Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 22, No. 3:256-261, September (2013)
DOI http://dx.doi.org/10.12791/KSBEC.2013.22.3.256
pISSN 2288-0992
eISSN 2288-100X

토마토 육묘시 공간처리 및 배지부피가 묘소질 및 과실의 수량 품질에 미치는 영향

김성은[1] · 이문행[2] · 안범준[3] · 김영식[1]*
[1]상명대학교 식물식품공학과, [2]부여토마토시험장, [3]상명대학교 경영공학과

Effects of Spacing and Plug Cell Size on Seedling Quality and Yield and Qualities of Tomatoes

Sung Eun Kim[1], Moon Haeng Lee[2], Beum Jun Ahn[3], and Young Shik Kim[1]*
[1]Department of Plant and Food Sciences, Sangmyung Univ. Cheonan Campus, Cheonan 330-720, Korea
[2]Buyeo Tomato Experimnet Station C.A.R.E.S., Buyeo, Choongnam 323-814, Korea
[3]Department of Management Engineering, Sangmyung Univ. Cheonan Campus, Cheonan 330-720, Korea

Abstract. The spacing between plug cells and cell volume of each plug cell for nursing tomato seedlings were studied to know the effects on seedling growth and early yield. There were four treatments. The spacing of plug cells was done (OK) or not (NO) in case of cell spacing. The cell number in a plug tray was set to 40 or 50 in case of cell volume. The growth environment and irrigation regime were the same in all of the treatments during the experiment period. The photosynthetic rates, seedling qualities, yield and yield speed were significantly affected by both of the treatments. The photosynthetic rates and seedling qualities were the best in 40S-OK following by 50S-OK, 40S-NO, and 50S-NO while the yield was the best in 40S-OK following by 40S-NO, 50S-OK, 50S-NO. It means the spacing gives more impact than the cell volume in the stage of nursing but the cell volume gives more impact than the spacing after the stage of nursing. In the conclusion the spacing of plug cells in appropriate nursing stage is needed with the appropriate cell volume to make high quality of seedlings and high yield.

Additional key words : cell volume, early yield, harvest rate, interval, plug seedling

서 론

플러그 육묘는 종자소요량이 적고, 육묘공간을 효율적으로 이용할 수 있으며, 일관된 시스템화가 가능하고, 정식작업이 간편함에 따라 육묘시기의 단축 및 노동력을 절감할 수 있어 원예작물의 육묘에 많이 이용되고 있다(Ito, 1992; Yeoung 등, 2004). 특히 육묘시기의 광, 온도, 습도 등 환경조절이 용이하여 정식 전의 집중관리로 이식해를 줄이고, 계획적이며 고품질의 묘 생산을 꾀할 수 있다(Seo 등, 2006; Suzuki와 Takaura, 1994). 이러한 장점으로 플러그 육묘방법은 1990년대에 우리나라에 도입된 이래 지속적인 성장추세이다.

플러그 육묘의 경우에는 공간배치가 정형화되고, 공간이 부족하므로 열간 넓히기 등의 공간확보가 필요하다(Panning 등, 2000; Pasternak 등, 1987). 즉, 플러그 육묘시 정형화된 공간배치 때문에 작물의 수분과 양분의 흡수가 나쁠 수 있으며, 적절한 공간확보가 안되면 작물간의 경쟁이 발생하여 생육이 저해된다(Heege, 1993; Hans 등, 2009). 또한 공간이 부족하여 작물의 단위밀도가 높으면 마디가 길어지고, 도장의 우려가 크므로(Heege, 1993; Hans 등, 2009) 고품질의 묘 생산을 위해서는 육묘기의 적정 공간확보는 중요하다. 재배기에도 적절한 공간확보를 하면 수분과 양분 및 수광량에 큰 영향을 주어 수량과 품질향상에 큰 도움이 되며, 잡초제거에도 효과가 있어서 제초제의 사용도 줄일 수 있다(Qazi 등, 2012).

플러그 육묘에서 건전묘 생산을 위한 방법으로 적정 공간확보와 함께 플러그 셀의 크기를 조절하여 배지의 부피를 가감해 주는 방법도 있다. 플러그 육묘시 셀의 크기는 원예작물의 묘소질에 영향을 주어, 셀의 크기 즉 배지의 부피 차이로 인해 작물의 생육과 생체중 및 건물중에 차이가 나타난다(Kim 등, 2001; Kim 등, 2008; Lee와 Kim, 1999; Shin 등, 2000). 양파나 감자의 경우, 셀의 크기가 작을수록 자구와 괴경의 수는 증가하지만

*Corresponding author: youngskim77@gmail.com
Received August 19, 2013; Revised September 3, 2013; Accepted September 6, 2013

크기는 감소하는 경향이 뚜렷하며, 생육은 셀의 크기가 클수록 좋다(Kim 등, 2008; Ahn 등, 2012). 절화용 장미재배에서도 배지의 부피가 클수록 모든 생육에서 우수한 결과를 나타낸다(Jeong 등, 2007).

토마토 플러그 육묘시 공간처리와 배지부피 처리를 하면 묘의 생육이 빨라져서 파종부터 정식까지 소요되는 시간이 단축된다(Kemble 등, 1994). 공간배치에 따라 유묘의 수광량에 차이가 생기며(Rodriguez와 Lambeth, 1975), 셀의 크기에 따라 수분과 양분의 흡수가 달라져서 유묘의 생육과 품질에 차이가 발생하는데(Rodriguez와 Lambeth, 1975; McAvoy와 Janes, 1984), 묘소질의 차이가 수확에 미치는 영향에 대해서는 연구하지 않았다. 이렇게 육묘기간 중에 발생한 차이는 정식 후 수확량에 영향을 줄 것으로 사료되므로, 본 실험은 토마토 플러그묘 생산에서 공간처리와 배지부피처리를 함께 하여 두 가지 처리가 유묘의 생육과 묘소질 및 정식 후 초기 수확량과 수확속도에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 2013년 4월 12일부터 7월 25일까지 상명대학교 실험용 유리온실(폭 7.5m, 길이 13m, 측고 5m, 동고 7m)과 플라스틱온실(폭 8m, 길이 20m, 측고 5.5m, 동고 7m)에서 수행되었다. 유리온실에는 발아실과 육묘실을 설치하여 운영하였다. 발아실은 Ebb & Flow 방식의 육묘베드(가로 1.6m, 세로 8m, 높이 1.5m) 상단에 1.8m 높이의 프레임을 설치하고, 흑백필름으로 프레임 전체를 둘러서 빛을 차단하고 온도와 습도를 조절할 수 있도록 제작하였다. 육묘실도 활착실과 같이 1.8m 높이의 프레임을 설치하고, 1겹 투명필름을 프레임에 덮어씌워 자연광 상태에서 온도와 습도를 조절할 수 있도록 하였다. 초기 수확량과 수확속도를 조사하기 위해 플라스틱온실에서 정식 후 재배하였다.

공시품종으로는 TY스마트사마(다끼이종묘, 일본)를 사용하였다. 육묘용 상토는 범용 피트모스 상토(뚝심이, 동부한농)를 사용했고, 파종 후 발아까지는 급액하지 않았으며, 발아 후부터 1일 1회(오전 10시30분) 야마자키 토마토 전용배양액을 EC 0.5 dS/m 농도로 급액하며 육묘하였다. 2013년 4월 22일에 발아를 완료했고, 2013년 5월 6일 본엽 3~4매가 전개되어 본엽에 의해 서로 간섭이 발생하는 시기에 공간처리를 실시하였다. 육묘시 시설내 온도는 27°C ± 2로 했으며, 습도는 이류체 포그시스템을 작동하여 상대습도 85% 이상으로 조절하였다.

처리는 공간과 배지의 부피별로 각 2처리, 모두 4가지 처리를 두었다. 배지의 종류는 동일하되 배지의 부피에 따라 40공 플러그에 공간처리구(40S-OK)와 무처리구(40S-N), 50공 플러그로 공간처리구(50S-OK)와 무처리구(50S-N)를 두었다. 전 실험기간 중에 처리외의 환경조건과 급액조건은 모두 동일하게 적용하였다.

처리 후 육묘기간동안 각 처리별로 묘의 광합성속도를 조사하여 공간처리의 효과를 조사하였다. 공간처리 2일 후부터 5일 간격으로 처리당 10개체씩 LI-6400(LI-COR, USA)를 이용하여 조사했고, 통계처리와 표현은 시그마플롯 ver.10(Systat Software Inc, UK)을 이용하였다.

묘소질 분석에는 처리별로 5개체씩을 무작위로 선발하여 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽 생체중, 엽 건물중, 엽 면적, 줄기 생체중, 줄기 건물중, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 지하부 생체중, 지하부 건물중, compactness, SLA, T/R ratio, S/R ratio, 엽경비 등을 조사하였다. 조사는 농촌진흥청의 농사시험연구조사 기준에 준하여 측정하였다.

처리별 초기 수확량과 수확속도를 알아보기 위해 4 처리, 4반복, 반복당 6개체로 총 96개체를 정식하였다. 수확은 주 3회, 착색 80% 이상일 때 실시하였고, 처리별 화방별로 구분하여 수확하여 수확량과 수확속도를 조사하였다. 수확속도는 각 화방별로 수확이 시작될 때부터 종료되는 데까지 소요된 일수로 하였다. 정식에 사용된 배지는 코이어 자루배지(폭 20cm, 길이 100cm, 높이 10cm)였으며, 배지 전처리를 위해 정식 전 3일간 수돗물로 세척하였다. 급액제어는 타이머 제어법으로 하였으며, 1회 급액량은 그루당 90초/회(약 114~120mL)씩 였으며, 1일 급액시간은 8시~17시(총 11회)로 하였다. 실험에 사용한 배양액은 Yamazaki 토마토 전용배양액(pH 6.5, EC 1.0dS · m^{-1})이며, EC는 정식시 2.0dS · m^{-1}으로 시작하여 생육단계별로 0.2dS · m^{-1}씩 상향조정하여 2.6dS · m^{-1}까지 높여주었다. 배양액의 공급은 자동공급장치(Agronic 6000, Spain)를 이용하였다.

또한 전체 실험기간동안 환경자료의 수집을 위해 발아실과 육묘실 및 재배온실에 각각 PAR 센서와 온습도 센서 및 데이터로거를 3반복으로 설치했으며, 주 1회 조사하였다. 통계처리에는 SAS 통계패키지를 이용하였다.

결과 및 고찰

공간과 배지의 부피 차이가 토마토 육묘시 묘의 광합성에 미치는 영향을 조사했다(Fig. 1). 40S-OK 처리가 광합성 속도가 가장 컸고, 광포화점에 도달하는 시간이 가장 짧았으며, 50S-OK, 40S-NO, 50S-NO 처리 순으로 광합성 속도가 높았다. 즉 40S-OK 처리에서 가장 광합성 활력이 좋은 것으로 조사되었다. 이 결과는 공간처리가 배지의 부피 처리보다 광합성 속도에 큰 영향을 주는 것을 나타내며, 배지의 부피가 다를 때에는 배지의 부피가 많은 쪽이 광합성 속도에 유리한 것을 의미한다.

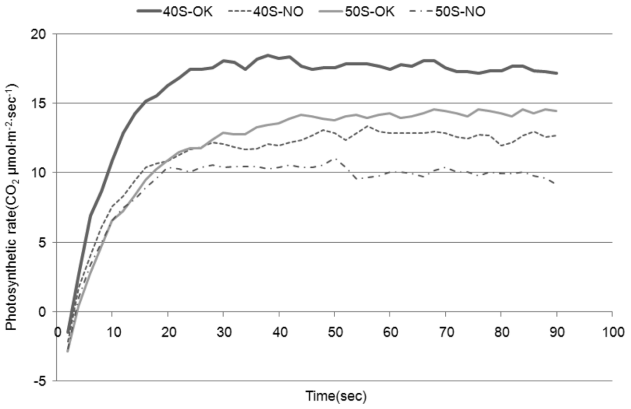

Fig. 1. Photosynthetic rate after the spacing and plug cell size treatments on the cherry tomato grafted seedling. Chamber: Extended-Reach 1 cm Chamber (Arabidopsis), Light intensity: natural light, CO_2 concentration: 400 mg · L^{-1}, Flow rate: 250 m^3 · h^{-1}.

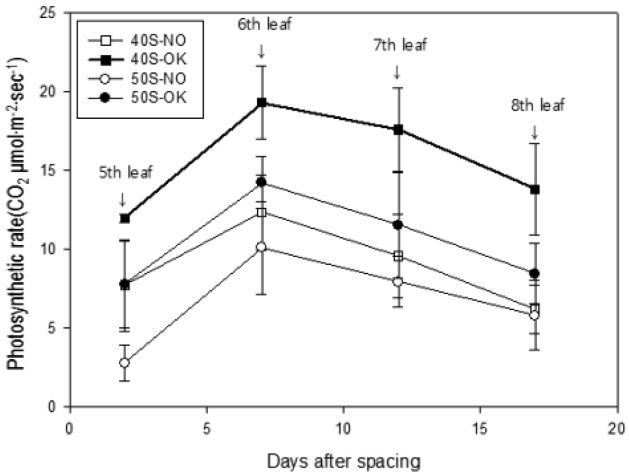

Fig. 2. Average of photosynthetic rate after the spacing and plug cell size treatments on the cherry tomato grafted seedling. Chamber: Extended-Reach 1 cm Chamber (Arabidopsis), Light intensity: natural light, CO_2 concentration: 400 mg · L^{-1}, Flow rate: 250 m^3 · h^{-1}.

이는 본엽의 전개 개수별로 조사한 광합성 속도 결과와도 같았다(Fig. 2).

배지의 부피 처리는 파종부터 했고, 공간처리는 본엽이 4매 이상 전개되어 잎들이 서로 간섭하는 시기에 처리하였고, 이때부터 본엽의 전개 개수별로 광합성 속도를 조사하였다(Fig. 2). 광합성 속도는 조사한 모든 잎에서 40S-OK 처리, 50S-OK, 40S-NO, 50S-NO 처리 순으로 컸다. 특히40S-OK 처리는 통계적 유의성이 있게 광합성 속도가 높았다. 그러나 본엽의 개수가 7매 이상이 되면 본엽의 크기가 커짐에 따라 본엽들간의 간섭에 의해 공간처리와 배지의 부피처리에 대한 효과가 감소하는 경향을 뚜렷이 보였다. 따라서 본엽 6매 정도까지는 공간과 배지의 부피 처리가 효과적이나, 이 효과를 지속하려면 7매 이후에는 정식하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

묘소질 분석에서도 광합성 속도의 차이와 비슷한 양상을 보였다(Table 1). 공간처리 효과는 엽면적에서 통계적 유의성이 있는 것으로 나타났으며, 엽건물중에서는 공간처리와 배지의 부피 처리 모두에서 처리간 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 콩의 경우에 공간처리를 하면 LAI(leaf area index)가 증가되고, 이와 밀접한 관련이 있는 건물중의 증가로 생산량이 증대된다는 Weber 등(1966)의 보고와도 같았다. 또한 통계적 유의성은 없으나 공간처리를 할 경우에 마디수는 많아지고 초장은 짧아진다는 보고(Qazi 등, 2012)와도 비슷한 경향을 나타냈다.

공간과 배지의 복합처리는 SLA에 영향을 주는 것으로

Table 1-1. Effect of the spacing and plug cell size treatments on the quality of cherry tomato grafted seedling.

Treatment[z]		Plant length (cm/pl)	Leaf			Shoot		
			Length (cm/pl)	Width (cm/pl)	Area (cm^2/pl)	DW (mg/pl)	FW (mg/pl)	DW (mg/pl)
40S-OK		37.6 ± 6.8	15.4 ± 1.0	9.9 ± 0.5	162 ± 5.2	1.12 ± 0.01	12.0 ± 0.5	1.89 ± 0.01
40S-NO		42.6 ± 5.8	16.6 ± 0.9	10.6 ± 0.5	153 ± 4.6	1.08 ± 0.01	12.4 ± 0.8	1.92 ± 0.01
50S-OK		36.9 ± 5.5	15.4 ± 1.0	10.1 ± 0.7	159 ± 4.9	1.06 ± 0.02	11.9 ± 0.9	1.82 ± 0.01
50S-NO		43.0 ± 6.4	15.5 ± 1.3	10.1 ± 0.8	142 ± 9.8	0.76 ± 0.02	10.4 ± 0.7	1.45 ± 0.01
F-test[y]	A[x]	ns	ns	ns	*	**	ns	*
	B	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
	A × B	ns	ns	ns	ns	**	ns	*

[z] In 40S-OK is 40 tray and spacing, 40S-NO is 40 tray and not spacing, 50S-OK is 50 tray and spacing, and 50S-NO is 50 tray and not spacing.
Each value is the mean of 5 plants.
FW, fresh weight average of 5 plants.
DW, dry weight average of 5 plants.
[y] ns, *, **, Nonsignificant or significant at P = 0.05 or 0.001, respectively.
[x] in A is spacing treatment. B is plug cell size treatment.

Table 1-2. Effect of the spacing and plug cell size treatments on the quality of cherry tomato grafted seedling.

Treatment[z]		Root FW (mg/pl)	Root DW (mg/pl)	Compactness	SLA	L/S ratio
40S-OK		2.44 ± 0.1	0.34 ± 0.01	0.051 ± 0.01	136 ± 1.1	1.07 ± 0.08
40S-NO		2.37 ± 0.1	0.30 ± 0.02	0.046 ± 0.01	149 ± 2.4	0.98 ± 0.04
50S-OK		2.39 ± 0.3	0.28 ± 0.06	0.050 ± 0.03	152 ± 8.4	1.04 ± 0.09
50S-NO		1.86 ± 0.4	0.21 ± 0.04	0.035 ± 0.02	188 ± 7.1	0.92 ± 0.17
F-test[y]	A[x]	*	*	**	*	*
	B	ns	**	ns	ns	ns
	A × B	ns	ns	ns	**	ns

[z] In 40S-OK is 40 tray and spacing, 40S-NO is 40 tray and not spacing, 50S-OK is 50 tray and spacing, and 50S-NO is 50 tray and not spacing.
[y] ns, *, **, Nonsignificant or significant at $P = 0.05$ or 0.001, respectively.
[x] in A is spacing treatment. B is plug cell size treatment.
Each value is the mean of 5 plants.
SLA: specific leaf area, T/R ratio: Shoot FW/Root FW ratio, S/R ratio: Stem FW/Root FW ratio, L/S ratio: Leaf FW/Stem FW ratio

Table 2. Early yield and fruit quality of the spacing and plug cell size treatments on the quality of cherry tomato grafted seedling.

Treatment[z]		1st cluster			2nd cluster		
		Yield (g/plant)	Harvest rate (day)	Average fruit weight (g/fruit)	Yield (g/plant)	Harvest rate (day)	Average fruit weight (g/fruit)
40S-OK		3,590 ± 126a[y]	12.1 ± 1.0	17.3 ± 2.2	7719 ± 146a	10.7 ± 0.7	17.8 ± 1.0
40S-NO		3,206 ± 130b	17.0 ± 0.8	16.9 ± 1.5	6246 ± 150b	12.5 ± 0.9	17.6 ± 0.8
50S-OK		3,155 ± 158bc	14.2 ± 1.7	17.6 ± 2.2	6070 ± 136c	14.3 ± 1.1	16.9 ± 1.7
50S-NO		2,964 ± 122c	15.5 ± 0.7	16.8 ± 2.3	5972 ± 142c	15.0 ± 0.6	16.4 ± 1.8
F-test[y]	A[x]	*	ns	ns	**	*	ns
	B	*	*	ns	**	*	ns
	A × B	**	*	ns	**	**	ns

[z] In 40S-OK is 40 tray and spacing, 40S-NO is 40 tray and not spacing, 50S-OK is 50 tray and spacing, and 50S-NO is 50 tray and not spacing.
[y] ns, *, **, Nonsignificant or significant at $P = 0.05$ or 0.001, respectively.
[x] in A is spacing treatment. B is plug cell size treatment.
Each value is the mean of 10 plants.

조사되었다. 또한 공간처리는 지하부의 생체중과 건물중, Compactness, SLA 및 L/S 비율에 영향이 있으며, 배지의 부피 차이는 지하부 건물중에 영향을 주는 것으로 나타났다.

육묘기간 동안의 공간처리와 배지의 부피 차이는 토마토의 초기 수확량과 수확속도에도 큰 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 2). 수확량은 40S-OK, 40S-NO, 50S-OK, 50S-NO 처리 순으로 많아서, 두 처리 모두에서 복합적인 영향을 받지만 특히 육묘시 배지의 부피 차이에 의한 영향을 조금 더 받은 것으로 판단된다. 1화방의 수확속도는 배지의 부피차이에 영향을 더 많이 받았으며, 2화방의 수확속도는 공간처리와 배지의 부피 처리 및 복합처리의 영향을 골고루 받은 것으로 조사되었다. 과실의 당도는 처리간 차이가 없이 5.8°Brix 이상으로 높았다(data not shown).

1화방의 누적 수확량은 통계적 유의성이 있게 처리별 차이가 있었다(Table 2 and Fig. 3). 1화방의 수확초기에는 수확량과 수확속도가 비슷했으나, 후기에는 40S-OK 처리의 수확량이 많아지고, 수확속도도 빨라졌다. 이는 콩의 경우에 공간처리를 하면 LAI(leaf area index)가 증

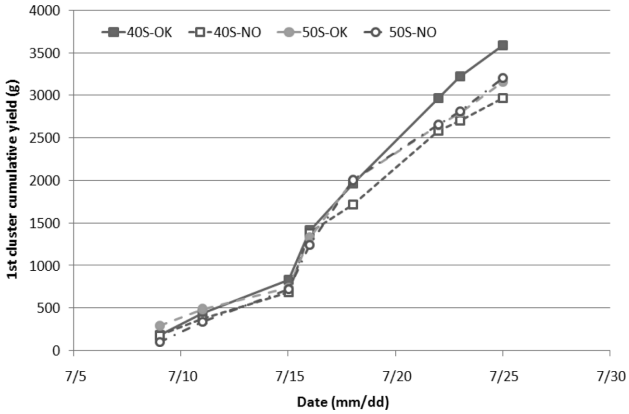

Fig. 3. 1st cluster cumulative yield (g) of the spacing and plug cell size treatments on the cherry tomato.

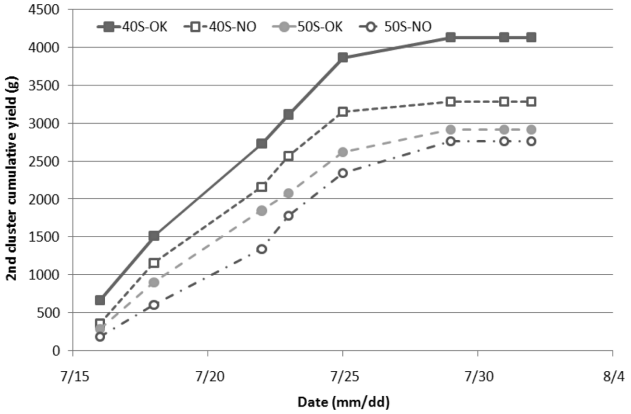

Fig. 4. 2nd cluster cumulative yield (g) of the spacing and plug cell size treatments on the cherry tomato.

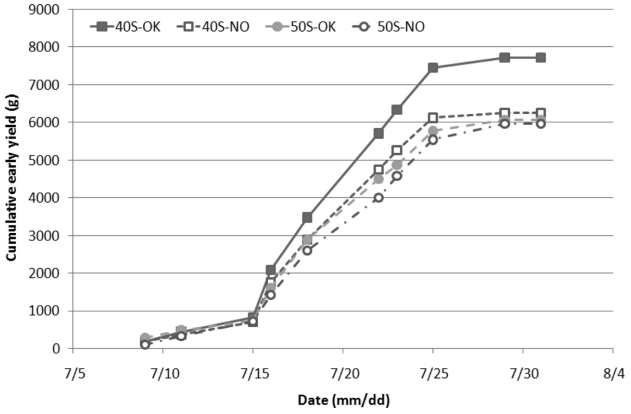

Fig. 5. Cumulative early yield (g) of the spacing and plug cell size treatments on the cherry tomato.

가되어 생산량이 증대된다는 보고(Weber 등, 1966)와 동일한 재배기간에 총 수확량은 많아지고, 수확시기도 단축된다는 보고(Qazi 등, 2012)와도 유사한 경향이었다.

수확량과 수확속도의 처리간 차이는 2화방에서 더욱 두드러지게 나타났다(Table 2 and Fig. 4). 2화방은 수확 초기부터 수확량과 수확속도의 처리간 차이가 뚜렷하였고, 시간이 지날수록 처리간 차이는 커지는 양상을 나타냈다. 특히 40S-OK 처리가 수확량도 많고, 수확속도도 빨랐다.

본 실험에서는 초기 수확량을 1화방과 2화방의 총수확량으로 정하여 조사하였다(Fig. 5). 초기 수확량은 1, 2화방과 같이 40S-OK 처리, 40S-NO, 50S-OK, 50S-NO 처리 순으로 많았다. 40S-OK 처리는 수확량도 가장 많았으며 수확속도도 가장 빨랐다(Table 2).

배지의 부피와 관련하여 양파나 감자의 경우에 자구와 괴경의 생육은 셀의 크기가 클수록 좋으며(Kim 등, 2008; Ahn 등, 2012), 절화용 장미재배에서도 배지의 부피가 클수록 모든 생육에서 우수한 결과를 얻었다는 보고(Jeong 등, 2007)가 있다. 또한 공간처리와 관련해서는 채종하기 위해 재배되는 해바라기의 경우에 생산량과 공간처리와의 관계는 밀접한 양의 상관관계를 나타내며, 공간처리가 해바라기의 생산량 증가에 큰 영향을 끼친다는 보고(McMaster 등, 2012)와 양파의 종자구 생산에서 공간처리를 하면 꽃의 개수가 많아지고, 종자의 무게가 무거워진다(Asaduzzaman 등, 2012)는 보고가 있다. 토마토도 육묘기간 중의 배지의 부피와 공간처리가 정식 후 초기 수확량과 수확속도에 뚜렷한 영향을 주는 것으로 조사되었다. 따라서 고품질 묘 생산과 초기 수확량을 증대하고, 수확속도를 빠르게 하기 위해서는 육묘기에 적절한 공간확보와 배지의 부피를 크게 하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

적 요

본 실험은 토마토 플러그묘 생산에서 공간처리와 배지 부피처리를 함께하여 두 가지 처리가 유묘의 묘소질 및 수확량에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 처리는 공간과 배지의 부피별로 각 2처리, 모두 4가지 처리를 두었다. 배지는 동일하되 배지의 부피에 따라 40공과 50공 플러그 육묘판을 사용했고, 각 육묘판에 공간처리를 한 것과 하지 않은 것으로 나누어 처리했다(40S-OK, 40S-NO, 50S-OK, 50S-NO). 전 실험기간 중에 처리외의 환경조건과 급액조건은 모두 동일하게 적용하였다.

광합성 속도와 묘소질 분석 및 수확량과 수확속도 모두에서 통계적 유의성이 있게 공간처리와 배지의 부피처리의 영향을 받았다. 광합성 속도와 묘소질에서는 40S-OK, 50S-OK, 40S-NO, 50S-NO 처리 순으로 좋은 결과를 나타내어 공간처리의 효과가 더 크고, 수확량에서는 40S-OK, 40S-NO, 50S-OK, 50S-NO 처리 순으로 많아서 배지의 부피 처리의 영향이 큰 것으로 판단된다. 따라서 고품질 묘 생산과 초기 수확량을 증대하고, 수확속도를 빠르게 하기 위해서는 육묘기에 적절한 공간확보와 배지의 부피를 크게 하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

추가 주제어 : 공간처리, 셀 크기, 수확속도, 초기 수확량, 플러그 묘

사 사

이 연구의 일부는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 PJ0078822013)의 지원으로 수행되었음.

이 연구의 일부는 농림축산식품부 수출전략기술개발사업에 의해 수행되었음.

Literature Cited

Ahn, S.R., K.R. Im, D.H. Kim, and J.K. Suh. 2012. Effect of plug cell size and variety on the production of onion set for pickle. J. Bio-Environment Control 21:28-32.

Asaduzzaman, M., M.I. Hasan, M.H. Hasan, M. Moniruzzaman, and M.H.K. Howlander. 2012. Effect of bulb size and plant spacing on seed production of onion (*Allium cepa* L.). Bangladesh J. Agril. Res. 37:405-414.

Hans, W.G., J.M. Olsen, and J. Weiner. 2009. The influence of row width and seed spacing on uniformity of plant spatial distributions. VDI-Berichte Nr. 2060:265-270.

Heege, H.J. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape, and beans. Trans. ASAE 36:653-661.

Ito, T. 1992. Present state of transplant production practices in Japanese horticultural industry, P. 65-82. In: K. Kurata and T. Kozai (eds.). Transplant production system. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Jeong, J.W., G.H. Kim, S.J. Hwang, S.M. Park, and B.R. Jeong. 2007. Effect of medium composition and volume on rooting and growth of cuttings of *Rosa hybrida* L. 'Red Sandra' and 'Little Marble'. J. Bio-Environment Control 16: 309-313.

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. HortSciences 29:1460-1464.

Kim, J.M., K.Y. Choi, Y.H. Kim, and E.S. Park. 2008. Growth and yield of potato after transplanting of potato plug seedlings grown at different plug cell size and photoperiod. J. Bio-Environment Control 17:26-31.

Kim, C.K., J.Y. Oh, and S.J. Kang. 2001. Effect of plug cell size and seedling age on growth and yield of Chimese chives (*Allium tubberosum* R.). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:167-170.

Kim, Y.B., Y.H. Hwang, and W.K. Shin. 1999. Effects of root container size and seedling age on growth and yield of tomato. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:163-165.

McAvoy, R.J. and H.W. Janes. 1988. Alternative production strategies for greenhouse tomatoes using supplemental lighting. Scientia Horticulturae.

McMaster, G.S., G.W. Buchleiter, and W.C. Bausch. 2012. Relationships between sunflower plant spacing and yield: Importance of uniformity in spacing. Crop Science 52:309-319.

Panning, J.W., M.F.Kocher, J.A. Smith, and S.D. Kachman. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugar beet planters. Applied Engineering in Agriculture 16:7-13.

Pasternak, H., U.M. Peiper, and J. Putter. 1987. A method of evaluating seeding uniformity. Canadian Agricultural Engineering 29:35-37.

Qazi, W.R., M. Sajid, M. Shahenshah, H. Khan, L.R. Qazi, D. Ahmad, F. Wahid, and Z. Muhammad. 2012. Effect of different herbicides and row spacings on the growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Pak. J. Weed Sci. Res. 18(2):157-165.

Rodriguez, B.P. and V.N. Lambeth. 1975. Artificial lighting and spacing as photosynthetic and yield factors in winter greenhouse tomato culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 100: 694-697.

Shin, Y.A., K.Y. Kim, Y.C. Kim, T.C. Seo, J.H. Chung, and H.Y. Pak. 2000. Effect of cell size and seedling age on seedling quality and early growth after transplanting of red pepper. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:49-52.

Suzuki, T. and Y. Takaura. 1994. Studies on transplanting cultivation of spinach by easy transplanter. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 63:368-369.

Weber, C.R., R.M. Shibles, and D.E. Byth. 1966. Effect of plant population and row spacing on soybean development and production. J. Agronomy 58:99-102.

Yeoung, Y.R., M.K. Jung, B.S. Kim, S.J. Hong, C.H. Chun, and S.W. Park. 2004. Effect of plug cell size on seedling growth of summer spinach. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22: 422-425.