

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.547>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Effect of Application Levels of Inorganic Fertilizer with Biochar on Corn Growth in an Upland Field

Se-Won Kang, Won-Jun Lee¹, Hong-Guk Jeong¹, Jae-Hyuk Park¹, Ju-Hee Lee¹, Jin-Ju Yun¹, Sang Yoon Kim¹, Dong-Cheol Seo², and Ju-Sik Cho^{1*}

Red River Research Station, Louisiana State University Agricultural Center, Bossier City, LA 71112, United States

¹Department of Bio-Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

²Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Corresponding author: chojs@scnu.ac.kr

ABSTRACT

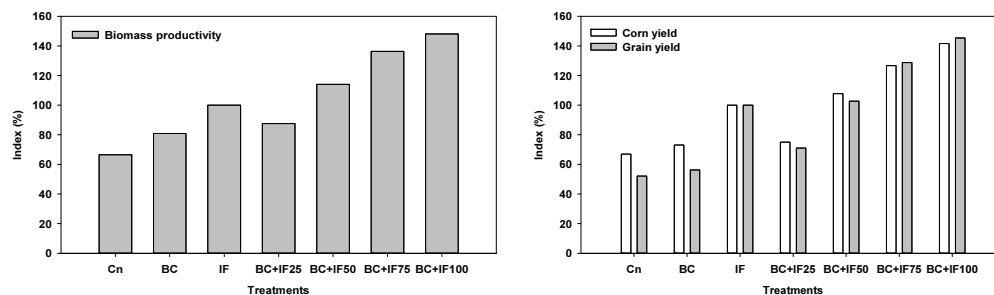
Received: October 4, 2018

Revised: November 30, 2018

Accepted: November 30, 2018

This study was conducted to evaluate the effect of application levels of inorganic fertilizer (IF) with corn waste biochar (BC) for corn cultivation in an upland field (34° 94' 24" N, 127° 56' 55" E). The IF (N-P-K 14.5-3.0-6.0 kg 10a⁻¹) was applied at levels of 25%, 50%, 75%, and 100% of standard amount with BC (BC+IF25, BC+IF50, BC+IF75, and BC+IF100, respectively), and Cn (control), BC and IF treatments were added in this study. The BC was application of 500 kg 10a⁻¹ at 20 days before corn sowing. The mean biomass productivity of corn plants, when grown under Cn, BC, IF, BC+IF25, BC+IF50, BC+IF75, and BC+IF100 treatment conditions, were 1.82, 2.21, 2.74, 2.40, 3.12, 3.73, and 4.05 kg m⁻², respectively. The corn length was 14.6-18.3 cm ear⁻¹ in all treatments, and the total weight of corn increased in the order BC+IF100 ≅ BC+IF75 > BC+IF50 > IF > BC ≅ BC+IF25 > Cn treatments. The corn productivity was highest (3.97 kg m⁻²) in the BC+IF100 treatment. The corn grain yields in BC+IF50, BC+IF75, and BC+IF100 treatments increased by 145, 129, and 103% respectively, over that in the IF treatment. Based on our results, the minimum IF application level using biochar for corn cultivation was N of 7.25 kg 10a⁻¹, P of 1.5 kg 10a⁻¹, and K of 3.0 kg 10a⁻¹, respectively. Therefore, proper application of inorganic fertilizer with biochar is effective at improving corn cultivation and can benefit the soil environment.

Keywords: Application levels, Inorganic fertilizer, Corn waste biochar, Corn cultivation, Soil environment



Comparison of biomass productivity and yields under different application levels of inorganic fertilizer with biochar.



Introduction

무기질 비료는 작물의 수량을 증대시키고 안정적인 먹거리 확보를 위하여 기여해 온 중요한 물질로 편리성과 식물이 쉽게 이용할 수 있는 효율성을 가지고 있지만, 장기적 또는 과다시비 될 경우 토양 구조를 악화시키는 단점을 가지고 있다 (Kang et al., 2017). 이로 인해 최근 환경부하를 최소화한 친환경농업이 증가하고 유기질 비료, 녹비작물, 가축분뇨 액비 등의 지원 사업이 지속적으로 추진되어 왔다 (Ok et al., 2016).

하지만, 국내 농가에서는 작물의 안정적인 생산량을 유지하기 위해 무기질 비료가 꾸준히 사용되고 있으며, 그 결과 무기질 비료의 사용량은 2010년 233 kg ha⁻¹에서 2016년 268 kg ha⁻¹으로 무기질 비료의 사용량이 증가되고 있는 추세이다. 현재 우리나라의 ha당 무기질 비료의 사용량은 OECD 주요국가와 비교하여 높은 수준으로 분류되고 있어 장기적으로 볼 때 토양환경을 위한 무기질 비료의 시비 관리가 필요한 실정이다 (Kang et al., 2017).

Biochar는 혐기 조건에서 바이오매스를 열분해 시킨 후 얻어지는 물질로, 진정한 탄소 네거티브 방법은 식물을 biochar로 만들어 토양에 넣는 방법을 제안하면서 많은 관심을 갖기 시작한 물질이다 (Lehman, 2007; Major, 2010). 이로 인해 biochar는 탄소 격리를 비롯해 기후변화 대응, 에너지 생산, 토양개량 및 폐기물 관리 등 다양한 측면에서 효과가 있다고 보고되었다 (Yamato et al., 2006; Case et al., 2012; Angst et al., 2014). Biochar는 작물의 생육을 증진시킬 수 있는 영양성분이 무기질 비료, 녹비작물, 가축분뇨 액비 등과 비교하였을 때 상대적으로 부족하지만, biochar의 토양 사용은 토양 구조를 변화시키고 토양내 공기 및 양수분의 흐름을 원활하게 하여 작물의 생육에 도움을 줄 수 있다고 여러 연구자들에 의해 보고되었다 (Kang et al., 2016). 특히, biochar는 토양의 pH와 CEC를 증가시켜 작물의 양분 이용효율을 증가시키는 특성을 가지고 있기 때문에 적절한 수준의 무기질 비료를 biochar와 함께 토양에 투입한다면 작물의 수량과 토양의 비옥도를 지속적으로 유지시킬 수 있는 관리방안이 될 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 옥수수 재배지에서 biochar를 이용하여 무기질 비료의 사용수준에 따른 옥수수의 생산량을 평가한 후 적절한 무기질 비료의 사용수준을 선정하여 향후 무기질 비료의 시비량을 감축하고자 하였다.

Materials and Methods

공시 재료 Biochar를 이용한 무기질 비료(N, 요소; P, 용과린; K, 염화加里)의 사용수준이 옥수수의 생육에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험 지역은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.



Fig. 1. Corn cultivation area in this study.

선정된 시험 지역은 전라남도 광양시 광양읍 세풍리에 위치한 옥수수-배추 윤작 재배지로서 배추 수확 후에 옥수수를 재배하였다. 시험 지역은 미사질 양토의 특성을 가지고 있었고, 재배 시험 전 토양의 용적밀도와 공극률은 각각 1.42 Mg m^{-3} 및 46.4%로 용적밀도가 일반 밭에 비해 높은 편이었다. 공시 토양의 화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 토양의 pH 및 OM 함량은 각각 6.97 및 24.5 g kg^{-1} 으로 조사되었다.

공시 작물은 N, P 및 K의 투입에 따라서 긍정적으로 반응하는 하는 옥수수를 선정하였고 (Agegnehu et al., 2016), 옥수수 종자는 당도가 높고 재배지역이 광범위한 고당옥을 선정하여 사용하였다.

본 시험에 사용된 biochar는 전남 순천시 서면에 위치한 순천대학교 부속농장에서 옥수수 수확 후 남은 부산물을 사용하였다. Biochar 제조는 드림형 제조 장치를 사용하였고, 혐기성 조건을 유지하면서 1시간동안 열분해하였고, 제조된 biochar의 화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 1. Chemical properties of experimental soil used in the study.

pH	EC	OM	T-N	Avail. P_2O_5	Exch. cations ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			
(1:5)	(dS m^{-1})	(g kg^{-1})		(mg kg^{-1})	K	Ca	Mg	CEC
6.97	0.43	24.5	1.07	82.8	0.24	6.53	0.82	8.14

Table 2. Characteristics of corn waste biochar used in this study.

pH	EC	T-N	T-P	K
(1:10)	(dS m^{-1})	----- (%) -----		
10.3	8.46	0.27	1.84	4.71

실험방법 본 시험을 수행하기 위한 처리조건은 Table 3에서 보는 바와 같다. 처리조건은 control (Cn), inorganic fertilizer (IF), corn waste biochar (BC), 그리고 무기질 비료의 기준 시비량 대비 25% (BC+IF25), 50% (BC+IF50), 75% (BC+IF75) 및 100% (BC+IF100)으로 각각 나누었다. BC의 혼입시기와 혼입량은 Kang et al. (2017)의 연구결과에 준하여 혼입시기는 옥수수 파종 20일 전, 혼입량은 $500 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 실시하였다. 무기질 비료의 시비량은 농촌진흥청 작물별시비처방 기준에 준하였다. 옥수수는 2018년 4월 6일에 파종하였고, 7월 6일에 옥수수를 수확하였다.

옥수수 식물체의 생육 특성은 지상부 길이, 생체중 및 단위면적 (m^2) 당 바이오매스 생산량을 조사하였고, 수확한 옥수수는 길이, 옥수수과 껍질 그리고 낱알의 무게를 조사한 후 단위면적 (m^2) 당 수확량을 산정하였다.

Table 3. Treatment condition of this experiment.

Treatment	N-P-K	Biochar
	----- ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$) -----	
Cn	-	-
IF	14.5-3.00-6.00	-
BC	-	500
BC+IF25	3.63-0.75-1.50	500
BC+IF50	7.25-1.50-3.00	500
BC+IF75	10.9-2.25-4.50	500
BC+IF100	14.5-3.00-6.00	500

분석방법 본 시험에 사용된 토양 및 식물체의 화학적 특성은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 및 biochar의 pH 및 EC는 pH meter 및 EC meter (S230 Mettler Toledo)를 사용하였으며, 토양내 유기물 분석은 Tyurin법으로 하였다. T-N 분석은 Kjeldahl법 (질소자동분석기, Gerhardt autosampler Vapodest 50 carouse, Germany)을 사용하였고, 유효인산 분석은 Lancaster법 (UV2550PC, Pekinlmer)을 사용하였으며, 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc 용액으로 침출한 후 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

Biochar는 습식분해법 (H₂SO₄ + HClO₄)으로 전처리하여 T-N은 Kjeldahl법 (질소자동분석기, Gerhardt autosampler Vapodest 50 carouse, Germany)으로 분석하였고, T-P는 Vanadate법 (UV2550PC, Pekinlmer)으로 분석하였으며, K는 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

무기질 비료의 사용수준에 따른 옥수수의 생육 결과에 대한 통계분석은 SPSS 25 버전을 사용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

옥수수의 생육 특성 옥수수 식물체의 생육 특성을 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 식물체의 지상부 길이는 Cn 처리구에서 148 cm plant⁻¹, BC 처리구에서 154 cm plant⁻¹이었고, 무기질 비료가 시비된 처리구에서는 164-171 cm plant⁻¹ 범위로 큰 차이 없이 비슷하였다. 옥수수 수확 후 발생된 식물체의 생체중은 처리조건에 따라 차이가 났으며, 특히 BC+IF100 처리구가 다른 처리구에 비해 생체중이 많았다. 옥수수 식물체의 생체중 결과를 이용하여 단위면적 (m²) 당 바이오매스 생산량으로 환산한 결과 BC+IF100 처리구가 4.05 kg m⁻²으로 가장 많은 생산을 보였고, Cn 처리구가 1.82 kg m⁻²으로 가장 적은 생산을 보였다. 한편, BC와 수준별 IF 혼합 처리구인 BC+IF25, BC+IF50, BC+IF75 및 BC+IF100 처리구에서 생산된 바이오매스 생산량은 IF 처리구 대비 각각 87.5, 114, 136, 그리고 148%의 결과를 보였다 (Fig. 2).

Table 4. Growth characteristics of plant after corn harvest.

Treatment	Plant height	Fresh weight	Biomass productivity
	(cm plant ⁻¹)	(g plant ⁻¹)	----- (kg m ⁻²) -----
Cn	148a [†]	152a	1.82a
BC	154b	184b	2.21b
IF	170d	228c	2.74c
BC+IF25	164c	200b	2.40b
BC+IF50	167bc	260d	3.12d
BC+IF75	166bc	311e	3.73e
BC+IF100	171d	338f	4.05f

[†]Means by the same within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

옥수수 수확 후 처리구별 생육을 비교한 결과는 Table 5와 같다. 옥수수의 단위면적 (m²) 당 생산량은 BC+IF75 및 BC+IF100 처리구에서 각각 3.56 및 3.97 kg m⁻²으로 IF 처리구 (2.81 kg m⁻²)에 비해 약 127 및 142% 증가된 수준으

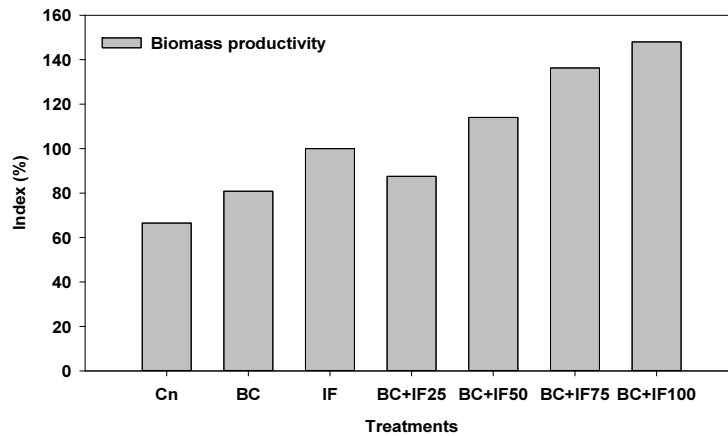


Fig. 2. Comparison of biomass productivity after corn harvest.

Table 5. Growth characteristics of corn after corn harvest.

Treatment	Total weight	Corn yield	Straw	Grain yield	Corn productivity	Length
	----- (g plant ⁻¹) -----				(kg m ⁻²)	(cm ea ⁻¹)
Cn	102a [†]	78.3a	23.7a	45.8a	1.88a	14.8a
BC	128b	85.5ab	42.7b	49.4a	2.05ab	15.1a
IF	141c	117c	23.7a	87.9c	2.81c	16.3b
BC+IF25	120b	87.8b	32.2a	62.4b	2.11b	14.6a
BC+IF50	179d	126d	53.1c	90.2c	3.03d	17.4bc
BC+IF75	212e	148e	63.8d	113d	3.56e	18.3c
BC+IF100	213e	166f	47.8bc	128e	3.97f	17.7c

[†]Means by the same within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan's Multiple Range Test.

로 조사되었다. 이는 biochar 사용으로 인해 토양 물리성이 개선되면서 옥수수 생육에 필요한 양수분의 공급이 원활했던 것으로 판단된다 (Nigussie et al., 2012; Carter et al., 2013). Carvalho et al. (2016) 및 He et al. (2016)은 biochar와 다른 물질의 혼합은 토양의 다각적인 기능을 향상시킬 수 있다고 보고한 바 있기 때문에 본 연구에서 biochar와 무기질 비료의 혼합 처리구가 전반적으로 높은 수확량을 나타낸 것으로 보인다. 또한, Major et al. (2010)은 biochar가 Ca나 Mg 같은 토양내에 부족한 토양 영양분을 공급하여 옥수수의 생육을 개선할 것을 제안한 바 있다. 한편, BC 및 BC+IF25 처리구는 IF 처리구에 비해 옥수수의 생산량이 각각 27% 및 25% 감소되는 결과를 보여주었고, BC+IF50 처리구에서는 IF 처리구에 비해 약간 증가된 옥수수 생산량을 보여주었다. Biochar 사용 후에 작물 생육은 작물의 종류, 기후, 그리고 토양 특성 등에 크게 영향을 받는다 (Gakin et al., 2010; Alburguerque et al., 2013; Karer et al., 2013). Rogovska et al. (2014)는 biochar 사용이 옥수수의 수량과 바이오매스 생산량에 긍정적인 영향을 미친다고 보고한 바 있지만, Asai et al. (2009)는 biochar의 낮은 무기성분 특성과 높은 C/N비로 인해서 식물 생육에 필요한 양분 이용을 제한할 수 있기 때문에 작물의 수확량이 감소될 수 있다고 보고한 바 있다. Biochar는 원재료 및 열분해 제조 조건에 따라서 그 특성이 달라지기 때문에 본 연구에서는 다른 양분의 도움 없이 biochar 자체만으로는 작물의 높은 생산성을 기대하기에 한계가 있었던 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서 biochar를 이용한 옥수수 재배에서는 무기질 비료를 기준 시비량 대비 최소한 50% 이상을 시비하여야 안정적인 옥수수 생산량을 유지할 수 있었다 (Fig. 3).

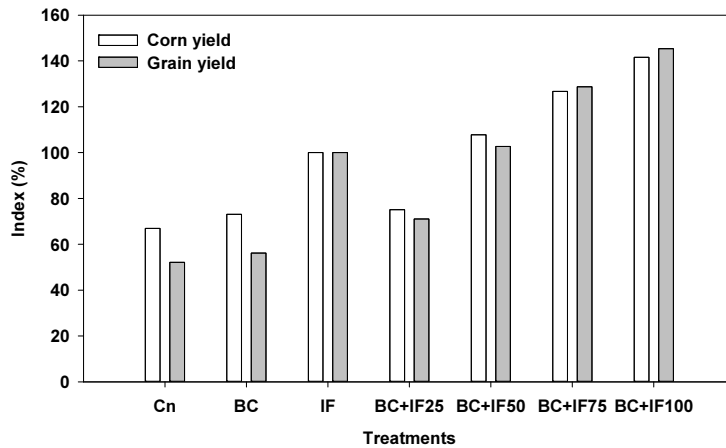


Fig. 3. Comparison of corn and grain yields after corn harvest.

토양 특성 변화 옥수수 수확 후 토양의 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 6에서 보는 바와 같다. 처리구별 토양 pH는 Cn 처리구에서 6.78, IF 처리구에서 6.77로 옥수수 재배 전 토양의 pH에 비해 감소하였고, biochar가 혼입된 처리구는 7.01-7.48 범위로 pH가 증가하였다. 토양내 OM, T-N 및 CEC는 pH의 경향과 유사하게 biochar가 혼입된 처리구에서 유의성 있게 증가되었다 (Pandey et al., 2016). 바이오매스가 열분해 되면 유기 매트릭스로부터 알칼리 염이 분리되면서 생성물질의 pH를 증가시킨다. 이로 인해 열분해로부터 생성된 옥수수 부산물 biochar는 높은 pH를 가지게 되었고, 토양에 혼입되어 pH를 증가시켰던 것으로 판단된다 (Peng et al., 2011; Kamara et al., 2015). 또한, biochar는 높은 표면적과 전하밀도를 가지고 있어 biochar를 혼입한 처리구내 토양의 CEC를 증가시킨 것으로 보인다 (Liu et al., 2016).

Table 6. Changes in soil chemical properties after corn harvest.

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM ----- (g kg ⁻¹) -----	T-N -----	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)
Cn	6.79a [†]	0.29a	22.2a	0.87a	80.9d	7.96a
BC	7.48e	0.31b	25.3b	1.02bc	74.8b	8.26ab
IF	6.77a	0.29a	21.3a	0.99b	68.6a	8.04a
BC+IF25	7.27d	0.33c	26.2b	1.14d	70.7a	8.21b
BC+IF50	7.02b	0.34d	25.6b	1.11d	77.4c	8.33b
BC+IF75	7.13c	0.37e	25.8b	1.15d	85.6e	8.45b
BC+IF100	7.01b	0.34cd	25.5b	1.08cd	80.8d	8.38b

[†]Means by the same within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to Duncan’s Multiple Range Test.

Conclusions

본 연구는 biochar와 무기질 비료의 수준별 사용이 옥수수의 생육에 미치는 영향을 평가하여 무기질 비료의 시비량을 절감하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 무기질 비료의 수준별 사용량은 기준 시비량의 25%, 50%, 75% 및

100%를 biochar와 혼합하여 옥수수 재배 시험을 진행하였다. 무기질 비료의 사용수준에 따른 옥수수의 생육은 전반적으로 BC+IF50, BC+IF75 및 BC+IF100 처리구에서 식물체의 길이, 바이오매스 및 옥수수의 생산량 등이 기준 처리구인 IF 처리구에 비해 증가되는 결과를 나타내었고, 무기질 비료 사용수준이 높을수록 옥수수의 생육이 증가되는 유의성을 보여주었다. 하지만, BC+IF25 처리구에서 조사된 옥수수의 생산량 및 생육 지표가 IF 처리구에 비해 감소되는 결과를 보였다. 옥수수 수확 후 조사된 토양의 화학적 특성은 무기질 비료의 수준별 사용에 상관없이 biochar 사용 유무에 따른 결과를 보여주었으며, biochar를 사용한 처리구가 작물의 성장과 관련이 깊은 pH, OM 및 CEC 등의 항목에서 유의성 있게 증가되는 결과를 보였다. 따라서 본 시험의 결과로 미루어 볼 때 biochar와 무기질 비료의 혼합은 옥수수의 생산량을 증가시킬 수 있을 것으로 보이며, 농가에서 biochar를 이용한 옥수수 재배에서는 BC+IF50 조건이 옥수수의 안정적인 생산량을 유지하고 토양 건전성을 유지하는데 적당하다고 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ011227042018)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Agegehu, G., A.M. Bass, P.N. Nelson, and M.I. Bird. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar – compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Sci. Total Environ.* 543:295-306.
- Albuquerque, J.A., P. Salazar, V. Barrón, J. Torrent, M.C. del Campillo, A. Gallardo, and R. Villar. 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agron. Sustain. Dev.* 33:475-484.
- Angst, T.E., J. Six, D.S. Reay, and S.P. Sohi. 2014. Impact of pine chip biochar on trace greenhouse gas emissions and soil nutrient dynamics in an annual ryegrass system in California. *Agric. Ecosys. Environ.* 191:17-26.
- Asai, H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songyikhangsuthor, K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shiraiwa, and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res.* 111:81-84.
- Carter, S., S. Shackley, S. Sohi, T.B. Suy, 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.* 3:404-418.
- Carvalho, M.T.M., B.E. Madari, L. Bastiaans, P.A.J. van Oort, W.G.O. Leal, A.B. Heinemann, M.A.S. da Silva, A.H.N. Maia, D. Parsons, and H. Meinke. 2016. Properties of a clay soil from 1.5 to 3.5 years after biochar application and the impact on rice yield. *Geoderma.* 276:7-18.
- Case, S.D.C., N.P. McNamara, D.S. Reay, and J. Whitaker. 2012. The effect of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from a sandy loam soil - The role of soil aeration. *Soil Biol. Biochem.* 51:125-134.
- Gaskin, J.W., R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris, and D.S. Fisher. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron. J.* 102:623-633.
- He, L., X. Zhao, S. Wang, and G. Xing. 2016. The effects of rice-straw biochar addition on nitrification activity and nitrous oxide emissions in two Oxisols. *Soil Tillage Res.* 164:52-62.
- Kamara, A., H.S. Kamara, and M.S. Kamara. 2015. Effect of rice straw biochar on soil quality and the early growth and biomass yield of two rice varieties. *Agric. Sci.* 6:798-806.

- Kang, S.W., D.C. Seo, Y.H. Cheong, J.W. Park, H.W. Kang, K.D. Park, Y.S. Ok, and J.S. Cho. 2016. Effect of barley straw biochar application on greenhouse gas emissions from upland soil for Chinese cabbage cultivation in short-term laboratory experiments. *J. Mt. Sci.* 13:693-702.
- 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.* 50:452-461.
- Karer, J., B. Wimmer, F. Zehetner, S. Kloss, and G. Soja. 2013. Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. *Agric. Food Sci.* 22:390-403.
- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature.* 447:143-144.
- Liu, Y., H. Lu, S. Yang, and Y. Wang. 2016. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. *Field Crops Res.* 191:161-167.
- Major, J. 2010. Guideline on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative.
- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. Riha, and J. Lehmann. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil.* 333:117-128.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Nigussie, A., E. Kissi, M. Misganaw, and G. Ambaw. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 12:369-376.
- Ok, J.H., J.L. Cho, B.M. Lee, N.H. An, J.H. Shin, and Y. Lee. 2016. Effect of oil cake banding application on growth and nutrient use efficiency in maize. *Korean J. org. Agric.* 24:907-917.
- Pandey, V., A. Patel, and D.D. Patra. 2016. Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ecol. Eng.* 90:361-366.
- Peng, X., L.L. Ye, C.H. Wang, H. Zhou, and B. Sun. 2011. Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil Tillage Res.* 112:159-166.
- Rogovska, N., D.A. Laird, S.J. Rathke, and D.L. Karlen. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma.* 230-231:340-347.
- Yamato, M., Y. Okimori, I.F. Wibowo, S. Anshori, and M. Ogawa. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties on South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52:489-496.