Journal of Bio-Environment Control, Vol. 32, No. 2:132-138, April (2023)
DOI https://doi.org/10.12791/KSBEC.2023.32.2.132
pISSN 1229-4675
eISSN 2765-3641

2단 벤치를 활용한 담배수 관수 시스템이 수경재배 비모란선인장 '이홍'의 생장 및 수량에 미치는 영향

박기영[1] · 이정수[2]*
[1]공주교육대학교 교수, [2]국립원예특작과학원 농업연구사

Effects of Ebb-and-flow System with Double-tier Bench on Growth and Yield of Hydroponically Grown *Gymnocalycium mihanovichii* 'I-Hong'

Ki Young Park[1] and Jung-Soo Lee[2]*
[1]*Professor, Gongju National University of Education, Gongju 32553, Korea*
[2]*Research Officer, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea*

Abstract. The *Gymnocalycium mihanovichii* has been an important export item of Korean flower industry for a long time. Although there is a high demand for grafted cactus from overseas, its production for export is limited. In this study, the growth and marketable yield characteristics of *Gymnocalycium mihanovichii* 'I-Hong' were compared between soil culture and ebb-and-flow hydroponic system with single- or double-tier bench. As a result, hydroponic methods with single-tier bench resulted in higher fresh weight and glove diameter compared to other cultivation methods. In the ebb-and-flow hydroponic system, hydroponic system with double-tier bench of grafted cactus traits has a lower growth rate than other cultivations. However, the hydroponic system with double-tier bench of grafted cactus significantly increased the yield. In conclusion, the yield from hydroponic system with double-tier bench was better than soil cultivation method. Although there were some differences in color depending on the cultivation method, it was considered that there was no difference in appearance of *Gymnocalycium mihanovichii* 'I-Hong'. Our results suggest the cultivation methods to overcome production constraints, expand their exports, and improve the value-added characteristics of grafted cactus.

Additional key words: cultural method, grafted cactus, hydroponics, marketable yield, soil cultivation

서 론

비모란선인장은 선인장과(Cactaceae)에 속하며, 선인장의 원산지가 아메리카 대륙으로 건조와 일사에 강한 특징을 가졌으나 국내에서는 주로 실내 관상용인 분화(potted plants)로 많이 이용된다(Hong 등, 2009; RDA, 2021; NIHHS, 2015). 접목선인장은 접수인 비모란(*Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii*)이나 산취(*Chamaecereus silvestrii* f. *variegata*)를 이용하고 대목으로 삼각주(*Hylocereus trigonus*) 선인장을 이용하여 이형의 식물을 접목시킨 화훼 품목이다(RDA, 2021). 현재 접목선인장 수출 농가 수는 현상유지 수준이나 수출량이 연간 480만 달러(US$) 이상 계속 증가하고 있다(RDA, 2021; KREI, 2002; MAFRA, 2022). 접목선인장은 수출이 증가하는 반면 농가 수 및 생산량은 늘지 않아, 한정된 면적에서 생산성을 높이기 위해서는 재배방법의 개선이 필요하다.

접목선인장 재배 시 단위 면적당 생산량 증가가 매우 중요하나(Lee 등, 2014; Lee 등 2015), 관행 토경재배에서는 상토를 교환하고 배토하는 작업이 어렵고, 많은 노동력이 필요하다는 애로사항이 있다. 또한 농가 주변에 축분 적재로 인한 악취로 인근 농가의 민원 발생과 토양 및 수질오염 등 환경문제가 제기되어 다양한 개선방법이 모색되고 있는 실정이다(Lee 등, 2014). 이러한 비모란선인장을 비롯한 접목선인장 농가의 다양한 문제들과 줄기썩음병(bipolaris stem rot of cactus) 발생 예방 및 생산성 향상을 위한 대안으로 수경재배가 제시되고 있다.

수경재배 방식에는 담액식, 박막식, 분무식 등 다양한 재배법이 있는데(Ko와 Kim, 2019; Lee 등, 2009), 화훼 분화재배에서 ebb and flow 방식을 이용한 수경재배 방법은 근권부의

*Corresponding author: ljs808@korea.kr
Received March 30, 2023; Revised April 18, 2023; Accepted April 19, 2023

통기성 및 생육이 양호하여 활용성이 매우높다(An 등, 2007; Wortman, 2015). 비모란선인장을 비롯한 접목선인장 수경재배 ebb and flow 재배 방식은 저면으로부터 일정시간 담수하여 양·수분을 공급하는 방법에 생력트레이를 적용하여 배지없이 재배할 수 있는 방법이다(Hong 등, 2009; Hong 등, 2005). 비모란선인장을 포함한 접목선인장에서 ebb and flow 재배방식인 수경재배는 생산성 향상에 효과가 있는 것으로 알려져 화훼농가에서 많이 활용하고 있다(Lee 등, 2015). 비모란선인장의 생산량을 효율적으로 증가시키기 위해 기존의 ebb and flow 1단 재배방식에 한 단을 추가한 2단 재배방법을 적용해 생산성 향상 가능성을 확인하고자 하였다. 본 연구에서는 비모란선인장 수출농가에서 토경재배, ebb and flow 재배방식(1단 재배와 2단 재배방법)에 따른 생육 특성을 비교하고 생산성 증대 효과를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험재료로는 국립원예특작과학원에서 육성한 비모란선인장(*Gymnocalycium mihanovichii*) '이홍'인 접수를 9cm 삼각주(*Hylocereus trigonus*) 대목에 접목해 순화실에서 14일 경과 후 활착된 것만 골라 생력 트레이(60×30cm, 98구)에 정식하였다.

2. 실험처리

재배방법은 관행 토경재배와 ebb and flow 재배방식으로 벤치를 1단 재배와 2단 재배방법으로 설치하여 생육특성을 비교하였다(Fig. 1). 토경재배는 배양토를 조제하여 재배하였으며, 배양토는 강모래와 마사가 섞인 황토를 농자재업체로부터 구입하고 인근 양돈농가에서 돈분을 구입, 모래(20):흙(20):돈분(60)의 비율로 혼합해 온실 바닥에 20 cm로 복토 후 4－5일 간격으로 관수하였다. 수경재배에서 ebb and flow 재배방식은 Hong 등(2009)의 방법에 따라 베드에 양액을 저면공급하는 방법으로 벤치 수를 달리하여 기존 1단 재배(Fig. 1B)와 그 위에 한 개의 단을 더 올린 2단 재배방법으로 설치하여 비교하였다(Fig. 2). 양액 공급은 Hong 등(2009)의 방법을 따라 1일 3회 공급하였으며, 회당 양액이 머무는(담수) 시간을 15분으로 2－3cm 높이로 공급하였다. 정식 직후 약 30일

Fig. 1. Grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii*) cultivation method in Korea: soil culture (A), and ebb-and-flow hydroponic system with single- (B) or double-tier bench (C).

Fig. 2. Ebb-and-flow hydroponic system with double-tier bench for grafted cactus: appearance of hydroponic bench (A), and bench backside of incident angle on sun (B).

간은 지하수만 공급하였고, 발근 이후엔 배양액으로 교체하여 공급하였다. 실험에 사용한 배양액 조성은 Kang 등(1995)의 결과에 따라 N-P-K-Ca-Mg=15.75-1.25-7.75-3.38-1.50 mmol·L^{-1}로, EC는 1.9dS·m^{-1}로 하였다.

본 연구는 고양지역 접목선인장 수출농가를 대상으로 PO필름을 피복한 1-2W형 연동하우스에서 실시하였다. 비모란선인장 정식은 2월 13일에 하였으며, 수확은 평균 구경이 3cm가 되는 6월 29일에 조사하였다. 재배된 온실은 팬코일이 설치된 온실로 13 − 40℃ 온도범위에서 관리하였다. 광 관리는 정식 후 자연광 조건에서 재배하였으며, 4월부터 수확까지는 40 − 50% 차광망을 설치하여 관리하였다. 본 연구 수행은 동일 시설 내에서 토경재배, ebb and flow 재배방식(1단 재배와 2단 재배방법)이 함께 이루어져 재배방법 간의 환경적인 차이를 최소화하였다.

3. 조사 항목 및 통계

농업과학기술연구 조사기준(RDA, 2012)에 따라 구경, 구고, 생체중, 결각수 등 생육을 조사하였다. 구경(구폭)은 자구를 제외한 구에서 최고 폭을 측정하였으며, 구고는 구 기부에서 정단부까지 높이를 측정하였다. 생체중은 뿌리 흙을 제거한 다음 식물체 총 중량을 측정하여 기록했으며, 결각수는 구에 있는 결각을 실측하여 표시하였다. 비모란선인장 재배방법에 따른 경시적인 생육을 보고자 구경(구폭)의 변화도 비교하였다.

경도는 물성측정기(texture analyzer TA.XT, SMS, UK)로 직경 5mm probe를 이용하여 탐침법으로 측정하였다. 비모란선인장 색상은 Kim 등(2011)의 보고와 Hunter(2001)의 자료에 따라 chromameter(CR-300, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 L* (lightness), a*(red~green), b*(yellow~blue)를 측정하고 이를 chroma 값과 hue angle 값으로 환산하여 나타내었다. 비모란선인장의 ebb and flow 재배방식인 2단 재배방법에서 하단의 차광 정도를 보고자 조도계(light intensity meter MT-4617, Pro's Kit®, Taepei, Taiwan)를 이용하여 시간에 따른 광도 차이를 조사하였다.

통계 분석과 실험 조사는 식물체를 완전임의 3반복으로 반복당 10주씩 샘플을 채취하였다. 생육조사에 이용된 식물체는 ebb and flow 재배방식 2단 재배상단과 하단 베드의 식물체를 각각 다른 위치에서 선발, 혼합하여 샘플링하였다. 상품수량은 Lee 등(2015)의 보고를 참조하여 수확 시 단위 면적당 재식수에 따른 상품성 있는 갯수를 기준으로 하여 10a당 비모란선인장 수확량을 환산하여 나타냈다. 통계분석은 SAS(Version 9.2, SAS Inc., Cary, USA) 프로그램을 활용하여 분석하였으며, 평균 간 유의차 검정은 Duncan's multiple range test으로 유의수준 $p < 0.05$으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 생육 특성

비모란선인장 구경은 모든 재배방법에서 생육기간 동안 지속적으로 증가하였으며, 재배방법에 따른 구경은 생육 정도에 따라 차이를 보였다(Fig. 3). 비모란선인장 '이홍'은 재배방법에 따라 초기부터 생육 차이를 보였는데 기존 ebb and flow 재배방식의 수경재배가 토경재배 방법보다 큰 경향을 보였다. Ebb and flow 재배방식인 2단 재배의 양액공급은 ebb and flow 재배방식의 1단 재배방법과 동일하였지만, 구경의 생육정도는 1단 재배보다는 크진 않았다. Lee(2011)는 품종에 따라 구경 크기의 차이가 있지만 무차광보다는 차광 55%에서 구경이 커지는 효과가 있어 우수한 품질이 생산된다고 하였다. Ebb and flow 재배방법 2단 재배에서 상 · 하단 베드 위치 차이에 따른 차광 효과로 구경의 증가를 기대했으나 ebb and flow 재배방식에서 1단 재배에 비해 증가하지는 않는 것으로 나타났다.

Table 1은 재배방법 차이에 따른 수확 시 생육과 수량 차이를 보고자 '이홍' 품종을 이용하여, Fig. 1과 같이 관행 토경재배와 ebb and flow 재배방식인 1단 재배와 2단 재배방법에서 차이를 비교하였다. 재배방법에 따라 구경과 같은 생장량이 차이를 보이는 것으로 나타났다. '이홍'의 구경은 재배방법에 따라 ebb and flow 재배방식 1단 재배는 33.7mm로, 토경재배 32.0mm와 2단 재배의 25.0mm보다 생육이 좋았다(Table 1).

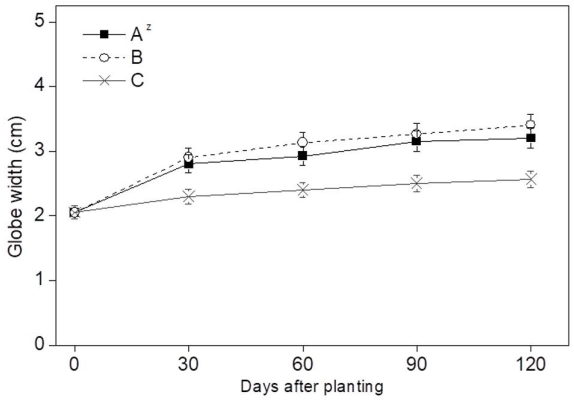

Fig. 3. Change in globe width of grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii*) 'I-Hong' during cultivation. Data represent the mean ±SD of 3 replicates. Some error bars are marked by the symbols. [z]Refer to by cultivation method such as soil culture (A), and ebb-and-flow hydroponic systems with single- (B) or double-tier bench (C).

생육량에서 구고, 구중, 경도 등은 차이를 보이지 않았지만 ebb and flow 재배방식 1단 재배가 구고와 구중에서 다른 재배방식보다 생육량이 다소 큰 경향을 보였으며 경도는 낮은 편이었다. 이는 Lee 등(2009, 2014)의 보고와 같이 ebb and flow 재배방식이 근권부의 통기성이 양호하고 뿌리에서의 수분흡수가 용이하여 생육량이 좋아진 것으로 판단되었다. Kim 등(2019)은 어린잎 채소 다단식 재배에서 재배 위치에 따라 엽폭 등의 생육량이 반드시 차이가 나지는 않는다고 보고하였는데, 비모란선인장은 ebb and flow 재배방식인 1단 재배와 2단 재배 방법에서는 구경의 차이를 보였지만, Kim 등(2019)의 보고와 유사하게 구고나 구중 등 다른 생육량의 차이는 나타나지 않았으며, 외관에서도 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 5).

비모란선인장 상품수량에서 ebb and flow 재배방식 2단 재배방법이 토경재배나 ebb and flow 재배방식 1단 재배보다 높은 상품수량을 보였다. 화훼작물에서 ebb and flow 재배방식은 생육이 좋은 폐쇄적 양액 시스템으로 다른 재배방식보다 양액 이용률이 높으나(An 등, 2007; Noh 등, 2011; Lee 등, 2009) 설치 비용에 대한 우려가 있다(Lee, 2013). 본 연구에서는 ebb and flow 재배방식을 2단 재배방법으로 재배하여 단위면적당 생산성을 높여 설치 비용에 대한 우려를 경감시키고자 하였다.

상품수량에서 ebb and flow 재배방식인 2단 방법이 10a당 958.2×1,000개로 토경재배와 ebb and flow 재배방식인 1단 재배 441.0－462.8×1,000개보다 많아 생산성을 높였다. 다만 ebb and flow 재배방식 2단 재배는 RDA(2021)의 출하를 위한 상품규격에서 구경이 25.0mm으로 소(小)규격으로 분류되지만, 규격에 따라 출하가 가능하고 경도가 높아 수출에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 접목선인장 비상품은 외관상 손상이나 생육불량으로 분류되는데 ebb and flow 재배방식인 2단 재배는 다른 재배방식과 비교해 상품화율에 차이가 없었다(Table 2). 따라서 ebb and flow 재배방식 2단 재배는 적정한 상품율을 확보하고 단위 면적당 재식수가 높아 상품수량을 늘릴 수 있는 가능성을 확인하였다. 접목선인장은 2－6월 사이에 생산과 수출이 전체 70%가 이루어지고 8－9월에 일부 수출하며 10월 이후에는 수출을 종료하는데(Jang과 Han, 2009), ebb and flow 재배방식인 2단 재배는 주요 수출 시기에 많은 양을 생산할 수 있는 효과적인 방법으로 판단되었다.

2. 색상 및 외형 특성

비모란선인장 '이홍'의 재배방법에 따라 색상 a*(red~green), b*(yellow~blue), chroma(채도)에서 차이가 보이는 것으로

Table 1. Growth of grafted cactus 'I-Hong' as affected by cultivation method at harvest.

Cultivation method[z]	Globe				No. of ribs	Plant fresh weight (g)	Marketable rate (%)	Marketable yield (1,000 plants/10a)
	width (mm)	height (mm)	fresh weight (g)	firmness (N)				
Soil culture	32.0 b[y]	20.7 a	8.9 a	19.7 a	8.9 a	28.3 a	85 a	462.8 b
Ebb and flow (sigle bench)	33.7 a	21.7 a	8.9 a	16.3 a	9.3 a	29.8 a	81 a	441.0 b
Ebb and flow (double bench)	25.0 c	21.3 a	8.2 a	21.5 a	9.2 a	23.0 b	88 a	958.2 a

[z]Cultivation method refer to Fig. 1., and cultivation history such as grafting date at Jan. 28th, planting date at Feb. 13th, and harvest date at Jun. 28th.

[y]Mean values in each evaluation cultivation method with different lowercase letters are significantly different according to the Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

Table 2. Color characteristics of grafted cactus 'I-Hong' as affected by cultivation method.

Cultural method[z]	Reflected color			Chroma	Hue angle (°)
	L*	a*	b*		
Soil culture	27.9 a[y]	36.4 a	11.0 a	38.0 a	16.8 a
Ebb and flow (sigle bench)	27.2 a	34.8 ab	10.6 ab	36.4 ab	17.0 a
Ebb and flow (double bench)	26.1 a	31.5 b	9.8 b	33.0 b	17.2 a

[z]Cultivation method refer to Fig. 1., and cultivation history such as grafting date at Jan. 28th, planting date at Feb. 13th, and harvest date at Jun. 28th.

[y]Mean values in each evaluation cultivation method with different lowercase letters are significantly different according to the Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

나타났다. Table 2에서 색 차이를 알 수 있는 a*값, b*값, chroma에서는 유의한 차이를 보이는 반면 L*(lightness)과 hue angle(색상각)은 재배방법에 따라 차이를 보이지 않았다. Lee 등(2005)은 상추에서 재배방법에 따라 색상 차이가 발생한다고 하였고, Lee(2011)은 접목선인장에서 품종 간에 차이는 있지만 직사광선보다 35 – 55% 수준의 차광이 색상 발현에 도움이 된다고 보고하여 직사의 강광보다는 약광이 접목선인장의 생육에 유리한 것으로 판단되었다.

비모란선인장 '이홍'은 a*값, b*값, chroma에서 재배방법에 따라 다소 차이를 보였다(Table 2). 비모란선인장 '이홍' a*값에서 토경재배와 ebb and flow 재배방식인 1단 재배가 34.8 – 36.4로 ebb and flow 재배방식인 2단 재배의 31.5보다 높아 붉은 색이 더 발현되는 것을 알 수 있었다. b*값에서 토경재배와 ebb and flow 재배방식인 1단 재배가 10.6 – 11.0으로 2단 재배의 9.8보다 높아 황색에 가까운 색을 보이며, chroma에서 토경재배와 ebb and flow 재배방식인 1단 재배가 36.4 – 38.0으로 2단 재배 33.0보다 높아 밝고 강렬하게 느껴질 수 있는 것으로 보인다. 이는 ebb and flow 재배방식인 2단 재배가 비모란선인장 재배 시 하단 벤치 뒷면의 광 입사 정도가 29.5°로(Fig. 2B) 봄 · 가을, 겨울철 태양고도가 달라지는(Lee 등, 2016; Park과 Kang, 1998) 수광 차이로 판단되는데, Fig. 4와 같이 상단의 벤치로 인하여 하단 벤치가 다소 그늘지는 것으로 나타났다. 4월에 ebb and flow 재배방식인 2단 재배방법 활용 시 광도에 따른 상단 벤치와 하단 벤치의 광이 측정 시간대에 따라 차광정도가 13.2 – 39.4% 정도로 상위 벤치와 하단 벤치와의 광량의 차이를 보였다. Lee(2011)는 '접목선인장에서 75% 정도 차광에 의해 생육과 색상이 불량해진다' 하였는데, ebb and flow 재배방식인 2단 재배의 하부 벤치 차광 정도는 품질에 크게 영향을 줄 만큼 크지 않는 것으로 판단된다.

Ebb and flow 재배방식인 2단 재배에서 광량에 따른 구고나 구중 등의 생육은 차이를 보이지 않았으나 일부 색상 측정 항목에서는 영향을 주었다. Lee(2011)는 '품종에 따라 35 – 55% 차광 조건에서 접목선인장의 생육이 우수하고 색상이 더욱 선명해진다'고 하였다. 비모란선인장 구경은 ebb and flow 재배방식인 2단 재배가 다른 재배 방법보다 작은 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 5에서와 같이 재배방법에 따른 외형은 구의 모양이 편원형이고 색상은 진한 빨간색의 단색으로 육안으로는 차이를 보이지 않았다. 비모란선인장에서 ebb and flow 재배방식인 2단 재배에서 비모란선인장 구경 등에서 다소 차이가 있었으나, Fig. 5와 같이 외형에서 큰 차이가 나타나지 않았다. 비모란선인장에서 ebb and flow 재배방식인 2단 재배 시 생육은 상품화하는데 큰 이상 없는 것으로 판단되며, 수량을 크게 늘릴 수 있는 매우 효율적인 시스템으로 확인하였다. 다만 ebb and flow 재배 방식인 2단 재배는 출하규격이 소품에 해당하여, ebb and flow 방식인 1단 재배방법과 같은 생육이 될 수 있도록 향후에 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

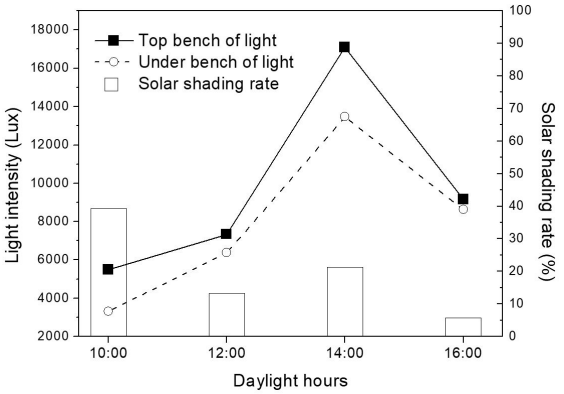

Fig. 4. Change in light intensity and solar shading rate of grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii*) 'I-Hong' with ebb-and-flow hydroponic system with double-tier bench during daylight at Apr. 4th, 2023.

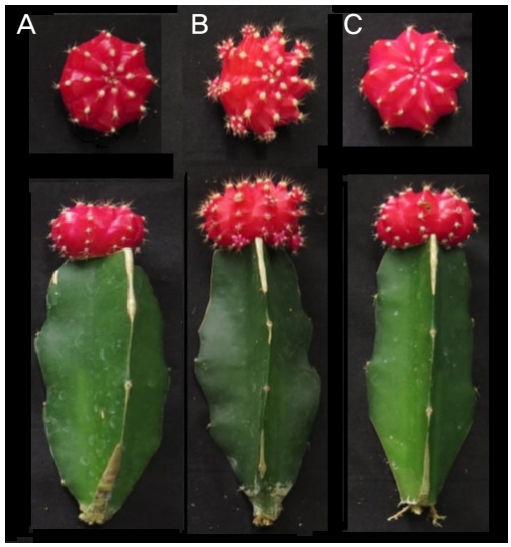

Fig. 5. Appearance of grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii*) 'I-Hong' as affected by cultivation method at harvest: soil culture (A), and ebb-and-flow hydroponic systems with single- (B) or double-tier bench (C).

적 요

비모란선인장은 한국 화훼산업에서 중요한 품목으로 해외 수출량이 많지만 생산에 한계가 있다. 본 연구에서 비모란선인장의 수경재배와 토경재배 방법에 따른 생육과 수량 차이를 확인하고자 하였다. 비모란선인장(*Gymnocalycium mihanovichii*) '이홍'을 이용하여 실증농가에서 생육 특성과 수량 등을 조사

하였다. 비모란선인장에서 ebb and flow 재배방식을 1단과 2단(상 · 하단) 재배방법으로 벤치 수를 달리하여 여러 특성을 조사하였다. 수경재배 방법에 따라 비모란선인장 생육에 다소 차이가 있어 ebb and flow 재배방식인 1단 재배방법은 구경과 생체중에서 토양재배보다 생육이 좋은 경향을 보였다. 그러나 ebb and flow 재배방식인 2단(상 · 하단) 재배방법은 구경과 생체중에서 생육량은 떨어지지만 단위 면적당 생산량 증가로 상품수량을 크게 늘렸다. 재배방법에 따라 일부 색상의 차이가 있었지만 외관으로는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 비모란선인장의 효율적인 생산량 증대를 위해 ebb and flow 재배방식인 2단 재배방법과 같은 재배기술이 농가에 지속적으로 보급되어야 할 것으로 보인다.

추가 주제어 : 상품수량, 양액재배, 재배방법, 접목선인장, 토경재배

사 사

농촌진흥청 공동과제인 접목선인장 생산성 안정 시범재배 및 제품화 수익 모델 개발 등의 일부 지원으로 이루어졌습니다.

Literature Cited

An D.C., S.H. Park, C.G. Been, and B.R. Jeong 2007, Effect of nutrient solution strength on growth of *Phalaenopsis* in an ebb and flow system. J Bio-Env Con 16:199-204. (in Korean)

Hong S.M., C.H. Cho, J.J. Lee, J.W. Chung, I.T. Park, and C.Y. Song 2009, Effects of supply methods of nutrient solution on growth of grafted cactus *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii* grown hydroponically. Flower Res J 17:172-178. (in Korean)

Hong S.M., S.J. Kim, C.H. Cho, and J.J. Lee October 26, 2005. Cactus supporting apparatus. Korea Patent No. 2020050022647.

Hunter Lab 2001, L, a, b versus CIE 1976 L*a*b* application note 13:1-4. Available via https://support.hunterlab.com/hc/en-us/article_attachments/201437795/an02_01.pdf Accessed March 30, 2023

Jang M.W., and J.S. Han. 2009, Global commodity chain of grafting cactus in Umseong county of Chungcheongbuk-do (province), Korea. J Korean Geogr Soc 44:56-76. (in Korean)

Kang S.H., Y.C. Park, S.M. Hong, and J.W. Lim 1995, Effects of nutrient solutions on the growth and yield of *Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii*. Kyong-Gi Agric Res Rpt. Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong, Korea, pp 776-781. (in Korean)

Kim J.K., I.S. Kim, H.M. Kang, and K.Y. Choi 2019, Determination of appropriate location for baby leaf vegetable in multi bench system of rice seedling nursery facility during high temperature periods. Protected Hort Plant Fac 28:286-292. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.4.286

Kim J.Y., K.H. Kwon, K.H. Gu, and B.S. Kim 2011, Selection of quality indicator to determine the freshness of muskmelon (*Cucumis melo* L.) during distribution. Korean J Food Preserv 18:824-829. (in Korean) doi:10.11002/kjfp.2011.18.6.824 (in Korean)

Ko J.H., and H.C. Kim 2019, PLC Automatic control for IOT based hydroponic plant factory. J Inst Korean Electr Electron Eng 23:487-494. (in Korean) doi:10.7471/ikeee.2019.23.2.487

Korea Rural Economic Institute (KREI) 2002, International market investigation and export expansion plan for cactus. KREI, Seoul, Korea, pp 1-133. (in Korean)

Lee B.S., D.K. Kwak, H.J. Song, and G.H. Hwang 2016, A study on data analysis of irradiance according to the incident angle of the sun and the generation amount of PV system. J Korean Inst Illum Electr Install Eng 30:33-38. (in Korean) doi:10.5207/JIEIE.2016.30.5.033

Lee C. 2013, Study of the stabilization of baby leaf supply and demand in fresh-cut industry for market extension and export. Food Sci Ind 46:12-18. (in Korean) doi:10.23093/FSI.2013.46.4.12

Lee H.J., H.J. Yoo, Y.H. Lee, K.Y. Choi, and Y.B. Lee 2009, Selection of optimum closed hydroponic system for production of *Echinacea* spp. J Bio-Env Con 18:107-111. (in Korean)

Lee J.S., J.W. Choi, D.S. Chung, C.I. Lim, T.C. Seo, G.L. Do, and C.H. Chun 2005, Effects of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars and cultivation methods on growth, quality, and shelf- life. Korean J Hortic Sci Technol 23:12-18. (in Korean)

Lee J.S., O.H. Lee, P.M. Park, G.Y. Park, S.M. Hong, and J.W. Lee 2014, Effects of growth of hydroponics depending on grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii* var. *friedrichii*) cultivars. J Ecol Environ Sci 6:96-101. doi:10.7732/kjpr.2015.28.4.546

Lee J.W., H.G. Oh, J.H. Kim, K.Y. Lee, and J.S. Lee 2015, Studies on simple hydroponic culture in cultivation of grafted cactus for export. Korean J Plant Res 28:546-549. (in Korean) doi:10.7732/kjpr.2015.28.4.546

Lee Y.K. 2011, Change of growth on shading treatment of hydroponics grafted cactus (*Gymnocalycium mihanovichii*). MS Thesis, Sahmyook Univ., Seoul, Korea, pp 4-34.

Ministry for Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) 2022, Current status of flower cultivation. MAFRA, Sejong, Korea, pp 11-422. (in Korean)

National Institute of Horticultural and Herbal Science (NIHHS) 2015, 2015 cactus and succulent collection. NIHHS, Wanju, Korea, pp 4-51. (in Korean)

Noh E.H., J.M. Choi, and J.E. Son 2011, 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. J Bio-Env Con 20:189-196. (in Korean)

Park Y.C., and Y.H. Kang 1998, Computation of sun position for the sun tracking control system of solar concentrator. Sol Energy 18:87-94. (in Korean)

Rural Development Administration (RDA) 2012, Agricultural science and technology research and analysis standards. RDA, Suwon, Korea, pp 3-1135. (in Korean)

Rural Development Administration (RDA) 2021, Cactus cultivation. RDA, Jeonju, Korea, pp 7-152. (in Korean)

Wortman S.E. 2015, Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. Sci Hortic 194:34-42. doi:10.1016/j.scienta.2015.07.045