단삼의 생장과 외적품질을 향상시키기 위한 주야간 온도의 실험적 제어

김은아^{1,2†}[D·이재환^{1,2†}[D·남상용^{1,2}*[D

¹삼육대학교 환경원예학과, ²삼육대학교 자연과학연구소

Experimental Control of Day and Night Temperatures to Improve the Growth and External Quality of *Salvia miltiorrhiza* Bunge

Eun A Kim^{1,2†}, Jae Hwan Lee^{1,2†}, and Sang Yong Nam^{1,2}*

¹Department of Environmental Horticulture, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

Abstract

Salvia miltiorrhiza is a medicinal crop belonging to the Lamiaceae family. It is commonly used in China as an ingredient in health-promoting teas that enhance immunity and prevent diseases. Although some Korean local farmers have reported that S. miltiorrhiza grows vigorously in high temperatures and produces roots with a deep red color, there is no clear evidence or literature to confirm this. Therefore, this study investigated the growth and external quality of S. miltiorrhiza in response to different day and night temperature levels. Day and night temperature treatments were designed into four levels: 20/15, 24/19, 28/23, and 32/27°C, respectively. Among the parameters related to plant sizes, the shoot height and number of roots showed the highest values in the 32/27°C treatment, while other parameters, particularly the shoot width and root length exhibited the highest values in the 28/23°C treatment. In contrast, the majority of parameters, including the fresh weight and dry weight, which are indicative of root biomass, were lowest in the 20/15°C treatment, suggesting that S. miltiorrhiza, a species that prefers relatively high temperatures, thrives in warmer conditions. Importantly, the root fresh and dry weights, which are likely to be correlated with the market value of S. miltiorrhiza, showed the same significance levels within the temperature range of 24/19-32/27°C, but not in the relatively low-temperature treatment of 20/15°C. Thus, cultivation of S. miltiorrhiza is deemed feasible within all temperature ranges except for 20/15°C, with optimal conditions falling within the temperature range of $24/19-32/27^{\circ}$ C. The CIELAB a^{*} value, associated with red color, was highest in the comprehensive assessment of the 32/27°C treatment. Moreover, in the 32/27°C treatment, the Royal Horticultural Society (RHS) color chart values were found to indicate a deep reddish or brown-red color, with readings of 166B and 174A. Additionally, the root color obtained the highest visual score in the 32/27°C treatment. Based on previous studies, a^* is considered to be related to the content and quantities of tanshinones and other hydrophilic

Received: March 30, 2023 Revised: June 11, 2023 Accepted: June 28, 2023





HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY 42(1):94-103, 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 paper was supported by the Sahmyook University Research Fund in 2023.

²Natural Science Research Institute, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

^{*}Corresponding author: namsy@syu.ac.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

phenolic compounds, which are effective components associated with the orange-red color. Therefore, it is recommended to cultivate *S. miltiorrhiza* at a high temperature of 32/27°C to achieve high growth rates, excellent external quality, and produce superior *S. miltiorrhiza* plants.

Additional key words: CIELAB, danshen, growth evaluation, high temperature, medicinal crop

서 언

단삼(Salvia miltiorrhiza)은 꿀풀과(Lamiaceae)에 속한 약용작물의 일종이다. 붉은색 뿌리를 가진 단삼은 중국에서 붉은 뿌리를 뜻하는 'danshen'으로 불리며, 영미권에서는 'red sage'로 알려져 있다. 단삼의 뿌리는 약간의 쓴 맛이 나고 특유의 냄새가 나는 것이 특징이며(Mok et al., 1995), 중국에서 대중적으로 사용되는 전통약초로써 인체 면역력을 강화시켜 질병을 예방하는 건강증진용 차(tea)로 활용되고 있다(Wei et al., 2017). 단삼은 중국에서 약 2000년 전부터 사용되어져 왔으며 근대에 들어 1953년에 공식적으로 중국약전(Chinese pharmacopoeia)에 기록되었을 뿐만 아니라(Zhou et al., 2005; Guo et al., 2014; Wang et al., 2017), 2012년에는 대한민국약전(Korean pharmacopoeia)에도 기록되었다(KFDA, 2012). 단삼은 탄시는 I(tanshinone I), 밀티론(miltirone), 살비아놀산(salvianolic acid) 및 다양한 생리활성 화합물(bioactive compounds)의 풍부한 공급원으로 활용 가능하며(Wang, 2010), 특히 단삼의 추출물은 항산화(Cao et al., 1996; Peng et al., 2019), 항미생물(Zhao et al., 2011), 항바이러스(Wu et al., 2007), 항암(Franek et al., 2005; Dong et al., 2011; Jiang et al., 2017), 항염증(Qi et al., 2019), 심혈관 질환(Liu et al., 2016), 뇌세포 보호(Zhang et al., 2009), 간세포 보호(Yin et al., 2009) 등 다양한 증상과 질환에 폭넓게 활용이 가능하다. 이처럼 단삼이 약용작물로써 유용하다는 점을 들어 효과적인 재배 생산을 위한 다각도의 연구가 필요하다. 더욱이 2012년 단삼의 국내 생산이 본격적으로 시작됨에 따라 중국산에 비해 더 나은 품질의 단삼을 생산하기 위한 연구가 시급한 실정이다(Kim et al., 2015a). 2015년에 조사된 바에 따르면 국내 단삼의 재배면적은 약 4ha로 그 생산량이 41톤에 이르며 '다산', '고산'과 같은 다양한 품종들이 출원되고 있으나(RDA, 2018), 단삼의 효율적인 재배방법에 대한 연구는 다소 제한적이다.

최적의 생장온도는 식물 종에 따라 다르며, 토양의 양분 흡수와 활용, 광합성 및 탄소분할(carbon partitioning)에 이르기까지 저온과 고온의 비생물적 스트레스 환경은 식물에게 다양한 영향을 미친다(Mc Michael and Burke, 2002). 일부 호냉성 채소작물인 무(Raphanus sativus var. hortensis)(Oh et al., 2022), 배추(Brassica rapa ssp. pekinensis)(Oh et al., 2014), 라디치오(Cichorium intybus var. foliosum)(Kim et al., 2022b), 비트(Beta vulgaris)(Lee et al., 2015) 및 한지형 마늘(Allium sativum)(Oh et al., 2017)의 적정 재배 온도에 대한 연구는 다양하게 수행된 반면, 단삼의 경우 여름철 고온기에 생장이 왕성해지고 뿌리 색상이 상대적으로 짙은 붉은 빛을 나타낸다는 일부 국내 농가의 증언이 있었을 뿐 이를 확인할 수 있는 명확한 근거나 문헌을 찾아볼 수 없었다.

단삼의 주요 소비국인 중국에서 단삼의 품질은 뿌리가 얼마나 진한 붉은색을 띄는가에 따라 결정되며, 이는 단삼의 유효성분 함량과 연관되어 있다(Wang et al., 2016; Chen et al., 2018; Liu et al., 2020). 단삼은 상대적으로 주황색-적색의 색소량이 많아질수록 상대적으로 탄시논 함량 또한 많아지는 것으로 알려져 있으며(Wang et al., 2016; Chen et al., 2018), 크립토탄시논 (cryptotanshinone), 탄시논 I, 탄시논 IIA(tanshinone IIA) 및 탄시논 IIB(tanshinone IIB)가 뿌리 색상이 붉은색으로 변하는 것에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Shi et al., 2005; Wang et al., 2016; Chen et al., 2018). 여기에 더해 프로토카테츄익 알데히드(protocatechuic aldehyde), 살비아놀산 B(salvianolic acid B), 로즈마린산(rosmarinic acid) 및 기타 친수성 페놀류 또한 뿌리 색상에 영향을 미치는 것으로 추정된다(Chen et al., 2018). 따라서 뿌리의 색상이 적색에 가까울수록 유효성분의 함 량이 증가함을 유추할 수 있으며, 이에 따라 단삼의 지하부 외적품질 향상에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 향후 단삼이 국내에서 대량으로 유통될 경우 중국과 마찬가지로 뿌리의 색상이 시장가격을 결정짓는 중요한 요인이 될 것으로 판단된다.

한편, 단삼의 생장과 외적품질 향상을 위한 적정 온도수준에 대해서는 아직 알려진 바가 없다. 따라서 주야간 온도수준에 따른 단삼의 품질 향상에 대한 해답이 있다면 국내 농가들로 하여금 고품질의 단삼을 생산하는 것에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

이에 따라 본 연구에서는 단삼의 생장과 외적품질을 향상시키기 위한 최적의 주야간 온도를 구명하기 위해 식물생장상 (growth chamber)을 이용하여 주야간 온도를 실험적으로 제어하여 단삼을 재배하였으며, 이와 관련된 기초자료를 제시하였다.

재료 및 방법

식물재료

주야간 온도수준의 영향을 받은 단삼(Salvia miltiorrhiza)의 생장과 외적품질의 비교를 위해 경기도 양평군에 위치한 단삼 농장인 양평우뚝약선농원으로부터 3주간 육묘된 단삼 묘를 분양받아 활용하였다. 이때, 식물의 크기는 초장과 초폭이 각각 2, 3cm 수준이었다.

실험환경

실험은 서울특별시 노원구에 위치한 삼육대학교 환경원예학과 실험온실 내 식물생장상(KGC-175VH, KOENCON, South Korea)에서 3개월 동안 수행하였다. 주야간 온도 처리는 주간/야간의 온도를 20/15, 24/19, 28/23, $32/27^{\circ}$ C의 네 가지 수준으로 설계하였으며, 명기를 14시간, 암기는 10시간이 되도록 설정하였다. 생장상 내부의 광원으로는 적색:청색:백색:원적외선의 비율이 4:2:8:2인 식물생장용 LED를 내장하였다. 추가로 생장상 내 광도는 휴대용 분광복사계(SpectraPen mini, Photon Systems Instruments, Czech Republic)를 활용하여 광합성 광량자속밀도(photosynthetic photon flux density)가 500μ mol· $m^2\cdot s^{-1}$ 이 되도록 식물과 LED의 거리를 조절하였다. 준비된 단삼묘는 원예용 유비상토(Hanareumsangto, Shinsung Mineral, South Korea)가 충진 된 가로 × 세로 × 높이가 $48.5 \times 33 \times 8cm$ 인 직사각형 화분에서 완전임의배치법(completely randomized design)으로 화분 하나당 10개체를 1반복으로 하여 총 3개의 화분 내에 3반복 배치하였다. 관수는 매주 마다 2L씩 3회 두상관수 하였다.

생장과 외적품질 평가

각기 다른 주야간 온도 차이에 따른 단삼의 생장과 외적품질을 평가하기 위해 생존율, 초장, 초폭, 줄기의 지름, 근장, 피복면적, 분지의 개수, 뿌리의 개수, 정규식생지수(normalized difference vegetation index; NDVI), 엽록소 수치(SPAD units), 지상부의 생체중과 건물중, 지하부의 생체중과 건물중, 지상부와 지하부의 수분함량, 각각 엽색과 뿌리의 색상을 비교하기 위한 CIELAB L^* , a^* , b^* 값, RHS 값, 변환색상, 시각점수(visual score)를 조사하였다. 초장은 지면으로부터 식물의 가장 높은 부위를 기준으로 측정하였으며 초폭은 식물을 위에서 바라볼 때 가장 넓은 부위를 기준으로 측정하였다. 근장은 뿌리 중 가장 긴 뿌리의 길이를 기준으로 측정하였다. 정규식생지수는 휴대용 식물생리지수 측정계(PolyPen RP410, Photon Systems Instruments, Czech Republic)를 활용해 측정하였으며 그 식 (1)은 다음과 같다(Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \tag{1}$$

엽록소 수치는 휴대용 엽록소계(SPAD-502Plus, Konica Minolta, Japan)를 활용하여 측정하였다. CIELAB 값의 측정은 Lee et al.(2022a)의 CIELAB 측정 방식을 참조하여 분광광도계(CM-2600d, Konica Minolta, Japan)를 CIELAB D65/10°

로 설정한 뒤 정반사광(specular component included, SCI)이 포함된 CIELAB L^* , a^* , b^* 값을 얻었다. 공통적으로 정규식생지수, 엽록소 수치, CIELAB L^* , a^* , b^* 값은 식물의 엽 중앙부에서 엽맥이 지나지 않는 부분을 무작위로 선별하여 10회씩 3회 반복 측정하였으며, 뿌리의 경우 무작위로 선정된 뿌리의 측면 색상을 10회씩 3회 반복 측정하였다. 생체중은 식물체를 흐르는 물에 씻은 후 12시간 동안 밀폐된 공간에서 자연건조 시킨 후 측정하였으며, 건물중은 열풍건조기(HK-DO135F, HANKUK S&I, South Korea)를 이용하여 85° C로 12시간 동안 열풍건조시킨 후 측정하였다. 추가적으로 생체중과 건물중을 대조하여 수분함량에 대해 2차 분석하였으며 그 식 (2)는 다음과 같다.

$$x = [(A-B)/A] \cdot 100$$
 (2)
(x는 수분함량, A는 생체중, B는 건물중을 나타낸다)

Royal Horticultural Society(RHS) 값은 각각의 L^* , a^* , b^* 값을 RGB 값으로 환산한 뒤 ASA(2023)의 RHS Color Fan에서 제시하는 RHS 색상 차트에 대조하여 각 처리구 마다 RHS 값을 2개씩 선정하여 평가하였다. 추가로 각 처리별 식물의 엽색은 Zettl(2023)이 설계한 Converting Colors를 활용하여 엽색과 뿌리 색상의 CIELAB L^* , a^* , b^* 값을 변환색상(converted color) 으로 변환하였다. 마지막으로 시각점수는 교수, 전문농업인, 연구원, 대학원생 등 12인이 평가한 0-10 사이의 평가점수를 통계분석 하였다.

통계처리

실험 결과의 분석은 SAS 9.4(SAS Institute, USA)를 사용하여 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 평균간 비교는 p < 0.05수준의 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)으로 통계분석 하였다.

결과 및 고찰

생장에 관한 매개변수

3개월 동안 주야간 온도수준의 영향을 받은 단삼(Salvia miltiorrhiza)의 생장평가에서 다양한 결과를 나타내었다(Fig. 1 and Table 1). 식물의 생육발달에 있어 온도는 매우 중요한 환경인자이며 생육적온을 벗어난 고온 및 저온은 식물의 생산성에 큰 영향을 미칠 수 있다(Oh et al., 2022). 결과에서 생존율은 주야간 온도에 따라 평균값이 최소 93.3%(20/15°C)에서 최대 100%(각각 24/19, 28/23°C)로 나타났으나 통계적으로 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다. 단삼의 초장은 28/23, 32/27°C 처리구에서 각각 8.28, 9.25cm로 높게 나타났으며, 본 실험에서 상대적으로 저온 처리구였던 20/15°C 처리구 비해 28/23 − 32/27°C 범위의 고온 처리구에서는 초장이 311 − 347% 더 높게 나타나 고온에서는 단삼의 초장이 매우 유의미하게 증가하는 것으로 판단된다. 양파(Allium cepa)의 경우 시설재배시 외기온에 비해 상대적으로 3 − 6°C가량 더 높은 경우 초장과 엽장, 잎의 개수가 유의미하게 증가되는 것으로 보고되었으며(Lee et al., 2019), 단삼을 재배하는 경우에도 양파의 경우와 유사하게 지상부의 신장을 유도하기 위해서는 상대적으로 고온의 생장환경에서 재배하는 것이 유리함을 알 수 있었다. 한편, 초폭은 28/23°C 처리구에서 22.80cm로 가장 높게 나타났다. 단삼은 10월 상, 중, 하순으로부터 온도가 급격히 낮아지는 11월 상순까지 수확시기가 늦어질수록 초폭, 엽장, 엽폭 등의 식물체 크기와 관련된 매개변수의 평균 값이 유의미하게 낮아지는 경향이 있는 것으로 나타나(Kim et al., 2015b), 재배온도가 하락하는 것에 대해 부정적인 영향을 받는 것으로 보인다. 던컨의 다 중검정(Duncan's multiple range test) 결과에서 줄기의 자름은 24/19, 28/23, 32/27°C(각각 0.83, 0.86, 0.73cm) 처리구에서 동등한 유의수준으로 나타났다. 그러나 20/15°C 처리구에서는 0.55cm로 가장 낮게 나타나 상대적으로 저온수준의 재배온도 에서는 줄기 비대에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보인다. 근장은 28/23°C 처리구에서 21.10cm로 가장 높았으며 이는 다른

처리구들에 비해 상대적으로 124 – 133% 더 높은 수치로, 뿌리의 신장을 유도하기 위해서는 28/23°C의 재배온도가 유리함을 알 수 있었다. 이후 분지의 개수는 통계분석상 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, 뿌리의 개수는 32/27°C 처리구에서 9.1개로 가장 높게 나타났다.

정규식생지수(normalized difference vegetation index; NDVI)를 나타내는 NDVI는 24/19℃ 처리구에서 0.561로 가장 높게 나타났으며 지상부 생장과 관련된 매개변수들과 일부 상반된 결과를 나타내었다(Table 2). 한편, 엽록소 수치(SPAD units)는 28/23℃ 처리구에서 23.42로 가장 높게 나타나 초폭의 결과와 유사하였으며, 속리기린초(Sedum zokuriense)(Lee et



Fig. 1. Plant shape of Salvia miltiorrhiza as affected by different day and night temperatures for three months.

Table 1. Changes in survival rate and plant sizes of *Salvia miltiorrhiza* grown under different day and night temperatures for three months

Temperatures	Survival rate		Plant si	N. C.1.	N. C. A.		
(day/night)	(%)	Shoot height	Shoot width	Stem diameter	Root length	No. of shoots	No. of roots
20/15°C	93.3 a ^z	2.66 c	10.01 c	0.55 b	15.86 b	1.7 a	6.6 b
24/19°C	100.0 a	5.74 b	16.22 b	0.83 a	15.97 b	1.8 a	8.0 ab
28/23°C	100.0 a	8.28 a	22.80 a	0.86 a	21.10 a	1.5 a	8.6 ab
32/27°C	96.7 a	9.25 a	19.15 b	0.73 a	16.95 b	1.6 a	9.1 a
Significance ^y	NS	***	***	**	*	NS	*

^zMeans separation within columns by Duncan's multiple range test (DMRT) at p < 0.05, same lowercase letters indicate no significant difference (n = 3).

Table 2. Changes in the normalized difference vegetation index (NDVI), chlorophyll content (SPAD units), shoot and root weights and moisture content of *S. miltiorrhiza* grown under different day and night temperatures for three months

Temperatures	NDVI	Chlorophyll content (SPAD units)	Shoot weight (g)		Root weight (g)		Moisture content (%)	
(day/night)			Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight	Shoot	Root
20/15°C	$0.473 c^{z}$	20.24 ab	1.82 b	0.37 b	5.63 b	1.54 b	78.9 a	71.8 c
24/19°C	0.561 a	21.91 ab	6.03 a	1.32 a	11.95 a	3.09 a	80.7 a	75.7 b
28/23°C	0.524 b	23.42 a	7.14 a	1.50 a	14.03 a	3.19 a	79.1 a	78.1 a
32/27°C	0.499 bc	17.51 b	7.50 a	1.73 a	14.97 a	3.95 a	77.0 b	74.2 b
Significance ^y	***	***	***	***	***	**	***	***

^zMeans separation within columns by DMRT at p < 0.05 (n = 3).

 $^{^{}y}$ NS, *, **, and ***: non-significant or significant at p < 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

 $^{^{}y}**$ and ***: significant at p < 0.01 or 0.001, respectively.

al., 2021b), 호약(Hoya carnosa)와 스파티필름(Spathiphyllum wallisii)(Lee et al., 2021a), 자주꿩의비름(Hylotelephium telephium)(Nam et al., 2022)이 큰 초폭으로 넓은 수광면적을 나타낼 때 엽록소 수치도 함께 증가하였다는 결과와 일치하였다. 따라서 적정 재배온도에서는 초장과 초폭의 증가와 동시에 동일 면적 대비 엽록소 함량의 증가를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 지상부 생체중과 건물중은 24/19, 28/23, 32/27°C 처리구 모두 던컨의 다중검정 결과에서 동등한 유의수준을 나타냈다. 한편, 지상부의 생체중 및 건물중과 동일하게 지하부 생체중과 건물중 또한 24/19, 28/23, 32/27°C 처리구에서 동등한 유의수준을 나타냈다. 식물의 동화산물 축적량, 건물중과 같은 매개변수의 변화는 온도 변화가 큰 영향을 미치는데(Heuvelink, 1989; Grimstad and Frimanslund, 1993; Gruda, 2005), 고온성 작물 중 하나인 파프리카(Capsicum annuum var. angulosum) 묘는 15°C의 저온수준에서 상대적으로 생체중, 건물중 등의 생장량이 현저히 낮아지는 것으로 조사되어 본 실험의 결과와 유사하였으며(Cho et al., 2016), 단삼의 경우 상대적으로 재배온도가 높아질수록 지상부와 지하부의 무게가 증가하는 경향이 있었던 것을 볼 때, 단삼은 상대적으로 고온성 작물에 속한다는 것을 알 수 있었다. 수분함량 분석에서는 지상부 수분함량은 20/15 −28/23°C의 주야간 온도 범위에서 78.9 −80.7% 수준이었으며, 32°C 처리구에서는 77.0%로 가장 낮았던 것으로 조사되었다. 한편, 지하부 수분함량의 경우 28/23°C 처리구에서 78.1%로 가장 높게 나타나, 초폭, 근장, 엽록소 수치의 결과와 유사하였다.

단삼의 생장에 관한 매개변수를 종합하여 판단한 결과, 단삼의 지상부 생장 매개변수 중 초폭과 근장은 28/23°C 처리구에서 높게 나타났으나, 이와 다르게 뿌리의 개수는 32/27°C 처리구에서 가장 높았던 것으로 나타나났다. 한편, 시장가격에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 지하부 생체중과 건물중이 24/19−32/27°C 범위에서 높게 나타나, 상대적으로 저온 처리구였던 20/15°C를 제외한 나머지 주야간 온도 내에서 단삼의 재배가 가능할 것으로 판단된다.

외적품질에 관한 매개변수

주야간 온도 차이의 영향을 받은 단삼의 지상부 엽색은 다양한 차이를 나타내었다(Fig. 2). 식물의 색상은 소비자로 하여금 직관적인 평가가 가능하도록 하는 요소이므로 충분히 고려되어야한다(Lee and Nam, 2023). 식물의 색상을 평가할 때, Hunter Lab, CIELAB, RGB 등 다양한 매개변수가 사용되는데, 이 중 CIELAB는 1976년에 만들어진 색공간으로 L^* 은 명도 (lightness)를 나타내고 a^* 는 적색과 녹색, b^* 는 황색과 청색의 색좌표를 나타내며(Kim et al., 2022a), 과거 다양한 연구에서 식물의 외적품질을 평가하는데 활용되었다(Belal et al., 2022; Win et al., 2022; Habibi et al., 2023; Park et al., 2023; Wang et al., 2023). CIELAB 색공간 좌표에서 명도를 나타내는 L^* 은 $32/27^{\circ}$ C 처리구에서 58.20으로 가장 높은 것으로 나타났다 (Fig. 2A). 그러나 $32/27^{\circ}$ C 처리구에서 식물이 상대적으로 건실하게 생장한 것과 엽록소 수치가 가장 낮았던 것을 종합적으로

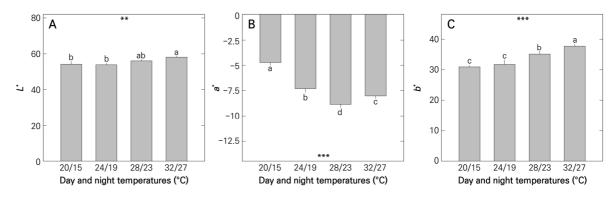


Fig. 2. Leaf color reading values of CIELAB (L^* , a^* , and b^*) of *S. miltiorrhiza* as affected by different day and night temperatures for three months. Vertical bars indicate the standard error and asterisks (** and ***) indicate significance at p< 0.01 or 0.001, respectively. Different lowercase letters indicate significant differences at p< 0.05 based on Duncan's multiple range test (DMRT) (n= 3).

고려했을 때 식물체 크기가 커짐에 따라 세포의 크기가 커지고 동일 단위 면적 대비 엽록소의 함량이 낮아졌기 때문인 것으로 추정된다. 적색과 녹색을 나타내는 색공간 좌표인 a^* 는 $20/15^\circ$ C 처리구에서 -4.74로 가장 높게 나타났으며, $28/23^\circ$ C 처리구에서는 -8.86으로 가장 낮게 나타나 다른 처리구에 비해 상대적으로 엽색이 짙은 녹색에 가까운 것으로 평가되었다(Fig. 2B). 한편, 황색과 청색을 나타내는 색공간 좌표 b^* 는 $32/27^\circ$ C 처리구에서 37.75로 가장 높게 나타났는데(Fig. 2C), 이러한 경향은 L^* 의 결과와 유사하였다. 과거 연구에서 바위솔국($Delosperma\ cooperi$)(Lee et al., 2022c)이나 바위솔(Cooperin)는 생장수준이 낮을수록 b^* 값이 증가한 것으로 나타났으며 음의 상관관계를 나타내어 본 연구의 결과와 상반된 경향을 나타냈는데(Lee et al., 2022b), 이는 식물의 형태나 잎의 두께에 따라 각기 다른 잎의 엽록소 함량 차이를 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

단삼의 뿌리 색상에서 명도 L^* 은 20/15, 24/19°C 처리구에서 동등한 유의수준으로 각각 44.77, 43.19로 나타나(Fig. 3A), 비교적 저온인 생장온도에서는 뿌리의 명도가 높아지는 것으로 분석되었다. a^* 는 32/27°C 처리구에서 18.10으로 가장 높게 나타났으며(Fig. 3B), 온도가 낮아질수록 a^* 값이 낮아지는 것으로 나타나 짙은 적색의 뿌리 색상을 가진 단삼을 생산하고자 하는 경우 상대적으로 32/27°C 수준의 생장온도에서 재배하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 단삼의 주황색-적색에 미치는 뿌리 색상은 탄시논이나 살비아놀산(salvianolic acid), 로즈마린산(rosmarinic acid) 및 기타 친수성 페놀류의 농도와 일부관 계가 있다(Wang et al., 2016; Chen et al., 2018). 따라서 온도가 높아질수록 높아지는 a^* 값의 증가와 더불어 앞서 언급된 유효 성분들의 함량 또한 높아질 수 있음을 추정할 수 있다. 이 a^* 값의 증가는 단삼 뿌리의 외적품질과 관련되어 있는 적색의 색상과 직접적인 연관이 있으며, 해당 매개변수는 시장가격과 양의 상관관계를 가질 것으로 예상된다. 한편, b^* 는 20/15°C 처리구에서 23.89로 가장 높게 나타나, 상대적으로 생장온도가 낮아질수록 뿌리의 색상이 황화되어 외적품질이 저하되는 것으로 보인 다(Fig. 3C).

단삼의 엽색과 뿌리의 외적품질에 영향을 미친 주야간 온도 차이는 다양한 결과를 나타내었다(Table 3). 잎의 경우에는 Royal Horticultural Society(RHS) 값이 146D, 148C로 모든 처리구가 동일한 색상 값을 가지는 것으로 평가되었다. 그러나 한편, 시각점수(visual score)에서는 24/19°C 처리구에서 7.4점으로 가장 높게 평가되어 24/19°C에서 단삼의 지상부 품질 선호도가 상대적으로 우세하였다. 한편, 뿌리의 RHS 값은 20/15, 24/19°C 처리구가 199B, 199C로 평가되어 밝은 갈색계통의 색상을 띄는 것으로 평가되었으나 28/23°C 처리구에서는 이 보다 조금 더 짙은 갈색인 172B, 174B로 평가되었다. 32/27°C 처리구에서는 매우 짙은 갈색 계통인 166B, 174A로 평가되어 가장 짙은 암적색의 뿌리색상을 나타내는 것으로 분석되었다. 뿌리의 시각점수에서는 32/27°C 처리구에서 8.9점으로 가장 높았으며 재배온도가 높아질수록 상대적으로 시각점수가 비례하여 높아지는 경향을 보였다. 앞서 설명된 것과 같이 단삼의 뿌리는 32/27°C 처리구에서 가장 높은 시각점수를 얻어 실제 시장에서도 고온의 재배온도에 생산한 단삼의 선호도가 가장 높을 것으로 예측된다.

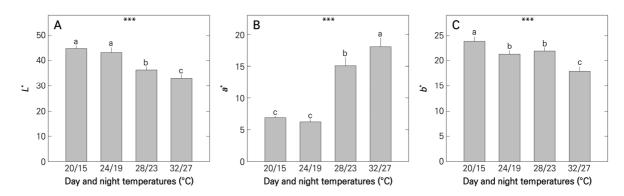


Fig. 3. Root color reading values of CIELAB (L^* , a^* , and b^*) of *S. miltiorrhiza* as affected by different day and night temperatures for three months. Vertical bars indicate the standard error and asterisks (***) indicate significance at p<0.001. Different lowercase letters indicate significant differences at p<0.05 based on DMRT (n = 3).

Table 3. Changes in the external quality of leaf and root of *S. miltiorrhiza* grown under different day and night temperatures for three months

Temperatures (day/night)		Leaf external quality		Root external quality			
	RHS values ^z	Converted color ^y (color chip)	Visual score (0-10)	RHS values	Converted color (color chip)	Visual score (0-10)	
20/15°C	146D, 148C		6.8 ab ^x	199B, 199C		6.4 c	
24/19°C	146D, 148C		7.4 a	199B, 199C		7.2 b	
28/23°C	146D, 148C		7.0 ab	172B, 174B		8.1 ab	
32/27°C	146D, 148C		6.4 b	166B, 174A		8.9 a	
Significance ^w			**			***	

^zRoyal Horticultural Society (RHS) color charts values referenced from the ASA (2023).

식물의 생장과 외적품질에 관한 매개변수의 결과를 종합적으로 판단할 때, 시장가격에 가장 많은 영향을 미칠 것으로 판단되는 지하부 생체중과 건물중은 24/19 ~ 32/27°C 수준에서 동등한 유의수준을 나타내어, 상대적으로 저온 처리구였던 20/15°C 처리구를 제외한 모든 처리구 온도 범위에서 재배가 가능할 것으로 판단되었다. 한편, 지하부 생체중, 건물중과 마찬가지로 시장가격에 영향을 미칠 것으로 판단되었던 a^* 값은 32/27°C 처리구에서 가장 높게 나타났으며, RHS 값 또한 166B, 174A로 평가되어 짙은 암적색 계통을 나타내는 것으로 평가되어 소비자의 선호도가 가장 높을 것으로 예상된다. 이에 따라 단삼을 재배하는 경우 높은 생장수준과 외적품질을 나타내는 우수한 단삼을 생산하기 위해 32/27°C의 고온에서 재배하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다. 추가로 본 연구에서는 단삼의 생장과 외적품질을 향상시키기 위한 적정 주야간 온도를 구명하는 것에 일부 기여하였으나 주야간 온도처리에 따른 유효성분 함량에 대한 조사가 이루어지지 않았기 때문에 온도처리에 따른 유효성분 함량 차이를 분석한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다.

초록

단삼(Salvia miltiorrhiza)은 꿀풀과(Lamiaceae)에 속한 약용작물의 일종이다. 단삼은 주로 중국에서 면역력을 증진시키고 질병을 예방하는 건강증진용 차(tea)의 재료로 사용된다. 단삼은 고온기에 생장이 왕성하고 뿌리의 색상이 짙은 붉은색을 띈다는 일부 국내 농가의 중언이 있었지만 이를 확인할만한 명확한 근거나 문헌은 찾아볼 수 없었다. 이에 따라 본 연구에서는 주야 간 온도수준에 따른 단삼의 생장과 외적품질에 대해서 조사하였다. 온도처리는 20/15, 24/19, 28/23, $32/27^{\circ}$ C로 총 네 가지 처리구로 나누어 설계하였다. 식물체 크기의 매개변수에서 초장, 뿌리의 개수는 $32/27^{\circ}$ C 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났으나다른 매개변수인 초폭, 근장은 $28/23^{\circ}$ C 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났다. 반면에 $20/15^{\circ}$ C 처리구에서는 생체중과 건물증을 포함한 대부분의 매개변수가 가장 낮게 나타나 단삼은 상대적으로 고온을 선호하는 식물임을 나타냈다. 가장 중요한점은 단삼의 시장가격과 상관관계가 있을 것으로 판단되는 지하부 생체중과 건물중은 $24/19 - 32/27^{\circ}$ C 범위의 온도수준에서 동등한 유의수준을 나타내어, 상대적으로 저온처리구였던 $20/15^{\circ}$ C 처리구를 제외한 온도 범위 내에서 재배가 가능할 것으로 판단된다. 붉은색과 관련이 있는 매개변수인 CIELAB a^* 는 종합적으로 $32/27^{\circ}$ C 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났다. 그뿐만 아니라 $32/27^{\circ}$ C 처리구에서는 RHS 값이 166B, 174A로 나타나 뿌리가 짙은 암적색인 것으로 평가되었으며, 시각점수가가장 높게 나타났다. a^* 는 과거 연구에 따라 주황색- 적색과 관련있는 유효성분인 탄시논(tanshinone) 및 기타 친수성 페놀류의 함량과 양의 상관관계를 가질 것으로 추정되어 $32/27^{\circ}$ C의 온도수준에서 단삼을 재배하는 것이 가장 유리할 것으로 판단되다.

^yColors converted using CIELAB L^* , a^* , and b^* values.

^xMeans separation within columns by DMRT at p < 0.05 (n = 12).

^{***} and ***: significant at p < 0.01 or 0.001, respectively.

따라서 단삼을 재배하는 경우 높은 생장수준과 외적품질을 나타내는 우수한 단삼을 생산하기 위해 32/27°C의 상대적 고온조 건에서 재배할 것을 권고한다.

추가 주요어: CIELAB, 생장평가, 고온, 약용작물, 단삼

Literature Cited

- Azalea Society of America (ASA) (2023) RHS Color Fan 1, Azalea Society of America website. Avilable via https://www.azaleas.org/rhs-color-fan-1/ Accessed 10 June 2023
- Belal BEA, El Kenawy MA, Omar AS (2022) Using brassinolide and girdling combined application as an alternative to ethephon for improving color and quality of 'Crimson Seedless' grapevines. Hortic Environ Biotechnol 63:869-885. doi:10.1007/s13580-022-00445-3
- Cao EH, Liu XQ, Wang JJ, Xu NF (1996) Effect of natural antioxidant tanshinone II-A on DNA damage by lipid peroxidation in liver cells. Free Radic Biol Med 20:801-806. doi:10.1016/0891-5849(95)02211-2
- Chen GJ, Lee MS, Lin MK, Ko CY, Chang WT (2018) Blue light decreases tanshinone IIA content in *Salvia miltiorrhiza* hairy roots via genes regulation. J Photochem Photobiol B 183:164-171. doi:10.1016/j.jphotobiol.2018.04.013
- Cho YH, Kim CS, Kim JM, Ku YG, Kim HC (2016) Qualities and early growth responses of paprika seedlings grown in high and low temperatures. Hortic Sci Technol 34:719-726. doi:10.12972/kjhst.20160075
- Dong Y, Morris-Natschke SL, Lee KH (2011) Biosynthesis, total syntheses, and antitumor activity of tanshinones and their analogs as potential therapeutic agents. Nat Prod Rep 28:529-542. doi:10.1039/c0np00035c
- Franek KJ, Zhou Z, Zhang WD, Chen WY (2005) In vitro studies of baicalin alone or in combination with *Salvia miltiorrhiza* extract as a potential anti-cancer agent. Int J Oncol 26:217-224. doi:10.3892/ijo.26.1.217
- **Grimstad SO, Frimanslund E** (1993) Effect of different day and temperature regimes on greenhouse cucumber young plant production, flower bud formation and early yield. Sci Hortic 52:191-204. doi:10.1016/0304-4238(93)90067-Z
- **Gruda N** (2005) Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. CRC Crit Rev Plant Sci 24:227-247. doi:10.1080/07352680591008628
- Guo Y, Li Y, Xue L, Severino RP, Gao S, Niu J, Qin LP, Zhang D, Bromme D (2014) Salvia miltiorrhiza: An ancient Chinese herbal medicine as a source for anti-osteoporotic drugs. J Ethnopharmacol 155:1401-1416. doi:10.1016/j.jep.2014.07.058
- Habibi A, Yazdani N, Saba MK, Chatrabnous N, Molassiotis A, Sarikhani S, Vahdati K (2023) Natural preservation and improving lipid oxidation inhibition of fresh walnut. Hortic Environ Biotechnol 64:133-142. 10.1007/s13580-022-00461-3
- **Heuvelink E** (1989) Influence of day and night temperature on the growth of young tomato plants. Sci Hortic 38:11-22. doi:10.1016/030 4-4238(89)90015-0
- Jiang G, Liu J, Ren B, Zhang L, Owusu L, Liu L, Zhang J, Tang Y, Li W (2017) Anti-tumor and chemosensitization effects of cryptotanshinone extracted from *Salvia miltiorrhiza* Bge, on ovarian cancer cells in vitro. J Ethnopharmacol 205:33-40, doi:10.1016/j.jep.2017.04.026
- Kim HJ, Lee JH, Ko MS, Nam SY (2022a) A study on indoor cultivation of *Petrosedum rupestre* and *P. rupestre* cv. Angelina using commercial white T5 LEDs. J Agric Life Environ Sci 34:354-367. doi:10.22698/jales.20220035
- Kim K, Seo H, Lee W, Won J, Park Y, Kang HM (2022b) Comparison of quantity and quality of radicchio (*Chicorium intybus*) varieties with the highland growing season. J Agric Life Environ Sci 34:194-205. doi:10.22698/jales.20220020
- Kim SH, Hwang IW, Chung SK, Seo YJ, Kim JS, Jeong YJ, Kim MY (2015a) Physicochemical properties of *Salvia miltiorrhiza* Bunge following treatment with enzymes. Korean J Food Preserv 22:699-707. doi:10.11002/kjfp.2015.22.5.699
- Kim YG, An TJ, Hur M, Lee JH, Lee YJ, Cha SW (2015b) Changes of major components and growth characteristics according to harvesting times of *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Korean J Med Crop Sci 23:395-399. doi:10.7783/KJMCS.2015.23.5.395
- Korea Food & Drug Administration (KFDA) (2012) The Korean pharmacopoeia (10th Ed.). Korea Food & Drug Administration, Chung-cheongbuk-do, Korea, pp 25-26
- Lee HJ, Lee SG, Kim SK, An S, Lee JH, Lee HS, Kim CW, Kwon YS, Han JW (2019) Effects of high-temperature and soil moisture conditions on the physiological response of onion. Hortic Sci Technol 37:571-578. doi:10.7235/HORT.20190057
- Lee JH, Cabahug RAM, You NH, Nam SY (2021a) Chlorophyll fluorescence and growth evaluation of ornamental foliage plants in response to light intensity levels under continuous lighting conditions. Flower Res J 29:153-164. doi:10.11623/frj.2021.29.3.05
- Lee JH, Kim HB, Nam SY (2022a) Evaluation of the growth and leaf color of indoor foliage plants under high temperature and continuous lighting conditions at different light intensity. J Agric Life Environ Sci 34:26-36, doi:10.22698/jales.20220004
- Lee JH, Lim YS, Nam SY (2021b) Optimization of shading levels, potting media, and fertilization rates on the vegetative growth of *Sedum zokuriense* Nakai. Flower Res J 29:239-246. doi:10.11623/fri.2021.29.4.04
- Lee JH, Nam SY (2023) Influence of three types of LED light quality on the growth and leaf color of *Sempervivum* 'Black Top'. J Agric Life Sci 57:39-47. doi:10.14397/jals.2023.57.2.39
- Lee JH, Soh SY, Kim HJ, Nam SY (2022b) Effects of LED light quality on the growth and leaf color of *Orostachys japonica* and *O. boehmeri*. J Bio Environ Con 31:104-113. doi:10.12791/KSBEC.2022.31.2.104

- Lee JH, Soh SY, Nam SY (2022c) Growth evaluation of potted *Delosperma cooperi* (Hook. f.) L. Bolus to shading levels, potting media, and fertilization rates. Flower Res J 30:1-9. doi:10.11623/frj.2022.30.1.01
- Lee SG, Choi CS, Lee HJ, Jang YA, Lee JG (2015) Effect of air temperature on growth and phytochemical content of beet and ssamchoo. Hortic Sci Technol 33:303-308. doi:10.7235/hort.2015.14061
- Liu B, Du Y, Cong L, Jia X, Yang G (2016) Danshen (*Salvia miltiorrhiza*) compounds improve the biochemical indices of the patients with coronary heart disease. Evid Based Complement Alternat Med 9781715:1-9. doi:10.1155/2016/9781715
- Liu H, Niu M, Zhu S, Zhang F, Liu Q, Liu Y, Liu R, Zhang Y (2020) Effect study of continuous monoculture on the quality of *Salvia miltiorrhiza* bge roots. Biomed Res Int 4284385:7. doi:10.1155/2020/4284385
- Mc Michael BL, Burke JJ (2002) Temperature effects on root growth. In Plant Roots (pp. 1120-1138). CRC Press
- Mok JS, Kim YM, Kim SH, Chang DS (1995) Antimicrobial property of the ethanol extract from Salvia miltiorrhiza. J Food Saf Hyg 10:23-28
- Nam JW, Lee JH, Lee JG, Hwang SY, Nam SY (2022) Characteristics of growth and leaf color of *Hylotelephium telephium* cv. Lajos and *H. sieboldii* cv. Mediovariegatum as affected by shading levels. Flower Res J 30:172-183 doi:10.11623/frj.2022.30.4.02
- Oh S, Moon KH, Koh SC (2017) Effects of different day/night temperature regimes on growth and clove development in cool-type garlic (*Allium sativum* L.). Hortic Sci Technol 35:1-10. doi:10.12972/kjhst.20170001
- Oh S, Moon KH, Son IC, Song EY, Moon YE, Koh SC (2014) Growth, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Chinese cabbage in response to high temperature. Hortic Sci Technol 32:318-329. doi:10.7235/hort.2014.13174
- 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
- Park SH, Lee JH, Nam SY (2023) An analysis of the growth and photosynthetic responses of potted *Veronica pusanensis* Y.N.Lee according to the shading levels. J People Plants Environ 26:219-231. doi:10.11628/ksppe.2023.26.3.207
- Peng LY, An L, Sun NY, Ma Y, Zhang XW, Liu WH, Liu BL, Li P, Chen J (2019) Salvia miltiorrhiza restrains reactive oxygen species-associated pulmonary fibrosis via targeting Nrf2-Nox4 redox balance. Am J Chin Med 47:1113-1131. doi:10.1142/S0192415X19500575
- Qi D, Wang M, Zhang D, Li H (2019) Tanshinone IIA protects lens epithelial cells from H₂O₂-induced injury by upregulation of lncRNA ANRIL. J Cell Physiol 234:15420-15428. doi:10.1002/jcp.28189
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1973) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, USA, pp 309-317
- Rural Development Administration (RDA) (2018) Development of a new cultivar of *Salvia miltiorrhiza*, 'Gosan', a medicinal crop that helps blood circulation, Rural Development Administration website. Available via http://www.rda.go.kr/board/board.do?mode=view&prgld=day_farmprmninfoEntry&dataNo=100000745564 Accessed 10 June 2023
- Shi Z, He J, Yao T, Chang W, Zhao M (2005) Simultaneous determination of cryptotanshinone, tanshinone I and tanshinone IIA in traditional Chinese medicinal preparations containing Radix *Salvia miltiorrhiza* by HPLC. J Pharm Biomed Anal 37:481-486. doi:10.1016/j.jpba. 2004 11 015
- Wang BQ (2010) Salvia miltiorrhiza: Chemical and pharmacological review of a medicinal plant. J Med Plants Res 4:2813-2820
- Wang H, Fan Y, Yang Y, Zhang H, Li M, Sun P, Zhang X, Xue Z, Jin W (2023) Classification of rose petal colors based on optical spectrum and pigment content analyses. Hortic Environ Biotechnol 64:153-166. doi:10.1007/s13580-022-00469-9
- Wang L, Ma R, Liu C, Liu H, Zhu R, Guo S, Tang M, Li Y, Niu J, et al. (2017) Salvia miltiorrhiza: a potential red light to the development of cardiovascular diseases. Curr Pharm Des 23:1077-1097. doi:10.2174/1381612822666161010105242
- Wang Y, Shen Y, Shen Z, Zhao L, Ning D, Jiang C, Zhao R, Huang L (2016) Comparative proteomic analysis of the response to silver ions and yeast extract in *Salvia miltiorrhiza* hairy root cultures. Plant Physiol Biochem 107:364-373. doi:10.1016/j.plaphy.2016.06.028
- Wei WJ, Zhou PP, Lin CJ, Wang WF, Li Y, Gao K (2017) Diterpenoids from *Salvia miltiorrhiza* and their immune-modulating activity. J Agric Food Chem 65:5985-5993, doi:10.1021/acs.jafc.7b02384
- Win NM, Lee D, Park J, Song YY, Cho YS, Lee Y, Park MY, Kweon HJ, Kang IK, et al. (2022) Effects of bloom thinning with lime sulfur on fruit set, yield, and fruit quality attributes of 'RubyS' apples. Hortic Sci Technol 40:253-260. doi:10.7235/HORT.20220024
- Wu BW, Pan TL, Leu YL, Chang YK, Tai PJ, Lin KH, Horng JT (2007) Antiviral effects of *Salvia miltiorrhiza* (Danshen) against enterovirus 71. Am J Chin Med 35:153-168. doi:10.1142/S0192415X07004709
- Yin HQ, Choi YJ, Kim YC, Sohn DH, Ryu SY, Lee BH (2009) Salvia miltiorrhiza Bunge and its active component cryptotanshinone protects primary cultured rat hepatocytes from acute ethanol-induced cytotoxicity and fatty infiltration. Food Chem Toxicol 47:98-103. doi:10.1016/j.fct.2008.10.018
- Zettl A (2023) Converting Colors. Converting Colors Website. Available via https://convertingcolors.com Accessed 25 March 2023
- Zhang F, Zheng W, Pi R, Mei Z, Bao Y, Gao J, Tang W, Chen S, Liu P (2009) Cryptotanshinone protects primary rat cortical neurons from glutamate-induced neurotoxicity via the activation of the phosphatidylinositol 3-kinase/Akt signaling pathway. Exp Brain Res 193: 109-118. doi:10.1007/s00221-008-1600-9
- **Zhao J, Lou J, Mou Y, Li P, Wu J, Zhou L** (2011) Diterpenoid tanshinones and phenolic acids from cultured hairy roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge and their antimicrobial activities. Molecules 16:2259-2267. doi:10.3390/molecules16032259
- Zhou L, Zuo Z, Chow MSS (2005) Danshen: an overview of its chemistry, pharmacology, pharmacokinetics, and clinical use. J Clin Pharmacol 45:1345-1359. doi:10.1177/0091270005282630