ mol/plant로 낮았으며, 광도 및 광주기에 따라 식물체 당 glucosinolates 함량이 최대 39.6% 차이가 났음



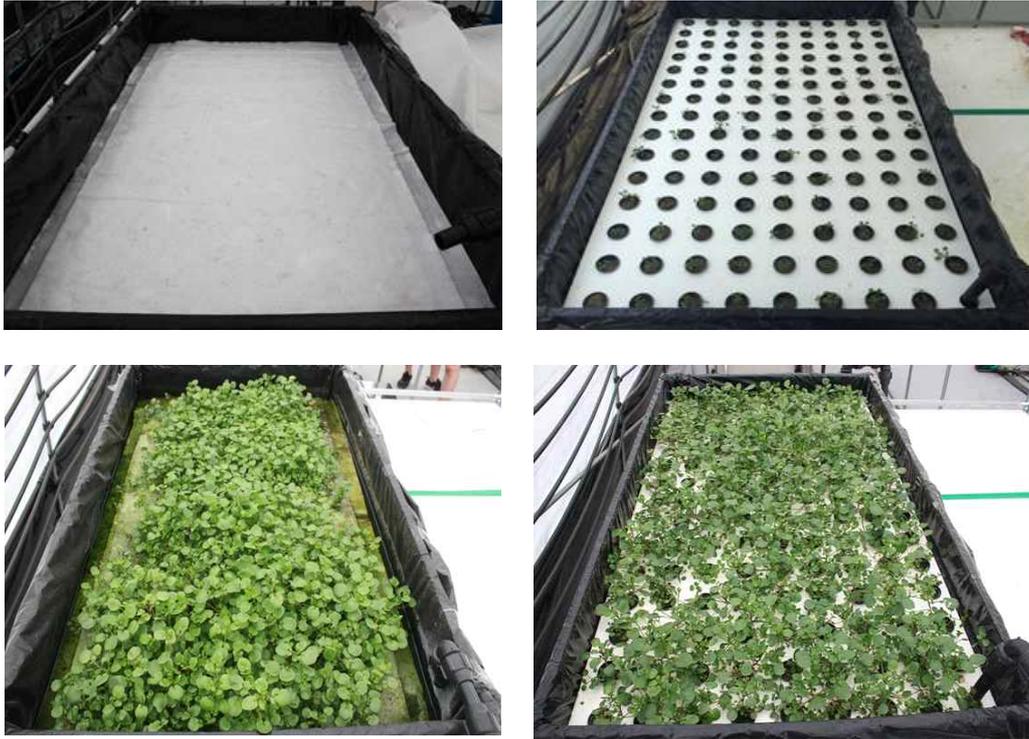
[그림22] 광도 및 광주기에 따른 물냉이 초장, 지상부 생체중 및 건물중, SPAD, Fv/Fm, 광합성률, 기공전도도



[그림23] 광도 및 광주기에 따른 물냉이 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

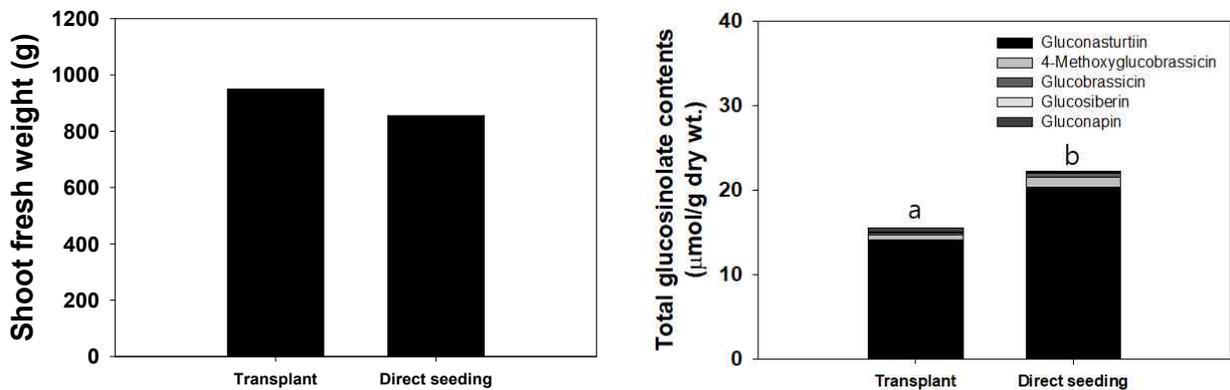
6. 온실에서 직파재배와 이식재배 차이 규명

- 평균 온도 24°C, 습도60%인 온실에서 물냉이를 암면에 파종하여 5주간 육묘 후 포트에 이식하여 2주간 재배한 이식처리구와 같은 온실에서 부직포 3겹에 직파하여 7주간 재배한 직파 처리구 간의 지상부 생체중 및 glucosinolate 함량 비교



[그림24] 물냉이 직파(좌)와 이식 방식(우)에 따른 재배 모습

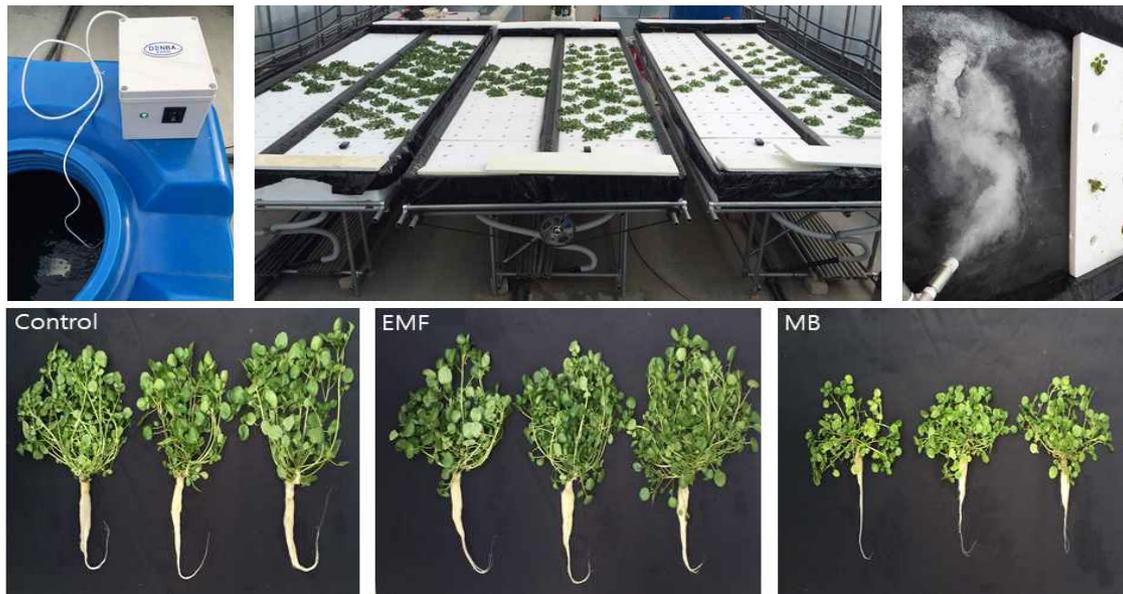
- 지상부 생체중은 각각 이식 처리구(0.05g 종자파종) 1.9kg와 직파처리구(0.1g 종자파종) 1.71kg이었으며 단위 g 당 glucosinolate 함량을 HPLC로 분석한 결과 이식처리구 15.5 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt, 직파처리구 22.26 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt로 직파처리구에서 높았음



[그림25] 직파 및 이식 재배에 따른 물냉이 지상부 생체중, 단위 g 당 glucosinolate 함량

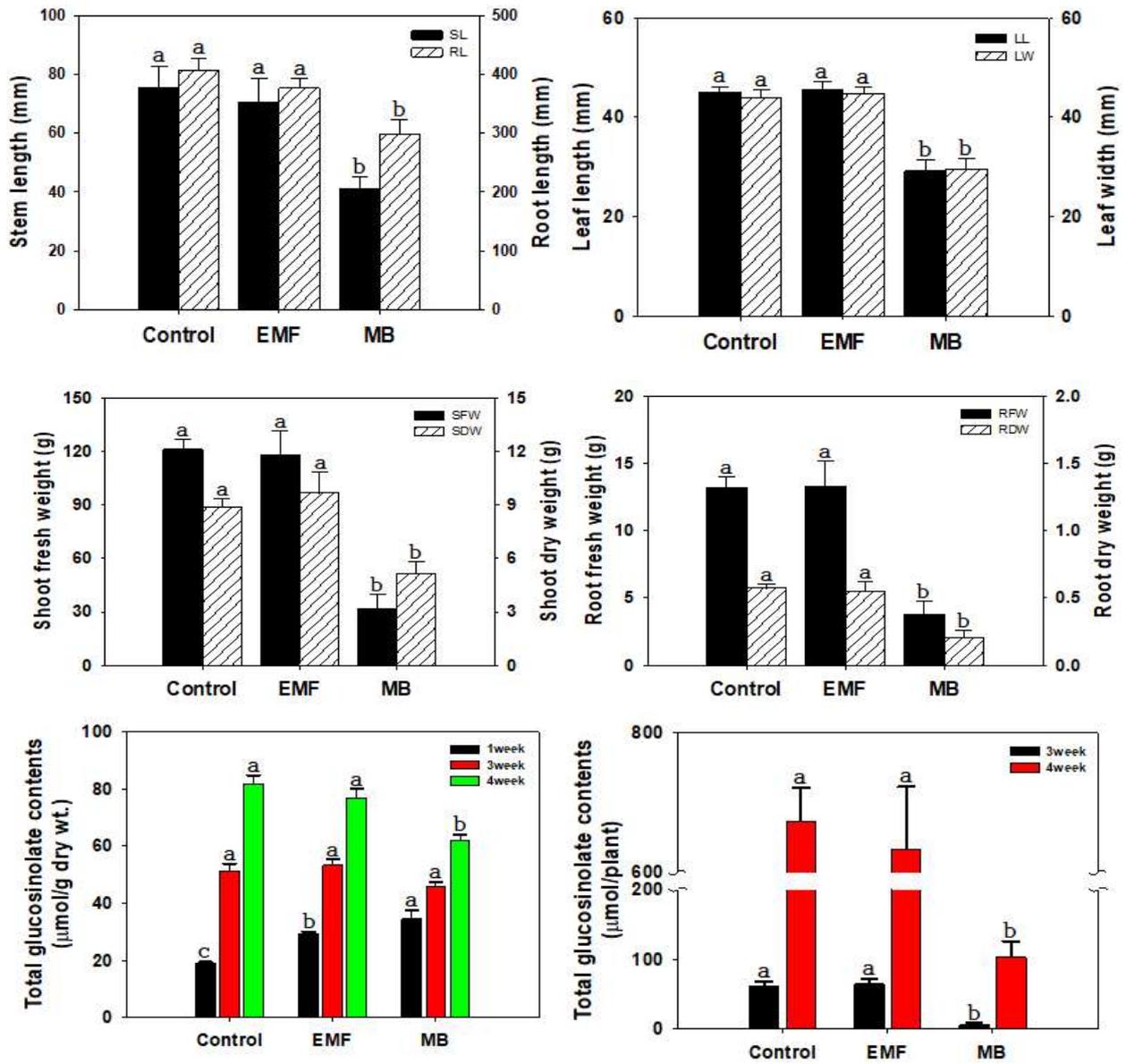
7. 이동식 베드에서의 재배조건에 따른 물냉이 생육조사 및 glucosinolate 함량분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 $22 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 10\%$ 광도 $170 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 4주간 육묘 후 Control, EMF (electromagnetic fields, 전자기장), MB(Micro-bubble) 구분하여 온도 21.15°C (주간: 23.34°C , 야간: 15.38°C), 습도 48.48% (주간: 43.32% , 야간: 62.07%), EC $2.15 \pm 0.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Hoagland), pH 6.65 ± 0.2 로 4주간 재배



[그림26] 이동식 베드에서 전자기장(EMF), 마이크로 버블 (MB), 대조구 간의 물냉이 생육 실험

- 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중은 Control과 EMF 처리구에서 높았으며, MB 처리구에서 유의적으로 낮았음
- 단위 g 당 glucosinolates 함량은 주차별로 보았을 때 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였음
- 처리구별 함량은 1주차에서는 MB 처리구에서 가장 높았고 3주차에서는 유의적 차이가 없었으며, 4주차에서는 Control, EMF 처리구에서 높았음. Plant 당 glucosinolates 함량은 3주, 4주 모두 Control, EMF 처리구에서 높았음
- 이는 MB 처리구의 경우 마이크로버블 발생시 버블기계에서 열이 발생하여 수온이 증가하는 결과를 초래함. 따라서 물냉이의 생육에 부정적인 영향을 끼친 것으로 보임
- 마이크로 버블의 효과를 정확하게 확인하기 위하여 수온조절이 가능한 실내 재배 시스템에서 따로 실험을 진행함



[그림27] EMF와 MB 처리에 따른 물냉이 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

8. 전자기장(EMF) 처리가 상추의 생육 및 phenolic compounds 함량에 미치는 영향

- 수경재배에서 전자기장 처리가 상추의 생육에 미치는 영향과 생육 도중 또는 생육 완료 후의 페놀함량에 미치는 영향을 살펴보고자 실험 실시
- 재료 및 방법

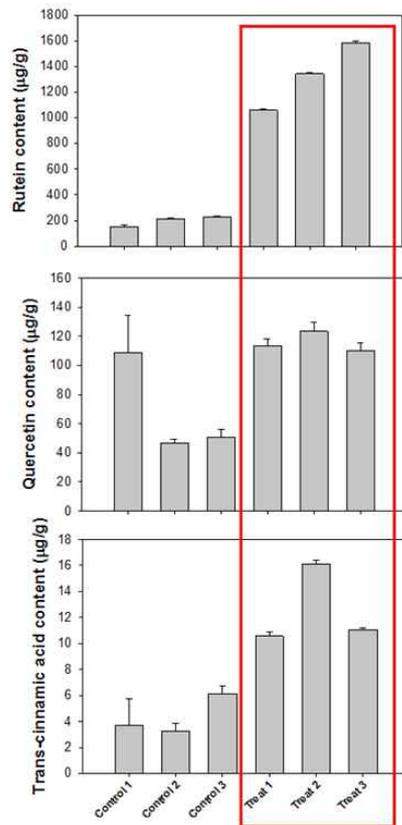
5월 14일(4주 육묘)	2017년 6월 12일 (4주간 EMF 처리)
온도: 22±1℃ 습도: 60±10% 광도: 170±10μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	배양액: Hoagland EC: 2.0±0.1dS/m pH: 6.3±0.2 온도: 평균23.15℃ (주간: 25.2℃, 야간: 19.5℃) 습도: 평균 70% (주간: 60%, 야간: 85%) 관수처리: 24시간 연속처리 (EMF 처리, 대조구) 처리구: Control, EMF

*EMF(electromagnetic fields, 전자기장)

- 원예용 상토를 채운 플러그 트레이에 톨로로사 상추를 파종 후, 4주 후 그림과 같은 수경재배 장치에 정식
- 수경재배 장치는 2단으로 구성되어 있는데, 아래 1단은 Hoagland 배양액(EC 2.0 dS m⁻¹)으로 채워져 있으며 수중펌프로 윗단에 양액을 공급하는데, 스티로폼 정식판에 상추를 정식 후, 뿌리는 양액 (깊이 5cm)에 잠겨져있음
- 이러한 수경재배 장치는 온도, 습도, CO₂ 농도, 광환경이 조절된 환경제어실에 정식 2일에 한번씩 2개의 재배 장치의 위치를 서로 교환함 (환경의 차이에서 발생하는 오차를 줄이고자함)
- 이식 2주 후에 생육을 조사하고 phenolic compounds 함량 비교



[그림28] 담액수경재배 시스템을 이용한 톨로로사 상추(좌: 대조구)와 정전기장 발생 장치를 설치하여 제공한 처리구 (우)



[그림29] 배양액에 정전기장을 처리하여 2주간 재배된 톨로로사 상추의 rutin, quercetin, trans-cinnamic acid content.

- 정식 2주 또는 4주 후, 상추의 생육에는 통계적으로 유의적 차이를 보이지 않았음
- 정식 2주 후, rutin, quercetin, trans-cinnamic acid 함량이 대조구와 비교하여 유의적으로 매우 높은 값을 나타내었음
- 그러나, 정식 4주 후에는 유의적인 차이가 보이지 않음
- 상추에 정전기장 처리는 생육 초기에 전기적 스트레스를 부여하고 그로 인한 2차 대사산물이 증가된다고 할 수 있는데, 그 정전기장 처리가 지속될 경우 2차대사산물이 다른 대사작용에 사용되어 다시 감소하는 경향을 나타낸다고 사료됨
- 1주일 간격으로 분석을 실시하여 좀 더 자세한 변화 패턴을 관찰할 필요가 있음



[그림30] 4주간 상추의 생장 결과 좌측(전장기장 EFM), 우측 (대조구)

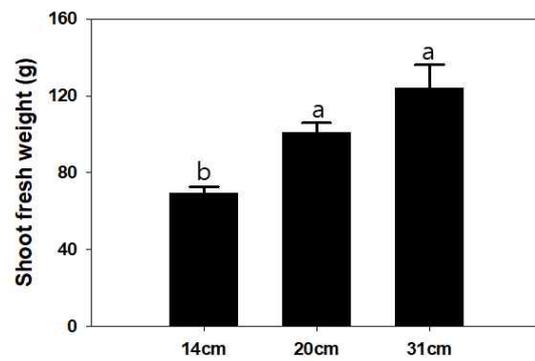
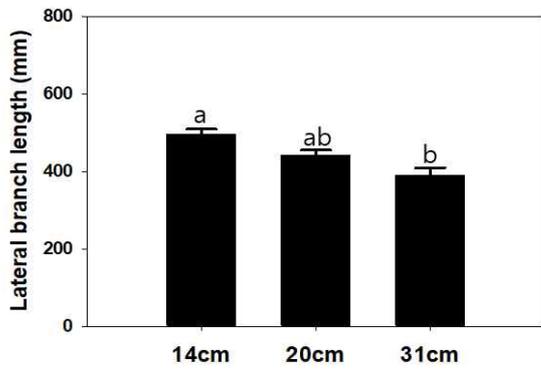
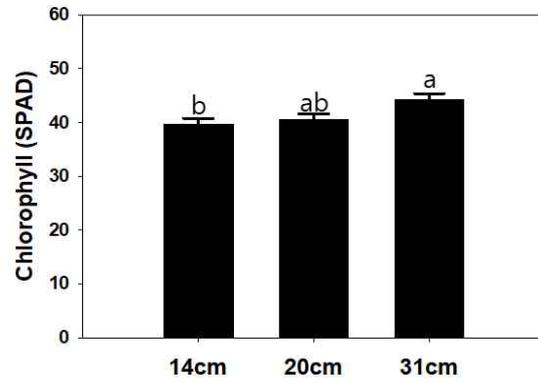
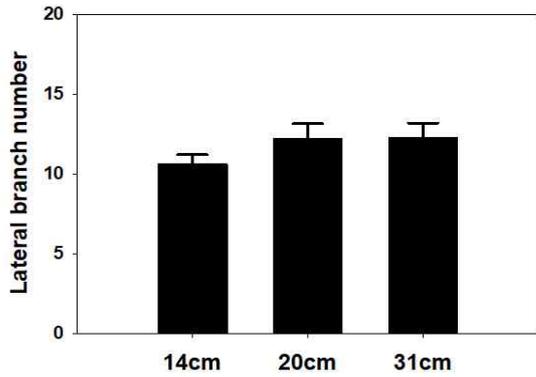
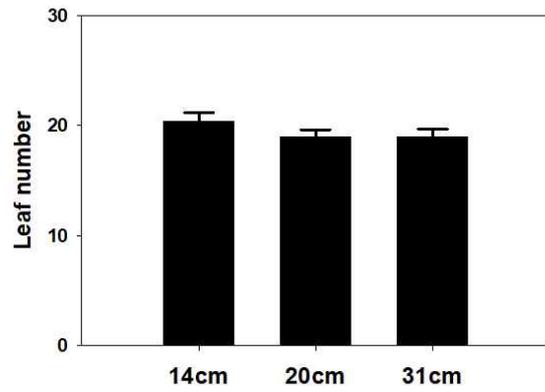
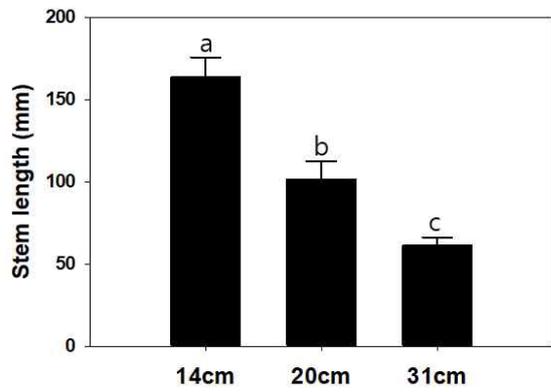
9. 정식 간격에 따른 물냉이 생산량 및 glucosinolate 함량 분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 $22\pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $60\pm 10\%$ 광도 $170\pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 2주간 육묘 후 정식 간격에 따라 14cm(144주), 20cm(72주), 31cm(36주)로 구분하여 온도 19.67°C , 습도 63.54%, EC $2.06\pm 0.06 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Hoagland), pH 6.65 ± 0.2 로 4주간 재배 후 1차 수확함. 그 후 3주간 더 재배하여 2차 수확함

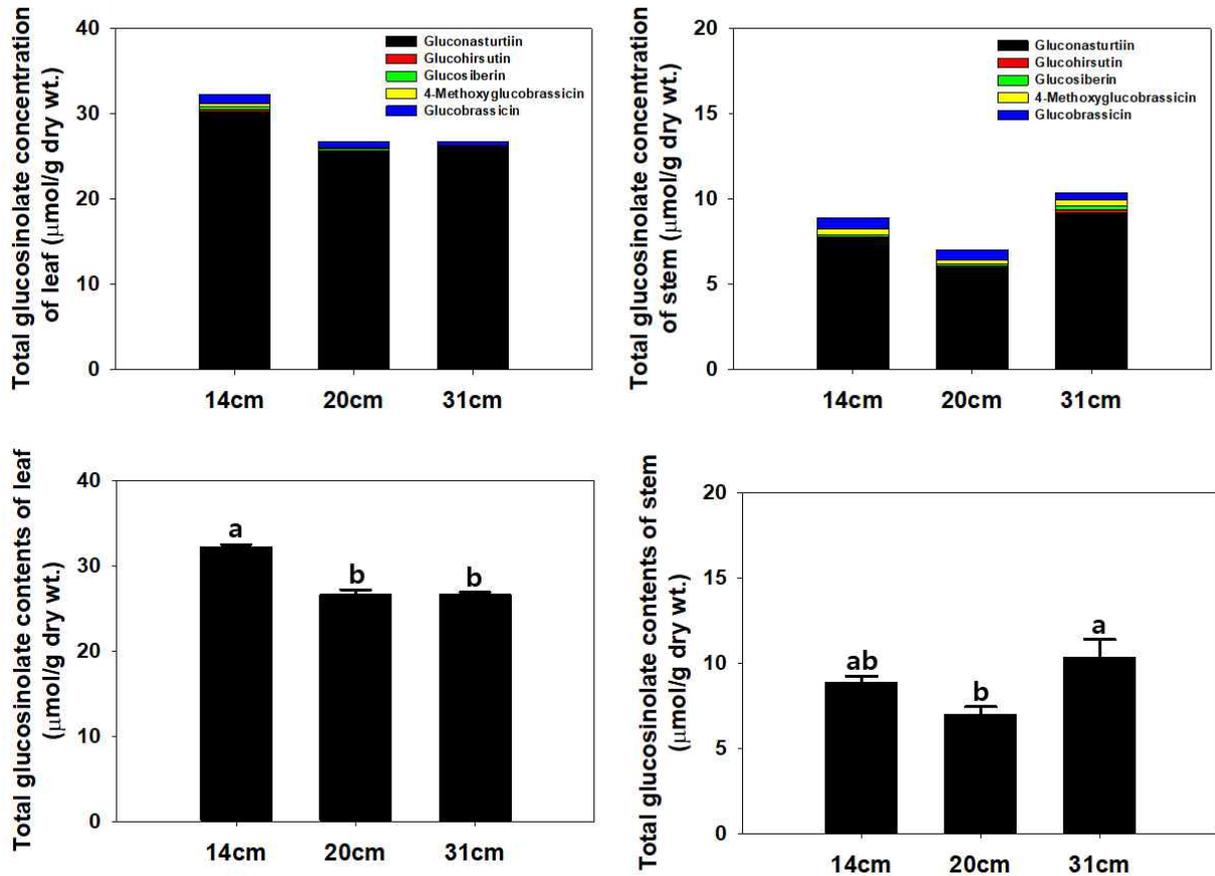


[그림31] 정식 간격에 따른 물냉이의 생육

- 1차 수확 결과 초장은 정식간격이 증가할수록 감소하였음. 엽수, 측지수는 정식간격에 따른 유의적 차이가 없었음
- 엽록소 함량은 31cm 처리구에서 가장 높았으며, 14cm 처리구에서 가장 낮았음. 측지 길이는 14cm 처리구에서 가장 높았으며, 31cm 처리구에서 가장 낮았음. 지상부 생체중은 20cm, 31cm 처리구에서 높았으며, 14cm 처리구에서 낮았음. 지상부 건물중은 31cm 처리구에서 가장 높았으며, 14cm 처리구에서 가장 낮았음
- 전체 수확량은 14cm 처리구에서 가장 높았으며, 31cm 처리구에서 가장 낮았음. 건물중 단위 g 당 glucosinolate 함량을 HPLC로 분석하였으며 잎과 줄기로 나누어 기관별 함량을 비교하였음
- 잎의 glucosinolate 함량은 14cm 처리구에서 $32.18\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 20cm 처리구에서 $26.64\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 31cm 처리구에서 $26.63\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 로 14cm 처리구에서 유의적으로 높았음
- 줄기의 glucosinolate 함량은 14cm 처리구에서 $8.87\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 20cm 처리구에서 $7.00\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 31cm 처리구에서 $10.33\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 로 31cm 처리구에서 유의적으로 높았음
- 전체 수확량과 glucosinolate 함량을 고려하였을 때 정식간격 14cm가 더 효율적일 것으로 사료됨

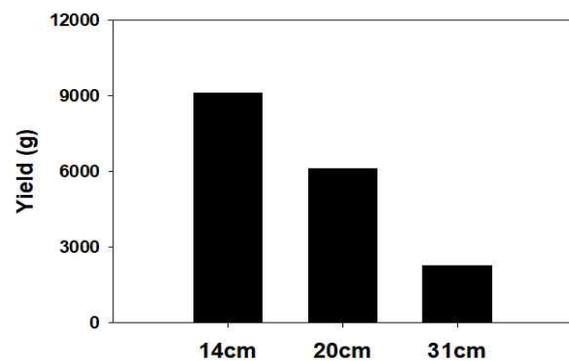
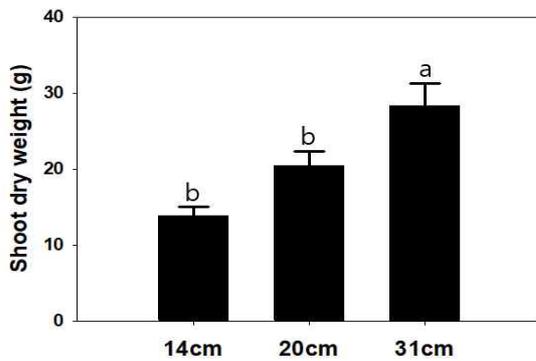
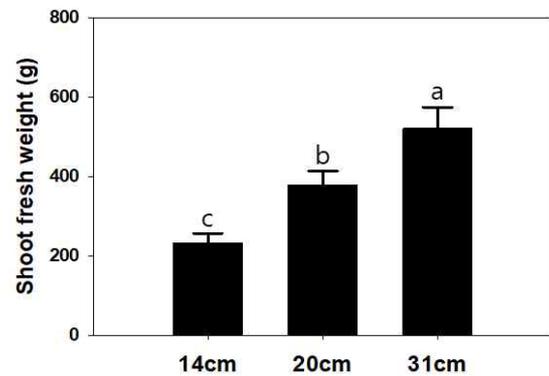
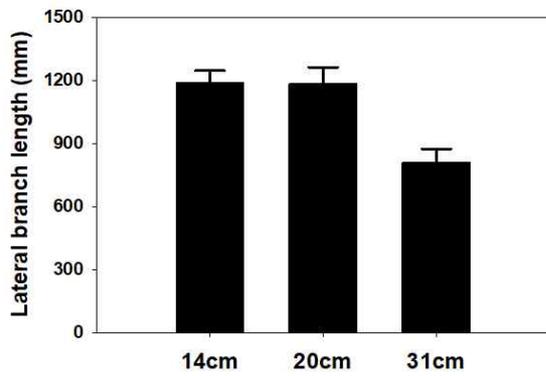


[그림32] 정식 간격에 따른 1차 수확 물냉이 초장, 엽수, 측지수, SPAD, 측지길이, 지상부 생체중

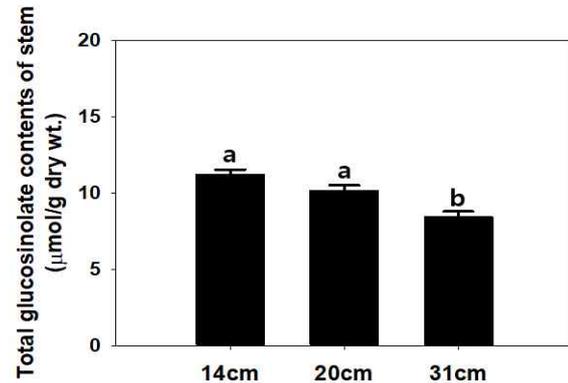
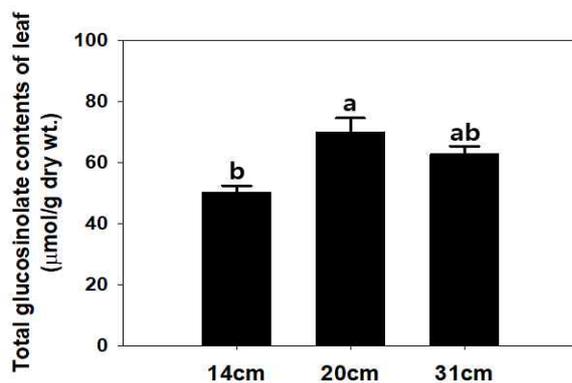
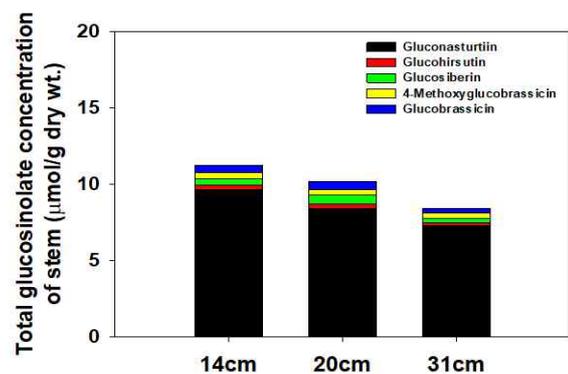
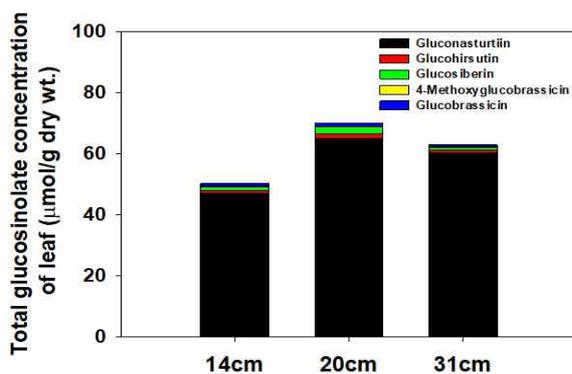


[그림33] 정식 간격에 따른 1차 수확 물냉이 glucosinolate 함량

- 2차 수확 결과 측지 길이는 정식간격에 따른 유의적 차이가 없었음. 지상부 생체중은 31cm 처리구에서 가장 높았으며, 14cm 처리구에서 가장 낮았음
- 지상부 건물중은 31cm 처리구에서 높았으며, 14cm, 20cm 처리구에서 낮았음. 전체 수확량은 14cm 처리구에서 가장 높았으며, 31cm 처리구에서 가장 낮았음
- 건물중 단위 g 당 glucosinolate 함량을 HPLC로 분석하였으며 잎과 줄기로 나누어 기관별 함량을 비교하였음. 잎의 glucosinolate 함량은 14cm 처리구에서 $50.20\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 20cm 처리구에서 $69.94\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 31cm 처리구에서 $62.75\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 로 20cm 처리구에서 유의적으로 높았음
- 줄기의 glucosinolate 함량은 14cm 처리구에서 $11.20\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 20cm 처리구에서 $10.15\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., 31cm 처리구에서 $8.43\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt. 로 31cm 처리구에서 유의적으로 낮았음
- 현장의 생산성을 고려한 최적의 정식간격은 12-15cm 정도의 간격으로 정식하는 것이 매우 유리할 것으로 판단되며, 1회 정식 후 3-4회 정도 수확 후에는 새롭게 정식을 하는 것이 좋을 것으로 사료됨



[그림34] 정식 간격에 따른 2차 수확 물냉이 측지길이, 지상부 생체중 및 건물중, 수확량



[그림35] 정식 간격에 따른 2차 수확 물냉이 glucosinolate 함량

10. 마이크로버블의 물리화학적 특성분석

- 표면제타전위 측정계를 이용하여 그림과 같이 발생된 마이크로 버블 발생을 통하여 그 입경과 버블수를 측정하고 버블표면의 제타전위를 측정하였음

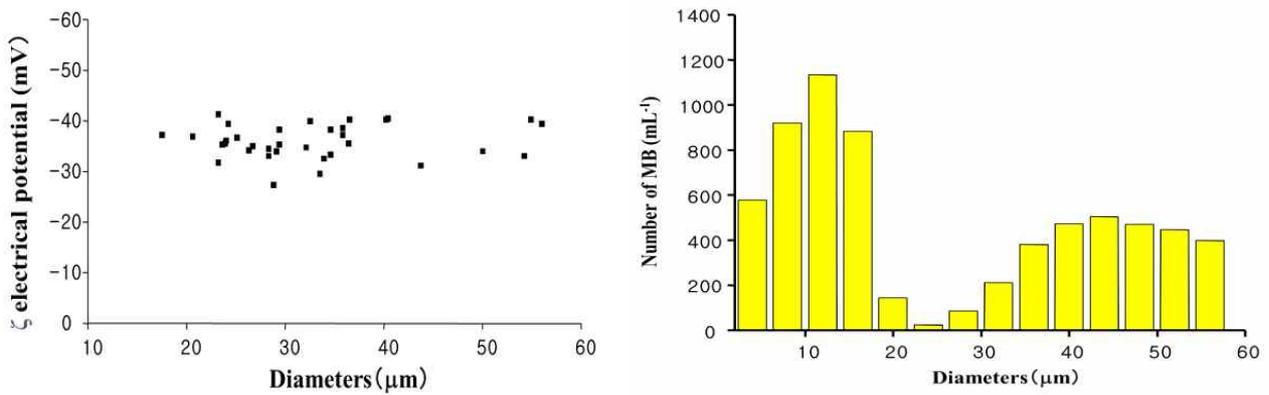


표면 제타 전위 측정기 (Solid Surface Zeta Potential Measurement System) 공동개발허용

입자의 분산 증집성 상호작용의 지표가 되는 제타 전위 및 입경분포를 동...
NFEC-2012-01-152194 / ELS-Z //

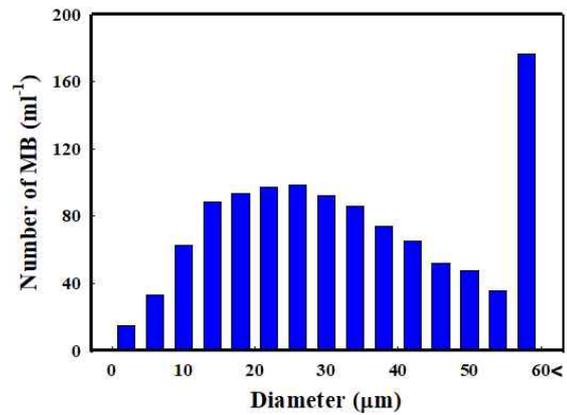
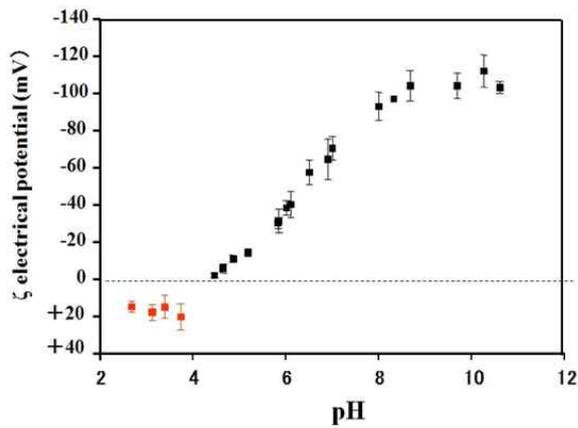


[그림36] (주)성원에서 개발한 Micro-Bubble 발생기 및 발생 사진



[그림37] 버블직경에 따른 제타포텐셜과 발생된 버블의 입경의 분포

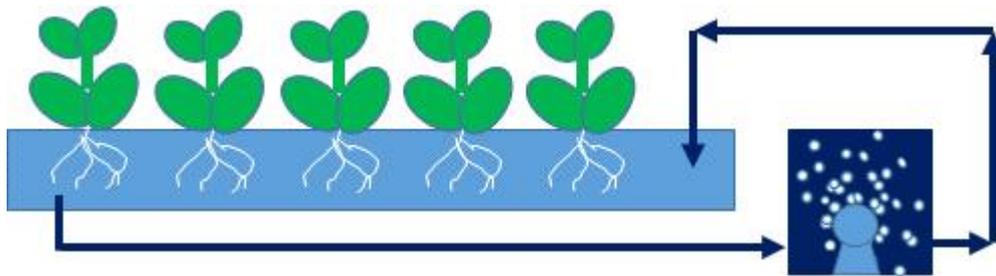
- 본 버블 발생기를 이용하여 발생된 버블의 직경 분포는 약 10 μm 전후에서 가장 많은 분포를 보였으며, 다양한 직경의 버블이 발생하는 것으로 관찰되었으며, 표면의 제타전위는 -30에서 -45 mV 수준의 범위에서 직경에 관계없이 발생하는 것으로 관찰되었음
- 이러한 결과는 Takahashi (2005)가 보고한 마이크로 나노버블의 표면에 발생하는 제타포텐셜의 발생 범위와 매우 유사한 범위를 나타내었음



[그림38] 양액의 pH에 따른 제타포텐셜과 발생된 버블의 입경의 분포

- 양액의 pH에 따른 제타포텐셜의 값은 +값에서 -100mV까지 매우 광범위하게 발생되는 것으로 나타났으며, 이러한 이유로는 양액내의 수소이온 또는 수산화 이온의 극성에 따라서 그 값이 배가되는 것으로 판단됨
- 작물재배에 가장 적절한 범위라고 할 수 있는 5.5-6.5 범위에서는 -20에서 -40mV 범위에 포함되어 실질적으로 버블표면의 -전위는 양액내의 양이온을 표면에 부착시켜 캐리어 시켜 양이온의 흡수 능력을 증가시키는 역할을 하는 것으로 추정할 수 있음
- 이러한 연구는 Park 등 (2010)의 연구에서 마이크로 버블이 상추 생육에 영향을 준 이유가 버블에 의한 양이온의 캐리어 능력을 증가로 추정된 바 있음

11. 버블 믹싱 방법 및 공급 시스템 개발

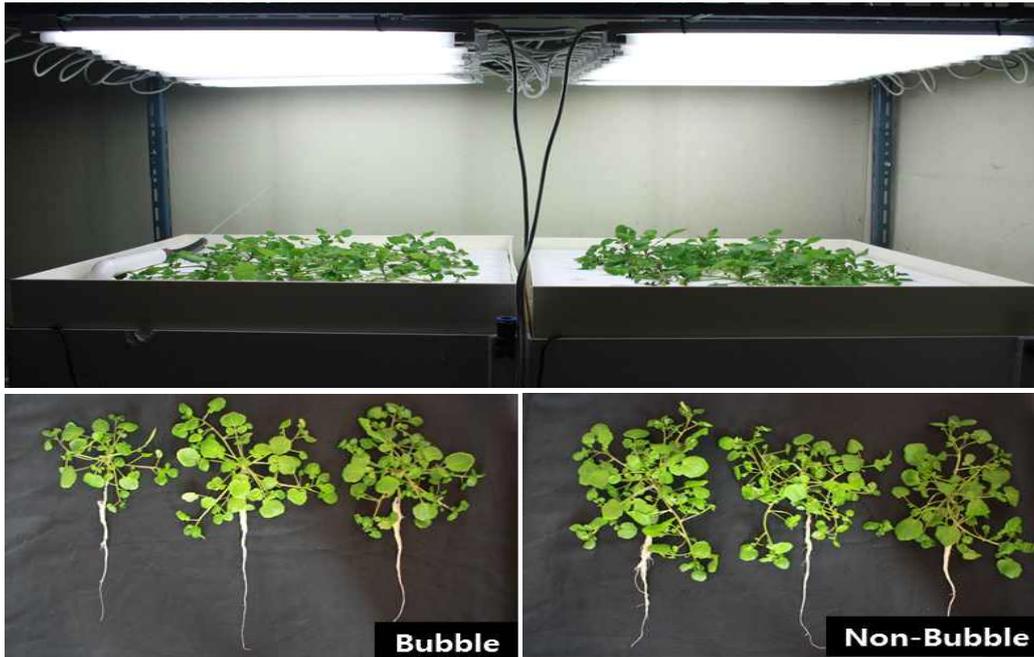


[그림39] DFT/NFT 재배 시스템을 기반으로 마이크로버블 발생 및 공급 시스템 구축

- 마이크로 버블의 공급 시스템은 위의 그림에서와 같이 발생된 버블이 근권부 전체에 영향을 줄 수 있는 조건에서 이루어 져야 하며, 가압용해 방식의 버블발생 장치의 경우 가압되는 에너지가 버블로 전이되어 이러한 버블 발생이 용액의 온도를 상승시키기 때문에 양액의 온도를 적절하게 조절해 줄 수 있는 쿨러 장치가 필요함
- 버블의 발생주기를 가변적으로 적용할 경우 그 효과는 유지되면서 양액의 온도 상승을 억제 한다는 보고(Park and Kurata, 2009) 가 있어 그러한 패턴의 발생을 유지시키는 것이 중요함

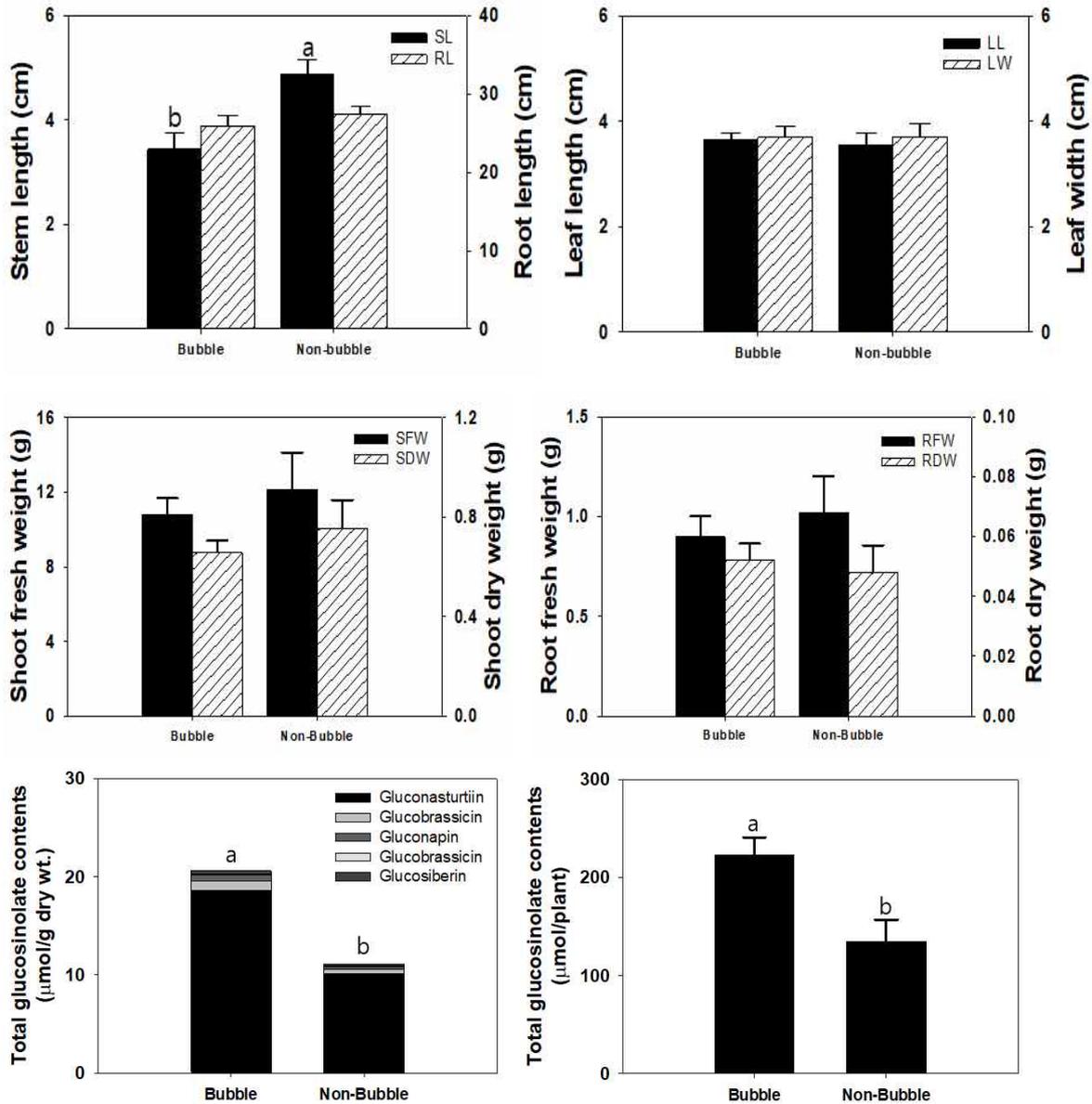
12. 버블 처리에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석

- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 20°C, 습도 80% 광도 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 2주간 육묘 후 Bubble과 Non-Bubble 처리로 구분하여 온도 22±5°C, 습도 70±10%, 광도 200±5 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, EC 1.24±0.02 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (오즈카 배양액)로 3주간 재배



[그림40] 버블 처리에 따른 물냉이의 재배 실험

- Bubble과 Non-Bubble 처리구 생육측정 결과 초장은 Non-Bubble 처리구에서 유의적으로 길었으나 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중은 처리구별 유의적 차이가 없었음
- 건물중 단위 g 당 glucosinolate 함량을 HPLC로 분석한 결과 Bubble에서 20.61 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., Non-Bubble에서 11.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt.로 Bubble 처리구에서 높았음. 식물체당 glucosinolates 함량 또한 Bubble 처리구에서 높았음



[그림41] 버블 처리에 따른 물냉이 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중, 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

- 마이크로 버블 처리구와 대조구를 비교한 결과 지상부의 생육 증가에 대한 유의적 차이는 발생되지 않았음
- 마이크로 버블 처리에 따른 glucosinolate 함량은 약 95% 증대되어 유의적으로 매우 높은 함량을 나타내었음
- 마이크로 버블에 의한 생산량 증대효과는 검증되지 않았으나, 기능성 물질의 함량이 매우 높게 증대되어 버블 처리 시 품질의 상승효과는 매우 고무적이라고 판단됨

13. UV-B 처리에 따른 물냉이 glucosinolate 함량 분석

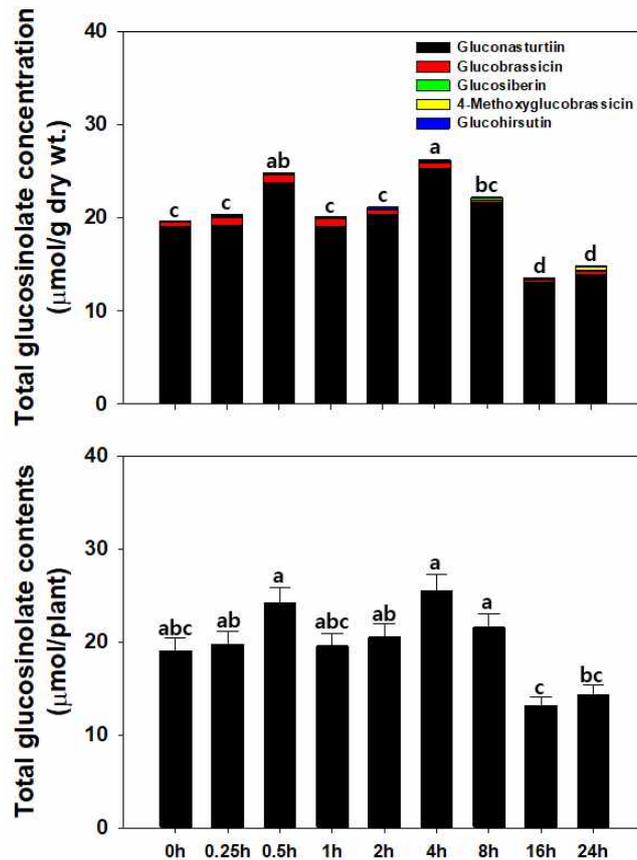
- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 20℃, 습도 80% 광도 160 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 2주간 육묘 후 광질 처리는 첨두 파장이 각각 적색 (R : 630, 660nm), 청색 (B: 450 nm) (주성광LED, Korea)인 발광 다이오드를 사용하여 광합성유효광량자속밀도(PPFD: photosynthetic photon flux density)를 기준 R7B3 (R:B:G = 7:3:0)으로 처리하였음
- 광도 및 광주기 처리는 광주기 12/12 hour, 광강도 266 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하였음. 정식 2주 후 챔버(HB-301S-3, HANBAEK SCIENTIFIC CO., Korea)로 옮겨 UV-B 처리를 하였음
- 챔버 내 환경은 온도 20℃, 습도 70%로 설정하였음. UV-B 처리는 20W UV-B 램프 (G20T10E, SANKYO DENKI, Japan) 6개를 이용하여 UV-B 조사강도를 1.55 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 맞추었음. UV-B 처리시간은 0 (control), 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 24 h로 처리하였음



[그림42] UV-B 설치 챔버

- 생장 챔버에서 UV-B 조사한 물냉이를 동결건조 후 HPLC를 이용하여 glucosinolates 함량 분석 결과는 다음과 같았음. 물냉이 건물중 0.1g 당 glucosinolates 함량은 0.5 h와 4 h 처리에서 각각 24.83 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, 26.20 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 으로 가장 높았으며, 16 h, 24 h 처리에서 각각 13.54 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, 14.76 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 으로 가장 낮았음
- 애기장대를 이용한 UV-B 처리결과와 같이 단시간 처리에서는 glucosinolates 함량이 증가하였으나 16시간 이상의 장시간 처리를 하였을 때는 glucosinolates 함량이 감소하는 결과(Wang et al., 2011)와 같이 물냉이의 glucosinolates 함량 역시 16시간 이상의 처리에서는 감소하였음
- 한편 UV-B 2시간 처리를 통하여 방향족 Glucosinolates인 glucotropaeolin의 뚜렷한 증

가를 유도한 연구결과(Schreiner et al., 2009)와 같이 물냉이 또한 0.5 h 와 4 h의 짧은 처리를 통해 glucosinolates 함량을 증가시켰음. 물냉이는 0.5 h 와 4 h의 짧은 처리를 통해 glucosinolates 함량을 증가시켰음. 지상부 건물중과 단위 g당 glucosinolates 함량을 이용하여 식물체당 glucosinolates 함량을 구하여 비교하였을 때 0.5 h, 4 h, 8 h 처리에서 각각 24.15 $\mu\text{mol}/\text{plant}$, 25.49 $\mu\text{mol}/\text{plant}$, 21.56 $\mu\text{mol}/\text{plant}$ 로 가장 높았으며, 16h 처리에서 13.16 $\mu\text{mol}/\text{plant}$ 로 가장 낮았음. 수확 전 UV-B 처리를 통하여 glucosinolates 함량이 33.7% 증가하였음



[그림43] UV-B 처리 시간에 따른 물냉이 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

14. 마이크로버블 처리에 따른 물냉이 생육 및 glucosinolate 함량 분석

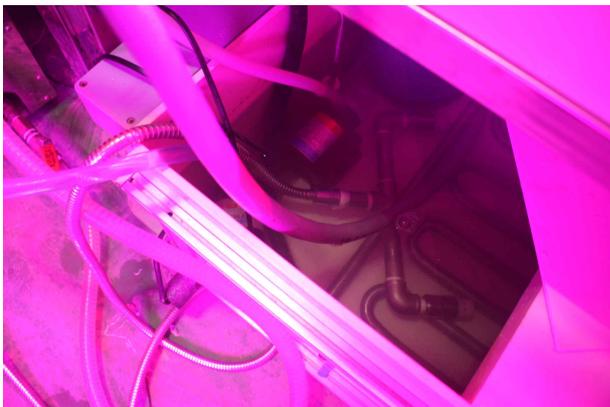
- 물냉이를 암면에 파종하여 온도 20℃, 습도 80% 광도 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 조건에서 3주간 육묘 후 Control과 Micro-bubble 처리로 구분하여 온도 $20\pm 1^\circ\text{C}$, 습도 $70\pm 10\%$, 광도 $200\pm 5\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, EC $1.68\pm 0.03\ \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Hoagland), pH 6.66 ± 0.2 로 2주간 재배



<Control>

<Micro-bubble>

[그림44] 마이크로버블 처리에 따른 물냉이의 재배 실험

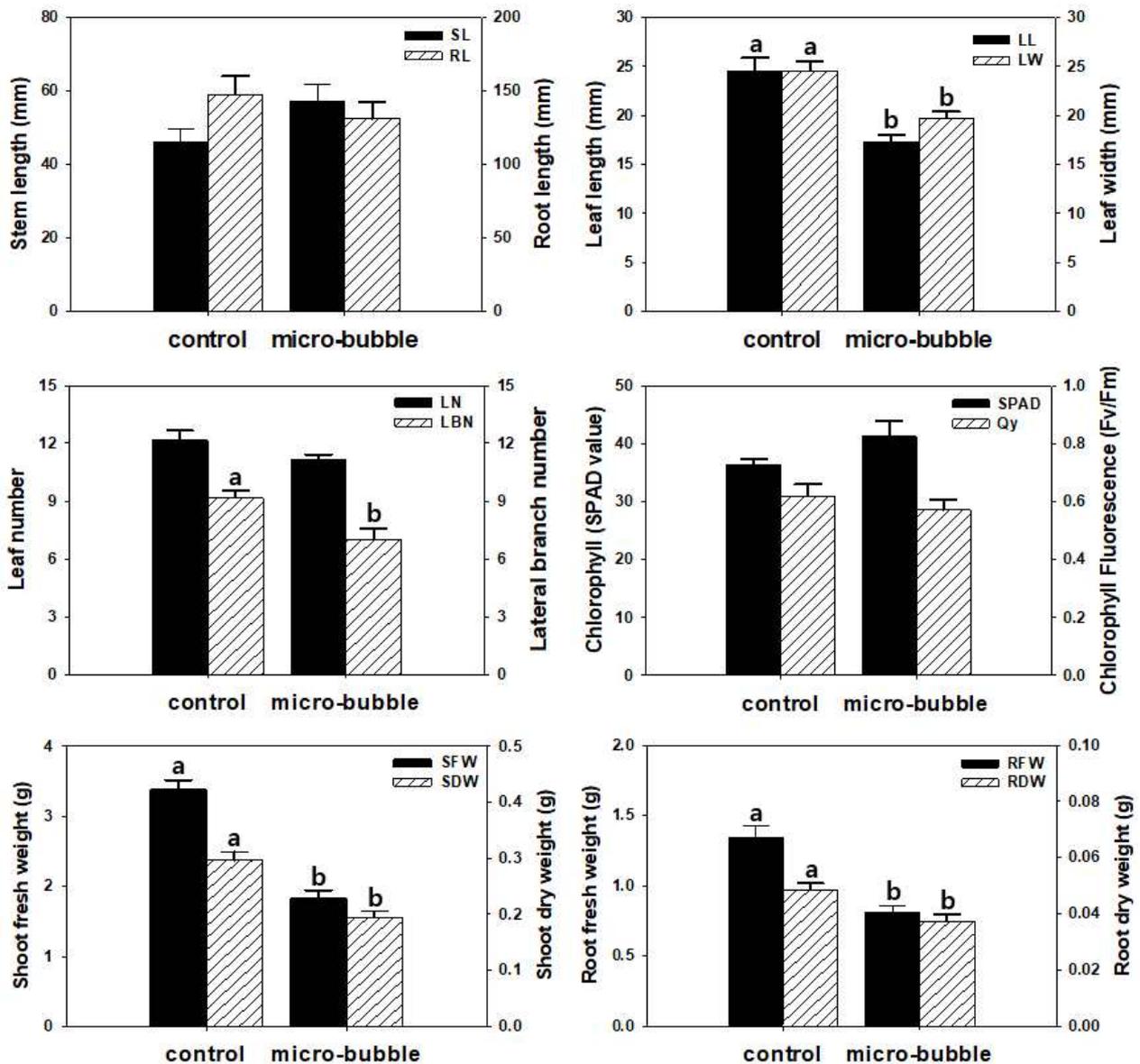


[그림45] 마이크로버블 발생 전후 사진

- Control과 micro-bubble 처리구 생육측정 결과 초장과 근장은 처리구별 유의적 차이가 없었음. 엽장, 엽폭은 control에서 유의적으로 길었으며, 엽수는 처리구별 유의적 차이가

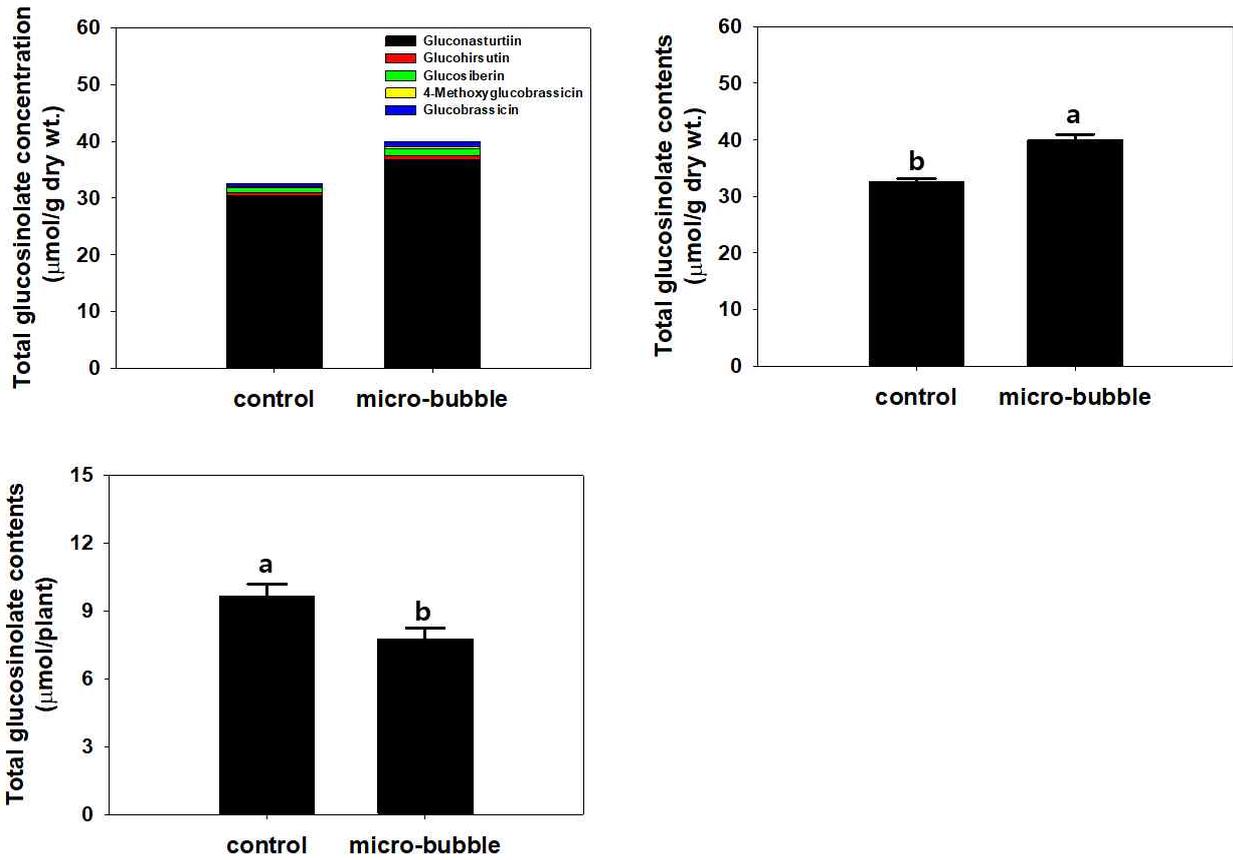
없었음

- 측지수는 control에서 유의적으로 많았음. 엽록소함량과 엽록소형광값은 처리구별 유의적 차이가 없었음. 지상부 생체중과 건물중은 control에서 유의적으로 높았음. 지하부 생체중과 건물중 또한 control에서 유의적으로 높았음
- 건물중 단위 g 당 glucosinolate함량을 HPLC로 분석한 결과 control에서 $32.61\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., micro-bubble에서 $40.00\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt.로 micro-bubble 처리구에서 높았음. 식물체당 glucosinolates 함량은 control에서 $9.66\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt., micro-bubble에서 $7.76\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ dry wt.로 control 처리구에서 높았음



[그림46] 마이크로버블 처리에 따른 물냉이 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 엽수, 측지수, 지상부 생체중 및 건물중, 지하부 생체중 및 건물중

- 물냉이 단위 g당 glucosinolates 함량은 마이크로 버블 처리구에서 유의적으로 높게 나타났음. 그러나, 식물체 전체에 함유된 glucosinolates 함량은 생육의 차이로 인하여 대조구에서 더 높게 나타났음
- 물냉이에 함유된 glucosinolates 중에서 gluconasturtiin의 함량이 가장 높은 값을 나타내었음



[그림47] 마이크로버블 처리에 따른 물냉이 단위 g 당 glucosinolate 함량, 식물체 당 glucosinolate 함량

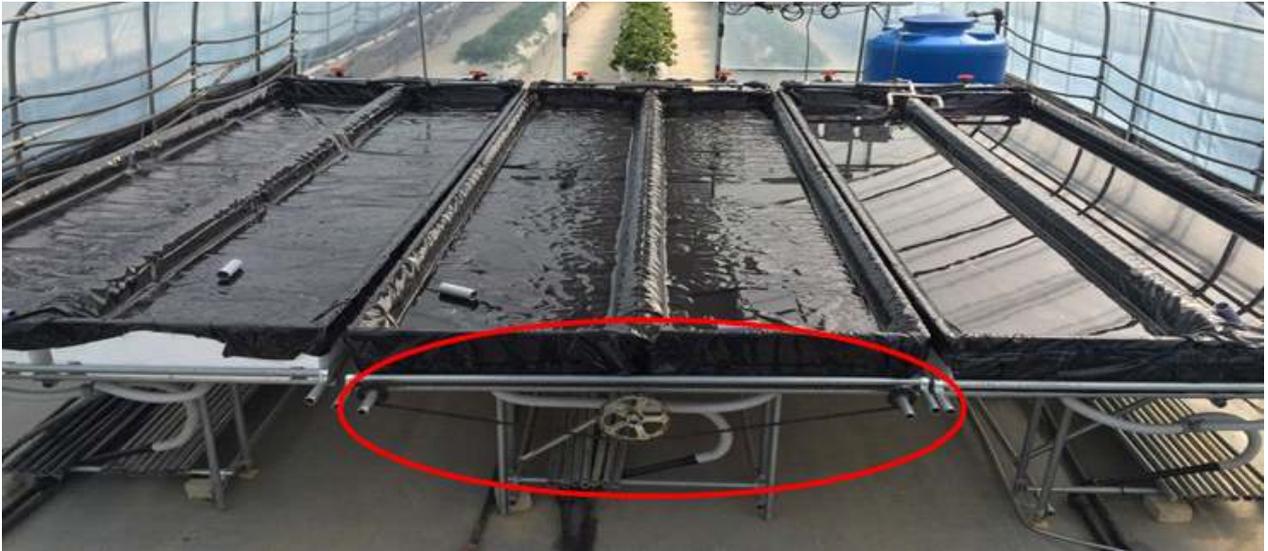
15. 물냉이 부위별 기능성 물질 분석

[표] 물냉이 부위별 glucosinolate 함량

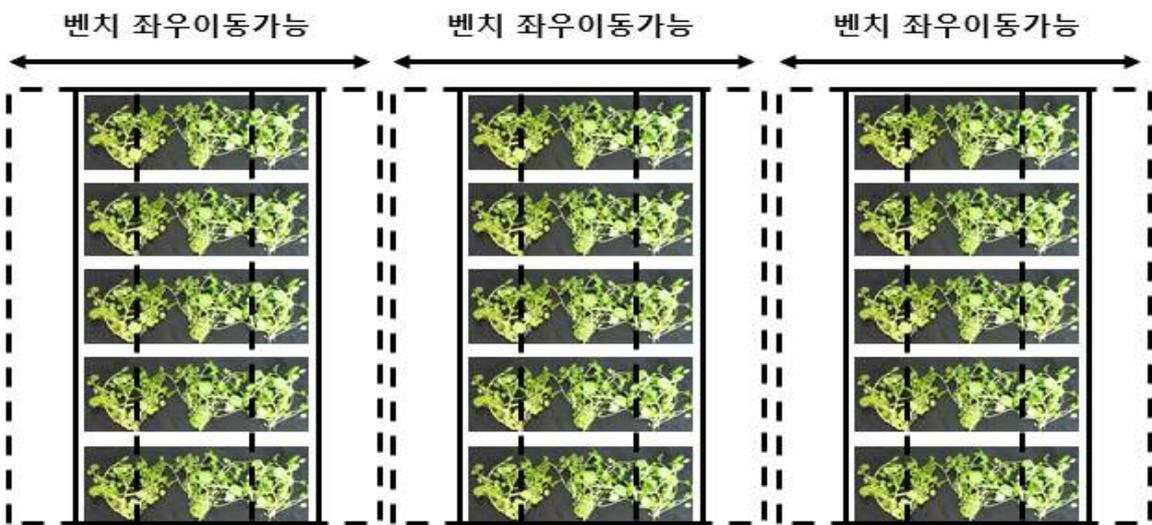
Glucosinolates	Leaf	Stem	Root	Flower	Seed
Glucoiberin	0.14 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.43 ± 0.01	0.79 ± 0.75
Glucotropaeolin	0.08 ± 0.04	0.03 ± 0.03	0.16 ± 0.02	0.36 ± 0.05	0.33 ± 0.10
4-Hydroxyglucobrassicin	0.11 ± 0.02	0.09 ± 0.00	2.94 ± 0.17	1.02 ± 1.56	0.08 ± 0.03
Glucosiberin	1.00 ± 0.03	0.79 ± 0.01	0.86 ± 0.10	4.91 ± 3.64	6.75 ± 1.58
Glucohirsutin	0.42 ± 0.00	0.33 ± 0.01	0.49 ± 0.05	2.01 ± 1.39	3.18 ± 0.79
Glucobrassicin	0.40 ± 0.02	0.53 ± 0.03	0.96 ± 0.06	0.75 ± 0.02	0.13 ± 0.03
4-Methoxyglucobrassicin	0.19 ± 0.00	0.78 ± 0.04	0.69 ± 0.03	0.17 ± 0.01	0.13 ± 0.01
Gluconasturtiin	33.77 ± 0.73	25.20 ± 0.72	7.56 ± 0.26	73.90 ± 0.93	56.68 ± 7.45
Total	36.13 ± 0.84	27.98 ± 0.86	13.76 ± 0.71	83.55 ± 7.61	68.07 ± 10.73

- 물냉이 부위별로 glucosinolate 함량을 조사한 결과 gluconasturtiin이 모든 조직에서 함량이 가장 높은 것으로 파악이 되었으며, 특히 꽃에서 가장 높은 함량을 보였음. 다른 glucosinolate 함량은 소량포함인 되었으며, 총 glucosinolate 함량도 꽃에서 가장 높게 나타났음

16. 이동식 담액 수경재배 시스템 개발



[그림48] 세종온실 이동식 베드 제작



[그림49] 이동식 베드 설명

- 이동식 벤치는 좌우 25%씩 움직일 수 있도록 수동식 롤러를 이용하여 제작하였으며, 그림과 같이 필요에 따라서 벤치 사이의 작업 복도가 재배 트레이로 채워질 수 있음
- 실제 벤치가 4개 설치되면 복도가 3개가 생기게 되므로 복도 2개의 공간을 재배공간으로 이용이 가능함
- 단동온실 (폭 6.5m x 길이 100m) 기준으로 재배베드 폭 1.3m는 총 5대가 설치가능 하지만, 복도를 0.6m 로 계산하여도 재배베드는 3대 밖에 설치가 불가능하거나, 베드의 폭을 넓혀서 최적화 해야함. 따라서 베드폭 1.3m 짜리를 4대 설치하고 복도로 1.3m를 이동식으로 만들 수 있으면 생산성이 약 10-15% 정도는 증가될 수 있음



<벤치 이동식 장치>



<공간효율 증대 재배시스템>



<정전기 + 마이크로 버블 발생장치>

<정전기장을 이용한 재배기술 특허출원>



<보급형 재배 시스템 구축>

[그림50] 이동식 담액 수경재배 시스템 개발 과정

- 이동식 재배 벤치와 정전기장 발생장치 및 마이크로 버블발생 장치를 이용하여 재배 시스템을 구축하였음
- 대형 시스템으로 구축할 경우 지하에 양액탱크 (3-5톤)을 설치하고 정전기 발생 장치를 설치하고 이동식 벤치를 설치대상 온실의 폭을 고려하여 복도로 약 1.2m 정도를 확보하여 벤치 양쪽에서 작업을 할 경우 0.6m씩 공간을 확보하여 작업을 하는 구조로 시스템을 구축할 수 있음

17. ICT 스마트팜 구축



[그림51] 팜시스 복합환경제어장치



[그림52] 팜시스 양액공급장치



[그림53] 재배실험을위한 다양한 처리구 설치



[그림54] 양액공급 제어 시스템



[그림55] 원수통 및 각 베드별 배양액

- 스마트팜 시스템은 우성하이텍의 팜시스를 설치하였으며, 웹 접속을 통한 환경설정 및 모니터링을 수행할 수 있었으며, 온실 내부에 온도, 습도, CO₂ 센서, 일사량 센서가 설치되어 있으며 건습구 방식으로 온도와 습도를 계산하여 제공하고 있으며, 일사량 센서가 설치되어 있으며 순간 광량(W/m)과 적산광량(J/cm²)값을 제공하고 있음

- 난방 제어기는 난방으로 온수보일러가 설치되어 있으며 설정온도에 따라서 온수를 공급 하는데 온실의 측면을 따라서 4줄씩 설치된 온수 파이프가 이용되며, 최저난방 설정온도를 설정할 수 있으며, 하루를 6개의 주기로 나누어 각 구간별 최소 설정온도를 설정하여 유지할 수 있음
- 온실은 2중으로 설치되어 있으며 보온 스크린이 부직포로 구성되어 있음
- 측창은 바닥에서 측면 높이까지 2중으로 설정되어 있음
- 양액공급기는 A, B C액 통으로 구성되어 있으며 양액을 공급하는 믹싱탱크가 있는 구조이며, 양액 공급을 EC 기준으로 설정하여 타이머 방식, 적산 일사량 방식으로 금액으로 할 수 있음
- 복합환경제어기의 제어 가능한 노드는 난방수 온도, 측창 및 천창, 관수, 내부 순환팬, 배기팬이 있으며, 모니터링은 온도, 습도, 광량, CO₂ 농도를 모니터링 할 수 있음
- 복합환경제어기 설정은 계절별로 설정에 대한 기준은 재배 매뉴얼에 수록하였음
- 스마트 시스템을 도입 후 개선된 점은 다음과 같음
 - 여름철 양액온도를 하강시켜 재배 가능하게 된 점
 - 이동식 재배 시스템을 도입하여 단위 면적당 생산량이 증대된 점 (15%)
 - 복합환경제어를 시스템을 통하여 겨울철 최소 난방을 할 수 있게 된 점
 - 수확 시기를 미리 예측할 수 있다는 점
 - 여름철 스크린 처리를 통하여 온실 최고온도를 낮게 관리 할 수 있게 된 점

18. ICT 스마트팜 기반의 물냉이 재배 환경제어 매뉴얼 개발

1. 작물선정

▶ 작물의 특성

- 물냉이(*Nasturtium officinals* R. Br.)는 십자화과 다년생 수생식물
- 유럽 원산의 귀화식물로 “워터크레스(watercress)”로 불리지만 유럽에서는 프랑스명인 “크레송(cresson)”으로 더 잘 알려진 향신 채소
- 유럽과 아시아 북부가 원산지로 깨끗한 물이 흐르는 곳에서 자람
- 물냉이의 기능성 물질 중 하나인 Glucosinolate는 강력한 항암작용을 하며, 종양 성장을 억제하는 효소를 가지고 있음
- 최신 농가의 현재 재배 기술은 온실의 수경재배 시스템을 이용하여 폭 1200mm 높이 200mm 베드를 고정식 구조물에 올려놓고 베드를 길게 연결하여 베드안에 양액을 채우고 담액경과 같은 형식으로 재배 함
- 물냉이는 서늘한 곳에서 잘 자라므로, 품질이 떨어져서 (웃자라고 연약해짐) 가격을 받지 못함
- 물냉이의 연중 최적 재배 시스템을 구축하기 위해 스마트 팜 온실(온습도, 차광 및 난방 유지)에서, 양액온도 제어 기술, 마이크로나노 버블을 이용한 근권부 제어 최적 시스템을 개발하여 연중 고품질 물냉이 생산 시스템 구축이 필요함



2. 파종준비

▶ 파종 재료

<종자 및 파종준비>

- 종자는 아이아 종묘에서 소독된 종자 구매
- 수돗물에 침종처리를 실시 (24시간)
- 파종전 육묘용 암면을 준비 (기타: 원예용 상토, 스펀지 파종 가능)
- 육묘용 암면은 오염되지 않은 것을 사용
- 베드의 구멍과 육묘용 암면 크기를 맞출 것
- 암면을 충분히 포수 시킬 것
- 파종후 복토용으로 버미큘라이트 준비
- 파종실 사전 소독 및 사전 가동 (온도유지)



<종자의 침종처리>



<암면 파종판 준비>



<종자 구매>

3. 파종 및 발아

▶ 파종 재료

파종 및 발아

<파종방법>

- 종자는 구멍당 3~5립 씩 넣고, 복토용 살짝 버미큘라이트로 덮어줌
- 파종 후 물을 흠뻑 주어 발아가 잘 되도록 하고, 암면이 마르면 발아가 안 될 수 있으므로 가급적 마르지 않도록 관리함
- 온도는 25~27°C, 습도 80~90% 정도로 관리 함
- 암상태에서 3~4일 보관
- 실제 현장에서는 파종 후, 바로 육묘실 또는 온실에 정식 가능



<파종하기>



<일반 다단 발아실>



<향온함습기>



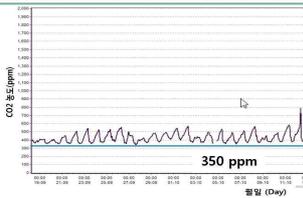
<파종후 트레이에 정식>

4. 육묘관리

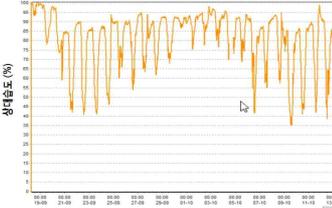
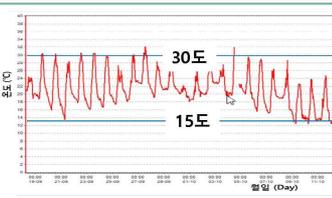
▶ 육묘 환경관리

- 작물관리: 발아가 되면(파종 후 3~4일 소요) 구멍당 1주 만 남기고 솟아춤 (재배현장에 따라서 솟지 않아도 됨)
- 물관리: 발아된 후에도 암면이 마르지 않도록 저면관수 방법으로 수분관리 (1일 1회-맑은날 기준)
- 온도 (주간: 22도 이상, 야간: 15도 이상)
습도 (주간 60% 이상, 야간 90% 이하)
- 광환경: 600W 이상의 강광조건에서 차광 필요
- 양액: 본엽이 전개 전에는 수돗물 저면관수
본엽 전개 후 EC 0.7±0.2 dS m⁻¹ pH 6.0
- 이병된 묘 또는 비정상적인 묘는 정식하지 말 것

- ◆ 동절기 주의점: 최저온도 유지 (5도 이상)
- ◆ 하절기 주의점: 주간 온도 하강을 위한 방안 마련 (자연환기, 양액냉방수 공급 등)



<암면파종판 이용 육묘>



<육묘장 온실의 온습도 환경>

5. 정식준비

▶ 정식 작업 점검

- 재배조건: Semi-DFT 시스템을 적용한 수경재배 시스템, 베드 또는 재배시스템 구매 확인 (자연배수)
- 정식간격: 여러조건외 정식 실험 결과 재식거리는 15cm × 15cm 간격이 가장 이상적임 (정식판을 구하지 못할 경우 인위적으로 구멍 작업 필요)
- 베드바닥을 깨끗하게 청소하여 이물질이 없도록 함
- 베드에 양액을 채우고 누수 되는 곳을 확인
- **암면 1개가 베드의 구멍에 맞지 않을 경우에는 수작업 많이 소요되므로 초기 배치 크기에 맞는 정식판 구입 또는 작업**

- ◆ 동절기 주의점: 양액온도 점검 (18도 이상 유지)
- ◆ 하절기 주의점: 양액온도 점검 (22도 이하 유지)



<정식전 재배 베드>

6. 정식

▶ 정식

- 정식: 못판을 제작하여 묘판에서 묘가 한 개씩 분리될 수 있도록 한 후, 묘를 1개씩 베드 구멍에 꽂아 넣음
- 암면과 뿌리부분이 양액에 잠기도록 해야 함
- 양액에 잠기지 않아 말라서 죽지 않도록 주의해야 함
- 정식 후 2~4일 동안은 양액에 암면과 뿌리가 잠겨 있는지 확인하고, 만약 잠기지 않은 식물체가 있으면 잠기도록 해줄 것
- 배수구의 높이를 조절하여 DFT 수면 높이 조절
- 온도와 양액농도를 수시로 체크하여 적정 온도와 양액농도가 유지되도록 할 것
- 양액조건: pH 5.5~6.5 정도, EC 1.5~2.0 dS m⁻¹

- ◆ 동절기 주의점: 일출 후 주간 온도 상승,
- ◆ 하절기 주의점: 낮은 양액온도 공급

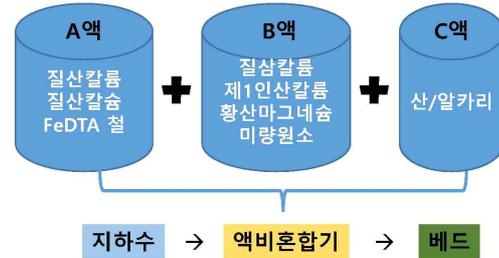


<정식 후 재배베드의 모습과 묘판에서 묘분리 못판(우하)>

7. 양액관리

▶ 급액관리

- 양액조성은 작물에 따라 다르게 조성해야 하지만 일반적 Hoagland 양액을 이용 시, 생산성 가장 좋게 나타남
- 양액은 보통 A액과 B액을 따로 조성해야하므로 2개의 통을 준비할 것
- pH조절을 위한 (산 또는 알칼리) C액 통을 준비하여 관리
- 칼슘과 황산염 또는 인산염은 결합하여 응고가 되므로 반드시 다른 통에 녹여야 함
- 사용하는 물은 사전에 분석하여 pH 변화에 영향을 미치지 않는 물을 사용해야함
- 양액은 10분씩 on/off 주기로 공급함 (하절기: 연속 공급이 더 바람직함)
- 양액온도는 20°C 이하로 유지하는 것이 좋음 (특히 하절기 양액온도를 낮추어 공급)
- 식물체가 크면 양액이 부족할 가능성이 크므로 수시로 확인하여 부족하면 보충해 주거나 신규양액으로 대체함



<양액 제조 방법 및 급액 모형>

[표] Hoagland 양액 조성표

원소 함유량	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S
me/L	14	1	3	6	8	4	4
ppm	196	14	31	235	160	49	64

8. 수확

▶ 수확관리

- 물냉이는 성숙잎 보다는 새롭게 나와서 중간 정도 자란 잎과 줄기를 같이 수확하는 것이 좋음
- 1차 수확 후, 계속 재배하여 3-4차례 더 수확할 수 있음
- 수확 시 뿌리가 길게 자라서 잘 빠지지 않으므로 뿌리 위를 절단하여 수확하는 것이 편리함
- 수확 시 사용하는 도구는 항상 깨끗한 상태를 유지하면서 사용할 것



<정식간격에 따른 물냉이 생육결과 및 수확 전 상태>

9. 환경조절장치 제원

스마트팜 구성품 스펙

팜시스 콘트롤러



- 제어기: 임베디드 컴퓨터
- 운영 소프트웨어: MS CE6.0
- 출력방식: 릴레이접점(무전압)
- 인터넷 접속: 이더넷 통신
- 모델No. FSC-1520
- ▶ 출력 20채널, 무선환경센서용
- 모델No. FSC-1512
- ▶ 출력 12채널, 무선환경센서용
- 모델No. FSC-1020
- ▶ 출력 20채널, 유선 온도센서용
- 모델No. FSC-1012
- ▶ 출력 12채널, 유선 온도센서용

팜시스 소프트웨어



- S/W버전 : Farmsys2.3
- 저장장치 : SD카드
- 메모리용량 : 4GB

팜시스 웹페이지



- 모바일용 버전No. FSM-V2.0
- PC용 버전 : FSP-V2.0
- 등록일로 부터 5년간 무료이용

온도	측정범위	-19~+60°C
	정밀도	±0.5°C(20~60°C)
습도	측정범위	0~99.9%
	정밀도	±2.5%(30~80%)
CO2	측정범위	0~3,000ppm
	정밀도	±30ppm (300~1,200ppm)
		±50ppm (300~1,200ppm 외 범위)

통합 실내대기센서 노드

1 2 3



실내대기
환경정보
무선통신

- ◆ 실내 좌측①, 우측② 설치
- 모델No. WSN-802
- ▶ 온도, 습도 센서 내장
- ◆ 실내 중앙 설치③
- 모델No. WSN-803
- ▶ 온도, 습도, CO2센서 내장
- 입력전압: AC220V/13W
- 강제 공기순환 팬(10W)
- 통신방식: IEEE802.15.4
- 사이즈: Φ180X260mm

9. 환경조절장치 제원

스마트팜 구성품 스펙

유선온도센서



직사광(태양빛) 방지 커버

- 모델No. FTS-30(코드:30m)
- 모델No. FTS-50(코드:50m)
- 모델No. FTS-100(코드:100m)
- 측정범위 : -19~+60°C이내
- 정밀도 : ±1%이내

풍향풍속 센서



코드길이 : 7m

- 모델NO : WDSS-201
- 풍향측정 : 16방향
- 풍속측정 : 0~55m/sec
- 정밀도(풍속) : ±3%이내
- 출력방식 : RS485
- 사용온도 : -19~+60°C이내

일사량센서



코드길이 : 7m

- 모델NO : WSS-202
- 측정범위 : 0~2,000W/m²
- 정밀도 : ±5%이내
- 출력방식 : 전류 0~250mV
- 사용온도 : -19~+60°C이내

감우센서

3면 입체감지



코드길이 : 7m

- 모델NO : WRS-203
- 측정범위 : 강우 유무
- 측정방식 : 전극간 저항측정
- 감도조정 : 불륨 조정(10단계)
- 건조방식 : 저항체 발열
- 출력방식 : 릴레이 A접점
- 사용온도 : -19~+60°C이내

9. 환경조절장치 제원

팜시스 콘트롤러 4종

콘트롤러 타입	무선 환경센서 Type	유선 환경센서 Type
모델NO.	FSC-1520 FSC-1512	FSC-1020 FSC-1012
제어채널	정역(★1) ON-OFF(★2) 독수채널(★3)	10채널 6채널 10채널 6채널
환경센서	외부용 실내용	구역분할 관수(6구역)기능없음 구역분할 관수(6구역)기능있음 리안센서(유선 직결식) 모델: WRS-09RW(코드길이7m) ※ 리안센서 이외의 기상센서 사용할 수 없음. 온도센서 5개(유선 직결식) ①모델: FTS-30 ②모델: FTS-50 ③모델: FTS-100 ※ 온도센서 이외의 센서는 사용할 수 없음.
환경센서 데이터통신	무선통신(IEEE802.15.4)	유선통신
사용전압	AC220V	
운영 하드웨어	임베디드 컴퓨터	
운영체제 S/W	M5 윈도 우즈 CE6.0	
응용 S/W	Farmsys Version 2.3(무선하이라이프 개발)	
모니터(디스플레이)	월러 LCD(해상도 800X480) · 10.2인치(가로:222mm 세로:132mm)	
조작방식	스크린 터치조작(감압식)	
데이터 저장	SD와일드 메모리(4Gb)	
인터넷 통신방식	이더넷 통신	
클러방식	필러이 점점(무전압) ※로컬 콘트롤러의 마그네틱 콘택트를 제어하는 클러.	
케이스	EG1 스틸 분체도장	
사이즈	500X500X165mm	
무게	10.5kg	

- (★1) 정·역 제어채널: 구동축이 시계방향(C.W) 또는 반시계방향(C.C.W)으로 회전하며 작동되는 기계를 제어하는 채널 (예: 환기장치폐기, 커트모터 등)
- (★2) ON · OFF 제어채널: 스위치를 켜면 작동되고 끄면 정지되는 기계를 제어하는 채널 (예: 전동, 배기팬, 유동팬, 펌프모터, 온풍기 등)
- (★3) 특수채널(구역분할 관수): 재배지를 여러 구역(최대10구역)으로 나눠 순차적 또는 특정 구역을 지정하여 원하는 시간 동안 관수되게 하는 채널
※ 물(原水)의 양 또는 범용량 부족으로 재배지 전체지역을 동시에 관수할 수 없는 경우 이 기능을 사용하면 효과적으로 관수할 수 있습니다.
- (★4) 실내 통합환경센서: 하우스 실내의 환경요소(온·습도, CO₂등)를 감지하여 그 정보를 무선통신으로 팜시스 콘트롤러에 보내는 장치

▶ 채널(Channel): 원 뜻은 각 방송국에 배정된 전파의 전송로(대역)이나, 팜시스 시스템에서는 각각의 독립제어단위(제어계통)를 의미합니다.
[예]1채널은 좌측전장, 2채널은 우측전장, 3채널은 좌측장, 4채널은 우측장, 5채널은 수평커튼 ~ 11채널은 유동팬, 12채널은 관수펌프에 배정 제어

9. 환경조절장치 제원

스마트팜 구성품 스펙

통합형 콘트롤러

분리형 콘트롤러



9. 환경조절장치 제원

스마트팜 사용 예



10. 복합환경제어

팜시스 환경제어기능

- 팜시스는 작물재배 환경제어 전용 소프트웨어가 설치된 컴퓨터로 시설원에 재배환경을 관리하는 시스템
- 최대16개의 각종 환경센서를 적용할 수 있으며 21개의 제어채널 제공
- 자연환기창 개폐기 또는 커튼개폐 모터와 같이 양방향(정/역)으로 작동되는 구동기기를 제어하는 독립채널 10개 제공
- FAN, 난방기, 펌프 등과 같이 ON/OFF에 의해 작동/정지되는 구동기기를 제어하는 독립채널 10개 제공
- 모든 채널은 각각의 목표값을 설정할 수 있으며 센서 지정 또는 평균값 적용 및 시간을 지정하여 관리할 수 있음



10. 복합환경제어

팜시스 메인 화면 센서값, 경보, 작동상태, 통신 이상 등의 데이터 표시

관수제어

The main monitoring screen displays the following information:

- 통신 경보장치** (Communication Alarm Device): Status indicators for various communication channels.
- 관수공급** (Irrigation Supply): 0/19, with sub-values for 9.3, 47.0, and 2.3.
- 기상대** (Weather): 166.
- 유선온도센서** (Wired Temperature Sensor): 24.2°C.
- 현재시간** (Current Time): 2017.03.02 15:45:09.
- 버전** (Version): FV-3.1.
- 1 무선환경센서** (Wireless Environment Sensor 1): 24.6°C, 29.4% humidity, 626 ppm CO2.
- 2 무선환경센서** (Wireless Environment Sensor 2): 24.8°C, 36.4% humidity, 0 ppm CO2.
- 3 무선환경센서** (Wireless Environment Sensor 3): 25.5°C, 28.9% humidity, 0 ppm CO2.
- 4 무선환경센서** (Wireless Environment Sensor 4): ---°C, ---% humidity, --- ppm CO2.
- 정역제어의 제어값** (Control Values for Zone Control):

1층-주방	66	2층전원	0	메기현	양동현
3층/부엌코	100	대사용	9000	대사용	대사용
대사용	0	대사용	0	대사용	대사용
확장-1	0	확장-2	0	확장-5	확장-6
확장-3	60	확장-4	60	확장-7	확장-8
- ON/OFF제어의 제어 상태** (Control Status for ON/OFF): ON-OFF 제어 section.
- 외부기상데이터** (External Weather Data): 운전 (Run), 체널설정 (Channel Setting), 조회화면 (Query Screen), 시스템설정 (System Setting).

10. 복합환경제어

팜시스 설정 화면 제어모드, 제어조건, 목표값 설정

정역 제어 설정 | ON-OFF 제어 설정 | 관수 전용 설정

체널 설정 (Channel Setting): 채널선택 (Channel Selection) 1채널 ~ 10채널.

5단 추가: 온도 제어 - 일출, 일몰 기준 설정가능 (5-step Addition: Temperature Control - Sunrise/Sunset Basis Setting Possible):

현재 시간대	1	채널명칭	1층-설정	제어방식	적용센서
5단-변온 온도제어	적용여부	시작시각설정	목표온도설정 (°C)	열림제한(%)	온도목설정(°C)
1시간대			0		0
2시간대			0		0
3시간대			0		0
4시간대			0		0
5시간대			0		0

시간제어 항목 설정 (Time Control Item Setting):

시간제어: 열림시작시간, 열림시작시간, 작동시간(초), 대기시간(초), 스텝횟수, 열림제한 %.

온도값 설정 조건 (Temperature Setting Conditions): 온도목설정(°C), 작동시간설정(초), 최소-대기시간(초), 최대-대기시간(초).

특별 제어 가능 (Special Control Possible):

- 고온경보시 열림작동기능 사용
- 저온경보시 닫힘작동기능 사용
- 열림제한기능 사용
- 빗물감지시 닫힘작동기능 사용
- 빗물감지시 자동온전으로 전환
- 풍속경보시 닫힘작동기능 사용

10. 복합환경제어

팜시스 환경관리 운전화면 제어모드, 제어조건, 목표값 설정

The screenshot displays two main control panels: '장역 제어' (Zone Control) and 'ON-OFF 제어' (ON-OFF Control). Both panels have six channels. The 'ON-OFF 제어' panel includes a '배기팬' (Exhaust Fan) control for the first channel.

Channel	Zone Control Mode	Zone Control Target	Zone Control Action	ON-OFF Control Mode	ON-OFF Control Action
1채널	66%	1중-속참	자동 운전	배기팬	자동 운전
2채널	0%	2중원참	자동 운전	유동팬	자동 운전
3채널	100%	3중/부작포	수동 정지	미사용	수동 정지
4채널	8000%	미사용	수동 정지	미사용	수동 정지
5채널	0%	미사용	수동 정지	미사용	수동 정지
6채널	0%	미사용	수동 정지	미사용	수동 정지

Annotations on the left side of the image point to:

- 정역 제어상태 (Control Mode Status)
- 제어노드 현재 상태 (Current Control Node Status)
- 제어노드 (Control Node)

An annotation on the right side points to:

- ON-OFF 제어 상태 (ON-OFF Control Status)

10. 복합환경제어

팜시스 시스템 설정화면 기기설정, 초기설정, 기본설정

The screenshot shows the '초기 설정 | 채널 이름 설정' (Initial Settings | Channel Name Setting) screen. It is divided into three main sections:

- 환경 경고설정 (Environmental Warning Settings):** Includes settings for '고온경보설정' (High Temp Alarm), '저온경보설정' (Low Temp Alarm), '풍속경보설정' (Wind Speed Alarm), '센서 개수' (Number of Sensors), and '온도스판 설정' (Temperature Panel Setting).
- 기본설정 (Basic Settings):** Includes '임베디드 컴퓨터 설정' (Embedded Computer Settings) with options for '타지 보정' (Tare Correction), '시간 설정' (Time Setting), '볼륨 조절' (Volume Adjustment), '화면 변경' (Screen Change), '저장' (Save), and '통신포트(COM)' (Communication Port).
- 센서보정 설정 (Sensor Calibration Settings):** Includes '유선센서 보정' (Wired Sensor Calibration) with 1-4 degree settings, and '가상대 연결' (Virtual Connection) with options for '센서선택' (Sensor Selection), '온도경보 센서' (Temperature Alarm Sensor), '서버 사용' (Server Use), and '배지센서 선택' (Badge Sensor Selection).

Annotations on the left side of the image point to:

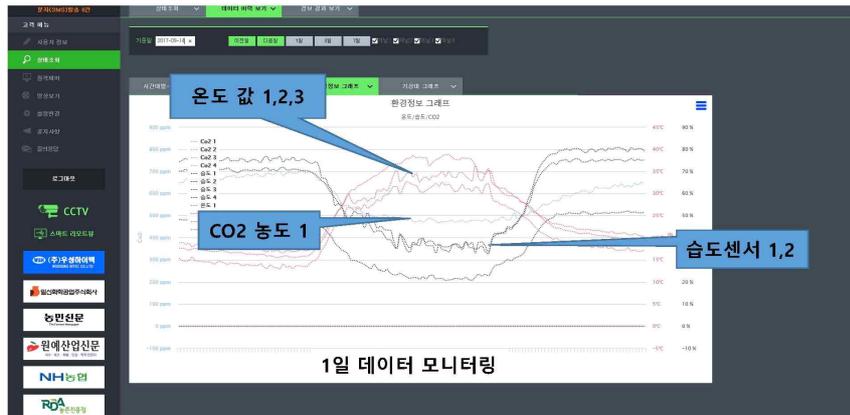
- 환경 경고설정 (Environmental Warning Settings)
- 기본설정 (Basic Settings)

An annotation on the right side points to:

- 센서보정 설정 (Sensor Calibration Settings)

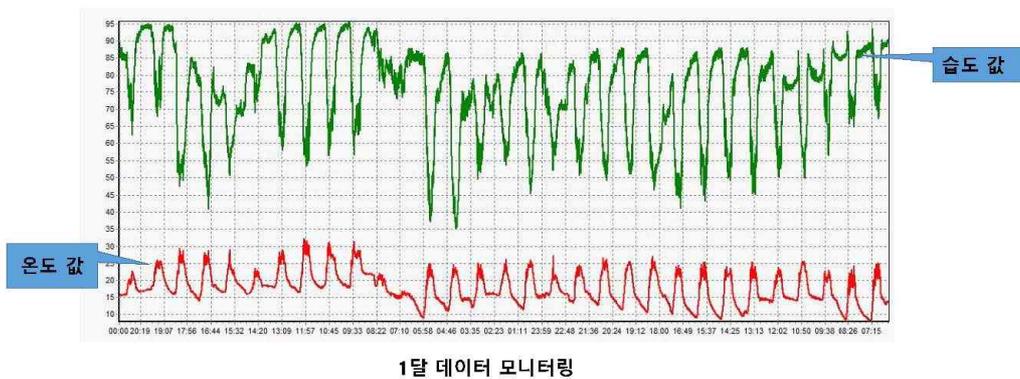
10. 복합환경제어

팜시스 데이터 조회 화면 데이터 값의 조회 (온습도, CO2농도: 월, 일, 시, 분 설정)



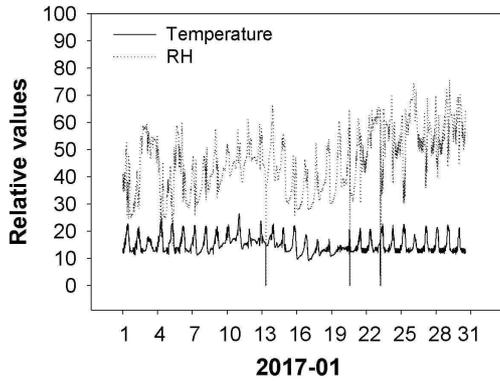
10. 복합환경제어

팜시스 데이터 조회 화면 데이터 값의 조회 (온습도, CO2농도: 월, 일, 시, 분 설정)



10. 복합환경제어

계절별 온실내 온습도 01월 동절기

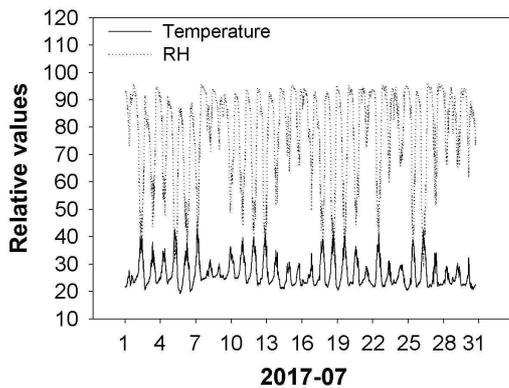


<1월 온실내의 온습도 변화>

- 최저 온도: 12도, 최고 온도: 24도
- 최저 습도: 30-40%, 최고 습도: 60-70%
- 동절기는 건조한 관계로 주간 상대습도가 낮음
- 최저온도 설정은 경제성과 연관되므로 생산성을 유지하기 위해서 12도 부근으로 설정하여 난방을 추천함.
- 난방비에 부담을 느낀다면 최저설정 온도는 5도로 유지 필요함

10. 복합환경제어

계절별 온실내 온습도 07월 하절기

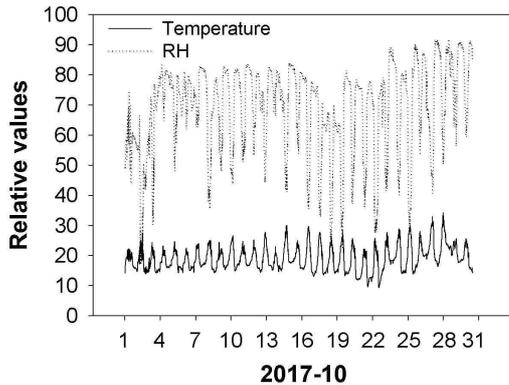


<7월 온실내의 온습도 변화>

- 최저 온도: 22도, 최고 온도: 40도
- 최저 습도: 40-50%, 최고 습도: 90-100%
- 하절기는 고온다습하지만 주간 온도가 높아 상대습도는 낮아짐, 야간습도는 90% 정도로 유지하는 것이 좋음
- 주간 온도의 상승은 작물체의 호흡을 증가시키고 장일식물의 추대를 일으키기 때문에 양액의 온도를 최대한 낮추어 재배하는 것이 중요함
- 주간 자연환기를 최대한 해주어 최고온도 상승을 억제함

10. 복합환경제어

계절별 온실내 온습도 10월 봄/가을



<10월 온실내의 온습도 변화>

- 최저 온도: 12도, 최고 온도: 28도
- 최저 습도: 40-50%, 최고 습도: 80-90%
- 봄가을은 매우 바람직한 환경을 제공함
- 주간온도는 초기온도를 빨리 상승시켜주고 오후로 가면서 습도를 높게 유지시켜주는 전략이 중요함
- 주야간 환경설정에서 있어 특별히 주의할 점은 없지만, 최근 4-5월 맑은 날씨에 주간 온도가 30도가 넘지 않도록 관리해 주는 것이 중요함.

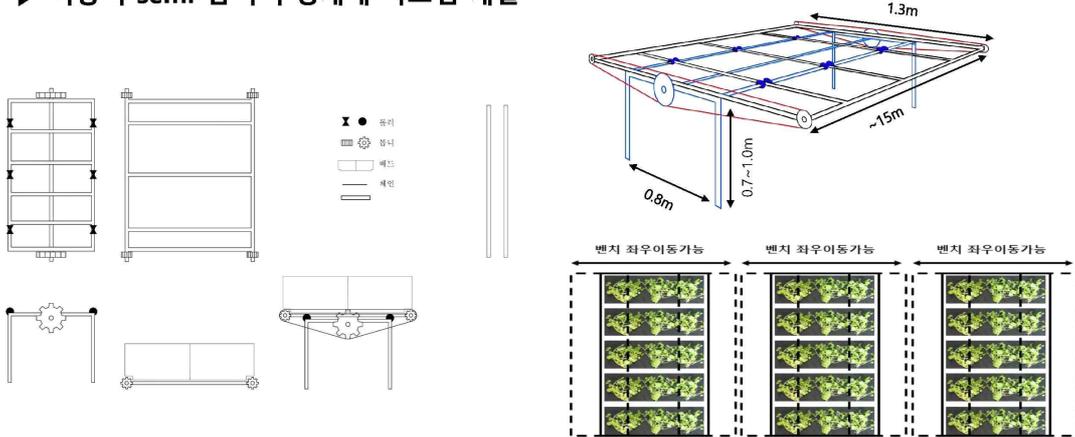
10. 복합환경제어

◆ 복합환경제어 시 유의점

- 환기설정온도와 난방설정온도 설정은 복합환경제어의 기본이다.
- 온실의 온도를 제어하기 위함인데, 1일 변화 패턴을 3-4단계로 유지하는 조건에서 P밴드 값을 이용해야 함
- 광강도가 증가할 때는 환기설정온도가 기준보다 3-4도 이상 높은 조건에서 환기량이 구동 될 수 있도록 함
- 광강도가 낮은 흐린날의 경우에는 기준온도 설정조건에서 환기량이 구동 될 수 있도록 세팅해야 함
- CO₂ 설정농도도 같은 전략으로 설정하는 것이 좋음. 높은 광도조건에서 설정농도에서 50ppm 증가, 흐린날의 경우 설정농도에서 50ppm 감소
- 이것은 식물이 광강도 조건에 따라서 최적 광합성 온도가 변하기 때문인데, 광조건이 좋으면 높은 온도에서 광합성 효율이 좋고, 광조건이 낮을 경우에는 최적 광합성 온도도 상대적으로 낮아지기 때문임
- 하절기 물냉이 재배에서 유의점으로 400W/m² 이상의 조건에서는 스크린을 열고 온도가 30도를 상회할 경우 양액의 온도를 상대적으로 낮추어 관리하면 고온 장애를 극복할 수 있음
- 하절기 고온조건에서는 가능한 환기를 최대한 하고, 양액의 온도를 낮추어 공급해야 함 (초기 시공 시, 칠러 설치 필요)
- 정전기장 발생장치는 수확 전 1주일 동안 처리하여 수확 후의 기능성 물질이 증대되도록 제어하면 좋음

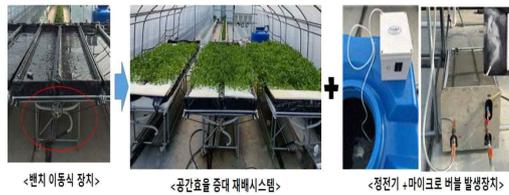
11. 재배 시스템 개발

▶ 이동식 semi-담액 수경재배 시스템 개발



11. 재배 시스템 개발

▶ 이동식 semi-담액 수경재배 시스템 개발



◆ 시스템 운전 방법

- 단동온실 (폭 6.5m x 길이 100m) 기준으로 재배베드 폭 1.3m는 총 5대가 설치가능 하지만, 복도를 0.6m 로 계산하여도 재배베드는 3대 밖에 설치가 불가능하거나, 베드의 폭을 넓혀서 최적화 해야함.
- 따라서 베드폭 1.3m 짜리를 4대 설치하고 복도로 1.3m 를 이동식으로 만들 수 있으면 **생산성이 약 10-15% 정도 증가** 될 수 있음
- 이동식 벤치의 설치 후, 수경재배 시스템의 양액공급장치 안 또는 급수공급라인에 정전기 발생장치 설치 함
- 정식 후, 이동식 재배 장치는 최소간격(30cm)를 띄우고 재배 시작 하우스 양쪽 끝에서 복도 공간을 남길 것
- 작업 또는 수확시, 베드를 좌우로 이동할 것
- 정전기 발생 장치는 24시 타이어를 이용하여 양액이 공급되는 시점에 같이 발생시키되, 수확 전 1주일 동안 발생 시킬 것
- 양액은 5-10분 간격으로 ON/OFF 시켜줄 것

11. 재배 시스템 개발

○ 재배 시스템 제품화



<벤치 이동식 장치>



<공간효율 증대 재배시스템>



<정전기 +마이크로 버블 발생장치>

<정전기장을 이용한 재배기술 특허출원>



<보급형 재배 시스템 구축>

10. 복합환경제어

◆ 환경제어관련 주요 항목 및 적절한 범위

- 동절기 무가온재배 가능, 하절기 최대온도가 상승될 때는 양액온도를 낮추어 상호 보완 필요
- 습도 조건은 적절한 범위에서 유지 필요. 생식생장을 하지 않는 관계로 낙화의 원인이 되는 오후의 습도관리는 적절한 범위에서 수행
- 최대 광강도 조건에서 스크린 작동 필요
- 양액의 EC는 표준을 기준으로 동절기 높게, 하절기 낮게 관리
- pH는 양액의 조성에 따라서 변화하지만, 주로 질산성 질소의 초기 흡수로 인하여 상승하는 경향이 있으며, 7.0을 상회시 산으로 조절
- 양액온도는 주간온도와 연계하여 주간온도 상승시 양액온도를 낮추어 대응

환경제어 인자	동절기		하절기	
	최소	최대	최소	최대
온도(온실)	5°C(야)	28°C(주)	18°C(야)	32°C(주)
습도	50%(주)	90%(야)	50%(주)	90%(야)
광조건(강도)	200W/m ²	400W/m ²	200W/m ²	500W/m ²
CO ₂	400 ppm	~1000 ppm	400 ppm	~1000 ppm
양액 EC	1.2 dS/m	2.5 dS/m	1.0 dS/m	2.0 dS/m
양액 pH	5.5	7.0	5.5	7.0
양액 온도	22°C	27°C	20°C	25°C

4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06
4-1. 목표달성도			
구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차년도 (2016)	· 고품질 물냉이 생산을 위한 환경조건 구명 및 기능성 물질 증대 재배기술 개발	100	· 종자 발아에서 유묘까지 안정화 기술 · 침종처리에 따른 발아율 조사 · 물냉이 최적 환경조건 구명 · 직파재배와 이식재배 차이 구명 · 기능성 물질 증대를 위한 재배기술 개발
	· 마이크로나노버블 활용 근권제어 기술 개발	100	· 마이크로나노버블의 물리화학적 특성분석 · 버블 믹싱 방법 및 공급 시스템 개발 · 버블에 의한 물냉이 생장 효과 분석
	· 물냉이의 기능성 성분 분석	100	· 문헌을 통한 기능성 표준물질 분석 · 재배조건에 따른 기능성 물질 분석
2차년도 (2017)	· 물냉이 이동식 베드를 이용한 담액식 수경 재배 시스템 개발	100	· 토지이용 효율 극대화를 위한 이동식 재배 시스템 개발 · 담액식 수경의 효율적 물관리 기술 개발 · 고품질 물냉이 최적 수경재배 시스템 개발
	· ICT 스마트팜 환경제어 매뉴얼 개발	100	· 환경제어 인자의 재배기간 중 관리 기준 설정 · 스마트팜 환경제어 및 물냉이 재배 매뉴얼 개발
4-2. 관련분야 기여도			
<ul style="list-style-type: none"> - 기능성이 강화된 재배기술의 개발 - 정전기장을 이용한 수경재배 시스템을 이용할 경우 생육 초기 (정식 후 1-2주)에 물냉이의 glucosinolate 함량이 증대되었음 (1주 후), 상추의 경우 정식 2주 후에 폴리페놀류의 3가지 물질의 함량이 3-5배까지 증대되었음 → 수경재배 업체류 재배 기술에 적용 시, 기능성 물질 함량증대에 기여할 것을 판단됨 - 손쉽게 제작할 수 있는 이동식 벤치를 개발하였으며 이러한 벤치를 이용할 경우 단동온실에서 1줄의 재배베드를 더 설치할 수 있고 복도로 제외되는 공간을 1.2m를 제외한 공간에서 재배할 수 있어서 바닥면적 대비 생산효율이 10-15% 정도 상승됨 → 모든 수경재배 업체류 재배에 적용시 단위 면적당 생산성 향상이 기대됨 - 고품질 물냉이를 재배하기 위하여 스마트 팜 기반의 환경관리 및 물냉이 재배 매뉴얼을 작성하였음 - 종자의 파종에서부터 유묘까지의 안정화 기술을 개발하였으며, 정식 후 온실의 환경관리를 통한 안정 생산 기반을 제안하였음 - 초보자도 쉽게 재배할 수 있는 스마트 팜의 기본적인 환경설정과 계절별 환경설정 기준을 제시하였음 			

5장 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

1-1. 실용화, 산업화 계획(기술실시 등)

- 식물 수경재배시 glucosinolates의 함량 증진을 위한 방법으로 적용이 가능하며 수경재배 엽채류 재배 방식에 응용 가능할 것으로 판단됨
- 기술이전: 이동식 재배 시스템 및 기능성 물질 함량 증대 재배기술에 관한 기술을 온실을 시공하는 업체인 XX 건설에 기술이전을 실시하였음 (유상: 경상기술료 300만원)
- 기술이전 내용: 정전기발생 장치를 탑재한 배드 이동식 수경재배 장치
- 실용화 계획: GH건설과 협의하여 온실시공 사이트 중에서 단동온실의 엽채류 재배하는 시공현장에 맞춰서 본 기술을 적용할 계획 (2018년 - 1개 엽채류 재배지)

1-2. 교육, 지도, 홍보 등 기술확산 계획 등

- 수경재배 농가 또는 엽채류 수경재배를 하는 식물공장 산업체에 기술지도 또는 지원으로 공동 연구 추진
- 물냉이 환경관리 및 재배매뉴얼을 제작하였으므로 이를 보급확산 추진

1-3. 특허, 품종, 논문 등 지식재산권 확보계획 등

- 논문 : 수경재배의 기능성 물질 함량 증대와 관련하여 기초자료로 활용
- 특허 : 폴리페놀의 함량 증진이 가능한 재배기술 개발로 특허 출원을 마쳤음

1-4. 인력 양성

- 엽채류의 대량 생산 시스템인 식물공장과 관련된 재배관리사로 일할 수 있는 대학원생을 배출하고 관련 산업분야의 인력양성 수행

6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

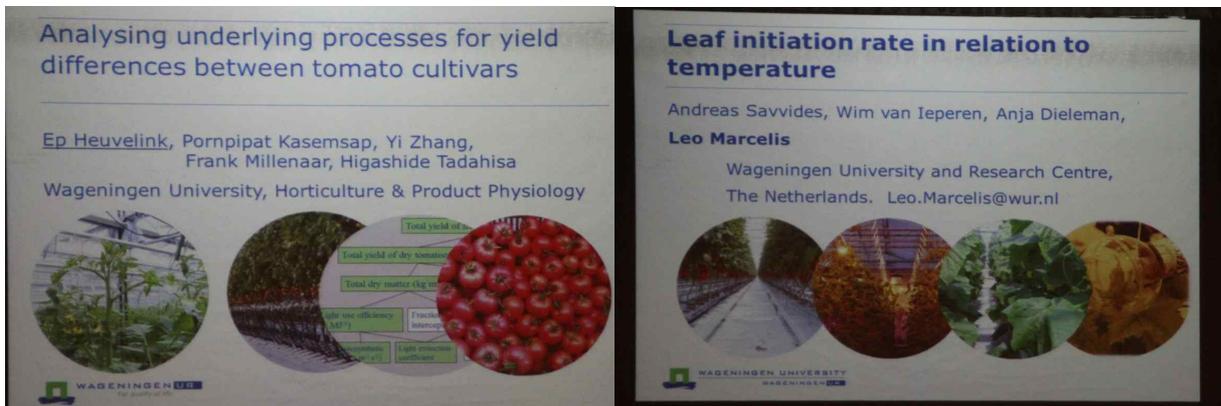
코드번호

D-08

- 국제 원예학회에서 주관하는 GreenSys 2017 학술대회 참석

중국 베이징에서 개최되었으며 기능성 물질의 함량 증대를 위한 다양한 재배방법에 대한 발표가 있었으며, 특히 abiotic elicitor를 활용한 식물의 2차 대사산물의 변화에 대한 연구결과가 많이 발표되었음 (고온, 저온, 고광도, 스트레스 유발광 조사, 기계적 스트레스 처리, 소포자 배양단계에서 특정 물질 처리 등)

인공광형 식물공장에서 주로 재배하는 작물인 엽채류 중심에서 벗어나 최근에는 약용작물 또는 과채류를 재배하는 기술로 발전되고 있으며, 식물공장 전용 품종 개발도 이루어지고 있었음. (식물공장의 특징인 낮은 광강도에서 잘 자랄 수 있는 토마토)



7장 연구개발결과의 보안등급

코드번호	D-09
일반	

8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

코드번호	D-10
해당없음	

9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

	코드번호	D-11
해당없음		

10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	De novo transcriptome analysis and glucosinolate profiling in watercress (Nasturtium officinale R. Br.)	충남대	공저자	국외	3.729	2017.05.23	단독	SCI
2	학술 발표	Analysis of the growth and glucosinolate contents of Nasturtium officinale according to LED lights in a hydroponic culture system	충남대				2017.08.21		
3	수상	우수포스터발표 (최재윤)	충남대				2017.08.23		
4	특허	루테인 함량을 증가시키는 식물 재배기술	충남대				2017.11.16		
5	기술 이전	이동식 베드를 활용한 루테인 함량 증대 식물재배기술	충남대				2017.11.22		

RESEARCH ARTICLE

Open Access



De novo transcriptome analysis and glucosinolate profiling in watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.)

Jin Jeon^{1†}, Sun Ju Bong^{1†}, Jong Seok Park², Young-Kyu Park³, Mariadhas Valan Arasu⁴, Naif Abdullah Al-Dhabi⁴ and Sang Un Park^{1*}**Abstract**

Background: Watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.) is an aquatic herb species that is a rich source of secondary metabolites such as glucosinolates. Among these glucosinolates, watercress contains high amounts of gluconasturtiin (2-phenethyl glucosinolate) and its hydrolysis product, 2-phennethyl isothiocyanate, which plays a role in suppressing tumor growth. However, the use of *N. officinale* as a source of herbal medicines is currently limited due to insufficient genomic and physiological information.

Results: To acquire precise information on glucosinolate biosynthesis in *N. officinale*, we performed a comprehensive analysis of the transcriptome and metabolome of different organs of *N. officinale*. Transcriptome analysis of *N. officinale* seedlings yielded 69,570,892 raw reads. These reads were assembled into 69,635 transcripts, 64,876 of which were annotated to transcripts in public databases. On the basis of the functional annotation of *N. officinale*, we identified 33 candidate genes encoding enzymes related to glucosinolate biosynthetic pathways and analyzed the expression of these genes in the leaves, stems, roots, flowers, and seeds of *N. officinale*. The expression of *NoMYB28* and *NoMYB29*, the main regulators of aliphatic glucosinolate biosynthesis, was highest in the stems, whereas the key regulators of indolic glucosinolate biosynthesis, such as *NoDof1.1*, *NoMYB34*, *NoMYB51*, and *NoMYB122*, were strongly expressed in the roots. Most glucosinolate biosynthetic genes were highly expressed in the flowers. HPLC analysis enabled us to detect eight glucosinolates in the different organs of *N. officinale*. Among these glucosinolates, the level of gluconasturtiin was considerably higher than any other glucosinolate in individual organs, and the amount of total glucosinolates was highest in the flower.

Conclusions: This study has enhanced our understanding of functional genomics of *N. officinale*, including the glucosinolate biosynthetic pathways of this plant. Ultimately, our data will be helpful for further research on watercress bio-engineering and better strategies for exploiting its anti-carcinogenic properties.

Keywords: *Nasturtium officinale*, Watercress, Transcriptome, Glucosinolates

Background

Nasturtium officinale R. Br. is an aquatic perennial herb that generally grows in around clear, cold water. It is primarily found in Europe, North and South America, and Asia, where it is commonly known as "watercress." In some regions, *N. officinale* is considered an aquatic weed and is consumed as a fresh salad plant or soup garnish,

or used in other recipes [1, 2]. It is well documented that *N. officinale* is recognized as a valuable traditional medicinal plant, because of its numerous health-benefiting constituents, such as vitamins B, C, and E, pro-vitamin A, folic acid, carotenoids, glucosinolates, and many minerals, including Ca, Fe, I, and S [3, 4]. In particular, watercress contains high amounts of gluconasturtiin (2-phenethyl glucosinolate), which is hydrolyzed by myrosinase to produce 2-phennethyl isothiocyanate [5, 6]. This latter metabolite has been demonstrated to suppress carcinogen activation through the inhibition of

* Correspondence: supark@cnu.ac.kr

†Equal contributors

¹Department of Crop Science, Chungnam National University, 99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2017 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.



Poster Presentations

the mineral composition (K, Ca and Mg) in both seasons. Irrespective of the cropping seasons, increasing the salinity concentration in the nutrient solution improved the quality traits of sweet basil in particular the antioxidant activity, vitamin C and total phenols. Irrespective of treatments, caffeic and ferulic acids were the most abundant phenolic acids in sweet basil. Finally, sweet basil grown during the spring summer season exhibited the highest values of caffeic, coumaric and chicoric acids and the lowest nitrate content compared to those recorded during the summer-fall season.

P-11-04

Analysis of the Growth and Glucosinolate Contents of *Nasturtium officinale* According to LED Lights in a Hydroponic Culture System

Jaeyun Choi, Jongseok Park

Department of Horticultural Science, Chungnam national university, Korea

Watercress (*Nasturtium officinale*) is a perennial aquatic plant belonged to Brassicaceae, which contains a large amount of the functional component Glucosinolates. This study was conducted to analyze the effects of LED light combinations on the growth and glucosinolates content of watercress when year-round produced in plant factory systems. Watercress seeds (Asia Seed Co., Ltd.) were sown on a water-sprayed rock wool medium (Grodan, Kiemplug standard tray) and grown in a growth chamber at a temperature of 22 °C, humidity of 80%, a light condition of $175 \pm 25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ photosynthetic photon flux density (PPFD), and a light/darkness ratio of 16 h/8 h. For each treatment, five weeks later, the twenty-two seedlings were transplanted into compressed styrofoam (93*64 cm), under deep flow technique system. Watercress was subjected to the following light system conditions (treatments): W10, R10, R3B1, R5B1, R2B1G1 and W2B1G1 with $180 \pm 10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PPFD. The Hoagland nutrient solution was used and the seedlings were cultured for three weeks at temperatures of 20 ± 2 °C, humidity $70 \pm 10\%$, EC 1.3 ± 0.1 dS·m, and a light/darkness ratio of 16 h/8 h. The growth was examined and the glucosinolates contents were analyzed using the High Performance Liquid Chromatogram (HPLC). Fresh weights and dry weights of root were shown to be significantly lower in the R10 treatment. The results of the HPLC analysis were showed that the content of glucosinolates per 0.1 g of dry weight of watercress was $14.09 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in W10, $24.06 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in R3B1, $13.23 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in R5B1, and $14.79 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in R10, $9.84 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in R2B1G1, and $10.17 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ in W2B1G1. Among the contents of Glucosinolates per the plant of watercress in various treatment, the R3B1 was resulted as $149.96 \mu\text{mol}/\text{plant}$. In watercress culture systems using artificial light, the growth rate and content of glucosinolates were shown to be the highest under light condition R3B1.

P-11-05

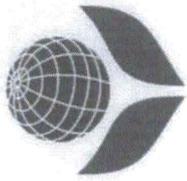
Effects of Various Ratios of Red and Blue Light on the Growth, β -carotene and Lutein Contents of Kale

Keisuke Kamiya¹, Wakanori Amaki², Hiroyuki Watanabe¹

¹Tamagawa University, Japan

²Tokyo University of Agriculture, Japan

Kale (*Brassica oleracea* L.) is reported to be rich in carotenoid pigments, which are phytochemicals with antioxidant activity. Previous studies have shown that carotenoid pigments in plants is influenced by irradiation with red or blue light. However, the effect of irradiation with a combination of red and blue light on the accumulation of carotenoid pigments has not been clarified, yet. This study



ISHS

THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE

ISHS STUDENT AWARD

AWARDED TO

Jae-Yun Choi

FOR BEST POSTER PRESENTATION AT

ISHS REPRESENTATIVE

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Chungho' or similar, written in a cursive style.

CONVENER OF THE EVENT

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jae-Yun Choi' or similar, written in a cursive style.

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2017.11.16
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원번호 10-2017-0152983 (접수번호 1-1-2017-1139625-54)
 출원인명칭 충남대학교산학협력단(2-2004-008410-4) 외 1명
 대리인성명 이원희(9-1998-000385-9)
 발명자성명 박종석 차상일
 발명의명칭 루테인 함량을 증가시키는 식물 재배기술

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.



노하우 기술이전 계약서

충남대학교 산학협력단(이하 '기술공급자')과 지에치건설산업(주)(이하 '실시자'이라 한다)은 "기술공급자"가 개발하여 보유한 기술(이하 "계약기술"이라 한다)의 이전을 위해 다음과 같이 합의하고 계약을 체결한다.

- 이전 기술 : 이동식 베드를 활용한 루테인 함량 증대 식물재배기술
- 기술료(VAT별도 : 이하 동일)
 - 정액 기술료 : 금삼백만원(₩3,000,000)
 - 경상 기술료 : 해당기술이 적용된 제품 총매출액의 1.5%
- 계약기간 : 2017. 11. 22. ~ 2027. 11. 21. (10년)
- 기술이전 유형 : 노하우 기술이전(통상)
- 기술사용범위 : 대한민국 특허법 제2조 제3호의 행위
- 기술사용지역 : 국내·외 전역
- 계약 당사자
 - 기술공급자 : 충남대학교 산학협력단 (단 장 김 영 국)
 - 실시자 : 지에치건설산업(주) (대표 이 광 호)

11장 기타사항

코드번호	D-13
해당없음	

12장 참고문헌

코드번호	D-14
<ul style="list-style-type: none"> ○ Di Noia J. 2014. Defining Powerhouse Fruits and Vegetables: A Nutrient Density Approach. <i>Prev Chronic Dis.</i> 11: 130390. ○ Hoagland, D. R. and Arnon, D. I, 1938. The water-culture method for growing plants without soil. Agricultural Experiment Station Circular 347. Berkeley, CA, USA. ○ Kang, J.H., KrishnaKumar, S., Atulba, S.L.S., Jeong, B.R. and Hwang, S.J., 2013. Light Intensity and Photoperiod Influence the Growth and Development of Hydroponically Grown Leaf Lettuce in a Closed-type Plant Factory System. <i>Hort. Environ. Biotechnol.</i> 54(6):501-509. ○ Koontz HV, Prince RP. 1986. Effect of 16 and 24 hours daily radiation (light) on lettuce growth. <i>Hortsci.</i> 21: 123-4. ○ Park, J.S. and K. Kurata 2009: Application of microbubbles in hydroponics solution promotes lettuce growth. <i>HortTechnology</i> 19, 212-215. ○ Park, J.S., K. Ohashi, K. Kurata and Lee, J.W. 2010. Promotion of Lettuce Growth by Application of Microbubbles in Nutrient Solution Using Different Rates of Electrical Conductivity and under Periodic Intermittent Generation in a Deep Flow Technique Culture System. <i>Europ.J.Hort.Sci.</i> 75 (5). S. 198-203. ○ Schreiner, M., Krumbein, A., Mewis, I., Ulrichs, C., Huyskens-Keil, S. 2009. Short-term and moderate UV-B radiation effects on secondary plant metabolism in different organs of nasturtium (<i>Tropaeolum majus</i> L.). <i>Innovative Food Science and Emerging Technologies.</i> 10, 93-96. ○ Takahashi, M. 2005: Potential of microbubbles in aqueous solutions: Electrical properties of the gas-water interface. <i>J. Phys. Chem.</i> B109, 21858-21864. ○ Vlahos, J.C., E. Heuvelink, and G.F.P. Martakis. 1991. A growth analysis study of three <i>Achimenes</i> cultivars grown under three light regimes. <i>Sci. Hort.</i> 46:275-282. ○ Wang, Y., Xu, W.J., Yan, X.F., Wang, Y. 2011. Glucosinolate content and related gene expression in response to enhanced UV-B radiation in <i>Arabidopsis</i>. <i>African Journal of Biotechnology.</i> 10(34): 6481-6491. 	

주 의

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