

PLANT & FOREST

# The effects of additive biomaterials and their mixed-ratios in growing medium on the growth of *Quercus serrata* container seedlings

Jeong Min Seo<sup>1</sup>, Ji Young An<sup>1</sup>, Byung Bae Park<sup>1\*</sup>, Si Ho Han<sup>1</sup>, Woo Bin Youn<sup>1</sup>, Aung Aung<sup>1</sup>, Huong Thi Thuy Dao<sup>1</sup>, Min Seok Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11186, Korea

\*Corresponding author: [bbpark@cnu.ac.kr](mailto:bbpark@cnu.ac.kr), [mscho1143@korea.kr](mailto:mscho1143@korea.kr)

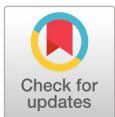
## Abstract

The materials of artificial soils in the production process of container seedlings have a great influence on plant growth. Peat moss, vermiculite, and perlite have been used as major components of artificial soils for many years; however, they could decrease carbon fixation carried out by the soil and cause environmental problems such as a change in the water quality. Thus, environmental friendly materials to replace them must be developed. The purpose of this study was to verify the optimum additive materials of artificial soils and their mixed ratios for the growth and seedling quality index (SQI) of *Quercus serrata*. Rice husk, mushroom sawdust, and pine bark were each used as an additive material and mixed into the growth medium at 10% and 20% of the total volume. There was no significant difference in the height growth of *Q. serrata*. The 20% mushroom sawdust decreased the root collar diameter by 23.4% compared to the control. The total dry weight was highest with the 10% rice husk and was significantly lower by 10.3% for the 20% mushroom sawdust compared to the control. Additionally, the SQI for all the treatments showed no tendency to increase compared with the control. Thus, this study showed the possibility of recycling biomaterials from agriculture and forest for seedling production. This method could reduce environmental problems and help eco-friendly nurseries to achieve a carbon negative impact by the recycling of by-products.

**Keywords:** biomaterial, mushroom sawdust, pine bark, rice husk, seedling quality index

## Introduction

상토는 묘목 생산에 적합한 물리·화학적 특성과 함께 관리성과 경제성도 높아야 한다(Kang et al.,



### OPEN ACCESS

**Citation:** 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. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180093>

**DOI:** <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180093>

**Received:** September 5, 2018

**Revised:** December 3, 2018

**Accepted:** December 12, 2018

**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.

2014; Vašíčková et al., 2015). 용기묘 생산단계에서 상토는 뿌리가 자라는 공간으로 토양 수분과 양분을 저장하고 공급하는 중요한 역할을 한다(Landis et al., 1990; Cho et al., 2017). 초기 상토는 1930년대 영국의 John Innes Horticultural Institute에서 피트모스(peat moss)와 모래, 비료(fertilizers)를 기반으로 시작되었고(Bunt, 1988), 현재 한국에서 많이 이용되고 있는 피트모스, 버미큘라이트(vermiculite), 펄라이트(perlite) 조합은 미국 코넬대학에서 1960년대 개발된 것이다(Mastalerz, 1977; Lee et al., 2006).

상토의 주요 구성물인 피트모스는 식물체 분해 잔해물로서 90% 이상이 유기물이며 수분보유력이 높은 특징이 있다(Argo, 1998; Lee et al., 2006; Choi et al., 2010; Kim and Kim, 2011a). 그러나, 최근에는 피트모스 이용에 따른 토양탄소 고정량 감소와 주변 수질변화와 같은 환경문제가 발생하여 이를 대체할 재료 발굴이 요구되고 있다(Wind-Mulder et al., 1996; Höll et al., 2009; Kim and Kim, 2011a). 대체 물질로 소나무 수피, 솔방울, 갑각류의 껍질, 버섯폐배지를 소재로한 생체재료(biomaterial)와 왕겨 및 밀짚 등을 탄화하여 만든 바이오차(biochar)에 대한 연구가 진행되고 있다(Ingelmo et al., 1998; Park et al., 2008; Muymas et al., 2011; Sohi, 2012; Park and Choi, 2014; Tang et al., 2014; Choi et al., 2015; Oh et al., 2017). 그러나 대부분의 연구가 벼(Song et al., 1996; Kim et al., 2003; Kim et al., 2012), 배추(Jung et al., 2015), 피망, 토마토, 오이, 상추, 참외(Zaller, 2007; Lee et al., 2009; Zhang et al., 2012; Oh et al., 2013; Kim et al., 2014) 비트, 브로콜리, 코리앤더(Bustamante et al., 2008) 등 농업분야 단년생 작물을 대상으로 연구되었다.

본 연구는 상토에 버섯폐배지, 소나무 수피, 탄화왕겨의 혼합비율 처리가 졸참나무 용기묘의 생장과 묘목품질지수에 미치는 영향을 구명하고자 하였다. 졸참나무(*Quercus serrata*)는 해발고도가 낮은 전국 산림에 분포하는 자생수종이고 훼손된 산림에서 갱신력이 높으며 표고자목과 펄포목으로 이용되는 유용한 산림자원이다(Kim et al., 2008; Kim and Kim, 2011b; Won et al., 2014). 상토에 첨가한 버섯폐배지(mushroom sawdust)는 묘목에 영양분과 수분 가용성을 증가시키며(Zhang et al., 2012), 소나무 수피(pine bark)는 배수성과 전기전도도(EC), 양이온교환용량(CEC)을 증가시킨다(Park et al., 2014). 탄화왕겨(rice husk)는 토양의 공극률과 탄소고정률을 증가시켜(Kim, 2013; Ramchandra, 2015) 묘목 성장을 향상시키는 것으로 보고되었다. 본 연구를 통해 졸참나무 양묘에 적합한 혼합재료와 비율을 제시할 수 있고, 이는 산림 또는 농업 분야의 부산물을 재활용하여 환경문제를 줄이고 임가 또는 농가의 소득을 증진하는데 기여할 것으로 사료된다.

## Materials and Methods

### 연구지역 및 연구대상 수종

본 연구는 국립산림과학원 산림기술경영연구소(경기도 포천시 소흘읍 직동리, 37°45'N, 127°10'E) 관내 시설온실에서 2017년 3월부터 2017년 10월까지 이뤄졌다. 온실 내 연평균기온은 13.8°C, 월평균 최고기온은 25.1°C, 월평균 최저기온은 5.4°C으로 나타났다.

연구대상 수종인 졸참나무(*Quercus serrata*)는 국립품종관리센터에서 공급한 종자를 이용하였고, 산림기술경영연구소에 위치한 온실에서 2017년 3월 종자를 받아서 연구에 사용하였다.

### 실험 설계

높이 80 cm 높이의 묘상(NIFoS, 2005)에 4 × 5개의 셀(cell)로 구성된 크기 32 cm × 40 cm 트레이(tray)를 배치하였다. 각 셀은 직경 6.8 cm, 깊이 15 cm로, 부피는 400 mL인 크기이다.

본 연구에서는 기본 상토로 피트모스, 펄라이트, 버미큘라이트(peat moss : perlite : vermiculite = 1 : 1 : 1, v/v)를 혼합하여 사용하였다(Landis et al., 1990; MAF, 2000). 상토 첨가 재료로 사용한 소나무 수피는 강원도 동해시의 목재유통센터, 버섯

폐배지는 경기도 여주시의 산림버섯연구센터에서 생산된 것을 사용하였다. 탄화왕겨는 시중에서 판매하는 왕겨를 구입하여 반탄화(torrefaction)하여 사용하였다(Tumuluru et al., 2011; Park et al., 2014). 준비된 원료는 자동분쇄기를 이용하여 직경 2 mm 크기로 분말화한 후 사용하였다. 대조구는 기본 상토 400 mL를 사용하였고, 10% 혼합처리는 첨가재료 40 mL와 상토 360 mL, 20% 혼합처리는 첨가재료 80 mL와 상토 320 mL를 혼합 처리하였다(Table 1).

대조구, 버섯폐배지, 소나무 수피는 트레이를 5반복 처리하였고, 탄화왕겨 처리는 개체를 반복으로 처리하였다. 매일 오전 11시 10분부터 11시 30분까지 20분간 평균 110 mL cell<sup>-1</sup>로 관수 하였고, 시비는 5월 28일부터 매주 수요일마다 수용성 비료인 MultiFeed20 (20N : 20P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 20K<sub>2</sub>O, Haifa Chemicals, Israel)을 1 g L<sup>-1</sup>(1,000 ppm)로 희석하여 관수와 병행하였다.

## 용기묘 생장 측정

용기묘의 수고와 근원경을 8월, 10월에 각 1회 조사하였다. 가장자리 효과를 제거하기 위하여, 트레이 중심에서 6분을 선정하여 수고와 근원경을 측정하였다. 수고는 근부에서 초두부까지 측정하였고, 근원경은 디지털 버니어 캘리퍼스 (Digimatic caliper 500-153, Japan)로 지상에서 1 cm 높이에서 0.01 mm 단위까지 측정하였다.

## 바이오매스와 묘목품질지수

2017년 10월 수고와 근원경을 측정한 묘목 중에서 트레이당 3본씩 선정하여 수확하였다. 뿌리의 불순물을 제거하기 위해 흐르는 물로 세척하였고, 세척 후 묘목을 잎, 가지, 줄기, 뿌리로 구분한 뒤 65°C 건조기에서 48시간 건조하여 부위별 건중량을 측정하였다.

묘목품질지수(SQI; seedling quality index)는  $SQI = TDW (H/D + T/R)$ 로 계산하였다. TDW는 묘목의 총 건중량(g), H/D는 수고(cm)와 근원경(mm)의 비율, T/R은 지상부와 지하부의 건중량 비율이다(Dickson et al., 1960; Khan et al., 2000).

## 통계분석

3가지의 첨가 재료와 3수준의 혼합 비율이 용기묘의 수고와 근원경, 바이오매스, 묘목품질지수에 미치는 영향을 분석하기 위해 SAS (Statistical Analysis System 9.3, Cary, USA)을 사용하여 이원분산분석하였고, Duncan의 다중비교검정 (Duncan's multiple range test)을 유의수준 5%에서 수행하였다.

# Results

## 수고와 근원경 생장

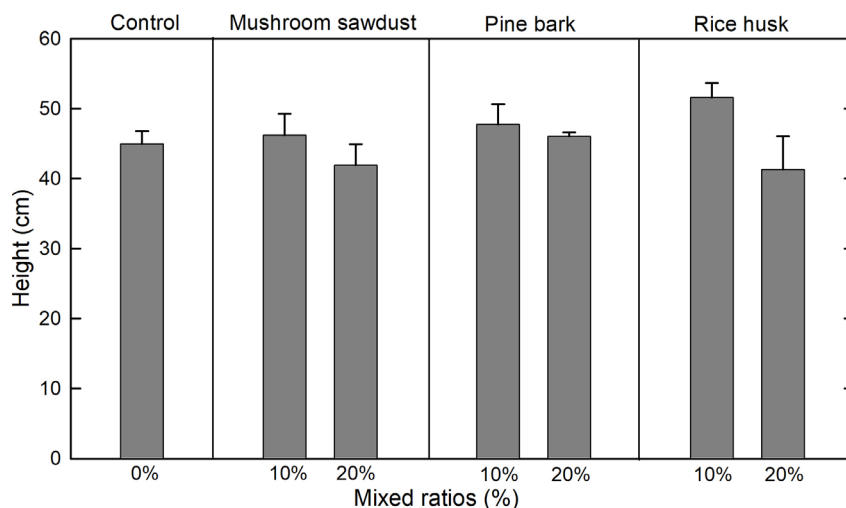
첨가재료 종류와 비율은 줄참나무의 수고 생장에 유의한 영향을 주지 않았으나( $p = 0.29$ ), 탄화왕겨 10% 처리는 대조구에 비해 14.7% 수고 생장을 증가시켰다(Fig. 1). 근원경 생장은 탄화왕겨 10% 처리와 대조구에서 유의하게 높고, 버섯폐

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

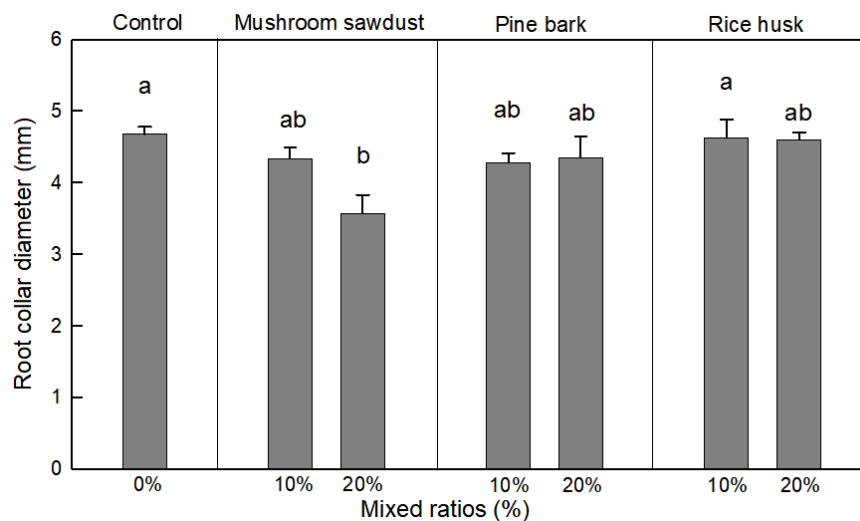
Biomaterials	Control	Mushroom sawdust		Pine bark		Rice husk	
		10%	20%	10%	20%	10%	20%
pH	5.8 (0.2)a	5.4 (0.1)ab	5.0 (0.1)bc	4.5 (0.1)c	4.9 (0.3)bc	5.0 (0.0)bc	5.2 (0.2)b
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.13 (0.01)a	0.11 (0.01)a	0.15 (0.01)a	0.18 (0.07)a	0.12 (0.01)a	0.15 (0.01)a	0.15 (0.01)a
Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	0.36 (0.00)d	0.44 (0.01)a	0.43 (0.02)ab	0.40 (0.01)bc	0.36 (0.02)d	0.38 (0.00)cd	0.37 (0.01)cd

Parentheses are standard errors (n = 3).

a - d: Different letters represent significant differences among treatments at each measurement.



**Fig. 1.** Height growth of *Quercus serrata* applied with 3 biomaterials and 3 mixed ratios in a containerized seedling production system. Height was not significantly different among treatments. Vertical bars represent one standard error of the mean (n = 5).



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

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

Biomaterials	Mixed ratio (%)	Leaf (g)	Stem (g)	Root (g)	Leaf to aboveground ratio (%)	Root to shoot ratio (%)
Control	0	12.8 (0.3)ab	19.3 (0.3)ab	18.1 (0.3)a	39.9 (0.3)ab	56.5 (0.7)a
Mushroom sawdust	10	12.5 (0.2)ab	18.9 (0.3)ab	16.1 (0.4)ab	39.8 (0.3)ab	51.1 (1.3)ab
	20	12.4 (0.2)ab	18.4 (0.2)b	14.9 (0.4)b	40.3 (0.6)ab	48.4 (0.7)b
Pine bark	10	13.6 (0.4)ab	19.0 (0.2)ab	16.9 (0.5)ab	41.6 (0.6)a	51.8 (1.1)ab
	20	13.7 (0.3)a	18.6 (0.2)ab	16.5 (0.6)ab	42.3 (0.3)a	51.0 (1.1)ab
Rice husk	10	13.3 (0.3)ab	19.6 (0.4)a	18.1 (1.2)a	40.4 (0.8)ab	54.8 (3.2)ab
	20	11.4 (1.4)b	18.7 (0.2)ab	16.8 (0.4)ab	37.5 (2.8)b	56.5 (4.1)ab

Parentheses are standard errors (n = 5).

a, b: Different letters represent significant differences among treatments at each measurement.

배지 20% 처리는 대조구에 비해 23.4% 유의하게 낮은 생장을 보였다( $p = 0.01$ ) (Fig. 2).

### 바이오매스와 묘목품질지수

졸참나무 잎의 건중량은 소나무 수피 20% 처리에서 가장 높고 탄화왕겨 20% 처리에서 유의하게 낮았으며( $p = 0.05$ ), 다른 처리 사이에서는 유의한 차이가 없었다(Table 2). 줄기( $p = 0.05$ )와 뿌리( $p < 0.01$ ) 건중량은 탄화왕겨 10% 처리에서 가장 높고 버섯폐배지 20% 처리에서 가장 낮은 값을 보였고, 나머지 처리 사이에는 유의한 차이가 없었다(Table 2). 지상부 건중량에서 잎의 비율이 가장 높은 곳은 소나무 수피 처리였으며, 지상부에 비해 뿌리 발달이 가장 저조한 곳은 버섯폐배지 20% 처리였다.

총 건중량은 탄화왕겨 10% 처리에서 가장 높고, 버섯폐배지 20% 처리에서 10.3% 유의하게 낮았으며( $p = 0.02$ ), 그 외의 처리에서는 유의한 차이가 없었다(Fig. 3).

묘목의 건전성을 평가할 수 있는 묘목품질지수는 대조구에 비해 모든 처리에서 감소하였다(Fig. 4): 버섯폐배지 10%와 20% 처리에서는 각각 15%와 26%, 소나무 수피 10%와 20% 처리에서는 각각 15%와 13%, 탄화왕겨 10%와 20% 처리에서는 각각 11%와 2% 감소하였다.

## Discussion

본 연구는 졸참나무를 대상으로 산림 또는 농업부산물인 버섯폐배지, 소나무 수피, 탄화왕겨를 기존 상토에 혼합하여 이용할 수 있는지를 구명하는 것이었다. 졸참나무의 수고와 근원경 생장, 그리고 묘목품질지수는 3가지 첨가 재료 처리에서 비슷하거나 감소하는 경향을 보였다. 특히, 버섯폐배지 20% 처리에서는 총 건중량과 묘목품질지수가 대조구에 비해 유의하게 감소하였다(Fig. 3 and 4). 이는 농작물인 오이, 참외, 배추, 상추를 대상으로 한 발아와 초기 생장 시험에서도 비슷한 결과를 보였는데(Kim et al., 2014), 오이와 참외는 혼합비율 10%까지는 대조구와 비슷한 발아율이 나타났지만, 혼합비율 30%에서 오이와 참외의 발아율은 유의하게 감소하였으며, 특히 배추와 상추는 발아되지 않았다. 탄화왕겨 처리도 수고와 근원경 생장에 유의한 영향을 주지 않았는데, 본 연구와 같이 Haeferle et al. (2011)은 탄화왕겨로 만든 바이오차를 벼에 처리했을 때 벼의 초기 생장을 유의하게 감소시킨다고 보고하였다.

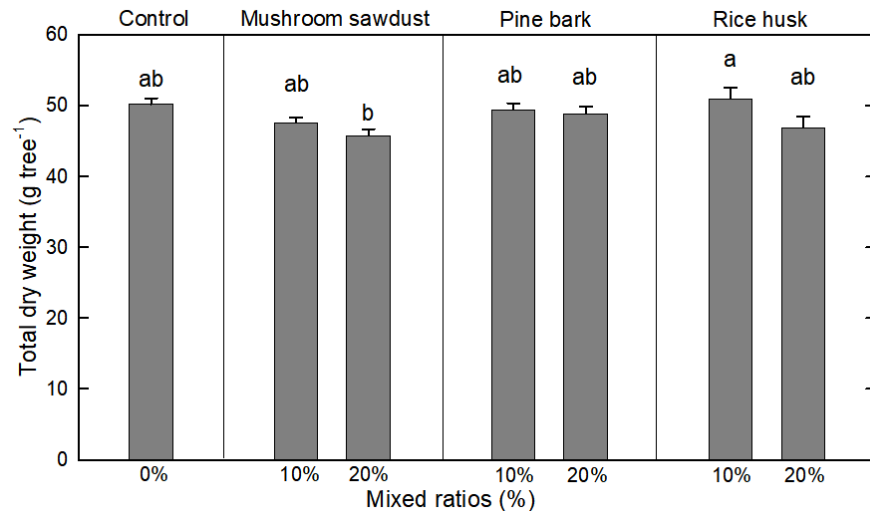
상토에서 EC 값이 높을 경우 식물의 양분흡수능력이 저하되고 양분 불균형의 원인이 되어 식물의 생장을 저하시킨다(Maas and Grattan, 1999). EC 농도에 민감한 오리나무류(*Alnus* sp.), 낙엽송(*Larix kaempferi*), 소나무(*Pinus densiflora*) 등은 2 dS/m 이하에서도 생장이 저하되는 것으로 보고되고 있으나, 졸참나무는 EC에 약간의 내성이 있어 3종류 혼합처리에 의한 EC 농도가 영향을 주지 않은 것으로 판단된다(Brady and Weil, 2002). 그러나, 대조구 상토의 pH는 5.8로 우리나라 산림 토양의 평균보다 약간 높거나 비슷한 값이지만(Jeong et al., 2002), 혼합 처리는 pH 단위를 0.4 - 1.3 감소시켰다(Table 1). 일반적으로 pH 5.5 - 6.5가 식물에 이상적인 범위인데, 산성이 심할 경우 칼슘, 마그네슘, 몰리브덴, 인의 부족 현상뿐만 아니라 알루미늄, 망간, 수소 독성이 발생할 수 있다(Brady and Weil, 2002). 본 연구에서 혼합처리에 의한 pH 감소는 졸참나무의 수고와 근원경 생장을 감소시킨 것으로 판단되지만, pH 값과 생장의 유의한 상관관계는 관찰되지 않았다.

본 연구와 유사한 첨가재료와 혼합비율 처리가 수종에 따라 다양한 결과를 보였는데 산벚나무(*Prunus sargentii*)는 탄화왕겨와 소나무수피 10% 혼합처리에 생장과 묘목품질지수가 증가하였고(Aung et al., 2019), 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)는 탄화왕겨 20% 혼합처리에 생장과 묘목품질지수가 높았으며, 느티나무(*Zelkova serrata*)는 버섯폐배지 처리에서 생장과 묘목품질지수가 감소하는 경향을 보였다(unpublished data). Peksen and Uzun (2008)는 버섯폐배지 처리가 케일과 브로콜리의 품질을 저하시킨다고 보고하였으나, Wang et al. (1984)과 Medina et al. (2009)는 콩, 오이, 애호박, 고추, 토마토를 대상으로 한 연구에서 정반대의 결과를 보고하였다. 이는 수종에 따라 첨가재료와 혼합비율에 따른 반응이다

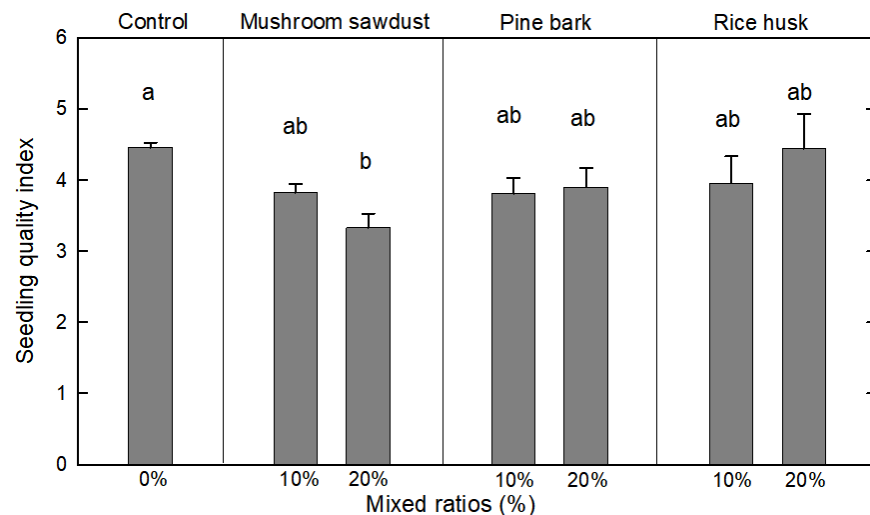
를 보여주고 있어 본 연구결과를 다른 수종에 적용하기보다는 다양한 수종에 대해서 처리와 반응에 대한 메커니즘 연구가 추가적으로 필요함을 보여주고 있다.

## Conclusion

본 연구는 상토재료로 이용되고 있는 피트모스, 펄라이트 등의 수입량을 줄이고, 국내에서 공급 가능한 산림과 농업부산물로 상토 대체재를 개발하려고 수행하였다. 버섯폐배지 20% 혼합처리를 제외하고 소나무 수피와 탄화왕겨 모두 졸참나무의 수고와 근원경 생장, 묘목품질지수를 유의하게 감소시키지 않았다. 본 첨가 재료는 국내에서 생산이 많고 구입이 용이할 뿐만 아니라 폐기될 부산물의 재활용을 통해 환경오염을 줄이고 산업활동을 통해 탄소중립(carbon neutrality)을 넘어 탄소흡수(carbon negative)를 달성시킬 수 있는 방법일 것이다. 동시에 부산물의 부가가치 증진을 통해 임가와 농가에 경제적 기여를 할 것으로 판단된다.



**Fig. 3.** Total dry weight of *Quercus serrata* applied with 3 biomaterials and 3 mixed ratios in a containerized seedling production system. Vertical bars represent one standard error of the mean (n = 5). a, b: Different letters represent significant differences between treatments.



**Fig. 4.** Seedling quality index of *Quercus serrata* applied with 3 biomaterials and 3 mixed ratios in a containerized seedling production system. Vertical bars represent one standard error of the mean (n = 5). a, b: Different letters represent significant differences between treatments.

## Acknowledgements

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

## Authors Information

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

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

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

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

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

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

Huong Thi Thuy Dao, <https://orcid.org/0000-0003-0565-0240>

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

## References

- Argo WR. 1998. Root medium physical properties. *HortTechnology* 8:481-485.
- 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* 2019:1-6.
- Brady NC, Weil RR. 2002. The nature and properties of soils 13th edition. p. 960. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Bunt AC. 1988. Media and mixes for container-grown plants. p. 309. Unwin Hyman, Boston, USA.
- 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.
- Cho MS, Jeong JY, Yang AR. 2017. Growing density and cavity volume of container influence major temperate broad-leaved tree species of physiological characteristics in nursery stage. *Journal of Korean Forest Society* 106:40-53. [in Korean]
- Choi JM, Park JY, Ko KD, Lee CW. 2010. Influence of physico·chemical properties of root substrates on the growth of 'Maehyang' strawberry daughter plants produced by bag culture of stock plants. *Korean Journal of Agricultural Science* 37:199-207. [in Korean]
- Choi YS, Kim SC, Shin JD. 2015. Adsorption characteristics and kinetic models of ammonium nitrogen using biochar from rice hull in sandy loam soil. *Korean Society of Soil and Fertilizer* 48:413-420. [in Korean]
- Dickson A, Leaf AL, Hosner JF. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forestry Chronicle* 36:10-13.

- Haefele SM, Konboon Y, Wongboon W, Amarante S, Maarifat AA, Pfeiffer EM, Knoblauch C. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research* 121:430-440.
- Höll BS, Fiedler S, Jungkunst HF, Kalbitz K, Freibauer A, Drösler M, Stahr K. 2009. Characteristics of dissolved organic matter following 20 years of peatland restoration. *Science of the Total Environment* 408:78-83.
- Ingelmo F, Canet R, Ibanez MA, Pomares F, García J. 1998. Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresource Technology* 63:123-129.
- Jeong JH, Koo KS, Lee CH, Kim CS. 2002. Physico-chemical properties of Korean forest soils by regions. *Journal of Korean Forest Society* 91:694-700. [in Korean]
- 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]
- Kang CY, Park HT, Seo DS, Kang SP. 2014. Development strategy for the artificial substrate industry. p. 131. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. [in Korean]
- Khan SR, Rose R, Haase DL, Sabin TE. 2000. Effects of shade on morphology, chlorophyll concentration, and chlorophyll fluorescence of four Pacific Northwest conifer species. *New forests* 19:171-186.
- 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, Kim TY, Kim PJ. 2012. Effective controlling pH of bottom ash as an alternative of zeolite in rice seedling bed soil. *Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer Abstracts* 2012:135-136. [in Korean]
- Kim HJ, Shin BK, You YH, Kim CH. 2008. A study on the vegetation of the present-day potential natural state of water for flood plain restoration in South Korea. *Korean Society of Environment & Ecology* 22:564-594. [in Korean]
- Kim HS, Kim KH. 2011a. Physical properties of the horticultural substrate according to mixing ratio of peat moss, perlite and vermiculite. *Korean Journal of Soil, Science and Fertilizer* 44:321-330. [in Korean]
- Kim HS. 2013. Rice hull-derived biochar as a stabilizer for heavy metal, an ameliorant for reclaimed tidal soil and a material for growing substrate. Ph.D. dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim JS, Kim TE. 2011b, Korean tree: All of the trees in our land. p. 688. Dolbegae, Korea. [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]
- Landis TD, Tinus RW, McDonald SE, Barnett JP. 1990. Containers and growing media. The container tree nursery manual: Agriculture handbook 674. Vol. 2. p. 88. USDA, Forest Service, Washington, 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]



- Lee HH, Ha SK, Kim BH, Seol YJ, Kim KH. 2006. Optimum physical condition of peatmoss-based substrate for growth of Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp.) plug seedlings. Korean journal of horticultural science & technology 24:322-329. [in Korean]
- Maas EV, Grattan SR. 1999. Crop yields as affected by salinity. Agronomy 38:55-110.
- Mastalerz JW. 1977. The greenhouse environment. p. 629. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Medina E, Paredes C, Pérez-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.
- MAF (Ministry of Agriculture and Forestry). 2000. Development of seedling mass production method by containerized seedling production system. p. 400. Ministry of Agriculture and Forestry, Korea. [in Korean]
- Muymas PP, Boon-long P, Chadchawan S, Pichayangura R, Seraypheap K. 2011. Effect of biomaterial and semi-biomaterial on growth and postharvest quality of 'Red Oak' lettuce. Journal of Agricultural Science 42:37-40.
- NIFoS (National Institute of Forest Science). 2005. Development of production for container seedling with high quality. p. 187. Ministry of Agriculture and Forestry, Korea. [in Korean]
- Oh TK, Lee JH, Kim SH, Lee HC. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). Korean Journal of Agricultural Science 44:359-365. [in Korean]
- Oh TS, Kim CH, Shin DK, Cho YK, Kim YW. 2013. Study on usefulness of used *Flammulina velutipes*-media for horticultural crops. The Journal of the Korean Society of International Agriculture 25:448-453. [in Korean]
- Park D, Ahn CK, Kim YM, Yun YS, Park JM. 2008. Enhanced abiotic reduction of Cr (VI) in a soil slurry system by natural biomaterial addition. Journal of hazardous materials 160:422-427.
- Park EY, Choi JM. 2014. Development of root media containing pine bark for cultivation of horticultural crops. Korean Journal of Horticultural Science & Technology 32:499-506. [in Korean]
- Park YS, Chon JB, Gu JH, Poudel J. 2014. Torrefaction technologies of biomass. Journal of Korea Society of Waste Management 31:469-479. [in Korean]
- Peksen A, Uzun S. 2008. Effect of chemical compositions of seedling media prepared by spent mushroom compost on seedling growth and development of kale and broccoli. Asian Journal of Chemistry 20:3002-3008.
- Ramchandra P. 2015. Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. Renewable & Sustainable Energy Reviews 53:1468-1485.
- Sohi SP. 2012. Carbon storage with benefits. Science 338:1034-1035.
- Song CY, Park JM, Bang CS, Choi JM, Lee JS. 1996. Effect of composted rice-hull on physico-chemical properties of growing media and growth of *Petunia hybrida*. Journal of the Korean Society for Horticultural Science 37:451-455. [in Korean]

- 
- Tang H, Zhang L, Hu L, Zhang L. 2014. Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed. *Journal of plant growth regulation* 33:195-201.
- Tumuluru JS, Sokhansanj S, Hess JR, Wright CT, Boardman RD. 2011. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. *Industrial Biotechnology* 7:384-401.
- Vašičková J, Váňa M, Komprdová K, Hofman J. 2015. The variability of standard artificial soils: Effects on the survival and reproduction of springtail (*Folsomia candida*) and potworm (*Enchytraeus crypticus*). *Ecotoxicology and environmental safety* 114:38-43.
- Wang SHL, Lohr VI, Coffey DL. 1984. Growth response of selected vegetable crops to spent mushroom compost application in a controlled environment. *Plant and Soil* 82:31-40.
- Wind-Mulder HL, Rochefort L, Vitt DH. 1996. Water and peat chemistry comparisons of natural and post-harvested peatlands across Canada and their relevance to peatland restoration. *Ecological Engineering* 7:161-181.
- Won KR, Hong NE, Lee KS, Jung SY, Yoo BO, Park YB, Chong SH, Byeon HS. 2014. Physical and mechanical properties of *Quercus serrata* according to stand characteristics in southern region of Korea. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42:659-665. [in Korean]
- 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, Zeng-Qiang DUAN, Zhi-Guo LI. 2012. Use of spent mushroom substrate as growing media for tomato and cucumber seedlings. *Pedosphere* 22:333-342.