

순환식 상추 양액재배시 양액재활용 기술¹⁾

이수연* · 이성재 · 서명훈 · 이상우 · 심상연
경기도농업기술원

Reusing Techniques of Nutrient Solution for Recycling Hydroponic Culture of Lettuce

Lee, Su-Yeon* · Lee, Sung-Jae · Seo, Myeong-Whoon · Lee, Sang-Woo · Sim, Sang-Yeon
Kyonggi-Do Agricultural Research and Extension Services

Abstract

Leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) was cultivated in deep flow culture to investigate growth and yield in relation to different reusing method of nutrient solution after once cultivation. Five different treatments were allocated to the nutrient solutions - Control (total renewal of solution), NSS (nutrient solution supplement), EC control, NSAC (nutrient solution analysis and compensation), NSAC and Humus supply (NSAC with supply of Humus). The pH of solution was kept stable below 7.0 during 4 successive culture in NSAC and NSAC and Humus supply. EC was sharply declined in NSS as the number of cultivation was increased. Growth and yield of NSAC was similar to those of Control because nutrient elements were kept the balance to the better growth, while the lettuce grown in NSS and EC control was shown lower growth rate. In the nutrient solutions, Content of NO₃-N and NH₄-N were remarkably decreased after the cultivation in all treatments. Ca and Mg were shown to be accumulated in nutrient solution regardless of culture times and treatments. After the first culture in NSAC and Humus supply, total N and P₂O₅ content in leaves were lower than any other treatments, but Ca content was higher. Those were not significant as following cultures, and no significant difference of K and Mg content were shown among the treatments.

주제어 : 연속재배, 양액보충, 양액검정보정

Key words : Successive culture, Nutrient solution supplement, Nutrient solution analysis and compensation

* Corresponding author

¹⁾ 본 연구는 '96~'98 농촌진흥청 산학관공동연구과제의 일부로 수행되었음

서 론

최근 도시근교의 시설재배토양에서는 염류 과다집적 등으로 인한 연작장해 발생으로 생산성이 저하되고 있다. 그리고 고품질 연중생산이 가능한 양액재배면적은 '93년 23ha에서 '98년 554ha로 급속히 증가되고 있는데 이 중 약 12%는 담액경이나 박막수경의 순수 수경재배 방식이 차지하고 있다. 순환식 담액수경 상추재배를 기준으로 할 때 300평 재배시 1회재배(약60일)동안 약 100ton의 양액이 소요되며 이 양액은 1회 재배가 끝난 후 상당량이 폐기되고 있고 고품 배지경 양액재배의 경우에도 대부분 비순환식 재배로 1회 급액 후 배액이 그대로 버려지고 있어 자원 낭비뿐만 아니라 토양 및 지하수를 오염시키는 문제를 야기시키고 있다. 네덜란드에서는 토양이외에서 재배할 때에는 배양액을 순환 재 이용해야 함을 법제화(온실산업편집부, 1996)하고 있으며 그 밖의 유럽 여러 나라에서도 양액재배시 버려지는 폐양액이나 배지 등을 재사용하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. Van Os (1994)는 비순환식 양액재배시스템으로 토마토를 재배했을 경우 손실 비료량은 배액량을 20%로 했을 때 ha당 N 147, P 71, K 282, Ca 126, Mg 60 kg 정도이며 비료흡수율은 토양재배시 30~50%, 비순환식 양액재배는 70~80%, 순환식 양액재배시스템은 90%이상이라고 했다. 또한 순환식과 비순환식 양액재배시스템의 수분소비량, 양분배출량, 비료값을 비교했을 때 오이의 경우 비순환식에 비해 순환식 시스템이 각각 21, 80, 35%가 절감되며 상추의 경우 29, 100, 50%, 국화의 경우 15, 65, 20%가 절감된다고 하였다. Zekki 등(1996)에 의하면 무기이온 농도를 보정하여 재배하면 그렇지 않은 것에 비해 토마토 수량이 증가한다고 하였다. 하지만 양액을 재활용하는데에는

여러 가지 문제가 따른다. 특히 식물체 뿌리에서 분비되는 생장억제물질의 존재는 앞으로 해결해 나가야 할 중요한 문제이다. 일본에서도 이러한 문제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데 오이를 양액재배했을 때 후반기 수량이 저하되는 한 원인으로 뿌리에서 분비되는 억제물질임(佐々木, 1986, 1989)을 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 수경재배에서 양액의 재활용으로 상추의 연속재배 가능성을 검토하고 양액의 재활용이 상추의 생육이나 수량에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료 및 재배개요

본 시험은 경기도농촌진흥원(경기도 화성) 유리온실 양액재배시설에서 수행되었고 공시작물인 상추는 '뚝섬적측면' 품종을 사용하였으며 우레탄 스폰지에 파종하여 원예연구소 상추 배양액(N-P-K-Ca-Mg=9.2-3.6-5-3-1.5 Me/L)의 1/2농도로 육묘하였다. 시험수행기간동안 정식부터 수확까지 총 4회 연속재배 하였고 '96년 9월 25일부터 10월 28일까지 1차, 10월 31일부터 12월 9일까지 2차, 12월 13일부터 '97년 1월 24일까지 3차, 2월 3일부터 3월 10일까지 4차재배 하였다. 양액량은 1처리당 2.7ton(양액탱크+재배조)으로 하였고 처리당 560주를 공시하였다.

2. 처리내용 및 양액조성

처리내용은 대조구, 양액보충, EC조절, 양액검정보정과 양액검정보정+Humus첨가구 등 5처리를 두었다. 양액조성은 원예연구소 상추전용배양액(N-P-K-Ca-Mg=9.2-3.6-5-3-1.5 me/l)으로 하였다. 양액관리 방법으로 대조구는 매회 재배후 남은 양액을 모두 폐기하고 다시 표준양액을 조성하여 전량 공급하였으며, 양액보충구는 매회 재배 후 남은

양액에 재배전의 양액량 만큼 표준양액을 보충하였다. 그리고 EC조절구는 재배후 남은 양액에 표준양액을 보충하고 다량원소가 농축된 비료로 EC를 맞춰 주었고 양액검정보정구는 재배 후 남은 양액에 표준양액을 보충하고 재배전후에 양액의 주요 무기성분을 분석하여 부족한 성분을 첨가하였으며 양액검정보정+Humus첨가구는 1차재배를 시작할 때 양액에 Humus(Humic acid 75% 함유) 0.32g/l를 첨가하였고 그 후로는 첨가하지 않고 양액검정보정만 하였다.

재배후의 양액의 감소량은 처리에 관계 없이 1차재배에 비해 2, 3차재배에서 다소 많아졌다. EC조절구에서는 재배후 EC가 0.11~0.27 정도 낮아져 표준양액 중 다량원소를 농축한 액으로 EC를 대조구 수준으로 맞춰 주었고 양액검정보정구와 양액검정보정+Humus첨가구에서는 1차재배 후에는 주로 KNO₃와 NH₄H₂PO₄로 보정하였으며, 2, 3차재배 후에는 KNO₃와 NH₄NO₃로 보정하였는데 그 이유는 Table 4의 양액분석결과에 따라 소모된 무기성분이 주로 질소였기 때문이다(Table 1). 미량원소는 모든 처리에서 매 재배가 시작

3. 처리별 양액조제 및 보정

Table 1. Compensation and preparation of nutrient solution according to reusing method (based 1 ton)

Division		Amount of consumption of nutri. sol.(ℓ)	EC control		Analysis and compensation (me/ℓ)		
Treatment	Culture times		EC (dS/m)	Compensation	KNO ₃	NH ₄ NO ₃	NH ₄ H ₂ PO ₄
Control	1~4	Preparation of new nutrient solution by every culture time					
NSS	1	241	Standard solution compensation by amount of consumption				
	2	185					
	3	222					
	4	-					
	Means	216	-				
EC control	1	287	Standard	-	-	-	-
	2	233	+0.13	0.1×S ²	-	-	-
	3	204	+0.27	0.2×S	-	-	-
	4	-	+0.11	0.07×S	-	-	-
	Means	241	+0.17	0.12×S	-		
NSAC	1	224	-	-	Standard	Standard	Standard
	2	156	-	-	0.5	-	1.2
	3	185	-	-	1.4	1.2	-
	4	-	-	-	1.7	1.2	-
	Means	188	-	-	1.2	1.2	-
NSAC + Humus	1	222	-	-	Standard	Standard	Standard
	2	204	-	-	0.3	-	1.2
	3	204	-	-	0.56	0.9	-
	4	-	-	-	1.1	1.2	-
	Means	210	-	-	0.65	1.1	-

² S means amount of nutrient in standard nutrient solution.

될 때 표준농도로 첨가하였다. pH와 EC의 변화는 3일에 한번씩 조사하였다.

4. 생육조사 및 양액·식물체시료 분석 방법

생육조사는 농촌진흥청의 농사시험연구소 사기준에 따라 재배시기별로 최종 수확할 때 실시하였고 반복당 20주씩 조사하고 시설구조상 부득이하게 2반복으로 실험을 수행하였다. 양액분석을 위해 수확직후 식물체를 모두 제거한 뒤 6시간정도 양액을 계속 순환시켜 배드와 탱크의 양액이 완전히 섞인 후 탱크 내의 양액을 채취하였다. 식물체분석을 위해 생육조사한 식물체(뿌리를 제외한 지상부 식물체 전체)를 70℃에서 5일정도 건조시켜 마쇄한 후 0.5g씩 정량하여 농촌진흥청 토양화학분석법에 따라 습식분해한 뒤 분해된 액을 No.2 여과지에 여과하여 여액을 분석시료로 이용하였다. 양액 및 식물체시료의 분석은 NH₄-N, NO₃-N와 T-N는 Kjeldahl법을, 인산은 양액의 경우에는 Lancaster법, 식물체시료의 경우에는 Vanadate법, K, Ca, Mg은 원자흡광분광분석법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 재배기간중 양액의 pH와 EC의 변화

양액의 pH는 대조구가 전 재배기간동안 6.8~7.2를 나타내었고, 양액보충구는 재배횟수가 늘어날수록 높아지는 경향을 보였다. 반면에 양액검정보정구와 양액검정보정+Humus첨가구는 5.5~7.0의 비교적 상추 생육에 알맞은 수준을 나타내었다(Fig. 1). 특히 양액검정보정+Humus첨가구는 다른 처리에 비해 전 재배기간동안 비교적 낮은 pH수준을 유지하여 이 등(1998)이 보고한 양액내에 암모니아태 질소의 비율이 증가하면 양액의 pH가 급속히 저하되는데 humate와 humus 같은 유기물을 첨가하면 이들이 양액내의 H⁺ 이온을 포함한 양이온을 흡착하여 양액의 pH저하 속도를 지연시킨다는 내용과 상이한 결과를 보였는데 이것은 이 등(1998)의 실험과는 달리 본 시험의 경우에는 NH₄-N의 비율이 낮아 pH의 급속한 저하를 보이지 않았다.

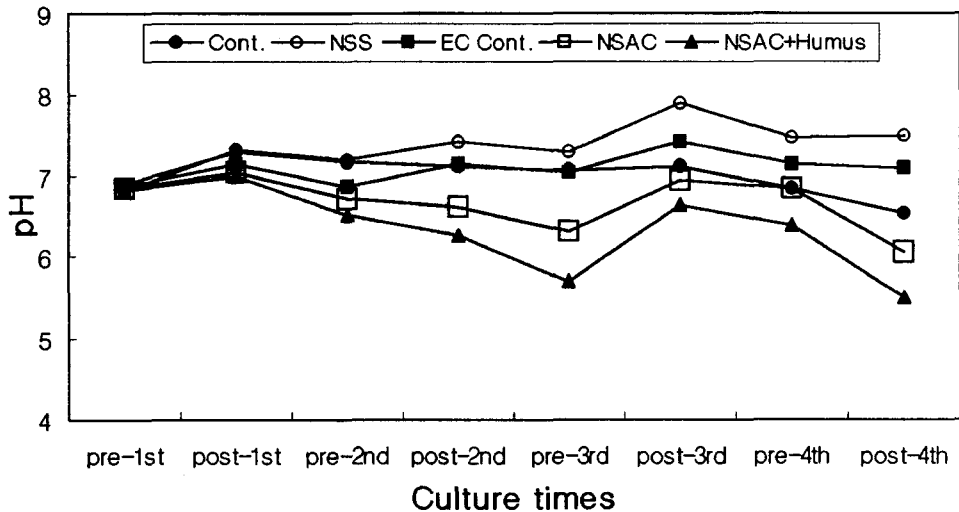


Fig. 1. Changes of pH in nutrient solution at different control methods in successive culture of leaf lettuce : pre-1st, before first culture ; post-1st, after first culture ; pre-2nd, before second culture ; post-2nd, after second culture ; pre-3r, before third culture ; post-3rd, after third culture ; pre-4th, before fourth culture ; post-4th, after fourth culture.

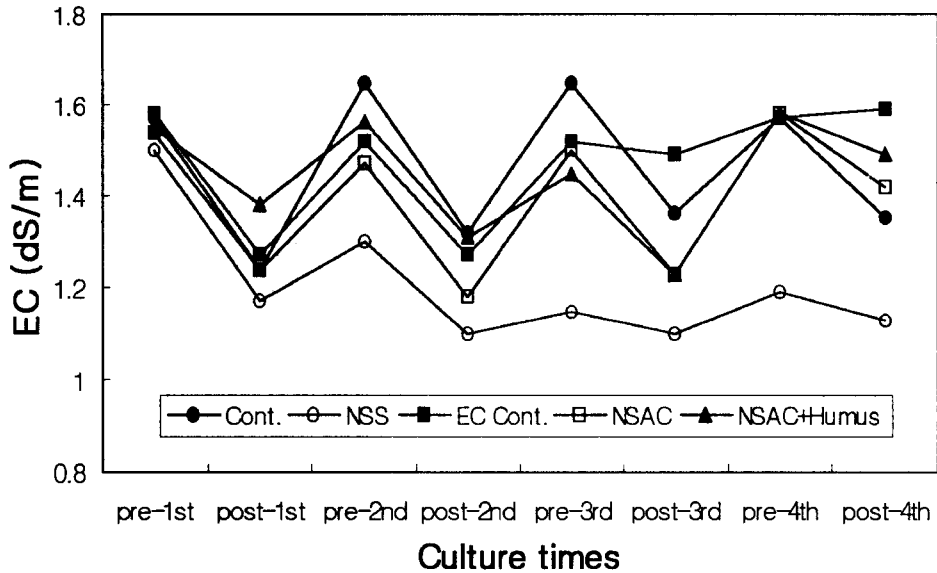


Fig. 2. Changes of EC in nutrient solution at different control methods in successive culture of leaf lettuce : pre-1st, before first culture ; post-1st, after first culture ; pre-2nd, before second culture ; post-2nd, after second culture ; pre-3rd, before third culture ; post-3rd, after third culture ; pre-4th, before fourth culture ; post-4th, after fourth culture.

양액의 EC는 대조구에서 재배 전에는 약 1.6 dS/m이었고 재배 후에는 0.3정도 떨어진 1.3 dS/m 수준이었다. 양액보충구에서는 재배횟수가 늘어날수록 낮아지는 경향을 나타내었는데 1차 재배전의 1.5 dS/m에서 4차 재배가 끝난후에는 1.1 dS/m 정도로 처리 중에서 가장 낮은 수준이었다. EC조절구는 1,2차 재배에서는 대조구와 비슷한 감소경향을 보였으나 3,4차 재배에서는 재배전후의 변화가 적었다. 양액검정보정구와 양액검정보정+Humus는 대조구와 비슷한 경향을 나타내었다(Fig. 2).

2. 생육특성 및 수량

1차재배에서 양액검정보정구+humus 첨가구가 엽수는 다른 처리와 비슷하면서

초장, 엽면적 등이 떨어져 대체로 잎이 작은 경향을 보였고, 근장 또한 다른처리에 비해 짧은 경향이었으나, 재배횟수가 늘어날수록 대조구와 비교하여 큰 차이는 보이지 않았고 양액보충구와 EC조절구의 생육이 대조구에 비해 현저히 떨어지는 경향이였다(Table 2).

Zekki 등(1996)이 보고한 NFT방식으로 토마토를 재배했을 때 4주마다 양액을 교체한 것에 비해 배액을 pH와 EC만 보정하고 무기이온은 보정하지 않은 것은 생체중, 건물중, 수량이 감소하였다는 내용과 본 실험에서도 같은 결과를 얻었다.

또한 배양액을 분석한 후 무기이온을 보정하는 방법은 EC 제어에 비하여 배양액의 교환횟수가 줄어들고, 수량이 증대되는

Table 2. Growth characteristics of leaf lettuce in successive culture as affected by different treatments in nutrient solution at harvesting time.

Culture time	Treatment	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaf (ea/plant)	Leaf area (cm ² /plant)	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Root length (cm)
1st	Control	29.9 ab	25.9	25.4	11.5	2,060	5.0	19.6	45.1
	NSS ^z	30.4 a	26.4	24.1	11.0	2,110	5.8	19.2	47.9
	EC control	28.9 abc	25.5	23.8	11.9	1,850	5.4	18.6	38.3
	NSAC ^y	28.5 bc	25.3	24.1	11.7	1,950	4.5	19.0	40.0
	NSAC+Humus	27.2 c	24.6	22.5	11.7	1,650	4.2	18.8	30.6
2nd	Control	27.5 ab	23.5	24.6	10.7	2,580	3.2	14.6	56.1
	NSS	25.0 c	22.1	21.5	10.7	1,980	2.8	13.3	47.6
	EC control	25.6 bc	21.5	22.2	9.8	2,080	2.7	14.4	47.8
	NSAC	25.4 c	23.0	22.3	10.0	2,230	2.7	13.5	45.0
	NSAC+Humus	27.9 a	24.7	23.7	9.4	2,140	3.1	14.5	47.4
3rd	Control	28.6 a	25.5	21.6	13.2	3,310	4.2	16.4	58.3
	NSS	21.9 b	19.1	16.6	11.1	1,140	2.0	11.4	36.5
	EC control	21.6 b	19.2	16.6	10.9	1,250	1.8	10.6	30.6
	NSAC	26.9 a	24.6	22.1	12.5	2,120	3.3	15.1	40.0
	NSAC+Humus	28.6 a	25.4	20.8	12.1	1,760	3.9	15.0	35.3
4th	Control	27.0 a	24.0	23.4	12.9	3,030	3.6	17.2	49.6
	NSS	19.3 b	17.6	16.0	10.0	990	1.6	10.4	36.7
	EC control	19.6 b	17.3	16.0	9.6	1,130	1.6	9.6	39.7
	NSAC	26.4 a	24.1	23.0	12.1	2,590	3.7	16.5	37.7
	NSAC+Humus	24.0 a	20.5	21.7	9.7	1,670	2.3	12.9	28.8

^z Nutrient solution supplement

^y Nutrient solution analysis and compensation

^x Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

데 딸기를 재배했을 때 EC 제어에 비해 무기이온을 제어한 경우가 15% 수량이 증대되었다(宇田川, 1996)는 보고와 같이 상추재배에서도 같은 결과를 보였다. 이것은 EC제어에 비해 무기이온을 제어할 경우 양액내의 이온들이 균형을 이뤄 상추 생육에 적절한 상태를 유지하기 때문인 것으로 보인다. 지상부 생체중은 1차 재배에서 양액검정보정+Humus첨가구가 다소 낮았고 나머지 처리간에 약 110g/주 수준으로 유의차가 없었으며 2차재배에서는 모든 처리에서 유의차가 없었다. 3, 4차 재배로 재배회수가 늘어날수록 대조구과 양액검정보정구를 제외한 나머지 처리구에서 계속 감소하는 경향으로 4차 재배에서는 EC조절구와 양액보충구가 대조구 생체중의 40%이하까지 감소하였다(Table 3).

수량도 생체중과 같은 경향으로 1차 재배에서 양액검정보정구+Humus첨가구가 다른 처리에 비해 다소 낮았고 처리간에 유의차가 없었다. 재배횟수가 늘어날수록 양액검정보정+Humus첨가구는 계속 낮아졌고 양액보충구와 EC조절구는 3차와 4차 재배에서 수량이 크게 감소되었는데 이는 재배기간중 pH의 상승과 무기성분의 불균형으로 인한 양분흡수 저해가 큰 원인인 것으로 생각되며 암모니아태 질소원 배지에서 생육시킨 상추가 질산태 질소원 배지에서 생육시킨 상추에 비해 수량이 높으며 같은 암모니아태 질소원 배지에서도 pH가 자동으로 일정하게 유지되는 것이 수량이 높다는 보고(河崎 등, 1996)와 일치하여 암모니아태 질소원이 재배초기에 적정수준으로 첨가된 양액검정보정구에서는 대

조구와 비슷한 수량이 계속 유지되었으나 암모니아태 질소원이 거의 없고 질산태 질소만으로 생육한 양액보충구에서는 수량이 떨어졌다(Table 3). 역시 상추는 질소와 양액중의 EC에 영향을 많이 받는 작물로 토양재배시 토양내 질소수준이 정상수준에 비해 낮았을 때 재배시기에 관계없이 상추의 수량은 감소한다는 결과(Post와 Buitendijk, 1992)와도 같은 경향을 보였다. Humus첨가구에서 수량이 계속 낮아지는 것은 淺尾 등(1998)의 양액보충 재활용시 활성탄 첨가로, 토마토의 경영생장 및 수량이 증가하였다는 보고와는 다른 결과를 보였는데 이는 활성탄이 뿌리 분비물의 흡착만을 주로 하

는 반면 humus는 humus내에 존재하는 부식산중에 페놀물질(오, 1983)이 있어 이것이 오히려 재배횟수가 늘어날수록 뿌리의 분비물과 함께 양액의 수질을 떨어뜨려 생육저하의 원인이 된 것으로 판단되며 토마토의 뿌리에서도 이 페놀물질이 분비되어 연작장해의 한 원인으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Yu 등, 1998). 건물율은 Van den bos(1992)의 실험결과에서 상추재배시 EC를 2.1 mS/cm로 처리한 구가 타 처리에 비해 수량은 높은 반면 건물율은 가장 낮았듯이 본 실험에서도 Control구가 양액재활용 처리나 재배횟수에 관계없이 수량이 가장 높았던 반면 건물율은 낮은 것으로 나타났다.

Table 3. Yield of leaf lettuce in successive culture as affected by different treatments in nutrient solution at harvesting time.

Culture time	Treatment	Top		Root		Yield (kg/ha)
		Fresh weight (g/plant)	Dry matter rate(%)	Fresh weight (g/plant)	Dry matter rate(%)	
1st	Control	115 a ^x	3.0	15.1	5.8	30,700 a
	NSS ^z	113 a	3.5	14.6	5.9	30,200 a
	EC control	119 a	3.6	13.1	5.7	31,700 a
	NSAC ^y	113 a	3.9	14.5	5.5	30,000 a
	NSAC+Humus	96.4 b	3.6	14.7	6.1	25,700 b
2nd	Control	95.6 a	3.7	10.6	4.8	25,500 a
	NSS	75.0 a	4.5	9.0	5.1	20,000 a
	EC control	77.8 a	4.4	9.4	4.2	20,800 a
	NSAC	74.7 a	4.6	8.1	5.7	19,900 a
	NSAC+Humus	79.5 a	3.7	9.2	4.0	21,200 a
3rd	Control	88.3 a	3.9	7.7	4.7	23,600 a
	NSS	40.9 d	4.6	4.2	5.0	10,900 d
	EC control	41.1 d	4.7	3.7	5.1	11,000 d
	NSAC	75.9 b	4.3	6.6	5.2	20,200 b
	NSAC+Humus	69.3 c	4.4	6.3	5.4	18,500 c
4th	Control	112 a	3.8	13.4	4.5	29,800 a
	NSS	41.3 b	4.3	6.1	4.6	11,000 b
	EC control	42.2 b	4.6	6.2	4.7	11,300 b
	NSAC	99.4 a	3.9	11.6	4.8	26,500 a
	NSAC+Humus	63.0 b	4.8	9.2	5.6	16,800 b

^z Nutrient solution supplement

^y Nutrient solution analysis and compensation

^x Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level

3. 양액 및 식물체 무기성분

양액의 무기성분중 NO₃-N는 재배가 계속될수록 양액보충구 및 EC조절구에서 농도가 크게 떨어졌고 특히 EC조절구는 재배횟수가 늘어날수록 시험전후의 농도차가 줄어들었는데, 이는 pH의 영향이 컸던 것으로 생각되며, 양액검정보정구와 양액검정보정+Humus첨가구에서는 대조구와 차이가 없었다. NH₄-N는 1차재배전 양액검정보정+Humus첨가구에서 4.8 me/ℓ로

humus로 인해 다소 높았던 것으로 보이고, 상추는 배양액의 pH와 무관하게 NH₄-N를 선택적 또는 우선적으로 흡수하는 작물로 NO₃-N와 NH₄-N의 혼합비율이 어떻든간에 배양액중의 NH₄-N가 존재하는 한 pH가 저하된다(池田 등, 1979)고 보고된 내용과 일치하여 시험후의 잔량이 없었다. H₂PO₄-P은 모든 처리구에서 재배횟수와 관계없이 시험전후의 농도변화가 미미하였고, K는 대조구를 비롯한 모든 처리구에서 시험후에 그 농도가 낮아졌다.

Table 4. Changes of nutrient content in nutrient solution at different control methods in successive culture of leaf lettuce.

Nutrients (me/ℓ)	Treatment	1st culture		2nd culture		3rd culture		4th culture	
		Plant- ing	Harve- sting	Plant- ing	Harve- sting	Plant- ing	Harve- sting	Plant- ing	Harve- sting
NO ₃ -N	Control	10.3	7.2	9.5	6.5	8.4	5.5	8.7	7.5
	NSS ^z	8.7	6.1	6.7	3.2	4.9	3.9	4.3	2.6
	EC control	10.1	5.8	8.6	5.4	7.0	5.5	7.2	7.2
	NSAC ^y	9.7	7.5	7.4	5.4	7.8	5.1	9.1	7.6
	NSAC+Humus	10.7	7.7	8.6	7.4	7.7	5.7	9.8	7.2
NH ₄ -N	Control	1.4	0.01	0.9	0.2	1.0	0	1.1	0
	NSS	1.3	0.01	0.1	0.0	tr	0	tr	0
	EC control	1.2	0.01	0.5	0.2	0.4	0	tr	0
	NSAC	1.4	0.01	1.1	0.1	0.7	0	1.5	0
	NSAC+Humus	4.8	0.02	0.9	0.3	0.6	0	1.0	0
H ₂ PO ₄ -P	Control	1.3	1.1	1.4	1.1	1.3	1.2	1.3	1.2
	NSS	1.3	1.0	1.1	0.9	0.8	0.5	0.7	0.5
	EC control	1.3	1.2	1.3	1.1	1.2	0.9	1.0	0.8
	NSAC	1.6	1.1	2.2	2.1	1.9	2.0	1.9	1.9
	NSAC+Humus	1.3	1.1	2.1	2.0	1.9	2.0	2.1	2.2
K	Control	5.8	3.9	4.7	3.1	4.9	2.6	4.2	2.9
	NSS	5.4	3.2	3.3	1.6	1.8	1.1	2.6	1.6
	EC control	5.9	3.6	4.1	2.3	3.5	2.9	3.9	3.5
	NSAC	6.0	3.8	3.7	2.0	3.3	1.2	3.5	1.8
	NSAC+Humus	5.8	4.0	4.1	2.6	2.8	1.1	3.2	2.2
Ca	Control	3.9	4.3	2.8	2.9	2.2	2.8	3.2	3.8
	NSS	3.4	4.2	2.8	2.7	2.1	2.1	3.3	3.2
	EC control	3.9	4.3	3.0	2.9	2.4	2.7	3.9	4.1
	NSAC	3.9	4.3	2.7	2.8	2.4	2.8	4.0	4.6
	NSAC+Humus	3.2	3.7	2.4	2.6	2.4	2.5	3.8	4.4
Mg	Control	2.4	2.6	2.3	2.4	2.3	2.4	2.1	2.4
	NSS	2.2	2.4	2.4	2.6	2.5	2.5	2.5	2.8
	EC control	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9	3.1
	NSAC	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.9
	NSAC+Humus	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6

^z Nutrient solution supplement

^y Nutrient solution analysis and compensation

Ca과 Mg은 모든 처리구에서 재배횟수에 관계없이 농도의 변화가 미미하였고 오히려 재배전에 비해 재배후에 양액내에 축적되는 경향을 보였다(Table 4). 이 결과는 Cho 등(1997)이 보고한 NFT에서의 상추 재배시 EC control구에서 Ca이 축적되고 NO₃-N, P과 K은 감소한다는 내용과 일치하였다.

상추엽내 무기성분함량은 T-N와 P₂O₅의 경우 1차재배후 양액검정보정+Humus 첨가구에서 다른 처리에 비해 함량이 적었고 재배횟수가 늘어날수록 처리간에 차이가 없었다. K과 Mg은 재배횟수나 처

리간에 차이가 없었고, Ca의 경우 양액검정보정+Humus첨가구에서 1차와 2차재배후 다소 많았는데, 이것은 생육속도가 비교적 느려 잎으로의 Ca 전류량이 높았던 것으로 보이며 Barta와 Tibbitts(1991)의 실험결과에서 상추의 생육속도가 빠르면 엽내 Ca함량이 줄어든다는 것과 유사한 경향을 보였다. 생육속도가 느린 것은 humus에 의한 것으로 사료되나 정확한 근거는 추후 실험을 통해 밝혀져야 할 것이다. 또한 재배횟수가 늘어날수록 Ca 함량은 처리간에 차이가 없어 humus첨가가 양이온에 주는 영향은 2차재배로 끝나는 것으로 보인다(Table 5).

Table 5. Changes of nutrient content in lettuce leaf-stem at different control methods in successive culture.

Nutrients(%)	Treatment	1st culture	2nd culture	3rd culture	4th culture
T-N	Control	1.83	1.73	2.85	2.59
	NSS ^z	2.10	1.88	2.69	2.82
	EC control	2.68	2.20	3.13	2.89
	NSAC ^y	2.13	2.52	2.25	2.30
	NSAC+Humus	1.30	2.07	2.30	2.47
P ₂ O ₅	Control	2.11	3.08	2.75	2.41
	NSS	2.51	2.56	2.72	2.37
	EC control	2.52	2.73	2.74	2.45
	NSAC	2.41	2.38	2.58	2.38
	NSAC+Humus	1.86	2.99	2.34	1.79
K	Control	5.24	5.44	5.43	5.19
	NSS	5.43	5.25	5.09	5.15
	EC control	5.21	5.05	5.34	5.20
	NSAC	5.28	5.19	5.29	4.94
	NSAC+Humus	5.27	5.16	5.35	4.85
Ca	Control	1.89	1.87	1.86	1.67
	NSS	1.34	1.40	1.99	1.64
	EC control	1.10	1.44	1.72	1.62
	NSAC	1.21	1.35	1.72	1.64
	NSAC+Humus	2.61	2.37	1.82	1.81
Mg	Control	0.46	0.47	0.54	0.49
	NSS	0.44	0.49	0.65	0.66
	EC control	0.43	0.49	0.61	0.63
	NSAC	0.42	0.38	0.53	0.56
	NSAC+Humus	0.54	0.57	0.52	0.54

^z Nutrient solution supplement

^y Nutrient solution analysis and compensation

표에서는 언급이 없었지만 양액재활용 처리에 관계없이 상추의 병발생은 없었는데 이는 실험시기가 가을부터 겨울까지로 온도가 다소 낮고, 재배방식이 담액수경재배였다는 것과 특별한 전염원, 즉 병원균이 전염될 만한 환경적, 생리적 조건이 적절하지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

적 요

수경재배에서 양액의 재활용이 상추의 생육이나 수량에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 Control, 양액보충, EC조절, 양액검정보정, 양액검정보정+humus첨가 등의 5처리를 두어 실험을 수행한 결과는 다음과 같다.

양액의 pH에서 양액검정보정구와 양액검정보정+Humus첨가구가 4차재배까지 7.0 이하로 안정된 경향을 나타내었고, EC는 양액보충구가 재배횟수가 늘어날수록 현저히 떨어졌고 다른 처리는 대조구와 유사한 경향이였다. 생육 및 수량은 양액검정보정 처리가 양액내 무기이온들의 균형으로 대조구와 유사한 경향을 나타내었으며 양액보충구 및 EC조절구는 재배횟수가 늘어날수록 떨어지는 경향이였다. 양액의 무기성분중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 재배후 처리에 관계없이 농도가 크게 떨어졌고 특히 Ca과 Mg은 모든 처리구에서 재배횟수에 관계없이 재배전에 비해 재배후에 양액내에 축적되는 경향을 보였다.

상추엽중 무기성분함량은 T-N와 P_2O_5 의 경우 1차재배후 양액검정보정+Humus첨가구에서 다른 처리에 비해 함량이 적었고 재배횟수가 늘어날수록 처리간에 차이가 없었다. K과 Mg은 재배횟수나 처리간에 차이가 없었고, Ca의 경우 양액검정보정+Humus첨가구에서 1차와 2차재배후 다소 많았으나, 재배횟수가 늘어날수록 처리간에 차이가 없었다.

인용문헌

- 오왕근. 1983. 채소 다수확 재배를 위한 토양관리와 비료. (사)가리연구회. p. 14.
- 온실산업편집부. 1996. 환경오염을 감소시키기 위한 폐쇄계 양액재배 시스템. (사)호남온실작물연구소. Vol. 9 : 46-52.
- 이용범, 노미영. 1998. 과채류 순환식 양액재배 기술. 한국양액재배연구회 추계 심포지움. p. 61-78.
- 이웅호, 이성재, 김광용, 황기성. 1998. 유기물 첨가에 의한 양액의 pH저하 저감. 한원지 발표요지 16(1) : 68.
- 淺尾俊樹, 梅山元正, 太田勝巳, 細木高志, 伊藤憲弘, 植田尙文. 1998. 水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復. 日園學雜. 67(1) : 99-105.
- Barta, D. J. and T. W. Tibbitts, 1991. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: comparison of controlled-environment and field-grown plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116(5) : 870-975.
- Cho, Y. R., E. J. Hahn., and Y. B. Lee, 1997. Proceeding of the 7th ISHS Symposium on Vegetable Quality. p. 245-248.
- 池田英明, 大澤孝也. 1979. 施用窒素形態とそ葉の適應性(第1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て果菜の生育並びに窒素同化. 日園學雜. 47 : 454-462.
- 河崎 利夫, 森次 益三. 1996. II 培地のアンモニア態窒素および硝酸態窒素と植物の生長. In: 養液栽培と植物營養. 博友社. p. 29-53.
- Post, W. H. K. and H. Buitendijk. 1992. The influence of low nitrate levels in soil on the nitrate content of lettuce.

11. 佐々木皓二. 1986. 作物別養液栽培技術. キュウリ. 養液栽培の新技術. 誠文堂新光社. 東京. p. 103-105
12. 佐々木皓二. 1989. 養液栽培の生育と技術. キュウリ. 農業技術大系. 野菜編 12 共通 技術・先端技術. 養液栽培. 農山漁村文化協会. 東京. p. 99-103
13. 宇田川 雄二. 1996. 養液センサーの現況と今後の課題. 日本植物工場學會 第6回 SHITAシンポジウム講演豫稿集. p. 43-51
14. Van den bos, A. L. 1992. Growth of lettuce in a recirculation system. Glasshouse crops research station annual report. p. 14
15. Van Os, E. A. 1994. Closed growing systems for more efficient and environmental friendly production. Acta Hort. 396 : 25-32
16. Yu, J. Q., K. S. Lee and Y. Matsui. 1993. Effects of the addition of activated charcoal to the nutrient solution on the growth of tomato grown in the hydroponic culture. Soil. Sci. Plant Nutri. 39 : 13-22.
17. Zekki, H., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(6) : 1082-1088.