

배 전정지 바이오차 시용이 작물 생육 및 토양이화학성에 미치는 영향

장재은^{a†}, 임갑준^b, 박종수^b, 심재만^c, 강창성^b, 홍순성^b

Application Effects of Biochar Derived from Pruned Stems of Pear Tree on Growth of Crops and Soil Physico-chemical Properties

Jae-Eun Jang^{a†}, Gab-June Lim^b, Jung-Soo Park^b, Jae-Man Shim^c,
Chang-Sung Kang^b, Sun-Seong Hong^b

(Received: Sep. 13, 2018 / Revised: Nov. 3, 2018 / Accepted: Nov. 9, 2018)

ABSTRACT: This study was conducted to develop the manufacturing method of biochar using pruned stems of pear tree and its application effect on the crop growth and soil physico-chemical properties. In this study, biochar derived from pruned stems of pear tree at heating temperature of 300 °C, 500 °C and 700 °C in heating times of 2, 3 and 4 hours, were tested in the changes of their chemical properties during biochar processing. The pH, Exch. K, Exch. Mg and cation exchange capacity (CEC) increased as the pyrolysis temperature increased during the production of biochar, and the change of these properties rapidly occurred at 500 °C. However, as the pyrolysis temperature increased, ash content increased and total carbon (T-C), yield decreased. And the change of the properties in response to the heating time was not shown. It was thought that it would be desirable to set the production conditions of biochar at 500 °C for 2 hours in consideration of the change of chemical properties and the ash content and yield. And also, were conducted the experiments to establish manufacturing method of farm-made biochar using drum biochar manufacturing machine and investigate the application effects of biochar on the cultivation of chinese cabbage and tomato. Application of biochar derived from pruned stems of pear tree could enhance pH, organic matter (OM), total carbon (T-C) of soil. On the other hand, soil electrical conductivity (EC), NO₃-N were lowered compared to the control which has no application. The bulk density, porosity and aggregate formation of soil were improved by biochar application. The fresh matter yields of chinese cabbage and tomato were significantly increased in proportion to the application rate of biochar. This study demonstrated the effect of the biochar derived from agricultural byproduct to be as a low cost potential soil ameliorant by physico-chemical properties in eco-friendly greenhouse cultivation.

Keywords: Soil improvement, Biochar, Pruned stems of pear tree, Chinese cabbage, Tomato

^a 경기도농업기술원 연구사 (Researcher, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services)

^b 경기도농업기술원 연구관 (Senior Researcher, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services)

^c 경기도농업기술원 연구원 (Research Assistant, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services)

† Corresponding author(e-mail: jje1049@gg.go.kr)

초록 본 연구는 배 전정지를 사용하여 제조온도와 가열시간별로 바이오차를 제조하여 최적의 바이오차 제조조건을 확립하고 바이오차 시용이 작물 생육과 토양이화학적 성질에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다. 제조온도(300 °C, 500 °C, 700 °C), 가열시간(2, 3, 4 시간)별로 전기로에서 바이오차를 제조하여 성분변화를 조사하였다. 바이오차 제조온도가 높을수록 pH, 칼륨, 마그네슘, 양이온교환용량(CEC)은 증가하였고 이러한 성분변화는 500 °C에서 급격히 일어났다. 하지만 제조온도가 증가할수록 회분함량이 증가하고 전탄소(T-C) 함량과 수율은 감소하여 제한요인으로 작용하였다. 또한 가열시간에 따른 성분변화는 크게 나타나지 않아 가열시간보다는 제조온도에 따라 바이오차의 성분변화가 큰 것으로 나타났다. 따라서 바이오차 성분변화 및 회분, 수율을 고려하여 배 전정지 바이오차 제조조건은 500 °C, 2시간으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다. 농가 자가제조용 바이오차의 제조조건을 확립하기 위해 드립형 제조장치를 사용하여 배 전정지 바이오차를 대량으로 제조하였을 때에서도 전기로를 사용하여 제조한 바이오차와 주요 성분이 대등함을 확인할 수 있었으며, 이를 사용하여 배추와 토마토를 재배하면서 바이오차의 시용효과를 조사한 결과 무시용 대비 토양의 pH, 유기물(OM), 전탄소(T-C) 함량이 증가하고 EC, NO₃-N가 감소하였다. 또한 바이오차 시용시 토양의 용적밀도가 낮아지고 공극률 및 입단율은 높아지는 경향을 보여 토양 물리성이 개선되는 효과가 나타났다. 바이오차를 연용한 결과 바이오차 시용으로 배추 생육 미 및 수량이 증가하였으며, 토마토는 바이오차 연용으로 상품과의 갯수 및 수량이 증가하였다. 드립형 제조장치를 사용하여 농업부산물 바이오차를 농가에서 자가제조하여 사용할 경우 생산비 절감과 동시에 시설재배지 토양 이화학적 개선에 효과가 있어 친환경 농가의 토양관리에 활용도가 클 것으로 생각된다.

주제어: 토양개량, 배 전정지, 바이오차, 배추, 토마토

1. 서론

바이오차(biochar)는 목재칩과 가축분뇨와 같은 산림과 농축산업 등에서 발생한 부산물 바이오매스를 열분해(pyrolysis)를 통해 만들어진 물질이다. 전통적인 목탄은 주로 연료로 생산되었으나 바이오차는 토양개량 및 탄소격리, 기후변화의 완화, 재생 에너지 생산 등 다양한 목적으로 이용 가능하다고 보고되어 있다¹⁻⁴⁾.

바이오차는 많은 공극을 갖고 있어 토양의 투수성, 보수성, 통기성 등 물리적 성질을 개량하고, pH 보정, 양분 및 수분 보유력의 증가, 온실가스배출 저감 등의 다양한 효과가 있어 현재 미국과 유럽 중심으로 협회를 창설하여 연구가 진행되고 있다⁵⁻⁸⁾.

바이오차의 토양개량 효과에 대한 연구에도 최근 관심이 모아지고 있으며, 주로 토양 물리성과 관련되어 있다고 보고되어 있다. 바이오차를 토양에 시용하면 토양개량효과 등의 이점이 있으나 재료 및 제조특성에 따라 효과가 다르다고 보고되어 있으며 바이오차가 가지는 많은 공극량과 넓은 표면적이 토양 내 양이온 및 음이온을 붙잡아 양분보유능력을 향상시킨다고 알려져 있다⁹⁾. 목재 바이오차를 처리

하여 옥수수를 재배한 결과 첫해에는 유의적인 차이가 나타나지 않았지만 2년차에는 28%의 수확량이 증가하였으며, 그 후 수확량 더 증가한 보고도 있어¹⁰⁾ 바이오차 연용시 작물 생산성 향상 효과가 있다고 알려져 있다. 커피슬러지, 활엽수 껍질, 플라타너스 껍질, 벚짚, 계분 등 폐 바이오매스를 열분해했을 때 제조된 바이오차의 특성을 분석하여 온도가 높을수록 바이오차의 pH와 양이온교환용량(CEC)은 높은 값을 나타내며 산성토양의 산도조절을 위한 토양개량제로 효과가 있다는 보고도 있다¹¹⁾.

시설재배지의 경우 작물생산성 증대를 위한 비료 및 퇴비 등의 농자재가 다량 투입되고 있으며 자연 강우가 차단된 시설재배지의 특수조건상 과도하게 투입된 농자재 성분이 작물의 흡수 이용 후 작토층에 잔류하게 되면서 토양 염류집적이 가속화되고 있다¹²⁾. 이러한 염류집적을 해소하기 위해 풋거름작물 재배, 담수, 토양개량제 사용 등 여러 가지 방법이 적용되고 있고¹³⁾ 그 중 토양 염농도 개선을 위한 바이오차의 가능성과 이에 대한 연구 필요성의 강조되고 있지만 아직 뚜렷한 과학적인 연구결과는 없는 실정이어서 이에 대한 연구가 필요하다. 또한 바이오차 제조시 바이오매스 종류 및 열분해 온도

와 시간에 따라 수율 및 전탄소(T-C) 함량, 공극의 양과 크기가 변화하고 무기성분 함량이 변화한다고 보고되어 있어¹⁴⁾ 바이오매스 종류별로 최적 온도와 시간 설정에 대한 연구가 필요하다.

현재 국내에서 생산되는 바이오차의 대부분은 미곡처리장의 탄화시스템에서 생산된 왕겨 바이오차로 이 외의 농업부산물로 만들어진 바이오차 토양처리효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 경기도내 배 재배면적(2018)은 3,923 ha로 과수 중 가장 많은 면적을 차지하고 있다. 본 연구는 경기도내 농업부산물 중 벚짚 다음으로 생산량이 많은 과수 전정지 중 배 전정지를 사용하여 제조온도와 가열시간별로 바이오차를 제조하여 최적의 바이오차 제조조건을 확립하고 이를 이용하여 시설재배지 염류경감과 토양구조 개선 효과를 구명하여 시설재배지 친환경 토양관리기술을 개발하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 바이오차 제조 조건

농업부산물 원료의 원활한 공급을 고려하여 경기도내 과수 중 재배면적이 가장 많은 배나무 전정지를 이용하여 제조온도와 가열시간 등 최적의 바이오차 제조조건을 확립하기 위해 제조온도(300 °C, 500 °C, 700 °C), 가열시간(2, 3, 4 시간)별로 전기로(Lindberg Blue M, Thermolyne, USA)에서 바이오차를 제조하여 성분변화를 조사하였다.

2.2. 농가 자가제조용 바이오차 제조

농가 자가제조용 바이오차의 제조방법을 확립하고 시용효과를 구명하기 위해 배 전정지를 이용하여 바이오차를 제조하였다. 사용한 바이오차는 농가 활용도를 고려하여 기존 시판되고 있는 혼탄기(OCF-400, 오티엘코리아, Korea)를 드럼형 바이오차 제조장치로 사용하여서 제조하였으며, 제조방법은 Fig. 1과 같이 500 L 드럼형 바이오차 제조장치에 수분 10% 이하의 파쇄한 배전정지 80~90 kg 을 넣고 집화시켜 뚜껑을 덮고, 4~5시간 후 하단부 개폐구가 닫히면 하단부 개폐구를 10분간 열어 완전히 탄화시키고 연기가 잦아



Fig. 1. The procedure of biochar using drum biochar manufacturing machine.

드는 것을 보면서 2~3시간 후 물을 충분히 흘려 소화시킨 후 비닐하우스 내에서 건조시켜 사용하였다.

2.3. 작물재배 및 시용효과

바이오차의 시용효과 시험은 경기도 화성시 경기도농업기술원내 비닐하우스에서 수행하였다. 배추와 토마토를 봄, 가을작기로 연 2회 재배하면서 바이오차 무시용, 배 전정지 바이오차 100, 200, 300 kg/10a 시용 등 총 4처리를 두고 시험구를 난괴법 3반복으로 배치하여 2016년까지 2년간 연용하면서

토양 이화학적, 작물생육 및 수량 등을 조사하였다. 배추는 정식후 2개월 후 수확하여 수확기 생육 및 생체중을 조사하였으며 토마토는 처리구별로 정상 과수, 과일의 무게, 당도 등을 조사하였다. 생육 및 수량조사는 농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사분석기준¹⁵⁾에 준하여 실시하였다.

2.4. 토양 및 식물체 분석

토양은 표토 15 cm를 채취 후 풍건하여 2 mm 체를 통과시켜 분석하였다. 토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법¹⁶⁾에 준하였다. 토양 pH와 EC는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법에 의하여 pH meter (Star A211, Orion, USA)와 EC meter (HI 9932, Hanna, Korea)로 각각 측정하였으며, 질소는 Kjeldahl 증류법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성양이온은 1N-NH₄OAC (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 ICP (GBC Integra XL, Australia)를 이용하여 분석하였다. 퇴비와 식물체는 H₂SO₄-HClO₄로 습식분해하여 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법, 치환성 양이온은 ICP (GBC Integra XL, Australia)를 이용하여 분석하였다. 유기물은 550 °C 전기로에서 회화시켜 회화전후의 감량으로 계산하였다.

2.5. 통계처리

통계분석은 SAS 9.2 (Statistical Analysis System

Institute Inc. 2002) package를 이용하여 분석하였으며, 측정 결과에 대한 통계 처리는 Duncan's multiple range test (DMRT) 방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제조방법별 바이오차 성분특성

배 전정지를 이용하여 제조온도 및 가열시간별로 바이오차를 제조하여 성분변화를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 바이오차 제조시 제조온도가 300 °C에서 700 °C로 높아질수록 pH, 치환성 칼륨(K), 마그네슘(Mg), 양이온교환용량(CEC)은 증가하였고 이러한 성분변화는 500 °C에서 급격히 일어났다. 하지만 제조온도가 증가할수록 회분함량이 8.2%에서 16.6%까지 증가하고 전탄소(T-C) 함량이 감소하였으며(Table 1), 바이오차 수율은 48.7%에서 21.0%까지 감소하였다(Table 2). 그러나 가열시간에 따른 성분변화는 제조온도에 비해서는 작게 나타났다. Park (2013)에 의하면 바이오차 제조시 바이오매스 종류 및 열분해 온도에 따라 수율 및 전탄소(T-C) 함량, 무기성분 함량 등이 변화한다고 보고되어 있다.¹⁴⁾ 따라서 배 전정지 바이오차의 제조방법별 성분변화 및 회분, 수율 등을 전체적으로 고려할 때 바이오차의 최적 제조조건은 500 °C, 2시간으로 설정하는 것

Table 1. The Change of Chemical Properties of Biochar by Manufacturing Method

Treatments		pH	Ex-Cation				CEC	T-N	T-C	Ash
Temp.	Time		K	Ca	Mg	Na				
	(hr)	(1:5) cmol/kg %			
300 °C	2	6.7	15.7	4.5	5.7	0.3	36.5	1.3	51.0	8.2
	3	5.9	22.8	5.6	7.4	0.3	50.9	1.4	50.9	8.4
	4	6.2	18.0	4.8	6.1	0.2	40.5	1.4	50.8	8.3
500 °C	2	7.9	37.1	11.2	8.6	0.5	57.4	1.4	47.3	14.8
	3	8.2	39.2	12.2	9.7	0.5	61.6	1.4	48.4	12.9
	4	9.5	35.5	9.6	7.2	0.4	52.7	1.4	48.1	11.4
700 °C	2	10.6	42.1	7.0	10.1	0.5	59.7	1.3	46.3	16.6
	3	10.9	51.4	7.4	9.9	0.6	69.3	1.2	46.3	16.6
	4	10.9	48.6	6.7	10.2	0.6	66.1	1.3	47.6	14.3

이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2. 농가 자가제조용 바이오차 제조장치를 이용한 바이오차의 제조 및 성분특성

농가에서 자가제조하여 사용할 수 있는 농업부산물 바이오차 제조를 위해 드럼형 제조장치를 사용하여 바이오차를 대량으로 제조한 결과, 제조된 배 전정지 바이오차의 pH는 9.2, 전탄소(T-C) 46.8%, 회분 15.8%, 수율 28.2%로 전기로를 사용하여 최적 조건(500℃, 2시간)에서 생산된 바이오차의 성분(T-C 47.3%, 회분 14.8%, 수율 28.2%)과 대등한 바이오차를 제조할 수 있음을 알 수 있었다(Table 3). 이는 전기로를 사용하여서 산업체에서 생산된 바이오차를

구입하지 않더라도 농가에서 작물을 재배하고 폐기되는 농업부산물을 사용하여 손쉽게 품질이 우수한 바이오차를 제조하여 사용할 수 있다는 가능성을 보여줘 농가 활용도가 클 것으로 기대된다.

3.3. 배 전정지 바이오차 시용에 의한 토양 이화학성 변화

바이오차는 단기간 사용보다는 연용시 효과가 증가된다는 보고가 있어¹⁷⁾ 시용량별로 2년 연용하여 배추와 토마토 생육 및 수량 등을 조사하였다. 드럼형 제조장치를 이용하여 배 전정지 바이오차를 제조하고 이를 100, 200, 300 kg/10a 2년간 연용하면서 배추와 토마토를 재배하여 2016년 토양이화학성을 조

Table 2. Production Yield of Biochar by Pyrolysis Temperature and Heating Time

Biochar	Temp. Time(hr)	300 °C			500 °C			700 °C		
		2	3	4	2	3	4	2	3	4
%										
PSP†		48.7a‡	45.4a	45.3a	28.2b	28.1b	27.5b	23.0c	21.0c	22.3c

†PSP, pruned stems of pear.

‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

Table 3. Chemical Properties of Produced Biochar Using Drum Biochar Manufacturing Machine

pH	EC	Ex.Cation				CEC	T-N	T-C	Ash	Yield
		K	Ca	Mg	Na					
(1:5)	dS/m cmol/kg %		
9.2	13.6	16.0	7.2	4.7	0.3	28.1	1.2	46.8	15.8	28.2

Table 4. Chemical Properties of Soil by Biochar Application in Cabbage Cultivation

Cultivation Period	Treatments	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	NO ₃ -N	T-C	Ex.cation			
								K	Ca	Mg	CEC
	kg/10a	(1:5)	dS/m	g/kg mg/kg		% cmol/kg			
Spring	No treatment	6.3a	6.3a	12.4a	919a	372a	0.8c	0.38a	10.5a	2.8a	9.4a
	PSP†100	6.3a	6.4a	12.9a	939a	313ab	0.8c	0.42a	10.9a	2.9a	9.5a
	PSP 200	6.4a	5.3ab	13.3a	950a	188ab	1.1b	0.46a	9.9a	2.5a	9.2a
	PSP 300	6.5a	3.7b	13.2a	956a	140b	1.2a	0.43a	9.4a	2.4a	9.4a
Autumn	No treatment	6.7b	1.8a	12.5b	902a	60a	0.8b	0.35a	7.8a	1.9a	9.4a
	PSP 100	7.1ab	1.9a	13.0ab	925a	36ab	0.9ab	0.46a	8.1a	1.9a	9.5a
	PSP 200	7.2ab	1.6a	13.5a	901a	36ab	1.1a	0.41a	7.8a	1.9a	9.5a
	PSP 300	7.4a	0.9a	13.3ab	918a	17b	1.1a	0.46a	7.4a	1.7a	9.7a

†PSP, pruned stems of pear.

‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

사한 결과는 Table 4, Table 5와 같다. 배추 재배시 바이오차 시용으로 봄작기에는 무시용 대비 토양의 T-C 함량이 증가하였고, 가을작기에는 토양의 pH, 유기물, T-C 함량이 증가하는 경향이였다. 또한 바이오차 시용에 의해서 토양의 NO₃-N 및 EC가 통계적으로 낮아져 바이오차 시용이 시설재배지 염류경감에 효과가 있음을 나타내었다(Table 4). 그 원인은 바이오차 시용에 의한 양분이용효율 증가에 의한 작물의 질소성분 흡수율 증대 및 미생물 활성으로 인한 영향 등으로 판단된다. 토마토를 재배하여 토양화학성을 조사한 결과 바이오차 시용으로 무시용 대비 토양의 pH, 유기물, T-C 함량이 증가하고 EC가 낮아져 배추재배와 유사한 경향을 나타내었다. 바이오차 시용에 의한 토양화학성 변화는 토양 조건에 따라 차이가 있을 것으로 생각되어 토양조건에 맞는 시용량 기준을 설정하기 위해서는 토양 EC

농도별이나 토양의 무기태질소(NO₃-N) 함량에 따른 바이오차 시용량을 구명하는 시험이 추후 수행되어야 할 것으로 생각된다. 바이오차를 2년간 연용하고 2016년 가을작기후 토양의 물리성을 조사한 결과는 Table 6과 같이 배추 재배시 바이오차 시용에 의해서 토양의 용적밀도가 낮아졌으며, 이러한 경향은 토마토 재배에서도 유사하게 나타났다. 토마토 재배 토양에서는 바이오차 시용시 토양의 용적밀도가 낮아지고 공극률 및 입단율이 통계적으로 유의성 있게 높아져 시설재배지에서의 바이오차 시용으로 토양 물리성이 개선됨을 알 수 있었다.

3.4. 배 전정지 바이오차 시용에 의한 작물 생육 및 수량

배 전정지 바이오차를 2년 연용하여 봄, 가을작기로 작물을 재배하고 2016년 수확기의 배추와 토마토

Table 5. Chemical Properties of Soil by Biochar Application in Tomato Cultivation

Cultivation Period	Treatments	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	NO ₃ -N	T-C	Ex.cation			
								K	Ca	Mg	CEC
	kg/10a	(1:5)	dS/m	g/kg	mg/kg		%	cmol _c /kg			
Spring	No treatment	7.2b	1.7a	11.7a	418a	19a	0.6b	0.48a	5.3a	1.6a	8.6a
	PSP+100	7.4ab	1.2ab	13.4a	467a	22a	0.8ab	0.61a	5.2a	1.6a	8.7a
	PSP 200	7.7a	0.8b	12.2a	439a	7a	0.9a	0.66a	5.5a	1.7a	8.8a
	PSP 300	7.7a	0.8b	12.4a	450a	11a	0.9a	0.67a	6.3a	2.4a	8.6a
Autumn	No treatment	6.9b	0.7a	12.3b	466a	18a	0.6b	0.35a	6.0a	1.8a	8.0a
	PSP 100	7.2a	0.7a	13.9a	473a	14a	0.8ab	0.46a	6.3a	2.0a	8.4a
	PSP 200	7.2a	1.0a	13.7ab	530a	19a	0.8ab	0.45a	6.4a	2.0a	8.0a
	PSP 300	7.3a	0.6a	13.4ab	496a	7a	0.9a	0.43a	6.4a	2.1a	8.1a

†PSP, pruned stems of pear.

‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

Table 6. Physical Properties of Soil After Biochar Application

Treatments	Cultivation of chinese cabbage			Cultivation of tomato		
	Bulk density	Porosity	Aggregate	Bulk density	Porosity	Aggregate
kg/10a	g/cm	%		g/cm	%	
No treatment	1.36a ‡	49.1a	4.4a	1.24a	53.4b	5.9c
PSP+100	1.30b	50.4a	5.2a	1.19b	55.0a	8.3ab
PSP 200	1.27b	51.4a	5.2a	1.21ab	54.4ab	9.0a
PSP 300	1.30b	51.3a	4.9a	1.22ab	54.0ab	6.7bc

†PSP, pruned stems of pear.

‡Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

의 생육 및 수량을 조사한 결과는 Table 7, Table 8, Table 9와 같다. 바이오차 시용으로 배추의 엽장 및 엽폭 등 생육이 무시용에 비해 수치적으로 양호하였고(Table 7) 수량은 봄작기에는 무시용 대비 바이오차 300 kg/10a 시용시 13% 증가하였고, 가을작기에는 20.2% 증가하였다(Table 9). 또한 배 전정지 바이오차를 2년 연용하고 토마토 수량을 조사한 결과 바이오차 시용으로 무시용 대비 상품과의 갯수가 증가하였고 과중과 당도는 차이가 없었다(Table 8). 상품

과의 총 수량은 봄 작기에 통계적 차이는 없었으나 바이오차 200 kg/10a 시용 시 무시용 대비 5.3% 증가하였고, 가을 작기에는 7.7% 증가하였다. 또한 100 kg/10a 바이오차 시용 시에는 가을 작기에 통계적인 차이를 나타내며 무시용 대비 14.9%까지 증가하였다(Table 9). 바이오차는 연용하면 시용효과가 더 증가한다고 보고되어 있어¹⁷⁾ 바이오차의 연용기간을 늘린다면 더 적은 사용량으로도 작물 생육과 수량 증대에 효과적일 것으로 생각된다. 또한 바이오차

Table 7. Effect of Biochar Application on Leaf Length and Width of Chinese Cabbage

Treatments	Spring		Autumn	
	leaf length	leaf width	leaf length	leaf width
kg/10a	cm			
No treatment	36.8a [†]	30.9a	52.5b	37.2a
PSP [†] 100	38.2a	31.6a	55.4a	39.1a
PSP 200	38.4a	32.3a	56.2a	38.6a
PSP 300	38.9a	32.1a	56.2a	39.2a

[†]PSP, pruned stems of pear.

[‡]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

Table 8. The Fruit Weight, Number of Fruit and Sugar Content of Tomato by Biochar Application

Treatments	Spring			Autumn		
	Average fruit weight	No. of normal fruits	Sugar content	Average fruit weight	No. of normal fruits	Sugar content
kg/10a	g	ea/plant	Brix	g	ea/plant	Brix
No treatment	226.8a [†]	14.7b	6.4a	334.3a	14.9b	4.5a
PSP [†] 100	215.5a	15.7a	6.7a	332.7a	17.2a	4.4a
PSP 200	224.4a	15.7a	6.6a	339.4a	15.9ab	4.3a
PSP 300	207.1a	15.7a	6.5a	330.2a	15.2b	4.5a

[†]PSP, pruned stems of pear.

[‡]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

Table 9. The Fresh Matter Yield of Chinese Cabbage and Fruit Weight of Tomato by Biochar Application

Treatments	Cultivation of chinese cabbage		Cultivation of tomato	
	Spring	Autumn	Spring	Autumn
kg/10a	kg/10a			
No treatment	10,590b [†]	11,315b	7,444a	10,672b
PSP [†] 100	10,055b	12,972a	7,451a	12,264a
PSP 200	11,224ab	12,698ab	7,836a	11,495ab
PSP 300	11,968a	13,595a	7,622a	10,937b

[†]PSP, pruned stems of pear.

[‡]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed (Duncan's test, p < 0.05).

300 kg/10a 시용시에는 토마토 수량이 오히려 감소하는 것으로 나타나 효과적인 바이오차의 시용을 위해서는 작물별 적정 시용량을 구명하는 시험이 필수적이라 판단된다.

4. 결론

배 전정지를 이용하여 제조온도와 가열시간별로 바이오차를 제조하여 최적의 바이오차 제조 조건을 확립하고 농가 자가제조용 드럼형 바이오차 제조장치를 이용한 바이오차 제조와 이를 이용한 시설재배지 토양이화학성 변화와 작물 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 본 연구를 실시하였다.

바이오차 성분변화 및 회분, 수율을 고려하여 배 전정지 바이오차 제조조건은 500 °C, 2시간으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다. 농가 자가제조용 바이오차의 제조조건을 확립하기 위해 드럼형 제조장치를 사용하여 바이오차를 대량으로 제조하였을 때에서도 전기로를 사용하여 제조한 바이오차의 주요 성분과 대등한 성분의 바이오차가 제조되어 농가에서 농업부산물을 사용하여 품질이 우수한 바이오차를 자가제조하여 사용할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한 드럼형 제조장치를 사용하여 사용할 경우 생산비 절감과 동시에 시설재배지 토양 이화학성 개선에 효과가 있어 친환경 농가의 토양관리에 활용도가 클 것으로 기대된다.

배추와 토마토 시설재배시 배 전정지 바이오차의 시용효과를 조사한 결과 바이오차 시용으로 무시용 대비 토양의 pH, 유기물, T-C 함량이 증가하고 EC, NO₃-N가 감소하였다. 또한 바이오차 시용에 의해 토양의 용적밀도가 낮아지고 공극률 및 입단율은 높아지는 경향을 보여 토양 물리성이 개선되는 효과가 나타났다. 배 전정지 바이오차를 연용한 결과 바이오차 시용으로 배추 생육이 양호하고 수량이 증가하였으며, 토마토 상품과의 갯수 및 수량이 증가하였다. 따라서 배 전정지 바이오차는 작물 정식전에 시용되 작물과 시용량별로 효과의 차이가 있기 때문에 작물의 종류와 토양이화학성 및 연용기간 등을 고려하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

References

1. Seo, Y. H., Kim, S. W., Choi, S. C., Kim, I. J., Kim, K. H., Kim, G. Y., "Effects of green manure crop and biochar on nitrous oxide emission from red pepper field", *Korean J. Soil Sci. Fer.*, 45(4), pp. 540~543. (2012).
2. Kim, M. H., Kim, G. H., "Analysis of Environmental Impacts for the Biochar Production and Soil Application", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(7), pp. 461~468. (2014).
3. Choi, Y. S., Shin, J. D., Lee, S. I., Kim, S. C., "Adsorption Characteristics of Aqueous Ammonium Using Rice hull-Derived Biochar", *Korean J Environ Agric.*, 34(3), pp. 155~160. (2015).
4. Shin, J. D., Choi, Y. S., Lee, S. I., "Estimation of Carbon Sequestration and Its Profit Analysis with Different Application Rates of Biochar during Corn Cultivation Periods", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(3), pp. 83~90. (2016).
5. Liang, F., Li, G. T., Lin, Q. M., Zhao, X. R., "Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil", *J. Integr. Agr.*, 13(3), pp. 525~532. (2014).
6. Ahmad, M., Ok, Y. S., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Kim, B. Y., Ahn, J. H., Lee, Y. H., Al-Wabel, M. I., Lee, S. E., Lee, S. S., "Lead and copper immobilization in a shooting range soil using soybean stover- and pine needle-derived biochars: Chemical, microbial and spectroscopic assessments", *J. Hazard. Mater.* 301, pp. 179~186. (2016).
7. Chen, J., Li, S., Liang, C., Xu, Q., Li, Y., Qin, H., Fuhrmann, J. J., "Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate", *Sci. Total Environ.*, 574, pp. 24~33. (2017).
8. Woo, S. H., "Biochar for soil carbon sequestration",

- Clean Technology, 19(3), pp. 201~211. (2013).
9. Han, K. H., Zhang, Y. S., Jung, K. H., Cho, H. R., Sonn, Y. K., "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(4), pp. 369~377. (2014).
 10. Major, J., Rondon, M., Molina, D. S., J. Riha, and J. Lehmann, "Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol", Plant Soil, 333, pp. 117~128. (2010).
 11. Choi, Y. L., "The characteristics of the biochar produced from waste biomass for improvement of acidic soils", Kwangwoon University, (2013).
 12. Kang, B. G., Lee, S. Y., Lim, S. C., Kim, Y. S., Hong, S. D., Chung, K. Y., Chung, D. Y., "Establishment of application level for the proper use of organic materials as the carbonaceous amendments in the greenhouse soil", Korean J. Soil Sci. Fer., 44(2), pp. 248~255. (2011).
 13. Cho, K. R., Kang, C. S., Won, T. J., Park, K. Y. "Effects of Compressed Expansion Rice Hull Application and Drip Irrigation on the Alleviation of Salt Accumulation in the Plastic Film House Soil", Korean J. Soil Sci. Fer., 39(6), pp. 372~379. (2006).
 14. Park, J. H., Kim, S. H., Lee, C. H., Seo, D. C., Cho, J. S., Heo, J. S., "Optimum pyrolysis temperature and time of biochar obtained from pyrolysis of sesame straw for phosphorus removal", Korean Society of Soil Science and Fertilizer. Spring Conference, pp. 329. (2013).
 15. National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST), "Investigation and standard for agriculture experiment", Rural Development Administration(RDA), Korea. (2003).
 16. National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST), "Analytical methods of soil and plant", Rural Development Administration(RDA), Korea. (2000).
 17. Jeong, S. J., Oh, J. S., Seok, W. Y., Cho, M. Y., "The Effect of Treatment of Woody Charred Materials on the Growth and Components of Tomato and Chinese Cabbage", Korean J. Org. Agric., 16(4), pp. 455~469. (2008).