

Research Report

온도처리가 비트와 쌈추의 생육과 생리활성 물질 함량에 미치는 영향

이상규^{1*}, 최장선¹, 이희주¹, 장윤아¹, 이준구²¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과²전북대학교 원예학과

Effect of Air Temperature on Growth and Phytochemical Content of Beet and Ssamchoo

Sang Gyu Lee^{1*}, Chang Sun Choi¹, Hee Ju Lee¹, Yoon Ah Jang¹, and Jun Gu Lee²¹Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, RDA, Wanju 565-852, Korea²Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

Abstract: The consumption of leaf vegetables has been steadily increasing in Korea. Leaf vegetables are used for “*Ssam* (vegetable wrap-up), eaf vegetables has been steadily increasing in Korea. Leaf vegetables are used for asoned condiments inside several layers of young vegetable leaves. This study investigated the effect of air temperature on the growth and phytochemical contents of beet (*Beta vulgaris* L.) and Ssamchoo (*Brassica lee* L. *ssp. namai*) grown in a closed-type plant factory system where fluorescent lamps were used as an artificial light source. Seeds of beet and Ssamchoo were sown in a peat-lite germination mix. The roots of 20-day-old seedlings were washed, and the seedlings were planted on a styrofoam board and grown in hydroponic beds for 25 days under fluorescent light. Plants were exposed to one of three different air temperature regimes (20, 25 and 30°C during the day combined with 18°C during the night), which were monitored with a sensor at 30 cm above the plant canopy. Increased plant height and leaf area were observed in beet at 25°C and 30°C compared to 20°C. For Ssamchoo, the greatest plant height, leaf area, fresh weight and dry weight were obtained at 20°C. Ascorbic acid content of beet and Ssamchoo leaves were highest at 30°C. In beet, total polyphenol and flavonoid contents were higher at 20°C (42.4, 197.0 mg·g⁻¹ DW) and 25°C (46.9, 217.0 mg·g⁻¹ DW) than 30°C (22.4, 88.0 mg·g⁻¹ DW). In Ssamchoo, total polyphenol and flavonoid contents were also higher at 20°C (79.2, 268.2 mg·g⁻¹ DW) and 25°C (66.3, 258.3 mg·g⁻¹ DW), respectively, than 30°C (53.7, 134.7 mg·g⁻¹ DW). Hence, the optimum temperature appears to be 20°C for growing both beet and Ssamchoo in a closed-type plant factory system with fluorescent light.

Additional key words: ascorbic acid, chlorophyll, flavonoid, polyphenol

서 언

식물공장시스템(plant factory system)은 계절에 관계없이 온도, 광, 양분관리 등 환경조건을 인위적으로 정밀하게 조절하여 계획적으로 작물을 생산하는 재배방식을 말한다. 덴마크의 크리스텐센 농장의 컨베이어를 이용한 새싹채소 재배방식이 일본에 소개되면서 처음으로 식물공장이라는 용

어가 사용되기 시작하였다(Kim, 2009). 식물공장시스템은 광의 공급방식에 따라서 태양광 이용형과 형광등이나 LED 등을 이용한 인공광 이용형으로 구분할 수 있다. 국내에서는 2005년도부터 식물공장 자동화 장치에 관한 연구(Jang, 2005), 광 파장별 엽채류의 생육특성(Um et al., 2010)과 LED 광원을 이용한 엽채류 생산(Lee et al., 2010), 인공광 병용형 식물공장에서의 상추 생산기술(Lee et al., 2000), 식물공장

*Corresponding author: sanggyul@korea.kr

※ Received 2 April 2014; Revised 24 October 2014; Accepted 2 November 2014. 본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01013601)의 지원에 의해 이루어진 것임.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

내 양액을 사용한 엽채류 생산기술 및 효과에 관한 연구 (Choi et al., 2005; Kang and Kim, 2007; Seo et al., 2006; Yun et al., 2006) 등이 연구되었다.

최근 식물공장시스템에서 인공광원에 따른 생육 조절 및 생리활성 물질의 축적에 관한 연구(Lee et al., 2010; Park et al., 2012; Son et al., 2012)는 다각도로 진행되고 있으나 식물공장 내 온도에 따른 생육 조절, 품질 및 생리활성물질 축적에 대한 연구는 부족한 실정이다. 쌈채소 소비의 증가와 더불어 소비자는 안전하면서도 기능성 성분이 다량 함유된 최고의 품질을 요구하고 있으므로 식물공장 내 인공광원을 이용한 엽채류 재배 시 생산성과 품질을 동시에 만족시킬 수 있는 적절한 온도환경 관리가 필요하다. 따라서 본 실험은 비트와 쌈추의 생육을 증진시키고 동시에 생리활성 물질인 총 폴리페놀 및 플라보노이드 등의 생리활성 물질 함량을 높이기 위한 적절한 주간온도를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

식물재료 및 실험처리

실험재료로는 뉴비트(Asia Seed Co., Seoul, Korea)와 홍쌈추(Danong Co., Seoul, Korea) 종자를 이용하였다. 105공 플러그트레이에 시판용 경량상토(홍농 바이오 상토 1호, Hungnong Co., Korea)를 채우고 종자를 1셀당 2립씩 파종한 후 유리온실에서 15-25°C로 육묘관리하였다. 1립 이상이 발아된 셀은 수습작업을 통해 1셀당 1주씩 남겨 25일간 육묘하였다. 식물체의 본엽 2-3매 출현했을 때, 3월 13일에 국립원예특작과학원 식물공장 베드(H 70 × L 145 × W 120cm)에 15cm × 15cm의 재식간격으로 정식하였다. 주간 12시간 일장조건하에 주간온도는 20, 25 및 30°C로 각각 다르게 처리하였으며, 야간온도는 18°C로 고정하였다.

실험에 사용한 양액은 국립원예특작과학원과 (주)코셀이 공동개발(1995, Coseal Co., Seoul, Korea)한 엽채류 범용양액으로 NO_3 12.0Me·L⁻¹, NH_4 1Me·L⁻¹, H_2PO_4 3.6Me·L⁻¹, K 8.0Me·L⁻¹, Ca 3.0Me·L⁻¹, Mg 2.0Me·L⁻¹, Fe 3.0mg·L⁻¹, B 0.5mg·L⁻¹, Mn 0.5mg·L⁻¹, Zn 0.05mg·L⁻¹, Cu 0.02mg·L⁻¹, Mo 0.01mg·L⁻¹로 조성된 양액을 사용하였다. 양액제어시스템(Agronic 7000, Agronics, Spain)을 이용하여 양액농도는 EC 2.0 ± 0.2dS·m⁻¹로 희석하여 공급하였고 pH는 별도로 조정하지 않았다.

광원은 삼파장 형광등 36W(Phillips Co., Amsterdam,

Netherland)을 사용하였고, 광도는 식물체 상부 잎을 기준으로 모든 처리구를 $200 \pm 20\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 고정하였으며 오전 9시에서 오후 9시까지 형광등을 켜주었고, 환기 및 CO₂ 시용은 하지 않았다. 정식 25일 후에 생육, 엽록소 함량, 광합성, 총 페놀, 총 플라보노이드 및 vitamin C 함량을 분석하였다.

생육조사 및 광합성 특성

생육조사는 정식 후 25일에 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 건물중을 조사하였다. 엽록소 함량은 엽록소 측정기(SPAD 502, Minolta Camera Co., Ltd., Osaka, Japan)를 이용하였고 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100, Area meter, LI-COR Inc., NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 광합성 특성은 광합성 측정기(LI-6400, LI-COR Inc., Nebraska, USA)를 사용하여 처리별 3반복으로 조사하였다. 광합성 측정기의 측정 조건은 온도 22°C, 습도는 60%, CO₂ 농도는 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 광량은 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 하였다.

총 페놀, 플라보노이드 및 Vitamin C 함량 분석

총 페놀 및 플라보노이드 분석 시료는 동결건조 후 분쇄하여 냉장보관하였고 비타민 C 분석시료는 생체를 액체질소로 분쇄하여 초저온 냉장고에 보관하며 분석에 사용하였다. 엽 내 총 페놀 함량은 Folin-Denis법(Gutfinger, 1981)을 일부 변형하여 분석하였다. 시료 0.1g을 2mL의 80% MeOH에 50°C에서 1시간 동안 진탕 추출하고 4°C, 2,500rpm으로 5분간 원심분리 한 후 상층액을 0.45 μm syringe filter로 여과하고 일정 희석하였다. 96 well plate에 추출액 50 μL 를 넣고 50% Folin-ciocalteau phenol reagent 50 μL 를 가한 후 3분간 반응시키고, 다시 2% Na₂CO₃ 용액 10 μL 를 가한 후 30분간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료는 microplate reader(Eon-C, BioTek, Winooski, VT, USA)를 이용하여 725nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선은 gallic acid를 이용하여 작성하고 시료 내 총 페놀함량을 환산 정량하였다.

엽 내 총 플라보노이드 함량은 Moreno et al.(2000)의 방법을 일부 변형하여 분석하였다. 엽 시료의 추출방법은 총 페놀함량의 분석과 동일하게 수행하였으며, 원심분리한 시료를 일정 희석하여 분석에 이용하였다. 96 well plate에 추출액 20 μL , 증류수 100 μL , 5% NaNO₂ 용액 10 μL 를 순차적으로 가하고 6분간 반응시켰다. 1차 반응이 끝난 후 10% AlCl₃·6H₂O 용액 20 μL 를 넣고 5분간 반응시킨 후 1M NaOH 40 μL 를 가하고 최종 반응액을 microplate reader를 이용하여

420nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 검량곡선은 catechin을 이용하여 작성하고 시료 내 총 플라보노이드 함량을 환산 정량하였다.

Vitamin C 함량은 생체 잎조직 0.5g을 50mL 원심분리용 tube에 평량하여 넣고 2.5% meta-phosphoric acid 용액을 25mL를 넣은 후 균질화하였다. 균질된 시료를 원심분리기에 넣고 4°C, 10,000rpm으로 10분 간 원심분리한 후 상층액을 0.2µm GHP Acrodisc syringe filter(GHP Acrodisc, Pall Co., Washington, NY, USA)로 여과하여 UPLC(Aquity UPLC H-class, Waters, Milford, MA, USA)를 이용하였으며 BEH C18(1.7µm, 2.1 × 100mm)칼럼(Waters, Milford, MA, USA)을 이용하여, 파장 254nm, 유속 0.2mL/min의 조건에서 측정하였다. 전개용매는 16mM meta-phosphoric acid와 100% ACN를 이용하여 gradient 조건으로 분석하였다. 16mM meta-phosphoric acid와 100% ACN의 용매 비율을, 최초 2분간 95:5, 다음 3분간 99:1, 마지막 3분간 다시 95:5의 linear gradient 조건으로 설정하여 vitamin C를 분리하였다(retention time 11min). 표준검량곡선은 100mg·L⁻¹ L-ascorbic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 이용하여 작성하였다.

통계분석

실험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 반복당 30주씩 정식하였다. 초장, 엽수 등 생육특성, 엽록소 함량, 엽면적, 광합성 특성, 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 각 처리구별로 3주씩 3반복으로 실시하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.2, SAS Institute Institute, USA)을 이용하였다. 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 평균간 비교는 던컨의 다중범위검정을 이용하였다.

결과 및 고찰

생육 조사

처리별 25일째 생육조사 결과는 Table 1과 같다. 비트의 초장과 엽면적은 온도가 25°C와 30°C 처리구가 20°C 처리구보다 높았고, 싹추의 경우도 온도가 높은 처리구에서 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중이 유의성 있게 높았다. 재배기간 동안의 pH는 정식 후 5일후부터 낮아지는 경향을 보였으나 엽채류 적정 pH범위인 6.1-7.2 수준이었고, EC는 큰 변화를 보이지 않았다. 처리별 목표 양액농도는 2.0 ± 0.2dS·m⁻¹의 범위로 유지되어 비트와 싹추의 생육에 지장이 없는 것으로 확인되었다(data not shown). 이것은 형광등을 이용한 상추 양액재배에서 주/야 기온을 24/19°C, 양액 온도를 24°C로 유지하면 17/12°C와 31/26°C 조건보다 건물중이 증가한다는 보고와 유사하였다(Thomson et al., 1998).

광합성능력과 Vitamin C 함량

잎의 광합성 능력과 ascorbic acid 함량을 측정한 결과는 Table 2와 같다. 비트의 경우 잎의 광합성 능력은 온도 처리별로 유의성이 없었으며, 싹추의 경우에는 온도가 높은 30°C 처리구가 6.8µmolCO₂·m⁻²·s⁻¹ 가장 높았고 온도가 낮은 20°C 처리구에서 2.8µmolCO₂·m⁻²·s⁻¹로 낮았다.

잎의 ascorbic acid 함량은 비트의 경우 온도가 높았던 30°C 처리구에서 2.29mg·100g⁻¹FW으로 20°C와 25°C 처리구보다 높았고, 싹추의 경우에도 30°C 처리구가 3.92mg·100g⁻¹FW으로 다른 두 처리보다 높아 비트와 같은 경향을 보였다. 즉 두 작물의 경우 ascorbic acid 함량은 고온에서 높아지는 경향을 나타내었다. 이것은 ascorbic acid 생합성의 증감은 광의 영향보다 생육온도에 따른 스트레스로 변화한다고 보

Table 1. Effect of daytime air temperature on growth of beet and Ssamchoo plants grown for 25 days after transplanting in a plant factory.

Plant	Temp (°C)	Plant ht (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Chl (SPAD)	Fresh wt (g/plant)	Dry wt (g/plant)
Beet	20	22.4 b ^z	10.6 a	274.1 b	38.6 a	19.0 a	1.3 a
	25	24.3 ab	11.1 a	344.4 a	39.9 a	24.0 a	1.5 a
	30	25.5 a	11.2 a	344.4 a	41.1 a	23.1 a	1.5 a
Ssamchoo	20	15.3 c	12.8 a	318.9 b	44.6 a	16.8 b	1.0 b
	25	18.7 b	12.4 a	401.8 b	38.9 b	20.8 b	1.1 b
	30	27.8 a	11.1 a	730.2 a	32.5 b	40.7 a	1.9 a

^zDifferent letters indicate significantly different values based on Duncan's multiple range test at p = 0.05.

고 되고 있다(Davey et al., 2000; Schonhof et al., 2007).

총 페놀함량 및 플라보노이드 함량

식물체 잎의 총 페놀 함량을 분석한 결과(Table 3)는 비트의 경우, 20°C와 25°C 처리구가 각각 42.4와 46.9mg·g⁻¹DW로 30°C 처리구의 22.4mg·g⁻¹DW보다 2배 이상 높았고, 쌈추의 경우는 20°C 처리구가 79.2mg·g⁻¹DW로 가장 높았고, 온도가 높았던 30°C 처리구가 53.7mg·g⁻¹DW로 가장 낮아 두 작물 모두 온도가 낮았던 20°C 처리구가 높은 경향을 보였다. 또한 식물체 잎의 총 플라보노이드 함량은 두 작물 모두 총 페놀 함량과 비슷한 경향으로 온도가 낮은 20°C 처리구에서 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 식물은 환경 스트레스를 받게 되면 항산화 물질의 축적이 많아진다고 보고와 일치한다(Dixon and Paiva, 1995). 수박은 35°C에서, 토마토는 15°C에서 총 페놀함량이 높아지고 생체중이 감소하며 phenylalanine ammonia-lyase activity가 증가하고 peroxidase and polyphenol oxidase activity의 활성은 감소한다고 하였다(Rivero et al., 2001). 또한, 상추를 40°C의 고온

또는 4°C의 저온처리를 하면 quercetin과 luteolin 함량이 증가하고(Oh et al., 2009), 오렌지는 4°C의 저온조건에서 저장기간이 길어질수록 안토시아닌 함량이 증가하며(Lo Piero et al., 2005), 사과에서도 저온 저장하는 동안 페놀성 물질 함량이 증가한다고 하였다(Lattanzio, 2003). 상추에 LED 광질을 다양하게 처리한 결과 청색광 처리시 총 페놀 함량이 높았다는 보고(Son et al., 2012)를 보더라도 페놀함량은 재배 환경 조건에 따라서 함량에 차이가 있음을 시사한다. 이러한 페놀물질의 항산화성은 매우 중요한 요소로써 체내에서 과도하게 생성되어 노화나 만성질환의 원인이 되는 활성산소족(reactive oxygen species, ROS)을 소멸(Rajashekar et al., 2009) 시키고, 퇴행성, 만성질환을 예방하여 건강을 증진시키는 탁월한 효과를 보인다(Raskin et al., 2002)고 하였다. 본 실험에서는 온도가 낮은 20°C 처리구에서 높은 경향을 보였는데, 이것은 낮은 온도에 따른 스트레스로 인한 것으로 추정된다. 작물의 생리활성물질 함량은 생육온도, 광질과 광량 등, 다양한 생육환경 요인이 관여하는 것으로 보고 되고 있으나 아직 이에 대한 이해가 부족하여 추가적인

Table 2. Effect of daytime air temperature on photosynthetic rate and ascorbic acid concentration of beet and Ssamchoo grown for 25 days after transplanting in a plant factory.

Plant	Temp (°C)	Photosynthetic rates (μmolCO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	Ascorbic acid content (mg·100g ⁻¹ FW)
Beet	20	5.5 a ^z	2.00 b
	25	4.7 a	2.01 b
	30	5.0 a	2.29 a
Ssamchoo	20	2.8 c	3.02 b
	25	4.5 b	3.14 b
	30	6.8 a	3.92 a

^zDifferent letters indicate significantly different values based on Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

Table 3. Effect of daytime air temperatures on total polyphenol and flavonoid contents of beet and Ssamchoo grown for 25 days after transplanting in a plant factory.

Plant	Temp (°C)	Total polyphenol content (mg·g ⁻¹ DW)	Total flavonoid content (mg·g ⁻¹ DW)
Beet	20	42.4 a ^z	197.0 a
	25	46.9 a	217.0 a
	30	22.4 b	88.0 b
Ssamchoo	20	79.2 a	268.2 a
	25	66.3 b	258.3 a
	30	53.7 c	134.7 b

^zDifferent letters indicate significantly different values based on Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하면, 인공광 이용형 식물공장시스템에서 비트와 쌈추의 생육과 vitamin C 함량은 25-30°C의 고온 처리구에서 높은 경향을 보인 반면, 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 온도를 낮게 관리하였던 20°C 처리구에서 높은 결과가 확인되었다. 따라서 비트와 쌈추의 수량 증대를 목표로 재배할 경우에는 25-30°C 정도로 고온조건에서 관리하고, 총 페놀 및 플라보노이드 등과 같은 기능성 2차 대사산물의 함량을 증대시키기 위해서는 20°C로 상대적으로 낮게 관리하는 것이 적당하다고 판단된다.

초 록

쌈채소는 웰빙시대의 도래와 더불어 식생활에서 큰 변화를 주었고, 소비량이 계속적으로 증가하고 있다. 지금까지 국내에서는 배추, 상추 등 일부 채소 작물에 대한 싹문화가 발달해 왔지만 최근 들어 다양한 종류의 쌈채소와 재배기술에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 본 연구는 인공광원으로 형광등을 이용하여 식물공장내에서 비트와 쌈추의 수량과 품질을 향상시키고자 수행하였다. 처리는 식물공장내 식물체로부터 30cm 위치에 자동센서를 설치하여 온도가 20, 25, 30°C가 유지 되도록 하였고, 광량은 $200\mu\text{mol} \pm 20\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 로 고정하고 일장은 주야간이 12/12hr, 상대습도 50-80%로 하였다. 모든 처리구의 근권부 전기전도도(EC)는 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 공급하였으며 재배기간 pH는 6.1-7.2로 유지되었다. 그 결과 비트의 초장과 엽면적은 온도가 높았던 25°C와 30°C 처리구가 20°C 처리구보다 높았고, 쌈추의 경우도 온도가 높았던 처리구에서 초장, 엽면적, 생체중 및 건물중이 유의적으로 높았다. 식물체 잎의 총 페놀 함량은 비트의 경우, 20°C와 25°C 처리구가 각각 42.4와 $46.9\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$ 로 30°C 처리구의 $22.4\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$ 보다 2배 이상 높았고, 쌈추의 경우도 20°C 처리구가 $79.2\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$ 로 가장 높았고, 30°C 처리구가 $53.7\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$ 로 가장 낮아 두 작물 모두 온도가 낮았던 20°C 처리구가 높은 경향을 보였다. 또한 식물체 잎의 총 플라보노이드 함량은 두 작물 모두 총 페놀 함량과 비슷한 경향으로 온도가 낮은 20°C 처리구에서 높은 것으로 나타났다. 따라서 인공광 이용형 식물공장에서 생육과 기능성 물질 함량은 반비례 관계를 나타내고 있어 기능성 물질 함량이 높은 비트와 쌈추를 생산하고자 할 때에는 생육 온도를 20°C 정도로 관리하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 그러나 향후 생육 단계에 따른 변은

관리 방법, LED와 형광등 병용이용 시스템 적용 등으로 수량성에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

추가 주요어 : 비타민 C, 엽록소, 플라보노이드, 페놀

인용문헌

- Adams, P. and L.C. Holder. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom end rot in relation to salinity. *J. Hortic. Sci.* 67:827-839.
- Choi, K.Y., E.Y. Yang, D.K. Park, Y.C. Kim, T.C. Seo, H.K. Yun, and H.D. Seo. 2005. Development of nutrient solution for hydroponics of cruciferae leaf vegetables based on nutrient-water absorption rate and the cation ratio. *J. Bio-Env. Con.* 144:289-297 (in Korean).
- Davey, M.W., M. Van Montagu, D. Inze, M. Sanmartin, A. Kanellis, N. Smirnoff, I. Benzie, J. Strain, D. Favell, J. Fletcher. 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.*, 80:825-860.
- Dixon, R.A. and N.L. Paiva. 1995. Stress-induced phenyl-propanoid metabolism. *Plant Cell* 7:1085-1097.
- Gutfinger, T. 1981. Polyphenols olive oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 58:966-968.
- Jang, Y.S. 2005. The automatic system of plant factory. *Res. Ext.* 46:44-47.
- Kang, H.M. and I.S. Kim. 2007. Effect of nutrient solution composition modification on the internal quality of some of leaf vegetable in hydroponics. *J. Bio-Env. Con.* 16:348-351 (in Korean).
- Kim, J.H. 2009. The present state and future of plant factory. *Res. of KREI* 61:1-19.
- Lattanzio, V. 2003. Bioactive polyphenols: Their role in quality and storability of fruit and vegetables. *J. Appl. Bot.* 77:128-146.
- Lee, J.G., S.S. Oh, S.H. Cha, Y.A. Jang, S.Y. Kim, Y.C. Um, and S.R. Cheong. 2010. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. *J. Bio-Env. Con.* 19:351-359 (in Korean).
- Lee, Y.B., Y.H. Jin, S.S. Jo, and C.E. Lee. 2000. Lettuce production in factory-style plant production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:178. (Abstr.)
- Lo Piero, A.R., I. Puglisi, P. Rapisarda, and G. Petrone. 2005. Anthocyanins accumulation and related gene expression in red orange fruit induced by low temperature storage. *J. Agric. Food Chem.* 53:9083-9088.

- Moreno, M.I.N., M.I. Isla, A.R. Sampietro, and M.A. Vattuone. 2000. Comparison of the free radical scavenging activity of propolis from several region of Argentina. *J. Ethnopharmacol.* 71:109-114.
- Oh, M.M., H.N. Trick, and C.B. Rajashekar. 2009. Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *J. Plant Physiol.* 166:180-191.
- Park, K.W., M.H. Chiang, J.H. Won, and K.H. Jang. 1995. The growth pattern of Chinese leaf vegetables by nutrient solution temperature. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36:608-613.
- Park, J.E., Y.G. Park, B.R. Jeong, and S.J. Hwang. 2012. Growth and anthocyanin content of lettuce as affected by artificial light source and photoperiod in a closed type production system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30:673-679.
- Rajashekar, C.B., E.E. Carey, X. Zhao, and M.M. Oh. 2009. Health-promoting phytochemicals in fruits and vegetables: Impact of abiotic stresses and crop production practices. *Functional Plant Sci. Biotechnol.* 3:30-38.
- Raskin, L., D.M. Ribnicky, S. Komarnytsky, N. Llic, A. Poulev, N. Borisjuk, A. Brinker, D.A. Moreno, C. Ripoll, N. Yakoby, J.M. O.J.M. OD.A. Moreno, C. Ripoll, N. YakobFridlender. 2002. Plants and human health in the twenty-frist century. *Trends Biotechnol.* 20:522-531.
- Rivero, R.M., J.M. Ruiz, P.C. GarcMa, L.R. La, L.R. M., E. SR. M. Ruiz, P.C. -53 2001. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci.* 160:315-321.
- Schonhof, I., H.P. KII., H. A. Krumbein, W. Clau Cl, and M. Schreiner. 2007. Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in greenhouse grown broccoli. *Agric., Ecosyst. Environ.* 119:103-111.
- Seo, T.C., H.K. Yun, and C.H. Zhang. 2006. Effect of surfactant addition on Ge absorption and growth of pak-choi and lettuce in DFT culture. *J. Bio-Env. Con.* 15: 130-135 (in Korean).
- 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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30:664-672.
- Thompson, H.C., R.W. Langhan, A.J. Both, and L.D. Albright. 1998. Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123: 361-364.
- Um, Y.C., S.S. Oh, J.G. Lee, S.Y. Kim, and Y.A. Jang. 2010. The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetables as affected by different light source. *J. Bio-Env. Con.* 19:333-342 (in Korean).
- Yun, H.K., C.H. Zhang, T.C. Seo, and J.W. Lee. 2006. Effect of selenium application concentration and periods on growth in garlic. *J. Bio-Env. Con.* 15:346-351 (in Korean).