

육묘 생산 시스템 차이에 따른 오이 모종의 묘소질과 정식 후 생육 비교

현순재¹ · 양휘찬² · 김용호² · 배윤형² · 장동철^{3,4*}

¹강원대학교 원예학과 학부생, ²강원대학교 스마트농업융합학과 대학원생,

³강원대학교 원예학과 교수, ⁴강원대학교 스마트농업융합학과 교수

Comparison of Seedling Quality of Cucumber Seedlings and Growth and Production after Transplanting according to Differences in Seedling Production Systems

Soon Jae Hyeon¹, Hwi Chan Yang², Young Ho Kim², Yun Hyeong Bae², and Dong Cheol Jang^{3,4*}

¹Undergraduate student, Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Graduate Student, Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Professor, Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

⁴Professor, Interdisciplinary Program in smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract. This study provides basic data on the growth and production of seedlings produced in plant factories with artificial lighting by comparing seedling quality, growth and fruit characteristics, and production after transplanting cucumber seedlings according to environmental differences between plant factories with artificial lighting and conventional nurseries in greenhouse. The control group consisted of greenhouse seedlings (GH) grown in the conventional nursery before transplanting. Plant factory to greenhouse seedlings (PG) were grown for 9 days in a plant factory with artificial lighting and for 13 days in an conventional nursery. Plant factory seedlings (PF) were grown in a plant factory with artificial lighting for 22 days until planting. In terms of seedling quality, PFs had the highest relative growth rate and compactness and the best root zone development. After transplanting PFs tended to grow faster, the first harvest date was 2 days earlier than that of GHs, and the growing season ended 1 day earlier. The female flower flowering rate of the PFs was high, and the fruit set rate was of PF the lowest. The production per unit area was highest for PFs at 10.23kg Performance index on the absorption basis, the most sensitive chlorophyll fluorescence parameter, was highest at 4.14 for PFs at 4 weeks after transplantation. By comparing the maximum quantum yield of primary PS II photochemistry and dissipated energy flux per PS II reaction center electron at 4 weeks after transplantation, PFs tended to be the least stressed. PFs had the best seedling quality, growth, and production after planting, and fruit quality was consistent with that of greenhouse seedlings. Therefore, plant factory seedlings can be used in the field.

Additional key words: chlorophyll fluorescence, compactness, plug tray, relative growth rate, yield

서 론

공정육묘는 연중 계획생산을 목적으로 균일하고 규격화된 모종을 생산하는 것이다(Lee 등, 2020). 2021년 기준 국내에는 약 1,431개의 공정육묘장이 있으며, 총 면적은 약 482ha로 업체당 평균 면적은 약 3,369m²이다(KOSIS, 2021a). 채소 모종을 판매하는 공정육묘장의 평균 판매액은 약 5억원이며, 그 중 오이 모종의 평균 판매액은 약 4,500만원으로 17개의 주요 채소 작목 중 평균 판매액이 5번째로 높은 고소득 작물이다

(KOSIS, 2021b). 오이(*Cucumis sativus* L.)는 일년생 초본과의 저온성 식물로 온도와 같은 환경조건에 민감하여 계획적이고, 체계적인 관리 기술을 필요로 한다(RDA, 2021a).

여름철 고온 및 겨울철 저일조와 같은 이상 기상으로 인해 오이 모종의 노균병 발병이 잦아졌고, 고품질 오이 모종의 수급이 불안정해졌다(An 등, 2021b). 인공광 이용형 식물공장(plant factory with artificial lighting, PFAL)은 단열이 잘 되는 벽으로 이루어져 있고 인공 광원을 이용하여 외부환경의 영향을 받지 않기 때문에 이상환경을 대처하기 위한 공정육묘 산업계의 새로운 대안으로 주목받고 있다(Kozai와 Niu, 2020).

최근, PFAL 내 오이 육묘 시 적정 광 및 온도 구명 연구(Yang 등, 2023), 광량에 따른 오이와 토마토 접수, 대목의 증

*Corresponding author: jdc@kangwon.ac.kr

Received April 1, 2024; Revised April 24, 2024;

Accepted April 25, 2024

발산량 및 생육 변화 분석 연구(Park 등, 2020) 및 오이와 토마토 묘의 CO₂ 농도와 광도에 따른 생육분석 연구(Yun 등, 2023) 등의 다양한 연구들로 인해 채소 공정육묘장에도 PFAL이 도입되고 있다(Lee 등, 2023; Moon 등, 2023a, 2023b). 또한, 과채류 접수, 대목 및 접목묘 등 묘소질의 향상(Kwack과 An, 2021; Song 등, 2024)과, 더 나아가 정식 후 초기 생육까지의 연구도 진행하여 PFAL 모종의 현장 적용 가능성을 검토하였다(An 등, 2020). 하지만, 농가에서는 PFAL 모종의 우수한 묘소질과 정식 후 초기 생육의 안정에도 불구하고 과실 특성 및 생산량에 대한 연구가 부족한 실정이라 모종의 사용을 지양하고 있다.

PFAL 모종을 농가에 안정적으로 공급하기 위해서는 묘소질과 정식 후 생육, 과실 특성 및 생산량에 대한 검증 및 지표가 필요하다. 따라서 본 연구는 PFAL과 공정육묘장의 환경차이에 따른 오이 모종의 묘소질, 정식 후 생육, 과실의 특성 및 생산량 비교를 통해 PFAL에서 생산된 오이 모종의 생육과 생산량에 대한 기초 자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 재배환경 및 재료

본 연구는 2023년 4월 11일부터 2023년 7월 7일까지 강원도 춘천시에 위치한 호반영농조합법인(37°55'29"N, 127°47'04"E, 해발 85m)의 인공광 이용형 식물공장, 육묘 온실과 강원대학교 무가온 연동형 비닐온실(폭 13m, 길이 28m, 측고 2.5m, 37°52'18.6"N, 127°44'45.9"E, 해발 123m)에서 수행되었다.

공시 품종은 오이(*Cucumis sativus* L.) 백다다기 계통의 '청춘'(Ehaeorum Co., Ltd., Asan, Korea)을 162구 플러그 트레이(W 280 × L 540 × H 45mm, Bumngong Co., Ltd., Jeoneup,

Korea)에 EC 0.47dS·m⁻¹, pH 6.18인 원예용 상토(Pindstrup Seedling Gold, Pindstrup, Denmark)를 충진 후 파종하였다. 2023년 4월 11일에 파종 후 트레이에 두상관수로 충분히 관수하고 질석으로 복토 한 뒤 기온 25–28°C, 상대습도 90% 이상으로 유지되는 암조건 발아실에서 48시간 동안 발아시켰다. 2023년 5월 5일, PFAL과 공정육묘장의 육묘 환경차이에 따른 모종의 생육 특성을 비교하기 위해 육묘 장소를 다르게 하였고, 공정육묘장에서 육묘한 모종에는 트리아졸계 성장조절제(diniconazole 5%, Dongbangagro Co., Ltd., Seoul, Korea)를 파종 후 7일차에 0.0375g/500mL로 조제하여 엽면 살포하였다. 육묘기간 식물공장의 온도는 26/18°C(주간/야간), 광주기는 16/8h(주간/야간), 광도는 250μmol·m⁻²·s⁻¹ 및 상대습도는 60/70%(주간/야간)로 설정하였다(Fig. 1). 육묘기간 중 관수 관리는 육묘용 양액(Technigro 13-2-13 Plus fertilizer, Sun-Gro Horticulture, Bellevue, USA)을 pH 5.5, EC 1.4 dS·m⁻¹로 설정 후 저면관수 하였다. 가식은 원예용 상토를 생분해성 종이(Hydroponis, Ellegaard, Denmark)로 감싼 원통형 종이포트를 이용한 50구 플러그 트레이(W 280 × L 540 × H 45mm, Bumngong Co., Ltd., Korea)에 파종 후 11일차에 가식하였다.

정식은 파종 후 24일차에 강원대학교 부속 연동형 비닐온실에 처리구당 5주씩 2반복으로, 좌우로 교차하여 총 오이 30주를 암면배지(90cm × 15cm × 7.5cm, SV75159, UR media Co., Ltd., Seoul, Korea)에 정식하였다. 재배 온실의 환경은 정식일부터 작기 종료일까지 일평균온도 20–30°C, 일평균 상대습도는 40% 이상, 일장은 14시간, 누적 광량은 300–1000J·cm⁻²을 유지하였다(Fig. 2). 대조구는 정식 전까지 공정육묘장에서 육묘한 greenhouse 모종(GH)으로 설정하였으며, 가식전까지 PFAL에서 9일간 육묘하고, 가식 후 육묘장에서 13일 육묘한 plant factory to greenhouse 모종(PG), 정식

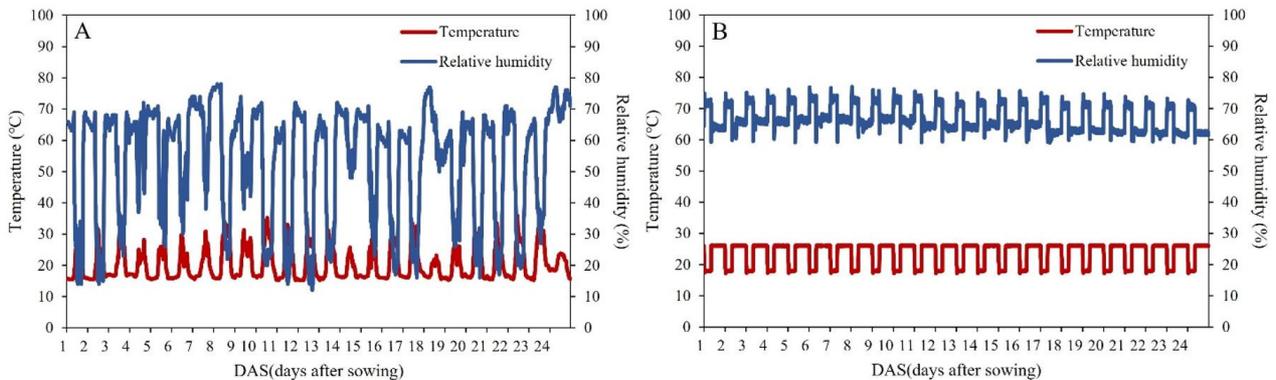


Fig. 1. Changes in temperature and relative humidity from sowing to before transplanting in the conventional nursery (A) and plant factory with artificial lighting (B).

전까지 PFAL에서 22일간 육묘한 plant factory 모종(PF)으로 나누어 구분하였다(Fig. 3). 정식 후 관수 관리는 네덜란드 PBG 오이 배양액 조성(16.0 NO₃-N, 1.3 NH₄-N, 3.8 P, 8.0 K, 8.0 Ca, 2.8 Mg, 2.8 SO₄-Sme·L⁻¹)을 이용하여 EC 2.5 dS·m⁻¹, pH5.5로 시간당 120–150mL, 일출 1–2시간 뒤부터 일몰 전 3–4시간까지 하루 평균 8–10회 관수하였고, 과실 비대기에는 시간당 180–200mL로 관수하였다.

작물의 유인 방식은 상향식으로 1줄기 유인하였고 주지에서 나오는 측지와 덩굴손은 모두 제거하였으며, 정식 후 35일차에 적심하였고, 마지막 과실까지 수확한 정식 후 63일차에 재배를 종료하였다.

2. 조사 항목

가식 전과 정식 전에 인공광 이용형 식물공장과 공정육묘장 모종의 생육을 비교하기 위해 생육조사를 진행하였고, 조사 항목으로는 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 근권부 분석, 엽록소 함

량(SPAD), 생체중, 건물중, 충실도(compactness, CP) 및 상대생장률(relative growth rate, RGR)을 처리구당 10주씩 파괴조사하여 진행하였다. 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 사용하여 측정하였다. 근권부는 근권부 분석 프로그램(WinRHIZO PRO 09, REGENT Instruments Inc., Quebec, QC, Canada)을 사용하여 근권부 표면적, 평균 근경, 근단수 및 근권부 부피를 분석하였다. 엽록소 함량은 엽록소 함량 측정기(SPAD-502 Plus, Minolta Inc., Japan)를 사용하여 성장점으로부터 3번째 잎을 측정하였다. 생체중은 전자저울(HS220S, HANSUNG Instruments, Co., Ltd., Korea)을 사용하여 측정하였고, 열풍건조기(convection oven, SANYO Inc., Osaka, Japan)를 사용하여 80°C, 72시간 조건으로 건조 후 건물중을 측정하였다. 충실도(1)와 RGR(2)은 아래의 방정식을 사용하여 계산하였다(Jeong 등, 2020b; Yang 등, 2023).

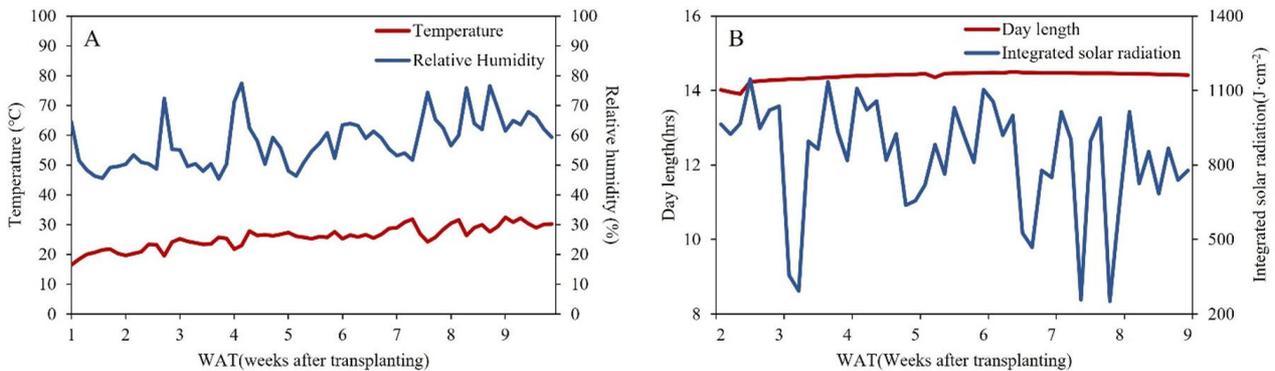


Fig. 2. Environmental changes in the greenhouse after transplanting. (A) Temperature and relative humidity, and (B) day length and integrated solar radiation.

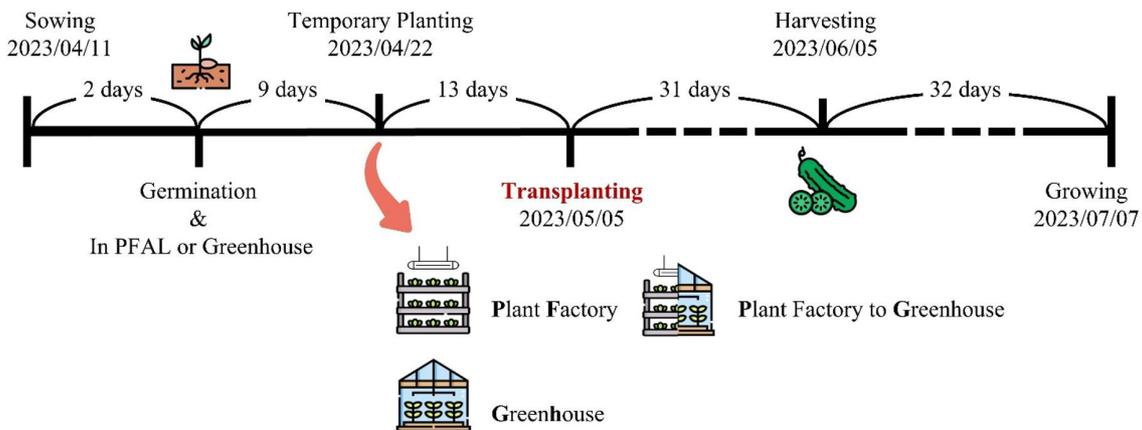


Fig. 3. Schematic diagram expressing the research process and treatment equipment.

$$Compactness (mg \cdot cm^{-1}) = \frac{Shoot\ dry\ weight (mg)}{Plant\ height (cm)} \quad (1)$$

$$Relative\ growth\ rate\ of\ plant\ height [RGR_H] (cm \cdot cm^{-1} \cdot day^{-1}) = \frac{\ln H_1 - \ln H_0}{t_1 - t_0} \quad (2)$$

H_0 and H_1 : initial and final shoot fresh weight

$t_1 - t_0$: growing period (days)

정식 후 생육 조사는 7일 마다 초장, 경경, 마디 수, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD 및 엽록소형광을 비파괴조사로 진행하였다. 경경은 생장점으로부터 3번째 아래 잎 마디를 조사하였고 엽장, 엽폭, SPAD, 엽록소 형광은 생장점으로부터 3번째 아래 잎으로 조사하였다. 정식 후 31일차부터 61일차까지 길이가 20 – 25cm 정도의 오이를 수확하고 과장, 과폭, 과중 및 생산량(3)을 조사하였다. 암꽃이 개화한 마디와 착과한 마디를 조사하여 처리구별 꽃의 성비와 초세를 비교하기 위해 암꽃 개화율(4)과 착과율(5)을 아래의 식을 사용하여 계산 후 비교하였다.

$$Yield (kg/m^2) = \left(\frac{Weight\ of\ harvested\ fruit (ea)}{Number\ of\ harvested\ fruit (ea)} \right) \cdot Stem\ density (ea/m^2) / 1000 \quad (3)$$

$$Female\ flowering\ rate (\%) = \frac{Number\ of\ nodes\ of\ female\ flower}{Total\ number\ of\ nodes} \quad (4)$$

$$Fruit\ set\ rate (\%) = \frac{Number\ of\ nodes\ of\ harvested\ fruit}{Number\ of\ female\ flower\ nodes} \quad (5)$$

3. 엽록소 형광 측정

휴대용 엽록소 형광 측정기(Fluorpen FP-110, Photon Systems Instrument, Czech Republic)를 이용 처리구별 양쪽 끝 2주를 제외한 가운데 3주씩 총 6주를 측정하였다. 측정하기 전 암적응 유도 리프 클립(dark-adaptation leaf-clips)을 사용하여 15분간 암적응을 유도하였다. 이후 FluorPen(1.1.2.3 Version, Photon Systems Instrument, Czech Republic)프로그램을 사용해 분석하였으며 산출된 엽록소 형광 매개변수를 Table 1에 정리하였다(Strasser 등, 2000).

4. 통계 분석

실험은 무작위화 된 블록 설계에서 5개의 식물로 2회 반복하여 처리 당 10개의 식물을 사용하였다. SPSS버전 26(IBM, New York, USA)을 사용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)하였다. 인공광 이용형 식물공장 내 육묘기간 차이에 의한 정식 후 생육 특성을 구명하기 위하여 대조구와 2개의 처리를 다중비교(Duncan’s multiple range test)로 유의성을 ($p < 0.05$)검정하였다. 또한 처리간 유의한 차이 및 표현된 유의차를 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 육묘 생산 시스템 차이에 따른 오이 모종의 묘소질 비교

오이 모종의 지상부 생육조사결과(Table 2), 초장은 Greenhouse 모종(GH)이 6.6cm로 가장 짧았고, Plant Factory with Artificial Lighting(PFAL) 내에서 9일과 22일간 육묘한 Plant factory to greenhouse 묘(PG)와 Plant factory 묘(PF)가 각각

Table 1. Definitions and explanations of chlorophyll fluorescence parameters obtained from chlorophyll fluorescence OJIP transition used in this study.

Fluorescence parameters	Definition
F_0	Minimal fluorescence yield of dark-adapted PS II
F_J	Fluorescence at the J-step (2ms) of O-J-I-P
F_I	Fluorescence at the I-step (30ms) of O-J-I-P
$F_M (=F_P)$	Maximal fluorescence yield of dark-adapted PS II
$F_V = F_M - F_0$	Maximal variable fluorescence
$F_V/F_M = 1 - F_0/F_M$	Maximum quantum yield of primary PS II photochemistry
ABS/RC	Average absorbed photon flux per PS II reaction center
DI ₀ /RC	Dissipated energy flux per PS II reaction center electron
ET ₀ /RC	Transport flux from Q _A to Q _B per PS II reaction center
TR ₀ /RC	Maximum trapped exciton flux per PS II reaction center
PI _{ABS}	Performance index on the absorption basis

9.7cm 및 18.0cm였다. 경경은 GH가 3.3mm로 가장 얇고, PF가 5.8mm로 가장 두꺼웠으며 대조구 대비 2.5mm(76%) 굵었다. PFAL 내 생육이 진전될수록 엽수의 증가와 엽면적이 넓어졌고, 이는 PFAL 내 육묘 시 광도가 높을수록 엽수와 전개 속도 및 생육 속도는 빨라지고(Jang 등, 2014), 광주기가 길수록 식물의 엽면적은 넓어진다는 결과(Fig. 4)와 일치하였다(Haque 등, 2015). 엽록소의 함량을 나타내는 SPAD의 값은 PG가 46.8로 가장 높고 PF가 41.0으로 가장 낮았다. Zhou 등(2022)은 23°C 조건에서 광도가 높아질수록 상추의 SPAD 값은 증가한다고 보고하였는데, GH와 PG의 SPAD 값은 44 이상으로 비슷했고, PF의 SPAD가 가장 낮은 이유는 자연광보다 광도가 낮은 인공광에 적응하면서 낮아진 것이라 생각된다. 충실도는 묘소질을 평가할 때 가장 대표적인 평가 지표 중 하나이며, 값이 높을수록 묘소질이 좋은 것으로 평가되고 초장이 짧고 지상부의 건물중이 무거울수록 그 값은 높아진다(Jeong 등, 2020a; Seo 등, 2018; Yoon 등, 2021). 처리구간 충실도는 GH, PG, PF 각각 21.7, 33.0 및 56.9mg·cm⁻¹로 GH가 가장 낮고 PF가 가장 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 나

타냈다(Fig. 5A). PG와 PF의 초장이 GH에 비해 길었지만 경경이 두껍고 엽수가 많아 지상부 건물중이 증가하여 형태적 차이에 의해 PG와 PF의 충실도가 GH의 충실도보다 높은 것으로 판단된다(Fig. 4). RGR 또한 PF가 0.072cm·cm⁻¹·day⁻¹로 가장 높았으며, GH와 PG 각각 0.029 및 0.024cm·cm⁻¹·day로 PF와 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Fig. 5B). PG의 초장은 9.7cm로 GH의 초장보다 3.1cm 더 길지만 RGR이 0.005cm·cm⁻¹·day(17%) 낮게 나타났다. 이는 일평균 온도가 23°C에서 20°C로 하락하며(Fig. 1) 생육이 억제된 것이 원인으로 생각된다(Hwang 등, 2020). 또한 PF의 RGR이 GH보다 높고, 충실도 또한 GH보다 PF의 충실도가 높은 것으로 보아 공정육묘장보다 PFAL 내에서 육묘했을 때에 생육속도가 더 빠르며, 충실한 모종을 생산할 수 있다고 생각된다. 오이 모종의 근권부 생육을 비교한 결과, 근권부 표면적은 PF가 42.0cm²로 11.3cm²인 GH보다 30.7cm²(272%) 넓었고(Table 3), 평균 근경, 근단수, 근권부 부피 및 근권부 건물중 모두 PF가 가장 높았다. 근권부는 PG가 0.6cm³이고 GH는 0.5cm³으로 PG가 0.1cm³(20%) 컸지만, 통계적으로 유의한

Table 2. Growth characteristics of cucumber seedlings according to the seedling place of the plant factory with artificial lighting and conventional nursery.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Leaf chlorophyll (SPAD)
GH	6.6 ± 0.4 c ^y	3.3 ± 0.1 c	2.4 ± 0.5 c	32.1 ± 2.1 c	44.2 ± 3.7 ab
PG	9.7 ± 0.9 b	4.0 ± 0.4 b	3.4 ± 0.5 b	70.1 ± 9.6 b	46.8 ± 3.9 a
PF	18.0 ± 1.2 a	5.8 ± 0.4 a	4.3 ± 0.5 a	289.0 ± 26.7 a	41.0 ± 3.4 b
Significance ^x	***	***	***	***	**

^zDepending on the seedling place, GH is a greenhouse, PG is a plant factory to greenhouse, and PF is a plant factory.

^yMean of two replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at *p* < 0.05

^xNS, not significant; **p* < 0.05; ***p* < 0.01; and ****p* < 0.001.

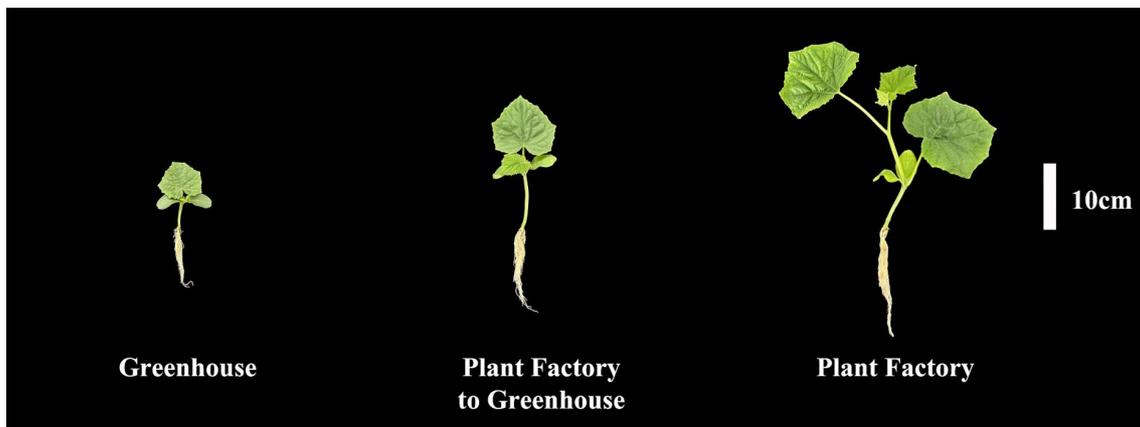


Fig. 4. Shapes of cucumber seedlings before transplanting according to seedling places.

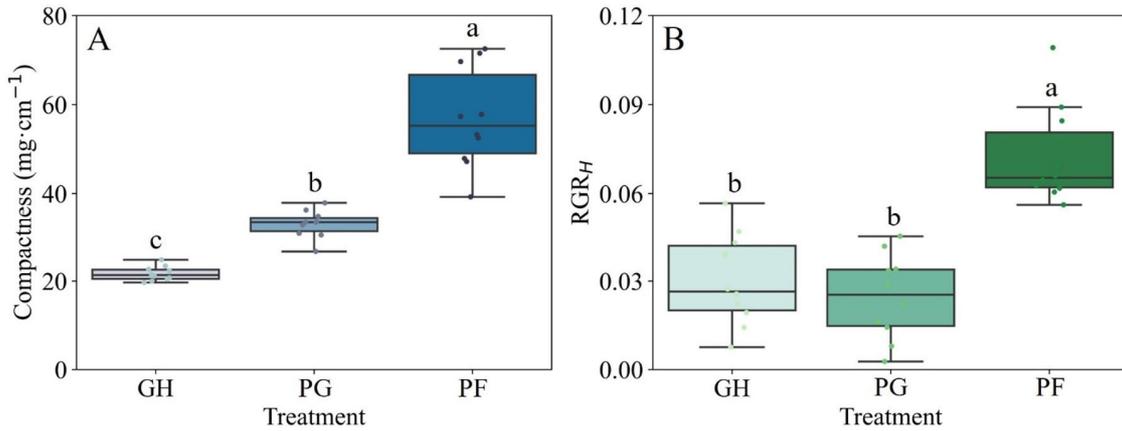


Fig. 5. Compactness (A) and relative growth rate (B) according to seedling location. The error bar indicates the standard error of mean of two replicates with five samples each. Different letters indicate significant differences by Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

Table 3. Root growth of cucumber seedlings according to the seedling place of the plant factory with artificial lighting and conventional nursery.

Treatment ^z	Root surface (cm ²)	Root average diameter (mm)	No. of root tips	Root volume (cm ³)	Root dry weight (g)
GH	11.3 ± 2.4 c ^y	0.5 ± 0.3 c	791.9 ± 276.6 c	0.5 ± 0.3 b	0.025 ± 0.004 c
PG	23.8 ± 4.0 b	1.1 ± 0.4 b	2146.9 ± 463.1 b	0.6 ± 0.1 b	0.046 ± 0.007 b
PF	42.0 ± 9.1 a	2.5 ± 0.9 a	3780.5 ± 1422.0 a	0.7 ± 0.2 a	0.103 ± 0.028 a
Significance ^x	***	***	***	*	***

^zDepending on the seedling place, GH is a greenhouse, PG is a plant factory to greenhouse, and PF is a plant factory.

^yMean of two replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$

^xNS, not significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$.

차이를 나타내지 않았다. 근권부의 발달은 정식 후 모종의 활착과 생육에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 육안으로 모종의 뿌리를 확인하는 것은 매우 중요하다(Yun 등, 2023). 오이의 적정 정식 시기는 본엽 3-5매 또는 파종 후 20-30일 내외로 너무 늦은 모종을 정식하면 추가적인 시비를 필요로 하고, 어린 모종을 정식하면 뿌리의 과한 양분흡수로 인해 웃자라게 되어 착과가 불량해지는 문제가 있다(RDA, 2021b). 본 연구의 세 가지 처리구 중에서 PF의 모종이 다른 처리구에 비해, 생육이 빠르고 근권부 발달 및 충실도 또한 우수한 지표를 나타내어 묘소질이 가장 우수하다고 판단된다.

2. 정식 후 생육 및 과실 생산성 비교

정식 후 5주동안 처리구별 생육조사 결과(Table 4), 오이의 초장은 정식 후 4주차까지 PF가 161.3cm로 가장 길었고, GH가 125.9cm로 가장 짧았다. 그러나 정식 후 5주차에서 GH와 PF의 초장은 182.7cm와 179.2cm로 역전되었으며 PG가 188.7cm로 가장 길었다. 경경은 PF의 모종이 정식 후 2주

차까지 가장 굵었으나 3주차부터 가장 얇았다. 정식 후 5주차에 오이의 마디 수는 GH, PG, PF 각각 22.2, 23.2 및 24.2개로 PF가 가장 많았다. PF의 초장이 가장 짧은 것에 비해 마디 수가 가장 많아 절간장이 짧아진 것이라 생각된다. SPAD에서는 정식 후 2까지 PF가 가장 낮았고, 3주차 이후부터 가장 높았다. 수확한 오이의 과실을 비교조사 하였을 때(Table 5), 과장은 GH가 22.4cm로 가장 짧았으며 PG와 PF는 23.0cm로 같았다. 과폭은 GH, PG, PF 각각 36.9, 36.6 및 36.3mm로 줄어드는 경향을 보였으나, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 과중은 GH와 PF가 193.2g과 193.0g으로 유사하였고 PG가 199.0g으로 가장 무거웠으나, 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 암꽃 개화율은 PF가 96.8%로 GH의 89.2%보다 7.6% 높았으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 생장조절제는 지베렐린의 합성을 억제하고(Choi 등, 2011), Farhana(2015)는 고농도의 지베렐린을 처리하였을 때 오이의 암꽃 개화가 빨라지고 생산량이 많아진다고 보고하였기 때문에 GH의 낮은 개화율은 생장조절제의 영향이라 생

각된다. 착과율은 GH가 88.2%로 가장 높았고, PF가 78.4%로 가장 낮았다. 과장을 제외한 과실 특성에서 유의한 차이는 나타나지 않았고 과장 또한 차이가 미미하였기 때문에 육묘 환경의 차이가 과장, 과폭 및 과중에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다(Fig. 6). 그러나, 성장조절제의 처리가 개화

에 영향을 미치는 것으로 예상되며, PG와 PF는 많은 암꽃의 개화로 인해 동화산물의 부족과 세력의 약화 때문에 착과율이 낮아진 것이라 판단된다. 단위면적당 생산량은 PF가 10.23kg으로 가장 많았고, GH는 9.72kg로 가장 적었다(Fig. 7). 생산량 또한, PFAL 내 육묘 일수가 많은 처리구일수록 많아지는

Table 4. Changes in growth characteristics of cucumbers until the 5th week after transplanting according to seedling place.

WAT ^z	Treatment ^y	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of nodes	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Leaf chlorophyll (SPAD)
1	GH	7.0 ± 1.0 c ^x	4.7 ± 0.6 a	2.0 ± 0.0 c	7.9 ± 0.7 b	9.8 ± 0.6 b	4.3 ± 0.5 c	49.5 ± 5.5 a
	PG	14.1 ± 1.5 b	4.8 ± 0.8 a	3.0 ± 0.0 b	7.6 ± 1.1 b	9.3 ± 0.9 b	5.9 ± 0.6 b	46.9 ± 2.7 a
	PF	25.7 ± 2.2 a	5.2 ± 0.9 a	4.7 ± 0.5 a	9.8 ± 1.3 a	12.2 ± 1.5 a	7.0 ± 0.5 a	45.6 ± 4.3 a
2	GH	23.9 ± 2.8 c	5.2 ± 1.1 b	4.9 ± 0.3 c	11.3 ± 1.5 a	15.4 ± 2.3 a	7.0 ± 0.5 c	40.9 ± 3.6 a
	PG	40.3 ± 4.0 b	5.8 ± 1.0 b	6.0 ± 0.7 b	10.6 ± 1.4 a	14.9 ± 2.0 a	8.5 ± 0.5 b	42.3 ± 4.1 a
	PF	61.9 ± 3.1 a	6.8 ± 0.6 a	7.9 ± 0.6 a	11.3 ± 1.5 a	11.9 ± 1.6 b	10.1 ± 0.6 a	37.2 ± 3.1 b
3	GH	67.5 ± 2.3 c	6.6 ± 0.9 a	9.6 ± 0.5 c	8.0 ± 1.0 a	10.5 ± 1.2 a	9.8 ± 0.6 c	32.9 ± 3.7 b
	PG	83.4 ± 4.7 b	6.4 ± 0.7 a	11.7 ± 0.5 b	8.0 ± 0.8 a	10.2 ± 1.0 a	11.7 ± 0.5 b	34.3 ± 2.0 ab
	PF	109.1 ± 4.2 a	6.0 ± 0.7 a	14.4 ± 0.7 a	8.0 ± 1.0 a	10.3 ± 1.3 a	14.4 ± 0.7 a	35.6 ± 2.0 a
4	GH	125.9 ± 4.8 c	7.1 ± 0.5 a	14.8 ± 0.4 c	8.7 ± 0.9 a	11.6 ± 0.6 a	16.0 ± 0.5 c	32.9 ± 1.6 b
	PG	143.0 ± 5.3 b	6.5 ± 0.9 a	17.0 ± 0.7 b	8.0 ± 0.5 ab	10.2 ± 0.7 b	18.0 ± 0.7 b	34.6 ± 6.3 b
	PF	161.3 ± 4.6 a	6.5 ± 0.7 a	19.5 ± 0.5 a	7.4 ± 0.9 b	9.7 ± 1.1 b	20.5 ± 0.5 a	42.0 ± 2.9 a
5	GH	182.7 ± 9.1 ab	5.5 ± 0.6 a	22.2 ± 0.9 c	7.1 ± 0.7 a	8.8 ± 1.1 a	23.3 ± 0.8 b	34.1 ± 3.5 a
	PG	188.7 ± 8.9 a	4.8 ± 0.7 b	23.2 ± 1.0 b	7.0 ± 1.7 a	8.6 ± 2.2 ab	24.2 ± 1.0 b	35.9 ± 4.4 a
	PF	179.2 ± 10.3 b	4.4 ± 0.5 b	24.2 ± 1.2 a	6.0 ± 0.9 a	7.2 ± 1.4 b	25.2 ± 1.2 a	37.2 ± 2.9 a
Significance ^w								
WAT (A)		***	***	***	***	***	***	***
Treatment (B)		***	NS	***	NS	**	***	NS
Interaction (A × B)		***	***	***	***	***	***	***

^zWeeks after transplant.

^yDepending on the seedling place, GH is a greenhouse, PG is a plant factory to greenhouse, and PF is a plant factory.

^xMeans of two replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

^wNS, not significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$.

Table 5 Comparison of fruit characteristics after transplanting of cucumber seedlings grown in different seedling places.

Treatment ^z	Fruit length (cm)	Fruit width (mm)	Fruit weight (g)	Female flower rate (%)	Fruit set rate (%)
GH	22.4 ± 1.5 b ^y	36.9 ± 2.3 a	193.2 ± 33.5 a	89.2 ± 5.5 b	88.2 ± 7.1 a
PG	23.0 ± 1.7 a	36.6 ± 2.9 a	199.0 ± 49.0 a	95.6 ± 4.3 a	83.8 ± 7.1 ab
PF	23.0 ± 1.8 a	36.3 ± 3.0 a	193.0 ± 36.2 a	96.8 ± 3.7 a	78.4 ± 11.7 b
Significance ^x		**	NS	NS	**

^zDepending on the seedling place, GH is a greenhouse, PG is a plant factory to greenhouse, and PF is a plant factory.

^yMean of two replicates with five samples each within each column followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test at $p < 0.05$

^xNS, not significant; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; and *** $p < 0.001$.

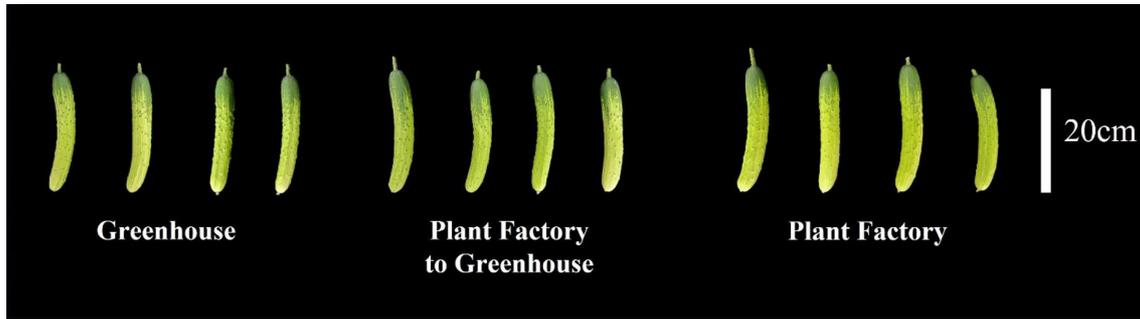


Fig. 6. Shapes of harvested cucumber fruit according to seedling place.

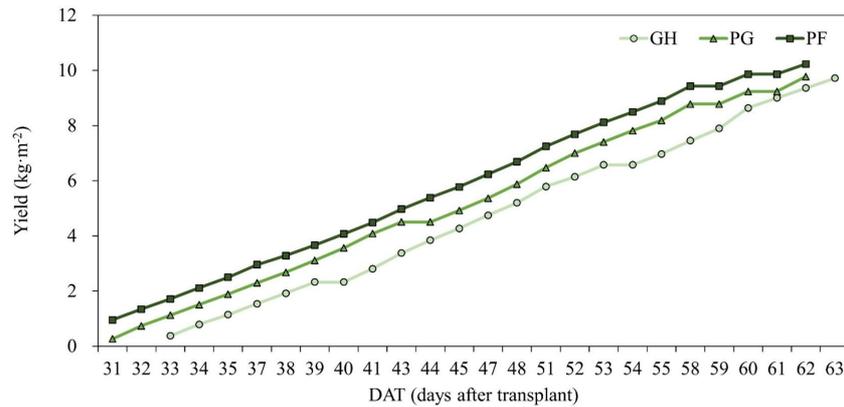


Fig. 7. Changes in cucumber production per unit area according to seedling place.

경향을 나타냈다. PG와 PF는 정식 후 31일차에 수확을 시작 하였으나, GH는 2일이 지난 정식 후 33일차부터 수확을 시작 하였다. PG와 PF의 작기는 정식 후 62일차에 종료되었고, GH의 작기는 1일 뒤인 정식 후 63일차에 종료되었다. PG와 PF는 육묘기부터 GH보다 빠른 생육을 보였으며, 수확시작일부터 작기 종료까지 GH보다 빠르게 진행되었다. 또한, 단위면적당 생산량도 PG와 PF가 GH보다 우수하였기 때문에, PFAL 내에서 육묘한 모종을 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 엽록소 형광 지수 비교

본 연구에 사용한 엽록소 형광 매개변수인 Fv/Fm, Pi_Abs, ABS/RC, ET₀/RC, TR₀/RC 및 DI₀/RC는 JIP test 분석 기법에서 OJIP를 통해 얻을 수 있으며(Strasser 등, 2000), 광계II의 전자전달 흐름에 따라 측정된 값이다(Baghbani 등, 2019). 식물이 받는 스트레스와 환경에 따라 엽록소 형광 매개변수는 변동되며(Fig. 8), Fv/Fm, ET₀/RC 및 Pi_Abs는 식물이 스트레스를 받으면 감소하고 ABS/RC, TR₀/RC 및 DI₀/RC는 증가한다(Lee 등, 2022). Fv/Fm은 최대 양자 수율로 많은 연구들에서 보편적으로 사용한다(An 등, 2021a; Lee와 Oh, 2023;

Shin 등, 2021). 정상 생육의 식물은 Fv/Fm이 0.78–0.83의 값을 나타내며(Kim 등, 2023), 오이의 Fv/Fm은 모든 구간에서 0.8 이하로 나타났다. 그 중 정식 후 4주차에서 가장 큰 차이를 나타냈으며, 고온의 온실 환경으로 인해 스트레스를 받은 것으로 판단된다. ABS/RC는 반응중심당 흡수한 광자의 양을 나타내는 지수이다. ABS/RC는 정식 후 2주차의 PF를 제외하고 4주차까지 감소하는 경향을 나타냈으며, 반응중심당 포획된 전자의 양을 나타내는 TR₀/RC도 정식 후 4주차까지 감소하며 5주차에서 증가하는 경향을 나타냈다. ET₀/RC는 광계II의 반응중심당 Q_A에서 Q_B로 전달된 에너지의 양을 나타내는 지수로 정식 후 3주차까지 감소하였으며, 4주차부터 회복하는 경향을 보였다. DI₀/RC는 반응중심당 열로 소산되는 에너지 양을 나타낸 지수로 정식 후 2주차에 PF가 0.60으로 가장 높았고, GH가 0.49로 가장 낮았다. 그러나 정식 후 4주차에는 PF가 0.40으로 가장 낮았고 GH가 0.47로 가장 높았다. Pi_Abs는 식물의 전반적인 활력도를 나타내는데(Lee 등, 2022), 가장 민감하게 반응하여 분별성을 높이는 데 사용된다(Boureima 등, 2012). Pi_Abs는 정식 후 4주차에 GH, PG, PF 각각 2.64, 2.84 및 4.14로 PF가 가장 높았으며, GH가 가장 낮

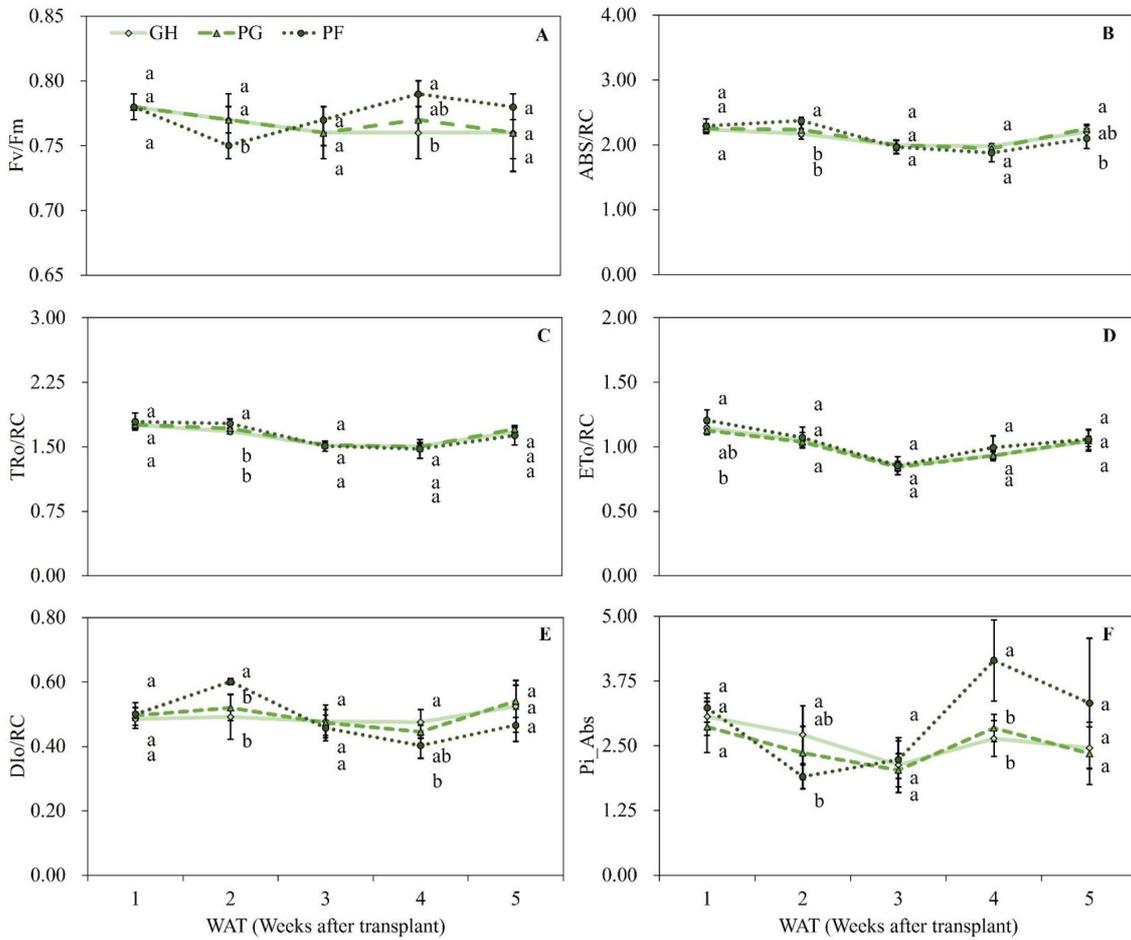


Fig. 8. Changes in chlorophyll fluorescence (CF) parameter graph after transplanting by treatment group according to seedling place. Description of each CF parameter is presented in Table 1. The error bar indicates the standard error of mean of two replicates with three samples each. Different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

았다. 정식 후 5주차까지 재배온실의 환경은 4주차에서 상대 습도가 가장 높았고, 누적 광량은 $800\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 정도로 저조했기에 가장 열악한 환경으로 판단된다(Fig. 2). 이 때 엽록소 형광 매개변수 중 식물의 스트레스를 판단하는 Fv/Fm, Pi_Abs 및 DIo/RC 모두에서 PF가 정식 후 2주차까지 GH와 PG에 비해 스트레스를 많이 받는 경향을 보였으나, 4주차부터 회복하여 스트레스를 적게 받는 경향을 보였다. PF의 모종은 순화 처리 없이 정식하여 초기 생육에서 스트레스를 받은 것으로 예상되며 2주차까지 주의가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 연구는 인공광 이용형 식물공장과 공정육묘장의 환경차이에 따른 오이 모종의 묘소질, 정식 후 생육과 과실의 특성 및 생산량 비교를 통해 인공광 이용형 식물공장에서 생산된 모종

의 생육과 생산량의 기초 자료를 제공하고자 연구를 수행하였다. 처리구는 정식 전까지 공정육묘장에서 육묘한 Greenhouse 모종(GH)이 대조구이다. 가식전까지 인공광 이용형 식물공장에서 9일간 육묘하고, 가식 후 육묘장에서 13일간 육묘한 Plant factory to Greenhouse 모종(PG), 정식 전까지 인공광 이용형 식물공장에서 22일간 육묘한 Plant factory 모종(PF)으로 나누어 구분하였다. 묘소질에서는 PF의 상대 생장률과 충실도가 가장 높았고, 근권부 발달 또한, 가장 우수하였다. 정식 후 생육 또한 세 처리구 중 PF가 빠른 경향을 나타냈으며 첫 수확일이 GH에 비해 2일 빨랐고 작기는 1일 빠르게 종료되었다. 과장, 과폭 및 과중을 비교한 결과 처리구에 따른 차이는 미미하였다. PF가 암꽃 개화율이 높았고, 착과율은 PF가 가장 낮았다. 단위면적당 생산량은 PF가 10.23kg 으로 가장 많았다. 엽록소 형광 매개변수 중 가장 민감하게 반응하는 Pi_Abs는 정식 후 4주차에 PF가 4.14로 가장 높았다. 정

식 후 4주차의 Fv/Fm과 DI₀/RC를 비교한 결과 PF가 가장 스트레스를 적게 받는 경향을 나타냈다. PF는 묘소질, 정식 후 생육 및 생산량이 가장 우수하였으며, 과실 품질은 GH의 과실과 차이가 없었기 때문에 PF를 현장에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

추가 주제어: 엽록소 형광, 충실도, 플러그 트레이, 상대생장률, 생산량

사 사

본 연구는 2023년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음.

Literature Cited

- An J.H., S.H. Jeon, E.Y. Choi, H.M. Kang, J.K. Na, and K.Y. Choi 2021a, Effect of irrigation starting point of soil on chlorophyll fluorescence, stem sap flux relative rate and leaf temperature of cucumber in greenhouse. *J Bio-Env Con* 30(1):46-55. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.1.046
- An S.W., H.J. Lee, H.S. Sim, S.R. Ahn, S.T. Kim, and S.K. Kim 2021b, Profiles of environmental parameters in a plant factory with artificial lighting and evaluation on growth of cucumber seedlings. *J Bio-Env Con* 30(2):126-132. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.2.126
- An S.W., S.W. Park, and Y.Kwack 2020, Growth of cucumber scions, rootstocks, and grafted seedlings as affected by different irrigation regimes during cultivation of 'Joebaekdadagi' and 'Heukjong' seedlings in a plant factory with artificial lighting. *Agronomy* 10(12):1943. doi:10.3390/agronomy10121943
- Baghbani F., R. Lotfi., S. Moharramnejad, A. Bandehagh, M. Roostaei, A. Rastogi, and H.M. Kalaji 2019, Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *Eur J Plant Pathol* 154:337-346. doi:10.1007/s10658-018-01659-x
- Boureima S., A. Oukarroum, M. Diouf, N. Cisse, and P. van Damme 2012, Screening for drought tolerance in mutant germplasm of sesame (*Sesamum indicum*) probing by chlorophyll a fluorescence. *Environ Exp Bot* 81:37-43. doi:10.1016/j.envexpbot.2012.02.015
- Choi S.H., J.S. Kang, Y.W. Choi, Y.J. Lee, Y.H. Park, M.R. Kim, B.G. Son, H.K. Kim, H.Y. Kim, and W. Oh 2011, Effect of diniconazole on growth and flowering of *Vinca rocea* and *Salvia splendis*. *J Life Sci* 21(7):1004-1008. (in Korean) doi:10.5352/JLS.2011.21.7.1004
- Farhana U. 2015, Effects of plant growth regulators on flowering behaviour and yield of cucumber. MS Dissertation, Sher-E-Bangla Agricultural Univ., Dhaka, Bangladesh. pp 37-42
- Haque M.S., K.H.Kjaer, E.Rosenqvist, and C.O. Ottosen 2015, Continuous light increases growth, daily carbon gain, antioxidants, and alters carbohydrate metabolism in a cultivated and a wild tomato species. *Front Plant Sci* 6:129962. doi:10.3389/fpls.2015.00522
- Hwang H.S., S. An, M.D. Pham, M. Cui, and C. Chun 2020, The combined conditions of photoperiod, light intensity, and air temperature control the growth and development of tomato and red pepper seedlings in a closed transplant production system. *Sustainability* 12(23):9939. doi:10.3390/su12239939
- Jang Y., H.J. Lee, C.S. Choi, Y. Um, and S.G. Lee 2014, Growth characteristics of cucumber scion and pumpkin rootstock under different levels of light intensity and plug cell size under an artificial lighting condition. *J Bio-Env Con* 23(4):383-390. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2014.23.4.383
- Jeong H.W., H.R. Lee, H.S. Hwang, E.B. Kim, and S.J. Hwang 2020a, Growth suppression of tomato plug seedlings as affected by material type for brushing stimulation. *J Bio-Env Con* 29(4):313-319. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.4.313
- Jeong H.W., H.R. Lee, H.M. Kim, H.M. Kim, H.S. Hwang, and S.J. Hwang 2020b, Using light quality for growth control of cucumber seedlings in closed-type plant production system. *Plants* 9(5):639. doi:org/10.3390/plants9050639
- Kim Y.H., H.C. Yang, Y.H. Bae, S.J. Hyeon, S.J. Hwang, D.H. Kim, and D.C. Jang 2023, Preventing overgrowth of cucumber and tomato seedlings using difference between day and night temperature in a plant factory with artificial lighting. *Plants* 12(17):3164. doi:10.3390/plants12173164
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021a, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114052_B04&conn_path=I2. Accessed 6 March 2024.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021b, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=114&tblId=DT_114052_B23_1&conn_path=I2. Accessed 11 March 2024.
- Kozai T., and G. Niu 2020, Role of the plant factory with artificial lighting (PFAL) in urban areas. In *Plant Factory* (pp. 7-34). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-816691-8.00002-9
- Kwack Y., and S. An 2021, Changes in growth of watermelon scions and rootstocks grown under different air temperature and light intensity conditions in a plant factory with artificial lighting. *J Bio-Env Con* 30(2):133-139. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.2.133
- Lee H.J., Y.H. Moon, S. An, H.S. Sim, U.J. Woo, H. Hwang, and S.K. Kim 2023, Determination of LEDs arrangement in a plant factory using a 3D ray-tracing simulation and evaluation on growth of *Cucurbitaceae* seedlings. *Hortic Environ*

- Biotechnol 64(5):765-774. doi:10.1007/s13580-023-00523-0
- Lee H.W., J.G. Lee, M.C., I. Hwang, K.H. Hong, D.H. Kwon, and Y.K. Ahn 2022, Growth characteristics of tomatoes grafted with different rootstocks grown in soil during winter season. J Bio-Env Con 31(3):194-203. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2022.31.3.194
- Lee J.H., and M.M. Oh 2023, Changes in growth and antioxidant phenolic contents of kale according to CO₂ concentration before UV-A light treatment. J Bio-Env Con 32(4): 342-352. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2023.32.4.342
- Lee S.I., S.H. Yeon, J.S. Cho, M.J. Jeong, and C.H. Lee 2020, Optimization of cultivation conditions on effective seedlings of *veronica rotunda* var. *subintegra* (Nakai) T. Yamaz. J Bio-Env Con 29(2):181-188. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.2.181
- Moon Y.H., U.J. Woo, H.S. Sim, T.Y. Lee, H.R. Shin, J.S. Jo, and S.K. Kim 2023a, Development of a semi-open chamber system for the gas exchange measurement of whole-canopy under steady and unsteady states in cucumber seedlings. Plant Methods 19(1):79. doi:10.1186/s13007-023-01059-1
- Moon Y.H., M. Yang, U.J. Woo, H.S. Sim, T.Y. Lee, H.R. Shin, J.S. Jo, and S.K. Kim 2023b, Evaluation of growth and photosynthetic rate of cucumber seedlings affected by far-red light using a semi-open chamber and imaging system. Horticulturae 9(1):98. doi:10.3390/horticulturae9010098
- Park S.W., S. An, and Y. Kwack 2020, Changes in transpiration rates and growth of cucumber and tomato scions and rootstocks grown under different light intensity conditions in a closed transplant production system. J Bio-Env Con 29(4): 399-405. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2020.29.4.399
- Rural Development Administration (RDA) 2021a, Cucumber Agricultural technology guide 107. RDA, Jeonju, Korea, pp 24. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2021b, Cucumber Agricultural technology guide 107. RDA, Jeonju, Korea, pp 77. (in Korean)
- Seo T.C., S.W. An, H.W. Jang, C.W. Nam, H. Chun, T.K. Kang, and S.H. Lee 2018, An approach to determine the good seedling quality of grafted tomatoes (*Solanum lycopersicum*) grown in cylindrical paper pot through the relation analysis between DQI and short-term relative growth rate. J Bio-Env Con 27(4):302-311. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2018.27.4.302
- Shin Y.K., J.S. Jo, M.C. Cho, E.Y. Yang, Y.K. Ahn, and J.G. Lee 2021, Application of chlorophyll fluorescence parameters to diagnose salinity tolerance in the seedling of tomato genetic resources. J Bio-Env Con 30(2):165-173. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.2.165
- Song W.J., H.W. Goo, G.W. Lee, H.M. Kim, and K.S. Park 2024, Comparison with growth characteristics of Korean melon (*Cucumis melo* var. *makuwa*) grafted seedlings in a container type farm with LED light and a greenhouse under high temperature conditions. J Bio-Env Con 33(1):22-29. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2024.33.1.022
- Strasser R.J., A. Srivastava, and M. Tsimilli-Michael 2000, The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In M Yunus, U Pathre, P Mohanty, eds, Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation. Taylor and Francis, London and New York, pp 445-483.
- Yang H.C., Y.H. Kim, H.J. Byun, I.L. Choi, N.T. Vu, D.H. Kim, H.S. Yoon, and D.C. Jang 2023, Identification of appropriate light intensity and daytime temperature for cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings in a plant factory with artificial lighting for use as grafting material. Sustainability 15(5):4481. doi:10.3390/su15054481
- Yoon H.I., J.H. Kang, D. Kim, and J.E. Son 2021, Seedling quality and photosynthetic characteristic of vegetables grown under a spectrum conversion film. J Bio-Env Con 30(2): 110-117. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.2.110
- Yun J.H., H.W. Jeong, S.Y. Hwang, J. Yu, H.S. Hwang, and S.J. Hwang 2023, Growth of cucumber and tomato seedlings by different light intensities and CO₂ concentrations in closed-type plant production system. J Bio-Env Con 32(4): 257-266. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2023.32.4.257
- Zhou J., P. Li, and J. Wang 2022, Effects of light intensity and temperature on the photosynthesis characteristics and yield of lettuce. Horticulturae 8(2):178. doi:10.3390/horticulturae8020178