

순환식 수경재배에 적합한 방울토마토 ‘꼬꼬’ 배양액 개발

유성오¹·최기영³·전경수²·배종향^{1*}

¹원광대학교 원예·애원동식물학부(생명자원과학연구소),

²원광대학교 생명환경학부, ³동양대학교 RIS 사업단

Development of Optimal Nutrient Solution of Cherry Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. ‘KoKo’) in a Closed Soilless Culture System

Sung Oh Yu¹, Ki Young Choi³, Kyung Soo Jeon², and Jong Hyang Bae^{1*}

¹Division of Horticulture and Pet Animal-Plant Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

²Division of Life and Environmental Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

³Northern Kyungbuk Region Bio Industry Innovation Center, Dong Yang University Youngju 750-711, Korea

Abstract. The experiment was conducted to investigate the nutrition absorption pattern in the growth stage and develop the optimal nutrient solution hydroponically grown the cherry tomato 'Koko' in closed substrate culture system with the nutrient solution of National Horticultural Research Station in Japan into 1/2S, 1S, and 2S. When plant was grown in 1/2S, the growth and yield were high and the pH and EC in the root zone were stable. Suitable composition of nutrient solution for cherry tomato was NO₃-N 6.8, PO₄-P 2.7, K 3.2, Ca 3.6 and Mg 1.1 me L⁻¹ in the early growth stage, NO₃-N 7.3, PO₄-P 2.2, K 3.7, Ca 3.6 and Mg 1.1 me L⁻¹ in the late growth stage by calculating a rate of nutrient and water uptake. To estimate the suitability for the nutrient solution in a development of cherry 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 floriculture in the Netherlands (Proefstation voor tuinbouw onder glas th Mssldwijk; PTG) of 1/2S, 1S, and 2S, respectively. The growth was good at the PTG and WU 2S in the early stage and the PTG of 1S and WU of 1S and 2S in the late stage. The highest yield of cherry tomato obtained in the WU of 2S. pH and EC in root zone of WU of 2S were stable during the early and late growth stage. Therefore when cherry tomato plant was grown in WU of 2S of EC 1.6~2.0 dS m⁻¹ in the nutrient solution, not only stable growth and yield but also fertilizer reduction can be obtained than that of PTG.

Key words : blossom end rot, cherry tomato, closed soilless culture, soluble solid

*Corresponding author

서 언

양액재배는 조절된 환경에서 연중 계획적인 관리시스템을 통해 고품질의 산물을 생산할 수 있는 재배 방법으로 작물에 적합한 배양액 조성을 통한 배양액 관리가 생산과 품질을 결정짓는 주요소라 할 수 있다. 작물에 적합한 배양액을 조성하는 것은 전문적인 지식을 요하는 것으로 네델란드 온실작물연구소 배양액(Sonneveld와 Straver, 1992)은 순환식 양액재배용으로, 일본 Yamasaki(1982) 배양액은 순환식 순수수경 배양액으로 개발되었으며, 국내에서도 이미 각 작물에 적합한 배양액을 개발하기 위해 일정기간 식물이 흡수하는 양수분 흡수율을 Yamasaki(1981) 방식으로 얻은 방법을 적용하여 토마토(Choi 등, 1998; Yu와 Bae, 2005), 파프리카(Choi 등, 2001) 등의 배양액이 개발되었다.

그러나 같은 작물이더라도 재배환경, 품종에 따라 양수분의 흡수 특성이 달라질 수 있으므로 본 실험에서는 토마토 중 방울토마토 계통 ‘꼬꼬’의 양 수분 흡수 양상을 통한 순환식 양액재배에 적합한 배양액을 개발하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 배양액 개발

순환식 고휘배지경에 적합한 방울토마토 ‘꼬꼬(Takii Co. Japan)’의 생육단계별 작물의 양수분 흡수 패턴을 밝혀 이에 적합한 배양액을 개발하고자 2002년 4월 6일에 공시품종을 파종하였으며, 생육시기에 따라 생육 전반(2~3화방 개화시, 1화방 비대시)과 후기로 나누어 수행하였다.

고형배지경 재배를 위하여 다목적 2호 베드(MP2B, Gafatec Co., Korea)에 흑백비닐(직경 1mm)를 깔고 토마토 농가에서 사용하고 있는 방식에 준하여 필라이트 1호 배지를 베드 높이의 50% 충전하고, 나머지는 2호 배지로 채웠다. 배지에 함유되어 있는 다량의 무기양분이 씻겨지도록 충분히 포수시킨 후 5월 15일 1 베드당 3주를 40cm 간격으로 1열로 정식하였다. 수분증발을 막기 위해 흑백 플라스틱 필름으로 베드를 피복하고 실험구는 완전임의배치 3반복으로 하였다.

배양액의 공급은 100L 급배액 용기 안에 수중 전기펌프를 설치하여 순환시키고, 급액은 급액제어장치를 이용하여 적산일사량이 $15\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2}$ 에 도달했을 때 10분간 정적 관수하였다. 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 $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$)을 1/2배, 1배, 2배의 3수준 농도로 조성하여 3일 간격으로 식물이 흡수한 양액의 양만큼 양액을 공급해주었다.

생육단계에 따라 양수분 흡수율은 Yamasak(1982) 방법으로 생육 및 수량 조사를 실시하였으며, 배양액 pH, EC 및 무기성분 분석은 Yu와 Bae(2005)의 보고에 준하였다.

2. 개발 배양액의 적합성 평가

고온기 고휘배지경에 적합한 방울토마토의 생육단계에 따른 양수분 흡수율을 산정하여 조성된 새로운 WU(Wonkwang University) 배양액의 적합성 여부를 알아보기 위하여 네델란드 온실작물연구소의 순환식 PTG (Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk) 배양액을 대조구로 하였다. 배양액의 농도는 1배액 기준으로 1/2배, 1배, 2배의 3농도로 하여 2003년 3월 19일에 파종하고 4월 23일 암면블록에 이식한 후 5월 20일 필라이트 배지에 정식하였다. 생육전기(2~3화방 개화시, 1화방 비대시)와 후기로 나누어 생육 및 수량 조사, 배양액의 pH와 EC 변화율을 분석하였으며, 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 순환식 고휘배지경에 적합한 배양액 개발

필라이트 고휘배지에 방울토마토 ‘꼬꼬’를 순환식 수경재배하였을 때 일본야채시험장 배양액의 3농도(1/2배액, 1배액, 2배액) 처리에 따른 방울토마토의 생육은 생육 초기와 생육 후기 모두 저농도인 1/2배액에서 높고 고농도인 2배액에서 낮았다(Table 1). 배양액의 농도가 높아짐에 따라 생육의 감소가 유의하였으며, 특히, 생육후기 고농도인 2배액 처리는 생육 뿐 아니라 주당 과수, 과중도 낮아 수량의 감소가 뚜렷한 반면 당도는 높았다. 방울토마토의 당도는 품종에 따라 차이가 크지만 일반적으로 토마토에 비해 높은 편으로 5.0~7.8°Brix로 조사(Lee, 1991)되었는데 본 실험의

2배액에서는 8.6°Brix로 높았으며, 저농도인 1/2배액은 높은 생육, 수량과 함께 당도도 7.5°Brix를 나타내어 방울토마토 재배에 1/2배액이 적합한 것으로 보였다.

작물에 적합한 배양액 개발을 위해서는 생육이 양호하고 근권의 EC와 pH의 변화가 적고 식물체내 무기이온 함량이 적합한 수준에 있는 것을 기준으로 한 양수분 흡수양상을 근거로 Choi 등(1998), Choi 등(2001), Yu와 Bae(2005)이 각 작물의 배양액을 개발했다. 따라서 순환식 양액 재배 기간 중 배양액 농도에 따른 배액의 EC와 pH의 경시적 변화를 살펴본 결과(Fig. 1), 초기 생육기간 중 1/2배액의 EC는 1.0~1.34dS · m⁻¹ 분포로 일정한 수준을 유지하였지만 1배액과 2배액은 재배 후기로 갈수록 높아져 22일 이후 급격히 증가하여 양분의 집적과 함께 생육 감소에 영향을 준 것으로 보인다. 특히 2배액은 정식 15일 이후 급격한 증가를 보여 EC 8.27dS · m⁻¹까지 증가하였다. 1배액과 2배액의 pH는 5.3~6.1 분포로 비교적 안정된 경향을 보인 반면 1/2배액은 재배 후기로 갈수록 상승하여 pH가 급격히 증가하는 경향을 보였다.

생육후기의 1/2배액과 1배액의 EC는 일정한 수준을 유지한 반면 2배액은 5.4~6.7dS · m⁻¹의 고농도 수준이었다. 1/2배액을 제외한 1배액과 2배액의 EC는 초기 배양액의 EC 농도보다 높아 무기양분의 집적현상이 나타났다. 1/2배액의 pH는 재배기간 중 떨어지는 양상으로 22일 이후 pH 4.8수준까지 낮아진 반면 1배액과 2배액의 pH는 비교적 안정적인 분포를 보였다. 그러나 2배액의 pH 범위는 5.0~5.6으로 낮은 수준을 유지하였다.

이처럼 배양액의 pH와 EC의 경시적인 변화를 통하여 식물의 무기이온 흡수양상과 생육에 미치는 영향을 파악할 수가 있었는데, 본 실험에서 생육 초기 고농도 처리구인 2배액의 높은 EC는 방울토마토 초기 생육에서 초장과 절간수, 줄기직경 등의 생육저하와 생체중과 건물중의 감소가 유의한 차이를 보여 생육 후기까지 영향을 준 것으로 보인다.

배양액 농도에 따른 방울토마토의 양수분 흡수율을 Yamasaki(1981)가 제시한 n/w 방법에 의해 산정한 결과, 생육 초기와 후기 모두 1배액 처리에서 수분의 흡수가 가장 많았다(Table 2). 무기이온의 흡수도 생육 초기와 후기 모두 배양액의 농도가 높아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 생육 후기 2배액 처리는 모든 무기이온의 집적이 뚜렷하게 나타났다. Yamasaki (1981)의 양수분 흡수율은 일사량, 온도, 습도, 재배 시스템, 생육 단계, 재식 밀도 등에 따라 흡수율이 달라질 수 있으며, 농도의 변화가 있더라도 조성에는 변화를 주지 않는 작물 개개의 흡수 조성이 균형 있는 배양액 조성이라 할 수 있으므로 본 실험에서는 재배기간 중 생육과 수량이 높고 근권의 EC와 pH 변화가 적은 1/2배액의 양수분 흡수율을 기준으로 순환식 방울토마토 배양액을 조성하여 생육초기는 NO₃-N, PO₄-P, K, Ca, Mg 농도가 각각 6.8, 2.7, 3.2, 3.6, 1.1me · L⁻¹, 생육 후기는 각각 7.3, 2.2, 3.7, 3.6, 1.1me · L⁻¹인 새로운 배양액(WU)을 개발하였다.

2. 개발 배양액의 적합성 평가

WU 배양액의 적합성을 평가하기 위해 화란온실작물연구소에서 개발한 토마토 양면 재배용 순환식 배양액(PTG)을 대조구로 재배한 결과(Table 3, Table 4), 생육 초기 방울토마토의 초장, 줄기직경, 절간수는 PTG 2배액 처리에서 가장 높았으며, 생체중과 건물중은 PTG 2배액과 WU 2배액 간에 차이가 없이 가장 높았으며, WU 1/2배액에서 생육이 가장 낮았다. 그러나 생육 후기 초장은 PTG 2배액에서 가장 낮고 줄기직경은 배양액 간에 차이가 없었으며, 생체중과 건물중은 WU 1/2배액 처리를 제외하고는 배양액과 농도간의 차이가 없었다. 이러한 결과는 WU액과 PTG 배양액

간의 무기이온 조성 성분 간 차이 뿐 아니라 각 배양액의 농도 차이가 영향을 준 것으로 보인다. 즉 WU 배양액의 1배액 EC $0.67\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 를 기준으로 1/2배액은 $0.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 2배액은 $1.66\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 인데 반해 PTG 1배액은 $1.49\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 1/2배액은 $0.8\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, 2배액은 $3.3\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 WU 2배액 농도는 PTG 1배액 농도에 상응하는 것으로 생육 초기 PTG 1배액에 비해 WU 2배액은 생육이 높고 PTG 2배액과 같은 생육 정도를 보였으며, 생육 후기는 초장과 절간수가 낮아 생체중이 낮은 경향을 보였으나 유의하지는 않았다. 따라서 고온기 방울토마토의 순환식 양액재배로 양수분 흡수율을 기준으로 조성된 WU 배양액의 2배액은 방울토마토 생육과 수량을 유지하면서도 비료의 절감이 가능함을 보였다.

정식 후 72일째까지 배양액 종류와 농도에 따른 방울토마토의 수량 및 품질의 영향은 주당 과수, 주당 과중이 WU 2배액에서 가장 높았으며 당도는 PTG와 WU 2배액에서 가장 높았다(Table 5). 배꼽썩음과 발생률은 PTG 1/2배액과 2배액 및 WU 1/2배액에서 각각 0.6%, 0.3%, 1.8%였다. EC $0.4\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 저농도 WU 1/2배액은 주당 과수, 과중 및 당도가 가장 낮았으며 배꼽썩음과 발생률도 가장 높았다. 초기 생육이 높았던 PTG 2배액은 생육 후기로 갈수록 생육과 수량의 감소가 유의하였으나 WU 2배액은 생육 초기와 후기 모두 양호한 생육과 수량 및 품질을 나타내어 방울토마토 여름철 재배에서 EC 관리는 생육 단계에 따른 조절이 필요하지 않은 것으로 보이나, PTG 배양액을 사용한 재배에서는 생육과 수량 유지를 위해 EC 관리가 필요한 것으로 보였다.

작물 생육 및 수량을 높이기 위해서는 최적의 EC 농도 수준을 유지하고 품질 향상을 위해서는 일반적으로 한계치보다 높은 EC를 공급하는 것이 효과가 있는 것으로 보고(Sonneveld, 1993; Yu와 Bae, 2005)하였으나, 본 실험의 WU 2배액 처리는 PTG 1배액 농도 수준으로 생육 및 수량을 높이면서도 배꼽썩음과가 발생되지 않아 작물 생육에 적합한 농도로 판단되었다. 또한 높은 EC 농도는 근권의 수분포텐셜을 변화시키고 지상부로의 양수분 흡수에 제한 인자로 작용하여 과실의 배꼽썩음과 발생을 유발하는데, 본 실험에서는 저농도인 1/2배액에서 배꼽썩음과 발생이 많아 낮은 무기이온 수준도 이에 영향을 준 것으로 생각된다.

Fig. 2는 WU 배양액과 PTG 배양액과 각 농도 처리에서 재배한 방울토마토의 생육단계별 EC의 경시적인 변화로 생육전기는 PTG 1/2배액, 1배액 및 WU 배양액 처리는 비교적 안정적인 분포 범위를 나타낸 반면 EC $3.3\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 고농도 PTG 2배액은 점점 증가하여 처리 36일에는 EC $6.3\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 까지 증가하여 초기 조성된 EC의 2배 수준까지 증가하였는데, 이는 고온 재배에 따른 수분 증발 외에도 높은 EC 수준에 의해 양수분의 원활한 이동이 이루어지지 못함으로써 무기성분의 집적이 일어난 것으로 보인다. 배양액의 pH 변화는 비교적 EC가 낮은 PTG와 WU 배양액의 1/2배액, 1배액에서는 처리 15일에 증가하는 경향을 보여 낮은 EC에서는 수분의 공급과 함께 이온의 흡수, 즉 NO_3^- 이온을 중심으로 한 음이온의 흡수가 일어남에 따라 pH가 증가하다가 처리 29일을 지나면서는 K^+ 이온을 중심으로 한 양이온 흡수가 이루어져 배양액에 축적된 양이온이 음이온보다 흡수가 많아 pH가 낮아지는 양상을 보인 반면(data not shown), 고농도인 PTG 2배액은 pH 5.3~5.6의 비교적 약산성의 안정적인 분포 범위를 보였다. 생육 후기의 EC 변화는 저농도 처리인 PTG 1/2배액과 WU 1/2배액, 1배액은 비교적 안정적인 범위를 보인 반면 PTG 2배액은 지속적인 증가로 배양액의 높은 EC가 근권의 양수분 흡수에 제한 인자로 작용함에 따라 생육 후기 방울토마토의 생육 및 수량 감소의 원인으로 작용한 것으로 보인다. PTG와 WU 배양액의 pH는 재배기간 비교적 안정적인 분포를 보였으며 고농도 처리인 PTG 2배액에서는 4.0~4.9의 가장 낮은 pH 범위를 보였고, PTG 1배액과 WU 2배액의 pH는 각각 5.1~5.9, 4.9~5.4의 약산성을 나타냈다. 이상의 결과를 토대로 방울토마토 ‘꼬꼬’의 고온기 수경재배에서는 WU 2배액

처리의 EC 분포를 기준으로 EC 1.6~2.0dS \cdot m⁻¹ 범위로 착과 및 비대 발육기는 EC를 2.5dS \cdot m⁻¹까지 높여 관리하는데 본 실험에서는 EC 3.0dS \cdot m⁻¹에서도 수량 및 품질의 영향을 주지 않음에 따라 개발 배양액의 2배액 농도가 방울토마토 ‘꼬꼬’ 재배에는 적합한 것으로 판단되었다.

적 요

방울토마토 ‘꼬꼬’의 순환식 고품배지경 시스템에서 생육단계별 작물의 양수분 흡수 패턴을 밝히고 최적 배양액을 개발하고자 일본야채시험장 표준액(NO₃-N 16.0, NH₄-N 1.3, PO₄-P 4.0, K 8.0, Ca 8.0, Mg 4.0me \cdot L⁻¹)을 1/2배, 1배, 2배의 3수준 농도로 조성하여 실험을 하였다. 생육전기와 후기 모두 생육이 높고, 근권내 pH, EC의 변화도 적은 1/2배액의 양수분흡수율을 기준으로 새로운 배양액 조성으로 생육 초기는 NO₃-N, PO₄-P, K, Ca, Mg 농도가 각각 6.8, 2.7, 3.2, 3.6, 1.1me \cdot L⁻¹, 생육 후기는 각각 7.3, 2.2, 3.7, 3.6, 1.1me \cdot L⁻¹인 새로운 배양액을 개발하였다.

개발 배양액의 적합성 검정을 위하여 네델란드 온실작물연구소의 순환식 PTG 배양액으로 비교 실험을 하였다. 방울토마토의 생육 초기는 PTG와 WU 2배액에서, 생육후기는 PTG 1배액, WU 1배액과 2배액에서 생육이 높았다. WU 2배액은 수량이 가장 높고 근권의 pH와 EC도 안정적인 분포를 보였다. 이상의 결과로 고온기 방울토마토 ‘꼬꼬’의 순환식 수경재배시 개발 배양액 WU 2배액의 EC 1.6~2.0 dS \cdot m⁻¹범위로 관리함으로써 기존 PTG 배양액에 비해 비료의 절감과 함께 안정적인 생육 및 수량을 유지할 수 있다.

주제어 : 당도, 방울토마토, 배꼽썩음과, 순환식

사 사

이 논문은 2005년도 원광대학교 교비지원에 의해 연구된 것임.

인 용 문 헌

1. 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.
2. Choi, K.Y., M.J. Kang, Y.B. Lee, S.O. Yu, and J.H. Bae. 2001. Development of optimal nutrient solution for sweet pepper substrate culture in closed system. J. Kor. Hort. Sci. 42(5):513-518.
3. Lee, S.B. 1991. Culture techniques in Cherry tomatoes. Protected Horticulture 4(1):70-80.
4. 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.
5. Sonneveld, C. and N. Straver. 1992. Nutrient solution for vegetables and flowers grown in water or substrates. Voedingsoplossingen glastuinbouw. p. 29.
6. 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.
7. Yamasaki, K. 1982. A review on solution culture. Hakuyusha, Toyko. p. 34-49.
8. Yu, S.O. and J.H. Bae. 2005. Development of optimal nutrient solution of tomato in a closed soilless culture system. J.

Bio-Environment Control 14(3):203-211.

Table 1. Effect of nutrient concentration on the growth hydroponically grown tomato ‘KoKo’ in closed perlite culture system during hot season.

Nutrient concentration ^z	Plant height (cm)	No. of nodes (ea)	Stem diameter (mm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	No. of fruit	Fruit weight (g)	Soluble solid (°Brix)
Early growth stage								
1/2 S	271.5 a ^y	33.1 a	12.0 a	1138.4 a	130.0 a	-	-	-
1 S	225.0 b	27.9 b	11.5 b	1068.8 b	130.5 a	-	-	-
2 S	187.9 c	25.6 c	10.9 c	764.5 c	115.7 b	-	-	-
Late growth stage								
1/2 S	284.5 a	34.9 a	16.5 a	1445.2 a	254.7 a	192.4 a	10.8 a	7.5 b
1 S	231.1 b	29.7 b	16.6 a	1441.8 a	227.4 b	194.4 a	9.9 b	7.0 c
2 S	187.9 b	24.8 c	15.2 b	1212.1 b	192.9 c	151.4 b	9.0 c	8.6 a

^zStrength of concentration solutions of National Horticultural Research Station in Japan.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

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

Nutrient concentration	Items measured	Water (L)	Items measured	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
				me · L ⁻¹			
Early growth stage							
1/2 S	a	90.0	y	2.29	3.19	3.86	1.04
	w	120.2	y ₁	3.77	3.30	2.67	1.10
	a/w	0.75	n/w	2.66	3.22	3.56	1.06
1 S	a	90.0	y	4.3	6.28	6.60	2.08
	w	137.5	y ₁	2.36	6.09	5.32	2.04
	a/w	0.65	n/w	3.63	6.21	6.16	2.06
2 S	a	90.0	y	8.15	12.51	12.51	4.26
	w	128.5	y ₁	7.93	13.18	11.58	4.71
	a/w	0.70	n/w	8.08	12.71	12.23	4.39
Late growth stage							
1/2 S	a	90.0	y	2.29	3.19	3.86	1.04
	w	161.6	y ₁	2.19	4.32	3.37	1.13

	a/w	0.56	n/w	2.24	3.69	3.64	1.08
	a	90.0	y	4.3	6.28	6.60	2.08
1 S	w	165.2	y ₁	4.10	8.04	7.71	3.44
	a/w	0.54	n/w	4.21	7.08	7.11	2.70
	a	90.0	y	8.15	12.51	12.51	4.26
2 S	w	114.9	y ₁	8.87	15.32	18.47	7.75
	a/w	0.78	n/w	8.31	13.12	13.80	5.02

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

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

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($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

y₁: The final concentration of macronutrients in culture solution($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

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

Nutrient solution		Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	No. of nodes	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
PTG	1/2 S	134.2 a ²	9.16 bc	24.2 ab	445.0 c	66.5 b
	1 S	106.5 b	8.41 cd	24.0 ab	518.9 b	70.9 b
	2 S	134.2 a	10.17 a	26.0 a	669.1 a	91.9 a
WU	1/2 S	127.2 a	8.08 d	22.7 b	305.7 d	53.5 c
	1 S	110.5 b	8.41 cd	24.5 ab	475.4 bc	69.7 b
	2 S	118.0 ab	9.57 ab	24.3 ab	681.7 a	90.2 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

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

Nutrient solution		Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	No. of nodes	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
PTG	1/2 S	380.9 a ²	14.0 a	45.0 a	1297.8 a	178.7 a

순환식 수경재배에 적합한 방울토마토 ‘꼬꼬’ 배양액 개발

	1 S	307.4 b	14.1 a	42.8 a	1317.4 a	180.3 a
	2 S	200.9 c	14.8 a	27.8 b	1326.3 a	197.8 a
WU	1/2 S	314.6 b	14.3 a	38.5 a	815.8 b	122.6 b
	1 S	267.0 b	14.2 a	40.3 a	1339.9 a	180.8 a
	2 S	260.2 b	14.6 a	38.5 a	1270.0 a	183.3 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.

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

Nutrient solution		No. of fruit	Fruit weight (g)	Soluble solid (°Brix)	Blossom end rot emergence (%)
PTG	1/2 S	59.9 c ²	989.5 d	6.7 c	0.6
	1 S	90.4 b	1175.6 b	6.9 b	0
	2 S	99.4 a	1104.8 cb	8.1 a	0.3
WU	1/2 S	42.6 d	671.7 e	6.3 d	1.8
	1 S	63.5 c	1064.4 c	6.9 c	0
	2 S	100.5 a	1265.9 a	8.3 a	0

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, $P=0.05$.