

PLANT & FOREST

Effect of different types of biochar on the growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*)

Jae-Han Lee^{1†}, Chang-Jun Seong^{1†}, Seong-Soo Kang^{2†}, Ho-Cheol Lee³, Soo-Hun Kim¹, Ji-Sun Lim¹, Jae-Hong Kim¹, Joun-Hyuk Yoo¹, Jung-Hyun Park¹, Taek-Keun Oh^{1*}

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

²Division of R&D Coordination, Rural development administration, Jeonju 54875, Korea

³4EN, A-1105, 264, Doyak-ro, Wonmi-gu, Bucheon 14523, Korea

*Corresponding author: ok5382@cnu.ac.kr

†These authors equally contributed to this work as first author.

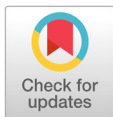
Abstract

Biochar is the carbon solid produced through the pyrolysis of a biomass from organic sources such as agricultural waste, animal manure, and sludge under limited or anaerobic conditions. Biochar has the effect of reducing greenhouse gases through the carbon sequestration method; additionally, biochar is known to function as a soil amendment. This experiment was conducted to evaluate the application of biochar on the growth characteristics of Chinese cabbage at Chungnam National University in Daejeon, Korea. The Chinese cabbage was grown for 50 days in a glasshouse in pots. A pruning branch was used to produce the bead and pellet forms of biochar through pyrolysis. The biochar was added to the soil at 0, 2, and 5% by weight. The Chinese cabbage with the 2% treatment of the bead form of biochar had the highest fresh weight (149.43 ± 15.92 g plant⁻¹) which was increased by 10% compared to the control (136.91 ± 31.46 g plant⁻¹). Moreover, for the 5% treatment of the bead form of biochar (60.91 ± 9.82 g plant⁻¹), the growth decreased by 57% compared to the control. As the content of the bead form of biochar increased, the shoot dry weight, leaf number, leaf length and lead width that appeared decreased. An increase in the total organic matter, Avail. P₂O₅, Ex. cation and EC was observed when the biochar content was increased. Our results support the application of 2% biochar in the bead form for increased growth of Chinese cabbage.

Keywords : biochar, Chinese cabbage, soil amendment

Introduction

최근 지구온난화, 이상기후 등의 환경문제와 화석 연료 에너지 자원 고갈 문제가 증가함에 따라 탄소의 격리방안, 신재생 에너지의 개발, 바이오매스 폐기물의 재활용 등이 요구 되고 있으며, 기후변화의 영향은 농업생산량과 자연생태계에 변화를 가져올 뿐만 아니라 생태계 변화에도 영향을 미치고 있다(Lim and Park, 2017). 최근 이러한 환경복원적 관점에서 바이오차가 탄소 격리를 위한 효과적인 방안 중 하나로 떠오르고 있다. 바이오차는 제한된 산소 조건에서 바이오매스를 700°C 이하의 온도로 열분해 하였을 때 생성되는 고형물이다(Lehmann and Joseph, 2009). 바이오차는 질소, 인



OPEN ACCESS

Citation: Lee JH, Seong CJ, Kang SS, Lee HC, Kim SH, Lim JS, Kim JH, Yoo JH, Park JH, Oh TK. 2018. Effect of different types of biochar on the growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180033>

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180033>

Editor: Jwakyung Sung, National Institute of Agricultural Sciences

Received: April 16, 2018

Revised: April 27, 2018

Accepted: May 11, 2018

Copyright: © 2018 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.

및 칼리 등 비료학적 성분이 풍부한 농업 부산물 및 다양한 유기자원을 이용한 제조가 가능하며(Kang et al., 2014), 사용 목적에 따라 원료와 생산과정을 다르게 하여 원하는 특성의 바이오차를 생산 할 수 있다(Lehmann and Joseph, 2009). 바이오차의 가장 큰 장점은 탄소격리기술을 가지고 있어 화석연료의 연소 또는 처리과정에서 발생하는 이산화탄소를 대기 중에 방출하지 않고 포집·회수하여 격리시키기 때문에 온실가스 발생량 감소에 도움을 줄 수 있다는 점이며, 메탄과 아산화질소의 배출량을 저감할 수 있다는 보고도 뒤따르고 있다(Werner et al., 2007). 또한, 이러한 바이오차는 유기성 폐자원을 재활용 측면에서 장점과 여러 연구를 통해 토양의 생산성 향상(Lehmann and Rondon, 2006; Oh et al., 2012; Han et al., 2014), 및 오염물질 흡착 등의 효과가 입증되었다. 그 외에도 수분을 보유할 수 있는 능력의 증가 및 영양물질을 토양에 공급 및 유지시키므로 토양개량제로서도 효과가 있으며(Novak et al., 2009), 대부분 알칼리성이기 때문에 토양 pH를 높여주어 산성 토양 개량 효과도 가지고 있다. 이러한 특성 때문에 바이오차는 작물 생육과 생산성이 증진 된다는 보고가 있고 농업적 활용성이 점차 기대되고 있다. 바이오차는 넓은 표면적, 다공성 구조, 표면작용기 등을 가지는데 이는 중금속이나 유기오염물질 등을 제거하기 위한 흡착제로서의 역할도 수행 가능하다(Cao et al., 2009).

배추는 김치의 주요 재료로 연중 소비되어 안정적 생산 및 공급이 중요한 노지재배 채소이며(Lee et al., 2017), 우리나라 전체 채소 생산량 대비 25% 내외를 차지한다(Ku et al., 2006; Lee et al., 2014; Chung et al., 2016). 배추 시설재배 시 바이오차 시용이 무시용 대비 토양의 화학성 변화와 물리성 개선 효과가 있다(Jang et al., 2017)는 연구가 있지만, 현재 바이오차를 이용한 작물재배 및 토양개선에 관한 연구는 많이 미흡한 실정이다. 이러한 연구를 종합적으로 검토하여 바이오차의 실용화에 적합성을 입증해야 할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 바이오차의 형태와 함량에 따른 배추의 생육 변화를 평가하고 이에 따른 토양의 화학적 특성 조사하고자 한다.

Materials and Methods

공시 토양 및 재료

공시토양은 충남대학교 농업생명과학대학 부속농장의 토양을 채취하여 사용하였다. 토양은 풍건 후 2 mm (sieve)체를 이용하여 체거름 후 사용하였다. 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다. 바이오차는 전정가지를 400°C에서 2시간 동안 열분해하여 바이오차를 생산 후 bead, pellet 형태로 제작하였다. Bead형 바이오차는 열분해 된 전정가지

Table 1. Chemical properties of soil used for this experiment.

Sample	pH (1 : 5)	EC (dS m ⁻¹)	Element content (%)		C/N ratio	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
			C	N				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Soil	8.0	0.53	0.8	0.2	4.0	1.5	192.1	0.97	12.86	1.27

EC, electrical conductivity; C/N ratio, Carbon/Nitrogen ratio; OM, organic matter; Av. P₂O₅, available phosphate; Ex. Cations, Exchangeable cations.

Table 2. Chemical properties of biochar used for this experiment.

Sample	pH (1 : 5)	EC (dS m ⁻¹)	Element content (%)		C/N ratio	OM (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
			C	N				K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Bead biochar	6.1	98.98	15.5	2.8	5.5	5.5	516.2	4.61	100.5	4.48
Pellet biochar	3.7	16.73	24.1	0.5	42.8	41.5	448.3	2.62	100.1	4.55

EC, electrical conductivity; C/N ratio, Carbon/Nitrogen ratio; OM, organic matter; Av. P₂O₅, available phosphate; Ex. Cations, Exchangeable cations

바이오차를 sodium alginate 용액과 혼합한 뒤 calcium nitrate 용액에 1방울씩 떨어뜨리는 방법으로 bead 형태로 응집시켰다. 응집된 bead 형태의 바이오차 40%에 석고 15%, 피트모스 45%를 각각 혼합하여 bead형 바이오차를 제조하였다. Pellet형 바이오차는 열분해 된 전정가지 바이오차 40%와 석고 15%, 피트모스 45%를 혼합하여 pellet 성형기에 투입하여 제조하였다. 제조된 바이오차의 화학적 특성은 Table 2에 나타내었다.

재배실험

본 연구는 2017년 4월 14일부터 6월 2일 까지 충남대학교 농업생명과학대학 내 유리온실에서 수행하였다. 시험작물은 배추(*Brassica chinensis*)를 사용하였으며, 바이오차 처리조건은 각 처리구에 0%를 대조구로 하여 bead형과 pellet형 바이오차를 각각 2%, 5%씩 혼합하였다. 각 처리구 당 5반복 난괴법으로 배치하였으며, 농촌진흥청의 영농재배기술 재배방법에 따라 재배하였다. 배추 정식 후 매 1일에 1번씩 관수 처리 하였다. 시비량은 작물별 시비처방 기준(NAAS, 2010)에 근거하여 질소-인산-가리($N-P_2O_5-K_2O$)를 22.6-10.6-11.9 kg 10 a⁻¹로 시비하였다.

수확 후 생육 및 품질 조사 방법

배추는 총 50일 동안 재배하여 생육 및 품질을 조사하였다. 생육조사는 농촌진흥청이 발간한 연구조사분석기준(NAAS, 2012)에 의거하여, 각각의 바이오차 처리에 따라 배추 생육에 미치는 영향을 비교하였다. 배추의 생육조사는 엽수, 엽장, 엽폭, 생중량, 건중량 등을 측정하였다. 이때 생중량 측정의 오차를 줄이기 위해 수확 후 바로 측정하였으며, 건중량은 70°C의 Dry oven에서 48시간 동안 건조 후 측정하였다. 엽수는 길이가 1 cm 이상인 잎의 총 개수를 측정하였으며, 엽장과 엽폭은 개체 내 상위 4개의 잎을 사용해 평균값을 측정하였다. 배추의 엽록소 함량은 오전 10 - 12시에 MINOLTA Chlorophyll meter (SPAD-501, Japan)를 이용해 중위엽을 대상으로 3반복 측정하였다. 배추의 품질을 조사하기 위하여, 배추 잎의 즙을 낸 후 질산(NO_3^-)이온과 당도(Brix)를 조사하였다. 질산이온 함량과 당도는 각각 NO_3^- meter (B-743, HORIBA Ltd, Kyoto, Japan)와 디지털 당도계(HI 96801, Hanna Instruments Inc., Woon-socket, RI, USA)로 측정하였다. SPSS (IBM SPSS Statistics version 24) 일원배치분산분석(ONE way analysis of variance, ANOVA)을 통해 유의성 검정을 수행하였으며, 사후검정은 Duncan분석을 통해 각 처리구 간의 유의차를 확인하였다.

토양 및 바이오차 분석

토양 및 바이오차의 화학적 특성을 확인하기 위해 분석을 실시하였다. 토양은 시험 전, 후에 채취하여 풍건 후 2 mm 체를 이용해 체거름하여 분석하였다. pH와 EC는 토양과 증류수 1 : 5 방법으로 pH meter와 EC meter (ORION versastar pro, Thermo, USA)를 이용하여 측정 하였다. 유기물함량은 Elemental analyzer (Flash EA 1112series, Thermo, USA)로 측정하였으며, 유효인산은 UV-VIS Spectrophotometer (Evolution 300, Thermo, USA)로 Lancaster 법을 이용하여 분석하였다. 치환성 양이온(K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})은 pH 7.0으로 교정한 1N-ammonium acetate용액으로 침출 후 유도 결합 플라즈마 분광계(ICP-OES, GBC scientific GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Australia)를 이용해 측정하였다. Bead형과 pellet형 바이오차는 토양 분석과 같은 방법으로 각각 분석하였다.

Results and Discussion

생육 특성 및 품질 조사

배추의 지상부 생중량은 bead형 바이오차 2% 처리구에서 149.43 ± 15.92 g plant⁻¹로 최대치를 나타냈으며, 대조구

(136.91 ± 31.46 g plant⁻¹)와 비교해서 10% 정도 증가하였다. Bead형 바이오차 5% 처리구(60.9 ± 9.82 g plant⁻¹)에서는 생육이 대조구에 비해 57% 정도 감소하였으며, bead형 바이오차 처리구는 처리량이 증가할수록 지상부 생중량이 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 반면 pellet형 바이오차 처리구는 대조구와 차이가 미비하였다. 지하부 건중량을 제외한 모든 조사항목(지상부 생중량 및 건중량, 엽장, 엽수, 엽폭)에서 bead형 바이오차 2% 처리구가 가장 좋은 생육을 보였으며, bead형 바이오차 5% 처리구에서 가장 저조한 생육을 보였다. Pellet형 바이오차 처리구도 마찬가지로 대조구와 차이가 미비하였지만, 모든 조사항목에서 대조구보다 좋은 생육을 보였다. 엽록소 함량은 bead형 바이오차 2% 처리구에서 40.52 ± 2.94 SPAD로 최대치를 보였으며 pellet형 바이오차 5% 처리구에서 29.78 ± 4.31 SPAD로 최저치를 보였다(Table 4). 질산 이온 함량 또한 엽록소 함량과 같은 결과를 나타내었으며, bead형과 pellet형 바이오차의 처리구에서 큰 차이를 나타내었다. 반면에 당도는 pellet형 바이오차 2% 처리구가 3.82 ± 0.39 Brix로 최대치를 나타냈으며, bead형 바이오차 2% 처리구가 3.23 ± 0.26 Brix로 최저치를 나타냈다. 비교적 모든 처리구에서 비슷한 경향을 보였다. 이는 bead형 바이오차 처리가 엽록소 함량과 질산 이온 함량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

시험 후 토양 분석

토양의 pH 분석결과 대조구에서 pH 7.26으로 최대치를 보였고, 바이오차 처리구가 대조구에 비해 pH가 감소하는 경향을 보였다(Table 5). 바이오차는 토양에 투입 시 토양의 pH 및 CE가 증가에 기여하는 것으로 보고 되어있으나(Jung, 2014; Oh et al., 2017), 실험결과 제작된 바이오차의 낮은 pH로 인하여 토양 pH 감소에 영향을 준 것으로 판단된다. EC 분석결과 대조구에 비해 증가된 것으로 나타났으며, 바이오차 처리량이 증가할수록 EC가 증가되는 것으로 나타났다. 유기물 함량 분석 결과 pellet 5% 처리구에서 2.58%로 가장 높은 수치를 보였으며, 바이오차 처리 비율이 증가할수록 유기물 함량이 증가하는 경향을 보였다. 유기물이 낮은 토양은 토양 미생물 활동에 필요한 에너지와 영양원 공급의 부족이 일

Table 3. Growth characteristic of Chinese cabbage on biochar treatments by different form and concentration.

Treatments	Shoot (g plant ⁻¹)		Root (g plant ⁻¹)		Leaf		
	Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight	Number (per plant)	Length (cm)	Width (cm)
Control	136.91 ± 31.46a	9.99 ± 3.15b	2.67 ± 0.87bc	0.24 ± 0.11b	28.21 ± 3.49ab	26.04 ± 3.15b	11.97 ± 1.93a
Bead biochar 2%	149.43 ± 15.92a	15.74 ± 1.42a	2.11 ± 0.19cd	0.33 ± 0.04a	30.33 ± 1.75a	29.52 ± 0.26a	13.79 ± 0.42a
Bead biochar 5%	60.91 ± 9.82b	6.15 ± 1.36c	1.21 ± 0.31d	0.16 ± 0.03c	25.52 ± 1.66b	19.90 ± 0.83c	8.91 ± 0.68b
Pellet biochar 2%	139.64 ± 8.14a	10.14 ± 0.89b	3.74 ± 0.43a	0.36 ± 0.08a	30.00 ± 2.28a	27.66 ± 2.23b	12.37 ± 0.79a
Pellet biochar 5%	138.44 ± 8.76a	9.96 ± 1.02b	3.41 ± 0.69ab	0.31 ± 0.08a	29.00 ± 1.41ab	27.19 ± 1.18ab	12.11 ± 0.84a

Values represent by means ± SD.

a - d: One-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 24.0.

Table 4. The chlorophyll, nitrate, sweetness degree contents in Chinese cabbage on biochar treatments by different form and concentration.

Analysis	Treatments				
	Control	Bead 2%	Bead 5%	Pellet 2%	Pellet 5%
Chlorophyll (SPAD)	31.59 ± 2.94bc	40.52 ± 2.94a	36.68 ± 2.58ab	31.25 ± 2.24b	29.78 ± 4.31b
Nitrate (mg kg ⁻¹)	3680 ± 1355b	7650 ± 1071a	7366 ± 939a	4100 ± 779b	3920 ± 624b
Sweetness degree (Brix)	3.42 ± 1.04a	3.23 ± 0.26a	3.28 ± 0.31a	3.82 ± 0.39a	3.61 ± 0.36a

Values represent by means ± SD.

a - c: One-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 24.0.

어날수 있고 보비력, 완충능이 낮기 때문에 바이오차 시용에 따라 일정 유기물을 유지 또는 증가시켜 작물 생산력 증진에 도움이 될 것으로 판단된다. 유효인산 분석결과 bead형 바이오차 5% 처리구에서 232.8 mg kg^{-1} 로 가장 높은 수치를 보였고 EC와 유기물 함량과 마찬가지로 전체적으로 대조구에 비해 바이오차 처리구의 유효인산이 증가하는 경향을 보였다. 이는 바이오차의 표면이 음의 전하를 가지고 있음에도 불구하고 인산의 흡착량이 일반 토양 유기물보다 크기 때문인 것으로 판단된다(Woo, 2013). 치환성 양이온 분석결과 모든 치환성 양이온(K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})이 대조구에서 가장 낮은 수치를 보였다. K^+ 는 bead형 바이오차 5% 처리구, Mg^{2+} 와 Ca^{2+} 는 pellet형 바이오차 5% 처리구에서 가장 높은 수치를 나타낸 것처럼 치환성 양이온 역시 대조구에 비해 바이오차 처리구에서 치환성 양이온이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 바이오차의 높은 치환성 양이온 값이 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 5. Chemical properties of soil after harvesting Chinese cabbage.

Treatment	pH (1 : 5)	EC (dS m^{-1})	Element content (%)		C/N ratio	OM (%)	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex. cations ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)		
			C	N				K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Control	7.26 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.50 ± 0.04	0.05 ± 0.00	10	0.80 ± 0.07	177.5 ± 3.8	0.13 ± 0.01	9.9 ± 0.31	0.95 ± 0.03
Bead biochar 2%	6.96 ± 0.58	3.32 ± 1.00	0.60 ± 0.02	0.06 ± 0.01	10	1.04 ± 0.03	202.5 ± 7.0	0.15 ± 0.01	14.7 ± 0.48	0.97 ± 0.02
Bead biochar 5%	6.78 ± 0.69	5.58 ± 1.47	0.84 ± 0.09	0.09 ± 0.02	9.3	1.45 ± 0.16	232.8 ± 1.7	0.36 ± 0.02	21.1 ± 0.43	0.97 ± 0.04
Pellet biochar 2%	6.96 ± 0.43	2.19 ± 0.41	1.11 ± 0.16	0.06 ± 0.01	18.5	1.91 ± 0.27	190.2 ± 2.0	0.15 ± 0.01	22.6 ± 2.61	1.13 ± 0.16
Pellet biochar 5%	6.72 ± 0.24	3.18 ± 0.43	2.42 ± 0.43	0.09 ± 0.00	26.8	2.58 ± 0.74	216.7 ± 14.2	0.14 ± 0.03	23.7 ± 1.30	1.34 ± 0.13

EC, electrical conductivity; C/N ratio, Carbon/Nitrogen ratio; OM, organic matter; Av. P_2O_5 , available phosphate; Ex. Cations, Exchangeable cations

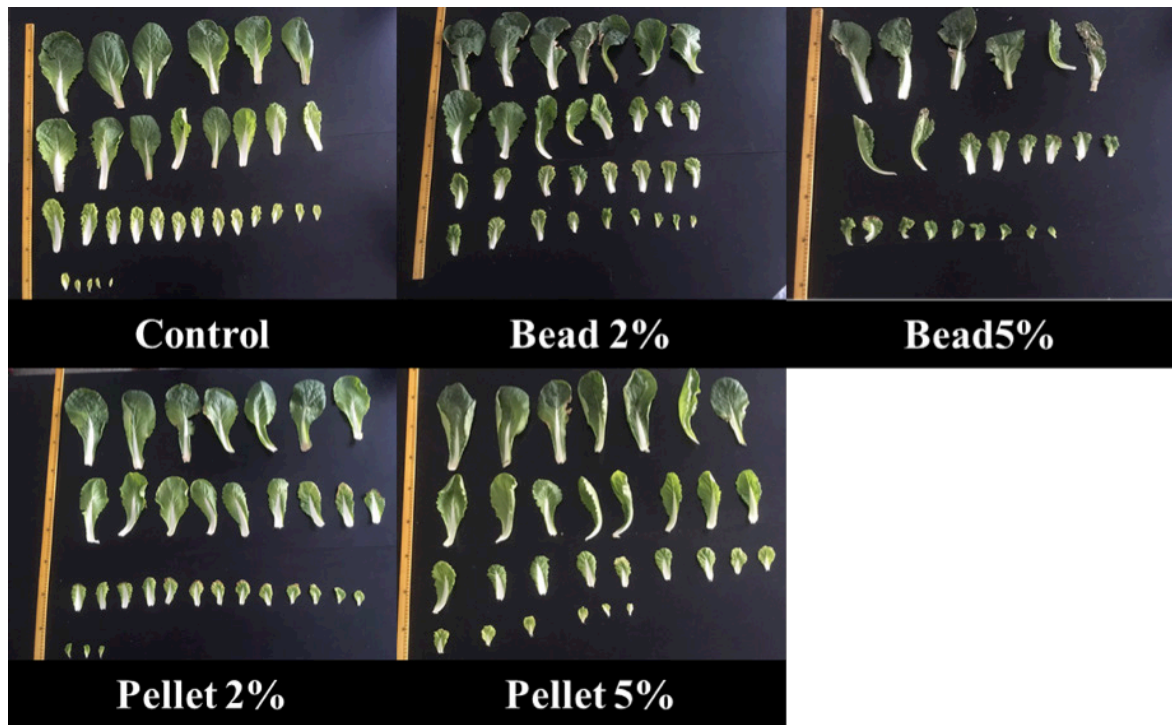


Fig. 1. Photographs of Chinese cabbage grown for 50 days in different biochar treatment.

Conclusion

본 시험은 충남대학교 농업생명과학대학내 유리온실에서 바이오차의 형태 및 함량별 바이오차 처리에 따른 배추의 생육 및 토양의 화학적 특성에 미치는 영향을 알아보는 시험으로 17년 04월 14일부터 17년 06월 02일까지 50일간 실시하였다. 배추의 생육조사 결과 지상부 생중량 및 건중량, 엽장, 엽수, 엽폭에서 bead형 바이오차 2% 처리구가 최대치를 나타내었으며, bead형 바이오차 5% 처리구에서는 최저치를 나타내었다. 지하부 건중량은 pellet형 바이오차 2% 처리구에서 최대치를 보였으나, pellet형 바이오차 함량에 따른 차이는 미미하였다. 엽록소 함량과 질산이온 함량은 bead형 바이오차 2% 처리구에서 최대치를 보였다. 위 결과로 보아 배추 생육은 bead형 바이오차 2% 처리구에서 가장 좋은 생육을 나타내었다. 배추 수확 후 토양의 화학적 특성 변화를 비교했을 때 pH 값을 제외한 EC, 유기물함량, 유효인산, 치환성 양이온(K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) 항목에서 바이오차 처리구 값이 대조구 값보다 증가하는 경향을 보였으며, 이는 바이오차가 토양 개량제의 역할을 할 수 있을 것이라 판단된다. 하지만, EC나 치환성 양이온 Ca^{2+} 값이 과도하게 증가하는 것으로 보아 향후 바이오차에 대한 많은 연구가 필요할 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

- Cao XD, Ma LN, Cao B, Harris W. 2009. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. *Environmental Science and Technology* 43:3285-3291.
- Chung JS, Han JY, Kim JK, Ju HK, Gong JS, Seo EY, Choi SR, Lim YP, Hammond J, Lim HS. 2016. Nationwide survey of turnip mosaic virus and selection of cabbage lines with resistance against major TuMV isolates. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:567-574. [in Korean]
- Han KH, Zhang YS, Jung KH, Cho HR, Son 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]
- Jang JE, Park JS, Shim JM, Kang CS, Park IT. 2017. Application effects of biochar made from pruned stem of pear tree on soil physico-chemical properties and crop cultivation. p. 197. In Proceedings of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer Workshop, Mokpo, Korea, May 18-19, 2017. [in Korean]
- Jung SH. 2014. Effects of biochar derived from agricultural and forest residue on carbon sequestration and soil quality. Master dissertation, Kangwon National University. Chuncheon, Korea. [in Korean]
- Kang SW, Seo DC, Park JW, Heo JS, Cho JS. 2014. Evaluation of fertilizer characteristics in biochar using agricultural waste. p. 176. Korea Journal of Environmental Agriculture Conference, Changwon, Korea, July 3-4, 2014. [in Korean]

- Ku KH, Lee KA, Kim YL, Lee MG. 2006. Effects of pretreatment method on the surface microbes of radish (*Raphanus sativus* L.) leaves. *Journal of Korean Society of Food Science and Nutrition* 35:649-654.
- Lee SG, Choi CS, Lee HJ, Jang YA, Do KR. 2014. Influence of covering treatment on the incidence of frost injury in Chinese cabbage during winter season. *Korean Journal of Agricultural Science* 41:163-167.
- Lee JH, Lee HJ, Kim SK, Lee SG, Lee HS, Choi CS. 2017. Development of growth models as affected by cultivation season and transplanting date and estimation of prediction yield in Kimchi cabbage. *Protected Horticulture and Plant Factory* 26:235-241. [in Korean]
- Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for environmental management: An introduction, in biochar for environmental management: Science and technology. pp. 1-12. Earthscan, London. UK.
- 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, Boca Raton, FL, USA.
- Lim K-T, Park J. 2017. Consumers' awareness and behavior intention on meat consumption according to climate change. *Korean Journal of Agricultural Science* 44:296-307.
- NAAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2010. Recommendation of the amount of fertilizer for crops. RDA. Jeonju, Korea. [in Korean]
- NAAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2012. Research and Analysis Criteria for crops. RDA. Jeonju, Korea. [in Korean]
- Novak JM, Busscher WJ, Laird DL, Ahmedna M, Watts DW, Niandou MAS. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science* 174:105-112.
- Oh TK, Choi BS, Shinogi Y, Chikushi J. 2012. Characterization of biochar derived from three types of biomass. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University* 57:61-66.
- Oh TK, Lee JH, Kim SH, Lee HC. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis* L.). *Korean Journal of Agricultural Science* 44:359-365. [in Korean]
- Werner C, Kiese R, Butterbach-Bahl K. 2007. Soil-atmosphere exchange of N₂O, CH₄, and CO₂ and controlling environmental factors for tropical rain forest sites in western Kenya. *Journal of Geophysical Research* 112:1-15.
- Woo SH. 2013. Biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technology* 19:201-211. [in Korean]