

PLANT & FOREST

The effects of biomaterials in growing medium on the response of *Zelkova serrata* in a containerized production system

Woo-Bin Youn¹, Si-Ho Han¹, Jeong-Min Seo¹, Aung Aung¹, Huong Thi Thuy Dao¹, Ji-Young An³, Byung -Bae Park^{1*}, Min-Seok Cho^{2*}

¹Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

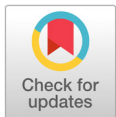
²Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

³Institute of Agricultural Science in College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding authors: bbpark@cnu.ac.kr, mscho1143@korea.kr

Abstract

Changes in the physical and chemical properties of soil materials during the nursing process have a great influence on the quality of containerized seedlings and on growth and survival after planting. In this study, the effect of biomaterials and their mixed ratios on the growth of *Zelkova serrata* seedlings in a containerized seedling production system was investigated. Mushroom sawdust, pine bark, and carbonized rice husk were used as biomaterials. The mixed ratios were 10% and 20% volume ratio of the growing medium volume, including the untreated controls. There was no significant difference in the height growth of the *Zelkova serrata* seedlings according to the biomaterials. The root collar diameter was the highest with the 20% carbonized rice husk and the lowest with the mushroom sawdust. The difference between the highest quality index and the lowest quality index was 30% in the order of the carbonized rice husk, pine bark, control, and mushroom sawdust, but there was no statistical significance. In this study, if the growing medium mixed with biomaterials does not reduce the seedling growth compared with the control, it is considered that the biomaterial can replace a part of the growing media. Therefore, the results show that some of the growing media can be replaced with carbonized rice husk or pine bark when producing *Zelkova serrata* seedlings.



OPEN ACCESS

Citation: Youn WB, Han SH, Seo JM, Aung A, Dao HTT, An JY, Park BB, Cho MS. 2019. The Effects of biomaterials in growing medium on the response of *Zelkova serrata* in a containerized production system. Korean Journal of Agricultural Science 46:781-790. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20190060>

Received: June 24, 2019

Revised: September 08, 2019

Accepted: September 16, 2019

Copyright: © 2019 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Keywords: afforestation, mushroom sawdust, pine bark, quality index, rice husk

Introduction

상토는 식물체를 지지하고 작물의 생육에 필요한 각종 양분과 수분을 공급하는 공간이므로, 적합한 상토를 선택하는 것이 양묘의 기본이라고 할 수 있다(Kim and An, 2002). 우리나라는 1980년대 이전에는 산지 토양을 채취하여 용기의 상토로 사용하다가 1980년대부터 외국에서 제조한 상

토가 수입되어 상용화되었으며, 1990년대부터 도입된 육묘 기술에 따른 상토 산업이 발전하였다(KCS, 2000). 초기의 상토는 피트모스를 주재료로 하고 질석, 펄라이트, 비료 등을 첨가하는 방식이었다(Kim and An, 2002). 현재 상토의 재료로는 피트모스(peat moss), 비료(compost), 코코피트(coco peat), 톱밥(sawdust), 왕겨(rice husk) 등의 유기성 재료와 펄라이트(perlite), 질석(vermiculite), 제올라이트(zeolite), 모래(sand) 등의 무기성 재료가 주로 사용된다(Kim and Kim, 2011; Jung et al., 2015).

상토의 주재료인 피트모스는 과거에는 주로 캐나다에서 수입되었지만(Miller and Jones, 1995), 최근에는 가격이 저렴한 리투아니아, 라트비아 등 유럽 국가에서의 수입량이 증가하고 있다(Choi et al., 2009; Shim et al., 2016). 우리나라는 피트모스를 전량 수입하고 있기 때문에 상토의 원자재를 공급하는 수출국의 정치적, 경제적인 문제로 수입에 차질이 생길 수 있다. 그럴 경우 조림과 산림육성의 기본이 되는 종묘산업의 붕괴, 이에 따른 농가의 막대한 손해가 예상된다(Kim et al., 2014). 더욱이 피트모스에 의해 저장된 탄소가 화석원료 사용처럼 대기로 방출되어 지구온난화를 가중시킬 것이다(Gorham, 1991; Shaw et al., 2010). 따라서 우리나라에서 생산이 가능한 순환 원료를 이용하여 상토의 대체물질을 개발하는 연구가 필요하다(Gruda and Schnitzler, 2004a, 2004b).

Park et al. (2013)은 펄라이트와 구조상으로 유사하며 규산질 비료로 이용 가능하고 생산비용이 비교적 저렴한 건축자재 ALC (autoclaved lightweight concrete) 부산물을 펄라이트 대용으로 사용하여 관상 가치가 높은 관엽식물을 대상으로 실험한 결과, ALC의 활용 가능성을 제안하였고, Kim et al. (2012)은 벼를 대상으로 제올라이트를 물리·화학적 특성이 비슷한 바닥회로 대체하여 실험한 결과, 발아 및 생육 모두 양호하거나 관행 상토에 비해 우수한 것으로 평가하였다. Jung et al. (2015)은 피트모스 대체가능성을 연구하기 위해 임산부산물인 참나무 톱밥과 목질섬유를 배추 육묘에 사용하였다. 이외에도 피망, 배추, 토마토, 오이, 상추, 참외 등을 대상으로 실시한 버섯폐배지 연구(Lee et al., 2009; Zhang et al., 2012; Oh et al., 2013; Kim et al., 2014), 페튜니아와 벼를 대상으로 실시한 왕겨 연구(Song et al., 1996; Kim et al., 2003), 상추, 비트, 브로콜리, 코리앤더를 대상으로 실시한 포도찌꺼기 연구(Bustamante et al., 2008), 토마토를 대상으로 한 지렁이분 연구(Zaller, 2007)가 진행되고 있으나 대부분의 연구가 농업분야 단년생 작물을 대상으로 실시하였다. 최근에 목분을 대상으로 한 연구가 진행되었지만(Aung et al., 2019; Dao et al., 2019; Seo et al., 2019), 연구 초기 단계에 머물고 있다.

본 연구에서는 버섯폐배지, 소나무수피, 탄화왕겨를 일반 상토에 첨가하여 상토의 일부를 대체함으로써 재료별 상토 대체가능성과 혼합 가능 비율을 구명하고자 하였다. 느티나무는 산림청의 조림 권장 수종으로 정자목과 가로수로 많이 이용되며, 목재는 색깔과 무늬가 아름답고 변형이 적고 잘 썩지도 않아 목재로서의 가치가 높다(Park and Lee, 2007). 버섯폐배지, 소나무수피, 왕겨는 각각 버섯 생산, 펄프 가공, 벼의 도정 과정에서 발생하는 부산물(Kim et al., 2014; Park and Choi, 2014; Park et al., 2014)로 이 재료들을 사용함으로써 재활용을 통해 폐기물 처리 비용을 절감시킬 수 있으며, 임가 또는 농가의 부가적인 소득을 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

Materials and Methods

연구지역 및 연구수종

본 연구는 2017년 03월부터 10월까지 경기도 포천시에 위치한 국립산림과학원 산림기술경영연구소(37° 45'N, 127° 10'E) 내 온실에서 실시하였다. 시설온실 내의 연평균 기온은 13.8°C, 연평균 습도는 65.5% 이다. 관수는 1일 1회 20분 자동으로 관수하였고, 시비는 표준시비량 기준으로 1주일에 1회 시비하였다(Cho et al., 2017).

연구대상 수종은 느티나무(*Zelkova serrata*)로 국립품종관리센터에서 제공한 종자를 2017년 3월 국립산림과학원 산림기술경영연구소 온실에 파종하여 연구에 이용하였다.

실험설계

본 연구에서는 20개의 셀(cell)로 구성된 32 cm × 40 cm 크기의 용기(tray)를 사용하였다. 각 셀은 직경 6.8 cm, 깊이 15 cm로 용적은 400 mL이다. 연구의 편리성과 온실 내 공기 순환을 위해서 용기를 온실 바닥에서 60 cm 높이의 용기 받침대 위에 설치하였다.

첨가 재료 중 소나무 수피는 강원도 동해시의 목재유통센터에서, 버섯배지는 경기도 여주시의 산림버섯연구센터에서 가져와서 사용하였다. 탄화왕겨는 시중에서 판매되는 왕겨를 구입 후 반탄화하여 사용하였다. 구입한 원료는 자동분쇄기를 이용하여 직경 1 mm 이하로 분쇄하여 실험에 사용하였다.

첨가 재료 혼합 전의 상태는 피트모스(peatmoss), 펄라이트(perlite), 질석(vermiculite)을 1 : 1 : 1의 용적 비율로 혼합하여 사용하였는데, 이는 묘목 생산에 가장 이상적인 혼합 비율로 알려져 있다(Landis et al., 1990). 첨가 재료(버섯배지, 소나무 수피, 탄화왕겨)는 0, 10, 20% 3수준의 용적 비율로 상토와 혼합 처리하였다. 첨가 재료를 혼합하지 않은 대조구는 상토 400 mL를 사용하였고, 다른 처리들은 첨가 재료 40 mL를 상토 360 mL에 혼합하여 혼합 비율 10%로 만들었고, 첨가 재료 80 mL를 상토 320 mL에 혼합하여 혼합 비율 20%로 만들어 사용하였다(Table 1). 각 처리는 트레이당 20본씩 5반복으로 처리하였고, 탄화왕겨 처리는 20분 1트레이를 사용하여 개체 반복 처리하였다.

Table 1. The physical and chemical properties of biomaterials after mixing with artificial soil.

Properties	Control	Mushroom sawdust		Pine bark		Rice husk	
		Mixed ratio		Mixed ratio		Mixed ratio	
		10%	20%	10%	20%	10%	20%
pH	5.8	5.4	5.0	4.5	4.9	5.0	5.2
EC (dS m ⁻¹)	0.13	0.11	0.15	0.18	0.12	0.15	0.15
Bulk density (g cm ⁻³)	0.36	0.44	0.43	0.40	0.36	0.38	0.37

생장측정

처리에 따른 느티나무의 생장을 측정하기 위해 수고와 근원경을 10월에 측정하였다. 수고는 표토로부터 정아 끝 분얼조직까지 측정하였고, 근원경은 디지털 버니어캘리퍼스(digimatic caliper 500-153, MITUTOYO, Japan)를 이용하여 표토 1 cm 부위에서 0.01 mm 단위로 측정하였다(Han et al., 2016). 10월에는 바이오매스를 측정하기 위해 묘목을 잎, 줄기 및 뿌리로 나누어 수확하였다. 뿌리는 토양 입자를 제거하기 위해 흐르는 수돗물로 세척 후 사용하였다. 분리된 식물 조직들은 65°C 건조기에서 48시간 동안 건조시킨 후 무게를 측정하였다.

묘목품질지수(Dickson's quality index)

묘목의 품질을 측정하기 위해 Dickson의 품질지수(quality index, QI) = SD/(HD + SR)를 사용하였다. SD는 묘목의 총 건중량(g), HD는 수고(cm)와 근원경(mm)의 비율, SR은 지상부 건중량(g)과 지하부 건중량(g)의 비율을 나타낸다(Dickson et al., 1960; Deans et al., 1989; Bayala et al., 2009; Cho et al., 2017).

통계분석

첨가재료 3가지와 그 혼합 비율 3수준이 묘목의 수고, 근원경, 건중량 및 품질지수에 미치는 영향을 Duncan의 다중비교검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 분산분석(ANOVA) 하였다(Statistical Analysis System 9.3, Cary, USA). 각 처리에 따른 조사 항목의 확률은 유의수준 0.05를 기준으로 검증하였다.

Results

수고와 근원경 생장

느티나무의 수고는 대조구, 탄화왕겨, 소나무 수피, 버섯배지 순으로 높았으나 통계적인 유의성은 나타나지 않았다($p = 0.244$; Fig. 1).

느티나무의 근원경은 탄화왕겨 처리에서 높았고, 버섯배지 처리에서는 낮았다: 대조구와 각 처리를 비교했을 때 유의한 차이는 없었지만 탄화왕겨 20% 처리에서 근원경 생장이 15% 높았고, 버섯배지 10% 처리는 10% 낮았으며, 탄화왕겨 20% 처리와 버섯배지 처리 간에는 유의한 차이가 있었다($p = 0.016$; Fig. 2).

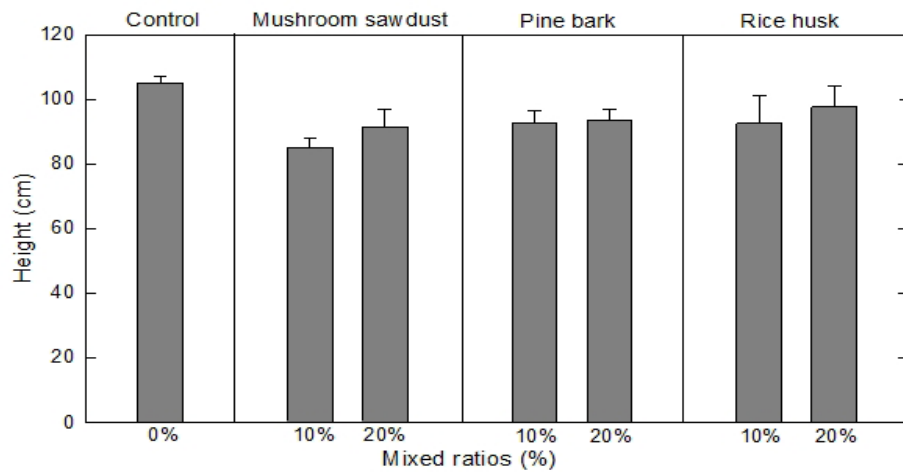


Fig. 1. Height growth of *Zelkova serrata* applied with 3 biomaterials and 2 mixed ratios in a containerized seedling production system. Vertical bars represent one standard error of the mean ($n = 5$).

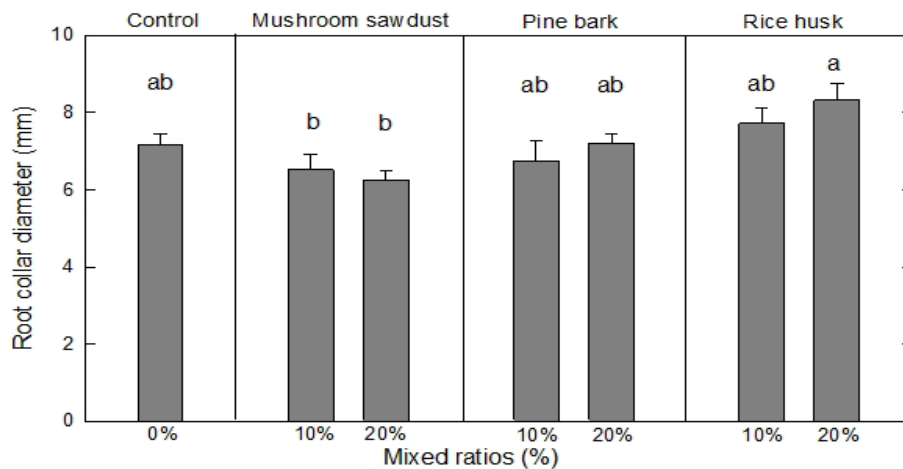


Fig. 2. Root collar diameter growth of *Zelkova serrata* applied with 3 biomaterials and 2 mixed ratios in a containerized seedling production system. a, b: Different letters represent significant differences between treatments. Vertical bars represent one standard error of the mean ($n = 5$).

바이오매스와 묘목품질지수

총 건중량 또한 탄화왕겨 10% 처리에서 유의하게 높았으며($p = 0.024$), 버섯배지 10% 처리에서 유의하게 낮은 생장을 보였고, 대조구에 비해 12% 낮은 생장을 보였다(Fig. 3).

느티나무의 잎 건중량은 탄화왕겨 처리에서 가장 높았으며, 버섯배지 10% 처리에서 가장 낮았으나 통계적 유의성은 없었다($p = 0.305$). 그러나 대조구에 비하여 버섯배지 10% 처리에서 5% 낮았고, 반면에 탄화왕겨 10% 처리에서는 6% 높았다.

느티나무의 줄기 건중량은 탄화왕겨 첨가 10% 처리에서 높았으나 유의한 차이는 없었다($p = 0.077$). 뿌리 건중량은 탄화왕겨 첨가 10%와 20% 처리에서 대조구에 비해 각각 6%와 5% 유의하게 높았으며($p = 0.011$), 버섯배지 10% 처리와 소나무 수피 10% 처리에서는 뿌리양이 각각 16, 9% 낮았다(Table 2).

처리에 따른 느티나무의 품질지수의 범위는 3.2 - 4.5였고, 탄화왕겨, 소나무 수피, 대조구, 버섯배지 처리 순이었으며 유의한 차이는 없었다($p = 0.109$; Fig. 4).

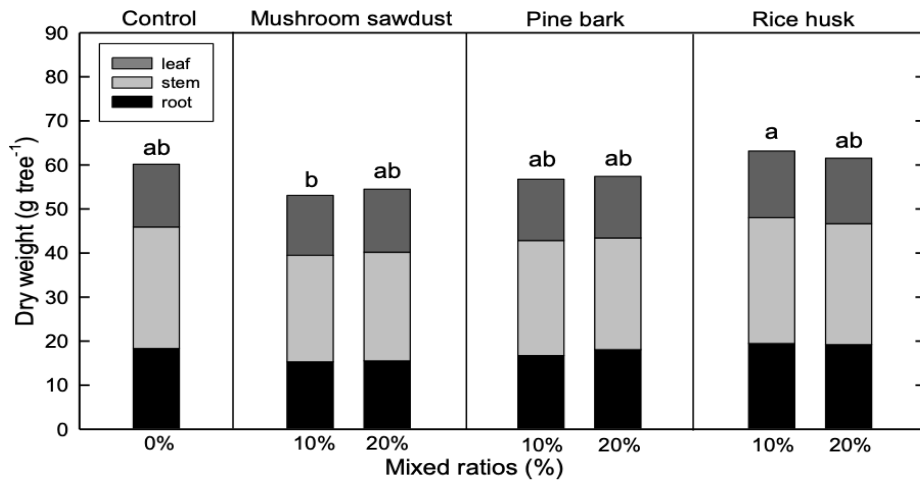


Fig. 3. Dry weight of *Zelkova serrata* applied with 3 biomaterials and 3 mixed ratios in a containerized seedling production system. a, b: Different letters represent significant differences between treatments.

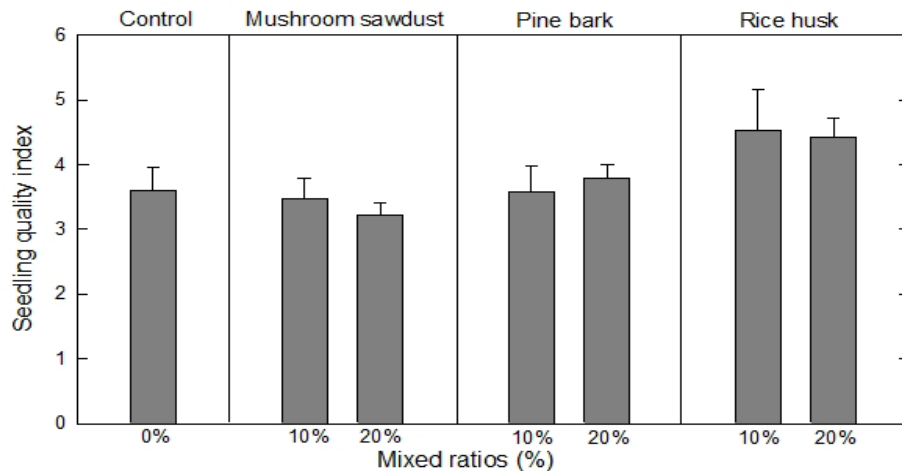


Fig. 4. Seedling quality index of *Zelkova serrata* applied with 3 biomaterials and 2 mixed ratios in a containerized seedling production system. Vertical bars represent one standard error of the mean ($n = 5$).

Table 2. Leaf, stem, root dry weight and biomass allocation of *Zelkova serrata* applied with 3 biomaterials and 2 mixed ratios in a containerized seedling production system.

Biomaterials	Mixed ratio (%)	Dry weight (g)						Root to shoot ratio (%)	Leaf to aboveground ratio (%)		
		Leaf		Stem		Root					
Control	0	14.3	(0.3)	27.6	(0.7)	18.3	(1.4)ab	34.1	(0.6)	43.8	(2.7)
Mushroom sawdust	10	13.6	(0.4)	24.2	(0.8)	15.3	(0.6)b	36.0	(0.9)	40.6	(1.4)
	20	14.3	(0.6)	24.6	(0.6)	15.5	(0.4)ab	36.7	(0.4)	39.9	(0.7)
Pine bark	10	13.9	(0.4)	26.1	(1.1)	16.7	(0.7)ab	34.8	(0.8)	41.9	(1.4)
	20	14.0	(0.4)	25.3	(0.9)	18.1	(1.3)ab	35.6	(0.4)	45.8	(2.2)
Rice husk	10	15.1	(0.3)	28.6	(0.3)	19.5	(0.8)a	34.6	(0.5)	44.5	(1.7)
	20	14.9	(0.6)	27.5	(1.9)	19.2	(0.6)ab	35.3	(1.2)	45.7	(1.5)

Parentheses represent one standard error of the mean (n = 5).

a, b: Different letters represent significant differences between treatments.

Discussion

본 연구는 이상적인 상태로 알려져 있는 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트 혼합상태를 대체할 수 있는 재료를 발굴하기 위해서 임업 분야에서 공급이 용이한 버섯배지, 소나무 수피와 농업 부산물인 탄화왕겨 등을 사용하여 그 효과를 시험한 연구이다. 본 연구를 통해 대체재를 혼합한 상태가 일반 상태와 비교하여 묘목 생장을 감소시키지 않는다면 대체재로 일반 상태의 일부분을 대체할 수 있다고 판단된다. 본 연구 결과, 첨가 재료와 혼합비율 처리는 느티나무의 수고 생장에 유의한 영향을 미치지 않았지만, 근원경과 바이오매스는 탄화왕겨 처리와 소나무 수피 처리에서 유의하게 높았고, 묘목품질지수는 유의하지는 않았지만 다른 처리에 비해 탄화왕겨 처리에서 30% 이상 높았다. 모든 처리에서 일반 상태인 대조구와 비교하여 생장을 유의하게 감소시키지 않았으므로 느티나무 용기묘 생산 시 일반 상태의 일부를 각 혼합 재료로 대체하여 사용할 수 있다고 판단되며, 그 중에서도 탄화왕겨와 소나무 수피가 더 적합하다고 판단된다.

여러 선행 연구에서도 버섯배지(Benito et al., 2005; Medina et al., 2009; Zhang et al., 2012; Oh et al., 2013; Kim et al., 2014), 소나무 수피(Laiche and Nash, 1986; Castillo, 2004; Wright et al., 2006; Boyer et al., 2008; Jackson et al., 2009; Boyer et al., 2012; Park and Choi, 2014)와 탄화왕겨(Kim et al., 2003; Gomez and Robbins, 2011; Park et al., 2014) 모두 상태대체재로서 가능성이 있다고 보고하였으나, 본 연구에서는 탄화왕겨의 생장에 대한 효과가 가장 높았다. 이는 탄화왕겨에 P, Na, Ca, Mg의 함량이 높고, 탄화왕겨의 높은 Si 함량(Mukome et al., 2013)은 Si와 C 결합을 촉진하여 수분 흡수능력과 보유력을 증가시키기 때문으로 판단된다(Lei and Zhang, 2013; Kalderis et al., 2014).

본 연구와 동일한 첨가 재료와 혼합 비율 처리는 수종에 따라 다양한 결과를 보였다. 산벚나무(*Prunus sargentii*)의 경우는 탄화왕겨와 소나무 수피 10% 혼합 처리에서 높은 생장과 묘목품질지수를 보였고(Aung et al., 2019), 물푸레나무(*Fraxinus thynchophylla*)는 탄화왕겨 20% 혼합 처리에서 생장과 묘목품질지수가 높았으나 소나무 수피 처리에서는 대조보다 생장이 감소하였으며(Dao et al., 2019), 졸참나무(*Quercus serrata*)는 다른 처리에서는 생장과 묘목품질지수가 유의하게 감소하지 않았으나, 버섯배지 20% 혼합처리에서 대조구보다 생장과 묘목품질지수가 감소하였다(Seo et al., 2019; Fig. 5). 이는 수종에 따라 첨가 재료와 혼합 비율에 따른 반응이 다를 것을 보여주고 있어 본 연구 결과를 다른 수종에 적용하기보다는 다양한 수종에 대한 추가적인 연구와 처리에 따른 메커니즘 연구가 필요함을 보여주고 있다.

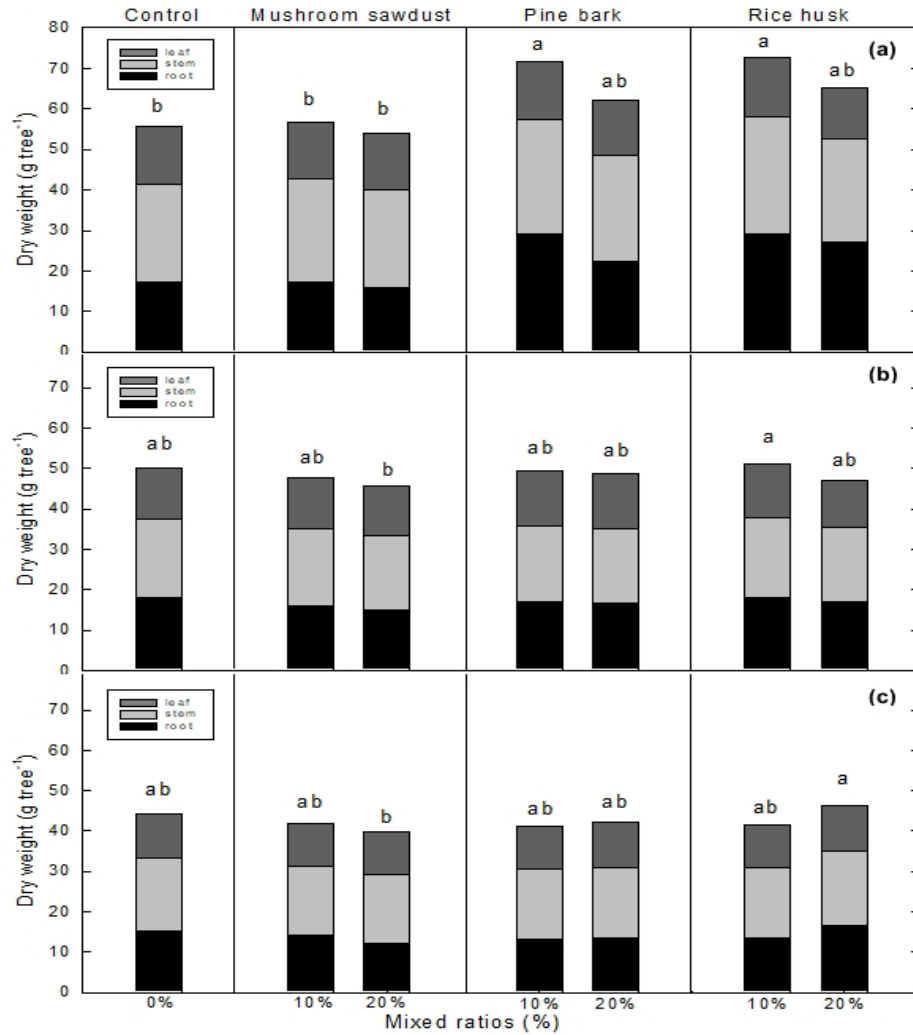


Fig. 5. Dry weight of *Prunus sargentii* (a) (Aung et al., 2019), *Quercus serrata* (b) (Seo et al., 2019) and *Fraxinus rhynchophylla* (c) (Dao et al., 2019) applied with 3 biomaterials and 3 mixed ratios in a containerized seedling production system. a, b: Different letters represent significant differences between treatments.

Conclusion

본 연구는 상토 재료로 전량 수입하는 피트모스, 펄라이트 등의 사용을 줄이기 위해, 국내에서 공급이 용이한 산림과 농업부산물에서 상토대체재를 개발하려는 목적이었다. 이는 폐기될 부산물의 재활용을 증가시켜 환경오염을 줄이고 이산화탄소 흡수를 늘리는 carbon negative pathway를 달성시킬 수 있는 방법이다. 동시에 부산물의 부가가치 증진을 통해 경제적 효과도 증진시킬 수 있을 것이다.

본 연구 결과, 근원경과 총 건중량, 특히 뿌리 건중량에서 유의한 차이가 있었다. 대조구와 비교하면 모든 처리는 유사하였으나, 탄화왕겨 처리에서 버섯폐배지보다 높게 나타났으며, 비율에 따른 차이는 없었다. 따라서 본 연구는 느티나무 용기묘를 생산할 때 기존 상토의 일부를 탄화왕겨 또는 소나무 수피로 대체할 수 있음을 보여주고 있다. 또한, 본 연구에서는 혼합비율을 20%까지 처리하였으나 대조구와 차이가 없었기 때문에 향후 상토와 혼합비율을 더 높게 하여 연구해 볼 필요가 있다.

Acknowledgements

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 ‘(2018112D10-1920-BB01)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Authors Information

Woo-Bin Youn, <https://orcid.org/0000-0003-4459-072X>

Si-Ho Han, <https://orcid.org/0000-0001-5097-3714>

Jeong-Min Seo, <https://orcid.org/0000-0003-0565-0240>

Aung Aung, <https://orcid.org/0000-0001-6150-2803>

Huong Thi Thuy Dao, <https://orcid.org/0000-0001-8967-4973>

Ji-Young An, <https://orcid.org/0000-0001-8573-0456>

Byung-Bae Park, <https://orcid.org/0000-0002-0620-7374>

Min-Seok Cho, Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Researcher

References

- Aung A, Youn WB, Seo JM, Dao HTT, Han SH, Cho MS, Park BB. 2019. Effects of three biomaterials mixed with growing media on seedling quality of *Prunus sargentii*. *Forest Science and Technology* 15:13-18.
- Bayala J, Dianda M, Wilson J, Ouedraogo SJ, Sanon K. 2009. Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forest* 38:309-322.
- Benito M, Masaguer A, De Antonio R, Moliner A. 2005. Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresource Technology* 96:597-603.
- Boyer CR, Fain GB, Gilliam CH, Gallagher TV, Torbert HA, Sibley JL. 2008. Clean chip residual: A substrate component for growing annuals. *HortTechnology* 18:423-432.
- Boyer CR, Torbert HA, Gilliam CH, Fain GB, Gallagher TV, Sibley JL. 2012. Nitrogen immobilization in plant growth substrates: Clean chip residual, pine bark, and peatmoss. *International Journal of Agronomy* 2012. Article ID 978528.
- Bustamante MA, Paredes C, Moral R, Agulló E, Pérez-Murcia MD, Abad M. 2008. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resources, Conservation and Recycling* 52:792-799.
- Castillo JV. 2004. Inoculating composted pine bark with beneficial organisms to make a disease suppressive compost for container production in Mexican forest nurseries. *Native Plants Journal* 5:181-185.
- Cho MS, Meng L, Song JH, Han SH, Bae KK, Park BB. 2017. The effects of biochars on the growth of *Zelkova serrata* seedlings in a containerized seedling production system. *Forest Science and Technology* 13:25-30.
- Choi JM, Kim IY, Kim BK. 2009. Root substrates. Hackyesa, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Dao HTT, Youn WB, Han SH, Seo JM, Aung A, An JY, Park BB. 2019. Effects of biomaterials mixed with artificial soil on seedling quality of *Fraxinus Rhynchophylla* in a containerized production system. *Journal of Forest and Environmental Science* 35:25-30.

- Deans JD, Mason WL, Cannell MGR, Sharpe AL, Sheppard LJ. 1989. Growing regimes for bare-root stock of Sitka spruce, Douglas-fir and Scots pine. 1. Morphology at the end of the nursery phase. *Forestry* 62:53-60.
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36:10-13.
- Gomez C, Robbins J. 2011. Pine bark substrates amended with parboiled rice hulls: Physical properties and growth of container-grown *Spirea* during long-term nursery production. *HortScience* 46:784-790.
- Gorham E. 1991. Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecological applications* 1:182-195.
- Gruda N, Schnitzler WH. 2004a. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants: I. Physical properties of wood fiber substrates. *Scientia Horticulturae* 100:309-322.
- Gruda N, Schnitzler WH. 2004b. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants: II. The effect of wood fiber substrates and their volume weights on the growth of tomato transplants. *Scientia Horticulturae* 100:333-340.
- Han SH, Byun JK, Cho MS, An JY, Park GS, Kim SB, Park BB. 2016. The effects of 7 fertilizers on the growth and nutrient concentrations of *Fraxinus rhynchophylla*, *Fraxinus mandshurica*, *Pinus koraiensis*, and *Abies holophylla* seedlings. *Journal of Korean Forest Society* 105:177-185. [in Korean]
- Jackson BE, Wright RD, Seiler JR. 2009. Changes in chemical and physical properties of pine tree substrate and pine bark during long-term nursery crop production. *HortScience* 44:791-799.
- Jung JY, Lim KB, Kim JS, Park HM, Yang JK. 2015. Utilization of wood by-product and development of horticultural growing media. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 33:435-442. [in Korean]
- Kalderis D, Kotti MS, Mendez A, Gasco G. 2014. Characterization of hydrochars produced by hydrothermal carbonization of rice husk. *Solid Earth* 5:477-483.
- KCS (Korea Customs Service). 2000. Statistical yearbook of foreign trade. pp. 1029-1031. Korea Customs Service, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Kim CH, Oh TS, Shin DG, Cho YK, Kim YW, Ann SW. 2014. Study on the development of horticultural media using recycled used-mushroom-media. *Journal of Environmental Science International* 23:303-312. [in Korean]
- Kim GW, Kim TJ, S, Kim TY, Kim PJ. 2012. Effective controlling pH of bottom ash as an alternative of zeolite in rice seedling bed soil. pp. 135-136. Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer Abstracts, Korea. [in Korean]
- Kim HS, Kim KH. 2011. Physical properties of the horticultural substrate according to mixing ratio of peatmoss, perlite and vermiculite. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44:321-330. [in Korean]
- Kim JY, Kim KM, Sohn JK. 2003. Effect of nursery soil made of expanded rice hull on rice seedling growth. *Korean Journal of Crop Science* 48:179-183. [in Korean]
- Kim LY, Ahn I. 2002. Characteristics and distribution of the soil in Korea. *Soil and Fertilizer* 10:17-33. [in Korean]
- Laiche Jr AJ, Nash VE. 1986. Evaluation of pine bark, pine bark with wood, and pine tree chips as components of a container plant growing media. *Journal of Environmental Horticulture* 4:22-25.
- Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP. 1990. Containers and growing media, Vol. 2 of The container tree nursery manual, agricultural handbook 674. pp. 1-86. US Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C., USA.
- Lee CJ, Cheong JC, Jhune CS, Kim SH. 2009. Applicability of spent mushroom media as horticultural nursery media. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 42:117-122. [in Korean]
- Lei O, Zhang R. 2013. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on

- soil physical and hydraulic properties. *Journal of Soils and Sediments* 13:1561-1572.
- Medina E, Paredes C, Perez-Murcia MD, Bustamante MA, Moral R. 2009. Spent mushroom substrates as component of growing media for germination and growth of horticultural plants. *Bioresource Technology* 100:4227-4232.
- Miller JH, Jones N. 1995. Organic and compost-based growing media for tree seedling nurseries. World Bank Tech. Pap. No. 264, Forestry Series. The World Bank. Washington, D.C., USA.
- Mukome FN, Zhang X, Silva LC, Six J, Parikh SJ. 2013. Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61:2196-2204.
- Oh TS, Kim CH, Shin DG, Cho YK, Kim YW. 2013. Study on Usefulness of used *Flammulina velutipes*-media for horticultural crops. *Journal of the Korean Society of International Agriculture* 25:448-453. [in Korean]
- Park EY, Choi JM. 2014. Development of root media containing pine bark for cultivation of horticultural crops. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 32:499-506. [in Korean]
- Park EY, Choi JM, Shim CY. 2014. Development of root media containing carbonized and expanded rice hull for container cultivation of horticultural crops. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 32:157-164. [in Korean]
- Park JA, Park SY, Ko JW, Paek KY. 2013. Effect of ALC (autoclaved lightweight concrete) as perlite alternatives on growth of three foliage plants. p. 156. Horticulture Abstract, Korea. [in Korean]
- Park WK, Lee KH. 2007. Changes in the species of woods used for Korean ancient and historic architectures. *Journal of Architectural History* 16:9-28. [in Korean]
- Seo JM, An JY, Park BB, Han SH, Youn WB, Aung A, Dao HTT, Cho MS. 2019. The effects of additive biomaterials and their mixed-ratios in growing medium on the growth of *Quercus serrata* container seedlings. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:93-102. [in Korean]
- Shaw AJ, Devos N, Cox CJ, Boles SB, Shaw B, Buchanan AM, Cave L, Seppelt R. 2010. Peatmoss (*Sphagnum*) diversification associated with Miocene Northern Hemisphere climatic cooling? *Molecular Phylogenetics and Evolution* 55:1139-1145.
- Shim CY, Kim CH, Park IS, Choi JM. 2016. Physicochemical properties of various blends of peatmoss and perlite and the selection of rooting media for different growing seasons. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 34:886-897. [in Korean]
- Song CY, Park JM, Choi JM, Bang CS, Lee JS. 1996. Effect of composted rice-hull on physicochemical properties of growing media and growth of petunia hybrid. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 37:451-455. [in Korean]
- Wright RD, Browder JF, Jackson BE. 2006. Ground pine chips as a substrate for container-grown woody nursery crops. *Journal of Environmental Horticulture* 24:181-184.
- Zaller JG. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae* 112:191-199.
- Zhang RH, Duan Z, Li Z. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere* 22:333-342.