

완전제어형 식물 생산 시스템에서 배양액, 광도 및 재식거리에 따른 Common Ice Plant의 생육 특성

차미경¹ · 박경섭² · 조영열^{3,4,5*}

¹제주대학교 식물자원환경전공, ²국립원예특작과학원 시설원예연구소,
³제주대학교 아열대농업생명과학연구소, ⁴제주대학교 친환경농업연구소, ⁵제주대학교 원예환경전공

Growth Characteristics of Common Ice Plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) on Nutrient Solution, Light Intensity and Planting Distance in Closed-type Plant Production System

Mi-Kyung Cha¹, Kyoung Sub Park², and Young-Yeol Cho^{3,4,5*}

¹Major of Plant Resources and Environment, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

²Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Gyeongsangnam-do 52054, Korea

³Research Institute for Subtropical Agriculture and Animal Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

⁴Sustainable Agriculture Research Institute, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

⁵Major of Horticultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract. This study was conducted to determine the optimum nutrient solution, pH, irrigation interval, light intensity and planting density to growth of common ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) in a closed-type plant production system. Three-band radiation type fluorescent lamps with a 12-h photoperiod were used. Nutrient film technique systems with three layers were used for the plant growth system. Environmental conditions, such as air temperature, relative humidity and CO₂ concentration were controlled by an ON/OFF operation. Treatments were comparison of the nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Japan (NHES) and the nutrient solution of Jeju National University (NJNU), pH 6.0 and 7.0, irrigation interval 5 min and 10 min, light intensity 90 and 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and within-row spacing 10 cm, 15 cm, 20 cm and 25 cm with between-row spacing 15 cm. Optimum macronutrients were composed N 7.65, P 0.65, K 4.0, Ca 1.6 and Mg 1.0 $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$. There were no significant interactions between pH 6.0 and 7.0 about shoot fresh weight and shoot dry weight of common ice plant. Irrigation interval 5 min and 10 min was also the same result. Shoot fresh weight and shoot dry weight were highest at 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Shoot fresh weight and shoot dry weight were decreased according to increasing the planting density. From the above results, we concluded that optimum nutrient solution, optimum levels of pH, irrigation interval, light intensity and planting density were 6.0-7.0 and 10 min, 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ and 15×15 cm, respectively for growth of common ice plant in a closed-type plant production system.

Additional key words : cultural management, plant factory, planting density, shoot dry weight, shoot fresh weight

서 론

식물 생산 시스템에서 배양액은 작물의 생육과 수량에 영향을 주는 가장 중요한 요인 중 하나이다(Choi 등, 2005). 배양액 개발을 위한 방법으로는 정상적인 생육을 한 식물을 무기 분석하여 양이온과 음이온 비율로 배양액을 조성하는 방법(Choi 등, 2005; Dufour와 Guérin,

2005)과 양수분흡수율을 이용한 방법(Yamasaki, 1981, 1982) 등이 있다. 무기 성분 비율에 따른 배양액 조성 방법이나 양수분흡수율 방법은 식물체, 배지 및 환경요인 등에 따라 흡수율이 달라질 수 있다(Dufour와 Guérin, 2005; Yamasaki, 1981).

재식밀도는 작물의 생육과 수량에 영향을 주는 중요한 요인이다(Kahn 등, 1997; Leskovar 등, 2000; Maynard와 Scott, 1998; Reiners와 Riggs, 1999; Schultheis 등, 1999). 단위면적당 수량은 재식밀도가 높을수록 증가하지만, 식물체당 상품 수량은 감소하는 경향을 보인다(Kulter 등, 2001; Locascio와 Stall, 1994; Motsenbocker,

*Corresponding author: yycho@jejunu.ac.kr

Received February 25, 2016; Revised March 28, 2016;

Accepted April 15, 2016

1996). 또한 재식밀도는 식물 생산 시스템 설계를 위해 작물의 생육과 생산성을 예측하기 위한 요인 중 하나이며, 적정재식밀도는 생육을 극대화 할 수 있는 방법으로 도 이용될 수 있다.

식물공장과 같은 식물 생산 시스템은 지상부와 지하부 환경을 최적상태로 제어하여 식물을 연속적으로 생산할 수 있는 시스템이다. 특히, 식물공장 시스템내의 광도를 높일 경우, 작물 생산량도 증가하는데, 싹채소류는 $7-15\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 엽채류는 $200-300\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 과채류는 $500\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이 적합한 수준으로 알려져 있다(Yoon과 Choi, 2011). 광도는 경제성과 밀접한 관련이 있어 식물체에 적당한 광도를 제시할 필요가 있다. 인공광이용형 식물공장에서 고부가가치와 기능성 작물로 알려진 common ice plant에 대한 연구들이 많이 시도되고 있다(Cha 등, 2014). 그러나 common ice plant에 대한 식물공장 시스템에서의 재배 기술과 생육 정보들은 많이 알려져 있지 않다.

따라서, 본 연구는 인공광 이용형 common ice plant 식물공장에서 생육에 대한 적합한 배양액 조성, 배양액 산도, 급액 간격, 광도 및 재식거리를 알아보고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시작물은 자가 채종한 common ice plant를 사용하였다. 시험은 2011년 6월부터 2012년 7월까지 수행하였다. 우레탄 스폰지(2.5×2.5×2.5cm)에 파종하였으며, 본엽이 2매 나온 시기에 베드에 정식하였다. 수경재배시스템은 3층으로 구성된 박막수경(NFT)시스템(240×60×200cm, L×W×H)으로, 배양액통 용량은 110L였으며, 배양액량은 90L로 하였다. 배양액 공급은 10분 간격으로 ON/OFF 제어하였으며, 배양액의 pH와 EC는 1-2일 간격으로 측정하여 보정하였다.

광도, 온도, 상대습도 및 이산화탄소 농도는 광 센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebraska, USA), 온도와 상대습도 센서(HMP45AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)와 이산화탄소 센서(GMP222, Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 각각 측정하였다. 식물공장내 온도, 상대습도와 이산화탄소 농도는 제어기(SDM-CD16AC,

Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 ON/OFF 제어하였다. 온도는 냉방기(HP-N239L, Samsung Electronics Co., Ltd., Korea)과 난방기(HV-7800, Hanvit System Co., Ltd., Korea)를 이용하여 20~25°C로 관리하였으며, 상대습도는 가습기(NH-5, Hwajeun Eng., Korea)와 제습기(SG-M220S-4, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)를 이용하여 60~70%로 관리하였다. 이산화탄소 농도는 지하공기를 이용하여(Kim 등, 2007) $600-900\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 관리하였다. 공기 유동은 공기순환팬(SGA-120, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)을 이용하였다. 센서위치는 바닥면으로부터 1.5m에 3곳에 설치하여 실측한 평균값을 이용하여 설정값에 맞게 제어하였다. 모든 환경자료는 데이터수집장치(CR-1000, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 1시간마다 매일 수집하였다.

배양액은 식물체를 분석하여 양이온 비율에 따라 조성하였으며(Table 1), 개발 배양액(Nutrient solution of Jeju National University, NJNU)과 일본원예시험장 배양액(Nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Japan, NHES)을 생육 비교하였다. 배양액의 pH는 $6.0(\pm 0.4)$ 과 $7.0(\pm 0.3)$ 에서 생육 비교하였으며, 배양액 공급도 5분(ON/OFF)과 10분(ON/OFF)마다 공급하여 생육 비교하였다. 광도는 평균 $90\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($55-119\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)과 평균 $180\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ($64-241\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 관리하였으며(Fig. 1), 일장조절에서 12시간 명기와 12시간 암기로 설정하였다. 재식거리는 열간 간격을 15cm로 고정된 후 열내 간격을 10, 15, 20과 25cm로 하여 정식 후 28일에 생육 비교하였다.

EC는 $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 설정하였으며, 배양액의 pH와 EC는 1-2일 간격으로 측정하여 수돗물과 농축 양액으로 보정하였다. 측정은 생체중을 측정한 다음, 70°C에서 72시간 건조한 후 건물중을 측정하였다. 실험구 배치는 완전 임의배치법으로 3반복하였으며, SAS(Statistical Analysis System, Ver 9.3, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중 검정하였다.

결과 및 고찰

일본원예시험장액(NHES)과 개발 배양액(NJNU)간의

Table 1. The composition of NHES and NJNU nutrient solution for common ice plant in hydroponic system.

| Nutrient solution ² | Nutrient solution (mM · L ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------|---|--------------------|------|-----|-----|-----|
| | NO ₃ -N | NH ₄ -N | P | K | Ca | Mg |
| NHES | 16.0 | 1.33 | 1.33 | 8.0 | 4.0 | 2.0 |
| NJNU | 7.0 | 0.65 | 0.65 | 4.0 | 1.6 | 1.0 |

¹NHES : The nutrient solution of Horticultural Experiment Station in Japan.

²NJNU : The nutrient solution of Jeju National University.

완전제어형 식물 생산 시스템에서 배양액, 광도 및 재식거리에 따른 Common Ice Plant의 생육 특성

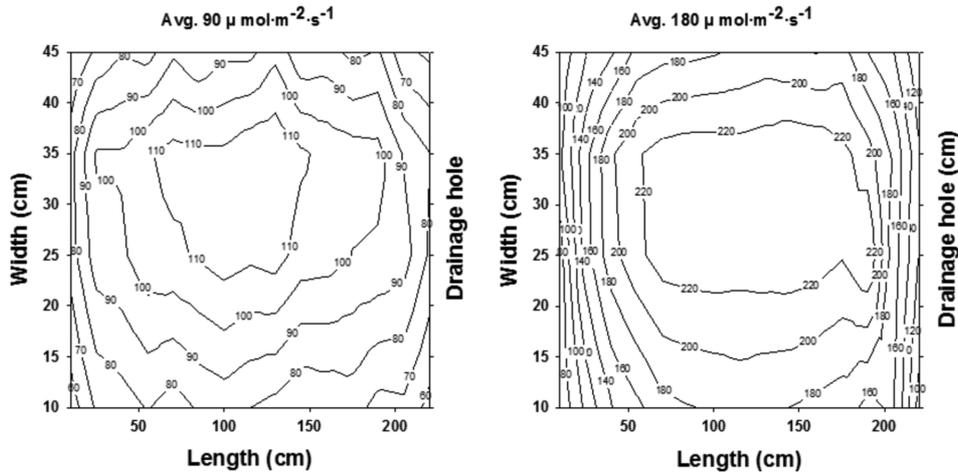


Fig. 1. Distribution of light intensity under 3-band radiation type fluorescent lamps.

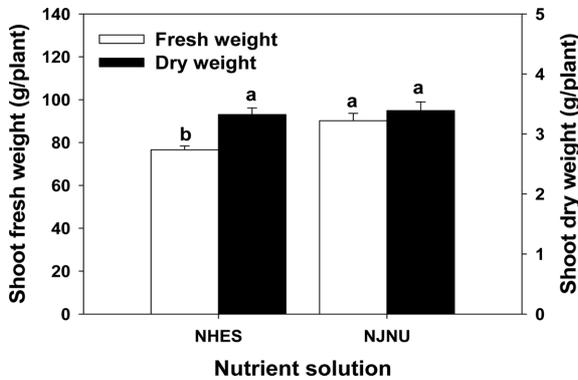


Fig. 2. Shoot fresh and dry weights per plant of common ice plant 35 days after transplanting under different nutrient solution. Different letters indicate statistical different at the $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test ($n=5$).

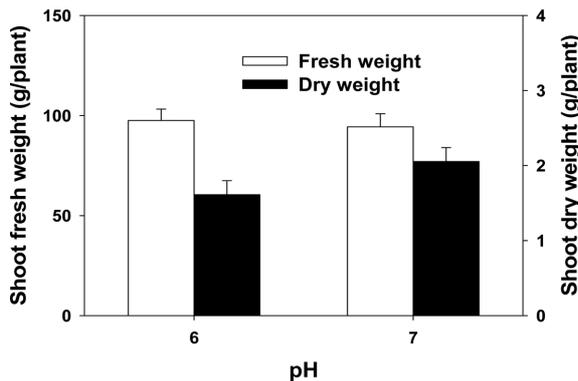


Fig. 3. Shoot fresh and dry weights per plant of common ice plant 24 days after transplanting under different pH of nutrient solution. Vertical bars represent the standard error ($n=15$).

생육 비교는 Fig. 2와 같다. 지상부 생체중은 유의적인 차이를 보인 반면에, 지상부 건물중은 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 지상부 생체중은 개발 배양액에서 좋

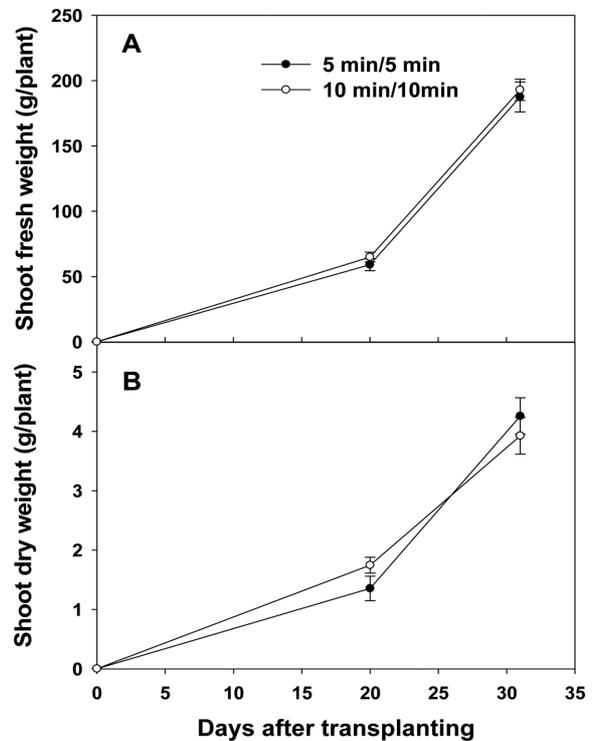


Fig. 4. Shoot fresh and dry weights per plant of common ice plant under 32 days after transplanting different irrigation interval of nutrient solution. Vertical bars represent the standard error ($n=10$).

았다. 따라서, 새롭게 개발 배양액은 common ice plant 생육에 적합한 배양액이라 결론을 내렸으며, 이후 재배는 개발 배양액으로 처리하였다.

새롭게 개발 배양액의 pH와 배양액 공급 간격에 따른 생육 결과는 각각 Fig. 3과 Fig. 4와 같다. 배양액 pH간과 배양액 공급 간격간 지상부 생체중과 건물중은 유의적인 차이를 보이지 않았다.

광도에 따른 지상부 생체중과 건물중 차이는 Fig. 5와 같다. 지상부 생체중과 건물중 모두 유의적인 차이를 보였다. 광도 $180\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 처리구에서 지상부 생체중과 건물중이 높았다. Cha 등(2014)은 common ice plant 재배를 위한 적정 광도는 $150\text{-}200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 수준이라고 하였다. 본 연구에서도 광도가 낮은 $90\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 낮은 생육량을 보인 것은 적정 광도 수준 이하였기 때문으로 생각된다.

재식거리에 따른 생육과 수량 및 생육 상태는 각각 Fig. 6과 Fig. 7과 같다. 개체당 생육량은 재식거리 20cm가 가장 높은 생육을 보인 반면에(Fig. 6A), 단위면

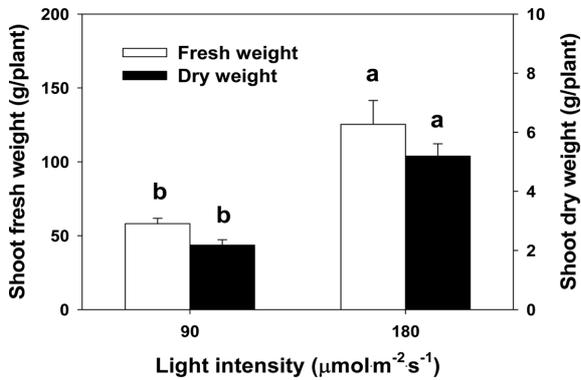


Fig. 5. Shoot fresh and dry weights per plant of common ice plant under 30 days after transplanting different light intensity. Different letters indicate statistical different at the $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test ($n=10$).

적당 수량은 재식거리 10cm가 가장 많았다(Fig. 6B). NeSmith(1993)와 Reiners와 Riggs(1999)는 재식밀도가 높을수록 한계점에 도달할 때까지 단위면적당 수량은 계

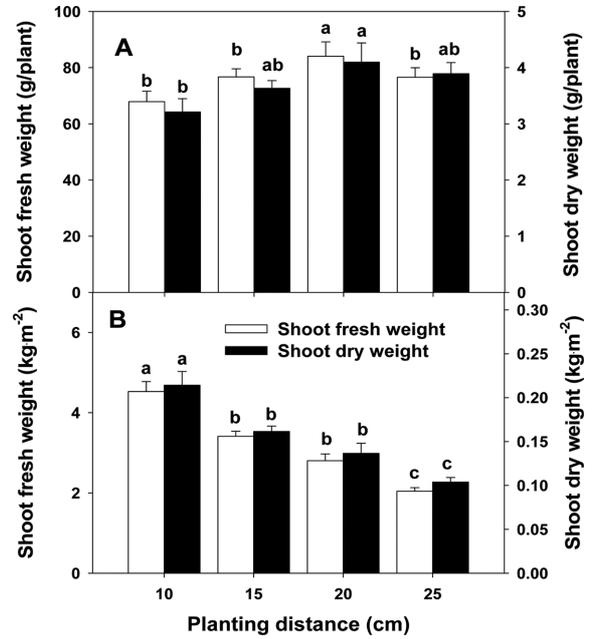


Fig. 6. Shoot fresh and dry weights per plant (A) and shoot fresh and dry weights per area (B) of common ice plant 28 days after transplanting under different planting distance. Between-row distance is 15 cm. Different letters indicate statistical different at the $p \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test ($n=9$).

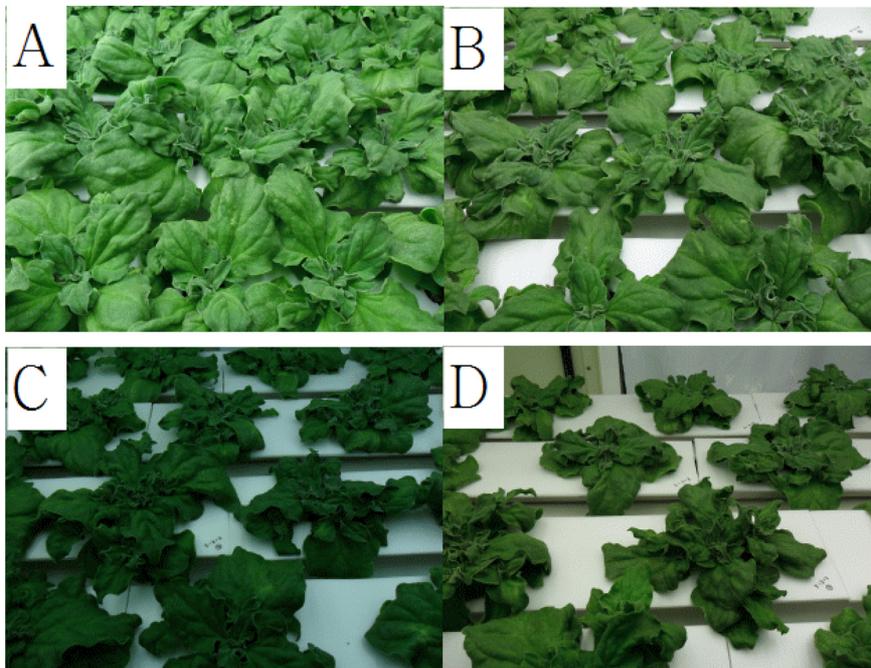


Fig. 7. Growth condition of common ice plant under different planting distances (A: $15 \times 10\text{cm}$, B: $15 \times 15\text{cm}$, C: $15 \times 20\text{cm}$ and D: $15 \times 25\text{cm}$). Photographs were taken at 26 days after transplanting.

속해서 증가한다고 하였다. 본 연구에서는 단위면적당 수량이 한계점에 도달하지 않았다. Fig. 7에서 보는 것처럼 재식거리가 짧을수록 잎이 겹쳐졌으며, 재식거리가 짧은 15×10cm 처리구에서 잎이 포개짐과 측지 발생에 따라 상품이 나빠지는 경향을 보였다. Carvalho와 Heuvelink (2001)는 재식밀도는 크기, 줄기 길이, 측지수와 같은 형태적인 측면에 영향을 준다고 하였는데, 본 연구에서도 크기와 측지수 발생에 영향을 주었다. 결론적으로 개체당 생육과 단위면적당 수량을 고려해 볼 때, common ice plant의 적정 재식거리는 15×15cm였다.

식물 생산 시스템에서 common ice plant 생육에 적합한 배양액 관리(조성, pH와 급액간격)와 재배관리(광도와 재식밀도)를 알아본 결과, 생육에 적합한 배양액 조성으로 pH 6.0-7.0로, 급액 10분 간격으로 공급해 주는 것이 좋으며, 광도 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 재식밀도 15×15cm로 재배하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 인공광 이용형 식물공장에서 common ice plant를 재배하였을 때 생육에 대한 적합한 배양액 조성, 배양액 산도, 급액 간격, 광도 및 재식거리를 알아보고자 수행되었다. 식물공장 유형은 완전제어형 식물공장형태로 인공광원은 삼과장 형광등을 사용하였으며, 광주기는 12시간 일장주기였다. 수경재배시스템은 3단으로 구성된 박막수경시스템이었다. 식물공장내 온도, 상대습도와 이산화탄소 농도는 ON/OFF 제어하였다. 배양액은 일본원예시험장액과 식물체 분석으로 개발 배양액을 가지고 비교 실험 하였다. 배양액의 산도와 급액 간격 실험은 pH 6.0과 7.0 그리고, 5분 간격과 10분 간격으로 순환 할 경우 생육 차이를 알아보았다. 광도는 90과 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 2처리 하였다. 재식거리는 열간 간격을 15cm로 고정한 후, 열내 간격 10cm, 15cm, 20cm와 25cm 4처리로 처리하였다. 적당한 배양액의 조성은 N 7.65, P 0.65, K 4.0, Ca 1.6과 Mg 1.0 $\text{mM}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었다. 지상부 생체중과 건물중은 pH 6과 7 그리고 5분 간격과 10분 간격 처리간의 유의적인 차이는 없었다. 지상부 생체중과 건물중은 광도 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에서 높았다. 재식거리가 증가할수록, 단위면적당 생체중과 건물중은 감소하는 경향을 보였다. 식물 생산 시스템에서 common ice plant 생육에 적합한 배양액 관리(조성, pH와 급액간격)와 재배관리(광도와 재식밀도)를 알아본 결과, 생육에 적합한 배양액 조성으로 pH 6.0-7.0로, 급액 10분 간격으로 공급해 주는 것이 좋으며, 광도 180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 재식밀도 15×15cm로 재배하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 식물공장, 재배관리, 재식밀도, 지상부 건물중, 지상부 생체중

사 사

본 논문은 2010년 한국연구재단 신진연구지원사업 (연구장비지원) (과제번호 : 1345115074)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Carvalho, S.M.P. and E. Heuvelink. 2001. Influence of greenhouse climate and plant density on external quality of chrysanthemum (*Dendranthera grandiflorum* (Ramat.) Kitamura): First steps towards a quality model. J. Hort. Sci. Biotechnol. 76:249-258.
- Cha, M.K., J.S. Kim, J.H. Shin, J.E. Son, and Y.Y. Cho. 2014. Practical design of an artificial light-used plant factory for common ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.). Protected Hort. Plant Fac. 23:371-375 (in Korean).
- Choi, K.Y., E.Y. Yang, D.K. Park, Y.C. Kim, T.C. Seo, H.K. Yun, and H.D. Seo. 2005. Development of nutrient solution for hydroponics of Cruciferae leaf vegetables based on nutrient-water absorption rate and the cation ratio. J. Bio-Env. Con. 14:289-297 (in Korean).
- Dufour, L. and V. Guérin. 2005. Nutrient solution effects on the development and yield of *Anthurium andreaeanum* Lind. in tropical soilless conditions. Sc. Hort. 105:269-282.
- Kahn, B.A., J.R. Cooksey, and J.E. Motes. 1997. Within-row spacing effects on traits of importance to mechanical harvest in paprika-type peppers. Sci. Hort. 69:31-39.
- Kim, J.H., M.S. Sung, I.S. So, and H.N. Hyun. 2007. Study on the distribution and utilization of basalt underground air in Jeju volcanic island. Kor. J. Hort. Sci. Technol. and J. Bio-Env. Con. 10 (Suppl. II):113 (Abstr.) (in Korean).
- Kultur, F., H.C. Harrison, and J.E. Staub. 2001. Spacing and genotype affect fruit sugar concentration, yield, and fruit size of muskmelon. HortScience 36:274-278.
- Leskovar, D.I., L.A. Stein, and F.J. Dainello. 2000. Planting systems influence growth dynamics and quality of fresh market spinach. HortScience 35:1238-1240.
- Locascio, S.J. and W.M. Stall. 1994. Bell pepper yield as influenced by plant spacing and row arrangement. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:899-902.
- Maynard, E.T. and W.D. Scott. 1998. Plant spacing affects yield of 'Superstar' muskmelon. HortScience 33:52-54.
- Motsenbocker, C.E. 1996. In-row plant spacing affects growth and yield of pepperoncini pepper. HortScience 31:198-200.
- NeSmith, D.S. 1993. Plant spacing influences watermelon yield and yield components. HortScience 28:885-887.
- Reiners, S. and D.I.M. Riggs. 1999. Plant population affects

- yield and fruit size of pumpkin. HortScience 34:1076-1078.
- Schultheis, J.R., S.A. Walters, D.E. Adams, and E.A. Esters. 1999. In-row plant spacing and date of harvest of 'Beauregard' sweet potato affect yield and return on investment. HortScience 34:1229-1233.
- 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. 56:563-568.
- Yamasaki, K. 1982. A review on solution culture. Hakuyusha, Toyko. p.34-49.
- Yoon, C.G. and H.K. Choi. 2011. A study on the various light source radiation conditions and use of LED illumination for plant factory. Journal of KIIEE 25(10):14-22 (in Korean).