

## 단일처리시기의 광도와 양액농도가 Ebb and Flow 재배시스템에서 재배한 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako')의 생육, 양분흡수 및 배지 양분집적에 미치는 영향

노은희<sup>1</sup> · 최종명<sup>2</sup> · 손정익<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 식물생산과학부 및 농업생명과학연구원, <sup>2</sup>충남대학교 원예학과

### Effects of Light Intensity and Nutrient Solution Strength during Short Day Treatment on the Growth and Nutrient Absorption of *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako' in Ebb and Flow System and the Accumulation of Nutrients in Growing Medium

Eun Hee Noh<sup>1</sup>, Jong Myoung Choi<sup>2</sup>, and Jung Eek Son<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Science and Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>2</sup>Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

**Abstract.** The objective of this study was to investigate the effects of light intensity and electrical conductivity (EC) of nutrient solution during short day treatment in an ebb and flow systems on the growth and nutrient uptake of potted *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako' and the nutrient accumulation of growing medium. Nutrient concentrations in the growing medium were also analyzed to investigate the accumulation rates of macro-nutrients such as T-N, P, K, Ca, and Mg, respectively. To achieve the objectives, plants were fed with a nutrient solution with 1.2, 1.8, or 2.4 dS · m<sup>-1</sup> under three daily photosynthetic photon flux (PPF) of 4.26, 5.51, or 9.75 mol · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>. Both light intensity and EC of nutrient solution significantly influenced the crop growth. The elevation of PPFs resulted in the increase of plant growth. For each light condition, plant growth, such as dry and fresh weight and leaf area, was the highest when the electrical conductivity of nutrient solution was controlled to 2.4 dS · m<sup>-1</sup>. However, growth was acceptable in the EC ranges from 1.8 to 2.4 dS · m<sup>-1</sup>. Both light intensity and EC of nutrient solution significantly influenced the uptake of nutrients in the solution tanks and the accumulation of nutrients in the growing medium. As the EC of nutrient solution was elevated, the absorption rates of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup>, and Mg<sup>2+</sup> by crops and accumulation of those in growing medium increased, but the light intensity did not significantly influence the absorption rates. Based on the above results, the regression models were suggested for anticipating the macro-nutrient accumulations in growing medium.

**Key words :** electrical conductivity (EC), nutrient composition, photosynthetic photon flux (PPF)

### 서 론

분화류 양수분 공급은 두상살수 방식의 관비 (fertigation)법이 보편적으로 사용되어 왔으나 노동력이 많이 요구되고 생산비가 증가한다는 문제점이 있다.

Nelson(2003)에 의하면 두상살수 방법으로 재배할 때 분화 생산 노동력의 약 30%가 관비를 위해 사용되고 보고하였다. 또한 관비를 할 때 배지를 통과하거나 화분 밖으로 흘러내린 잉여 양액이 토양으로 흘러 들어가서 지하수를 오염시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 도입되고 있는 ebb and flow (Ebb) 저면관비법은 화분 아랫부분에 위치한 배수공을 통해 화분 안으로 양액이 유입된 후 모세관력에 의해

\*Corresponding author: sjeenv@snu.ac.kr  
Received August 8, 2011; Revised September 6, 2011;  
Accepted September 9, 2011

상층부로 이동하는 원리를 이용하여 식물체에 양수분을 공급한다.

실제로 표토 쪽으로 상향 이동되는 양액은 이동과정 중 뿌리에 의해 흡수되거나 이동 후 표면에서 증발되기 때문에 양액에 용해된 비료성분은 표토에 잔류하게 된다. 따라서 표층 부분이 용탈될 수 있는 기회가 없다면 시간이 경과할수록 배지 내에 집적되는 양분량이 증가한다. 따라서 양액 탱크로부터 소비된 양분량으로 작물에 의한 적정 양분 흡수량과 흡수비율을 예측할 수 없다. 적정 시비농도는 작물이나 환경조건에 상이하기 때문에 이러한 양분 소비량과 배지 양액 잔류량, 작물의 양액 흡수량과의 관계 분석을 통하여 종합적인 양액공급 전략의 수립이 필요하다(Noh와 Son, 2010).

온실 내의 광환경은 지역과 계절에 따라 차이가 매우 크며, 광환경이 달라짐에 따라 식물의 증산량과 양분 흡수량이 변한다(Alexander와 Conelly, 1995; Cedergreen과 Madsen, 2003; Mankin과 Fynn, 1996; Pardossi 등, 2005). 저면관비법으로 작물을 재배하면서 Rouphael 등(2008)은 제라늄(*Pelargonium × hortorum*) 'Real Mintaka'를 대상으로, Treder(2003)는 오리엔탈 백합 'Laura Lee'를 대상으로, 그리고 Lu와 Son(2005)은 유묘기 칼랑코에를 대상으로 광도에 따라 무기이온의 흡수량이 상이하므로 광도에 따른 양액농도 변화의 필요성을 보고하였다. Noh와 Son(2010)은 EBB 방식에서 칼랑코에의 생육단계에 따라서 양액 EC가 생육과 배지 양분집적에 영향을, Noh 등(2011)은 광강도와 양액 농도에 따른 생육과 양분 흡수를 분석하였다. 그러나 적절한 양분 흡수 패턴을 파악하기 위해서는 광도와 양액농도에 대한 작물의 생육, 양분 흡수특성 및 배지 양분집적과의 관계 분석이 필요하다.

본 연구에서는 EBB 저면관비법으로 분화 칼랑코에를 재배하면서 단일처리 시기의 광도와 양액 농도가 식물 생육, 양분흡수, 그리고 배지 내 양분집적에 미치는 영향을 구명하여 분화재배를 위한 양액 농도의 기초 자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 작물 및 재배조건

2002년 2월부터 5월까지 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장의 벤로형 유리온실에서 실험을 수행하였

다. 동일한 장소에서 재배되고 있는 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako')의 모주에서 균일한 삽수를 채취하였고, 피트모스와 펄라이트를 7:3(V/V)으로 혼합하여 충전한 직경 6cm의 화분에 정식하였다. 삽수를 정식한 화분을 0.5m×0.3m 크기의 EBB 저면관수시스템 27개에 각각 10개씩 배치하고, 전기전도도(EC)를 달리한 양액을 매일 동일한 시간에 5분 간격으로 1회 관비하였다.

유묘기 영양 생장을 위해 삽수 정식 후 2주 동안 보광을 통해 15시간 일장의 장일 처리를 하였으며, 제 3주부터는 개화를 유도하기 위하여 10시간의 단일조건으로 일장을 변화시켰다. 실험은 3수준의 광도와 3수준의 양액 농도를 조합한 요인실험으로 정식한 후 4~5주의 2주간 수행하였다. 이 기간 동안 평균 실내기온은 19.8°C(최고27°C, 최저 17°C)였고, 평균 상대습도는 65% 였다.

### 2. 양액 농도 처리

양액은 네덜란드 온실 작물연구소(PBC+)의 분화용 표준 양액[다량 원소(mmol·L<sup>-1</sup>) NO<sub>3</sub> 10.6, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 1.1, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> 4.5, K<sup>+</sup> 5.5, Ca<sup>2+</sup> 3.0, Mg<sup>2+</sup> 0.75; 미량원소(μmol·L<sup>-1</sup>) Fe 20, Mn 10, Zn 3, B 20, Cu 0.5, Mo 0.5]을 기초로 조성하였다. 이상의 표준양액을 지하수로 희석하여 EC가 1.2, 1.8, 2.4dS·m<sup>-1</sup>이 되도록 조절하여 처리하였으며, 양액의 pH는 NaOH와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 이용하여 5.5~6.5의 범위에 포함되도록 관리하였다.

### 3. 광도 처리

광도는 일평균 광합성유효광양자속(PPF)로 나타내었으며, 차광망을 이용하여 60% 차광, 40% 차광, 무차광의 3수준으로 하였고, 실험 기간내의 광강도의 평균 값은 4.26, 5.51, 9.75mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>을 유지하였다. PPF는 광량자센서(PAR LITE, Kipp & Zonen B.V., The Netherlands)를 설치하여 측정하였고, 자료수집은 데이터로거(DA-100, Yokogawa, Japan)로 실시간 수집하였다.

### 4. 조사 및 분석 방법

실험 시작 2주 후에 작물의 지상부 생육을 조사하였다. 각각의 EBB 저면관수시스템에서 3개의 식물체

단일처리기 광도와 양액농도가 Ebb and Flow 재배 칼랑코에의 생육, 양분흡수 및 배지 양분집적

를 수확하여 초장, 엽면적, SPAD 값, 생체중, 건물중, 그리고 분지수를 조사하였다. 엽면적은 엽면적 측정기 LI-3100(Li-Cor Inc., USA)를 사용하여 조사하였고, 건물중은 식물체를 70°C 건조기에서 72시간 건조시킨 후에 측정하였다.

양수분 흡수율을 조사하기 위하여 실험기간에 흡수한 양분  $n(\text{mmol})$ 과 흡수된 물량  $w(\text{L})$ 을 이용하여  $n/w$ 를 계산하여 산출하였다(Cabrera 등, 1995). 시점 1의 양액의 부피를  $V_1$ , 농도를  $C_1$ , 시점 2의 양액의 부피를  $V_2$ , 농도를  $C_2$ 라고 하였을 때  $n/w = [(V_1 * C_1) - (V_2 * C_2)] / (V_1 - V_2)$ 의 공식을 적용하여 계산하였다. 양액의 무기 이온 농도를 분석하기 위해서 채취한 양액을 여과지(No. 2)로 거른 후  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는 켈달 증류방법으로, 그리고 P, K, Ca, Mg 농도는 ICP(ISPS-1000IV, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

포트 내의 배지를 풍건한 뒤 측정된 건물중은 각각의 포트가 평균  $5.82 \pm 0.41\text{g}$ 이었다. 배지의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는 풍건한 배지를 KCl로 추출한 후 켈달 증류방법으로 분석하였고, 풍건한 배지를  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 로 추출한 후 추출용액의 P, K, Ca, Mg 농도를 ICP(ISPS-1000IV, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

식물체 무기물 함량 분석을 위해 건물중을 측정된 식물체 전체를 미세 입자로 분쇄하여 분석 시료로 삼았다. 분쇄된 시료 0.5g에  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10mL를 첨가하고

분해 촉진제( $\text{CuSO}_4 : \text{K}_2\text{SO}_4 = 1 : 9$ )를 1g 넣은 다음 270°C에서 2시간 동안 산화시켰다. 이 후 질소 함량은 켈달 증류방법으로 분석하였고, P는 470nm 파장에서 흡광분석계(Unikon-930, Kontron, USA)를 사용하여 비색정량하였다. 식물체내 K, Ca, Mg 함량은 분쇄된 시료 0.5g에 ternary solution( $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HNO}_3 : \text{HClO}_4 = 1 : 10 : 4$ )을 10mL씩 첨가하고 270°C에서 3시간 동안 분해한 후 원자흡광광도계(AA6701, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

### 5. 통계분석

통계분석은 SAS 9.1프로그램(Statistical Analysis Software, USA)을 사용하여 수행하였으며, 95% 수준에서 유의성 검정을 하였다. 또한 SAS 프로그램을 이용하여 광강도와 양액 농도의 두 요인에 대한 무기 이온 집적의 회귀식을 도출하여 배지 내에 집적되는 양분의 양을 예측하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 작물생육 특성

광도(PPF)와 양액농도(EC)는 칼랑코에 생육에 뚜렷한 영향을 미쳤다(Table 1). 양액 농도가 동일할 때  $9.75\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 높은 광도 보다 4.26 또는  $5.51\text{mol} \cdot$

**Table 1.** Effect of photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system on the growth of *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako'.

PPF ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )	EC ( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )	Plant height (cm)	Leaf area ( $\text{cm}^2/\text{plant}$ )	No. of branch	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (g/plant)		
					Leaf	Stem	Root	Leaf	Stem	Root
4.25	1.2	8.57 cd <sup>y</sup>	158.0 d	1.00 e	16.4 cd	1.11 bc	1.70 e	0.89 c	0.081 f	0.38 b
	1.8	9.70 a	160.3 cd	3.00 cd	18.5 a	1.15 b	3.02 a	0.93 bc	0.091 b	0.39 b
	2.4	9.97 a	191.8 a	4.00 cd	18.7 a	1.27 a	2.66 b	1.01 a	0.096 a	0.48 a
5.51	1.2	8.73 c	165.2 bc	2.00 de	16.2 d	1.06 c	1.79 e	0.92 bc	0.086 de	0.32 cd
	1.8	9.47 ab	165.6 bc	3.33 d	17.0 bcd	1.09 bc	2.14 d	0.97 ab	0.087 cde	0.32 cd
	2.4	9.63 ab	168.0 b	5.00 c	18.3 ab	1.13 bc	2.46 bc	1.03 a	0.088 bcd	0.34 c
9.75	1.2	7.63 e	149.1 e	7.33 b	16.9 bcd	0.94 d	1.88 e	1.00 a	0.083 ef	0.31 d
	1.8	8.10 de	150.7 e	7.67 b	17.4 abcd	0.94 d	2.34 cd	1.00 a	0.087 bcde	0.38 b
	2.4	9.10 bc	170.0 b	10.00 a	17.6 abc	1.24 a	2.52 bc	1.02 a	0.091 b	0.39 b
Significance										
PPF (A)		*	**	**	**	***	**	**	**	***
EC (B)		**	***	**	**	**	***	**	**	**
A × B		***	**	**	***	*	**	**	***	*

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

\*, \*\*, \*\*\* Significant at  $P \leq 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively ( $n = 6$ ).

$\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ 의 낮은 광도에서 칼랑코에 초장이 컸으며, 동일 광조건에서는 양액의 농도가 높아짐에 따라 초장이 커지는 경향을 보였다. 엽면적은 광도를  $4.26 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 적용한 처리들 간에는 EC가 높아질수록 현저하게 증가하여 EC  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서  $191.8 \text{cm}^2$ 로 가장 넓었지만, 광도를  $5.51 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 적용한 처리 간에는 EC에 따른 엽면적의 차이가 뚜렷하지 않았다. 광도를  $9.75 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 EC를  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리한 경우에  $170.0 \text{cm}^2$ 로 가장 넓었다.

본 연구에서 광도가 강해지거나 양액의 농도가 높아질수록 칼랑코에 분지수가 증가하였다. 광도를  $4.26 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 에서 EC  $1.8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 과  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리한 경우에 분지수가 각각 3개와 4개로 조사되었지만, 광도가  $5.51 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 인 경우 EC  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 5개로 가장 많았다. 광도를  $9.75 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 높게 한 경우 EC  $1.2$ 와  $1.8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서 각각 7.33 및 7.67개의 분지가 발생하였지만 EC  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서 10개의 분지가 발생하여 뚜렷하게 많았다.  $4.26$ ,  $5.51$ , 또는  $9.75 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 의 각 광도 내에서 EC가 높아질수록 잎, 줄기, 뿌리의 생체중과 건물중이 증가하여  $1.8$  또는  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서  $1.2 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리 보다 크게 나타났다. 그러나 EC를 동일하게 조절하고 광도를 변화시킨 처리 간에는 생체중 및 건물중 생산에서 차이가 명확하지 않았다.

칼랑코에 분화 생산에서 품질을 향상시키려면 단일 처리를 하는 시기에 초장이 작고, 엽면적과 분지수가 많으며, 생체중과 건물중 생산량이 많아야 한다 (Mortensen, 1994). 본 연구에서 광도가 높을수록 생육이 양호하였는데, 이는 칼랑코에를 대상으로 연구한 Mortensen(1994)의 결과와 유사한 경향이였다. 그들은 광도가 낮을 경우 초장이 길어지고 엽면적과 분지수가 감소하였다고 보고한 바 있다.

양액의 농도와 광도가 작물 생육에 미치는 영향에 관해 Nemali and van Iersel(2004)는 EC를 동일하게 조절하고 광도를 변화시킬 경우 베고니아 생육에 뚜렷한 영향을 미치지 않았으며, 페튜니아도 EC를  $1.18 \sim 2.77 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 조절한 경우 광도 변화에 따른 생육 차이가 뚜렷하지 않았다고 본 연구 결과와 유사한 보고를 한 바 있다. 또한 그들은 원예작물 분화제배를 위해서는 EC  $1.5 \sim 2.5 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 범위로 조절해야 한다고 적정 EC의 범위를 제시하였는데 본 연구에서도 그

들이 제시한 EC 범위 내에서 칼랑코에 생육이 양호하였다.

## 2. 양분흡수율 특성

광도와 EC를 변화시킨 경우 칼랑코에의 양분흡수율이 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 1). EC를 높게 조절한 실험구에서  $\text{NO}_3^-$ 의 흡수율이 높았는데, EC가  $1.2$ ,  $1.8$ ,  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 높아짐에 따라 흡수율이 약 40%씩 증가하였다. 광도  $4.26 \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 로 낮은 경우 EC  $1.2 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서  $1.8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 높일 경우  $\text{NO}_3^-$ 의 흡수율이 증가하였지만 EC  $1.8$  및  $2.4 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$

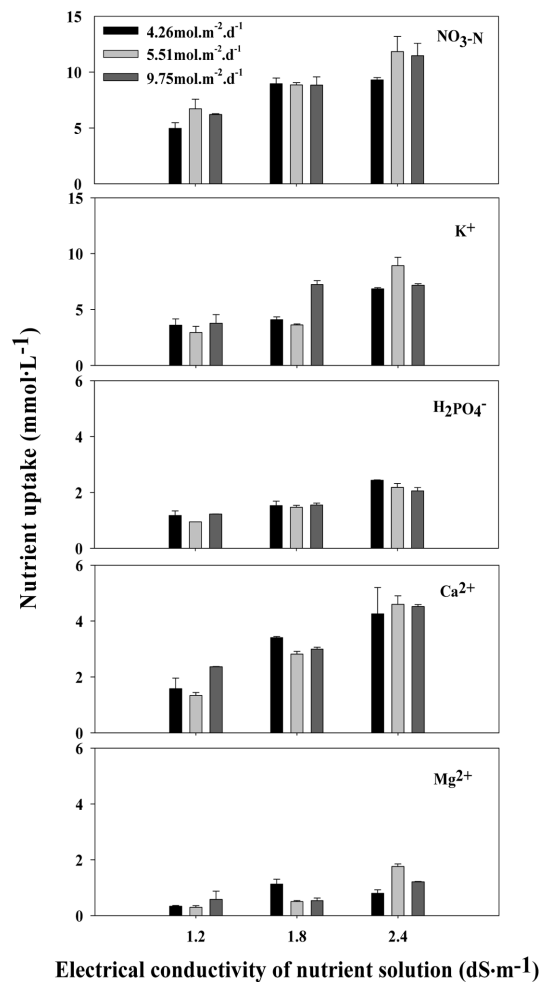


Fig. 1. Effect of photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system on the nutrient uptake rate ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) of *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako'.

처리간에는 유의한 차이가 없었다.

광도 차이에 따라 EC에 따른 K<sup>+</sup>의 흡수율이 변하였다. 즉 광도 4.26mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>의 경우, 양액의 농도가 높아짐에 따라 K<sup>+</sup>의 흡수율이 증가하였지만, 광도 6mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>에서는 EC가 1.2와 1.84dS·m<sup>-1</sup> 처리간에는 차이가 없었으며, EC 2.4dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 뚜렷하게 높았다. 광도가 10mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>일 때 EC 1.8dS·m<sup>-1</sup>과 2.4dS·m<sup>-1</sup>에서 K<sup>+</sup>의 흡수율이 비슷하였지만, EC 1.2dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 낮게 나타났다.

상이한 광도 조건에서도 EC가 1.2, 1.8 및 2.4dS·m<sup>-1</sup>로 증가할수록 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 흡수율이 약 20%씩 증가하였지만, 광도 차이가 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 흡수율에 뚜렷한 영향을 미치지 않았다. Ca<sup>2+</sup>의 흡수율 역시 광도 보다는 EC에 더 큰 영향을 받아 EC가 높아질수록 흡수율이 높았다. Mg<sup>2+</sup>의 흡수율은 광도 4.26mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>인 경우, EC 1.8dS·m<sup>-1</sup>에서 흡수율이 가장 높았지만, 광도가 5.51mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> 또는 9.75mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>인 경우 EC 2.4dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 흡수율이 가장 높았다.

Rouphael과 Colla(2005)과 Rouphael 등(2008)은 광환경이 상이한 계절에 따라 양분 흡수특성이 다르므로 계절별로 양액 농도를 변화시켜야 한다고 보고하였다. 본 연구에서도 양액의 EC를 동일하게 조절한 경우 광도에 따른 흡수율의 차이가 발생하였지만 원소별로 그 정도가 달랐으며, 추후 정밀한 보완 연구가

필요한 부분이라고 판단하였다. 특히 순환식 양액재배 방법으로 작물을 재배할 때 보편적으로 EC를 기준으로 양액의 농도를 관리하며, 이럴 경우 양액 내 특정 원소의 농도가 높거나 낮은지를 판단할 수 없다(Cho 등, 1997). 따라서 생리장해 유발과 생육저하의 원인이 될 수 있으며 Kim과 Kim(2001)도 순환식 양액재배 방법으로 토마토를 재배하면서 양액 농도와 일사량에 따른 양액의 무기원소 흡수율 차이를 보고하여, 본 연구와 유사한 경향을 보였다고 판단한다.

### 3. 무기이온 이동 특성

다양한 광도 및 EC에 대하여, 양액 탱크로부터 한 포트에 이동된 무기 이온의 양(Table 2)과 포트 내 배지에 집적된 무기 이온의 양(Table 3)은 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 양수분의 흡수량은 광도의 5.51과 9.75mol·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>에서 EC가 1.2dS·m<sup>-1</sup>에서 1.8dS·m<sup>-1</sup>로 증가할 때 상승하다 EC 2.4dS·m<sup>-1</sup>에서 다시 감소하는 양상을 보였다. 양액과 함께 배지로 이동된 무기이온의 양은 EC증가에 따라 증가하였지만, 양액량에 비례하지는 않았다(Table 2).

배지에 집적되는 무기물의 양은 배지 중량에 대한 축적된 무기이온량의 비율로 나타낸 것으로 EC에 따라 유의하게 증가하는 경향을 나타냈다(Table 3). 질소, 인, 칼륨 등은 포트에 유입된 양에 비해 잔류량이

**Table 2.** Effect of photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system on the amount of water and nutrients absorbed by *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako'.

PPF (mol·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup> )	EC (dS·m <sup>-1</sup> )	Water uptake (mL·d <sup>-1</sup> /pot)	T-N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
			----- mg/pot -----				
4.26	1.2	21.8 c <sup>z</sup>	28.1 f	12.3 e	37.2 c	22.1 i	4.24 d
	1.8	19.5 d	44.7 de	13.6 de	48.5 c	37.9 f	7.41 d
	2.4	21.6 c	47.2 cd	19.7 b	86.1 b	45.4 d	12.56 c
5.51	1.2	21.6 c	33.1 f	13.2 de	49.5 c	25.3 h	4.67 d
	1.8	23.5 b	53.7 b	15.7 c	51.8 c	41.1 e	10.90 c
	2.4	19.4 d	51.1 bc	19.5 b	102.0 ab	52.3 b	16.05 b
9.75	1.2	25.4 a	40.9 e	14.3 cd	56.0 c	31.7 g	5.58 d
	1.8	26.3 a	59.7 a	18.5 b	95.5 ab	48.6 c	18.54 ab
	2.4	22.8 b	60.0 a	21.5 a	111.1 a	61.9 a	20.79 a
<b>Significance</b>							
PPF (A)		*	*	**	*	**	**
EC (B)		NS	*	**	**	***	**
A × B		NS	*	*	*	**	**

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P ≤ 0.05.

NS, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or Significant at P ≤ 0.05, 0.01, or 0.001, respectively (n = 6).

**Table 3.** Effect of photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system on the amount of nutrients accumulated in the growing medium.

PPF (mol · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	T-N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
		----- mg/g -----				
4.26	1.2	1.16 i	0.45 e	1.14 e	5.11 def	0.96 de
	1.8	2.36 d	0.71 d	2.55 d	5.49 de	1.07 cde
	2.4	3.09 b	1.08 b	4.07 b	6.56 ab	1.22 bc
5.51	1.2	1.44 h	0.39 e	0.92 e	4.97 f	0.89 e
	1.8	2.05 f	0.76 d	2.44 d	5.57 cd	1.10 cd
	2.4	2.92 c	1.11 b	4.24 b	6.28 ab	1.31 b
9.75	1.2	1.75 g	0.49 e	0.98 e	4.61 f	0.91 e
	1.8	2.14 e	0.96 c	3.47 c	6.07 bc	1.17 bc
	2.4	3.88 a	1.49 a	6.10 a	6.79 a	1.48 a
Significance						
PPF (A)		***	*	*	NS	NS
EC (B)		***	***	***	*	*
A × B		***	NS	NS	NS	NS

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .

<sup>NS</sup>, \*, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or Significant at  $P \leq 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$ , respectively (n = 6).

**Table 4.** Linear expression of the amount of nutrients accumulated in growing medium as influenced by photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system.

Regression model	R <sup>2</sup>	RMSE	F-value	Pr > F
T-N $y^z = 0.099 \text{ PPF} + 1.56 \text{ EC} - 1.17$	0.962	0.17	187.12	< 0.0001
P $y = 0.028 \text{ PPF} + 0.575 \text{ EC} - 0.399$	0.968	0.06	223.16	< 0.0001
K <sup>+</sup> $y = 0.132 \text{ PPF} + 2.793 \text{ EC} - 3.026$	0.973	0.25	270.90	< 0.0001
Ca <sup>2+</sup> $y = 0.098 \text{ PPF} + 1.216 \text{ EC} + 2.507$	0.942	0.18	122.49	< 0.0001
Mg <sup>2+</sup> $y = 0.015 \text{ PPF} + 0.265 \text{ EC} + 0.408$	0.969	0.03	235.32	< 0.0001

All variables in the models above are significant at  $P \leq 0.05$  (n = 18).

<sup>z</sup>Nutrient accumulation in growing media (mg/g).

20~30%에 불과하지만 칼슘과 마그네슘은 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

광도와 EC의 2요인과 배지 내의 T-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 이온 집적량과의 회귀식을 구한 결과, 높은 상관계수를 나타냈다(Table 4). 각 이온들의 회귀식에 대한 상관계수는 모두 1% 수준에서 유의성을 보였고, 도출된 모델식은 현 실험 조건에서 EBB 저면관수 시스템을 이용한 분화재배에서 배지 내 무기이온 추정 사용 가능할 것으로 생각된다. 또한 광도와 EC처리 2주 후에 식물체를 수확하여 무기물 함량을 분석한 결과, 식물체 내 총 질소 함량은 광도와 EC의 영향을 받아 처리간 차이가 비교적 크게 나타났고, 인은 광도가 높은 실험구에서 함량이 높았으며, 기타 이온은 큰 차이가 없었다(Table 5).

EC가 높아질수록 배지 안으로 이동된 양분의 양이

증가하였다. 이는 양액에 용해된 무기원소가 저면관비 시 물과 함께 화분내의 배지로 유입되며, 그 중 일부가 식물체에 흡수되지만 잔존하는 무기원소는 배지의 양이온 치환 부위에 흡착된 상태로 존재하여 배지의 무기원소 농도를 높이는 원인으로 작용하였다고 판단한다. 특히 피트모스 배지는 CEC가 비교적 높아 유입된 Ca<sup>2+</sup>와 Mg<sup>2+</sup>를 많이 흡착하며 식물체에 흡수되는 양 이외에도 많은 양이 배지에 잔류하였다고 생각한다. 실제로 Kang과 van Iersel(2009)은 배지의 염류 집적을 측정하여 분화 양분관리를 위한 시비농도를 결정하는 것이 합리적이라고 하였으며 본 연구결과와 유사한 결과를 제시하였다.

대부분의 배지 관련 참고자료에서는 단지 배지의 EC를 분석하여 양액 농도관리의 참고자료로 사용하였고 배지 내 각 무기이온의 집적 정도를 파악하여 양

단일처리기 광도와 양액농도가 Ebb and Flow 재배 칼라코에의 생육, 양분흡수 및 배지 양분집적

**Table 5.** Effect of photosynthetic photon flux (PPF) and electrical conductivity (EC) of nutrient solution in an ebb and flow system on the tissue nutrient contents based on the dry weight of leaf tissue of *Kalanchoe blossfeldiana* 'Rako'.

PPF (mol · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> )	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	T-N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
		----- mg · kg <sup>-1</sup> dry weight -----				
4.26	1.2	2.98 cd	0.64	4.05	2.51	0.58
	1.8	3.57 b	0.65	4.05	2.95	0.66
	2.4	3.76 b	0.73	4.65	3.67	0.70
5.51	1.2	2.82 de	0.59	3.66	2.39	0.50
	1.8	2.60 ef	0.70	4.45	3.07	0.59
	2.4	2.37 f	0.71	4.64	3.21	0.67
9.75	1.2	2.71 de	0.70	4.24	2.57	0.66
	1.8	3.19 c	0.76	4.43	3.17	0.69
	2.4	4.23 a	0.90	4.56	3.65	0.78
Significance						
PPF (A)		*	*	NS	NS	NS
EC (B)		**	NS	NS	NS	**
A × B		*	NS	NS	NS	NS

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $P \leq 0.05$ .  
NS, \*\*, \* Nonsignificant or significant at  $P \leq 0.05$  or 0.01, respectively (n = 6).

액 조성과 농도를 결정한 경우는 매우 적었다. Kang 등(2003)은 EBB 저면관수시스템에서 비료 농도가 높을수록 식물체내의 양분의 흡수량이 증가되었다고 하여 본 결과와 유사한 결과를 제시하였다. 그러나 Gorbe와 Calatayud(2010)가 언급한 바와 같이 식물체 분석은 단지 식물의 영양상태를 상대적으로 나타낼 뿐, 작물의 적정 양액 조성과 농도를 제시하기 위해서는 한계가 있다고 하였다.

본 연구에서는 정식 후 4~5주(2주간)의 단기 변화 특성을 분석하였지만, 광도와 양액 농도에 따른 칼라코에의 양분 흡수 반응이 상이함을 확인하였고, 작물 생육과 양분흡수 특성은 일부 상이하다는 결과를 관찰하였다. 광도와 양액 농도를 2요인으로 하여 배지 내 각 무기이온의 집적량과의 회귀 모델식을 정량적으로 구한 결과, EBB 저면관수 시스템에서 배지 내 무기이온의 집적에 가장 큰 영향을 주는 주 요인은 양액 농도인 것으로 판단하였다.

## 적 요

Ebb and flow 시스템을 사용한 분화 칼라코에 재배에서 광도와 양액 농도가 생육, 양분 흡수율 및 배지 내 무기 이온의 집적에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 연구 목적을 달성하기

위하여 광도 3수준(PPF 4.26, 5.51, 9.75 mol · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>)과 양액 농도 3수준(EC 1.2, 1.8, 2.4 dS · m<sup>-1</sup>)을 조합하여 요인실험으로 수행하였다. 분화 재배한 칼라코에의 생육은 광도와 양액 농도에 뚜렷하게 영향을 받았으며, 광도가 높아질수록 생육이 양호하였다. 각 광도 내에서는 양액의 EC를 1.8~2.4 dS · m<sup>-1</sup>의 범위로 조절할 경우 칼라코에 지상부 생육이 비교적 양호하였지만, EC를 2.4 dS · m<sup>-1</sup>로 조절한 처리의 생체중, 건물중 및 엽면적이 가장 크게 나타났다. 광도와 양액 농도는 ebb and flow 시스템의 양액 탱크로부터 양분 및 수분 흡수량과 배지 내 무기 이온의 집적에 유의하게 영향을 미쳤지만, 식물체의 무기물 함량에는 뚜렷한 영향을 미치지 않았다. 광도는 양액의 EC에 비해 이온의 흡수율에 미치는 영향이 상대적으로 적었으며, 양액 EC가 높을수록 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, K, Mg 이온의 흡수율은 높았다.

이상의 연구결과를 고려할 때 ebb and flow 저면관수 시스템에서 배지 내 무기 이온 집적에 영향을 주는 주 요인은 양액 농도임을 확인하였으며, 광도와 양액의 EC를 이용하여 배지 내 무기 이온의 집적량을 예측하기 위한 회귀식을 제시하였다.

**주제어** : 광도, 광합성유효광양자속, 배지, 전기전도도, 양액조성

## 사 사

이 논문은 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

1. Alexander, J.D. and J.R. Donnelly. 1995. Photosynthetic and transpiration responses of red spruce understorey trees to light and temperature. *Tree Physiol.* 15: 393-398.
2. Cabrera, R.I., R.Y. Evans, and J.L. Paul. 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Sci. Hort.* 63:57-66.
3. Cedergreen, N. and T.V. Madsen. 2003. Light regulation of root and leaf  $\text{NO}_3^-$  uptake and reduction in the floating macrophyte *Lemna minor*. *New Phytol.* 161: 449-457.
4. Cho, Y.R., E.J. Hahn, and Y.B. Lee. 1997. Effects of nutrient control on the growth of lettuce in nutrient film technique. *Proc. 7th ISHS Symp. In Vegetable Quality.* p. 245-248.
5. Gorbe, E. and A. Calatayud. 2010. Optimization of nutrition in soilless systems: a review. *Advances in Botanical Research* 53:193-245.
6. Kang, J.G., S.Y. Yang, B.S. Lee, and S.J. Chung. 2003. Effects of changing fertilizer concentrations and fertigation frequencies on growth and fruiting of subirrigated ornamental pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44: 523-529.
7. Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2009. Managing fertilization of bedding plants: A comparison of constant fertilizer concentrations versus constant leachate electrical conductivity. *HortScience* 44:151-156.
8. Kim, H.J. and J.H. Kim. 2001. Modeling nutrient uptake of tomato plants based on nutrient solution uptake and EC in closed perlite culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:397-384.
9. Lu, Y.J. and J.E. Son. 2005. Effects of nutrient strength and light intensity on nutrient uptake and growth of young kalanchoe plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'Marlene') at seedling stage. *J. Bio-Environ. Control* 14:149-154.
10. Mankin, K.R. and R.P. Fynn. 1996. Modelling individual nutrient uptake by plants: relating demand to microclimate. *Agr. System* 50:101-114.
11. Mortensen, L.M. 1994. Effects of day/night temperature variations on growth, morphogenesis and flowering of *Kalanchoe blossfeldiana* v. Poelln at different  $\text{CO}_2$  concentrations, day lengths and photon flux densities. *Sci. Hort.* 59:233-241.
12. Nemali, K.S. and M.W. Van Iersel. 2004. Light intensity and fertilizer concentration: II. Optimal fertilizer solution concentration for species differing in light requirement and growth rate. *HortScience* 39:1293-1297.
13. Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
14. Noh, E.H. and J.E. Son. 2010. Plant growth and nutrient uptake of kalanchoe plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'New Alter') and nutrient accumulation of growing media with growth stage at different nutrient strengths in ebb and flow subirrigation systems. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:973-979.
15. Noh, E.H., H.J. Jun, and J.E. Son. 2011. Growth characteristics and nutrient uptake of kalanchoe plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'Marlene') at different light intensities and nutrient strengths in ebb and flow subirrigation systems. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:187-194.
16. Pardossi, A., F. Falossi, F. Malorgio, L. Incrocci, and G. Bellocchi. 2005. Empirical models of macronutrient uptake in melon plants grown in recirculating nutrient solution culture. *J. Plant Nutr.* 27:1261-1280.
17. Rouphael, Y., M.T. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Sci. Hort.* 118:328-337.
18. Rouphael, Y. and G. Colla. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hort.* 105:177-195.
19. Treder, J. 2003. Effects of supplementary lighting on flowering, plant quality and nutrient requirements of lily 'Laura Lee' during winter forcing. *Sci. Hort.* 98: 37-47.