

오이 관비재배용 개발 배양액의 적정성 검증

한석교¹ · 은종선¹ · 김호철² · 이용범^{3*} · 배종향²

¹전북대학교 원예학과, ²원광대학교 원예·애완동식물학부, ³서울시립대학교 환경원예학과

Suitability Verification of Developed Nutrient Solution for Fertigation Culture of Cucumber (*Cucumis sativus* L.)

Suk Kyo Han¹, Jong-Seon Eun¹, Ho Cheol Kim², Yong Beom Lee^{3*}, and Jong Hyang Bae²

¹Department of Horticulture, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

²Department of Horticulture Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

³Department of Environmental Horticulture, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract. To verify suitability of the developed nutrient solution for fertigation culture of cucumber, chemical changes of soil, growth characteristics and yield of cucumber as affected by conventional fertigation method (Control), the developed nutrient solution for fertigation culture (DNF) and Yamasaki cucumber recipe (YCR) were investigated. At 48 days after transplant, photosynthetic and transpiration rate of cucumber leaves were the highest in 3/2 strength of DNF and 1/2 strength of YCR, but not different with the Control, in the later growing period photosynthetic rate was the highest in 3/2 strength of DNF and YCR and was clearly different with the Control, transpiration rate was the highest in 3/2 strength of DNF and 1/2, 1 strengths of YCR. The growth and yield of cucumber, nutrient elements of cucumber leaves except for calcium were more in DNF and YCR than in the Control. Compared with pre-treated loam soil, pH of the soil was low and electric conductivity was high in all treatments, amounts of accumulated phosphorus, potassium, calcium, and magnesium were much in the higher concentrations per the kinds of nutrient solutions. From the above results, it was considered that the developed nutrient solution has suitability as nutrient solution for fertigation culture of cucumber.

Key words : conventional fertigation, fertigation culture, nutrient solution, Yamasaki cucumber recipe

서 언

국내 오이 시설재배면적은 2003년 5,351ha에서 2005년 4,497ha로 다소 감소하였으나 2006년 4,597ha로 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 이 면적은 노지 재배에 3~4배 면적으로 이미 시설 재배 중심으로 변화하였다(MAF, 2006). 그러나 대체로 화학 비료의 과다 사용과 연작 기간 증가로 토양 내 염류집적의 심화, 그리고 무분별한 관수로 인한 토양 양분의 용탈과 지하수 오염의 심화 등 많은 문제점을 나타내고 있고 이에 각종 생리장해가 발생하고 있다. 수용성 비료의 관비는 물만을 관수하였을 때보다 총 건물중, 엽

면적지수, 비료 이용성, 과실 무기물 함량 및 과실 수량을 향상시키고 NO₃ 축적량을 감소시키나 토양 내 인산을 증가시키기도 한다(Hebbar 등, 2004; Nakano 등, 2003). 요소나 NH₄ 비료 사용은 질소 침출 손실량을 낮추는데 요소는 토양 내 NH₄를 증가시킨다(Zhou 등, 2006). 질소 농도는 과실 및 토양 내 질소 농도에 영향을 준다(Nakano 등, 2003). 가리, 칼슘 및 마그네슘은 토양의 수분이 많은 조건에서 하향 이동이 많은데(Ryu 등, 1994) 칼슘의 적정 시비는 성숙 지연이나 수침상 과실 발생을 낮출 수 있으나 부적정 농도의 시비는 토양 내 에틸렌 농도상승, 과육부 수침, 성숙 지연, 그리고 착색 저하 등을 가져온다(Madrid 등, 2004). 그리고 고농도의 가리 시비는 엽면적 지수에 효과를 나타낸다(Cogo 등, 2006). 철은의 적정 시

*Corresponding author: hydropo@uos.ac.kr
Received May 10, 2008; accepted June 16, 2008

Table 1. Chemical properties of loam soil before cucumber fertigation.

pH	EC (dS·m ⁻¹)	Av. P (mg·kg ⁻¹)	Exchangeable cation (cmol·kg ⁻¹)		
			K	Ca	Mg
5.44	0.3	49.3	0.65	4.54	0.90

비는 잎의 황화현상 감소와 과실 수량 증대에 효과적이다(Josefina 등, 2003). 특히, 채소의 시설재배에서는 수확 후기까지 토양 내 양분이 필요하기 때문에 부적합 시비에 따른 많은 문제점을 발생시킬 수 있어 합리적인 시비관리 기술이 필요하다. 이러한 문제점에 대한 연구나 노력은 다양하게 이루지고 있고 그 중 관비재배의 중요성은 더욱 커지고 있다.

이에 본 연구는 오이 관비재배용으로 개발된 배양액의 적합성 여부를 판정하기 위해 배양액 종류 및 농도에 따른 토양 화학성 변화, 생육 특성 및 과실 수량 등을 조사하였다.

재료 및 방법

시험작물은 ‘은성 백다다기(cv. Eunsung Baekdadagi)’ 오이로 페트리디쉬에서 최아시킨 후 암면 블록에 이식하여 육묘하였다. 정식은 본엽이 6매 전개 후 12L 포트에 양토(Table 1)를 10L씩 채운 후 각 처리 당 6주씩 3반복으로 하였다. 토양분석은 정식 전과 생육조사 후에 pH, 전기전도도(EC: electrical conductivity), 총 질소(Total-N), 유효인산(Av. P), 치환성 양이온(K, Ca, Mg) 함량 등을 분석하였다. 배양액은 농가 관행 시비 (N 25.0, P 15.0, K 20/10a)를 대조구로 하고 개발된 양토용 오이 관비액(NO₃-N 12.3, NH₄-N 1.0, P 3.0, K 5.9, Ca 5.7, Mg 3.5me·L⁻¹)과 Yamasaki 오이 배양액을 각각 1/2, 1 및 3/2배액으로 공급하였다(Table 2). 배양액의 급액량 및 횟수는 일사량에 따라 타이머로 조절하였고, 매일 배액의 EC, pH 및 량을 조사하였다. 그리고 5일 간격으로 배액 100mL를 채취하여 NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca, Mg 등의 함량을 분석하여 공급 배양액의 각 성분과 비교하여 양분 흡수량을 조사하였다.

광합성속도와 기공저항 측정은 휴대용 광합성 측정기(Li-6200, Li-COR, USA)을 이용하여 오전 9시~11시 사이에 측정하였다. 증산속도는 휴대용 Porometer(Li-1600, Li-COR, USA)로 5월 31일에 30번째 본엽

을 이용하였다. 엽내 엽록소 함량은 정식 후 58일째에 30번째 본엽에서 휴대용 엽록소 측정기(Minolta SPAD-502, Japan)를 이용하여 측정하였다. 과실 특성은 6번째 마디부터 결실시켜 5월 8일부터 6월 11일까지 총 과실수, 상품과수, 총 과중, 상품과중, 상품과율을 조사하였다. 생육조사는 6월 12일에 초장, 경경, 잎과 줄기의 생체중, 건물중을 조사하였다. 토양 분석은 정식 전과 수확 후 채취한 토양을 바람이 잘 통하는 그늘에서 건조시킨 후 2mm 체를 통과시켜 pH, 전기전도도, 총 질소, 유효인산, 치환성 양이온 함량을 분석하였다. 식물체 내 질소 및 무기이온 함량은 35~40마디에서 채취한 잎을 65°C에서 72시간 건조시켜 마쇄한 후 잎 0.5g을 100mL 삼각플라스크에 넣고 진한 H₂SO₄ 1mL와 50% HClO₄용액 10mL를 가한 후 310~410°C에서 3~4시간 분해하여 분해액이 백색으로 투명하게 되면 분해를 멈추고 냉각시킨 후 분해액을 100mL volumetric flask에 No. 2로 여과하였다. 질소는 질소자동증류기(Büchi 323, Büchi, Switzerland)로 증류하여 0.01N-H₂SO₄로 적정하여 전질소함량을 측정하였다. 인산은 Vanadate법으로 470nm에서 비색계(UV 2100, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였으며, K, Ca, Mg은 원자흡광광도계(Perkin Elmer 3100, USA)를 사용하여 정량한 후 건물중에 대한 백분율(%)로 환산하였다.

Table 2. The kind of nutrient solution used and the concentration treated for suitability verification of the developed nutrient solution in fertigation culture of cucumber.

Nutrient solution	Concentration of nutrient solution
Control ^z	N 25.0, P 15.0, K 20/10a
Fertigation ^y	1/2S ^y , 1S, 3/2S
Hydroponic ^x	1/2S, 1S, 3/2S

^zConventional fertigation method used in farms of cucumber.
^yNutrient solution developed for cucumber fertigation.
^xNutrient solution developed by the Yamasaki in Japan for cucumber hydroponic.
^yStrength of the standard nutrient solution.

결과 및 고찰

오이 관비재배에서 개발된 배양액의 적합성 여부를 판정하기 위해 배양액 종류 및 농도에 따른 잎의 광합성 및 증산율을 조사한 결과(Fig. 1), 정식 48일째 개발 배양액의 광합성량은 3/2배액에서 가장 높았고 1/2배액에서 가장 낮은 경향을 나타내었다. Yamasaki 오이 배양액의 광합성량은 처리 간 유의한 차이를 나타내지 않았으나 1/2배액에서 가장 높은 경향이였다. 그리고 두 배양액 모두 관행시비와 유의한 차이를 나타내지 않았다. 증산율은 관행시비에서 가장 높은 경향이였고, 개발 및 Yamasaki 오이 배양액에서는 모두 1/2배액에서 높은 경향을 나타내었다. 증산율 증가 시 CO₂의 흡수 증가로 광합성량도 증가하는데, 관행시비와 Yamasaki 오이 배양액에서는 동일한 결과였으나 개발 배양액에서는 다소 반대의 경향을 보였다.

정식 76일인 생육 후기에 배양액 종류 및 농도에 따른 잎의 광합성속도와 증산속도를 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 광합성량은 관행시비에서 가장 적게 나타났고, 개발 및 Yamasaki 오이 배양액 간 차이를 나타냈다. 개발 배양액의 3/2배액에서 광합성량이 가장 많았으며 1/2배액 및 1배액과 유의한 차이를 보였다. Yamasaki 오이 배양액에서도 개발 배양액과 동일한 결과를 나타내었다. 증산율은 관행시비와 개발 배양액의 3/2배액에서 높은 경향이였고 Yamasaki 오이 배양액에서는 3/2배액에서 가장 낮았다. 관행시비에서는 증산율이 증가할수록 광합성량이 증가하는 경향을 보였으며 Yamasaki 오이 배양액에서는 증산율과 광합성량의 관계가 다르게 나타났다. 잎의 광합성 및 증산율은 관비 횟수에 따라 달라지며, K, Mg 및 Fe의 추비는 수량 확보 및 잎의 양분 공급에 큰 효과를 나타낸다 (Semiha 등, 2006)는 보고와 증산율은 양분과 물의 이용효율성과 관계를 가지고 있다(Charturong 등, 2005a와 b)는 보고와 유사한 경향이였다.

정식 83일째 배양액 종류 및 농도에 따른 오이의 생장량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 초장은 관행시비에서 527cm로 가장 짧았고 개발 배양액, Yamasaki 오이 배양액 모두 관행시비보다 유의한 증가를 보였다. 그러나 경경은 관행시비와 Yamasaki 오이 배양액의 3/2배액에서만 유의차를 보였고, 엽장은 관행시비에서 32.9cm로 가장 짧았으며, 개발 배양액의 3/2배액에서

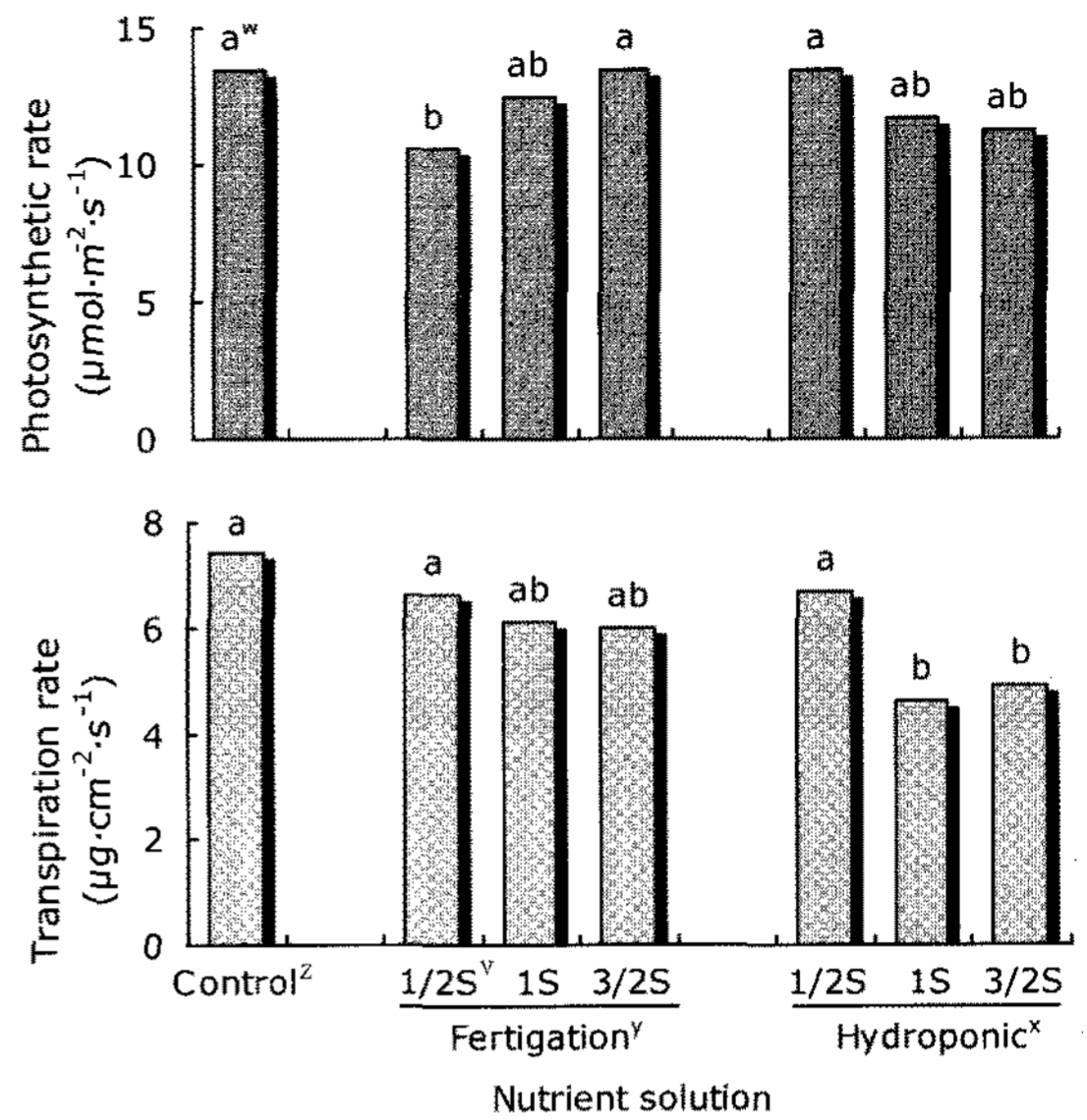


Fig. 1. Photosynthetic and transpiration rate of cucumber leaves as influenced by different type of nutrient solution and concentration at 48 days after transplant.

^{z-y}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

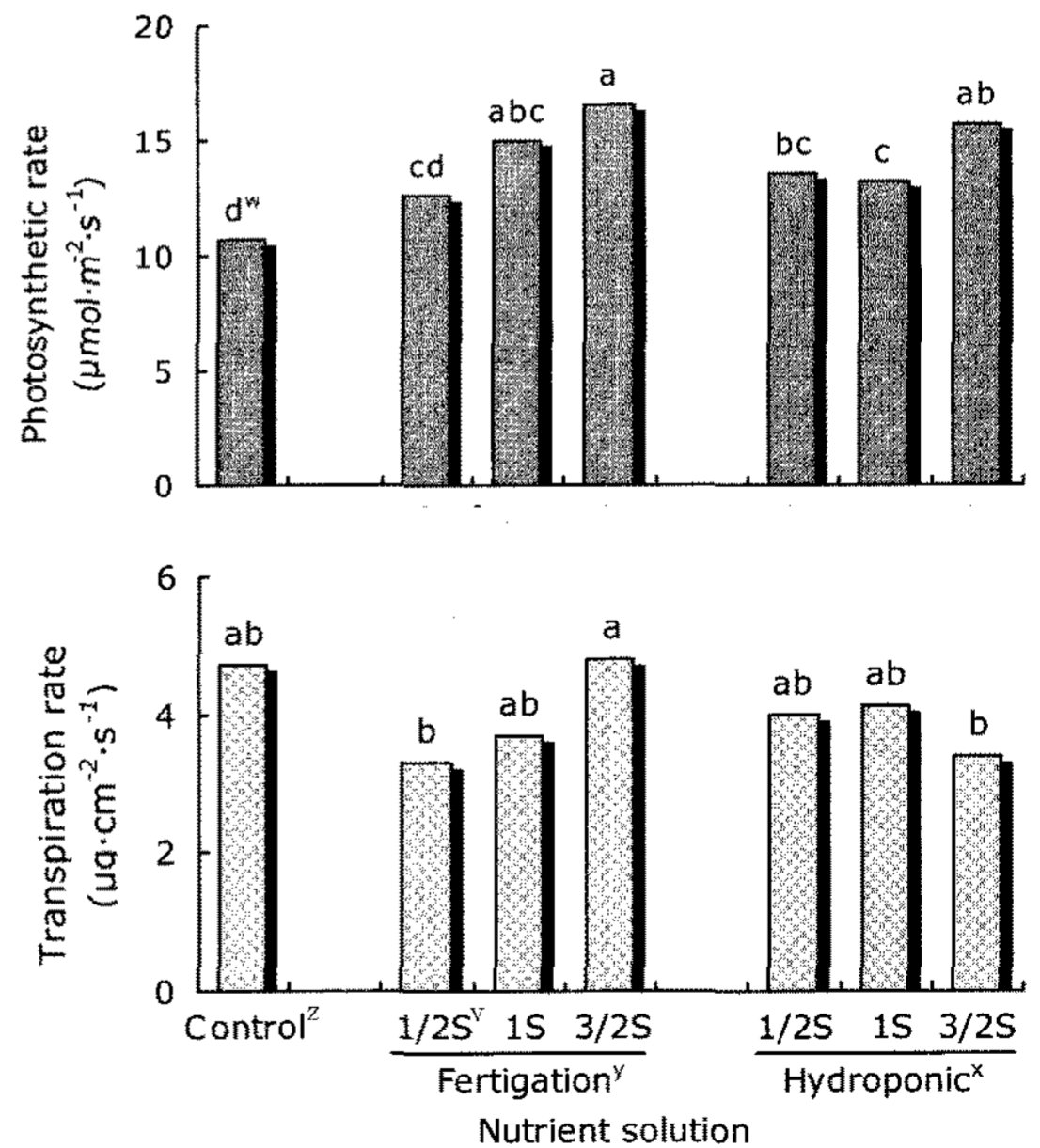


Fig. 2. Photosynthetic rate and transpiration rate of cucumber leaves as influenced by different type of nutrient solution and concentration at 76 days after transplant.

^{z-y}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 3. Effect of different type of nutrient solution and concentration on the growth of cucumber at 83 days after transplant.

Nutrient solution		Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g·plant ⁻¹)	Dry weight (g·plant ⁻¹)
Control ^z		527 c ^w	0.83 a	32.9 b	30.4 c	584 c	69.2 ab
Fertigation ^y	1/2S ^v	610 a	0.83 a	36.3 a	35.2 b	637 a	70.1 ab
	1S	602 a	0.82 a	36.0 a	36.8 a	609 b	71.1 ab
	3/2S	572 b	0.83 a	37.0 a	37.3 a	659 a	81.1 a
Hydroponic ^x	1/2S	570 b	0.80 a	34.1 ab	34.3 ab	642 a	77.2 b
	1S	571 b	0.79 ab	36.3 a	35.4 b	573 c	74.5 b
	3/2S	565 b	0.76 b	36.3 a	35.3 b	619 b	79.3 a

^{z-v}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 4. Effect of different type of nutrient solution and concentration on the yield and marketable fruit ratio of cucumber at 83 days after transplant.

Nutrient solution		Number of fruit (No.·plant ⁻¹)		Yield (g·plant ⁻¹)		Marketable fruit ratio (%)	
		Total	Marketable	Total	Marketable		
Control ^z		10.7 b ^w	9.3 b	1361 c	100%	1190 b	88.1 ab
Fertigation ^y	1/2S ^v	15.0 ab	11.7 ab	2063 ab	152%	1661 ab	77.8 b
	1S	16.0 a	12.8 ab	2157 ab	158%	1778 ab	80.7 ab
	3/2S	17.7 a	14.3 a	2515 a	185%	2067 a	81.0 ab
Hydroponic ^x	1/2S	15.5 a	12.3 ab	2182 ab	160%	1836 ab	79.3 ab
	1S	14.0 ab	13.0 ab	1940 b	143%	1843 ab	92.0 ab
	3/2S	13.8 ab	12.8 ab	2051 ab	151%	1911 a	93.7 a

^{z-v}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

37.0cm로 가장 길었다. 엽폭은 관행시비에서 30.4cm로 가장 좁았으며 개발 배양액의 1배액과 3/2배액에서 36.8~37.3cm로 가장 넓고 다른 배양액 종류 및 농도 처리와 유의한 차이를 나타내었다. 생체중은 관행시비와 Yamasaki 오이 배양액의 1배액에서 각각 584와 573g·plant⁻¹로 낮은 경향이였다. 건물중은 배양액 종류 간 유의한 차이를 나타내지 않았지만 개발 배양액과 Yamasaki 오이 배양액의 3/2배액에서 무거웠고, Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액과 1배액에서 가벼웠다.

정식 83일째 배양액 종류 및 농도에 따른 오이의 과실 수량을 조사한 결과(Table 4), 수확량은 관행시비에서 1,361g으로 가장 적었으며 개발 배양액의 3/2배액에서 가장 많았다. 그러나 개발 배양액과 Yamasaki 오이 배양액 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 수확량에 따른 상품과 비율은 개발 배양액의 1/2배액에서 77.8%로 가장 낮았고, Yamasaki 오이 배양액의 3/2배액에서 93.7%로 가장 높았다. 상품과 수량은 개발 배양액의 3/2배액에서 높았으나 배양액 종류 및 농

도 간 유의한 차이를 나타내지 않았다.

정식 83일째 배양액 종류 및 농도에 따른 잎 내 무기양분의 함량을 조사한 결과(Table 5), 질소는 관행시비에서 2.25%, Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액에서 3.12%로 적었고, 나머지 처리구 간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 인산은 관행시비에서 0.55%로 가장 적었고, 개발 배양액의 1배액과 Yamasaki 오이 배양액의 1배액과 3/2배액에서 높았다. 가리는 관행시비와 Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액에서 적었고 다른 처리구 간에는 유의차를 나타내지 않았다. 칼슘은 개발 배양액의 3/2배액과 Yamasaki 오이 배양액의 1배액에서 가장 적었고, 두 배양액의 1/2배액에서 가장 많았다. 마그네슘은 관행시비와 개발 배양액의 1/2배액에서 가장 낮았고, Yamasaki 오이 배양액 모두에서 다소 높은 경향을 나타내었다.

오이 관비 재배 후 배양액 종류 및 농도에 따른 토양의 화학성 변화를 조사(Table 6)하여 Table 1과 비교 분석하였다. 토양 pH는 모든 배양액에서 낮아졌으

Table 5. Mineral-nutrient contents of cucumber leaves as influenced by different type of nutrient solution and concentration at 83 days after transplant.

Nutrient solution		N	P	K	Ca	Mg
		% of dry weight				
Control ^z		2.25 c ^w	0.55 c	3.48 b	2.11 ab	0.39 c
Fertigation ^y	1/2S ^v	3.43 a	0.61 b	4.22 a	2.48 a	0.40 c
	1S	3.31 ab	0.70 a	4.38 a	2.26 ab	0.51 a
	3/2S	3.51 a	0.64 b	4.44 a	1.91 c	0.45 b
Hydroponic ^x	1/2S	3.12 b	0.64 b	3.58 b	2.35 a	0.49 a
	1S	3.48 a	0.70 a	4.37 a	1.85 c	0.49 a
	3/2S	3.55 a	0.72 a	4.49 a	2.09 b	0.50 a

^{z-v}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 6. Chemical properties of loam soils after cucumber fertigation.

Nutrient solution		pH	EC (dS·m ⁻¹)	Av. P (mg·kg ⁻¹)	Exchangeable cation (cmol·kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
Control ^z		5.37 a ^w	0.33 c	102 d	0.22 c	0.45 d	1.1 b
Fertigation ^y	1/2S ^v	5.32 b	0.52 bc	246 c	0.67 c	1.08 cd	1.2 ab
	1S	5.23 bc	1.00 b	441 a	1.10 b	1.52 c	1.3 ab
	3/2S	5.17 c	1.23 b	587 a	1.84 a	3.01 b	1.3 ab
Hydroponic ^x	1/2S	5.35 a	0.68 bc	117 d	0.30 c	4.48 a	1.3 ab
	1S	5.24 bc	1.15 b	393 b	1.08 b	4.47 a	1.4 a
	3/2S	5.14 c	1.65 a	437 a	1.78 a	4.75 a	1.5 a

^{z-v}See the Table 2.

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

며 특히, 개발 배양액과 Yamasaki 오이 배양액의 3/2 배액에서 각각 5.17과 5.14로 크게 낮아졌다. 토양 EC는 높아지는 경향이었지만 관행시비, 개발 배양액과 Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액에서 각각 0.33, 0.52, 0.68dS·m⁻¹로 상승정도가 적어 농도가 높아질수록 EC의 상승 정도가 컸다. 인산은 관행시비와 Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액에서 각각 102와 117mg·kg⁻¹로 Table 1의 재배 전 4.93mg·kg⁻¹보다 높아졌지만 축적 정도가 낮은 편이었고 개발 배양액의 3/2배액과 Yamasaki 오이 배양액의 3/2배액에서 587, 437mg·kg⁻¹로 인산도 EC와 마찬가지로 농도가 높을수록 축적정도도 886%까지 높아졌다. 가리는 관행시비와 개발 배양액의 1/2배액에서 0.22와 0.67cmol·kg⁻¹로 낮아졌으며, Yamasaki 오이 배양액의 1/2배액에서도 0.30 cmol·kg⁻¹으로 비슷한 결과였고 다른 처리구에서는 농도가 상승 할수록 축적정도가 유의적으로 증가 하였다. 칼슘은 관행시비에서 0.45cmol·kg⁻¹로 현저하게 낮았

고, 개발 배양액에서도 낮아지는 경향이있으며 Yamasaki 오이 배양액에서는 재배전과 비슷한 경향이 지만 역시 농도가 높아질수록 칼슘의 축적이 높아졌다. 마그네슘은 모든 처리구에서 증가하는 경향이있으나 Yamasaki 오이 배양액의 1배액과 3/2배액을 제외하고는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

적 요

오이 관비재배용으로 개발된 배양액의 적합성 여부를 판정하기 위해 관행 시비, 개발 관비용 배양액 및 Yamasaki 오이 배양액에 따른 토성의 화학성 변화, 생육 특성 및 과실 수량을 조사하였다.

앞의 광합성 및 증산율은 정식 48일째에는 개발 배양액 중 3/2배액과 Yamasaki 오이 배양액 중 1/2 배액에서 높았으나 관행시비와 차이를 나타내지 않았다. 그러나 생육 후기에는 광합성은 개발 및 Yamasaki

오이 배양액 모두 3/2배액에서 높았고 관행시비와 큰 차이를 나타냈으나, 증산율은 개발 배양액의 3/2배액과 Yamasaki 오이 배양액의 1/2과 1배액에서 높았고 관행시비와 차이를 나타내지 않았다. 그리고 오이 생장량과 과실수량은 관행시비보다 개발 배양액과 Yamasaki 오이 배양액에서 좋았고 두 배양액 간에는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 잎의 무기성분도 Ca를 제외하고 유사한 경향이였다. 처리 전 토양과 비교하여 pH는 모든 배양액에서 낮아지고, EC는 다소 상승하는 경향이였고, P, K, Ca 및 Mg의 축적 정도는 고농도로 급액할수록 큰 경향이였다. 따라서 개발된 배양액은 오이 관비재배용으로 적합한 것으로 생각된다.

주제어 : 관비재배, 관행시비, 배양액,
Yamasaki 오이 배양액

인 용 문 헌

1. Charturong, C., S. Yutaka, M. Toru, T. Michiko, and H. Masaaki. 2005a. Development of fertigation system for tomato bag culture based on cumulative solar radiation and vapor pressure deficit values. *Environ. Control in Biol.* 43(2):97-112.
2. Charturong C., S. Yutaka, M. Toru, T. Michiko, and H. Masaaki. 2005b. An estimation of tomato transpiration for effective fertigation management system using integrated solar radiation and vapor pressure deficit. *Environ. Control in Biol.* 43(2):105-112.
3. Cogo, C.M., J.L. Andriolo, D.A. Bisognin, R. dos Santos Godoi, O.C. Bortolotto, and G.T. Barros. 2006. Growth, yield and chip color of potato tubers grown under high potassium availability. *Ciencia Rural* 36(3):985-988.
4. Hebbar, S.S., B.K. Ramachandrappa, H.V. Nanjappa, and M. Prabhakar. 2004. Studies on N, P, K drip fertigation in field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Europ. J. Agron.* 21:117-127.
5. Josefina, B., Q. Ana, M. Bernardo, P.M. Eduardo, and L. Francisco. 2003. Effects of the frequency of iron chelate supply by fertigation on iron chlorosis in citrus. *J. Plant Nutr.* 26(10-11):1985-1996.
6. Madrid, R., M. Valverde, V. Alcolea, and F. Romojaro. 2004. Influence of calcium nutrition on water soaking disorder during ripening of Cantaloupe melon. *Scientia Hort.* 101:69-79.
7. Ministry of Agriculture and Forests (MAF) (in Republic of Korea). 2006.
8. Nakano, A., Y. Uehara, and A. Yamauchi. 2003. Effect of organic and inorganic fertigation on yields, d15N values, and d15C values of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Saturn). *Plant and Soil.* 255:343-349.
9. Ryu, K.S., S.H. Yoo, and K.C. Song. 1994. Effect of soil water on the movement of Ca, Mg and K in the soil. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 27(4):255-262.
10. Semiha, G., I. Hayriye, and B. Gokhan. 2006. Effects of different nitrogen rates on yield and leaf nutrient contents of drip-fertigated and greenhouse-grown cucumber. *Asian J. Plant Sci.* 5(4):657-662.
11. Zhou, J.B., J.G. Xi, Z.J. Chen, and S.X. Li. 2006. Leaching and transformation of nitrogen fertilizers in soil after application of N with irrigation: A soil column method. *Pedosphere (Beijing).* 16(2):245-252.