

거베라 'Sunny Lemon'의 비순환식 분화 양액재배시 최적 양액농도 및 배지종류 선정

길미정 · 심명선^{1*} · 박상근 · 신학기 · 정재아 · 권영순

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부 화훼과, ¹국립수목원 전시교육과

Selection of Nutrient Solution Strength and Media in Potting Without Nutrient Solution Recycling in Gerbera 'Sunny Lemon'

Mi Jung Kil, Myung Syun Shim^{1*}, Sang Kun Park, Hak Ki Shin, Jae A Jung, and Young Soon Kwon

Floriculture Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration,
Suwon 440-706, Korea, ¹Korea National Arboretum Dep. of Horticulture and Education, Pocheon 487-821, Korea

The study was conducted to investigate the characteristics of flower quality and yield of gerbera 'Sunny Lemon' by nutrient solution strength and media of nutrient solution. The plant growth of 'Sunny Lemon' showed the highest values in the media of rockwool and perlite 1: peatmoss 2. Especially the yield of cut flowers for a year was more than 60 flowers and the flower longevity was over 10 days irrespective of nutrient solution concentration in the two media. There were no significant differences of plant characteristics in the nutrient concentration of 1/2 and 1 times, and the mineral nutrient contents showed similar values. Therefore, we recommended the media of perlite1: peatmoss2 with the concentration of 1/2 times for economical use. The rockwool media was not appropriate because of the weak buffer capacity like EC and pH.

Key words: Flower longevity, Number of flowers, Rockwool, Sonneveld nutrient solution

서 언

거베라 (*Gerbera jamesonii* Blous.)는 국내외적으로 국화, 장미 등과 함께 10대 절화에 속하는 중요한 화훼작물로서 화색이 다양하고 꽃이 아름다워 꽃꽂이, 화환 및 꽃바구니 등으로 널리 이용됨에 따라 최근 재배면적과 생산량이 크게 늘어나고 있는 추세이다 (Rogers and Tjia, 1990). 또한 거베라는 연중 개화가 가능한 식물로서 한번 정식하면 2~3년간은 연작이 가능하나, 약 3년째부터는 연작 장애가 심하게 발생하여 절화의 수확량과 품질이 급격히 떨어지게 된다 (Choi, 1996). 최근에 이러한 연작장애를 극복하고자 양액재배의 필요성이 크게 대두되고 있으나, 양액재배는 일반토양에 비해 완충능력이 적기 때문에 정확한 양액의 조성 및 관리가 필요한 실정이다.

원예용 상토의 주재료 중 유기물질 재료는 피트모스, 코코피트가 주로 사용되고, 무기질재료는 펄라이트, 버미큘라이트, 암면 등이 사용된다 (Kim and Kim, 2011). 피트모스는 쉽게 구할 수 있고 적절한 가격 때문에 온실의 배양토로서 가

장 많이 사용되는 유기물질이며, 펄라이트는 배양토의 통기성을 증가시키기 위하여 많이 이용된다 (Lee and Choi, 1995). 코코피트는 피트모스와 유사하여 피트모스 대체배지로 자주 사용되고 있으며 (Fonteno, 1996), 버미큘라이트는 높은 통기성과 수분보유력을 갖는 장점이 있다 (Kim, 2009). 암면배지는 오이가 성공적으로 재배된 이후, 장미, 거베라 및 카네이션 등의 절화류와 국화와 포인세티아 등의 분화류의 인공배지로서 널리 보급되고 있다 (Bovre, 1986; Lee et al., 1987). 그러나, 암면은 온실 작물의 장기재배에 사용될 수 있는 장점이 있지만 (Jeong and Lee, 1987; Jeong et al., 1988), 가격이 비싸고 연작으로 인한 수량감소와 품질저하가 심할 뿐만 아니라 재사용시의 안정성이 낮아 양액재배 농가가 재사용을 꺼리고 있는 실정이다 (Cho et al., 2001). 또한 사용 후 폐기처리가 어렵고 EC의 완충작용이 어려워 이를 대체하기 위한 다양한 배지의 개발이 필요한 실정이다 (An et al., 2009; Kim et al., 2000). 따라서 본 실험은 연작장애의 피해를 감소시키고 안정적인 생산을 할 수 있도록 분화 수경재배시 암면배지를 대체할 수 있는 최적 배지 및 양액농도를 선정하기 위하여 비순환식 거베라 표준양액을 수준별로 처리하고, 배지를 단용배지 5종류와 혼합배지 3종류로 달리 하여 최적 배지와 양액 농도를 선정하였다.

접수 : 2011. 11. 10 수리 : 2011. 12. 13

*연락처 : Phone: +82315402054

E-mail: eliator@empal.com

재료 및 방법

양액 농도 및 배지종류에 따른 생육특성 본 실험은 2009년 10월부터 2010년 11월까지 수행되었다. 식물재료는 2008년 국립원예특작과학원에서 육성한 황색계열의 겹꽃인 'Sunny Lemon' 조직배양묘를 사용하였고, 본엽 3~4매시 흑색 PE 화분 (지름 18 cm, 높이 19 cm)에 정식하였다. 양액농도는 네덜란드작물연구소의 비순환식 거베라 표준양액 (Sonneveld, 1989) 1/4, 1/2 및 1 배액을 처리하였다. 양액은 봄, 가을 및 겨울에는 250 mL씩 1~2회/일/pot, 여름에는 4~5회/일/pot 점적식으로 공급하였다. 배지는 입상암면, 코코피트, 버미큘라이트, 펄라이트, 피트모스 단용배지 5종류와 펄라이트와 피트모스가 1:1, 2:1, 1:2 (v/v)로 혼합된 혼합배지 3가지를 사용하였다. 가장 적절한 배지 및 농도를 선발하기 위해 생식 생장기에 초장, 화폭, 절화장, 절화중, 경경, 화심 및 채화량 등의 절화특성을 조사하였다.

양액 및 식물체 분석 배지의 EC, pH 및 식물의 무기함량을 조사하였다. 잎의 전질소 (Total-N) 분석은 Indolphenol-Blue (NIAST, 1988)방법, 인산은 Vanadate (Murphy and Riley, 1962)방법, K, Ca 및 Mg는 원자흡광분광도계 (Spectra AA 880, Varian)를 사용하여 분석하였으며, 통계처리는 SPSS Ver. 12.0 (SPSS Inc., USA) Duncan's multiple range test 0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

배지종류 및 양액농도에 따른 생육특성 'Sunny Lemon'의 절화품질을 살펴본 결과, 입상암면, 코코피트, 그리고 펄라이트와 피트모스 혼합배지에서 절화중, 절화장, 경경, 화폭 및 화심 등이 높은 값을 보였으며 특히, 이중 펄라이트1: 피트모스2 혼합배지에서 생산된 절화의 절화중, 경경, 화폭 등이 더욱 우수한 것으로 조사되었다. Kang and Kim (2004)은 펄라이트와 버미큘라이트는 수용성 양분의 함량이 낮아

Table 1. Flower characteristics according to media and nutrient solution strength.

Media [†]	Nutrient solution strength	Flower weight	Stem diameter	Flower length	Flower diameter	Disk
		g	mm	cm		
RW	1/4	20.0 ± 4.7	5.2 ± 0.9	47.7 ± 4.8	10.4 ± 0.9	2.0 ± 0.2
	1/2	24.3 ± 3.7	5.4 ± 0.6	55.3 ± 5.6	10.6 ± 0.7	2.0 ± 0.2
	1	23.4 ± 3.2	5.4 ± 0.7	55.3 ± 5.7	10.7 ± 0.7	2.1 ± 0.2
VC	1/4	19.7 ± 5.1	5.2 ± 0.6	50.9 ± 7.2	9.8 ± 0.9	2.2 ± 1.2
	1/2	20.7 ± 3.9	5.0 ± 0.7	49.1 ± 5.8	10.2 ± 0.9	2.4 ± 2.2
	1	18.5 ± 4.5	5.2 ± 0.7	51.0 ± 4.2	10.1 ± 0.8	2.0 ± 0.2
PL	1/4	12.9 ± 3.1	4.5 ± 0.8	42.4 ± 9.5	9.9 ± 1.5	1.9 ± 0.6
	1/2	18.5 ± 3.3	5.0 ± 0.6	47.1 ± 9.5	10.3 ± 0.5	2.1 ± 0.2
	1	21.6 ± 4.5	5.2 ± 0.7	47.1 ± 9.4	10.6 ± 0.8	2.1 ± 0.6
PM	1/4	17.8 ± 5.7	4.9 ± 0.8	38.1 ± 6.7	10.0 ± 1.0	2.2 ± 0.3
	1/2	18.9 ± 4.7	5.1 ± 0.9	41.5 ± 7.9	10.2 ± 0.8	2.1 ± 0.2
	1	22.7 ± 5.4	5.4 ± 0.8	46.1 ± 6.5	10.3 ± 0.8	2.2 ± 0.2
CP	1/4	16.3 ± 4.7	5.4 ± 2.2	44.2 ± 4.2	9.3 ± 0.8	2.0 ± 0.2
	1/2	20.4 ± 4.8	5.4 ± 1.2	46.1 ± 7.5	10.0 ± 0.9	2.1 ± 0.3
	1	24.1 ± 2.1	5.3 ± 0.7	50.0 ± 4.4	10.2 ± 0.8	2.1 ± 0.2
PL1+PM1	1/4	17.1 ± 4.5	4.6 ± 1.4	39.2 ± 4.3	10.4 ± 0.9	2.0 ± 0.2
	1/2	22.5 ± 4.3	5.3 ± 0.8	53.9 ± 5.1	10.4 ± 0.9	2.1 ± 0.2
	1	26.0 ± 4.9	5.5 ± 0.8	48.9 ± 7.6	10.3 ± 0.6	2.1 ± 0.2
PL1+PM2	1/4	17.3 ± 4.5	5.3 ± 1.5	39.0 ± 3.3	10.2 ± 0.7	2.1 ± 0.2
	1/2	22.6 ± 3.3	5.3 ± 0.6	56.7 ± 3.1	10.6 ± 0.8	2.1 ± 0.2
	1	25.1 ± 2.6	5.7 ± 0.7	49.7 ± 4.6	10.7 ± 0.6	2.2 ± 0.2
PL2+PM1	1/4	17.8 ± 3.3	5.0 ± 0.6	39.8 ± 5.5	10.2 ± 0.5	2.1 ± 0.2
	1/2	23.1 ± 3.1	5.3 ± 0.8	55.6 ± 6.5	10.5 ± 0.5	2.1 ± 0.6
	1	23.7 ± 4.5	5.0 ± 0.7	55.5 ± 6.4	10.5 ± 0.8	2.1 ± 0.2
Significance [‡]						
Media		***	***	NS	***	NS
Nutrient solution strength		***	***	**	***	NS

[†]RW, rockwool; VC, vermiculite; PL, perlite; PM, peatmoss; CP, cocopeat; PL1+PM1, perlite and peatmoss mixed 1 to 1; PL1+PM2, perlite and peatmoss mixed 1 to 2; PL2+PM1, perlite and peatmoss mixed 2 to 1. 1/4, 1/2, and 1, Nutrient solution strength.

[‡]NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$ or 0.001, respectively.

식물이 쉽게 이용할 수 있는 양분함량이 적어 작물재배시 양분공급이 늦어질 경우에는 양분결핍증상이 쉽게 나타난다고 하였는데, 본 실험에서도 이들을 단독처리 한 경우에는 생육이 저하된 것을 볼 수 있었다.

식물생육에 가장 적합한 물리성은 공극률 85% 이상, 기상 20~30%이며, 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트 혼합비율 10:0:0, 8:2:0 및 6:2:2로 대부분 피트모스의 함량이 높을수록 식물생육에 적합한 공극률을 갖는 것으로 연구된 바 있다 (De Boodt and Verdonck, 1972; Gruda and Schnitzler, 2004). Kim and Kim (2011)도 위의 조건을 만족하는 혼합비율은 피트모스 60~80%와 펄라이트 20~40%를 혼합한 경우로 보고하였으며, 본 실험에서도 펄라이트1:피트모스2 혼합배지 처리에서 절화품질이 가장 우수한 것으로 나타나 앞의 연구들과 일치된 양상을 보였다. 실험에 사용된 모든 배

지는 전반적으로 배액이 높을수록 절화품질이 좋아지는 경향을 볼 수 있었으나, 1/2 배액과 1 배액 처리에 따른 절화 특성을 비교하면 1 배액이 약간 우수하거나 1/2 배액과 비슷하였고, 1/4 배액은 1/2, 1 배액보다 절화중, 절화장이 작아 짐으로써 품질이 떨어지는 것을 알 수 있었다 (Table 1). 이때 절화수명은 약 10일 정도로 배지와 배액간에 차이가 없었다 (data not shown).

채화량은 1/2 배액의 경우 입상암면, 펄라이트와 피트모스 혼합배지에서 그리고 1 배액의 경우 펄라이트와 피트모스 단독배지를 제외한 모든 배지에서 연간 분당 60 분 이상이었다 (Fig. 1). 이중 입상암면과 펄라이트1:피트모스2 혼합배지의 경우 가장 많은 절화들이 채화되었다. 1/4 배액은 생육은 가능하였지만 채화량이 1 배액과 1/2 배액에 비하여 약 40~60% 적었다. Choi (1996)의 연구에서도, 본 실험과

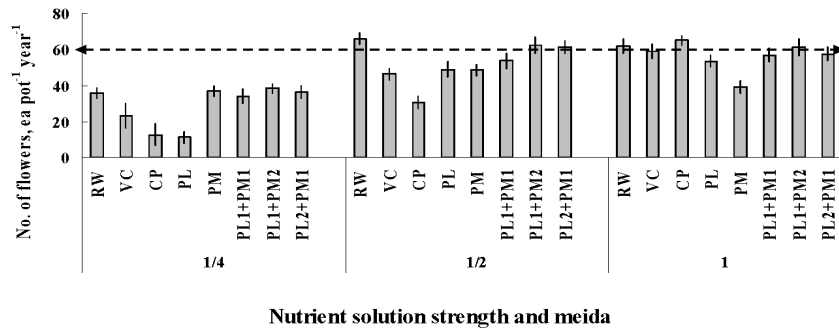


Fig. 1. Numbers of cut flower according to nutrient solution strength and media. RW, rockwool; VC, vermiculite; PL, perlite; PM, peatmoss; CP, cocopeat; PL1+PM1, perlite and peatmoss mixed 1 to 1; PL1+PM2, perlite and peatmoss mixed 1 to 2; PL2+PM1, perlite and peatmoss mixed 2 to 1. 1/4, 1/2, and 1, Nutrient solution strength. Vertical bars represent mean ± SE (n=9).

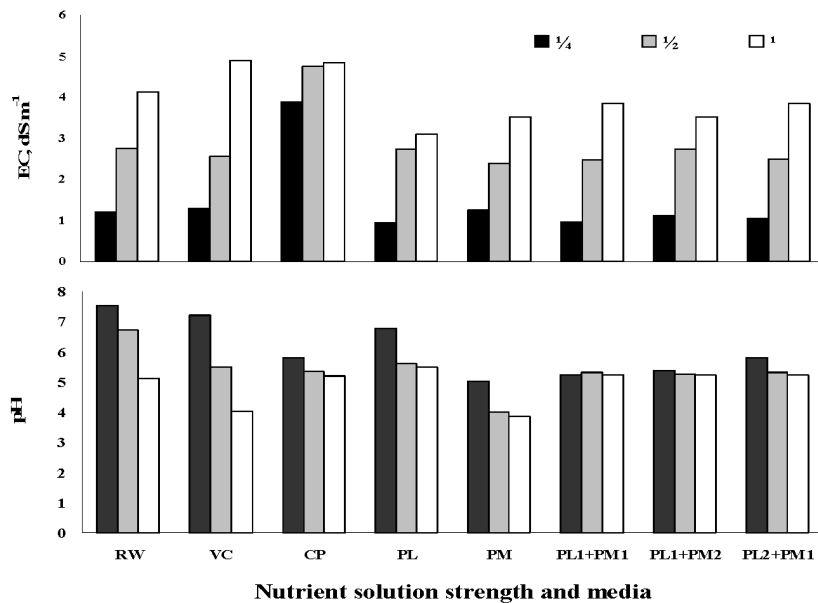


Fig. 2. EC and pH of according to nutrient solution strength and media. RW, rockwool; VC, vermiculite; PL, perlite; PM, peatmoss; CP, cocopeat; PL1+PM1, perlite and peatmoss mixed 1 to 1; PL1+PM2, perlite and peatmoss mixed 1 to 2; PL2+PM1, perlite and peatmoss mixed 2 to 1. 1/4, 1/2, and 1, Nutrient solution strength. Vertical bars represent mean ± SE (n=9).

같이 양액농도가 증가함에 따라 절화 수확량이 증가하는 경향을 보였으며, 가장 낮은 EC 처리구인 1.25 dS m⁻¹에서는 수확량이 급격히 감소하는 등 본 실험에서 1/4 배액 처리시 채화량이 급격히 감소한 연구와 같은 결과를 보였다. 즉 양액농도는 절화품질 뿐만 아니라, 채화량도 결정하기 때문에, 거베라 'Sunny Lemon' 재배시에는 양액을 1/4 배액 이상의 농도로 관리하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

양액 및 식물체 분석 배지의 EC는 양액의 공급농도가 높을수록 증가하는 경향을 보였고, 입상암면, 버미큘라이트, 코코피트, 펄라이트, 피트모스 등의 단용배지의 pH는 양액농도가 높을수록 하강하였다 (Fig. 2). 그러나, 펄라이트와 피트모스 혼합배지는 혼합비율에 상관없이 모든 농도에서 pH가

일정하게 유지되어 안정된 상태를 보였다.

배지 및 양액농도에 따른 식물염을 살펴본 결과, 1/4 배액에서는 결핍증상이 나타났으나 1/2, 1 배액은 결핍증상 없이 생육이 양호한 것을 볼 수 있었다 (Fig. 3). 오이의 경우에도 1/4 배액에서 재배하면 표준용액에서 재배하는 것보다 수확량이 크게 떨어지는데 이는 질소부족에 기인한 것이라 하였으며, 이러한 유사한 연구결과는 여러 작물에서 보고된 바 있다 (Chung et al., 1994). 배액에 따른 식물의 결핍증상을 알아보기 위해 잎의 무기성분 함량을 분석한 결과 양액농도 처리간에는 무기성분 함량에 따른 유의성을 볼 수 없었다 (Table 2). 한편, 코코피트, 펄라이트와 피트모스 혼합배지에서 질소, 인, 칼륨 및 마그네슘 등의 무기성분 함량이 높게 분석되었는데, 이는 피트모스, 코코피트 등은 다른 배지들

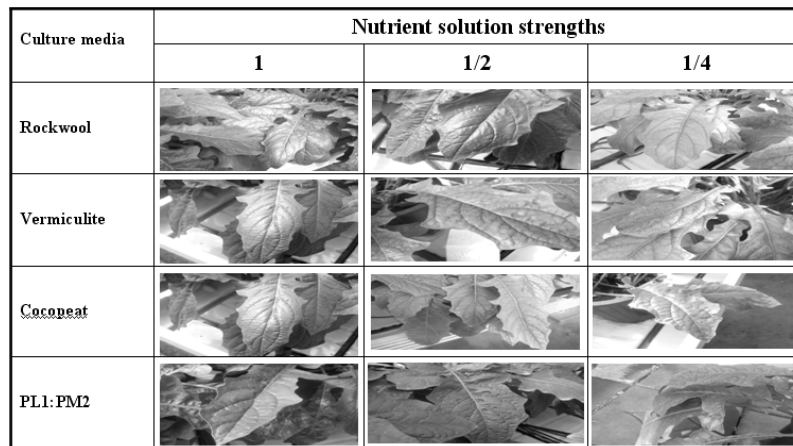


Fig. 3. Nutritional deficiencies of leaf according to nutrient solution strength and media. PL1+PM2, perlite and peatmoss mixed 1 to 2. 1/4, 1/2, and 1, Nutrient solution strength.

Table 2. Mineral nutrient contents of leaf according to media and nutrient solution strength.

Media [†]	nutrient solution strength	Nutrient solution strengths				
		T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
		----- % -----				
RW	1/4	1.46a [‡]	0.25a	1.18a	0.89a	0.31a
	1/2	1.50a	0.20b	1.16a	0.92a	0.32a
	1	1.62a	0.26a	1.18a	0.71a	0.19b
VC	1/4	1.65a	0.29a	1.20a	0.81a	0.28a
	1/2	1.66a	0.25a	1.18a	0.57b	0.18b
	1	1.74a	0.28a	1.19a	0.48b	0.15b
CP	1/4	1.72b	0.39a	1.26a	1.41a	0.36a
	1/2	2.13a	0.41a	1.24a	1.17ab	0.24b
	1	1.65b	0.37a	1.21a	0.83b	0.17c
PL1+PM2	1/4	1.46ab	0.32b	1.27a	1.13a	0.31a
	1/2	1.60a	0.37ab	1.23a	0.89a	0.23b
	1	1.43b	0.40a	1.23a	0.87a	0.16c

[†]RW, rockwool; VC, vermiculite; PL, perlite; PM, peatmoss; CP, cocopeat; PL1+PM2, perlite and peatmoss mixed 1 to 2. 1/4, 1/2, and 1, Nutrient solution strength.

[‡]Mean separation within columns by 5% DMRT.

에 비해 수용성 Ca, Mg, Na 및 K 등의 함량이 높아 식물이 쉽게 이용 할 수 있도록 하기 위한 양분 보유력이 크기 때문이라고 보고 된 바 있다 (Kang and Kim, 2004). 본 실험에서는 양액농도 1 배액과 1/2 배액의 처리간에 무기성분의 함량에 차이가 없었으며, 1/2 배액으로도 충분히 1 배액의 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다. Choi (1996)도 거베라의 양액재배의 경우 처리양액의 농도가 높을수록 채화량이 증가하지만, 지나치게 높은 양액농도는 수확량에 큰 차이를 보이지 않을 뿐만 아니라, 오히려 품질을 떨어뜨린다고 보고 하였다. 본 실험에서도 1/2 배액과 1 배액 처리간에 절화품질이나 무기성분 함량, 절화 수확량 등에 큰 차이가 없는 것으로 보아 양액농도는 경제성을 고려하여 1/2 배액이 가장 적절한 것으로 판단되었다.

이상의 결과로 보아 거베라 'Sunny Lemon'은 입상암면, 펠라이트와 피트모스 혼합배지에서 1/2 배액으로 재배시 절화품질 및 채화량이 가장 우수할 것으로 생각된다. 그러나 이종 암면은 병원균이 없고, 균일성을 갖고 있기 때문에 원예산업에 있어서 배양토의 구성성분으로 많이 이용되어 왔으나, 최근에는 새로운 공해물질로 인식되고 완충력이 거의 없는 것으로 알려져 부정적인 면이 많이 부각되었다 (Lee and Choi, 1995). 따라서 식물의 생육 등을 고려할 때 거베라 양액재배시 펠라이트와 피트모스 혼합배지가 암면을 충분히 대체할 수 있는 것으로 판단되었으며, 가장 적절한 혼합비율은 펠라이트 1:피트모스2의 혼합배지인 것으로 판단되었다.

요 약

본 실험은 배지 및 양액농도에 따른 거베라 'Sunny Lemon'의 생육반응을 바탕으로 절화 품질 및 수확량 등을 조사하였다. 'Sunny Lemon'은 입상암면, 펠라이트와 피트모스가 1:2로 혼합된 배지 (화분지름 18 cm, 화분높이 19 cm)에서 절화 품질이 가장 우수하였다. 또한 2종류의 배지 모두 1 배액과 1/2 배액에서 수확량이 화분당 60 본 이상으로 높고, 절화 수명도 10 일 이상으로 조사되었다. 절화의 특성차이 및 엽의 무기성분 함량에도 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 보아 1/2 배액으로도 충분히 1 배액의 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다. 하지만 암면은 양액공급에 따른 EC와 pH 등의 완충작용이 약하다고 평가되고 있기 때문에 적정 배지는 양액에 대한 완충능력이 있는 펠라이트1:피트모스2 혼합배지, 그리고 양액농도는 경제성을 고려하여 1/2 배액이 적절한 것으로 보인다.

인 용 문 헌

- An, C.G., Y.H. Hwang, G.M. Shon, C.S. Lim, J.L. Cho, and B.R. Jeong. 2009. Effect of irrigation amount in rockwool and cocopeat Substrates on growth and fruiting of sweet pepper during fruiting period. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:233-238.
- Bovre, O. 1986. Roses grown in rockwool blocks. *Acta Hort.* 178:227-228.
- Cho, S.J., H.J. Kim, and W.S. Kim. 2001. Long-term safe culturing of isolated bed in gerbera. *Kor. Res. Soc. Protected Hort.* 14:20-24.
- Choi, B.J. 1996. Studies for the nutrient culture of gerbera. Catholic University of Daegu research papers 53:133-137.
- Chung, S.J., J. Y. Cho, and B.S. Lee. 1994. Effects of ionic strength of nutrient solution on the growth and yield of cucumber plant grown by deep flow technique (DFT). *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 35:289-293.
- De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26:37-44.
- Fonteno, W.C. 1996. Growing media; Types and physical and chemical properties. p. 93-122. In D.W. Reed (ed.) *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, Batavia, IL, USA.
- Gruda, N. and W.H. Schnitzler. 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. *Sci. Hort.* 100:333-340.
- Jeong, B.R. and C.W. Lee. 1987. Bedding plant production in rockwool mixtures. *HortScience* 22:1130.
- Jeong, B.R., C.W. Lee, and K.L. Goldsberry. 1988. Production of poinsettia in rockwool-peat mixtures. *HortScience* 23:565.
- Kang, J.Y. and K.H. Kim. 2004. Determination of physical and chemical properties of organic and inorganic substrates for horticulture by european standar methods. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:143-148.
- Kim, H.S. 2009. Physical properties of the horticultural substrate according to mixing rate of peatmoss, cocopeat, perlite and vermiculite. Master Diss, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Kim, H.S. and K.H. Kim. 2011. Physical properties of the horticultural substrate according go mixing ratio of peatmoss, perlite and vermiculite. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:331-330.
- Kim, O.L., J.Y. Cho, and B.R. Jeong. 2000. Medium composition including particles of used rockwool and wood affects growth of plug seedlings of petunia 'Romeo'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18:33-38.
- Lee, C.W. and J.M. Choi. 1995. Root media-properties of components and mixing ratio. *Gyeongsang National University Protected Horticulture Research* 2:43-57.

- Lee, C.W., K.L. Goldsberry, and J.J. Hanan. 1987. Evaluation of rockwool as a growing medium for poinsettia: comparison with perlite and soil mixes. *Colorado State Univ. Bull.* 441:1-2.
- Murphy, J. and J.F. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
- NISAT. 1998. Method of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Rogers, M.N. and B.O. Tjia. 1990. Gerbera production for cut flowers and pot plants. Timber Press, Portland, Oregon. 1-75.
- Sonneveld, C. 1989. A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures. 3rd translated. Glasshouse Crops Research Station, Naaldwijk, The Netherlands.
- Verdonck, O., R. Penninck, and M. De Boodt. 1984. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Hort.* 150:155-159.