

## 순환식 수경재배에 적합한 토마토 배양액 개발

유성오 · 배종항\*

원광대학교 식물자원과학부(생명자원과학연구소)

### Development of Optimal Nutrient Solution of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in a Closed Soilless Culture System

Sung Oh Yu and Jong Hyang Bae\*

Division of Plant and Resource Science, Wonkwang Univ., Iksan 570-749, Korea

**Abstract.** The experiment was conducted to investigate the nutrition absorption pattern in the growth stages and develop the optimal nutrient solution hydroponically grown the tomato in closed substrate culture system with the nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan into 1/2 S, 1 S, and 2 S. When plant was grown in 1/2 S, the growth and yield were high and the pH and EC in the rooting zone were stable. Suitable composition of nutrient solution for tomato was  $\text{NO}_3\text{-N}$  7.1,  $\text{PO}_4\text{-P}$  2.1, K 4.0, Ca 3.1, Mg 1.2, and  $\text{SO}_4\text{-S}$   $1.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$  in the early growth stage and  $\text{NO}_3\text{-N}$  6.5,  $\text{PO}_4\text{-P}$  2.3, K 3.4, Ca 3.1, Mg 1.1, and  $\text{SO}_4\text{-S}$   $1.1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$  in the late growth stage by calculating a rate of nutrient and water uptake. To estimate the suitability for the nutrient solution of tomato in a development of optimum nutrient solution of tomato developed by Wonkwang university in Korea (WU), plant was grown in perlite substrate supplied with different solution and strengths(S) by research station for greenhouse vegetable and floricultuin in the Netherlands (Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk; PTG) of 1/2 S, 1 S and 2 S, respectively. The growth was good at the PTG and WU of 2 S in early growth stage, and at the WU 2S in late growth stage. The highest yield of tomato obtained in the WU of 2 S, although blossom-end rot was appeared in all treatments. pH and EC in root zone of WU of 2 S were stable during the early and late growth stage. Therefore when plant was grown in WU of 2 S, N and P content in the nutrient solution need to low, according N and P content of their leaves were high in WU of 2 S.

**Key words :** Blossom end rot, growth stage, ratio of nutrient and water uptake, soluble solid

\*Corresponding author

## 서 언

1920년대 후반 상업적인 수경재배 실용화 가능성이 제시(Gericke, 1929)된 이래 반세기가 지나면서 수경재배는 고비용 고효율 농업생산 방식에서 최근에는 친환경 농업생산 시스템으로 자리를 잡고 있다. 국내 재배 면적도 1992년 13.4 ha에서 2002년에는 780 ha로 지속적인 증가를 보였으며, 주 재배방식은 펄라이트와 암면 등을 이용한 고행배지경이 전체의 84%를 차지하고 있다(RDA, 2003). 작물별로는 채소류가 558 ha, 화훼류가 222 ha를 차지하였으며, 채소 작물로는 토마토가 251 ha로 가장 많은 면적을 차지하고 있다(Kim과 Kim, 2002). 이러한 고행배지 재배는 대부분 비순

환식 수경재배 시스템으로 작물의 증산량 및 양분흡수량을 고려하여 양액을 공급하고 수경재배 시스템으로부터 나오는 배액을 그대로 하우스 내부나 외부로 버리는 방식이다(板東, 1991). 비순환식 수경재배는 토양재배와 비교해서 많은 장점이 있지만 계속 이용될 경우 유실되는 비료로 인한 경제적 손실과 토양의 염류집적 및 지하수 오염을 일으킬 수 있다. 한편 Sonneveld(1993)는 순환식 시스템은 비순환식에 비해서 사용되는 물의 양이 64%, N과 K는 각각 44%와 50% 정도까지 줄일 수 있으므로 비료의 손실과 환경오염을 최소화하는 수경재배 방식이라고 하였다. 따라서 앞으로의 고행배지 재배는 배양액을 회수하여 재사용할 수 있는 순환식 수경재배 시스템으로 실용화되어야 한다(Bartosik 등,

1993; Jensen, 1997).

순환식 수경재배에서는 지상부와 근권부 환경, 생육 단계 및 품종 등에 따라 작물의 양·수분 흡수량상이 달라지고 이로 인해 배양액 내 무기이온 조성비도 달라진다(Kim, 2001). 따라서 재배기간이 지속될수록 배양액 내 무기이온간 균형이 깨지거나 특정이온이 집적되어 작물의 생육, 수량 및 품질을 저하시킨다(Böhme, 1995; Zekki 등, 1996). 순환식 배양액으로는 일본의 순수수경용 아마자키 배양액과 비순환식과 순환식 배지경용으로 개발된 네덜란드 온실작물연구소(PTG)의 배양액이 있으며, 국내에서도 순환식 고품배지경 배양액(Kim, 1998; Choi 등, 1998; Choi 등, 2001; Roh 등, 1997)을 개발하여 사용하고 있다. 그러나 배양액이 작물일지라도 품종에 따라, 재배 환경 및 생육 단계 등에 따라 상이한 결과를 보임에 따라 토마토의 이용 및 소비가 많은 품종 ‘모모타로’를 공시하여 생육 단계에 따른 양수분 흡수 특성을 고려한 순환식 배지경 수경배양액을 개발하고자 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 순환식 고품배지에 적합한 배양액 개발

육묘용 암면 플러그판(Grodan, Denmark)에 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.; ‘모모타로’)를 2002년 4월 6일 파종한 후 본 엽이 4매 전개되었을 때 암면블록(Du 4.6, Grodan, Denmark)에 이식하여 육묘한 후 1화방이 개화하였을 때 펠라이트 배지 재배상(MP2B, 가화텍, Korea)에 1줄, 40 cm 간격으로 9주씩 정식하였다. 정식 전 뿌리의 활착과 배지 내 수분평형을 유지하기 위하여 배양액으로 포수시켰고, 수분증발과 이끼발생을 막기 위해 베드 윗부분을 흑색필름으로 덮은 후 3번복 난괴법으로 배치하였다. 급액은 적산일사량이  $15 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ 에 도달했을 때 10분간 점적 관수하였으며, 사용된 배양액은 일본야채시험장 표준액( $\text{NO}_3\text{-N}$  16.0,  $\text{NH}_4\text{-N}$  1.3,  $\text{PO}_4\text{-P}$  4.0, K 8.0, Ca 8.0, Mg  $4.0 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 1배액을 기준으로 1/2배액(1/2 S), 1배액(1 S) 및 2배액(2 S)의 3수준 농도로 조성하여 3일마다 식물이 흡수한 배양액 양만큼 보충하였다. 토마토 1번 화방이 비대되면서 2~3 화방이 개화하는 시기를 생육 초기로, 그 이후를 생육 후기로 나누어 Yamasaki(1981) 방법에 따라 양 수분 흡수율을, 배양액의 pH(pH-93,

Nieuwkoop, Netherland)와 전기전도도(EC; Electrical conductivity, EC-93, Nieuwkoop, Netherland)를 계속하고, 생육과 수량을 조사하였다.

생육 조사 항목으로는 초장, 절간길이, 줄기직경, 생체중 및 건물중을 측정하였다. 건물중은  $65^\circ\text{C}$ 에서 72시간 건조된 후의 무게를 건물중으로 산정하였고, 수량 조사 항목으로는 과수, 과중 및 당도를 조사하였다. 당도 분석은 당도계(507-1, N.O.W., Japan)를 사용하였다.

배양액의 무기성분 분석을 위하여 200 mL정도씩 채취하여 여과지(Whatman NO.2, USA)로 여과한 액을 사용하였으며, 인은 vanadate법으로 470 nm에서 비색계(Shimadzu, UV 2100, Japan)를 사용하여 측정하였고, K, Ca 및 Mg 함량은 각 원소의 파장별로 원자흡광광도계(Perkin Elmer 3100, USA)를 사용하여 측정하였다.

### 2. 개발된 배양액의 적합성 평가

양·수분 흡수율에 따라 원광대에서 개발한 토마토 순환식 배양액(Wonkwang university; WU)의 적합성 여부를 알아보기 위하여 네덜란드 온실작물연구소의 순환식 PTG(Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk) 배양액을 대조구로 하여 각 배양액의 3처리(1/2배액, 1배액 및 2배액) 수준에서 적합성을 평가하였다. 2003년 3월 19일에 파종한 후 4월 23일 암면블록에 이식하여 5월 20일 펠라이트 배지에 정식하여 생육 단계에 따라 생육 및 수량, 잎의 무기성분 함량을 분석하였다.

식물체 잎의 K, Ca 및 Mg 함량은  $80^\circ\text{C}$ 에서 2일간 건조한 후 건물중 0.5 g을 ternary 용액( $\text{HNO}_3\text{:HClO}_4\text{:H}_2\text{SO}_4=10:4:1 \text{ v/v}$ ) 10 ml을 가해 분해한 후 각 파장별 무기이온 함량을 원자흡광분광기(Perkin Elmer 3100, USA)로 측정하였다.

배양액의 pH와 EC 변화는 정식 1주일 후부터 7일 간격으로 측정한 후 pH는 각 처리 모두  $5.8 \pm 0.1$  수준으로 0.1 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 를 이용하여 조절하였고, 배양액의 EC는 각각의 농도  $\pm 0.1$  범위로 조절하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 순환식 고품배지에 적합한 배양액 개발

펠라이트 순환식 수경재배로 아마자키 배양액의 3농

순환식 수경재배에 적합한 토마토 배양액 개발

도 처리(1/2배액, 1배액, 2배액)에 따른 생육 단계별 생육을 조사한 결과(Table 1) 생육 초기에는 1배액 처리에서 초장이 가장 컸고, 생체중과 건물중이 높았다. 2배액의 처리는 절간길이, 줄기직경이 가장 컸으며, 생체중은 저농도인 1/2배액보다 낮았으나 건물중은 높았다. 한편 저농도 1/2배액은 2배액보다 높은 생체중을 보였으나, 건물중이 낮아 생장이 진전됨에 따라 수분의 공급에 비해 이온의 흡수가 낮아 양분의 분배가 원활히 이루어지지 못한 것으로 보인다. 생육 후기에는 배양액 농도 간에 초장, 절간길이 및 줄기직경은 유의적인 차이가 없었으며, 1배액에서 생체중과 건물중이 높았다. 주당 토마토 과실수도 배양액 농도 간에는 유의적 차이가 없었으나, 1배액에서 많은 경향을 보인 반면 개당 토마토 과실 무게는 저농도인 1/2배액에서 높았으며, 농도가 높아짐에 따라 당도 함량은 증가하였다.

토마토 생육과 배양액 농도는 밀접한 관계가 있어 토마토 암면 재배할 경우 육묘기에는 1.2~1.8 dS·m<sup>-1</sup>, 개화 비대기에는 1.4~1.8 dS·m<sup>-1</sup>, 수확기에는 1.6~2.2 dS·m<sup>-1</sup>를 목표로 관리한다고 보고하였고(日本施設園藝協會, 1991), Adams와 Ho(1995)는 토마토 배양액의 EC농도가 3.0 dS·m<sup>-1</sup>일 때, 전 식물체의 무게가 가장 높다고 하였다. Choi 등(1998)은 암면배지에서 토마토 감복을 배양액 농도 1.1, 2.1 및 3.9 dS·m<sup>-1</sup>처리로 70일간 재배한 결과 수량은 2.1 dS·m<sup>-1</sup>에서 높았으나 품질과 직결된 과실의 당도 및 산 함량은 3.9 dS·m<sup>-1</sup> 처리가 높다고 보고한 바와 같이 본 실험에서도 ‘모모타로’의 생육은 1배액에서 좋았으나 과실의 당도는 2배

액에서 높았다. 한편 토마토의 당도는 4~5°Brix면 양호하고, 6.0°Brix이상이면 고품질에 속한다는 연구 결과에 비추어 볼 때 본 실험에서는 다소 낮은 1/2배액의 1.0 dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 생육도 좋았고, 당도도 6.0°Brix를 나타내어 토마토 재배에 1/2배액도 적합한 것

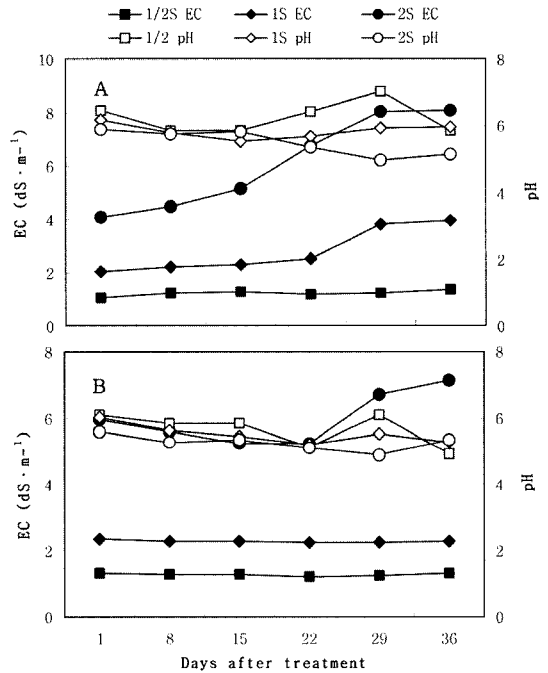


Fig. 1. Changes of EC and pH in drained nutrient solution hydroponically grown tomato in closed perlite culture system as affected by different nutrient strength. A; Early growth stage, B; Late growth stage.

Table 1. Effect of nutrient concentration on the growth hydroponically grown tomato in closed perlite culture system.

Nutrient concentration <sup>z</sup>	Plant height (cm)	No. of node (ea)	Stem diameter (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	No. offruit (No./plant)	Fruit weight (g/fruit)	Soluble solid (°Brix)
Early growth stage								
1/2S	188.5 a <sup>y</sup>	23.6 b	10.9 b	998.1 b	91.1 c	-	-	-
1 S	207.1 a	25.1 ab	11.2 ab	1181.4 a	125.2 a	-	-	-
2 S	198.4 a	26.4 a	11.6 a	883.3 b	114.5 b	-	-	-
Late growth stage								
1/2S	314.2 a	41.2 a	15.6 a	932.3 b	244.1 a	27.1 a	133.7 a	6.0 c
1 S	305.3 a	38.9 a	15.6 a	1802.8 a	250.9 a	28.6 a	85.4 b	7.0 b
2 S	317.8 a	41.7 a	14.9 a	1500.3 ab	231.2 a	25.2 a	50.6 c	8.3 a

<sup>z</sup>Strength of concentration in nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, P = 0.05.

으로 한 것으로 보였다. Roh(1993)는 1화방 개화기 이후의 배양액 농도(1.0~3.0 dS·m<sup>-1</sup>)가 토마토의 초기 수량 및 당도에 고도로 유의한 정적 상관관계를 보인다고 하였다. 본 실험에서 생육 초기 1화방이 비대되고 2화방이 개화되는 시기의 생육은 1배액인 2.0 dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 좋았으나, 생육후기는 다소 낮은 1.0 dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 생육 및 수량이 좋음에 따라 적정 EC 관리는 생육 단계에 따라 다름을 확인하였다.

Fig. 1은 생육 진전에 따른 근권의 EC와 pH의 경시적인 변화로서 생육 초기에는 1/2배액 처리에서 토마토 근권 EC가 재배기간 일정한 수준을 보였으며, 근권의 pH도 4.99~7.01의 분포를 나타내어 대체적으로 안정적이었다. 1배액과 2배액 처리에서는 토마토의 생육이 왕성해짐에 따라 EC가 높아졌는데 고농도인 2배액 처리에서 증가 폭이 컸다. 이는 양분의 흡수보다는 수분의 흡수가 많아져 양분이 집적된 것으로 보

인다. 1배액 처리에서 근권 pH는 안정적인 분포를 보였으나, 2배액 처리에서는 정식 15일 이후 내리가는 경향을 보였다. 생육후기에는 1/2배액과 1배액 처리에서 근권 EC는 안정적인 분포를 보인 반면 고농도 2배액 처리에서는 정식 후 처음엔 감소하다가 22일 이후 증가하였다. 한편 근권의 pH는 배양액 농도 처리에 관계없이 안정적인 분포를 보였다.

배양액의 EC와 pH는 지상부로의 양·수분 흡수에 제한 인자로 작용할 수 있어 작물의 적정 EC의 범위가 존재하여 그 범위를 벗어나면 무기성분의 균형이 흐트러져 일부 원소들이 과잉집적 또는 부족해질 수 있다. 본 실험에서 1/2배액과 1배액의 pH는 높아지다가 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 배양액 중에서 주 음이온 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이온의 흡수가 우선적으로 일어나면서 (Ikeda, 1981) pH가 증가하다가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 이온의 흡수가 다 이루어지고 나면 K<sup>+</sup> 이온을 중심으로 한 양이온

**Table 2.** Calculated n/w value and absorbed water uptake hydroponically grown tomato based on the Yamasaki's formula in closed system.

Nutrient concentration <sup>2</sup>	Items measured	Water (L)	Items measured	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg
				me·L <sup>-1</sup>			
Early growth stage							
1/2S	a	90.00	y	2.29	3.19	3.86	1.04
	w	598.50	y <sub>1</sub>	2.12	4.08	2.97	1.27
	a/w	0.15	n/w	2.15	3.94	3.11	1.24
1 S	a	90.00	y	4.30	6.28	6.59	2.08
	w	557.20	y <sub>1</sub>	2.71	5.58	5.53	2.48
	a/w	0.16	n/w	2.96	5.69	5.70	2.41
2 S	a	90.00	y	8.15	12.51	12.51	4.26
	w	501.00	y <sub>1</sub>	4.81	10.84	13.33	5.09
	a/w	0.18	n/w	5.41	11.14	13.18	4.94
Late growth stage							
1/2S	a	80.00	y	2.29	3.19	3.86	1.04
	w	428.70	y <sub>1</sub>	1.75	3.23	3.21	1.55
	a/w	0.19	n/w	1.85	3.22	3.33	1.45
1 S	a	80.00	y	4.30	6.28	6.59	2.08
	w	373.30	y <sub>1</sub>	2.43	5.81	7.05	2.89
	a/w	0.21	n/w	2.83	5.59	6.95	2.72
2 S	a	80.00	y	8.15	12.51	12.51	4.26
	w	244.40	y <sub>1</sub>	9.84	17.72	22.97	9.15
	a/w	0.33	n/w	9.29	16.02	19.54	7.55

n/w : The formula devised by Yamasaki to determine the amount of macro nutrients and water uptake at regular intervals during substrate culture.

If  $y > y_1$ ,  $n/w = a/w(y - y_1) + y_1$ ;  $y < y_1 = y_1 - a/w(y_1 - y)$ .

S: The nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan.

a: Initial volume of culture solution in each tray (liter).

w: The amount of water absorbed by plants (liter).

y: The initial concentration of macronutrients in culture solution (me·L<sup>-1</sup>).

y<sub>1</sub>: The final concentration of macronutrients in culture solution (me·L<sup>-1</sup>).

## 순환식 수경재배에 적합한 토마토 배양액 개발

흡수가 지속적으로 이루어지면서 배양액 내 축적된  $(K + Ca + Mg)/(N + P + S)$  비가 1내외로써 양이온이 음이온보다 흡수가 많아 pH가 낮아진다고 추정하였다. 배양액의 EC 변화는 저농도인 1/2배액 처리에서 변화 폭이 적었고, 1배액 처리에서는 생육이 왕성해짐에 따라 EC 변화가 증가하다가 안정되는 경향을 보였으며, 2배액 처리에서는 1배액 처리보다 크게 증가하는 변화를 보였다. 이는 생육이 진전됨에 따라 잎의 광합성과 증산이 활발해지면서 지상부로의 수분 공급이 많아진 결과로 판단된다.

배양액 농도에 따른 '모모타로'의 양·수분 흡수율을 Yamasaki(1981)가 제시한 n/w 방법에 의하여 산출한 결과 배양액의 농도가 높아짐에 따라 양·수분 흡수율도 높았다(Table 2). 생육초기 배양액 농도에 따른 양분흡수 양상을 보면 처리에 상관없이 P는 흡수가 잘 이루어진 반면, Mg는 집적되었으며, 저농도인 1/2배액 처리에서는 Ca의 흡수가 잘 이루어지고 고농도인 2배액 처리에서는 K의 흡수가 이루어졌다. 이에 반해 1배액 처리에서는 Mg를 제외한 P, K 및 Ca의 흡수가 원활히 잘 이루어지는 결과를 보여 생육 및 무기이온 함량의 결과에서 이들의 흡수와 이온의 분배가 작물체내에 원활히 이루어짐을 뒷받침할 수 있는 결과를 얻었다.

생육후기의 양·수분 흡수율 값은 생육이 양호했던 1/2배액과 1배액 처리에서  $PO_4-P$  이온은 흡수가 된 반면 K의 축적과 Ca의 흡수가 이루어졌다. 2배액 처리에서는 모든 무기이온의 집적이 일어났다. 한편 흡수된 수분함량은 생육초기에 비해 급격한 증가를 보였으며, 2배액 처리에서는 흡수 수분함량이 많음에도 불구하고, 이온의 집적이 일어남에 따라 생육이 다소 높아진 것으로 판단되었다.

따라서 생육단계에 따른 토마토 순환식 고품배지경

시스템에서 양분 흡수 패턴을 밝히고, 최적 배양액을 개발하고자 실험을 수행한 결과 재배기간에 생육이 좋았고, 근권의 pH와 EC의 변화도 적고, 식물체내 무기이온 함량도 적정치로 나타난 농도 1/2배액을 기준으로 한 순환식 토마토 배양액 조성으로 생육초기에는  $NO_3-N$ ,  $PO_4-P$ , K, Ca, Mg 및  $SO_4-S$  농도가 각각 7.1, 2.1, 4.0, 3.1, 1.2 및  $1.2 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ , 생육후기에는 각각 6.5, 2.3, 3.4, 3.1, 1.1 및  $1.1 \text{ me} \cdot \text{L}^{-1}$ 인 새로운 배양액을 개발하였다.

## 2. 개발 배양액의 적합성 평가

WU 배양액의 적합성을 평가하기 위해 화란온실작물 연구소에서 개발한 토마토 암면 재배용 순환식 배양액 (PTG)을 대조구로 재배한 결과(Table 3, Table 4) 생육초기 토마토의 초장, 줄기직경 및 절간수는 WU액과 PTG액 처리 간 차이가 없었으나, 생체중과 건물중은 PTG액 처리에서 높았다. 각 농도에 따른 생육차이는 PTG 1배액 > WU 2배액 > PTG 1/2배액 > WU 1배액과 PTG 2배액 > PTG 1/2배액 > WU 1/2배액 처리 순이었다. 이러한 결과는 WU액과 PTG액의 무기이온의 조성 성분 간 차이뿐 아니라 각 배양액의 농도 차이가 영향을 준 것으로 보인다. 즉 WU 배양액의 1배액의  $EC \ 1.03 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 를 기준으로 1/2배액은  $EC \ 0.54 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , 2배액은  $EC \ 1.91 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인데 비해 PTG 1배액은  $1.58 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 여서 1/2배액은  $EC \ 0.87 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ , 2배액은  $EC \ 3.15 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 였다. 생육후기 토마토의 생육은 초장, 줄기직경 및 절간수는 WU액 처리에서 높았으나, 생체중은 PTG액 처리에서 높았다 (Table 4). 생육초기와 달리 후기에는 WU 2배액 처리에서 생육이 가장 높았으며, PTG 1배액 > WU 1배액과 PTG 2배액 > PTG 1/2배액 > WU 1/2배액 처리

**Table 3.** Effect of nutrient concentration on the growth hydroponically grown tomato in closed perlite culture system at the 36 days after transplanting.

Nutrient Solution	Plant height (cm)	Stem diamter (mm)	No. of node (ea)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	
PTG	1/2S	153.7 c <sup>z</sup>	11.0 cd	23.2 ab	476.6 c	67.0 b
	1 S	176.7 a	12.2 ab	24.3 a	819.6 a	92.3 a
	2 S	169.5 a	11.5 bc	24.0 a	705.3 b	90.0 a
WU	1/2S	156.7bc	10.1 d	21.2 c	398.7 d	60.0 b
	1 S	167.0ab	12.1 ab	22.2 bc	706.4 b	85.5 a
	2 S	173.7 a	12.9 a	24.2 a	757.2 ab	88.9 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

**Table 4.** Effect of nutrient concentration on the growth hydroponically grown tomato in closed perlite culture system at the 72 days after transplanting.

Nutrient Solution	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of node (ea)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	
PTG	1/2S	311.3 ab <sup>z</sup>	15.2 a	34.3 ab	1198.0 c	165.8 b
	1 S	283.5 ab	14.3 a	31.5 b	1570.7 ab	214.2 a
	2 S	269.4 b	14.2 a	32.0 b	1406.5 bc	208.3 a
WU	1/2S	261.3 b	14.9 a	32.3 b	770.9 d	120.8 c
	1 S	309.3 ab	15.6 a	38.8 a	1434.0 bc	209.4 a
	2 S	331.4 a	15.6 a	40.2 a	1733.3 a	220.7 a

<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

**Table 5.** Effect of nutrient concentration on the yield and quality hydroponically grown tomato in closed perlite culture system at the 72 days after transplanting.

Nutrient Solution	No. of fruit (No/plant)	Total fruit weight (g/plant)	Soluble solid (°Brix)	Blossom end rot emergence (%)	
PTG	1/2S	14.1 bc <sup>c</sup>	1916.3 b	5.1 b	10.6 a
	1 S	14.9 b	2288.6 a	4.7 c	3.4 b
	2 S	15.1 b	1446.4 c	5.4 a	11.6 a
WU	1/2S	10.5 d	1532.5 c	4.2 d	12.9 a
	1 S	13.3 c	2289.0 a	4.8 c	3.8 b
	2 S	16.6 a	2309.8 a	5.5 a	9.5 ab

<sup>c</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

순이었다.

토마토 주당 총 과중은 생육이 좋았던 WU 2배액 처리에서 가장 높았으며, 당도는 생육 및 수량이 높은 WU 2배액 처리에서 높았으나 배꼽썩음과 발생률이 9.5%였고 PTG 1배액과 WU 1배액 처리에서는 각각 3.4%, 3.8%로 WU 2배액 처리보다 2.5~2.8배 낮았다. 한편 WU 1/2 배액 처리에서는 당도가 낮으면서 배꼽썩음과 발생률이 12.9%로 품질이 가장 낮았다(Table 5).

Sonneveld(1993)는 작물의 생육 및 수량을 높이기 위해서는 최적의 EC 농도 수준을 유지해야 한다고 보고한 바와 같이 최적 범위 이상의 농도에서는 오히려 수량이 감소되고, 또 너무 낮은 농도에서는 각 원소들의 올바른 비율을 맞추기가 어려워져 결핍증을 유발하며, 수량은 감소되지만 과실 품질을 높이기 위해서는 한계치보다 높은 EC 농도를 공급해 주는 것이 효과가 있다고 보고했듯이 본 실험에서 과실의 당도는 2배액에서 높았다. 그러나 높은 EC 농도는 근권의 수분포텐셜을 변화시키고, 지상부로의 양·수분 흡수에 제한 인자가 될 수 있으므로, 과실의 배꼽썩음과 발생을 유발시킨 것으로 보인다. Schwarz(1995)는 삼투포텐셜과

배양액내 무기성분 농도비를 달리하여 각기 다른 생육 단계의 토마토에 처리한 결과 식물의 생육단계에 관계 없이 무기이온의 선택에 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 즉 높은 삼투압에서 식물은 양이온 흡수에 있어서 Ca보다는 K를, 음이온 흡수에 있어서는 S보다는 P와 NO<sub>3</sub>를 더 선호하는 경향을 보인다고 한 것과 같이 배꼽썩음과 발생 원인은 다양하나 높은 EC 농도로 인하여 무기이온의 분배가 원활하게 이루어지지 못함에 따라 발생률이 높음을 알 수 있다. 한편 Ohta 등(1991)은 각기 다른 배양액 농도가 체리 토마토의 상품성에 미치는 영향 실험에서 표준농도의 1.5배나 2배로 배양액 농도가 증가함에 따라 과실의 당도 및 적정 산도는 성숙 전 단계와 원숙 단계사이에서 증가하여 과실 품질을 향상시킨다고 보고한 것과 같이 적정 수량을 확보하면서 과실의 품질을 향상시키는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

생육 후기 배양액 종류와 농도에 따른 토마토 잎의 무기성분 함량을 조사한 결과(Table 6)를 보면 PTG 배양액의 N, P, K, Ca, Mg 함량은 각각 9.8~14.6, 1.0~2.0, 2.5~5.2, 1.2~2.0, 0.7~0.9 g/100 g였으며, WU

순환식 수경재배에 적합한 토마토 배양액 개발

**Table 6.** Effect of nutrient concentration on the mineral nutrient content hydroponically grown tomato in closed perlite culture system at the 72 days after transplanting.

Nutrient Solution		N	P	K	Ca	Mg
		(g/100 g, DW)				
PTG	1/2S	9.8 a <sup>z</sup>	2.0 b	2.5 c	2.0 a	0.9 b
	1 S	11.2 a	1.1 c	4.2 b	1.5 b	0.9 a
	2 S	14.6 a	1.0 c	5.2 a	1.2 c	0.7 c
WU	1/2S	8.2 a	0.5 d	2.5 c	1.3 c	0.7 c
	1 S	11.5 a	0.2 d	3.5 b	1.0 d	0.9 a
	2 S	11.6 a	3.6 a	2.4 c	1.9 a	0.9 a

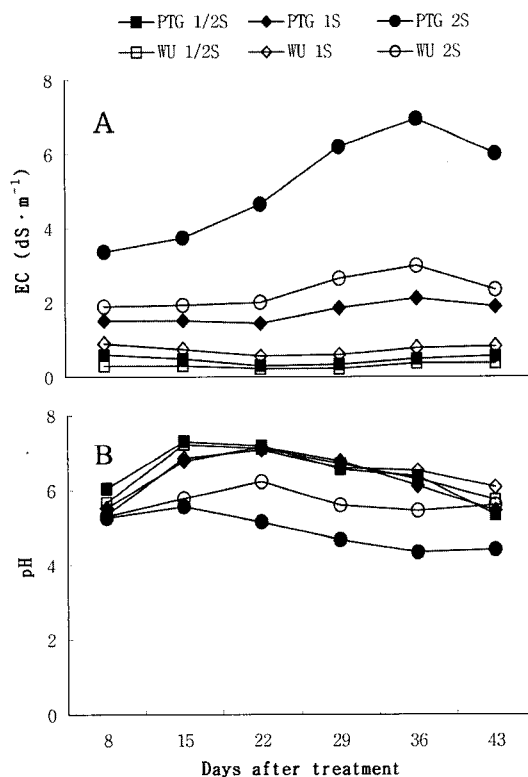
<sup>z</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P = 0.05$ .

배양액의 N, P, K, Ca, Mg 함량은 각각 8.2~11.6, 0.2~3.6, 2.4~3.5, 1.0~1.3, 0.7~0.9 g/100 g으로 P와 K 함량이 큰 차이를 보였다. De Kreij(1990)은 토마토 엽내 무기성분 함량(%)을 N, P, K, Ca 및 Mg가 각각 2.9~5.2, 0.3~11.7, 3.0~5.1, 1.6~5.0 및 0.4~0.5가 적당하다고 하였다. 이와 비교할 때 본 실험의 엽내 무기함량은 Ca를 제외하고는 모두 높아 영양생장이 과도하게 이루어졌음을 보였다. 생육이 좋았던 WU 2배액 처리의 엽 분석 결과를 살펴보면, 생육초기에 비하여 N, K 및 Ca 함량은 감소하고, P 함량은 증가하였다. 즉, 엽의 영양 성장 기간에는 N과 K의 흡수가 많아 높은 수치를 보이다가 결실기 이후에 감소한 것으로 볼 때 N 공급원이 탄수화물 생성과 관련되어 화방 생성에 소모된 것으로 보인다. Adams와 Winsor(1973)는 5화방에 꽃이 달이는 시기에 K의 흡수가 최대에 이르렀다고 하였으며, K의 흡수가 생육 후기에 낮아짐에도 불구하고 Ca의 흡수가 떨어진 것은 재배 시기가 여름철 7~8월임에 따라 Ca의 흡수가 저하 또는 억제된 것으로 생각된다.

식물의 정상 생육을 위해서는 건전하게 생육한 작물이 함유하고 있는 양 만큼의 무기원소를 공급해 주어야 할 것이며, 식물체 분석을 통하여 필수 원소의 수준이 작물 생육에 적합한 범위에 있는지 알 수 있으며, 적당한 양분 관리 설정에 필요한 정보를 제공받을 수 있다(Jones 등, 1991). 본 실험에서 개발된 배양액 2배액에서 토마토를 재배했을 때 식물의 생육은 좋았으나 N, P 함량이 높아 이들 성분을 감량하여 재배한 실험이 추후 이루어져야 할 것으로 생각된다.

개발된 배양액의 근권 EC와 pH 변화를 알아보고자 생육초기 PTG 액과 WU 액에서 재배한 토마토 근권

의 EC와 pH 변화를 살펴보았다(Fig. 2). 배양액의 EC가 0.5 dS·m<sup>-1</sup>인 WU 1/2배액 처리와 0.75 dS·m<sup>-1</sup>인 PTG 1/2배액 처리에서 생육기간 중 EC의 변화가 가장 적었고, 생육초기 생육이 좋았던 PTG 1배액과 WU 2배액 처리에서는 처리 22일 이후 EC의 증가가



**Fig. 2.** Changes of EC(A) and pH(B) in the drainage solution as affected by the different strength of PTG and WU nutrient solution hydroponically grown tomato in closed substrate culture system at the early growth stage.

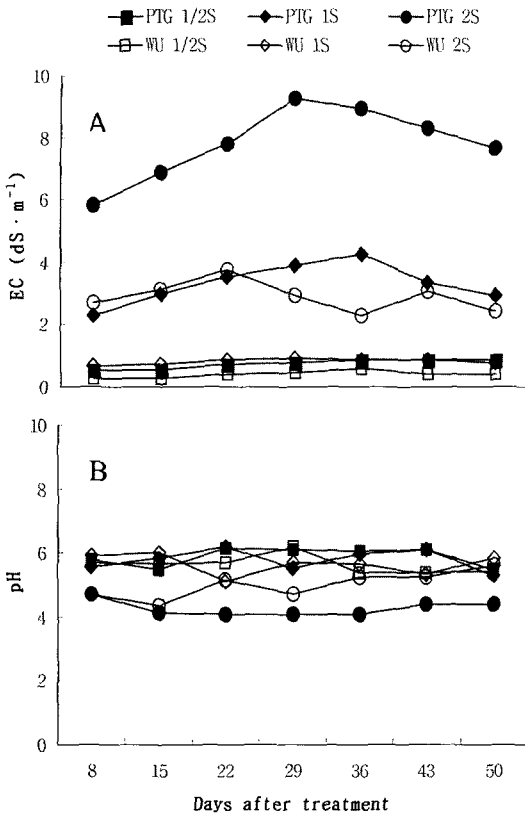


Fig. 3. Changes of EC(A) and pH(B) in the drainage solution affected by the different strength of PTG and WU nutrient solution hydroponically grown tomato in closed substrate culture system at the late growth stage.

관찰되었으며, 36일 이후 낮아지는 경향을 보였다. 한편 3.1 dS·m<sup>-1</sup>의 EC 수준을 보이는 PTG 2배액 처리에서 EC는 계속적인 증가를 보이면서 22일 이후에는 급격한 증가를 보여 배양액 내 이온이 집적되는 결과를 가져왔다. 배양액의 pH 변화에서는 고농도인 PTG 2배액 처리에서 재배 기간 동안 낮아져서 pH 4.3~5.1 분포를 보였고, 저농도인 1/2배액과 1배액 처리에서는 비슷한 분포 경향을 보여 처리 15일까지는 증가하다가 그 이후 점차 감소하는 경향을 보였고, 생육이 양호했던 WU 2배액 처리에서는 중간 분포를 나타냈다.

생육후기의 EC 변화에서는 생육이 저조한 저농도 1/2배액과 WU 1배액 처리에서 EC 분포가 변화 없이 안정적인 반면 PTG 1배액과 2배액 처리에서는 변화 양상을 보였다(Fig. 3). 3.15 dS·m<sup>-1</sup>인 PTG 2배액 처리에서는 초기부터 EC농도가 급격히 상승하였으며, 생육이 좋았던 PTG 1배액과 WU 2배액 처리에서 EC

분포는 각각 1.44~2.12 dS·m<sup>-1</sup>, 1.87~2.98 dS·m<sup>-1</sup>의 분포를 보여 토마토의 적정 EC 범위로 판단되며, 특히 생육이 가장 좋았던 WU 2배액 처리에서는 처리 22일 이후 감소하다가 43일 이후 다시 증가하는 경향을 보임으로써 재배기간 중 무기이온의 흡수와 함께 생육이 이루어지는 것으로 보아 WU 2배액의 EC가 PTG 1배액 처리에서보다 적합한 범위를 가진 것으로 판단된다.

생육초기의 근권 pH와 같이 생육후기도 PTG 2배액 처리에서 pH는 낮은 4.0~4.5의 분포를 보였으며, 생육이 저조한 1/2배액 처리에서 pH 분포 변화는 생육이 좋은 WU 2배액과 PTG 1배액 처리에서보다 변화가 적었다.

### 적 요

토마토 순환식 고행배지경 시스템에서 생육단계별 작물의 양분 흡수율을 밝히고 최적 배양액을 개발하고자 일본야채시험장 표준액(NO<sub>3</sub>-N 16.0, NH<sub>4</sub>-N 1.3, PO<sub>4</sub>-P 4.0, K 8.0, Ca 8.0, Mg 4.0 me·L<sup>-1</sup>)을 1/2, 1 및 2배액의 3수준 농도로 조성하여 실험을 수행하였다. 생육초기와 후기 모두 1/2배액 처리에서 생육이 양호하고, 근권 내 pH와 EC의 변화도 적었으며, 식물체내 무기이온 함량도 적정치로 나타났다. 따라서 생육단계별 양·수분 흡수(n/w)율에 의해 개발된 토마토 순환식 배양액 조성은 생육초기에는 NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, K, Ca, Mg 및 SO<sub>4</sub>-S 농도가 각각 7.1, 2.1, 4.0, 3.1, 1.2 및 1.2 me·L<sup>-1</sup>, 생육후기에는 각각 6.5, 2.3, 3.4, 3.1, 1.1 및 1.1 me·L<sup>-1</sup>로 나타났다.

개발된 배양액의 적합성 검정을 위하여 네델란드 온실작물연구소의 순환식 PTG(Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk) 배양액으로 비교 실험을 하였다. 초기 생육은 PTG와 WU 배양액의 2배액 처리에서, 후기 생육은 WU 2배액 처리에서 가장 좋았다. 정식 후 72일째까지의 수량은 WU 2배액 처리에서 가장 높았으며, 배꼽썩음과는 PTG와 WU 배양액의 모든 농도에서 나타났다. WU 2배액의 EC와 pH 변화는 재배되는 동안 안정적이었다. 생육이 높았던 WU 2배액의 식물체내 무기성분 함량 N과 P 함량이 높음에 따라 배양액 조성시 N, P 함량을 낮추어 공급하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

**주제어 :** 당도, 배꼽썩음과, 생육단계, 양수분흡수율



## 사 사

이 논문은 2004년도 원광대학교 교비지원에 의해 연구된 것임.

## 인 용 문 헌

1. Adams, P. and L.C. Ho. 1995. Uptake and distribution of nutrients in relation to tomato fruit quality. *Acta Hort.* 412:374-387.
2. Adams, P. and G.W. Winsor. 1973. The effects of nitrogen, potassium and sub-irrigation on the yield, quality and composition of single-truss tomatoes. *J. Hort. Sci.* 48:123-133.
3. Bartosik, M.L., K. Salonen, R. Jokinen, and K.R. Hukknen. 1993. Comparison of open and closed growing methods on peat and rockwool and the leaching of nutrients. *Acta Hort.* 342:303-305.
4. Böhme, M. 1995. Effects of closed systems in substrate culture for vegetable production in greenhouses. *Acta Hort.* 396:45-54.
5. Choi, E.Y., Y.B. Lee, and J.Y. Kim. 1998. Development of optimal nutrient solution for tomato substrate culture in closed system. *J. Bio. Fac. Env.* 7(1):43-54.
6. Choi, E.Y., Y.B. Lee, and J.Y. Kim. 2001. Nutrient uptake, growth and yield of cucumber cultivated with different growing substrates under a closed and an open system. *Acta Hort.* 548:543-549.
7. De Kreijl, C. 1990. Norman Voor Gehalten Ann Voedingselementen Van Groenten En Bloemen Onder Glas(Guide values for nutrient element contents of vegetables and flower under glass). *Voeding Soplossingen Glastuinbouw No. 15.* p. 13. *Crops. Agr. and Hort.* 61:205-210.
8. Gericke, W.F. 1929. Aquaculturem a means of crop production. *Amer. J. Bor.* 16:826.
9. Ikeda, A. 1986. Control of nutrient solution by nutrient absorption characteristic of Jensen, M.H. 1997. *Hydroponics. HortScience* 32(6):1018-1021.
10. Jones, Jr., J. Benton, B. Wolf, and H. mills. 1991. The essential elements. *Plant analysis handbook.* p. 6-17. *Micro-Macro publishing. Onc., Georgia.*
11. 板東一宏. 1991. 토마토의循環式ロック울栽培(1). *農業および園藝* 66(6):731-735.
12. Kim, H.J. 2001. Modeling nutrient uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) for closed substrate culture system. PhD Diss., The Chungbuk National University.
13. Kim, Y.C. 1998. Development of Korean type nutrient solution, medium and automatic control system in horticultural crops. Rural Development Administration.
14. Kim, Y.C. and G.Y. Kim. 2002. Fertigation techniques done by fertilizers for hydroponics and reuse of waste solution. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 15:20-26.
15. 日本施設園藝協會. 1991. 施設園藝における養液栽培の手引. p.34-37. 日本施設園藝協會.
16. Ohta, K. 1991. Influence of the concentrations of nutrient solution and salt supplement on quality and yield of cherry tomato grown hydroponically. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 60(1):89-95.
17. Roh, M.Y., Y.B. Lee, H.S. Kim, K.B. Lee, and J.H. Bae. 1997. Development of nutrient solution suitable for closed system in substrate culture of cucumber. *J. Bio-Env. Con.* 6(1):1-14.
18. Rural Development Administration. 2003. Statistical data of soilless culture area in Korea. RDA.
19. Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. p.98-102. In B.L. McNeal, F. Tardieu, H. Van Keulen, and D. Van Velck(ed.). 1st ed. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. Sonneveld, C. 1993. Hydroponic growing in closed systems to safeguard the environment. *Australia Hydroponic Conference - Hydroponics and the Environment.* Monash Univ. Melbourne Australia, p.21-36.
20. Sonneveld, C. 1993. Hydroponic growing in closed systems to safeguard the environment. *Australia Hydroponic Conference Hydroponics and The Environment.* Monash University Melbourne Australia 17-19, February. p. 21-36.
21. Yamasaki, K. 1981. The problem and present state of hydroponic culture (1). Nutrient solution management of hydroponic culture-nutritive characteristic of each crop by nutrient/water. *Agr. and Hort.* 56(4):563-568.
22. 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.