

포트 충전용 상토의 물리·화학적 특성이 플라스틱 백 재배를 통해 발생한 ‘매향’ 딸기의 자묘 생육에 미치는 영향

최종명^{1*} · 박지영¹ · 고관달² · Chiwon W. Lee³

Influence of Physico·Chemical Properties of Root Substrates on the Growth of ‘Maehyang’ Strawberry Daughter Plants Produced by Bag Culture of Stock Plants

Jong Myung Choi^{1*} · Ji Young Park¹ · Kwan Dal Ko² · Chiwon W. Lee³

ABSTRACT

This research was conducted to determine the influence of physiological and chemical properties of root substrates on the growth of the daughter plants of ‘Maehyang’ strawberry produced by bag culture. The daughter plants produced by stock plants during bag culture were individually separated and grown in 10-cm diameter plastic pots containing six different formulations of root substrates: a) 50% peatmoss plus 50% vermiculite (5:5 by volume, A), b) 70% peatmoss plus 30% perlite (7:3, B), c) 70% coir dust plus 30% perlite (7:3, C), d) mixture of 35% coir dust, 35% peatmoss, and 30% perlite (3.5:3.5:3.0, D), e) mixture of 20% rice hull, 70% coir dust, and 10% perlite (2:7:1, E), and f) 30% rice hull plus 70% coir dust (30:70, F). The container capacity and air filled porosity of the growing medium varied greatly among the six substrate formulations evaluated. The substrates E and F had less container capacity and higher air-holding spaces than the rest of the formulations. Therefore, these two formulations (E and F) may cause a problem in water management during the production of healthy daughter plants. The substrate formulations A, B, and D retained higher nitrogen (N) concentrations than other formulations containing coir dust or rice hull. The substrate formulations E and F which contained rice hull had lower N, phosphorus (P), and potassium(K) concentrations than other substrate formulations containing coir. The quality of the daughter plants grown in all six different substrate formulations was good with the crown diameters at around 10 mm. Fresh weights of the daughter plants grown in substrate formulations A, C, and D were higher than those obtained from B, E, and F. Dry weights of the daughter plants showed a similar trend. The daughter plants having high fresh and dry weights and increased crown diameter are in demand by the industry. For this reason, the substrate formulations A, C and D can readily be used as potting mixes during the production of ‘Maehyang’ strawberry transplants utilizing the bag culture system.

Key words: air space, container capacity, crown diameter, dry weight, fresh weight

1. 서론

2000년대 초까지 충남 논산을 중심으로 한 중부지방의 딸기 재배는 10월 하순에 정식하여 다음 해 1월 이후에 수확하는 반촉성재배가 주요작형이었다. 그러나 농가에서는 판매가격이 높은 11월에 출하량을 늘리려고 노력하였고, 9월에 정식하여 11월 이후의 겨울철에 수확하는 촉성재배가 중부지방의 주요작형이 되었다. 과거에는 외국 품종을 이용하여 촉성 및 반촉성재배를 하여 외국 품종에 대한 의

존도가 높았다. 그러나 2000년대 중반에 ‘매향’ 및 ‘설향’ 등 촉성재배용 국내 품종이 육성되어 급속히 외국 품종들을 대체하고 있다.

딸기 촉성재배를 위해서는 장마철인 6월~9월초에 육묘를 해야 하나 고온과 다습한 환경 조건으로 인해 병 발생이 많을 수밖에 없고, 탄저병이나 위황병 등의 피해가 심각하다(Jang 등, 2009; Nam 등, 2006). 특히 관행적인 국내의 딸기 육묘가 시설하우스 내의 토양에서 이루어져 토양 또는 관수를 통해 전염되는 딸기 탄저병 및 위황병 등의 발병률이 해마다 증가하고 있는 추세이다(Shin 등, 2008; Yun 등, 2009).

딸기묘는 무병주이고, 화아가 분화된 상태이며, 관부(crown) 지름이 1cm 이상일 때 우량묘로 간주되며, 우량묘를 정식할 때 초기 수량이 많다(Kawasiro, 2004). 특히 탄저병의 병원균에 감염된 개체는 정식 후 약 10월까지 발병하여 식물체가 고사하며, 농가에 큰 피해를 유발하고 있다.

딸기 육묘의 병 발생을 차단하고 우량묘를 확보하기 위

¹ 충남대학교 원예학과(Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 농촌진흥청 국립원예특작과학원(Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea)

³ Department of Plant Sciences, North Dakota State University, Fargo, ND 58108, U.S.A.

* Corresponding author: 최종명

Tel.: +82-42-821-5736 Fax: +82-42-823-1382

E-mail: choi1324@cnu.ac.kr

2010년 6월 28일 투고

2010년 7월 14일 심사완료

2010년 9월 17일 게재확정

하여 일부 농가에서 고설 양액재배 방법으로 육묘를 하지만, 시설비가 많이 요구되어 모든 딸기 재배농가가 받아들이기 어렵다. 본 연구실에서는 토경육묘의 단점과 고설 베드육묘의 고비용 문제를 보완할 수 있는 육묘방법을 개발하기 위해 연구를 수행 중에 있다. 육묘를 위해 상토를 충전한 플라스틱 백에 모주를 정식하고 관비재배 하면서, 모주로부터 발생하는 런너 및 자묘를 작은 포트에 고정시켰다. 이 후 자묘의 뿌리가 발생한 다음 적절한 시기에 런너를 절단하고 자묘를 채취하는 방법으로 육묘를 하였다.

따라서 플라스틱 백을 이용한 딸기 육묘 연구의 일환으로 작은 포트에 충전한 자묘 재배용 상토의 물리·화학적 특성이 발근한 후의 자묘 생육에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험에 앞서 상토의 물리·화학적 특성이 '매향' 딸기 모주로부터 런너 및 자묘의 발생에 미치는 영향을 구명하기 위한 연구를 수행하였다. 이 실험 과정에서 다양한 종류의 상토를 포함한 상부 직경 9cm의 플라스틱 소포트 10개씩을 모주를 재배하는 플라스틱 백 옆에 위치시키고, 모주로부터 순차적으로 발생하는 런너를 플라스틱 핀으로 상토에 고정시켰다. 100일 동안 발생한 자묘가 상토에 뿌리를 내린 후 런너를 절단하여 모주와 자묘를 분리시켰다. 모주의 시비관리 방법에 따라 모주로부터 발생한 자묘의 개체수가 달랐으며, 본 실험에서는 모주에서 발생한 자묘의 개체수와 무관하게 일단 채취한 후에는 모든 상토에서 동일한 시비방법을 적용하였다.

자묘 재배용 상토를 조제하기 위해 캐나다산 피트모스(Sphagnum moss peat), 중국에서 원석을 수입하여 가공한 버미큘라이트와 펠라이트, 그리고 인도산 코이어 더스트를 수집하였다. 수집된 원료들은 다음과 같이 용적 비율로 혼합하여 상토를 조제하였다. 피트모스+버미큘라이트(5:5; A), 피트모스+펠라이트(7:3; B), 코코피트+펠라이트(7:3; C), 코코피트+피트모스+펠라이트(3.5:3.5:3.0; D), 왕겨+코코피트+펠라이트(2:7:1; E), 왕겨+코코피트(3:7; F). 이들 상토들은 혼합과정에서 다음과 같은 비율로 모든 상토에 동일하게 비료를 첨가하였다($g \cdot L^{-1}$): Dolomite limestone 1.00; 용성인비 1.20; $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$ (gypsum) 0.50; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.40; $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 0.30; KNO_3 0.40; Micromate 0.30.

비료가 첨가된 상토를 상부 직경 9cm의 플라스틱 포트에 충전하고, 그 일부분을 채취하여 Choi 등(2009)의 방법으로 물리적 특성을, 그리고 Warncke(1986)의 방법으로 추출한 용액을 이용하여 화학성을 분석하였다. 화학성 분석의 방법 및 장비는 Choi 등(2009)와 동일하였다.

모주로부터 발생한 런너의 끝에서 새롭게 생장하는 자묘를 절단하여 모주와 분리시킨 후 조성된 비료용액을 공

급하였다. 시비를 위해 아주로 100[30-10-10+2g+미량원소(N+P₂O₅+K₂O+MgO, (주) 도프)], 아주로칼마그[13-0-1.9-16-6(N+P₂O₅+K₂O+CaO+MgO, (주) 도프)], 그리고 아주로 콤비[킬레이트 철, 망간, 구리, 아연, 붕소 및 몰리브덴 복합제제, (주) 도프]의 세 종류 비료를 선택한 후 EC 0.5dS·m⁻¹이 되도록 지하수로 희석하였다. 이후 두상살수 방법으로 매주 1회 한 종류의 비료를 관비하였고, 세 종류 비료의 시비를 마치기 위해서는 3주가 소요되었다. 관비 중간에는 기상 조건을 고려하여 지하수만 관수하였고, 상토내의 염류집적 방지를 위해 배수율을 약 30%로 조절하였다.

실험기간 중의 유리온실의 평균 온도는 주간 24°C, 야간 13°C 이상으로 조절하였고, 상대습도 60~70%, 광도는 330~370 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 그리고 평균 일장은 약 15h였다.

작은 포트를 위치시킨 날로부터 100일 후에 자묘의 생육, 즉 관부직경, 생체중, 건물중, 엽록소 함량을 조사하였는데 조사방법은 Choi 등(2009)의 방법과 동일하였다.

본 연구에서 자묘 재배용 상토의 물리·화학적 특성을 분석한 결과는 Costat통계프로그램(V. 6.3; Monterey, CA)을 사용하여 LSD검정을 하였다. 자묘 생육을 조사한 결과는 Sigma Plot(V. 8.02) 프로그램을 사용하여 표식만 있는 분산형 차트를 만들고, 분산형 차트의 회귀분석을 하여 프로그램에서 제시한 최적함수를 그림에 나타내었다.

III. 결과

자묘 육묘용 상토의 물리성에서 공극률은 6 종류 모두 87~92%의 범위에 포함되었고, 자묘 육묘용 상토로 이용하기에 큰 문제가 없는 수준이라고 판단하였다(Fig. 1). 용기용수량은 상토별 차이가 뚜렷하였으며 A가 약 70%의 용기용수량을 갖는데 비해 F는 약 47%의 용기용수량을 가져 수분관리에 어려움이 있을 것으로 판단하였다. D도 용기용수량이 비교적 높으면서 기상률이 약 23%로 측정되어 자묘의 생육에 바람직한 상토라고 판단하였다. 왕겨가 혼합된 E 및 F 상토는 기상률이 높아 토양 통기성을 우수하게 유지할 수 있는 장점이 있지만, 용기용수량이 너무 낮아 관수를 자주 해야 하며 자묘 생산비용의 증가와 함께 근권부의 염농도를 너무 낮게 유지할 가능성이 높다고 판단하였다.

자묘 육묘용 상토를 플라스틱 포트에 정식하기 전 분석한 상토의 화학적 특성에서(Table 1), A, B, D 등 피트모스가 혼합된 상토의 pH가 4.23~4.97로 측정되어 비교적 낮았다. 노지토양을 배제한 순수한 인공상토를 이용하여 작물을 재배할 때 식물생육에 적합한 pH는 5.6~6.2의 범위이며(Nelson, 2003), 피트모스가 혼합된 상토는 pH를 높이기 위해 석회질 비료를 시비해야 한다고 판단하였다. 그러나 왕겨나 코이어 더스트가 혼합된 상토들은 pH가 높

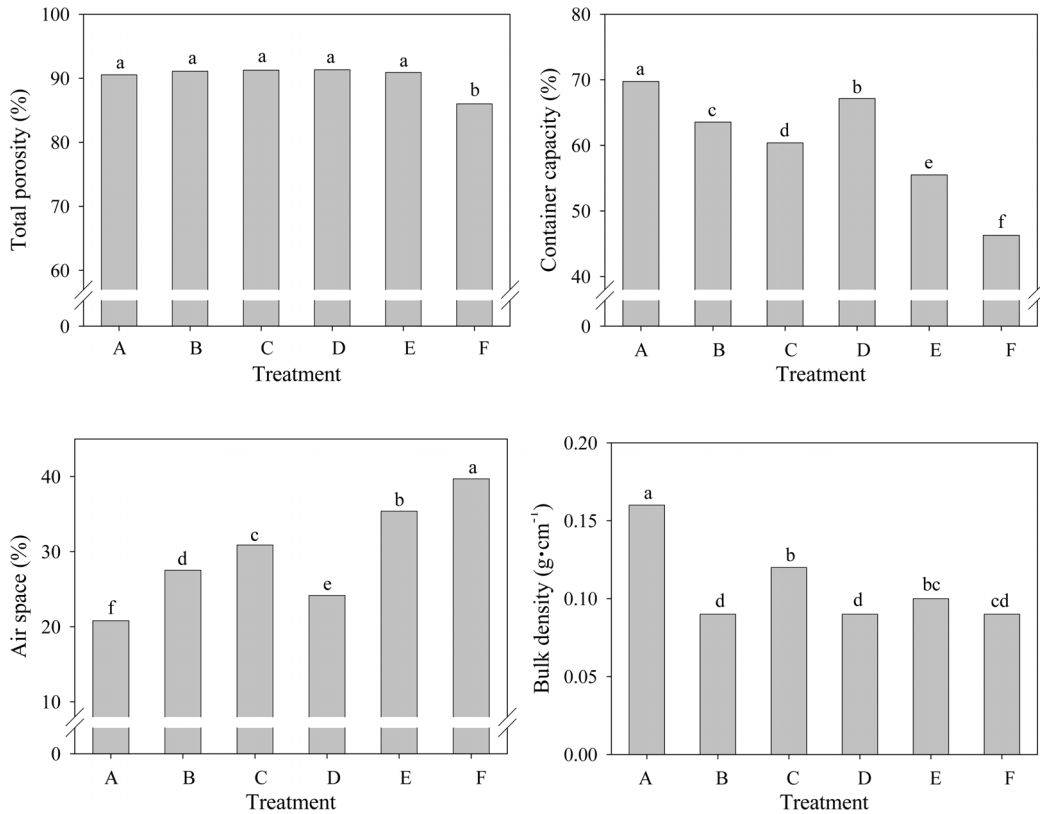


Fig. 1. Physical properties of root substrates formulated for growing of ‘Maehyang’ strawberry daughter plants. Values in each physical property followed by same letters are not significantly different (Duncan's multiple range test, $P=0.05$). See “Materials and Methods” for treatment description.

Table 1. Chemical properties of root substrates (RS) formulated for growing of ‘Maehyang’ strawberry daughter plants.^z

RS	EC ($dS \cdot m^{-1}$)	pH	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	Na
			(mg · L ⁻¹ SPME)						
A	0.29 bc ^y	4.57 d	86.2 a	1.88 e	403 bc	439 b	248 a	318 a	17.6 b
B	0.24 d	4.23 e	81.5 a	9.15 a	486 a	484 b	157 bc	254 ab	27.6 b
C	0.33 a	6.64 b	59.6 b	4.23 c	386 c	1024 a	180 b	389 a	68.5 a
D	0.26 cd	4.97 c	62.2 b	6.31 b	424 abc	727 ab	206 b	296 ab	55.7 a
E	0.30 b	6.81 a	56.9 b	3.20 d	478 ab	1012 a	154 bc	239 ab	71.7 a
F	0.25 d	6.87 a	41.0 c	1.55 f	382 c	1012 a	109 c	163 b	55.3 a

^zChemical properties were determined before filling into 9cm plastic pot.

^yMeans followed by same letters are not significant difference at 5% level (Duncan's multiple range test, $P=0.05$).

See “Materials and Methods” for treatment description.

았으며, pH를 낮추기 위한 별도의 조치가 필요하다고 판단하였다. 피트모스가 혼합된 상토들의 질소농도가 높았고, 코이어 더스트를 혼합한 상토의 K 농도는 피트모스가 주요 유기물인 상토보다 월등히 높았다.

피트모스와 버미큘라이트 또는 피트모스와 펄라이트를 혼합하여 조제한 A, B, C 및 D 상토는 자묘 발생 차수가 증가함에 따라 관부직경이 점차 가늘어졌지만 왕겨와 코이어 더스트를 혼합하여 조제한 E 및 F 상토는 4~5차묘의 관부직경이 굵다가 자묘 발생차수가 높아짐에 따라 굵기가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2). ‘매향’ 자묘의 관

부직경은 6종류 상토 모두 10mm 이상의 관부직경에서 중심 회귀곡선이 이루어지고 있어 정식묘로 이용하기에 문제가 없다고 판단하였다.

A, B 및 D 등 피트모스가 혼합된 상토에서 육묘한 자묘의 엽록소 함량은 SPAD value의 45~50에서 중심선이 형성되었다. 그러나 코이어 더스트나 왕겨가 혼합된 C, E 및 F 상토에서 육묘한 자묘의 엽록소 함량이 SPAD value의 30 후반 또는 40 초반에서 중심선이 형성되어 A, B 및 D 상토보다 낮았다(Fig. 3). 일반적으로 식물체의 질소 함량이 높을 경우 잎의 엽록소 함량이 높고, 육묘 중 질소

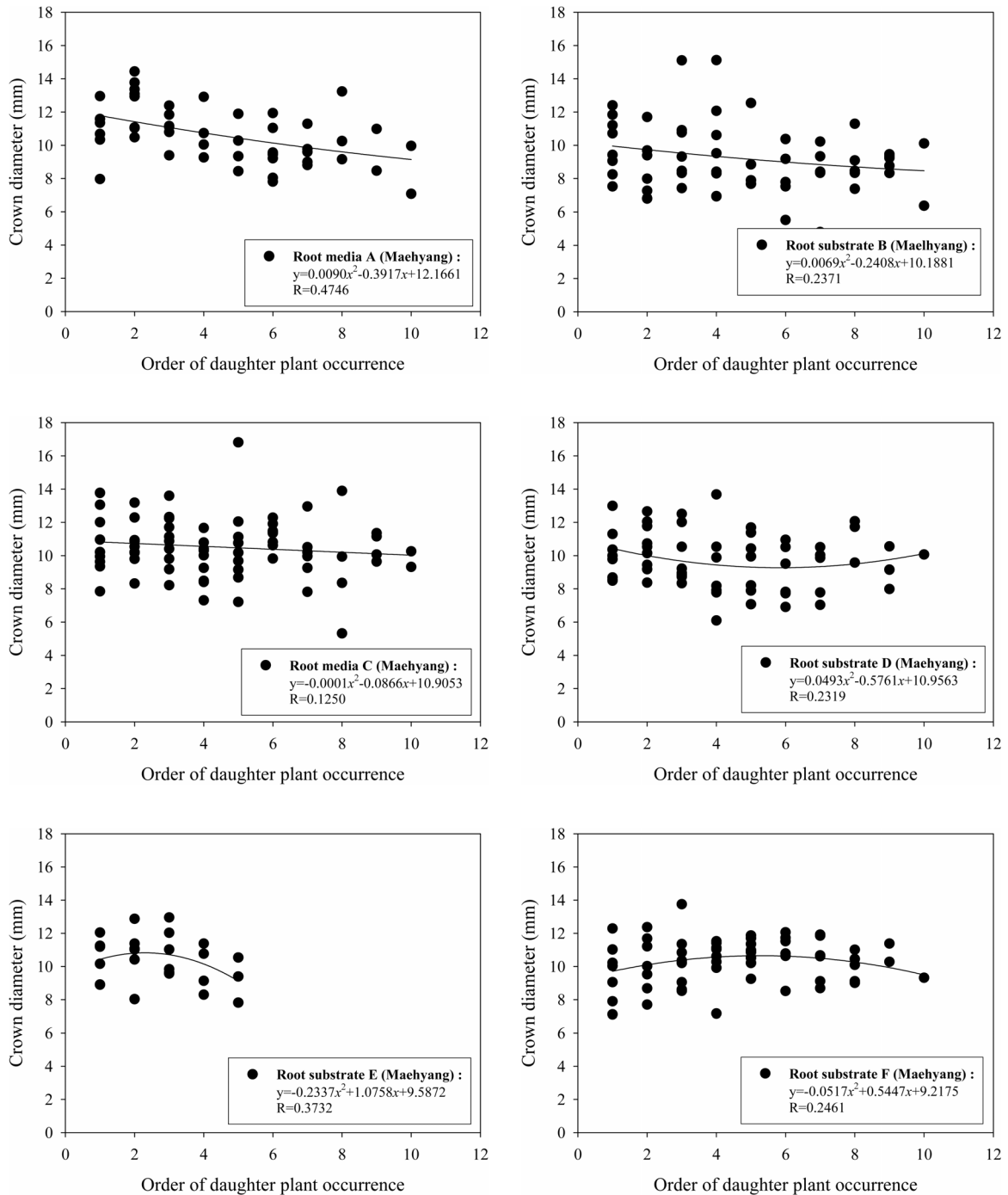


Fig. 2. Crown diameters of the daughter plants as influenced by physico·chemical properties of various root substrates filled into 9 cm plastic pot during propagation of 'Maehyang' strawberry.

함량이 높은 식물체에서 탄저병 발생이 많은 점을 고려할 때(Nam 등 2006) 추후 SPAD value와 탄저병 발생과의 상관관계에 관해 정밀한 연구가 필요하다고 판단하였다. 또한 탄저병 발생을 고려할 때, C, E 및 F 상토를 이용하여 육묘하는 것이 더 바람직하다고 판단하였다.

A, C 및 D 상토에서 육묘한 경우 식물체당 생체중에 대한 회귀선이 대부분 10g 이상에서 형성되었고, B, E 및 F 상토에서 육묘한 경우 약 10g 정도에서 회귀선이 형성되

어 상대적으로 가벼웠다(Fig. 4). 건물중 생산량도 생체중 생산량과 유사한 경향을 보였으며, A와 C 상토에서 육묘한 식물체의 건물중이 무거웠고, B, D, E 및 F 상토에서 육묘한 식물체의 건물중이 상대적으로 가벼웠다(Fig. 5).

IV. 고찰

상토는 공극률, 용기용수량 및 기상률이 적절하여 적당

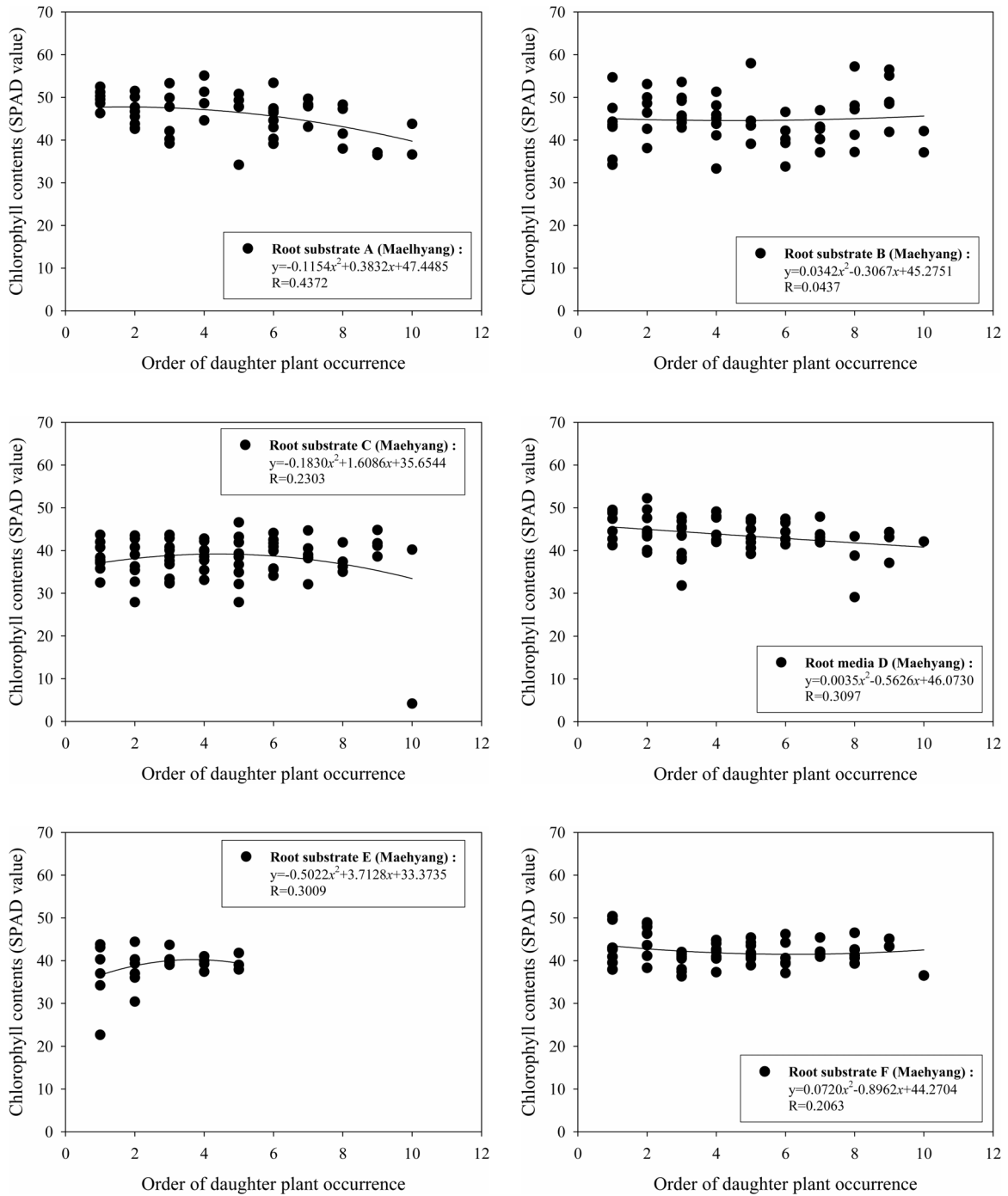


Fig. 3. Chlorophyll contents (SPAD value) of the daughter plants as influenced by physico·chemical properties of various root substrates filled in 9 cm plastic pot during propagation of 'Maehyang' strawberry.

한 보수성과 함께 충분한 토양 통기성을 지녀야 작물 생육이 우수하다. 보편적으로 용기용수량이 낮고 기상률이 과도하게 높을 경우 관수 또는 관비를 위해 물 및 비료 사용량이 증가하고, 관수 횟수 증가를 통한 에너지 사용량 및 노동력이 증가하여 작물 생산비가 상승하는 문제점을 갖는다. 이와는 반대로 용기용수량이 과도하게 높고 기상률이 낮을 경우 보편적으로 작물 생장이 저조하다(Fonteno 등, 1981; Milks 등, 1989; Nelson, 2003).

본 실험에서 '매향' 자묘 재배를 위해 조제된 상토들은 6종류 모두 87% 이상의 공극률을 가져 수용될 수 있는 범위에 포함되었다고 판단한다. 그러나 E 및 F 상토는 용기용수량이 낮은 반면 매우 높은 기상률을 갖는 것으로 측정되었고, 보수성이 낮아 작물 재배 중 쉽게 건조될 수 있으며 토양수 관리에 어려움을 유발할 가능성이 있다. Park 등(1995), Resh(1995) 및 Choi 등(2000)의 보고와 같이 상토의 보수성은 관수시기 판단에 영향을 주는 주요 요인

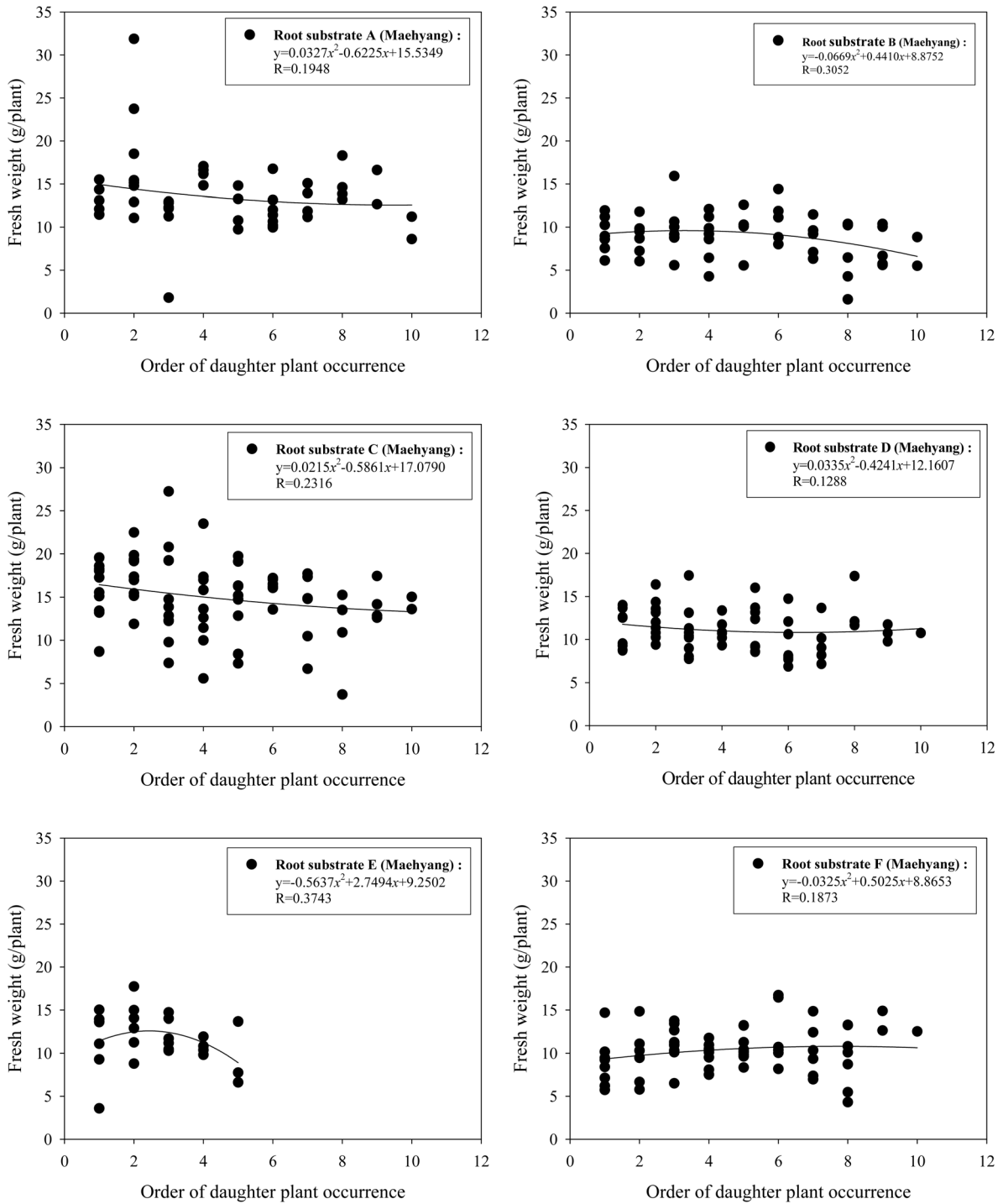


Fig. 4. Fresh weight of the daughter plants as influenced by physico·chemical properties of various root substrates filled in 9 cm plastic pot during propagation of 'Maehyang' strawberry.

이다. 따라서 E 및 F 상토는 관수 주기를 짧게, 그리고 용기용수량이 높고 기상률이 낮은 A 및 D 상토는 관수 주기를 길게 조절해야 한다고 판단하였다.

자료 채취를 위해 플라스틱 포트에 충전하기 전 분석한 상토의 화학성에서 피트모스가 혼합된 A, B 및 D 상토의 pH가 낮았으나 상토 조제과정에서 혼합된 고토석회가 작물 정식 후 관수를 하면 서서히 용해되어 2~3주 후에 최

고점에 도달하므로 문제가 될 정도는 아니라고 판단하였다(Nelson, 2003)(Table 1).

질산태질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 경우 피트모스가 혼합된 A 및 B 상토의 농도가 높았는데, 이는 피트모스, 코이어 더스트 및 왕겨의 화학적 특성에서 원인을 찾을 수 있으며 묘소 질에 가장 큰 영향을 미치는 부분이라고 판단한다.

본 실험의 결과 6종류 상토에서 재배된 자묘들은 모두

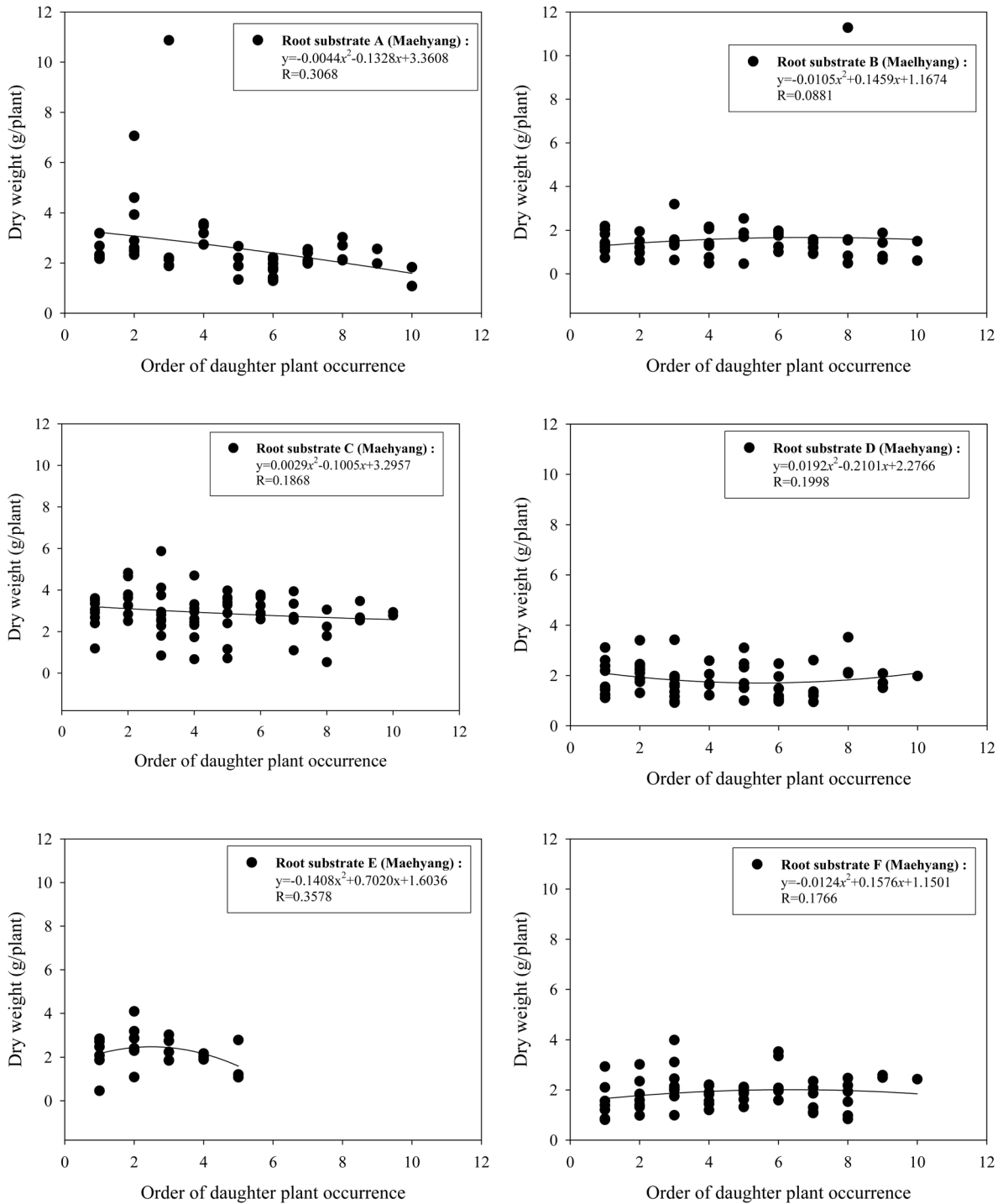


Fig. 5. Dry weight of the daughter plants as influenced by physico-chemical properties of various root substrates filled in 9 cm plastic pot during propagation of 'Maehyang' strawberry.

관부직경 10mm 이상에서 회귀선이 형성되었다(Fig. 2). 또한 피트모스가 주 재료인 A, C 및 D 상토에서 왕겨가 혼합된 E 및 F 상토보다 엽록소 함량이 높고 생체중 및 건물중이 무거웠다. 일반적으로 수용 가능한 범위 이내에서는 식물체의 질소함량이 높을 경우 영양생장중인 식물체의 생체중 및 건물중이 증가하고, SPAD value가 높게 측정된다(Choi 등, 2009).

Kramer와 Schultze(1985), Perez De Camcaro 등(2004)은 정식묘의 관부직경이 정식 후 식물생장의 정도와 초기 산출량을 예측할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있으며, 관부직경이 짧은 경우 관부직경이 가는 식물체에 비하여 더 많은 화아가 분화되고 초기 수량이 많다고 하였다.

본 연구의 결과 피트모스가 주 재료인 A, C 및 D 상토에서 육묘한 자묘의 생체중 및 건물중이 왕겨가 혼합된 E

및 F 상토에서 재배된 자묘보다 무거웠다(Fig. 4와 5). 이는 왕겨가 혼합된 상토의 질소농도가 낮았고(Table 1), 낮은 질소농도가 영양생장중인 유묘의 생장에 큰 영향을 미쳤다고 판단한다. Choi 등(2009)은 질소 시비농도를 조절된 용액으로 '매향' 딸기를 재배하면서 질소 시비농도가 낮아 흡수량이 적은 경우 식물생장이 심하게 억제됨을 보고하였으며, 본 연구에서 왕겨가 혼합된 상토에서 식물생장이 저조하였던 원인을 판단할 수 있는 근거를 제공하고 있다.

그러나 보수성이 높으면서 질소농도를 높게 유지하는 상토가 딸기육묘를 위해 반드시 바람직한 것은 아니다. Kawasiro(2004)에 의하면 축적재배를 위한 딸기 정식묘는 정식 전에 반드시 화아가 분화된 상태여야 하며, 육묘 중 질소 시비농도를 줄여 식물체의 C/N 율을 높여야만 화아가 분화된다고 보고하였다. 따라서 육묘 초기에는 생장을 촉진시키기 위하여 A, C 및 D와 같이 질소 농도를 높게 유지할 수 있는 상토가 바람직하지만 화아분화 촉진을 위해서는 E 및 F 상토와 같이 기상률이 높아 배수성이 우수하고 근권부의 질소농도를 쉽게 낮출 수 있는 상토가 바람직하다. 육묘 초기에 포트에 충전한 상토가 육묘가 종료될 때까지 계속 사용되는 것이 농가의 재배 방법이므로(RDA, 2008) 재배 중 상토를 교체할 수 없는 현실이다. 그러므로 A, C 및 D 상토의 경우 육묘 후기에는 질소 시비농도를 낮추면서 1회 관수량을 늘려 배수를 촉진 시켜야 하며, E 및 F 상토와 같이 배수성이 높은 상토는 초기 육묘과정에서 질소 시비농도를 높여야 한다고 판단하지만, 정밀한 시비농도와 관련한 보완 연구가 필요하다고 판단한다.

본 연구의 결과를 종합하면 자묘의 생장은 상토의 물리성보다 화학성에 더 큰 영향을 받았고, 질소농도가 높게 유지된 상토에서 '매향' 딸기의 자묘 생장이 우수하였다. 또한 상토의 물리성과 화학성이 상호 밀접한 관계 속에서 변화되므로 질소 농도가 낮게 유지된 상토는 보수성 증가 및 시비농도 증가를 통해 생장촉진을 기대할 수 있다고 생각한다.

V. 결론

피트모스 + 버미클라이트(5:5, A), 피트모스 + 펠라이트(7:3, B), 코이어 더스트 + 펠라이트(7:3, C), 코이어 더스트 + 피트모스 + 펠라이트(3.5:3.5:3.0, D), 왕겨 + 코이어 더스트 + 펠라이트(2:7:1, E), 그리고 왕겨 + 코이어 더스트(3:7, F)의 6종류 상토를 혼합하여 상부직경 10cm의 플라스틱 포트에 충전한 후 '매향' 딸기의 모주에서 발생한 런너를 고정시켜 번식시키면서 상토의 물리·화학적 특성이 자묘 생육에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 자묘 육묘용 상토의 용기용수량과 기상률은 상토별 차이가

뚜렷하였으며 E와 F 상토는 용기용수량이 낮고 기상률이 높아 재배 중 수분관리에 어려움이 있을 것으로 판단하였다. 피트모스가 혼합된 상토 A, B, 및 D의 질소농도가 높았고, 왕겨를 혼합한 E와 F상토의 질소 및 인산 농도가 낮았다. 또한 코이어 더스트가 혼합된 상토가 피트모스가 혼합된 상토보다 K 농도가 월등히 높았다. '매향' 자묘를 재배한 결과 6종류 상토 모두 약 10mm 이상에서 관부직경의 회귀선이 형성되어 자묘 재배를 위해 수용 가능한 상토라고 판단하였다. '매향' 자묘의 생체중은 A, C, D상토에서 육묘한 경우 식물체당 10g 이상에서 회귀선이 형성되었지만, B, E, F는 중심선이 약 10g 정도에서 형성되어 가벼웠다. '매향' 자묘의 건물중도 생체중과 유사한 경향을 보였으며 A 및 C 상토에서 비교적 건물중 생산량이 많았고, B, E 및 F 상토에서 적었다. 생체중과 건물중 생산량이 많을 경우 보편적으로 식물이 건전한 생육을 하고 있음을 의미하며, 이러한 판단을 적용할 때 A, C 및 D 상토가 자묘생육을 위해 바람직하다고 판단하였다.

참고문헌

1. Choi, J.M., H.J. Chung, J.S. Choi. 2000. Physico-chemical properties of organic and inorganic materials used as container media. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 18: 529-535.
2. Choi, J.M., I.Y. Kim, B.G. Kim. 2009. *Root Media*. Hageya, Daejeon, Korea.
3. Choi, J.M., S.K. Jeong, K.D. Ko. 2009. Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in 'Maehyang' strawberry as influenced by phosphorus concentrations in the fertigation solution. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27: 55-61.
4. Fonteno, W.C., D.K. Cassel, R.A. Larson. 1981. Physical properties of three container media and their effect on poinsettia growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 736-741.
5. Jang, W.S., H.S. Kim, T.I. Kim, Y.G. Nam. 2009. Comparison of cultivars on production of runner and daughter plant in strawberry. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(Supplement II): Abstract 25.
6. Kawasiro, H.T. 2004. *Practice of vegetable crop cultivation; Fruit vegetables II*. 6th ed. Rural Culture Association (C). Tokyo, Japan.
7. Kramer S., W. Schultze. 1985. The effects of the quality of young plants on strawberry yield. *Gartenbau* 32: 115-117.
8. Milks, P.R., W.C. Fonteno, R.A. Larson. 1989. Hydrology of horticultural substrate: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. *J. Amer. Soc.*

- Hort. Sci. 114: 57-61.
9. Nam, M.H., S.K. Jeong, Y.S. Lee, J.M. Choi, H.K. Kim. 2006. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium and calcium nutrition on strawberry anthracnose. *Plant Pathology* 55: 246-249.
 10. Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management*. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
 11. Park, K.W., H.M. Kang, M.H. Chiang, Y.S. Kwon. 1995. Effect of soil moisture content according to irrigation methods in culture on storability of cucumber fruits. *J. Bio-Environ. Control*. 4: 74-79.
 12. Perez de Camacaro M.E., G.J. Camacaro, P. Hadley, M.D. Dennett, N.H. Battey, J.G. Carew. 2004. Effect of plant density and initial crown size on growth, development and yield in strawberry cultivars Elsanta and Bolero. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 739-746.
 13. Resh, H.M. 1995. *Hydroponic food production*. Wood Bridge Press. pp.123-132.
 14. Rural Experiment Administration (RDA). 2008. *Cultivation manual of new cultivar 'Seolhyang' strawberry*. Suwon, Korea.
 15. Shin, G.H., J.H. Song, J.B. Seo, K.J. Choi, J.M. Jung, Y.J. Ko. 2008. Comparison of cultivation conditions and occurrence of disease of strawberry in controlled environmental system in the southern area of Korea. Abstracts of VI International strawberry symposium, ISHS. Huelva, Spain.
 16. Yun, H.K., J.H. Kwak, D.Y. Kim, M.K. Yoon. 2009. Reduction of the occurrence of anthracnose by underground drip irrigation for strawberry nursery field. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27(Supplement I): Abstract 58.
 17. Warncke, P.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 211: 223-225.