

수돗물을 용수로 사용한 결구상추의 수경육묘시 배양액내 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 에 관한 연구

김주희 · 김혜진 · 김영식
상명대학교 원예학과

Study on $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ in Nutrient Solution using Tap Water during Hydroponic raising of Crisp Lettuce

Kim, Ju-Hee · Kim, Hye-Jin · Kim, Young-Shik
Dept. of Horticulture, Sangmyung Univ., Chonan 330-180, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ on pH of the nutrient solution using municipal tap water during hydroponic culture of crisp lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) seedlings. The composition of starter solution was different from that of supplementary solution. The pH in the nutrient solution was suddenly declined and recovered as the supplementary solution was supplied. The pH of nutrient solution was increased with high temperature and, on the contrary, the EC of nutrient solution was decreased. It shows that plant absorbed nutrients more than water in given solution when the temperature and light was high. After supplying supplementary solution in 1st and 2nd experiment, pH was slowly increased to 7 in $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.25me/l, but maintained 6.4-6.5 in $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 3me/l and 6me/l. In 3rd experiment, pH was slowly increased from 6.7 to 7.4 in $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.25me/l, but decreased from 6-6.5 to 5-5.5 in $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 3me/l and 6me/l. So it is suggested that the concentration between 0.25 me/l and 3 me/l by concentration base or the amount of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ between 1me/6 l and 7me/6 l by total quantity in solution is appropriate for stabilizing pH in the nutrient solution. Also this experiment suggests that hand operated measurements must be cautious due to the change of pH and EC within a 24-hour cycle.

키 워 드 : 상추, 수경재배, 배양액, 담액수경, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

Key words : lettuce, hydroponics, nutrient solution, deep flow culture,
 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

서 론

순환식 수경재배에서는 배양액이 순환계내

에 있으므로 재배함에 따라 배양액의 pH와 EC가 변화한다. 상추는 이온선택능력이 강한 작물로 질소이온들중에는 NH_4^- 이온을 선택

적 또는 우선적으로 흡수하는 특성을 가졌다^{6, 13)}. 이러한 질소이온중 NH_4^+ 이온이 배양액내에 많을 경우에 pH가 낮아진다⁸⁾. 배양액의 pH가 질소의 형태에 의해서만 변하는 것은 아니나 NO_3^- 과 NH_4^+ 의 비율을 조정하여 적정 pH를 얻을 수 있다⁴⁾. 단, 상추의 수경재배에서 NH_4^+ 의 비율이나 양이 과다하면 pH는 내려가지만 생리장해가 발생하기 때문에 NH_4^+ 보다 NO_3^- 을 높여서 공급하게 된다^{10, 11)}. 따라서 질소형태의 비율에 따른 배양액의 pH 조절시에는 주의할 기을여야 한다. 순환식담액 재배시 배양액의 공급은 재배개시시에 다량을 공급하고 그 이후에는 부족한 양만큼을 추가 공급하게 되는데, 시작배양액(starter solution)과 추가배양액(supplementary solution)의 조성이 같을 경우에는 추가공급량에 비해 다량인 시작배양액내에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 총량이 많고, 추가배양액에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 총량이 적다. 따라서 재배기간 중에 pH의 변화양상이 다르게 나타난다. 이러한 현상을 피하기 위하여 비율 개념이 아니라 이온의 총량을 기초로 하여 시작배양액과 추가배양액간의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량을 달리 공급하므로써 안정된 pH를 유지할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 배양액의 pH는 용수에 의하여도 변하므로 용수에 따른 pH의 조절이 필요하다¹¹⁾. 용수로는 지하수를 많이 사용하나, 수돗물을 사용하는 경우도 흔히 있다. 실험에 사용한 수돗물은 pH가 7.5 정도로 pH가 높은 용수를 사용할 경우에 같은 조성의 배양액을 조제하면 배양액의 pH도 높아 생육에 나쁜 영향을 미친다²⁾. 이렇게 만들어진 배양액의 pH를 낮추는 방법으로는 산을 첨가하는 방법이 있으나, 순환식 수경재배에서는 pH를 안정시키는데 어려움이 많은 실정이다. 따라서 본 실험은 결구상추의 수경육묘시 양분흡수의 특성을 이용하여 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 비료의 농도를 달리하여 pH를 조절할 목적으로 행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 상명대학교 수경재배전용 유리온

실에서 수행하였으며 공시작물은 결구상추(*Lactuca sativa* var. *capitata*)인 'Sacrament'(Takii 종묘, 일본)를 사용하였다. 종자는 하루동안 물에 침지하였다가 1995년 2월 28일에 폴리우레탄 스펀지(3cm×3cm×3cm)에 파종하였다. 3월 7일 육묘상에 이식하고, 1/2배 Yamazaki 상추용 배양액을 스펀지가 1/3정도 잠기도록 넣어주고 순환시켰다. 3월 21일에 실험베드에 옮겼으며, 재배방식은 담액순환식으로 계속 순환시켰으며 근액간격은 두지 않았다. 베드는 스티로폼제로, 가로 240cm, 세로 20cm, 높이 10cm였다. 처리는 Yamazaki 상추용 배양액¹⁶⁾을 1/2농도로 공급하되 기타 비료를 제외한 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 비료를 각기 다른 농도로 0.25me/l ($\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}=3:0.25$), 3me/l ($\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}=3:3$), 6me/l ($\text{NO}_3\text{-N}:\text{NH}_4\text{-N}=3:6$)로 하여 공급하였으며, 처리당 42개체를 사용하였다. 모든 실험에는 하루동안 받아놓은 수돗물을 용수로 사용하였으며, 실험에 사용한 수돗물의 pH는 7.5였다. 모든 실험은 순환계를 처리배양액으로 2회 세척한 다음에 시작하였다. 배양액을 공급한 후에는 자동계측시스템을 이용하여 pH와 EC를 조사하였다. pH와 EC는 25℃의 값으로 자동보정하여 나타내었다. 1차 실험은 본엽이 2매기 때인 3월 27일 19시에서 33시간 동안 수행하였으며, 실험개시시 시작배양액은 Yamazaki 상추용 배양액 1/2농도($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.25me/l)로 처리당 40 l씩 공급하고, 추가배양액은 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 비료를 사용하여 각각 0.25, 3, 6me/l의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 포함한 배양액을 20 l씩 넣어주었다. 2차 실험은 1차 실험과 동일한 방식으로 3월 29일 16시부터 47시간동안 수행하였다(Table 1). 3차실험은 3월 31일 12시부터 4월 7일까지 진행하였고, 시작배양액부터 0.25, 3, 6 me/l(이하 N-0.25, N-3, N-6으로 명기)의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 포함한 배양액을 40 l씩 넣어주었고, 추가배양액은 20 l씩 넣어주었다. 3차 실험에서는 특히, 생육과정중의 변화를 알아보기 위하여 일주일에 3회, 처리당 10개체를 선정하여, 생체중, 엽록소(chlorophyll meter SPAD-502, MINOLTA, Japan), 엽색

Table 1. Quantity of nutrient solution and nitrogen in nutrient solution at 1st and 2nd experiment.

Treatment	starter solution(ℓ)	supplementary solution(ℓ)	Total NO ₃ (me)	Total NH ₄ (me)
N-0.25	40	20	360	15
N-3	40	20	360	70
N-6	40	20	360	130

(chromameter CR200, MINOLTA, Japan)을 측정하였다. 색의 측정은 표준광원 C 상태에서 L, a*, b*방식으로 측정하였다.

결과 및 고찰

일반적으로 결구상추 재배시 적정 pH는 6.0~7.0이며, 5.0~7.0의 범위에서도 생육에 큰 영향은 없다¹¹⁾. 1차 실험과 2차 실험에서 시작 배양액(N-0.25)을 공급한 후 추가배양액을 공급할 때까지 pH는 7.2~7.6의 범위에서, EC는 0.7~0.8의 범위에서 안정된 경향을 보였다(Fig. 1, 2). 처리별로 추가배양액을 공급한 후에 pH는 N-0.25처리구의 경우 7정도, N-3처리구의 경우 6.6정도, N-6처리구의 경우 6.5정도로 처리구를 막론하고 일정한 값을 유지하였다(Fig. 1). 그러나 추가배양액을 공급한 후 pH가 적게는 0.2, 많게는 1정도 하락하였다. 이는 양이온의 흡수가 왕성했음을 시사했으며^{9,10)}, NH₄H₂PO₄를 통한 처리별 효과를 인정할 수 있었다. EC는 시작배양액을 공급한 후에는 모든 처리구에서 0.7~0.8정도로 일정하게 유지되었으나, 추가배양액을 공급한 후에는 N-6처리구의 경우 1정도까지 상승한 반면, N-0.25처리구와 N-3처리구에서는 공급 당시 0.6까지 하락하였다가 N-3처리구는 0.9정도로 증가하고 N-0.25처리구는 원상태로 회복하는 경향을 보였다(Fig. 2). 모든 처리구에서 추가배양액을 공급하였을 때 pH와 EC가 급격하게 저하되었다가 원래 상태로 돌아갔는데, 그 이유는 용수와 배양액 공급의 미묘한 차이 및 탱크 내에서의 분포 때문인

것으로 추정된다.

3차 실험에서 pH는 N-0.25처리구에서 6.7~7.4 사이에서 일정한 반면, N-3처리구와 N-6처리구에서는 6~6.5에서부터 5~5.5까지 서서히 감소하는 경향을 보였다(Fig 3). 특히 pH의 변화폭이 N-0.25처리구와 N-3처리구 사이에서 적게는 0.5정도, 많게는 2정도까지 차이가 났다. EC는 0.25 처리구에서 0.6~0.8 사이에서 일정한 반면, N-3처리구와 N-6처리구에서는 0.8~1.2사이와 1.1~1.5사이에서 일정하게 유지되면서 실험이 진행될수록 서서히 증가하는 경향을 보였다(Fig 4). pH와 EC는 24시간 주기로 환경의 영향을 받았다. pH는 온도와 광도가 높은 낮에 높았고, EC는 반대의 경향을 보였는데, 둘 다 하루에 0.4정도의 폭으로 진동하였다. 이는 온도와 광도가 높아짐에 따라 상대적으로 물 흡수가 많아진 결과로 해석할 수 있다. pH의 일증변화는 Frota와 Tucker⁵⁾의 결과와 같이 온도가 높을 경우 뿌리온도의 상승은 NH₄⁻보다 NO₃⁻의 흡수가 왕성하였기 때문으로 사료된다.

3차실험에서 결구상추 유묘의 생체중은 N-0.25처리구(NO₃-N:NH₄-N=3:0.25)에서 가장 많은 증가를 보였다(Table 2). NH₄-N의 비율이 50% 보다 낮을수록 생체중이 많았다는 보고^{13,14)}가 있는 반면, 池田와 大澤^{6,7)}는 NO₃-N만을 공급하는 것보다 NO₃-N과 NH₄-N을 등량 공급하는 것이 생육에 좋은 것으로 서로 상반된 결과를 보고하였는데, 본 실험에서는 이들의 결과를 보정한 낮은 NH₄-N 비율에서 생육이 좋음을 나타냈다. 또한, 池田와 大澤⁷⁾는 재배시 질소의 양이 12me/ℓ까지는 농도가 높을수록 생육이 좋은 것으로 보고

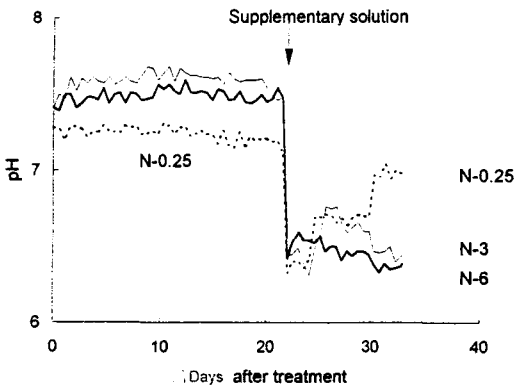


Fig. 1. pH transition of nutrient solution in 1st experiment, in which the concentration of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ is same in starter solution but 0.25, 3, 6 me/ℓ in supplementary solution.

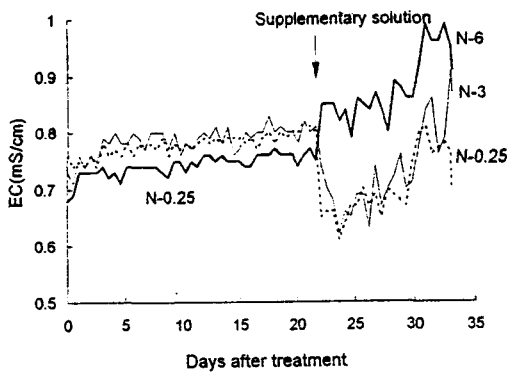


Fig. 2. EC transition of nutrient solution in 1st experiment, in which the concentration of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ is same in starter solution but 0.25, 3, 6 me/ℓ in supplementary solution.

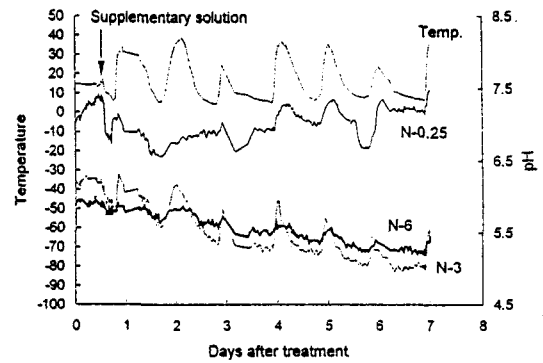


Fig. 3. pH transition of nutrient solution in 3rd experiment, in which the concentration of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ is 0.25, 3, 6 me/ℓ in both of starter and supplementary solution.

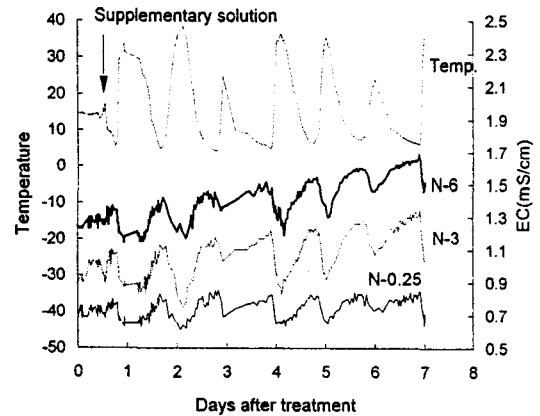


Fig. 4. EC transition of nutrient solution in 3rd experiment, in which the concentration of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ is 0.25, 3, 6 me/ℓ in both of starter and supplementary solution.

하였던 반면, Andersen과 Nielsen¹⁾은 이식후 39일째까지는 EC가 0.6mS/cm로 떨어지더라도 생육에 지장이 없는 것으로 보고하였는데, 본 실험과 같이 육묘시기에는 낮은 농도의 배양액에서 생장이 활발했던 것으로 추정된다.

Berry³⁾는 상추의 수경육묘시 H_2PO_4 의 배양액 중의 농도가 0.5–8mM 사이에서는 생장에 차이가 없는 것으로 보고하였으므로, 본 실험에서의 생육차이는 인산에 의한다고 보다는 질소원의 비율이나 농도 및 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 에

의한 pH에 의한 것으로 사료된다.

엽록소는 N-0.25처리구보다 N-3처리구나 N-6처리구에서 많았으며, 생장의 증가속도는 고농도 처리구에서 빨랐다(Table 2). 잎의 색에서 a*값은 감소하는 경향을 보였으며 L과 b*는 처리후 10일째에 약간의 감소를 보이다가 증가하였다(Table 3). 이들 값의 변화를 통하여 육안에 의한 판단보다는 색도계에 의하여 육묘시기의 성장상태 변화를 세밀하게 관찰할 수 있으며, NH₄H₂PO₄의 양이 pH 뿐 아니라 결구상추의 질적인 면에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 특히 상추에서 질적인 문제가 되는 엽중 NO₃-N 함량은 NO₃-N과 NH₄-N의 비율 및 농도를 조절하므로써 감소시킬 수 있으며^{1,13)}, 또한 NO₃-N의 양이 적을수록 당함량이 높으므로¹²⁾, 고품질의 수확을 위하여는 NO₃-N대신 NH₄-N의 공급을 늘리

는 것이 재배시 배양액 관리의 효율과 함께 바람직한 것으로 추정된다. 그러나 NH₄-N 비율이 높을수록 잎끝마름병이 증가하므로¹⁴⁾, 적절한 비율 및 농도의 구명이 요구된다.

이상의 결과에서 NH₄H₂PO₄의 농도를 달리 하여 추가배양액을 공급함으로써 pH와 EC를 안정시킬 수 있음을 알았다. 그러나 시작배양액부터 농도를 높이는 것보다는 추가배양액에서 농도를 높여서 공급하는 것이 pH와 EC를 안정시키는데 효율적인 것으로 사료된다. 또한 과다한 NH₄는 식물의 생리장해를 일으킬 수 있으므로¹³⁾, NH₄H₂PO₄의 농도를 3 me/l 이하로 하는 것이 안전하며, 과다한 pH하락에 유념하여 7me/6 l (시작배양액 10me/40 l + 추가배양액 60me/l) 이하의 NH₄H₂PO₄ 처리에 관하여 보다 면밀한 실험이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

Table 2. Fresh weight and leaf chlorophyll content after NH₄H₂PO₄ treatment in 3rd experiment.

Treat- ment	Fresh Weight(g/plant)						Chlorophyll ^{a)}		
	Shoot			Root			8	10	12
	8	10	12	8	10	12			
N-0.25	0.49a ^{b)}	0.96a	1.27a	0.143a	0.332a	0.484a	31.7	34.0b	34.2b
N-3	0.37b	0.80a	0.94b	0.091b	0.249a	0.213b	32.4	37.7a	37.8a
N-6	0.34b	0.56b	0.78b	0.088b	0.120b	0.139b	31.9	37.6a	38.6a

^{a)} The value is from chlorophyll meter (SPAD-502, MINOLTA, Japan).

^{b)} Means separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

Table 3. L, a*, and b* value in the color system in 3rd experiment.

Treat- ment	L, a*, and b* value								
	L			a*			b*		
	8	10	12	8	10	12	8	10	12
N-0.25	-47.2	-47.4b ^{b)}	-45.7	-14.9b	-15.5	-16.8b	24.2	24.3	26.2
N-3	-47.2	-47.8b	-46.4	-13.5a	-15.2	-16.2a	23.7	23.3	24.9
N-6	-47.3	-46.6a	-45.6	-12.7a	-15.0	-15.8a	23.7	23.9	25.8

^{a)} Means separation within columns by Duncan's multiple range test at the 5% level.

적 요

본 실험은 수돗물을 용수로 사용한 결구상추(*Lactuca sativa* var. *capitata*)의 수경육묘시 배양액의 pH에 대한 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 의 효과를 조사하기 위하여 수행되었다. 배양액의 pH를 안정시키기 위하여 시작배양액과 추가배양액의 조성을 달리하여 공급하였다. 배양액의 pH는 추가배양액의 공급시 급격한 하락을 나타낸 후에 회귀하는 경향을 보였다. 배양액의 pH는 온도가 높아짐에 따라 증가하였고, EC는 반대로 감소하는 일중변화를 보였다. 1, 2차 실험에서 pH는 추가배양액 공급 이후에 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.25me/l 처리구에서 7정도를 유지하였으나 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 3me/l과 6me/l 처리구에서는 6.4-6.5정도를 유지하였다. 3차 실험에서 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.25me/l 처리구의 pH는 6.7에서 7.4까지 서서히 증가하였으나, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 3me/l과 6me/l 처리구에서는 6-6.5에서 5-5.5로 감소하였다. 따라서 배양액의 pH를 안정시키기 위하여는 배양액에 존재하는 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 의 전체 양을 1me/6l과 7me/6l 사이로 설정하거나, 농도를 기준으로 0.25 me/l와 3 me/l 사이로 하는 것이 적절하리라 사료된다.

주요어: 결구상추, 수경재배, 배양액, 용수, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

인용문헌

1. Andersen, L. and N. E. Nielsen. 1992. A new cultivation method for the production of vegetables with low content of nitrate. *Sci. Hort.* 49:167-171.
2. 배종향·조영렬·이용범. 1995. 양액재배 농가의 원수 수질 조사. *생물생산시설환경* 4(1):80-88.
3. Berry, W. L. 1971. Evaluation of phosphorus nutrient status in seedling lettuce. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96(3):341-344.
4. David N. S. and H. A. Mills. 1979. N

- form and concentration: Effects N absorption, growth, and total N accumulation with southernpeas. *J. Amer. Soc. Hort.* 104(5):586-591.
5. Frota, J. N. E. and T. C. Tucker. 1972. Temperature influence on ammonium and nitrate absorption by lettuce. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 36:97-100.
6. 池田英男·大澤孝也. 1980. 施用窒素形態とそ菜の適應性(第2報)水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亞硝酸を窒素源とした葉菜の生育並びにアンモニア態及び硝酸態窒素蓄積の差異. *日園學雜.* 48:435-442.
7. 池田英男·大澤孝也. 1988. そ菜の NO_3 および NH_4 利用に及ぼす空氣中 CO_2 濃度ならびに遮光の影響. *日園學雜.* 57(1):52-61.
8. Ikeda, H. and T. Osawa. 1981. Nitrate- and ammonium-N absorption by vegetables from nutrient solution containing ammonium nitrate and the resultant change of solution pH. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 50:225-230.
9. 김영식. 1993. 수경재배시 NO_3^- -N과 NH_4^+ -N의 비율이 잎들깨의 생육에 미치는 영향. *생물생산시설환경* 2(2):119-126.
10. 박권우·이정훈·장매희. 1994. 양액내 NO_3^- -N과 NH_4^+ -N비가 잎파의 생육과 품질에 미치는 영향. *생물생산시설환경* 3(2):99-105.
11. 박권우·김영식. 1991. 수경재배의 이론과 실제. 고려대학교 출판부.
12. Shinohara, Y and Y. Suzuki. 1988. Quality improvement of hydroponically grown leaf vegetables. *Acta Horticulturae* 230: 279-286.
13. Thys, C. E., Schrevels, M de Proft. 1991. Description of the optimal nutrient zone for lettuce(*Lactuca sativa* L.) in hydroponical culture. 1. Biometrics and mineral contents. *Revue. de Agriculture* 44(4):659-667.

14. Van der Boon, J., J. W. Steenhuizen, and E. G. Steingrover. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. J. Hort. Sci. 65(3):309-321.
15. Van der Boon, J., and J. W. Steenhuizen. 1986. Nitrate in lettuce on recirculating nutrient solution. Acta Horticulturae 178:67-72.
16. 山崎肯哉. 1982. 養液栽培全篇. 博友社, 東京, 日本.

학 회 광 고

한국생물생산시설환경학회는 창립초기(91년 12월 창립)이기 때문에 많은 재정상의 어려움을 겪고 있습니다. 특히, 전체 경비에 대한 회비의 점유율이 높기 때문에 미납된 회비에 대한 많은 회원님들의 협조를 부탁드립니다.

- 아 래 -

1. 미납회비통지 : 미납분에 대해서는 개별 통지함
2. 회 비 내 역 : 정회원 20,000원, 준회원 10,000원
구독회원 40,000원, 종신회원 200,000원
찬조회원 1구좌 이상 「1구좌 150,000원」
3. 입 금 처 : 우체국 104075-0013391(시설환경학회)
농협 125-01-095483(시설환경학회)
국민은행 203-01-0863-998(시설환경학회)

학 회 광 고

주소록의 사항 중 변경사항이 있으신 회원께서는 학회 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.