

## Modeling Nutrient Uptake of Cucumber Plant Based on Electric Conductivity and Nutrient Solution Uptake in Closed Perlite Culture

Hyung Jun Kim\* · Young Hoi Woo · Wan Soon Kim · Sam Jeung Cho · Yooun Il Nam  
Protected Cultivation Div., National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 441-440, Korea

### Abstract

This study was conducted to develop a nutrient uptake model in cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Eunsung Backdadagi) plants for prediction of the amount of nutrients in drainage solution in a closed perlite culture system. Electrical conductivity (EC) of the nutrient solution was adjusted to 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, and 2.7 dS · m<sup>-1</sup>. The amount of nutrient solution absorbed in different EC treatments was not different until the mid stage of growth. However, after the mid growth stage, a high EC treatment resulted in less solution absorption. The absorption rates of K, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, Mg, and P increased continuously for a whole growing period in all treatments, while those of Ca decreased slightly. For S, the decrease was significant after the mid stage of growth. Although the amounts of absorbed inorganic ions in different EC treatments were not significantly different at the first stage of growth, they were significantly different after the mid stage of growth and decreased slightly at the end of growth stage. Models for predicting the amounts of each inorganic ion absorbed were developed by using EC and the amount of nutrient solution absorbed per unit radiation(mg · MJ<sup>-1</sup>), which proved to be practical with a positive correlation at 1 percent probability between the developed model and practical values.

Key words: cucumber, hydroponics, closed culture, perlite, nutrient ion, modeling

\*Corresponding author

### 서 언

미래지향적이며 환경오염 방지 및 비료비 절감을 위한 순환식 수경재배에서는 공급액의 양, 배액의 비율, 배지의 종류와 배수특성, 배액의 순환 방식 및 재 사용되는 양액의 조성방법 등이 우선적으로 해결되어야 한다(Böme, 1995a). 순환식 수경재배에서 배액을 재 사용할 경우 무기이온 조성을 다시 조정하지 않으면 Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 등의 일부 무기이온이 배지에 집적되어 작물의 생육을 억제시키므로 배액 재사용에서 가장 중요한 요인은 공급에 대한 배액의 비율과 다시 사용되는 배액의 무기이온 재조성이다(Kupers et al., 1992; Böme, 1995b). Hardgrave(1993)는 오이와 토마토에서 순환과 비순환식으로 암면재배한 결과 오이의 경우 1년차 시험(1991년)에서 순환식이 비순환식에 비하여 수량과 품질이 우수하였으나 2년차 시험(1992)에서는 *Phytophthora*

*aphanidermatum*군에 의한 감염으로 수량이 감소되었으며, 토마토의 경우 순환식 재배에서 EC 조절이 어려워 1년차 및 2년차 모두 비순환 수경재배에 비하여 수량이 감소되었다고 하였다. 이렇듯 순환식 수경재배는 EC조절 및 이온성분의 조절이 어렵다. Smith (1988)는 순환식 암면재배 양액조성시 비순환식보다 Fe는 약 3배 정도, Mn는 2배 정도 더 추가해야 한다고 하였으며, Ca와 K 첨가량도 약간 증가시켜야 한다고 하였다. 순환식 수경재배에서의 양액조성은 비순환식보다 어려우며 현재는 비순환식 양액을 순환식에 그대로 사용하고 있으나 앞으로 순환식에 맞는 양액조성이 필요하며 이 경우 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 비율등 주로 K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등의 이온에 초점을 맞추어야 한다(Kreij, 1995). 양액의 전기전도도(EC)가 증가할수록 수분흡수는 감소되지만 양분흡수는 빠르게 진행되는 반면 저농도에서는 느리게 진행되어 단위 수분 흡

수량에 따른 무기이온 흡수량은 고농도에서 많아 수분과 양분의 흡수는 상호 독립적이라고 한다(Sonneveld and Voogt, 1990). Masuda et al.(1990)은 NFT 재배시 EC가 증가할수록 수분 흡수는 감소된 반면 Ca를 제외한 모든 무기성분의 흡수는 증가된다고 하였다. Schacht and Schenk(1990)은 오이 영양생장기의 질소 흡수량은 생육일수와 일사량에 좌우된다고 보고, 일사량과 생육단계에 기초한 모델을 적용할 경우 작물의 질소 요구도에 맞는 양액을 공급할 수 있다고 하였다. 따라서 오이를 대상으로 양액농도 및 단위일사량당 양액흡수량에 따른 양수분 흡수특성을 구명하여 순환식 수경재배의 양액 제어 알고리즘에서 사용 가능한 작물의 무기이온 흡수 예측 모델식을 얻고자 본 실험을 수행하였다.

### 재료 및 방법

본 실험은 ‘은성 백다다기’ 오이(*Cucumis sativus* L. cv. Eunsung Backdadagi)를 시험재료로 사용하여 수원 원예연구소 PC 온실에서 수행하였다. 2000년 3월 6일 육묘용 상토가 들어있는 50공 플러그 트레이에 파종하였다. 파종 후 15일까지는 지하수로 관수하고, 15일 이후에는 EC 1.0 dS·m<sup>-1</sup>의 배양액으로 공급하였다. 정식하기 전에 작물의 뿌리 활착과 배지내 수분 평형을 유지하기 위해 EC 1.5 dS·m<sup>-1</sup>의 오이재배용 양액으로 배지를 포수 시켰다. 파종 후 32일에 폭 27 cm, 길이 27 cm, 높이 20 cm의 투명 플라스틱 통을 이용한 재배용기 10개의 포트에 각각 2주씩 정식하였다.

근관내 EC가 무기이온 흡수에 미치는 영향을 알아보고자 Yamazaki 오이액 기준으로 EC 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 및 2.7 dS·m<sup>-1</sup>로 각각 2포트씩 처리하였다.

배지는 대립 필라이트를 사용하였다. 원활한 배수를 위하여 용기바닥에 요철로 된 판을 깔았으며 모서리에 지름 1.5 cm의 구멍을 내고 고무 파이프(지름 2 cm×길이 3 cm)를 부착하였다. 뿌리가 자라 배수구가 막히는 것을 방지하기 위하여 방근천을 용기 안쪽에 덮고 배지를 채웠다. 아랫 부분의 양액 저장용기는 윗 부분의 재배용기와 동일한 용기를 사용하였으며, 재배용기에는 배지내 광유입 및 근권온도 유지를 위하여 알루미늄 접착스폰지를 부착하였다. 윗 부분의 재배용기를

고정하기 위하여 아연도금 파이프로 지주를 설치하였다. 저장용기의 양액을 재배용기로 공급시키는 펌프는 수족관에서 사용하는 소형 순환모터(220 V, 12 W)를 사용하였다. 양액공급량(900~1000 mL·min<sup>-1</sup>)이 같도록 하기 위하여 5~7개의 구멍(지름 1 mm)을 뚫은 공급관(직경 13 mm 연질파이프)을 배지위에 배열하여 양액을 공급하였다. 양액 저장용기의 무게를 측정하기 위해 공급관과 저장용기를 분리할 수 있는 커플링을 사용하여 착탈이 용이하도록 하였다. 양액공급의 1회 공급시간은 재배용기의 배지와 양액저장 용기내 양액이 충분히 섞이도록 10분으로 조절하였다. 배양액은 Yamazaki 오이액(N 13, P 3, K 6, Ca 7, Mg 4 me·L<sup>-1</sup>)으로 사용하였다(Yamazaki, 1984). 양액 공급 및 소모량 측정은 일주일 단위로 수행하였다. 6월 8일 이후 하염을 2주일 단위로 제거하였으며 제거후 엽면적을 측정하여 전체 엽면적에 포함시켰다.

오이의 무기이온별(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 흡수 특성을 일주일 단위로 조사하고 양액을 교체하였다. 일주일 단위로 동일한 양액을 양액 저장용기에 4/5 정도 채우고 무게를 측정후 양액을 채취하였으며, 7일 후에 남아있는 양액을 포트별로 무게를 측정하고 양액을 채취하였다. 양수분 흡수율은 n/w식을 이용하여 계산하였다(Yamazaki, 1984).

채취한 양액은 실험실에서 51배 희석하고 희석한 액을 ionchromatography(DX500, Dionex)를 이용하여 양이온과 음이온을 분석하였다. 이온 분석에 사용된 양이온 컬럼은 CG12A 4 mm, CS12A 4 mm이었고 음이온 컬럼은 AG11 4 mm, AS11 4 mm이었다. 서프레세는 양이온으로는 CSRS-ULTRA 4 mm와 음이온으로는 ASRS-ULTRA 4 mm를 사용하였다. Eluent 조제시 오차를 막기 위하여 eluent 자동조제기(EG40, Dionex)를 사용하였는데 eluent 자동조제기의 양이온 cartridge는 EGC-KOH, 음이온 cartridge는 EGC-MSA를 사용하였다.

### 결과 및 고찰

공급양액의 EC가 오이의 양액흡수량에 미치는 영향은 Fig. 1에서 보는바와 같다. 5월 하순까지 EC와 관계없이 정식 후 생육일수에 따라 증가되었으나 이후에는 일사량의 증감에 관계없이 일정한 수준을 유지하였

순환식 펄라이트재배에서 전기전도도와 양액흡수량을 이용한 오이 양분 흡수 모델링

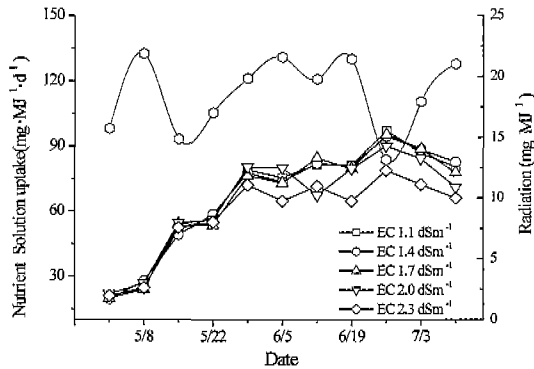


Fig. 1. Effect of nutrient concentration on nutrient solution uptake per radiation on cucumber plant.

다. 이것은 오이의 지속적인 하엽제거로 엽면적이 계속 증가되지 않고 일정수준에 머물러서 단위일사량당 양액흡수량도 일정수준(60~90 mg·MJ<sup>-1</sup>·day<sup>-1</sup>)을 유지한 것으로 생각되었다. 생육중기까지 EC에 따른 양액흡수량은 차이가 없었지만 중기 이후에는 EC가 높을수록 양액흡수량이 감소하는 경향을 보였으며 높은 농도에서의 단위일사량당 양액흡수량이 생육 후기로 갈수록 차이가 많아져서 생육후기에는 EC가 양액 흡수량에 영향을 미칠 것으로 생각되었다. 그러나 본 시험에서의 EC는 일반적인 재배조건에서 사용되는 수준을 사용하였기 때문에 EC에 따른 양액의 흡수량 차이가 작물 생육에 미치는 영향은 크지 않았다. Schwarz와 Kuchenbuch(1997)는 EC에 따른 수분 흡수 저해는 일사강도가 높을수록 크며 9 MJ·day<sup>-1</sup>일 때 EC의 수분 흡수 저해율은 10%였으나 22 MJ·day<sup>-1</sup>일때는 20%로 증가된다고 하였다. 양액의 EC에 따른 오이의 생육은 Table 1에서 보는 바와 같이 초장은 고농도 처리인 EC 2.7 dS·m<sup>-1</sup> 처리구에서 짧았고 기타 처리구에서는 차이가 없었으며 EC가 낮을수록 길어지는 경

향을 보였다. 엽수는 차이가 없었으나 엽면적은 고농도에서 작았고 나머지 처리에서는 차이를 보이지 않았지만 적정 농도인 2.1 dS·m<sup>-1</sup>에서 가장 높았다. 이에 따라 엽생체중 및 엽건물중도 고농도 및 저농도 처리에서 낮았다.

Adams and Ho(1995)도 근관내 EC 상승시 토마토나 오이에서 전체 과실의 크기가 작아지는 것은 같은 경향이었다고 하였다. 그러나 근중에 있어서는 저농도 처리구에서 기타 처리에 비하여 작은 경향을 보였다. 이것은 잎의 생육 부진이 그 원인이라 생각되는데, Marcelis et al.(1998)은 작물 잎의 생육 부진은 작물의 생장을 감소로 이어지고 이것은 뿌리의 생육도 감소시킨다고 하였다. 오이의 수량은 Table 1에서 보는 바와 같이 저농도에서 가장 낮았고 기타 처리에서는 차이가 없었다. 과실의 평균 무게는 EC 2.4 dS·m<sup>-1</sup>에서 가장 높았으며 저농도에서 가장 작았고 고농도에서도 유의성은 없었으나 가장 높은 농도인 2.4 dS·m<sup>-1</sup>에서는 작은 경향을 보였다. Jones et al.(1989)도 오이 수경재배시 EC의 상승은 수량 및 과실의 크기를 감소시키는데 1.0 dS·m<sup>-1</sup>에 비하여 4.0 dS·m<sup>-1</sup>에서 수량이 32~66% 정도 감소된다고 하였다.

오이에서의 EC 처리에 대한 무기이온의 흡수율은 Table 2에서와 같이 EC가 높은 구에서 높게 나타났는데 생육초기에는 EC와 관계없이 모두 비슷한 흡수율을 보였으나 정식 후 30일 이후에는 처리에 따른 흡수율의 차이를 보였다. NO<sub>3</sub>-N의 흡수율은 생육 초기 이후 처리간에 차이가 컸으며 EC 1.5 dS·m<sup>-1</sup>에서 2.4 dS·m<sup>-1</sup>까지의 처리에서 생육기간 동안 일정수준을 유지하거나 작은 폭으로 감소되었는데, 2.7 dS·m<sup>-1</sup>에서는 생육 중기 이후 감소 폭이 커져 생육 후기에는 2.4 dS·m<sup>-1</sup>와 비슷한 흡수율을 보였다. P의 흡수율은 처리간 차이를 유지하면서 생육 초기 이후 일정

Table 1. Effect of concentration of nutrient solution on growth and yield in cucumber plant.

EC (dS·m <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			No. of fruit	Aver. fruit weight (g)	Total yield (g)
			Leaves	Stem	Root	Leaves	Stem	Root			
1.5	594a <sup>2</sup>	11042ab	824b	272b	84.5c	77.8b	30.0b	7.4b	16.0b	187.4b	2979b
1.8	544ab	13016a	927ab	296ab	91.5bc	89.3ab	33.8ab	7.5b	19.0ab	218.1ab	4183a
2.1	571ab	13101a	1053a	332a	104.3a	99.5a	35.0a	9.3a	20.0a	214.5ab	4308a
2.4	573ab	11145ab	924ab	323a	94.5b	85.3b	34.3a	8.6ab	17.8ab	248.4a	4398a
2.7	554b	9297b	836b	310a	93.0b	80.0b	32.8ab	8.3ab	19.0ab	220.4ab	4182a

<sup>2</sup> Mean followed by the same letter is not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

**Table 2.** Effect of nutrient concentration on nutrient ion uptake rate( $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ ) by date in cucumber plant.

Element	EC ( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )	May					June				July	
		1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	11
NO <sub>3</sub> -N	1.5	7.90	9.94a	8.06d	9.02e	8.83e	8.18e	9.45d	9.71d	10.61d	9.93b	6.90c
	1.8	6.78	8.99a	10.71c	10.59d	11.48d	11.10d	11.82c	11.45cb	12.27bc	10.33b	8.22bc
	2.1	8.09	9.58a	13.36b	12.64c	12.38c	12.02c	12.44c	11.61ab	12.85bc	12.44a	8.74ab
	2.4	8.40	9.01a	15.18a	14.71b	14.51b	14.19b	13.87b	12.80a	14.74ab	14.09a	7.38c
	2.7	7.93a	10.12a	16.26a	15.94a	15.94a	15.60a	15.11a	10.43cd	15.07a	14.07a	9.84a
P	1.5	2.04a	2.48a	1.88d	1.91d	1.90e	1.77e	1.83e	2.13c	2.19c	1.95a	2.24a
	1.8	1.75a	1.95a	2.48c	2.30c	2.32d	2.22d	2.22d	2.55b	2.68b	2.17a	2.56a
	2.1	2.32a	2.10a	3.03b	2.81b	2.62c	2.51c	2.51c	2.73b	2.87b	2.57a	2.80a
	2.4	2.12a	2.12a	2.97b	2.90b	3.01b	2.90b	2.90b	2.8b	2.79b	2.64a	2.43a
	2.7	2.06a	2.18a	3.89a	3.69a	3.54a	3.52a	3.52a	3.48a	3.56a	2.61a	2.77a
K	1.5	5.22a <sup>2</sup>	5.73a	4.66c	4.21e	4.29e	4.17e	4.70c	5.05a	4.55d	4.43b	3.92d
	1.8	4.47a	4.56a	5.14c	4.86d	5.26d	5.03d	5.02c	5.18a	5.24cd	4.64b	4.49cd
	2.1	4.64a	4.98a	6.09b	5.71c	6.03c	5.85c	5.85b	5.83a	5.73bc	6.03a	5.32b
	2.4	4.80a	4.92a	6.42b	6.47b	6.65b	6.51b	6.04b	5.68a	6.56ab	5.99a	4.78bc
	2.7	5.90a	5.13a	7.84a	7.64a	7.49a	7.37a	6.95a	5.03a	6.68a	6.28a	6.51a
Ca	1.5	5.75a	6.79a	6.09d	6.16e	5.95d	5.90e	6.61c	6.48a	7.18a	6.57a	6.08a
	1.8	5.81a	5.73a	7.72c	7.51d	7.10c	7.19d	6.99bc	6.94a	7.54a	6.61a	5.60a
	2.1	5.67a	6.41a	8.91b	8.67c	7.81b	7.77c	7.95ab	7.33a	7.82a	7.51a	6.64a
	2.4	6.29a	6.29a	8.72b	9.00b	8.18b	8.32b	7.71abc	6.94a	8.16a	8.41a	6.48a
	2.7	5.87a	6.36a	11.52a	11.06a	9.42a	9.08a	8.33a	7.30a	8.24a	7.29a	7.27a
Mg	1.5	2.74a	3.76a	3.72e	3.82e	3.30d	3.16c	2.98a	2.73b	4.40abc	4.25a	3.89a
	1.8	2.59a	3.27a	4.34d	4.27d	3.89c	3.80bc	3.08a	2.27b	4.26c	4.08a	3.55a
	2.1	2.82a	3.64a	5.14b	5.06b	4.56b	4.21a	3.99a	3.06a	4.33bc	4.60a	4.26a
	2.4	2.96a	3.56a	5.52c	5.56c	4.86b	4.44a	3.55a	2.55b	5.15ab	5.80a	3.44a
	2.7	2.97a	3.92a	6.23a	6.07a	5.37a	4.31ab	3.08a	3.74a	5.44a	4.28a	4.69a
S	1.5	2.52a	4.11a	2.91c	3.96b	3.86c	3.83b	3.87a	3.38a	2.98ab	0.88a	2.14a
	1.8	2.76a	3.93a	4.33b	4.33b	4.11c	4.18b	3.93a	2.84a	2.25b	0.67a	2.09a
	2.1	2.64a	3.93a	4.68b	5.00a	4.87b	4.75a	4.92a	3.86a	2.38b	0.68a	2.82a
	2.4	2.97a	3.81a	5.02ab	5.45a	5.03ab	4.96a	4.49a	3.50a	3.01ab	0.94a	2.58a
	2.7	2.39a	4.33a	5.75a	5.59a	5.48a	4.60a	3.95a	3.92a	3.50a	0.53a	2.70a

<sup>2</sup> Mean followed by the same letter is not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level.

수준의 흡수율을 유지하였다. K의 흡수율은 생육 기간 동안 EC 2.1, 2.4과 2.7  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 높은 흡수율을 보였으나 이중에서도 2.7  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서는 계속 높은 수준을 유지하였고 모든 처리구에서 6월 12일까지 증가 되다가 이후 감소되는 경향을 보였다. Ca의 흡수율도 처리간 차이를 보였으나 1.5와 1.8  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 낮은 EC에서는 감소경향을 보이지 않았으나 기타 처리에서는 생육 중기 이후에 감소하는 경향을 보였는데 특히 EC 2.7  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 감소경향이 뚜렷하였다. Mg의 흡수율은 생육 초기와 생육 후기에서는 처리간 차이를

보이지 않았으며 생육 중기에는 처리간 흡수율의 차이를 보이면서 일정 수준으로 유지되었다. S의 흡수율은 생육기간 내내 처리간 차이가 크지 않았으며 생육 중기이후에 모든 처리에서 감소하는 경향을 보였다. 오이의 이온 흡수율은 EC 처리간 유의성 있는 차이를 보였으며 NO<sub>3</sub>-N, P, K, 및 Mg은 각 처리 모두 생육 기간 동안 지속적으로 흡수율이 증가되거나 유지되는 경향을 보였고 Ca는 약간 감소하였으며 S는 생육 중기 이후 각 처리 모두 감소하는 경향을 보였다. EC에 따른 흡수율 차이는 유의성이 인정되므로 양액의 EC

순환식 필라이트재배에서 전기전도도와 양액흡수량을 이용한 오이 양분 흡수 모델링

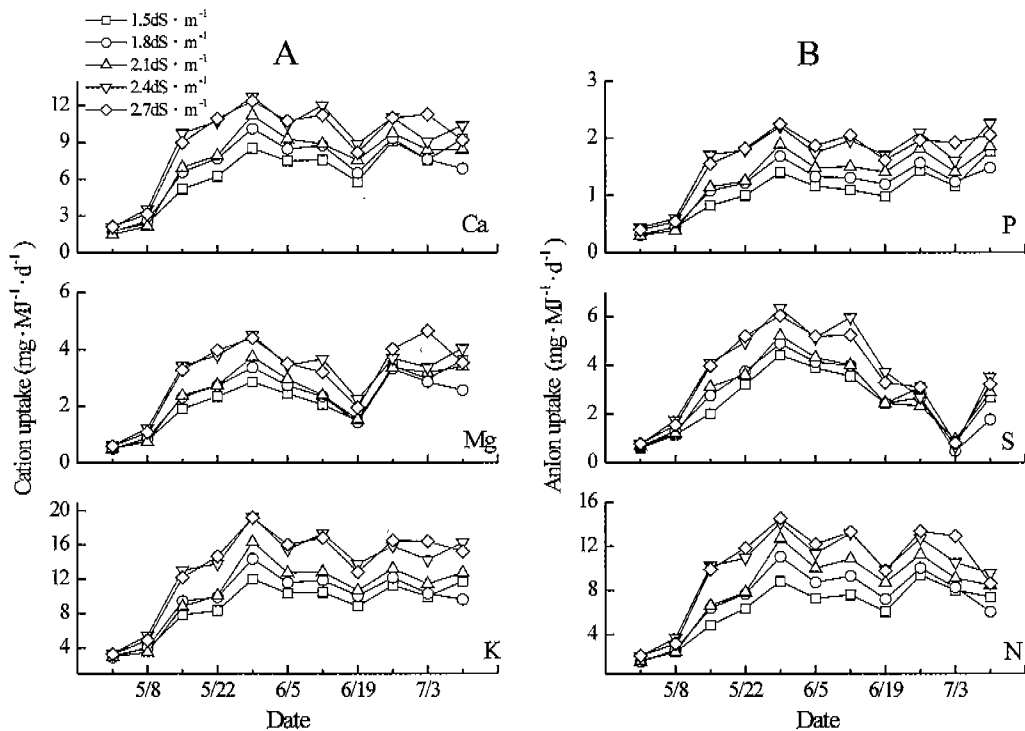


Fig. 2. Effect of nutrient concentration on cation uptake(A) and anion uptake(B) on cucumber plant.

가 무기이온 흡수량을 추정하는 중요한 요소가 될 것으로 생각되었다.

EC에 따른 무기이온의 흡수량은 Fig. 2와 같다. 무기이온 흡수량은 작물의 양액흡수량과 무기이온 흡수율에 의하여 결정되는데 EC가 낮을수록 무기이온 흡수량이 감소되었다. 생육 초기에는 모든 이온에서 처리 간 차이를 보이지 않았다. N:K의 흡수비율이 지속적으로 1:1.5~2.5 사이를 유지하여 EC가 증가하더라도 N:K의 흡수비율은 변화되지 않는 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 Adams(1994)에 의해서도 보고되었다. 오이의 Ca와 Mg의 흡수량은 처리 간 차이가 생육 후기까지 지속되었다. 또한 N, P 및 K의 흡수량도 생육기간 동안 처리간 차이를 유지하였는데 N과 K는 생육 중기 이후 일정 수준을 유지하였으나 P는 생육 기간 동안 다소 증가되는 경향을 보였다. S의 흡수량은 생육 중기 이후 모든 처리에서 급격한 감소를 보였으며 생육 후기에는 처리간에 차이가 없었다. 오이의 무기이온 흡수율에서와 같이 흡수량에서도 EC간 차이를 보여 EC를 무기이온 흡수량을 추정하는 요소로 이용할 수 있을 것으로 생각되었다.

Schacht and Schenk(1990)는 오이 수경재배에서 질소흡수와 일사량과는 정의 상관관계가 있다고 하였으며 N 흡수 모델식 적용이 가능하다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 무기이온 흡수량 추정 모델식의 입력요소로서 엽면적과 전체 환경요인이 집약된 양액흡수량과 EC를 기준으로 하였다. 오이에서 각각의 무기이온 흡수량과 단위일사량당 양액흡수량 및 EC와의 관계를 확인하였다. Fig. 3에서 보면 단위 일사량당 양액흡수량 및 EC가 증가할수록 모든 이온의 흡수량은 증가되는 경향을 보였는데 S 이온에서는 경향이 다소 일정하지 않았다. 단위일사량에 따른 양액흡수량과 EC를 주된 변수로 한 오이의 이온 흡수량 예측 회귀식은 Table 3에서 보는 바와 같다.

모든 무기이온 흡수량 추정식의 상관계수는 S를 제외한 모든 이온에서 높게 나타났는데 특히 N, P, K 및 Ca에서 높았다. S이온에서의 상관계수는 0.47로 낮게 나타났으나 각 이온들의 회귀식에 대한 상관계수는 모두 1% 수준에서 유의성을 보여 위의 모델식을 순환식 수경재배에서 무기이온 추정식으로 사용이 가능할 것으로 생각되었다. 위에서 산출한 오이의 순환식

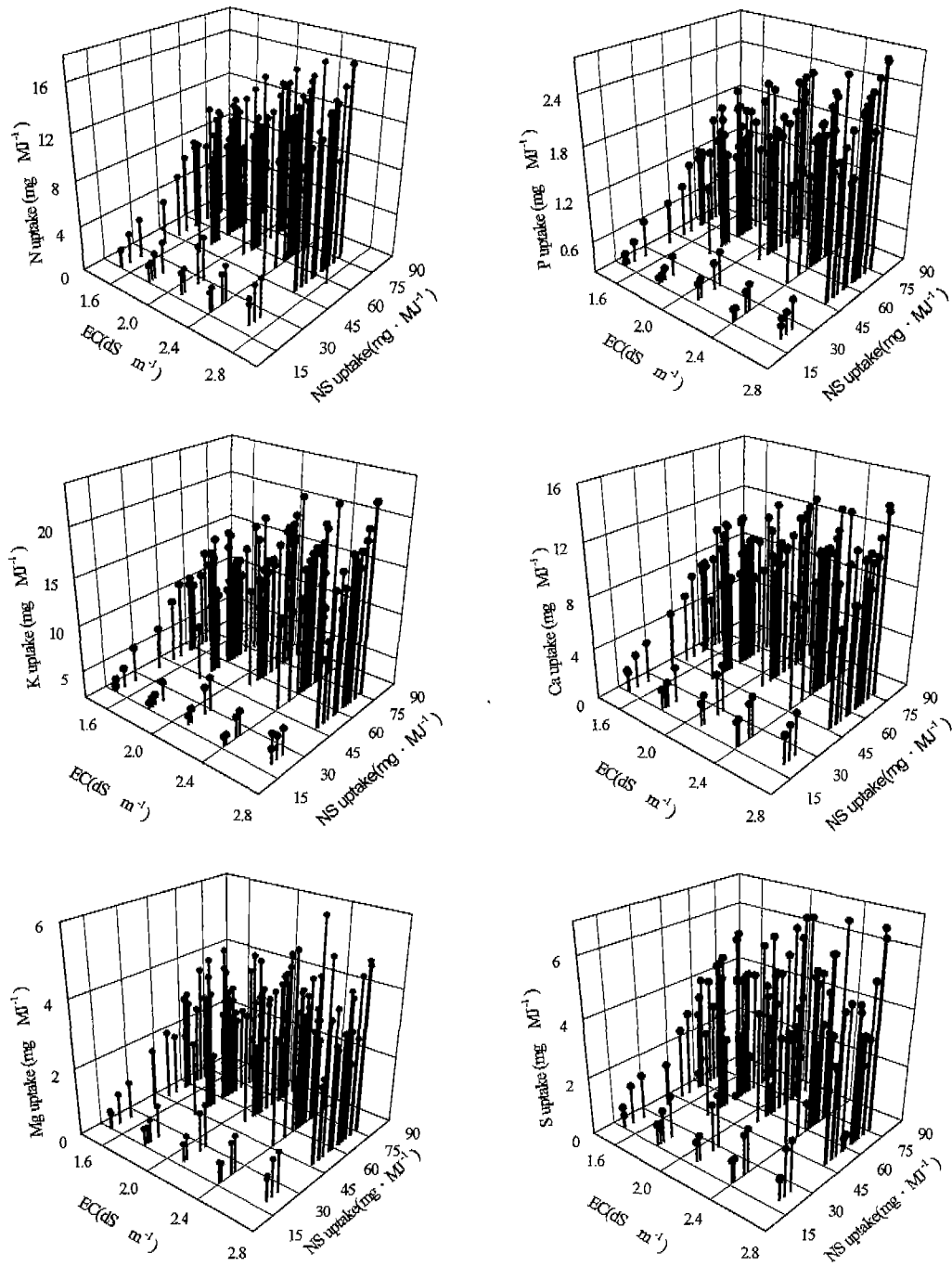


Fig. 3. Relationships of EC, nutrient solution uptake and nutrient ion uptake on cucumber plant.  
NS : Nutrient solution.

수경재배에서의 무기이온 흡수량 예측 모델식에 대한 실측치와의 회귀분석 결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 NO<sub>3</sub>-N, P, K, Ca, 및 Mg 각각 상관계수가 1%

의 신뢰도에서 상관계수가 각각 0.866, 0.938, 0.946, 0.898, 0.824 및 0.475로 각각 높게 나타났는데 S에서는 다소 낮은 경향을 보였지만 추정식의 사용은 가

**Table 3.** Models for prediction of nutrient ion uptake on cucumber plant.

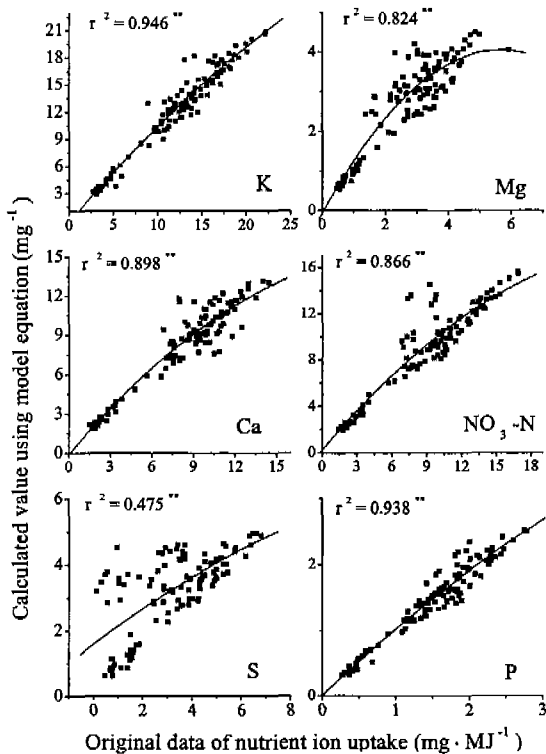
Nutrient ion	Equation	r <sup>2</sup>
NO <sub>3</sub> -N	$y^z = 2.637 - 1.637x_1^y - 0.00517x_2 + 0.0874x_1x_2$	0.857
P	$y = 0.3588 - 0.2248x_1 - 0.0014x_2 + 0.0144x_1x_2$	0.936
K	$y = 4.547 - 2.447x_1 - 0.019x_2 + 0.119x_1x_2$	0.944
Ca	$y = 0.842 - 0.5894x_1 + 0.0587x_2 + 0.046x_1x_2$	0.889
Mg	$y = 0.176 - 0.1992x_1 + 0.0213x_2 + 0.0158x_1x_2$	0.783
S	$y = -0.2084 + 0.0163x_1 + 0.0363x_2 + 0.01153x_1x_2$	0.474

<sup>z</sup> nutrient ion uptake (mg · MJ<sup>-1</sup>)

<sup>y</sup> Nutrient solution uptake (mg · MJ<sup>-1</sup>)

EC (dS · m<sup>-1</sup>)

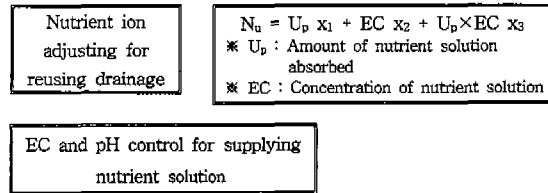
n : 110



**Fig. 4.** Fitting of model and original data on nutrient ion uptake on cucumber plant.

능할 것으로 생각되었다.

따라서 단위일사량에 따른 양액흡수량과 EC를 이용한 작물의 무기이온 흡수량 예측 모델식을 이용하여 오이의 무기이온 흡수량을 알게 되면 Fig. 5의 개발 모델식에 대입하여 배액의 무기이온 성분량 예측이 가능해진다. 따라서 순환식 수경재배시 배액을 재사용하고자 할 경우 배액의 이온성분별 보정이 가능하고 재



**Fig. 5.** Model of reusing drainage for closed substrate culture system.

N<sub>d</sub> : Amount of nutrient ions in drainage

N<sub>s</sub> : Amount of nutrient ions in supplying nutrient solution

N<sub>u</sub> : Amount of nutrient ions on uptake by plants

사용 양액의 무기이온 성분 균형을 유지할 수 있을 것으로 생각되었다.

### Literature cite

- Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. Acta Hort. 361:245-257.
- Adams, P. and L.C. Ho. 1995. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. Acta Hort. 401:357-363.
- Böhme, M. 1995a. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. Acta Hort. 396:45-54.
- Böhme, M. 1995b. Evaluation of organic, synthetic and mineral substrates for hydroponically grown cucumber. Acta Hort. 401:209-217.
- Hardgrave, M.R. 1993. Recirculation systems for greenhouse vegetables. Acta Hort. 342:85-92.
- Jones, R.W. Jr., L.M. Pike, and L.F. Yourman. 1989. Salinity influences cucumber grown and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(4):547-551.

7. Kreij, D.C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta Hort. 408:47-61.
8. Kupers, G., J. Van Gaalen, T.H. Gieling, and E.A. Van Os. 1992. Diurnal changes in the ion concentration of the supply and return water of a tomato crop grown on rockwool. Acta Hort. 304:291-299.
9. Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, and J. Goudriaan. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops : a review. Scientia Horticulturae 74:83-111.
10. Masuda, M., T. Tanaka, and S. Matsunari. 1990. Uptake of water and minerals during the day and the night in tomato and cucumber plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 58(4):951-957.
11. Schacht, H. and M.K. Schenk. 1990. Control of nitrogen supply of cucumber (*Cucumis sativus*) grown in soilless culture. Plant nutrition - physiology and application, Netherlands. p. 753-758.
12. Schwarz, D. and R. Kuchenbuch. 1997. Growth analysis of tomato in a closed recirculating system in relation to the EC-value of the nutrient solution. Acta Hort. 450:169-176.
13. Smith D.L. 1988. Rockwool in horticulture. Grower Books, London. p. 25-27.
14. Sonneveld, C. and W. Voegt. 1990. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. Plant and Soil 124:251-256.
15. Yamazaki, K. 1982. Soilless culture. Hakuyu press, Tokyo. p. 34-40.

## 순환식 펄라이트재배에서 전기전도도와 양액흡수량을 이용한 오이 양분 흡수 모델링

김형준\* · 우영희 · 김완순 · 조삼증 · 남윤일  
원예연구소 시설재배과

### 초 록

순환식 펄라이트재배에서 배액 재사용을 위한 양분흡수 모델링을 작성하고자 양액 농도(1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7 dS·m<sup>-1</sup>)를 달리하여 수행하였다. 생육 중기까지 전기전도도(EC) 수준에 따른 양액흡수량은 차이가 없었지만 중기 이후 EC가 높을수록 흡수량이 감소되는 경향을 보였다. NO<sub>3</sub>-N, P 및 K의 흡수량은 생육기간 동안 처리간 차이를 유지하였는데 N과 K는 생육 중기 이후 일정 수준을 유지하였으나 P는 생육기간 동안 다소 증가되는 경향을 보였다. S의 흡수량은 생육 중기 이후 모든 처리에서 급격한 감소를 보였으며 생육 후기에는 처리간에 차이가 없었다. 오이의 무기이온 흡수율에서와 같이 흡수량에서도 EC간 차이를 보여 EC를 무기이온 흡수량을 추정하는 요소로 이용할 수 있을 것으로 생각되었다. 무기이온 흡수량은 모든 EC 처리간에 생육 초기에는 차이를 보이지 않았으나 생육중기 이후에는 뚜렷한 차이를 보인 후 생육 후기의 높은 농도에서 그 차이가 다소 감소되는 경향을 보였다. EC와 양액흡수량을 이용하여 무기이온별 흡수량을 예측하는 모델식을 작성하였으며 이를 이용한 실측치와의 비교는 신뢰구간 1%내에서 높은 정의상관을 보여 실제적인 적용이 가능할 것으로 생각되었다.

**주제어** : 오이, 순환식 수경재배, 펄라이트, 무기이온, 모델링