

식물공장내 양액의 EC가 적거자와 청경채의 생육 및 품질에 미치는 영향

이상규* · 최장선 · 이준구 · 장윤아 · 남춘우 · 여경환 · 이희주 · 엄영철
농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

Effects of Different EC in Nutrient Solution on Growth and Quality of Red Mustard and Pak-Choi in Plant Factory

Sang Gyu Lee*, Chang Sun Choi, Jun Gu Lee, Yoon Ah Jang, Chun Woo Nam,
Kyung-Hwan Yeo, Hee Ju Lee, and Young Chul Um

Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Sciences, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. Recently, researches related to plant factory system has been activated and production of Ssam-vegetables using artificial lighting has been increasing. In South Korea, Ssam-vegetables are very popular and the consumption is increasing every year. Because leaf vegetables cultivated under hydroponic systems are more preferable rather than those cultivated by soil culture in Korea, the plant factory system would be more effective in production of Ssam-vegetables. Therefore, this study was carried out in order to analyze the yield and vitamin C contents in red mustard (*Brassica juncea* L.) and pak-choi (*Brassica campestris* var. chinensis), which are used a lot for the Ssam-vegetables in South Korea, as influenced by different concentrations of the nutrient solution in a plant factory system. As a results, there was no significant differences in the plant height among the treatment of EC in the nutrient solution, but for red mustard plants, the number of leaves tended to decrease in the treatment with higher EC. Leaf area of pak-choi plants was significantly increased in the higher EC, while the fresh weight had a tendency to increase along with increasing EC in the nutrient solution for both crops. The photosynthetic rates did not show a distinct tendency by EC levels for red mustard plants, but for pak-choi plants, it tended to be higher at the high EC. The contents of ascorbic acid in leaves were higher with decreasing EC concentration in the nutrient solution for red mustard plants, while the content was the highest at EC 2.0 dS m⁻¹ for pak-choi plants. In summary, considering the marketable yields and vitamin C at different nutrient concentrations in a plant factory, the optimal concentration for red mustard and pak-choi plants was thought to be EC 2.0~2.5 dS m⁻¹.

Key words : ascorbic acid, chlorophyll, photosynthesis

서 론

식물공장(plant factory)은 마천루, 수직농장(vertical farm), 빌딩농장 등으로 불리며 1957년 덴마크 크리스텐센 농장에서 새싹채소를 컨베이어 방식으로 생산하는 것을 1970년대에 일본에서 소개하면서 식물공장이라는 용어를 사용하면서 유래하였다(Kim, 2009).

식물공장은 계절에 관계없이 온도, 광, 양분관리 등

환경조건을 인공적으로 정밀하게 조절할 수 있는 생산 시스템을 사용하여 계획적으로 작물을 생산하는 것을 말하며, 우리나라에서는 2005년도부터 식물공장 자동화 장치에 관한 연구(Jang, 2005) 등 본격적으로 연구를 수행하고 있다. 식물공장은 태양광 이용형과 태양광을 완전히 차단한 시설내에서 형광등, LED 등 인공광을 이용하여 생산하는 인공광 이용형으로 구분할 수 있는데, 대부분 인공광 이용형 식물공장 연구가 주류를 이루고 있다(Kang, 2008). 국내에서도 인성테크에서 식물공장 연구를 토대로 LED 등을 이용하여 상추, 치커리 등 엽채류를 재배하여 생산하고 있고,

*Corresponding author: sanggyul@korea.kr
Received September 10, 2012; Revised September 12, 2012;
Accepted September 21, 2012

식물공장내 양액의 EC가 적겨자와 청경채의 생육 및 품질에 미치는 영향

그린플러스에서도 태양광 병용형 식물공장을 운영하고 있다.

우리나라는 상추, 청경채 등 쌈 문화가 발달되어 엽채류가 많이 이용되고 있으며 그 소비량이 많다. 그러나 식물공장을 이용한 쌈채소 생산에 대한 연구가 진행중에 있는데, 광 파장별 엽채류의 생육특성(Um 등, 2010)과 LED 광원을 이용한 엽채류 생산(Lee 등, 2010), 인공광 병용형 식물공장에서의 상추 생산기술(Lee 등, 2000) 등의 연구가 수행되었다. 양액재배와 식물공장에서의 엽채류 생산기술 및 효과에 대한 연구(Choi 등, 2005; Kang과 Kim, 2007; Seo 등, 2006; Yun 등, 2006)도 이루어졌다.

인공광 이용형 식물공장내 생산은 고온, 고습, 광부족 등으로 인하여 어려움이 있어 상추의 경우 밀폐공간내에서 고습조건은 증산률이 저하되어 칼슘 결핍증이 나타나 성장점 부위 잎이 괴사하는 틱번 증상이 나온다고 하였다(Adams와 Holder, 1992).

최근 LED 전등이나 형광등을 이용하여 식물공장 시설내에서 안정적인 생산을 위한 환경조건을 구명하는 연구가 활발하게 진행되고 있으나 적절한 광조건, 양액농도에 관한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 실험은 국내에서 많이 이용하고 있는 쌈채소중 적겨자와 청경채를 대상으로 양액농도별로 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료로는 모두 쌈채소로 많이 이용되고 있는 적겨자와 청경채(Asia seed Co., Ltd., Korea)를 사용하였다. 105공 플러그에 시판용 경량상토인 흥농 바이오상토를 채우고 1셀당 2립씩 파종한 후 1립 이상이 발아된 셀은 수습작업을 통해 1셀당 1주씩 남겼다. 정식은 식물체 본엽 2~4매 시점인 3월 13일에 국립원예특작과학원 식물공장 베드(규격 H 70×L 145×W 120cm)에서 실시하였으며, 재식거리는 스트로폼에 15cm×15cm 간격으로 구멍을 뚫고 정식하였다. 실험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였고, 반복당 30주씩 정식하였다.

실험에 사용한 양액은 국립원예특작과학원과 코셀이 함께 개발한 엽채류 범용양액(Coseal Co., Korea)을 조제하여 사용하였으며(Table 1) 양액제어시스템

Table 1. The composition of nutrient solutions for culture of leaf vegetable.

Nutrient	Concentration (mM · L ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
	13	3	8	4	2

(Agronic 7000, Agronics, Spain)을 이용하여 양액농도를 EC 1.5, 2.0, 2.5dS · m⁻¹로 처리하였다.

광원 및 광도는 삼파장 형광등(Phillips Co., Netherland)을 사용하였고, 광도는 식물체 상부 잎을 기준으로 모든 처리구를 200μmol · m⁻² · s⁻¹ 이상으로 고정하였으며 오전 9시부터 오후 9시까지 형광등을 켜주었고, 나머지 시간에는 암 조건으로 만들어 주어 일장을 12/12시간으로 하였다. 식물공장의 온도는 주간 22°C, 야간 18°C로 설정하여 주간 식물체 주변온도를 25°C로 하였다.

생육조사는 정식후 25일에 처리 및 반복별로 3주씩 뽑아서 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., USA)를 이용하여 측정하였다. 광합성특성은 광합성측정기(LI-6400, Potarble photosynthesis system, LI-COR Inc., USA)를 사용하여 작물별로 반복당 3주씩 3반복으로 조사하였다. 광합성 측정기의 측정 조건은 온도 22°C, 습도는 60%, CO₂ 농도는 400ppm, 광량은 250μmol · m⁻² · s⁻¹으로 하였다.

결과 및 고찰

재배기간 동안의 pH는 정식후 5일 후부터 pH가 낮아지는 경향을 보였으며 특히 2.0dS · m⁻¹과 2.5dS · m⁻¹ 처리구에서 많은 변화를 보였으나 엽채류 적정생육 pH인 5.0~7.0의 범위내였다. EC는 큰 변화를 보이지 않았고 처리별 목표 양액농도의 ±0.2dS · m⁻¹ 이내에 유지되었다(Fig. 1). 식물공장 내부의 온도는 주간에는 25.0±1.0°C, 야간에는 18.0±1.0°C 범위로 유지시켰고, 광원은 형광등을 사용하여 광량을 200±20μmol · m⁻² · s⁻¹ 정도로 유지시켰다.

처리별 30일째 생육조사 결과는 Table 2와 같다. 적겨자와 청경채 모두 초장은 EC에 따른 유의성은

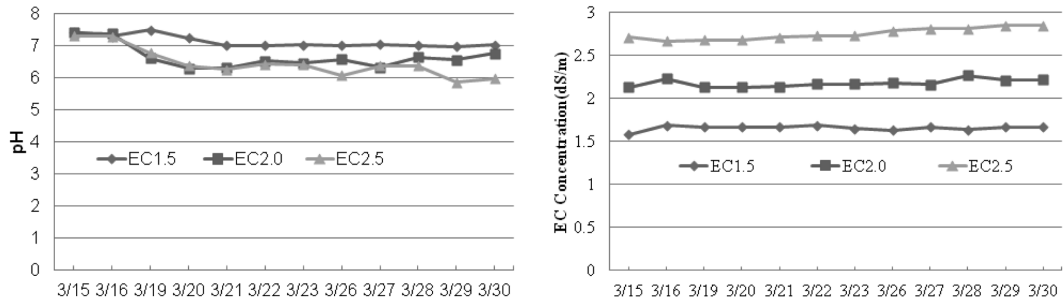


Fig. 1. Changes of EC and pH in nutrient solution during the experiment.

Table 2. Effects of different EC in nutrient solution on growth of red mustard and pak-choi in plant factory.

Plants	EC (dS·m ⁻¹)	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Red mustard	1.5	30.9a ^z	11.2a	719a	43.5a	1.9b
	2.0	30.3a	10.2ab	788a	46.2a	2.4a
	2.5	30.7a	9.2b	719a	51.1a	2.4a
Pak choi	1.5	25.6a	16.2a	861a	59.1b	2.7a
	2.0	25.1a	15.5a	968a	72.3ab	3.0a
	2.5	26.7a	16.2a	1,050a	80.7a	3.3a

^zDMRT .05.

없었고, 엽수는 적겨자의 경우 EC가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으나 청경채의 경우는 유의성이 없었다. 적겨자의 경우 EC에 따른 엽면적, 생체중 및 건물중은 유의성이 없었다. 하지만 청경채의 경우는 EC가 높아질수록 생체중은 증가하였으나 잎수와 건물중은 유의성이 없었다. 박막수경재배에서 청경채의 정식 후 수확까지 생육시 지상부 생체중과 건물중 및 수량은 EC가 증가할수록 감소하는 것으로 밝혔다(Cho와 Son, 2002). 또한 Adams와 Ho(1980)는 토마토 수경재배시 EC가 높으면 품질은 증가되지만 수량은 감소

한다고 하였고, Willumsen 등(1996)도 고농도 양액에서 자란 토마토는 과실무게와 크기 및 과실수가 저하되는 대신 건물중은 증가한다고 하여 본 실험의 결과와는 생체중의 경우 차이를 보였다. 이것은 본 실험에서는 과채류가 아닌 엽채소를 대상으로 하였고 EC가 생리장해가 발생할 정도로 높지 않았기때문에 생체중과 건물중 모두 EC가 증가할수록 증가한 것으로 생각된다.

엽록소함량과 광합성 특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 엽록소 함량은 적겨자의 경우 EC 1.5dS·m⁻¹

Table 3. Effects of different EC in nutrient solution on chlorophyll content and photosynthetic rates of red mustard and pak-choi in plant factory.

Plants	EC (dS·m ⁻¹)	Chlorophyll (SPAD values)	Photosynthetic rates (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Stomatal conductance (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Transpiration (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
Red mustard	1.5	23.8b ^z	11.1ab	1.30a	3.21a
	2.0	30.7a	9.7b	0.80b	2.60b
	2.5	36.3a	12.2a	1.22ab	3.22a
Pak choi	1.5	38.5a	10.8b	0.33b	1.35b
	2.0	40.5a	11.3b	0.34b	1.60b
	2.5	40.7a	12.6a	0.58a	2.34a

^zDMRT .05.

식물공장내 양액의 EC가 적겨자와 청경채의 생육 및 품질에 미치는 영향

Table 4. Effects of different in nutrient solution on mineral contents of red mustard and pak-choi in plant factory.

Plants	EC (dS · m ⁻¹)	Ascorbic acid (mg · 100 g ⁻¹ FW)	P ₂ O ₅ (mg · kg ⁻¹)	T-N (mg · kg ⁻¹)	mg · kg ⁻¹		
					K ₂ O	CaO	MgO
Red mustard	1.5	26.83a ^z	2.0a	5.0b	9.2b	5.3a	1.2a
	2.0	19.83b	1.8b	5.7a	8.8b	4.8ab	0.9b
	2.5	10.53c	1.9ab	5.5a	10.3a	4.5b	0.7c
Pak choi	1.5	38.17a	2.2a	5.3a	8.5b	6.0a	1.5a
	2.0	42.22a	2.2a	5.3a	8.8b	6.0a	1.1b
	2.5	28.30b	2.3a	4.6b	9.6a	5.8a	1.0b

^zDMRT .05.

에서는 23.8이었지만 2.0과 2.5dS · m⁻¹에서는 30.7과 36.3으로 유의성이 없었다. 그러나 청경채에서는 38.5~40.7로, EC에 따른 유의성이 없었다. 광합성 능력은 적겨자의 경우 9.7~11.7μmol · m⁻² · s⁻¹로 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 청경채는 EC가 높아질수록 높은 경향을 보였는데 1.5dS · m⁻¹에서는 10.8μmol · m⁻² · s⁻¹이었지만 2.0dS · m⁻¹에서는 11.3μmol · m⁻² · s⁻¹이었고, 2.5dS · m⁻¹에서는 12.6μmol · m⁻² · s⁻¹이었다.

식물체 내에 Ascorbic acid 함량과 무기성분을 조사한 결과는 Table 4와 같다. Ascorbic acid 함량은 적겨자의 경우에 EC가 낮을수록 높게 나왔고, 청경채의 경우에도 EC 1.5와 2.0dS · m⁻¹ 처리구가 2.5dS · m⁻¹ 처리구보다 높게 나타났다.

인산함량은 적겨자의 경우 뚜렷한 경향치를 보이지 않았으며 청경채에서는 처리간 유의성이 없었다. 총질소함량에 있어서는 적겨자의 경우 1.5dS · m⁻¹ 처리구에서 낮게 나왔고, 청경채의 경우에는 2.5dS · m⁻¹ 처리구에서 낮게 나왔다. 칼륨 함량은 EC 농도가 높았던 2.5dS · m⁻¹ 처리구에서 적겨자와 청경채 모두에서 높게 나타났다. 칼슘과 마그네슘 함량은 EC 농도가 낮은 1.5dS · m⁻¹ 처리구에서 높은 경향을 보였다. 무기성분 함량이 높으면 식물체 생육도 왕성하여 무기성분 함량과 식물체 생육과는 밀접한 관련이 있다(Kim 등, 2002; Lee 등, 1996)고 하였는데, 본 실험에서는 상관성이 약한 것으로 나타났다. 이와같은 경향은 식물공장이라는 재배환경 조건이 어느정도 작용한 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 보면, 인공광 이용형 식물공장에서 적겨자와 청경채를 생산하고자 할 때에는 양액 농도를 2.0~2.5dS · m⁻¹로 관리하는 것이 생체중과 Ascorbic acid 함량을 고려해볼 때 가장 적절한 양액

농도 관리 방법이라고 생각된다.

적 요

최근 식물공장에 대한 연구가 활성화 되면서 식물공장내 인공광을 이용한 쌈채소 재배가 점점 늘어나고 있다. 특히 쌈채소를 좋아하는 우리나라에서는 그 소비량이 매년 증가하고 있으며, 토양재배보다는 수경재배로 생산한 엽채류를 좋아하기 때문에 식물공장 시설을 이용하여 수경재배로 쌈채소를 생산하면 그 효과가 크리라 생각된다. 따라서 본 실험은 식물공장내에서 쌈채소로 많이 이용되고 있는 적겨자와 청경채를 대상으로 양액농도별 수량과 비타민 함량의 차이를 분석하기 위하여 실시하였다. 그 결과, 적겨자와 청경채 모두 초장은 EC에 따른 유의성은 없었고, 엽수는 적겨자의 경우 EC가 높아질수록 감소하는 경향을 보였으나 청경채의 경우는 유의성이 없었다. 청경채의 경우 EC가 높아질수록 엽면적이 현저하게 증가하였고, 생체중은 두 작물 모두 EC가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 광합성 능력은 적겨자의 경우 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 청경채는 EC가 높을 때 높은 경향을 보였다.

Ascorbic acid 함량은 적겨자의 경우에 EC가 낮을수록 높게 나왔고, 청경채의 경우에는 EC 2.0dS · m⁻¹ 처리구에서 가장 높았고, 1.5, 2.5dS · m⁻¹ 처리구 순이었다. 이상의 결과를 종합해 보면, 인공광 이용형 식물공장에서 적겨자와 청경채를 생산하고자 할 때에는 양액농도를 2.0~2.5dS · m⁻¹로 관리하는 것이 생체중과 Ascorbic acid 함량을 고려해볼 때 가장 적절한 양액 농도 관리 방법이라고 생각된다.

주제어 : 광합성, 비타민 C, 엽록소

인 용 문 헌

1. Adams, P. and L.C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom end rot in relation to salinity. *J. Hort. Sci.* 67:827-839.
2. Cho, Y.R. and J.E. Son. 2002. Effect of electrical conductivity on growth and yield at different growth stages of pak-choi growth in nutrient film technique system. *Kor. J. Sci. Technol.* 20(Suppl. 1):63.
3. 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.* 144(4):289-297 (in Korean).
4. Jang, Y.S. 2005. The automatic system of plant factory. *Research and Extension* 46(5):44-47.
5. 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).
6. Kang, S.W. 2008. Plant factory (translation).
7. Kim, J.H. 2009. The present state and future of plant factory. *Research of KREI* 61:1-19.
8. Kim, Y.B., S.S. Nam, I.H. Choi, B.C. Jong, and S.J. Chung. 2002. The influence of recycling hydroponic and used substrate on marketable yield and quality of sweet pepper. *Kor. J. Hor. Sci. Technol.* 20(Suppl. II): 67.
9. Lee, E.H., J.W. Lee, J.S. Ji, Y.I. Nam, I.H. Cho, and Y.S. Kwon. 1996. Effect of substrates on growth and yield of hydroponically grown cucumber in bag culture. *J. Bio. Fac. Env.* 5:15-22.
10. 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-Environ. Con.* 19(4):351-359 (in Korean).
11. 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(2):178 (in Korean).
11. 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-Environ. Con.* 15(1):130-135 (in Korean).
12. 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-Environ. Con.* 19(4):333-342 (in Korean).
13. Willumsen, J., K. Karen, and K. Kaack. 1996. Yield and blossom end rot of tomato as affected by salinity and cation activity ratios in the root zone. *J. Hort. Sci.* 71:81-98.
14. 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-Environ. Con.* 15(4): 346-351 (in Korean).