

재사용 플러그 상토의 이화학적 특성 및 재사용 상토가 토마토와 오이의 묘소질에 미치는 영향

변효증^{1*} · 김영식² · 강호민³ · 김일섭³

¹동방아그로 기술연구소, ²상명대학교 식물산업공학과, ³강원대학교 원예학과

Physico-chemical Characteristics of used Plug Media and its Effect on Growth Response of Tomato and Cucumber Seedlings

Hyo-Jeung Byun^{1*}, Young Shik Kim², Ho-Min Kang³, and Il Seop Kim³

¹Dongbangagro Co., LTD, Buyeo 323-932, Korea

²Department of Plant Science and Technology, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea

³Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract. The objective of the present study is to identify the physico-chemical characteristics of used plug media (UPM) and its effect on growth response of tomato and cucumber seedlings. The UPM from commercial media Mix#5 (Sungro co., Ltd.) was used in this study. This media was sterilized by sterilizer at 120°C in 30 minutes at 1.5 atm. Physicochemical properties of UPM was compared with new plug media (NPM). Physical properties such as air volume, particle density, solid volume, bulk density were investigated by three phase device (DIK-1130, Japan). And chemical characteristics such as NO₃-N, P₂O₅, K, Mg, Ca, SiO₂, CEC, OM were investigated by soil spectrophotometer (PTIZEN 1412SA, Mecasys Co., Ltd). The result indicates that air volume and water holding capacity of UPM are lower than NPM (25%, 15%, respectively). Bulk density and soil weight are more than two times higher than NPM per unit volume. Compared to NPM, there were no significant different for pH and EC. But CEC of UPM is lower than NPM 40%. In order to compare growth response and ability absorption of inorganic elements by plants, cucumber and tomato seedlings were used and chemical characteristics after growing of mediums were determined. The result indicated that seeding quality of tomato and cucumber in UPM is less than in NPM and almost inorganic ions of UPM are lower than NPM. So it is necessary to improve physicochemical properties of UPM.

Key words : used media, physico-chemical characteristics, plug seedlings

서 론

과채류의 품질과 높은 생산성을 확보하기 위해서 양질의 묘를 양성하는 것은 매우 중요한 요소이다. 과채류 육묘에서 건진묘의 조건으로는 정식 후 활착이 양호하고, 정식 전후 환경변화에 잘 견디며, 영양생장과 생식생장의 적절한 밸런스 유지를 통한 초중기 수량 확보되어야 하며, 토양 병해에 대한 저항성이 높을 것으로 요약될 수 있다(Kubo 등, 1991). 이러한 양질 묘의 형태적 지표로는 지상부 생체중과 건물중, 근중,

경경, 엽면적 등이 지표로 활용되고 있으며, 묘의 형태적 밸런스 측면에서는 지상부 무게와 초장의 비율, TR율, 줄기와 뿌리의 비율(SR비), 잎과 줄기의 중량비(엽경비율) 등이 검토되고 있다. 한편 묘의 체내성분을 대상으로 하는 생리적 측면에서는 함수량, 당함량, 질소함량, 탄소함량 등의 성분과 각 성분 간의 비율이 주로 묘의 화이분화 및 활착과의 관계에 관해서 주로 논의되고 있다. 원예작물 육묘용 혼합상토는 통기성, 보수성, 흡수력, 침투속도 등의 물리성이 적절하여야 하고(Beardsell, 1979; DeBoodt and Verdonck, 1972; Robert 등, 1989), 안정된 pH를 유지해야하며, 불필요한 무기양분과 유기성분의 함량이 적으며, 양이온치환용량(CEC)이 높아 완충력이 크고, 장기간 저장에도

*Corresponding author: hbyun@dbagro.co.kr
Received July 4, 2012; Revised July 24, 2012;
Accepted August 23, 2012

안정하여야 한다. 또 병충잡초종자 등이 없어야 하고 무게가 가벼워 취급이 용이하고, 재료가 저렴하고 원활하게 공급되어야 한다(Araki, 1980; Kim 등, 2010).

이와 같은 상토 조건들을 충족하기 위하여 국내에서 원예용 상토의 원료로 사용되는 재료는 피트모스, 부숙수피, 팽연왕겨, 코코넛 야자의 껍질(coir)와 같은 유기성재료와 제올라이트, 버미큘라이트, 펄라이트 등과 같은 무기성 재료가 주로 사용되고 있으며, 이중 과채류 공정육묘시 주로 사용되는 플러그상토는 유기질 재료인 피트모스나 코코피트가 주재료로 전량 수입에 의존하고 있다. 수정재배의 경우, 배지 전체를 피트모스나 코이어로만 되어있는 상태에서 재배하기도 하지만 일반적으로 공정육묘용 상토는 육묘의 근간이 되므로 양질묘 생산의 관점에서 작업의 용이성이나 균질성은 물론, 근권의 형성능력이나 묘의 저장성과 정식후 활착정도 등이 중요시되므로, 물리성과 화학성을 더 좋게 하기 위해 피트모스에 펄라이트나, 질석, 제올라이트 등 다른 혼합물과 함께 사용하고 있다(Choi 등, 1997; Choi 등, 2002; Lee 등, 1999; Park 등, 2003).

공정육묘시 전량 수입에 의존하고 있는 육묘상토는 과채류 묘생산 원가의 20~30%를 차지하는 매우 중요한 부분으로 육묘장의 경영합리화를 위해서는 상토가 차지하는 부분에 원가 절감이 선행되어야 한다. 현재 공정육묘장에서 농가에 공급되고 있는 과채류 플러그묘 중에 토마토와 오이는 70% 이상, 참외나 수박은 거의 대부분이 연작에 의한 토양전염성 병해를 회피할 목적 등으로 접목육묘를 실시하고 있다. 그러나, 접목

작업 후 대목 또는 일부 접수용으로 사용된 상토는 전량 버려지고 있는 실정으로, 매년 공정육묘장에서 이러한 방식으로 소모되는 상토가 과채류 육묘에 소요되는 상토의 10~20% 정도인 것으로 추정되고 있다. 경영비 절감 차원에서 이를 재사용하려는 시도가 일부 육묘장에서 이루어지고 있으나, 대목용 등으로 1회 사용되었던 상토는 병 발생 위험성은 물론 물리성과 화학성이 신규상토와 달라 육묘관리에 많은 문제점이 상존하고 있다. 따라서 본 실험에서는 공정육묘장에서 상용할 수 있는 규모의 플러그 상토용 증기소독기를 설계, 제작하고(특허출원중), 이 설비를 통해 생산된 재사용 상토의 이화학적 특성과 재사용 상토가 토마토와 오이의 묘소질에 미치는 영향을 신규상토와 비교 검토하여 플러그 상토의 재활용을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험에 공시된 원예용 상토는 시판용 플러그 상토인 Mix#5(Sungro co., Ltd.)의 신규상토(NPM: New Plug Media)와 동일 상토를 공정 육묘장에서 오이와 토마토의 대목용으로 1회 사용한 뒤 폐기된 상토를 본 시험을 통해 설계, 제작된 상토소독기(Fig. 1, Fig. 2)에 120°C, 15기압에서 30분 동안 증기소독한 후 일정기간 실외에서 풍건시킨 상토를 재사용상토(UPM: Used Plug Media)로 규정하여 실험 재료로 사용하였다. 시험은 신규상토와 재사용상토의 이화학적 특성을

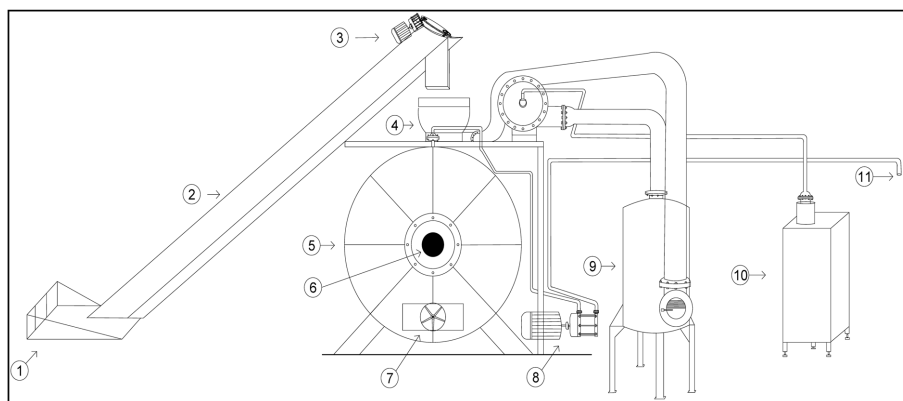


Fig. 1. Schematic diagram of the plug media sterilizer system (① Culture soil slot, ② Conveyor, ③ Motor, ④ Injector box, ⑤ Steam sterilizer, ⑥ Mixer motor, ⑦ Culture soil outlet, ⑧ Steam vacuum pump, ⑨ Steam collection tank, ⑩ Boiler, ⑪ Steam outlet).



Fig. 2. Picture of the plug media sterilizer system.

조사하고, 각각의 상토에서 토마토와 오이의 묘소질을 비교검토 하였다.

1. 상토의 이화학적특성 분석

유럽표준분석방법(CEN, 1999)을 토대로 신규상토(NPM)와 재사용상토(UPM)의 이화학 특성을 조사하였다. 상토의 물리성 분석은 추다짐법(Plunger compaction method)을 이용하여 105°C로 16시간 건조된 상토를 실린더 캡이 결합된 100ml 금속 실린더(Core)에 상토를 채우고 500g추를 상토에 올려놓고 3분간 압력을 가한 후, 보조관을 분리해 내고 토양삼상계(DIK-1130, Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정값인 용적비중(Bulk Density), 입자밀도(Paticle Density), 공극율(Pore Space Ratio), 고상용적(Solid Volume), 기상용적(Air Volume) 등은 Inbar(1993)의 방법을 토대로 다음과 같이 계산하였다.

- 고상용적(Solid Volume) = 상토중량(Substrates) - 금속실린더(Core)/진비중 - 1
- 기상용적(Air Volume) = 100 - 금속실린더(Core)
- 입자밀도(진비중; Paticle Density) = 상토중량(Substrates)/고상용적(Solid Volume)
- 공극율(Pore Space Ratio) = 100 - 고상용적(Solid Volume)
- 용적밀도(가비중, Bulk Density) = 상토중량/100

상토의 보수력측정은 상토를 거름천(filter cloth)으로 하단을 막은 시료관(직경 5.08cm, 용적 100cm³)에 3회 가볍게 두드려 채우고 샌드박스(Eijkelkamp)에 넣

어 하단으로부터 물을 2일간 포화시킨 후, 수분장력 1kPa에서 3일간 물을 배수 시킨 무게를 측정하였다. 그 이후 105°C에 16시간 건조시켜 수분을 완전 제거 후 데시케이터에 넣고 상온으로 식힌 후 건조 시료의 무게를 측정하여 수분중량 함량과 보수력을 다음과 같이 계산하였다.

- 수분중량함량(% , w/w) = 수분의 무게/건조시료의 무게 × 100
- 보수력(%) = 수분중량/토양중량

상토의 화학적 특성은 pH와 EC는 1 : 5(시료 : 증류수)비율로 교반하여 추출한 현탁액을 pH meter(Fish-20, USA)와 EC meter(Orion-50, USA)를 이용하여 측정하였다. NO₃-N, P₂O₅, K, Mg, Ca, SiO₂ 성분 분석을 위해 시료 상토를 1시간 동안 진탕 후 여과지를 사용하여 여과한 액을 각각의 원소 분석시료와 혼합한 뒤, Water Bath를 이용하여 1시간 동안 반응시킨 후 각 원소의 상징액을 토양분광광도계(OPTIZEN 1412SA, Mecasys Co., Ltd.)를 이용하여 측정하였다. 통계분석은 SAS 9.1을 이용하여 T-검정방법과 Duncan의 다중검정으로 실시하였다.

2. 과채류 묘소질 생육특성 비교

과채류 플러그 육묘시 재사용상토의 활용 가능성을 타진하기위해 NPM과 UPM에서 토마토와 오이의 묘소질을 비교, 검토하였다.

공시품종은 문산토코리아(주)의 ‘청강’ 토마토와 신젠타코리아(주)의 ‘한강맛백다다기’ 오이를 27°C에서 최야 후 각각 128공 트레이에 파종하였다. 파종 후 25일경 본 잎이 2~3매 일 때 각각 32공 트레이로 가식하여 지하수로 각 작물별로 생육단계에 따라 1일 1~2회 두상 관수하였다. 시비는 토마토, 오이 모두 관주용 양액비료인 ‘토마토한방’을 묘의 생육stage에 맞추어 EC 1.5~2.0 수준으로 희석하여 주 2~3회 처리구별로 동일하게 시비하였다. 실험기간 중 온실의 야간 최고온도는 15°C 이상, 주간최고온도는 27°C로 유지하였다. 조사주수는 처리구당 30주로 하였으며 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

생육조사는 토마토와 오이를 각각 파종 후 45일과 40일이 경과한 시점에 실시하였으며, 초장, 엽장, 엽폭, 엽록소(Minolta Chlorophyll Meter SPAD-502, Japan),

엽수, 엽면적(Delta-T, Devices Ltd., England), 지상부와 지하부의 생체중과 건물중(Shellab-1501 건조기로 80°C에서 72시간 건조 후 측정), T/R율(지상부 건물중/지하부 건물중), Compactness(조직의 충실도: 건물중과 초장과의 비율), SLA(specific leaf area: 엽면적과 엽 건물중의 비율) 등을 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 상토의 이화학적 특성

시판용 상토(NPM)와 과채류 대목용으로 1회 사용한 후에 재사용을 위해 증기소독된 상토(UPM)의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. UPM의 고상율은 38.3%로 NPM의 11.7%에 비해 3배 이상 높았고, 이와 비례해서 상토 중량과 용적밀도(가비중, Bulk density)가 증가하여 UPM이 NPM에 비해 상토무게는 2.5배 이상, 용적밀도는 2배 이상 높았다. 반면에 기상율은 NPM이 88.6%인데 비해 UPM은 61.7%로 대목용으로 1회 사용 후 증기 소독한 상토가 새 상토에 비해 30% 정도 공극이 감소되는 것으로 나타났다. 입자의 밀도를 나타내는 진비중 역시 UPM이 1 정도로 NPM의 1.24에 비해 20% 정도 감소하였다. 보수력도 상토내 총공극량의 감소 더불어 UPM이 NPM에 비해 15% 정도 감소되었다. 토양의 통기성, 보수력, 작물의 생육상을 나타내는 지표로 자주 이용되는 용적밀도는 토양의 물리성을 나타내는 주요 인자로서 다른 이화학적 특성에 영향을 주며, 공극율과는 반비례 관계에 있다(Beardsell 등, 1979, De Boodt와 Verdonck, 1971). UPM이 NPM에 비해 고상율,

상토 중량, 용적밀도가 높은 것은 대목의 생육과 증기소독 과정에서 입단이 파괴되고 상토 입자가 가늘어져 공극을 미세입자가 막아버린 것에 기인하는 것으로 추측된다. 활성탄 혼합에 따른 상토의 이화학적 특성을 검토한 김 등(2004)의 논문에서도 용적밀도가 활성탄의 혼합비율이 높을수록 증가하는 원인이 관수에 의한 입단파괴와 입자의 미세화로 고찰하고 있다. De Boodt와 Verdonck(1972)은 식물이 성장하는데 최적의 물리성 조건은 총공극 85%, 유효수분함량 55~75%, 대공극이 20~30% 범위라고 하였는데, 상토 재활용을 목적으로 본 실험에서 공시한 UPM의 물리성이 이러한 조건을 충족시키기 위해서는 물리성 개선을 위한 다른 재료와 적정 혼합 조건이 검토되어야 할 것으로 판단되었다.

NPM과 UPM의 화학적 특성을 비교해보면(Table 2), 양이온치환능력, 유기물함량, pH, EC 모두 UPM이 NPM보다 전반적으로 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 토양산도나 전기전도도의 감소정도는 미미하였으나, 양이온치환능력과 유기물함량의 감소폭이 커서, CEC는 60% 정도, 유기물함량은 15% 정도 감소하였다. 무기성분 중에 NO₃-N, K, Ca의 함량은 UPM이 NPM보다 낮았으나, P₂O₅, Mg, SiO₂ 함량은 오히려 새 상토에 비해 한번 사용한 상토에서 높게 나타났다. 이처럼 UPM과 NPM에서 무기성분 함량의 상이한 반응은 수분보유력, 입도분포, 고상율등 물리적 특성 차이와 UPM의 증기소독 과정에서의 열처리에 의한 무기성분의 유효도 변화 등에 기인하는 것으로 추정되나 이러한 사항에 대해서는 금후 추가실험을 통한 정확한 검토가 요구된다.

Table 1. Physical characteristics of new-and used plug media.

Media	Soil (g)	Air volume (%)	Solid volume (%)	Particle density (Mg/m ³)	Bulk density (Mg/m ³)	Water retention (1 bar)		
						Water wt	Soil wt	Total (%)
NPM	14.6	88.6	11.7	1.24	0.15	7.44	11.20	66.4
UPM	39.2	61.7	38.3	1.02	0.39	6.91	14.19	48.7

Table 2. Chemical characteristics of new-and used plug media.

Growing media	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Mg	Ca	SiO ₂
NPM	6.22	0.16	13.9	41.4	113.1	64.1	167.2	44.5	53.2	124.0
UPM	6.13	0.10	8.5	35.0	101.9	88.6	85.7	57.7	48.4	139.8

재사용 플러그 상토의 이화학적 특성 및 재사용 상토가 토마토와 오이의 묘소질에 미치는 영향

Table 3. Growth characteristics of tomato and cucumber seedlings in new-and used plug media.

Crop	Growing media	Plant height (cm)	Leaf chlorophyll (SPAD)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	Specific leaf area ^z (cm ² · g ⁻¹)	Compactness ^y (mg · cm ⁻¹)	Dry weight (g)		T/R ratio
								Top	Root	
Tomato	NPM	28.5	39.0	10.1	241.6	340.1	57.5	1.28	0.34	3.8
	UPM	29.0	38.1	9.5	227.0	311.9	50.8	1.16	0.35	3.3
Significance		ns	ns	*	**	**	*	*	ns	*
Cucumber	NPM	18.5	30.4	8.2	36.3	105.2	68.2	0.45	0.07	6.4
	UPM	17.4	27.8	7.8	30.6	96.4	57.7	0.35	0.04	8.8
Significance		ns	*	ns	*	*	**	*	**	**

^zSpecific leaf area is the values of leaf area divided by the leaf dry weight.

^yCompactness is the values of the plug dry weight divided with the plug height.

ns, *, ** Nonsignificant or significant by t-test at $P = 0.05, 0.01$ level, respectively.

Table 4. Changes in chemical characteristics of new-and used plug media before and after culture of tomato and cucumber seedlings.

Crop	Growing media	pH	EC (mS/cm)	CEC (cmol/kg)	OM (%)	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Mg	Ca	SiO ₂
No cultivation	NPM	6.22	0.16	13.9	41.4	113.1	64.1	167.2	44.5	53.2	124.0
	UPM	6.13	0.10	8.5	35.0	101.9	88.6	85.7	57.7	48.4	139.9
Tomato	NPM	6.10	0.14	11.0	34.8	32.7	21.1	111.0	22.5	42.4	117.6
	UPM	6.01	0.13	7.8	34.5	65.2	47.7	51.4	46.2	49.9	125.9
Cucumber	NPM	6.15	0.18	12.0	38.6	47.1	44.5	91.0	32.1	57.4	76.9
	UPM	6.04	0.10	6.4	32.2	75.0	40.7	98.6	41.4	48.9	125.9

2. 과채류의 묘소질에 미치는 영향

NPM과 UPM에서 육묘한 토마토와 오이의 묘소질을 조사한 결과를 Table 3에 나타냈다.

토마토와 오이 공히 UPM에서 대부분의 생육지표가 NPM에 비해 낮게 나타났다. 토마토에서 초장, 엽록소 함량, 뿌리의 건물중은 상토간에 유의적 차이를 나타내지 않았으나, 엽수, 묘의 충실도, 지상부의 건물중은 5%의 유의성 차이를, 엽면적과 비엽면적(SLA)은 1%의 고도의 유의적 차이를 나타냈다. 오이는 엽수를 제외한 모든 생육 지표에서 유의적 차이를 나타냈다. 특히, 묘의 충실도와 뿌리의 건물중, T/R율에서는 1%의 고도의 유의성을 보였다. 이처럼 새 상토(NPM)에 비해 대목 육묘용으로 한번 사용된 상토(UPM)의 생육 지표가 전반적으로 불량하고, 특히, 과채류 묘의 고품질 여부를 판단하는데 매우 중요한 요소인 엽면적, T/R율, Compactness(조직의 충실도: 건물중과 초장과의 비율), SLA(엽면적과 엽건물중의 비율)에서 고도의 유의성을 보였다는 사실은 UPM을 재활용하기 위해서는

상토의 물리성을 개선하기 위한 사전 작업이 전제되어야 한다고 판단되었다.

UPM과 NPM에서 토마토와 오이를 육묘한 후의 상토내 화학적 특성변화를 조사한 결과를 Table 4에 나타냈다. 재배작물과 상토의 종류에 관계없이 육묘 전의 상토에 비해, 육묘 후에는 pH, EC, CEC, 유기물함량이 모두 감소되는 경향을 보였으며, 육묘전후의 감소 정도는 pH나 EC보다 CEC(NPM은 1.9~2.9cmol/kg, UPM은 0.7~2.1cmol/kg)와 유기물함량(NPM은 6.6~ 9.4%, UPM은 0.5~2.8%)에서 크게 나타났다. 또, CEC와 유기물함량의 감소 정도는 토마토 보다는 오이 육묘 후가 더 크게 나타났다. 무기물 함량도 칼슘을 제외하고는 작물과 상토의 종류에 관계없이 육묘 후의 함량이 육묘 전 상토에 비해 감소하였다. 특히 NO₃-N과 P₂O₅ 성분의 감소 정도가 커서 새 상토에서 토마토 육묘 후에는 재배전 상토에 비해 70% 정도가 감소하였다. 작물별로는 CEC나 유기물 함량의 변화와는 달리 오이보다 토마토 육묘 후에 감소 정도가 크게 나타났다.

적 요

현재 국내에서 농가에 보급되는 플러그 묘종 가지과 작물의 토마토와 박과작물의 오이, 참외, 수박은 평균 70% 이상이 연작에 의한 토양전염성 병해를 회피할 목적 등으로 접목육묘를 한다. 접목작업 후 대목 또는 접수용으로 사용된 상토의 일부는 전량 폐기되는데 이를 재사용하려는 시도가 일부 육묘장에서 이루어지고 있으나 대목용으로 사용되었던 상토는 병발생 위험성은 물론 물리성과 화학성이 신규상토와 달라 육묘 관리에 많은 문제점이 상존하고 있다. 따라서, 본 연구는 시판용 상토(NPM)와 과채류 대목용으로 1회 사용한 후에 재사용을 위해 증기소독된 상토(UPM)의 이화학적 특성과 이들 상토가 과채류 묘소질에 미치는 영향을 조사하여 플러그 상토의 재활용을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다. 토양삼상계를 이용하여 고상용적, 기상용적, 입자밀도, 공극율, 용적밀도 등 상토의 물리적 특성을 조사하였고, 화학적 특성은 토양분석기를 이용하여 NO₃-N, P₂O₅, K, Mg, Ca, SiO₂, CEC, 유기물 함량 등을 조사하였다. 상토의 이화학적 특성을 비교한 결과 UPM이 NPM보다 공극율은 25%, 보수력은 15% 정도 낮았으나, 용적 및 입자밀도는 2배 이상 높아 단위용적당 상토무게도 2.5배 무거운 것으로 나타났으며, pH와 EC는 유의적 차이를 보이지 않았으나, 양이온치환능력은 재사용 상토가 40% 정도 낮았다. 오이와 토마토 재배 결과 신규상토에 비해 재사용상토의 무기이온의 흡수능력과 묘소질이 전반적으로 불량하여 육묘상토의 재활용을 위해서는 재사용상토의 물리성을 개선하기위한 조치가 필요하다고 판단되었다.

주제어 : 상토의 이화학적 특성, 재사용 상토, 플러그 묘

사 사

본 연구는 농림수산식품부의 ‘토마토 수출사업단’과 제의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. Beardsell, D.V., D.G. Nichols, and D.L. Jones. 1979. Physical properties of nursery potting mixtures. *Scientia Horticulturae* 11:1-8.
2. CEN (European committee for standardization). 1999a. Soil improvers and growing media-Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. CEN. prEN 13040.
3. CEN (European committee for standardization). 1999b. Soil improvers and Growing media-Determination of physical properties-Dry bulk density, air volume, water volume, shrinkage value and total pore space. CEN. prEN 13041.
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. Choi, J.M., C.Y. Shim, and J.S. Choi. 2002. Effect of phosphorus fertilization on changes of nutrient concentrations in rice hull based root media, crop growth, and nutrient contents of chrysanthemum. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:235-238.
6. De Boodt, M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*. 26:37-44.
7. De Boodt, M. and O. Verdonck. 1971. Physical properties of peat and peat-moulds improved by perlite and foampastics in relation to ornamental plant growth. *Acta Hort.* 18:9-25.
8. Inbar, Y., Y. Hadar, and Y. Chen. 1993. Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *J. of Environmental Quality* 22: 857-863.
9. Kim, K.C., M.J. Uhm, Y.H. Moon, and Y.G. Choi. 2004. Changes in the Physico-chemical properties of growing media and growth of oriental melon seedlings by charcoal application. *J. of Bio-Environment Control*. 13(1):61-66.
10. Kim, H.J., H.K. Kim, S.M. Kwon, S.H. Woo, and K.Y. Chang. 2010. Effect of the clay mineral on the growth of cherry tomato in the bed soil. *Kor. J. Soil. Fert.* 43:322-328.
11. Kubo, S., N. Shimada, and N. Okamoto. 1991. The effects of nutrient levels in nursery soil on plant quality of cucumber, tomato, eggplant and melon seedlings. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 60(3):555-566.
12. Lee, J.W., B.Y. Lee, K.Y. Kim, and S.H. Kang. 2000. Influence of rice hull ratio and nutrient solution strength on the growth of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) seedling in expanded rice hull-based substrate. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41:31-35.
13. Robert R. Milks, William C. Fonteno, and Roy A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrates: 1. Mathematical models for moisture characteristics of horticultural container media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114(1):48-52.