

순환식 수경재배시 무기이온 조절이 Single-Node Cutting 장미의 양분흡수, 생육 및 품질에 미치는 영향

양은영¹ · 박금순² · 오정심³ · 이해진³ · 이용범^{3*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과, ²국립종자관리원 서부지소, ³서울시립대학교 환경원예학과

Effect of Mineral Nutrient Control on Nutrient Uptake, Growth and Yield of Single-Node Cutting Rose Grown in a Closed Hydroponic System

Eun Young Yang^{1*}, Keum Soon Park², Jeong Sim Oh³, Hye Jin Lee³, and Yong-Beom Lee³

¹Vegetable Research Division, NIHHS, RDA, Suwon 440-706, Rep. of Korea

²Seobu Office, KSVS, MIFFAFF, Iksan 570-892, Rep. of Korea

³Dept. of Environmental Horticulture, Univ. of Seoul, Seoul 130-743, Rep. of Korea

Abstract. This study was conducted to observe the characteristics of mineral nutrient uptake of single-node cutting rose ‘Versilla’ and to determine optimal nutrient solution control method for soilless culture of ‘Versilla’ in a closed hydroponic system. Nutrient solution was managed by five different control methods: macro- and micro-element control in aeroponic system (M&M), macroelement control in aeroponic system (M), nutrient solution supplement in aeroponic system (S); electrical conductivity (EC) control in aeroponic system (EC-A); EC control in deep flow technique system (EC-D). The concentration of NO₃-N exceeds optimal range whereas P and Mg decreased at the later stage of plant growth with the EC control method, EC-A and EC-D. The overall mineral nutrient content increased with S. On the other hand the nutrient content at the root environment was maintained optimal with M&M and M. The nutrient solution control methods had significantly effect on the cut-flower quality. In the M&M and M, flower length, fresh weight and root activity were higher than those with the other mineral nutrients control methods. The maximal efficiency of photochemistry (*Fv/Fm*) was higher for M&M, M and S than that with EC-A and EC-D. Based on the above results, it is highly recommended to control nutrient solution by mineral nutrient control methods (M&M and M) in a closed hydroponic system for single-node cutting rose, ‘Versilla’.

Key words : mineral nutrient and water uptake, mineral nutrient control, plant factory, root activity, rose, quality of cut flower

서 언

장미는 세계 3대 절화 중 하나이며, 국제 기호성이 커서 1992년 이후 유리온실의 보급과 유통지원 사업의 확대로 국내 재배면적이 급격히 증가하여 2007년 현재 698.3ha에 이르고 있다. 장미 절화 생산량은 4.24억본, 생산액은 1,352억원에 달하여 국내 화훼 전체 면적의 8.7%, 생산액의 14%를 차지하고 있다(MIFAFF, 2007).

또한 우리나라 화훼 수출액 중 큰 비중을 차지하는 장미는 1999년에 8백만 달러가 수출되어 1992년 2.7만 달러보다 297배 증가하였다(MIFAFF, 2008). 주요 수출 대상국은 일본으로 장미 수출액의 98.5%를 차지하고 있다.

최근 저렴한 가격에 이용할 수 있는 casual flower에 대한 수요가 선진국을 중심으로 급증하고 있으며, 특히 일본에서 수입을 강력히 원하고 있는 실정이나 이에 대한 충분한 연구와 생산은 이루어지지 않고 있다. 따라서 장미 생산시 노동 집약적인 재배형태로는 국제 경쟁력이 낮을 수밖에 없기 때문에 기술 집약형

*Corresponding author: hydroppo@uos.ac.kr
Received October 9, 2008; Accepted November 20, 2008

식물공장 생산체제로 casual flower를 계획 생산할 수 있다면 경쟁력 있는 작물 생산 체계가 될 수 있다.

Casual flower를 생산하기 위해서는 장미 한마디를 삼복하여 발근시킨 후 한줄기를 수확하는 single-node cutting 재배방식이 적합하다. 이 재배 방식은 짧은 재배기간에 단위면적당 균일한 절화 장미를 더 많이 생산할 수 있고(Anderson, 1990; Bredmose 와 Hansen, 1996a; Bredmose 와 Hansen, 1996b; van Weel, 1996) 관행재배에서 나타나는 비정상적으로 세력이 우세한 줄기, 기형줄기, 기형화의 발생이 single-node cutting 장미에서 억제됨에 따라 정아에 발생된 하나의 꽃눈의 생장 및 개화를 향상시킬 수 있다(Bredmose 와 Hansen, 1996a). 이미 서유럽, 북미 및 일본의 장미재배 농가들은 생산비 상승에 대해 장미 생산의 자동화를 도입하여 효율적으로 대처하고 있다(Anderson, 1990 ; van den Berg, 1996 ; van Weel, 1996).

이러한 식물생산공장식 양액재배시 pH, EC 및 온도 등 근권부 환경제어는 장미의 생육 및 품질을 결정하는 중요한 요인이라고 할 수 있는데(Lee 등, 2004a ; Lee 등, 2004b) 특히 식물을 장기간 재배할 경우 배양액 내 무기이온 조성비가 달라지고 특징이온이 집적되어 작물의 생육, 수량 및 품질을 저하시킨다(Böhme, 1995; Zekki 등, 1996; Kim, 2001).

따라서 본 연구는 점차 수요가 증가하고 있는 casual flower의 연중 계획 생산 시 single-node cutting 장미의 양분흡수 특성을 구명하여 순환식 수경재배 시스템을 이용한 식물공장에서 절화 장미 재배에 적합한 배양액 내 무기이온제어 가능성과 그 효과를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 서울시립대학교에 있는 벤로형 유리온실

에서 2003년 1월 21일부터 2003년 6월 2일까지 수행하였다. 대륙계 장미 'Versillia'를 공시작물로 하여, 삼수는 채화가 가능한 정도로 꽃이 핀 충실한 줄기를 대상으로 액아가 아직 발생하지 않은 5소엽 마디 중 정아로부터 아래로 2~5마디를 위로 1cm, 아래로 3~4cm 되게 자른 다음, 30분 정도 살균제 웨나리(동부농화학, 한국) 20,000배액에 담근 후 사용하였다. 전처리된 삼수는 아래의 단면에 발근촉진제(루톤, 동부농화학, 한국)를 처리한 후 충분히 포수된 암면큐브(7.5cm×7.5cm×6.5cm, UR 암면)에 삼복하였다. 삼복 후 Ebb & Flow 시스템에 묘를 배치하여 관리하였고, 가슴기를 사용하여 삼복상 내의 상대습도를 95% 이상 높게 유지하였다. 삼복 직후에는 서울시립대학교 순환식 장미 배양액(Table 1)을 0.8dS·m⁻¹로 공급하였으며 발근 후에는 동일한 배양액을 1.5dS·m⁻¹로 공급하였다(Kang, 2001, Table 1).

배양액 내 무기이온 조절을 위한 처리 내용으로는 서울시립대 순환식 장미 배양액을 이용하여 배양액 내의 전기전도도(electrical conductivity, EC)를 분무수경 시스템에서 일정한 수치로 조절한 EC조절구(EC-A), 담액수경 시스템을 사용하여 배양액 내 EC 수치를 조절한 EC 조절구(EC-D), 1.5dS·m⁻¹의 배양액을 식물이 흡수한 만큼 보충해준 배양액 첨가구(S), 배양액 분석 후 다량원소(NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca, Mg)를 목표 수치로 조절하는 다량원소조절구(M)와 배양액 분석 후 다량원소(NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca, Mg)와 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu)를 목표 수치로 조절하는 다량·미량원소조절구(M&M)로 하였다. 배양액 분석은 정식 7일 후부터 1주일 간격으로 하였다. 분무수경방식에서 EC 제어구(EC-A)와 담액수경방식에서 EC 제어구(EC-D)는 EC를 측정된 후 베드 내의 배양액 EC를 조절하였다. 배양액 첨가구(S)는 1주일 동안 식물이 흡수한 양만큼 1.5dS·m⁻¹의 배양액으로 보충해주었다.

Table 1. Composition of nutrient solution for rose developed by UOS².

Nutrient solution	Macro-element (mg·L ⁻¹)						
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S
UOS	224	16.8	46.4	370	216	58	140
UOS	Micro-element (mg·L ⁻¹)						
	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo	
	1.5	0.35	0.58	0.35	0.045	0.045	

²The University of Seoul

다량·미량원소조절구(M&M)과 다량원소 조절구(M)는 배양액 분석 후 장미 수경재배시 근권 내 적정 무기 이온 수준과 비교하여 부족한 각각의 무기이온을 비료로 보충하여 배양액 내 무기이온조성을 일정하게 조절하였다.

최소 형광(minimal fluorescence, F_o), 최대 형광(maximal fluorescence, F_m), 광화학적 에너지 전환에 유효한 양자수율(quantum yield, Yield)과 전자 전달률(electron transport rate, ETR)의 측정은 엽록소 형광 측정기(PAM-2000, Germany, Walz)를 이용하였다. F_o 측정을 위해 leaf-clip holder(2030-B)로 측정할 부위를 30분 동안 암상태에 두어 광계 반응중심을 열린 상태로 만들어 준 다음 $0.1\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이하의 낮은 광을 조사하였다. F_m 은 1초 동안 광계 반응 중심이 닫힐 정도의 포화광($6000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사하여 측정하였다. 측정된 F_m 과 F_o 의 차인 F_v (variable fluorescence)를 계산하여 광합성 효율(maximal efficiency of photochemistry, F_v/F_m)을 도출하였다. F_m 과 F_o 를 측정된 후 actinic light ($6000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)를 조사하여 광적응된 상태의 최대 형광(F_m' , maximal fluorescence in the light-adapted leaf)을 측정하였고, 3초간 far-red light를 조사하여 광적응된 상태의 최소 형광(F_o' , minimal fluorescence in the light-adapted leaf)을 측정하였다. F_o' 와 F_m' 의 차를 t 초 후의 형광 yield인 F_t (fluorescence yield at a given time, t)로 정의하고, F_m' , F_o' 와 F_t 를 사용하여 Yield와 ETR을 계산하였다. Yield와 ETR은 360초 동안 20초 간격으로 측정하였다.

$$Yield = \frac{F_m' - F_t}{F_m'} \quad (1)$$

$$ETR = Yield \times PAR \times 0.5 \times 0.84 \quad (2)$$

F_m' : maximal fluorescence in the light-adapted leaf;
 F_t : fluorescence yield at a given time, t ; PAR: photosynthetic available radiation

각 처리별 뿌리의 활력을 비교하기 위해 TTC (triphenyl-tetrazolium chloride)법을 이용하여 근활력을 조사하였다(Yoshida, 1966). 정식 후 38일째에 뿌리 끝을 2~3cm 길이로 잘라 증류수로 세척하여 filter paper로 물기를 제거한 다음 5°C 냉암소에 보관하였다. 그 중 0.5g을 시험관에 넣고 TTC 혼합용액[1% TTC

용액:인산나트륨 원충액(pH7):distilled water (D.W) = 1:4:5] 10mL에 침지시켰다. 침지시킨 시료를 30°C의 암상태에서 반응시킨 다음 2시간 후 2N-H₂SO₄ 2mL를 가하여 반응을 정지시켰다. H₂SO₄ 용액으로 반응이 정지된 뿌리를 꺼내 증류수로 잘 씻은 후 ethyl acetate 3~5mL와 sea sand를 소량 넣고 유봉으로 마쇄하여 formazan 용액을 추출하였다. 이렇게 추출한 용액의 흡광도를 470nm에서 측정하였다.

$$Root\ activity(mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}) = \frac{formazan(mg)}{Dry\ weight\ of\ root(g) \times Reacting\ Time(h)}$$

생육조사는 개화 후 절화 시 수행하였으며, 절화장, 경경, 생체중, 건물중, 엽수, 엽장, 엽폭, 화고, 화폭 등을 측정하였다(농진청, 2003).

결과 및 고찰

1. Single-node cutting 장미의 양분흡수 특성

분무수경을 이용한 EC 제어구(EC-A), 담액수경을 이용한 EC 제어구(EC-D) 및 배양액 첨가구(S) 처리구의 배양액 내 pH는 정식 2주 후까지 4.5 이하로

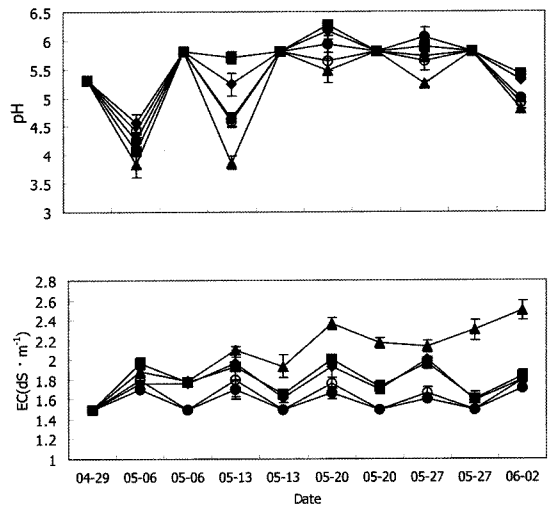


Fig. 1. Change of pH and EC in different mineral nutrient control systems of single-node cutting rose 'Versillia'. Vertical bars represent SE (n=3) of means. Macro- and micro-element control system [◆], Macroelement control system [■], Nutrient solution supplement system [▲], EC control in aeroponics system [○], EC control in DFT system [●].

떨어졌으며 특히 배양액 첨가구는 3.8까지 떨어졌다 (Fig. 1). 배양액의 pH는 여러 요인에 의해 영향을 받지만 주로 재배기간 중 작물의 생육단계와 질소흡수량상에 의해 변화한다(Choi, 1999). 근권에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 흡수량이 많아지면 H^+ 이 다량 방출되어 pH는 하강하게 된다. 정식 후 2주 동안 EC-A, EC-D와 S 처리구의 질소흡수량은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 흡수량에 비해 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 흡수가 급속히 이루어짐에 따라 배양액 내 pH가 하강한 것으로 보인다. 배양액 내 무기이온을 조절해

준 M&M 처리구와 M 처리구의 pH는 정식 후 1주 차에 5 이하로 급격히 감소하였으나 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 공급량을 조절해 준 2주 후부터는 안정적으로 유지되었다.

배양액 내 EC 변화는 EC 제어구의 변화폭이 $1.5 \sim 1.8 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 였고, 무기이온 제어구의 EC는 $1.5 \sim 1.9 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 사이에서 변화하였다. $1.5 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 배양액을 첨가해준 S 처리구는 EC가 점차적으로 상승하여 수확기에는 $2.6 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 까지 상승하였다(Fig. 1). 이는 공급 농도에 비해 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Mg 등의 흡수

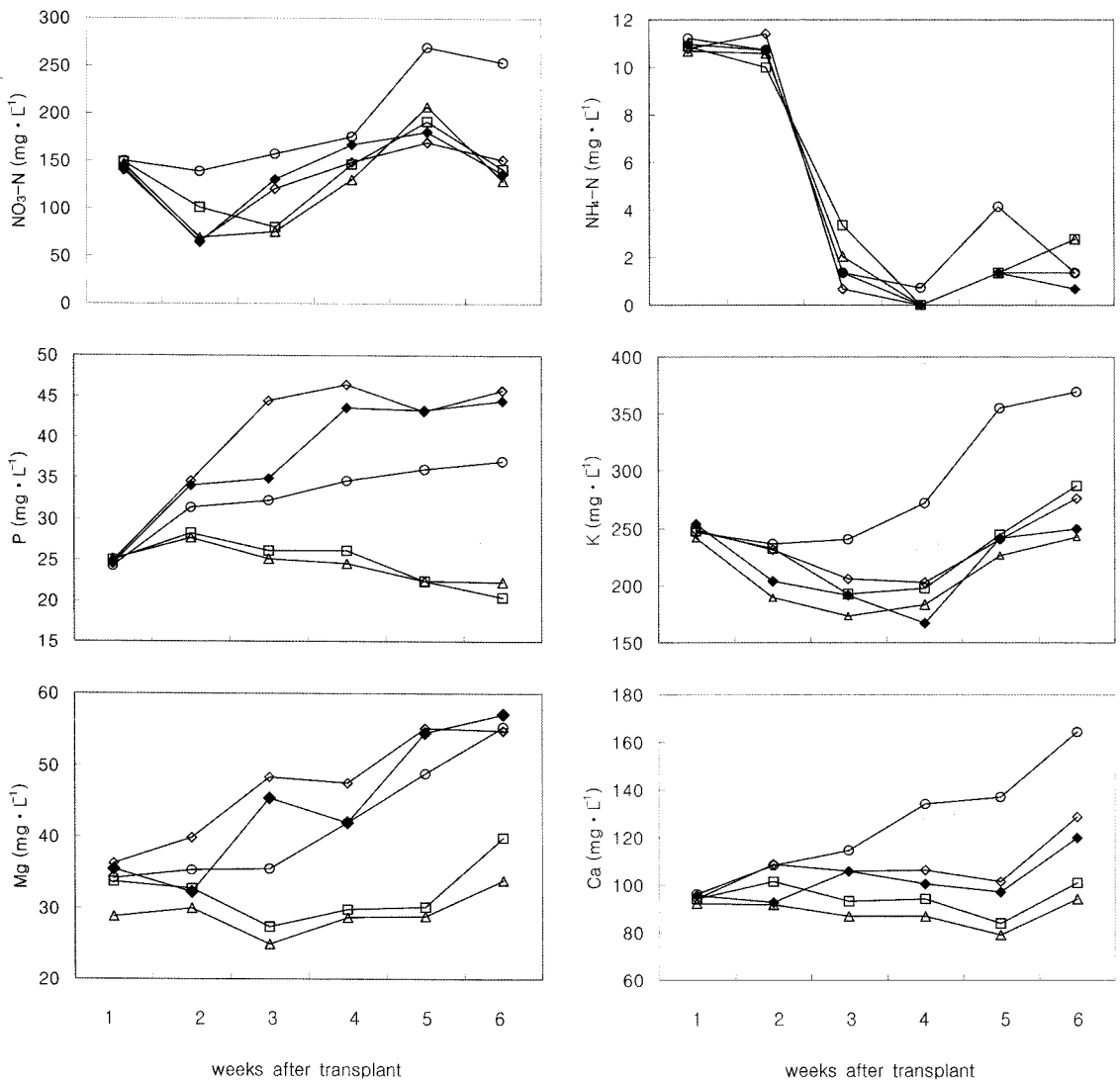


Fig. 2. Changes of macro elements concentrations in nutrient solution during 5 weeks after transplant. Macro and micro elements control system [◆], Macro elements control system [◇], Nutrient solutions supplement system [○], EC control in aeroponics system [□], EC control in DFT system [△].

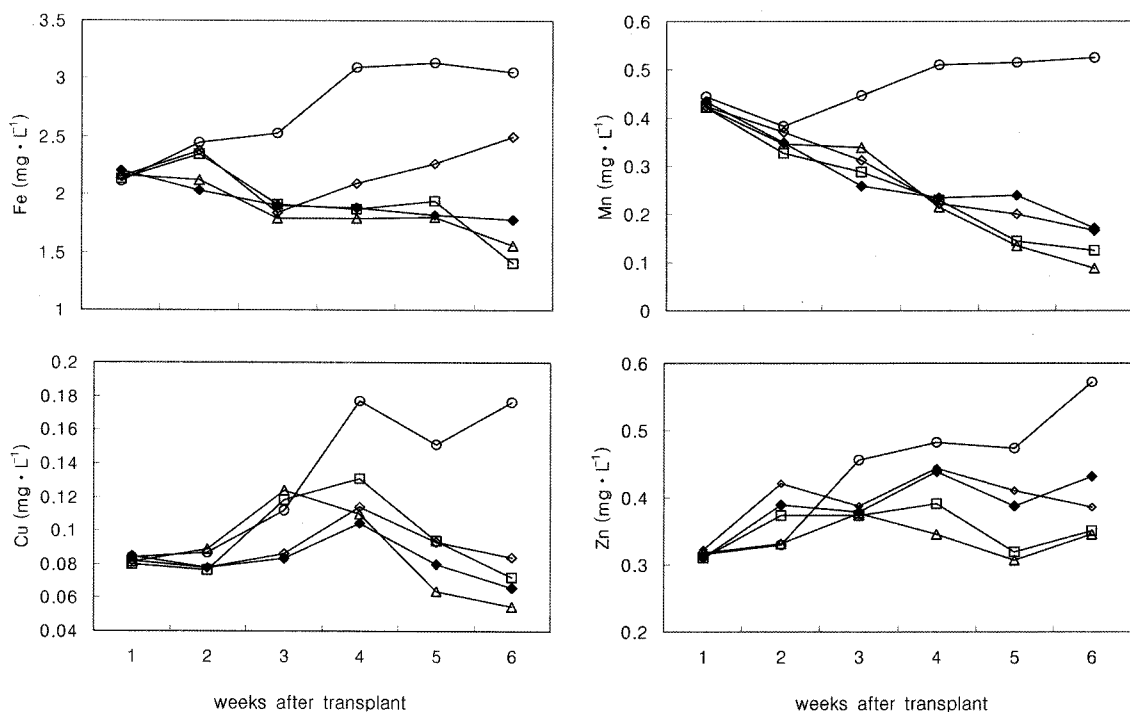


Fig. 3. Changes of micro elements concentrations in nutrient solution during 5 weeks after transplant. Macro and micro elements control system [◆], Macro elements control system [◇], Nutrient solutions supplement system [○], EC control in aeroponics system [□], EC control in DFT system [△].

가 충분히 이루어지지 않아 배양액 내 함량이 높아졌기 때문으로 보인다(Figs. 2~3).

재배 기간동안 일주일 간격으로 배양액 내 무기이온 함량의 변화를 분석한 결과(Figs. 2, 3) NO₃-N의 경우 무기이온 조절구는 1주차를 제외하고는 적정범위인 100~200mg·L⁻¹ 사이를 유지하였으나 배양액 첨가구는 정식 4주차에 급격히 상승했고 EC 조절구는 4주차에 200mg·L⁻¹ 가까이 상승하는 경향을 보였다. NH₄-N의 농도변화는 일정한 경향이 나타난 것은 아니었지만 정식 2주 후부터는 5mg·L⁻¹ 이하의 농도를 유지하였다. 배양액 내 P의 농도는 무기이온 조절구와 배양액 첨가구의 경우 적정 범위인 30~50mg·L⁻¹ 사이에서 유지되었으나 EC 조절구는 생육 후반기로 갈수록 그 농도가 낮아진 것을 볼 수 있다. K는 배양액 첨가구를 제외한 모든 처리구에서 정식 2주차까지는 배양액 내 함량이 감소하다가 생육 후반에는 점차 상승하였다. 배양액 첨가구의 K 농도는 정식 2주 후부터 점차 상승하여 수확기에는 370mg·L⁻¹까지 증가하였다. Ca의 경우 무기이온 제어구와 EC 제어구의 변

화양상은 비슷하였고 그 수치도 적정 범위인 80~120mg·L⁻¹ 사이에서 변화하였다. 배양액 첨가구의 Ca 함량은 정식 2주 후부터 상승하여 수확기에는 그 수치가 165mg·L⁻¹이었다. 배양액 내 Fe 분석 결과 미량 원소를 제어해 준 M&M 처리구가 생육 기간 내 가장 안정적인 변화양상을 보였다. 다량원소 제어구는 일정하게 농도유지를 해주지 않았기 때문에 생육후반으로 갈수록 배양액 내 Fe 농도가 상승하였다. 배양액 첨가구는 정식 2주차부터 Fe 함량이 높아졌고, EC 제어구는 시스템 간 큰차이를 보이지 않았다. 무기이온 제어구와 EC 제어구의 배양액 내 Mn 함량은 생육 후반으로 갈수록 감소하는 양상을 보였고 배양액 첨가구는 수확기에 Mn 농도가 0.5mg·L⁻¹을 상회하였다. Zn의 농도변화 경향은 비슷하였는데 그 변화폭을 보면 무기이온제어구가 변화범위가 좁았고 배양액 첨가구의 변화정도가 가장 컸다. Cu의 배양액 내 농도변화를 보면 전체적으로 정식 2주차까지 상승한 후 수확기로 갈수록 감소하는 경향을 나타냈다. 그 중 무기이온 제어구의 변화 폭이 가장 안정적이었다.

2. 무기이온 조절이 single-node cutting 장미의 생육 및 품질에 미치는 영향

엽록소 형광은 식물 스트레스의 비파괴적인 측정 인자로 사용되고 있다. 엽록소 형광을 이용할 경우 식물의 저온, 고온, 가뭄에 대한 저항성 검정이 가능하며, 특히 가시적인 피해가 나타나기 전에 식물의 영양상태를 모니터링 할 수 있다. 이전의 연구 결과에 따르면, Fe이 결핍된 조건으로 수경재배한 사탕수수의 경우 광계II를 구성하는 색소인 lutein, violaxanthin, zeoxanthin의 함량이 적정량의 Fe을 공급해준 것에 비해 상당량 감소하는 것으로 보고되었고(Morales, 2001), N이 결핍된 옥수수는 rubisco 함량과 RuBpCase 활성이 감소되므로 Calvin cycle에서 중요한 역할은 담당하는 효소들의 합성이 잘 이루어지지 않아 광합성률과 양자수율이 감소한다고 하였다(Zhang, 2000).

각 처리간 광화학적 특성을 알아보기 위해서 정식 36일 후 F_o , F_v , F_v/F_m , Yield, ETR 등을 측정하였다. 광화학적 효율을 나타내는 F_v/F_m 는 무기이온 제어구, 배양액 첨가구, EC 제어구 순이었다(Table 2).

F_v/F_m 는 식물의 광화학적 효율을 가늠할 수 있는 지표로 식물이 스트레스를 받거나 부적합한 환경 하에 있게 되면 그 값이 낮아진다. 따라서 EC 제어구의 F_v/F_m 값이 감소한 것은 실험 기간 동안 배양액 내

Table 2. Changes in the fluorescence parameters in the dark-adapted leaves suddenly illuminated with a pulse of saturating light ($6000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), the minimal fluorescence (F_o), the maximal fluorescence (F_m) and the ratio of maximal variable fluorescence to maximal fluorescence (F_v/F_m) in the different mineral nutrient control systems of single-node cutting rose ‘Versillia’.

Treatment ^c	F_v/F_m	F_o	F_m
M&M	0.804a ^y	0.314b	1.651a
M	0.792a	0.312b	1.629a
S	0.796a	0.314b	1.523b
EC-A	0.743b	0.340a	1.314c
EC-D	0.742b	0.334a	1.332c

^aM&M: macro- and micro-element control system; M: macroelement control system; S: nutrient solution supplement system; EC-A: EC control in aeroponics system; EC-D: EC control in DFT system.

^bMean separation within columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

N, P 및 Mg 등의 농도가 생육 후기로 갈수록 집적되거나 감소되어 식물체가 불균형적인 근권 환경 하에서 생육했기 때문이라고 생각된다. 광계II의 reaction center에서 일어나는 광화학적 에너지 전환에 유효한 양자수율인 Yield와 ETR을 360초 동안 20초 간격으로 측정하였다(Figs. 4, 5). Yield는 시간이 지날수록 무기이온 제어구와 EC 제어구 간에 차이를 보여, 마지막 측정시에는 무기이온 제어구의 경우 정상적인 환경 하에서 자란 식물의 yield 수치인 0.8에 가까웠고, EC 제어구는 그 값이 0.6 정도였다. 전자전달계 내 에너지를 가진 전자를 받아들이는 광계가 2개 존재하는 것과 엽록소 형광 측정기를 통하여 잎표면에 투사되는 양자 중 잎이 흡수하는 양이 84%인 것을 감안하여 계산한 ETR도 Yield의 변화 양상과 유사하였다.

정식 38일 후 배양액 조절 방법에 따른 뿌리의 활력 차이를 비교하기 위해서 tetrazolium 방법을 사용하여 근활력을 측정하였다. Tetrazolium 방법은 호흡과정 중 Kreb’s cycle에 관여하는 주요 효소인 dehydrogenase의 활성을 측정하여 뿌리의 활성을 평가하는 방법으로, dehydrogenase에 의해 형성된 전자를 수용하는 화합물로서 tetrazolium salts가 사용된다. 이 tetrazolium salts는 전자가 환원되면 formazan을 형성

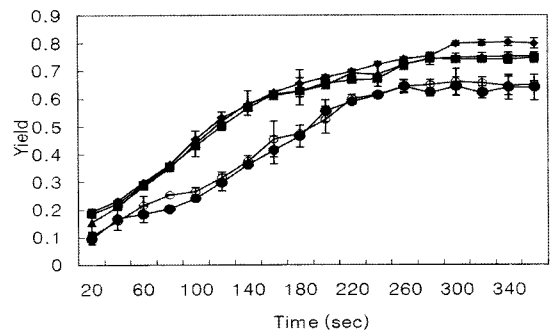


Fig. 4. Changes of yield in the different mineral nutrient control systems of single-node cutting rose ‘Versillia’. Vertical bars represent SE (n=4) of means. Macro- and micro-element control system [◆], Macroelement control system [■], Nutrient solution supplement system [▲], EC control in aeroponics system [○], EC control in DFT system [●]

Measured at $23\pm 0.5^\circ\text{C}$ with a chlorophyll fluorometer (PAM 2000, Walz, Germany) on dark adapted leaves. F_o was measured light by switching on the modulated light 0.6 kHz; PPF was less than $0.1\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ at the leaf surface. F_m was measured at 20 kHz with a 1 s pulse of $6000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ of light emission diode (LED).

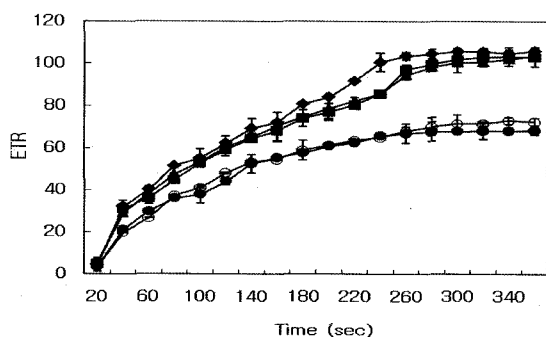


Fig. 5. Changes of ETR in the different mineral nutrient control systems of single-node cutting rose ‘Versillia’. Vertical bars represent SE (n=4) of means. Macro- and micro-element control system [◆], Macroelement control system [■], Nutrient solution supplement system [▲], EC control in aeroponics system [○], EC control in DFT system [●]

Measured at $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ with a chlorophyll fluorometer (PAM 2000, Walz, Germany) on dark adapted leaves. Fo was measured light by switching on the modulated light 0.6 kHz; PPF was less than $0.1 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ at the leaf surface. Fm was measured at 20 kHz with a 1 s pulse of $6000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ of light emission diode (LED).

$$\text{ETR} = \text{PAR} \times \text{yield} \times 0.5 \times 0.84$$

하는데 분홍색을 나타내는 formazan의 농도 차이로 뿌리의 활력을 비교할 수 있다.

그 결과 배양액 내 무기이온 제어 방법에 따른 장미의 근활력은 무기이온제어구, EC 제어구, 배양액 첨가구 순으로 높게 나타났다. 배양액 첨가구의 뿌리 활력을 나타낸 수치가 다른 처리구들에 비해 특히 낮은데(Fig. 6) 이는 배양액 첨가구의 배양액 내 pH가 실험 시작 후 3주 동안 매우 낮게 유지되어 뿌리 활성에 영향을 주었기 때문이라고 생각된다. Taro(1982)는 뿌리 세포의 효소활성과 H⁺의 농도의 상관관계에 대한 연구에서 pH가 높고 낮음에 따라 가지적인 장애를 나

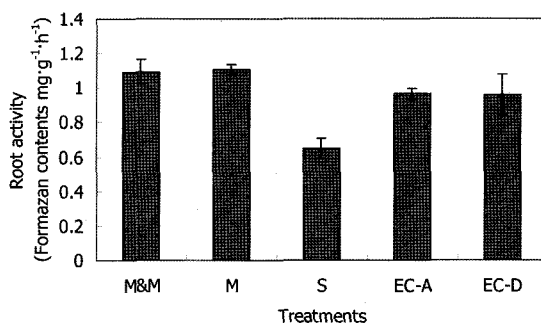


Fig. 6. Effect of mineral nutrient control on root activity of single-node cutting rose ‘Versillia’ at 38th day after transplant. Vertical bars represent SE (n=5) of means.

M&M: macro- and micro-element control system.

M: macroelement control system.

S: nutrient solution supplement system.

EC-A: EC control in aeroponic system.

EC-D: EC control in DFT system.

타내지는 않아도 생육에 영향을 미치며, pH가 낮아짐에 따라 auxin이나 cytokinin의 활성이 낮아져 발근이나 뿌리 신장이 나쁘다고 보고한 바 있다.

배양액 내 무기이온 제어가 single-node cutting 장미 ‘Versillia’의 생육에 미치는 영향을 보기 위해 절화장, 경경, 생체중, 건물중, 엽수, 엽장, 엽폭, 화고, 화폭 등을 조사하였다(Table 3). 그 결과 절화장은 M&M, M 처리구와 S 처리구가 우수하였고, 생체중은 M&M, M, S, EC-D 그리고 EC-A 처리구순이었다. 건물중과 엽장은 S 처리구가 가장 높았고, 엽장은 M&M 처리구와 S 처리구에서 높게 나타났다. 경경과 화폭은 각 처리간 유의적 차이가 없었다.

절화 장미의 수경재배시 정상적인 관리가 될 경우 지상부 생육이 왕성하므로, 토양재배에 비해 뿌리의 부피가 적고 세근이 많은, 즉 지상부에 비해 지하부가

Table 3. Effect of mineral nutrient control on growth of single-node cutting rose ‘Versillia’.

Treatment ²	Cut flower				No.	Leaf			Flower	
	Length (cm)	Stem diam. (cm)	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)		Length (cm)	Width (cm)	Area (cm ²)	Height (cm)	Diam. (cm)
M&M	63.0a ³	0.57	43.5a	9.56b	14.7a	12.2bc	11.1a	679.5a	10.1a	5.0
M	62.8a	0.57	38.1ab	8.64bc	13.7b	12.8ab	10.7a	602.8b	10.8a	5.2
S	59.7b	0.56	38.5ab	10.45a	15.0a	13.2a	10.9a	683.9a	10.5a	4.7
EC-A	52.3c	0.53	33.1b	7.01c	13.3b	11.6bc	10.6a	511.4c	8.2b	5.2
EC-D	51.0c	0.52	35.0b	8.64bc	13.0b	11.0cd	9.5b	522.6c	9.6ab	5.4

²M&M: macro- and micro-element control system; M: macroelement control system; S: nutrient solution supplement system; EC-A: EC control in aeroponics system; EC-D: EC control in DFT system.

³Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

빈약한 비대칭형태로 자라게 된다. 따라서 근권 내 EC, pH, 급액량, 배양액 내의 이온 함량 등의 관리가 잘못되면 잔뿌리가 상하게 되어 원활한 양분 흡수가 이루어지지 않아 지상부의 생육 저하로 이어진다. 딸기 수경재배시 EC 제어에 비해 무기이온 농도를 조절할 경우가 수량이 15% 정도 증가하였고(Udagawa, 1996), 오이 수경재배 시 배양액을 2주마다 교환한 것과 그렇지 않은 것은 생육의 차이는 없었으나 배양액을 교환하지 않은 경우 수량이 급격히 감소하였는데 이 때 새로 양액 조성을 해 주면 과실 수량의 감소를 막을 수 있었다(Toshiki 등, 1998). 또한 토마토 필라이트 수경재배 시 배양액을 EC 수준으로 조절할 처리구보다 무기이온 제어를 해준 처리구의 총과중, 상품과중, 상품과율 등이 높았고, 반대로 배꼽썩음과(BER : blossom end rot)의 수는 적었다(Jo, 2002). 이들 실험결과와 유사하게 본 실험에서도 절화의 품질을 결정하는 절화장, 생체중 등이 무기이온 제어구와 배양액 첨가구에 비해 EC 제어구가 낮은 것으로 나타났다. 이것은 EC 처리구가 실험 기간 동안 single-node cutting 장미 ‘Versillia’의 양분흡수 특성에 적합한 영양 공급이 이루어지지 않아 생육 후반으로 갈수록 무기이온이 집적되거나 감소하여 균형있는 양·수분 공급이 이루어지지 않아 원활한 동화산물 생성이 이루어지지 않았기 때문이라고 볼 수 있다.

적 요

본 실험은 장미 식물공장에서 single-node cutting ‘Versillia’의 양분흡수 특성을 구명하고 순환식 수경재배 시스템에 적합한 배양액 내 무기이온 조절방식을 구명하고자 수행하였다.

실험 기간동안 각 처리별 배양액 내 무기이온함량 변화를 살펴본 결과 EC 제어구의 경우 NO₃-N은 생육 후반이 되면 그 함량이 적정 범위 이상으로 증가하였고 P와 Mg은 감소하였으며 배양액 첨가구는 전체적인 배양액 내 무기이온 함량이 증가하였다. 이에 비해 무기이온 제어구는 생육 기간동안 근권 내 적정 범위를 유지하였다.

광합성 효율을 나타내는 지표 중 하나인 Fv/Fm는 무기이온제어구와 배양액 첨가구에서 높았고 절화장, 생체중 등은 무기이온 제어구에서 높았다. 그러나 뿌리

의 활성 정도를 측정해본 결과 무기이온 제어구에서 높았으나 배양액 첨가구에서는 생육 초기에 배양액 내 pH 변화폭이 커서 가장 낮게 나타났다.

위의 결과를 종합하였을 때, 무기이온 조절(다량·미량원소 제어구와 다량원소 제어구)을 통해 배양액을 관리하는 것이 생육 전 기간 동안 근권 환경을 적절히 유지해 줄 수 있었고 이에 따라 절화 품질도 향상되므로 장미(single-node cutting) 순환식 수경재배에 적합한 근권 환경 제어방식이라고 할 수 있다.

주제어 : 광합성 효율, 근활력, 무기이온제어, 식물공장, 양분흡수특성, 절화품질

인 용 문 헌

1. Anderson, R.G. 1990. Use of pot plant mechanization techniques to produce short stemmed cut flower for supermarket bouquets. Acta Hort. 272:319-326.
2. Böhme, M. 1995. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. Acta Hort. 396:45-54.
3. Bredmose, N. and J. Hansen. 1996a. Topophysis affects the potential of axillary bud growth, fresh biomass accumulation and specific fresh weight in single-stemmed rose(*Rosa hybrida* L.). Ann. Bot. 78:214-222.
4. Bredmose, N. and J. Hansen. 1996b. Potential of growth and flowering in single-stemmed rose(*Rosa hybrida* L.) plants as affected by topophysis. Acta Hort. 440:99-104.
5. Choi, G.Y. 1999. Environmental factors in a plant factory affecting tipburn incidence of the lettuce. PhD Diss. The University of Seoul, Korea.
6. Jo, S.S. 2002. Effect of mineral nutrient control on nutrient uptake, growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a closed soilless culture system. M.S. Diss. The Univ. of Seoul, Korea.
7. Kang, M.J. 2001. Development of optimum nutrient solution for single-stemmed rose in a plant factory. M.S. Diss. The Univ. of Seoul, Korea.
8. Kim, H.J. 2001. Modelling nutrient uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and cucumber (*Cucumis sativas* L.) for closed substrate culture system. PhD Diss., The Chungbuk National Univ. Korea.
9. Lee et al. 2004a. Effect of EC and pH of nutrient solution on the growth and quality of single-stemmed rose in cutted rose production factory. J. Bio-Environ. Cont. 13(4):258-265.
10. Lee et al. 2004b. Effect of root zone temperature on

- the growth and quality of single-stemmed rose in cut rose production factory. *J. Bio-Environ. Cont.* 13(4): 266-270.
11. Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MIFAFF). 2007. Statistics of floriculture. p. 71.
 12. Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MIFAFF). 2008. Main statistics of food, agriculture, forestry and fisheries. p. 336.
 13. Morales, F., N. Moise, R. Quilez, A. Abadia, J. Abadia, and I. Moya. 2001. Iron deficiency interrupts energy transfer from a disconnected part of the antenna to the rest of Photosystem II. *Photosynthesis Research.* 70(2):207-220.
 14. Rural Development Administration. 2003. Analysis method of soil and plant. p. 139-140.
 15. Taro, I. H. 1982. Several Problems of hydroponic culture system 5pH management of mineral solution. *Agriculture and horticulture.* 57(2):327-331.
 16. Udagawa, Y. 1996. The here and hereafter of mineral solution sensors. p.43-51. SHITA REPORT No.11
- High-technology of plant factory. Japanese Society for Plant Factory. The 6th SHITA Symposium Handbook.
 17. Toshiki, A., U. Motomasa, O. Katsumi, H. Takashi, I. Norihiro and U. Hisafumi. 1998. Decrease of yield of cucumber by non-renewal of the nutrient hydroponic solution and its reversal by supplementation of activated charcoal. *J. Japan. Soc. Hort.* 67(1):66-105.
 18. Weel, P.A. van, 1996. Rose factory design. *Acta Hort.* 440:298-303.
 19. Yoshida, O.K. 1966. Analytical method of root activity. *J. Japan, Aoc. Soil. Sci. Fert.* 37(1):63-68.
 20. Zhang, J., and C. Lu. 2000. Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Sci.* 5(2):135-143.
 21. 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.