

인공광 이용형 식물공장에서 주·야간 온도차가 고려엉귀 생육 및 생리활성화합물 함량에 미치는 영향

이혜리, 손다정, 이한수, 황정은, 진순우, 추영무*

Influence of DIF on Growth and Bioactive Compound Contents of *Cirsium setidens* (Dunn) Nakai in Plant Factory Using Artificial Light

Hye Ri Lee , Da Jeong Son , Han Su Lee , Chung Eun Hwang , Sun Woo Jin  and Young Moo Choo 

진주바이오산업진흥원 연구개발실

Development of Research, Jinju Bioindustry Foundation, Jinju 52839, Korea

* Correspondence: ychoo@jbio.or.kr

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.23>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 242-250

Received: September 6, 2024

Revised: October 8, 2024

Accepted: October 31, 2024

Published: December 5, 2024

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: This study was conducted to determine the appropriate various DIF (Difference between day and night temperature) for cultivating *Cirsium setidens* (Dunn) Nakai in a plant factory using artificial light. The *C. setidens* (Dunn) Nakai was grown under 4 temperature conditions [20/20(0DIF), 18/22(-4DIF), 22/18(+4DIF), 24/16(+8DIF)°C (light/dark)], and relative humidity 60±10%. The light conditions were set at a light intensity of 250±10 μmol/m²/s and a photoperiod of 12/12 hours (light/dark) with white LEDs. All treatment were supplied with Hoagland nutrient solution at EC 1.5 dS/m, pH 6.5±0.5 using a deep floating technique and a recycling system. In 22/18 and 24/16°C treatments, plant height, petiole length, and leaf length increased, but stem diameter and root diameter results were significantly lower. The results showed that plant height, leaf length, leaf number, leaf area, and the shoot-to-root (S/R) ratio were significantly higher in the 22/18°C treatment. Compared to the 20/20°C treatment, other treatments resulted in approximately 1.4 times higher fresh and dry weights of leaves and stems. The highest root fresh and dry weights were observed in the 18/22°C treatment, measuring 13.1 g and 1.0 g, respectively. The total phenol and total flavonoid content of *C. setidens* (Dunn) Nakai leaves showed significantly lower values at 24/16°C treatment. Therefore, in order to cultivate *C. setidens* (Dunn) Nakai in a plant factory using artificial light, controlling the temperature to 22/18 treatment is considered effective for shoot growth and contents of bioactive compound.

Keywords: Deep floating technique, DIF, Plant factory, Total flavonoid content, Total phenol content

서 언

엉귀속(*Cirsium* Miller)은 국화과(Asteraceae)로 다년초 식물로 전 세계적으로 분포하고 있다[1]. 엉귀속 식물은 생리활성이 뛰어난 apigenin, luteolin, myr-

icetin 등이 함유되었고[2,3], 항산화와 간 보호 효능 탁월하다고 알려져 있는 silymarin이 다량 함유되어 있다고 알려져 있다[4]. 국내에서 자생하는 엉겅퀴속에는 큰엉겅퀴(*Cirsium pendulum*), 바늘엉겅퀴(*C. rhinoceros* Nakai), 도깨비엉겅퀴(*C. schantarense*), 흰잎엉겅퀴(*C. vlassovianum*) 등이 있다[5]. 이 중 고려엉겅퀴(*C. setidens* (Dunn) Nakai)는 국화과의 다년생 초본식물로 ‘곤드레’라 불리기도 하며, 주로 강원도에서 재배되고 있다. 연한 잎과 줄기는 나물로도 이용되고, 특유의 향미가 있어 차나 다양한 요리로도 활용된다[6]. 한방에서는 봄에는 지상부를, 가을에는 지하부를 채취하여 간염, 혈뇨, 토혈 및 고혈압을 치료하는 약제로 사용해 왔다[7-9]. 뿐만 아니라 알코올에 의한 지방간 발생 및 간 손상 억제[10], 지방세포 분화 및 ROS (Reactive oxygen species)의 생성을 억제하는 항비만 효능[11] 등의 다양한 효능이 연구되고 있다. 하지만 고려엉겅퀴 재배에 관한 환경조건 연구는 부족한 실정이다.

인공광 이용형 식물공장은 기후나 계절에 영향을 받지 않고 시설 내에서 광, 온도, 습도, 이산화탄소 등의 작물 생육에 필요한 환경조건을 인위적으로 제어하여 작물을 재배할 수 있는 시스템이다[12-14]. 식물공장에서는 작물을 재배하는 경우 환경조건에 구애받지 않고 종자 발아부터 수확까지의 작물 생산과정을 자동화할 수 있으며, 농산물의 주년화가 가능하여 안정적인 공급이 가능하다. 또한, 농작물 생산증대를 위해서는 보다 많은 면적의 토지가 필요하지만, 식물공장은 좁은 면적의 건물에서 다단으로 작물 재배가 가능하고 외부 환경에 영향을 받지 않기 때문에 균일한 품질의 농산물 생산이 가능하다[15]. 하지만 식물공장은 생산비용 부담이 높은 문제를 가지고 있어 단가가 낮은 작물보다는 고부가가치 작물이나 천연소재 작물 발굴과 정밀한 환경 제어 기술에 대한 요구도가 높아지고 있다[16,17].

다양한 재배환경 요소 중 온도는 세포에서 기관까지 작물의 다양한 생리작용에 영향을 끼쳐 작물의 광합성, 생육과 발달 속도에 영향을 줄 뿐만 아니라 수확량과 수확 품질에도 관련이 있다[18,19]. 일평균 온도 또는 적산 온도뿐만 아니라 주·야간의 온도변화는 작물의 생육과 발달 조절에 관여한다. 주간과 야간온도의 차이(주간 평균온도 - 야간 평균온도)를 DIF (Difference between day and night temperature)라 하며, 주간과 야간의 평균온도가 동일하게 유지되면 DIF 값은 0, 주간 평균온도가 높으면 +DIF, 야간 평균온도가 높으면 -DIF 값으로 나타낼 수 있다. +DIF 값일 때는 절간 생육 속도와 바이오매스를 증가시키고 -DIF 값은 초장이 억제되어 축소된 형태의 생장이 발생한다고 알려져 있다[20-23]. 주간 높은 온도는 광합성과 합성 물질의 전류가 촉진되고 야간의 온도가 높으면 호흡률이 증가하기 때문에 동화물질의 축적을 높이기 위해서는 야간의 온도를 낮게 유지해 호흡률을 낮추는 것이 중요하지만[22,24], 너무 낮은 야간온도에서는 장애가 발생하기 때문에 적절한 주·야간 온도 차로 제어하는 것은 작물 생육에 중요하다.

따라서 본 연구에서는 인공광 이용형 식물공장에서 고부가가치 작물인 고려엉겅퀴를 재배하기 위해 적정 주·야간 온도 차를 구명하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험 재료와 재배 환경

페트리 디쉬에 필터 페이터를 깔고 고려엉겅퀴 종자(*C. setidens* (Dunn) Nakai; Danong Co. Ltd., Dongducheon, Korea)를 치상하였고, 건조하지 않도록 증류수를 보충해 주었다. 식물생장상(JSPC-420C, JS Research Inc., Gongju, Korea)에서 형광등하에서 온도 $20\pm1^{\circ}\text{C}$, 광주기 12/12시간(주간/야간)으로 광도계(HD2101.1, Delta OHM Co. Ltd., Padova, Italy)를 이용하여 광합성 광량자속밀도(Photosynthetic photon flux density, PPFD) $200\pm10\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ 으로 발아 환경을 설정하였다. 발아된 종자는 우레탄 스펀지(Hydroponic Sponge, Easyhydro Co. Ltd., Chuncheon, Korea)에 이식하여 발아환경과 동일하게 육묘하였다. 본엽이 2매 이상 출현한 고려엉겅퀴 묘를 인공광 이용형 식물공장에 재순환 담액식 수경재배방식으로 정식하였고, 또한, 해발고도가 높고 pH, 유기물 함량, C.E.C (양이온치환능)이 높은 환경에 분포하는 특성을 고려하여[25], Hoagland 양액[26]을 변형하여($(\text{CaNO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 236.15, KNO_3 151.65, KNO_3 75.83, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 28.76, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 123.2, Fe-EDTA 10.53, H_3BO_3 0.72, $\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.1, $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.06, $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.02, $\text{Na}_2\text{MoO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g/L, pH 6.5, EC 1.5 dS/m¹)로 40일간 재배하였다. 재배 조건은 CO_2 농도 $500\pm50\ \mu\text{mol}/\text{mol}^1$, 상대습도 $60\pm5\%$ 이며, White LEDs를 하에서 광주기 12/12시간(주간/야간) 및 광도 $250\pm10\ \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$ PPFD로 설정하였다.

주·야간 온도 차 처리

주·야간 온도 차 처리는 대조구인 0DIF [20/20°C(주간 12시간/야간 12시간)]이며, 시험구인 -4DIF [18/22°C(주간 12시간/야간 12시간)], +4DIF [22/18°C(주간 12시간/야간 12시간)] 및 +8DIF [24/16°C(주간 12시간/야간 12시간)]로 모든 온도 처리구는 재배기간의 적산 온도가 주·야간 온도 차 처리에 영향을 끼치지 않도록 하기 위해 일평균 온도가 20°C로 동일하게 처리하였다(Fig. 1).

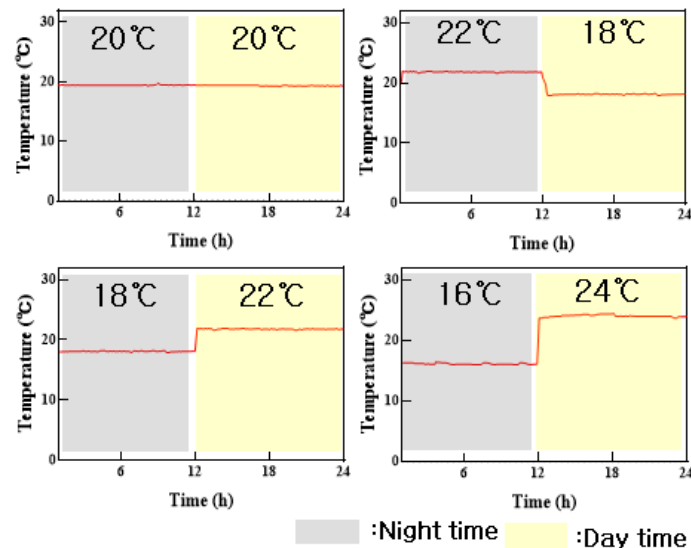


Fig. 1. The set point for various DIF (Difference between day and night temperature) with the same average diurnal temperature of 20°C (Night: 00:00-12:00, Day: 12:00-24:00).

생육 조사

주·야간 온도 차 처리에 따른 고려엉겅퀴의 생육은 초장, 엽장, 엽폭, 엽병장, 최대근장, 엽수를 조사하였다. 초장은 지제부부터 생장점까지 측정하였고, 엽장, 엽폭 및 엽병장은 신엽을 기준으로 4번째 잎을 측정하였다. 최대근장은 뿌리 중 가장 긴 뿌리의 길이를 기준으로 측정하였으며, 엽수는 완전히 전개된 잎의 개수를 육안으로 세었다. 또한, 관부직경과 근경은 버니어캘리퍼스(CD-20DPX, Mitutoyo Co. Ltd., Japan)로 측정하였다. 잎, 줄기, 뿌리의 생체중은 전자저울(AB204-S, Mettler Toledo, Switzerland)을 이용하여 측정하였고, 건물중은 시료를 65°C 열풍건조기(JS-OV-324, Johnsam Corp., Bucheon, Korea)에서 72시간 건조한 후 전자저울을 이용하여 측정하였다. 엽면적은 Image J 소프트웨어(National institutes of health, Bethesda, MD, USA)를 사용하여 조사하였다. 비엽면적(SLA, specific leaf area), S/R율, 엽형지수(leaf shape index), 엽면적율(LAR, leaf area ratio)은 아래의 공식으로 계산하였다.

$$SLW \text{ (cm}^2\text{/g)} = \text{leaf area (cm}^2\text{)} / \text{dry weight of leaf (g)} \quad \text{식 (1)}$$

$$S/R\text{율} = \text{shoot dry weight} / \text{root dry weight} \quad \text{식 (2)}$$

$$\text{Leaf shape index} = \text{leaf length} / \text{leaf width} \quad \text{식 (3)}$$

$$LAR \text{ (cm}^2\text{/g)} = \text{leaf area (cm}^2\text{)} / \text{total dry weight (g)} \quad \text{식 (4)}$$

총 페놀 및 총 플라보노이드 함량

총 페놀 함량과 총 플라보노이드 함량 측정을 위해 고려엉겅퀴 잎을 65°C 열풍건조기에 건조한 후 분쇄하여 분석에 사용하였

다. 고려엉겅퀴의 총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을 일부 변형하여 분석하였다[27]. 시료 1 g에 5 mL의 80% (v/v) 메탄올을 추가하여 실온에서 24시간 동안 진탕하고, 10,000 rpm으로 10분간 원심분리시킨 후 상층액을 이용하였다. 증류수 900 µL와 50% (v/v) Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich, MO, USA) 500 µL, 2.5% Na₂CO₃ 1 mL의 혼합물에 추출물 100 µL를 넣고 vortex mixer (Vortex-genie 2, Scientific Industries Inc., USA)로 2초간 섞은 후 암조건에서 40분간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료는 분광광도계 (Libra S22, Biochrom Ltd., UK)를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 고려엉겅퀴의 총 페놀 함량은 건물 g당 gallic acid (mg)로 표현하였다.

고려엉겅퀴의 총 플라보노이드 함량은 Kumaran and Karunakaran[28]의 방법을 일부 변형하여 분석하였고, 시료의 추출 방법은 총 페놀 함량 분석과 동일하게 수행하였다. 80% 메탄올 900 µL와 2% AlCl₃ 1 mL의 혼합물에 추출물 100 µL를 넣고 vortex mixer로 2초간 섞은 후 30분간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료는 분광광도계를 이용하여 415 nm에서 흡광도를 측정하였고, 총 플라보노이드 함량은 건물 g당 quercetin (mg)으로 표현하였다.

통계분석

실험구 배치는 완전 임의배치 3반복으로 하였고, 반복당 5주씩 정식하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA, analysis of variance)을 실시하였고, 평균 간 비교는 Duncan's 다중검정을 이용하였다. 그래프는 Prism 프로그램(Prism8, GraphPad Software, USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

각 20/20, 18/22, 22/18 및 24/16°C의 4가지 온도 조건으로 설정하여 처리구별 생육 특성을 비교한 결과는 Table 1과 같다. 고려엉겅퀴의 초장은 +DIF 처리구인 22/18과 24/16°C 처리구에서 19.2와 12.1 cm로 대조구보다 증가하였다. 엽장은 대조구보다 26/14°C 처리구에서 약 1.2배 길었으며, 엽폭은 처리 간에 유의적 차이가 없었다. 엽병장은 24/16°C 처리구에서 6.3 cm로 가장 신장하였으며, 최대 근장은 모든 처리구가 유의적 차이를 보이지 않았다. 관부직경과 근경은 대조구와 비교하여 +DIF 처리구인 22/18과 24/16°C에서 두께가 얇은 경향을 보였다. 주·야간 온도 처리 후 고려엉겅퀴의 잎, 줄기 및 뿌리의 생체중과 건물중을 조사하였다(Table 2). 대조구와 비교할 때, 18/22, 22/18, 24/16°C 처리구의 잎 생체중은 각각 1.8, 1.6, 1.4배씩 증가하였고, 잎

Table 1. The growth characteristics of *Cirsium setidens* (Dunn) Nakai as grown under various DIF for 40 days after transplanting

Temperature (light/dark; °C)	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Crown diameter (mm)	Maximum root length (cm)	Root diameter (mm)
20/20	4.0 b ²	9.9 b	7.73 a	4.3 b	9.40 a	19.3 a	9.04 ab
18/22	7.2 b	10.3 ab	7.58 a	3.8 b	9.55 a	17.1 a	11.82 a
22/18	19.2 a	11.5 ab	7.18 a	4.1 b	7.65 b	19.9	7.77 b
24/16	12.1 ab	12.0 a	8.18 a	6.3 a	8.56 ab	19.4 a	7.74 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. The fresh and dry weights of leaf, stem, and root of *C. setidens* (Dunn) Nakai as grown under various DIF for 40 days after transplanting

Temperature (light/dark; °C)	Fresh weight (g)			Dry weight (g)		
	Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
20/20	12.0 bz	3.4 b	9.1 b	1.2 b	0.3 b	0.6 b
18/22	21.5 a	5.7 ab	13.1 a	2.1 a	0.5 ab	1.0 a
22/18	19.4 a	8.1 a	7.9 b	1.9 a	0.7 a	0.5 b
24/16	17.2 a	7.5 a	9.3 b	1.9 a	0.6 ab	0.6 b

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

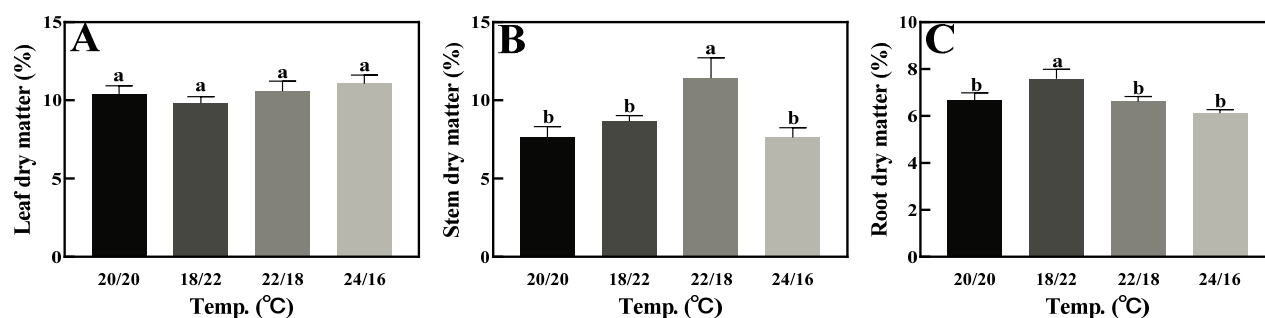


Fig. 2. The dry matter of leaf (A), stem (B), and root (C) of *C. setidens* (Dunn) Nakai as grown under various DIF for 40 days after transplanting.

Vertical bars indicate standard errors of the means (n=6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

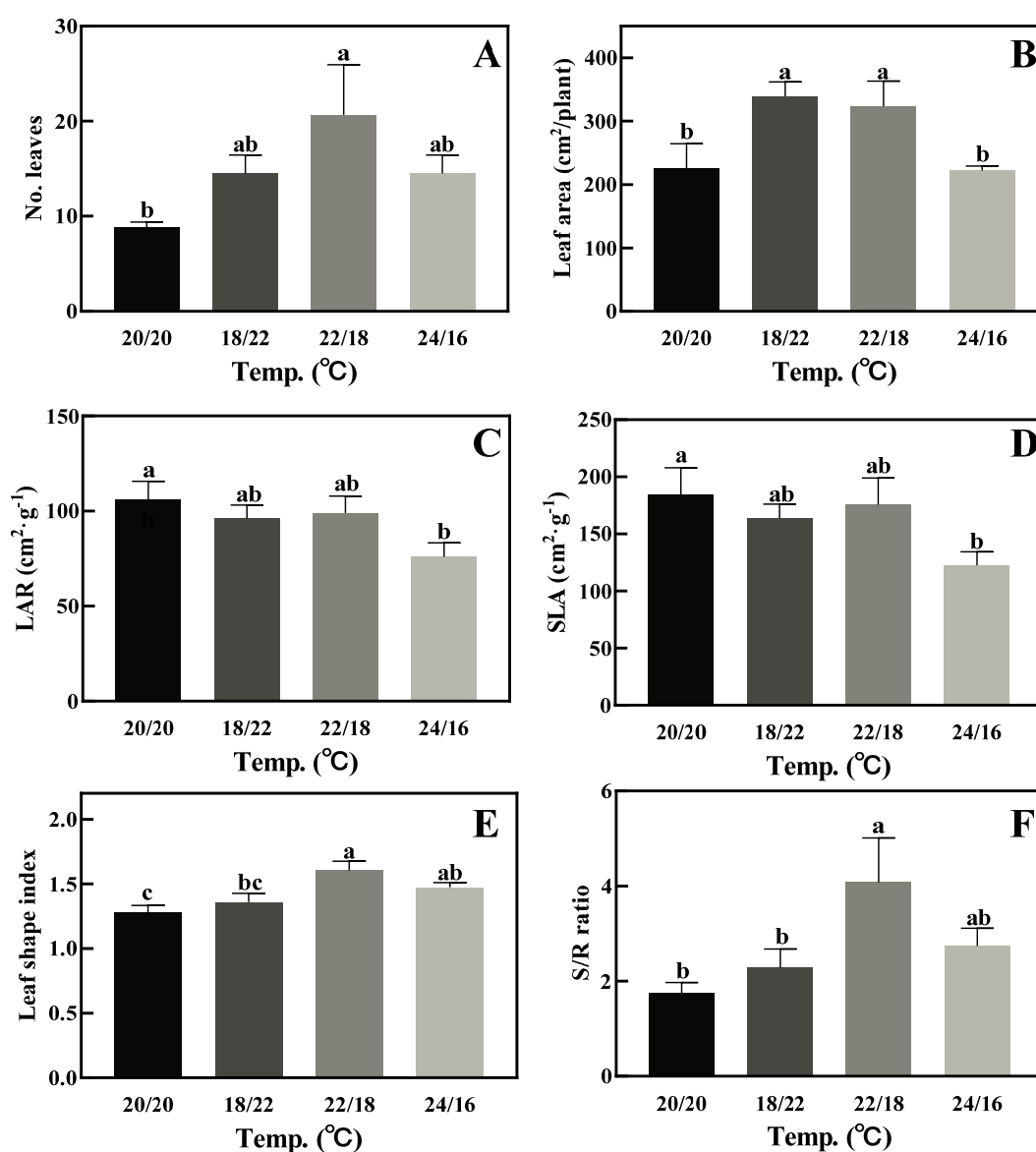


Fig. 3. The no. leaves (A), leaf area (B), LAR (C, leaf area ratio), SLA (D, specific leaf area), leaf shape index, and S/R ratio (F) of *C. setidens* (Dunn) Nakai as grown under various DIF for 40 days after transplanting.

Vertical bars indicate standard errors of the means (n=6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

건물중은 각각 1.8, 1.6, 1.6배씩 증가하였다. 22/18과 24/16°C 처리구의 줄기 생체중과 건물중은 대조구보다 증가하였고, 이는 이들 처리구가 대조구보다 초장이 증가했기 때문으로 판단된다(Table 1). 18/22°C 처리구의 뿌리 생체중과 건물중은 각각 13.1과 1.0 g으로 대조구보다 증가하였다. 주·야간 온도 차에 따른 건물물을 조사한 결과(Fig. 2), 잎은 처리구 간의 유의적인 차이가 없고, 줄기의 건물물은 22/18°C 처리구에서 11.4%로 높았으며, 뿌리의 건물물은 18/22°C 처리구에서 7.6%로 유의적으로 높은 경향을 보였다.

또한, 주·야간 온도 차에 따라서 고려엉겅퀴의 엽생장 특성이 달라지는 것을 확인하였다(Fig. 3). 22/18°C 처리구의 엽수와 엽면적은 대조구보다 각각 2.3과 1.4배씩 증대되었다. 총 건물중에 대한 엽면적 비율을 나타내는 LAR은 값이 클수록 식물체가 큰 수광면적을 가지고 있는 것을 의미하는데, 이는 주·야간 온도 차이가 나지 않는 20/20°C 처리구에서 106.0 cm²/g로 값이 높고 주·야간의 온도 차가 큰 24/16°C 처리구에서 75.9 cm²/g로 가장 낮은 경향을 나타냈다. 엽건물중에 대한 엽면적비율을 나타내는 SLA는 엽두께를 간접적으로 나타낸 것으로 값이 클수록 얇은 것을 의미하며, 엽면적과 LAR 값이 작았던 24/16°C 처리구에서 SLA 값이 가장 낮게 조사되었다. 엽형지수는 값이 작을수록 엽폭이 넓은 형태를 의미하며, 주·야간 온도 차이가 나지 않는 20/20°C 처리구에서 낮은 값을 나타냈다. S/R율은 지상부와 지하부의 건물중 비율로, 값이 클수록 지상부 생육이 발달한 것을 의미하고, 22/18°C 처리구에서 4.1로 가장 높아 지하부보다는 지상부에 광합성 산물의 분배가 상대적으로 많이 이루어진 것으로 판단된다.

주·야간 온도 차에 따른 건물 1 g당 총 페놀(Fig. 4A), +DIF 처리구인 22/18과 24/16°C에서 유의적으로 낮은 값을 보였으며, 건물 1 g당 총 플라보노이드 함량(Fig. 4C)도 24/16°C 처리구에서 1.77 mg/g으로 함량이 낮았다. 하지만 식물체당 총 페놀은 생육이 우수하였던 18/22와 22/18°C 처리구에서 함량이 대조구보다 각각 1.7배와 1.9배 높았다(Fig. 4B). 식물체당 총 플라보노이드 함량도 유사한 경향으로, 22/18°C 처리구에서 대조구보다 약 2배 증가된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4D).

온도는 식물의 광합성, 대사 및 발달에 있어 중요한 환경조건으로, 작물의 생육 적온 범위를 벗어난 저온이나 고온은 생육과 생산량 감소, 품질 저하 등이 초래될 수 있다. 일반적으로 노지는 주간 온도가 야간온도보다 높으며 식물은 이러한 온도변화에

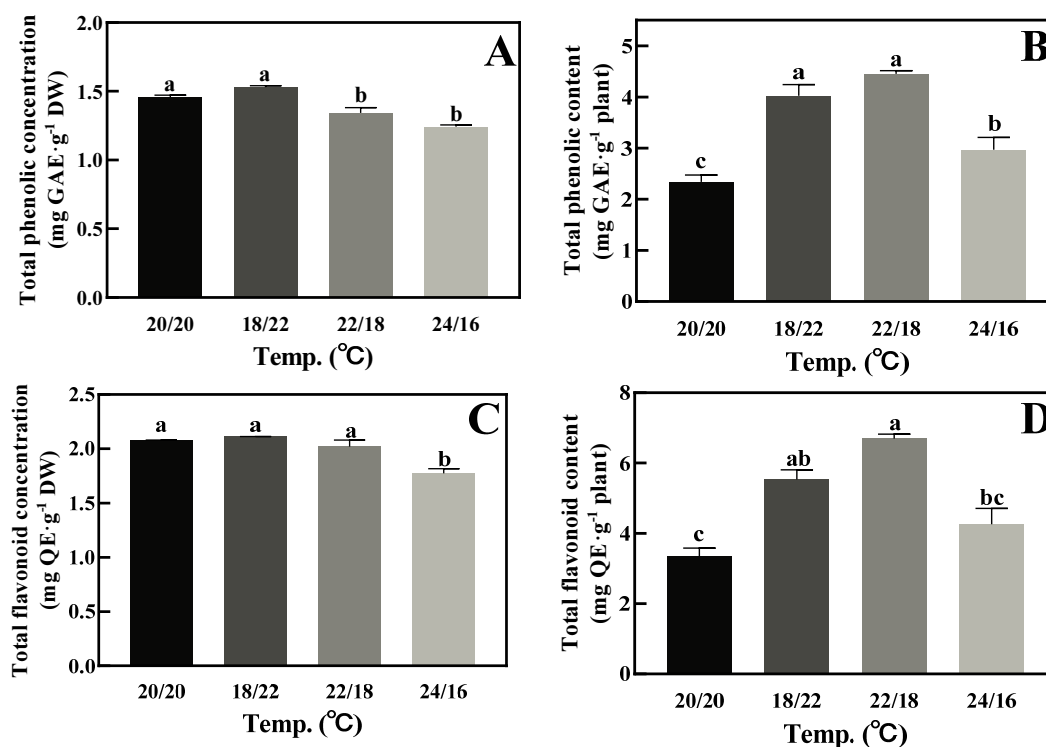


Fig. 4. The total phenolic and flavonoid concentrations per dry weight (A, C) and total phenolic and flavonoid contents per plant (B, D) of *C. setidens* (Dunn) Nakai as grown under various DIF for 40 days after transplanting.

Vertical bars indicate standard errors of the means (n=6). Within-graph means followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

반응하여 생장주기나 대사를 조절한다[29]. Niu et al.[30]의 연구와 같이, 주·야간 온도 차는 고려엉겅퀴의 생육과 생리활성화합물 함량에 영향을 주는 것으로 판단된다. +DIF 처리구인 22/18°C와 24/16°C 처리구에서 초장이 증가하고, 관부직경이 감소한 것은 [31]의 +DIF는 허브의 신장이 유도되고 줄기가 얇아진 결과와 일치했다. 또한, [32]의 연구에서도 +DIF 처리에서 도라지 뿌리의 생육이 억제됨을 보고하였고, 본 연구에서도 고려엉겅퀴의 지하부 생육과 S/R율을 비교했을 때 +DIF 처리구인 22/18과 24/16°C 처리구에서 지하부 생육이 억제됨을 확인하였다. 이전 연구에서 무처리구(0DIF)에 비해 DIF나 일중 온도 하강 처리에서 바질(*Ocimum basilicum* L.)과 레몬밤(*Melissa officinalis* L.)의 총 페놀 함량과 항산화 활성이 감소를 유도하였으며[33], 본 실험의 결과와 일치하였다. 하지만 잔대(*Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC.) 묘의 총 페놀과 플라보노이드 함량은 DIF 처리구에서 증가되었다[34]. 이는 온도에 대한 작물 간의 반응 차이로 생각되며, 고려엉겅퀴 재배 온도에 대한 이해가 부족하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하면, 인공광 이용형 식물공장에 고려엉겅퀴의 생산하기 위해서는 주간 22°C, 야간 18°C로 관리하는 것이 생육과 총 페놀과 플라보노이드 생산에 효과적일 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 주·야간 온도 차에 따른 고려엉겅퀴의 반응을 구명하여 인공광 이용형 식물공장에서 고려엉겅퀴를 재배하는 데 기초적인 자료를 제공하였으며, 이를 활용하여 고려엉겅퀴의 최적 생육 환경의 구명과 인공광 이용형 식물공장 재배 기술 확립에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: Y.-M.C. conceived and designed the research; H.-R.L. and D.-J.S. collected the data; C.-E.H. performed the analysis; H.-S.L. and S.-W.J. contributed to the interpretation of the results. H.-R.L. and C.-E.H. wrote the manuscript. Y.-M.C. supervised the project. All authors discussed the results and commented on the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This work was conducted as part of the ‘Green Bio Smart Farm Functional Natural Material Commercialization Model Establishment Project,’ funded by Jinju City.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.23>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Young Moo Choo.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

- Kim EM, Won SI (2009) Functional composition and antioxidative activity from different organs of native *Cirsium* and *Carduus* Genera. Korean Journal of Food Cookery Science, 25, 406-414. <https://doi.org/10.29335/tals.2018.56.55>.
- Chung MS, Um HJ, Kim CK, Kim GH (2007) Development of functional tea product using *Cirsium japonicum*. Journal of the Korean Society of Food Culture, 22, 261-265. <https://doi.org/10.7318/KJFC.2007.22.2.261>.
- Liu S, Luo X, Li D, Zhang J, Qui D, Liu W, Yang Z (2006) Tumor inhibition and improved immunity in mice treated with flavone from *Cirsium japonicum* DC. International Immunopharmacology, 6, 1389-1393. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2006.02.002>.
- Karkanis A, Bilalis D, Efthimiadou A (2011) Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) a medicinal weed. Industrial Crops and Products, 34, 825-830. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.027>.
- Song MJ, Kim H (2007) Taxonomic study on *Cirsium* Miller (Asteraceae) in Korea based on external morphology. Korean Journal of Plant Taxonomy, 37(1), 17-40. <https://doi.org/10.11110/kjpt.2007.37.1.017>.
- Lee SH, Jin YS, Heo SI, Shim TH, Sa JH, Choi DS, Wang MH (2006) Composition analysis and antioxidative activity from different organs of *Cirsium setidens* Nakai. Korean Journal of Food Science and Technology, 38, 571-576.

7. Lee SJ (1996) Korean Folk Medicine, pp. 145-146, Seoul National University Press, Seoul, Korea.
8. Ishida H, Umino T, Tsuji K, Kosuge T (1987) Studies on antihemorrhagic substances in herbs classified as hemostatics in Chinese medicine. VII. On the antihemorrhagic principle in *Cirsium japonicum* DC. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 35, 861-864. <https://doi.org/10.1248/cpb.35.857>.
9. Kang IJ, Ham SS, Chung CK, Lee SY, Oh DH, Choi KP, Do JJ (1997) Development of fermented soy sauce using *Cirsium setidens* Nakai and comfrey. Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition, 26, 1152-1158.
10. Kim EH, Chung JY (2016) Protective effects of *Cirsium setidens* ethanolic extracts against alcoholic fatty liver injury in rats. Journal of Nutrition and Health, 49, 420-428. <https://doi.org/10.4163/jnh.2016.49.6.420>.
11. Cho BY, Lee JH, Choi SI, Jung TD, Choi SH, Ra MJ, Kim SY, Kang IJ, Han KC, et al. (2017) Changes in antioxidant and antiobesity activities of *Cirsium setidens* Nakai ethanolic extract depending on different harvest time. Journal of Food Hygiene and Safety, 32, 234-242. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2017.32.3.234>.
12. Heo JW, Lee YB, Chang YS, Lee JT, Lee DB (2010) Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured in vitro. Korean Journal of Environmental Agriculture, 29, 374-380. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2010.29.4.374>.
13. Lee GJ, Heo JW, Jung CR, Kim HH, Yoon JB, Kim DE, Nam SY (2015) Effects of plant factory cultural systems on growth, vitamin C and amino acid contents, and yield in hydroponically grown *Peucedanum japonicum*. Journal of Bio-Environment Control, 24(4), 281-286. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2015.24.4.281>.
14. Lee GJ, Heo JW, H.H. Kim, Jung CR, Kim DE, Nam SY (2016) Effects of artificial light sources on growth and yield of *Peucedanum japonicum* hydroponically grown in plant factory. Journal of Bio-Environment Control, 25(1), 16-23. <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.16>.
15. Rural Development Administration (2018) Plant Factory. In: Agricultural Technology Guide. pp. 15-20. 2nd ed. Rural Development Administration, Jeonju, Korea.
16. Kozai T. (2017) Benefits, problems and challenges of plant factories with artificial lighting (PFALs): a short review. International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant, 1227, 25-30. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.3>.
17. Kozai T (2019) Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 12, 28-37. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.5177>.
18. Tuteja N, Gill SS (2013) Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance, pp. 7-11. eds. Climate Change: Challenges for Future Crop Adjustments. WILEY Blackwell, Hoboken, USA. <https://doi.org/doi:10.1002/9783527675265>.
19. Jeon YH, Kim EJ, Ju SH, Myung DJ, Kim KH, Lee SJ, Na HY (2022) Comparison of climate between a semi-closed and conventional greenhouse in the winter season. Horticultural Science and Technology, 40, 400-409. <https://doi.org/10.7235/HORT.20220036>.
20. Bielenin M, Joustra MK (2000) The effect of two day-night temperature regimes and two nutrient solution concentrations on growth of *Lavandula angustifolia* 'Munstead' and *Magnolia soulangiana*. Scientia Horticulturae, 85, 113-121. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00131-4).
21. Carvalho SMP, Heunelink E, Cascais R, Kooten OV (2002) Effect day and night temperature on internode and stem length in chrysanthemum: Is everything explained in DIF. Annals of Botany, 90, 111-118. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf154>.
22. Stuerz S, Asch F (2019) Responses of rice growth to day and night temperature and relative air humidity—dry matter, leaf area, and partitioning. Plants, 8, 521. <https://doi.org/10.3390/plants8110521>.
23. Ohtaka K, Yoshida A, Kakei Y, Fukui K, Kojima M, Takebayashi Y, Yano K, Imanishi S, Sakakibara H (2020) Difference between day and night temperatures affects stem elongation in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings via regulation of gibberellin and auxin synthesis. Frontiers in Plant Science, 11, 577235. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.577235>.
24. Smith AM, Stitt M (2007) Coordination of carbon supply and plant growth. Plant Cell and Environment, 30, 1126-1149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01708.x>.
25. Kim HS, Lee SM, Lee JK (2019) Analysis of Vegetation-Environment Relationships of Main Wild Vegetables on Short-term Income Forest Products, in Korea, 33, 447-452. <https://doi.org/10.13047/KJEE.2019.33.4.447>.
26. Hoagland DR, Aron DI (1950) The water-culture method for growing plants without Soil. p. 39, Vol 347, University California Agricultural Experiment Station, CA, USA.
27. Yu L, Haley S, Perret J, Harris M, Wilson J, Qian M (2002) Free radical scavenging properties of wheat extracts. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 1619-1624. <https://doi.org/10.1021/jf010964p>.
28. Kumaran A, Karunakaran J (2007) In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. Food Science and Technology, 40, 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.011>.
29. Torre S, Moe R (1998) Temperature, DIF and photoperiod effects on the rhythm and rate of stem elongation in *Campanula isophylla* Moretti. Scientia Horticulturae, 72, 123-133. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(97\)00115-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(97)00115-5).
30. Niu G, Heins RD, Cameron AC, Carlson WH (2001) Day and night temperatures, daily light integral, and CO₂ enrichment affect

- growth and flower development of *Campanula carpatica* 'Blue Clips'. *Scientia Horticulturae*, 87, 93-105. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00164-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00164-3).
31. Vågen IM, Moe R, Ronglan E (2003) Diurnal temperature alternations (DIF/drop) affect chlorophyll content and chlorophyll a/chlorophyll b ratio in *Melissa officinalis* and *Ocimum basilicum* L., but not in *Viola wittrockiana* Gams. *Scientia Horticulturae*, 97, 153-162. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00141-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00141-3).
 32. Kwon SJ, Kim HR, Roy SK, Kim HJ, Boo HO, Woo SH, Kim HH (2019) Effects of temperature, light intensity and DIF on growth characteristics in *Platycodon grandiflorum*. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22, 379-386. <https://doi.org/10.1007/s12892-019-0276-0>.
 33. Islam N, Torre S, Wold AB, Gislerød HR (2016) Effect of temperature DIF and drop on the growth, quality, total phenolic content and antioxidant activity of herbs. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 2, 266-271. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05404-8>.
 34. Liu Y, Ren X, Jeong HK, Wei H, Jeong, BR (2018) Growth and physiological responses of *Adenophora triphylla* (Thunb.) A.DC. plug seedlings to day and night temperature regimes. *Agronomy*, 8, 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090173>.