

접목 후 오이 묘의 품종별 적정 주간 및 야간온도

황소영¹ · 윤지혜¹ · 유진¹ · 황정훈¹ · 박은원¹ · 정현우¹ · 황희성^{2,3} · 황승재^{1,2,3,4,5*}

¹경상국립대학교 응용생명과학부, ²경상국립대학교 작물생산과학부, ³경상국립대학교 농업생명과학연구원, ⁴경상국립대학교 농업생명과학대학 원예과학부, ⁵경상국립대학교 생명과학연구원

Proper Day and Night Temperatures for Different Cultivars of Cucumber Seedlings after the Grafting Stage

So Yeong Hwang¹, Ji Hye Yun¹, Jin Yu¹, Jeong Hun Hang¹, Eun Won Park¹, Hyeon Woo Jeong¹, Hee Sung Hwang^{2,3}, and Seung Jae Hwang^{1,2,3,4,5*}

¹Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Division of Horticultural Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received: 19 June 2023

Revised: 20 July 2023

Accepted: 31 July 2023

Published online: 23 May 2024

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY
42(4):492-503, 2024
URL: <http://www.hst-j.org>

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2024 Korean Society for Horticultural Science.

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2022-RD010412)" Rural Development Administration, Korea.

Abstract

This study was conducted to investigate the growth characteristics of different cultivars of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings when affected by different temperature conditions and to identify the optimal day and night temperatures after the grafting stage. Three cucumber cultivars were used, 'NakWonSeongcheongjang, NS', 'Sinsedae, SD', and 'Goodmorning backdadagi, GB', with seedlings as scions grafted onto a figleaf gourd (*Cucurbita ficifolia* 'Heukjong') seedling as the rootstock. Experiment 1 investigated the appropriate air temperature by assessing growth characteristics as affected by different temperatures, in this case 18, 23, and 28°C (24 h). Experiment 2 investigated growth characteristics as affected by the night temperature. Based on the results of experiment 1, the day temperature was fixed at 28°C, which was best for growth, and the night temperatures then assessed were 15, 20, and 25°C (12/12 h). Root and shoot growth levels of all cultivars were promoted when the air temperature was 28°C, and the seedling period could be effectively shortened. On the other hand, the optimal night temperature differed significantly depending on the cultivar. 'NS' and 'SD' showed inhibited respiration when the night temperature was 15°C, with significantly decreased plant heights and leaf areas and increased shoot dry weights. Also, the seedling quality was high at 15°C. On the other hand, the growth of 'GB' was significantly promoted at 25°C and the seedling quality was also high. Therefore, it is considered that the optimal day/night temperatures of cucumber seedlings after the grafting stage are 28/15°C for 'NS' and 'SD' and 28/25°C for 'GB'.

Additional key words: *Cucumis sativus*, dry weight, respiration, root growth, seedling quality

서 언

오이(*Cucumis sativus* L.)는 한국에서 수박, 호박, 딸기, 토마토에 이어 5번째로 많이 재배되는 과채류 작물이다(Statistics Korea, 2023). 오이의 수량과 품질을 높이기 위해서는 건전한 모종의 선택이 중요하다(RDA, 2021). 고품질의 묘를 생산하기 위해 한국에서 생산되는 오이 묘의 90%는 접목 방법을 사용하며, 주로 박과 대목에 오이 접수를 접목한다(An et al., 2021). 접목은 대목과 접수의 우수한 특성을 결합하는 방법으로, 토양 전염성 병에 대한 저항성과 불량 환경에 대한 적응성 및 품질 향상 등의 효과가 있다(Lee et al., 2010a). 이러한 장점으로 인해 한국과 일본에서 상업적으로 채소의 접목이 이루어지기 시작하였으며, 현재는 전 세계적으로 접목이 이루어지고 있다(Lee et al., 2010a).

접목묘 생산과정은 크게 접수와 대목을 육묘하는 1차 육묘와 접목 후 활착 및 순화 과정, 그리고 2차 육묘로 나눌 수 있다(Jo et al., 2021). 오이의 경우 대목의 뿌리를 자르는 단근편엽합접 방법을 사용하기에, 접목 당시 뿌리가 없이 배지에 삽목된다(An et al., 2021). 2차 육묘기간을 포함한 접목 후 기간은 1차 육묘기간보다 길고, 지하부의 발생 및 작물의 왕성한 생육이 이루어지는 시기이다(An et al., 2021; Jeong et al., 2021). 따라서 2차 육묘 시기에 온도, 습도, 광 등 환경요인을 적절히 관리하는 것이 고품질 오이 접목묘를 생산하는데 매우 중요하다.

온도는 식물의 광합성과 호흡을 비롯한 물질대사와 초장, 엽면적 등의 형태적 특성에 영향을 주어 작물의 생육과 발달을 조절하는 주요한 비생물적 요인이다(Thingnaes et al., 2003). 따라서 온도 관리를 통해 동화산물의 생산 및 전류 속도를 조절하고, 생육 단계별 적정 형태의 생육을 유도하는 등의 다양한 재배법이 연구되고 있다(Lee et al., 2010b; Kang et al., 2012). 예를 들어 정식 후 생산성을 향상시키기 위해 온도를 최적온도보다 높게 관리하여 초기 생육 촉진을 유도하거나(Lee et al., 2010b), 광합성이 일어나지 않는 야간에 호흡을 통해 발생하는 작물의 동화산물 소모를 감소시키기 위하여 야간온도를 조절하는 방법이 보고되었다(Kang et al., 2012).

작물이 자라는 최적 온도인 생육 적온은 작물에 따라 다르다. 단삼은 고온에서 재배하는 경우 생장수준이 높고 외적품질이 높은 반면(Kim et al., 2024), 무는 고온에서 재배될 경우 지나친 호흡작용으로 인해 뿌리의 발육이 현저히 낮아지고 갈변 현상이 관찰되어 생산성과 상품성이 저하된다(Oh et al., 2022). 또한, 같은 작물에서도 서로 다른 품종은 재배 작형, 재배 환경 및 방식 등을 고려하여 육성되므로 재배 적온이 각각 다를 수 있다(Papadopoulos and Hao, 2000; Kang et al., 2010). 그러므로 품종별 생육 특성과 환경적응성을 고려한 적절한 환경 관리가 필요하다(Papadopoulos and Hao, 2000; RDA, 2021). 오이 접목묘 생산에 사용되는 접수와 대목 품종은 각각 230개와 51개로 다양하며(Zhao and Kubota, 2015), 품종별 수량과 품질을 높일 수 있는 적절한 온도 관리 및 생육 조절에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 온도에 따른 오이 접목묘의 품종별 생육 특성을 조사하여 적정 주간 및 야간온도를 구명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험 재료 및 육묘 환경

오이(*Cucumis sativus* L.) 접수는 낙원성청장(‘NakWonSeongcheongjang, NS’, Wonnongseed Co. Ltd., Korea), 신세대(‘Sinsedae, SD’, Farmhannong Co. Ltd., Korea), 그리고 굿모닝백다다기(‘Goodmorning backdadagi, GB’, Nongwoobio Co. Ltd., Korea) 품종을 사용하였으며, 대목으로 흑종호박(*Cucurbita ficifolia* ‘Heukjong’, Farmhannong Co. Ltd., Korea)을 사용하였다.

대목과 접수는 파종 후 온도 27°C, 상대습도 100%로 설정한 발아실에서 발아 후, 육묘 온실에서 각각 8, 7일 간 1차 육묘되었고, 대목과 접수의 본엽이 출현할 시점에 단근편엽합접 방법으로 접목하였다. 접목된 묘는 원예용 상토(Pindstrup,

Pindstrup Mosebrug AS, Ryomgaard, Denmark)가 충전된 40구 트레이(28cm × 54cm × 5cm, Bunnong Co. Ltd., Jeongeup, Korea)에 삽목하여 접목활착실(광도 $5 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, red:blue = 7:3 mixed LEDs, 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $90 \pm 5\%$)에서 5일간 활착 후 외부 환경과 적응하기 위해 육묘 온실에서 4일간 순화되었다.

접목 활착이 끝난 오이 묘는 밀폐형 식물 생산 시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea) 내에서 2차 육묘되었다. 밀폐형 식물 생산 시스템 내 광원은 LEDs(red:green:blue = 7:1:2, ES LEDs Co. Ltd., Seoul, Korea)를 사용하였고, 실험 1과 실험 2에서 광도와 광주기는 각각 $150 \pm 30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ photosynthetic photon flux density와 12/12h(명기/암기)로 설정되었다. 광도는 광도계(HD2101.1, Delta OHM, Italy)를 이용하여 식물체의 성장점 위치에서 측정하였고, 양·수분 관리는 온실 다용도 액비[Ca(NO₃)₂·4H₂O 472.0mg·L⁻¹, KNO₃ 202.0mg·L⁻¹, KH₂PO₄ 272.0mg·L⁻¹, MgSO₄·7H₂O 246.0mg·L⁻¹, NH₄NO₃ 80.0mg·L⁻¹, Fe-EDTA 15.0mg·L⁻¹, H₃BO₃ 1.4mg·L⁻¹, CuSO₄·5H₂O 0.2mg·L⁻¹, MnSO₄·4H₂O 2.1mg·L⁻¹, NaMoO₄·2H₂O 0.12mg·L⁻¹, 그리고 ZnSO₄·7H₂O 0.8mg·L⁻¹]를 조제하여 EC는 1.0dS·m⁻¹, pH는 6.5로 조절해 1일 1회 저면 관수하였다. 온습도는 데이터 로거(TR-74Ui, T&D Co. Ltd., Matsumoto, Japan)를 이용하여 한 시간 간격으로 측정하였다.

실험 처리

주간온도에 따른 오이 접목묘 생육(실험 1)

대목과 접수는 각각 2022년 7월 16일과 7월 17일에 파종하여 7월 26일에 접목하였다. 접목묘는 활착 이후 밀폐형 식물 생산 시스템 내에서 8월 3일부터 9일간 2차 육묘 되었다. 밀폐형 식물 생산 시스템 내 온도는 각각 18, 23, 그리고 28°C(24h)로 설정하였고, 상대습도는 $70 \pm 10\%$ 로 유지하였다(Fig. 1).

야간온도에 따른 오이 접목묘 생육(실험 2)

대목과 접수는 각각 2022년 9월 13일과 9월 14일에 파종하여 10월 2일에 접목하였다. 접목묘는 활착 이후 밀폐형 식물 생산 시스템 내에서 10월 11일부터 8일간 2차 육묘 되었다. 밀폐형 식물 생산 시스템 내 주간온도는 실험 1에서 생육이 가장 양호하였던 28°C로 고정한 후, 야간온도를 각각 15, 20, 그리고 25°C(12/12h)로 설정하였으며, 상대습도는 $60 \pm 10\%$ 로 유지하였다(Fig. 2).

생육조사

이를 간격으로 각 처리당 6개체를 무작위로 선발하여 초장, 경경, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD, 엽면적, 지상부와 지하부의 생체 중 및 건물중을 측정하였다. 초장은 식물체의 지체부에서 생장점까지의 길이를 측정하였고, 경경은 버니어캘리퍼스

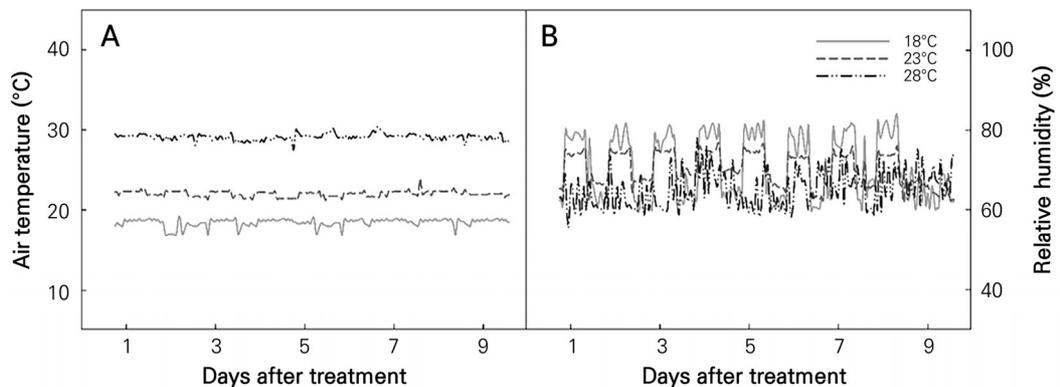


Fig. 1. Changes in the air temperature (A) and relative humidity (B) in Experiment 1.

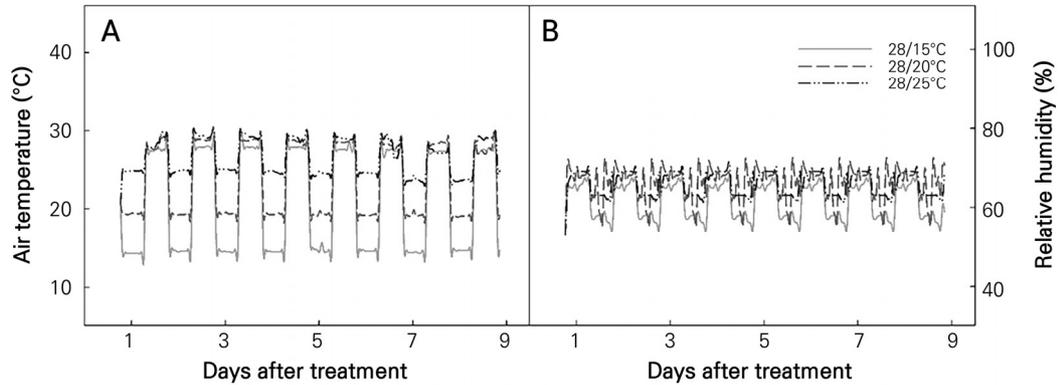


Fig. 2. Changes in the air temperature (A) and relative humidity (B) in Experiment 2.

(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 지체부 상단 1cm를 측정하였다. 엽장과 엽폭은 생장점 기준 두 번째 잎을 측정하였다. SPAD는 엽록소 측정기(SPAD 502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 엽면적은 줄기를 제외한 잎의 면적을 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH, Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였다. 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH, Planegg, Germany)에서 72시간 이상 건조한 후 측정하였다. 각 처리에 따른 접목묘의 지하부 발달 정도를 확인하기 위해, 접목묘의 지하부를 채취하여 스캐너(Expression 12000XL professional scanner, Epson America Inc., Los Alamitos, CA, USA)로 취득한 이미지 데이터를 WinRhizo Pro 2020 뿌리 형태 분석 시스템(Regent Instruments Inc., Sainte-Foy, QC, Canada)을 이용하여 처리별 총 근장, 근단수 및 평균 근경을 측정하였다. 온도처리에 따른 오이 접목묘의 묘소질을 조사하기 위해 충실도(compactness)와 건물률(dry matter)을 아래의 계산식을 통해 산출하였다(RDA, 2012).

$$\text{Compactness (g}\cdot\text{cm}^{-1}) = \text{dry weight of shoot (g)} / \text{plant height (cm)}$$

$$\text{Dry matter (\%)} = [\text{dry weight (g)} / \text{fresh weight (g)}] \times 100$$

통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 14.5, Systat Software, San Jose, CA, USA)을 이용하여 나타내었다.

결과 및 고찰

주간온도에 따른 오이 접목묘 생육(실험 1)

지하부 생육

지하부 생육은 18°C에서 28°C로 온도가 높아짐에 따라 품종과 관계없이 유의적으로 촉진되는 경향을 보였다(Figs. 3 and 4). 지하부의 건물중은 모든 품종에서 온도가 높아질수록 유의성 있게 증가하여 28°C에서 가장 높았으며(Fig. 4A), 총 근장과 근단수 또한 28°C에서 유의성 있게 높았다(Fig. 4B and 4C). 반면, 평균 근경은 온도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다

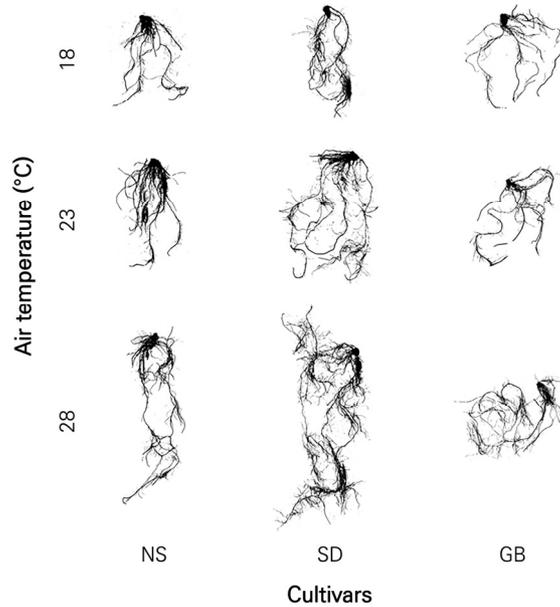


Fig. 3. Root morphology of grafted cucumber seedlings as affected by different air temperatures 9 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

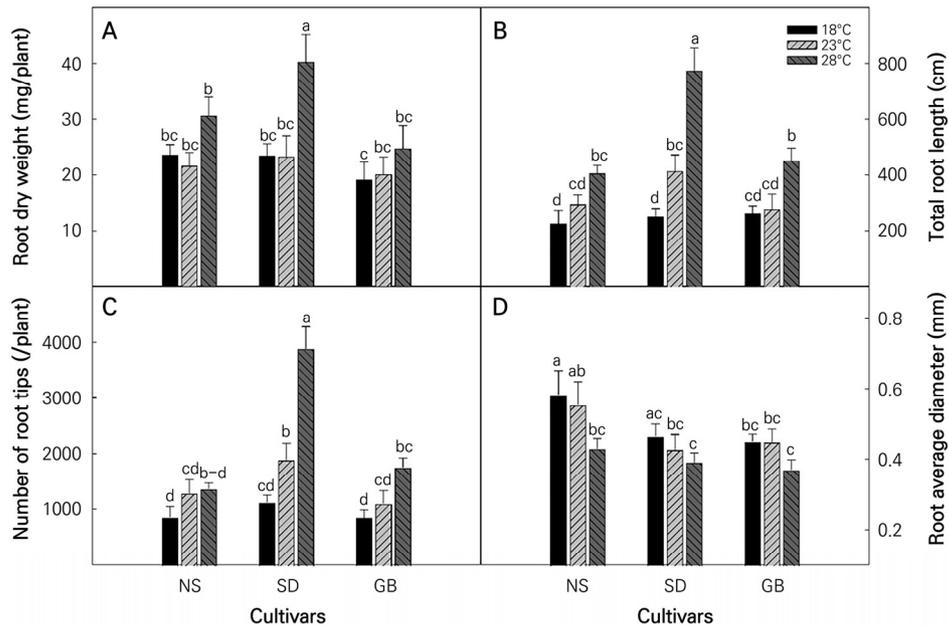


Fig. 4. Root dry weight (A), total root length (B), number of root tips (C), and root average diameter (D) of grafted cucumber seedlings as affected by different air temperatures 9 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6). Different letters indicate significant differences based on Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

(Fig. 4D). 온도는 지하부의 형태와 생장 및 양분 흡수율 등에 영향을 준다(Tan et al., 2002; Jun et al., 2008; Giri et al., 2017). 일반적으로 작물 내 동화산물의 전류 속도는 온도가 증가함에 따라 증가하며, 이를 바탕으로 식물의 각 기관의 생육을 촉진시킬 수 있다(Lee et al., 2010b). Jun et al. (2008)은 온도가 높아질수록 딸기의 근장이 길어지고 생체중이 증가한다고 하였고, Tan et al. (2002)은 온도가 높아질수록 상추의 근장과 근단 수가 증가하며 평균 근경이 얇아진다고 보고하였다. 얇은 뿌리 근

경은 새로 발근한 세근과 분지근이 많음을 의미하며, 새로 발달된 세근은 토양에 쉽게 침투할 수 있고 양수분 흡수율이 높아 작물의 생육에 유리하다(Jeong et al., 2021). 따라서 오이 접목묘를 주간온도 28°C에서 육묘하면 지하부 생육을 촉진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

지상부 생육

모든 품종은 온도가 높아질수록 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, SPAD, 엽면적, 생체중, 그리고 건물중이 유의적으로 증가하였다 (Table 1). 또한, 온도처리 기간이 길어짐에 따라 초장과 엽수가 증가하는 경향을 보였으며, 높은 온도처리에서 긴 초장과 많은 엽수를 가지는 경향을 보였다(Fig. 5). 일반적으로 육묘장에서는 오이 접목묘의 엽수를 생육단계의 기준으로 하며, 엽수가 3.3에서 4.3매가 되었을 때 출하한다(An et al., 2021). ‘NS’와 ‘SD’의 엽수가 3매에 도달하는 데 걸린 기간은 28°C 처리에서 각각 5일과 7일로 가장 짧았고, 육묘기간을 효과적으로 단축할 수 있음을 확인하였다(Fig. 5B and 5D). ‘GB’는 18°C에서 생육이 유의적으로 억제되었으며, 23°C 이상의 온도에서 생육이 촉진되었다(Fig. 5F). Ge et al. (2012)은 온도의 증가가 초기 식물의 광합성률을 증가시켜 동화산물의 축적을 증가시킨다고 보고하였다. 따라서 28°C에서 광합성이 증가하고 동화산물의 축적이 증가하여 지상부 생육이 촉진된 것으로 해석된다. 또한, Nicola (1998)와 Jeong et al. (2021)은 지하부 생육이 우수한 묘에서 지상부 생육 또한 우수한 경향을 보인다고 보고하였으며, 모든 품종에서 온도가 높아짐에 따라 지하부 발달이 증가하는 경향을 보였기 때문에(Fig. 4), 지상부 생육 또한 증가한 것으로 조사되었다. 따라서 28°C에서 오이 접목묘를 육묘하면 출하까지의 육묘기간을 효과적으로 단축할 수 있을 것으로 판단된다.

묘소질

총실도는 지상부 건물중을 초장으로 나눈 값으로, 그 값이 클수록 묘의 치밀도가 높고 강건한 묘로 평가된다(Zhang et al., 2003). 본 연구에서 모든 품종의 총실도는 28°C에서 유의적으로 높은 경향을 보였다(Fig. 6A). 세 품종 모두 28°C에서 건물중이 유의성 있게 증가하였고(Table 1), 이에 따라 총실도가 증가한 것으로 판단된다. 건물률은 생체중을 건물중으로 나눈 비율

Table 1. Growth characteristics of grafted cucumber seedlings as affected by different air temperatures 9 days after treatment (n = 6)

Cultivar ^z (A)	Air temperature (°C) (B)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	SPAD	Leaf area (cm ²)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
									Shoot	Root	Shoot	Root
NS	18	8.7 bc ^y	3.6	6.9 c-e	8.3 cd	2.8 c-e	38.4 c	88.1 bc	3.3 c-e	0.52 b	0.39 c	0.024 bc
	23	9.2 b	3.7	7.6 a-c	8.1 c-e	3.3 bc	40.8 bc	112.2 b	4.0 c	0.58 b	0.39 c	0.022 bc
	28	11.1 a	3.7	8.1 ab	10.4 a	4.0 a	41.7 bc	181.9 a	6.1 a	0.61 b	0.57 a	0.031 b
SD	18	7.6 d	3.6	6.0 e	7.2 e	2.7 de	43.1 a-c	68.6 c	2.9 de	0.57 b	0.32 c	0.024 bc
	23	8.0 cd	4.0	6.9 c-e	8.6 cd	3.3 bc	44.9 ab	92.3 bc	3.2 c-e	0.61 b	0.33 c	0.023 bc
	28	9.0 b	3.9	8.5 a	10.0 ab	3.7 ab	44.8 ab	162.7 a	5.2 b	0.88 a	0.52 ab	0.040 a
GB	18	7.9 cd	3.8	6.3 de	7.7 de	2.3 e	41.8 bc	71.9 c	2.8 e	0.44 b	0.32 c	0.019 c
	23	8.7 bc	3.9	7.2 b-d	9.1 bc	3.2 b-d	46.5 a	100.6 b	3.7 cd	0.48 b	0.37 c	0.020 bc
	28	9.2 b	3.8	7.8 a-c	10.6 a	3.2 b-d	47.1 a	163.1 a	5.2 b	0.51 b	0.49 b	0.025 bc
F-test	A	***	NS	NS	NS	**	***	*	**	**	*	*
	B	***	NS	***	***	***	*	***	***	*	***	***
	A × B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zNS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

^yMean separation within columns according to Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

^{NS}, *, **, or *** : Nonsignificant or significant at $p < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

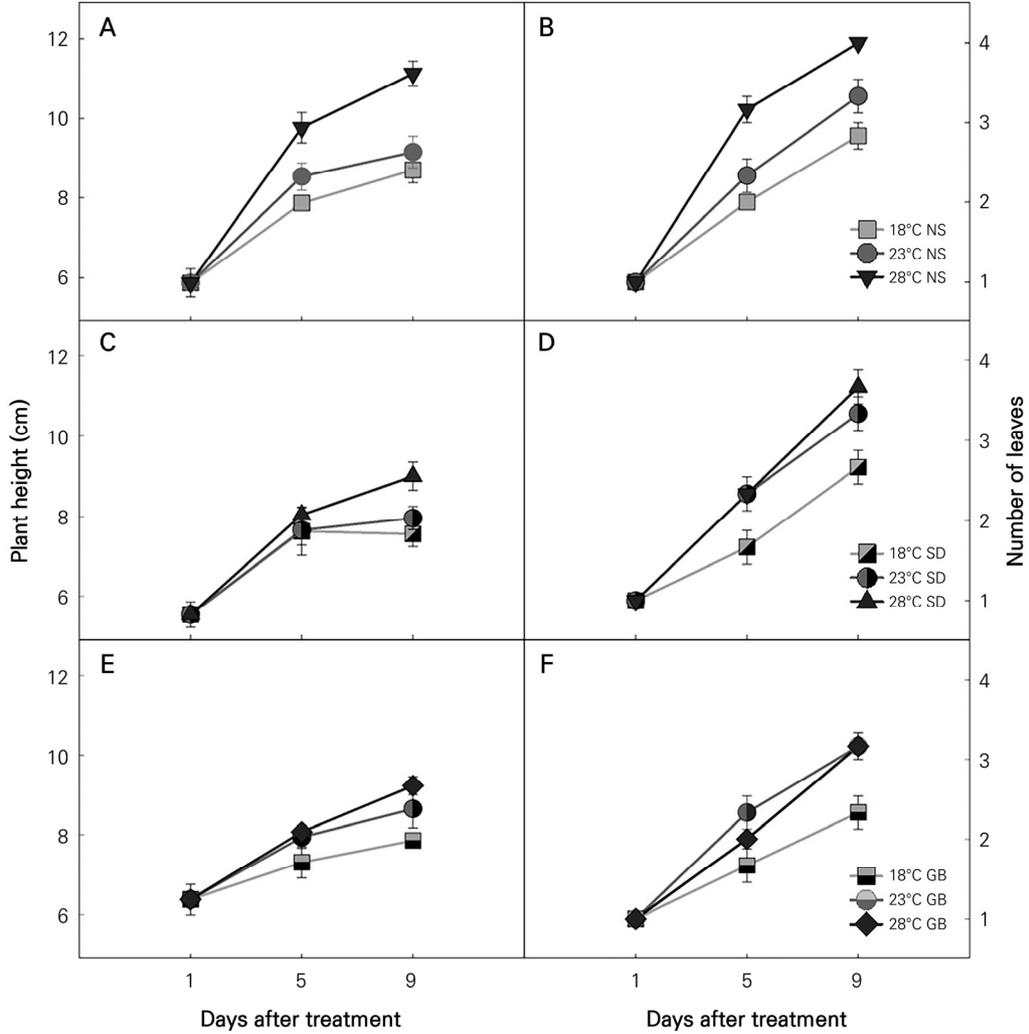


Fig. 5. Changes in plant height (A, C, E) and number of leaves (B, D, F) as affected by different air temperatures during Experiment 1: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6).

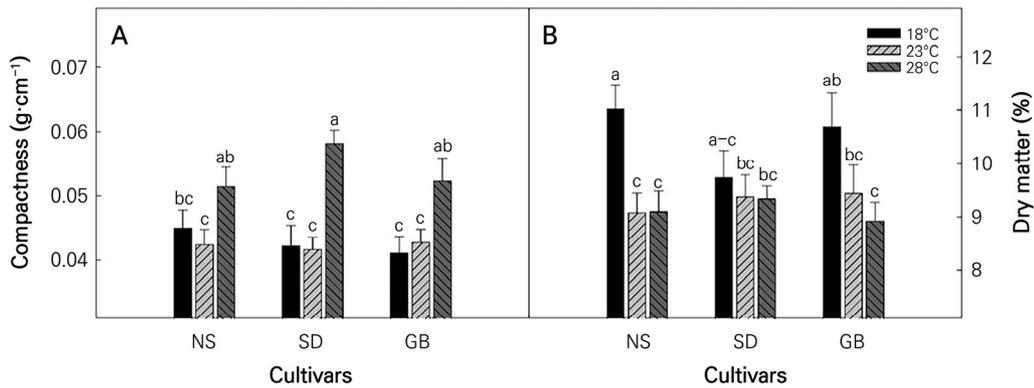


Fig. 6. Compactness (A) and dry matter (B) outcomes of grafted cucumber seedlings as affected by different air temperatures 9 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6). Different letters indicate significant differences based on Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

로, 높은 건물물은 식물체 내에서 수분을 제외한 무기물이 많이 축적된 것을 의미한다. 이에 따라, 일반적으로 높은 건물물을 고품질의 묘소질 지표로 추론하고 있다(Jang et al., 2019). 하지만, 본 연구에서 모든 품종은 온도가 높아질수록 건물물이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6B). 이는 낮은 온도에서 오이의 생육이 억제되었기 때문으로 판단된다. 뿌리 생육의 억제는 물과 양분의 흡수를 감소시키며(Giri et al., 2017), 이로 인해 생체중이 감소할 수 있다. 본 연구에서는 온도가 낮아질수록 모든 품종의 뿌리 생육이 억제되었다(Fig. 4). 낮은 온도에서 억제된 뿌리 생육은 생체중의 유의적인 감소를 유발하여(Table 1), 건물물이 증가한 것으로 해석된다. 따라서 ‘NS’, ‘SD’, 그리고 ‘GB’ 품종 모두 생육 속도가 빠르고 충실도가 높은 28°C에서 오이를 육묘하는 것이 고품질의 접목묘를 생산하기에 적합한 온도로 확인된다.

야간온도에 따른 오이 접목묘 생육(실험 2)

지하부 생육

모든 품종의 지하부 건물중은 야간온도에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Figs. 7 and 8A). 또한, 야간온도의 증감에 따른 ‘NS’와 ‘SD’의 근장, 근단 수, 그리고 평균 근경에 대한 뚜렷한 상관관계는 찾을 수 없었으나, 두 품종 모두 15°C에서 근장과 근단 수가 낮고 평균 근경은 높은 경향을 보였다(Fig. 8B, 8C, and 8D). 반면, ‘GB’는 야간온도가 높아질수록 근장과 근단 수가 증가하고 평균 뿌리 직경은 감소하는 경향을 보였다. 광합성을 통해 생성된 동화산물은 줄기, 뿌리 등의 기관으로 전류되며, 전류된 동화산물은 호흡을 통해 생육에 필요한 에너지로 전환되어 작물의 생육에 이용된다(Byeon et al., 2014). 이러한 동화산물의 전류 속도와 호흡량은 온도에 밀접한 영향을 받는다(Posch et al., 2019). 고온으로 갈수록 전류 속도와 호흡량이 증가하고 저온으로 갈수록 억제되는 경향을 보인다(Posch et al., 2019). 본 연구에서 ‘NS’와 ‘SD’가 낮은 야간온도에서 동화산물의 전류속도가 느려져 근장과 근단 수 등의 지하부 발달이 억제된 것으로 판단된다. 반면, 높은 야간온도에서는 지하부 발달은 촉진되었으나, 호흡량의 증가로 인해 건물중이 감소하여 야간온도 처리 간의 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 고려된다. Yudina et al. (2022)은 호흡의 증가가 상추의 건물중을 감소시킨다고 보고하였다. 다른 품종과는 다르게 ‘GB’의 경우 온도가 높아짐에 따라 근장과 근단 수가 증가하고 근경은 감소하는 경향을 보이며 지하부의 발달이 촉진되는 경향을 보였다.

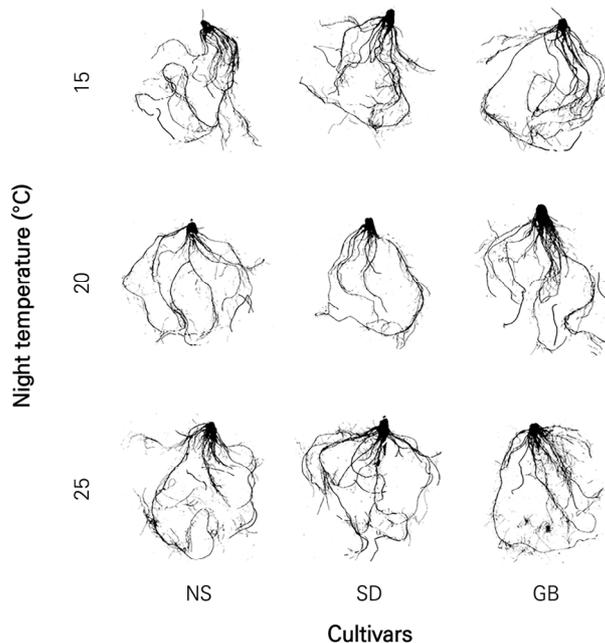


Fig. 7. Root morphology of grafted cucumber seedlings as affected by different night temperatures 8 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

지상부 생육

‘NS’와 ‘SD’는 야간온도가 높아질수록 초장과 엽면적이 증가하는 경향을 보였으나, SPAD는 야간온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 또한, 지상부의 건물중은 15°C에서 높은 경향을 보였다(Table 2). 반면, ‘GB’는 야간온도가 높아짐에 따

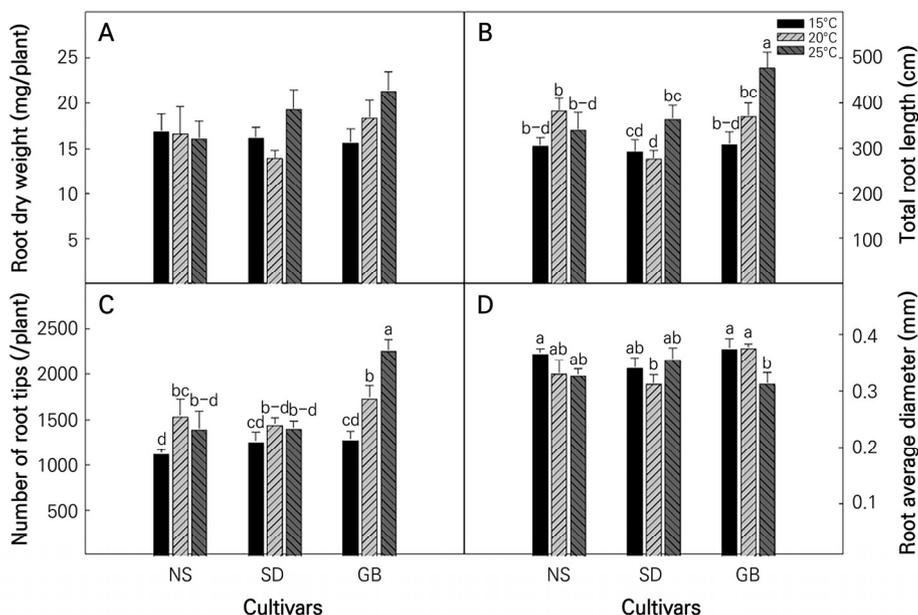


Fig. 8. Root dry weight (A), total root length (B), number of root tips (C), and root average diameter (D) of grafted cucumber seedlings as affected by different night temperatures 8 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6). Different letters indicate significant differences based on Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

Table 2. Growth characteristics of grafted cucumber seedlings as affected by different night temperatures 8 days after treatment (n = 6)

Cultivar ^z (A)	Night temperature (°C) (B)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	SPAD	Leaf area (cm ²)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
									Shoot	Root	Shoot	Root
NS	15	9.2 bc ^y	4.2	8.6 bc	10.5 bc	3.8 a-c	43.9 bc	129.4 bc	6.0 ab	0.35 ab	0.47 a	0.017
	20	10.4 a	4.3	8.6 bc	10.2 c	4.2 a	40.7 cd	151.0 ab	6.6 a	0.35 ab	0.43 ab	0.017
	25	10.5 a	4.2	8.1 c	10.4 bc	4.0 ab	39.9 d	139.0 ab	6.1 ab	0.34 ab	0.40 ab	0.016
SD	15	8.6 bc	4.1	8.3 bc	9.4 d	3.8 a-c	49.8 a	114.5 cd	5.4 bc	0.30 ab	0.46 ab	0.016
	20	8.8 bc	3.6	8.7 bc	8.7 d	3.5 bc	44.2 bc	101.5 d	4.9 c	0.24 b	0.36 b	0.014
	25	9.4 b	3.9	10.6 a	10.8 a-c	3.7 a-c	44.8 b	160.7 a	6.3 ab	0.40 a	0.48 a	0.019
GB	15	8.4 c	4.0	9.0 b	9.3 d	2.7 d	44.3 bc	101.8 d	5.1 c	0.38 a	0.40 ab	0.016
	20	9.2 bc	4.2	11.2 a	11.5 a	3.3 c	44.7 bc	149.4 ab	6.2 ab	0.41 a	0.49 a	0.019
	25	8.6 bc	4.0	11.1 a	11.0 ab	3.7 a-c	45.2 b	144.5 ab	6.2 ab	0.40 a	0.46 a	0.021
F-test	A	***	NS	***	***	***	***	*	*	*	NS	NS
	B	**	NS	***	***	NS	*	***	*	NS	NS	NS
	A × B	NS	NS	***	***	*	NS	***	**	NS	*	NS

^zNS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi.

^yMean separation within columns according to Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

NS, *, **, or ***: Nonsignificant or significant at $p < 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

라 초장은 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 엽수, SPAD, 엽면적, 그리고 생체중이 증가하는 경향을 보였다. 높은 야간온도는 작물의 호흡을 촉진하고, 탄수화물의 함량을 감소시킨다(Loka and Oosterhuis, 2010; Alsamir et al., 2021). Jang et al. (2019)은 야간온도가 높아질수록 어린 오이 묘의 초장이 증가하는 경향을 보이나, 건물중의 차이는 크지 않았다고 보고하였다. 본 연구의 결과에서도 ‘NS’와 ‘SD’는 높은 야간온도에서 초장과 엽면적이 증가하였고, 이는 높은 야간온도에서 전류가 촉진되었기 때문으로 판단된다. 반면, 야간온도에 따른 건물중의 유의적인 차이는 없었고 이는 호흡량의 증가로 인한 탄수화물 소비가 증가하였기 때문으로 추론된다. 한편, SPAD는 단위 면적당 엽록소 함량을 나타내는 지표로, Liu et al. (2019)과 Alsamir et al. (2021)은 고온 및 저온과 같은 비생물적 스트레스는 엽록소 함량을 감소시킨다고 보고하였다. Liu et al. (2019)은 야간온도 15°C에서 약용작물의 생육이 가장 양호하였으며 SPAD가 유의성 있게 높았음을 확인하였다. 본 연구에서는 ‘NS’와 ‘SD’가 야간온도 15°C에서 높은 SPAD를 보였고 생육에 적절한 온도로 확인된다. 그러나 ‘GB’는 야간온도가 높아짐에 따라 생육이 촉진되고 SPAD 또한 증가하는 경향을 보여 품종 특성상 생육적온이 높은 것으로 평가된다.

묘소질

‘NS’의 충실도는 15°C에서 유의적으로 높았고, ‘SD’는 15°C와 25°C에서 높았다(Fig. 9A). 또한, ‘NS’와 ‘SD’의 건물물은 15°C에서 유의성 있게 높았다(Fig. 9B). 반면, ‘GB’는 야간온도가 높아짐에 따라 충실도가 증가하는 경향을 보였고(Fig. 9A), 건물물은 야간온도 처리 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 9B). ‘NS’와 ‘SD’는 15°C에서 충실도가 높았는데, 이는 야간온도에 따른 지상부 건물중의 유의적인 차이는 없었으나 15°C에서 초장이 짧았기 때문으로 추론된다(Table 2). 반면 ‘GB’는 야간온도에 따른 초장의 유의적인 차이가 없었으나 지상부 건물중이 증가하는 경향을 보여(Table 2), 야간온도가 높아질수록 충실도가 증가한 것으로 해석된다. ‘NS’와 ‘SD’는 생체중 대비 건물중이 높았고(Table 2), 그에 따라 15°C에서 건물물이 높은 것으로 고려된다. 반면 ‘GB’는 온도가 높아짐에 따라 생체중과 건물중 모두 증가하는 경향을 보여 건물물의 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 높은 야간온도는 작물의 호흡을 증가시키는 반면, 낮은 야간온도는 호흡으로 인한 동화산물의 소모를 억제하여 작물의 품질을 향상시킬 수 있다(Byeon et al., 2014). 본 연구에서도 ‘NS’와 ‘SD’는 낮은 야간온도에서 충실도와 건물물이 증가하였고, 고품질의 묘를 생산할 수 있을 것으로 평가된다. 반면, ‘GB’는 야간온도가 높아질수록 충실도가 증가하는 경향을 보여, 품종 특성상 높은 야간온도에서 강건한 묘를 생산할 수 있을 것으로 확인된다.

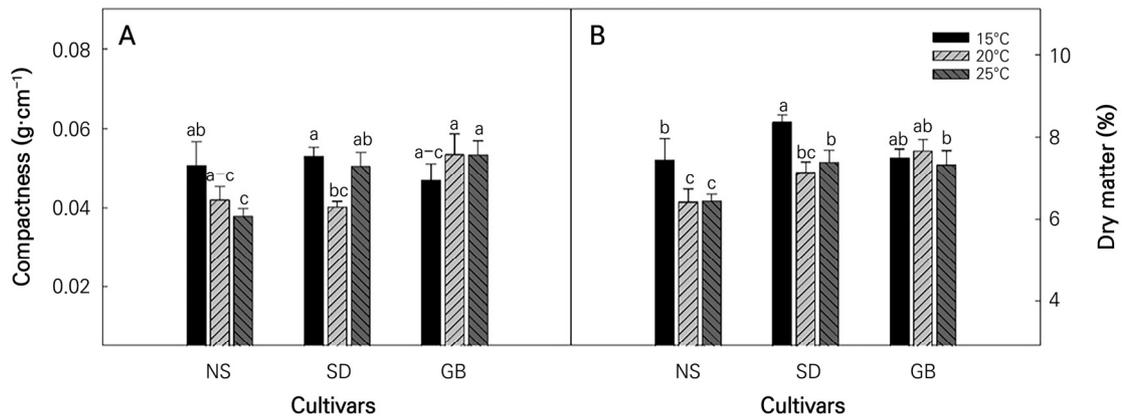


Fig. 9. Compactness (A) and dry matter (B) outcomes of grafted cucumber seedlings as affected by different night temperatures 8 days after treatment: NS, NakWonSeongcheongjang; SD, Sinsedae; and GB, Goodmorning backdadagi. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6). Different letters indicate significant differences based on Duncan’s multiple range test at $p < 0.05$.

결론

온도는 식물의 성장과 발달에 중요한 환경요소로, 생육 적온을 벗어난 고온 또는 저온에 노출된 작물은 광합성량의 감소와 호흡의 증가로 인해 생육 저하 등 부정적 영향을 받는다(Thingnaes et al., 2003; Alsamir et al., 2021). 실험 1의 결과, 모든 품종은 28°C에서 오이 접목묘의 근장과 근단수 그리고 건물중이 증가하며 지하부 발달이 촉진되었고, 그에 따라 지상부의 생육도 촉진되어 육묘 기간을 효과적으로 단축할 수 있었다. 따라서 28°C는 활착 후 오이 접목묘 재배에 적절한 온도로 확인된다. 실험 2의 결과, 적정 야간온도는 품종별로 상이하였다. ‘NS’와 ‘SD’는 15°C의 야간온도에서 호흡이 억제되어 지하부와 지상부에서의 동화산물 소모가 억제되었고, 묘의 품질이 우수하였다. 묘소질이 우수한 모종은 정식 후 작물의 생육과 품질 그리고 과실 수량 등에 긍정적인 영향을 미치기 때문에(Markovic et al., 2000; Choi et al., 2002), 정식 후의 생육을 고려하였을 때 ‘NS’와 ‘SD’는 야간온도 15°C가 고품질의 묘를 생산할 수 있는 적절한 야간온도인 것으로 해석된다. 반면, ‘GB’는 야간온도 25°C에서 생육이 유의적으로 촉진되었고, 품질 또한 우수하였다. 이는 품종 특성상 생육적온이 다르기에 나타난 결과로 판단된다. 따라서 접목 후 오이 접목묘의 적정 주야간 온도는 ‘NS’와 ‘SD’는 28/15°C, ‘GB’는 28/25°C인 것으로 평가된다.

초록

본 연구는 온도에 따른 오이 접목묘의 품종별 생육 특성을 조사하고, 접목 활착 후 적정 주야간온도를 구명하기 위해 수행되었다. 오이(*Cucumis sativus* L.) 접수는 낙원성청장(NakWonSeongcheongjang, NS), 신세대(Sinsedae, SD), 그리고 굿모닝백다다기(Goodmorning backdadagi, GB) 품종이 사용되었으며, 박과 대목인 흑종호박(*Cucurbita ficifolia* ‘Heukjong’)에 접목되었다. 실험 1은 온도에 따른 생육 특성을 조사하여 적절한 주간온도를 구명하기 위해 수행되었고, 온도는 각각 18, 23, 그리고 28°C(24h)로 설정하였다. 실험 2는 야간온도에 따른 생육 특성을 조사하였다. 실험 1의 결과를 토대로, 주간온도는 생육이 가장 양호하였던 28°C로 고정된 후, 야간온도를 각각 15, 20, 그리고 25°C(12/12h)로 설정하였다. 지하부와 지상부의 생육은 모든 품종에서 온도가 28°C였을 때 촉진되었고, 육묘 기간을 효과적으로 단축시킬 수 있었다. 반면에, 적정 야간온도는 품종별로 유의적인 차이가 나타났다. ‘NS’와 ‘SD’는 야간온도 15°C에서 호흡이 억제되어 초장과 엽면적이 유의적으로 감소하였고, 지상부의 건물중이 증가하였다. 또한, 15°C에서 묘의 품질이 우수하였다. 반면, ‘GB’의 생육은 25°C에서 유의적으로 촉진되었고, 품질 또한 우수하였다. 따라서 접목 후 오이 묘의 적정 주야간 온도는 ‘NS’와 ‘SD’는 28/15°C, ‘GB’는 28/25°C인 것으로 판단된다.

추가 주요어 : *Cucumis sativus*, 건물중, 호흡, 지하부생육, 묘소질

Literature Cited

- Alsamir M, Mahmood T, Trethowan R, Ahmad N (2021) An overview of heat stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Saudi J Biol Sc 28:1654-63. doi:10.1016/j.sjbs.2020.11.088
- An SW, Bae JH, Kim HC, Kwack Y (2021) Production of grafted vegetable seedlings in the republic of Korea: achievements, challenges and perspectives. Hortic Sci Technol 39:547-559. doi:10.7235/HORT.20210049
- Byeon JY, Yun SJ, Lee IJ, Kim DS (2014) Growth and development of plant. Samgo Physiology of crop plants. Ed 3, Vol 1. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 145-328
- Choi YH, Cho JL, Rhee HC, Park DK, Kwon JK, Lee JH (2002) Effect of summer grown seedling quality on growth and yield of tomato. J Kor Soc Hortic Sci 43:395-398
- Ge ZM, Zhou X, Kellomäki S, Biasi C, Wang KY, Peltola H, Martikainen PJ (2012) Carbon assimilation and allocation (¹³C labeling) in a boreal perennial grass (*Phalaris arundinacea*) subjected to elevated temperature and CO₂ through a growing season. Environ Exp Bot 75:150-158. doi:10.1016/j.envexpbot.2011.09.008

- Giri A, Heckathorn S, Mishra S, Krause C (2017) Heat stress decreases levels of nutrient-uptake and -assimilation proteins in tomato roots. *Plants* 6:6. doi:10.3390/plants6010006
- Jang YA, An SW, Chun H, Lee HJ, Wi SH (2019) The growth of cucumber seedlings grown in paper pot trays affected by nutrient management during seedling period, seedling age, and night temperature after transplanting. *J Bio-Environ Control* 28:396-403. doi:10.12791/KSBEC.2019.28.4.396
- Jeong HW, Lee HR, Kim JY, Kim GG, Na CI, Hwang SJ (2021) Assessment of growing media and fertigation for production of root pruning splice-grafted cucumber seedlings. *Hortic Sci Technol* 39:294-304. doi:10.7235/HORT.20210026
- Jo HG, Jeong HW, Lee HR, Kwon SM, Hwang HS, Hwang SJ (2021) Growth of tomato and pepper grafted plug seedlings under different shading condition during acclimatization after graft-taking. *J Bio-Environ Control* 30:10-18. doi:10.12791/KSBEC.2021.30.1.010
- Jun HJ, Hwang JG, Son MJ, Choi DJ (2008) Effect of root zone temperature on root and shoot growth of strawberry. *J Bio-Environ Control* 17:14-19
- Kang BC, Ko HJ, Kwak TS, Kim KH, Kim BS, Kim YK, Kim YC, Kim W, Kim JH et al. (2010) Breeding and thremmatology. Singo Plant breeding. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 21-31
- Kang YI, Kwon JK, Park KS, Choi, Roh MY, Cho MW, Kim DY, Kang NJ (2012) Changes in tomato growth and productivity under different night air temperatures. *J Agric Biol Sci* 46:25-31
- Kim EA, Lee JH, Nam SY (2024) Experimental control of day and night temperatures to improve the growth and external quality of *salvia miltiorrhiza* bunge. *Hortic Sci Technol* 42:94-103. doi:10.7235/HORT.20240008
- Lee JM, Kubota C, Tsao SJ, Bie Z, Hoyos Echevarria P, Morra L, Oda M (2010a) Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. *Sci Hortic* 127:93-105. doi:10.1016/j.scienta.2010.08.003
- Lee YB, Jun HJ, Son JE, Kang HM, Kim YS, Kim YH, Kim IS, Nam SW, Park KW et al. (2010b) Environmental characteristics and cultivation management within the facility. Singo Protected horticulture. Hyangmoonsa, Seoul, Korea, pp 122-128
- Liu Y, Ren X, Jeong BR (2019) Night temperature affects the growth, metabolism, and photosynthetic gene expression in *Astragalus membranaceus* and *Codonopsis lanceolata* plug seedlings. *Plants* 8:407. doi:10.3390/plants8100407
- Loka DA, Oosterhuis DM (2010) Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. *Environ Exp Bot* 68:258-263. doi:10.1016/j.envexpbot.2010.01.006
- Markovic V, Djurovka M, Ilin Z, Lazic B (2000) Effect of seedling quality on yield characters of plant and fruits of sweet pepper. *Acta Hortic* 533:113-120. doi:10.17660/ActaHortic.2000.533.12
- Nicola S (1998) Understanding root systems to improve, seedling quality. *HortTechnology* 8:544-549. doi:10.21273/HORTTECH.8.4.544
- Oh SY, Moon KH, Shin M, Lee SE, Koh SC (2022) Growth and productivity of radish (*Raphanus sativus* var. *hortensis*) under different day/night temperatures. *Hortic Sci Technol* 40:168-178. doi:10.7235/HORT.20220016
- Papadopoulos AP, Hao X (2000) Effects of day and night air temperature on growth, productivity and energy use of long English cucumber. *Can J Plant Sci* 80:143-150. doi:10.4141/P99-021
- Posch BC, Kariyawasam BC, Bramley H, Coast O, Richards RA, Reynolds MP, Trethowan R, Atkin OK (2019) Exploring high temperature responses of photosynthesis and respiration to improve heat tolerance in wheat. *J Exp Bot* 70:5051-5069. doi:10.1093/jxb/erz257
- Rural Department Administration (RDA) (2012) Analysis standard for research in agricultural science and technology. Rural Department Administration, Suwon, Korea, pp 504
- Rural Department Administration (RDA) (2021) Cucumber. Rural Department Administration, Jeonju, Korea, pp 14-77
- Statistics Korea (2023) Agricultural production survey statistical information report. Available via https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?o rgId=101&tblId=DT_1ET0027&conn_path=12 Accessed 22 September 2023
- Tan LP, He J, Lee SK (2002) Effects of root-zone temperature on the root development and nutrient uptake of *Lactuca sativa* L. 'Panama' grown in an aeroponic system in the tropics. *J Plant Nutr* 25:297-314. doi:10.1081/PLN-100108837
- Thingnaes E, Torre S, Ernstsen A, Moe R (2003) Day and night temperature responses in *Arabidopsis*: Effects on gibberellin and auxin content, cell size, morphology and flowering time. *Ann Bot* 92:601-612. doi:10.1093/aob/mcg176
- Yudina L, Sukhova E, Mudrilov M, Nerush V, Pecherina A, Smirnov AA, Dorokhov AS, Chilingaryan NO, Vodeneev V et al. (2022) Ratio of intensities of blue and red light at cultivation influences photosynthetic light reactions, respiration, growth, and reflectance indices in lettuce. *Biology* 11:60. doi:10.3390/biology11010060
- Zhang CH, Chun IJ, Park YC, Kim IS (2003) Effect of timings and light intensities of supplemental red light on the growth characteristics of cucumber and tomato plug seedlings. *J Bio-Environ Control* 12:173-179
- Zhao X, Kubota C (2015) Vegetable Grafting International Field Trip Report - Part I: Taiwan and Japan. Available via <http://www.vegetablegrafting.org/wp/wp-content/uploads/2013/12/Vegetable-Grafting-International-Field-Trip-Report-2015-Taiwan-and-Japan.pdf> Accessed 15 March 2021