

순환식 양액재배에서 펄라이트배지의 입자 크기 및 양액공급량이 토마토의 생육, 근활력 및 무기양분 함량에 미치는 영향

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하
영남농업시험장 부산원예시험장

Effect of the Particle Size of Perlite and Irrigation Amount on the Growth, Root Activity and Mineral Contents of Tomato in a Recycling System

Han Cheol Rhee*, Kyung Hee Kang, Ki Bum Kweon, and Young Hah Choi
Busan Horticultural Experimental Station, Busan 618-300, Korea

Abstract. The effect of the particle size of perlite and irrigation amount on the growth, root activity and mineral composition of tomato was investigated in a recycling system. The particle sizes used were small (SPP, $\phi 1\sim 2$ mm), medium (MPP, $\phi 2\sim 3$ mm), (LPP, $\phi 4\sim 5$ mm). Plant height, fresh weight and dry weight of tomato at the earlier growth stage were good at 3.0 L/day in MPP and LPP, but these were not significantly affected by irrigation amount in MPP. Fruit number, weight and yield increased at 1.5 L/day in SPP and 3.0 L/day at MPP or LPP. Deformed fruits tended to increase at higher irrigation amounts regardless of particle size. Root activity increased with increasing particle size with higher irrigation amount during early stage after transplanting, but remarkably decreased at 3.0 L/day in SPP as compared with the others at 100 days. Mineral contents of plants after harvest were higher at MPP and LPP than SPP, but were highest at 3.0 L/day in LPP. In conclusion, it was regarded that tomato growth in a recycling system was optimal at MPP or LPP with irrigation amount of 3.0 L/day.

Key words : growth stage, deformed fruit, mineral contents

(*Corresponding author)

서 언

우리나라의 양액재배 면적은 최근 급격하게 증가하여 현재 약 650 ha(2000)에 이르고 있고, 고품배지경에서 배지로 펄라이트가 50% 이상 점유하고 있다(RDA, 1999). 펄라이트는 무게가 가볍고 입자가 잘 분해되지 않아 재사용이 용이하고(Wilson, 1986), 다른 유기배지에 비해 무기양분의 함유량이 적어 순환식 시스템에 적용하기 좋은 배지이다. 그러나 펄라이트는 보수력이 낮기 때문에 작물의 정식 후 초기 활착이 어렵다(Olympios, 1992). 관수량이 적으면 배지내 양액의 확산이 제대로 되지 않아 부분적으로 건조하기 쉽고 관수량이 많으면 과습 상태가 되기 쉽다(Kim 등, 2002). 이러한 이유로 최근에는 비순환식 양액재배에서

펄라이트를 다른 유기배지와 혼합하여 사용하는 경우가 많다(Wilson, 1986; Lee 등, 1999; Lim 등, 1995, Lee 등, 1996). 그러나 펄라이트를 유기배지와 혼합한 배지는 비순환식 재배에는 적합하나 순환식 재배에는 정상적으로 양분의 균형을 유지하거나 장기적으로 사용하면 양수분 관리가 어렵다. 따라서 순환식 재배에는 펄라이트 단용으로 사용하는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 그러나 현재 국내에서 생산되고 있는 펄라이트 배지는 입자 크기별로 구분되지 않고 혼합되어 있어 작물의 수분관리가 매우 어렵다. 작물의 생육에서 배지내의 수분함량은 매우 중요하며(Giacomelli, 1998), 적절한 근권의 수분을 유지하기 위해서는 배지의 수분 보유력을 고려한 관수가 이루어져야 한다(Leskovar, 1998). 따라서 본 연구에서는 펄라이트 배지의 입자

크기별 양액공급량에 따른 토마토의 생육을 검토하여 순환식 시스템에서 펠라이트 배지의 효율적으로 사용하는데 필요한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 2000년에 부산원예시험장의 유리온실에서 '하우스 모모타로'(Takii Seed Co., Japan) 품종을 이용하여 수행되었다. 육묘시에는 cell 당 부피가 50 cm³ 인 20공 연결 포트에서 피트모스(Sunshine, Genuine Co., Canada)와 펠라이트(No. 1, 삼손(주), 한국)를 1 : 1(v/v)로 혼합한 상토를 이용하였다. 육묘시 양수분 관리는 토마토 재배용 아마자키 처방 양액의 1/3배 액을 생육초기에는 1일 1회, 그리고 5엽 전개 후에는 1일 2회씩 관주하였고, 제 1화방의 꽃이 1~2개 피기 시작할 때 정식하였다.

800×70×15 cm(길이×너비×깊이)의 플라스틱 재배상의 바닥에 0.05 mm 두께의 PE필름(가야(주), 한국)을 깔고 각 처리의 입자 크기별(소립, φ1~2 mm 미만; 중립, φ2~3 mm; 대립, φ4~5 mm)로 펠라이트를 채웠다. 입자크기는 펠라이트 1호(No. 1, 삼손(주), 한국)를 이용하여 각각의 크기별 체로 분리하였다. 정식은 20 cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리가 140×20 cm가 되도록 하였다. 정식 후 20 cm 간격의 점적용 관수호스(슈퍼타이푼 80, 푸른(주))를 2줄로 깔고, 흑백필름을 이용하여 백색면에 표면에 오도록 멀칭하였다. 양액은 토마토 재배용 야마자키 표준 양액(mL·L⁻¹로 NH₄⁺ 0.6, NO₃⁻ 7.0, H₂PO₄⁻ 2.0, K⁺ 4.0, Ca²⁺ 3.0, Mg²⁺ 2.0 및 SO₄²⁻ 2.0)을 1주당 1 L, 1.5 L, 2.0 L 및 3.0 L를 1일 6회로 나누어 공급하였다. 제 12화방이 완전히 개화한 후 12화방 상위 2엽을 남기고 적심하였으며, 측지는 발생할 때마다 제거하였다. 착과 유도를 위해 토마토통(동양화학(주))을 150배(w/v)로 희석하여 화방마다 2~3개의 개화가 이루어졌을 때 분무기(AI-450, 푸른(주))를 이용하여 살포하였다. 시험구는 난괴법으로 3반복 배치하였다. 주당 착과수 및 과실중은 기형과 등을 제외한 80 g 이상의 상품과를 기준으로 처리 당 10주씩 3반복으로 조사하였다. 다른 생육조사는 농촌진흥청 조사기준에 준하였다. 수확후 처리 당 10주 씩 3반복으로 식물체를 채취하여 잎과 줄기(이하 지상부)와 뿌리(이하 지하부)를 나누어

각각의 생체중을 측정한다. 시료를 80°C 건조기에서 32시간 건조시킨 후 건물중을 측정하고 T/R율을 환산하였다. 또한 건조된 식물시료를 각 부위별로 분리하여 마쇄기로 마쇄하여 무기양분분석에 사용하였다. 각 부위별 시료 1 g씩 계량하여 질소는 Kjeldahl법(1030 analyzer, Kjeltec Auto)으로, 그리고 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자흡광분광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

뿌리의 활력은 효소활성 측정법인 α-나프트라민법에 준하였다. 정식후 20일, 50일 및 100일에 각 처리당 3반복으로 10주씩 뿌리를 채취하였다. 뿌리를 세척한 다음, 1 cm 길이로 잘라 혼합한 후 2 g을 계량하여 100 mL 삼각플라스크에 넣었다. 그리고 40 mg·g⁻¹의 α-나프탈렌(C₁₀H₈)과 1/10 M의 인산 완충액을 등량 혼합하여 50 mL 정량한 다음, 시료가 담긴 플라스크에 넣고 5~10분 진동하여 흡착시켰다. 이때 2 mL를 시험관에 채취하여 반응전의 시료로 이용하였고, 남은 것은 진동기에 걸어 20~30°C에서 6시간 동안 반응시켜 반응 후의 시료로 이용하였다. 채취된 각각의 시료(2 mL)에 10 mL의 증류수, 1 mL의 1% Sulfanilic acid 및 1 mL의 1% NaNO₂을 첨가하여 5분간 실온에 방치하여 발색시킨 후 분광광도계(510 nm)로 측정하였다.

계산법은 N(μg) = (최초 채취한 시험액×25) - (반응 후 액×25)/(blank test의 최초액×25) - (blank test의 반응후 액×25)와 같다.

결과 및 고찰

펠라이트는 입자의 크기에 따라 수분 보유력이 달라지기 때문에 관수량을 결정하는데 매우 중요한 요인이 된다. 펠라이트 입자크기를 구분하여 물리성을 분석한 결과, 입자가 작을수록 공극률과 수분함량은 높았고, 액상률과 고상률은 낮게 나타났다(Table 1).

본 실험에서 작은 입자의 높은 수분함량은 입자가 작으면 작을수록 표면적과 공극률이 더 커지기 때문에 배지의 수분 보유력은 크게 된다는 보고(Chung 등, 1996)와 일치하였다. Son과 Cho(2000)는 그 원인이 가밀도가 낮기 때문이라 했으며, Hanan 등(1981)도

Table 1. Physical properties of perlite substrate.

Perlite size	Air (%)	Liquid (%)	Solid (%)	Moisture content (%)	Bulk density (g · cm ⁻³)
SPP ^z	87.3 a ^y	6.8 a	5.9 a	51.2 a	0.19 c
MPP	76.6 b	13.2 b	10.2 b	49.6 b	0.21 b
LPP	76.5 b	13.2 b	10.3 b	49.5 b	0.22 a

^zSPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Effect of particle size and irrigation amount on fresh weights and dry weight of plant.

Particle size	Irrigation amount (L/plant/day)	Plant height (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		T/R ratio
			Top	Root	Top	Root	
SPP ^z	1.0	129 a	202 c	25.1 b	24.9 ab	2.87 b	8.7
	1.5	128 a	203 c	25.2 b	24.8 b	2.89 b	8.6
	2.0	129 a	215 a	28.0 a	25.8 a	3.36 a	7.7
	3.0	129 a	211 a	27.0 a	25.3 a	3.24 a	7.8
	mean	129	200	26.3 ab	25.2	3.09	8.2
MPP	1.0	121 d	194 c	25.1 b	23.3 c	3.01 a	7.7
	1.5	123 c	198 bc	24.6 bc	23.8 bc	2.95 a	8.0
	2.0	125 b	208 b	25.3 b	25.0 a	3.04 a	8.2
	3.0	128 a	209 b	25.3 b	25.1 a	3.12 a	8.0
	mean	124	202	25.1	24.3	3.03a	8.0
LPP	1.0	119 d	185 d	24.0 c	22.2 c	2.88 b	7.7
	1.5	120 d	192 c	24.0 c	23.0 c	2.88 b	8.0
	2.0	125 b	195 c	25.3 b	24.6 b	2.98 a	8.3
	3.0	127 a	207 b	25.7 b	25.6 a	3.12 a	8.2
	mean	123	195	24.8	23.9	2.97	8.0

^zSPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

가밀도가 낮을수록 공극률이 높고 수분 보유력이 증가한다고 하였다. 또한 불규칙한 입자가 고운 입자보다 표면적이 더 크기 때문에 수분 보유력이 더 높다 (Resh, 1995)고 하는데, 본 실험에서도 작은 입자가 큰 입자보다 표면적이 크기 때문에 수분함량이 더 많은 것으로 생각된다.

Table 2는 펄라이트 입자 크기와 관수량에 따른 토마토의 초기 생육을 나타낸 것이다.

중립(MPP)과 대립(LPP)에서는 관수량이 많을수록 초장, 생체중 등의 생육이 양호하였으나, 작은 입자(SPP)에서는 관수량에 따른 생육의 차이가 없었다. 이는 작은 입자(SPP)에서는 관수량이 1일 1L/주가 충분하다는 것을 의미한다. 반면 중립(MPP)과 대립(LPP)에서는 관수량이 1일 1L/주 처리구에서는 수분 보유력이 낮아 수분이 부족하여 스트레스에 의해 생육이

억제된 것으로 판단되었다. 펄라이트의 입자가 작으면 작을수록 표면적과 공극률이 더 크기 때문에 배지의 수분 보유력이 더 크게 된다는 보고(Chung 등, 1996; Resh, 1995)에서 이를 추정할 수 있다.

Table 3은 펄라이트 입자 크기와 양액공급량에 따른 수량 구성요소 및 수량을 나타낸 것이다. 평균과중은 펄라이트 입자 크기에 관계없이 양액의 공급량이 많으면 증가하는 경향이었으나, 주당 1.5 L 이상에서는 처리간에 유의차가 없었다. 주당 착과수는 소립에서는 1일 1.5 L/주 공급량에서 32.9개/주, 그리고 중립과 대립에서는 1일 3.0 L/주 공급량에서 각각 33.2개/주, 33.7개/주로 가장 많았으나 주당 1.5 L 이상에서는 처리간에 유의차가 없었다. 그러나 수량은 입자크기와 공급량에 따른 차이가 컸다. 펄라이트의 중립과 대립에서는 양액 공급량이 많을수록 무거웠으며, 1일 3.0 L/주

Table 3. Effect of particle size and irrigation amount on mean fruit weights, fruit number and yield per plant.

Particle size	Irrigation amount (L/plant/day)	Mean fruit weight (g)	Fruit number per plant	Yield (g/plant)	Malformed fruits (%)
SPP ^z	1.0	171 b ^y	29.1 b	4,978 b	24.5
	1.5	186 a	32.9 a	6,105 a	20.5
	2.0	190 a	30.3 a	5,753 a	14.6
	3.0	190 a	30.3 a	5,744 a	15.1
MPP	1.0	172 b	27.0 b	4,645 c	24.5
	1.5	180 a	32.5 a	5,840 b	14.2
	2.0	189 a	31.0 a	5,852 b	11.2
	3.0	195 a	33.2 a	6,470 a	10.6
LPP	1.0	166 b	25.5 b	4,236 c	22.3
	1.5	193 a	29.6 a	5,710 b	13.2
	2.0	194 a	32.7 a	6,352 a	10.3
	3.0	201 a	33.7 a	6,774 a	10.4

^zSPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

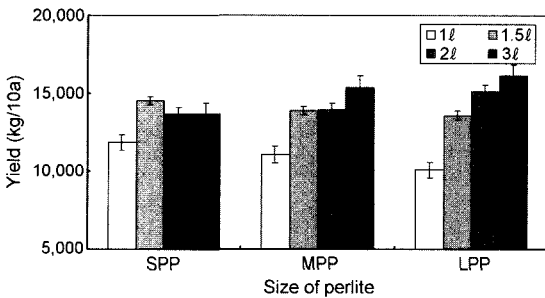


Fig. 1. Effect of particle size and irrigation amount on yield of tomato. SPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size. Bars represent standard error.

구에서 가장 무거웠다. 그 결과 수량도 착과수와 같은 경향으로 대립의 1일 3.0 L/주 구에서 가장 많았다 (Fig. 1). 기형과일은 펄라이트 입자의 크기에 관계없이 양액공급량이 많을수록 적었다. 따라서 양액의 공급량은 펄라이트 입자의 크기와 작물의 생육 단계를 고려하여 결정되어야 하는데, 관수량은 정식 후 초기 생육 단계에서는 펄라이트 소립에서 1일 주당 1 L만으로 충분하였으나 대립에서는 3 L를 공급하여 할 것으로 판단되며, 후기 생육에서 수량을 고려한다면 소립에서는 1.5 L 이상, 중립과 대립에서는 중립에서는 2.0 L 이상

Table 4. Effect of particle size and irrigation amount on root activity of tomato.

Particle size	Irrigation amount (L/plant/day)	Root activity ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)		
		20 DAP ^z	50 DAP	100 DAP
SPP ^y	1.0	34.2 a ^x	46.5 a	35.4 a
	1.5	34.5 a	43.7 b	32.4 b
	2.0	35.2 a	43.5 b	31.2 b
	3.0	34.7 a	41.2 b	31.5 b
	Mean	34.7	43.7	32.6
MPP	1.0	33.8 a	41.3 b	34.2 b
	1.5	33.4 a	45.3 a	33.5 b
	2.0	32.8 a	46.7 a	42.6 a
	3.0	33.5 a	47.1 a	41.8 a
	Mean	33.4	45.1	38.0
LPP	1.0	33.4 a	42.3 b	34.4 b
	1.5	34.7 a	45.6 a	36.4 b
	2.0	31.9 a	46.3 a	41.3 a
	3.0	34.0 a	46.5 a	41.5 a
	Mean	33.5	45.2	38.4

^zDAP represents days after planting.

^ySPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

^xMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

을 공급하여야 할 것으로 생각되었다.

Table 4는 생육단계별 근활력을 나타낸 것으로 정식 후 20일까지는 배지의 입자 크기 및 공급량에 따른 차이가 없었다. 그러나 정식 후 50일까지는 모든 처리에서 근활력이 증가되는 경향이었으나 100일째에는 감소하는 경향이였다.

특히 정식후 100일에는 소립에서는 양액의 공급량이 증가할수록 감소하고 중립 및 대립에서는 증가하는 상반된 결과를 얻었다. 이러한 결과는 생육과 크게 상관이 있었는데, 소립에서는 생육초기에는 양액공급량에 관계없이 근활력과 뿌리의 발육이 좋았으나 생육후기에는 양액공급량이 많으므로 인하여 뿌리의 발육이 억제되고 근활력이 낮아진 것으로 추정된다. 이러한 결과는 Fig. 2에서도 관찰할 수 있는데, 소립에서는 양액공급량이 많아도 뿌리가 아래로 뻗지 못하고 배지의 상층에 밀집되어 있었으나 대립에서는 하층까지 뿌리

가 잘 발달됨을 관찰할 수 있었다. 특히 수확후기에는 소립의 경우 주근의 굵은 뿌리의 발달이 억제되고 세근이 많이 발달하여 노화가 빨리 일어났다. 이는 펄라이트의 소립이 초기생육 촉진에는 유리하나 후기생육에서는 불리하다는 것을 의미하며 그러한 결과로 인하여 후기의 수량이 적은 것으로 판정된다.

Table 5는 펄라이트 입자 크기와 양액공급량에 따른 식물체의 무기성분 함량을 나타낸 것이다. 소립에서는 양액공급량이 증가할수록 모든 무기성분함량이 감소하는 경향이 었으나 중립과 대립에서는 증가하는 경향이였다. N, K, Ca 및 Mg의 함량은 소립에서는 양액공급량이 1일 3.0L/주 구에서 가장 적었으나 대립과 중립에서는 1일 3.0L/주 구에서 가장 많았다. 이러한 결과는 근활력과 정의 상관성이 있는 것으로 생각되는데 (Table 4), 소립에서는 양액공급량의 증가에 의해 배지 내 과도한 수분으로 산소가 부족하여 근활력이 낮아지고 양분흡수가 억제되지만 중립 및 대립에서는 높은 근활력에 의해 양분흡수가 촉진되기 때문으로 생각된다. 반면 중립과 대립에서 양액공급량이 적은 1일 1.0L/주 처리구에서는 수분 부족에 의해 양분의 흡수가 낮은 것으로 판단된다. 본 연구의 결과에서 펄라이트의 소립은 초기 생육에는 유리하나 후기 생육에는 불리하며, 중립과 대립은 후기 생육에 유리하나 양액의 공급량을 증가시켜야 하는 단점이 있다. 그러나 순환식 재배에서 펄라이트 단용을 양액재배 배지로 사용할 경우 대립이 좋을 것으로 생각되며, 공급량을 늘리는 것은 다시 회수하여 공급할 수 있으므로 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

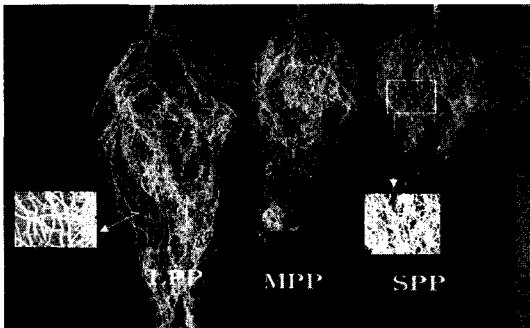


Fig. 2. Effect of particle size and irrigation amount on the root development of tomato. SPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

Table 5. Effect of particle size and irrigation amount on inorganic nutrient content of plant.

Particle size	Irrigation amount (L/plant/day)	T-N (%)	P (%)	Ca (%)	Mg (%)	K (%)
SPP ^z	1.0	2.5 a ^y	1.0 a	2.6 a	1.2 a	5.2 a
	1.5	2.5 a	1.1 a	2.8 a	1.2 a	3.3 b
	2.0	2.6 a	0.8 a	2.6 a	1.2 a	4.1 ab
	3.0	2.4 b	1.1 a	2.4 b	1.0 b	3.9 ab
MPP	1.0	2.3 b	1.0 a	2.7 a	1.1 b	3.4 b
	1.5	2.4 b	1.3 a	2.6 a	1.2 b	3.1 b
	2.0	2.8 a	0.9 a	2.8 a	1.4 a	4.3 ab
	3.0	2.6 a	1.1 a	2.9 a	1.4 a	4.6 a
LPP	1.0	2.6 b	0.9 a	2.3 b	1.1 b	3.5 c
	1.5	2.6 b	1.0 a	3.0 a	1.1 b	3.3 c
	2.0	3.7 a	0.9 a	2.8 a	1.4 a	4.9 a
	3.0	3.6 a	1.2 a	2.8 a	1.5 a	4.1 b

^zSPP, small; MPP, medium; and LPP, large particle size.

^yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

반면 펄라이트의 소립은 수분 보유력이 좋으므로 순환식보다는 비순환식(홀려버림식)에서 사용하는 것이 유리할 것으로 판단되며, 토마토에서는 2.5 mm 이하의 소립과 왕겨 20%를 혼합한 혼합배지를 사용하면 생육이 좋고 수량이 많다(Chung 등, 1996)는 보고도 있으므로 대립을 다른 배지와 혼합하여 사용하면 좋을 것으로 생각된다.

적 요

본 실험은 토마토 양액재배에서 펄라이트 배지를 순환식 재배방법에 적용하고자 수행되었다. 펄라이트 배지의 입자를 소립($\phi 1\sim 2$ mm 미만), 중립($\phi 2\sim 3$ mm), 대립($\phi 4\sim 5$ mm)으로 분리하여 양액공급량에 따른 토마토의 생육을 검토한 결과는 아래와 같다. 제 3회방 개화(초기생육)시 초장은 중립과 대립에서는 양액공급량이 많을수록 길었으나 소립에서는 양액공급량에 관계없이 길이 초기에 생육관리는 대립일수록 1일 양액공급량이 많아야 할 것으로 생각되었다. 그러나 제 3회방 개화가 이후는 소립에서는 주당 1일 공급량을 1.5 L로, 그리고 중립과 대립에서는 주당 1일 3.0 L로 관리하는 것이 착과수가 많고 수량이 높았다. 기형과율은 펄라이트 입자의 크기에 관계없이 양액공급량이 많을수록 적었다. 근활력은 정식 후 50일까지는 입자크기 및 양액공급량에 관계없이 증가하였으나, 50일 이후부터는 감소하기 시작하여 정식 후 100일에는 소립에서는 양액공급량이 많을수록, 그리고 중립과 대립에서는 양액공급량이 적을수록 감소하는 경향이 컸다. 소립에서는 양액공급량이 증가할수록 모든 무기성분함량이 감소하는 경향이었으나 중립과 대립에서는 증가하는 경향이였다. N, K, Ca 및 Mg의 함량은 소립에서는 양액공급량이 1일 3.0 L/주 처리구에서 가장 적었으나 대립과 중립에서는 1일 3.0 L/주 처리구에서 가장 많았다. 이상의 결과에서 토마토 순환식 양액재배시 펄라이트 입자는 중립과 대립의 사용이 유리하고 양액공급량은 주당 1일 3.0 L로 관리하는 것이 유리하였다.

주제어 : 수량, 생육단계, 기형과, 공급량, 펄라이트

인 용 문 헌

1. Chung, S.J., B.S. Lee, and J.H. Lee. 1996. Development of a nutriculture system for fruit vegetables using perlite and its mixtures with other substrates. Effects of substrates on the growth and fruit quality of hydroponically grown tomato. *J. Bio-Env. Contr.* 5:7-14.
2. Giacomelli, G.A. 1998. Monitoring plant water requirements within integrated crop production systems. *Acta Hortic.* 458:21-27.
3. Hanan, J.J., C. Olympios, and C. Pittas. 1981. Bulk density, porosity, percolation and salinity control in shallow, freely draining, potting soils. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:742-746.
4. Lee, E.H., J.W. Lee, J.S. Kwon, Y.I. Nam, I.H. Cho, and Y.S. Kwon. 1996. Effect of substrates on growth and yield of hydroponically grown cucumber in bag culture. *Kor. J. Biol. Fac. Environ.* 5:15-22.
5. Leskovar, D.I. 1998. Root and shoot modification by irrigation. *HortTechnology* 8:510-514.
6. Lim, J.H., J.T. Yoon, I.S. Kim, and B.S. Choi. 1995. Effect of amount of rice hulls mixture on growth and yield of tomato by nutri-culture media. *RDA J. Agr. Sci.* 37:363-366.
7. Kim, K.D., J.W. Lee, E.H. Lee, and B.H. Mun. 2002. The effect of the root intercept film in the medium on the growth and yield of hydroponically grown cucumber. *J. of Bio-Environment Control* (abstract) pp. 106-109.
8. Olympios, C.M. 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite, and other substrates. *Acta Hortic.* 323:215-240.
9. RDA. 1999. Statistical data of soilless culture area in Korea.
10. Resh, H.M. 1995. *Hydroponic food production*. Woodbridge Press. p. 123-132.
11. Son, J.E. and Y.R. Cho. 2000. Analysis of physical and chemical properties of perlite substrate. *J. of Bio-Environment Control* 9:20-26.
12. Wilson, G.C.S. 1986. Tomato production in different growing media. *Acta Hortic.* 178:115-119.