

양액 조성이 식물공장 재배 어린잎채소의 생육 및 품질에 미치는 영향

곽유리나¹ · 김동섭¹ · 전창후^{1,2*}

¹서울대학교 농업생명과학연구원, ²서울대학교 식물생산과학부

Growth and Quality of Baby Leaf Vegetables Hydroponically Grown in Plant Factory as Affected by Composition of Nutrient Solution

Yurina Kwack¹, Dong Sub Kim², and Changhoo Chun^{1,2*}

¹Research Institute of Agriculture and Life Sciences

²Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

Abstract. The objective of this study was to investigate the effects of composition of nutrient solution on the growth and quality of baby leaf vegetables (tat soi, romaine lettuce, beet, and red radish) hydroponically cultivated in plant factory. The seeds of four vegetable crops were sown in urethane sponges and cultivated for 14 days in a plant factory. Light intensity and photoperiod were $110\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and 16 h, respectively; and air temperature in photo/dark-period was maintained at 25/20°C. Tap water was used for irrigation for 7 days after sowing, and then plants were irrigated for 7 days using tap water and the nutrient solutions of Korea Wonshi, Japan Enshi, and Yamazaki for lettuce. At 14 days after sowing, the fresh weight of tah soi was highest in the nutrient solution of Yamazaki for lettuce, and there were no significant differences among nutrient solutions in beet and red radish. When we compared leaf color using Hunter's a value, the nutrient solution of Korea Wonshi and Japan Enshi increased green color in baby leaf vegetables, while the nutrient solution of Yamazaki for lettuce increased red color. Total phenolic content of romaine lettuce was highest in the nutrient solution of Korea Wonshi, but tat soi, beet, and red radish showed no significant differences among nutrient solutions in total phenolic contents. From these results, we suggest that using the nutrient solution of Korea Wonshi can enhance the growth and quality of romaine lettuce and the nutrient solution of Yamazaki for lettuce is appropriate for enhancing the growth and red color of beet and red radish in plant factory.

Additional key words : Japan Enshi, Korea Wonshi, leaf color, total phenolic content, Yamazaki for lettuce

서 론

최근 간편하면서도 건강한 먹거리를 찾는 소비자들이 늘면서, 신선 편이 채소 시장이 빠르게 증가하고 있다 (Santos 등, 2014). 특히, 샐러드에 맛, 영양 뿐 만 아니라 색깔까지 증진시킬 수 있는 어린잎채소의 생산 및 소비가 증가하고 있다(Fallove 등, 2009). 어린잎채소는 비타민과 미네랄이 풍부하고, 다양한 기능성 물질을 함유하고 있다(Martínez-Sánchez 등, 2008). 또한, 어린잎채소는 재배 기간이 짧고 비교적 낮은 광도에서 밀식 재배가 가능하기 때문에 인공광 이용형 식물공장에서 생산하기에 적합하다.

식물공장 내 엽채류 수경재배시, 작물의 재식 밀도가 높고 근권 부피가 한정되어 있기 때문에 생육에 필요한

영양분을 균형있게 공급하는 양액 관리가 매우 중요하다. 따라서, 식물공장 내 엽채류 생산 기술 및 양액 관리에 대한 다양한 연구들이 수행되었으나(Choi 등, 2005; Kang과 Kim, 2007; Lee 등, 2012), 식물공장 내 어린잎채소 수경재배를 위한 양액 관리에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

양액 내 무기성분의 농도와 균형은 수경재배시 작물 생육 및 품질에 큰 영향을 미친다(Yamazaki, 1982). 다양한 종류의 양액들이 수경재배에 사용되고 있으나, 민간기업에서 개발된 양액들은 상세 처방을 공개하고 있지 않다. 양액 내 무기성분의 농도와 비율을 상세히 알 수 있으며, 국내에서 널리 사용되고 있는 양액으로는 한국 원시, 일본 엔시 및 아마자키 양액을 들 수 있다. 한국 원시와 일본 엔시 양액은 엽채류 및 과채류를 포함한 여러 작물에 대하여 생육 단계에 관계없이 사용될 수 있도록 균형배양액으로 개발되었으며 이온간의 비율을 중요시한다. 이와 달리 아마자키 양액은 작물의 양분흡

*Corresponding author: changhoo@snu.ac.kr

Received September 09, 2015; Revised November 17, 2015;

Accepted November 27, 2015

수량을 계산하여 양액 내 무기성분의 농도를 정하기 때문에 각 작물에 따라 처방이 달라진다(Park과 Kim, 1998; Terabayashi, 2012).

본 연구에서는 균형배양액인 한국원시와 일본엔시 양액 및 상추 전용으로 개발된 야마자키 양액을 이용하여 양액 조성이 4가지(다채, 로메인, 비트, 적무) 어린잎채소의 생육 및 품질에 미치는 영향을 구명하고 식물공장 내 어린잎채소 수경재배에 적합한 양액을 선발하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료로는 어린잎채소로 많이 이용되고 있는 다채 (*Brassica rapa* L. var. *narinosa*), 로메인(*Lactuca sativa* L.), 비트(*Beta vulgaris* L.), 적무(*Raphanus sativus* L.)를 사용하였다. 우레탄스펀지(Gafatec, Hwaseong, Korea)에 다채, 로메인, 적무는 셀당 2립씩, 비트는 5립씩 파종하였다. 실험은 형광등(32W, Phillips, Amsterdam, The Netherlands)을 광원으로 하는 폐쇄형 식물 재배 시스템에서 수행되었고, 재배 시스템 내 광도는 PPF 110 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하였다. 재배 중 명암기 및 기온은 각각 16/8h과 25/20 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였고, 담액수경 방식으로 2주동안 재배하였다. 파종 후 1주는 수돗물로 관수하였고, 이후 1주는 한국원시, 일본엔시, 상추용 야마자키 양액으로 관수하였으며 양액의 EC는 1.0 $\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 유지하였다. 2주동안 수돗물로만 관수한 처리구를 대조구로 설정하였다. 파종 후 14일에 작물별 처리구당 6개체의 지상부 생체중을 측정하고, 색도색차계(CR-400, Minolta, Japan)를 이용하여 잎의 Hunter's L과 a값을 측정하였다.

수확 후 작물별 양액 처리구에 따른 어린잎채소의 총페놀함량을 조사하였다. 어린잎채소 생체 1g을 10mL의 추출용매(acetone: methanol: distilled water: acetic acid = 40: 40: 20: 1)에 넣고 균질기를 이용하여 분쇄하였다. 분쇄한 시료를 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 방치한 후, 0.45 μm syringe filter를 이용하여 여과하였다. 여과한 시료 1mL에 10% Folin-Ciocalteu 및 7.5% Na_2CO_3 용액 각 1mL

를 혼합하여 2시간 반응시킨 후, 분광광도계(UV-2550, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 726nm에서 흡광도를 측정하였다. 서로 다른 농도의 garlic acid를 이용하여 검량선을 작성하였고, 검량선을 기준으로 시료 중량당 총페놀함량을 계산하였다.

통계 분석은 SAS System 9.3(SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA)을 이용하여 Duncan의 다중 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

어린잎채소 식물공장 재배에 적합한 양액을 선발하기 위하여 한국 원시, 일본 원시 및 상추용 야마자키 양액을 공급하여 각 작물의 생육을 조사한 결과, 다채는 야마자키 양액을 공급한 처리구의 생체중이 가장 높았다(Table 1). 비트와 적무에서 생체중은 양액 종류 간에 유의한 차이를 보이지 않았고, 수돗물만 공급한 처리구에서 모든 어린잎채소의 생체중이 현저하게 낮았다. 엽채류의 생육은 양액 내 질소 성분 및 기타 원소들의 조성에 영향을 크게 받는다(Park 등, 1993). 범용으로 개발된 한국 원시와 일본 엔시 양액보다 상추용으로 개발된 야마자키 양액이 엽채류인 다채와 로메인 어린잎채소에 알맞은 질소 농도를 가졌으며 기타 원소들의 조성 또한 이들 생육에 적합했던 것으로 생각된다.

어린잎채소는 샐러드 토핑용으로 색을 내기 위하여 주로 사용되고 있으며, 다채와 로메인은 녹색, 비트와 적무는 적색을 내기 위하여 사용된다. 명암을 나타내는 Hunter's L값은 다채, 로메인 및 적무는 수돗물만 공급한 처리구에서 높았다(Table 2). 적색과 녹색 정도를 나타내는 Hunter's a값을 비교했을 때, 다채는 일본엔시 양액을 공급한 처리구에서 가장 낮은 Hunter's a값을 보여 녹색을 더 띄는 것으로 나타났으나, 로메인에서 Hunter's a값은 양액 종류 간에 유의한 차이를 보이지 않았다. 양액 처리구 간의 Hunter's a값을 비교했을 때, 비트와 적무는 야마자키 양액을 공급한 처리구에서 적색을 더 띄는 것으로 나타났다. 수돗물만 공급한 처리구에

Table 1. The effects of nutrient solutions on fresh weight of tat soi, romaine lettuce, beet, and red radish cultivated in a plant factory.

	Fresh weight (mg/plant)			
	Tat soi	Romaine lettuce	Beet	Red radish
TW ^z	47c ^u	41c	40b	378b
KRWS ^y	210b	230a	154a	927a
JPES ^x	206b	152b	143a	903a
YMZK ^w	283a	267a	143a	933a

^zTap water, ^yKorea Wonshi, ^xJapan Enshi, ^wYamazaki for lettuce, ^uMeans in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range tests at $P < 0.05$.

Table 2. The effects of nutrient solutions on Hunter's L and a values of tat soi, romaine lettuce, beet, and red radish cultivated in a plant factory.

	Tat soi		Romaine lettuce		Beet		Red radish	
	L*	a*	L*	a*	L*	a*	L*	a*
TW ^z	40.7a ^u	-9.40ab	48.1a	-5.61a	38.4b	-2.28a	47.6a	-14.34b
KRWS ^y	34.2c	-10.89bc	39.3b	-10.77b	42.3a	-8.16bc	42.8b	-14.33b
JPES ^x	38.5ab	-11.71c	41.4b	-9.71b	42.7a	-9.23c	44.1b	-13.71b
YMZK ^w	37.6b	-8.15a	39.6b	-9.20b	43.6a	-7.44b	43.0b	-11.13a

^zTap water, ^yKorea Wonshi, ^xJapan Enshi, ^wYamazaki for lettuce, ^uMeans in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range tests at $P < 0.05$.

Table 3. The effects of nutrient solutions on total phenolic contents of tat soi, romaine lettuce, beet, and red radish cultivated in a plant factory.

	Total phenolic content (mg GAE·g ⁻¹ FW)			
	Tat soi	Romaine lettuce	Beet	Red radish
TW ^z	12.46a ^z	10.32b	9.58a	10.55a
KRWS ^y	12.92a	12.88a	9.68a	10.68a
JPES ^x	12.32a	10.66b	10.24a	9.99a
YMZK ^w	11.45a	7.94c	9.01a	9.39a

^zTap water, ^yKorea Wonshi, ^xJapan Enshi, ^wYamazaki for lettuce, ^uMeans in columns followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range tests at $P < 0.05$.

서는 어린잎채소 잎의 두께가 얇아서 잎의 Hunter's L값이 높았던 것으로 생각된다. 수도물을 공급한 처리구를 제외하고, 다채, 비트 및 적무에서 한국 원시와 일본 엔시 양액을 공급한 처리구는 녹색을, 아마자키 양액을 공급한 처리구는 적색을 더 띄었다.

식물체는 항산화 작용을 하는 다양한 파이토케미컬을 함유하고 있으며, 그 중에서도 특히 페놀 화합물은 식물체가 가장 다양하게 많이 합성할 수 있는 물질 중 하나이다(Cartea 등, 2011). 로메인을 제외한 어린잎채소의 총페놀함량은 양액 종류 간에 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3). 로메인의 총페놀함량은 한국 원시 양액을 공급한 처리구에서 가장 높았으며, 아마자키 양액을 공급한 처리구에서 가장 낮았다. Li 등(2008)과 Vallejo 등(2003)은 황 시비량을 높였을 때 것과 브로콜리의 총페놀함량이 증가하였다고 보고하였다. 아마자키 양액의 낮은 황 함량이 로메인의 총페놀함량을 감소시켰고, 로메인을 제외한 어린잎채소에서는 짧은 재배 기간 때문에 양액 종류에 따른 총페놀함량 차이가 적었던 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 식물공장에서 어린잎채소를 재배할 때, 작물에 따라서 적절한 양액을 선택함으로써 어린잎채소의 생육과 품질을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 로메인은 생육, 녹색 및 총페놀함량의 증진 효과가 있는 한국 원시 양액을, 비트와 적무는 생육 및

적색을 증진시킬 수 있는 아마자키 양액을 식물공장 재배에 적합한 양액으로 제시한다. 그러나, 식물공장에서 어린잎채소 재배 생산 효율성 및 품질을 높이기 위해서는, 다양한 생육 및 품질 요인을 고려하여 양액 이외의 여러 가지 재배 요인들에 관한 연구가 복합적으로 이루어져야 할 것이다.

적 요

식물공장에서 양액 종류가 다채, 로메인, 비트, 적무 어린잎채소의 생육 및 품질에 미치는 영향을 알아보기 위해서 본 연구를 수행하였다. 우레탄스펀지에 파종한 후 14일간 광원을 형광등으로 하는 폐쇄형 재배 시스템에서 재배하였다. 재배 시스템 내 광도는 110 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 명암주기는 16/8h, 명/암기 기온은 25/20 $^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 파종 후 7일은 수도물을, 이후 7일은 수도물, 한국 원시, 일본 엔시, 상추용 아마자키 양액을 각각 관수하였다. 파종 14일 후 다채의 생체중은 아마자키 양액을 공급한 처리구에서 가장 높았으나, 비트와 적무의 생체중은 양액 종류 간 유의차가 없었다. 소비자들의 구매 결정 주요 요인 중 하나인 엽색을 비교하기 위하여 양액 종류에 따른 4작물의 Hunter's L과 a값을 측정하였다. 어린잎채소의 녹색과 적색을 Hunter's a값으로 비교하였을 때, 한국 원시와 일본 엔시 양액을 공급한 처리구에서는

녹색을, 아마자키 양액을 공급한 처리구에서는 적색을 더 띄었다. 다채, 비트, 적무의 총페놀함량은 양액 종류에 따른 차이가 없었으나, 로메인은 한국 원시 양액을 공급한 처리구에서 총페놀함량이 가장 높았다. 이상의 결과에서 어린잎채소의 생육과 품질을 고려해 볼 때, 식물공장 재배 시 로메인은 한국 원시 양액이, 비트와 적무는 아마자키 양액이 적합한 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 상추용 아마자키, 엽색, 일본 원시, 총페놀함량, 한국 원시

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(PJ009581)에 지원에 의하여 이루어진 것임.

Literature cited

- Cartea, M.E., M. Francisco, P. Soengas, and P. Velasco. 2011. Phenolic compounds in *Brassica* vegetables. *Molecules* 16(1):251-280.
- 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-Environ. Con.* 14(4):289-297(in Korean).
- Fallove, C., Y. Rouphael, E. Rea, A. Battistelli, and G. Colla. 2009. Nutrient solution concentration and growing season affect yield and quality of *Lactuca sativa* L. var. *acephala* in floating raft culture. *J. Sci. Food Agr.* 89(10):1682-1689.
- 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-Environ. Con.* 16(4):348-351(in Korean).
- Lee, S.G., C.S. Choi, J.G. Lee, Y.A. Jang, C.W. Nam, K.H. Yeo, H.J. Lee, and Y.C. Um. 2012. Effects of different EC in nutrient solution on growth and quality of red mustard and pak-choi in plant factory. *J. Bio-Environ. Con.* 21(4):322-326(in Korean).
- Martinez-Sánchez, A., A. Gil-Izquierdo, M.I. Gil, and F. Ferreres. 2008. A comparative study of flavonoid compounds, vitamin C, and antioxidant properties of baby leaf *Brassicaceae* species. *J. Agr. Food Chem.* 56(7):2330-2340.
- Park, K.W. and Y.S. Kim. 1998. *Hydroponics in horticulture*. Academy book, Seoul, Korea.
- Park, K.W., Y.J. Shin, J.H. Won, and Y.B. Lee. 1993. Studies on the modeling of controlled environment in leaf vegetable crops. *J. Bio-Environ. Con.* 2(1):9-15(in Korean).
- Santos, J., M.B.P.P. Oliveira, E. Ibáñez, and M. Herrero. 2014. Phenolic profile evolution of different ready-to-eat baby-leaf vegetables during storage. *J. Chroma. A* 1327:118-131.
- Terabayashi, S. 2012. The composition and management of nutrient solution, p. 64-126. In: *Japan Greenhouse Horticulture Association* (ed.). *All about hydroponics*. RGB Press, Seoul, Korea.
- Yamazaki, K. 1982. *The whole book for hydroponics*. Hakyusha, Tokyo, Japan.