

담액수경재배 시 재배후기 양액농도가 상추의 생장 및 수확후 품질에 미치는 영향

이정수* · 장민선

농촌진흥청 국립원예특작과학원

Effect of Nutrient Solution Concentration in the Second Half of Growing Period on the Growth and Postharvest Quality of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a Deep Flow Technique System

Jung-Soo Lee* and Min-Sun Chang

National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: ljs808@rda.go.kr

Abstract

We examined the effect of nutrient solution concentration in the second half of growing period on the pre- and postharvest characteristics of two leaf lettuce cultivars, 'Geokchima' and 'Cheongchima'. Plants were grown hydroponically in a deep flow technique (DFT) system at different concentrations of National Horticulture Research Institute hydroponic nutrient solution: 1/2 strength (S), 1S, 2S, and 4S. Lettuce leaf growth, number of leaves, and shoot fresh weight of both cultivars were greatest in plants grown in the 1S treatment. Compared to other treatments, pigment and nutrient ion contents were greater in the 4S treatment. Growth of lettuce was greatest in the 1S treatment, and decreased at higher or lower concentrations of nutrient solution. However, postharvest characteristics such as fresh weight loss, leaf chlorophyll level, and external appearance were better in both cultivars when grown in 2S solution. Variations in weight loss and SPAD values were smallest in the 2S treatment. These results show that the optimal nutrient concentration for growth does not necessarily provide the optimal postharvest storability.

Additional key words: electrical conductivity, nutrient solution, preharvest characteristics, postharvest characteristics, storability

서 언

국내 채소 생산은 양적 향상 위주로 연구되어 왔으나 농업 여건의 변화로 수확후 품질 개선을 위한 연구의 필요성이 대두되고 있다. 원예산업에서 채소류는 꾸준히 성장하고 국내 농업 비중도 높아지고 있으며(Kim, 2007), 생산뿐만 아니라 수확후 관리에서도 상품성의 변화가 없는 기술을 요구하고 있다(Lee et

Received: May 11, 2016
Revised: November 25, 2016
Accepted: November 29, 2016

 OPEN ACCESS



HORTICULTURAL SCIENCE and TECHNOLOGY
35(4):456-464, 2017
URL: <http://www.kjhst.org>

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright©2017 Korean Society for Horticultural Science.

본 논문은 농촌진흥청 국립원예특작과학원과 연구사업 과제인 엽과채류 수출확대 지원 및 손실 개선 상품화 모델 개발(PJ01271801)과 재배 환경이 채소류의 수확후 품질 및 저장에 미치는 영향(PJ0011992) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

al., 2005). 수경재배는 생산성을 높이는 효율적인 방법으로 인식되어 작물별로 연구 개발 및 실용화가 지속되고 있으나(Lee, 2001), 수경재배 작물의 수확후 관리에 대한 연구는 많이 이루어지지 못하였다.

우리나라의 수경재배는 1954년 도입된 것으로 알려져 있으며(Kim and Park, 1991), 연구와 개발 방향이 재배 시스템 및 시설 내 환경관리, 배양액 개발 등으로 대별되며, 이 중 배양액 개발에 대한 연구가 많이 이루어졌는데 배양액 조성 및 농도가 작물의 생육을 결정하는 중요한 요소이기 때문이다(Choi et al., 2005; Ha et al., 1993). 배양액 조성 및 농도에 관한 연구는 생육이나 생산성 향상에 관한 것이 많으며(Chang et al., 2005; Nam, 1996; Nam, 2004; Roh et al., 2008; Seo et al., 2002; Shim et al., 2009), 생육 이외에 무기물 종류와 이온 농도에 따른 품질 향상 연구가 보고되었다(Chi et al., 1998).

수경재배로 생산성 향상과 고품질을 생산하나 수확후 품질이 다를 것이라는 인식이 있어(Park et al., 1999), 상추에서는 수경과 토경 재배방법에 따른 수확후 저장성(Lee et al., 2005)과 소비자 반응(Manzocco et al., 2011) 등의 차이를 확인하였으나 수경재배 시 수확후 저장성 개선에 대해 언급하지는 못하였다.

수경재배에서 원예산물 품질을 양액의 이온 농도 조절 또는 변경을 통해 높일 수 있는데, 토마토에서는 생육후기 염분 첨가 또는 EC를 높여 생육과 수량이 낮아지는 경향이 있고 과실 크기가 작아졌으나 과실의 당함량이 높아지고 색택이 좋아져 품질을 개선하였다고 보고하였다(Kim et al., 2000; Park et al., 1995; Wu and Kubota, 2008). 수경재배를 통해 토경보다 파프리카의 수확후 품질이나 생리적 특성을 비교적 용이하게 개선할 수 있었으나(Kang et al., 2008), 수확후 저장성 향상을 위한 방법의 제시는 거의 없다. 따라서 토경보다 지하부 환경 조절이 용이한 수경재배는 양액농도의 조절로 수량 유지와 함께 수확후 저장 특성을 향상시킬 수 있는 방법이다.

본 실험에서는 수경재배 상추의 수량은 유지하면서 수확후 저장성을 향상시킬 수 있는 기술을 개발하기 위해 담액수경재배 시 재배 후반기 양액농도가 상추 두 품종의 생장 및 수확후 저장 특성에 미치는 영향을 구명하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 수경재배 시 재배 후기의 양액 농도 변경에 따른 상추 생육과 수확후 저장 시 특성으로 나누어 조사하였다. 실험재료로는 ‘적치마’[(주)농우바이오, 한국]와 ‘청치마’[(주)농우바이오, 한국] 상추를 이용하였으며 재배방식은 DFT(deep flow technique) 방식으로 담액한 양액을 순환하는 방식으로 용존산소를 확보하였으며 수경재배 베드는 2.4m²로 하였다. 양액은 국립원예특작과학원에서 개발한 국화과 전용 배양액의 조성(N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹)을 기준(Choi et al., 2003)으로 Ha et al.(1993)의 보고를 참고하여, 1/2(EC 0.8dS·m⁻¹), 1(1.5dS·m⁻¹), 2(2.9dS·m⁻¹), 및 4배액(5.3dS·m⁻¹)의 등비간격 비율로 양액 농도를 달리하여 처리하였다.

수경재배 시 양액 관리는 Kang and Kim(2007)을 참고하여 재배 시 양액농도를 1회 변경하였는데, 정식 후 3주간은 표준액(1배액)으로 재배하였으며, 양액을 처리 농도에 따라 변경 후에 2주간 더 생육시킨 후에 수확하였으며, 작물 생육 시 pH는 5.5-6.5로 조정하여 이용하였다. 파종은 3월 22일, 정식은 4월 7일, 수확은 5월 16일에 하였다. 육묘는 162공 플러그 트레이에 시판 육묘용 상토(바이오상토 1호, 세미니스코리아)를 사용하였으며 정식 시 간격은 20cm로 하였다. 상추 수확후 품질비교는 시료의 균일성을 확보하기 위하여 수확 시 상단엽에서부터 3-10번째 잎에서 크기가 일정한 잎을 채취하였고, PP필름(32×22cm, thickness 0.05mm)에 150g씩 넣어 포장한 후 5°C 쇼케이시형 냉장고(ZiKor, Samsun, Korea)에 저장하였다.

상추의 생육조사는 농촌진흥청 조사기준(RDA, 2012)에 따라 초장, 엽수, 생체중, 수분함량 등을 조사하였다. 엽록소 함량은 Park et al.(1996)의 방법으로 하여 분광광도계(DU650, Beckman Coulter, USA)로 측정하였으며 안토시아닌 함량은 Tibor and Francis(1968)의 방법에 따라 분석하였다. 식물체 분석은 상추의 줄기를 포함한 가식부를 농업과학기술원 토양화학분석법(NIAST, 2010)과 Seo et al.(2002)의 방법에 따라 N은 Kjeldahl digestion법으로 자동질소분석장치(Kjeltec auto1030 analyzer, Tecator, USA)로, P은 Vanadate법으로 비색계(Lambda 18, Perkin Elmer, USA), K, Ca 및 Mg는 원자흡광분광광도

계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer, USA)를 이용하여 각각 분석하였다.

저장 중 생체중 변화는 입고 시 생체중에 대한 생체중의 감소 정도를 백분율로 표시하였으며 2일 간격으로 조사하였다. SPAD 값은 Lee et al.(2007)의 보고를 참고하여 엽록소계(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용해 2일 간격으로 측정하였다. 호흡률의 측정은 Lee et al.(2007)의 방법에 따라 상추를 밀폐용기에 1시간 동안 밀폐하여 얻은 가스 크로마토그래피(5890 series II, Hewlett Packard, USA)를 이용하여 4일 간격으로 조사하였다. 측정에 사용한 column은 active carbon을 충전한 stainless steel column이었으며, detector는 TCD(150°C), GC injector 온도는 110°C, column 오븐온도는 70°C, carrier gas는 He(30mL/min)으로 하였다. 상추의 신선도 평가 및 외관에 의한 품위 변화는 Jeong et al.(1990)의 방법을 참고로 하여 훈련된 패널들이 색, 형태변화, 신선도 등을 상에서 하 등급까지 7단계를 두어 2일 간격으로 조사하였다(선도기준 : 6=매우 신선, 5=신선, 수확 당시와 유사, 4=선도 약간 저하, 광택 비습, 3=선도 저하, 2=변색, 연화 시작, 상품성 상실, 1=선도 매우 저하, 0=부패 시작, 식용 불가).

재배 및 수확 처리는 재배와 수확후 실험 처리와 통계 분석은 4반복으로 하였고, 품종과 농도에 대해 직교다항식 분석을 실시하였으며, 통계분석은 SAS(ver. 9.2, SAS Inc., USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

수경재배 후기 양액 농도 변경에 따른 생육 특성

수경재배 시 양액 농도 변경으로 ‘적치마’와 ‘칭치마’의 생육에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 1과 같다. 품종에 따른 양액 농도 간 초장 차이는 ‘적치마’가 32.0–91.3cm, ‘칭치마’가 20.3–56.0cm이었으며 양액 농도에 따라서는 1/2 배액이 56.0–91.3cm, 1배액이 42.0–91.3cm, 2배액이 32.0–39.3cm, 4배액이 20.3–34.7cm이었다. 초장은 ‘적치마’가 ‘칭치마’보다 길었으며 두 품종 모두 양액 농도의 변화에 따른 차이를 보여 농도가 높을수록 초장이 감소하였다. 엽수는 품종 별로 ‘칭치마’가 ‘적치마’

Table 1. Growth, moisture content, and pigment (chlorophyll and anthocyanin) contents of two lettuce cultivars, as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system.

Cultivar	Nutrient concentration	Plant height (cm)	No. of leaves	Shoot fresh weight (g/plant)	Moisture content (% FW)	Total chlorophyll (mg·g ⁻¹ FW)	Total anthocyanin (mg·100g ⁻¹ FW)
Geockchima	½S	91.3	45.0	182.4	92.4	0.92	0.67
	1S ²	91.3	54.3	244.6	92.7	1.03	0.79
	2S	32.0	26.7	179.0	92.9	0.61	1.49
	4S	34.7	25.0	74.5	90.7	0.49	5.98
Cheongchima	½S	56.0	53.3	311.7	95.3	0.95	-
	1S	42.0	61.3	392.5	94.5	1.64	-
	2S	39.3	64.3	346.4	93.4	2.19	-
	4S	20.3	39.3	158.3	91.4	2.44	-
Significance of contrast (<i>p</i> -value)							
Cultivar (A)		**	*	**	*	NS	
Concentration (B)		**	**	**	**	NS	
	Linear	***	***	**	**	-	
	Quadratic	NS	**	***	NS	-	
	A×B	**	**	**	**	NS	

NS, *, ** Non significant at *p* = 0.05, significant at *p* = 0.05 or *p* = 0.01, respectively.

²Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9.4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

보다 많았으며, 양액 농도에 따라서는 품종 별로 다소 차이를 보여 ‘청치마’는 2배액(64.3매)에서, ‘적치마’는 1배액(54.3매)에서 많은 것으로 나타났다. 생체중은 품종별로는 ‘청치마’가 더 컸으며, 양액 농도별로는 두 품종 모두 1배액 처리 시 ‘청치마’가 392.5g/plant, ‘적치마’가 244.6g/plant로 컸다. 수분함량은 ‘청치마’가 91.4–95.3%, ‘적치마’가 90.7–92.9% 범위를 보였으며 그 중 ‘청치마’의 1/2배액이 95.3%로 가장 많았고, ‘적치마’의 4배액이 90.7%로 수분함량이 가장 적었다. 양액 농도에 따라 수분함량이 변화하는데, Yu and Bae(2005)는 토마토 배지경에서 일본 원시액의 양액 농도 2배액에서 광합성과 대사작용의 증가로 수분 흡수가 많아진다고 하였다. 또한 Kang and Choi(2009)는 토마토 품종에 따라 수확기에 관수량 조절을 통해 과실의 수분 함량을 줄이면서 당 함량을 높여 상품성을 향상시킨다고 보고하였다. 본 연구에서 상추는 담액수경 재배 시 1/2–4배액 농도에서 상추의 수분함량은 90% 이상이었으나 배양액 농도를 4배액까지 고농도로 높여 재배하면 체내 수분 함량이 감소하는 패턴을 보였다. Nam(1996)은 아미자키액을 변형한 양액(N-P-K-Ca-Mg=6.5-1.5-4-2-1me·L⁻¹)을 상추에 처리하면서 배양액 농도를 1배에서 2배로 높여 재배한 것이 생육이나 품질 면에서 좋다고 하였으나 Bae and Kim(2004)은 파프리카 관비재배에서 고농도의 급액으로 작물체의 광합성 대사가 감소하여 생육저해가 발생한다고 보고하였다.

Lee et al.(2016)은 광질과 같은 지상부 환경이 상추의 지상부 생육이 영향을 준다고 하였는데, 본 연구에서는 지하부의 환경 차이도 지상부의 생육에 영향을 주었다. 즉 국화와 전용양액의 양액 농도를 높임으로 생육량이 증가하지 않았고, 오히려 고농도인 4배액은 생육저해를 야기하는 생육저해를 야기하는 것으로 나타났는데, Cha et al.(2012)가 상추 수경재배의 EC는 1.2–4.8dS·m⁻¹ 수준에서 생육에 생육에 이상이 없었으나 본 연구의 4배액의 이온농도(5.3dS·m⁻¹)가 상추 생육에 부적절해서 나타난 것으로 보인다.

엽록소 함량이 양액농도에 따른 유의차는 없었지만, ‘청치마’가 0.95–2.44mg·g⁻¹, ‘적치마’가 0.49–1.03mg·g⁻¹ 범위로 나타나 ‘청치마’의 엽록소 함량이 높은 경향을 보였으며 그 중 ‘청치마’의 4배액이 2.44mg·g⁻¹으로 가장 높은 경향을 보였다. 안토시아닌 함량은 ‘적치마’에서 양액 농도가 높아질수록 증가하여 4배액(5.98mg·L⁻¹), 2배액(1.49 mg·L⁻¹), 1배액(0.79 mg·L⁻¹) 및 1/2배액(0.67mg·L⁻¹) 순으로 나타났다. 생육 특성의 직교다항식(orthogonal polynomials) 데이터 반응패턴을 보면 초장, 엽수, 생체중과 수분함량에서 이차식(quadratic)으로는 초장과 수분함량에서 유의하지 않고, 일차식(linear)일 때 유의한 것으로 나타났다.

수경재배 시 양액 농도의 증가에 따른 상추에서 무기이온 별 함량변화는 Fig. 1과 같으며 양액 농도 증가에 따라 N 및 K 함량은 다소 증가하였고, P, Ca, Mg 함량은 큰 변화가 없었다. Noh et al.(2011)는 칼랑코에 수경재배 시 저광도 하에서 EC를 2.0dS·m⁻¹까지 증가시키면 생육감소뿐만 아니라 N을 제외한 다른 무기원소의 흡수량이 감소하는 것으로 보고하였다. 본 연구

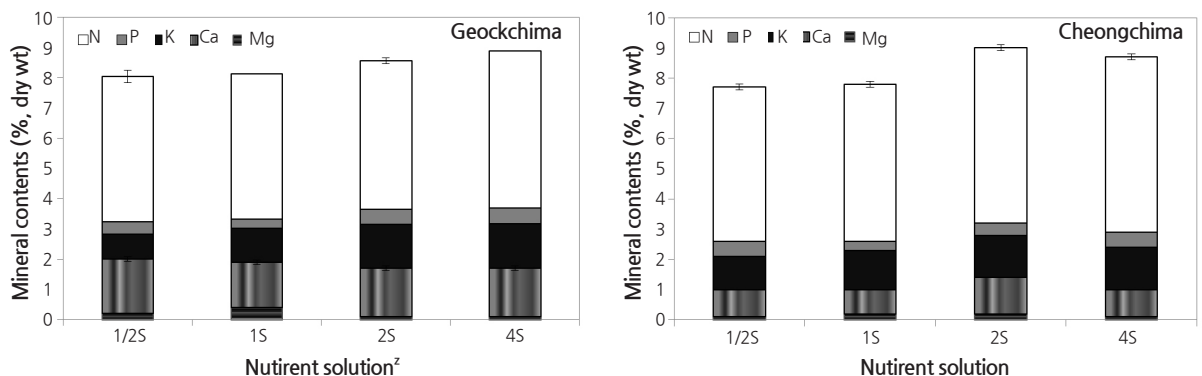


Fig. 1. Mineral content of two lettuce cultivars, ‘Geockchima’ (left graph) and ‘Cheongchima’ (right graph), as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system. Vertical bars represent standard errors (n=4).

²Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

에서도 양액의 농도를 높여, 2배액으로 교환하면 무기이온의 함량이 다소 증가하였으나, 4배액은 2배액과 비교하여 큰 차이가 없거나 오히려 감소하였다.

본 연구에서는 수확전보다는 수확후 차이를 검토하고자 재배 중 양액 농도를 달리한 것으로, 생육 중 특성을 보면 생육 중 양액을 교환하여 농도를 높이거나 낮춤으로 인해 생육량을 증대시켰다고 보기 어려우나, 양액 농도가 증가함으로 작물체내 수분 함량이 감소하고 색소 농도와 무기이온 함량변화에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 양액 농도를 4배액으로 증가시키는 것은 오히려 무기이온 흡수를 저해하는 것으로 사료된다.

수경재배 후기 양액 농도 변경에 따른 수확후 특성

수확후에 수경재배한 상추가 저장 중 품종에 따라 재배 시 양액 농도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 상추 수확 후 5°C 저장 기간에 따른 생체중 감소율은 2배액에서 가장 적었고 4배액에서 큰 것으로 나타났다(Fig. 2). Lee et al.(2005)는 상추의 수경재배 방법에 따라 수확전 요인이 수확 이후의 증량감소에 미치는 영향이 뚜렷하지 않다고 하였으나, 본 실험에서는 재배 시 양액 농도가 수확후 생체중 감소에 미치는 영향을 확인할 수 있어, 수확전 양액 농도 조절로 수확후 저장성을 개선할 수 있다고 생각된다. 따라서 수경재배에 있어서 생산성과 함께 수확후 특성을 고려한 재배 중 양액 농도 조절이 필요할 것으로 판단된다.

저장 중 상추의 SPAD 변화는 Fig. 3과 같으며 저장 기간이 경과하면서 엽록소 손실에 따른 색상변화로 모든 처리구에서 SPAD 값이 완만하게 감소하였는데, 품종별로는 다소 다른 경향을 보였다. ‘청치마’는 재배 중 양액 농도에 따른 차이를 수확후에 확인할 수 있었으나, ‘적치마’는 양액 농도 영향을 판단하기 어려웠다. ‘청치마’의 경우 초기 SPAD값은 2 및 4배액 처리한 상추가 다른 농도로 처리한 상추보다 높았다. 그리고 저장기간 경과에 따라 SPAD값은 2배액을 처리한 ‘청치마’ 상추에서 서서히 감소하여 저장종료 시에 다른 농도로 처리한 상추보다 높은 SPAD 값을 유지하였다. 반면, 재배한 상추는 저장 초기에는 높았으나 이후 빠르게 감소하는 것으로 나타났다. Cha et al.(2012)는 ‘적축면’ 상추에서 양액 농도의 증가로 SPAD값이 증가한다고

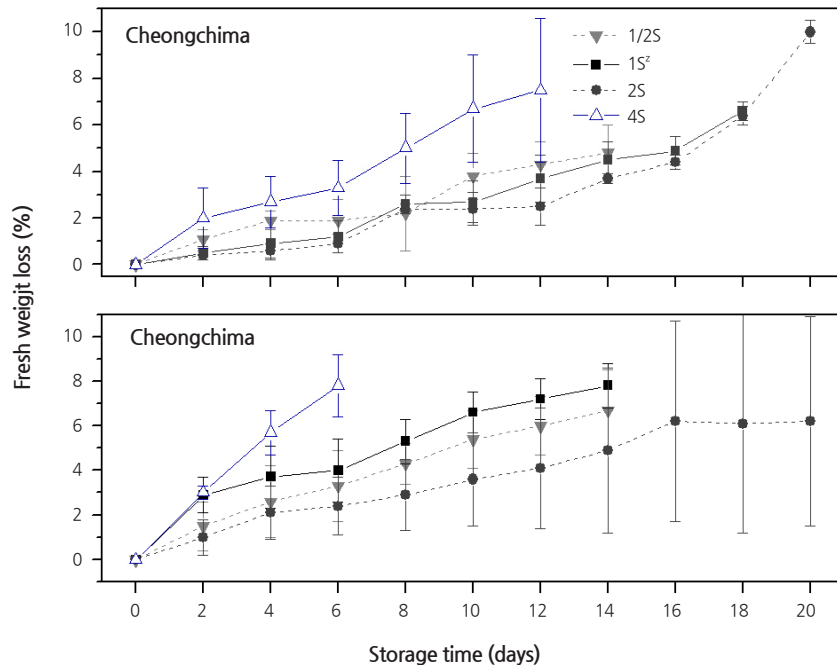


Fig. 2. Fresh weight loss of leaves of two lettuce cultivars, ‘Geockchima’ (top graph) and ‘Cheongchima’ (bottom graph), stored at 5°C, as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system.

²Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

Data represent the mean ± SE of four replicates.

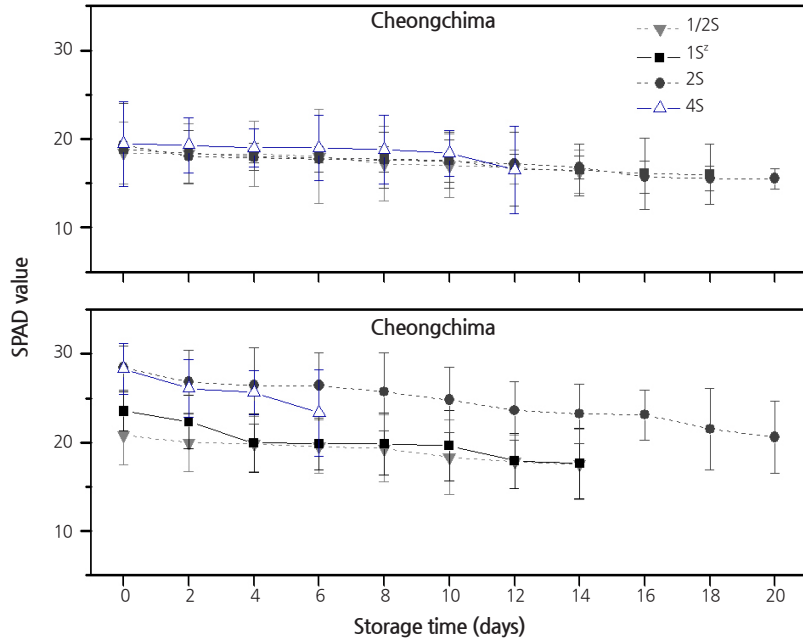


Fig. 3. Changes in chlorophyll contents (SPAD value) of leaves from two lettuce cultivars, ‘Geockchima’ (top graph) and ‘Cheongchima’ (bottom graph), stored at 5°C, as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system. Vertical bars represent standard errors (n=4).
²Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

하였다. 품종에 따른 SPAD 값에서 ‘청치마’ 상추는 재배 중의 양액 농도 2배 증가로 수확 직후 SPAD 값이 높아졌으며, 이는 재배 시뿐만 아니라 수확후에도 비교적 높은 수준이 유지되는 것을 확인하였다. 그러나 ‘적치마’의 경우 저장기간 동안 SPAD 변화폭이 적고, 양액 농도에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다. 이는 ‘적치마’가 Table 1에서 보듯이 안토시아닌이 관여되는 붉은 색을 띠어 엽록소 함량과 관여되는 SPAD 값 변화에는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 추측된다. 저장기간에 따른 상추의 엽록소 함량 감소는 재배 중 양액 농도보다 품종에 더욱 영향을 받는 것으로 보이며 ‘청치마’ 품종에서 양액 농도 차이를 수확후에 판단할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 수확후 저장 중의 엽록소 함량(SPAD 값)은 재배 시 양액 농도의 영향을 받지만 품종에 따라서 그 변화를 파악하기 어려울 수도 있다.

상추 저장 중의 호흡률 변화는 Fig. 4와 같으며, 저장기간 중에 뚜렷한 차이를 보이지 못하였다. 그러나 품종에 따라서는 ‘적치마’가 ‘청치마’보다 저장 중에 호흡률이 높은 경향을 나타냈으며, 4배액으로 양액을 교환한 것이 다른 농도보다 저장 초기에 높은 경향을 보였다. 상추 품종에 따른 호흡률은 수확 직후에 ‘적치마’가 45.9–63.6mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹이었고 ‘청치마’는 38.3–51.0mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹이었다. 양액 농도에 따라서는 4배액의 ‘적치마’가 63.6mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹으로 가장 높았고 4배액 ‘청치마’가 51.0mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹이었으며, 1/2배액은 ‘적치마’가 45.9mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹와 ‘청치마’ 38.3mg CO₂·kg⁻¹·h⁻¹이었다. 그러나 저장 중의 호흡률은 진폭을 거듭하여 수확전 양액 농도의 영향을 확인하기 어려웠다. Seo et al.(1990)의 보고에 따르면 멜론 재배 중의 양액 농도 증가는 잎에서의 광합성 증가와 함께 뿌리에서 호흡이 증가한다고 하였다. 본 실험에서 상추 재배 중 양액 농도 증가로 수확 직후의 잎에서 호흡이 증가하는 것을 확인하였으며, 품종별로 초기에 호흡률이 높았던 4배액이 저장성이 짧은 경향을 보였다.

저장 중 상추의 외관변화를 조사한 결과는 Fig. 5와 같으며 품종에 따른 차이뿐만 아니라 재배후반기 양액 농도의 차이 역시 수확후에 영향을 미치는 것으로 나타났다. ‘적치마’와 ‘청치마’의 저장 기간 20일 동안에 2배액 처리구가 다른 처리구보다 저장 기간 경과에 따른 외관변화가 다소 천천히 진행되는 것으로 나타났으며 1 및 1/2배액, 4배액 처리 순이었다. 상추의 저장기간

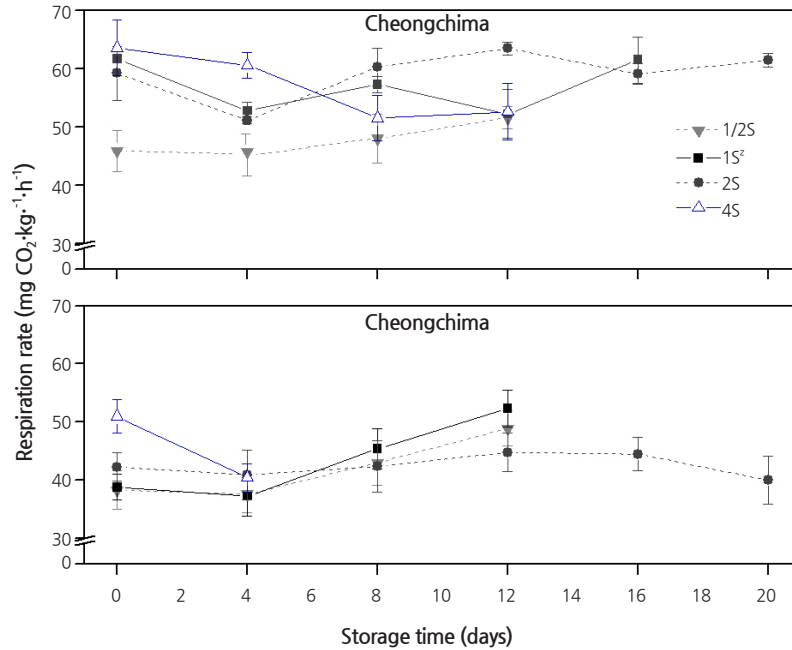


Fig. 4. Respiration rate of leaves from two lettuce cultivars, 'Geockchima' (top graph) and 'Cheongchima' (bottom graph), stored at 5°C, as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system. Vertical bars represent standard errors (n=4).

²Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

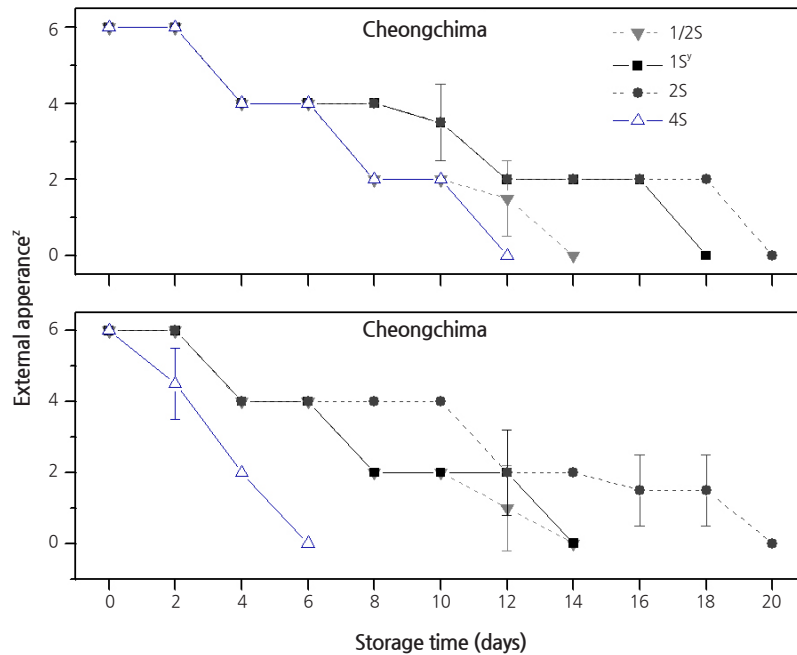


Fig. 5. External appearance of leaves from two lettuce cultivars, 'Geockchima' (top graph) and 'Cheongchima' (bottom graph), stored at 5°C, as affected by the concentration of nutrient solution used in a deep flow technique (DFT) hydroponic system. Vertical bars represent standard errors (n=4).

²External appearance rating: 6 = very good, 4 = good, 2 = poor, and 0 = very poor.

³Nutrient solution (N-P-K-Ca-Mg = 14.2-3.5-9-4-2 me·L⁻¹) for composite hydroponics recommended by the National Horticultural Research Institute in Korea.

은 외관이 짓물러지거나 변색 및 부패 등으로 인해 상품성을 상실하여, 품종별 양액 농도에 따라 ‘적치마’의 2배액은 20일, 1배액은 18일, 1/2배액은 14일 및 4배액이 12일이었으며, ‘청치마’는 2배액이 20일, 1배액 및 1/2배액이 14일, 4배액이 6일에 저장 중 종료하였다. 상추의 저장 중 외관변화는 품종과 같은 고정적 요인뿐만 아니라 재배 중 양액 농도와 같은 가변적인 요소도 수확후 품질에 영향을 끼친다고 판단된다. 본 연구에서는 재배 후반기 양액농도를 1배액보다 2배액으로 처리한 상추의 외관변화가 적었고, 선도유지에 효과적이었으며 4배액으로 처리한 상추는 외관변화가 컸으며 저장 중 선도가 빨리 떨어졌다.

수확전 요인의 차이가 수확후 선도에 영향을 미칠 수 있다고 보고되었지만(Park et al., 1999; Lee et al., 2005), 수확전 요인 개선에 대해 언급되지 못하였다. 본 연구의 경우 수확전에 ‘적치마’와 ‘청치마’ 모두 1배액이 함수량이 높지도 않으면서 생체중이 가장 무거운 것으로 나타나 최적의 생육을 보인 반면, 수확후에는 2배액에서 외관 등에서 최고의 선도를 유지하여 수확 전·후의 최적 양액 농도가 일치하지 않는 것을 구명하였다. 재배후반기 2배액 처리 시 생육저해는 일어나지 않으면서 작물체내 무기이온의 함량이 높아져 수확후 이용 가능한 양분량이 늘었기 때문으로 생각된다. 따라서 수경재배한 상추의 수확후 선도유지를 위하여 수확후 저장특성을 고려한 양액 농도 조절에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

초 록

담액수경재배에서 재배후반기 양액농도가 상추의 생장과 저장성에 미치는 영향을 구명하고자 4가지 양액농도(1/2S, 1S, 2S와 4S)를 ‘적치마’와 ‘청치마’ 식물체에 처리한 후 생장과 수확후 특성을 조사하였다. 국화과 전용배양액(N-P-K-Ca-Mg=14.2-3.5-9-4-2me·L⁻¹)의 1배액으로 조성하여 3주간 재배한 후 2주간 양액 농도를 조절하여 재배한 결과 두 품종 모두 생체중 등의 생육량이 1배액이 좋았으며, 2배액과 1/2배액은 1배액보다 다소 떨어졌으며, 4배액에서는 생장 특성이 저하되는 것으로 나타났다. 색소 및 무기이온 함량에서는 4배액으로 처리한 상추가 높았다. 수확후 특성에서는 품종별로 2배액으로 처리한 상추가 저장기간 중 생체중 감소 및 SPAD 변화의 폭이 적었고, 외관과 같은 선도유지에 효과적인 것으로 나타났으며, 대체로 1배액, 1/2배액, 4배액 순으로 나타났다. 상추 수경재배 후기에 양액 농도교환에 따른 생육과 수확후 특성을 보면 재배 중에 최적의 생육량을 보인 양액 조성이 수확후 저장 및 품질유지 효과와 일관성을 보이지 않는 것으로 나타났다. 따라서 변화하는 농업 여건에 맞추어 수경재배에서 생산성 향상뿐만 아니라 향후에는 수확후 특성을 고려한 양액 조성 및 재배 방법에 대한 개선이 필요한 것으로 보인다.

추가주요어: 전기전도도, 양액, 수확 전·후 요인, 저장성

Literature Cited

- Bae JH, Kim KH (2004) The effect of irrigation concentration on the growth and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) in fertigation. J Bio-Environ Control 13:167-171
- Cha MK, Kim JS, Cho YY (2012) Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory. J Bio-Environ Control 21:305-311. doi:10.12791/KSBEC.2012.21.4.305
- Chang DC, Park CS, Lee JG, Lee JH, Son JH, Lee BY (2005) Optimizing electrical conductivity and pH of nutrient solution for hydroponic culture of seed potatoes (*Solanum tuberosum*). J Korean Soc Hortic Sci 46:26-32
- Chi SH, Ann KB, Park SW, Chang JI (1998) Effect of ionic strength of nutrient solution on the growth of nutrient solution on the growth and fruit yield in hydroponically grown strawberry plants. J Korean Soc Hortic Sci 39:166-169
- Choi KY, Park DK, Kim YC, Seo TC, Yun HK, Seo HD (2003) Development of nutrient solution for composite hydroponics by a rate of nutrient and water uptake and cation. Korean J Hortic Sci Technol 21(Suppl. II):54 (Abstr.)
- Choi KY, Yang EY, Park DK, Kim YC, Seo TC, Yun HK, Seo HD (2005) Development of nutrient solution for hydroponics of cruciferae leaf vegetables based on nutrient-water absorption rate and the cation ratio. J Bio-Environ Control 14:289-297
- Ha SK, Lee BS, Suh BS, Chung SJ (1993) Effects of hydroponic system and ionic concentrations on growth of lettuce (*Lactuca sativa*

- L.). J Korean Soc Hortic Sci 34:1-6
- Jeong JC, Woo PK, Yang JY (1990) Influence of packaging with high-density polyethylene film on the quality of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Cheongchima) during low temperature storage. J Korean Soc Hortic Sci 31:210-224
- Kang HM, Kim IS (2007) Effect of nutrient solution composition modification on the internal quality of some leaf vegetables in hydroponics. J Bio-Environ Control 14:348-351
- Kang HM, Choi IL, Kim IS (2008) Effect of cultural regions or methods on postharvest physiological characteristics and qualities of paprika fruits. J Bio-Environ Control 17:325-329
- Kang NJ, Choi YH (2009) Influence of irrigation levels on plant growth and fruit quality in *Lycopersicon esculentum* Mill. Korean J Hortic Sci Technol 27:93-101
- Kim JK (2007) Recent trend in postharvest technology of vegetable crops. Korean J Hortic Sci Technol 25(Suppl. II):33
- Kim KY, Park SG (1991) Hydroponics. Osung, Seoul, Korea, pp 43-127
- Kim YD, Moon JS, Park YB (2000) The improvement of tomato fruit quality by adding seawater under the hydroponics condition. Proc Korean Soc Bio-Environ Control Conf 9:104-108
- Lee EH (2001) Quality improvement of vegetable crops by hydroponics. Korean J Hortic Sci Technol 19:204-208
- Lee MJ, Son KH, Oh MM (2016) Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. Hortic Environ Biotechnol 57:139-147. doi:10.1007/s13580-016-0133-6
- Lee JS, Choi JW, Chung DS, Lim CI, Seo TC, Do GL, Chun C (2005) Effects of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars and cultivation methods on growth, quality, and shelf-life. Korean J Hortic Sci Technol 23:12-18
- Lee JS, Chung DS, Lee JU, Lim BS, Lee YS, Chun CH (2007) Effects of cultivars and storage temperatures on shelf-life of leaf lettuces. Korean J Food Preserv 14:345-350
- Manzocco L, Foschia M, Tomasi N, Maifreni M, Costa LD, Marino M, Cortellac G, Cesco S (2011) Influence of hydroponic and soil cultivation on quality and shelf life of ready-to-eat lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr.). J Sci Food Agric 91:1373-1380. doi:10.1002/jsfa.4313
- Nam SY (1996) Qualitative changes in leaf lettuce by cultural and postharvest storage conditions. PhD Diss., Seoul National Univ., Seoul, Korea, pp 36-75
- Nam YI (2004) Present status and further prospects for development of closed hydroponics in Korea. Korean Res Soc Protected Hort 17:1-7
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST) (2010) Fertilizer application standard for crops. NIAST, Suwon, Korea
- Noh EH, Jun HJ, Son JE (2011) Growth characteristics and nutrient uptake of kalanchoe plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'Marlene') at different light intensities and nutrient strengths in ebb and flow subirrigation systems. Korean J Hortic Sci Technol 29:187-194
- Park JM, Ro HM, Kim YM, Seong KC (1996) Chlorophyll determination horticultural crops using dimethyl sulfoxide. RDA J Agri Sci 38:553-557
- Park KW, Kang HM, Chiang MH, Kwon YS (1995) Effects of soil moisture content according to irrigation methods in culture on storability of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. J Bio-Environ Control 4:74-79
- Park SW, Lee JW, Kim KY, Hong SJ (1999) Effects of cultivation season and method on growth and quality of tomato. Korean J Hortic Sci Technol 17:115-117
- Roh MY, Kim WS, Choi YH, Lee YB (2008) Water uptake, growth and yield response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to nutrient solution concentration in closed hydroponic systems. Hortic Environ Biotechnol 49:78-84
- Rural Development Administration (RDA). (2012) Standard item of agricultural experiment. RDA, Suwon, Korea, pp 439-526
- Seo BS, Chung SJ, Yang WM (1990) Effects of temperature, ionic strength of nutrient solution and oxygen levels of root zone on photosynthesis and respiratory activity of aeroponically grown melon seedlings. Korean J Hortic Sci Technol 8(1):48-49 (Abstr.)
- Seo TC, Lee JW, Kim YC, Kim KY, Lee BY (2002) The characteristics of nutrient absorption of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown hydroponically in summer season. J Korean Soc Hortic Sci 43:163-169
- Shim MS, Choi SY, Park SK, Kwon OK (2009) Growth responses and nutrient absorption characteristics of ardisia pot plants in two growth stages as influenced by nutrient solution strengths. Hortic Environ Biotechnol 50:525-531
- Tibor F, Francis FJ (1968) Quantitative methods for anthocyanin. J Food Sci 33:72-77. doi:10.1111/j.1365-2621.1968.tb00887.x
- Wu M, Kubota C (2008) Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. Sci Hortic 116:122-129. doi:10.1016/j.scienta.2007.11.014
- Yu SO, Bae JH (2005) Development of optimal nutrient solution of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in a closed soilless culture system. J Bio-Environ Control 14:203-211