

폐쇄형 시스템에서 펄라이트 배지의 성층이 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향

이한철* · 강경희 · 권기범 · 최영하
영남농업시험장 부산원예시험장

Effect of the Stratification of Perlite by Particle Size on the Growth and Yield of Tomato in a Recycling Hydroponics

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 vertical stratification of perlite by particle size on the growth and yield of tomato in a recycling hydroponics was examined. Vertical stratifications were composed of mixed form of small, medium and large size (MP), divided forms of small and large size (small/large, DP I), and medium and large size (medium/large, DP II). Tomatoes showed higher growth in divided form, specially in DP II than DP I. Deformed fruits had higher occurrence by 17.8% in the mixed form than divided forms, while they were not significantly different between mixed forms. Root activity tended to increase during 20 days to 50 days after transplanting (DAT) in all treatments, but showed highest value at 50 DAT in DP II. After harvest electric conductivity and pH of stratified perlite were slightly higher in upper zone of DP I, but were not different in the other treatments. Mineral contents in the medium after harvest were higher in lower zone than the upper zone in MP and DP II, but vice versa in DP I.

Key words : Growth stage, deformed fruit, root activity, mineral content, EC

(*Corresponding author)

서 언

우리나라 양액재배 면적은 최근 급격하게 증가하여 현재 약 650 ha(00)에 이르고 있고, 그 중 고품배지경이 90% 이상이며 펄라이트배지가 325.5 ha를 점유하고 있다(RDA, 1999). 과채류 재배에 많이 사용하는 펄라이트 배지는 양이온 치환용량이 낮아서 시비관리가 편리하고, 배지의 입자가 잘 분해되지 않아 재사용이 용이하다(Wilson, 1986). 그러나 펄라이트 배지는 완충능력이 작기 때문에 배양액 관리가 어려우며, 배지내 양액의 확산이 제대로 되지 않아 부분적으로 건조하거나 과습 상태가 되기 쉽다(Kim 등, 2002). 또한 펄라이트의 작은 입자는 베드의 저면에 집적되어 근권의 물리성을 악화시키고, 큰 입자는 배수성이 커서 작물의 초기 활착을 어렵게 한다(Olympios, 1992). 현재 국내에 생산되고 있는 펄라이트는 입자의 크기가 다양하고 크기

에 따른 수분흡수율도 상당한 차이가 있다(Son 등, 2000). 또한 입자 크기가 구분없이 혼합되어 있어 작물의 수분관리가 매우 어렵다. 이러한 이유로 최근에는 펄라이트 배지를 다른 유기배지와 혼용하여 사용하는 경우가 많다(Wilson, 1986; Lee 등, 1999). 다른 배지와 혼용하면 근권의 물리성을 개선하는 측면에서는 유리하지만 근권의 양분을 관리하는 측면에는 불리하다. 그러므로 이러한 유기배지와 펄라이트를 혼합한 배지는 비순환식(홀러버림식)에 비해 양액의 무기이온성분 농도가 일정하지 않은 순환식에서는 더욱 불리할 것이다.

따라서 본 연구에서는 순환식 시스템에서 펄라이트 배지를 효율적으로 사용하기 위한 방법으로 상층에는 소립이나 중립을 사용하여 보수성을 좋게 하고, 하층에는 대립을 사용하여 통기성을 좋게 하여 토마토의 양액재배에 적합한 펄라이트 배지의 사용방법을 구명코자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 2001년에 부산원예시험장의 유리온실에서 '하우스 모모타로'(Takii Seed Co., Japan) 품종을 이용하여 수행되었다. 육묘시에는 cell 당 부피가 50 cm³인 20공 연결 포트에서 피트모스(Sunshine, Genuine Co., Canada)와 펄라이트(No. 1, 삼손(주), 한국)를 1 : 1(w/v)로 혼합한 상토를 이용하였다. 육묘시 양수분관리는 토마토 아마자키 치방양액 1/3배액을 생육초기에는 1일 1회, 그리고 5엽 전개 후에는 1일 2회씩 관주하였고, 제1화방의 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 깔았다. 펄라이트 배지는 펄라이트 1호(No. 1, 삼손(주), 한국)를 공시하여 입자크기별(소립, φ1~2 mm미만; 중립, φ2~3 mm; 대립, φ4~5 mm)로 체로 분리하였다. 처리는 펄라이트 1호를 분리하지 않은 혼합상태를 대조구로 하였고, 층분리I(상층:소립, 하층:대립), 층분리II(상층:중립, 하층:대립)를 두었다. 분리방법은 베드내에 대립을 반정도 채운 다음 직경 1 mm의 망사를 깔고 상층에 소립이나 중립을 채웠다(Fig. 1).

정식은 20 cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리가 140 × 20 cm가 되도록 하였다. 정식 후 20 cm 간격의 점적용 관수 호스(슈퍼타이폰 80, 푸른(주))를 2줄로 깔고, 흑백필름을 이용하여 백색면이 표면에 오도록 멀칭하였다. 양액은 토마토 재배용 아마자키 표준 양액($\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 NH_4^+ 0.6, NO_3^- 7.0, H_2PO_4^- 2.0, K^+ 4.0, Ca^{2+} 3.0, Mg^{2+} 2.0 및 SO_4^{2-} 2.0)을 제3화방 개화기까지는 1일 5회, 그 이후 수확종료일까지 6회로 나누어 공급하였다. 제 12화방이 완전히 개화한 후

12화방 상위 2엽을 남기고 적심하였으며, 측지는 발생할 때마다 제거하였다. 착과 유도를 위해 토마토톤(동양화학(주))을 150배(w/v)로 희석하여 화방마다 2~3개의 꽃이 개화되었을 때 분무기(A1-450, 푸른(주))를 이용하여 살포하였다. 시험구는 난괴법으로 3반복 배치하였다. 주당 착과수 및 과실중은 80 g 이상의 기형과 등을 제외한 상품과를 기준으로 처리당 10주씩 3반복으로 조사하였다. 다른 생육조사는 농촌진흥청 조사기준에 준하였다. 수확후 처리 당 10주씩 3반복으로 식물체를 채취하여 잎과 줄기의 지상부와 뿌리의 지하부(이하 지상부와 지하부로 표기)를 나누어 각각의 생체중을 측정한다. 다음, 시료를 80°C 건조기에서 32시간 건조한 후 건물중을 측정하고 T/R율을 환산하였다. 수확 후 배지의 무기성분 분석에서 질소와 인산은 시료 10 g을 계량하여 침출액으로 침출한 후 질소는 간이 증류법으로 분석하였으며, 그리고 인산은 Vanadate법으로 분해하여 비색계(UV/VIS spectrophotometer, Lambda 18, Perkin Elmer)를 이용하여 측정하였다. 그리고 K, Ca 및 Mg는 tenery solution으로 분해한 후 원자흡광분광광도계(atomic absorption spectrophotometer 3300, Perkin Elmer)로 분석하였다.

뿌리의 활력은 효소활성 측정법인 α -나프트라민법에 준하였다. 정식후 20, 50 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($\text{C}_{10}\text{H}_9\text{N}$)과 1/10M의 인산 완충액을 등량 혼합하여 50 mL으로 정량한 다음, 시료가 담긴 플라스크에 넣고 5~10분 진동하여 흡착시켰다. 이 때 2 mL를 시험관에 채취하여 반응 전의 시료로 이용하였고, 남은

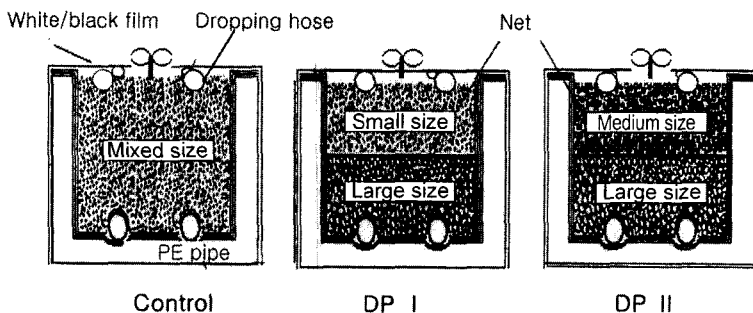


Fig. 1. Stratification methods of perlite used in this experiment. Perlite sizes: small (<φ2 mm), medium (φ2~3 mm), large (φ4~5 mm).

것은 진동기에 걸쳐 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 $N(\mu\text{g}) = (\text{최초 채취한 시험액} \times 25) - (\text{반응후 액} \times 25) / (\text{blank test의 최초액} \times 25) - (\text{blank test의 반응후 액} \times 25)$ 와 같다.

결과 및 고찰

펄라이트 입자크기를 구분하여 혼합하거나 층을 분리하여 물리성을 분석한 결과, 입자가 작을수록 공극률과 수분함량은 높았고, 액상률과 기상률은 낮게 나타났다. 평균기상률은 소립/대립(DP I)구에서 81.9%로 가장 높았고 액상률과 고상률은 혼합(MP)구에서 각각 11.1, 8.8%로 다른 처리구보다 높았다. 배지내 수분함량은 소립/대립(DP II)구에서 가장 낮았는데, 이는 기상률과 액상률이 낮은 것에서 기인되었다(Table 1).

정식후 제 3회방이 개화하는 시기의 초기생육을 조사한 결과(Table 2), 펄라이트의 입자를 구분하지 않은 혼합배지(MP)에 비해 펄라이트 입자를 분리한 배지에서 생육이 좋았다. 초장, 지상부의 생체중 및 건물중은 혼합배지보다 층분리 배지가 길고 무거웠으나, 층분리 처리간에는 유의차가 없었다.

뿌리의 생체중 및 건물중도 층분리시 무거웠으며, 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)구보다 중립/대립(DP II)구에서 유의적으로 무거웠다. 초기생육에서 펄라이트 입자가 크면 배수성이 커서 작물의 초기활착이 어렵다(Olympios, 1992)고 하였으나, 본 실험에서는 양액의 공급량이 주당 2 L로 많고 공급회수를 1일 5~6회로, 그리고 주당 양액을 2구로 공급하였기 때문에 수분 스트레스가 없었던 것으로 생각된다. 오히려 배지의 혼합 처리구에서 배수가 불량하여 과습으로 뿌리의 발육과 생육이 억제된 것으로 판단된다. 한편 층분리 처리에서 상층에 소립을 사용함으로써 뿌리의 활착을 유도하여 초기생육의 촉진을 예상했으나 상층의 중립과 차이가 없었다. 이러한 결과는 상층의 소립과

Table 1. Physical properties of the mixed or divided form of perlite.

Treatment	Position	Air (%)	Liquid (%)	Solid (%)	Moisture content (%)	Bulk density (g · cm ⁻³)
MP ^a	Upper	80.1 b ^y	11.1 b	8.8 b	50.1 b	0.21 b
	Lower	80.1 b	11.1 b	8.8 b	50.1 b	0.21 b
	Mean	80.1	11.1	8.8	50.1	0.21
DP	Upper	87.3 a	6.8 c	5.9 c	51.2 a	0.19 c
	Lower	76.5 c	13.2 a	10.3 a	49.5 c	0.22 a
	Mean	81.9	10.0	8.1	50.4	0.21
DP	Upper	76.6 c	13.2 a	10.2 a	49.6 c	0.21 b
	Lower	76.5 c	13.2 a	10.3 a	49.5 c	0.22 a
	Mean	76.6	13.2	10.3	49.6	0.22

^aMP, Mixed forms of small, medium and large particle perlite; DP I, divided form of small and large size (small/large); DP II, divided form of medium and large size (middle/large).

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

Table 2. Effect of the stratification of perlite by particule size on the growth of tomato in a recycling hydroponics.

Treatment	Plant height (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		T/R ratio
		Top	Root	Top	Root	
MP ^a	116 b ^y	213 b	125 b	24.5 b	14.3 b	1.71 b
DP	121 a	241 a	131 a	27.7 ab	15.0 ab	1.84 a
DP	120 a	254 a	135 a	29.1 a	15.9 a	1.89 a

^aMP, Mixed forms of small, medium and large particle perlite; DP I, divided form of small and large size (small/large); DP II, divided form of medium and large size (middle/large).

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

Table 3. Effect of the stratification of perlite by particle size on the mean fruit weight, number of fruits, fruit weight and % malformed fruit of tomato grown in a recycling hydroponics.

Treatment	No. of fruits per plant	Fruit weight		Yield (kg/10a)	Malformed fruits (%)
		Mean (g)	Total (g/plant)		
MP ²	29.1 b ³	197 a	6,061 c	14,663 b	17.8
DP	31.3 ab	195 a	6,299 b	14,949 a	15.6
DP	32.4 a	199 a	6,681 a	14,992 a	14.3

²MP, Mixed forms of small, medium and large particle perlite; DP I, divided form of small and large size (small/large); DP II, divided form of medium and large size (middle/large).

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

중립 모두 수분의 부족 현상이 없었기 때문으로 생각된다. Saha와 Hara(1988)는 최대 토양 수분 고갈은 배지가 보유한 물량의 30% 이하라 하였으며, Biernbaum과 Versluys(1998)는 보통 유효 수분의 75~85% 정도 손실되었을 때 관수가 이루어진다고 하였다. 이러한 보고를 근거로 할 때 상층의 소립과 중립에서 수분 보유력이 높고(Table 1), 1일 관수량과 관수 회수가 많았기 때문으로 생각된다.

Table 3은 펄라이트 배지의 분리방법에 따른 수량구 성요소 및 기형과율을 나타낸 것이다. 평균과중은 처리간에 유의한 차이가 없었다. 그러나 과실수는 배치혼합 처리구(MP)의 주당 29.1개에 비해 배지의 층분리 처리구가 2~4개 정도 많았으며, 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)보다 중립/대립(DP II)이 다소 많은 경향이었다.

주당 과실중도 착과수와 같은 결과를 보여 층분리의 중립/대립(DP II) 처리구가 가장 많았다. 수량은 층분리의 중립/대립(DP II) 처리구가 가장 많았으며, 이러한 수량 증가의 원인은 평균과실중의 증가보다는 착과수가 많은데 기인된 것으로 판단된다. 기형과 발생률은 배치혼합 처리구에서 가장 높았으며, 이는 수량의 감소에 원인이 되었다.

Fig. 2는 펄라이트 배지의 분리방법에 따른 근활력을 경시적으로 나타낸 것이다.

근활력은 정식후 50일까지는 모든 처리에서 증가하였으나 100일째에는 감소하는 경향이었다. 정식후 20일째에 근활력은 처리간에 큰 차이는 없었으나 정식 50일후에는 혼합배지보다 층분리 배지가 높았으며, 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)보다 중립/대립(DP II)에서 다소 높은 경향이었다. 배치혼합처리에서 근활력이 낮은 것은 배수의 불량으로 통기성이 낮아 뿌리의

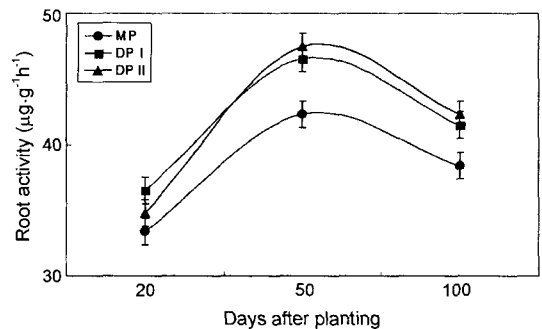


Fig. 2. Effect of the stratification of perlite by particle size on the root activity of tomato grown in a recycling hydroponics. MP, Mixed forms of small, medium and large perlites; DP I, divided form of small and large size (small/large); DP II, divided form of medium and large size (medium/large).

발육이 억제되거나 노화가 빨리 진행된 것에 기인하는 것으로 생각된다. 특히 후기의 근활력 감소는 기형과의 발생을 초래하고 그러한 결과로 인하여 수량이 감소한 것으로 추측된다.

Table 4는 토마토의 수확종료 후 펄라이트 배지내 무기성분의 함량을 나타낸 것이다. 펄라이트 배지내 EC는 1.3~1.5로 처리간에 큰 차이는 없었으나 다른 처리보다 소립/대립 처리(DP I)의 상층부에서 높았는데, 이는 배지 내 양이온과 음이온의 함량이 높았기 때문이다. 배지내 pH도 EC와 같은 경향을 보여 소립/대립 처리(DP I)의 상층부에서 7.2로 가장 높아, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 함량이 높은 것이 원인으로 생각된다.

배지내 무기성분 함량은 배치혼합 및 중립/대립 처리(DP II)에서는 상층부보다 하층부에서 많았으나 소립/대립 처리(DP I)에서는 상반된 결과를 보여 하층이 상층보다 많았다. Moliter(1990)는 비료용액은 모세관현상에 의해 배지내의 소공극을 통해 상층부로 이동하게

Table 4. Mineral concentration of the mixed or divided perlite size after harvesting tomato fruits.

Treatment	Position	EC (dS · m ⁻¹)	pH	NO ₃ -N (mg · kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg · kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol · kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
MP ^z	Upper	1.4 b ^y	6.8 b	21.2	20.4 b	0.22 c	1.03 b	0.54 b
	Lower	1.4 b	6.4 c	22.4	23.5 a	0.33 b	1.45 a	0.60 b
DP	Upper	1.5 a	7.2 a	24.0	23.1 a	0.43 a	1.53 a	0.86 a
	Lower	1.3 b	6.5 c	23.0	22.1 a	0.33 b	1.43 a	0.56 b
DP	Upper	1.3 b	6.4 c	18.3	19.5 b	0.12 c	1.02 b	0.45 b
	Lower	1.3 b	6.6 bc	22.0	22.1 a	0.32 b	1.40 a	0.66 b

^zMP, Mixed forms of small, medium and large particle perlite; DP I, divided form of small and large size (small/large); DP II, divided form of medium and large size (middle/large).

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

되고, 이동된 비료용액은 배지표면에서 증발하여 결과적으로 배지표면에 많은 무기염이 집적되며, 또한 배지의 특성에 따라 무기염이 상층부로 이동되어 집적되는 정도가 달라질 수 있다고 하였다. 본 연구의 펄라이트 배지의 하층부에서 염류가 많은 것은 상층의 배지에 고르게 양분의 공급이 되지 않았기 때문인 것으로 추측된다. 이는 비교적 수분흡수가 좋은 소립을 상층부에 사용한 처리구에서 무기양분이 많은 결과가 이를 뒷받침한다. 특히 소립/대립 처리(DP I)의 상층에서 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 함량이 높았는데, 펄라이트의 소립이 중립이나 대립에 비해 양이온 치환용량(CEC)이 높았기 때문이다(Son과 Cho, 2000).

토마토 순환식 펄라이트경에서 펄라이트 입자의 크기를 구분하여 하층부에 대립을, 상층부에 소립이나 중립을 사용하여 토마토를 재배했을 때 상층부의 배지에는 적당한 수분을 보유하고 하층부의 배지에는 배수가 양호하게 되어 뿌리의 근활력 높고 생육이 좋았다. 따라서 펄라이트 배지의 입자 크기를 분리하여 재배하는 것도 하나의 방법으로 생각된다. 그러나 층분리 배지의 사용회수가 증가함에 따라 상층부의 소립 배지가 하층부로 내려가서 배수가 나빠지는 문제가 있으므로 배지의 교환시기를 고려하여야 할 것으로 생각되며 추후 이에 대한 실험이 이루어져야 할 것이다.

적 요

본 연구에서는 폐쇄형 시스템에서 펄라이트 배지의 단점을 보완하여 상층에는 소립이나 중립을, 하층에는 대립을 사용하여 토마토의 양액재배에 적합한 펄라이

트 배지의 사용방법을 구명코자 하였다.

초장, 생체중, 건물중 등 생육은 혼합배지보다 층분리한 배지에서 좋았고 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)보다 중립/대립(DP II)이 좋았다. 평균 과중은 처리간에 유의한 차이는 없었으나 과실수는 배지혼합 처리구의 주당 29.1개에 비해 배지의 층분리 처리구가 2~4개 정도 많았으며, 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)보다 중립/대립(DP II)이 다소 많은 경향이였다. 주당 과실중 및 수량은 차과수와 같은 결과를 보여 층분리의 중립/대립 처리구(DP II)가 가장 많았다. 기형과 발생률은 배지혼합 처리구에서 가장 높았으며, 이는 수량 감소의 원인이 되었다. 근활력은 정식후 50일째까지는 모든 처리에서 근활력이 증가되는 경향이였으나 100일째에는 감소하는 경향이였다. 처리간에는 정식후 20일째에는 큰 차이가 없었으나 정식 50일후에는 혼합배지보다 층분리 배지가 근활력이 높았으며, 층분리 처리간에는 소립/대립(DP I)보다 중립/대립(DP II)이 다소 많은 경향이였다. 펄라이트 배지내 EC는 1.3~1.5로 처리간에 큰 차이는 없었으나 소립/대립 처리(DP I)의 상층에서 다른 처리보다 높았으며 pH도 같은 경향이였다. 배지내의 무기성분 함량은 배지혼합 및 중립/대립 처리(DP II)에서는 상층보다 하층이 많았으나 소립/대립 처리(DP I)에서는 상반된 결과를 보여 하층이 상층보다 많았다. 특히 소립/대립 처리(DP I)의 상층에서 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 함량이 높았는데, 펄라이트의 소립이 중립이나 대립에 비해 양이온 치환용량(CEC)이 높았기 때문이다.

주제어 : 생육단계, 기형과, 근활력, 양분함량, EC

인 용 문 헌

1. Biernbaum, J.A. and N.B. Versluys. 1988. Water management. HortTechnology 8:504-509.
2. Lee, B.S., S.G. Park, J.G. Kang, and S.J. Chung. 1999. Effect of mixing ratio of perlite and coir dust on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown chrysanthemum (in Korean). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40: 225-230.
3. 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 (in Korean). J. of Bio-Environment Control (abstracts) pp. 106-109.
4. Moliter, H.D. 1990. The European perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. Acta Hort. 272:165-170.
5. Olympios, C.M. 1992. Soilless media under protected cultivation: rockwool, peat, perlite, and other substrates. Acta Hort. 323:215-240.
6. RDA. 1999. Statistical data of soilless culture area in Korea.
7. Saha, R.R. and M. Hara. 1998. Influence of different soil moisture regimes on biomass production, water use, and nitrogen nutrition of tomato plants. Environ. Control in Biol. 36:1-12.
8. Son, J.E. and Y.R. Cho. 2000. Analysis of physical and chemical properties of perlite substrate (in Korean). J. of Bio-Environment Control 9:20-26.
9. Wilson, G.C.S. 1986. Tomato production in different growing media. Acta Hort. 178:115-119.