

Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*)

Taek-Keun Oh¹, Jae-Han Lee¹, Su-Hun Kim¹, Ho Cheol Lee^{2*}

¹Department of Bio-environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²4EN inc., A-504, 32, Digital-ro 9-gil, Geumcheon-gu, Seoul 08512, Korea

*Corresponding author: eochul@gmail.com

Abstract

Biochar has the ability to mitigate climate change, improve crop productivity, and adsorb various contaminants. The aim of this work was to confirm the effect of biochar as a soil amendment on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) using a pot experiment. Biochar was produced from residual-wood burnt at a pyrolytic temperature of 400°C and consisted of 51.6 % carbon (C) by mass. The biochar was added to the soil at 0, 1, 3, and 5% by weight, which represent about 0, 18, 54, and 90 t ha⁻¹, respectively. The treatments were arranged in a randomized complete block design with 3 replications. The Chinese cabbage was grown for 49 days in a glasshouse in pots filled with sandy loam soil. Experimental results showed that the residual-wood biochar used for the experiment was slightly alkaline (pH 7.5). The fresh weights of Chinese cabbage were 86.22 g, 84.1 g, 63.23 g and 70.87 g, respectively, for biochar applications at 0, 18, 54, and 90 t ha⁻¹. Compared with the control (i.e., no biochar), biochar application increased soil pH and electrical conductivity (EC). Addition of biochar (54 and 90 t ha⁻¹) to sandy loam soil had no effect on growth of Chinese cabbage. This might be due to excessive increase of soil pH from the biochar application, leading to reduced availability of plant nutrients. Based on these results, the authors conclude that an excessive addition of biochar may have negative effects on the healthy growth of Chinese cabbage.

Keywords: Chinese cabbage, residual-wood biochar



OPEN ACCESS

Citation: 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.

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170039>

Editor: Jwakyung Sung, National Institute of Agricultural Sciences, Korea

Received: June 23, 2017

Revised: July 31, 2017

Accepted: August 3, 2017

Copyright: © 2017 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.

Introduction

대기 중 온실가스의 증가에 따른 지구적 기후변화문제는 토양 중 유기탄소저장의 중요성을 높이고 있다(Han et al., 2016). 퇴비와 같은 유기물의 지속적인 사용과 비료의 이용효율 증진기술 및 토양 양분 유실 최소화 등을 고려한 통합적인 농경지의 양분관리는 토양 내 유기탄소 함량을 증가시킬 수 있는 좋은 방법이다(Lee, 2013; Lee et al., 2016).

최근 탄소 격리 방안중의 하나로 떠오르고 있는 바이오차(biochar)는 산소가 제한된 조건에서 바이오매스를 열분해할 때 발생하는 고형의 탄화물질이다(Lehmann, 2007; Lehmann and Joseph, 2015). 바이오차를 토양개량제로서 첨가하면 토양의 pH, 보수력 및 이온 교환 능력에

증가하고 미생물의 주거지 제공 등 다양한 특성에 의해 농업 생산성을 향상 시킬 수 있다(Yoon, 2013; Oh et al., 2014). 또한, 바이오차는 농업부산물과 같은 유기성 폐자원을 활용한다는 측면에서 큰 장점이 있으며, 여러 연구를 통해 토양의 생산성 향상(Lehmann and Rondon, 2006; Oh et al., 2012a; Han et al., 2014), 오염물질 흡착(Cao and Harris, 2010; Beesley et al., 2011; Oh et al., 2012b), 온실가스 저감(Lehmann, 2007) 등 다양한 효과가 입증되었다. 이에 따라 최근 국내에서도 바이오차에 한 연구가 시작되어 활발하게 연구가 수행되고 있다. Jeong et al. (2006)은 목탄분말과 목초액을 혼합하여 착색단 고추 재배지에 처리한 결과 식물체의 초장, 엽록소 함량, 광합성률이 증가하였고, 상품 과율도 좋아졌다고 보고한바 있으며, Lee and Kim (2001)은 목탄을 처리한 토양에서 서양측백나무의 수고, 뿌리길이, 무게 등이 대조구에 비해 좋은 성장 효과를 나타내어 작물의 생육에 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 하지만 바이오차는 원료와 생산 과정에 따라 특성이 달라지는 물질이며 연구 초기단계이기 때문에 그 효과를 정확하게 정의 내리기 어렵다(Smith et al. 2010).

따라서, 본 실험에서는 전정가지를 소재로 한 바이오차가 작물의 생장에 어떤 영향을 주는지 확인해보고자 토양 내 바이오차 함량에 따른 배추의 생육차이를 비교하는 실험을 진행하였다.

Materials and Methods

토양 및 바이오차 분석

공시 토양은 충남대학교 농업생명과학대학 농장(대전 유성구 대학로 99)에서 표토를 채취하여 사용하였다. 토양은 풍건 시킨 후, 2 mm체(sieve)를 이용하여 체거름 후 재배실험에 사용하였다. 토양은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 따라 분석을 실시하였다. 토양의 pH와 전기전도도(Electrical conductivity, EC)는 풍건 토양을 증류수와 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분 진탕 후 pH meter (Orion3 star, Thermo Scientific, Chelmsford, MA, USA)와 EC meter (B-173, Horiba, Kyoto, Japan)로 측정하였다. 총 유기물질 함량은 작열감량법으로 측정하였다. 수분함량은 채취한 토양 시료를 10 g씩 칭량하여 105°C에서 24시간 건조시킨 후 desicator에서 상온으로 냉각시켜 무게를 측정하여 계산하는 건조중량법을 이용하였다. 토성은 micropipette법(Miller and Miller, 1987)으로 분석 후, 미국농무부의 분류 기준을 따라 분류하였다. 토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 재배시험에 사용한 토양의 pH는 6.3으로 약산성을 나타내었고, 유기물은 1.3%였다. 토성은 모래함량과 미사함량이 70.0%와 12.0%를 나타내는 사양토였다. 본 실험에서는 사용된 바이오차는 전정가지를 400°C의 회화로(Muffle furnace, MF 21GS, Jeio Tech. Korea)에 넣고 산소가 제한된 조건에서 3시간 동안 충분히 열분해하여 생산하였다. 바이오차의 탄소(C)와 질소(N) 함량은 원소분석기(Flash EA 1112, Thermo, USA)를 이용하였으며, 측정된 각 원소들의 함량을 바탕으로 C/N 비를 산출하였다. 실험에 사용된 전정가지 바이오차의 특징은 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Physical and chemical properties of soil used in the experiment.

pH (1 : 5)	EC (ds m ⁻¹)	Organic matter (%)	Water content (Wt %)	Porosity (%)	Texture (%)		
					Sand	Silt	Clay
6.3	0.2	1.3	20.9	46.9	70.0	12.0	18.0

Table 2. Selected chemical properties of biochar used in the experiment.

pH (1 : 5 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	Element content (%)			C/N ratio	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)			
		C	N	H		K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
7.5	0.7	51.6	5.0	5.4	10.3	1.2	4.0	0.8	1.9

재배 실험

토양 내 바이오차 함량에 따른 배추의 생육차이를 비교하기 위해 충남대학교 농업생명과학대학 내 유리온실에서 포트실험을 하였다. 배추를 시험작물로 선발하였고, 바이오차의 처리조건은 각각의 처리구에 0%를 대조구로 하여 바이오차를 1%, 3%, 5%씩 혼합하였다. 배추 정식 후, 2일에 한 번씩 관수처리를 하였다. 배추 재배는 농촌진흥청의 영농기술 재배방법에 따라 수행하였으며, 시비량은 농촌진흥청의 표준시비법에 따라 요소-용성인비-염화 가리를 17.8-3.0-7.3 kg 10a⁻¹ 사용하였다.

수확 후 생육·품질 조사 및 토양 분석

배추의 총 재배 기간은 46일이었으며, 각각의 바이오차 처리에 따라 생육에 미치는 영향을 비교하였다. 배추의 생육조사는 생중량, 건중량, 상부와 뿌리길이, 엽수, 엽장, 엽폭을 측정하였다. 이 때 생중량 측정의 오차를 줄이기 위하여 수확 후 바로 측정하였다. 건체중은 70°C의 dry oven에서 48시간 동안 건조 후 측정하였다. 엽장과 엽폭의 측정은 개체 내 상위 4개의 잎의 평균값을 사용하였다. 배추의 품질 분석을 위하여 착즙기로 배추 잎의 즙을 낸 후 NO₃⁻ meter (B-743, HORIBA Ltd, Kyoto, Japan)와 디지털 당도계(HI 96801, Hanna Instruments Inc., Woon-socket, RI, USA)로 질산(NO₃⁻)이온 함량과 당도를 각각 측정하였다. 토양의 화학적 특성 변화를 확인하기 위해 수확 후에 재배 토양을 풍건 시켜 2 mm sieve로 걸러낸 후 토양과 증류수의 1 : 5 방법으로 pH와 EC를 측정하였다.

Results and Discussion

배추 상부의 생중량은 무처리구(0%)에서 86.2 g, 바이오차 1%, 3%, 5% 처리구에서 각각 84.1 g, 64.2 g, 70.9 g으로 무처리구에서 가장 높게 나타났다(Table 3.) 뿌리 생중량은 바이오차 1% 처리구에서 31.2 g으로 가장 높게 나타났다. 상부의 생체중과 건중량은 바이오차 3% 처리구에서 64.2 g과 8.9 g으로 가장 낮았는데 이것은 바이오차 처리량에 따라 배추의 생육에 좋지 않은 영향을 나타낼 수 있는 것을 의미하였다. 바이오차 1%와 3% 처리구는 대조구와 통계적인 유의차를 나타내지 않았다. 이것은 바이오차의 처리량이 증가할수록 배추의 최적 생육을 위한 토양의 pH 범위(6.0 - 6.5)를 더욱 초과되기 때문이라고 판단된다. 바이오차 1%, 3%, 5% 처리구의 뿌리길이는 무처리구에 비하여 증가하였다. 무처리구에 비하여 각각 28.5%, 11.2%, 30.3% 증가율을 보였으며 5% 처리구의 증가율이 가장 높았다(Fig. 1, Fig. 2). 이것은 많은 기공을 가지고 있는 바이오차가 토양에서 공기의 흐름을 개선시키듯이 물의 투수성을 개선 시키고(Asai, 2009), 뿌리의 침투성을 증가시킨 것(Chan et al., 2007)으로 바이오차 처리에 토양의 물리성이 개량되었다고 판단된다. 엽수는 무처리구와 1% 처리구에서 평균 19장 3%, 5%에서 17장으로 나타났다(Table 4). 무처리구에 비해 엽장과 엽폭은 바이오차 처리구에서 증가율을 보이지 않았다. 배추 잎의 질산이온 함량은 바이오차 1% 처리구에서 3,833 mg kg⁻¹으로 가장 높게, 3% 처리구에서 2,733 mg kg⁻¹으로 가장 낮게 나타났으며 당도는 무처리구에서 가장 높았다. 바이오차가 토양의 화학적 성질에 영향을 미친 것으로 나타났다.

Table 3. Effect of different amounts of applied biochar on weight and water content of greenhouse-grown Chinese cabbage.

Treatments	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)		Water content (%)	
	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
Control	86.2 ± 11.4	25.4 ± 10.9	10.1 ± 1.3	4.1 ± 1.6	88.2 ± 0.5	82.7 ± 5.0
Biochar 1%	84.1 ± 4.3	31.3 ± 4.8	10.9 ± 0.8	5.8 ± 0.1	87.0 ± 1.5	80.8 ± 4.0
Biochar 3%	64.2 ± 13.8	24.3 ± 8.3	8.9 ± 1.3	5.4 ± 3.2	85.9 ± 1.2	80.0 ± 10.8
Biochar 5%	70.9 ± 21.2	22.7 ± 1.0	10.4 ± 1.8	5.0 ± 0.8	84.7 ± 2.4	77.8 ± 4.3

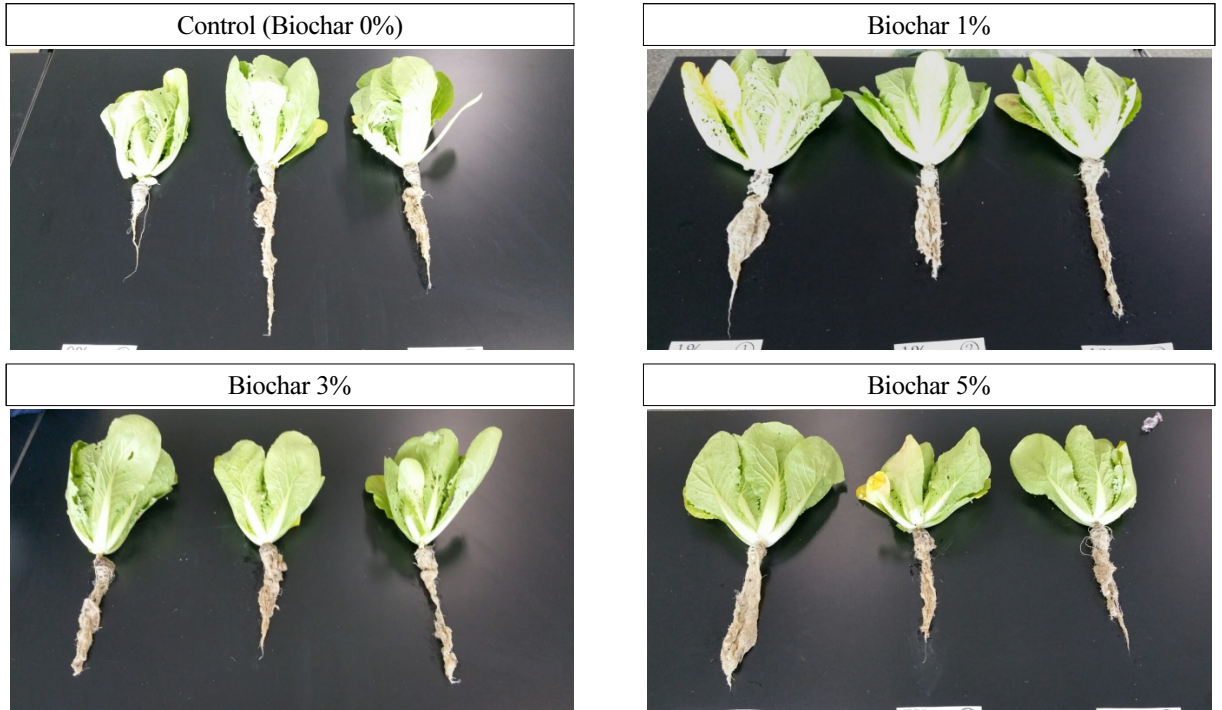


Fig. 1. Photographs of Chinese cabbage grown for 6 weeks in different biochar treatments.

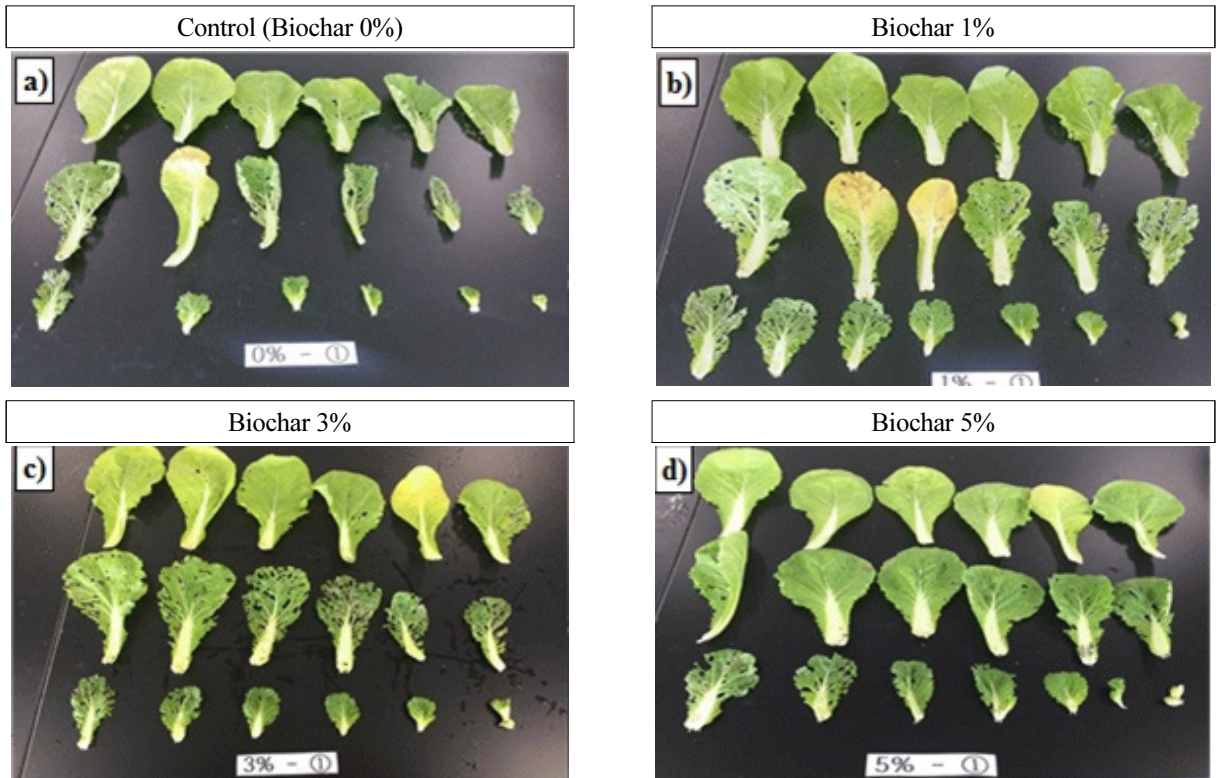


Fig. 2. Photographs of Chinese cabbage grown for 7 weeks in different biochar treatments.

Table 4. Growth characteristics of Chinese cabbage in different biochar treatments.

Treatments	Leaf			NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Sweetness degree (Brix)
	Number (per plant)	Length (cm)	Width (cm)		
Control	19.0 ± 1.0	22.6 ± 0.4	11.8 ± 0.6	3,100 ± 572	4.5 ± 1.1
Biochar 1%	19.0 ± 1.0	22.5 ± 0.7	11.3 ± 0.2	3,833 ± 1,360	3.5 ± 0.8
Biochar 3%	17.0 ± 1.0	21.0 ± 1.2	10.5 ± 1.5	2,733 ± 236	3.7 ± 0.5
Biochar 5%	17.0 ± 2.0	21.7 ± 1.7	9.7 ± 0.9	3,400 ± 787	3.7 ± 0.2

Table 5. Selected characteristics of soils in different biochar treatments after harvest.

Analysis	Treatments	Biochar		
	Control	1%	3%	5%
pH (1 : 5)	6.5 ± 0.23	7.7 ± 0.11	8.1 ± 0.15	8.4 ± 0.28
EC (ds m ⁻¹)	0.8 ± 0.12	1.6 ± 0.16	1.8 ± 0.15	2.1 ± 0.10

무처리구에 비하여 바이오차 함량 1%, 3%, 5% 처리구의 토양에서 pH가 각각 7.7, 8.1, 8.4로 증가 하였다(Table 5). 바이오차 함량의 증가에 따라 pH와 EC도 증가하는 경향을 나타내었다. 포트실험 결과 토양 내 바이오차 함량에 따른 뚜렷한 배추의 생육차이는 나타나지 않았다. 하지만 바이오차가 토양 투입량에 따라 pH와 EC가 상승하는 토양의 화학적 성질에 영향을 미친 것으로 나타났다. 바이오차를 토양에 처리하였을 때 pH가 증가하는 것은 여러 문헌에서 입증되었으며(Jeong, 2013; Jeong et al., 2013; Oh et al., 2014), 바이오차 처리에 따른 pH, EC의 상승은 주로 회분에 함유된 알칼리성 물질들에 의한 것으로 알려져 있다(Raison, 1979). 본 실험에서도 높은 온도를 통해 얻어진 전정가지 바이오차를 처리하였을 때 토양의 pH가 증가한 것과 같은 결과로 사료된다.

Conclusion

전정가지를 소재로 한 바이오차의 영향을 배추생육실험을 통해 알아보았다. 배추 상부의 생중량은 무처리구와 바이오차 함량 1%, 3%, 5% 처리구에서 각각 86.2 g, 84.1 g, 64.2 g, 70.8 g으로 무처리구에서 가장 높게 나타났다. 뿌리 생중량은 각각 25.4 g, 31.2 g, 24.2 g, 22.6 g으로 바이오차 1% 처리구에서 가장 높게 나타났다. 뿌리 길이는 뿌리 길이는 무처리구에 비하여 5% 처리구의 증가율 30.3%로 가장 높은 증가율을 보였다. 배추 엽수는 무처리구와 1% 처리구에서 19개, 3% 처리구와 5% 처리구에서 17개로 나타났다. 엽장과 엽폭은 무처리구에서 22.6 cm 와 11.8 cm로 가장 크게 나타났고, 바이오차 처리비율이 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 잎의 질산이온 함량은 바이오차 1% 처리구에서 3,833 mg kg⁻¹으로 가장 높게, 3% 처리구에서 2,733 mg kg⁻¹으로 가장 낮게 나타났으며 당도는 무처리구에서 가장 높았다. 토양 내 바이오차의 함량과 배추 생육간의 관계는 뚜렷한 유의성을 나타내지 않았다. 바이오차가 토양의 화학적 성질에 영향을 미친 것으로 나타났다. 무처리구에 비하여 바이오차 함량 1%, 3%, 5% 처리구의 토양에서 바이오차 함량의 증가에 따라 pH는 6.5%에서 7.7%, 8.1%, 8.4%로 증가하였으며, EC또한 0.8 ds m⁻¹에서 1.6 ds m⁻¹, 1.8 ds m⁻¹, 2.1 ds m⁻¹로 증가하는 상관관계를 보이는데, 이는 바이오차가 높은 pH를 갖는 알칼리물질이기 때문이다. 바이오차 처리에 따른 토양 pH의 상승은 배추의 최적 생육 조건인 pH 6.0 - 6.5의 범위를 벗어나게 만들어 결국 배추의 생육에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 실험 결과, 사양토에서 1% 내의 적절한 바이오차의 처리는 산성 토양의 토양개량재로 활용 가능하지만, 3% 이상의 처리는 배추의 최적 생육 pH 범위를 과도하게 벗어나 생육에 악영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through “Agri-Bioindustry Technology Development Program”, funded by Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (Project No. 315026-3), and was financially supported by research fund of Chungnam National University.

References

- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Research* 111:81-84.
- Beesley L, Moreno-Jiménez E, Gomez-Eyles JL, Harris E, Robinson B, Sizmur T. 2011. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution* 159: 3269-3282.
- Cao X, Harris W. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource Technology* 101:5222-5228.
- Chan KY, Zwieth Van L, Meazaros I, Joseph SD. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 37:1477-1488.
- Han KH, Zhang YS, Jung KH, Cho HR, Seo MJ, Sonn YK. 2016. Statistically estimated storage potential of organic carbon by its association with clay content for Korean upland subsoil. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:353-359. [In Korean]
- Han KH, Zhang YS, Jung KH, Cho HR, Sonn YK. 2014. Evaluating germination of lettuce and soluble organic carbon leachability in upland sandy loam soil applied with rice husk and food waste biochar. *Korean Journal of Agricultural Science* 41:369-377. [In Korean]
- Jeong CS, Yun IJ, Park JN, Kyoung JH, Kang JP, Lee SJ, Jo TS, Ahn BJ. 2006. Effect of wood vinegar and charcoal on growth and quality of sweet pepper. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 2:177-180.
- Jeong SH, 2013. Effects of biochar derived from agricultural and forest residues on carbon sequestration and soil quality, Master's Degree thesis, Kangwon Univ., Kangwondo. [In Korean]
- Jeong SH, Lim JE, Lee SS, Chang YY, Moon DH, Ok YS. 2013. Evaluation on remediation efficiency on acid-spilled soil using oyster shell and biochar. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences* 25:10-16. [In Korean]
- Lee DW, Kim BR. 2001. Effect of carbonized wastewoods on soil improvement. *Journal of Korea Forestry Energy* 20:1-5. [in Korean]
- Lee HS, 2013. Effects of biochar on enzyme activities and greenhouse gas in agricultural soils. Master's Degree thesis, Yonsei Univ., Seoul. [in Korean]
- Lee SB, Lim JE, Lee YJ, Sung JK, Lee DB, Hong SY. 2016. Analysis of components and applications of major crop models for nutrient management in agricultural land. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:537-546. [in Korean]
- Lehmann J, Joseph S. 2015. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge.
- Lehmann J, Rondon M. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In *Biological approaches to sustainable soil systems*. pp. 517-529. CRC Press.
- Lehmann J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447:143-144.

- Miller WP, Miller DM 1987. A micropipette method for soil mechanical analysis. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 18:1-15.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. *Methods of soil and plant analysis*. pp.103-146. Rural Development Administration.
- Oh TK, Choi BS, Shinogi Y, Chikushi J. 2012a. Characterization of biochar derived from three types of biomass. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University* 57:61-66.
- Oh TK, Choi BS, Shinogi Y, Chikushi J. 2012b. Effect of pH conditions on actual and apparent fluoride adsorption by biochar in aqueous phase. *Water, Air, & Soil Pollution* 223:3729-3738.
- Oh TK, Shinogi Y, Lee SJ, Choi B. 2014. Utilization of biochar impregnated with anaerobically digested slurry as slow-release fertilizer. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177:97-103.
- Raison RJ. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant and Soil* 51:73-108.
- Smith JL, Collins HP, Bailey VL. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry* 42:2345-2347.
- Yi YM. 2016 Quality and health assessment of contaminated soil after remediation and amendment treatment. Ph.D. dissertation, Pukyong National Univ., Pusan Korea. [In Korean]
- Yoon JH. 2013. Use of Wood Waste Biochar from Roadside Tree. Master's Degree thesis, University of Seoul, Seoul. [In Korean]