Perlite 단용 및 혼용처리를 이용한 과채류 양액재배 기술 개발

Ⅰ. 재배용기와 배지의 종류가 양액재배 오이의 생장과 과실품질에 미치는 영향

정순주* · 서범석** · 강종구* · 김홍기*
(*전남대학교 농과대학 원예학과, **호남온실작물연구소)

Development of Hydroponic Technique of Fruit Vegetables Using Perlite and Mixtures with Perlite as a Substrate

Ⅰ. Effects of Containers and Substrates on the Growth and Fruit Quality of Hydroponically Grown Cucumber

S. J. Chung* · B. S. Seo · J. K. Kang* · H. K. Kim***
*Dept. of Hort. , Coll. of Agric., Chonnam Nat'l Univ., Kwangju, Korea
**Honam Greenhouse Crop Research Institute, Kwangju, Korea

적 요

본 실험은 배수성과 통기성이 우수한 양액재배 배지로서 perlite와 구입이 용이한 왕겨 및 훈탄의 혼합배지를 이용하여 스치로폼 성형베드 및 상자, 플라스틱 자루, 폿트 등의 재배용기의 차이와 배지의 종류에 따른 양액재배 오이의 생육 및 수량반응을 구명하고자 수행하였다.

1. 스치로폼베드와 상자가 다른 용기보다 초장이 높게 나타났으며, 스치로폼 상자를 용기로 사용할때 펄라이트 단용처리구가 275.5cm, 왕겨 혼합처리구가 277.0cm로 초장이 가장 높았다.

2. 엽면적은 스치로폼 성형베드와 상자가 가장 높게 나타났고, 자루재배, 폿트재배의 순으로 나타났다. 스치로폼 성형베드와 상자의 경우에는 펄라이트 단용〉왕겨 혼합배지〉훈탄 혼합배지의 순으로 나타났으나 자루재배에서는 왕겨, 폿트재배에서는 왕겨 혼합배지에서 엽면적이 높게 나타났다.

3. 과실수량은 스치로폼 상자를 용기로한 펄라이트 단용구가 2097.1g으로 가장 많았으며 과수도 13.4개로 높게 나타났다.

4. 상품과율은 스치로폼 베드와 상자에서 70%이상을 나타냈으나 자루재배와 폿트재배는 70%이하로 나타났다.

5. 곡과율과 선세과는 자루재배에서 10%이상으로 높게 나타난 반면 스치로폼 상자에서는 낮게 나타났다.

이상의 결과로 보아 펄라이트를 이용한 오이재배시 재배용기로는 스치로폼 베드와 스치로폼 상자가 양호하였고 배지로는 펄라이트 단용배지가 다른 혼합배지보다 양호한 결과를 보였으나 펄라이트의 입자크기, 배지의 충진량, 재배 시스템 등에 관한 상세한 연구가 수행되어야 할 것이다.

Ⅰ. 서 론

양액재배는 작물을 토양이 아닌 배지에 심어 인공적으로 조절된 양액을 급액하면서 재배하는 방식을 의미하며 연작장해, 작업의 생력화, 토양전염성 병원균의 회피를 통한 청정재배가 가능하다는 장점을 갖고 있다[11,12].이러한 양액재배의 기원은 최소한 17C로 거슬러 올라가는데 1666년 Boyle은 물만 채운 유리용기내에서 박하나 무의 일종을 재배하였고[11], 이후 19C에 들면서 Liebig와 Knop, Sachs 등에 의해 영양생리학적 기초이론이 정립되면서 1920년대의 Gericke[7], 1960년대 영국의 Cooper[5]에 의하여 양액재배 기술이 체계화 되기 시작하였다. 한편, 배지를 이용한 양액재배는 1960년대 이전까지는 자갈과 모래가 주로 이용되었다가 1960년대 말에는 피트모스를 이용한 자루재배가 이루어졌으며, 1968년에는 덴마크의 Grodan사에서 농업용 암면(rockwool)을 개발하므로써 1970년대에 들면서 유럽에서는 암면재배가 성행하게 되었다.

국내에서는 양액재배가 1980년까지 초기 시설투자비가 많이 소요되고 재배기술이 까다롭다는 점때문에 보급이 제한되었으나 1990년대에 들면서 시설의 연작장해와 노동력의 과중 등이 큰 문제로 대두되면서 토마토, 오이, 상추 등 채소작물을 중심으로 양액재배의 보급이 확대되었다[4,12].국내 양액재배 면적은 1990년 이전까지 8.1ha였던 것이[4], 1994년말에는 급격히 증가하여 53.5ha로 확대되었으며 이중 토마토가 13.3ha(30.7%), 오이는 15.5ha로서 36%를 점유하고 있어 이들 2개 품목이 전체 양액재배 면적의 66.7%에 이르고 있는데 주로 재배되고 있는 재배방식은 토마토의 경우 암면경이 44.9%, 오이는 펄라이트경이 58.4%로써 고형배지경이 대부분이다[12].이처럼 과채류의 양액재배에서 고형배지경 면적이 늘어나고 있는 것은 비고형배지경(수경)에 비해 근권의 환경에 대한 안정성이 증대되어 재배의 위험성을 경감시킬 수 있기 때문으로 생각된다. 그러나, 암면의 경우는 자체가 갖는 이화학적 특성이 작물에 매우 유용하지만 사용후 폐기시 처리 문제가 크게 대두되면서 그 대체배지의 개발에 많은 연구가 집중되고 있는데[9,10], 최근에 산업과학기술연구소와 원예시험장에서 펄라이트와 훈탄, 왕겨 등을 적정비율로 혼합하여 성형화한 대체배지가 개발되고 있는 중이다.

펄라이트는 영국, 이스라엘, 네덜란드 등에서 양액재배용 배지로써 이용하려는 연구개발이 많이 이루어져 있는데[6,16], 1989년 영국의 HRI Stockbridge House에서 펄라이트와 암면을 이용하여 오이를 재배한 결과, 생산성에 유의차가 없었으며 품종에 따라 펄라이트 재배구에서 조기 수확이 가능한 것으로 보고하고 있다. 반면, 펄라이트의 경우 자체가 갖는 모관력은 크지만 입자 직경에 따라 배수성이 지나치게 커서 정식후 초기 활착이 곤란해질 우려가 있으므로 재배용기의 종류나 급액방법을 적정화하여야 하며 또한, 펄라이트의 입자 크기를 잘 선택하거나 왕겨, 훈탄, 입상 암면 등 다양한 이종 배지를 혼합한 배지의 활용 등도 검토할 필요가 있는 것으로 알려지고 있다[11,16].

따라서, 본 연구는 과채류의 양액재배에 광범위하게 사용할 수 있는 펄라이트의 단용 및 혼합배지를 이용하여 생육과 수량을 안정화할 수 있도록 재배용기를 적정화하고 배지의 특성에 따른 급배액 관리방법과 이용 방법을 체계화하기 위하여 다양한 재배조에 펄라이트 단용 및 혼합배지를 충진하여 재배 실험을 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 재배조의 종류와 이용

펄라이트의 단용 및 혼합배지를 PE필름자루에 충진하여 재배할 경우 배지의 용량은 6~10ℓ/주 범위로 다양하며, 자루의 용량을 60ℓ 정도로 하여 6주를 재식하는 방법과 연결된 PE duct를 사용하기도 한다[6,11].최근에는 플라스틱으로 성형된 베드에 충진하거나 간이형 펄라이트 재배로 지면을 15cm 깊이로 부직포와 PE 필름으로 피복한 후 펄라이트를 충진하여 오이를 재배한 사례도 있으며, 영국에서는 자루나 gully 등에 충진하여 연구한 결과가 있다[1,16].

본 실험에서는 사용한 재배용기는 스티로폼 성형베드(내부 H15×L120×W40cm, 72ℓ), 스티로폼 과실상자(내부 H15×L50×W40cm, 30ℓ)와 자체 제작한 PE자루(두께 0.1mm, 직경 30cm, 길이 90cm, 60ℓ) 및 와그너 폿트(Wagner pot, 직경 16cm, 높이 19cm, 3.8ℓ) 등을 사용하였다. PE자루의 충진배지 높이는 30cm였으며, 스치로폼 성형베드와 과실상자는 동일하게 15cm

로 배지를 충진하였다. 또한, 바그너 폿트의 경우는 16cm로 배지를 충진하여 충진량은 3.0ℓ였으며 여기에 2주를 재식하여 주당 배지량은 1.5ℓ였다. 스치로폼 성형베드의 재식주수는 10주(7.2ℓ/주), 스치로폼 과실상자는 3주(10ℓ/주)였으며 PE자루는 5주를 재식하여 주당 배지량은 12ℓ로 하였다.

2. 충진배지의 종류 및 급배액관리

펄라이트는 작물재배용 배지보다는 파종, 육묘용 배지로 널리 알려져 왔다. 펄라이트를 작물의 양액재배용 배지로 적용하고자하는 시도는 1970년대초부터 미국, 이스라엘, 이탈리아 등에서 많이 보고되고 있다[6,11].펄라이트는 통기성, 배수성이 우수할 뿐만아니라 경량이고 취급이 용이하며 배지로부터 대기로 수분을 서서히 방출하므로서 습도를 적정하게 유지시켜줄 수 있는 특성과 빛을 반사시키므로서 병충해를 예방할 수 있다는 장점도 알려져 있어 파종, 육묘 뿐만아니라 재배과정에 적용 가능한 배지로 널리 활용되고 있다[6,16].

국내에서는 피트모스, 바크 등을 혼합한 혼용배지로서 활용한 양액재배 시험은 몇몇 있었지만 단용으로 사용한 예는 자루에 충진하여 오이, 토마토를 양액재배한 결과가 있으나 시스템 구조가 불량하고 배지 자체의 물리화학적 특성에 대한 충분한 이해가 따르지 못하여 양액재배용 배지로는 크게 부각되지 못했다[9,11].

본 실험에서는 배지의 조성을 펄라이트 단용(대립 펄라이트 70%+세립 펄라이트 30%), 펄라이트:왕겨 혼합배지(대립 펄라이트+왕겨=70% : 30%), 펄라이트:훈탄 혼합배지(대립 펄라이트+훈탄=70% : 30%)로 처리하였다. 대립 펄라이트는 2.5mm~5.0mm, 세립 펄라이트는 2.5mm 이하의 직경을 가진 펄라이트(삼손, 파라트 1, 2호)를 사용하였다. 양액은 山崎의 오이처방액(EC 2.2mS, pH 6.0)을 표준으로 하여 과실이 비대되기 시작하면서부터는 1.5배농도(EC 3.1mS, pH 6.0)로 급액하였다. 양액의 공급방법은 양액탱크(3ton)내 양액의 농도와 산도를 조절한 후 타이머를 이용하여 맑은 날은 11회, 흐린날은 6회 급액하였고 1회당 급액량은 주당 200mℓ로 하였다.

3. 재배실험

본 실험은 1994년 8월부터 11월까지 전남대학교 농과대학 시설원예 실험포의 플라스틱 온실에서 실시하였다. 조생낙합오이(중앙종묘)를 공시하여 8월 25일에 피트모스에 파종하였으며 본엽전개후 山崎의 오이처방액 1/2농도로 양액육묘하였고, 본엽이 3~4매 전개된 9월 2일에 정식하였다.

조사항목은 초장, 경경, 엽수, 엽장, 엽폭, 절간장, 착과수, 착과절위, 엽과 경의 생체중 및 건물중을 정식후 25일부터 53일까지 7일간격으로 5회 조사하였으며, 과실 수량조사는 정식후 34일부터 시작하여 62일까지 수량을 조사하였고 품질 비교를 위해 곤봉과, 어깨빠진과 등 생리장해 및 기형과를 조사하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

상이한 종류의 재배용기와 충진배지에 따라 정식후 53일된 오이의 생장량이 다르게 나타났는데 펄라이트 단용처리의 경우 스치로폼 재배용기 10ℓ를 충진한 과실상자에서 엽면적이 가장 많았으며 엽수를 제외한 초장, 경경, 절간장도 크게 나타났다. 배지량이 가장 적은 와그너 폿트에서 생장량이 가장 저하된 결과를 보였으며 이 경우 펄라이트 단용보다는 생왕겨를 30% 정도 혼용한 처리구에서 엽면적과 경경이 충실한 결과를 보였고 훈탄을 혼합할 경우 초장이 증가되는 경향을 보였다. (표 1)

이러한 결과는 Desmond[6]과 이 등[9]이 보고한 결과와 유사하게 펄라이트 용기재배의 경우 주당 배지의 용량이 6~10ℓ가 적당한 결과를 보였는데 충진배지량이 가장 많았던 PE자루재배의 경우 배지의 높이가 30cm 정도로 높아지므로써 보습성이 저하된데 원인이 있는 것으로 추정되었는데 그러한 이유로 훈탄을 30% 정도 혼합한 배지에서 엽수, 엽면적 및 초장 생장량이 많아지는 결과를 보이므로써 이러한 추정이 가능케 하였다. 특히, PE자루 재배의 경우 펄라이트에 왕겨를 혼합할 경우 경경이 두터워 지고 절간장도 늘어나지만 초장과 엽수는 상대적으로 적어 펄라이트 혼용배지로써는 왕겨보다는 훈탄이 효과적인 결

Table 1. Growth responses of hydroponically grown cucumber as affected by different containers and substrates at 53days after transplanting.

Container	Substrate (%)	Plant ht. (cm)	Stem dia. (mm)	Internode length(cm)	No. of leaves	Leaf area (cm2)
Styrofoam bed	Perlite100	266.8^{a}	7.86^{b}	10.97^{cd}	17.0^{ab}	12,339.6^{b}
	Perlite70+RH30	237.8^{b}	7.57^{cd}	10.48ef	15.0^{cd}	10,126.2^{d}
	Perlite70+CRH30	267.0^{a}	7.87^{b}	10.53de	17.7^{a}	8,750.3^{f}
Styrofoam box	Perlite100	275.5^{a}	7.88^{b}	11.48^{ab}	13.0^{ef}	12,679.3^{a}
	Perlite70+RH30	277.0^{a}	7.77^{bc}	11.30^{bc}	16.0^{bc}	10,544.0^{c}
	Perlite70+CRH30	241.5^{b}	7.59^{c}	10.06^{fg}	14.0^{de}	9,606.7^{e}
Plastic bag	Perlite100	222.5^{cd}	7.46^{d}	11.13^{bc}	12.0^{fg}	6,778.3^{h}
	Perlite70+RH30	216.5^{d}	8.25^{a}	11.83^{a}	10.0^{h}	6,061.2^{i}
	Perlite70+CRH30	238.5^{b}	7.11^{e}	10.37^{ef}	13.0^{ef}	8,096.8^{g}
Wagner pot	Perlite100	174.0^{f}	7.10^{e}	9.67^{g}	11.0^{gh}	5,471.4^{kd}
	Perlite70+RH30	204.0^{e}	7.92^{b}	10.20^{ef}	12.0^{fg}	6,131.4^{i}
	Perlite70+CRH30	220.0^{cd}	7.33^{de}	10.48^{ef}	13.0^{ef}	5,778.0^{j}
	Systems (A)	*	**	**	**	**
	Substrates (B)	NS	**	**	**	**
	A×B	**	**	**	**	**

Note : Mean seperation within columns by DMRT at 5% level
RH and CRH represent rice hull and carbonized rice hull, respectively

과를 기대할 수 있을 것으로 생각되었다. 특히, 엽면적은 경시적으로 2차 회귀곡선형 생장이 이루었으며 재배용기를 스치로폼 성형베드와 과실상자를 사용한 처리구에서 생장이 급진적으로 이루어 졌고, 그 경우도 펄라이트 단용구에서 보다 현저한 증가 경향을 보였다. 반면, 자루재배나 폿트재배에서는 엽면적의 증가 경향이 완만하였으며 이 경우 각각 훈탄과 왕겨에서 높게 나타났다. (그림 1)

이러한 생장반응 결과 정식후 34일째인 10월 8일부터 시작하여 62일째인 11월 3일까지 조사한 생산성과 품질에 있어서도 총 과실 생체중은 스치로폼 과실상자를 재배용기로 사용한 펄라이트 단용구에서 주당 938.8g으로 가장 높았으며, 역시 같은 용기의 왕겨 혼합배지에서 916.1g으로 높게 나타났다. 그러나 훈탄 혼합배지에서는 494.0g으로 절반 정도의 수량을 나타냈다. 이는 훈탄 혼합배지 처리구의 배액의 pH가 조사 후반기로 갈수록 상당히 낮게 나타났으며(pH 4.5~5.0), EC의 변화 또한 변화의 진폭(EC 2.6~4.0mS)이 크게 나타난 영향으로 생각되었다. (표 2)

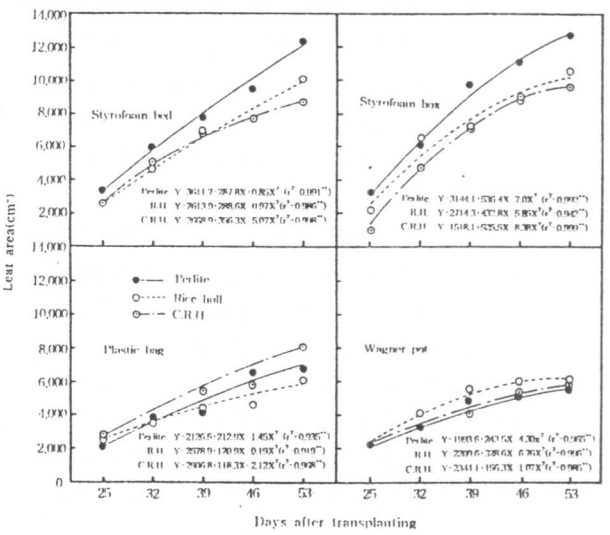

Fig. 1. Changes in leaf area of hydroponically grown cucumber as affected by different containers and substrates at 25 days after transplanting.

재배용기에 따른 과실수량은 스치로폼 과실상자와 성형베드가 높고, 자루재배와 폿트재배가 아주 낮게

Table 2. Fruit growth responses of hydroponically grown cucumber as affected by different containers and substrates.Data were obtained from Oct.8 to Nov.3.

System	Substrates (%)	Totalfruit fresh wt. (g/plant)	No.of fruits (/plants)	Market-able fruits (%)	Abnormal fruits%		
					Curved fruits	Tapering fruits	Others
Styrofoam bed	Perlite100	1,917.6^{a}	12.3^{a}	76.4^{b}	10.5^{ab}	8.2^{de}	4.9^{fg}
	Perlite70+RH30	1,432.8^{c}	11.9^{ab}	77.3^{b}	8.8^{cd}	10.9^{bc}	3.0^{g}
	Perlite70+CRH30	1,353.0^{cd}	10.4^{b}	80.8^{a}	9.4^{bc}	7.6^{ef}	2.2^{g}
Styrofoam box	Perlite 100	2,097.1^{a}	13.4^{a}	74.6^{c}	9.9^{bc}	5.9^{fg}	9.6^{cd}
	Perlite70+RH30	1,796.3^{b}	11.8^{ab}	82.2^{a}	6.7^{e}	5.9^{fg}	5.2^{fg}
	Perlite70+CRH30	1,863.9^{ab}	10.6^{b}	80.2^{a}	9.0^{cd}	4.7^{g}	6.1^{ef}
Plastic bag	Perlite100	1,087.4^{de}	9.2^{bc}	68.5^{c}	12.2^{a}	11.3^{b}	8.0^{de}
	Perlite70+RH30	856.1^{e}	8.2^{c}	70.7^{cd}	10.8^{ab}	6.9^{f}	11.6^{bc}
	Perlite70+CRH30	1,104.5^{de}	9.4^{bc}	68.1^{c}	11.2^{a}	12.5^{b}	8.2^{de}
Wagner pot	Perlite100	1,119.3^{de}	8.2^{c}	64.6^{d}	11.7^{a}	6.3^{f}	17.4^{a}
	Perlite70+RH30	986.7^{e}	6.5^{d}	67.7^{d}	9.9^{bc}	8.8^{cd}	13.6^{b}
	Perlite70+CRH30	888.2^{e}	8.9^{c}	64.0^{d}	7.0^{e}	16.2^{a}	12.8^{bc}

Note : Mean seperation within columns by DMRT at 5% level

RH and CRH represent rice hull and carbonized rice hull, respectively

나타났다. 특히, 펄라이트 단용배지가 각 용기처리에서 과실수량이 높게 나타났으며, 왕겨 혼용배지는 자루재배를 제외한 다른 용기에서 가장 낮은 수량을 보였다. 처리별로는 스치로폼 과실상자를 용기로한 펄라이트 단용구가 2097.1g으로 가장 많았으며 과수도 13.4개로 높게 나타났다. 상품과율은 스치로폼 성형베드와 과실상자에서 70%이상을 나타냈으나 자루재배와 폿트재배는 70%이하로 나타났다. 곡과율과 선세과는 스치로폼 과실상자에서 낮았고 자루재배에서 10% 이상으로 높게 나타나 양분 흡수와 이용성이 원활하지 못하는 것으로 생각되었다.

훈탄을 이용할 경우 자체가 갖는 모관작용으로 유지된 양액이 작물의 양수분의 공급원으로 되지만 작물이 흡수하는 각종 성분의 비율은 각각의 성분에 따라 차이가 있기 때문에 훈탄내부에 존재하는 양액의 조성 비율은 항상 변화한다. 특히 양액이 모관상승하여 훈탄표면에서 수분을 증발하기 때문에 표층에는 염류집적이 일어나고 베드내의 양액조성은 이들의 상호작용에 의해 불균형을 이루게 된다. 이때문에 작물이 흡수하고 또는 증발에 의해 손실된 수분량을 새롭게 공급해주면 베드내의 성분조성의 불균형은 해소될 수도 있고 오히려 더 조장할 수도 있다[15].또한 훈탄은 생육이 진전됨에 따라 베드내 양분의 이동차가 발생하여 베드의 기울기에 따른 위치별 생육차가 심화된다[14].따라서 훈탄을 이용하여 양액재배를 할 경우 가장 중요한 것은 양액의 공급방법이나 베드의 구조가 될 것이다. 본 실험에서 아주 불량한 생육반응을 보인 왕겨배지의 경우 이러한 배지내 양분의 불균형이나 pH의 불균형에 따른 생육부진으로 생각되었다.

또한 Wilson[16]에 따르면 펄라이트 양액재배시 재배조의 하부에서 4cm 정도의 양액 저수조를 만드는 것이 좋다고 하였으나 본 실험에서는 저수조를 만들지 않아 양액의 모관작용에 의한 공급이 부족하고 급액정지시간의 양수분 불균일이 더욱 심화되므로서 공극량이 많은 왕겨와 훈탄 혼합배지에서 생육이 저조한 것으로 판단되었다.

Wilson[16]은 펄라이트 재배시 배지의 높이를 24cm로 할때 근군 형성을 위해 좋다고 하였으나 본 실험에서는 자루재배와 폿트재배를 제외한 다른 처리구에서 배지의 높이가 15cm 정도로 낮아도 생육이 더 양호하여 배지의 높이와 배지의 양에 대한 구체적 실험이 요구되었다.

Wilson[17]과 Benoit 등[2]은 양액재배용 배지로서 펄라

이트의 활용 가능성을 높게 평가하였는데 펄라이트는 화학적으로 안정된 특성을 보이지만 유효수분 함량이 낮으므로 순환식 수경 등으로 전환하여 충분한 배양액을 공급한다면 훌륭한 양액재배 시스템으로 구성할 수 있다고 하였으며[10], 펄라이트의 단점인 유효수분량을 높일 수 있게 피트모스나 입상암면을 혼합하는 것이 좋다고 하였다[2,6,17].그러나 본 실험에서는 이와 상반된 결과를 보였는데 이는 배지의 혼합량이 30%로 적은 편이고 양액의 모관흡수를 도울 수 있는 저수조를 설치하지 않고 곧바로 배액을 시킨데서 오는 차이라고 생각되었으며, 펄라이트의 입자크기에 대한 상세한 실험과 배지의 혼합비율 및 용기내 저수조의 수위조절에 대한 실험이 요구되었다.

참고문헌

1. Adams,P. 1989. Hydroponic systems for winter vegetables. Acta Hort. **278**:181-189.
2. Benoit,F. and N. Ceustermans. 1990. The use of recycled polyuretane as an ecological growing medium. Plasticulture. **88**:41-48.
3. Boyle,R.1666. Origins of forms and qualities according to the corpuscular philosophy. (In. Olympios, C. M. 1992. Acta. Hort. **323**:215-240.
4. 정순주. 1993. 우리나라의 양액재배 현황과 발전방향. 호남시설원예연구소. **1**:1-67.
5. Cooper, A. 1979. The ABC of NFT. Grower Books. London. p. 188.
6. Desmond, D. 1991. Growing in perlite. Grower digest 12. Grower Publications Ltd. UK, pp. 3-5.
7. Gericke,W. F. 1929. Aquaculture, a means of crop production American J. Bor. 16:826.
8. 이용범. 1988. 새로운 양액재용 배지 rockwool의 특성과 이용. 시설원예연구 **1**:75-87
9. 이용범, 박권우, 노미영, 채의석, 박소홍, 김수현. 1993. 자루재배용 배지종류가 토마토 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향. 생물생산환경학회. **2**(1):37-45.
10. Martinez, P. F. 1992. Soilless culture of tomato in different mineral substrates. Acte. Hort. **323**:251-259.
11. Olympios, C. M. 1992. Soilless media under protected cultivation rockwool, peat, perlite and other substrates. Acta. Hort. **323**:215-240.
12. 서범석. 1994. 전남지역의 시설원예현황과양액재배기술의 보급방향. 한국생물생산시설환경학회 발표요지. **3**(2):9-35.
13. Sonneveld, C. and G. W. H. Welles. 1984. Growing vegetables in substrates in the Nethelands. ISOSC Proc. 6th Int. Congress Soilless Culture. 613-632.
14. 丹原一寛, 近藤武由. 1974. もみ穀燻炭利用による施設そ菜の養液栽培(1)-その理論と實際. 農業および 園藝 **49**:423-428.
15. 丹原一寛, 近藤武由. 1974. もみ穀燻炭利用による施設そ菜の養液栽培(2)-その理論と實際. 農業および 園藝 **49**:551-555.
16. Wilson, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. Acta. Hort. **172**:151-156.
17. Wilson, G. C. S. 1986. Tomato production in different growing media. Acta Hort., **178**:115-119.

Perlite 단용 및 혼용처리를 이용한 과채류 양액재배 기술 개발

Ⅱ. 배지의 종류가 양액재배 토마토의 생장과 과실품질에 미치는 영향

정순주* · 서범석** · 이범선* · 이정현*
(*전남대학교 농과대학 원예학과, **호남온실작물연구소)

Development of Hydroponic Technique of Fruit Vegetables Using Perlite and Mixtures with Perlite as a Substrate

Ⅱ. Effects of Substrates on the Growth and Fruit Quality of Hydroponically Grown Cucumber

S.J. Chung*, B.S. Seo, B.S. Lee*, J.H. Lee***
*Dept. of Hort. , Coll. of Agric., Chonnam Nat'l Univ., Kwangju, Korea
**Honam Greenhouse Crop Research Institute, Kwangju, Korea

적 요

본 연구에서는 펄라이트 단용 및 혼합배지를 이용한 양액재배 기술을 정량화하기 위하여 이들 배지 자체가 갖는 물리 화학적 특성에 따른 양액 및 작물체의 관리방법을 계량화하는데 실험 목적을 두고 토마토를 대상으로하여 상이한 배지에 대한 생장반응 및 과실수량을 비교하였다.

1. 초장은 단용배지에서 피트모스(C처리구)와 왕겨배지(D처리구)가 102cm와 101.67cm로 높은 생장을 보였으나 세립 펄라이트는 80.67cm로 가장 작은 초장을 나타냈다. 혼합배지의 경우 펄라이트의 함량이 많은 처리구(F, G, H처리구)에서 초장이 높은 것으로 나타났다.

2. 엽면적은 단용배지보다는 혼용배지에서 높게 나타났으며, 특히 F처리구(대립 펄라이트+세립 펄라이트+피트모스=5 : 3 : 2)에서 2,893cm²로 가장 높았다.

3. 상대생장율(RGR)은 F, B, G, A처리구 순으로 높았고, 순동화율(NAR)도 이와 유사한 경향을 나타냈다.

4. 총과실수량은 세립 펄라이트 단용처리구에서 5,103g으로 가장 많았으며, 왕겨 단용처리구가 가장 낮아 3,213g이었다. 펄라이트의 양이 많을수록 수량이 높았으며 왕겨의 사용량이 많을수록 수량이 낮게 나타났다.

5. 당도는 수량이 많은 세립 펄라이트 단용처리구가 4. 99~5. 38, 대립 펄라이트+세립 펄라이트+훈탄 = 5 : 3 : 2로 혼합한 처리구에서 5. 26~5. 43 정도를 나타냈으며. 수량이 가장 적은 왕겨 단용처리구가 전체 화방에서 6 이상의 당도를 나타냈다.

Ⅰ. 서 론

고형배지를 이용한 토마토의 양액재배는 기존에 암면배지를 주로 이용한 생산체계가 주류를 이루고 있으며, 현재 국내 토마토 양액재배 면적은 94년말까지 총 13.3ha로써 재배방식별로 보면 암면경이 45%, 이어 펄라이트 재배는 3.1ha를 점유하고 있으며 나머지는 NFT, DFT 및 왕겨, 훈탄을 이용한 고형배지경이 이루어 지고 있다[3,8].

토마토는 재배기간중 영양생장과 생식생장이 동시에 이루어 지며 생장상의 균형있는 조절 기술이 곧 다수확 안정생산 기술이 된다고 할 수 있다. 양액재배에서는 이를 조절하기 위하여 배양액중의 질소 및 가리 수준을 달리하거나 재배용기나 배지의 종류에 따른 이화학적 특성과 급액관리 방법에 따른 양수분의 효율적 이용 등의 방법[4,6,7,13] 등 다양한 방법이 이루어 지고 있다.

펄라이트를 이용한 토마토 양액재배는 급액관리 기술, 작업성, 경제성 등의 측면에서 영국, 이스라엘, 네델란드 등 각국에서 실용화 연구가 진행되고 있지만[5,13] 국내에서는 고형배지경에 이용할 수 있는 배지의 종류가 모래, 자갈 등 무기질과 왕겨, 훈탄, 톱밥, 수피 등을 제외하면 대부분 수입에 의존되고 있어 고형배지경의 보급을 제한하고 있는 상황이며[6,7], 최근들어 여러 대학, 시험, 연구기관에서 암면을 대체할 수 있는 배지의 개발을 서두르고 있어 그 기대가 크다.

본 연구에서는 펄라이트 단용 및 혼합배지를 이용한 양액재배 기술을 정량화하기 위하여 이들 배지 자체가 갖는 물리 화학적 특성에 따른 양액 및 작물체의 관리방법을 계량화하는데 실험 목적을 두고 토마토를 대상으로하여 상이한 배지에 대한 생장반응 및 과실수량을 비교하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

실험은 1994년 12월 부터 95년 5월까지 전남대학교 농과대학 원예학과 시설원예학 실험포 플라스틱 온실(100평)에서 수행하였다. 중과형 품종인 "Katinka (DeRuiter Seed Co.Ltd., Holland)"를 공시하였으며, 94년 9월 27일에 피트모스에 파종하여 본엽 4~5매 전개되었을 때 포트에 가식하였으며, 육묘용 배지는 시판 상토(피트모스 : 펄라이트 = 3 : 2)를 이용하였고, 화란 PTG양액 1/2농도로 양액육묘하였다. 정식은 94년 12월 5일에 정식간격 20cm로 정식하였다.

재배방법은 비순환식 고형배지경으로 재배용기는 스치로폼 성형베드(H18×L120×W40cm)로서 배지의 충진량도 86l로서 주당 배지량은 7.2ℓ였다. 양액탱크는 3ton용량으로 콘크리트 구조물로 제작하였으며, 1/6HP(125W,1.8ton/h)의 펌프를 타이머에 연결하여 주간에는 2시간 간격 6~7회 급액하고 야간에는 1회 작동시켜 1일 주당 1.6~1.8ℓ를 점적급액하였다. 양

Table 1. Composition of substrates used in the experiment

Treatment	Substrate	Coarse perlite (2.5~5mm)	Fine perlite (2.5mm)	Peatmoss	Rice hull	Carbonized rice hull
Single substrates	A	100	—	—	—	—
	B	—	100	—	—	—
	C	—	—	100	—	—
	D	—	—	—	100	—
	E	—	—	—	—	100
Mixed substrates	F	50	30	20	—	—
	G	50	30	—	—	20
	H	50	30	10	10	—
	I	—	40	10	50	—
	J	—	50	—	50	—

액은 화란의 PTG시험장에서 개발한 토마토전용배양액으로 관리하였다.

배지는 단용배지와 혼합배지로서 총 10처리였으며, 대립 펄라이트(직경 2.5~5mm, 삼손 파라트 1호), 세립 펄라이트(2.5mm 이하, 삼손 파라트 2호), 피트모스, 왕겨, 훈탄 등의 5가지 단용처리와 펄라이트를 기본으로 한 5가지 처리의 혼합배지 5처리였으며, 처리내용은 표 1과 같다.

재배방법은 6화방 위 2엽을 남기고 적심하였고, 과실착과를 위해 토마토톤 10ppm을 화방당 3화가 개화될 때 살포하였다. 생육조사는 정식후 2일째부터 10일 간격으로 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 각 기관별 생체중과 건물중을 6회 조사하였다. 과실수량은 6화방까지의 각 처리에 따른 과수, 생과중, 과경, 과고를 조사하였고, 과실의 당도(U.K, Bellingham & Stanley Ltd.) 및 산도(pH meter)를 측정하여 처리간 품질을 상호 비교하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

정식후 52일째의 배지의 종류별 양액재배 토마토의 생장특성을 비교한 결과, 적심을 하지 않은 상태에서 초장은 단용배지에서 피트모스(C처리구)와 왕겨배지(D처리구)가 102cm와 101.67cm로 높은 생장을 보였으나 세립 펄라이트는 80.67cm로 초장생장이 낮았다. 혼합배지의 경우 펄라이트의 함량이 많은 처리구(F, G, H처리구)에서 초장이 높은 것으로 나타났다. 단용배지에서의 경경도 초장생장이 좋은 피트모스와 왕겨배지에서 높은 경향을 보였고 혼합배지에서는 펄라이트와 피트모스를 혼합한 F처리구가 높게 나타났다. 엽수와 엽면적간에는 혼합배지에서 두 특성이 유사하였지만 단용배지의 경우 그렇지 못한 결과를 나타냈다. 엽면적은 F처리구(대립 펄라이트+세립 펄라이트+피트모스=5 : 3 : 2), I처리구(세립 펄라이트+피트모스+왕겨=4 : 1 : 5), G처리구(대립 펄라이트+세립펄라이트+훈탄=5 : 3 : 2)의 순으로 높게 나타나 단용배지보다는 혼용배지에서 엽면적 확보에 더 효과적인 것으로 판단되었다. 총 건물 생산량에서는 세립 펄라이트 단용 처리구(B처리구)와 펄라이트와 피트모스 혼합배지처리구(F)에서 높게 나타났다. (표 2)

표 2의 결과를 기초로한 생장해석의 결과, 상대생장율(RGR)은 F>B>G>A처리구 순으로 F처리구가 가장 높았고, 순동화율(NAR)도 이와 유사한 경향을 나타냈다. 이에 반하여 엽면적 지수(LAI)는 F, I, G, H, C, J순으로 높게 나타났는데 F처리구는 LAI도 높고 NAR도 높게 나타나 생장 효율이 높은 것으로 나타났다. 비

Table 2. Growth characteristics of hydroponically grown tomato as affected by the different substrates. Data were obtained at 52 days after transplanting.

Character	Plant	Stem	No.of	Leaf	Fresh wt. (g/pl.)					Dry wt.(g)				
	(cm)	(mm)	(ea)	(cm^2)	Leaf	Stem	Root	Cluster	Total	Leaf	Stem	Root	Fruit	Total
Treat.	ht.	dia.	leaves	area.										
A	98.33^{abc}	11.57^{d}	23.33^{bc}	2248^{cde}	134.0^{c}	73.73^{bc}	38.57^{bc}	192.4^{a}	438.7^{b}	16.94^{c}	8.09^{bcd}	4.22^{abc}	14.86^{bc}	44.11^{b}
B	80.67^{d}	13.34^{bcd}	25.33^{a}	1991^{d}	167.1^{ab}	70.43^{c}	30.93^{cd}	144.1^{cd}	412.6^{d}	19.85^{ab}	8.07^{bcd}	4.25^{abc}	18.80^{a}	50.97^{a}
C	102.00^{abc}	15.02^{a}	25.00^{ab}	2395^{bcde}	178.4^{a}	84.33^{a}	26.33^{d}	125.3^{d}	414.4^{d}	19.49^{abc}	9.16^{ab}	2.29^{d}	11.16^{d}	42.10^{bc}
D	101.67^{abc}	12.87^{cde}	24.67^{abc}	2113^{cd}	156.3^{abc}	71.63^{c}	39.07^{b}	155.6^{c}	422.7^{cd}	17.71^{bc}	7.97^{bcd}	4.21^{abc}	12.85^{cd}	42.74^{bc}
E	100.17^{abc}	14.67^{ab}	23.00^{c}	2246^{cde}	160.5^{abc}	74.77^{b}	31.11^{cd}	141.5^{cd}	407.9^{d}	17.86^{bc}	8.05^{bcd}	4.11^{bc}	10.74^{de}	40.76^{c}
F	104.67^{ab}	14.56^{ab}	25.33^{a}	2893^{a}	171.8^{ab}	91.47^{a}	33.03^{cd}	196.4^{a}	492.7^{a}	21.80^{a}	10.04^{a}	3.92^{c}	16.00^{ab}	51.76^{a}
G	104.83^{a}	13.99^{bc}	24.33^{abc}	2630^{abc}	166.0^{ab}	84.70^{a}	37.70^{bc}	156.6^{c}	445.0^{b}	19.08^{bc}	8.97^{abc}	3.72^{c}	12.92^{cd}	44.69^{b}
H	96.83^{abc}	13.86^{bcd}	23.67^{bc}	2535^{abcd}	148.0^{bc}	74.83^{b}	35.72^{bc}	177.3^{b}	435.9^{bc}	17.63^{bc}	7.79^{cd}	4.01^{bc}	13.77^{cd}	43.20^{b}
J	96.67^{bc}	13.22^{bcde}	25.00^{ab}	2799^{ab}	167.5^{ab}	83.63^{a}	41.13^{b}	116.2^{e}	408.5^{d}	20.21^{ab}	9.02^{abc}	4.76^{ab}	9.47^{de}	43.46^{b}
J	94.00^{c}	11.88^{de}	24.33^{abc}	2388^{bcde}	152.0^{abc}	73.13^{bc}	48.43^{a}	152.3^{cd}	425.8^{c}	18.19^{bc}	7.65^{d}	4.95^{a}	8.38^{e}	39.17^{c}

Mean separation within column by DMRT at 5% level

엽면적(SLA)은 펄라이트에 피트모스와 왕겨가 10%씩 혼합된 H처리구가 143.8로 가장 높게 나타나 타 처리구보다 엽두께가 얇은 것을 알 수 있었다. 또한 B처리구는 RGR과 NAR이 가장 높은 경향을 보였으며, 단위면적당 단위시간당 건물증가량을 나타내는 개체생장율(CGR)을 보면 F, B, G, A, I의 순으로 높게 나타났으며, J처리구에서 CGR이 가장 낮게 나타났다. 특히 건물증가에 대한 엽면적의 증가비율을 나타내는 엽면적비(LAR)는 생육이 저조한 H, I, J처리구에서 높게 나타났는데 이들 처리구에서 근권환경의 불량에 따라 엽이 source로서 작용하여 더 많은 광합성 증진을 위한 엽의 형태적 적응양상에도 배지간 차이가 큰 것으로 나타났다. (표 3)

Table 3. Growth analysis of hydroponically grown tomato as affected by the different substrates, during 52 days after transplanting.

Item / Treat.	RGR (g/g/day)	NAR (g/m²/day)	LAR (cm²/g)	LAI (cm²/m²)	SLA (cm²/g)	CGR (g/m²/day)	T/R ratio	DMPR(%)			
								Leaf	Shoot	Root	Cluster
A	0.0562	0.00102	55.15	3887.8	132.70	3.96	9.45	36.5	17.3	9.0	37.2
B	0.0597	0.00129	46.08	3587.0	100.25	4.64	10.99	37.4	14.7	7.8	40.2
C	0.0510	0.00093	59.37	4055.2	122.87	3.76	17.38	45.2	21.0	4.4	29.4
D	0.0555	0.00103	54.07	3731.1	119.29	3.83	9.15	39.8	17.6	9.3	33.3
E	0.0543	0.00093	58.15	3885.7	125.77	3.63	8.92	42.4	18.7	9.5	29.3
F	0.0600	0.00102	58.57	4607.5	132.72	4.72	12.20	40.9	18.6	6.9	33.6
G	0.0565	0.00093	60.72	4318.8	137.84	4.02	11.01	41.3	19.2	7.7	31.9
H	0.0557	0.00092	60.61	4212.7	143.77	3.87	9.77	39.1	16.9	8.7	35.3
I	0.0559	0.00087	64.54	4504.5	138.48	3.90	8.13	45.4	19.9	10.5	24.1
J	0.0534	0.00086	62.22	4047.6	131.28	3.47	6.91	45.2	18.5	12.4	23.9

RGR ; relative growth rate, NAR ; net assimilation rate, LAR ; leaf area ratio, LAI ; leaf area index,
SLA ; specific leaf area CGR ; crop growth rate, DMPR ; dry matler partitioning ratio, T/R ration : top/root ratio

배지의 종류에 따른 토마토의 화방별 과실수량은 전반적으로 1화방의 수량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 1화방중에서는 G처리구(대립 펄라이트+세립 펄라이트+훈탄=5 : 3 : 2)에서 1,343g으로 가장 많았으나 2화방에서는 575g으로 저하한 반면 B처리구(세립 펄라이트 단용)에서는 1화방이 1,031g, 2화방이 1,085g으로 모두 높게 나타났다. 수확량이 가장 적은 처리구는 왕겨 단용으로서 전체 화방이 700g 이하의 수량을 보였는데 이는 왕겨의 유효수분량이 낮다는 물리적 특성에 기인한 것으로 보인다. 또한 혼합배지에서도 황겨가 혼합된 H, I 및 J처리구가 낮은 수량을 보였다. 따라서 왕겨를 사용시에는 생육과 수량에 직결되는 근권의 유효수분량을 높일 수 있는 방법을 모색해야 할 것으로 판단되었다. (그림 1)

총수확과중을 비교하면(표 4) B처리구인 세립 펄라이트(직경 2.5mm 이하) 단용처리구가 총 5,103g으로 가장 많은 수량을 보였으며, 다음으로는 훈탄과의 혼용처리구인 G처리구가 5,005g이었다. 총 수확과중이 가장 낮은 처리구는 왕겨 단용인 D처리구로 나타나 유효수분량이 생육 및 과실수량에 중대한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 주당 과실수는 세립 펄라이트 단용처리구(B)가 56.3개로 가장 높았고 다음이 F, G, D처리구 순으로 높게 나타났다. 당산비는 수량이 가장 저조하고 평균과실중도 60.3g으로 가장 낮았던 E처리구(왕겨 단용배지)에서 1.72로 높게 나타났고 수량이 많은 B와 G처리구가 1.32와 1.37로 낮게 나타내므로서 당산비는 과실내 수분함량과 관련된 배지의 수분보유력과 깊은 관련성이 있는 것으로 추정된다.

Table 4. Fruit characteristics of hydroponically grown tomato as affected by the different substrate.Data were obtained at May 12.

Item / Treatment	Total fruit yield (g/pl.)	No.of fruit (ea/pl.)	Average fruit wt. (g/ea)	Soluble solids/ Acidity ratio
A	3614^{c}	42.7^{c}	84.7^{c}	1.48
B	5103^{a}	56.3^{a}	90.6^{b}	1.32
C	3440^{c}	42.1^{c}	81.7^{c}	1.45
D	2997^{d}	49.1^{b}	60.3^{d}	1.72
E	4268^{b}	43.3^{c}	98.5^{a}	1.36
F	4160^{b}	50.3^{b}	82.7^{c}	1.41
G	5005^{a}	49.7^{b}	100.8^{a}	1.37
H	4104^{b}	42.3^{c}	96.9^{ab}	1.32
I	4015^{b}	43.0^{c}	93.4^{b}	1.46
J	3597^{c}	43.3^{c}	83.0^{c}	1.40

Mean separation within column by DMRT at 5% level.

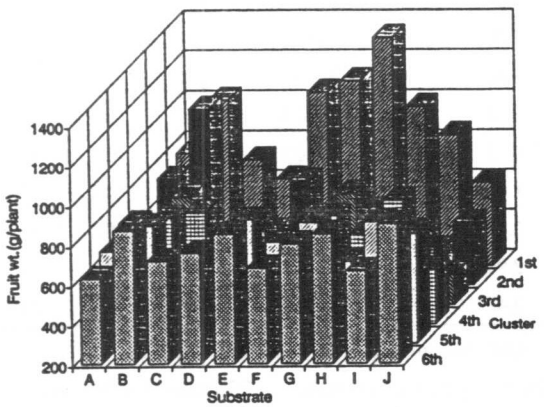

Fig. 1. Comparisons of fruit yields per cluster of hydroponically grown tomato as affected by the different substrates.Data were obtained at May 12, 1994.

李 등[6]은 자루재배시 배지에 왕겨의 혼합비율이 높아질수록 수량이 낮아지는 경향을 보였다고 보고하였는데 본 실험에서도 왕겨 단용이나 혼용배지에서의 생육 및 수량이 낮아 같은 결과를 보였는데 이는 초기에 수분함유량이 낮고 후기에는 자체 부숙에 따른 질소요구량이 증가한데 원인이 있는 것으로 생각되었다.

배지의 혼합비율에 따른 토마토의 화방별 평균 당도를 나타낸 것이 그림 2이다. 당도는 최저 4.95에서 7.38까지 다양하였으나 대부분 5.3 정도로 당도가 상당히 높게 나타났다. 수량이 많은 B처리구는 4.99~5.38, G처리구는 5.26~5.43 정도를 나타냈다. 특이한 것은 왕겨 단용처리구인 D처리구가 전체 화방에서 6 이상의 당도를 나타냈으며, 특히 4화방과 6화방은 7 이상의 당도를 나타냈다. 이는 왕겨자체가 갖는 수분보유력과 작물의 유효수분이 저하한데 기인한 것으

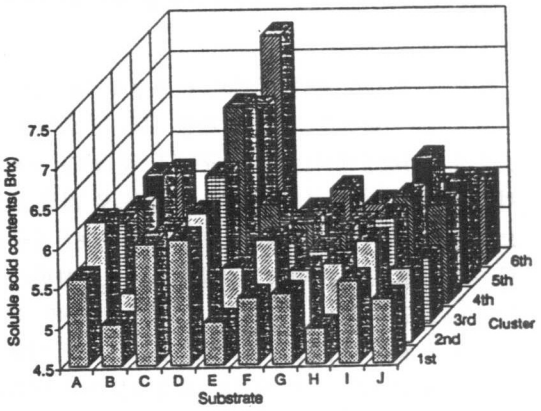

Fig. 2. Comparisons of fruit soluble solids contents in each clusters of hydroponically grown tomato as affected by the different substrates.

로 추정된다.

국내에서는 플라스틱으로 성형된 베드에 배지를 충진하거나 간이형 펄라이트재배로 15cm깊이로 부직포와 PE필름으로 피복한 후 펄라이트를 충진하여 토마토를 재배하므로서 양수분의 이용효율을 증대시키려는 연구가 진행되고 있으며, 외국에서는 펄라이트나 피트 등을 단용 또는 혼용하여 충진하고, 보수력을 증진시키기 위하여 재배조 저면부에 일정 수위를 유지시키므로서 과채류의 품질을 향상시키려는 연구[1,11,16] 들이 진행되고 있다.

토마토 재배용 고형배지로서는 펄라이트와 질석 및 암면의 이용성을 높이 평가한 예[9]와 양액재배 배지로서 펄라이트의 활용성을 검토한 예[2,14]가 있지만 대부분의 연구[2,1012,14,16]에서 펄라이트의 단점인 유효수분량을 높일 수 있는 피트모스나 입상면 등을 넣는 것이 좋다고 하였으나, 본 실험에서는 이들의 결과와 달리 펄라이트 단용, 특히 세립 펄라이트를 사용한 처리구와 왕겨를 20%정도만 혼합한 처리구에서 생육과 수량이 높게 나타나 상반된 결과를 보였는데 이는 세립 펄라이트를 사용하므로서 배지내 수분상태가 좋아진데서 기인한 것으로 생각되었다.

李 등[6]은 토마토 자루재배시 배지를 단용으로 처리시는 훈탄, 질석과 락울에서의 수량이 높으며 혼합배지에서는 펄라이트와 락울, 피트모스와 질석 및 락울을 혼합처리할 경우 수량이 높다고 하였으나, 본 실험에서는 단용배지의 경우 세립 펄라이트, 혼용의 경우에는 대립펄라이트+세립펄라이트+훈탄=5 : 3 : 2 의 비율로 혼합한 배지에서 수량이 양호하게 나타나 다른 양상을 보였으며, 이는 재배용기와 관련된 양수분 이용효율이 상이한 것에서 차이를 보인 것으로 생각된다.

본 실험에서는 기존의 보고와는 달리 펄라이트 단용이나 펄라이트 배합 비율이 높은 혼용배지에서 생육과 수량이 높게 나타났는데 이는 세립 펄라이트가 적정 수분보유율을 유지하는데 적절했던 것으로 생각되며, 재배조 저면에 저수조를 설치하지 않아 시스템 설치면에서 기존 보고의 시스템과 차이가 있는 것에 대한 추후 검토가 따라야 할 것으로 판단되었다.

인용문헌

1) Adams, p. 1989. Hydroponic systems for winter vegetables. Acta Hort. **278**:181-189.

2) Benoit,F. and N. Ceustermans. 1990. The use of recycled polyuretane as an ecological growing medium. Plasticulture. **88**:41-48.

3) 정순주. 1993. 우리나라의 양액재배 현황과 발전방향. 호남시설원예연구소. **1**:1-67.

4) 정순주, 서범석, 이범선. 1993. 수경재배 토마토의 생장과 발육에 미치는 질소와 가리 및 상호 작용에 관한 연구. 한국원예학회지. **33**:244-251.

5) Desmond, D. 1991. Growing in perlite. Grower digest 12. Grower Publications Ltd. UK, pp. 3-5.

6) 이용범, 박권우, 노미영, 채의석, 박소홍, 김수현. 1993. 자루재배용 배지종류가 토마토 생육, 수량 및 품질에 미치는 영향. 생물생산환경 **2**:37-45.

7) 朴權瑀, 李龍範, 崔南勳, 鄭鎭喆. 1990. 培地 및 養液의 差異가 오이와 토마토의 收量과 品質에 미치는 影響. 韓國環境農學會誌 **9**:143-151.

8) 서범석. 1994. 전남지역의 시설원예현황과양액재배기술의 보급방향. 한국생물생산시설환경학회 발표요지. **3**(2):9-35.

9) Simidchiev, C., K. Miliev, and V. Kanazirska. 1984. To industrial application of hydroponics in Bulgaria. ISOSC Proc. 6th Int. Congress Soilless Culture. 575-594.

10) Sonneveld, C. and G. W. H. Welles. 1984. Growing vegetables in substrates in the Nethelands. ISOSC Proc. 6th Int. Congress Soilless Culture. 613-632.

11) Wilson, G.C.S. 1980. Perlite system of tomato production. Acta Hort., **99**:159-166.

12) Wilson, G.C.S. 1984. Physico-chemical and physical properties of hortiultural substrates. Acta Hort., **150**:19-32.

13) Wilson, G.C.S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. Acta Hort., **172**:151-156.

14) Wilson, G.C.S. 1986. Tomato production in different growing media. Acta Hort., **178**:115-119.

15) Wilson, G.C.S., D.A. Hall, and A.J. McGregor. 1984. Perlite culture of tomatoes. West of Scotland Agricultural College, Auchincruwe, Technical Note No 219, 6 pp.

16) Wilson, G.C.S., and G.M. Hitchen. 1984. The development in hydroponic systems for the production of glasshouse tomatoes. ISOSC Proc. 6th Int. Congr - ess Soilless Culture, 793-800.