

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.5.452>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Selection of Optimal Application Condition of Corn Waste Biochar for Improvement of Corn Growth and Soil Fertility

Se-Won Kang, Seong-Heon Kim¹, Jong-Hwan Park², Dong-Cheol Seo¹, and Ju-Sik Cho*

Department of Bio-environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

¹Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828 Korea

²School of Plant, Environmental, and Soil Sciences, Louisiana State University AgCenter, Baton Rouge LA 70803, USA

*Corresponding author: chojs@sunchon.ac.kr

ABSTRACT

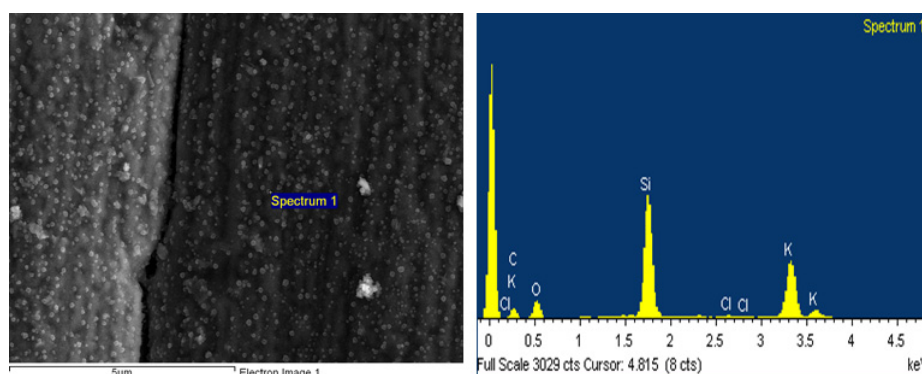
Received: September 6, 2017

Revised: October 31, 2017

Accepted: November 6, 2017

This study was conducted to select an optimal approach to corn waste biochar (BC) application, and to evaluate the effects of combined application of BC and inorganic fertilizer (IF) on corn growth and soil chemical properties in a pot experiment. Corn growth differed with BC application timing and BC application levels. Based on the characteristics of corn growth in pot-based experiments, the selected optimal application conditions of BC were application of 500 kg 10a⁻¹ at 20 days before sowing. Also, the chemical properties of the tested soil with BC after corn harvesting were significantly improved than those in the other treatments. In particular, soil pH and CEC regardless of application conditions were markedly increased by 0.04~0.19 units and 0.08~2.58 cm³ kg⁻¹ in BC treatments than without BC treatments. Additionally, combined application of BC and IF had greater effects on corn growth than single application of BC. Therefore, the results suggest using properly BC application conditions and a combination of BC and IF for effective corn cultivation in an upland field.

Keywords: Corn waste biochar, Corn growth, Soil chemical properties, BC application timing, BC application levels



Characteristics of surface and elemental compositions of corn waste biochar used in this study.



Introduction

우리나라는 불규칙한 작부체계, 여름철 집중 강우와 빈번한 경운으로 인한 토양 손실, 토양구조 악화 및 토양 비옥도가 감소되고 있으며, 그 결과 작물의 생육에 부정적인 영향을 끼치고 있다(Cho et al., 2012; Kim et al., 2010). 이런 이유로 작물의 수확량을 증가시키기 위해 무기질 비료의 사용량이 많아지고 있으며, 결과적으로 우리나라는 OECD 국가에서 단위면적당 무기질 비료를 가장 많이 사용하는 국가로 분류되고 있다(Kim et al., 2012). 무기질 비료는 식물이 쉽게 이용할 수 있는 장점이 있지만, 장기적으로 사용될 경우 토양 구조를 악화시킬 수 있고, 수질 오염 및 작물 생육이 감소되는 단점이 있어 이에 대한 관리가 필요한 실정이다(Guo et al., 2010; Miao et al., 2011).

Biochar는 혐기조건에서 쪼, 목재, 슬러지, 뼈 및 분뇨와 같은 다양한 부산물들이 열분해를 통해서 생성된 목탄과 유사한 고체 물질이다(Abujabhah et al., 2016; Butan et al., 2015; Kang et al., 2016a). 포트, 필드 및 인큐베이션 실험에서 biochar 사용은 토양, 식물, 그리고 대기환경에 대해 유익한 효과가 관찰되었다. Biochar의 토양사용은 수분, 통기, 미생물 군집 및 생태계 구성 요소 등을 포함한 다양한 토양 특성을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Carvalho et al., 2016; Jien and Wang, 2013; Rutigliano et al., 2014). 또한, biochar와 무기질 비료의 혼합 사용은 작물의 생산성을 증가시킬 수 있다고 Chan et al. (2007)이 보고한 바 있다. 특히, 작물 수확량에 대한 biochar 사용 효과는 양분이 결핍된 토양이 양분이 부유한 토양에 비해 더 효과적이라고 보고되어(Kang et al., 2016b), 토양 비옥도가 낮은 토양에서 biochar의 활용이 많아지고 있다. 하지만, biochar는 높은 pH와 EC를 가지고 있기 때문에 적절한 기준 없이 토양에 투입될 경우 작물의 초기생육에 부정적인 효과를 줄 수 있다(Kang et al., 2016a). 이런 이유로 biochar를 활용한 작물 재배에서는 특정 작물에 대한 biochar의 적정 혼입기준이 필요한 실정이다.

세계 3대 식량작물 중 하나인 옥수수는 재배가 단순하고 단위 면적당 생산량이 많아 널리 재배되고 있으며(Lim et al., 2014), 다소 척박한 토양에서도 잘 자라기 때문에 오래전부터 주요 식량작물로 재배되어 왔다(Roh et al., 2015). 하지만, 최근 이상기후현상에 의해 옥수수를 비롯한 주요 곡물들의 성장률이 저하되어 가격이 폭등하고 있는 추세로 이에 대한 재배관리가 새롭게 요구되었다(Na et al., 2016).

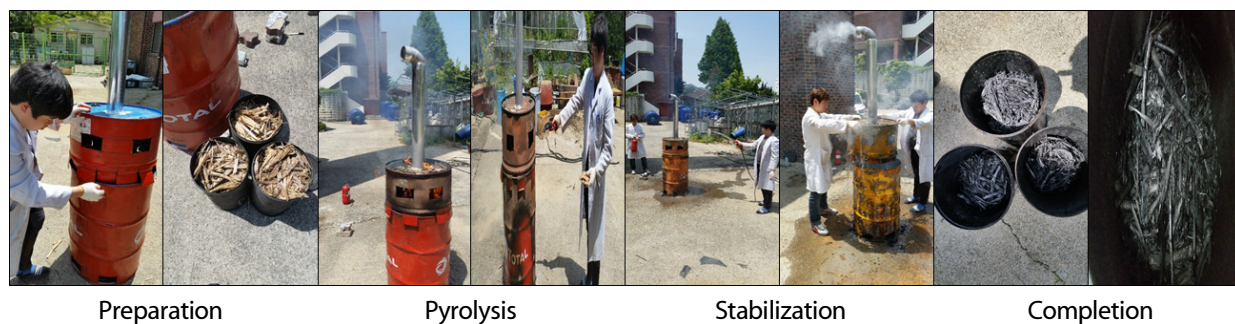
이에 본 연구에서는 옥수수를 대상 작물로 선정하여, 기상이변 현상에 대응하고 옥수수의 생육 증진을 위해 biochar의 적정 혼입기준을 선정하여 농가에 보급 및 활용하고자 하였다.

Materials and Methods

공시 재료 본 실험에 사용된 biochar는 전남 순천시 서면에 위치한 순천대학교 부속농장에서 재배 후 남은 옥수수 부산물을 사용하였다. Biochar 제조장치 및 생산과정은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. Biochar 제조장치는 고온에서 잘 견딜 수 있고 농가에서 직접 제조 후 사용이 가능한 드럼통(외부챔버)을 주재료로 사용하였으며, 드럼통의 직경 및 높이는 각각 55 및 85 cm이었다. 제조 장치의 아랫부분과 중간부분은 옥수수 부산물의 열분해 시 공기가 순환될 수 있도록 구멍을 뚫었으며, 상부에는 환풍관을 설치하여 화목연료에서 발생하는 연기가 배출될 수 있게 제작하였다. Biochar 제조 시 사용된 용기는 스테인레스 재질의 챔버(내부 챔버)를 사용하였다. Biochar 제조 시 내부 챔버에는 질소가스를 주입하여 챔버 뚜껑을 닫고 혐기조건을 유지하였고, 열분해 온도는 온도를 계속 체크하면서 650~750°C(평균 700°C) 범위를 유지시켰으며, 열분해 시간은 1시간이었다. 제조된 biochar의 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 pH는 10.26이었고, EC는 8.46 dS m⁻¹이었으며, T-N, T-P, K, Ca 및 Mg의 함량은 각각 0.27, 1.84, 4.71, 0.89 및 0.42% 이었다.

Table 1. Characteristics of corn waste biochar used in this study.

Bulk density	pH	EC	T-N	T-P	K	Ca	Mg	
(g cm ⁻³)	(1:10)	(dS m ⁻¹)	-----			(%)	-----	
0.12	10.26	8.46	0.27	1.84	4.71	0.89	0.42	

**Fig. 1.** Biochar manufacture process.

공시 토양은 전남 순천시 상사면의 야산에서 채취하였으며, 용적밀도 및 공극률은 각각 1.24 g cm⁻³ 및 45.3%이었다. 토양은 건조 후 2 mm 체를 거른 후 사용하였으며, 화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 토양 pH는 7.05이었고, EC는 0.35 dS m⁻¹이었으며, OM 및 T-N 함량은 각각 14.58 및 0.39 g kg⁻¹이었다. 또한 Avail. P₂O₅ 함량은 84.3 mg kg⁻¹으로 조사되었으며, 치환성 K, Ca, Mg의 함량 및 CEC는 각각 0.22, 5.82, 0.56 및 6.35 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다.

Table 2. Properties of experimental soil used in this study.

Bulk density	Porosity	pH	EC	OM	T-N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
(g cm ⁻³)	(%)	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	CEC
1.24	45.3	7.05	0.35	14.58	0.39	84.3	0.22	5.82	0.56	6.35

공시 옥수수 종자는 일미찰 (*Zea mays* L.)을 사용하였으며, 재배실험은 Wagner pot (1 5000a⁻¹)을 이용하여 순천대학교에서 수행되었다.

실험방법 옥수수 생육과 토양 비옥도 개선을 위한 biochar의 시용조건은 크게 biochar의 시용시기와 시용수준으로 나누어 최적 시용조건을 선정하였다.

Biochar의 최적 시용시기를 조사하기 위해 biochar의 시용시기는 옥수수 파종 20일전, 10일전 및 당일로 나누었다. 본 시험에 사용된 처리조건은 무기질 비료를 사용하지 않은 처리구, 그리고 무기질 비료와 biochar를 혼합한 처리구로 나누었다. 무기질 비료 무 처리구는 Cn (control) BC_20DBS (Biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at 20 days before sowing), BC_10DBS (Biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at 10 days before sowing) 및 BC_ASD (Biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at sowing date) 처리구로 나누었다. 무기질 비료를 사용한 처리구는 IF (inorganic fertilizer),

BC+IF_20DBS (IF + biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at 20 days before sowing), BC+IF_10DBS (IF + biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at 10 days before sowing) 및 BC+IF_ASD (IF + biochar 1,000 kg 10a⁻¹, application at sowing date) 처리구로 나누었으며, 무기질 비료의 시비량은 농촌진흥청 작물별시비처방 기준에 준하였다. 옥수수는 2016년 5월 19일에 파종하였고, 8월 27일에 옥수수를 수확하였다.

Biochar의 최적 사용수준은 biochar의 사용수준을 500, 1,000, 1,500, 2,000 kg 10a⁻¹으로 각각 나누었다. 처리조건은 Cn (Control), BC_500 (Biochar 500 kg 10a⁻¹), BC_1000 (Biochar 1,000 kg 10a⁻¹), BC_1500 (Biochar 1,500 kg 10a⁻¹) 및 BC_2000 (Biochar 2,000 kg 10a⁻¹) 처리구로 나누었고, 관행처리구인 IF 처리구, 그리고 biochar와 무기질 비료를 복합 사용한 BC+IF_500 (IF + biochar 500 kg 10a⁻¹), BC+IF_1000 (IF + biochar 1,000 kg 10a⁻¹), BC+IF_1500 (IF + biochar 1,500 kg 10a⁻¹) 및 BC+IF_2000 (IF + biochar 2,000 kg 10a⁻¹) 처리구로 나누었다. Biochar 사용시기는 최적 사용시기로 선정된 조건에 맞춰 biochar를 토양에 혼입하였고, 옥수수 재배는 순천대학교내 투명유리 온실에서 자연광을 이용하여 진행되었으며, 옥수수는 2016년 8월 31일에 파종하여 12월 9일에 옥수수를 수확하였다.

옥수수의 생육 특성은 옥수수의 지상부와 지하부의 초장, 근장, ear 및 생체중을 각각 조사하였으며, 토양 특성은 옥수수 재배 후 pH, EC 및 CEC 등의 화학적 특성을 조사하였다.

분석방법 본 실험에 사용된 biochar 및 토양의 물리·화학적 특성은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다.

옥수수 biochar의 다량성분은 시료를 습식분해법 (H₂SO₄ + HClO₄)으로 전처리하여 T-N은 Kjeldahl법으로 분석하였고, T-P는 Vanadate법 (UV2550PC, Perkinelmer)으로 분석하였다. 시료의 K, Ca, Mg는 전처리 후 여액을 ICP (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

토양의 용적밀도 및 공극률은 코어법을 사용하였으며, pH 및 EC는 pH meter 및 EC meter (S230 Mettler Toledo)를 사용하였다. 토양의 T-N 분석은 Kjeldahl법, 유효인산 분석은 Lancaster법을 사용하였다. 유기물 분석은 비색법으로 하였고, 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc 용액으로 침출한 후 ICP를 사용하여 분석하였다.

Biochar 사용조건에 따른 옥수수의 생육 결과는 SPSS 21 버전을 사용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

옥수수 재배를 위한 biochar의 최적 사용시기 선정 옥수수 biochar의 사용시기에 따른 옥수수 식물체의 길이와 생체중을 조사한 결과는 Fig. 2, 3에서 보는 바와 같다. 옥수수 식물체의 생육은 전반적으로 옥수수 biochar의 사용시기가 빠를수록 생육이 좋았고, 무기질 비료와의 혼합처리구가 무기질 비료 무처리구에 비해 높은 생육을 보였다. 옥수수 biochar 사용시기에 따른 옥수수의 길이는 무기질 비료의 사용에 상관없이 20DBS > 10DBS > ASD 처리구 순으로 높았다. 옥수수 식물체의 부위별 생체중은 무기질 비료 무처리구와 무기질 비료 사용 처리구의 경우 옥수수 파종 20일 전에 혼입한 BC_20DBS 및 BC+IF_20DBS 처리구에서 가장 높은 생체중을 나타내었다. 반면, 옥수수 biochar 사용을 파종 당일에 혼입한 처리구에서는 다른 처리구에 비해 상대적으로 저조한 생육을 보였다.

Biochar를 사용한 연구에서 Mia et al. (2014)는 biochar의 높은 EC로 인해 작물의 생육에 영향을 미친다고 보고한 바 있으며, biochar 사용량에 따른 배추 연구를 수행한 Kang et al. (2016a)은 배추 이식 당일에 biochar를 토양과 혼입

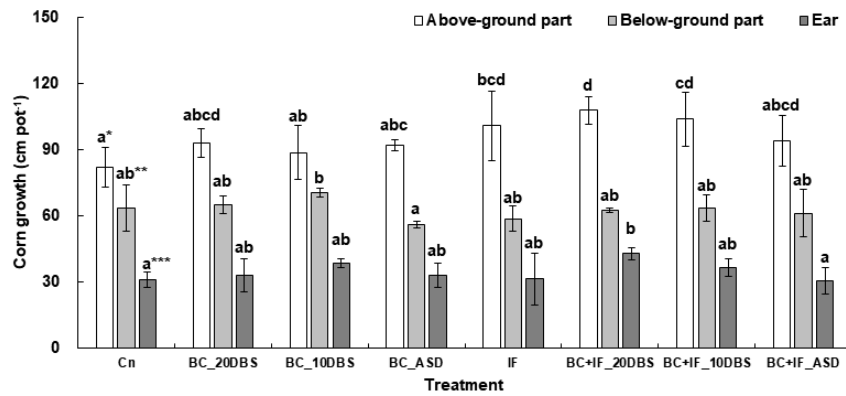


Fig. 2. Length characteristics of corn plants in pots under different BC application times. (*, **, ****Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

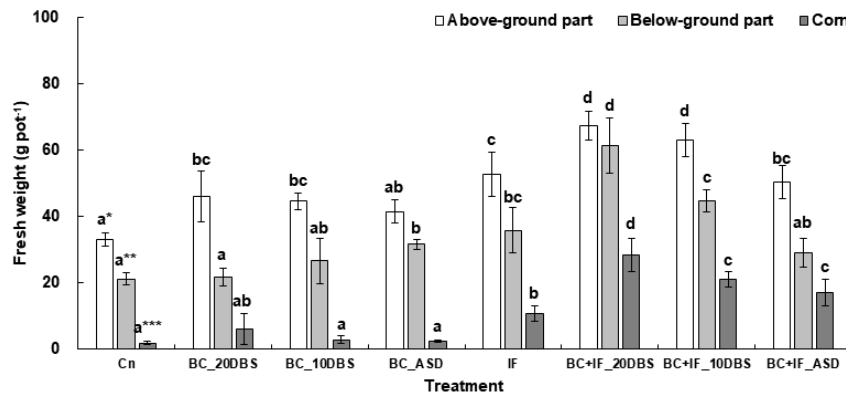


Fig. 3. Fresh weight characteristics of corn plants in pots under different BC application times. (*, **, ****Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

하여 biochar 사용량에 따른 배추의 생육이 유의성이 없었다고 보고한 바 있다. 농업부산물을 이용하여 제조된 biochar는 열분해 온도에 따라 다소 차이는 있지만, 기본적으로 높은 pH와 EC를 가지고 있다 (Ahmad et al., 2012; Sukartono et al., 2011; Liu et al., 2011). 토양내 EC 농도는 작물의 생육저하를 불러일으키며 무기질 비료를 장기간 사용한 시설재배지에서 잘 나타나는 특징이다. 이로 인해 높은 EC를 가진 biochar가 토양에 혼입되어 순간적으로 토양환경에 변화를 주었고, 토양변화는 옥수수 발아 후 초기 생육에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 작물 생육을 위한 biochar 사용은 작물의 파종 또는 이식 전 토양에 충분히 혼입되어 안정화기간이 필요할 것으로 판단된다. 한편 Hunt et al. (2010)은 biochar가 가지고 있는 pH, 양분불균형 등의 특성 때문에 작물의 생육에 부정적인 효과를 줄 수 있다고 보고한 바 있다. 이는 본 연구와 유사한 경향으로 biochar와 무기질 비료의 혼합 처리구가 biochar 또는 무기질 비료의 단일 처리구에 비해 옥수수 식물체의 생육이 개선된 것을 확인할 수 있었다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 옥수수 biochar의 최적 사용시기는 옥수수 파종 20일전이었다.

옥수수 재배를 위한 biochar의 최적 사용수준 선정 옥수수 biochar의 사용수준에 따른 옥수수 식물체의 생육 특성을 조사한 결과는 Fig. 4, 5와 같이 옥수수 biochar의 사용수준은 많아질수록 옥수수의 생육이 점차 감소하는 경향이였다.

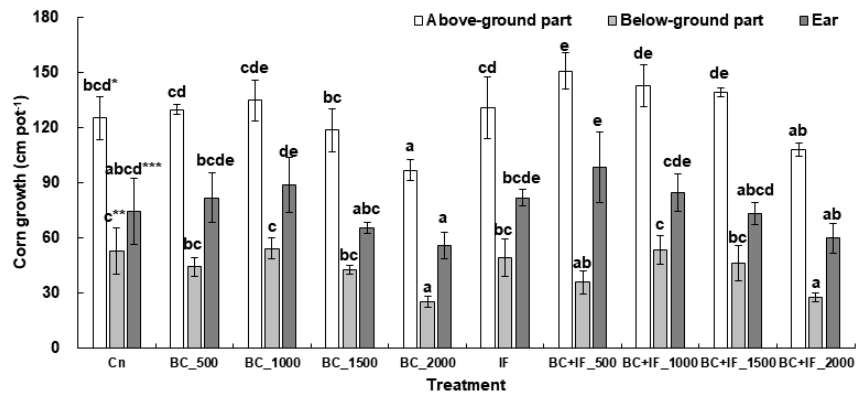


Fig. 4. Length characteristics of corn plants in pots under different BC application levels. (*, **, ***Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

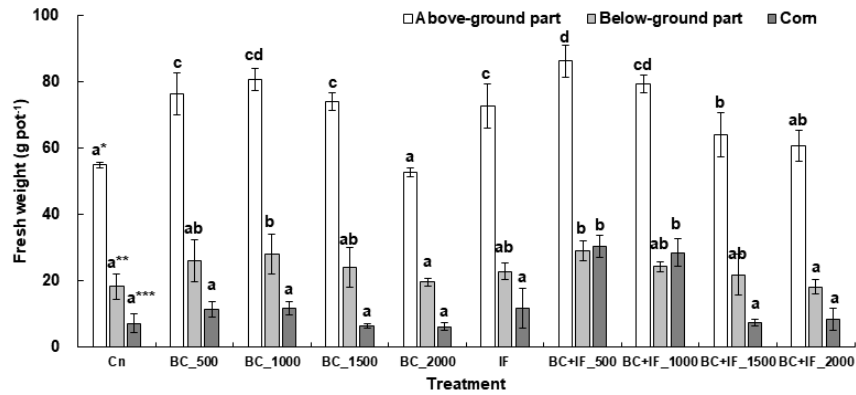


Fig. 5. Fresh weight characteristics of corn plants in pots under different BC application levels. (*, **, ***Different letters above the bars indicate significant differences among the different treatments within the same experiment, at $p < 0.05$).

전반적인 생육은 biochar와 무기질 비료의 혼합 처리구가 단일 처리구에 비해 더 왕성한 생육을 보였다. 무기질 비료 무처리구에서 옥수수 식물체의 길이는 옥수수 biochar의 사용수준이 1,500 kg 10a⁻¹ 이상일 때 control 처리구에 비해 감소하였고, 무기질 비료 처리구에서는 옥수수 biochar의 사용수준이 2,000 kg 10a⁻¹ 일 때 IF 처리구에 비해 감소하는 경향으로 조사되었다. 옥수수의 식물체의 부위별 생체중은 전반적으로 옥수수 biochar의 사용수준이 500 kg > 1,000 kg > 1,500 kg > 2,000 kg 10a⁻¹ 순으로 생체중이 감소하는 결과를 보였다.

작물의 생육에 효과적이라고 보고된 biochar의 적절한 사용수준은 몇몇 연구자들에 의해 5~50 ton ha⁻¹ 정도라고 보고된 바 있다 (Major 2010). 하지만, 열분해 온도, 제조방법, 그리고 원재료에 따라 제조된 biochar의 특성이 달라지기 때문에 작물의 생산성 증진을 위한 biochar 사용수준은 명확하게 구명되지 않았다. 또한, 작물이 재배되는 토양 특성이 다르기 때문에 다른 양분의 도움 없이 biochar 자체만으로는 작물의 높은 생산성을 기대하기에 한계가 있는 것으로 사료된다. 본 연구에 사용된 biochar는 옥수수 부산물을 이용하여 제조한 biochar로 용적밀도가 다른 부산물 biochar에 비해 상당히 낮은 특성을 가지고 있다. 이로 인해 biochar 혼입량이 많은 처리구내 포트의 근권 환경은 옥수수의 뿌리활착이 제대로 이루어지지 않아 옥수수의 생육이 저조하였던 것으로 판단된다. 또한, 재배실험마다 차이는 있겠지만, biochar의 높은 사용수준은 biochar가 가지고 있는 높은 EC로 인한 염 스트레스 때문에 식물의 성장이 불량하다고 Mia et al. (2014)가 보고한 바 있다. 옥수수 재배에 biochar를 20 및 40 ton ha⁻¹ 사용한 Zhang et al. (2012)은

biochar 무처리구에 비해 약 7~14%의 증수 효과를 보였고, 사용수준이 20 ton ha⁻¹일 때 증수효과가 더 높았다고 보고한 바 있다. 또한 Uzoma et al. (2011)은 biochar 사용 처리구에서 옥수수의 수량은 15 t ha⁻¹ > 20 t ha⁻¹ > 10 t ha⁻¹ > 0 t ha⁻¹ 순으로 높았다고 보고하였다. 본 연구와 직접적인 비교는 힘들지만, Asai et al. (2009)는 라오스 고지대에서 biochar 사용수준이 4 ton ha⁻¹일 때가 8 및 16 ton ha⁻¹에 비해 높은 벼 수확량을 보고하였지만, control 처리구와 큰 차이 없다고 보고하였다. 반면에 Kim et al. (2016)은 biochar 사용수준이 가장 높은 처리구에서 옥수수의 건물중이 가장 높았다고 보고한 바 있다. 따라서 biochar의 적정 사용수준은 작물 및 토양 특성에 따라 달라지며, 양분 특성에 따라서 무기질 비료 또는 유기물의 사용이 추가된다면 보다 높은 작물의 생산성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, 본 연구에서는 옥수수 재배에 적합한 biochar의 사용수준을 500 kg 10a⁻¹으로 선정하였다.

옥수수 수확 후 토양의 화학적 변화 옥수수 biochar 사용조건에 상관없이 옥수수 재배 후 토양의 pH, EC 및 T-N 등의 화학적 특성을 조사하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

Biochar 사용시기에 따른 옥수수 재배 후 토양의 특성 변화는 Table 3과 같다. 전반적으로 무기질 비료 사용에 상관없이 모든 biochar 처리구에서 토양의 pH, EC, OM, T-N, Avail. P₂O₅, CEC 농도는 Cn 및 IF 처리구에 비해 토양의 화학적 성질이 개선되었으나, biochar 사용시기에 따른 큰 차이는 없었다. Biochar 사용수준에 따른 토양의 화학적 특성

Table 3. Changes in Soil chemical properties under different BC application times after corn harvesting.

Treatment	pH	EC	OM	T-N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	CEC
Cn	7.08±0.01	0.32±0.02	13.2±0.11	0.36±0.02	82.1±1.03	0.24±0.02	6.19±0.10	0.53±0.01	6.38±0.05
BC_20DBS	7.18±0.02	0.40±0.03	14.2±0.02	0.40±0.01	95.3±0.70	0.67±0.01	5.99±0.05	0.56±0.01	6.95±0.07
BC_10DBS	7.18±0.03	0.43±0.02	14.2±0.08	0.42±0.01	96.0±1.68	0.67±0.03	6.11±0.08	0.62±0.01	6.93±0.08
BC_ASD	7.16±0.01	0.42±0.01	14.2±0.05	0.41±0.01	96.2±3.81	0.69±0.02	6.07±0.10	0.57±0.01	6.95±0.14
IF	7.05±0.06	0.38±0.01	13.0±0.05	0.36±0.04	88.1±2.31	0.29±0.00	5.82±0.03	0.56±0.00	6.45±0.05
BC+IF_20DBS	7.19±0.06	0.43±0.02	14.2±0.08	0.42±0.03	103±2.55	0.68±0.02	6.14±0.05	0.61±0.03	6.94±0.09
BC+IF_10DBS	7.16±0.03	0.42±0.05	14.2±0.02	0.41±0.02	107±2.26	0.62±0.01	6.16±0.06	0.64±0.01	6.94±0.05
BC+IF_ASD	7.16±0.02	0.43±0.01	14.2±0.08	0.41±0.06	107±1.70	0.62±0.01	6.16±0.08	0.53±0.02	6.90±0.08

Table 4. Changes in Soil chemical properties under different BC application levels after corn harvesting.

Treatment	pH	EC	OM	T-N	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	CEC
Cn	7.09±0.03	0.33±0.02	13.3±0.30	0.35±0.04	83.0±1.82	0.16±0.00	5.59±0.10	0.29±0.02	7.62±0.70
BC_500	7.13±0.05	0.35±0.00	14.4±0.28	0.37±0.04	90.2±3.40	0.21±0.01	6.51±0.08	0.23±0.01	7.70±0.46
BC_1000	7.16±0.05	0.38±0.03	14.5±0.44	0.37±0.03	93.9±2.38	0.49±0.03	7.31±0.03	0.39±0.04	9.20±0.31
BC_2000	7.17±0.10	0.40±0.01	14.7±0.13	0.40±0.05	98.4±1.39	0.63±0.02	9.01±0.23	0.35±0.02	9.85±0.21
IF	7.24±0.02	0.46±0.02	15.0±0.25	0.39±0.04	102±4.25	1.66±0.01	8.64±0.10	0.53±0.02	10.2±0.37
BC+IF_500	7.06±0.04	0.34±0.03	13.4±0.18	0.35±0.02	95.2±0.69	0.26±0.00	5.71±0.08	0.24±0.02	7.49±0.60
BC+IF_1000	7.12±0.10	0.35±0.00	14.2±0.12	0.38±0.03	97.6±5.23	0.33±0.01	5.94±0.17	0.33±0.01	7.72±0.18
BC+IF_1500	7.15±0.04	0.40±0.04	14.7±0.11	0.41±0.04	98.4±2.45	0.41±0.03	6.07±0.10	0.30±0.03	7.51±0.45

을 조사한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 토양 pH, EC 및 CEC 등은 옥수수 biochar 사용처리구와 Cn 및 IF 처리구와 큰 차이를 보이며 토양의 화학적 특성이 개선되었으며, biochar 사용수준에 따라 화학적 성질이 증가하는 경향으로 BC_2000 처리구와 BC+IF_2000 처리구에서 가장 높은 농도를 보였다.

토양에서 biochar의 긍정적인 효과는 여러 연구자들에 의해서 토양 물리·화학·생물학적 특성을 개선할 수 있다고 알려져 있다 (Demir and Gülesr, 2015; Farrel et al., 2013; Kloss et al., 2014; Nigussie et al., 2012; Zwieten et al., 2010). Biochar는 토양에 혼입되어 직접적인 희석효과로 인해 토양내 물리성을 개선할 수 있지만 (Burrell et al., 2016), 과량의 biochar가 투입되면 밀도가 낮은 biochar로 인해 작물의 뿌리 활착이 불리할 수 있다. 또한, 높은 탄소함량과 낮은 양분 함량으로 인해 C/N률이 증가되어 작물의 양분 이용능력이 감소할 수 있기 때문에 작물의 수확량이 감소될 수 있다 (Asai et al., 2009). 따라서 작물의 종류, 토양, 그리고 biochar의 특성을 고려하여 적절한 사용조건에 맞춰 작물을 재배한다면 작물의 생산성과 토양비옥도를 증진시킬 수 있다고 판단된다.

Conclusions

본 연구는 옥수수의 생육과 토양비옥도를 개선하기 위해 biochar의 최적 사용방법을 선정하여 옥수수 재배지에서 활용하고자 하였다. 옥수수의 생육과 토양비옥도 개선을 위한 biochar는 옥수수 부산물을 이용하여 제조하였으며, 사용방법은 사용시기 및 사용수준으로 나누었다. 그 결과 옥수수 biochar의 최적 사용시기는 옥수수 파종 20일전, 그리고 최적 사용수준은 $500 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 사용한 처리구에서 옥수수의 생육이 가장 왕성하였고, 토양의 화학적 특성은 biochar 사용 처리구가 다른 처리구에 비해 개선되는 효과를 보였다. 또한, 옥수수의 생육은 biochar의 단일 처리보다는 무기질 비료와의 복합 처리가 더욱 효과적인 것으로 조사되었다. 따라서 옥수수 재배에서는 biochar의 적정 혼입 기준에 다른 양분들과의 복합 사용을 통해 재배된다면 높은 수확량을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ011227042017)” Rural Development Administration, Republic of Korea. Also, this work was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF- 2017R1A6A3A11034049).

References

- Abujabhah, I.S., S.A. Bound, R. Doyle, and J.P. Bowman. 2016. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. *Appl. Soil Ecol.* 98: 243-253.
- Ahmad, M., S.S. Lee, X. Dou, D. Mohan, J.K. Sung, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2012. Effects of pyrolysis temperature on soybean stover- and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresour. Technol.* 118:536-544.
- 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 Crop Res.* 111:81-84.
- Burrell, L.D., F. Zehetner, N. Rampazzo, B. Wimmer, and G. Soja. 2016. Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma* 282:96-102.
- Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M.J. Antal, and P. Vityakon. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma* 237-238:105-116.
- 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.
- 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.
- Cho, H.R., Y.S. Zhang, K.H. Han, H.J. Cho, J.H. Ryu, K.Y. Jung, K.R. Cho, A.S. Ro, S.J. Lim, S.C. Choi, J.I. Lee, W.K. Lee, B.K. Ahn, B.H. Kim, C.Y. Kim, J.H. Park, and S.H. Hyun. 2012. Soil physical properties of arable land by land use across the country. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:344-352.
- 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.
- Farrel, M., T.K. Kuhn, L.M. Macdonald, T.M. Maddern, D.V. Murphy, Pa.A. Hall, B.P. Singh, K. Bauhmann, E.S. Skull, and J.A. Baldock. 2013. Microbial utilization, of biochar-derived carbon. *Sci. Total Environ.* 465:288-297.
- Guo, J.H., X.J. Liu, Y. Zhang, J.L. Shen, W.X. Han, W.F. Zhang, P. Christie, K.W.T. Goulding, P.M. Vitousek, and F.S. Zhang. 2010. Significant acidification in major Chinese crop lands. *Sci.* 327-1008-1010.
- Hunt, J., M. DuPont, D. Sato, and A. Kawabata. 2010. The basics of biochar: A natural soil amendment. *Soil and Crop Management Dec.* 2010 SCM-30:1-6.
- Jien, S.H. and C.S. Wang. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena* 110:225-233.
- 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. 2016a. 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., J.W. Park, D.C. Seo, Y.S. Ok, K.D. Park, I.W. Choi, and J.S. Cho. 2016b. Effect of biochar application on rice yield and greenhouse gas emission under different nutrient conditions from paddy soil. *J. Environ. Eng.* 142:Issue 10.
- Kim, H.S., K.R. Kim, J.E. Yang, Y.S. Ok, G. Owens, T. Nehls, G. Wessolek, and K.H. Kim. 2016. Effect of biochar on reclaimed tidal land soil properties and maize (*Zea mays* L.) response. *Chemosphere* 142:153-159
- Kim, M.K., S.O. Hur, S.I. Kwon, G.B. Jung, Y.K. Soun, S.K. Ha, and D.B. Lee. 2010. Prediction of soil erosion from agricultural uplands under precipitation change scenarios. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:789-792.
- Kim, T.Y., R.D. Aileen, A. Faridul, and Y.B. Lee. 2012. Evaluation of nitrogen and phosphorus balance in green manure-rice cropping systems without incorporation of green manure crops. *Korean J. Environ. Agric.* 31:308-312.
- Kloss, S., F. Zehetner, B. Wimmer, J. Buecker, F. Rempt, and G. Soja. 2014. Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177:3-15.
- Lim, J.T., J.H. Chang, Y.J. Rho, J.H. Ryu, D.Y. Chung, and J.W. Cho. The effect of nitrogen rates on the growth and yield of maize in agricultural fields with the stream. *Korean J. Crop Sci.* 59(1):101-108.
- Liu, Y., M. Yang, Y. Wu, H. Wang, Y. Chen, and W. Wu. 2011. Reducing CH₄ and CO₂ emissions from water logged paddy soil with biochar. *J. Soils Sediments.* 11:930-939.
- Liu, Y., M. Yang, Y. Wu, H. Wang, Y. Chen, and W. Wu. 2011. Reducing CH₄ and CO₂ emissions from waterlogged paddy soil with biochar. *J. Soils Sediments* 11:930-939.

- Major, J. 2010. Guideline on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative.
- Mia, S., J.W. van Groenigen, T.F.J. van de Voorde, N.J. Oram, T.M. Bezemer, L. Mommer, and S. Jeffery. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agric., Ecosyst. Environ.* 91:83-91.
- Miao, Y.X., A. Stewart Bobby, and F.S. Zhang. 2011. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. *Agron. Sustainable Dev.* 31:397-414.
- Na, S.Y., M.S. Lee, J.H. Yang, K.E. Lee, and H.B. Lee. 2016. Growth characteristics ·fresh and dry weight of the corn inbred lines with multi-tiller and ear using forage crop. *Korean J. Crop Sci.* 61(3):191-195.
- 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.
- Roh, Y.J., D.Y. Chung, J.H. Ryu, J.D. So, and J.W. Cho. 2015. The effects of nitrogen rates on the growth and yield of waxy corn after cultivating hairy vetch in agricultural fields with the stream. *Korean J. Crop Sci.* 60(3):333-337.
- Rutigliano, F.A., M. Romano, R. Marzaioli, I. Baglivo, S. Baronti, F. Miglietta, and S. Castaldi. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in wheat crop. *Eur. J. Soil Biol.* 60:9-15.
- Sukartono, W.H., Utomo, W.H. Nugroho, and Z. Kusuma. 2011. Simple biochar production generated from cattle dung and coconut shell. *J. Basic Appl. Sci.* 10:1680-1685.
- Uzoma, K.C., M. Inoue, H. Andry, H. Fujimaki, A. Zahoor, and E. Nishihara. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manag.* 27:205-212.
- Zhang, A., Y. Liu, G. Pan, Q. Hussain, L. Li, J. Zheng, and X. Zhang. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from central China plain. *Plant Soil* 351:263-275.
- Zwieten, L.V., S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph, and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246.