

배양액의 농도가 딸기 ‘매향’의 생육, 과실의 품질 및 수량에 미치는 영향

전하준^{1*} · 변미순¹ · 류습생¹ · 전의환¹ · 이용범²

¹대구대학교 생명환경대학 원예학과, ²서울시립대학교 환경원예학과

Effect of Nutrient Solution Strength on Growth, Fruit Quality and Yield of Strawberry ‘Maehyang’ in Hydroponics

Ha Joon Jun^{1*}, Mi Soon Byun¹, Shi Sheng Liu¹, Eui Hwan Jeon¹, and Yong Beom Lee²

¹Department of Horticulture, Daegu University, Gyungsan 712-714, Korea

²Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

Abstract. Experiments were conducted to investigate the optimum concentration of nutrient solution for strawberry ‘Maehyang’ bred domestically for exportation in hydroponics. Nutrient solutions for strawberry, which was made by Yamazaki, were supplied electrical conductivity (EC) 0.6, 0.8, 1.2, and 1.8 dS·m⁻¹ after planting on cocopeat medium during the experiment period. Growth of shoot of strawberries did not show any statistical differences among treatments. Fruit length showed the longest in EC 0.8 and 1.2 dS·m⁻¹, followed by 0.6 and 1.8 dS·m⁻¹ in the first and third cluster. It showed the shortest in EC 1.8 dS·m⁻¹ in the second cluster but there were no significant differences among treatments in the fourth cluster. Fruit diameter did not show significant differences among treatments in the first and second cluster but was the longest in the lowest concentration EC 0.6 dS·m⁻¹ in the third cluster. The shortest was in EC 1.8 dS·m⁻¹ in the fourth cluster. The heaviest mean fruit weight appeared in EC 0.8 and 1.2 dS·m⁻¹, and the lightest was in EC 1.8 dS·m⁻¹ in the first cluster and also lightest in EC 1.8 dS·m⁻¹ but no significant differences was found among other treatments in the second & third cluster. Also the fruit weight was significantly light in plants grown in EC 1.8 dS·m⁻¹ than 0.6 dS·m⁻¹ in the fourth cluster. Soluble solids content of fruit was the highest in EC 0.6 dS·m⁻¹ in all cluster. As a result, we came to the conclusion that the optimum EC for strawberry ‘Maehyang’ was EC 0.8 - 1.2 dS·m⁻¹ during low temperature season. This result will be utilized as an indicator for strawberry hydroponics.

Additional key words: cocopeat medium, concentration, electrical conductivity

서 언

딸기 총생산액은 2010년을 기준으로 1조원을 초과하여 원예작물 중에서 최고를 기록하였고, 수출금액은 2,600만불을 넘어서며 지속적인 성장세를 나타내고 있어 앞으로 최고의 수출채소로 자리매김할 것으로 기대된다. 지속적이고 안정적인 수출신장을 위해서는 여러 가지 여건 조성이 필요하지만 우선적으로 고품질의 딸기를 안정적으로 생산할 수 있는 생산기반이 마련되어야 할 것이다. 최근에 보급이 확대되고 있는 딸기 수경재배는 토양병해와 연작장해의 회피,

작업자세를 개선할 수 있는 장점 외에도 토양재배에 비하여 수량 및 품질이 월등하게 높은 결과를 나타내고 있어 수출 딸기농가에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 딸기의 수경재배는 1970년대 후반부터 일본에서 실용화를 시도하여 다양한 수경재배방식이 개발되었고, 우리나라에서도 최근에 딸기 수경재배면적이 급격하게 증가하여 240ha를 넘어 세계 되었다. 그러나 국내에서는 아직 딸기 수경재배에 대한 연구가 충분하지 않으므로 하루 빨리 우리 실정에 맞는 딸기 수경재배기술의 확립이 필요하다. 성공적인 딸기 수경재배를 위해서는 품종에 맞는 적합한 배양액 조성, 배양액

*Corresponding author: hjjun@daegu.ac.kr

※ Received 19 September 2012; Revised 26 November 2012; Accepted 29 November 2012. 본 연구는 농림부의 농림기술개발사업 수출연구사업단 2012년 연구과제의 일부임.

의 EC와 pH 관리, 고품배지 종류에 따른 적절한 급액량 구명이 필요한데, 딸기재배농가에서 가장 시급하게 필요한 사항은 배양액의 농도관리 기술이라고 할 수 있다. 특히, 딸기는 다른 과채류에 비해서 염류 농도에 매우 민감한 작물이기 때문에 높은 농도의 배양액에서는 뿌리의 생육이 억제되고 지상부의 생육도 저하한다는 보고(Chi et al., 1998; Udagawa et al., 1988) 등을 고려하면, 딸기 수경재배농가의 안정적인 생산기반조성을 위해서도 우선적으로 딸기 품종에 따른 적합한 배양액 농도의 구명이 필요하다. 딸기는 품종에 따라서 생육 특성의 차이가 확연하게 다른데, 국내의 딸기 수경재배 연구에서 배양액의 농도에 대한 연구는 Chi et al.(1998)와 Jun et al.(2011)의 보고가 있으나, 수출의 주요 품종인 ‘매향’의 배양액 관리에 대한 연구는 찾아볼 수 없다.

본 연구에서는 최근에 국내에서 육성되어 수출용 주요 딸기 품종인 ‘매향’의 수경재배에서 적절한 배양액 농도를 구명하기 위하여 실험을 실시하였다. 특히 작물마다 생육단계에 따라 흡수되는 양분의 양이나 종류가 다르기 때문에 (Tolman et al., 1990), 수확시기가 다른 딸기의 화방별 과실의 수량 및 품질에 주목하여 각 화방별 적정농도를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

‘매향(莓香)’ 딸기 자묘를 2010년 7월 15일에 삼목하여 크라운의 직경이 1cm 이상이 되도록 균일하게 육묘한 후, 화아분화가 시작된 9월 20일에 코코피트를 충전한 고설수경재배 벤치에 정식하였다. 정식일부터 5일간은 EC 0.6dS·m⁻¹의 배양액을 배액율 80% 이상이 되도록 급액하여 새뿌리의 발달을 유도하였다. 2차근의 발달이 충분히 이루어진 것으로 판단되는 10월 18일부터 Table 1의 야마자키(Yamazaki) 조성 딸기 전용배양액을 점적호스(Netafim, Israel)를 이용하여 처리별로 EC 0.6, 0.8, 1.2, 1.8dS·m⁻¹를 매일 3-5회로 나누어 약 150-500mL를 생육시기에 따라 적절하게 조정하여 공급하였다. 실험구는 각 농도 처리별로 난괴법으로 배치하였으며, 각 처리당 3반복으로 하고 반복당 10주로 하였다. 배액은 매일 각 처리와 반복별로 배양액 수집 장치를 설치하여 배액을 수집한 후에 배양액의 EC와 pH를 EC meter

(Orion 3-Star meter, Thermo, USA) 와 pH meter(Inolab pH/cond level 1, Wissenschaftlich Technische Werkstätten, Germany)를 사용하여 측정하였다.

실험기간 중에 잎은 주기적으로 적엽하여 항상 완전히 전개된 잎이 5장이 되도록 하였고, 지속적으로 발생하는 액아는 제거하여 한 개의 눈으로 유지하였으며, 과실은 수정벌을 이용하여 수정이 된 과실을 화방당 5개를 남기고 적과하였다.

처리별 생육조사는 배양액 농도처리 후부터 2010년 10월 14일, 12월 14일, 2011년 2월 16일에 처리별로 엽병장, 엽장, 엽폭을 측정하여 지상부 생육을 3회 조사하였는데, 조사 엽은 완전히 전개된 5매의 잎 중에서 신엽부터 세 번째 잎을 조사하였다. 과실의 품질 및 수량조사는 2010년과 2011년 사이에 제 1화방부터 제 4화방까지의 과일을 수확하여 과장, 과경, 과중, 당도를 측정하였다. 당도는 전자식 굴절당도계(PR-101, Atago, Japan)로 측정하여 °Brix로 표시하였다. 실험 결과의 통계처리는 SAS(Version 8.02) 프로그램을 이용하여 LSD 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

실험기간 동안의 온실 내의 최고, 최저 및 평균온도의 경시적 변화를 Fig. 1에 나타내었는데, 제 1화방의 수확은 2010년 12월 13일부터 2011년 2월 1일까지, 제 2화방의 수확은 2011년 2월 1일부터 3월 23일까지, 제 3화방의 수확은 3월 2일부터 4월 11일까지, 제 4화방의 수확은 4월 1일부터 4월 26일까지 실시하여 각 화방별로 수확기의 온도에 차이가 있음을 알 수 있는데, 본 실험에서 배양액의 농도 처리별로 온도에 대한 반응도 고려해야 할 것으로 생각되었다.

실험기간 동안의 배양액 농도 처리별 배액의 EC와 pH 변화를 보면 EC 1.8dS·m⁻¹ 처리구의 배액은 공급 배양액보다 약간 농도가 높아지는 경향을 보였으나 다른 처리구에서는 모두 공급배양액과 배액의 EC가 큰 차이를 나타내지 않아서 적절한 급액 농도 관리를 한 것으로 생각되었다(Fig. 2). 배양액의 pH 변화를 보면 급액 농도가 높은 처리구일수록 배액의 pH가 낮았는데, 이는 Jun et al.(2011)의 딸기 ‘설향’의 실험에서도 공급 배양액의 농도가 EC 0.5에서 1.0 및 1.5dS·m⁻¹로 상승함에 따라 배액의 pH가 낮아졌는데, 딸기

Table 1. Yamazaki's hydroponic solution for strawberry.

Macro element (me·L ⁻¹)	N		PO ₄ -P	K	Ca	Mg	SO ₄ -S	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
	NO ₃ -N	NH ₄ -N											
	5	0.5	1.5	3	2	1	1	3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01
EC (dS·m ⁻¹)	0.8												

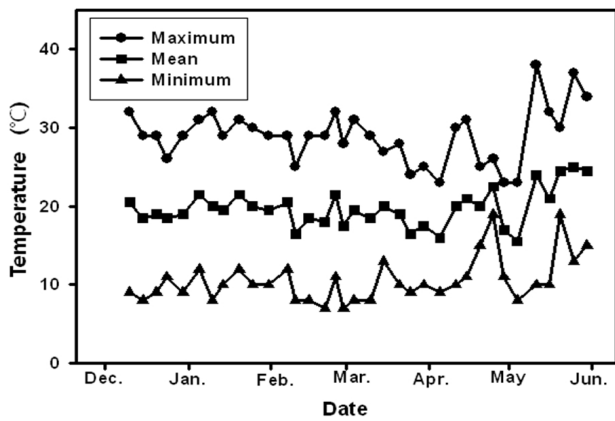


Fig. 1. Changes of maximum, minimum and mean temperatures in greenhouse during the experiment.

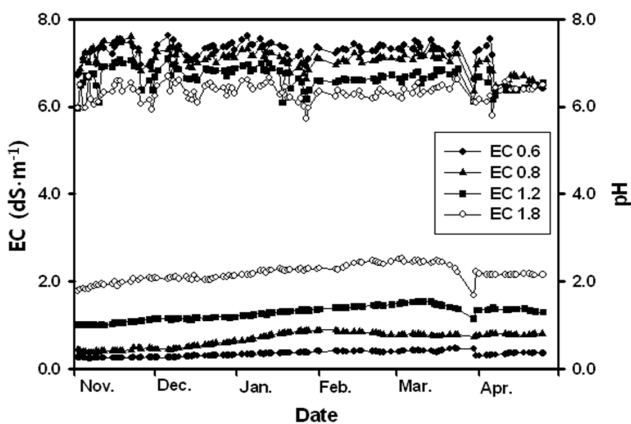


Fig. 2. Changes of EC and pH of drainage nutrient solution in four kinds of nutrient solution strength in hydroponics during experiment period.

‘매향’을 공시한 본 실험에서도 같은 경향을 나타내어 공급 배양액의 EC가 높을수록 배액의 pH가 낮아지는 것을 알 수 있다. Jun et al.(2011)은 배액의 pH는 뿌리의 활성과 직접적인 상관이 있으며 배액의 pH가 낮아지는 것은 뿌리의 활성이 낮은 것을 나타낸다고 하여 딸기 ‘매향’에서도 마찬가지로 배양액의 농도는 뿌리의 활성과 상관이 있을 것으로 생각할 수 있을 것이다. EC 1.8dS·m⁻¹ 처리에서는 비록 딸기의 적정 pH 범위 내이긴 하지만 다른 처리구에 비해서 배액의 pH가 가장 낮게 유지되어 뿌리의 활성에도 차이가 있을 것으로 생각되었다.

실험 기간 중에 3회 실시한 생육조사 결과를 보면, 엽장은 12월 14일 조사에서 EC 1.2 처리에서 가장 길었고 1.8, 0.8, 0.6dS·m⁻¹의 순이었다. 나머지 2회의 조사에서는 처리간에 유의한 차이가 없었다. 엽폭은 12월 14일 조사에서 EC 1.2에서 가장 길었고 0.8, 1.8, 0.6dS·m⁻¹ 처리의 순이었다. 나머지 2회의 조사에서는 10월 14일 조사에서 EC 0.8dS·m⁻¹ 처리가 다른 처리구에 비해 작았지만 다른 처리간에는 유의한

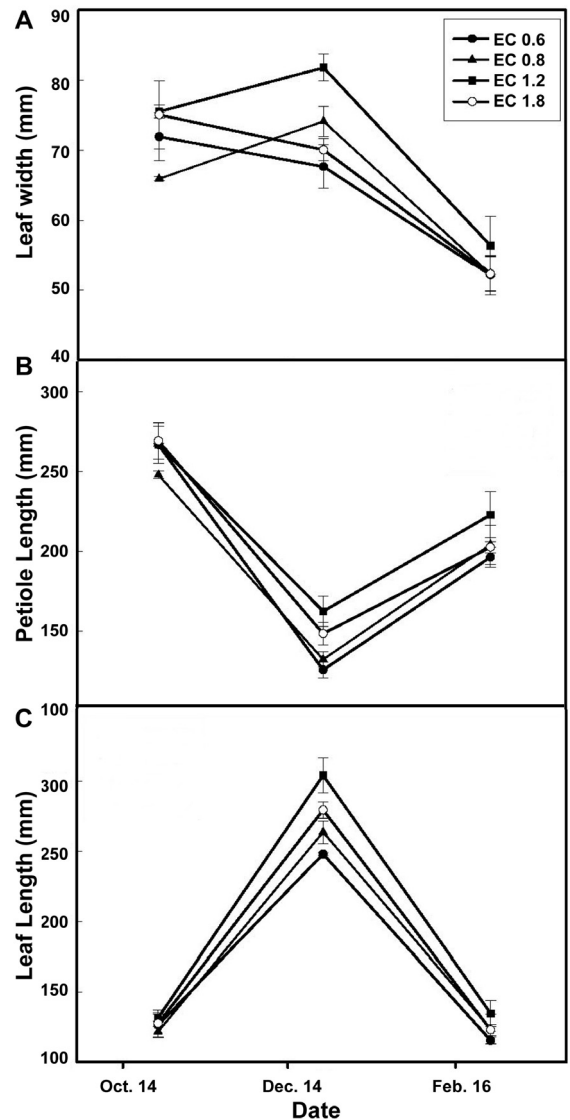


Fig. 3. Changes of leaf width (A), petiole length (B), and leaf length (C) of strawberry ‘Maehyang’ grown in four kinds of nutrient solution strength in hydroponic system during early growing period. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

차이가 없었다. 그리고 엽병장도 엽장과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 3). 이 결과를 보면 딸기 ‘매향’의 지상부 생육은 배양액 농도 차이에 따라 일부 차이를 나타내긴 하였지만 그 차이는 미미하여 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각되었다. Tsukagoshi et al.(1994)도 딸기의 수경재배에서 배양액의 농도에 따른 지상부의 생육차이가 없었다고 하였다. 그러나, 대부분의 과채류는 EC 1.0-3.0dS·m⁻¹에서는 농도가 높을수록 생육과 수량이 증가하는 편이다(Itaki et al., 1995)고 하였으나, Jun et al.(2011)의 ‘설향’ 딸기의 실험에서는 배양액 농도 1.0 처리구에서 0.5와 2.0dS·m⁻¹ 처리구보다 지상부 생육이 양호하였으며 2.0dS·m⁻¹ 처리구에서는 엽폭이 좁고 잎의 갈변현상이 나타났다고 하여 딸기는 품종에

따라서 배양액의 농도에 따른 생육반응에 차이가 큰 것으로 생각된다. Chi et al.(1998)의 딸기 ‘寶交早生’의 실험에서 배양액의 농도가 1.0-1.5dS·m⁻¹에서 가장 양호하였고, 그보다 높은 농도에서는 어린잎의 tipburn과 뿌리의 갈변현상이 나타났다고 하여 딸기는 다른 과채류에 비해서는 배양액의 적정 농도가 낮은 것으로 생각된다.

배양액 농도 처리가 각 화방별 과실의 품질에 미치는 영향을 Fig. 4에 나타내었는데, 과장은 정화방에서는 EC 0.8과 1.2dS·m⁻¹처리에서 가장 길었고 1.8dS·m⁻¹에서 가장 짧았다. 제 2화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹처리에서 가장 짧았고 나머지 처리 간에는 유의한 차이가 없었다. 제 3화방은 정화방과 동일한 경향을 나타내었으며, 제 4화방은 처리 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 과경은 정화방과 제 2화방에서는 처리 간에 유의한 차이가 없었으며, 제 3화방에서는 EC 1.8의 높은 농도보다는 0.6dS·m⁻¹처리의 가장 낮은 농도에서 과경이 더 길었다. 제 4화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹처리에서 가장 과경이 짧았으며 다른 처리 간에는 유의한 차이가 없었다. 과중은 화방 간에는 첫 번째 화방인 정화방이 가

장 무거웠으며 갈수록 온도와 광량이 저하하여 과중이 감소하다가, 딸기의 휴면이 끝나고 온도와 광량이 증가하는 시기의 제 4화방에서는 과중이 증가하기 시작하였는데, 이는 정화방의 착과부터 제 4화방의 수확까지 각 화방에서 과실의 착과부터 수확까지의 온도와 광환경의 변화와 상관이 클 것으로 생각된다. 특히, 수확기의 최저온도가 가장 낮았던 제 2화방보다 제 3화방의 과중이 가장 낮은 것은 제 3화방의 착과 및 성숙기가 제 2화방의 수확기인 저온기에 해당되기 때문인 것으로 생각되며, 이 시기에는 광환경은 갈수록 좋아지는 시기이므로 과중의 감소는 온도의 영향이 더 컸던 것으로 볼 수 있을 것이다. 각 화방별 과중은 정화방에서는 EC 1.2와 0.8dS·m⁻¹에서 가장 컸고 높은 농도처리의 EC 1.8dS·m⁻¹에서 낮았다. 제 2화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹에서 가장 낮았으며 다른 농도 간에는 유의한 차이가 없었다. 제 3화방에서는 처리 간에 유의한 차이가 없었으며, 제 4화방에서는 EC 0.8에서 1.8dS·m⁻¹까지는 차이가 없었지만 낮은 농도의 0.6dS·m⁻¹보다는 높은 농도의 1.8dS·m⁻¹에서의 과중이 월등하게 낮았다. 과실의 생육은 조사 항목에 따라 약간

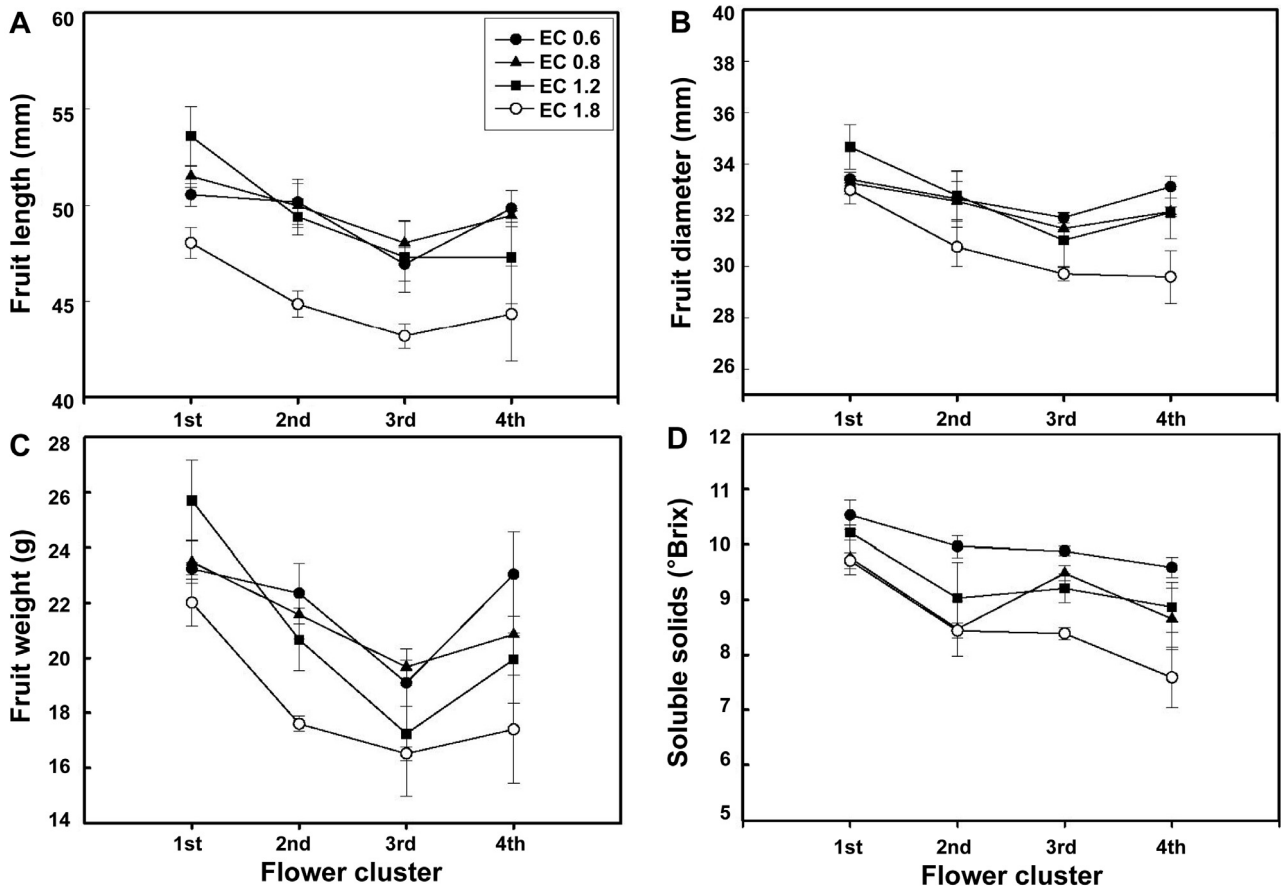


Fig. 4. Effect of nutrient solution strength on fruit length (A), fruit diameter (B), fruit weight (C) and soluble solids (D) of strawberry ‘Maehyang’ at four flower clusters. Bars represent standard errors of the means of 3 replicates.

의 차이는 있지만 기온이 낮은 시기에 수확한 화방에서는 다른 화방에 비해서 $1.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구에서 과중이 현저하게 저하하여, 높은 배양액 농도는 저온기에 딸기 과실생육에 더 큰 부담을 주는 것으로 생각되었다. 특히 과중은 모든 화방에서 딸기의 적정 농도보다 낮은 농도라고 생각되는 EC $0.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 보다 낮아서 ‘매향’ 딸기는 높은 농도보다는 낮은 농도가 적합할 것으로 생각되었다. Chi et al.(1998)의 딸기 ‘보교조생’의 실험에서도 총 과실중과 10g 이상의 상품 과중이 원시배양액 2/4와 3/4배 농도에서 가장 많았고, 고농도에서는 과실의 수량이 저하했다고 하였으며, Rhee et al.(2006)의 사계성 딸기인 ‘페치카’의 실험에서도 EC $0.75\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 수량이 가장 많았고 배양액의 농도가 증가할수록 감소한다고 하여 딸기에서는 높은 농도의 배양액은 바람직하지 않은 것으로 생각된다.

과실 내의 가용성 고형물은 각 화방에 따라서 처리 간에 약간의 변화는 있었지만 전반적으로 EC $0.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 높은 경향을 나타내었다. 특히 제 3화방에서는 EC 0.6에서 $1.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 배양액의 농도가 높아짐에 따라 가용성 고형물의 함량이 순차적으로 낮아지는 것을 볼 수 있었다. Roh et al.(1995)과 Winsor et al.(1962)은 토마토의 수

경재배에서 배양액의 농도가 높아지면 과실의 당도도 증가한다고 하였으며, 과채류에서는 일반적으로 배양액의 농도 또는 수분조절 등으로 과실의 크기가 작아져서 상대적으로 가용성 고형물의 함량이 높아지는 경우가 많은데(Chun et al., 2003; Jang and Nukaya, 1997), 본 실험의 결과에서는 과중이 감소한 처리구에서 당도가 감소하였고 과중이 큰 처리구에서 당도가 높아진 것을 볼 수 있다. Chi et al.(1998)의 ‘보교조생’의 실험에서는 배양액 농도가 증가하여도 당도의 상승효과는 인정되지 않았다고 하여 딸기 ‘매향’에서 EC $0.6\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 낮은 농도에서 가장 높은 가용성 고형물 함량을 나타낸 것은 추후 다시 검토하여 확인할 부분이라고 생각된다.

배양액 농도 처리에 따른 각 화방별 5개 과실의 수량을 Table 2에 나타내었다. 정화방에서는 배양액 농도처리 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 제 2화방에서는 EC 0.6부터 $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 처리간에 유의한 차이가 없었지만 가장 높은 농도의 EC $1.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서는 수량이 감소하였다. 제 3화방에서는 가장 낮은 농도처리인 EC 0.6보다 가장 높은 농도인 $1.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 월등하게 낮은 수량을 보였다. 제 4화방에서는 제 2 화방에서와 동일한 경향을 나타내었는데, EC $1.8\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 수량이 가장 적었다.

Table 2. Effect of nutrient solution strength on total weight of five fruits per cluster of strawberry ‘Maehyang’ in hydroponic system during experiment.

Flower cluster	Strength of nutrient solution ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	Fruit weight per cluster (g)
First	0.6	116.16
	0.8	117.46
	1.2	128.52
	1.8	111.44
	LSD ($p < 0.05$)	NS ^y
Second	0.6	110.28 a ^z
	0.8	106.74 a
	1.2	100.93 ab
	1.8	81.60 b
	LSD ($p < 0.05$)	19.42
Third	0.6	94.13 a
	0.8	90.69 ab
	1.2	89.27 ab
	1.8	76.21 b
	LSD ($p < 0.05$)	15.26
Fourth	0.6	110.71 a
	0.8	99.88 a
	1.2	94.97 ab
	1.8	80.09 b
	LSD ($p < 0.05$)	17.69

^zIn a column, the mean values followed by a different letter are significant at the 5% level by LSD test.

^yNS, no significant.

이상의 결과에서 ‘매향’ 딸기의 축성재배에서는 화방에 따라서 배양액의 농도에 따른 반응에 약간의 차이는 있었지만 배양액의 농도를 0.8-1.2dS·m⁻¹로 관리하는 것이 1.8dS·m⁻¹로 높게 관리하는 것보다 지상부 생육, 과실의 수량 그리고 과실의 당도에 유리한 것으로 생각되었으며, 특히 저온기의 고농도 관리는 과실의 수량과 당도에 나쁜 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 수출 딸기 재배농가의 비료 농도 관리기술로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

초 록

국내에서 육성되어 수출딸기의 주역인 ‘매향’ 딸기의 수경재배에서 적절한 배양액 농도를 구명하고자 하였다. 2010년 9월 20일에 코코피트를 충진한 수경재배 벤치에 정식하고, 야마자키 조성 딸기배양액을 이용하여 처리별로 EC를 0.6, 0.8, 1.2, 1.8dS·m⁻¹로 급액하였다. 지상부 생육은 배양액 농도 차이에 따라 일부 차이를 나타내긴 하였지만 그 차이는 미미하여 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각되었다. 과장은 정화방에서는 EC 0.8과 1.2dS·m⁻¹처리에서 가장 길었고 1.8dS·m⁻¹에서 가장 짧았다. 제 2화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹처리에서 가장 짧았고 나머지 처리 간에는 유의한 차이가 없었다. 제 3화방은 정화방과 동일한 경향을 나타내었으며, 제 4화방은 처리 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 과경은 정화방과 제 1화방에서는 처리 간에 유의한 차이가 없었으며, 제 3화방에서는 EC 1.8의 높은 농도보다는 0.6의 가장 낮은 농도에서 과경이 더 길었다. 제 4화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹처리에서 가장 과경이 짧았으며 다른 처리 간에는 유의한 차이가 없었다. 과중은 정화방에서는 EC 1.2와 0.8dS·m⁻¹에서 가장 컸고 높은 농도의 EC 1.8dS·m⁻¹에서 낮았다. 제 2화방에서는 EC 1.8dS·m⁻¹에서 가장 낮았으며 다른 농도 간에는 유의한 차이가 없었다. 제 3화방에서는 처리 간에 유의한 차이가 없었으며, 제 4화방에서는 0.8에서 1.8dS·m⁻¹까지는 차이가 없었지만 낮은 농도의 0.6dS·m⁻¹보다는 높은 농도의 1.8dS·m⁻¹의 과중이 월등하게 낮았다. 과실 내의 가용성 고형물은 각 화방에 따라서 처리 간에 약간의 변화는 있었지만 전반적으로 EC 0.6dS·m⁻¹ 처리에서 가장 높은 경향을 나타내었다. 특히 제 3화방에서는 EC 0.6에서 1.8dS·m⁻¹까지 배양액의 농도가 높아짐에 따라 가용성 고형물의 함량이 순차적으로 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 딸기 ‘매향’의 수경재배에서 배양액의 EC 관리는 온도가 낮은 저온기에는 EC 0.8-1.2dS·m⁻¹ 농도로 관리하는

것이 좋을 것으로 생각되었다. 이러한 결과는 딸기 수경재배에서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

추가 주요어: 코코피트 배지, 농도, 전기 전도도

인용문헌

- Chi, S.H., K.B. Ahn, S.W. Park, and J.I. Chang. 1998. Effect of ionic strength of nutrient solution on the growth and fruit yield in hydroponically grown strawberry plants. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:166-169.
- Chun, Y.T., K.C. Cho, and W.S. Kim. 2003. Effect of nutrient solution management by growing stage on the development of hydroponically grown cucumber plants. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:17-22.
- Itaki, T., K. Sasaki, and Y. Udagawa. 1995. Practical techniques for hydroponics. Nougyoudenkyou, Tokyo. p. 93-101.
- Jang, H.K. and A. Nukaya. 1997. Relationship between concentration of nutrient solution and uptake of nutrients in muskmelon grown in rockwool. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 66:307-312
- Jun, H.J., M.S. Byun, S.S. Liu, and M.S. Jang. 2011. Effect of nutrient solution strength on pH of drainage solution and root activity of strawberry ‘Sulhyang’ in hydroponics. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:23-28.
- Rhee, H.C., N.J. Kang, I.R. Rho, H.J. Jung, J.K. Kwon, K.H. Kang, J.H. Lee, and S.C. Lee. 2006. Hydroponic culture possibility and optimal solution strength of ‘Pechika’ ever-bearing strawberry on highland in summer. *J. Bio-Env. Cont.* 15:250-256.
- Roh, M.Y., J.H. Bae, Y.B. Lee, K.W. Park, and Y.S. Kwon. 1995. Effects of the concentration of nutrient solution on early yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in substrate culture. *J. Bio. Fac. Env.* 4:68-73.
- Tolman, D.A., A.X. Niemiera, and R.D. Wright. 1990. Influence of plant age on nutrient absorption for marigold seedlings. *HortScience* 25:1612-1613.
- Tsukagoshi, S., T. Ito, and Y. Shinohara. 1994. The effect of nutrient concentration and NH₄-N ratio to the total nitrogen on the growth, yield and physiological characteristics of strawberry plants. *J. Japan. Soc. Environ. Control Biol.* 32:61-66.
- Udagawa, Y., C. Dogi, and H. Aoki. 1988. Studies on the practical use of nutrient film technique in Japan. (3) Concentration of nutrient solution and quality of strawberry seedling. *Bull. Chiba. Agr. Exp. Stn.* 29:37-47.
- Winsor, G.W., J.N. Davies, J.H.L. Messing, and M.I.E. Long. 1962. Liquid feeding of glasshouse tomatoes; The effects of nutrient concentration on fruit quality and yield. *J. Hort. Sci.* 37:44-57.