

배지의 혼합비율과 관비 양액 농도가 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향

김흥기¹ · 조자용² · 유성오³ · 양승렬⁴ · 강종구⁴ · 허복구^{5*}

¹(주)캐러스, ²남도대학 약용자원원에개발과, ³원광대학교 원예·애완동식물학부,
⁴순천대학교 식물생산과학부, ⁵(재)나주시천연염색문화재단

Effects of the Mixing Ratio of the Different Substrates and the Concentration of Fertigation in Nutrient Solution on the Growth of Tomato Plug Seedlings

Hong Gi Kim¹, Ja Yong, Cho², Sung Oh Yu³, Seung Yul Yang⁴, Jong Gu Kang⁴, and Buk Gu Heo^{5*}

¹Callus Inc., Kwangju 500-712, Korea

²Dept. of Medicinal Resources & Horticulture Development, Namdo Provincial College of Jeonnam,
Dayang 517-802, Korea

³Division of Horticulture and Pet Animal-Plant Science, Wonkwang Univ., Iksan 570-749, Korea

⁴Division of Plant Science and Production, Suncheon Nat'l. Univ., Suncheon 540-742, Korea

⁵Naju Foundation of Natural Dyeing Culture, Naju, 520-931, Korea

Abstract. This study was conducted to clarify the effects of the different mixing ratios of substrate mixtures based on peat moss and the concentration of nutrient solution on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seedlings. Substrates such as peat moss, rice hull, carbonized rice hull, decomposed sawdust, perlite and granular rock wool were mixed and used. The concentration of nutrient solution were adjusted to EC 0.5~1.5 mS/cm. The volumetric moisture contents became higher as peat moss mixed were much more. Total porosities in all substrate mixtures were over 80%, and pH in substrate mixtures became lower as the volume of peat moss mixed higher. Mixing ratios of substrates suitable for the production of tomato seedlings with the higher quality were peat moss:rice hull:carbonized rice hull:decomposed sawdust:perlite=25:10:25:20:20 (v/v). The plant growth was not significant among the different substrate mixtures. However, plant growth such as plant height, leaf area, and total dry weight became significantly increased as EC increasing.

Key words : concentration of nutrient solution, seedling, substrate mixture, tomato

*Corresponding author

서 언

플러그 육묘는 적은 공간에서 많은 작물을 육묘할 수 있는 효율성을 갖고 있고, 재배과정의 자동화 및 생력화가 가능하기 때문에 국내에 도입되어 실용화되고 있다. 플러그 육묘의 성패를 결정짓는 가장 중요한 요인은 적절한 배지 선정과 시비체제이다(Choi 등, 1997). 플러그묘 생산에서 배지는 양분저장, 수분 보유와 공급, 가스유통 및 식물체 지지 기능을 필요로 하

며, 현재 사용 중인 대부분의 재료가 위의 4가지 기능을 동시에 다 만족시키지 못하므로 두 종류 이상의 물질을 섞은 혼합배지가 이용되고 있으며(Hwang과 Jeong, 2002), 기능 향상을 목적으로 많은 배지가 계속 개발되고 있다(Cho와 Chung, 1998; Yu 등, 2007). 현재 국내에서 플러그 육묘를 위해 이용되는 배지는 피트모스에 기초한 조제방법이 주류를 이루고 있다(Choi 등, 1997). 그런데 피트모스는 전량 외국에서 수입해야 하므로 가격이 비싸 생산비를 증가시키는 원인이

배지의 혼합비율과 관비 양액 농도가 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향

Table 1. Composition ratios of peatmoss-based substrates by volume per volume.

(Unit: %, volume ratio)						
Treatment	Peatmoss	Rice hull	Carbonized rice hull	Decomposed sawdust	Perlite	Granular rockwool
M1	25	10	25	20	20	-
M2	30	25	-	20	-	25
M3	40	40	-	20	-	-

되고 있다. 이 때문에 국내에서 생산되는 물질을 배양토 조제시 이용하기 위한 노력이 있어 왔으며(Choi 등, 1997; Hwang과 Jeong, 2002; Lim과 Jeong, 2000), 금후도 배양토 조제시 국내에서 생산되는 각종 물질의 이용과 함께 효율적인 배지의 개발 필요성이 큰 실정이다.

한편, 토마토는 묘 소질이 정식 후 생육, 과실의 크기, 수확 소요기간 및 수량 등에 많은 영향을 미치는 대표적인 작물이다(Kemble 등, 1994; Lee와 Kim, 1999). 특히 플러그묘 육묘시 양질묘를 얻기 위해서는 환경관리 뿐만 아니라 묘의 생육 특성에 맞는 효율적인 배지와 양액농도를 구명하여 이용하는 것이 중요하다(Kubo 등, 1991; Lee와 Kim, 1999).

이러한 배경에서 본 연구는 토마토 플러그묘의 육묘에 효율적인 혼합배지 개발 및 양액농도를 구명함으로써 공장적 규모의 공장육묘 개발의 기초 자료를 확보하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험은 일광토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.; 서울종묘)를 공시하였으며, 실험은 5월부터 11월

까지 전남대학교 시설원예학 실험포의 유리온실(25평)에서 수행하였다.

배지재료는 피트모스를 주재료로 하고 여기에 왕겨, 훈탄, 부숙 톱밥, 펠라이트 및 입상암면 등을 Table 1과 같이 혼합하여 이용하였다. 종자는 각각의 배지를 72구 플러그 트레이에 충전시킨 후 파종하고, 암조건의 향온기를 이용하여 28~30°C에서 발아시켰다. 본엽 출현 후부터는 일본원시 균형배양액을 EC 1.0 dS·m⁻¹로 조정하여 1/3HP 모터펌프와 타이머, 스프링클러(sprinkler) 등을 사용하여 맑은 날에는 오전 9시, 오후 1시, 오후 5시경에 3분간씩, 그리고 흐린 날에는 오전 10시와 오후 4시경에 3분간씩 두상살수 관수를 실시하였다(Fig. 1).

관비양액농도(EC)는 수돗물을 대조구(EC 0.1 dS·m⁻¹)로 하고, EC 0.5, 1.0 및 1.5 dS·m⁻¹ 등으로 조정하여 처리하였다.

혼합배지의 물리화학적 특성 분석에서 단용 및 혼합배지의 pH와 EC 측정은 풍건한 배지 5g을 50 mL 비이커에 취하여 증류수 25 mL를 가하고 1시간 동안 방치 후 pH와 EC 측정기로 측정하였다. 밀도(bulk density), 전공극률(E), 보수력(Pv) 및 기상율(Ea)은 de Kreij와 de Bes(1989) 방법을 참조로 하여 측정하였다.

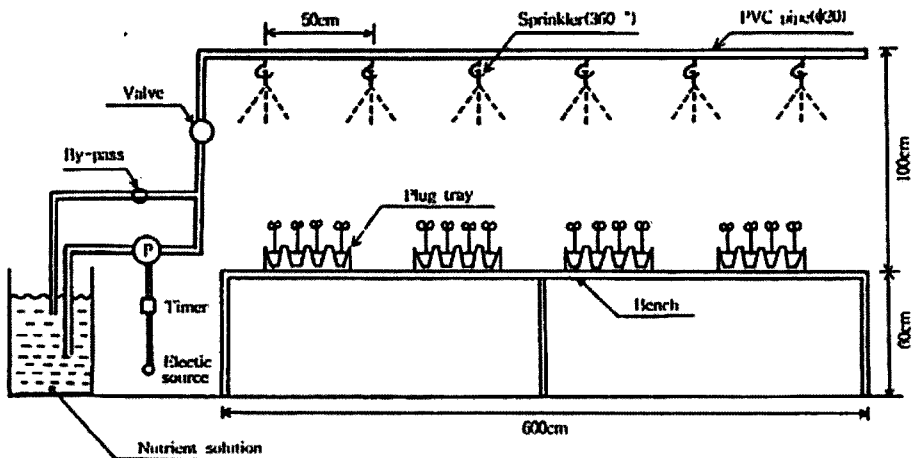


Fig. 1. Diagram of raising seedling system used in this experiment.

생육조사는 피종 후 31일째에 처리별 초장, 경경, 엽수, 근장, 엽면적 및 각 기관별 생체중과 건물중, 지상부/지하부 건물중 비율 등을 조사하였다. 이 때 엽면적은 Delta-T Area meter(CB 3535, CBS OEJ, England)로 측정하였고, 건물중은 80°C의 건조기에서 2일간 건조시킨 후 평량하였다.

생장특성 해석은 처리별로 조사된 자료를 이용하여 엽면적지수(leaf area index, LAI), 순동화율(net assimilation rate, NAR), 비엽면적지수(specific leaf area, SLA), 상대생장율(relative growth rate, RGR), 개체생장율(crop growth rate, CGR), 지상부/지하부 건물중 비율(shoot/root ratio, S/R ratio), 생체중에 대한 건물중의 백분율(dry weight/fresh weight, DW/FW) 및 건물분배율(dry matter partitioning ratio, DMPR) 등을 계산하여 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 배지의 물리적 특성

피트모스를 기본으로 하여 다양한 유기물과 무기물 배지를 혼합한 배지들의 보수력(Pv), 공극율(E), 산도(pH) 및 전기전도도(EC) 등의 물리화학적 특성을 측정하고 결과 혼합배지내 보수력(Pv)은 피트모스 혼입량이 많아질수록 증가하였다(Table 2). 특히 피트모스 함량이 40%인 M3 배지의 보수력은 73% 정도로 가장 높았다. 이는 피트모스의 보수력이 다른 재료들에 비해서 매우 높은 특성(de Kreij와 de Bes, 1989)을 갖기 때문에 혼입량이 많아질수록 보수력이 증가한 결과에 의한 것으로 생각되었다. 공극율(E)은 모든 혼합배지 처리구에서 80% 이상으로 높게 나타났으며, 그 중에서도 혼탄과 펄라이트가 혼합된 M3 배지에서 상대적으로 높은 경향을 보였다. pH는 전반적으로 5.3~6.1 정도의 약산성을 나타냈는데, 일반적으로 육묘용 배지의 적정 pH는 5.0~6.5 범위가 적정수준으로 제시되고 있어(Wilson, 1986), 본 실험에서 공시한 모든 혼합배지처리구의 pH는 토마토뿐만 아니라 다른 작물의 육묘에도 비교적 적합한 것으로 나타났다. 전기전도도(EC)는 부숙퇴排的 함량이 많을수록 증가하는 경향을 보였다.

따라서 실험에 사용된 혼합배지 3종류는 피트모스 함량이 많아질수록 혼합배지의 보수력이 높아졌으며,

Table 2. Physio-chemical properties of substrate mixtures used in this experiment.

Treatment	Pv (%)	E (%)	pH (1:5)	EC (mS/cm)
M1	65.32	82.22	5.6	4.0
M2	68.36	80.98	6.1	4.0
M3	73.24	81.74	5.3	4.6

²⁾ Pv: volumetric moisture content, E: total porosity, EC: electric conductivity

공극율은 모든 배지에서 양호했고, 배지의 산도(pH)나 전기전도도(EC)도 토마토 플러그묘 생장에 있어서 비교적 적절한 범위(de Kreij와 de Bes, 1989; Wilson, 1986)에 있는 것으로 조사되었다.

2. 생장반응

혼합배지 종류 및 관비양액농도를 달리하여 토마토 플러그묘를 재배 후 31일째에 생장 정도를 조사한 결과 배지 종류에 관계없이 관비 양액농도가 높아질수록 지상부의 생장이 좋은 것으로 나타났다(Table 3). 특히 무기이온 함량을 첨가 하지 않은 대조구에서는 양액육묘를 한 경우보다 1/3~1/4 정도의 매우 낮은 생장 결과를 보였다. 초장은 M3 배지에서 양액농도를 EC 1.5dS·m⁻¹로 관비하였을 때 16.4로 가장 컸으며, M1 및 M2 배지에서도 각각 16.1과 16.2로 좋은 결과를 나타냈다. 엽면적은 배지 종류에 관계없이 양액농도가 높아짐에 따라 증대되었는데, 특히 EC 1.5dS·m⁻¹로 관비하였을 때 M3 배지에서 엽면적지수는 165.7로 가장 많았으며, M2 배지와 M1 배지에서도 각각 157.3, 136.3를 나타내었다.

생체중과 건물중 및 건물중/생체중 비율에 미치는 영향을 피종 후 31일째에 조사한 결과 광합성량의 지표가 되는 총건물생산량도 생장반응과 비슷한 경향을 보였다(Table 3). 총건물중은 EC 1.5 dS·m⁻¹로 양액 관비하였을 때 높았는데, M3 배지에서 0.83 g으로 가장 높았고, M2 배지와 M1 배지에서도 각각 0.76, 0.68 g을 나타내었다. 총건물중은 이처럼 배지 종류보다는 양액농도에 의한 영향이 커서 배지의 종류에 관계 없이 양액육묘를 하지 않은 대조구에서는 총건물중이 적었으며, 양액농도가 증가할수록 총건물생산량도 증가되는 경향을 나타내었다.

한편, M1 배지에서 양액농도를 EC 1.5 dS·m⁻¹로 관비하였을 때의 총건물생산량 0.68 g 보다는 M3 배

배지의 혼합비율과 관비 양액 농도가 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향

Table 3. Growth characteristics of tomato plug seedlings as affected by the different substrate mixtures and concentration of nutrient solution (EC) at 31 days after sowing.

Substrate ²⁾	EC (dS·m ⁻¹)	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	No. of leaves	Max. root. length (cm)	Leaf area (cm ²)	S/R ratio
M1	Control	4.8 e ^{y)}	1.38 e	2.3 e	19.3 b	4.3 f	2.50 gh
	EC 0.5	11.2 d	3.30 e	6.3 cd	24.1 ab	71.7 e	3.49 ef
	EC 1.0	13.3 c	4.13 bc	7.0 abc	25.8 ab	105.7 d	3.97 de
	EC 1.5	16.1 a	4.51 ab	7.3 ab	25.4 ab	136.3 bc	5.59 b
M2	Control	4.4 e	1.34 e	2.0 e	28.2 ab	3.0 f	1.89 h
	EC 0.5	12.1 d	3.57 d	6.0 d	28.1 ab	78.3 e	3.20 fg
	EC 1.0	14.8 b	3.30 d	7.0 abc	24.5 ab	112.0 cd	3.97 de
	EC 1.5	16.2 a	4.64 a	7.7 a	22.0 ab	157.3 a	6.40 a
M3	Control	4.8 e	1.41 e	2.7 e	31.0 a	5.3 f	1.90 h
	EC 0.5	11.8 d	3.40 d	6.7 bcd	29.0 ab	80.7 e	3.04 fg
	EC 1.0	14.6 b	4.04 c	7.0 abc	24.7 ab	124.7 bc	4.46 cd
	EC 1.5	16.4 a	4.85 a	7.3 ab	24.8 ab	165.7 a	5.08 bc
Significance							
Substrate (A)		NS	NS	NS	NS	NS	**
EC (B)		**	**	**	NS	**	**
A × B		**	**	**	NS	**	*

²⁾See the table 1.

^{y)}Mean separation within columns by Duncan's multiple at 5% level.

NS, *, ** Non-significant or significance at 5% or 1% levels, respectively.

Table 3. Continued.

Substrate ²⁾	EC (dS·m ⁻¹)	Fresh wt.(g/plant)				Dry wt.(g/plant)				DW/FW (%)
		Leaf	Stem	Root	Total	Leaf	Stem	Root	Total	
M1	Control	0.17 g ^{y)}	0.08 d	0.11 c	0.36 g	0.02 g	0.01 g	0.01 d	0.03 g	9.31 bcd
	EC 0.5	2.24 f	1.01 c	1.37 b	4.62 f	0.27 f	0.07 f	0.10 c	0.44 f	9.52 bc
	EC 1.0	3.06 de	1.73 b	1.51 ab	6.30 d	0.36 de	0.12 e	0.12 abc	0.60 de	9.46 bcd
	EC 1.5	4.17 b	2.63 a	1.34 b	8.15 b	0.43 bc	0.15 bc	0.11 bc	0.68 bcd	8.36 cd
M2	Control	0.12 g	0.06 d	0.10 c	0.27 g	0.02 g	0.01 g	0.01 d	0.03 g	12.21 a
	EC 0.5	2.41 f	1.16 c	1.56 ab	5.13 f	0.31 ef	0.08 f	0.12 abc	0.51 ef	9.94 b
	EC 1.0	3.39 cd	1.78 b	1.51 ab	6.68 d	0.40 cd	0.12 de	0.13 ab	0.65 cd	9.67 bc
	EC 1.5	4.96 a	2.89 a	1.38 ab	9.22 a	0.49 ab	0.16 a	0.10 bc	0.76 ab	8.18 d
M3	Control	0.20 g	0.09 d	0.19 c	0.48 g	0.02 g	0.01 g	0.02 d	0.04 g	8.99 bcd
	EC 0.5	2.55 ef	1.17 c	1.73 a	5.45 f	0.32 ef	0.08 f	0.13 ab	0.53 ef	9.79 b
	EC 1.0	3.78 bc	1.94 b	1.60 ab	7.32 b	0.44 bc	0.13 cd	0.13 abc	0.70 bc	9.59 bc
	EC 1.5	5.01 a	2.73 a	1.70 ab	9.44 a	0.54 a	0.16 ab	0.14 a	0.83 a	8.80 bcd
Significance										
Substrate (A)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
EC (B)		**	**	**	**	**	**	**	**	NS
A × B		**	**	**	**	**	**	**	**	NS

²⁾See the table 1.

^{y)}Mean separation within columns by Duncan's multiple at 5% level.

NS, *, ** Non-significant or significance at 5% or 1% levels, respectively.

지에서 양액농도를 EC 1.0 dS·m⁻¹로 관비하였을 때가 0.70 g으로 더 많게 나타났다. 따라서 M3 배지에서 양액농도를 EC 1.0 dS·m⁻¹로 관비하는 것이 M1 배지에서 EC 1.5 dS·m⁻¹로 플러그묘를 생산하는 것보다 더 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 동일한 관비양액 농도에서 각 혼합배지간의 생장은 유의차가 인정되어 M3 배지가 M2나 M1 배지에 비해 여러 가지 성장특성이 다소 양호한 결과를 보였다. 관비양액 농도 처리에 따라서 대부분의 성장 항목에서 고도의 유의차를 나타냈으며, 혼합배지와 관비양액 농도간에도 초장, 엽면적 및 총건물중 등에서 처리간에 고도의 유의차를 보였다.

이상의 결과로부터 양질의 토마토 플러그묘 생산을 위해서는 양액육묘가 필수적인 기술로 인정되었으며, 특히 Argo와 Biernbaum(1994)의 보고에서와 같이 관비양액의 농도가 높을수록 생장이 향상되는 결과를 확

인할 수 있었다.

3. 생장해석

토마토의 플러그묘 생산에 있어서 각 혼합배지별 관비 양액농도(EC)에 따른 잎, 줄기 및 뿌리 등으로의 건물분배율을 파종 후 31일째에 조사한 결과 모든 혼합배지 처리구에서 잎으로의 건물분배율이 현저하게 높았다(Fig. 3). 관비 양액농도가 높아질수록 뿌리로의 건물분배율은 점차 감소한 반면, 줄기로의 건물분배율은 증가하였다. 따라서 관비 양액의 농도가 높아질수록 잎으로의 건물분배율이 높아져 정식 후 성장 및 과실 확보에 있어서 유리할 것으로 보였는데, 이는 줄기와 뿌리로의 건물분배율이 균형을 이루어 건묘 생산에 유리한 환경을 제공했기 때문인 것으로 생각되었다.

혼합배지에서 상이한 양액농도로 토마토 플러그묘를 육묘한 후 비엽면적지수와 상대성장율을 파종 후 31일

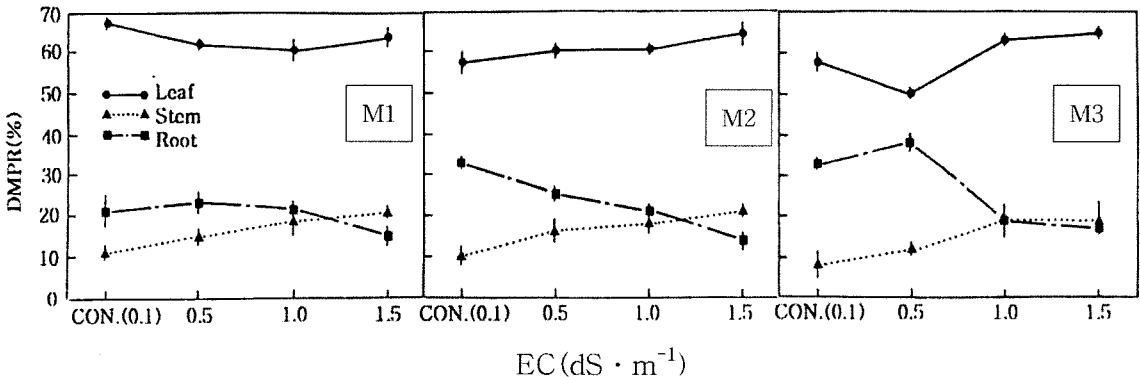


Fig. 3. Dry matter partitioning rate (DMPR) in tomato plug seedlings as affected by the substrate mixtures and different concentrations of nutrient solution. (M1, M2, M3 see the table 1).

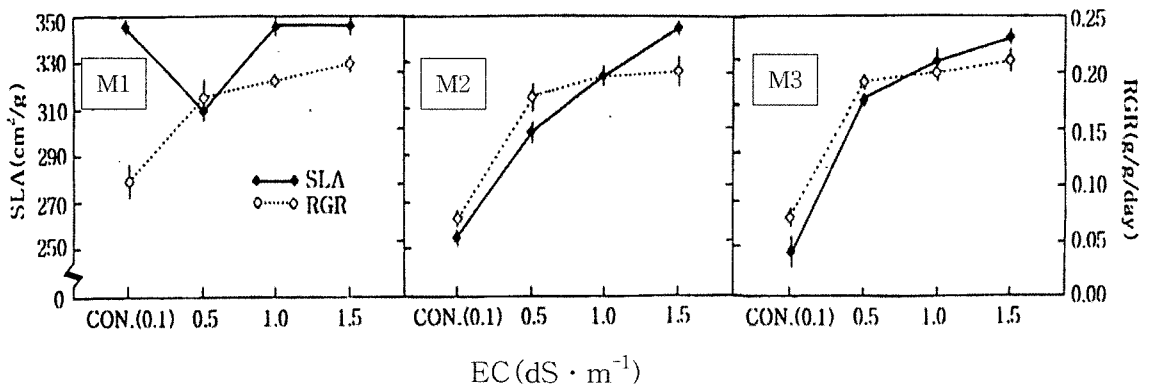


Fig. 4. Specific leaf area (SLA) and relative growth rate (RGR) in tomato plug seedlings as affected by the substrate mixtures and different concentrations of nutrient solution. (M1, M2, M3 see the table 1).

배지의 혼합비율과 관비 양액 농도가 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향

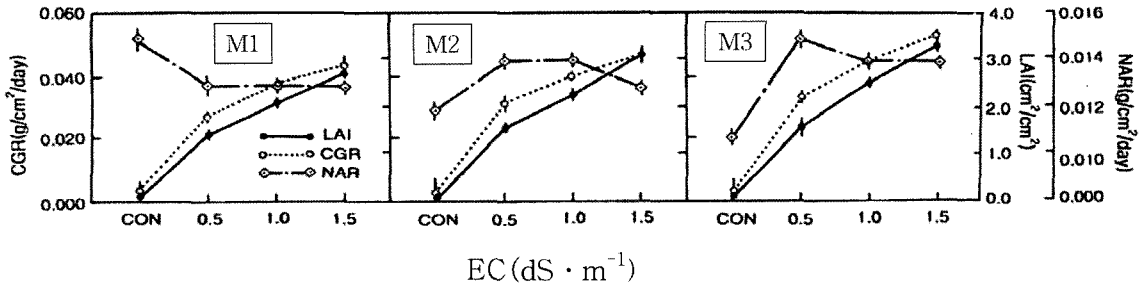


Fig. 5. Crop growth rate (CGR), leaf area index (LAI) and net assimilation rate (NAR) in tomato plug seedlings as affected by the different substrate mixtures and different concentrations of nutrient solution. (M1, M2, M3 see the table 1).

제에 조사한 결과 관비양액의 농도가 높아질수록 비엽면적지수가 증가하는 경향을 보여 관비 양액의 농도가 높아질수록 엽의 두께는 상대적으로 얇아지는 것을 알 수 있었다(Fig. 4). 상대성장율은 모든 혼합배지 처리에서 관비 양액농도가 EC 0.5 dS·m⁻¹까지는 급속히 증가하다가 그 이상의 양액농도에서는 완만해지는 경향을 보였다.

토마토 플러그묘에 있어서 각 혼합배지별 및 관비 양액농도에 따른 개체생장율, 엽면적지수 및 순동화율 등은 모든 혼합배지 처리구에서 관비 양액농도가 높아질수록 엽면적지수가 높은 경향을 나타냈지만 양액관비를 하지 않은 대조구에서는 매우 낮은 결과를 나타냈다(Fig. 5). 이는 토마토의 플러그묘 육묘시 관비 양액농도를 높여줌으로써 단위 면적당 많은 엽면적을 확보할 수 있다는 Chi 등(1991)의 보고와 일치하였다. 개체생장율은 모든 혼합배지 처리구에서 관비 양액의 농도가 높을수록 높게 나타나 엽면적지수와 비슷한 경향을 보였으며, 양액관비를 하지 않은 대조구에서는 매우 낮았다. 순동화율은 M1 배지의 경우 양액 관비를 하지 않은 대조구에서 오히려 높았고, M2 배지와 M3 배지에서는 EC 0.5 dS·m⁻¹에서 가장 높은 결과를 보였다. 이러한 결과는 근권 양분 부족과 절대생장량이 저하함에 따라 개체생장율과 엽면적지수가 상대적으로 낮아진 데서 기인한 것으로써 양액 관비의 필요성을 반증한 것으로 평가되었다.

적 요

피트모스를 기본으로 한 3종의 혼합 고풍배지의 물리화학적 특성 분석과 3종의 배지 및 양액농도(EC 0.5~1.5 dS·m⁻¹)가 토마토(일광 토마토) 플러그묘의 초

기생장(파종 후 31일째)에 미치는 영향을 조사하였다. 혼합배지의 물리화학적 특성은 피트모스의 혼합비율이 많아질수록 보수력이 증가하였고, 공극율은 모든 혼합배지 처리에서 80% 이상이였다. pH와 EC는 피트모스의 혼합비율이 많을수록 pH는 낮아졌고, EC는 전반적으로 3.6~4.8 dS·m⁻¹ 정도의 범위로 비교적 높게 나타났다. 양질의 토마토 플러그묘 생산에 가장 좋았던 혼합배지는 피트모스:왕겨:훈탄:부숙톱밥:필라이트=25:10:25:20:20 (v/v)였다. 관비 양액농도(EC)는 대조구(수돗물, EC 1 dS·m⁻¹)에 비해 관비 양액농도(EC 0.5, 1.0, 1.5 dS·m⁻¹)가 높아질수록 초장, 엽면적 및 총건물 생산량 등이 현저히 높아졌다.

주제어: 유묘, 양액농도, 토마토, 혼합배지

사 사

이 논문은 2007년도 원광대학교 교비지원에 의해 연구된 것입니다.

인 용 문 헌

- Argo, W.R. and J.A. Biernbaum. 1994. Irrigation requirements, root-medium pH, and nutrient concentrations of easter lilies grown in five peat-based media with and without an evaporation barrier. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(6):1151-1156.
- Chi, S.H., Y. Shinohara, and Y. Suzuki. 1991. Effect of concentration of nutrient solution and aeration on growth and dry matter partitioning in hydroponically grown young tomato plants. Environ. Control in Biol. 29:27-33.
- Cho, J.Y. and S.J. Chung. 1998. Effect of rhizobacteria on the growth of cucumber and tomato plug seed-

- lings. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 39:18-23.
4. Choi, J.M., J.W. Ahn, J.H. Ku, and Y.B. Lee. 1997. Effect of medium composition on physical properties of soil and seedling growth of red-pepper in plug system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 38:618-624.
 5. de Kreij, C. and S.S. de Bes. 1989. Comparison of physical analysis of peat substrates. Acta Horticulturae 238:23-36.
 6. Hwang, S.J. and B.R. Jeong. 2002. Effect of medium composition of cellular glass foam particles and carbonized chestnut woodchips on growth of plug seedlings of 'Nokkwang' pepper and 'Segye' tomato. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:399-405.
 7. Kemble, J.M., J.M., Davis, R.G. Gardner, and D.C. Sanders. 1994. Spacing, root cell volume, and age affect production and economics of compact-growth-habit tomatoes. HortScience 29:1460-1464.
 8. Kubo, S., N. Shimada, and N. Okamoto. 1991. The effects of nutrient levels in nursery soils on quality of cucumber, tomato, eggplant and melon seedlings. J. Japan Soc. Hort. Sci. 60:555-566.
 9. Lee, J.W. and K.Y. Kim. 1999. Tomato seedling quality and yield following raising seedlings with different cell sizes and pretransplant nutritional regimes. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:407-411.
 10. Lim, M.Y. and B.R. Jeong. 2000. Effect of medium composition including chestnut woodchips and granular rockwool on growth of plug seedlings. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18:508-512.
 11. Wilson, G.C.S. 1986. Analysis of substrates. Acta Horticulturae 178:155-160.
 12. Yu, S.O., J.H. Bae, Y.J. Park, J.Y. Cho, H.G. Jang, and B.G. Heo. 2007. Analysis of domestic patent information on hydroponics field. J. Bio-Env. Con. 16:13-20.