

오이 循環式 固形培地耕에 적합한 培養液 開發¹⁾

노미영 · 이용범 · 김희상 · 이경복 · 배종향*

서울시립대학교 환경원예학과

*원광대학교 원예학과

Development of Nutrient Solution Suitable for Closed System in Substrate Culture of Cucumber

Roh, Mi Young · Lee, Yong Beom · Kim, Hoe Sang · Lee, Kyoung Bok
Bae, Jong Hyang*

Dept. of Env. Hort., Seoul City University, Seoul 130-743, Korea

*Dept. of Hort., Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

Abstract

This experiment was conducted to find out the compositions of nutrient solution for closed system in substrate culture of cucumber. Cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Eunsung baekdadagi) plants were grown in the substrates supplied with the nutrient solutions whose strengths were 1/2, 1, and 3/2 of the original concentration developed by National Horticultural Research Station in Japan. By increasing the nutrient concentrations, plant height decreased but leaf length, leaf width, and leaf number showed little differences. A number of marketable fruit and marketable yield were the highest in the concentration of 1 strength. The nutrient compositions of solution developed for closed system in cucumber substrate culture were N 11.4, P 3.3, K 6.0, Ca 4.5, and Mg 3.5 me · ℓ⁻¹ during the vegetative growth period and N 10.4, P 3.3, K 5.0, Ca 4.5, and Mg 3.5 me · ℓ⁻¹ during the reproductive growth period. To examine the suitability of nutrient solution developed in the above experiment, cucumber plants were grown in the substrates supplied with different solutions and concentrations — Yamasaki's nutrient solution (Yamasaki) of 1 S, nutrient solution of Research Station for Greenhouse Vegetable and Floriculture on the Netherlands (PTG) of 1 S, nutrient solution developed in the above experiment (SCU) of 1/2, 1, and 3/2 S. EC and pH in root zone changed little in the all treatments during growing period. As cucumber plants grew, the concentrations of N, P, and K in root zone decreased but Ca concentration increased. Net CO₂ assimilation rate of cucumber leaves was high in SCU of 1 and 3/2 S, and Yamasaki of 1 S. Growth of cucumber plants was the lowest in SCU of 1/2 S. There were little differences among SCU of 1 and 3/2 S, Yamasaki of 1 S, and

¹⁾ 본 연구는 1996년도 교육부 농업과학분야 거점연구소의 학술연구조성비에 의해 수행되었음.

PTG of 1 S. Suitable N, P, K, and Mg contents were shown in cucumber leaves in SCU, Yamasaki, and PTG of 1 S. Ca content was low in PTG of 1 S. Total yield was the highest in SCU of 1 S followed by Yamasaki of 1 S.

주 제 어 : 순환식 시스템, 배양액, 고품배지경, 오이

Key words : closed system, nutrient solution, substrate culture, cucumber

서 언

작물에 따라 배양액농도와 급액량을 적절히 제어한다 하더라도, 비순환식 양액재배에 적합하도록 개발된 배양액 조성을 순환식 양액재배에 이용하는 것은 작물 생육에 바람직하지 않다. 그러나 국내에서는 순환식 양액재배용 배양액 조성에 대한 연구 자료가 거의 없어 비순환식 배양액 조성을 그대로 사용하거나 다른 나라에서 개발된 순환식 배양액 조성을 그대로 이용하고 있는 실정이다. 일본의 山崎(1984)가 개발한 순환식 배양액은 순수수경재배에 적합한 배양액이고, 화란의 온실작물연구소(Sonneveld와 Straver, 1992)에서 개발한 배양액은 고품배지 재배용으로 개발된 배양액이기는 하지만 재배 품종의 유전적 특성과 기상 조건이 우리 나라와는 매우 다른 환경에서 재배된 작물들을 기초로 개발한 배양액이다.

한편, 고품배지로부터 빠져나온 배양액은 토양 내로 배출되어 토양과 지하수의 부영양화를 초래한다(Benoit, 1992). Smith(1988)도 배액되어 나온 배양액의 EC는 종종 $3\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이 되고 Na와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 같은 염류들이 많이 함유되어 있다고 지적하였다. 암면 재배의 순환식과 비순환식 시스템의 차이에 의한 시용 성분량의 차이를 보면, 비순환식에 비하여 순환식에서는 각 무기성분 모두를 50% 정도 줄일 수 있다고 한다(加藤, 1994). 장미 암면재배에 있어서 장미의 질소비료 흡수율은 70% 정도로 높지만 시용된 질소비료량의 30%가 외부로 배출된다고 한다(加藤, 1994). Smith(1988)는 순환식 시스템의 일반적인 재배 관리도 비순환식 시스템과 동일하지만 두

가지 정도의 큰 차이가 있다고 하였다. 순환식에서 Fe는 배양액내 농도를 비순환식의 세 배 정도 높여야 하고 Mn도 두 배 정도 높여야 한다는 것이다. 또한, Ca는 약간 높게 유지하고 K도 시기에 따라 높여 줄 필요가 있다는 것이다. 한편, 板東(1991)은 순환식 시스템의 경우 배양액의 성분을 조사하여 배지내의 pH와 EC를 목표값에 일치하게 관리할 수 있지만, 배지내의 성분 농도는 조절이 어렵다고 하였다. 또한, 순환식 암면재배에서는 생육 중기 이후에 P와 K의 저하, Ca와 Mg의 증가에 의해 조성의 균형이 흐트러지기 쉽다고 하였다. 이 때문에 순환식에서는 작물의 양분 흡수에 맞는 성분 조성의 개발과 미래에는 이온센서로 각 성분마다 제어할 수 있는 고도의 배양액 자동 제어까지 검토할 필요가 있다고 하였다.

그러므로, 국내의 품종과 재배 환경에 적합하면서도 환경오염을 극소화할 수 있는 순환식 고품배지 재배용 배양액의 개발이 시급하다고 생각한다. 따라서, 본 실험은 과채류 중에서도 양액재배 면적이 급속히 신장하고 있는 오이를 대상으로 하여 순환식 고품배지경에 적합한 배양액을 개발하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 배양액 개발

‘은성백다다기’ 오이를 공시 재료로 하여 1996년 6월 23일에 혼합 배지가 들어 있는 128공 플러그 트레이에 파종하고, 7월 29일에 오이 묘를 펠라이트와 암면 배지가 들어 있는

베드(120cm×25cm×14cm)위에 각각 3株씩 정식하였으며, 수분 증발을 막기 위하여 정식 전에 흑백 플라스틱 필름으로 베드를 멀칭하였다. 베드는 1/200의 경사를 주었으며 배액 구쪽에 20ℓ의 급배액 용기를 설치하고 용기 안쪽에 눈금자를 부착하여 水位를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 각각의 용기 안에 30W 용량의 수증전기펌프를 설치하여 배양액을 순환식으로 공급하였다. 배양액은 time clock을 이용하여 06:00시부터 20:00시까지 매시간마다 15분씩, 그리고 24:00시에 1회 15분 동안 공급하였다.

오이 순환식 고품배지경에 적합한 조성 및 농도를 알아보기 위하여 일본 야채 시험장 표준액(NO₃-N 16.0, NH₄-N 1.3, PO₄-P 4.0, K 8.0, Ca 8.0, Mg 4.0me·ℓ⁻¹)을 1/2배액(1/2 strength; 1/2 S), 1배액(1 S) 및 3/2배액(3/2 S)의 수준으로 하여 양수분흡수율(n/w)을 측정하였다(山崎, 1984). 우선, 재배 용기로부터의 수분감소량인 w(ℓ)는 용기 내의 배양액 소량(a)과 측정 때의 殘量의 용량차로 측정하였다. 각 성분의 흡수량인 n(me·ℓ⁻¹)은 처음의 처리 농도(y)와 a가 줄어든 때의 농도(y₁)를 측정하였으며, 또한 보충한 액(w)을 첨가한 a의 농도(y)와 다시 a가 줄어든 때의 농도(y₁)를 측정하여 계산하였다. 양수분흡수율인 n/w은 y가 y₁보다 크면 「a/w(y-y₁)+y₁」을 이용하여 계산하고, y가 y₁보다 작으면 「y₁-a/w(y₁-y)」을 이용하여 계산하였다(山崎, 1984). 각각의 농도별로 배양액을 조제할 때는 수돗물 내에 들어 있는 무기 성분들을 배제하기 위하여 증류수를 사용하였다.

정식 후부터 용기내 배양액의 EC와 pH를 매일 측정하였으며 EC는 EC meter(CM-20E, TOA)로, pH는 pH meter(HM-20E, TOA)로 측정하였다. 오이가 흡수한 배양액량은 용기 안쪽에 부착해 둔 눈금자의 수위차로 측정하였다. 또한 식물체가 흡수한 배양액량을 측정할 다음 줄어든 양만큼 증류수를 다시 채우고 공급한 물량에 해당하는 양만큼 배양액의 원액을 계산하여 공급하였다.

배양액과 식물체내 무기 성분들을 조사하기

위하여 배양액과 식물체 분석을 실시하였다. 우선 채취한 배양액은 No.2 여과지로 여과하여 분석 시료로 준비하였다. 식물체는 잎, 줄기(엽병 포함), 열매로 구분하여 채취한 다음 풍건 건조기에 넣어 70℃에서 완전히 건조시킨 후 분쇄하여 분석 시료로 준비하였다. 식물체내 질소 함량을 측정하기 위하여 시료 0.5g을 평량하여 micro Kjeldahl flask에 넣고 분해촉진제(CuSO₄ : K₂SO₄ = 1 : 9) 3g과 진한 H₂SO₄ 10ml를 첨가하여 분해조에서 360℃로 2시간 동안 분해하였다. 질소 이외의 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량을 측정하기 위하여 시료 0.5g을 10 ml 삼각 플라스크에 넣고 ternary solution(HNO₃ : H₂SO₄ : HClO₄ = 10 : 1 : 4) 10ml를 넣은 후 분해조에서 230℃로 2시간 동안 분해하였다. 준비된 배양액 및 식물체 시료들은 분석 기기를 이용하여 정량하였는데, 질소는 자동증류기(323, BUCHI)로 증류한 후 0.05 N H₂SO₄로 적정하여 건물중 100g에 대한 g으로 환산하였다. 인산은 Vanadate법으로 470nm에서 비색계(UV 2100, SHIMADZU)를 사용하여 비색 정량하였다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 원자흡광광도계(3100, PERKIN-ELMER)를 사용하여 정량한 후 건물중 100g에 대한 g으로 환산하였다.

2. 개발 배양액의 적합성 검증

‘은성백다다기’ 오이를 공시 재료로 하여 1996년 9월 7일에 위의 실험과 동일한 혼합 배지가 들어 있는 128공 플러그 트레이에 파종하고 9월 23일에 오이 묘를 압면이 들어 있는 베드(120cm×25cm×14cm) 위에 정식하였다. 위의 실험에서 개발된 배양액의 적합성 여부를 알아보기 위하여 다른 오이 재배용 배양액과의 비교 실험을 실시하였는데 실험에 사용된 배양액은 山崎 배양액, 화란 온실작물연구소(Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk; PTG) 배양액, 그리고 본 실험에서 개발된 SCU(Seoul City University) 배양액이었다. 각 배양액의 무기성분 조성은

결과 및 고찰의 표 4와 같으며 배양액 농도는 山崎 배양액과 PTG 배양액은 1 배액으로 하였으며 SCU 배양액은 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액으로 구분하여 실험에 사용하였다.

정식 후부터 2일 간격으로 배양액의 EC, pH 및 배양액량을 조절하였으며, 배양액의 EC는 자동 EC 조절기(CETW-300T, KAWAMOTO)를 이용하였으며 pH는 자동 pH 조절기(PET-300A, KAWAMOTO)를 이용하여 조절하였다. EC의 경우 山崎 배양액은 $2.05\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (1 배액), PTG 배양액은 $1.62\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (1 배액), SCU 배양액은 $0.89\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (1/2 배액), $1.71\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (1 배액) 및 $2.55\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (3/2 배액)로 조절하였고 pH는 모든 배양액에서 5.8 ± 0.1 로 조절하였다.

배양액내 무기 성분들의 농도 변화를 조사하기 위하여 9월 23일을 1차로 하여 10월 14일, 10월 23일, 10월 30일, 11월 6일에 순차적으로 배양액을 채취하였다. 또한 식물체내 무기성분 함량을 조사하기 위하여 식물체 시료를 채취하였다. 배양액 및 식물체 분석은 배양액 개발 실험과 동일한 방법으로 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 배양액 개발

오이 순환식 고품배지경에 적합한 배양액 조성 및 농도를 알아보기 위하여 일본 야채 시험장(National Horticultural Research Station in Japan) 표준액을 이용하여 세 수준의 농도, 즉 1/2 배액(1/2 S), 1 배액(1 S) 및 3/2 배액(3/2 S)으로 오이를 재배하면서 양수분흡수율(n/w)을 조사하였다(표 1). 영양 생장기와 생식 생장기로 나누어 양수분흡수율을 조사하였을 때, $\text{PO}_4\text{-P}$, Ca 및 Mg는 두 생장기간 동안 양수분흡수율의 차이가 없었지만 K는 영양 생장기보다 생식 생장기에 1/2 배

액과 1 배액에서 감소하는 경향을 보였다.

근권내 EC와 pH 변화는 세 가지 수준의 농도처리 모두에서 재배기간 동안 대체로 안정된 경향을 보였다(그림 1). 근권내 EC는 1/2 배액 < 1 배액 < 3/2 배액 순으로 높았으며 pH는 저농도인 1/2 배액에서 가장 높았으며 3/2 배액으로 갈수록 낮아졌다. 1/2 배액과 1 배액에서는 EC가 일정하게 유지되는 경향을 보였지만 3/2 배액에서는 재배 후기에 EC가 차츰 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이것은 오이 순환식 고품배지경에서 높은 농도의 배양액이 공급됨으로써 작물이 흡수하는 이온보다 많은 양의 이온이 배양액 내에 집적되어 EC가 높아진 것으로 보인다. 안과 이(1991)는 미나리를 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액으로 농도를 달리하여 수경 재배했을 때 1/2 배액과 1 배액에서는 EC의 변화폭이 작았으며 3/2 배액에서는 EC가 높아졌다고 보고하여 본 실험과 같은 경향을 보였다. 山崎(1981)는 n/w에 의해 조성된 배양액은 재배기간 중에 농도가 거의 변하지 않으며 약간의 변화가 생겨도 해당 조성이나 농도의 배양액을 보충하여 주면 대부분의 경우 다시 안정된다고 하였다. 본 실험에서도 실험기간 동안 EC와 pH가 안정된 것을 관찰할 수 있었다.

배양액의 pH는 8월 9일에 갱신하였기 때문에 모든 농도구에서 8월 9일 이후로 낮아졌는데(그림 1), 1/2 배액과 1 배액은 갱신 후 낮아졌다가 다시 높아진 반면에 3/2 배액은 계속 낮아졌다. 1/2 배액과 1 배액에서 pH가 낮아지다가 다시 증가한 것은 일본 야채 시험장 표준액이 P 급원으로 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 를 사용하는 관계로 오이가 배양액내 NH_4^+ 이온을 우선적으로 흡수하면서 일시적으로 pH가 낮아지지만 NH_4^+ 흡수가 이루어지고 나면 NO_3^- 를 급속히 흡수하면서 pH 상승 단계로 전환되기 때문으로 보인다. 반면에 3/2 배액에서 pH가 서서히 낮아지는 경향을 보인 것은 배양액내 양이온인 NH_4^+ 와 K^+ 이온의 흡수가 지속적인 것으로 이루어지면서 나타난 것으로 보인다.

Table 1. Calculated n/w values of cucumber plants based on the Yamasaki's formula in substrate culture.

Growth stage	Nutrient conc.	Items measured	Water (ℓ)	Items measured	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
					(me · ℓ ⁻¹)			
Vegetative stage	1/2 S'	a	20.0	y	1.81	3.61	2.39	1.94
		w	24.95	y _i	1.02	2.60	2.32	3.94
		a/w	0.802	n/w ¹	1.65	3.41	2.38	2.34
	1 S	a	20.0	y	3.40	6.34	4.43	3.64
		w	20.35	y _i	2.50	5.91	5.40	4.21
		a/w	0.983	n/w	3.38	6.33	4.44	3.65
	3/2 S	a	20.0	y	5.48	12.4	6.60	6.14
		w	26.85	y _i	4.30	5.22	8.02	8.20
		a/w	0.745	n/w	5.18	10.6	6.96	6.66
Reproductive stage	1/2 S	a	20.2	y	1.81	3.61	2.39	1.94
		w	38.1	y _i	1.18	0.78	2.46	1.58
		a/w	0.524	n/w	1.51	1.49	2.42	1.77
	1 S	a	20.0	y	3.40	6.34	4.43	3.64
		w	29.4	y _i	3.59	2.30	5.27	3.64
		a/w	0.680	n/w	3.46	5.05	4.70	3.64
	3/2 S	a	20.0	y	5.48	12.4	6.60	6.14
		w	19.6	y _i	6.67	6.95	9.79	12.0
		a/w	1.020	n/w	5.46	12.5	6.53	6.02

¹ Strength of nutrient solution.

² The formula devised by Yamasaki to determine the amount of macronutrients and water uptake at regular intervals.

$$y > y_i, n/w = \frac{a}{w}(y - y_i) + y_i$$

$$y < y_i, n/w = y_i - \frac{a}{w}(y_i - y)$$

n; nutrient absorption.

a; Initial volume of culture solution in each container (ℓ).

w; The amount of water absorbed by plants (ℓ).

y; The initial concentration of macronutrients in culture solution (me · ℓ⁻¹).

y_i; The final concentration of macronutrients in culture solution (me · ℓ⁻¹).

山崎(1984)도 일본 야채 시험장 표준액을 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액으로 조제하여 실험했을 때 배양액의 농도가 낮을 수록 pH가 높아진다고 하였으며, 이러한 pH의 상승은 용수의 pH가 7.3~7.5로 높고 배양액 농도가 낮을 수록 그 영향이 크기 때문에 서서히 추비를 하면 모두 약간 저하된다고 하였다. 또

한, 안과 이(1991)도 일본 야채 시험장 표준액을 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액으로 하여 미나리를 수경 재배했을 때 pH는 1/2 배액과 1 배액에서 변화폭이 작았으며 3/2 배액에서는 생육이 진전됨에 따라 저하되는 것을 볼 수 있다고 하여 본 실험 결과와 유사한 결과를 보여 주었다.

Table 2. Effects of different nutrient concentrations on the growth and the early yield of cucumber plants using the nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan.

Nutrient conc.	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	No. of marketable fruits	Marketable yield (g · plant ⁻¹)
1/2 S	334 a [*]	10.2 a	23.9	33.9 b	36.5	10 b	1807 b
1 S	322 b	10.2 a	25.2	35.9 a	36.0	13 a	1911 a
3/2 S	310 c	9.1 b	24.6	34.0 b	36.0	10 b	1360 c

^{*} The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

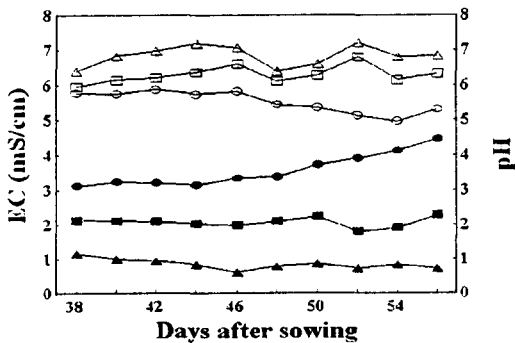


Fig. 1. Changes of EC and pH in root zone based on the different nutrient concentrations [EC; 1/2 S (▲), 1 S (■), 3/2 S (●), pH; 1/2 S (△), 1 S (□), 3/2 S (○)].

세 가지 수준의 배양액 농도가 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향을 보면 표 2와 같다. 오이의 초장은 배양액 농도를 높임에 따라 짧아졌으며 엽장, 엽폭 및 엽수는 처리 배양액 농도간에 별로 차이가 없었으나 상품과수와 상품수량은 1 배액에서 가장 많았다. 상품수량은 3/2 배액에서 1/2 배액이나 1 배액에 비하여 매우 낮은 결과를 보여 주었다. 이것은 고온기에 실험을 수행한 결과 고농도 배양액에서 생육 및 수량이 낮게 나타난 것으로 보인다.

일본 야채 시험장 표준액을 1/2 배액, 1 배

액 및 3/2 배액의 세 가지 농도로 하여 오이를 재배한 후 오이 잎과 과실내의 무기성분 함량을 측정하였다(표 3). 엽내 P 함량은 배양액 농도가 높을 수록 높아졌으며, Ca와 Mg 함량은 낮아졌다. N과 K 함량은 1 배액에서 가장 높게 나타났다. 과실내 N, P, K 및 Mg 함량은 1 배액에서 가장 높았으나 Ca 함량은 1 배액에서 1/2 배액과 3/2 배액보다 낮았다. 오이의 엽내 적정 무기성분 함량은 N 2.5~3.5%, P 0.2~1.0%, K 3.5~4.5%, Ca 2.5~4.5%, Mg 0.6~1.0%인 것으로 판단된다(中村과 渡部, 1989; De Kreij 등, 1990; Jones 등, 1991). 이 자료를 기준으로 본 실험에서 측정된 엽내 무기성분 함량을 평가하면, 엽내 P, Ca 및 Mg 함량은 세 가지 농도에서 모두 적정 함량을 나타냈지만, N은 1 배액과 3/2 배액, K는 1/2 배액과 1 배액에서 적정 함량을 나타냈다. 한편, K 함량은 잎보다 과실에서 높았으며 Ca와 Mg 함량은 잎보다 과실 내에 상당히 적은 양으로 존재하였다. Jones 등(1991)도 과실이 비대함에 따라 잎으로부터 과실로의 Ca 이동이 매우 제한된다고 보고하였고, Sonneveld(1981) 및 Sonneveld와 Welles(1984)도 과채류의 경우 K는 비교적 쉽게, 반대로 Ca는 어렵게 흡수된다고 하였는데, 본 실험에서도 과실 내로의 Ca 이동이 낮아 다량원소 중 가장 낮은 함량을 나타냈다. 특히 생육과 수량이 높게 나타났던 1 배액에서 과실내 Ca 함량이 낮게 나타난 원인은 과

Table 3. Nutrient contents of leaves and fruits of cucumber grown under different nutrient concentrations.

Nutrient concentration	Nutrient content (g/100g dry matter)				
	N	P	K	Ca	Mg
	-Leaf-				
1/2 S	2.035 c ⁴	0.426 c	4.382 a	3.138 a	0.929 a
1 S	3.364 a	0.633 b	4.631 a	2.946 a	0.737 b
3/2 S	2.805 b	0.759 a	3.345 b	2.501 b	0.598 c
	-Fruit-				
1/2 S	1.181 c	0.668 b	3.706 b	0.323 a	0.402 a
1 S	2.826 a	1.052 a	5.318 a	0.215 b	0.412 a
3/2 S	1.399 b	0.966 a	5.037 a	0.332 a	0.322 b

⁴ The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

실내 K 함량의 증가가 주원인으로 보이지만 이것은 계속적으로 연구해야 할 과제라고 생각한다.

이상을 종합해 보았을 때, 작물의 영양 특성에 일치하는 배양액 처방이라는 것은 재배기간 중에 배양액내 이온 조성과 농도의 변화가 적은 것을 의미할 뿐만 아니라 고품질의 생산물을 많이 얻으면서도 비료의 낭비가 적어 실질적인 생산성이 높아지는 특성을 지닌 것을 의미한다(池田, 1986). 본 실험에서는 일본 야채 시험장 1 배액에서 배양액의 EC와 pH의 변화가 적고 생육과 수량도 많았으므로, 이것을 오이의 영양 특성에 맞는 배양액이라고 말할 수 있다. 따라서, 생육 단계별 양수분 흡수율에 의해 개발된 오이 순환식 고품배지 재배용 배양액의 조성은 영양 생장기 동안에는 N 11.4, K 6.0, P 3.3, Ca 4.5 및 Mg 3.5 $me \cdot l^{-1}$ 이었고, 생식 생장기 동안에는 N 10.4, P 3.3, K 5.0, Ca 4.5 및 Mg 3.5 $me \cdot l^{-1}$ 이 적합한 것으로 나타나 이 조성을 오이 순환식 고품배지 재배용 SCU 배양액으로 하였다.

2. 개발 배양액의 적합성 검증

본 실험에서 오이 순환식 고품배지 재배용 배양액으로 개발된 SCU 배양액의 적합성을 검증하기 위하여 山崎(1984)가 개발한 오이

순수 수경재배용 순환식 배양액과 화란 온실 작물연구소(PTG)에서 개발한 오이 압면재배용 순환식 배양액과의 비교 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 세 가지 배양액의 무기성분 조성은 표 4와 같다.

山崎 배양액, PTG 배양액 및 새로 개발된 SCU 배양액을 사용하여 오이를 재배했을 때 근권내 EC와 pH 변화를 조사한 결과(그림 2), 세 가지 종류의 배양액 모두 생육기간 동안 EC는 안정적이었으며 pH도 EC와 마찬가지로 유사한 결과를 보였다. 山崎 배양액은 PTG 배양액이나 SCU 배양액에 비하여 근권내 EC가 약간 높게 나타났는데, 이것은 山崎 배양액 중의 2가 이온이 다른 두 배양액보다 높았기 때문으로 판단한다.

山崎(1984) 배양액의 1 배액, PTG(1992) 배양액의 1 배액, SCU 배양액의 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액을 가지고 순환식 고품배지 시스템으로 오이를 재배하면서 재배기간 동안 다섯 차례에 걸쳐 배양액을 채취하여 배양액내의 다량원소 농도를 측정하였다(그림 3~7). 다섯 가지 처리구에서 배양액내 N, P 및 K 함량은 생육이 진전됨에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 특히 P와 K 함량은 착과기에 해당되는 10월 23일 이후로 감소하는 경향이 뚜렷하였다. N, P 및 K와는 달리 배양액내

Table 4. Concentrations of macronutrients in the nutrient solutions used in closed culture system of cucumber plants.

Nutrient solution	Growth stage	Nutrient concentration (me · ℓ ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg
Yamasaki ⁴		13.0	3.0	6.0	7.0	4.0
PTG ⁵		13.0	3.0	6.5	5.5	2.0
SCU ⁶	Vegetative stage	11.4	3.3	6.0	4.5	3.5
	Reproductive stage	10.4	3.3	5.0	4.5	3.5

⁴ Nutrient solution of Yamasaki(Yamasaki, 1984).

⁵ Nutrient solution of Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk(PTG) (Sonneveld and Straver, 1992).

⁶ Nutrient solution of Seoul City University(SCU) for cucumber substrate culture in closed culture system.

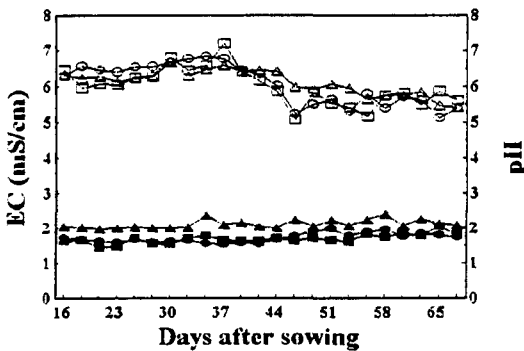


Fig. 2. Changes of EC and pH in root zone based on the different nutrient solutions [EC; Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1 S (●), pH; Yamasaki 1 S (△), PTG 1 S (□), SCU 1 S (○)].

Ca 함량은 완만하게 상승하는 경향을 보였으나, Mg 함량은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

山崎 처방은 무기 성분의 균형을 유지하기 쉬운 처방이라고 말할 수 있지만, 장기 재배가 요구되는 과채류에서는 점차적으로 특정 성분의 상승과 하강이 일어난다. 토마토의 경우 NO₃-N, K, P는 농도가 저하되고 Ca와

Mg 농도는 상승한다고 하였다(佐佐木, 1986; 嶋田, 1989; 板東, 1991). Morimoto와 Nishina (1992)도 배양액 내의 Ca는 토마토에 의한 흡수가 적기 때문에 재배기간 동안 배양액 내에서 높은 농도를 나타내며, 반면에 K는 흡수가 높기 때문에 배양액 내에서 낮은 농도로 유지되거나 결핍 상태를 나타낸다고 하였다. 이 경향은 토마토 과실의 발육 단계에 현저하게 나타나므로 Ca와 K는 토마토 수경재배시 배양액 조절을 모니터링하는데 중요한 이온들이라고 지적하였다. 김 등(1996)도 토마토의 DFT(Deep flow technique)와 NFT(Nutrient film technique) 재배에서 배양액 성분 중 Ca와 Mg는 증가하는 추세를 보이고 K는 감소하는 경향을 보였으며 특히 P는 뚜렷하게 감소되어 재배 후기에는 초기 조절치보다 상당량이 감소되었다고 보고하였다.

이처럼 과채류 양액재배에서는 일반적으로 N, P 및 K 함량의 저하와 Ca와 Mg 함량의 상승이 나타난다. 그러나 본 연구에서 3가지 배양액에서 배양액내 N, P 및 K 함량의 저하와 Ca 함량 상승이 나타났지만 문제가 될 정도는 아니었다.

서로 다른 배양액 조건에서 재배된 오이의 광합성속도와 증산속도를 측정한 결과(표 5), 광합성속도는 SCU 1 배액, 3/2 배액 및

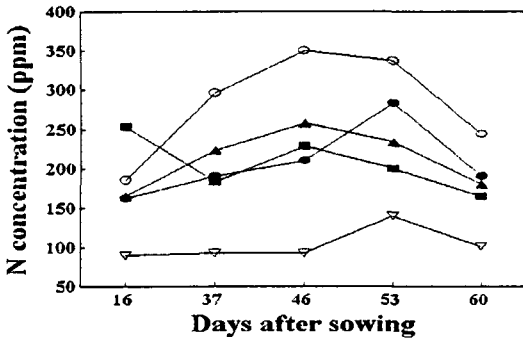


Fig. 3. Changes of N concentration in root zone based on different nutrient solutions and nutrient concentrations [Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1/2 S (▽), SCU 1 S (●), and SCU 3/2 S (○)].

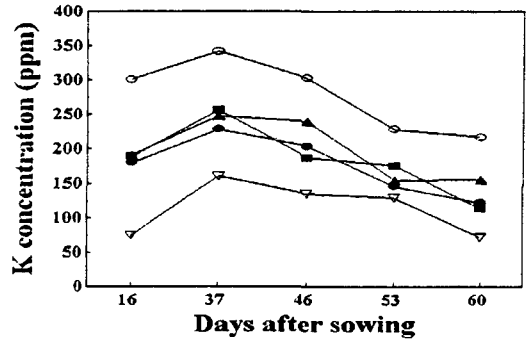


Fig. 5. Changes of K concentration in root zone based on different nutrient solutions and nutrient concentrations [Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1/2 S (▽), SCU 1 S (●), and SCU 3/2 S (○)].

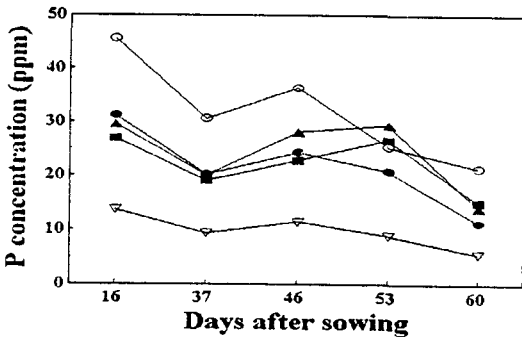


Fig. 4. Changes of P concentration in root zone based on different nutrient solutions and nutrient concentrations [Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1/2 S (▽), SCU 1 S (●), and SCU 3/2 S (○)].

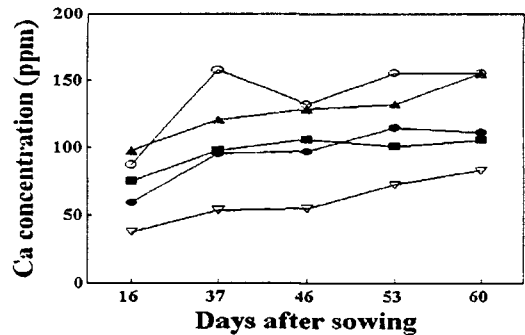


Fig. 6. Changes of Ca concentration in root zone based on different nutrient solutions and nutrient concentrations [Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1/2 S (▽), SCU 1 S (●), and SCU 3/2 S (○)].

山崎 1 배액에서 높았으며 SCU 1/2 배액과 PTG 1 배액에서 낮았다. 특히 SCU 1/2 배액에서 광합성속도가 낮았던 이유는 배양액 내의 낮은 무기성분 농도로 인하여 오이가 광합성에 필요한 무기 성분들을 충분히 흡수하지

못했기 때문이라 생각한다. 이 결과는 加藤 (1985) 및 加藤와 安岡 (1967) 등의 연구 결과와도 일치하였다. 즉, 오이의 광합성에 대한 N, P 및 K의 영향을 보면, N, P 및 K 중에 어느 한가지가 결핍되어도 광합성 능력이 저

Table 5. Effects of different nutrient solutions and nutrient concentrations on net CO₂ assimilation rate, stomatal resistance, and transpiration rate of cucumber leaves 50 days after sowing.

Nutrient solution	Nutrient concentration	Net CO ₂ assimilation rate ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	Stomatal resistance ($\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	Transpiration rate ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Yamasaki	1 S	20.63 ab ¹	0.321 a	23.85 a
PTG	1 S	18.83 b	0.324 a	20.63 b
SCU	1/2 S	14.68 c	0.273 c	20.42 b
	1 S	21.60 a	0.297 b	22.75 a
	3/2 S	22.07 a	0.315 a	22.87 a

Measuring condition: light intensity; 610~670 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, CO₂ concentration; 610~670 ppm, leaf temperature; 27~29°C, RH; 50~60%.

¹ The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

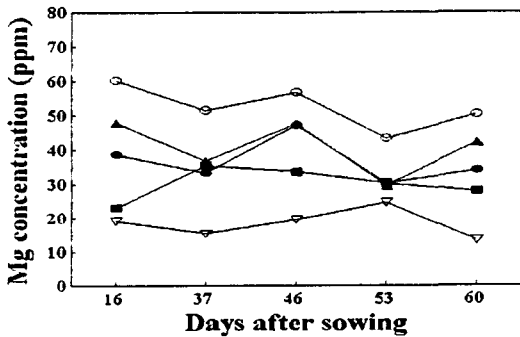


Fig. 7. Changes of Mg concentration in root zone based on different nutrient solutions and nutrient concentrations [Yamasaki 1 S (▲), PTG 1 S (■), SCU 1/2 S (▽), SCU 1 S (●), and SCU 3/2 S (○)].

하되는데 이 중에서도 특히 N의 영향이 크다고 한다. 생육 초기에 광합성속도가 저하되는 것은 엽내의 N이 작물의 생육과 결실을 위하여 이동되어 엽내 N 함량이 낮아졌기 때문으로 본다.

정식 40일후 배양액 종류와 농도 차이에 따른 초장은 SCU 1 배액에서 가장 높았으며 山

崎 1 배액과 SCU 1/2 배액에서 낮게 나타났다(표 6). SCU 1/2 배액에서 생장 요소들이 가장 낮게 나타났으나 그 외의 4가지 처리구에서 경경, 엽장, 엽폭 및 株당 엽수는 처리간에 차이를 거의 보이지 않았다.

정식후 55일에 조사한 생장 요소들 중 경경, 엽장, 엽폭 및 株당 엽수는 정식후 40일의 생육 조사 때와 마찬가지로 처리간에 차이를 보이지 않았으며 초장도 SCU 1 배액에서 가장 높았다. 또한, 생체중은 SCU 3/2 배액에서 가장 높았지만 건물중은 SCU 1 배액에서 가장 높았다(표 7).

각 처리별로 오이의 잎과 과실내 무기성분 함량을 분석하여 中村과 渡部(1989)가 제시한 오이 영양진단 기준에 따라 엽내 적정 무기성분 함량을 비교하였다(표 8). 엽내 N, P, K 및 Ca 함량은 SCU 1/2 배액에서 가장 낮았으며 특히 N, P 및 Ca 함량은 적정 범위에 미치지 못하는 수준으로 결핍을 나타내는 함량이었다. SCU 1/2 배액 이외의 네 가지 처리에서 N, P 및 K 함량은 적정 수준을 나타냈다. Ca 함량은 PTG 1 배액과 SCU 1/2 배액에서 적정 수준보다 낮게 나타났다. Mg 함량은 山崎 1 배액, SCU 1 배액에서 최적 수준을 나타냈으나 다른 처리에서의 함량도 결핍 수준은 아닌 것으로 나타났다. 본 실험 결

Table 6. Effects of different nutrient solutions and nutrient concentrations on the growth of cucumber plants 40 days after transplanting.

Nutrient solution	Nutrient concentration	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves
Yamasaki	1 S	142 d'	9.15 a	22.1 a	29.6 ab	21.8 a
PTG	1 S	154 b	9.17 a	21.0 ab	31.0 ab	21.3 a
SCU	1/2 S	152 c	8.75 b	19.5 b	28.5 b	22.0 a
	1 S	165 a	9.18 a	22.8 a	30.3 ab	22.5 a
	3/2 S	155 b	9.23 a	23.0 a	31.6 a	21.8 a

' The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

Table 7. Effects of different nutrient solutions and nutrient concentrations on the growth of cucumber plants 55 days after transplanting.

Nutrient solution	Nutrient conc.	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Weight (g · plant ⁻¹)	
							Fresh	Dry
Yamasaki	1 S	273 b'	9.67	21.5	31.5 a	28.3 a	534.8 c	51.05 b
PTG	1 S	276 b	9.95	21.5	29.5 ab	27.8 a	552.8 c	45.21 c
SCU	1/2 S	249 c	10.00	21.8	27.5 b	28.5 a	416.6 d	52.31 b
	1 S	302 a	9.95	21.5	28.4 ab	25.3 b	591.2 b	62.06 a
	3/2 S	288 ab	9.48	21.9	29.8 ab	27.5 a	661.0 a	47.72 c

' The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

과에서 대체적으로 엽내 무기성분 함량이 낮았던 것은 본 적응성 실험이 9월부터 11월의 늦가을에 걸쳐 수행되어 광강도나 온도 등의 기상 조건이 일반 오이 재배에서보다 낮았기 때문에 저농도인 1/2 배액에서 엽내 N, P 및 K 결핍이 나타난 것으로 판단한다. 반면에 Ca와 Mg 함량은 광환경에 의한 영향이 적은 관계로 (嶋田, 1993), Ca 결핍 수준으로 나타난 것은 배양액과 근권내 Ca 함량이 낮아 흡수가 적었던 것으로 보인다.

Adams와 Massey(1984)도 N과 K의 흡수는 일반적으로 수분흡수와 높은 유의성이 있으며, 또 두 이온의 흡수와 수분 흡수는 광강도와 높은 유의성이 있다고 보고하였다. 또한,

山崎(1981, 1984)는 양수분흡수율(n/w) 계산에 의하여 만든 오이 배양액의 경우, 일반적으로 秋冬作은 春夏作의 1.4~1.6배로, 또 결과 수확기에는 0.7~0.8배로 관리한다고 하였다. 작물마다의 배양액 조성은 생육 단계에 따라 거의 변하지 않지만 농도는 생육 단계에 따라 다소 변화시키는 것이 적합하다고 하였다. 본 실험에 있어서 배양액 개발 실험은 여름철에, 그리고 적응성 실험은 가을에 행해졌기 때문에 적응성 실험시 농도를 다소 높일 필요가 있었다고 생각하며 식물체내 무기성분 함량이 낮았던 이유도 이에 기인한다고 생각한다.

배양액 종류별 오이의 과장, 과경 및 평균 과중은 다섯 가지 처리간에 유의차가 없었지만 총수량은 SCU 1 배액에서 가장 높았으며 다음으로 山崎 배양액에서 높게 나타났다(표 9). 반면에 유럽 오이 재배에 적합한 PTG 배

양액에서 가장 낮은 수량을 보였다. 본 실험에서 동양계 오이에 적합한 배양액은 동양계 오이를 공시 품종으로 이용한 SCU액과 山崎액이라는 것을 확인시켜 주었다.

Table 8. Nutrient contents of leaves and fruits of cucumber grown in different nutrient solutions and nutrient concentrations.

Nutrient solution	Nutrient conc.	Nutrient content (g/100g dry matter)				
		N	P	K	Ca	Mg
- Leaf -						
Yamasaki	1 S	2.606 d	0.273 b	2.143 d	2.536 b	0.677 b
PTG	1 S	3.166 a	0.252 c	3.343 b	1.579 d	0.555 cd
SCU	1/2 S	1.164 e	0.149 d	1.817 e	1.490 d	0.541 d
	1 S	2.986 b	0.365 a	2.936 c	2.001 c	0.731 a
	3/2 S	2.856 c	0.283 b	3.779 a	2.812 a	0.586 c
- Fruit -						
Yamasaki	1 S	0.838 e	0.364 d	2.525 d	0.152 ab	0.200 b
PTG	1 S	1.874 a	0.568 b	4.190 a	0.137 b	0.273 a
SCU	1/2 S	1.321 d	0.414 c	2.614 d	0.172 a	0.260 a
	1 S	1.491 c	0.659 a	3.590 c	0.139 b	0.263 a
	3/2 S	1.732 b	0.354 d	3.746 b	0.161 ab	0.270 a

² The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

Table 9. Effects of different nutrient solutions and nutrient concentrations on early yield of cucumbers.

Nutrient solution	Nutrient concentration	Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)	Average fruit weight (g)	Total yield ($g \cdot plant^{-1}$)
Yamasaki	1 S	21.2	3.0	126.6	1645 ab ²
PTG	1 S	21.0	2.9	116.9	1404 d
SCU	1/2 S	21.2	3.0	125.7	1508 cd
	1 S	21.1	2.9	115.0	1724 a
	3/2 S	20.8	2.9	113.2	1584 bc

² The values followed by the same letter are not significantly different according to the Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

오이 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액 개발 실험과 개발 배양액의 적합성 검정 실험의 결과를 종합해 보면, 본 실험에서 개발된 SCU 배양액은 근권내 EC, pH 및 무기성분 농도의 변화가 적었다. 또한 기존에 개발되어 있는 오이 순환식 배양액과 비교할 때 생육과 수량면에서 우수하였다. 그러므로, SCU 배양액은 국내의 오이 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액이라 할 수 있다.

적 요

환경 보전에 대한 필요성이 대두되면서 비순환식 양액재배 시스템이 순환식 양액재배 시스템으로 전환됨에 따라 순환식 양액재배 시스템에 적합한 배양액의 개발이 시급히 요구되고 있다. 따라서, 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액을 개발하기 위하여 본 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 오이 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액 조성 및 농도를 알아보기 위하여 일본 야채 시험장 표준액을 1/2 배액, 1 배액 및 3/2 배액으로 조제하여 오이를 재배한 결과, 오이의 초장은 배양액농도를 높임에 따라 짧아졌으며 엽장, 엽폭 및 처리 농도간에 차이가 없었고 상품과수와 상품수량은 1 배액에서 가장 많았다. 양수분흡수율(n/w)에 따라 개발된 오이 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액 조성(SCU 배양액)은 영양 생장기 동안 N 11.4, P 3.3, K 6.0, Ca 4.5 및 Mg 3.5 me · ℓ⁻¹, 생식 생장기 동안 N 10.4, P 3.3, K 5.0, Ca 4.5 및 Mg 3.5 me · ℓ⁻¹이었다.

2. 순환식 배양액으로 개발된 SCU 배양액의 적합성을 검정하기 위하여 山崎 배양액, PTG 배양액 및 SCU 배양액에서 오이를 재배한 결과, 근권내 EC와 pH는 모든 배양액에서 생육기간 동안 안정적이었다. 배양액 내의 다량원소를 측정된 결과, 山崎 1 배액, PTG 1 배액, SCU 1/2 배액, SCU 1 배액 및 SCU 3/2 배액 모두 오이의 생육이 진전됨에 따라 배양액내 N, P 및 K 농도는 감소하였으며 Ca

농도는 완만하게 상승하였다. Mg는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 오이의 광합성속도는 SCU 1 배액, SCU 3/2 배액 및 山崎 1 배액에서 높았다. 생육은 SCU 1/2 배액에서 가장 낮았고 SCU 1 배액과 SCU 3/2 배액, 山崎 1 배액 및 PTG 1 배액에서는 처리간에 차이를 보이지 않았다. 엽내 N, P, K 및 Mg 함량은 SCU 1 배액, 山崎 1 배액 및 PTG 1 배액에서 적정 수준을 나타냈고 엽내 Ca 함량은 PTG 1 배액에서 낮았다. 총수량은 SCU 1 배액에서 가장 높았고 다음으로 山崎 1 배액에서 높았다. 따라서 본 실험에서 개발된 배양액(SCU 배양액)은 오이 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액이라 할 수 있다.

인용문헌

1. Adams, P. and P. M. Massey. 1984. Nutrient uptake by tomatoes from recirculating solutions. ISOSC Proceedings. pp. 71-79.
2. 안우범, 이병일. 1991. 미나리의 水耕栽培體系開發에 관한 基礎研究. II. 養液中の 多量要素組成. 韓園誌 32(4): 425-433.
3. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. European Vegetable R & D centre, Belgium. pp. 33.
4. De Kreij, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta Hort. 408: 47-61.
5. 池田英男. 1986. 作物の營養特性からみた培養液管理. 農業および園藝 61(1): 205-211.
6. Jones, Jr., J. B., W. Benjamin, and A. M. Harry. 1991. Plant Analysis Handbook, Micro-Macro Publishing Inc., Georgia pp. 6-17.
7. 加藤俊博. 1994. 切り花の養液栽培 - ロック養液土耕 水耕 -. 農山漁村文化協

- 會, 東京. pp. 115-116.
8. 加藤 徹. 1985. 野菜の生育診断 - その理論と觀察法 -. 農山漁村文化協會, 東京. p. 44.
 9. 加藤 徹, 安岡謙 . 1967. キュウリの葉色および同化作用におよぼすチッソの施肥形態と濃度の影響. 農業および園藝 42: 1419-1420.
 10. 김형준, 남윤일, 우영희, 송천호, 김동익. 1996. 원예작물의 한국형 양액, 배지 및 자동화 시스템 개발 - 양액재배의 효율성 증대를 위한 자동급액 시스템 개발과 작물 적용성 연구 -. 96 시험연구사업 결과 평가자료. 원예연구소 시설재배과.
 11. Morimoto, T. and Nishina. 1992. Sensor for ion-control - An approach to control of nutrient solution in hydroponics -. Acta Hort. 304: 301-305.
 12. 中村 宏, 渡部 一郎. 1989. 生物と電子工學. 筑波書房, 東京. pp. 26-32.
 13. 板東 一宏. 1991. 토마토의 循環式 록크우-얼栽培 (1). 農業および園藝 66 (6): 61-66.
 14. 嶋田典司. 1989. 養液栽培と植物營養. III. 培地のK, Ca, Mg의 밸런스と植物의 生長. 博友社, 東京. pp. 55-84.
 15. 嶋田典司. 1993. 農業技術大系 土壤施肥編. 2. 作物의 營養と生育. III. 養分吸收と元素의 生理作用. 農山漁村文化協會, 東京. p. 101.
 16. 佐佐木皓 二. 1986. 野菜 花き養液栽培의 現狀と今後의 發展方向. II. 水耕栽培 (NFT를 除く)의 現狀と問題點. 野菜試驗場. p. 16.
 17. Smith, D. L. 1988. Rockwool in horticulture. Grower Books, London. pp. 24-35, 47-72.
 18. Sonneveld, C. 1981. Items for application of macro-elements in soilless cultures. Acta Hort. 126: 187-195.
 19. Sonneveld, C. and G. W. H. Welles. 1984. Growing vegetables in substrates in the Netherlands. ISOSC proceedings. pp. 613-632.
 20. Sonneveld, C. and N. Straver. 1992. Voedingsoplossingen voor groenten en bloemen geteeld in water of substraten (Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates). Voedingsoplossingen glastuinbouw. No. 8. p. 15.
 21. 山崎肯哉. 1981. 養液栽培의 現狀と問題點 [1] 養液栽培(水耕)における培養液管理 - 作物別의 營養特性, とくにn/wについて -. 農業および園藝 56(4): 563-568.
 22. 山崎肯哉. 1984. 養液栽培全編. 博友社, 東京. pp. 34-40, 49-55.