Journal of Environmental Science International
24(2); 189~196; February 2015

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2015.24.2.189

ORIGINAL ARTICLE

딸기 팽연왕겨 차근육묘를 위한 혼합상토 조성이 자묘의 지상부 생육과 발근에 미치는 영향

박갑순 · 김영칠[1] · 김명선[1] · 안승원[1]*

부여군농업기술센터, [1]공주대학교 원예학과

Effect of Mixed Bed Soil on Growth of Aerial Parts and Roots of Daughter Pants for Nursery Field Srawberry Seedling Raising with Expanded Rice-hull

Gab-Soon Park, Young-Chil Kim[1], Myung-Seon Kim[1], Seoung-Won Ann[1]*

Buyeo-gon Agriculture Technology Center, Buyeo 323-814, Korea

[1]Department of Hortcultural science Kongju National University, Chungnam 340-702, Korea

Abstract

This study was performed to identify the effect of mixed bed soil on growth of aerial parts and root zone of daughter plants for nursery field strawberry seedling raising with expanded chaff. The plant height and leaf area of daughter plants were highest or largest in the mixed soil of ERH +RH (100:0, v/v), followed by ERH+RH (75:25). The higher the mixing ratio of RH, the shorter the plant height or the smaller the leaf area. A similar tendency was observed in fresh weight. Within a root diameter of 0-0.4 mm and a root height range of 0.4-0.8 mm, root surface area and volume were statistically significantly better with treatment of ERH+RH (100:0, v/v) compared to those of roots treated with ERH+RH (75:25), ERH+RH (50:50) and ERH+RH (25:75). The growth rate of aerial parts and root zone of daughter plants were noticeably lower in two mixing ratios of 50:50 and 25:75. According to the mixing ratios of ERH+CD surface treatment, the number of roots was greatest in plants treated with ERH+CD (80:20, v/v) and ERH+CD (85:15) on August 1. However, the number of roots was highest in plants treated with ERH+CD (85:15, v/v) on August 15. Root length was longest in the plant with no treatment, and drastically shortened from ERH+CD (90:10, v/v) in both surface and mixed treatment. Although root weight showed a significant difference in ERH+CD (90:10, v/v) treatment, its increase was gradual. The rate of root growth was highest in ERH+CD (85:15). These study findings suggest that the content ratios of mixed soil ERH+RH (75:25, v/v) or below and ERH+CD (85:15) are thought to be desirable for the production of high quality seedlings.

Key words : Rhizosphere growth, Water content, Plant height, Coir, Air permeability

1. 서 론

딸기(*Fragaria ananassa* Duch.)는 모주로부터 양수분이 전달되는 영영번식 작물로(RDA, 2008) 재배기간이 길고, 육묘기에는 하엽제거, 런너유인 등의 많은 노동력이 소요되는 어려움이 있다. 최근 촉성재배용으로 육성된 '설향'(Kim 등, 2006) 딸기 재배면적이 확대되면서 육묘방식 또한 조기수량 증대 및 병해발생 억제를 위

Received 2 November, 2014; **Revised** 29 December, 2014; **Accepted** 7 January, 2015

***Corresponding author**: Seoung-Won Ann, Department of Hortcultural science Kongju National University, Chungnam 340-702, Koaea
Phone: +82-10-41-330-1224
E-mail: annsw@kongju.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

해 비가림 시설을 이용한 집약적인 형태로 전환되고 있다. 특히 토양과 격리시킨 고설 포트육묘 방식이 확대되고 있지만 육묘비용 부담과 정밀한 관리가 요구되기 때문에 노령화가 심화되어가는 현 실정에서 모든 딸기농가가 수용하기에는 근본적으로 곤란한 상황이다(Choi 등, 2010). 따라서 농가별 여건에 따라 다양한 육묘방식이 이용되고 있으며, Park(2014)에 의하면 딸기 촉성작형이 일찍이 정착된 경남 진주 지역은 포트육묘가 62% 이었지만 과거 반촉성 주산지로 알려진 전남 담양, 충남 논산 및 부여는 차근육묘가 35% 내외로 가장 높은 비중이었음을 보고하였다. 이들 3개 지역에서 많이 행해지는 차근육묘는 자묘의 유인작업 생력화, 토양과 차근 상태에서 인위적인 양·수분 조절로 포트육묘에 준하는 양질묘 생산, 그리고 기존시설의 활용이 용이하다는 장점을 갖고 있다. 이미 딸기육묘에서 팽연왕겨를 사용하기 위한 시도가 이루어졌으며(RDA, 2001), '설향' 딸기를 팽연왕겨로 육묘하였을 때 우수한 뿌리발달과 초기수량 증대가 보고되어, 최근 충남 논산을 중심으로 급격히 증가하였다.

팽연왕겨는 미세공극을 보유하지 못해 보수력이 낮은 문제점도 있지만 배지 구성재료로써 입경이 커 토양 통기성을 높이는 장점이 있다(Choi 등, 2000; Kim 등, 2001; Lee, 1999). 그 동안 팽연왕겨의 물리적 단점을 개선하여 혼합배지로 이용하고자 다양한 연구가 수행되었으며, 높은 통기성으로 작물의 양호한 생육이 확인되었다(Hwang 등, 2003; Lim 등, 1995). 그러나 기존의 연구들은 대부분 팽연왕겨 혼합배지로 과채류를 재배할 때 생육특성을 구명하고자 하였으며, 묘의 소질에 미치는 영향을 밝힌 연구는 충분치 못하였다. 최근 '설향' 딸기의 보급과 더불어 팽연왕겨 차근육묘가 확대되었고, 농가에서는 자묘의 소질향상을 위해 다양한 방법으로 팽연왕겨 혼합상토를 조성하여 육묘하고 있지만 이와 관련된 연구사례가 없어 시행착오의 원인이 되고 있다. 본 연구는 상기와 같은 배경을 고려하여 팽연왕겨 차근육묘를 위한 혼합상토 조성이 자묘의 지상부와 근권 생육에 미치는 영향을 구명하여 현장활용 자료로 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 부여군농업기술센터(위도 36° 14′ 06.06″ N, 경도 126° 54′ 58.28″ E, 해발 135 m) 딸기 육묘온실(폭 6 m×길이 40 m, 양지붕형 유리온실)에서 수행하였다. 육묘실험을 위해 차근육묘상〔폭 140 cm (70 cm×2면)×높이 12 cm, PE 투명필름 차근(0.03 mm × 폭 90 cm)〕을 설치하고 딸기(*Fragaria ananassa* Duch.) '설향' 품종 모주를 2013년 3월 25일에 주간 18 cm 간격(2조식)으로 정식하였다. 모주의 양분공급은 한국 원시표준배양액(N-P-K-Ca-Mg-S = 13-3-6-6-3-3 me · L^{-1})으로 1일 2-3회 관비하였고, 급액농도는 EC 0.4-0.65 $dS \cdot m^{-1}$ 범위로 하였다.

팽연왕겨 혼합상토 조성에서 자묘의 지상부와 근권부 생육 조사를 위해 모주베드 양쪽으로 팽연왕겨(일반 왕겨를 80-110℃에서 압축, 팽창, 분쇄하여 물리성이 개선됨, 입도 1.6 mm 이하, (주)대원 GSI, 경북 칠곡)와 일반왕겨(입도 1.7-2.1 mm, 부여군 통합 RPC, 부여 규암)를 각각 팽연왕겨+일반왕겨(100:0, 75:25, 50:50, 25:75, v/v; expanded rice hull+rice hull, ERH+RH) 비율로 혼합하여 7 cm 깊이로 충진하였다. 5월 중순에서 7월 상순 사이 모주로부터 발생한 자묘를 각각의 왕겨육묘상 위에 주간 및 조간 10 cm간격으로 유인 하였다. 7월 10일까지 자묘유인을 완료하였고, 관수는 7월 15일부터 5-6일 간격으로 식물체 당 100 mL씩 공급하여 착근시켰다. 처리별 자묘의 생육은 9월 10일에 초장, 엽수, 엽면적, 관부 굵기, 1차 근수, 근중 및 생체중을 조사하였다. 근권의 뿌리직경별 총 근장, 근 표면적 및 근 부피는 식물뿌리 관찰기구(Root Analysis System, Regent Instruments Inc., Canada)를 사용하여 처리별 5주씩 분석하였다.

딸기 팽연왕겨 차근육묘상 혼합재료 처리방법에 따른 자묘의 발근 특성을 조사하기 위해 혼합상토를 조제하였다. 팽연왕겨(상기 상토와 동일함)와 코이어 더스트(스리랑카산, 입도 4 mm 이하, 서원양행, 충북 괴산)를 차근육묘상 표면에 각각 팽연왕겨+코이어(95:5, 90:10, 85:15, 80:20, v/v; expanded rice hull+coir dust, ERH+CD) 비율로 처리한 표면처리구와 동일한 비율의 혼합처리구, 그리고 무 처리로 나누어 충진하였다. 육묘기간 중 자묘유인 및 관수는 상기와 동일한 방법으로 하였으며 8월 1일(발근 15일)에 발근수 및 근장을 조사하였고, 8월 15일(발근 30일)은 1차 근수, 근중, 근장 및 발근율을 조사하였으며, 발근율은 처리별 100주씩 3반복

으로 하였다. 두 실험구 모두 균일한 자묘 양성을 위해 노엽을 대상으로 2-3회 적엽을 하였다. 실험기간 중(6월 1일~9월 10일) 온실 내 평균온도는 25.1℃, 광도는 291 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$이었다.

수집한 데이터는 SPSS(VER. 20) 통계처리 프로그램을 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

팽연왕겨 차근육묘를 위한 혼합상토를 ERH+RH (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, v/v) 비율로 혼합하여 육묘하였으며 혼합비율별 자묘의 생육은 Table 1과 같다. 자묘의 초장과 엽 면적은 ERH+RH (100:0, v/v)에서 가장 크거나 넓었고, ERH+RH (75:25) 순으로써 RH의 혼합비율이 높을수록 작거나 좁아지는 생육이었다. 엽수는 혼합비율 별 차이가 없었지만 묘 소질의 중요한 요인이 되는 관부 굵기, 1차 근수 및 근중은 ERH+RH (100:0, v/v)와 ERH+RH (75:25) 처리에서 우수하였고, ERH+RH (50:50) 처리부터 생육이 뚜렷하게 감소하는 경향이었다. RH는 입경이 커 상토구성 재료로 이용할 때 토양 통기성을 높이는 장점(Choi 등, 2000; Kim 등, 2001; Lee, 1999)을 갖고 있지만, 상토 전체공극 중 30-300 μM 크기의 대 공극 비율이 높을수록 상대적으로 보수성 증진 역활을 하는 미세공극률은 낮아진다(Verdonck 과 Penninck, 1986). 이들의 보고를 감안할 때 ERH+RH (50:50) 및 ERH+RH (25:75) 처리는 입경이 큰 RH의 높은 혼합비율에 기인하여 통기성이 과도하게 높아지면서 배지 내 상 하층간의 수분분포가 균일하지 못하였고, 결과적으로 자묘의 생육에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단하였다. 자묘의 생체중도 ERH+RH (100:0, v/v)는 21.1 g 이었지만 RH의 혼합비율이 가장 높은 ERH+RH (25:75)는 15.4 g로 뚜렷한 무게 차이를 나타내었다.

Fig. 1은 혼합상토 처리별 생육이 양호한 자묘를 샘플 채취하여 식물뿌리 관찰기구(Root Analysis System)로 뿌리생육을 관찰한 결과로써, ERH+RH (100:0, v/v)처리에서 가장 조밀한 뿌리분포를 보였다. ERH+RH (75:25) 처리도 ERH+RH (100:0, v/v)와 유사한 분포를 보였지만, ERH+RH (50:50) 및 ERH+RH (25:75) 처리는 뿌리의 분포량이 비교적 적은 경향이었다.

혼합상토 처리별 9월 10일에 조사한 근장, 근 표면적 및 근 부피도 ERH+RH (100:0, v/v) 처리의 생육이 뚜렷하게 우수하였다(Fig. 2). 근 직경이 0-0.4 mm 그리고 0.4-0.8 mm 범위인 근장, 근 표면적 및 근 부피는 ERH+RH (100:0, v/v) 처리가 ERH+RH (75:25), ERH+RH (50:50) 및 ERH+RH (25:75) 보다 우수하였다. 이와 같이 처리별 근 직경이 0-0.8 mm 범위로써 양·수분 흡수에 직접적인 역할을 하는 세근의 생육를 고려할 때 혼합상토의 물리적 특성과 밀접한 연관이 있는 것으로 생각하였다. Kim(2005)은 딸기 수경재배 시 코코피트/펄라이트 이층배지가 근권발달이 가장 양호하였는데, 이는 코코피트의 높은 보수력이 크라운으로부터 새 뿌리 발생 촉진을 유발시켰으며, 하층부는 충분한 산소공급 조건이 형성된 원인이라고 하였다. 본 실험에서 혼합상토별 정확한 물리성을 측정하지는 않았지만 ERH+RH (100:0, v/v) 처리에서 보수력 및 통기성 등 뿌리발달에 가장 유

Table 1. The growth of 'Seolhyang' strawberry daughter plants according to mixed ratio of rice hull at expanded rice hull nursery field[z]

Root media[y]	Blending ratio (v/v)	Plant height (cm)	Number of leaves	Leaf area (cm^2/plant)	Crown diameter (mm)	Number of first roots	Root fresh weight (g/plant)	Fresh weight (g/plant)
ERH+RH	75:25	31.4±1.6 ab[x]	4.3±0.2 a	332±11.0 b	9.3±0.3 a	22.6±2.2 a	5.1±0.2 a	18.5±0.4 b
	50:50	29.3±1.1 bc	4.3±0.1 a	337±8.2 b	8.5±0.2 b	19.3±0.7 b	4.2±0.2 b	17.0±0.3 c
	25:75	28.8±1.2 c	4.2±0.3 a	310±13.1 c	8.2±0.2 b	17.8±0.4 b	3.8±0.2 b	15.4±0.7 d
ERH	100	32.9±0.4 a	4.5±0.1 a	374±11.5 a	9.4±0.2 a	25.2±1.6 a	5.5±0.2 a	21.1±0.6 a

[z]Investigation date: September 10, 2013.
[y]Abbreviation: ERH, expanded rice hull; RH, rice hull.
[x]Means within the same column having the same letter are not significantly different by DMRT ($P<0.05$).

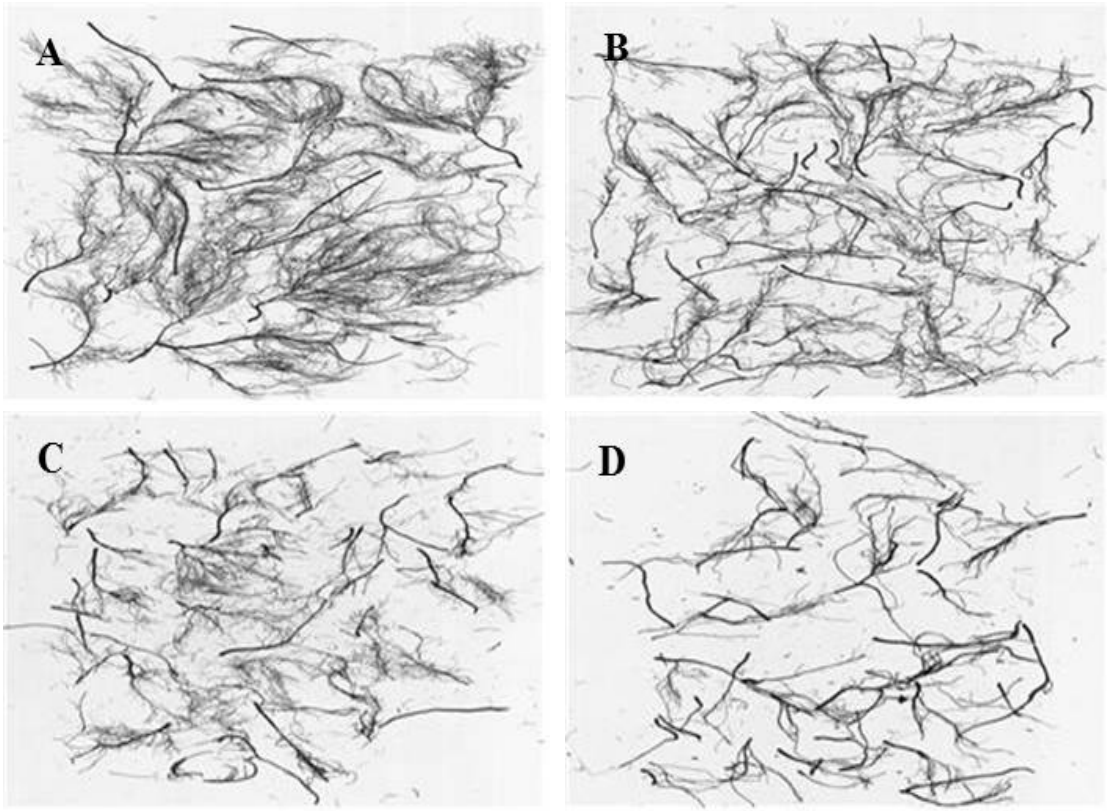

Fig. 1. Root growth and distribution of daughter plants as influenced by various root media in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry through nursery field culture. on Sept. 10, 2013 A, ERH (100, v/v); B, ERH+RH (75:25); C, ERH+RH (50:50); and D, ERH+RH (50:50). Abbreviations: ERH, expanded rice hull; RH, rice hull.

리한 물리적 조건을 형성한 것으로 생각하였다. 한편 뿌리직경이 0.8 mm 이상의 굵은 뿌리는 혼합처리별 뿌리생육의 차이가 뚜렷하지 않았다. ERH+RH (75:25, v/v) 처리도 뿌리생육이 비교적 우수하였지만 ERH+RH (50:50) 및 ERH+RH (25:75) 처리는 뿌리생육이 상대적으로 저조하였으며, 입경이 큰 RH의 혼합비율이 높아 통기성이 과도하게 높아진 원인이라고 생각하였다. 농가에서는 육묘에 많은 물량의 ERH가 소요됨에 따라 가격이 저렴하고 구입이 용이한 RH를 혼합하여 육묘하는 사례를 빈번하게 볼 수 있다.

따라서 본 실험을 통해 ERH+RH 혼합비율 별로 육묘한 결과 ERH+RH (100:0, v/v) 처리가 가장 우수하였으며, ERH+RH (75:25)를 상회하는 두 처리는 자묘의 지상부 및 근권생육 모두 뚜렷하게 저조하였다. 이러한 결과를 고려할 때 ERH+RH 혼합상토의 조성비율은 ERH+RH (75:25, v/v) 이내가 바람직하다고 판단되었으며, 앞으로 혼합재료 이용에 관한 다양한 보완연구가 수반되어야 할 것으로 생각하였다.

팽연왕겨 차근육묘상에 ERH+CD (95:5, 90:10, 85:15, 80:20, v/v) 비율로 각각 표면처리와 혼합처리를 하였으며, 8월 1일(발근 15일) 근권생육을 조사하여 Fig. 3에 나타내었다. ERH+CD 표면처리의 발근수는 CD 처리비율이 높을수록 많아져 ERH+CD (80:20, v/v)는 19.5개로 조사되었다. 혼합처리는 ERH+CD (85:15, v/v)까지 발근수가 증가하여 18.4개 이었지만, ERH+CD

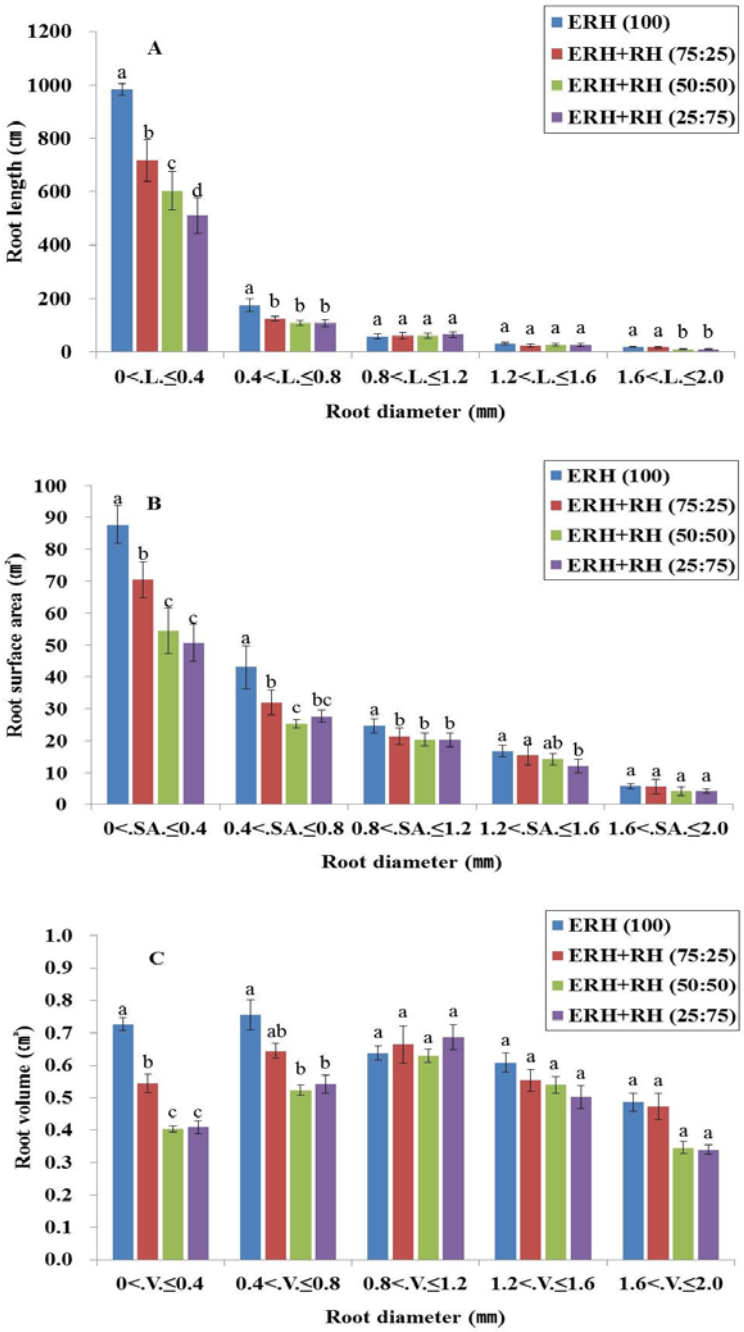

Fig. 2. Root length (A), surface area (B), and volume (C) of daughter plants as influenced by various root media in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry through nursery field culture. After harvesting of daughter plants on Sept. 10, 2013, the roots were separated based on the root diameter and the root growth indexes were expressed in given ranges of root diameter. The alphabetical letters indicate mean separation within each root diameter by Duncan's multiple range test, $P<0.05$.

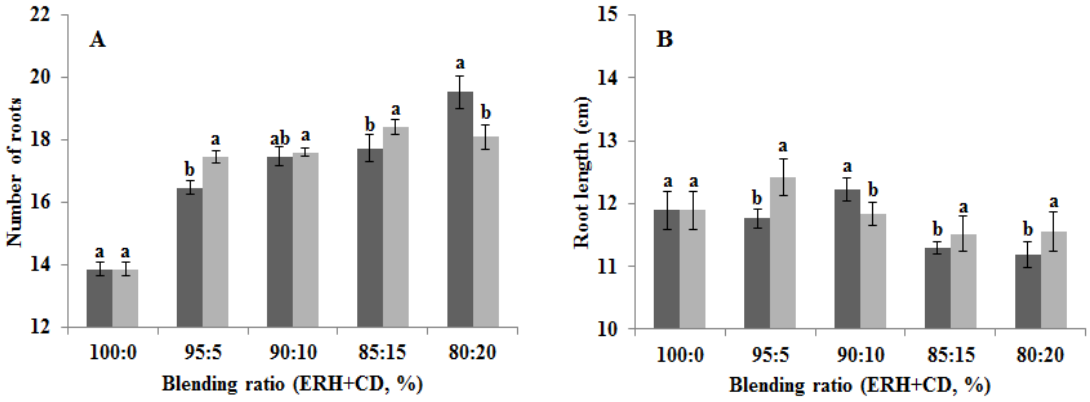

Fig. 3. Influence of various blending ratio of expanded rice hull (ERH)+coir dust (CD) to cover 1 cm surface of expanded rice hull packed 7 cm over root restriction materials (■) or to be used as root media packed 7 cm over root restriction materials (■) on the number of roots (A) and root length (B) in nursery field raising of the 'Seolhyang' strawberry daughter plants (Investigation date: August 1, 2013). The alphabetical letters indicate mean separation within each root diameter by Duncan's multiple range test, $P<0.05$.

Fig. 4. Influence of various blending ratio of expanded rice hull (ERH)+coir dust (CD) to cover 1 cm surface of expanded rice hull packed 7 cm over root restriction materials (Surface) or to be used as root media packed 7 cm over root restriction materials (Mix) on the growth of roots in nursery field raising of the 'Seolhyang' strawberry daughter plants (Investigation date: August 1, 2013).

(80:20)는 18.1개로 오히려 적어지는 경향이었다. 무 처리는 발근되는 뿌리의 수가 적었는데, 이는 공극이 큰 팽연왕겨 특성 상 관수 후 수분이 아래 쪽으로 빠르게 이동(Kim 등, 2001)하여 육묘상 표면에 보유하고 있는 수분 함량이 낮아진 원인으로 생각하였다. 근장은 ERH+CD (90:10, v/v) 표면처리가 길었고, 혼합처리는 ERH+CD (95:5)에서 길었으며, 두 처리 모두 CD의 혼합비율이 ERH+CD (90:10) 및 ERH+CD (95:5)를 상회할 경우 짧아지는 경향을 보였다.

Fig. 4의 8월 15일(발근 30일)에 조사된 1차 근수는 표면과 혼합처리 모두 ERH+CD (85:15, v/v)가 각각 25.3, 24.3개로 가장 많았다. 근중도 ERH+CD (90:10,

v/v)에서 증가폭이 컸고, CD 혼합처리가 무거웠지만 두 처리 모두 ERH+CD (90:10) 이상은 증가의 폭이 미미한 수준을 보였다. 근장은 두 처리 모두 ERH+CD (90:10, v/v)부터 급격히 짧아졌으며, CD 혼합처리가 더욱 뚜렷한 경향을 보였다. 이러한 생육을 볼 때 CD 처리 비율이 높을수록 배지 내 함수량도 높아진 원인으로 수분흡수를 위한 근장 발달이 저조였던 것으로 생각하였다. 반면 무 처리는 배지 상층부에 보유하고 있는 수분함량이 낮아 육묘 상 아래쪽에 분포된 수분흡수를 위해 근장 생육이 길어졌다고 판단하였다. 발근율은 CD 혼합처리에서 ERH+CD (85:15, v/v) 까지 뚜렷하게 높아졌는데, 이는 건조하기 쉬운 왕겨 육묘상의 보수력을 높여줌으로써 발근율이 향상된 것으로 생각하였다. Benoit 와 Ceustemans(1990)는 유효수분 함량이 낮은 펄라이트의 단점을 개선하기 위하여 피트모스나 입상암면을 혼합하는 것이 작물의 생육을 좋게 한다고 하였다. 또한 Hwang 등(2003)은 국화 '정운'을 양액 재배할 때 왕겨 단용보다는 코이어나 피트모스를 혼용한 배지에서 양호한 결과를 보고한바 있다. 본 실험에서 두 처리 모두 CD의 혼합비율이 높아질수록 근장을 제외한 모든 생육이 증가하는 경향이었지만, ERH+CD (85:15, v/v)를 상회하는 처리에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않거나 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 CD의 처리비율이 높을수록 근권의 생육촉진이 지속적으로 유발되지 못한 결과는 차근육묘상 바닥이 비닐로 차근된 조건에서 관수 후 팽연왕겨 배지 내에 일정한 수분함량과 통기성이 확보된 원인으로 생각하였다. 오히려 CD의 처리비율이 과도할 경우 과습 및 통기불량 유발 가능성이 높을 것으로 판단

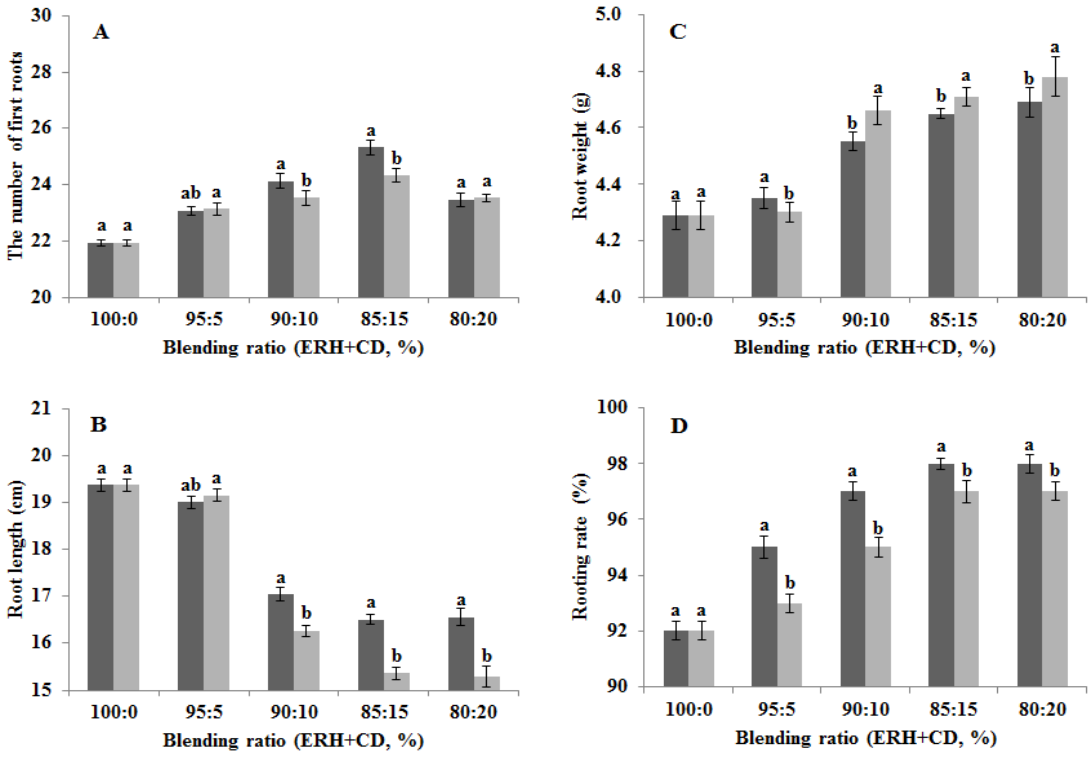

Fig. 5. Influence of various blending ratio of expanded rice hull (ERH)+coir dust (CD) to cover 1 cm surface of expanded rice hull packed 7 cm over root restriction materials (■) or to be used as root media packed 7 cm over root restriction materials (□) on the number of root (A) and root length (B), root weight (C) and rooting rate (D) in nursery field raising of the 'Seolhyang' strawberry daughter plants (Investigation date: August 15, 2013). The alphabetical letters indicate mean separation within each root diameter by Duncan's multiple range test, $P<0.05$.

되어 자묘의 생육과 경제성을 고려한다면 ERH+CD (85:15, v/v) 처리가 가장 바람직하다고 생각하였다.

4. 결론

팽연왕겨 차근육묘를 위한 혼합상토 조성이 자묘의 지상부와 근권 생육에 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 수행하였다. ERH+RH 혼합상토에서 자묘의 초장과 엽 면적은 ERH+RH (100:0, v/v) 처리가 가장 크거나 넓었고, ERH+RH (75:25) 순으로써 RH의 혼합비율이 높을수록 작거나 좁아졌으며, 생체중도 유사한 경향이었다. 근 직경 0-0.4 mm, 0.4-0.8 mm 범위의 근장, 근 표면적 및 근 부피는 ERH+RH (100:0, v/v) 처리가 ERH+RH (75:25), ERH+RH (50:50) 및 ERH+RH (25:75) 처리 보다 통계적으로 유의하게 우수하였다. 특히 ERH+RH (75:25, v/v)를 상회하는 두 처리는 자묘의 지상부 및 근권생육이 뚜렷하게 저조하였다.

ERH+CD 처리 별 8월 1일 발근수는 ERH+CD (80:20, v/v) 표면처리와, ERH+CD (85:15) 혼합처리에서 가장 많았다. 8월 15일에 조사된 1차 근수는 표면과 혼합처리에서 ERH+CD (85:15, v/v) 처리가 가장 많았다. 근장의 경우 무 처리가 가장 길었고, 표면과 혼합처리 모두 ERH+ CD (90:10, v/v)부터 급격히 짧아졌다. 두 처리 모두 근중은 ERH+CD (90:10, v/v)에서 뚜렷하게 무거워졌지만 증가의 폭이 완만해졌고, 발근율은 ERH+CD (85:15)가 가장 높았다. 이상의 연구결과를 고려할 때 양질묘 생산을 위한 팽연왕겨 혼합상토 조성 비율은 각각 ERH+RH (75:25, v/v) 이내, ERH+CD (85:15)가 바람직하다고 판단하였다.

REFERENCE

Benoit, F. and Ceustemans, N., 1990. The use of recycled polyuretane as an ecological growing medium. Plasticult., 88, 41-48.

Choi, J. M., Chung, H. J., Choi, J. S., 2000. Physico·chemical properties of organic and inorganic materiais used as container media. Kor. J. Hort. Sci. Technol., 18, 529-535.

Choi, J. M,. Park, J. Y., Youn, M. K., 2010. Impact of physico·chemical properties of root substrates on growth of 'Seolhyang' strawberry daughter plants occurred through bag culture of mother plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol,. 28(6), 964-972

Hwang, I. T. Cho, K. C., Lee, J. H., Chung, S. J., Kim, K. S., Kim, J. G., 2003. Effect of substrate kind and depth on growth and development of hydroponically -grown *Chrysanthemum grandiflorum* cv. Chungwoon. J. Kor. Soc. Hort. Sci., 44, 107-113.

Kim, K. H., Lim, S. H., Kim, S. I., Yoo, K. C., 2001. Improvement of method for supplying the nutrient solution at expanded rice hull substrates during hydroponic culture of tomato plants. J. Bio-Env. Con., 10, 101-105.

Kim, I. G., 2005. Effect of growth substrate on the growth, yield and fruit quality of strawberry in elevated hydroponic system. phD Diss., Gyeongbuk Natl. Univ., Gyeongbuk Korea.

Kim, T. I., Jang, W. S., Nam, M. H., Lee, W. K., Lee, S. S., 2006. Breeding of strawberry 'Sulhyang' for forcing culture. 27th Intl. Hort. Congr. & Exhit., (Abstract)231. (Abstr.).

Lee, J. W., 1999. Improvement of physicochemical properties of rice hull-based substrate for raising seedlings. PhD Diss., Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea.

Lim, J. H., Yoon, J. T., Kim, I. S., Choi, B. S., 1995. Effect of amount of rice hulls mixture on growth and yield of tomato by nutriculture media. RDA J. Agr. Sci., 37, 363-366.

Park, G. S., 2014. Utilization of expanded rice-hull as a root medium to improve daughter plant growth and early yield after transplant in strawberry cultivation. PhD Diss., Kongju Natl. Univ., Kongju, Korea.

Rural Experiment Administration (RDA)., 2001. Labor saving strawberry propagation using rice-hull based root media. Suwon, Korea.

Rural Experiment Administration (RDA)., 2008. Cultivation manual of new cultivar 'Seolhyang' strawberry. Suwon, Korea.

Verdonck, O. and Penninck, R., 1986. Air content in horticultural substrates. Acta Hort., 178, 101-106.