

수경재배에서 광도와 양액 농도가 베이비 산채 왕고들빼기 ‘선향’ 광합성과 생육 및 기능성 물질 함량에 미치는 영향

김재경¹ · 장동철² · 강호민³ · 남기정⁴ · 이문행⁵ · 나종국⁶ · 최기영^{6*}

¹강원대학교 원예학과 대학원생, ²강원대학교 원예학과 박사후 연구원, ³강원대학교 원예학과 교수, ⁴농협대학교 협동조합경영연구소 교수, ⁵충남농업기술원 과채 연구소 연구사, ⁶강원대학교 미래농업융합학부 교수

Effects of Light Intensity and Electrical Conductivity Level on Photosynthesis, Growth and Functional Material Contents of *Lactuca indica* L. ‘Sunhyang’ in Hydroponics

Jae Kyung Kim¹, Dong Cheol Jang², Ho Min Kang³, Ki Jung Nam⁴, Mun Haeng Lee⁵, Jong Kuk Na⁶, and Ki Young Choi^{6*}

¹Graduate Student, Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Post Doctor, Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

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

⁴Doctor, Cooperative Management Institute, Agricultural Cooperative University, Gyeonggi 10292, Korea

⁵Researcher, Fruit Vegetable Research Institute Chungcheongnam-Do A.R.E.S, Buyeo 32514, Korea

⁶Professor, Division of Future Agriculture Convergence, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract. This study was conducted to examine the changes of photosynthesis, growth, chlorophyll contents and functional material contents in light intensity and EC concentration of wild baby leaf vegetable, Indian lettuce (*Lactuca indica* L. cv. ‘Sunhyang’) in DFT hydroponics. The cultivation environment was 25±1°C of temperature and 60±5% of relative humidity in growth system. At 14 days after sowing, combination effect of light intensity (Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD 100, 250, 500 μmol·m⁻²·s⁻¹) and EC level (EC 0.8, 1.4, 2.0 dS·m⁻¹) of nutrient solution was determined at the baby leaf stage. The photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency of Indian lettuce increased as the light intensity increased. The photosynthesis rate and water use efficiency were highest in PPFD 500-EC 1.4 and PPFD 500-EC 2.0 treatment. The chlorophyll content decreased as the light intensity increased, but chlorophyll a/b ratio increased. Leaf water content and specific leaf area decreased as light intensity increased and a negative correlation ($p < 0.001$) was recognized. Plant height was the longest in PPFD 100-EC 0.8 and leaf number, fresh weight and dry weight were the highest in PPFD 500-EC 2.0. Anthocyanin and total phenolic compounds were the highest in PPFD 500-EC 1.4 and 2.0 treatment, and antioxidant scavenging ability (DPPH) was high in PPFD 250 and 500 treatments. Considering the growth and functional material contents, the proper light intensity and EC level for hydroponic cultivation of Indian lettuce is PPFD 500-EC 2.0, and PPFD 100 and 250, which are low light conditions, EC 0.8 is suitable for growth.

Additional key words : chlorophyll content, leaf water content, phenolic contents, water use efficiency

서론

어린잎 채소는 재배 기간이 20~40일로 짧으며, 본엽 1~8장이 나왔을 때 수확하여 이용하는 채소이다(Gioia 등, 2017). 국내의 어린잎 채소는 10cm 이내로 수확하여 이용되고 있다

(RDA,2013). 조리하지 않은 채로 섭취하는 어린잎 채소는 비타민과 미네랄, 항산화 물질이 풍부한 채소이다(Subhasree 등, 2009). 최근 한국은 건강과 미용 등의 관심 증가로 샐러드 등의 신선 편의 식품 소비가 2017년 기준 작년 대비 48.3%가 증가하였으며(KRSB, 2019), 이에 따른 어린잎 채소 소비 또한 증가하고 있다. 어린잎 채소는 상추, 루꼴라, 비트, 케일, 다채 등 일반 엽채류를 혼합하여 판매하고 있으며, 해외 어린잎 채소에는 일반 엽채류에 고수 또는 처빌(Chervil) 등의 허브

*Corresponding author: choiky@kangwon.ac.kr

Received October 12, 2020; Revised December 7, 2020;

Accepted December 10, 2020

를 혼합하여 품목의 다양화 및 기능성을 강조하여 새로운 상품으로 시판, 유통하고 있다(Gioia 등, 2017). 그러나 어린잎 채소 생산을 위한 종자는 대부분 수입에 의존하고 있으며, 국내 자생 채소를 이용하여 채소의 다양화가 가능하고, 연중 재배 채소로 활용할 수 있는 작물 개발이 중요하다.

국내의 자생하는 산채는 480 여종이며 그 중 농가에서 재배하고 있는 작물은 30여종 정도이다. 최근 웰빙과 건강에 관심이 많아 최근 5년간 산채 생산량과 생산액은 꾸준히 증가하고 있다. 그 중 왕고들빼기(*Lactuca indica* L.)는 국화과 한두해살이풀로 전국 산야에서 자생하고 있다. 왕고들빼기는 씹쌀한 맛을 내고 식물 전체 털이 없어 쌈 등 조리하지 않고 섭취 가능하다. 동의학에서는 권위 소화제, 해열제 등으로 사용되었다(Park, 2014). 왕고들빼기(♀)×용설채(♂)를 교배한 품종인 ‘선향’은 잎의 결각이 야생 왕고들빼기보다 적고, 엽맥에 자색의 안토시아닌 색소가 착색되어있는 채소이다(Noh 등, 2014).

일반적으로 어린잎 채소는 온실에서 토양 재배로 생산되고 있다. 그러나 생산되는 어린잎 채소는 수확하는데 많은 시간과 노력이 소요되고 있다. 식물공장은 재배 환경 제어를 통해 생산 공정이 매뉴얼화 되고, 자동화 시스템을 겸비하고 있어 생산물을 균일하게 생산할 수 있으며 노동력을 최소화할 수 있다. 수경재배에서 생산된 수확물은 토양 등 이물질의 세척 공정을 간소화하면서도 식품제조 과정에서의 안정성을 확보할 수 있어 앞으로 어린잎 채소 수경재배 방식은 증가하리라 기대된다. 작물 재배는 광, 온도, 관수 등의 재배 환경을 작물에 맞게 관리하는 것이 매우 중요하다. 광도와 작물 생장에 관련된 연구는 많이 진행되어왔다. 기본적으로 광합성을 하는 식물은 광도가 증가할수록 광합성량이 증가하면서 생체중과 건물중이 증가한다(Albright 등, 2000; Gent, 2014; Kitaya 등, 1998). 또한, 광도는 채소 또는 과일의 안토시아닌과 페놀화합물 등 천연 항산화 물질을 생성하는데 영향을 준다. Craver 등(2017)은 고광에서 어린잎 채소 콜라비를 재배하였을 때 안토시아닌 함량이 증가하였으며, Pérez-López 등(2018)은 상추를 고풍 재배하였을 때 페놀화합물뿐만 아니라 항산화 능력 또한 증가하였다고 보고하였다. Kim 등(2019)은 왕고들빼기 ‘선향’의 어린잎 채소 재배와 기능성 물질함량을 고려한 적정 광도는 PPFD $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이라고 보고하였으나 재배방식이 원예용 상태에서 수행하여 수경재배에 관한 연구는 보고되지 않았다.

식물공장 엽채류 수경재배에 관련하여 Park 등(2016)은 이 고들빼기 수경재배에 적정 양액 농도를 구명하였고, Park과 Lee(1999)는 광도와 양액 수중에서의 잎상추의 생육을 보고하였으며, Cho 등(2012)는 광도, 양액 농도, 재식밀도에 따른 영경귀 생육에 관한 연구를 수행한 바와 같이 지하부 EC 뿐 아니라 지상부 환경 구명에 관한 연구들이 이루어졌다. 어린잎

채소 수경재배와 관련된 연구로 Kwack 등(2015)은 어린잎 채소 생육과 품질에 적합한 양액을 선발하였으나 지하부 환경과 지상부 환경과의 연구는 미흡하다.

따라서 본 연구는 새로운 어린잎 채소 도입이 가능한 산채 왕고들빼기를 수경재배를 위해 광도와 양액 농도를 달리하였을 때 광합성, 생육, 기능성 물질함량에 관한 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 재배환경

온, 습도가 제어되는 식물생장실 내에서 왕고들빼기 ‘선향’ 품종(*Lactuca indica* L. cv. ‘Sunhyang’)을 128구 트레이에 상토(Baroker, Seoul Bio Ltd., Korea)로 충전한 후, 파종하여 온도 $25\pm 1^\circ\text{C}$, RH $60\pm 5\%$, White LED (ZVAS, Sunghyun Hightech Co. Ltd., South Korea) $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 광주기 16H/8H(명기/암기)에서 발아, 육묘하였다. 파종 12일 후, 왕고들빼기는 트레이에서 뽑아 뿌리가 상하지 않도록 최대한 흙을 닦아낸 후 우레탄 스펀지(2.7cm^3)에 이식하여 순환식 담액 수경재배기($46\times 32\times 22\text{cm}$, Gafatec, Hwaseong, Korea)에 정식하였다. 정식 후 처음 2일간은 pH 5.8, EC $0.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, PPFD $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 순화시켰다. 처리 전 왕고들빼기 생육은 초장 $6.0\pm 0.4\text{cm}$, 엽수 2-3장 엮였으며, White LED를 이용하여 광도 3수준(PPFD 100, 250, $500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)과 양액 농도 3수준(EC 0.8, 1.4, $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)을 조합하여 어린잎 채소 크기에 도달한 11일간 처리하였다. 배양액은 Yamasaki 엽채류 배양액(N-P-K-Ca-Mg=6-1.5-4-2-1me·L⁻¹)을 사용하였고, 2일 간격으로 배양액 보충하였고 pH는 KOH와 HNO₃를 이용하여 조절하였다.

2. 광합성, 생육, 기능성 물질 함량 분석

처리 11일 후 왕고들빼기 광합성, 엽록소 함량, 생육, 기능성 물질 함량을 측정 또는 분석하였다. 광합성은 휴대용 광합성 측정계(Li-6400XT, Li-cor Inc., USA)를 이용하였으며, 광합성율(Photo), 기공전도도(Cond), 엽육내 CO₂ 농도(Ci), 증산율(Tr), 수분이용효율(WUE) 등을 동시에 측정하였다. 광합성 측정기 챔버 환경 조건은 CO₂ 농도 $400\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 유속은 $500\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 엽온은 25°C 로 설정하였고, 광도는 처리 광도 수준으로 설정하여 광합성을 측정하였다.

엽록소 함량은 Mackinney(1941)의 방법을 적용하여 UV-spectrometer(UV-1800, Shimazu, Japan)을 사용하여 분석하였다. 생체중 0.2g의 조각낸 잎을 50mL 팔콘 튜브 안에 80% 아세톤 10mL를 넣고 침지 시킨 후 4°C 암실 조건에서 24시간 방치한 후 침출된 용액의 상등액을 사용하여 645nm,

663nm에서 측정된 후 엽록소 함량을 산출하였다.

생육은 초장, 엽수, 지상부 생체중과 건물중, 엽면적(Li-3100c, Li-cor Inc., USA) 등을 측정하였고, 측정항목을 이용하여 [비엽면적(SLA, $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)=엽면적/건물중]과 [잎수분함유량(LWC, %)=(생체중-건물중)/생체중×100]을 산출하였다.

기능성 물질 함량은 안토시아닌, 총 페놀화합물, 활성산소 소거능(DPPH)을 분석하였다. 안토시아닌 함량은 Rabino와 Mancinelli(1986)의 방법을 응용한 것으로 생체시료 0.2g을 10mL 1%HCL-MeOH용액에 4°C, 암실에서 48시간 반응시킨 후, 여과지를 이용하여 여과한 후 여과 용액을 흡광도 530nm에서 측정하여 Optical density Value(O.D. value)로 나타내었다. 총 페놀화합물 함량은 Folin&Dennis법을 응용하였으며, 50mL 팔콘튜브안에 생체 시료 0.5g와 10mL 80% MeOH용액을 가하여 4°C에서 24시간 암추출하여 여과하였다. 여과 용액 1mL에 증류수 3mL을 첨가한 후, Folin & Ciocalteu’s phenol reagent 1mL을 넣고 5분간 27°C(상온)의 shaking bath에서 혼합하였다. 5분 후 Na_2CO_3 포화용액을 1mL 넣어 혼합한 후 실온에서 50분 동안 방치시킨 후 640nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 검량곡선은 Gallic acid를 사용하였다.

활성산소 소거능 측정(DPPH)은 Lee 등(2003)의 방법을 응용한 것으로 생체 시료 0.5g을 메탄올 10mL을 가하여 24시간

추출한 다음, 추출용액 0.9mL에 0.3mM DPPH(2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 2.7mL을 혼합하여 50분간 방치시키고 517nm에서 측정하여 $[\text{DPPH}(\%)=(1-\text{Sample WL517nm}/\text{Blank WL517nm})\times 100]$ 공식에 적용하여 계산하였다.

3. 통계분석

실험구 배치는 임의배치 단구법으로 하였다. 기초 생육특성은 7주씩 조사하였으며, 광합성 특성과 엽록소 함량, 기능성 물질함량은 4 반복 분석하였다. 모든 실험의 통계는 처리당 평균값으로 Microsoft Excel 2016과 SAS package(statistical analysis system, 9.4, SAS Institute Inc.)를 이용하여 ANOVA (analysis of variance) 및 Duncan’s multiple range test(DMRT)를 실시하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 광합성 특성

담액 수경재배에서 광도와 양액 농도처리 11일 후 왕고들빼기 ‘선향’의 광합성 측정 결과이다(Table 1). 광합성율, 기공전도도, 증산율, 수분 이용효율은 광도가 높은 PPFD 500에서 높았고, 낮은 광도인 PPFD 100에서 낮았으며, 세포 내 CO_2

Table 1. Photosynthesis rate (Photo), Stomatal conductance (Cond), internal CO_2 concentration (Ci), transpiration rate (Tr) and water use efficiency (WUE) of Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown under different combination of light intensity and EC level at 11 days after treatment.

PPFD ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Photo ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Cond ($\text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{air}$)	Tr ($\text{mol} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	WUE ^z ($\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}^{-1}$)
100	0.8	4.0 d ^y	0.20 d	346.0 a	3.1 de	1.47 e
	1.4	3.8 d	0.13 d	333.0 ab	2.3 e	1.73 de
	2.0	4.0 d	0.16 d	340.4 ab	2.7 de	1.80 cde
	Mean	3.9	0.16	339.8	2.7	1.73
250	0.8	8.7 c	0.31 bc	328.2 abc	4.4 bc	2.01 bcde
	1.4	8.8 c	0.46 a	342.9 a	5.7 ab	1.54 e
	2.0	9.1 c	0.26 cd	318.1 cd	3.9 cd	2.58 ab
	Mean	8.9	0.34	329.7	4.7	2.04
500	0.8	10.4 b	0.36 ab	320.6 bcd	4.9 ab	2.25 abcd
	1.4	13.8 a	0.49 a	320.4 bcd	6.1 a	2.32 abc
	2.0	12.4 a	0.35 ab	310.8 d	4.9 ab	2.59 a
	Mean	12.2	0.40	317.3	5.3	2.39
Significance ^x						
Light (L)		**	***	**	***	**
EC (N)		NS	NS	NS	NS	NS
L×N		NS	NS	NS	NS	NS

^zWUE = Net photosynthesis rate (Photo)/Transpiration rate (Tr).

^yMeans with different letters in each column are significantly different by DMRT at $p < 0.05$ ($n = 4$).

^xNS, ** and *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p = 0.01$, $p = 0.001$, respectively.

농도는 PPFD 100에서 값이 컸다. 일반적인 엽채류의 적정 광도는 PPFD 200-300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이며(Yoon과 Choi, 2011), 대표적인 국화과 엽채류인 상추의 광포화점은 PPFD 463 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이다(Lee, 2014). 국화과인 왕고들빼기 또한 광포화점에 도달하기까지 광합성율은 증가한 것으로 보인다. PPFD 500 처리에서 EC 0.8, 1.4, 2.0 처리에서 광합성율은 각각 10.4, 13.8, 12.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 EC 0.8 처리에서 가장 낮았다. Park 등(2016)은 이고들빼기 수경재배에서 EC 0.5dS $\cdot\text{m}^{-1}$ 로 낮은 처리에서 광합성율이 낮았는데, 본 실험에서 같은 결과를 나타냈다. 국화과 어린잎 채소의 수경재배 배양액 농도는 1.0~1.7dS $\cdot\text{m}^{-1}$ 이며(RDA, 2013), 본 연구에서 공급한 0.8dS $\cdot\text{m}^{-1}$ 은 제시된 농도보다 낮았으며 이는 PPFD 500-EC 0.8 처리가 EC 1.4, 2.0 처리보다 낮은 광합성율을 나타낸 것으로 보인다. 그러나 PPFD 100과 250 처리에서 EC 농도처리에 의한 광합성율 차이는 없었다. 광합성율이 증가할수록 기공전도도와 증산율은 증가하며, Ghasemzadeh 등(2010)은 광합성율 증가는 단지 기공을 열어 CO₂ 흡수하는 것이 아니라 기공전도도를 높여 엽록소의 CO₂ 흡수량을 증가시키므로 광합성과 기공전도도는 정상관을 갖는다 보고하였다. 본 실험에서도 광합성율과 기공전도도는 같은 경향을 보였다. Kim 등(2008)은 광 환경이 달라짐에 따라 식물의 증산량은 다르고, 이에 따라 양분흡수 특성이 달라진다고 보고하였으며 본 실험에서도 광도가 높을수록 증산량이 많았다. 수분이용효율은 식물이 증산 등 손실되는 물의 손실률에 비해 CO₂를 고정시키는 효율을 말하며(Easlson 등, 2014), 식물의 증산과 광합성을 평가하는 중요한 척도이다(Hetherington와 Woodward, 2003). 광도가 높을수록 CO₂ 고정 능력이 향상하므로 수분 이용효율 또한 증가한 것으로 보인다.

2. 식물체 생육

왕고들빼기 처리 11일 후 왕고들빼기 잎수분함유량(LWC)와 비엽면적(SLA)을 측정된 결과(Fig. 1), LWC와 SLA는 광도가 높을수록 값이 작았으며, 광도와는 높은 부의 상관($p < 0.001$)을 나타냈다. EC 농도와 광도×EC농도 간에는 유의하지 않았다. LWC는 PPFD 100에서 94.2%로 PPFD 250가 PPFD 500 처리보다 2.1%, 3.8% 높았다. 본 연구에서 광도가 높을수록 증산량이 많아지므로 LWC 함량 또한 감소한 것으로 보인다. 잎의 두께를 말하는 SLA도 PPFD 100에서 691 $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 로 가장 값이 컸다. Kim 등(2019)은 광도가 높을수록 왕고들빼기의 SLA가 감소하다고 보고한 바와 같이 본 연구에서도 광도 증가에 SLA가 감소하는 결과를 보였으며, 이는 엽면적을 줄이고 잎을 두껍게 하여 광합수 면적을 최소화하기 위해 잎의 생태적 변화 결과이다. Lee와 Heuvelink(2003)은 SLA의 중요 요인은 광도와 온도에 있다는 주장하였으며, Lobos 등(2012)은 블루베리를 차광 재배하였을 때 광도가 높을수록 LWC와 SLA는 감소한다는 보고와 같이 본 실험도 같은 결과를 나타냈다.

Table 2는 광도와 양액 농도에 따른 어린잎 채소 왕고들빼기 엽록소 함량 결과이다. 엽록소 a와 b 함량은 PPFD 100에서 각각 25.9, 9.8 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$ 로 PPFD 250과 PPFD 500 처리보다 높았으며, 총 엽록소 함량도 PPFD 100에서 가장 높았다. PPFD 100과 250 처리에서 양액 농도는 엽록소 함량에 영향을 주지 않았으나, PPFD 500-EC 0.8 처리가 EC 1.4, 2.0 처리보다 엽록소 함량이 낮았다. 엽록소 a/b 비율은 광도가 높을수록 증가하였다. Ghasemzadeh 등(2010)과 Khan 등(2000)은 저광 조건에서 작물을 재배하였을 때 광합성 효율을 높이기 위해 엽록소 함량은 증가하고, Fu 등(2017)은 고광 조건에

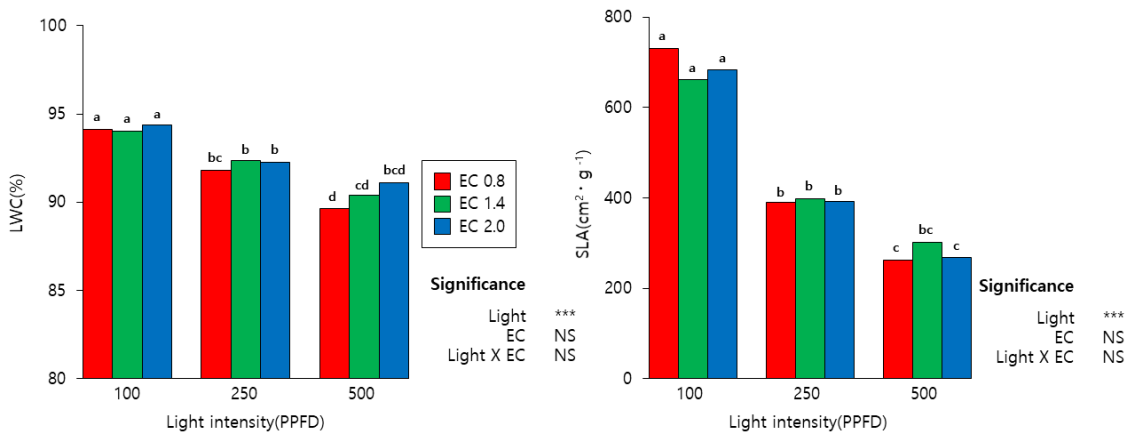


Fig. 1. Leaf water content (LWC) and specific leaf area (SLA) of Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown under different combination of light intensity and EC level at 11 days after treatment. Means with different letters in each column are significantly different by DMRT at $p < 0.05$ ($n = 4$). NS and *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p = 0.001$, respectively.

Table 2. chlorophyll (Chl) contents and Chlorophyll a/b ratio of Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown under different combination of light intensity and EC level at 11 days after treatment.

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Chl contents ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)			Chl a/b ratio
		a	b	Total	
100	0.8	26.5 a ^z	10.1 a	36.6 a	2.6 d
	1.4	23.8 ab	8.7 ab	32.5 ab	2.7 d
	2.0	27.3 a	10.6 a	37.9 a	2.6 d
	Mean	25.9	9.8	35.7	2.6
250	0.8	24.4 ab	8.3 ab	32.6 ab	3.0 bc
	1.4	25.5 ab	8.8 ab	34.3 ab	2.9 c
	2.0	23.7 ab	8.0 ab	31.7 ab	3.0 bc
	Mean	24.5	8.4	32.9	3.0
500	0.8	19.0 b	6.0 b	25.0 b	3.2 a
	1.4	22.0 ab	6.9 b	28.9 ab	3.2 a
	2.0	24.0 ab	7.8 ab	31.9 ab	3.1 ab
	Mean	20.7	6.9	28.6	3.2
Significance ^y					
Light (L)		NS	**	*	***
EC (N)		NS	NS	NS	NS
L×N		NS	NS	NS	NS

^zMeans with different letters in each column are significantly different by DMRT at $p < 0.05$ ($n = 4$).

^yNS, *, **, *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p = 0.05$, $p = 0.01$, $p = 0.001$, respectively.

서는 엽록소 함량은 감소하지만 생체중을 증가시킨다고 보고 하였으며 왕고들빼기 재배에서도 같은 결과를 나타냈다. Ghasemzadeh 등(2010)과 Lobos 등(2012)은 총 엽록소 함량이 증가하게 되면 엽록소 a/b의 비율이 감소한다고 보고하였으며, 광도가 높을수록 엽록소 a/b의 비율의 증가한다는 연구 결과와 일치하였다(Evans와 Poorter, 2001). 이는 엽록소 b의 주요 기능은 빛 에너지를 수집하여 엽록소 a로 전달하는 것이며(Duysens, 1952), 광도가 낮을시 빛 에너지를 최대한 수집하기 위해 엽록소 b 함량을 증가시켜 엽록소 a/b 비율이 낮아졌기 때문으로 해석된다.

Table 3은 광도와 양액 농도 처리 11일 후 왕고들빼기 ‘선향’의 생육 결과이다. 광도가 PPFD 100에서 PPFD 500으로 증가했을 때 초장은 감소하였고, 엽수, 생체중, 건물중은 증가하였다. 양액 농도는 PPFD 500-EC 0.8 처리에서 생육이 가장 부진하였고, 나머지 광도 처리에서는 유의성이 없었다. 왕고들빼기 초장은 PPFD 100-EC 0.8 처리가 17.1cm로 가장 길었고, PPFD 500 처리에서 13.7cm 짧았다. 엽수는 PPFD 500 처리에서 7.2장으로 가장 많았으며 PPFD 100과 250 처리는 각각 6.2, 6.4장으로 적었다. PPFD 100, 250 처리에서 EC 농도가 엽수에 영향을 주지 않았으나 PPFD 500 처리는 EC 농

도가 높을수록 엽수는 증가하였다. 엽면적은 PPFD 100-EC 0.8에서 74cm^2 로 가장 넓었고, PPFD 100-EC 1.4, 1.8과 PPFD 500-EC 0.8 처리는 $51.8\sim 53.8\text{cm}^2$ 로 가장 작았다. 엽면적은 광도와 양액 농도에 있어 유의성이 없었는데, 광도가 낮을수록 초장은 길어졌으나 엽수는 감소하여 엽면적 차이는 나타나지 않았다. 생체중과 건물중은 엽수와 마찬가지로 광도가 높을수록 증가하였고, 고광 조건에서는 EC 농도가 높을수록 증가하였다. Ghasemzadeh 등(2010)은 광도가 높을수록 광합성율이 증가하고, 잎 내에 많은 양의 탄소 동화산물을 축적하여 건물중을 증가시킨다는 보고하였으며, 본 연구에서도 광합성율이 높은 PPFD 500 처리에서 건물중이 증가하였다 (Table 1). 토마토 육묘과정에서 높은 광도는 초장을 감소시키며(Fan 등, 2013), Lichtenthaler 등(2007)은 과도한 광조건에서 식물은 초장을 줄이는 등 생리적인 변화를 통해 불량환경에 적응한다는 결과와 일치하였다. Park과 Lee(1999)는 상추 재배 시 광도가 높을수록 낮은 EC 농도에서 생육이 우수한 연구 결과가 있지만, Jurik 등(1982)은 딸기 재배에서 광도가 높을수록 양액 공급이 엽수와 엽면적, 생체중이 증가하였으며, Cho 등(2012)은 PPFD 200-EC 2.0에서 씬바귀를 재배하는 것이 PPFD 200-EC 1.5 재배보다 생육이 좋다고 보고하였

Table 3. Characteristics of growth of Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown under different combination of light intensity and EC level at 11 days after treatment.

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Plant height (cm)	Leaf number (ea)	Leaf area (cm^2)	Fresh wt. ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Dry wt. ($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)
100	0.8	17.1 a ^z	6.3 bc	74.0 a	1.8 bc	0.11 de
	1.4	14.9 bcd	6.0 c	53.8 b	1.4 c	0.09 e
	2.0	15.4 abc	6.2 c	51.8 b	1.4 c	0.08 e
	Mean	15.8	6.2	59.9	1.5	0.07
250	0.8	15.9 abc	6.3 bc	61.0 ab	2.0 bc	0.17 bc
	1.4	14.5 bcd	6.5 bc	58.1 ab	1.9 bc	0.15 cd
	2.0	16.2 ab	6.3 bc	65.2 ab	2.2 b	0.2 bc
	Mean	15.5	6.4	61.4	2.0	0.17
500	0.8	13.3 d	6.7 bc	52.6 b	2.0 bc	0.2 bc
	1.4	13.6 d	7.3 ab	60.2 ab	2.2 b	0.2 ab
	2.0	14.1 cd	7.7 a	70.2 ab	2.9 a	0.3 a
	Mean	13.7	7.2	61.0	2.4	0.2
Significance ^y						
Light (L)		***	***	NS	***	***
EC (N)		NS	NS	NS	NS	NS
L×N		*	NS	NS	NS	NS

^zMeans with different letters in each column are significantly different by DMRT at $p < 0.05$ ($n = 7$).

^yNS, *, *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p = 0.05$, $p = 0.001$, respectively.

다. 이는 작물과 생육 시기마다 생리적 반응을 다르게 나타내므로 다른 결과가 나타난 것으로 확인된다. Kim 등(2019)은 왕고들빼기를 상토에서 재배하였을 때 파종부터 수확까지 28 일가량 소요되었으나, 본 연구에서는 파종부터 수확까지 25 일로 재배 기간이 단축할 수 있었다. Lee 등(2011)은 돌나물을 수경재배하였을 때 토경 재배보다 초장, 생체중 등 생육이 우수하다고 보고한 바와 같은 결과였다.

3. 기능성 물질함량

광도와 양액농도 처리 11 일 후 왕고들빼기 따른 기능성 물질함량을 측정한 결과이다(Table 4). 광도와 양액 농도는 기능성 물질함량에 영향을 주었다. 육안으로 보았을 때 PPFD 500 처리에서 엽색이 붉게 나타났으며(Fig. 2), 안토시아닌 함량은 1.0~1.1(O.D. Value)로 PPFD 100-EC 1.4 처리보다 0.3~0.4 많았다. 총 페놀화합물은 PPFD 100에서 $24.8\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$, PPFD 250은 $37.9\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$ 보다 PPFD 500은 $51.5\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$ 로 높은 광도에서 총 페놀함량이 높았다. PPFD 100과 PPFD 250은 EC 농도와 상관없었으나 PPFD 500-EC 0.8 처리에서 $32.5\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$ 로 PPFD 500-EC 1.4, 2.0 처리보다 25~50% 낮았다. 항산화 소거 능력

은 PPFD 250, 500 처리에서 85% 이상으로 PPFD 100보다 높은 항산화 능력을 나타냈다. 그러나 PPFD 100-EC 2.0 처리 항산화 소거 능력은 64.5%로 PPFD 100-EC 0.8, PPFD 100-EC 1.4 처리보다 높은 소거 능력을 갖고 있었다. 안토시아닌은 광도에만 유의성을 가졌으며($p < 0.01$), 총 페놀화합물은 광도($p < 0.001$), 양액 농도($p < 0.01$), 광도×양액 농도($p < 0.01$)에 높은 유의성을 가졌다. 항산화 소거능력 또한 광도($p < 0.001$), 광도×양액 농도($p < 0.05$)에 높은 유의성을 가졌다. Kim 등(2019)은 왕고들빼기 재배 광도가 높을수록 안토시아닌 함량, 총 페놀화합물 함량, DPPH 능력은 증가한 연구 결과와 일치하며, 이중 총 페놀화합물은 PPFD 100 처리서 $34.4\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$, PPFD 500 처리서 $47.4\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$ 로 본 연구와 비교하였을 때, PPFD 100은 함량이 낮았지만, PPFD 500-EC 1.4, 2.0 처리는 높았다. 안토시아닌의 생성 주요 원인은 광보호를 하기 위함이며(Logan 등, 2015), 본 연구에서도 광도가 높은 PPFD 500에서 안토시아닌 발현이 많았다. Pérez-López 등(2018)은 고광 등의 환경 스트레스는 페놀화합물 함량을 높이며 항산화 능력을 증가시킨다는 연구 결과와 일치하였다. Park 등(2016)은 이고들빼기 수경재배에서 PPFD 310에서 양액 농도 수준에 따라 재배를 하였을 때 양액

수경재배에서 광도와 양액 농도가 베이비 산채 왕고들빼기 ‘선향’ 광합성과 생육 및 기능성 물질 함량에 미치는 영향

Table 4. Anthocyanin content, total phenolic contents (TPC) and DPPH in Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown under different combination of light intensity and EC level at 11 days after treatment.

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Anthocyanin (O.D value)	TPC ($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{FW}^{-1}$)	DPPH (%)
100	0.8	0.9 abc ^z	24.1 de	49.9 c
	1.4	0.8 c	23.0 e	47.3 c
	2.0	0.9 bc	27.4 de	64.5 b
	Mean	0.9	24.8	53.9
250	0.8	0.9 ab	44.5 b	86.5 a
	1.4	0.9 ab	38.0 bc	87.9 a
	2.0	0.9 abc	31.1 cde	81.6 a
	Mean	0.9	37.9	85.3
500	0.8	1.0 ab	32.5 cd	87.4 a
	1.4	1.1 a	65.0 a	86.9 a
	2.0	1.0 ab	57.0 a	87.7 a
	Mean	1.0	51.5	87.3
Significance ^y				
Light (L)		**	***	***
EC (N)		NS	**	NS
L×N		NS	***	*

^zMeans with different letters in each column are significantly different by DMRT at $p < 0.05$ ($n = 4$).

^yNS, *, ** and *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p < 0.05$, 0.01 and 0.001, respectively.



Fig. 2. Representative images of Indian lettuce ‘Sunhyang’ grown for 11 days after transplant under the various light intensity and EC levels.

농도가 높을수록($\text{EC } 2.0\sim 2.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) 총 페놀화합물 함량과 항산화 함량이 증가하였다. 본 연구에서 PPFD 500 처리에서 $\text{EC } 0.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 수준은 식물 생육에 미흡한 조건이므로 페놀화합물함량이 적은 것으로 생각된다.

이상의 결과 광도와 양액 조합 처리에서 어린잎 산채 왕고들빼기 ‘선향’의 생육과 기능성 물질에 영향을 주었다. 왕고들빼기 ‘선향’을 수경재배할 때 광도에 맞게 EC 농도를 조절하여 재배하는 것이 필요하다. PPFD 100, 250에서는 EC 농도에 영향을 받지 않았으므로 $0.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이 적합하며, PPFD 500은 $\text{EC } 2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 재배하는 것이 초장 및 생체중 등 생육이 우수하고 기능성 물질함량도 높게 재배 가능하다. 또한, 수경재배는 트레이 재배보다 파종부터 수확까지의 기간을 단축하면서도 생육과 기능성 함량 높게 재배 가능하여 재배 횟수를 늘려 연 수확량의 증가 또한 기대할 수 있을 거라 생각된다.

적 요

본 실험은 수경재배에서의 왕고들빼기 ‘선향’의 광도와 양액 농도가 광합성과 생육, 기능성 물질함량의 변화를 알아보고자 수행했다. 재배 환경은 온도 $25\pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $60\pm 5\%$

가 조절되는 생장 시스템에서 담액 수경 방식으로 재배하였다. 파종 14일 후, 광도 3수준(PPFD 100, 250, 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)과 양액 농도 3수준(EC 0.8, 1.4, 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)를 조합하여 어린 잎 채소 크기에 도달하였을 때 수확하여 분석하였다. 왕고들빼기 선향의 광합성율, 기공전도도, 증산율, 수분이용효율은 광도가 높을수록 증가하였다. 광합성율과 수분이용효율은 PPFD 500-EC 1.4, PPFD 500-EC 2.0 처리에서 가장 높았다. 엽록소 함량은 광도가 높을수록 감소하였으며 엽록소 a/b 비율은 광도가 증가할수록 증가하였다. 잎수분함유량(LWC)과 비엽면적(SLA)은 광도가 높을수록 감소하여 부상관($p < 0.001$)을 가졌다. 초장은 PPFD 100-EC0.8에서 가장 길었고, 엽수, 생체중, 건물중은 PPFD 500-EC2.0에서 가장 높았다. 기능성 물질인 안토시아닌과 총 페놀화합물은 PPFD 500-EC 1.4, 2.0 처리에서 가장 높았고, 항산화 소거 능력(DPPH)은 PPFD 250, 500에서 높았다. 생육과 기능성물질 함량 증진을 고려했을 때 왕고들빼기 수경재배 시 적정 광도와 EC는 PPFD 500-EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이며, 저광 조건인 PPFD 100, 250에서는 EC 0.8 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 재배가 적합하였다.

추가 주제어: 수분이용효율, 엽록소 함량, 잎수분함유량, 페놀 화합물

사 사

본 연구는 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업(114072-03, 117038-03) 지원으로 수행되었음.

Literature Cited

- Albright L., A. Both, and A. Chiu. 2000. Controlling greenhouse light to a consistent daily integral. *Trans. ASAE*. 43:421.
- Cho Y.Y., K.Y. Choi, Y.B. Lee, and J.E. Son. 2012. Growth characteristics of sowthistle (*Ixeris dentata* Nakai) under different levels of light intensity, electrical conductivity of nutrient solution, and planting density in a plant factory. *Hort. Environ. Biotechnol.* 53:368-372.
- Craver J.K., J.R. Gerovac, R. Lopez, and D.A. Kopsell. 2017. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within *Brassica* microgreens. *J. Amer. Soc. Horticultural Sci.* 142:3-12.
- Duysens L.N.M. 1952. Transfer of excitation energy in photosynthesis. PhD thesis. State Univ. Utrecht, The Netherlands.
- Easlon H.M., K.S. Nemali, J.H. Richards, D.T. Hanson, T.E. Juenger, and J.K. McKay. 2014. The physiological basis for genetic variation in water use efficiency and carbon isotope composition in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis research*. 119:119-129.
- Evans J. and H. Poorter. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24:755-767.
- Fan X., Z.G. Xu, X.Y. Liu, C.M. Tang, L.W. Wang, and X. Han. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci Hort.* 153:50-55.
- Fu Y., H. Li, J. Yu, H. Liu, Z. Cao, N.S. Manukovsky, and H. Liu. 2017. Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia horticulturae*, 214:51-57.
- Gent M.P. 2014. Effect of daily light integral on composition of hydroponic lettuce. *HortScience* 49:173-179.
- Ghasemzadeh A., H.Z. Jaafar, and A. Rahmat. 2010. Synthesis of phenolics and flavonoids in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and their effects on photosynthesis rate. *International J. Mol. Sci.* 11:4539-4555.
- Gioia F.D., M. Renna, and P. Santamaria. 2017. Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. Springer. 403-432.
- Hetherington A.M. and F.I. Woodward. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*. 424: 901-908.
- Jurik T.W., J.F. Chabot, and B.F. Chabot. 1982. Effects of light and nutrients on leaf size, CO₂ exchange, and anatomy in wild strawberry (*Fragaria virginiana*). *Plant Physiol.* 70: 1044-1048.
- Khan S.R., R. Rose, D.L. Haase, and T.E. Sabin. 2000. Effects of shade on morphology, chlorophyll concentration, and chlorophyll fluorescence of four Pacific Northwest conifer species. *New forests*, 19:171-186.
- Kim J.K., H.M. Kang, J.K. Na, and K.Y. Choi. 2019. Changes in growth characteristics and functional components of *Lactuca indica* L. ‘Sunhyang’ baby leaf vegetable by light intensity and cultivation period. *Kor. Hort. Sci. Technol.* 37:579-588.
- Kim Y.H., H.J. Kim, J.W. Lee, and J.M. Kim. 2008. Growth of potato plug seedlings as affected by photosynthetic photon flux in a closed transplants production system. *J. Biosystems Eng.* 33:106-114.
- Kitaya Y., G. Niu, T. Kozai, and M. Ohashi. 1998. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. *HortScience*. 33:988-991.
- Korea Rural Community Broadcasting (KRCB). 2019. <http://www.newskr.kr/news/articleView.html?idxno=30924>. Accessed 05 Aug 2019.
- Kwack Y., D.S. Kim, and C. Chun. 2015. Growth and quality of baby leaf vegetables hydroponically grown in plant factory

- as affected by composition of nutrient solution. Protected Hort. Plant Fac. 24:271-274 (in Korean).
- Lee J.G. and E. Heuvelink. 2003. Simulation of leaf area development based on dry matter partitioning and specific leaf area for cut chrysanthemum. Annals of Botany 91: 319-327.
- Lee J.M. 2014. Vegetable sciences general. Hyangmunsa, 109-113.
- Lee S.C., J.H. Kim, S.M. Jeong, D.R. Kim, J.U. Ha, K.C. Nam, and D.U. Ahn. 2003. Effect of far-infrared radiation on the antioxidant activity of rice hulls. J. Agri. Food Chem. 51:4400-4403.
- Lee S.Y., H.J. Kim, and J.H. Bae. 2011. Growth, vitamin C, and mineral contents of *Sedum sarmentosum* in soil and hydroponic cultivation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29:195-200 (in Korean).
- Lichtenthaler H.K., A. Ač, M.V. Marek, J. Kalina, and O. Urban. 2007. Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. Plant Physiol. Biochem. 45: 577-588.
- Lobos G.A., J.B. Retamales, J.F. Hancock, J.A. Flore, N. Cobo, and A. del Pozo. 2012. Spectral irradiance, gas exchange characteristics and leaf traits of *vaccinium corymbosum* L. ‘Elliott’ grown under photo-selective nets. Environ. Exp. Bot. 75:142-149.
- Logan B.A., W.C. Stafstrom, M.J. Walsh, J.S. Reblin, and K.S. Gould. 2015. Examining the photoprotection hypothesis for adaxial foliar anthocyanin accumulation by revisiting comparisons of green-and red-leafed varieties of coleus (*Solenostemon scutellarioides*). Photosynthesis research. 124:267-274.
- Mackinney G. 1941. Absorption of light by Chlorophyll solution. J. Bio. Che. 140:315-322.
- Noh H., J. Kim, S. Kim, I. Kim, and S. Choi. 2014. Effects of planting distances on the growth and yield of *Lactuca indica* L. ‘Seonhyang’. HC2014:1129:127-130.
- Park J.H. 2014. A study on physiological activity of extracts in different organs from *Lactuca indica* L. MS thesis. Chosun Univ. p. 1-3.
- Park M.H. and Y.B. Lee. 1999. Effects of light intensity and nutrient level on growth and quality of leaf lettuce in a plant factory. Protected Hort. Plant Fac. 8:108-114.
- Park S.Y., S.B. Oh, S.M. Kim, Y.Y. Cho, and M.M. Oh. 2016. Evaluating the effects of a newly developed nutrient solution on growth, antioxidants, and chicoric acid contents in *Crepidiastrum denticulatum*. Horti. Environ. Biotechnol. 57:478-486.
- Pérez-López U., C. Sgherri, J. Miranda-Apodaca, F. Micaelli, M. Lacuesta, A. Mena-Petite, and A. Muñoz-Rueda. 2018. Concentration of phenolic compounds is increased in lettuce grown under high light intensity and elevated CO₂. Plant Physiol. Biochem. 123:233-241.
- Rabino I. and A.L. Mancinelli. 1986. Light, temperature, and anthocyanin production. Plant Physiol. 81:922-924.
- Rural Development Administration (RDA). 2013. Standard farming manual-sprout and baby leaf vegetable. 99-103.
- Subhasree B., R. Baskar, R.L. Keerthana, R.L. Susan, and P. Rajasekaran. 2009. Evaluation of antioxidant potential in selected green leafy vegetables. Food chemistry. 115:1213-1220.
- Yoon C.G. and H.K. Choi. 2011. A study on the various light source radiation conditions and use of LED illumination for plant factory. J. Kor. Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 25:14-22.