Journal of Environmental Science International
24(8); 1075~1084; August 2015
pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.8.1075

TECHNICAL NOTE

순환식 양액재배에서 상추의 성장에 따른 양액성분의 변화

김동석 · 박영식[1)*]
대구가톨릭대학교 환경과학과, [1)]대구대학교 기초교육대학

Changes in the Nutrient Components Associated with the Growth of Lettuce in Circulating Hydroponics

Dong-Seog Kim, Young-Seek Park[1)*]
Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea
[1)]DU University College, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea

Abstract

This study was conducted to investigated the changes in the nutrient components (NO_3^--N, NH_4^+-N, PO_4^{3-}P, K^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+}) and environmental parameters (electrical conductivity, total dissolved solids and pH) on the leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown with hydroponics. Recirculating hydroponic cultivation system was consisted of planting port, LED lamp, water tank, and circulating pump for hydroponic. Nutrient solution was used in the standard solution for Japan vegetables experimental station and commercial hydroponic. The result showed that electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and pH, depending on the growth of lettuce decreased continuously. With the growth of the lettuce, nitrate nitrogen, ammonia nitrogen, phosphate phosphorus were required for periodic replacement. The number of pH compensation due to the growth of lettuce are the most high. The concentration of Ca^{2+} and Mg^{2+} during the lettuce growth showed no significant change. However, K^+ concentration increased due to the replacement with nitrogen and phosphorus. Electric conductivity and total dissolved solids with total nutrient concentration showed the linear relationship and the correlation coefficient R^2 were 0.8601 and the 0.827, respectively.

Key words : Circulating hydroponics, Lettuce, Nutrient, Cation, Electrical conductivity

1. 서 론

국내 양액재배 면적은 1992년부터 시작된 시설원예 산업에 대한 정부의 집중적인 지원과 생산성 및 품질 향상에 대한 농가의 요구 증대에 힘입어 1994년부터 2000년까지 급격히 증가되었으며 그 이후에도 매년 꾸준히 증가되어 2008년 현재 1,107.3 ha에 달하고 있다. 양액재배는 양액을 조절하는 방법에 따라 흘려버리는 비순환식 양액재배와 재사용하여 사용하는 순환식 양액재배로 나눌 수 있다(Kim, 1998). 우리나라의 양액재배 시스템은 일부 엽채류(2%)를 제외하고는 폐양액을 흘려버리는 비순환식이 대부분인데, 비순환식은 장치가 간단하고 시설비가 저렴하며, pH와 전기전도도에 의한 양액 조절이 용이하다. 또한, 지하부의 병원균 전파의 확산을 방지할 수 있는 장점이 있다(Blog of rural love gardening love, 2008; Park과 Kim, 2014).

Received 1 February, 2015; **Revised** 8 April, 2015;
Accepted 28 May, 2015
***Corresponding author** : Young-Seek Park, DU University College, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea
Phone: +82-53-850-4571
E-mail: ysparkk@daegu.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그러나 비순환식 양액재배 시스템은 배지로 사용되는 피트모스나 펄라이트의 적절한 세척을 위해 양액의 30% 정도를 추가 공급하여야하기 때문에 양액비의 부담이 높고, 폐기된 양액에 의해 비료의 손실은 물론 토양이나 인근 하천에 그대로 방출되고 있어 토양과 지하수의 오염이 되고 있는 실정이다(Kim과 Kim, 2002). 비순환식 재배시스템으로 토마토를 재배하였을 때 손실되는 비료량은 폐기되는 배액량을 20%로 하였을 때 N 147, P 71, K 282, Ca 126, Mg 60 kg/ha이 손실되고, 오이의 경우 비순환식에 비해 순환식으로 재배하였을 때 연간 수분소비량과 양분 배출양이 모두 20% 정도 줄어들었다고 보고되고 있다(Lee와 Roh, 1998). 따라서 환경오염뿐만 아니라 물과 비료의 절감이라는 경제적 측면에서도 비순환식 양액재배를 순환식 양액재배로 전환하여야 할 필요성이 대두되고 있다.

폐양액 문제를 해결하려면 배지에서 폐양액이 재사용되어야 하는데, 순환식 양액재배 시스템의 특성 파악, 소독방법 개발, 순환식 양액재배 시스템에 적합한 양액 및 시스템 개발 등이 필요하다. 순환식 양액재배 시스템은 양액의 농도를 쉽게 변경할 수 있는 편리한 점이 있으나, 토양이 갖추고 있는 완충능이 감소되는 조건하에서의 재배이므로 항상 작물의 생육에 적합한 양액의 관리가 필요하다(Ahn 등, 2010; Kim 등, 1995).

일반적으로 작물은 생육단계, 기상환경 변화, 근권부 환경 및 품종 등에 따라 양분과 수분의 흡수 특성이 다르며, 그로 인하여 순환식 양액재배법의 경우 공급하는 양액의 무기이온 조성비가 변화되어 Ca^{2+} 및 SO_4^{2-} 등 일부 이온의 집적이 일어나는 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2000). 따라서 양액재배에서 순환시 양액의 변화를 알고 이를 재 조성하여 사용하면 양액의 무기이온 조성비는 안정화될 수 있다. 또한 순환식 양액재배법은 근권의 배지 성질이 물리화학적으로 균일하고, 근권 완충능력이 약해 뿌리전염성 병원균으로 인한 피해를 줄이기 위해 양액의 소독이 필요하다(Cho 등, 2000). 순환식 양액재배 시스템에 소독 공정을 적용할 때 소독 공정에서 발생하는 산화제 등이 양액의 성분 변화에도 영향을 줄 수 있기 때문에 양액재배 시스템의 재사용 기술의 확립을 위해서는 이에 대한 고찰이 필요하다.

본 연구는 플라즈마 반응기를 이용한 양액의 소독 공정을 적용하기 전의 기초 연구로써, 양액재배 작물로 상추를 선정하여 순환식 양액재배시 상추의 성장에 따른 양액 성분의 변화를 고찰하여 향후 순환식 양액재배 시스템에서 플라즈마 반응기를 이용한 소독 공정에서의 양액성분 변화 효과를 고찰하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료 및 실험방법

실험에 사용한 순환식 양액재배 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 순환식 양액재배 시스템은 2대를 설치하여 운전하였다. Fig. 1에 나타내었듯이 순환식 양액재배 시스템은 가로와 세로가 각각 1 m, 높이가 2 m로 이루어져 있으며, 양액재배 포트가 수직으로 2단 설치되어 있다. 실험은 총 3개의 재배 단에서 실시하였다. 1단은 예비 단으로 상추를 보충하는 단으로 사용하였다. 각 재배 단마다 200개의 LED 램프가 설치되어 있으며 LED 램프는 도르래가 설치되어 있는 판에 장착하여 상추의 성장에 따라 높이를 조절할 수 있게 하였다. LED 램프는 식물재배용 cool white 램프로 8,000 - 11,000 K의 색온도를 나타내는 LED 램프이다. 점등은 아침 7 시에 실시하였고 소등은 오후 6시에 실시하였다. LED 램프가 바닥에서 40 cm 떨어져 있을 때 광량은 6500 LUX를 유지하였다. LED 램프의 조건은 실험기간동안 일정하게 유지하였다.

양액 순환용 수조의 부피는 100 L이며, 70 L의 양액을 채워 30 W의 수중펌프로 양액재배 포트에 양액을 공급하여 순환시켰다. 각 양액재배 포트는 6 개의 재배 단으로 이루어져 있으며, 각 단에서는 6 포기의 상추를 재배할 수 있다. 양액 순환용 수조의 펌프를 통하여 상부의 6개 재배 단으로 양액을 펌핑하여 흘린 후 중력에 의해 양액 순환용 수조로 유입시켰다. 양액재배 실험은 양액 순환용 수조에 70 L의 양액을 채우고 수조에 순환 펌프를 투입하여 순환시키면서 식물의 성장과 양액 성분의 변화를 관찰하였다.

순환식 양액재배 실험에 사용한 작물은 상추(적오크, *Lactuca sativa var*. oak-leaf.)이었으며, 10월에 파종하여 모종을 키운 후 11월 말에 양액재배 포트로 이식하였다. 실험은 실내에서 이루어졌으며, 실온은 낮은 20℃로 유지되고 밤은 10±2 ℃ 내외로 유지되었다. 수온은 히터

를 이용하여 15±1℃ 내외로 유지되게 하였다. 온도는 전 실험기간동안 일정하게 유지되었다.

상추의 초기성장(1~24일)은 일본 야채시험장 표준액을 기준으로 제조하여 사용했으며(Yu 등, 2006), 초기성장 후 상추의 성장이 좋지 못하여 양액을 시중에서 판매하고 있는 양액으로 교환한 후 실험하였다. 시판 양액은 엽채·화훼용 양액(대유물푸레, 1호)이며, A와 B액으로 나누어 사용하였다. A액의 성분은 전체 500 mL에서 질소는 2%, 수용성 칼륨 3.5%, 수용성 칼슘 2%, 수용성 철 0.05% 함유되어 있으며, B액에서는 질소 1.3%, 수용성 인산 1.5%, 수용성 칼리 5%, 수용성 마그네슘 0.7%, 수용성 붕소 0.05%, 수용성 망간 0.01%, 수용성 아연 0.002%이 함유되어 있다. 사용량은 A와 B 액 모두 400배 희석하기 위하여 물 20 L당 50 mL를 각각 첨가하였다. 양액 성분 중에서 질소와 인 성분은 측정하여 부족한 농도를 보충하였다. 질산성 질소는 KNO_3, 암모니아성 질소는 NH_4Cl, 인산염 인은 KH_2PO_4를 이용하여 보충하였다.

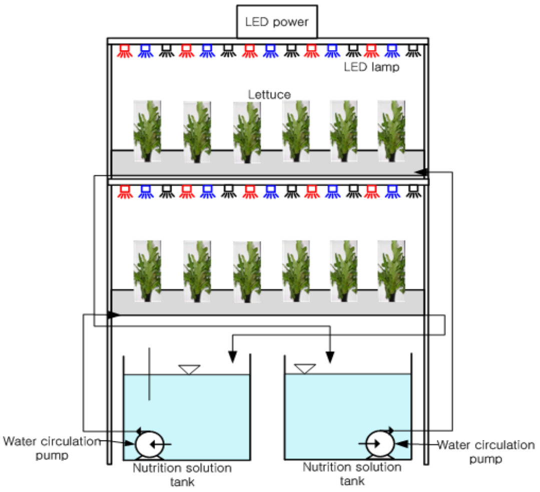


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus for the growth of lettuce in circulating hydroponics system.

2.2. 분석 및 측정

양액 성분 중 대량 원소인 NO_3^--N, NH_4^+-N, PO_4^{3-}-P는 Standard Method를 기준으로 측정하였다(APHA-AWWA-WEF, 1995). pH와 총용존고형물(TDS, total dissolved solid) 및 전기전도도(EC, electric conductivity)는 각각 pH 미터(Orion, 420A+), TDS 미터(HM digital, com-100) 및 전기전도도 미터(Eutech, Cyberscan PC 300)로 측정하였다.

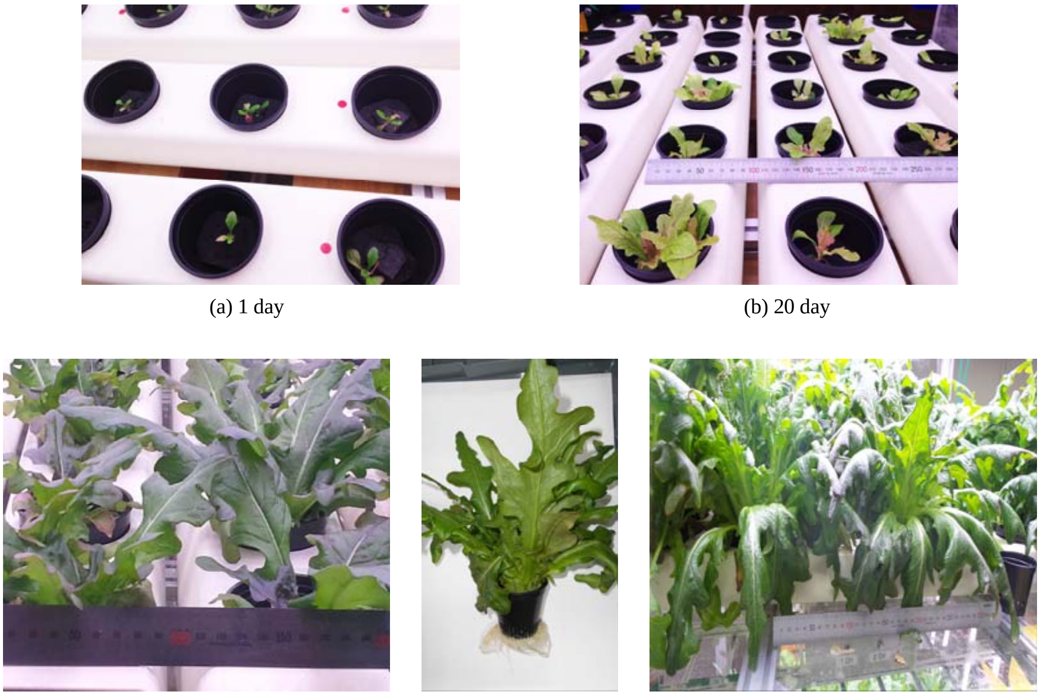
K^+, Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 농도는 Perkin Elmer 사의 ICP-OES(Optima 7300 DV)을 이용하여 측정하였다. 양액을 채취하고 GF-C여과기로 거른 후 냉장 보관한 후 분석하였다. 초순수를 이용하여 각 이온의 표준물질을 1, 5, 10 mg/L로 조제한 후 검량선을 작성하였다. 샘플은 100배 희석하였으며, 샘플 유량은 1.5 L/min이었다. 상추의 길이, 잎 넓이 및 잎 갯수는 재배 1개의 재배 단에서 10개의 모종을 선택하고 총 3개의 재배단에서 총 30개의 샘플을 채취하여 주기적으로 직접 측정하여 평균하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 식물 성장

적오크 상추 씨앗을 식물 발아용 스펀지에서 싹을 틔운 후 물을 주고 키우다 크기가 1~2 cm에 도달된 후 양액재배 포트로 옮겨 심었으며, 포트로 옮긴 날부터 1 day로 간주하였다 (Fig. 2(a)). 초기에는 이식한 상추의 크기가 작아 70 L의 양액 순환용 수조에 일본야채시험장 표준액으로 제조한 양액의 농도를 1/2로 공급하여 펌프를 이용하여 순환시켰다. 실험 초기는 일본야채시험장 표준액 기준으로 양액을 제조하여 상추를 재배하였으나 상추의 성장이 느리고 발색이 좋지 않아(Fig. 2(b)), 시중에서 시판중인 엽채·화훼류용 양액으로 재배 24일부터 변경하였다. 본 엽의 잎수가 8~10인 포트만 선정하여 25일부터 식물에 대한 자료를 측정하였다. 약 8일 정도의 정체기를 거친 후 상추의 길이가 직선적으로 증가하였다. 상추의 평균 잎 넓이도 길이와 같은 성장 경향을 보였다. 상추의 잎 수는 50일 경에 약 16개에 도달 된 후 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

Fig. 2(c)에 재배 35일째(양액 변경 후 11일)의 상추를 나타내었다. 상추의 색깔이 푸르게 된 것은 물론 성장도 매우 빠르게 일어났다. Fig. 2(d)는 49일째 상추모습을 나타낸 사진으로 상추의 길이가 20 cm 이상이며 포트 사이로 뿌리가 잘 자라난 것을 볼 수 있다. Fig. 2(b)의 20일째의 재배 단에서의 성장과 비교하면 성장이 매우 빠르게 이루어져 대수성장기인 것으로 판단되었다. Fig.



(a) 1 day (b) 20 day

(c) 35 day (d) 49 day (e) 69 day

Fig. 2. Photographs of lettuce planted in hydroponics port1(1~69 days).

2(e)는 재배 69일째(양액 변경 후 45일) 상추모습을 근접 촬영하여 나타내었다. 상추의 성장이 빠르게 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3에 상추의 전체 길이, 잎에서 가장 넓은 부분의 잎 넓이, 전체 잎 개수를 나타내었다. 각 재배 포트는 편차가 있으나 모든 경향은 거의 비슷하게 나타났다. 양액을 바꾸고 약 8일 정도의 정체기를 거친 후 상추의 길이가 직선적으로 증가하였다. 초기에는 61~65 mm에서 44일 경과 후 250~280 mm로 증가하였다. 상추의 평균 잎 넓이는 14일 정도의 느린 성장을 보인 후 서서히 증가하는 경향을 보였으며, 초기 14.6~20.9 mm에서 44일 후 77~88.8 mm로 증가하였다. 상추의 잎 수는 초기 9.1~9.3 개/개체에서 거의 직선적으로 증가하여 50일 경에 약 16 개/개체에 도달 된 후 서서히 증가하여 17.3~18.4 개/개체로 나타났다. 상추의 길이와 잎 넓이는 비슷한 성장 경향을 나타내었으나, 잎 개수는 다른 경향을 나타내었다.

3.2. 상추 성장에 따른 양액의 전기전도도, 총용존고형물 및 pH 변화

Fig. 4에 2차 성장단계인 24일부터 69일까지 상추 성장에 따른 실내온도, 전기전도도, 총용존고형물 및 pH의 변화를 나타내었다. 실온의 경우 실험기간이 12월 20일부터 2월 3일로 한 겨울이었으나, LED 등이 주기적으로 켜진 실내에서 보온을 위해 각 set를 투명 비닐로 덮어 보온을 유지하기 때문에 일정한 온도를 유지하였다. 수온 역시 14℃ 정도를 유지하였다.

Fig. 4(b)에는 전기전도도의 변화를 나타내었다. 전기전도도는 24일부터 40일까지는 큰 변화는 없었으나 40일부터 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 5에 나타내었듯이 질소와 인 농도를 측정한 결과 N과 P 농도가 감소하여 42일에 NH_4Cl과 KH_2PO_4를 이용하여 NH_4^+-N과 PO_4^{3-}-P를 보충하여 주었다. 이때 보충한 N 농도는 21.6 mg/L, P 보충량은 12.8 mg/L이었다. N과 P 보충 후 전기전도도는 증가하였으나 시간이 경과하여 식물에 의해 섭취되어 곧 감소하였다. 50일에 전기전도도가 최

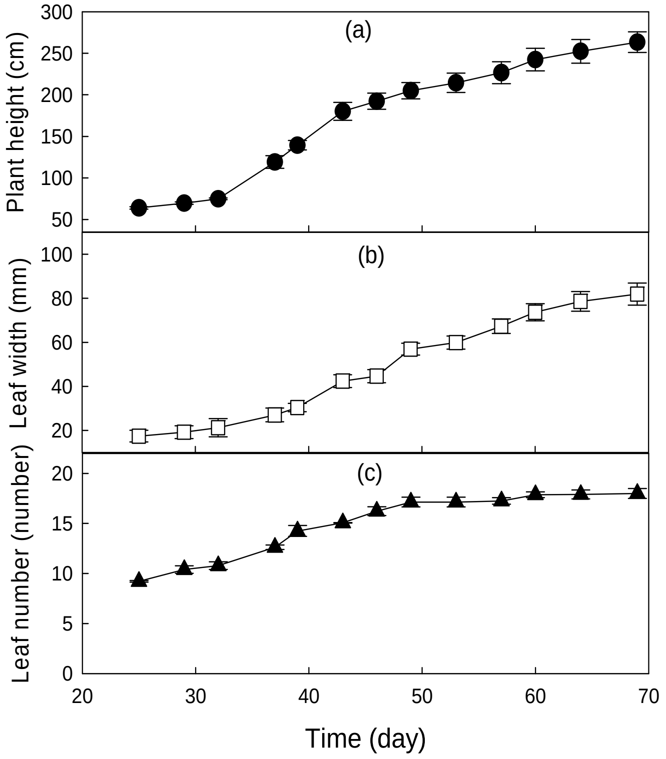


Fig. 3. The length, width and number of the leaf of lettuce with the growth of lettuce.

소가 되었는데 이때 NO_3^--N의 농도가 적어 초기의 농도로 보충하였다. 이후 전기전도도는 다시 감소하여 56일에 NH_4^+-N과 PO_4^{3-}-P 농도를 원래의 농도로 맞추어 준 후 전기전도도는 증가하였다. 이후 식물의 성장에 따라 전기전도도는 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 전기전도도는 초기에 서서히 감소하는 경향을 나타내었으며, 질소와 인 농도를 초기 농도로 조절한 후의 빠른 감소는 식물의 성장과 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉, 초기의 느린 전기전도도 감소 시기는 초기 상추의 느린 성장과 유지에 관련이 있으며, 빠른 전기전도도 감소는 급격한 상추의 성장과 관련이 있는 것으로 판단되었다.

Fig. 4(c)의 총용존고형물 농도는 전기전도도와 거의 비슷한 거동을 보이고 있다. 이는 수중의 이온 농도와 용존고형물이 관련이 있기 때문에 비슷한 거동을 보인다고 판단되었다.

Fig. 4(d)에 pH의 거동을 나타내었다. 양액을 교체한 후 새로운 양액의 pH는 7.6 정도로 약알칼리성이었으나 47일까지 서서히 감소하여 4.9~5.4의 범위를 나타내어 황산과 수산화나트륨을 미량으로 이용하여 pH를 7로 조절하였다. 이후 pH가 감소할 때마다 pH를 7로 증가시켰으며, (d)에 화살표로 나타낸 바와 같이 총 4회 pH를 조절하였다. 실험기간이 겨울이고 평균 수온이 14±1℃ 정도로 유지되기 때문에 미생물의 성장으로 인한 양액의 부패 문제는 아니며, 식물의 성장과 관련 있는 것으로 사료되었다. 어떤 성분과 인자가 양액의 pH를 낮추는지는 추후에 연구가 더 필요한 것으로 판단되었다.

일반적으로 영양분이 제한되지 않는다면 양액의 pH가 4.0~7.0에서는 동등하게 생육하는 것으로 알려져 있는데, 이는 뿌리 성장에 미치는 pH의 직접적인 영향이 적기 때문이다. 그러나 pH가 적정 pH 이상과 이하의 경우에는 양분 이용율이 떨어지는 것으로 알려져 있어, 양액재배에서 권장하고 있는 pH 범위는 5.5 - 5.8인 것으로 알려져 있다(Kim, 1998). pH를 7로 조절한 것은 Fig. 4에서 보이는 바와 같이 상추의 직선적인 성장기 때 pH

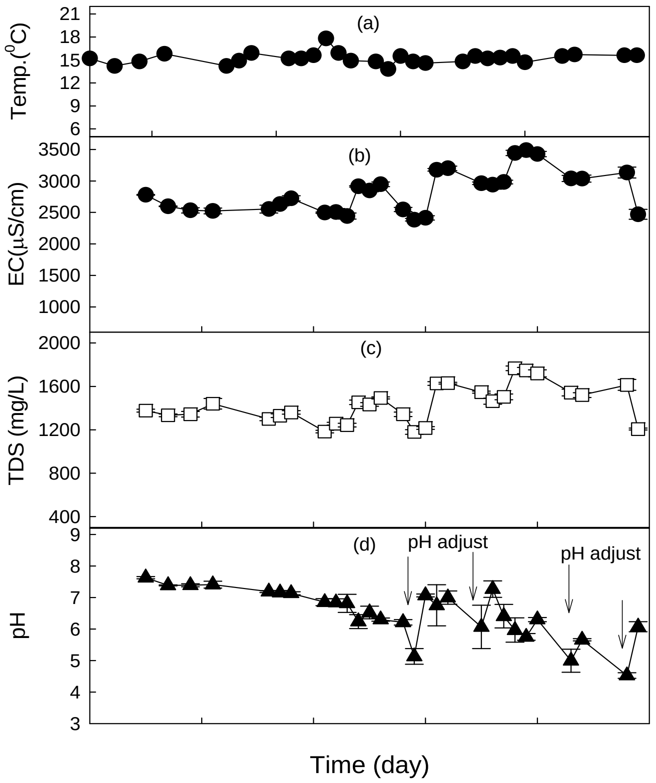


Fig. 4. Variation of water quality with lettuce growth.

가 빠르게 감소하므로 적정 pH를 유지하기 위해서는 pH 조절 주기가 1 주일 정도로 빠르기 때문에 성장에 영향을 주지 않는 권장 pH가 아닌 최대 pH인 7로 조절하였다. 상추 성장시 pH 보정이 총 4회 이루어져 향후 양액 조절 시 자동 조절 등의 조치가 필요한 것으로 판단되었다.

Fig. 4(b)와 (c)에서 50일 이후의 높은 전기전도도와 총용존고형물 농도는 첨가한 KH_2PO_4 농도 외에도 pH 조절을 위해 첨가한 황산과 수산화나트륨도 영향을 미친 것으로 판단되었다.

3.3. 상추 성장에 따른 질소, 인 및 양이온 농도 변화

Fig. 5에 상추의 재배기간에 따른 NO_3^--N, NH_4^+-N 및 PO_4^{3-}-P의 농도 변화를 나타내었다. 처음에 투입한 양액의 초기 NO_3^--N 농도는 평균 238 mg/L로 나타났다. NO_3^--N의 농도는 시간에 따라 서서히 감소하여 50일째에 재배 단에 따라 171 ~ 185 mg/L의 NO_3^--N 농도를 나타내어 초기 평균 농도인 238 mg/L로 조절하였다. NH_4^+-N의 초기 농도는 약 48 mg/L이었다. 초기에 시간에 따라 NH_4^+-N 농도가 빠르게 감소하여 38일에 21~25 mg/L로 감소하여 42일에 NH_4^+-N를 첨가하여 초기 농도인 48 mg/L로 맞추었다. NO_3^--N는 빠르게 감소하여 56일에는 3.1~13.1 mg/L로 나타나 다시 첨가하였다. 69일은 NH_4^+-N의 농도가 감소하였지만 소독 운전에 의한 영양염류의 농도 변화를 보기 위해 70일 이상에선 양액을 교체하고 새로운 실험을 실시하였기 때문에 양액 성분을 보충하지는 않았다. PO_4^{3-}-P의 경우 NO_3^--N와는 다르게 암모니아성 질소와 거동이 비슷한 것으로 나타났다. PO_4^{3-}-P도 42일과 56일에 성분을 초기 농도인 18.5 mg/L까지 맞추었다. NO_3^--N는 성장기간 동안 1회, NH_4^+-N는 3회, PO_4^{3-}-P은 2회 부족한 농도를 보충하여 주었다. 세 종류의 영양염류 중에서 초기 농도와 최소 농도의 차이에 따른 농도 변화의 순서는 NO_3^--N > NH_4^+-N > PO_4^{3-}-P으로 나타났다.

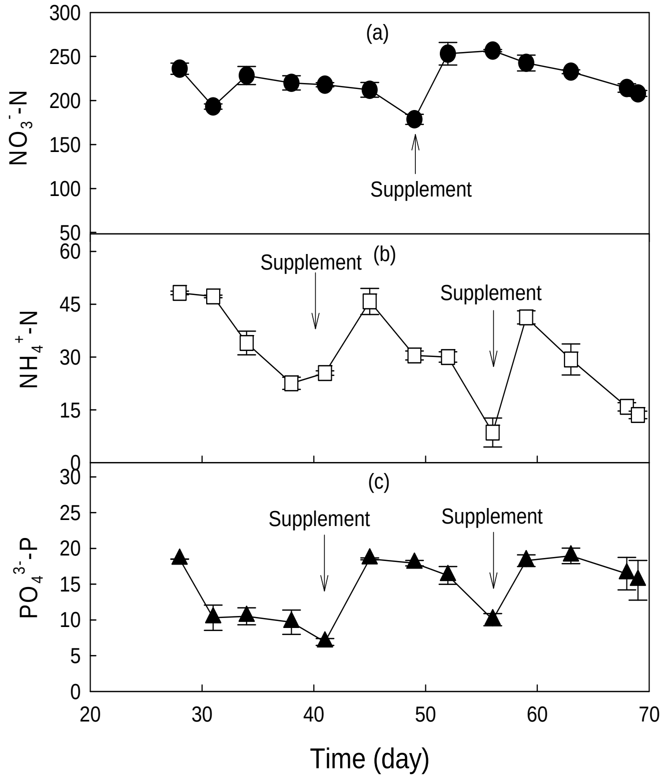


Fig. 5. Variation of hydroponic component with lettuce growth.

Fig. 6에 양액 중의 주요 양이온인 K^+, Ca^{2+} 및 Mg^{2+}의 농도 변화를 나타내었다. Fig. 6(a)에 나타낸 K+의 초기농도는 약 200 mg/L이었다. 42일에 부족한 인을 보충하기 위하여 KH_2PO_4를 보충하고 56일에도 인 부족을 보충하기 위하여 KH_2PO_4를 보충하였는데, 이로 인해 K의 농도가 증가한 것으로 판단되었다. 또한 50일에는 부족한 질산성 질소를 보충하기 위하여 보충한 KNO_3도 K^+ 농도 증가에 영향을 미친 것으로 판단되었다. Fig. 6(b)와 (c)에 나타낸 Ca^{2+}와 Mg^{2+} 초기 농도는 각각 202 mg/L와 26.4 mg/L이었다. 초기에 투입한 Ca^{2+}와 Mg^{2+} 농도는 투입 초기와 69일의 Ca^{2+}와 Mg^{2+} 농도는 큰 차이를 보이지 않고 있어, 상추의 성장에 따른 양이온의 소모는 크지 않은 것으로 판단되었다.

일반적으로 농가에서는 장치와 시약이 필요한 영양염류의 농도를 직접 측정하기 어려워 계측에 의하여 양액성분을 조절하지 못하고 일정 비율 내지 일정 간격으로 양액을 보충하거나 며칠 간격으로 양액 전체를 교환해주고 있는 실정이다(Kim 등, 1995). 최근에는 순환식 양액재배의 양액관리를 위해 장치와 비용이 소요되는 개별 이온을 측정하는 대신 전체 이온의 전기전도도를 측정하여 상대적으로 고농도인 배액을 재사용하는 방식이 도입되고 있다(Ahn과 Son, 2011; Savvas, 2002).

전기전도도와 총용존고형물 변화를 NO_3^--N, NH_4^+-N 및 PO_4^{3-}-P 농도 변화와 관련지은 결과 전기전도도와 단일 영양염류 각각의 상관관계 계수 R^2은 0.009~0.442로 나타났고 총용존고형물과 영양염류 각각의 상관관계 계수 R^2은 0.0038~0.284로 나타나 상관관계가 적은 것으로 나타났다. 그러나 NO_3^--N, NH_4^+-N 및 PO_4^{3-}-P의 총농도와 전기전도도 및 총용존고형물과의 상관관계를 살펴보면(Fig. 7), Fig. 7(a)에서 보듯이 전기전도도와 총 영양염류 농도는 직선관계를 나타내었으며, 이때의 상관관계 계수 R^2은 0.8601로 나타났다. Fig. 7(b)의 총용존

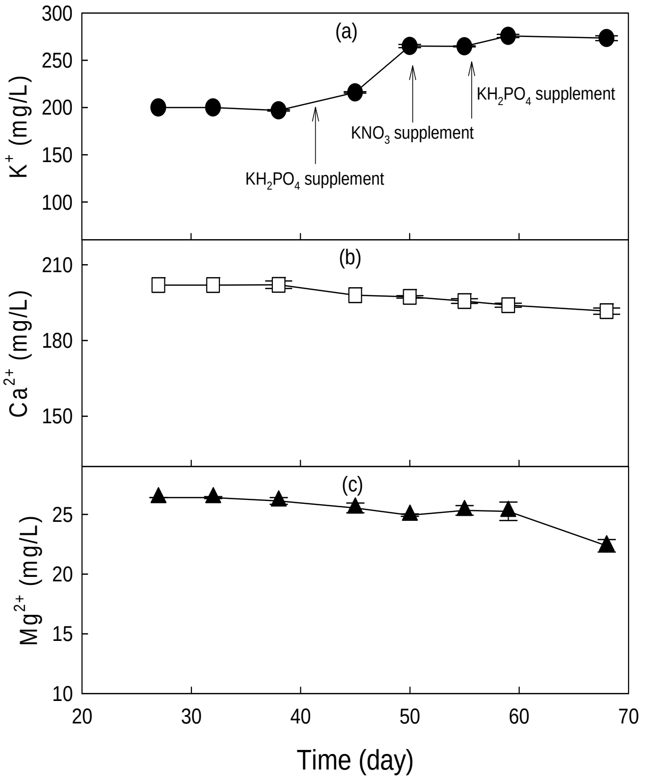


Fig. 6. Variation of hydroponic components with lettuce growth.

고형물 농도와 총 영양염류 농도도 직선관계를 나타내었고, 상관관계 계수 R^2은 0.827로 나타났다. pH 조절을 위해 첨가한 황산과 수산화나트륨 농도가 전기전도도에 영향을 미치고, 총용존고형물 농도도 산과 염기의 농도에 직접 영향을 받는 것으로 판단되었다. 따라서 질소, 인 등을 직접 측정하지 않더라도 전기전도도의 감소시 영양염류를 보충할 수 있는 것으로 판단되었다.

그러나 Fig. 5(a)와 같이 NO_3^--N의 보충을 위해 첨가한 KNO_3로 인해 K^+가 축적된다. 시판용 양액을 이용할 경우 부족한 질소와 인 뿐만 아니라 다른 모든 성분이 함유되어 있기 때문에 전기전도도의 감소에 따라 시판용 양액을 첨가할 경우 상대적으로 소모량이 적은 양이온의 축적이 우려된다. 이는 순환식 양액재배시 1차 재배후 부족한 성분을 다량원소가 농축된 비료로 전기전도도를 맞추는 전기전도도 조절구나 재배 후 남은 양액에 표준양액을 보충하고 재배 전후의 양액의 주요 무기성분을 분석하여 부족한 성분을 첨가하는 양액검정 보정구에서도 Ca^{2+}이나 Mg^{2+}가 재배전보다 재배 후에 양액에 축적되는 경향을 보였다는 연구(Lee 등, 1999)와 비교할 때, 양이온 축적 문제는 전체 성분이 들어간 양액을 보충하지 않고 양이온이 첨가되지 않은 질소, 인 성분을 보충하여야 할 것으로 판단되며 추후 해결하여야 할 과제인 것으로 판단되었다.

3.4. 시간에 따른 물 보충량

성장 2단계는 2013년 12월 21일부터 2014년 2월 3일까지 겨울기간이다. 대략 4, 5일이 지나면 각 bed에서 10 L의 물이 부족해지는 것으로 나타났다. 1차 성장기의 수온 및 실온이 큰 차이가 없었기 때문에 실내에서 식물을 재배하는 식물 공장에서는 계절에 따른 물 부족량은 큰 차이가 없는 것으로 판단되었다. 물이 줄어드는 주요 원인은 식물 성장으로 인한 물 부족과 순환하는 물에 의한 증발량 때문인 것으로 판단되었다. 향후 양액의 순환

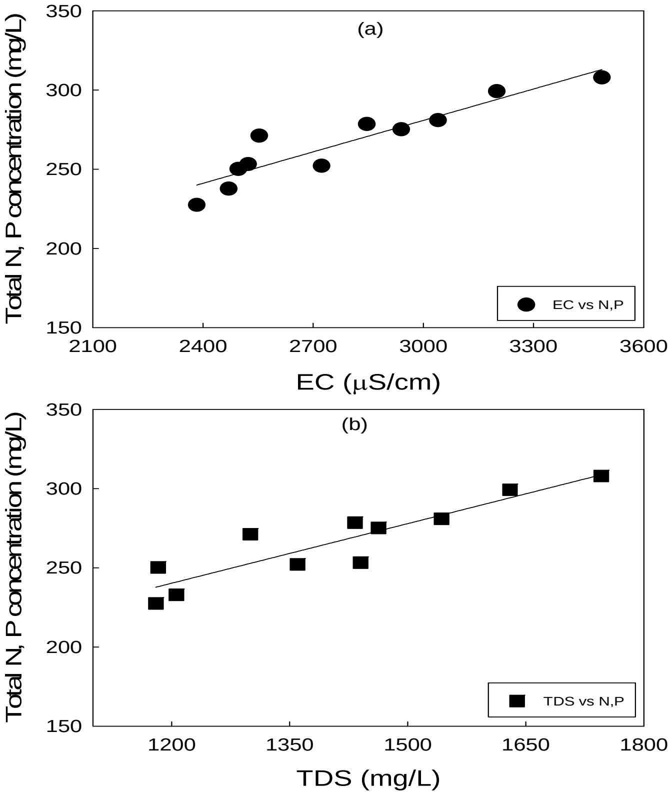


Fig. 7. Correlation between the total nutrient concentration and EC and TDS.

으로 인한 물 증발량을 측정하여 순수 상추의 성장에 의한 증발량을 계산할 계획이다.

Table 1. Replenishing amounts of the water as a function of time from each bed

Date and Time (day)	Replenishing amount of water (L)		
	Bed 1	Bed 2	Bed 3
Dec. 27 (31)	14.3	12.6	8.4
Jan. 1(36)	18.1	17.6	14.7
Jan. 10 (45)	25.2	23.2	23.1
Jan. 15 (50)	9.1	9.7	8.4
Jan. 17 (45)	5.6	5.8	6.7
Jan. 21 (56)	11.5	11.4	10.8
Jan. 25 (60)	5.6	5.6	6.2

4. 결론

본 연구는 순환식 양액재배 시스템에서 상추의 성장에 따른 수질과 양액의 변화에 대해 고찰하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 양액을 바꾼 후 약 8일 정도의 정체기를 거친 후 상추는 성장을 시작하였으며, 상추의 잎 수는 50일 경에 약 16개에 도달 된 후 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났지만 상추의 높이와 잎 넓이는 직선적으로 증가하였다.

2) 상추의 성장에 따라 전기전도도와 총용존고형물 및 pH는 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 직선적인 상추 성장시 NO_3^--N는 1회, NH_4^+-N와 PO_4^{3-}-P은 2회 보충하였으며, pH는 총 4회 보정하여 상추의 성장으로 인한 pH 변화가 가장 크며, Ca^{2+}, Mg^{2+} 농도는 상추

의 성장에 따라 큰 변화를 보이지 않았다. 질소와 인 보충시 K^+ 농도 증가는 고려하여할 사항인 것으로 나타났다.

3) 전기전도도와 총용존고형물 농도는 총 영양염류 농도와 직선관계를 나타내었으며, 상관관계 계수 R^2은 각각 0.8601과 0.827로 나타났다. 전기전도도 감소시 총 영양염류의 농도를 보충할 수 있는 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업(일반연구자 지원사업, 기본연구 유형Ⅱ, 과제번호: 2010-0020916)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCE

Ahn, T. I., Shin, J. W., Son, J. E., 2010, analysis of changes in ion concentration with time and drainage ration under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture for sweet pepper plants (*Capsicum annum* L. 'Boogie'), J. Bio-Env. Con., 19(4), 298-304.

Ahn, T. I., Son, J. E., 2011, Changed in ion balance and individual ionic contributions to EC reading at different renewal intervals of nutrient control in closed -loop soilless culture for sweet peppers(*Capsicum annum* L. 'Fiesta'), Kor. J. Hort. Sci. Technol., 29(1), 29-35.

APHA-AWWA-WEF, Standard methods for the exami -nation of water and wastewater. 19th Ed., APHA, Washington D.C. 1995.

Blog of rural love gardening love, 2008, http://blog.naver.com/rohmy17.

Cho, J. Y., Seo, B. S., Chung, S. J., 2000, Present status and prospect of sterilization of nutrient solution for recycling hydroponics, Kor. J. Hort. Sci. & Technol., 18(6), 890-899.

Kim, H. J., Kim, J. H., Nam, Y. I., 1995, Automatic control of pH and Ec by programmable logic controller in nutriculture of tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill.) J. Bio. Fac. Env., 4(2), 203-210.

Kim, H. J., Woo, Y. H., Kim, W. S., Nam, Y. I., 2000, Problem and optimum control of nutrient solution management in closed hydroponics, Kor. J. Hort. Sci. & Technol., 18(6), 884-889.

Kim, K. D., 1998, Management of nutrients in circulating hydroponics, Prot. Hort., 11(1), 55-58.

Kim, Y. C., Kim, K. Y., 2002, Waste utilization technology and government expense sanctions fertilizer salt of hydroponics, Kor. Res. Prot. Hort., 15(2), 20-26.

Lee, Y. B., Roh, M., Y., 1998, Fruit vegetables circulating hydroponics technology, Prot. Hort., 11(1), 29-43.

Lee, S. Y., Lee, S. J., Seo, M. W., Lee, S. W., sim, S. Y., 1999, Reusing techniques of nutrient solution for recycling hydroponics culture of lettuce, J. Bio-Env. Con., 8(3), 172-182.

Park, Y. S., Kim, D. S., 2014, Nutrient composition changes in circulating hydroponic with plant growing, Proceeding of the Kor. Environ. Sci. Soc. Conf., 23, 349-353.

Savvas, D., 2002, Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydro -ponics by means of two alternative models, Biosyst. Eng., 83, 225-236.

Yu, S. O., Choi, K. Y., Jeon, K. S., Bae, J. H., 2006, Development of optimal nutrient solution of Cherry Tomato (*Lycopersicone sculentum Mill*. 'KoKo') in a closed soilless culture system, J. Bio-Env. Con., 15(1), 54-60.