

밀폐형 식물 생산 시스템에서 형광등 종류에 따른 시금치의 생육 및 기능성물질 함량

김현민¹ · 김혜민¹ · 이혜리² · 이재은⁵ · 황승재^{1,2,3,4*}

¹경상대학교 대학원 응용생명과학부, ²경상대학교 농업생명과학대학 농업식물학과, ³경상대학교 농업생명과학연구원,
⁴경상대학교 생명과학연구원, ⁵KC 케미칼 기술연구소

Growth and Phytochemical Contents of Spinach as Affected by Different Type of Fluorescent Lamp in a Closed-type Plant Production System

Hyeon Min Kim¹, Hye Min Kim¹, Hye Ri Lee², Jae Eun Lee⁵, and Seung Jae Hwang^{1,2,3,4*}

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

²Department of Agricultural Plant Science, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

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

⁴Reserch Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵R&D Center, KC Chemical, Hwaseong 445-862, Korea

Abstract. This study was conducted to examine the growth and phytochemical contents of spinach (*Spinacia Oleracea* L. ‘Sushiro’) as affected by different fluorescent lamps in a closed-type plant production system. Seeds were sown in a 128-cell plug tray filled in rockwool. The seedlings were transplanted into a DFT (deep floating technique) system with recycling nutrient solution (EC 1.5 dS·m⁻¹ and pH 6.5) in a closed-type plant production system. The seedlings were grown under 3 types of fluorescent lamp, #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands) at 150 μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF with a photoperiod of 14/10 (light/dark) hours. Plants were cultured under condition of 25 ± 1°C temperature and 60 ± 10% relative humidity after transplanting. Thirty plants per each treatment were cultivated for 6th week after transplanting. And growth and phytochemical contents were measured at 3rd and 6th week. At the 3rd week after transplanting, the parameter values of plant height and leaf width were higher in the #O than the others. However, fresh and dry weights of root were the greatest in the #P. In addition, total phenolic concentration was the greatest in the #P. At 6th week after transplanting, the #O had the greatest growth of spinach in the plant height and fresh and dry weights of shoot. The total phenolic contents significantly increased in the #O and showed significantly difference. However, there was no significant difference all treatments in antioxidant activity. Therefore, these results suggest that the #O was suitable for the growth and phytochemical accumulation of spinach in a closed-type plant production system.

Additional key words : antioxidant activity, deep floating technique, phenolic concentration, *Spinacia oleracea* L.

서 론

시금치는 명아주과에 속하는 한해살이 또는 두해살이 풀로 아시아 서남부 일대가 원산지로서 다양한 비타민 종류를 함유하고 있다. 특히 비타민 A의 함유량은 채소 중에서 가장 많은 것으로 알려져 있으며, 칼슘과 철분 등이 풍부해 어린이와 임산부에게 좋은 알칼리성 식품이

다. 시금치의 생리학적 효과로는 변비와 빈혈의 예방과 유방암의 항암효과가 있어 고기능성 채소로 보고되고 있다(Zhang 등, 1989; Longnecker 등, 1997). 내한성이 강한 특징이 있지만, 기온이 30°C 이상으로 지나치게 상승할 경우 종자 발아 불량 및 생산량이 현저하게 떨어진다(Leskovar 등, 1999). 우리나라에서는 고온기인 여름에 평지보다는 고랭지에서 재배가 이루어지고 있으며 이러한 까다로운 생육환경으로 시장에 공급이 불안정해져 시금치 가격이 폭등하는 원인이 되기도 한다(Seo 등, 2005). 또한 우리나라의 고랭지 온도 역시 이상고온과 지구온난화로 평지의 온도상승 폭보다 크고 속도도 빨라

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received August 11, 2017; Revised October 14, 2017;

Accepted October 14, 2017

질 것으로 보고되고 있다(Ahn 등, 2008). 이에 대한 온도 및 환경변화에 대응하기 위한 방안으로 외부환경에 영향을 받지 않고 인위적으로 환경조절이 가능한 밀폐형 식물생산 시스템을 이용한 연구가 진행되고 있다.

밀폐형 식물생산 시스템은 작물 재배시 밀폐된 시설 내에서 광, 공기, 온도, 상대습도, 이산화탄소 농도, 배양액 등의 지상부-지하부 환경을 최적상태로 제어하고 계절이나 장소에 관계없이 자동적으로 연속 생산하는 시스템을 말한다(Takatsuji, 2008). 따라서 시설 내에서 최적 재배환경을 유지함으로써 작물의 품질을 균일화시키고 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한 작물의 생육환경을 정밀하게 관리하여 비료나 농약의 사용을 저감시킬 수 있고, 재배가 어려운 고기능성 작물을 재배함으로써 고부가가치 농업을 실현할 수 있다(Park 등, 2013).

밀폐형 식물생산 시스템 내에서 작물재배시 중요한 환경 요인 중 하나는 광이며, 인공적으로 조사해주어야 한다. 현재 밀폐형 식물생산 시스템에 이용되는 인공광원으로는 형광등(fluorescent lamp), 고압나트륨등(high pressure sodium lamp), 발광다이오드(light-emitting diode, LED) 등이 이용되고 있다. 이러한 인공광원은 서로 다른 광 파장을 가지며 식물 생육에 적합하도록 조절한다면 광합성률을 높이거나 농산물의 생산성 향상 등 식물에 긍정적인 효과를 볼 수 있다(Lee 등, 2015). 그 중 형광등은 식물재배용 광원으로서 다단식 재배가 가능하며, 다양한 파장 영역을 포함하는 분광 특성과 초기 투자비용이 낮고 설치가 간편한 장점으로 폭넓게 이용되고 있다. 이전의 연구들에서 형광등 이용으로 아이스플랜트의 생육 향상, 당귀의 decurusin과 같은 기능성 물질 함량 증가에도 긍정적인 효과가 보고되고 있다(Kim 등, 2016; Lee 등, 2016). 또한 다른 인공광원과 비교하였을 때, 형광등을 조사한 반결구상추 ‘Seneca RZ’의 생육이 긍정적이었던 결과도 보고되고 있다(Kim 등, 2013). 하지만 형광등 제조업체에 따라 형광등의 광질이 다양하여 식물 생장, 형태형성 그리고 기능성 함량에 미치는 영향이 상이하다.

따라서 본 연구는 밀폐형 식물 생산 시스템에서 제조업체별 형광등 제품에 따른 시금치의 생육 및 기능성물질 함량을 검토하여 생육 및 기능성 물질 함량 증진에 적합한 형광등을 선발하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재배환경

플러그 트레이(128-cell, 54×28×4.8cm)에 암면(Rockwool, Grodan Co. Ltd., Denmark)을 충전 한 후 1구당 1립씩의 시금치(*Spinacia Oleracea* L. ‘Sushiro’) (Asia Seed Co., Korea) 종자를 파종한 후 경상대학교 시설원예학원

구실의 밀폐형 식물 생산 시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Korea)내에서 광도 $150 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPF, 광주기 14/10(명기/암기), 형광등(FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany) 하에서 정식 전까지 육묘하였다. 식물체의 본엽이 2-3매 출현했을 때 3종류의 형광등 #S(NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O(FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), #P(FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands)가 각각 조사되는 밀폐형 식물생산 시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Korea)에 $15 \times 15 \text{cm}$ 의 재식간격으로 정식 하였다. 밀폐형 식물생산 시스템 내의 재배환경은 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 10\%$, 광주기 14/10(명기/암기)로 동일하게 설정하였고, 광도는 광도계(HD2101.2, Delta Ohm SrL, Italy)를 이용하여 식물체의 상부 잎을 기준으로 모든 처리구가 $150 \pm 10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ PPF가 되도록 설정하였다. 재배기간 동안 재순환 담액식 수경재배(recirculating deep floating technique) 방식을 이용하여 코넬대학교 시금치 전용 액비(Table 1)를 조제하여 $\text{EC } 1.5 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, pH 6.5로 맞추어 관주하였다.

2. 조사항목

형광등 종류에 따른 시금치의 생육을 비교하기 위해 정식 후 3주와 6주째에 시금치의 초장, 엽장, 엽폭, 최대 근장, 엽수를 측정하였고, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., USA)를, 경경은 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Japan)를 이용하여 지체부 상단 1cm를, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH., Germany)을 이용하여 측정하였다. 건물중은 시료를 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Germany)에서 72시간 건조한 후 측정하였다. SPAD 값은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Japan)를 이용하여 측정하였다. 식물체 온도와 형광등의 종류별 온도분포를 확인하기 위해 열화상카메라(Testo 880-1, Testo Co. Ltd., Lenzkirch, Germany)를 이용하여

Table 1. Composition of the nutrient solution used in the experiment.

Chemical	Conc. (mg·L ⁻¹)	Chemical	Conc. (mg·L ⁻¹)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	345.6	Fe-EDTA	10.00
KNO ₃	555.5	H ₃ BO ₃	0.93
KH ₂ PO ₄	136.0	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.10
MgSO ₄ ·7H ₂ O	64.0	MnSO ₄ ·5H ₂ O	0.56
NH ₄ NO ₃	16.0	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.06
K ₂ SO ₄	87.0	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.36

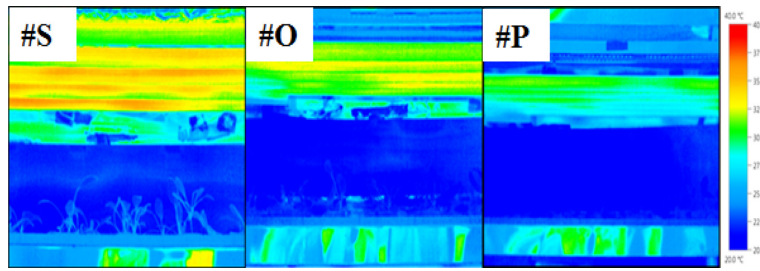


Fig. 1. Thermal images of the spinach and fluorescent as affected by different fluorescent lamps in a closed-type plant production system. #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

Table 2. Light intensity of each wavelength at different fluorescent lamps.

Fluorescent lamp ²	Light intensity ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)				Total
	300-400nm	400-500nm	500-600nm	600-700nm	
#S	3.8	56.3	61.3	28.6	150.0
#O	1.7	58.1	59.5	30.7	150.0
#P	2.9	56.2	61.1	29.8	150.0

²Fluorescent lamps are presented as #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

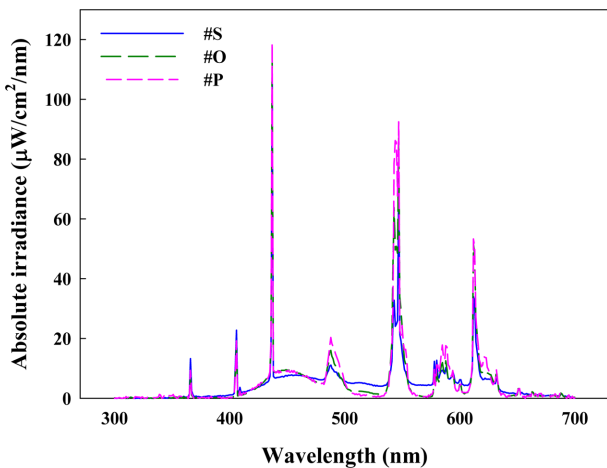


Fig. 2. Spectral distribution of the light qualities of #S, #O, and #P fluorescent lamps used in a closed-type plant production system. #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

표면온도와 열 분포 이미지를 촬영하였고(Fig. 1), 광과장은 분광복사계(ILT950, International Light Co. Ltd., USA)를 이용하여 300-700nm 범위를 1nm 간격으로 측정하였다(Table 2와 Fig. 2).

3. 총페놀 함량 및 항산화 활성 분석

총페놀 함량과 항산화 활성 측정을 위해 시금치 지상부 전체를 액체질소로 동결시킨 후, 막자사발을 사용해 미세한 분말로 분쇄하여 -72°C의 초저온 냉동고(NF-140SF, Nihon Freezer Co. Ltd., Japan)에 보관하여 분석에 사용하였다. 시금치의 총페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을 일부 변형하여 분석하였다(Yu 등, 2002). 분석을 위해 보관한 분말시료 중 1g을 5mL의 80%(v/v) 메탄올을 추가하여 분석을 위한 샘플을 추출한 후 마이크로 튜브에 2mL씩 넣고 암상태에서 12시간 동안 보관하였다. 그 후 샘플을 4°C에서 10,000rpm으로 10분간 원심분리시킨 후 상층액을 이용하였다. 증류수 300 μ L와 50%(v/v) Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich, MO, USA) 250 μ L, 20% Na₂CO₃ 1250 μ L의 혼합물에 추출물 200 μ L를 넣고 vortex mixer(Vortex-genie 2, Scientific Industries Inc., USA)로 2초간 섞은 후 상온에서 20분간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료는 분광광도계(Libra S22, biochrom Ltd., UK)를 이용하여 735nm에서 흡광도를 측정하였다. 시금치의 총페놀 함량은 1mg당 gallic acid(μ g)로 표현하였다.

시금치 추출물의 항산화 활성은 DPPH free radical 소거법을 이용하여 측정하였다. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 시약을 1.5 $\times 10^{-4}$ M로 에탄올에 녹여 DPPH 시약을 만들었으며 4°C 냉장고에 빛이 닿지 않도록 하여 보관하였다. DPPH 시약 1mL에 시금치 추출물 200 μ L를 넣어 실온의 암실에서 20분간 반응을 한 후, 분광광도계를 이용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였다. 시금치의 DPPH free radical 소거 활성은 1mg당 trolox(μ g)로 표현하였다.

4. 통계분석

실험구의 배치는 형광등의 다양한 파장에 따른 시금치의 생육 및 기능성 물질 함량 구명을 위해 총 3종류의 형광등 3처리를 처리당 10개체씩 3반복으로 총 90주를 완전임의배치 하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 분산분석

Table 3. The growth of spinach as affected by different fluorescent lamps at 3rd week after transplanting in a closed-type plant production system.

Fluorescent lamp ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Root length (cm)	Stem diameter (cm)	No. of leaves	SPAD value	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
									Shoot	Root	Shoot	Root
#S	10.6 c ^y	5.0 b	3.0 b	28.7 b	1.4 b	6 a	35.7 a	35.91 b	1.50 b	0.29 b	0.110 b	0.015 b
#O	13.7 a	7.0 a	3.7 a	39.9 a	1.6 a	6 a	33.7 a	59.87 a	2.53 a	0.40 ab	0.222 a	0.021 ab
#P	12.6 b	6.7 a	3.5 ab	38.4 a	1.7 a	7 a	34.1 a	62.46 a	2.56 a	0.44 a	0.204 a	0.025 a

^zFluorescent lamps are presented as #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

Table 4. Plant temperature of the spinach as affected by different fluorescent lamps in a closed-type plant production system.

Fluorescent lamp ^z	Plant temperature (°C)		
	Maximum	Minimum	Mean
#S	24.1 a ^y	21.6 a	22.9 a
#O	21.4 b	20.7 b	21.1 b
#P	21.5 b	20.1 b	20.9 b

^zFluorescent lamps are presented as #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던컨의 다중검정을 이용하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(Sigma Plot 12.0, Systat Software Inc., USA)을 이용하여 나타냈다.

결과 및 고찰

Table 3은 3종류의 형광등 하에서 정식 후 3주째 측정된 시금치의 생육을 나타낸 것이다. 시금치의 초장과 엽폭은 #O 형광등에서 유의적으로 높은 값을 나타냈으며, 엽장과 근장, 경경은 #O과 #P 형광등에서 시금치 생육에 긍정적인 효과를 보였다. 엽수와 SPAD 값은 모든 형광등 처리구에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 엽면적과 지상부의 생체중 및 건물중에서도 유사한 경향으로 #S 형광등을 제외한 형광등에서 좋은 효과를 나타내었다. 지하부의 생체중 및 건물중은 #P 형광등에서 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 결과적으로 시금치의 생육은 #S 형광등이 조사 되었을 때 가장 저조하였다.

종류별 형광등의 발열량을 측정된 결과에서 #S 형광등의 발열량이 최대 36.8°C로 가장 높았다(Fig. 1). 시금치의 식물체 온도도 형광등의 발열량과 유사한 경향으로 #S 형광등에서 다른 형광등에 비해 최고, 최저, 평균 온도 값이 유의적으로 높았다(Table 4). 그러므로 #S 형광

등에서 호냉성 채소인 시금치의 적정 생육적인인 15-20°C보다 높게 나타나 부정적인 생육 결과가 나타난 것으로 판단된다. 시금치의 여름철 온실 재배를 위해 은색 차광막과 fog system을 동시에 사용하여 외기온 보다 4.7°C, 엽온 6.0°C의 온도하강 효과를 보였을 때, 시금치의 생육 및 수량이 증가하였다고 보고된 바 있다(Woo 등, 1996). 밀폐형 식물 생산 시스템에서 #S 형광등은 발열량이 높아 3주째부터 시금치의 생육에 부정적인 결과를 나타내었고, 호냉성 채소인 시금치 재배시 이를 충분히 고려한 적절한 광질의 형광등을 선택해야할 것으로 판단된다.

Table 5는 3종류 광질이 다른 형광등이 조사되는 밀폐형 식물생산 시스템에 정식 후 6주째 측정된 시금치의 생육을 나타낸 것으로 3주째와 동일한 경향으로 #O 형광등에서 유의적으로 높은 식물체의 초장을 나타냈다. 또한, 지상부의 생체중과 건물중에서 3주째 #O과 #P 형광등에서 유의적인 차이를 나타내지 않았지만, 6주째에 생육기간이 길어질수록 #O 형광등 처리구에서 유의적으로 무거운 값을 나타냈다. #O 형광등의 경우 다른 형광등에 비해 600-700nm의 적색광 방사량이 높아(Table 2), 시금치의 전체적인 생육에 긍정적인 효과가 있었던 것으로 판단된다. 고추냉이를 다양한 파장대의 발광다이오드(LED)에 재배하였을 때, 적색광에서 자란 고추냉이의 엽면적이 넓고 엽건물중이 높았다는 연구와 유사한 결과를 보였다(Kim과 You, 2013). 또한 상이한 피크파장의 청색광과 적색광 하에서 상추 재배시, 634, 659nm의 적색광 처리구에서 엽폭, 엽면적, 지상부 생체중 등의 상추 생육에 효과적이라는 연구와 유사한 결과를 보였다(Lee와 Kim, 2014).

3종류의 형광등 하에서 정식 후 3주째와 6주째에 시금치의 총페놀 함량 및 항산화 활성 분석을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타냈다. 3주째 총페놀 함량의 경우 #P 형광등에서 다른 형광등에 비해 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 하지만 6주째 #O 형광등에서 증가하는 경향을 보이며 가장 높은 값을 나타냈다. 시금치의 엽면적이 충분히 확보

Table 5. The growth of spinach as affected by different fluorescent lamps at 6th week after transplanting in a closed-type plant production system.

Fluorescent lamp ^z	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Root length (cm)	Stem diameter (cm)	No. of leaves	SPAD value	Leaf area (cm ² /plant)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
									Shoot	Root	Shoot	Root
#S	29.0 b ^y	13.7 b	8.0 a	60.1 a	4.10 a	15 a	38.2 a	406.8 b	25.4 b	3.2 a	1.4 b	0.18 a
#O	31.8 a	16.8 a	9.5 a	73.3 a	4.66 a	14 a	39.4 a	614.6 a	39.3 a	4.5 a	2.5 a	0.18 a
#P	30.5 ab	15.7 a	8.9 a	65.0 a	4.41 a	13 a	39.1 a	560.2 a	33.7 ab	4.1 a	2.0 ab	0.22 a

^zFluorescent lamps are presented as #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

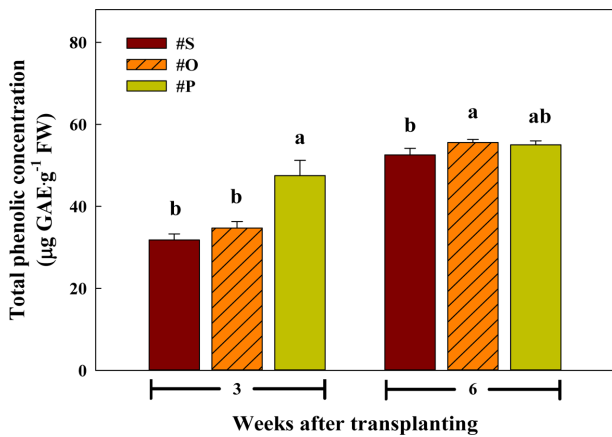


Fig. 3. The total phenolic concentration of spinach leaf as affected by different fluorescent lamps at 3rd and 6th week after transplanting in a closed-type plant production system. #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

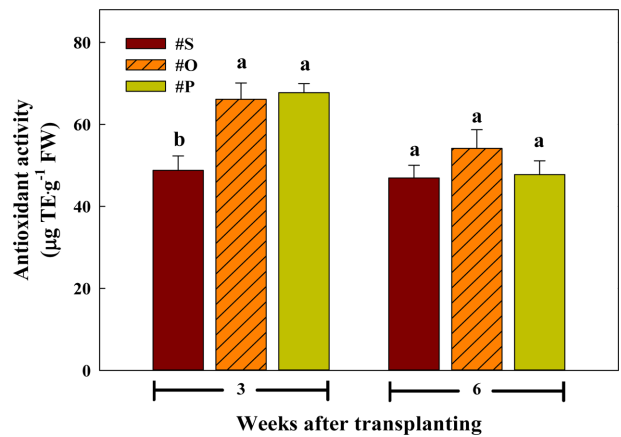


Fig. 4. The antioxidant activity of spinach leaf as affected by different fluorescent lamps at 3rd and 6th week after transplanting in a closed-type plant production system. #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

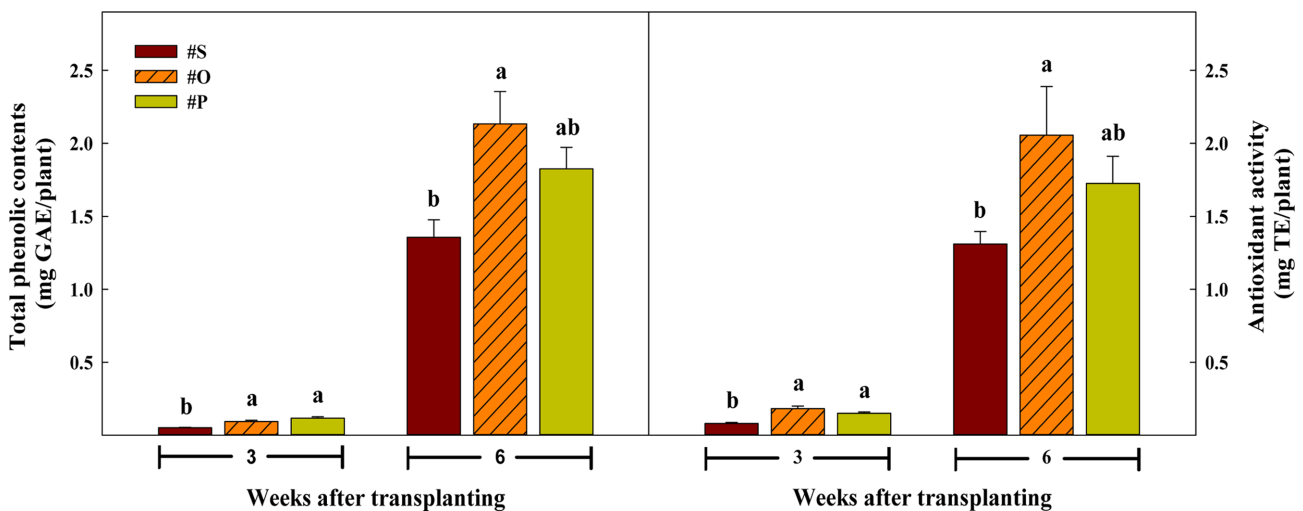


Fig. 5. The total phenolic contents and antioxidant activity per plant of spinach leaf as affected by different fluorescent lamps at 3rd and 6th week after transplanting in a closed-type plant production system. #S (NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O (FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), and #P (FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands).

되어 수확이 가능한 6주째에 #O 형광등에서 생육과 동일한 경향으로 총페놀 함량이 다른 처리구에 비해 크게 증가하였다. 이러한 결과는 #O 형광등의 400-500nm 청색광 영역의 광과장에서 다른 형광등에 비해 높은 방사량으로 인한 것으로 판단된다(Table 2). 이는 단색 발광 다이오드에서 상추 재배시 청색광이 총페놀 함량 및 항산화도를 증진시키는 결과와 약용작물인 '지황'의 기내 재배 시 청색광을 조사하였을 때 총페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거 활성능이 증가되었다는 보고와 유사하다 (Son 등, 2012; Manivannan 등, 2015). 항산화 활성은 3주째 #S 형광등에서 가장 낮은 값이 나타났지만, 6주째에는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

3종류의 형광등하에서 정식 후 3주째와 6주째에 시금치 1주당 생체중에 기초한 총페놀 함량 및 항산화 활성 분석 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 총페놀 함량의 경우 3주째와 6주째 #O 형광등에서 가장 높은 값을 나타냈고, #S 형광등하에서 재배된 시금치는 3주째와 6주째 모두 총페놀 함량 및 항산화 활성이 가장 낮게 나타났다. 항산화 활성의 경우 6주째에 #O과 #P 형광등에서 유의적인 차이가 나타나지 않았지만(Fig. 4), 생체중이 증가하여 시금치의 주당 최종 산물의 함량에서는 #O 형광등이 가장 우수한 값이 나타났다(Fig. 5).

결과적으로 #O 형광등 처리에서 밀폐형 식물 생산 시스템 내 시금치의 생육과 기능성물질 함량 측정에 우수한 결과를 보였다. 하지만 본 연구에서 사용된 3종류 형광등의 경우 미세한 광과장 차이를 나타내었기 때문에 향후 고기능성 시금치를 밀폐형 식물생산 시스템내에서 재배하기 위하여 다양한 인공광원을 이용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 밀폐형 식물생산 시스템에서 다양한 형광등 종류에 따른 시금치 '수시로'의 생육과 기능성물질 함량에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행되었다. 종지는 128구 플러그 트레이에 암면을 이용하여 파종되었다. 시금치 묘는 재순환 담액식 수경재배 시스템을 이용하여 EC 1.5dS·m⁻¹, pH 6.5의 밀폐형 식물생산 시스템에 정식되었다. 묘는 3가지 종류의 형광등 #S(NBFHF 32S8EX-D, CH LIGHTING Co. Ltd., China), #O(FHF32SSEX-D, Osram Co. Ltd., Germany), #P(FLR32SS EX-D, Philips Co. Ltd., The Netherlands)에 광도 150μmol·m⁻²·s⁻¹ PPF와 광주기 14/10 (명기/암기)으로 설정했다. 정식 후 재배환경은 온도 25±1°C와 상대습도 60±10% 였다. 정식 후 6주간 각 처리마다 30개체를 재배하였고, 생육 및 기능성물질 함량을 3주째와 6주째 측정했다. 정식 후 3주째,

#O 형광등에서 다른 처리구에 비해 초장과 엽폭이 유의적으로 컸다. 그러나 지하부의 생체중과 건물중은 #P 형광등에서 가장 높았다. 또한 총페놀 함량은 #P 형광등에서 유의적으로 가장 높았다. 정식 후 6주째, #O 형광등에서 초장, 지상부의 생체중 및 건물중에서 시금치의 생육이 향상되는 효과를 보였다. 총페놀 함량도 #O 형광등에서 다른 처리구에 비해 유의적으로 증가하였다. 그러나 항산화 활성은 모든 처리구에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 따라서 이러한 결과는 밀폐형 식물생산 시스템에서 #O 형광등 처리가 시금치의 생육과 기능성물질 함량 측정에 효과적인 것으로 나타났다.

추가 주제어 : 항산화 활성, 담액식 수경재배 기술, 페놀 함량, *Spinacia oleracea* L.

사 사

본 연구는 농림축산식품부 농생명산업기술개발사업(과제번호 112055-3)에 의해 수행되었음.

Literature Cited

- Ahn, J. H., C. Y. Park, J. S. Ryu, and Y. I. Jin. 2008. Distribution mapping for optimal of highland agricultural zone in current and global warming future in Korea. In Proceeding of 10th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Jinju, Korea, Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology 17(1):82-86.
- Kim, D. E., H. J. Lee, D. H. Kang, G. I. Lee, and Y. H. Kim. 2013. Effects of artificial light sources on the photosynthesis, growth and phytochemical contents of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the plant factory. Protected Hort. Plant Fac. 22(4):392-399. (in Korean)
- Kim, H. R., and Y. H. You. 2013. Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 31(4):415-422. (in Korean)
- Kim, Y. J., H. M. Kim, and S. J. Hwang. 2016. Growth and phytochemical contents of ice plant as affected by light quality in a closed-type plant production system. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(6):878-885. (in Korean)
- Lee, G. I., H. J. Kim, S. J. Kim, J. W. Lee, and J. S. Park. 2016. Increased growth by LED and accumulation of functional materials by florescence lamps in a hydroponics culture system for *Angelica gigas*. Protected Hort. Plant Fac. 25(1):42-48. (in Korean)
- Lee, J. E., Y. S. Shin, J. D. Cheung, H. W. Do, and Y. H. Kang. 2015. Effect of LED light sources and their installation method on the growth of strawberry plants. Protected Hort. Plant Fac. 24(2):106-112. (in Korean)

- Lee, J. S., and Y. H. Kim. 2014. Growth and anthocyanins of lettuce grown under red or blue light-emitting diodes with distinct peak wavelength. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 32(3):330-339. (in Korean)
- Leskovar, D. I., V. Esensee, and H. B. Belefant-Miller. 1999. Pericarp, leachate, and carbohydrate involvement in thermoinhibition of germinating spinach seeds. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 124(3):301-306.
- Longnecker, M. P., P. A. Newcomb, R. Mittendorf, E. R. Greenberg, and W. C. Willett. 1997. Intake of carrots, spinach, and supplements containing vitamin A in relation to risk of breast cancer. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 6:887-892.
- Manivannan, A., P. Soundararajan, N. Halimah, C. H. Ko, and B. R. Jeong. 2015. Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56(1):105-113.
- Park, J. E., Y. G. Park, B. R. Jeong, and S. J. Hwang. 2013. Growth of lettuce in closed-type plant production system as affected by light intensity and photoperiod under influence of white LED light. *Protected Hort. Plant Fac.* 22(3):228-233. (in Korean)
- Seo, J. B., K. J. Choi, P. R. Ahn, H. K. Lim, and S. J. Hong. 2005. Effect of cultivars and planting distance on growth and yield of spinach for hydroponic cultivation in autumn season. *J. Bio-Env. Con.* 14(3) 155-159.
- Son, K. H., J. H. Park, D. I. Kim, and M. M. Oh. 2012. Leaf shape index, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 30(6):664-672. (in Korean)
- Takatsuji M. 2008. Definition and meaning of the plant factory. P. 8-13. In Takatsuji, M. (ed.) *Plant factory*. World Science Publishment, Seoul.
- Woo, Y. H., J. M. Lee, and Y. S. Kwon. 1996. Analysis of major environmental factors and growth response of spinach (*Spinacia oleracea*) as affected by fog system and shading in summer plastic house. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 37(5):638-644. (in Korean)
- Yu, L., S. Haley, J. Perret, M. Harris, J. Wilson, and M. Qian. 2002. Free radical scavenging properties of wheat extracts. *J. Agric. Food Chem.* 50(6):1619-1624.
- Zhang, D., D. G. Hendricks, and A. W. Mahoney. 1989. Bioavailability of total iron from meat, spinach (*Spinacea oleracea* L.) and meat-spinach mixtures by anaemic and non-anaemic rats. *British J. Nutrition.* 61:331-343.