

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.2.151>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Effects of Co-application of Biochars and Composts on Lettuce Growth

Jae-Hyuk Park¹, Se-Won Kang², Jin-Ju Yun³, Seung-Gyu Lee¹, So-Hui Kim¹, Jun-Seok Beak⁴, and Ju-Sik Cho^{5*}

¹Master's Degree, Department of Agricultural Life Sciences & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

²Assistant Professor, Department of Agricultural Life Sciences & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

³Ph.D. Student, Department of Agricultural Life Sciences & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

⁴Undergraduate Student, Department of Agricultural Life Sciences & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

⁵Professor, Department of Agricultural Life Sciences & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

*Corresponding author: chojs@scnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: February 22, 2021

Revised: March 25, 2021

Accepted: March 25, 2021

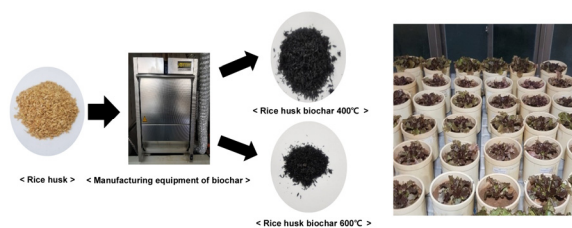
ORCID

Ju-Sik Cho

<https://orcid.org/0000-0001-9610-5373>

The effect of biochar and organic resource applications on lettuce cultivation was investigated. Treatment conditions of pot experiment were designed with CN (control), IF (inorganic fertilizer), BC400-1 (Rice husk biochar 400°C 1%), BC400-1+CP (Rice husk biochar 400°C 1%+compost), BC400-4 (Rice husk biochar 400°C 4%), BC400-4+CP (Rice husk biochar 400°C 4%+compost), BC600-1 (Rice husk biochar 600°C 1%), BC600-1+CP (Rice husk biochar 600°C 1%+compost), BC600-4 (Rice husk biochar 600°C 4%) and BC600-4+CP (Rice husk biochar 600°C 4%+compost). The lettuce fresh weight in IF, BC400, and BC600 treatments increased 185, 101-219, and 83-138%, respectively, over that in CN treatment. Total amount of nutrient uptake in lettuce increased in the order BC400-4+CP > IF ≅ BC600-4+CP ≅ BC400-4 ≅ BC400-1+CP ≅ BC600-1+CP ≅ BC600-4 ≅ BC600-1 ≅ BC400-1 ≅ CN treatments. Considering the results of fresh weight, number of leaves, and nutrients of lettuce, the growth of lettuce was most effective in BC400-4+CP treatment, over that in the IF treatment. Application of combined biochar and compost significantly affected the chemical characteristics of field soil after lettuce harvest. In addition, the positive effects of biochar and compost in soil were related to improved nutrient availability-related parameters such pH and CEC. Therefore, proper application of biochar with compost is effective at improving lettuce cultivation and can benefit the soil environment.

Keywords: Biochar, Compost, Lettuce, Organic resource, Soil environment



Biochar production and lettuce cultivation.



Introduction

지구온난화에 대한 우려가 증가되면서 농업 분야에서도 저탄소 녹색성장에 대한 필요성이 대두되고 있다 (Yi, 2009). 온실가스 중 지구 온난화 지수 (global warming potential, GWP)가 높은 N_2O 의 주 배출원이 무기질 비료 사용을 포함하는 농업활동에 의한 것으로 보고되었으며 (Kim et al., 2017; Gwon et al., 2020), 현재 우리나라의 무기질 비료의 사용량은 2010년 233 kg ha^{-1} 에서 2018년 268 kg ha^{-1} 으로 사용량이 증가되고 있는 추세로 OECD 주요 국가와 비교하였을 때, ha당 무기질 비료의 사용량이 높은 수준으로 분류되고 있다 (Kim et al., 2008; KOSTAT, 2020). 무기질 비료는 식물이 쉽게 이용할 수 있는 편리성과 효율성이 있기 때문에 작물의 수량 증대와 안정적인 생산량 확보가 가능하다는 장점으로 인하여 국내 농가에서 꾸준히 사용되고 있으며, 사용량이 증가하고 있다 (Kim et al., 2018). 무기질 비료의 과다 사용 및 장기적인 사용은 N_2O 발생량 증가를 포함하여 토양 유기물 감소, 염류 집적을 통한 수분 저해 및 토양구조 악화와 같은 문제를 일으킨다고 보고된 바가 있으나 (Lee et al., 2013; Kim et al., 2018, 2020), 유기자원의 사용은 무기질 비료 사용과 다르게 토양에 잔류하는 질소의 양이 많아 다음 작기에 잔존효과를 볼 수 있으며, 토양 지력증진 개선에 효과적인 것으로 보여진다 (Lee et al., 2020). 이에 농업환경을 위한 무기질 비료의 시비 관리와 환경적으로 건전하고 경제적인 수익이 보장되는 유기자원을 활용한 지속 가능한 유기농업에 관한 연구가 필요한 실정이다 (Kang et al., 2018b).

한편 바이오매스를 혐기조건에서 열분해 시킨 후 얻어지는 물질인 바이오차는 탄소 격리를 비롯한 온실가스 저감, 에너지 생산, 토양개량 및 폐기물 관리 등 다양한 측면에서 효과가 있다고 보고된 바가 있다 (Lehmann, 2007; Seo et al., 2012; Kim et al., 2015). 또한, 바이오차는 무기질 비료, 녹비작물, 가축분뇨액비 등과 비교하였을 때, 작물의 생육을 증진시킬 수 있는 영양성분은 부족하지만, 토양 구조를 변화시키고 토양 내 공기 및 양수분의 흐름을 원활하게 하여 작물의 생육에 도움을 줄 수 있다는 특성도 여러 연구자들에 의해 보고가 되었다 (Glaser et al., 2002; Demir and Gülser, 2015; Juriga and Šimanský, 2018). 특히, 바이오차는 작물의 양분 이용 효율에 영향을 주는 토양 pH와 양이온 교환 용량 (cation exchange capacity, CEC)을 증가시켜주기 때문에 다양한 유기자원과 바이오차를 함께 투입한다면 작물의 양분 이용률, 생산량 증진 및 토양 비옥도가 개선될 것으로 판단된다 (Kang et al., 2017). 그동안 국내에서는 무기질 비료의 사용수준을 저감하기 위하여 바이오차를 이용한 연구가 거의 없으며, 녹비작물, 퇴비, 가축분뇨액비의 유기자원 활용에 대한 연구가 대부분이었다. Chan et al. (2007) 및 Kang et al. (2018b)과 같은 일부 연구자에 의해 바이오차와 무기질 비료의 사용수준에 따른 작물의 생산성을 연구한 결과가 있지만, 바이오차+ 유기자원에 대한 연구, 그리고 바이오차 사용수준 및 열분해 온도에 따른 작물의 생육을 비교한 종합적인 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 바이오차의 사용조건과 유기자원의 혼합 사용이 상추의 생육과 토양 특성에 미치는 영향을 평가하여 무기질 비료를 대체하는 유기자원의 활용방안으로 친환경적이고 지속 가능한 농업을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

Materials and Methods

공시재료 본 실험에서 사용된 공시토양은 2019년 8월 23일 전라남도 순천시 석현동 주변 개간지에서 채취하였다. 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 토양 pH는 5.95로 약한 산성 토양이었으며, OM 함량은 5.51 g kg^{-1} 이었고, T-N 및 Avail. P_2O_5 함량은 각각 0.13 g kg^{-1} 및 8.53 mg kg^{-1} 으로 조사되었다. 치환성 양이온 K, Ca

및 Mg는 각각 0.17, 1.43 및 1.07 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다. 본 실험에 사용된 바이오차는 농업부산물인 왕겨를 재료로 하였으며, 바이오차 제조장치를 이용하여 생산하였다. 왕겨는 완전히 건조하여 바이오차 제조장치 (GK-1015 model (주)STI KOREA)의 내부챔버에 넣고 질소가스 (10 psi)를 주입하여 내부챔버가 혐기상태를 유지하도록 하였고, 열분해 온도는 400°C와 600°C 조건에서 1시간동안 열분해하여 제조하였으며, 그 특성은 Table 2와 같다.

Table 1. Chemical properties of the experimental raw soil.

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM ----- (g kg ⁻¹) -----	T-N -----	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	CEC
5.95 ± 0.02	0.04 ± 0.00	5.51 ± 0.30	0.13 ± 0.01	8.53 ± 0.46	0.17 ± 0.01	1.43 ± 0.17	1.07 ± 0.09	6.64 ± 0.15

Table 2. Chemical properties of rice husk biochar.

	pH (1:10)	EC (dS m ⁻¹)	T-C -----	T-N -----	T-P -----	K -----	Ca -----	Mg -----
400°C	6.91 ± 0.03	2.23 ± 0.12	44.9 ± 1.30	1.38 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.76 ± 0.07	0.25 ± 0.04	0.07 ± 0.01
600°C	9.74 ± 0.01	5.80 ± 0.38	46.4 ± 1.70	1.10 ± 0.00	0.14 ± 0.02	1.04 ± 0.07	0.29 ± 0.02	0.08 ± 0.01

실험방법 바이오차와 유기자원의 혼합사용이 상추재배에 미치는 영향을 확인하기 위한 처리조건은 바이오차의 열분해 온도, 사용수준, 바이오차와 유기자원 혼합유무로 나누었으며, 상추재배는 순천대학교 내 유리온실에서 진행되었다. 작물재배는 공시토양을 2 mm체에 통과시켜 균질화된 토양을 사용하였고, Wagner pot (1/5000a)에서 수행되었으며, 모든 처리구는 3반복으로 진행하였다.

본 실험에 사용된 유기자원은 가축분퇴비를 사용하였으며, 퇴비의 pH, EC 및 OM은 각각 7.17, 8.74 dS m⁻¹ 및 58.1%로 조사되었으며, T-N, T-P, K₂O, CaO 및 MgO는 각각 2.6%, 0.1%, 1.84%, 1.72% 및 0.62%으로 조사되었다. 처리조건은 바이오차와 퇴비를 사용하지 않은 CN 처리구 (대조구), 무기질 비료를 사용한 IF 처리구로 나누었으며, IF 처리구의 N-P-K 투입량은 농촌진흥청의 작물별 비료사용 처방기준에 따라 재배작물인 상추의 시비량에 준하였다 (NAAS, 2019). 왕겨 바이오차 처리구는 열분해 온도 및 사용수준에 따라 BC400-1, BC400-1+CP, BC400-4, BC400-4+CP,

Table 3. Treatment conditions of lettuce cultivation.

Treatment conditions	
CN	Control
IF	Inorganic fertilizer (N-P-K = 20-59-12.8 kg 10a ⁻¹)
BC400-1	Rice husk biochar 400°C, application rate 1% (w/w)
BC400-1+CP	Rice husk biochar 400°C, application rate 1% + compost 5% (w/w)
BC400-4	Rice husk biochar 400°C, application rate 4% (w/w)
BC400-4+CP	Rice husk biochar 400°C, application rate 4% + compost 5% (w/w)
BC600-1	Rice husk biochar 600°C, application rate 1% (w/w)
BC600-1+CP	Rice husk biochar 600°C, application rate 1% + compost 5% (w/w)
BC600-4	Rice husk biochar 600°C, application rate 4% (w/w)
BC600-4+CP	Rice husk biochar 600°C, application rate 4% + compost 5% (w/w)

BC600-1, BC600-1+CP, BC600-4 및 BC600-4+CP로 설계되었다 (Table 3). 바이오차와 퇴비는 상추 이식 당일 토양에 혼입하였고, 상추 재배기간 동안 실내 온도 조건은 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 를 유지하였으며, 광조건은 08 - 18시까지 640 - 700 nm 파장의 적색 식물 성장용 LED 조건하에서 재배하였다. 상추는 파종 후 14일된 적치마 상추를 사용하였으며, 2019년 9월 13일에 이식하여 12월 20일까지 14주간 재배 후 수확하였다. 상추의 생육특성은 상추의 지상부와 지하부의 초장, 근장, 생체중, 엽수, 무기성분 및 흡수량을 각각 조사하였으며, 토양의 특성은 상추 재배 후 pH, EC 및 CEC 등의 화학적 특성을 조사하였다.

분석방법 본 실험에 사용된 식물체, 바이오차 및 토양의 화학적 특성은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 식물체의 다량성분은 습식분해법 ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HClO}_4$)으로 전처리하여 T-N은 Kjeldahl법으로 분석하였고, T-P는 Vanadate법 (UV2550PC, Pekinlmer)으로 분석하였으며, K, Ca 및 Mg는 산 전처리후 여액을 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다. 바이오차의 pH 및 EC는 pH meter 및 EC meter (S230 Mettler Toledo)를 사용하였으며, T-N, T-P 등의 무기성분 함량은 식물체 분석법과 동일하게 수행되었다. 토양의 pH 및 EC는 pH meter 및 EC meter (S230 Mettler Toledo)를 사용하였으며, T-N 분석은 Kjeldahl법을 사용하였고, 유효인산 분석은 Lancaster법 (UV2550PC, Pekinlmer)을 사용하였다. 유기물 분석은 Tyurin법으로 하였으며, 치환성 양이온은 1N- NH_4OAc 용액으로 침출 후 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

통계 분석방법 본 연구에서 바이오차 및 유기자원 처리에 따른 모든 연구결과의 통계분석은 SPSS 26를 사용하여 토양의 화학적 특성, 상추의 생육 특성, 무기성분 함량 및 흡수량을 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

수확 후 토양의 화학적 특성 상추 수확 후 처리조건별 토양의 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 바이오차를 사용한 처리구에서 토양 pH와 CEC는 CN 처리구에 비해 각각 0.45 - 1.03 및 1.86 - 2.80 $\text{cmol}_e \text{kg}^{-1}$ 범위로 증가되었다. 바이오차 사용에 따른 토양의 pH와 CEC의 증가는 pH의 경우, 바이오차의 높은 pH로 인하여 토양의 pH가 증가한 것으로 판단되며 (Woo, 2013), CEC의 경우에 토양보다 높은 바이오차의 표면적과 큰 음의 표면전하로 인하여 증가되었다고 판단된다 (Liang et al., 2006). 토양에서 바이오차의 긍정적인 효과는 pH 및 CEC와 같은 영양소 가용성 관련 매개변수의 개선과 관련이 있는 것으로 판단된다 (Kang et al., 2018a). 토양의 EC는 토양에 바이오차 처리구와 대조구간의 큰 차이를 보이지 않았으며, 퇴비를 혼합한 처리구에서 약간 증가하는 경향이였다. 토양 유기물 함량은 대조구를 제외한 모든 처리구에서 증가하였으며, BC400-4+CP 처리구에서 15.0 g kg^{-1} 으로 유기물 함량이 다른 처리구에 비해 높았다. 이와 같은 결과는 배추 재배에 바이오차를 이용한 Lee et al. (2018)의 연구결과에서 바이오차의 사용수준이 증가할수록 토양 유기물 함량이 증가하는 경향을 보인다는 보고와 유사하였다. 토양 T-N 함량은 전반적으로 대조구와 바이오차의 처리간의 큰 차이를 보이지 않았고, 퇴비를 처리하였을 때, 높아지는 경향을 보였다. 토양의 Avail. P_2O_5 함량은 바이오차와 퇴비를 투입한 처리구가 전반적으로 CN 및 IF 처리구에 비해 증가되는 경향이였다.

Table 4. Properties of experimental soil after lettuce harvest.

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM	T-N	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)			
			----- (g kg ⁻¹) -----	-----		K	Ca	Mg	CEC
CN	6.22 a [†]	0.21 abc	5.58 a	0.11 ab	11.8 a	0.26 a	1.88 a	0.99 a	5.18 a
IF	6.70 b	0.23 bc	8.37 b	0.10 ab	15.2 a	0.23 a	2.09 ab	1.04 ab	7.83 cd
BC400-1	7.08 bc	0.21 abc	9.94 b	0.10 a	22.2 b	0.29 a	2.37 bc	1.11 abc	7.30 bc
BC400-1+CP	6.94 bc	0.25 c	8.58 b	0.11 ab	81.2 g	0.25 a	2.52 c	1.25 de	7.61 bcd
BC400-4	6.84 bc	0.21 abc	10.5 b	0.13 abc	11.8 a	0.27 a	2.32 bc	1.17 bcd	7.61 bcd
BC400-4+CP	6.67 ab	0.23 bc	15.0 c	0.18 cd	45.8 d	0.29 a	2.57 c	1.25 de	7.98 d
BC600-1	6.91 bc	0.21 abc	7.90 b	0.09 a	15.7 a	0.24 a	2.72 cd	1.05 ab	7.20 b
BC600-1+CP	7.25 bc	0.20 abc	9.27 b	0.16 bcd	39.4 c	0.27 a	2.69 cd	1.15 bcd	7.04 b
BC600-4	6.68 bc	0.17 a	9.45 b	0.10 a	54.6 e	0.17 a	3.08 d	1.33 e	7.48 bcd
BC600-4+CP	7.25 c	0.19 ab	8.75 b	0.19 d	67.3 f	0.29 a	2.72 cd	1.19 cd	7.14 b

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

상추의 생육특성 Fig. 1에서 보는 바와 같이 처리조건에 따른 상추의 지상부 길이는 13.5 - 17.7 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었고, 지하부 길이는 10.4 - 15.0 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었다. BC400-4+CP 처리구에서 지상부와 지하부 길이가 각각 17.7 cm plant⁻¹, 15.0 cm plant⁻¹으로 다른 처리구에 비해 가장 높은 길이 생장을 보였다. 상추의 생체중은 바이오차의 열분해 조건이 400°C가 600°C조건에 비해 더 높은 결과를 보였으며, 열분해 온도와 상관없이 바이오차

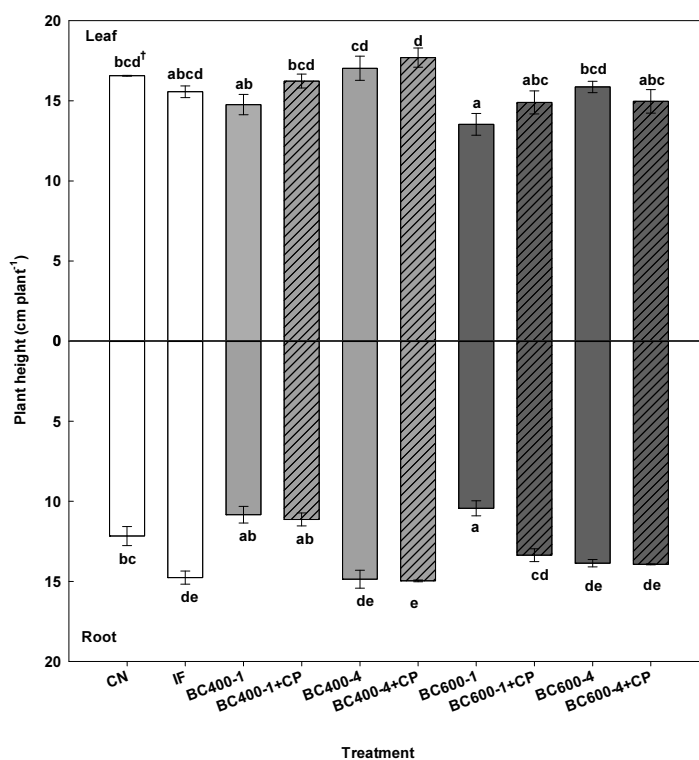


Fig. 1. Plant height of lettuce under different biochar and compost applications ([†]Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

사용수준이 4%인 처리구에서 전체적으로 생체중이 더 높았다. 또한 처리조건에 상관없이 퇴비를 사용한 BC400-1+CP, BC400-4+CP, BC600-1+CP, BC600-4+CP 처리구가 퇴비를 사용하지 않은 처리구에 비해 상추의 생체중이 더 높았다 (Fig. 2). 이와 같은 결과는 바이오차의 열분해 조건, 사용수준 및 조합방법에 따라서 토양의 화학적 특성에 미치는 영향이 달라졌으며, 이는 상추의 생체중에 영향을 끼친 것으로 판단된다.

상추의 엽수는 모든 처리구에서 14.3 - 30.7 ea plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, BC400-4+CP (30.7 ea plant⁻¹) 처리구가 다른 처리조건에 비해 엽수가 많았다 (Fig. 3). Agegnehu et al. (2015)의 바이오차와 퇴비의 혼합이 작물 생산 수율에 관한 연구에서 바이오차와 퇴비의 혼합이 작물의 생산 수율을 개선한다는 보고 바가 있으며, 이와 유사하게 바이오차와 퇴비를 혼합하였을 때, 생체량 및 엽수 등의 상추의 생산량이 더 효과적이었다. 열분해 온도는 400°C인 바이오

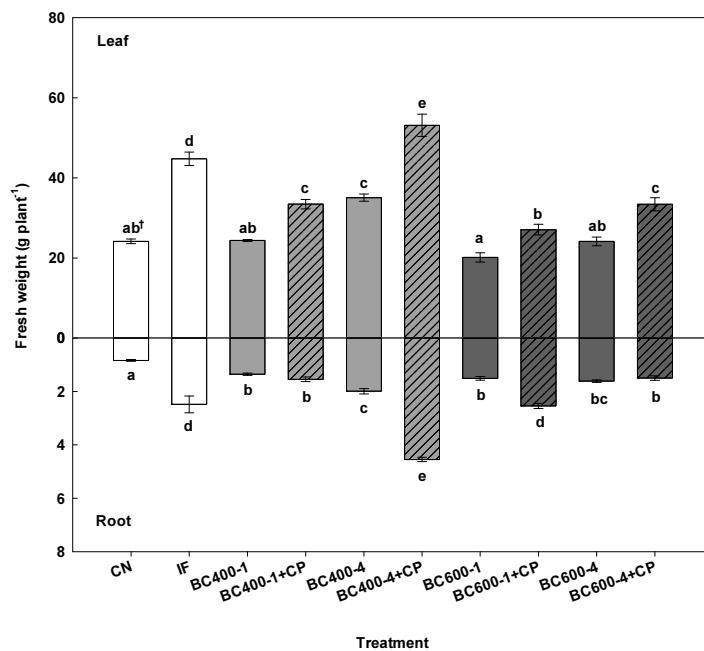


Fig. 2. Fresh weight of lettuce under different biochar and compost applications ([†]Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

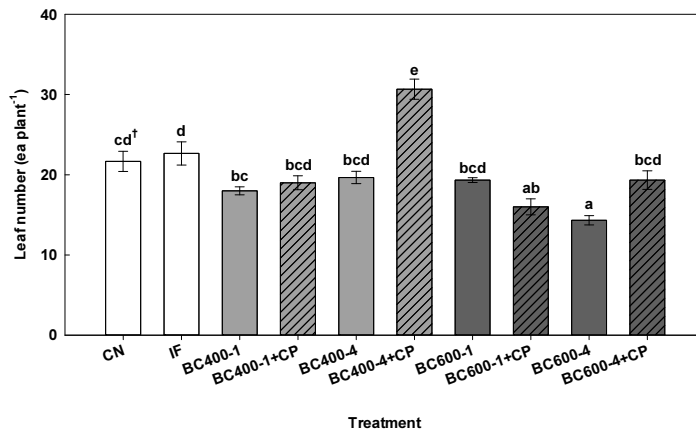


Fig. 3. Total number of leaves of lettuce under different biochar and compost applications ([†]Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

차가 600°C인 바이오차보다 더 높은 효과를 보여주었는데, 이는 Tomczyk et al. (2020)의 열분해 온도에 따른 바이오차의 효과에 관한 연구에서 열분해 온도가 500°C 이상일 때, 바이오차의 CEC 및 표면작용기 함량이 500°C 이하일 때보다 감소한다는 보고가 있으며, 이로 인하여 400°C와 600°C 열분해 조건 간 상추의 생육 차이를 보였다고 판단되었다. 바이오차의 투입량은 열분해 온도와 상관없이 4%일 때, 상추 생육에 더 높은 효과를 볼 수 있는 것으로 조사되었으며, 이는 Carter et al. (2013)의 연구 결과에서 바이오차의 사용수준을 증가시킬수록 상추의 생육이 증가한다는 보고와 유사하였다. 위의 결과로 미루어 보아 바이오차의 사용조건은 토양 pH, OM, T-N 등의 화학적 특성에 영향을 끼쳤으며, 이는 토양의 비옥도가 증가하여 상추의 전반적인 생육특성에 긍정적인 효과를 주었다. 따라서 상추의 생육은 열분해 온도 400°C 왕겨 바이오차 4%를 퇴비와 혼용하였을 때, 상추의 생육에 도움이 될 것으로 판단된다.

상추의 부위 별 무기성분 함량 및 흡수량 바이오차와 퇴비의 사용에 따른 수확기 상추의 지상부와 지하부의 무기성분 함량은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 상추 지상부의 N, P 및 K 함량은 처리조건에 상관없이 각각 1.56 - 2.66%, 0.02 - 0.06% 및 3.91 - 4.85% 범위로 조사되었으며, 지하부의 N, P 및 K 함량은 각각 0.40 - 0.96%, 0.02 - 0.06% 및 1.13 - 1.77% 범위로 조사되었다. 바이오차 및 퇴비의 처리조건에 따른 상추의 건중량 및 무기성분 흡수량은 Table 5에서 보는 바와 같다. 상추의 지상부 및 지하부의 건중량은 생체중 결과와 유사한 경향을 보였다. 상추의 N, P 및 K의 흡수량은 토양에 바이오차를 처리한 경우가 대조구에 비해 전체적으로 증가하였다. 이는 바이오차 사용으로 인한 양분이용효율과 미생물의 활성 증대 등의 원인으로 흡수량이 증가되었다고 판단된다 (Jang et al., 2018). 또한 바이오차와 퇴비를 혼용하여 처리한 처리구의 무기성분 흡수량은 바이오차 단독 처리에 비해 무기성분 흡수량이 증가하였는데, 이는 biochar와 퇴비를 혼용이 토양의 무기성분 가용성과 이용을 개선시켜 높은 흡수량을 보인 것으로

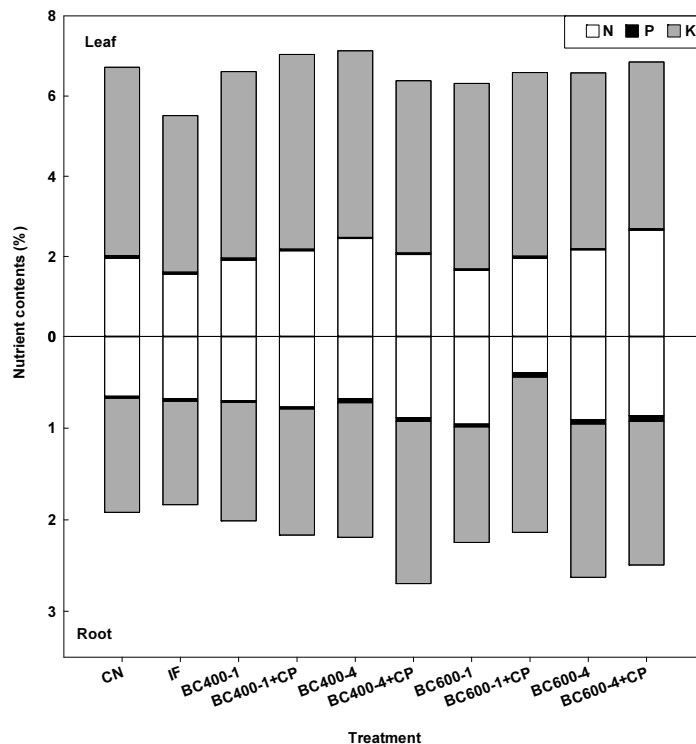


Fig. 4. Distribution of nutrient contents of lettuce under different biochar and compost applications.

판단된다 (Agegnehu et al., 2015). 바이오차의 열분해 온도에 따른 흡수량은 400°C 바이오차가 600°C 바이오차보다 흡수량이 높았으며, 시용수준은 바이오차를 4% 혼합한 것이 1% 혼합한 것보다 흡수량이 더 증가하였다. 상추 부위별 흡수량을 보면, 잎에서의 N 흡수량은 바이오차의 열분해 온도와 상관없이 바이오차의 4% 처리 및 퇴비를 혼합한 BC400-4+CP, BC600-4+CP 처리구가 IF 처리구보다 흡수량이 높았으며, K 흡수량은 BC400-4+CP 처리구에서 가장 높았다. 바이오차 투입을 통한 양분흡수량 증가는 Hong et al. (2020)의 바이오차 시용이 채소 유효 생장 및 양분흡수량에 미치는 영향의 연구에서 보고한 바와 같이 토양 산도 완화 및 토양수분 보유력 증진과 더불어 작물의 생산성에 큰 역할을 할 것으로 판단된다.

Table 5. Dry weight and nutrient uptake in lettuce.

Treatment	Dry weight		N		P		K	
	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root	Leaf	Root
	---- (g plant ⁻¹) ----		----- (mg plant ⁻¹) -----					
CN	2.05 a [†]	0.71 bc	40.1 a	4.61 bc	1.24 cd	0.15 ab	96.5 a	8.84 a
IF	3.98 e	1.71 f	61.9 de	11.6 f	1.84 f	0.52 f	155 ef	19.3 d
BC400-1	2.20 a	0.60 a	41.7 ab	4.20 ab	1.17 cd	0.11 a	103 ab	7.78 a
BC400-1+CP	2.65 bc	0.66 ab	56.8 cd	5.07 bcd	1.11 c	0.14 ab	128 cd	9.04 a
BC400-4	2.86 c	0.83 d	70.1 e	5.64 cd	0.83 b	0.38 d	133 d	12.3 bc
BC400-4+CP	4.04 e	1.05 e	82.9 f	9.30 e	1.63 ef	0.44 de	174 f	18.4 d
BC600-1	2.32 ab	0.68 abc	38.3 a	6.44 d	0.79 b	0.21 b	107 abc	8.48 a
BC600-1+CP	2.64 bc	0.78 cd	51.7 bcd	3.07 a	1.40 de	0.37 d	121 bcd	13.1 c
BC600-4	2.23 a	0.66 ab	48.4 abc	5.96 cd	0.53 a	0.29 c	98.0 ab	11.0 b
BC600-4+CP	3.26 d	0.75 bcd	86.7 f	6.45 d	1.24 cd	0.48 ef	136 de	11.7 bc

[†]Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

Conclusions

본 연구는 무기질 비료 사용을 절감하기 위한 방안으로 바이오차와 유기자원인 퇴비의 혼용이 상추의 생육에 미치는 효과를 조사하고자 진행되었다. 수확 후 토양은 바이오차 처리구에서 pH, CEC 및 유기물의 증가로 토양질 개선에 효과적이었으며, 상추의 생육은 바이오차 처리가 무처리보다 생육에 효과적이었다. 전반적으로 상추재배에서 바이오차의 처리조건별로 비교하였을 때, 열분해온도는 400°C가 600°C보다 효과적이며, 시용수준은 토양의 4%의 처리가 1% 처리보다 토양의 특성 및 작물 생장에 유리하였다. 종합적으로 열분해 온도가 400°C인 바이오차를 퇴비와 함께 4% 처리한 처리구가 길이, 생체중 및 엽수가 각각 32.7 cm plant⁻¹, 57.7 g plant⁻¹ 및 30.7 ea plant⁻¹으로 가장 성장이 높았으며, 수확한 상추의 N-P-K 흡수량 중 N, K의 흡수량 또한 BC400-4+CP 처리구에서 가장 많았다.

따라서 상추의 무비료 재배를 위한 바이오차와 퇴비를 혼합 시용은 온실가스 저감과 토양질 개선, 비옥도 증진 등의 효과를 볼 수 있으며, 400°C 왕겨 바이오차 4%를 토양에 퇴비와 함께 혼합 사용하는 것은 무기질 비료를 사용하는 것과 같은 생산량을 기대해 볼 수 있다. 그러므로 이러한 바이오차 처리는 무기질 비료를 절감하면서 안정적인 생산량을 기대해 볼 수 있는 지속 가능한 친환경 유기농업으로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 논문은 순천대학교 2019년도 학술기반조성사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Agegnehu, G., A.M. Bass, P.N. Nelson, B. Muirhead, G. Wright, and M.I. Bird. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: effect on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 213:72-85.
- Carter, S., S. Shackley, S. Sohi, T. Suy, and S. Haefele. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*. 3(2):404-418.
- Chan, K.Y., L.V. Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 45:629-634.
- Demir, Z. and C. Gülser. 2015. Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian J. Soil Sci.* 4:185-190.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biol. Fertil. Soils.* 35(4):219-230.
- Gwon, H.S., G.Y. Kim, S.I. Lee, J.S. Lee, and E.J. Choi. 2020. Estimation of greenhouse gas emission in rice paddy soil under slow released N fertilizer application: annual investigation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):575-588.
- Hong, S.C., S.Y. Yu, K.S. Kim, G.H. Lee, and S.N. Song. 2020. Effects of biochar on early growth and nutrient content of vegetable seedlings. *Korean J. Environ. Agric.* 39(1):50-57.
- Jang, J.E., G.J. Lim, J.S. Park, J.M. Shim, C.S. Kang, and S.S. Hong. 2018. Application effects of biochar derived from pruned stems of pear tree on growth of crops and soil physico-chemical properties. *J. KORRA.* 26(4):11-19.
- Juriga, M. and V. Šimanský. 2018. Effect of biochar on soil structure - review. *Acta fytotechn. zootechn.* 21(1):11-19.
- Kang, S.W., S.H. Kim, J.H. Park, D.C. Seo, and J.S. Cho. 2017. Selection of optimal application of corn waste biochar for improvement of corn growth and soil fertility. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(5):452-461.
- Kang, S.W., S.H. Kim, J.H. Park, D.C. Seo, Y.S. Ok, and J.S. Cho. 2018a. Effect of biochar derived from barley straw on soil physicochemical properties, crop growth, and nitrous oxide emission in an upland field in South Korea. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25:25813-25821.
- Kang, S.W., W.J. Lee, H.G. Jeong, J.H. Park, J.H. Lee, J.J. Yun, S.Y. Kim, D.C. Seo, and J.S. Cho. 2018b. Effect of application levels of inorganic fertilizer with biochar on corn growth in an upland field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):547-554.
- Kim, D., K. Yoshikawa, and K. Park. 2015. Characteristics of biochar obtained by hydrothermal carbonization of cellulose for renewable energy. *Energies.* 8(12):14040-14048.
- Kim, P.J., Y.B. Lee, Y. Lee, H.B. Yun, and K.D. Lee. 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balances. *Korean J. Environ. Agric.* 27(4):337-342.
- Kim, S.C., M.S. Kim, S.J. Park, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018. Estimation of nutrient balance in field crops applied with different fertilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):427-434.
- Kim, S.H., H.Y. Hwang, M.S. Kim, S.J. Park, J.H. Shim, and Y.H. Lee. 2020. Assessment of fertilizer usage by food crops at the national level. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):231-236.
- Kim, S.U., E.J. Choi, H.C. Jeong, J.S. Lee, and C.O. Hong. 2017. The influence of composted animal manure application on nitrous oxide emission from upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(6):530-537.

- KOSTAT. 2020. https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2422
- Lee, C.H., C.Y. Park, K.Y. Jung, and S.S. Kang. 2013. Long-term effects of inorganic fertilizer and compost application on rice sustainability in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(3):223-229
- Lee, C.R., Y.R. Oh, B.N. Song, J.A. Jung, J.L. Cho, S.M. Lee, and N.H. An. 2020. The Fate of ¹⁵N-labeled organic materials applied to Chinese cabbages cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(1):59-69.
- Lee, J.H., C.J. Seong, S.S. Kang, H.C. Lee, S.H. Kim, J.S. Lim, J.H. Kim, J.H. Yoo, J.H. Park, and T.K. Oh. 2018. Effect of different types of biochar on the growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). *Korean J. Agric. Sci.* 45(2):197-203.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature.* 447:143-144.
- Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F.J. Luizao, J. Petersen, and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1719-1730.
- NAAS. 2019. Fertilization standard of crops. National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Seo, Y.H., S.W. Kim, S.C. Choi, I.J. Kim, K.H. Kim, and G.Y. Kim. 2012. Effect of green manure crop and biochar on nitrous oxide emission from red pepper field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(4):540-543.
- Tomczyk, A., Z. Sokołowska, and P. Boguta. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 19(1):191-215.
- Woo, S.H. 2013. Biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technol.* 19(3):201-211.
- Yi, I.H. 2009. The strategy and tasks of green growth in agriculture and rural sector as a countermeasure of climate change. *J. Korean Reg. Dev. Assoc.* 21(4):41-70.