

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
식물공장 상용화 및 연중 생산 기술 개발			'20~'23	원예연구과 미래농업팀	이지영
식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발		채소	'20~'23	원예연구과 미래농업팀	정현경
색인용어	고추냉이, 쌈채소, 근경, 채종, 종자 보관, 적아, 식물공장				

ABSTRACT

Eutrema japonicum, commonly known as wasabi, is a spicy vegetable renowned for its unique and pungent taste, utilized not only as a seasoning for fish dishes but also in various culinary applications. However, the optimal temperature for its cultivation ranges from 12 to 15°C, with growth being compromised above 25°C. Consequently, wasabi is primarily cultivated in select highland areas with abundant water supply due to its sensitivity to temperature fluctuations. The challenge lies in the difficulty of expanding cultivation areas, and the susceptibility to root rot intensifies with temperature increases, contributing to a significant 55% decrease in production over the past decade in Shizuoka, Japan, a major wasabi production region (Japanese Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2022). This study focuses on cultivating wasabi leaves using an indoor vertical farm and developing technology for year-round seed harvesting. Hydroponic cultivation of wasabi rhizomes was carried out by supplying cold air maintained at 15°C throughout the year. In the process of selecting a suitable light source for leaf production, no statistical difference was observed between fluorescent lamps and three types of LEDs. Notably, when using fluorescent lamps, the rate of increase in the number of wasabi leaves reached 0.36 ± 0.11 at the PPFD 220 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ treatment. Successful harvest yielded 2.2 leaves within 49 days of cultivation, with the highest leaf area recorded at 605.2 cm^2 . Tests to determine the optimal EC concentration of the culture medium, ranging from 0.4 to 2.0 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$, revealed that the leaf emergence rate in the concentration range of 1.2 to 1.6 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ was notably high, reaching 3.6 leaves per month.

Wasabi seeding using an indoor vertical farm was possible even after May when

seedling was not possible in the greenhouse. Seed vitality was found to be maintained for up to 7 months when using a seed storage solution containing Polyethylene Glycol and Hydrogen peroxide solution. This study reviewed the possibility of producing wasabi rhizomes in the facility and the simultaneous production of leaves and rhizomes through defoliation treatment. In a 23-month cultivation using three treatments of 5, 15, and 16L medium volumes per plant, no difference was found in above-ground growth depending on the variety and medium volume. The variety that showed a clear increase in root fresh weight as the growing period increased was the ‘Daruma’. Regarding the cultivation method, in the case of the picking the bud treatment, the number of main stem leaves increased in both varieties, and the leaf length and leaf width of the main stem leaves tended to increase, showing a positive effect on root growth. The final fresh weight of the rhizome after 12 months of growth ranged from 41 to 42g, showing a high yield.

Key words: *Eutrema japonicum*, leaves, rhizome, Seedling, picking the bud, indoor vertical farm

1. 연구 목표

고추냉이는 독특한 매운맛 성분을 가진 향신채소로 잎, 꽃대를 포함한 식물체 모든 부위의 생식이 가능하나 주로 근경(뿌리줄기)을 갈아서 생선요리 등의 조미료로 이용된다. 고추냉이는 저온성, 반음지 식물로서 재배 적온은 12~15℃ 내외이며 25℃ 이상에서는 생육 장애가 나타난다. 잎 1매 성장에는 약 45일 정도 소요되고 근경 재배를 위해서는 약 18개월에서 24개월이 소요된다. 고추냉이의 재배는 고랭지에서 잎 생산을 위해 가을 정식부터 이듬해 5월까지 이루어지는 밭 재배 방식과 과량의 물을 흘려 근경 재배를 목표로 하는 물재배 방식으로 나눌수 있다. 두 방식 모두 재배 가능지가 제한적이며 기온 상승으로 인한 묵입병 피해로 고추냉이 주요 생산지인 일본 시즈오카의 생산량도 지난 10년간 55% 감소하였다(일본 농림수산식품부, 2022).

고추냉이 잎은 23천원/kg, 근경은 200천~250천원/kg에 판매되는 고부가가치 작물로서 현재 철원, 산청, 무주, 파주 등에서 지역특화 작목으로 지정되어 재배되고 있다. 하지만 재배 방법이 까다로울 뿐만 아니라 종자가 결실된 직후 휴면에 들어가는 건조 민감성을 지녀 냉동보관, 건조로 인한 활력이 손실되어 재배면적 확대를 어렵게 하는 원인이 되고 있다.

본 연구는 고부가가치 작물 고추냉이의 재배 가능지역 확대를 위해 식물공장을 이용하여 쌈채소용 고추냉이 잎 생산과 연중 안정적인 종자 생산기술 및 시설내 근경 양액 재배 기술을 개발하기 위해 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험1> 싹채소용 적합 광원 및 배지 구명

본 연구는 경기도농업기술원 내 완전 밀폐형 컨테이너형 식물공장에서 수행되었다. 시험작물로 고추냉이 ‘달마’를 강원도농업기술원에서 분양받아 사용하였다. 종자를 베노람 수용액 침지하여 지베렐린 산 수용액 100ppm(장유산업, IPA 3.1%)에 침지하여 4℃, 3일간 휴면 타파하고 15℃로 옮겨 보관하며 최아된 종자를 125구 트레이에 가식하여 4개월간 육묘한 실생묘를 사용하였다. 담액식 수경재배 방식의 식물공장 내 다단식 베드에 20cm 간격으로 정식하고 재배하였다. 일장 16/8h, 주야간 온도 21/14℃, 상대습도 $60 \pm 2\%$, CO₂ 농도는 480ppm로 관리하였다. 폐쇄형 순환식으로 재배하였고 주 1회 pH 5.8~6.0, EC 농도 0.7ds/m로 유지하였다.

표 1. 고추냉이 적합 광원 선별을 위한 광원 처리

처리	T1	T2	T3	T4
광원	형광등	LED R:B=3:1	Wide LED 1	Wide LED 2
스펙트럼	형광등	적색+청색(R:B=3:1)	적색+백색광(R+W)	청색+백색광(B+W)

적합 광원 선별을 위해 형광등, LED R:B=3:1, Wide LED 1, Wide LED 2(Hyunjin LED Co Ltd., Korea) 4종의 광원으로 구성하여 광량 $190 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 맞추어 재배하였고 형광등 광원을 이용하여 광량 130, 180, 220, $260 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에 따른 고추냉이 생육 특성을 조사하였다. 광량은 Quantum sensor(LI-250A Light meter, Li-cor Inc., USA)를 이용하여 측정하였고 광스펙트럼 분석은 분광계 MK350S(UPRtek, Miaoli Country, Taiwan)을 활용하였다. 광합성 측정기(Li-6400, Li-cor, USA)를 이용하여 광량 $0 \sim 1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 범위에서 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 씩 증가하며 light response curve를 작성하였다. 고추냉이 근경 재배를 위한 적합 배지 선별을 위해서 마사토, 난석, 하이드로볼, 코코피트:펄라이트 비율 10:0, 8:2, 5:5, 2:8, 0:10을 충전하여 고추냉이의 엽폭, 수확 엽수 등의 생육 특성을 조사하였다. XL STAT 프로그램(Addinsoft, NY, USA)을 이용하여 ANOVA(analysis of variance) 및 Duncan's multiple range test(DMRT)를 실시하여 5% 유의수준에서 처리 간의 유의성을 검정하였다.

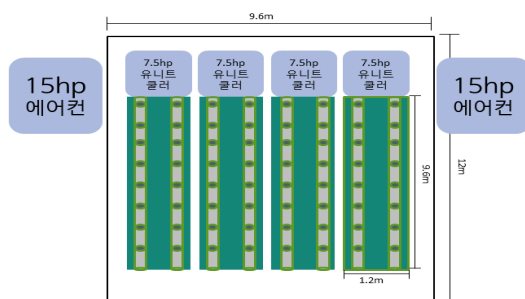
<시험2> 싹채소용 최적 양액농도 조건 선별

야마자키 엽채류 양액을 이용하여 적합 양액농도를 설정하고자 ‘달마’ 품종을 대상으로 EC 농도 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0, $2.4 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 재배하였다. <시험 1, 2> 모두 동일하게 2주마다 엽수, 엽장, 엽폭 등의 생육 특성을 조사하여 엽폭 13cm 내외의 잎

은 쌈 채소에 적합한 잎으로 판단하여 수확하고 수확 엽수로 기록하였다. 잎의 면적은 엽면적계(Li-3100 area meter, Li-cor Inc., USA), 엽록소 함량은 비파괴식 엽록소 측정계(SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 광원, 광량에 따른 고추냉이 스트레스 여부 판단을 위해 엽록소 형광측정기(FluorPenFP110, Photon System Instruments, Korea)를 활용하여 제2광계의 유효양자수율값을 측정하였다.

<시험3> 고추냉이 근경 재배법 개발

2021년 11월부터 2023년 10월까지 경기도농업기술원의 한국형 유리온실(동고 7.12m, 측고 4.60m)의 150㎡ 면적의 온실에서 실시하였고 시험 품종으로 ‘달마’, ‘대왕’을 사용하였다. 여름철 유리온실 내부 온도 하강을 위해 15HP 에어컨(경동산업, KAC-PA150) 2대, 7.5HP 농업용 냉풍기(중앙냉동기기, CUC-TD55) 4대를 이용하여 15℃ 내외로 냉각된 공기를 고추냉이 식물체 상부에서 공급해주었다. 냉방 효율 향상을 위해서 알루미늄 차광스크린(차광률 88% 보온 42%), 보온커튼(차광률 20% 보온 31%)을 설치하였다(그림 1).



(a) 고추냉이 재배 온실 냉방 모식도



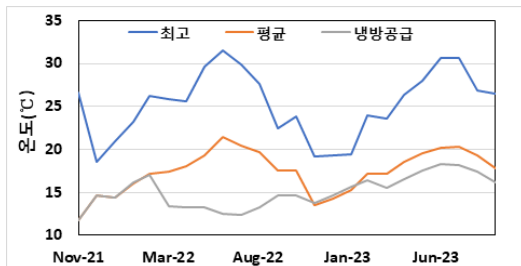
(b) 15hp 에어컨



(c) 7.5hp 유닛 냉방기



(d) 고추냉이 재배 모습



(e) 고추냉이 재배 온실 내부 온도

그림 1. 고추냉이 재배 유리온실 냉방법 및 재배모습

<시험1>에서 선발된 코코피트:필라이트= 5:5 배지 조성을 사용하여 배지 용량을 1주/16L, 3주/45L, 5주/45L의 3가지 처리로 재배를 진행하였다.

표 2. 고추냉이 재배 양액 조성표

양액 조성 (%)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₂ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Multifeed 20-20-20	3.9	3.9	10.4	20	20	0.01	0.005	0.05	0.02	0.003	0.007

외부 고온으로 인한 고추냉이 생육 저해를 확인하고자 일 단위의 급액량과 배액량을 수집 조사하여 1주일 단위로 모아 배양액 내 N, P, K, Ca, Mg, Na 함량 분석을 진행하여 흡수량을 분석하였다. 주경엽수, 엽수, 초장, 엽장, 엽폭, 엽록소 함량 (SPAD-502, Minolta, Japan)은 2주마다 조사하였고 근경 재배 11, 14, 23개월 후 파괴 조사를 통해 근경 생체중, 건중, 근장, 지상부 생체중, 건중을 조사하였다. 통계분석은 <시험1>과 동일한 방법을 사용하였다.

<시험4> 고추냉이 종자 연중 채종 및 활력 유지 기술 개발

본 연구는 2022년부터 2023년까지 육묘용 컨테이너 식물공장과 온실에서 수행되었다. 고추냉이 모주는 2021년 4월 중 채종한 종자를 사용하여 최아시킨 후 12월에 상토를 충전한 화분에 정식하였고 식물체 1주당 1회 66ml를 공급하여 일일 13회, 총 1,716ml를 공급하였다. 복합비료(Multifeed 20-20-20, Haifa, Israel)를 EC 0.7ds · m⁻¹, pH 5.8~6.0 수준으로 제공하였다. 형광등 광원과 30cm 떨어진 위치의 광량 190μmol · m⁻² · s⁻¹수준으로 제공하며 광주기 주야간 16/8hr, 내부온도 15℃, 이산화탄소 농도 480ppm, 상대습도 60~70%로 유지하였다.

식물공장 내 모주의 재식밀도는 7.5주/m², 유리온실은 3주/m²였다. 각각 결실되는 종자는 손실되지 않도록 망을 설치하여 일주일 단위로 수확하였고 채종 즉시 계수하고 종실 무게를 측정하였다. 종자 보관 기간 연장을 위해 2022년 4월 채종한 종자를 소독 즉시 PEG 30% 등 7가지 조성의 용액(표 3)에 침지한 후 15℃, 200rpm으로 교반(FINEPCR, confido-S50)하며 보관하였다. 종자 보관 1, 3, 5, 7개월 후 종자를 증류수로 씻어내고 휴면 타파, 최아와 동일한 조건으로 페트리디시에 치상하여 30일 동안 발아된 종자를 계수하여 발아세를 조사하였다.

표 3. 고추냉이 종자 보관 용액 조성표

처리	용액 조성
T0	무처리
T1	PEG 30%
T2	PEG 30% + H ₂ O ₂ 0.1%
T3	PEG 30% + Paclobutrazol 2ppm
T4	PEG 30% + Ancymidol 10ppm
T5	PEG 10% + DMSO 40% + Glycerin 8%
T6	PEG 10% + DMSO 40% + Glycerin 8% + H ₂ O ₂ 0.1%

<시험5> 고추냉이 근경 및 잎 동시 생산 기술 개발

근경과 잎 동시생산 가능성 검토를 위해 13cm 이상의 잎을 제거하는 적엽, 액아를 제거하는 적아, 무처리(그림 2)의 3가지 방식으로 재배하였다. 급액은 관비기(준아이 에스, MAC-4Z)를 이용하여 복합비료(Multifeed 20-20-20, Haifa, Israel)를 EC 0.7ds · m⁻¹, pH 5.8~6.0 수준으로 제공하였고 회당 66ml, 일일 13회 급액하였다. 재배 기간 중 배액을 30~40%, 배액 EC 0.8~1.2ds/cm⁻¹ 범위로 재배 관리하였고 생육조사 방법은 <시험3>과 동일하게 조사하였다.

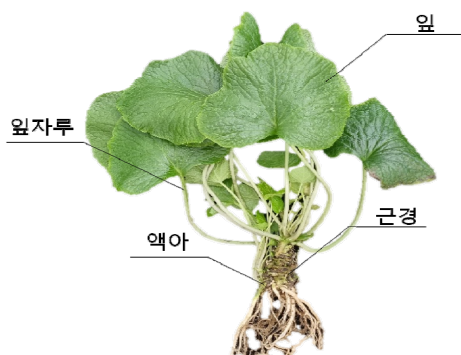


그림 2. 고추냉이 식물체

3. 결과 및 고찰

<시험1> 씹채소용 적합 광원 및 배지 구명

White LED1 처리에서 생체중이 높고 비엽면적이 18.62cm² · g⁻¹로 다른 광원 처리에 비하여 낮게 나타났으나 광원 종류에 따른 통계적 차이는 보이지 않았다(표 4). R:B=3:1 LED 광원에서 생육한 고추냉이의 ΦPSII값이 0.77로 다른 광 조건에 비하여 약간 낮게 나타났다(표 5). 작물의 광합성 광량자속 밀도 필요량은 새싹채소는 7~15μmol · m⁻² · s⁻¹, 엽채류 200~300μmol · m⁻² · s⁻¹, 과채류 500μmol · m⁻² · s⁻¹ 이상으로 알려져 있고 국내 운영되고 있는 식물공장은 작물의 광합성에 효과적인 적색과 청색 혼합의 LED를 주로 사용하고 있다(윤, 2012). 고추냉이에서 적색, 청색의 단일광 처리에서보다 적색+청색 혼합광에서 가장 높았다고 한 보고한 바 있다(김 등, 2013).

표 4. 광원 종류에 따른 고추냉이 생육 특성

처리	엽병장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	생체중(g)	SPAD	ΦPSII
형광등	17.8 ^{NS}	17.8 ^{NS}	19.5 ^{NS}	103.3 ^{NS}	32.3 ^{NS}	0.83
LED R:B=3:1	16.3	17.1	19.1	110.1	33.1	0.77
Wide LED1	18.8	20.6	20.8	143.5	33.4	0.81
Wide LED2	19.6	19.6	23.3	135.9	32.6	0.82

*NS: not significantly different according to multi way ANOVA test

표 5. 광원 종류에 따른 고추냉이 잎 수확량

처리	엽면적(cm^2)	엽중(g)	비엽면적($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	수확엽수(개)
형광등	176.9 ^{NS}	9.0	19.6	24 ^{NS}
LED R:B=3:1	188.5	9.8	19.1	23
Wide LED1	166.8	8.9	18.6	23
Wide LED2	186.6	10.0	18.5	29

*NS: not significantly different ($p>0.05$) according to multi way ANOVA test

광합성측정기를 이용하여 light response curve를 분석한 결과 고추냉이의 광보상점은 $12.4 \sim 17.9 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광포화점은 $259.3 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 순양자수율은 $0.089 \mu\text{molCO}_2 \text{mol}^{-1}$ 으로 확인되었다(그림 3). 고추냉이의 광포화점은 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이라고 알려져 있으나 해당 광량 이상에는 측지가 다발생하여 근경 생산에 긍정적이지 않다고 한다(Douglas and Follett, 1992). 김 등(2001)의 선행 연구에 따르면 약 광에서 재배하는 경우 광포화점이 낮아지는 경우가 보고된 바 있어 연중 차광 때문에 고추냉이의 광포화점이 낮아진 것으로 판단된다.

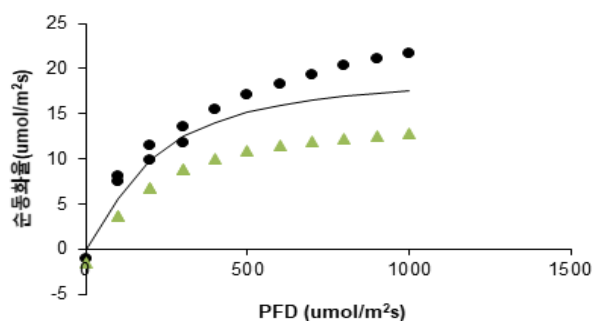


그림 3. 고추냉이 light response curve

형광등의 광량별 처리 결과, 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 $220 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 생육한 고추냉이의 출엽속도 10.8매/월(0.33매/일), 수확 가능 잎 수는 1.43매/월, 엽면적이 605.2cm^2 로 가장 높게 나타났다. Adachi 등(1995)의 선행 연구에 따르면 고추냉이의 일반적인 출엽 간격은 평균 5~6일이라고 알려져 있고 고온기와 1~2월에는 출엽속도가 늦어진다고 보고되어 있으나, 식물공장 내 출엽속도는 3일에 1매 출현하는 것으로 나타나 관행재배보다는 출엽속도가 빠르게 관찰되었다(표 6).

표 6. 형광등 광량 처리에 따른 고추냉이 잎 생산량

광량($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	출엽속도(개/월)	수확 잎 수(개)	엽면적(cm^2)
130	8.7 ± 0.2	2.0 ± 0.6	$446.6 \pm 71.0^{\text{NS}}$
180	9.6 ± 0.1	1.8 ± 0.8	517.6 ± 111.8
220	10.8 ± 0.1	2.2 ± 0.4	605.2 ± 108.1
260	10.2 ± 0.2	2.0 ± 0.9	536.1 ± 210.8

*NS: not significantly different according to multi way ANOVA test

고추냉이 적합 배지 구멍 시험 결과, 마사토, 난석, 하이드로볼, 펄라이트 단용 재배시 출엽속도가 0.19~0.2개/일로 Adachi 등(1995)의 선행연구와 유사하게 나타났으나 엽폭의 증가 속도는 0.02~0.03cm/일 수준으로 나타났다. 이는 상기한 상토가 수분 보유력이 낮아 고추냉이 생장에 적합하지 않음을 확인하였다(표 7). 코코피트와 펄라이트 비율에 따른 엽폭의 증가는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 10개월간의 재배 중 코코피트:펄라이트=5:5조성에서 수확 엽수가 높게 나타나 근경 재배 배지로 선발하였다(표 8).

표 7. 배지 종류에 따른 고추냉이 엽폭 증가

생육일	마사토	난석	하이드로볼	코코피트: 펄라이트				
				10:0	8:2	5:5	2:8	0:10
0	14	12	12	5.0	40	44	58	14
14	15	12	12	12.8	15.5	14.2	8.0	14
28	15	13	13	16.3	18.8	17.6	8.4	13
42	15	13	13	16.9	19.5	18.6	8.7	14
엽폭증가 (cm/일)	0.03b	0.02b	0.02b	0.34a	0.44a	0.40a	0.08a	0.03b

J Significantly different($P < 0.05$) analysis of variance and Duncan's multiple range test

표 8. 배지 종류 및 용기 부피에 따른 수확엽수

코코피트: 펄라이트	용기부피 16L		용기부피 5L		용기부피 2L	
	출엽속도 (개/일)	수확엽수*	출엽속도 (개/일)	수확엽수*	출엽속도 (개/일)	수확엽수*
8:2	0.24^{NS}	18.60	0.20	16.75	0.17	16.40
5:5	0.22	19.80	0.20	17.40	0.15	15.20
2:8	0.22	17.60	0.18	16.20	0.10	9.30

※ 재배기간 2020-01-30~2020-10-15, 엽수 생산 조사일수 70일(07-09 ~ 09-17)

*NS: not significantly different according to multi way ANOVA test

〈시험2〉 쌈채소용 최적 양액농도 조건 선발

야마자키 엽채류 양액 EC 농도 1.2~1.6 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 범위에서 출엽속도와 엽면적이 유의하게 높게 나타났고 0.8 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 미만에서 생장한 고추냉이의 경우 재배 30일 전후로 배양액 수소이온농도가 높아져 pH 5 수준으로 급격하게 낮아지는 비절현상이 나타났다(표 9). 그림 4에서 확인할 수 있듯이 0.8 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 미만의 농도에서는 잎자루가 충분히 신장하지 못하고 잎의 크기도 작았다. 이는 최 등(2011)의 연구에서 광합성률, 기공 전도도와 증산량이 높게 나타난 EC 농도 범위와도 동일한 것으로 보아 쌈채소용 고추냉이 생산에 적합한 EC농도 범위는 1.2~1.6 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 판단되었다(표 9).



그림 4. 양액 EC 농도에 따른 고추냉이 생육 모습

표 9. 양액 EC 농도에 따른 고추냉이 출엽속도 및 잎 생장

EC	출엽속도(개/월)	엽폭증가(cm/일)	엽면적(cm^2)
0.4	$3.4 \pm 0.4\text{b}$	0.1 ± 0.0	$37.5 \pm 9.3\text{b}$
0.8	$5.3 \pm 0.2\text{b}$	0.1 ± 0.0	$125.5 \pm 34.8\text{b}$
1.2	$7.0 \pm 0.8\text{a}$	0.9 ± 0.5	$334.1 \pm 104.7\text{a}$
1.6	$8.8 \pm 0.5\text{a}$	0.8 ± 0.3	$390.6 \pm 120.9\text{a}$
2.0	$8.8 \pm 1.0\text{a}$	0.9 ± 0.3	$261.2 \pm 92.1\text{a}$
2.4	$8.2 \pm 0.9\text{a}$	0.9 ± 0.3	$266.9 \pm 113.5\text{a}$

↓ Significantly different($P < 0.05$) analysis of variance and Duncan's multiple range test

〈시험3〉 고추냉이 근경 재배법 개발

23개월간의 재배 기간에 동안 고추냉이 '달마', '대왕' 품종의 초장, 엽장, 엽수, 주경엽수 등의 지상부 생육은 배지 용량 처리에 따른 차이는 보이지 않았다. 전체 재배 기간 중 내부 평균온도는 17℃, 3월부터 10월까지의 고온기 평균온도 27℃를 유지하였으나 고온기의 초장, 엽장 등은 다소 감소 되는 것을 확인할 수 있었다. 엽수는 두 품종 모두 생육 2년 차인 2023년 1~2월경 70~80매까지 증가하였으나 주경엽수는 15~20매 정도로 유지되고 액아수가 10~15개 정도로 나타나는 것으로 보아 엽수의 증가는 주로 새로 출현한 액아에서 형성된 신규 잎 때문인 것으로 보였다.

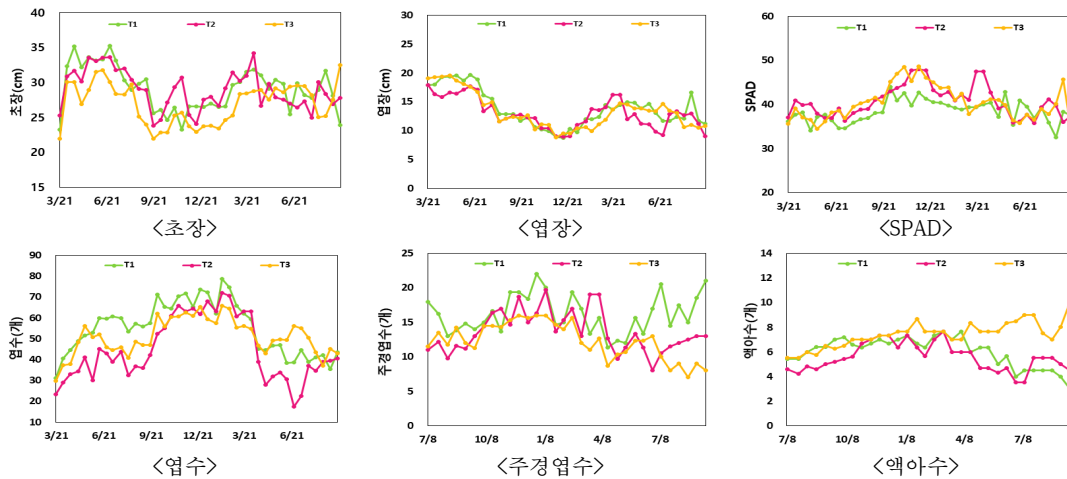


그림 5. 고추냉이 '달마' 지상부 생육 변화

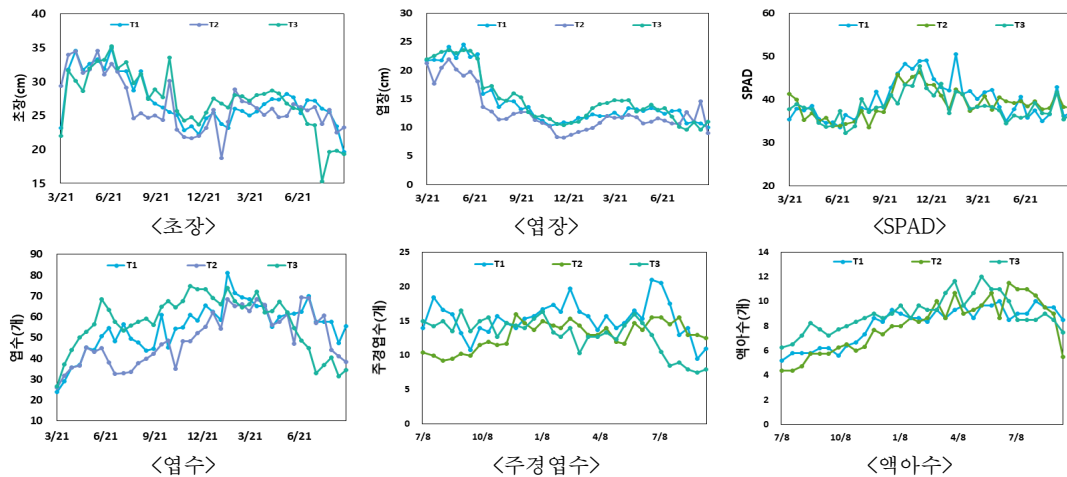
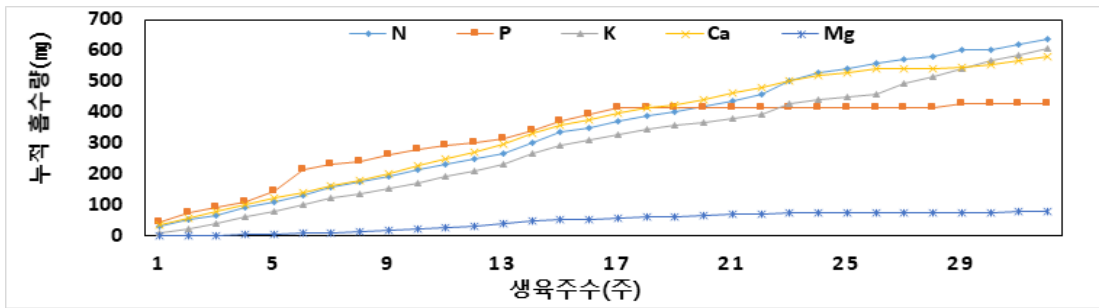


그림 6. 고추냉이 '대왕' 지상부 생육 변화

※ 재배 기간 ' 21년 11월 ~ ' 23년 10월. T1 3주/45L, T2 5주/45L, T3 1주/16L

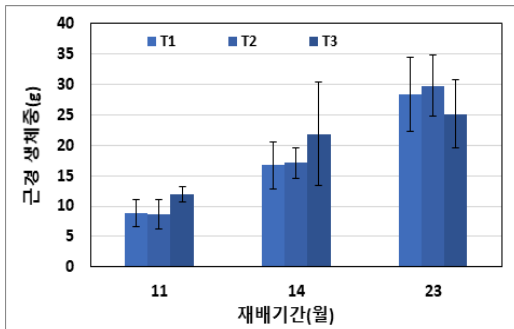
고추냉이 스트레스 정도를 엽록소 형광 지수로 확인한 결과 고온기의 특별한 감소가 확인되지 않았다(데이터 미제시). 고추냉이 1주당 누적 영양성분 흡수량 확인 결과, 고온기가 시작되는 5월부터 인산 흡수가 눈에 띄게 줄어드는 것으로 나타났으며 질소, 인, 칼슘, 인, 마그네슘 순으로 흡수량이 많은 것으로 나타났다(그림 7).



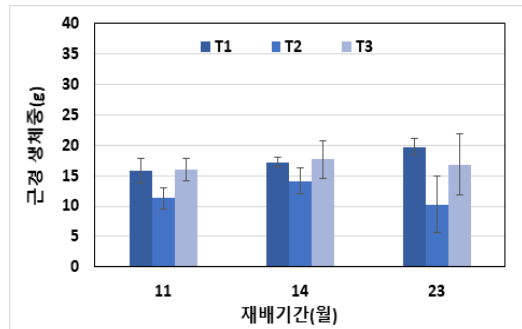
† 조사 기간 ' 23년 1월 ~ ' 23년 9월

그림 7. 고추냉이 '달마' 생육에 따른 양분 흡수 양상

배지 용량, 재배 기간, 품종에 따른 고추냉이 근경 생체중을 조사한 결과 지상부 생육 특성과 같이 배지 용량에 따른 근경 생육 차이는 보이지 않았으며 재배 기간 증가에 따른 근경 생체중 증가가 뚜렷하게 나타난 품종은 '달마'였다(그림 8). '달마'의 경우 평균적으로 분지가 6.5개 발달하여 수확 근경수가 약 5.13개로 확인되었고 근경중 25.1~29.7g, 근경 상품율이 57~70%로 나타났다. 분지수가 적어 근경 재배에 적합할 것으로 기대되었던 '대왕' 품종의 경우에는 평균적으로 분지가 6.5개로 '달마'와 동일한 수준으로 발달하였으나 수확 근경수가 1주당 약 4.1개였고 근경중 10.3~19.7g, 근경 상품율이 7.7~40%로 나타났다. 이는 지상부 생육 특성에도 확인할 수 있듯이(그림 6) 초장, 엽장의 지속적인 감소로 인해 근경에 주된 영향을 미치는 주경엽수가 적었던 것이 원인이었던 것으로 판단된다.



<'달마'>

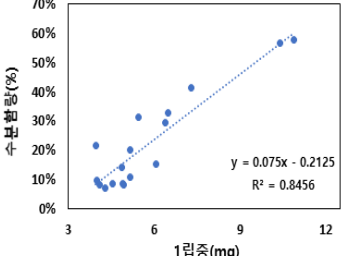


<'대왕'>

그림 8. 배지 용량, 재배 기간에 따른 근경 생체중

<시험4> 고추냉이 종자 연중 채종 및 활력 유지 기술 개발

고추냉이는 건조 민감성 종자로 상온 보관시 2~3주 내외로, 5℃ 미만의 저온에서 2달 이내로 활력을 잃어 저온, 냉동보관이 불가능하여 종자의 활력 유지 기간이 매우 짧다고 알려져 있다(Shunnichiro 등, 1990). 건조가 진행되지 않은 녹색 종피, 건전 종자의 1립중은 10.8mg 수준이었고, 표면이 건조된 성숙립은 종피에 주름이 생기고 1립중이 6.5mg 수준으로 나타났다. 미성숙 종자의 경우 외관상으로도 불완전한 모습을 보이며 1립중 또한 5.4mg 수준으로 나타났다.

구분	성숙립 (녹색 종피)	성숙립 (표면 건조)	미성숙립	수분함량과 1립중 관계
종실 외관				
1립중(mg)	10.87	6.50	5.46	
수분함량(%)	58	33	31	

† 채종일 2022-10-11 ‡ 채종 직후 수분함량 조사

그림 9. 고추냉이 종자 외관에 따른 1립중 및 수분함량

그림 10에 나타난 바와 같이 종자 외관 또는 건조 정도는 최아 후 발아율과 발아세에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 녹색 종피의 경우 최아 후 30일 발아세가 90% 가까이 나타나지만, 건조 종자의 경우 70%, 미성숙 종자는 15% 내외로 나타났다(그림 10좌). 4, 15℃ 두 조건에서 보관 기간에 따른 종자의 발아세를 확인한 결과 4℃ 보관의 경우는 1달 후 종자의 발아세가 20%까지 감소하고, 15℃ 보관의 경우는 6주 후까지 발아세가 80% 정도로 유지되었다가 이후 감소하였다.

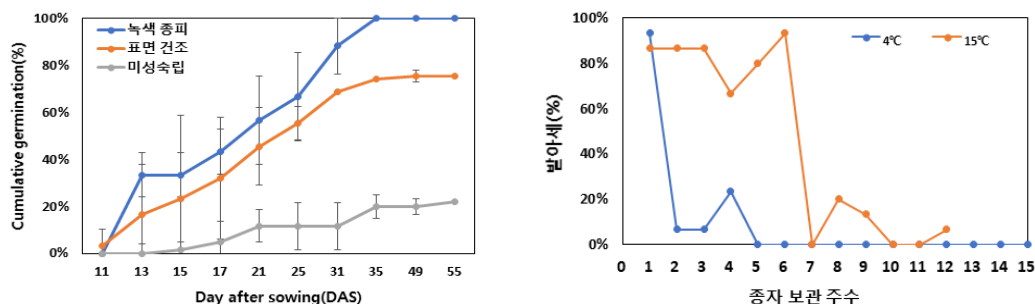


그림 10. 종자 건조 정도, 보관 기간에 따른 발아세

활력이 높은 고추냉이 종묘를 얻고자 식물공장을 이용한 연중 채종과 종자 보관 용액을 이용한 종자 활력 연장 방법에 대해서 실험을 추진하였다. 식물공장 내에서의 채종량은 1주당 357립 수준으로 온실에서의 1주당 채종량 3,893립과 비교했을 때 10분의 1가량으로 낮게 나타났다. 고추냉이는 배추과 작물로서 자가불화합성이 강하여 채종포에 수정용 벌 등의 화분매개곤충이 필요하다고 알려져 있는데(강원도원, 2020) 밀폐된 식물공장에서는 화분매개곤충의 부재로 1주당 채종량이 적게 나타났다. 다만 식물공장에서는 자연적인 온실 환경에서 장일, 고온 조건으로 채종이 되지 않았던 5월 이후에도 채종이 가능하였고 다단의 재배 베드를 활용한 고밀식 재배가 가능하다는 장점을 이용하면 1㎡의 단위 면적당 30주 이상의 정식 시 온실에서 1주당 채종하는 양과 같은 수준의 종자 채종이 가능할 것으로 판단되었다(그림 11).

구분	채종장소	온실	식물공장
채종면적(㎡)		3	7.5
정식수수(주)		9	35
채종립(개)		35,036	12,503
채종립수(개/주)		3,893	357

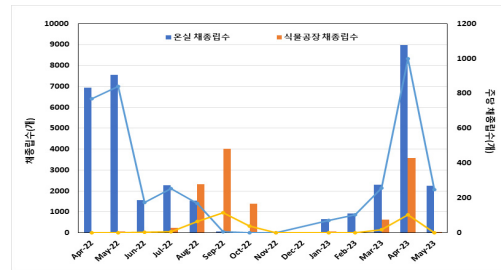


그림 11. 고추냉이 종자 채종 장소에 따른 채종량

T2 처리에서 종자의 발아세가 무처리에 비해 3개월 후 10%, 5개월 후 25% 더 높았으며 7개월 보관후 까지 발아세가 15%로 유지되었다.

표 10. 고추냉이 종자 보관 용액 및 보관 기간에 따른 발아세

(단위: %)

처리	용액	보관 기간	1개월	3개월	5개월	7개월
T0	무처리		80	25	5	0
T1	PEG		85	50	20	0
T2	PEG + H ₂ O ₂		95	35	30	15
T3	PEG + Paclobutrazol		70	0	0	0
T4	PEG + Ancymidol		100	0	0	0
T5	PEG + DMSO + Glycerin		20	0	0	0
T6	PEG + DMSO + Glycerin + H ₂ O ₂		0	10	0	0

† 치상 30일

〈시험5〉 고추냉이 근경 및 잎 동시 생산 기술 개발

고추냉이 근경 생산에 걸리는 기간은 18~24개월로 매우 길어 고추냉이 근경 재배 중 잎의 동시생산 가능성을 검토하기 위해 적엽, 적아, 무처리의 3가지 재배 방법에 대해서 시험을 진행하였다. 식물체 1주당 잎 수확 수는 ‘달마’ 71엽(생체중 593g), ‘대왕’ 53엽(생체중 376g)이고 적아 처리의 경우 액아 수확수는 ‘달마’ 65.3개(생체중 297g), ‘대왕’ 40.5개(생체중 218g)로 나타나 잎, 액아 생산에는 ‘달마’ 품종이 우세하다는 기존 연구와 같은 결과가 나타났다(표 11).

표 11. 고추냉이 재배 방법에 따른 지상부 생육 특성

품종	처리	생체중 (g)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/주)	주경엽수 (개/주)	수확량* (g/주)	수확수 (개/주)
달마	적엽	231.0b	11.2c	12.8c	59.2ab	7.8 ^{NS}	593.8	71.0
	적아	231.2b	17.1a	19.2a	26.8b	17.7	297	65.3
	무처리	515.0a	14.2b	15.8b	84.2a	12.8		
대왕	적엽	205.3 ^{NS}	11.9b	11.9b	54.0a	7.2	376.8	53.5
	적아	162.9	18.5a	17.8a	20.3b	15.8	218	40.5
	무처리	276.8	12.5b	12.9b	42.8ab	13.7		

*재배 기간 ' 22. 11~' 23. 10. †엽수(13cm 이상 잎)

‡ Significantly different(P < 0.05) analysis of variance and Duncan's multiple range test

또한 적아 처리의 경우 엽면적이 무처리, 적엽 처리에 비하여 낮고 엽수도 20여매 수준으로 가장 낮게 유지되었으나 근경 생산에 긍정적인 영향을 미치는 주경의 엽장, 엽폭이 커지며 주경 엽수가 가장 높게 유지되었다. 적엽 처리는 무처리에 비하여 주경 엽수가 감소하며 오히려 근경의 크기가 작게 나타나는 것으로 보아 잎과 근경의 동시 생산은 어려울 것으로 판단되었다(표 11). 각 처리별 근경수는 적아 1개, 무처리 2~3개, 적엽 3~4개 가량 형성되었으며 적아 처리의 경우 12개월 재배 만으로도 근경 생체중이 ‘달마’ 42.6g, ‘대왕’ 41.5g으로 무처리, 적엽 처리에 비하여 크게 나타났다(표 12).



※ 정식후 12개월 생육

그림 12. 재배 방법에 따른 ‘달마’, ‘대왕’ 지상부 생육 특성

<시험3>의 배지용량 처리 시험은 재배기간은 23개월, 무처리하였을 때 평균 근경중은 ‘달마’ 27.7g으로 나타난것과 비교할 때, 적아 처리가 고추냉이 근경 재배 기간을 단축시킬 뿐아니라 고품질 근경생산에 효과적일 것으로 판단되었다.

표 12. 고추냉이 재배 방법에 따른 근경 생육 특성

품종	처리	분지수 (개/주)	근경수 (개/주)	근경중 (g)	상품율* (%)
달마	적엽	7.9 ^{NS}	4.4a	7.5b	2
	적아	7.4	1.3b	42.6a	100
	무처리	6.9	3.3ab	11.3b	16
대왕	적엽	6.7a	3.1 ^{NS}	10.2 ^{NS}	6
	적아	2.2b	1.0	41.5	100
	무처리	6.3a	2.1	14.3	17

*근경중 20g 이상 근경 / 전체 수확 근경수 ¹1,500주 정식/150m², 12개월 생육

↓ Significantly different(P < 0.05) analysis of variance and Duncan's multiple range test

표 13. 고추냉이 (달마) 재배 방법에 따른 잎, 근경 생산 조수입 비교

처리	잎 수확량* (g/주)	잎 조수입 ⁺ (천원/150㎡)	근경 수확량** (개)	근경 조수입 [†] (천원/150㎡)	잎+근경 조수입 (천원/150㎡)
적엽	593.8	20,355	143	967	21,172
적아			1500	11,000	11,000
무처리			824	4,120	4,120
*13cm 이상 잎 수확량		**20g이상 근경수			
†고추냉이 잎 가격: 23,000원/kg		‡고추냉이 근경 가격: 22,000원/(100g=35g내외 3개) 개당 7,333원			

4. 적 요

식물공장을 이용한 고추냉이 잎 생산 환경 조건 및 연중 종묘 생산기술과 시설내 고추냉이 근경 재배를 위한 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 형광등, LED 3종에 대한 적합 광원 선발 결과, 유의한 차이는 없었으며 형광등 광량 $220\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 생육하였을 때 출엽속도는 10.8매/월(0.33매/일), 수확 가능 잎 수는 1.43매/월로 나타났고 엽면적이 605.2cm^2 로 가장 높았음. 고추냉이 근경 생산 적합 배지는 보수력이 약한 마사토, 난석, 하이드로볼, 펄라이트 단용보다는 코코피트:펄라이트=5:5 조성이 적합하였다.
- 나. 야마자키 엽채류 양액 EC 농도 $1.2\sim 1.6 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$ 범위에서 출엽속도가 빠르고 엽면적이 컸다.
- 다. 고추냉이 ‘달마’, ‘대왕’ 품종의 배지 용량에 따른 지상부 생육, 근경 중량 차이는 보이지 않았으나 재배 기간 증가에 따른 근경 생체중 증가가 뚜렷하게 나타난 품종은 ‘달마’로 분지수 6.5개, 수확 근경수 약 5.13개, 근경중 $25.1\sim 29.7\text{g}$, 근경 상품율이 57~70%였다.
- 라. 식물공장에서도 고추냉이를 채종하였을때는 기존 온실에서 채종이 어려운 5월 이후에도 채종이 가능했으며 종자저장 온도는 15°C 가 적합하였고 PEG와 H_2O_2 용액을 함유한 종자 보관액에 보관할 경우 7개월 후까지 활력이 15%가량 유지되는 것으로 나타났다.
- 마. 측지를 제거하며 재배하는 적아 처리의 경우 주경엽수가 증가하고, 주경 엽장, 엽폭이 커지는 경향이 나타나 고품질 근경 생장에 긍정적인 영향을 미쳤고, 12개월 재배만으로도 $41\sim 42\text{g}$ 의 근경을 수확할 수 있었다.

5. 인용 문헌

- Adachi, S.J. 1995. Wasabi culture. Shyunsu.
- Choi, KY., Lee, YB., Cho, YY., 2011, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(4):311-316, Allyl-isothiocyanate Content and Physiological Responses of *Wasabia japonica* Matusum as Affected by Different EC Levels in Hydroponics
- Douglas J.A. and Follett JM. 1992. Proc Agron Soc 22: 57-60. Initial research on the production of water-grown wasabi in the Waikato
- Japanese Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2022.
- Kim, PG., Yi, YS, Chung, DJ, Woo, SY. Sung, JH., Lee, EJ. 2001. Jour. Korean For. Soc. 90(4):476-487. Effects of light intensity on photosynthetic activity of shade tolerant and intolerant tree species.
- Kim, HR., You, YH. Effects of Red, Blue, White, and Far-red LED Source on Growth Responses of *Wasabia japonica* Seedlings in Plant Factory. 2013. Korean Society of Horticultural Science. Volume 31 Issue 4. Pages. 415-422.
- Nakamura, S. Peramachi, S. 1990. Engei Gakkai Zasshi 59(3):579-587. Storage of *Wasabia japonica* Matsum. Seeds.
- Yoon, C.G. 2012. A study on the LED illumination lamp development and application for the plant factory. PhD Diss., HongikUniv., Seoul, Korea.
- 강원도농업기술원, 2020, 고추냉이 재배기술 매뉴얼.
- 철원샘통고추냉이가(2023) commecial wasabi rhizome shopping mall. Available via <https://smartstore.naver.com/saemtong-wasabi/products/5790286793?NaPm=ct%3Dlqnawzj4%7Cci%3D2a1755d6151eb0543ece52e0bedf36c8951124e1%7Ctr%3Dsls%7Csn%3D3561809%7Chk%3Df6fd6b910d5179227869e51d905eb816c474685b> Accessed 27 Dec 2023
- 한울농원(2023) commecial wasabi leaf shopping mall. Available via <https://smartstore.naver.com/50054245/products/6291349729?NaPm=ct%3Dlqnasjlc%7Cci%3D4da1fe40081f3f37ae32d4438ff24e9343127369%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D5424686%7Chk%3Ddef2c8482f6f8cda45c308e42dc130962ab48b45> Accessed 27 Dec 2023

6. 연구결과 활용제목

- 식물공장 활용 쌈채소용 고추냉이 생산 기술(영농활용)
- 고추냉이 근경 양액 재배 방법(영농활용)
- 고추냉이 잎, 근경 동시생산 방법(영농활용)
- 고추냉이 종묘 연중생산 방법(특허출원)
- 고추냉이 재배 매뉴얼(매뉴얼)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
						'20	'21	'22	'23
식물공장 이용 고추냉이 생산 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구사	정현경	세부과제 총괄	○	○	○	○
	공동연구자	원예연구과	농업연구관	이지영	연구자문	-	-	○	○
	〃	〃	농업연구사	이영석	자료조사	○	○	○	○
	〃	〃	〃	박남원	통계분석	-	○	○	○
	〃	〃	농업연구관	정윤경	방향설정	○	○	○	-
	〃	〃	〃	이수연	〃	-	-	○	○
	〃	〃	〃	원선이	〃	-	○	-	-
	〃	작물연구과	〃	조창휘	〃	○	○	-	-