

Research Article



CrossMark

Open Access

배 과수원에서 전정가지 유래 탄화물 시용이 토양 탄소 축적에 미치는 영향

이선일*, 이종식, 김건엽, 최은정, 서상욱, 나운성

국립농업과학원 기후변화생태과

Effect of Carbonized Biomass Derived from Pruning on Soil Carbon Pools in Pear Orchard

Sun-il Lee^{*}, Jong-sik Lee, Gun-yeob Kim, Eun-jung Choi, Sang-uk Suh and Un-Sung Na (Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, 55365, Korea)

Received: 20 July 2016 / Revised: 12 September 2016 / Accepted: 26 September 2016

Copyright © 2016 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted

non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is

properly cited.

ORCID

Sun-il Lee

<http://orcid.org/0000-0002-0519-3150>

Abstract

BACKGROUND: Carbonized biomass is increasingly used as a tool of soil carbon sequestration. The objective of this study was to evaluate soil carbon storage to application of carbonized biomass derived from pear tree pruning.

METHODS AND RESULTS: The carbonized biomass was a mobile pyrolyzer with field scale, which a reactor was operated about 400~500°C for 5 hours. The treatments were consisted of a control without input of carbonized biomass and two levels of carbonized biomass inputs as 6.06 Mg/ha, C-1 and 12.12 Mg/ha, C-2. It was shown that the soil carbon pools were 49.3 Mg/ha for C-1, 57.8 Mg/ha for C-2 and 40.1 Mg/ha for the control after experimental periods. The contents of accumulated soil carbon pool were significantly ($P < 0.001$) increased with enhancing the carbonized biomass input amount. The slopes (1.496) of the regression equations are suggested that carbon storage from the soil was increased about 0.1496 Mg/ha with every 100 kg/ha of carbonized biomass input amount.

CONCLUSION: Our results suggest that application of carbonized biomass would be increased the soil carbon contents due to a highly stable C-matrix of carbonized

biomass. More long-term studies are needed to be proved how long does carbon stay in orchard soils.

Key words: Carbonized biomass, Pruning, Soil carbon pools

서론

과수 재배 중 전정작업은 과실의 품질 향상과 수형 관리 등의 목적으로 이루어지고 있다. 전정 후 부차적으로 부산물이 발생하며 연간 우리나라 과수원에서 발생하는 전정가지 등의 부산물량은 약 171 만톤으로 추정된다 (Park *et al.*, 2011). 현재까지 이런 전정가지에 대한 뚜렷한 활용 방법이 없어 대부분 농장이나 길가에 버려지거나 방치되고 있는 실정이다. 또한 이런 부산물을 소각처리를 할 경우에는 각종 유해가스뿐만 아니라 온실가스도 발생하게 된다 (Zhang *et al.*, 2008). 따라서 자원순환측면에서 퇴비화 등을 통해 농업부산물을 활용한다면 토양 비옥도 상승과 대기 중으로 방출되는 탄소를 줄일 수 있다. 최근에는 과수원에서 발생하는 부산물을 최적으로 활용하는 방법을 찾는 연구들이 진행되고 있으며, 그 방안의 일환으로 부산물 바이오매스를 탄화시켜 이용하는 연구가 이루어지고 있다. 탄화물은 토양개량 및 탄소 저장 효과가 있는 것으로 알려져 있어 부산물 자원 순환 관점에서 유용한 대안이 될 수 있다고 보고되어 있다 (Laird *et al.*, 2010).

바이오매스 탄화물은 산소공급 없이 열분해 과정을 통해

*Corresponding author: Sun-il Lee

Phone: +82-63-238-2495; Fax: +82-63-238-3823;

E-mail: silee83@korea.kr

Table 1. Physical and chemical properties of the studied soil before treatment

Particle size distribution (%)			pH	EC	OM	T-N	Av. P2O5	Exchangeable cation (cmol _c /kg)		
Sand	Silt	Clay	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	K	Ca	Mg
49.5	24.9	25.6	7.5	1.01	32	2.56	2050	1.48	10.1	1.46

만들어진다. 이렇게 만들어진 탄화물의 탄소는 흑연질 상태이고, 방향족 화합물 형태이므로 (Glaser *et al.*, 1998) 토양 중에서 화학적으로 안전한 탄소결합 형태를 유지하며 (Mathews, 2008), 생물학적 분해의 영향을 크게 받지 않는 난분해성 물질이다 (Nichols *et al.*, 2000; Ascough *et al.*, 2010). 이러한 특성 때문에 토양 내에서 장기간 분해되지 않고 저장할 수 있어 탄소격리 (Carbon sequestration) 측면에서 큰 효과가 있다고 알려져 있다 (Lehmann, 2009; Singh *et al.*, 2012). 탄화과정없이 일반 바이오매스를 토양 내에 투입하면 대부분 1~10년 이내에 미생물에 의해 분해되어 결과적으로 대기 중으로 방출되어 버리지만, 탄화물은 토양에서 반영구적으로 탄소를 저장하기 때문에 대기 중의 탄소를 줄이는 탄소 네거티브가 될 수 있다 (Lehmann *et al.*, 2011). 이밖에도 바이오매스 탄화물은 물리적으로 다공성 구조로써 비표면적이 넓어 양이온 치환능 및 수분 보유력 증가 등의 다양한 토양개량 효과를 얻을 수 있다. 또한 양분 보유력도 증가하여 토양내 영양물질이 지하수나 수계로 유출되는 것을 경감시킴에 따라 비점오염원을 줄여주는 역할을 한다고 보고되고 있다 (Chan *et al.*, 2008).

바이오매스 탄화물을 농경지에 사용 시 탄소저장효과 등 다양한 이점이 있지만, 탄화물 생산과 수송비용이 크면 농업인이 활용하기에 실용성이 낮을 수 있다. 따라서 탄화물의 생산과 수송비용을 줄일 수 있도록 농가단위에서 직접 탄화물을 제조하고 이용할 수 있는 현장실용연구가 필요한 상황이다. 본 연구는 소규모 농가 단위에서 이용할 수 있는 탄화장치 활용하여 과수 전정가지 부산물 바이오매스로부터 탄화물을 제조하고 그 특성을 분석하였다. 그리고 과수 농경지에 환원하여 토양 화학성 변화와 토양 탄소저장 잠재량을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

공시 토양 및 재료

본 연구는 전라남도 나주시 봉황면에 위치한 배 과수원 포장 (126°75'17"N 34°93'57"E)에서 수행하였다. 33년생 Y자형 신고배 (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Niitaka)가 6.0 × 4.5 m로 재식되어 있고 30년 이상 배 나무를 재배한 토양을 대상으로 수행하였다. 시험토양의 이화학적 특성은 토양화학분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 분석한 결과 Table 1과 같았다. 토성은 모래 49.5%, 미사 24.9%, 점토 25.6%의 양토 (loam)이다. 화학적 특성은 토양산도 (pH) 7.5, 전기전도도 (Electrical conductivity) 1.01 dS/m, 유기물 (Organic matter) 32 g/kg, 총질소 (Total nitrogen) 2.56 g/kg, 유



Fig 1. Field scale biomass pyrolyzer. Note the air intake on the bottom center of the reactor and the exhaust chimney above.

효인산 (Available P2O5) 2050 mg/kg, 치환성 칼륨 (Exchangeable K) 1.48, 치환성 칼슘 (Exchangeable Ca) 10.1, 치환성 마그네슘 (Exchangeable Mg) 1.46 cmol_c/kg로 나타났다. 우리나라 일반 과수원 토양의 평균치 (NIAS, 2013)보다 토양산도, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 함량 등 대부분의 성분이 높은 토양이었다. Seo *et al.* (2002)은 과수원의 경작연수가 증가함에 따라 토양 양분함량이 증가한다고 하였다. 본 시험 포장도 30년 이상 과수재배를 하면서 양분이 많이 집적된 상태이었다.

본 연구에 사용한 바이오매스 탄화물은 전년도에 발생한 배 전정가지를 수거, 건조 과정과 파쇄 등의 전처리 과정을 거친 후 탄화하였다. 탄화조건은 최대한 공극을 줄여 산소공급을 제한조건으로 만든 후 탄화장치 (OCF-400)에 넣어 400 ~ 500°C에서 5시간 동안 열분해 제조하였다. 본 탄화장치는 바이오매스에 석유 등의 추가적인 에너지 공급 없이 점화 및 열분해를 통하여 바이오매스 탄화물을 생산하기 때문에 탄화 온도 및 시간을 임의적으로 조절할 수는 없었다. 탄화제조 반응기의 크기는 0.79 × 1.27 m (Φ × h)이며, 재질은 스테인레스로 구성되었다. 공기 유입구와 출구는 바닥 및 상단에 위치하여 있으며, 공기 흐름은 열분해 과정 동안 조절이 용이하게 제작하였다. 또한 스테인레스망은 열분해장치 바닥 15 cm 위에 설치되어 있어 바이오매스가 공기 유입구를 막지 않도록 설치하였다 (Fig. 1). 탄화장비에 의해 제조된 바이오매스 탄화물의 생산수율은 원료물질 대비 42.3%였다. 탄화물의 탄소함량은 620.1 g/kg, 질소함량은 4.73 g/kg 이었으며, 탄

Table 2. Chemical properties of carbonized biomass and pruning waste

Variable	pH (1:10)	EC (dS/m)	T-C (g/kg)	T-N (g/kg)	C/N ratio
Carbonized biomass	9.4±0.0	16.8±0.1	620.1±26.2	4.73±0.35	131
Raw material (Pruning)	5.7±0.0	16.5±0.3	284.2±0.5	6.94±0.03	41

질비 (C/N ratio)는 131이었다 (Table 2). Jung (2011)은 본 연구의 탄화장치와 같은 원리의 장비를 이용해 목화대, 밀집, 수수대, 옥수수대, 왕겨 등 다양한 농업부산물을 탄화물을 생산하고 분석하였다. 그 결과 탄소함량의 범위는 481 ~ 697 g/kg, 질소함량의 범위는 5.8 ~ 16.2 g/kg으로 나타났으며, 본 연구에서 제조하여 사용한 배 전정가지 탄화물도 비슷한 수치를 보였다.

시험구 조성

시험구 처리는 연간 배 재배로 발생하는 전정가지 바이오매스의 단위면적당 발생량 14.33 Mg/ha (Park *et al.*, 2011)을 근거로 하여 부산물 원료 대비 바이오매스 탄화물 생산비율인 42.3%를 기준으로 정하였다. 따라서 ha당 바이오매스 탄화물 6.06 Mg (배 전정가지 발생량 42.3%)을 100%로 하여 무처리 (Control), 100% (C-1), 200% (C-2) 수준으로 시험구를 배치하였다. 결과적으로 Control, C-1, C-2 처리구의 바이오매스 탄화물 처리량은 각각 0, 6.06, 12.12 Mg/ha 시용하였다. 탄화물 투입을 제외하고 모든 시험구에서 관행적인 병해충방제 등의 동일한 영농활동을 하여 탄화물 투입에 따른 토양탄소 증대에 미치는 영향을 비교 검증하는 시험을 하였다. 시험 처리구당 면적은 배 나무 재식거리를 고려하여 4 × 5 m로 난괴법 3반복으로 배치 후 포장실험을 수행하였다. 바이오매스 탄화물은 배 꽃의 수정기가 지난 직후 2015년 4월 9일 투입하였고 지하부 20 cm 깊이까지 혼합하였다.

토양시료채취 및 분석방법

토양시료는 탄화물 투입에 따른 토양이화학성 변화와 탄소저장효과를 파악하기 위해 시험구내에서 탄화물 투입 직후와 배 열매 수확기 후인 탄화물 투입 166일 후 시료를 채취하였다. 토양시료 채취는 5 ~ 20 cm를 대상으로 토양채취용 오거를 활용하여 격자용으로 각각 5개씩 채취하여 혼합시료로 사용하였다. 토양분석은 토양 화학분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 토양산도, 전기전도도, 유기물, 총 탄소, 총 질소, 유효인산 및 치환성 양이온을 분석하였다. 입경분포는 피펫법으로 분석하였으며, 토성은 미국농무성법 분류기준을 따랐다 (Gee and Bauder, 1986). pH는 토양을 증류수와 1:5 (W/V)로 혼합한 후 30분간 교반하여 pH meter (Orion 4 star, Thermo, Singapore)로 측정하였고, EC는 pH 측정 후 토양용액을 #42 여과지로 여과 후 EC meter (Orion 4 star, Thermo, Singapore)를 이용하여 측정하였다. 총 탄소와 유기물은 TOC-meter (Vario TOC cube, Elementar,

Germany)로 분석하였으며, 유기물은 토양시료에 2 M HCl을 기포가 발생하지 않을때까지 침출 건조시켜 무기탄소 성분을 제거 후 TOC 분석기로 분석하였다 (Wang *et al.*, 2012). 총 질소는 CN analyzer (Vario Max CN, Elementar, Germany), 유효인산은 Lancaster법으로 720 nm 파장에서 비색계 (AU/CARY 300, Varian, Australia)로 분석하였다. 치환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0) 침출하여 유도결합플라즈마 분광계 (ICP-OES, GBC scientific, USA)로 분석하였다.

토양 탄소 pool은 토양내 총 탄소 저장 잠재량을 의미한다. 토양 탄소 pool (M: Mg/ha)은 다음 계산식에 의해 산정하였다.

$$M = \frac{C}{10^3} \rho_b H \frac{10^4 m^2}{ha} \quad (\text{식 1})$$

C 는 토양중 탄소 함량 (g/kg),

ρ_b 는 토양 용적밀도 (t/m³)

H 는 토양 유효깊이 (m)

탄화물 분석방법

배 전정가지 탄화물 투입이 토양에 미치는 영향 요인을 파악하기 위하여 탄화물 자체의 특성을 분석하였다. 탄화물을 건조 후 40 mesh로 분쇄한 시료를 사용하여 pH, EC, 총 탄소, 총 질소, X-선 형광도 (X-ray fluorescence), 적외선 분광도 (Fourier-transform infrared spectroscopy)를 분석하였다. pH는 탄화물을 증류수와 1:10 (W/V)로 혼합한 후 30분간 교반하여 pH meter (Orion 4 star, Thermo, Singapore)로 측정하였고, EC는 pH 측정 후 용액을 #42 여과지로 여과 후 EC meter (Orion 4 star, Thermo, Singapore)를 이용하여 측정하였다. 총 탄소는 TOC-meter (Vario TOC cube, Elementar, Germany)로 분석하였고, 총 질소는 CN analyzer (Vario Max CN, Elementar, Germany)로 측정하였다. X-선 형광도는 X-선 형광분석기 (S8 TIGER, Bruker, USA)로 탄화물의 구성성분과 비율을 각각 정성, 정량 분석하였다. 적외선 분광도는 KBr로 전처리한 뒤, FT-IR 적외선 분광광도계 (Nicolet 6700, Thermo, USA)를 이용하여 파장 400 ~ 4000/cm에서 투광도를 측정하여 물질의 작용기 등 분자구조의 특징을 분석하였다.

통계분석

탄화물 투입에 따른 토양 화학성 변화 및 토양 탄소 pool

Table 3. X-ray fluorescence analysis of carbonized biomass

Formula	Concentration (%)
C-matrix	62.0
CaO	15.9
K ₂ O	13.0
P ₂ O ₅	2.88
SiO ₂	1.98
Fe ₂ O ₃	1.17
MgO	0.64
Trace elements	2.43

에 미치는 영향을 SAS 통계프로그램 (버전 9.2)을 이용하여 통계처리 하였다. 처리간의 차이를 비교하기 위하여 조사된 자료는 일반선형모형을 이용한 ANOVA 검증을 통하여 분석하였다. 또한, F-test 결과 값이 P < 0.05의 범위에서 유의한 경우에만 Duncan's Multiple Range Test를 실시하였다.

결과 및 고찰

바이오매스 탄화물 특성

배 전정가지 부산물을 농가단위에서 활용할 수 있는 탄화장치를 통해 생산한 바이오매스 탄화물의 화학성분은 Table 2와 같다. 바이오매스 탄화물의 탄소 함량과 질소 함량은 각각 620.1 g/kg, 4.73 g/kg 이었고, 원료물질인 배 전정가지의 탄소 함량과 질소 함량은 각각 284.2 g/kg, 질소 함량은 6.94 g/kg 으로 나타났다. 즉, 탄소함량은 증가하고 질소함량은 감소하여 탄질비가 더 높게 증가하여 131을 나타냈다. 탄질비가 상당히 높아 매우 난분해성물질임을 파악할 수 있다. 따라서 탄화물이 투입된 토양은 질소의 부동화가 증가할 것이며 (Sullivan and Mille, 2001), 미생물 분해에 대한 저항성이 높아 매우 안정적인 상태로 유지되어 탄소저장량 증대에 유리할 것으로 기대된다. Table 3은 x-ray fluorescence (XRF) 분석을 통한 바이오매스 탄화물의 구성성분과 비율을 분석한 결과이다. 탄화물의 62.0%는 c-matrix로 탄소가 대부분이고 나머지 무기성분은 대체로 산화물 형태를 나타내어 안정적인 탄소-산소 결합을 나타낼 것으로 예상된다. FT-IR 적외선 분광광도분석기로 투광도를 측정한 결과 874, 1434, 1579 /cm파장에서 각각 피크 (peak)를 나타냈으며 (Fig. 2), 선행연구결과를 토대로 각각 파장의 관능기를 분석한 결과

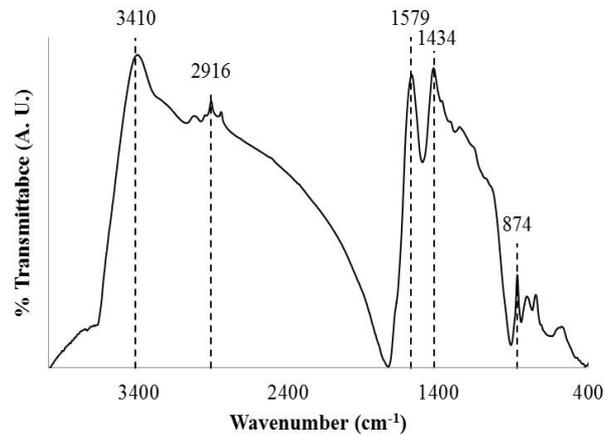


Fig 2. Fourier-transform infrared spectra of carbonized biomass.

(Table 4) 방향족성 탄소와 산소의 이중결합, 탄소와 산소의 이중결합 등의 방향족 화합물 형태가 분포되었음을 볼 수 있다. 즉 탄화물내의 탄소는 안정적인 탄소 결합을 유지하여 토양 내 탄소의 분해가 적어 저장효과가 높을 것으로 예상된다.

토양의 화학성 변화

바이오매스 탄화물 투입 후 토양 화학성 변화는 Table 5와 같다. 토양산도는 7.1 ~ 7.5 범위였으며, 탄화물의 투입량에 따른 통계적 차이는 나타나지 않았다. 탄화물의 구성비율 중 산화칼슘 (CaO)이 15.9%로 함량이 높아 토양에 투입시 산성개량효과 및 토양산도 값을 높일 것으로 예상되었지만, 기본 토양의 pH값이 높아 탄화물 투입에 따른 효과는 미미하게 나타났다. 유기물 함량은 32.1 ~ 65.9 g/kg 범위로 나타났다. 탄화물의 투입량이 증가 할수록 유기물함량은 통계적 유의한 차이를 보이며 증가하였다. 탄화물 투입에 따른 유기물 함량의 증가는 물리적으로 입단형성, 화학적으로 토양 완충능 증대 그리고 유용 미생물 증가 등의 종합적인 개선 효과가 있을 것으로 기대된다 (Sohn and Han, 2000). 토양의 총 질소 함량은 대조구에서 2.56 g/kg이었고, 탄화물이 투입된 처리구에서 2.50 ~ 2.71 g/kg의 범위로 탄화물 처리구에서 소폭 높아졌지만, 통계적으로 유의한 차이는 발생하지 않았다. 그리고 166일 후 질소함량은 7.6 ~ 35.5% 비율로 낮아지는 경향을 나타냈다. 유효인산 함량도 대조구에서는 2,050 mg/kg이었고, 탄화물이 투입된 처리구에서 2,472 ~ 2,618

Table 4. Absorption frequencies of functional groups in the carbonized biomass

Wavenumber (cm ⁻¹)	Functional groups	References
3410	O-H stretching	Chen et al., 2008
2916	C-H stretching	Chen et al., 2008
1579	aromatic C=C stretching and C=O stretching	Uchimiya et al., 2011
1434	aromatic skeleton vibration and C-H vibration	Chen et al., 2010
874	aromatic C-H stretching	Wang and Griffiths, 1985

Table 5. Chemical properties of the treated soils

Experiment days	Treatment	pH	EC	OM	T-N	Av.P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
		(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	Ex. cation (cmol _c /kg)		
1 day	Control (0 Mg/ha)	7.5a	1.01b	32.3c	2.56a	2050b	1.48b	10.1b	1.46b
	C-1 (6.06 Mg/ ha)	7.5a	1.31a	47.9b	2.50a	2472ab	1.97b	14.2ab	2.33a
	C-2 (12.12 Mg/ha)	7.5a	1.30a	65.9a	2.71a	2618a	2.93a	18.1a	3.15a
166 days	Control (0 Mg/ha)	7.1a	0.73a	32.1c	1.65b	2487a	1.22b	9.5b	1.58b
	C-1 (6.06 Mg/ ha)	7.2a	0.73a	43.4b	2.31a	2644a	1.45ab	12.6a	1.87a
	C-2 (12.12 Mg/ha)	7.1a	0.73a	54.9a	2.11a	2767a	1.64a	12.4a	1.90a

Means followed by different letters are significantly different from one another ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

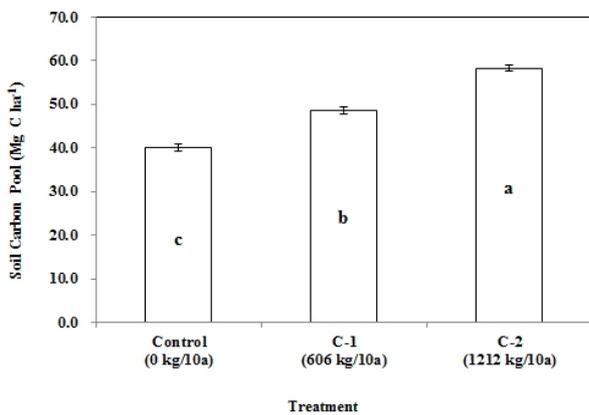


Fig 3. Carbon pools of the soils after 166 days of the treatments. Vertical bars are standard errors of the means (n=3). Means followed by different letters are significantly different from one another ($P < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test.

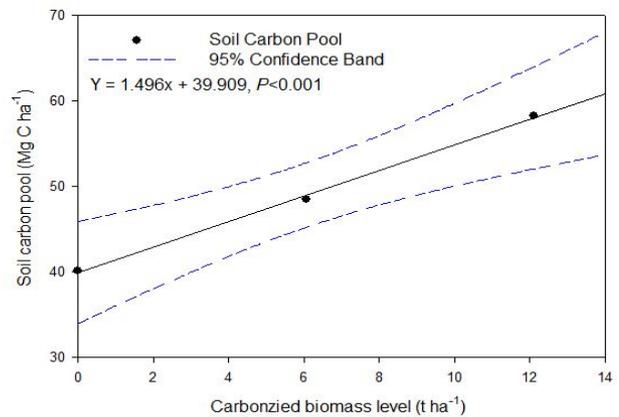


Fig 4. Relationships between the average carbon pools and carbonized biomass application rates at the end of experiment.

mg/kg의 범위로 탄화물이 투입된 처리구에서 높았으며 통계적 유의성을 보였다. 이러한 결과는 탄화물 특성 상 토양 내에서 표면적이 큰 다공성 형태를 지니고 있어 양분 흡착능이 일반적인 유기물보다 크게 나타나 토양 내 총 질소 함량과 유효인산 함량을 높이는 데 기인한다고 볼 수 있다 (Liang *et al.*, 2006). 시험초기 토양 내 치환성 양이온 K, Ca, Mg 함량 모두 대조구 보다 탄화물이 투입된 처리구에서 투입량이 많을수록 치환성 양이온량 함량이 높게 나타났다. 이는 탄화물이 다공성으로 표면적이 넓은 이유도 있지만 전체적으로 표면이 음전하를 가지고 있고 전하밀도가 낮아 (Liang *et al.*, 2006) 치환성 양이온 함량이 높아 졌다고 볼 수 있다. 하지만, 치환성 양이온 함량은 투입 후 일정기간이 지난 후 전체적으로 감소하는 경향을 나타냈다.

토양 탄소 저장량

바이오매스 탄화물 투입량 증가에 따라 토양 탄소 저장 잠재량은 높아지는 경향을 보였으며, 통계적으로도 유의한 차이를 나타냈다 (Fig. 3). 일반적으로 토양 내 탄소 저장량은 토양으로 유입되는 탄소공급량, 탄질율, 탄소의 분해에 영향을 받지만 (Trinsoutrot *et al.*, 2000; Khalil *et al.*, 2005), 본 연구에서는 유기물이 열분해에 의해 탄화된 상태의 탄화물 투입이라는 특수성이 기인하여 대조구, C-1 그리고 C-2 처리구에서 탄소저장 잠재량은 각각 40.1, 49.3 그리고 57.8 Mg/ha로 나타났다. 토양에 투입된 탄화물은 분해되지 않고 토양내 탄소함량을 증가시켜주었다고 볼 수 있다. 그리고, 바이오매스 탄화물 투입량에 따른 토양 저장량을 회귀분석한 결과는 Fig. 4 와 같았다. 토양 탄소저장 잠재량은 탄화물 투입 수준에 따라 고도로 높은 상관관계 ($P < 0.001$)를 나타내며 증가하였다. 기울기가 1.496인 1차 회귀방정식을 나타냈으며, 탄

화물 투입량이 100 kg/ha 높아질수록 토양 탄소 저장 잠재량은 0.1496 Mg/ha 증가하였다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 장기간 동안 지속적으로 바이오매스 탄화물을 사용한다면 토양 탄소의 중요한 공급원이 되며 결론적으로 농경지가 토양 탄소저장원으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, 현재까지 바이오매스 탄화물을 토양에 투입하여 탄소저장효과 및 토양환경에 미치는 영향을 구명한 연구결과는 탄화물의 원료 및 생산과정, 토양상태에 따라 복잡하고 다양하였다 (Jeffery et al., 2011). 따라서 탄화물 사용에 대한 종합적인 연구결과를 해석 및 확인하기 위해 탄화물 장기연용 등 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

과수원에서 발생하는 전정가지 부산물로부터 생산한 바이오매스 탄화물의 토양내 처리효과를 구명하기 위하여 배 전정가지를 활용하여 탄화물을 생산하고 이를 배 과원 토양에 투입하여 토양 화학성 변화와 토양 탄소 저장 잠재량을 비교 검토하였다. 배 전정가지 유래 탄화물은 방향족 화합물 형태를 유지하고 탄소함량도 62%로 매우 높았으며, 과원 토양의 유기물함량은 탄화물의 투입량이 많을수록 통계적으로 유의하게 증가하였다. 탄화물 투입 166일 후 토양 탄소저장 잠재량은 바이오매스 탄화물 사용 수준이 높을수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 대조구, C-1 그리고 C-2 처리구에서 각각 토양 탄소저장 잠재량은 40.1, 49.3 그리고 57.8 Mg/ha으로 나타났다. 토양 탄소 저장 잠재량은 탄화물 투입량에 따라 고도로 높은 상관관계 ($P < 0.001$)를 나타내며 증가하였다. 기율기가 1.496인 1차 회귀방정식을 나타냈으며, 탄화물 투입량이 100 kg/ha 높아질수록 토양 탄소 저장 잠재량은 0.1496 Mg/ha 증가하였다. 이러한 결과를 미루어 볼 때 장기간 동안 지속적으로 바이오매스 탄화물을 사용한다면 토양 탄소의 중요한 공급원이 되며 결론적으로 농경지가 토양 탄소저장원으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out by the support of Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (PJ00938302), Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ascough, P. L., Sturrock, C. J., & Bird, M. I. (2010). Investigation of growth responses in saprophytic fungi to charred biomass. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 46(1), 64-77.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research*, 46(5), 437-444.
- Chen, B., Zhou, D., & Zhu, L. (2008). Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environmental Science & Technology*, 42(14), 5137-5143.
- Chen, H., Ferrari, C., Angiuli, M., Yao, J., Raspi, C., & Bramanti, E. (2010). Qualitative and quantitative analysis of wood samples by Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Carbohydrate Polymers*, 82(3), 772-778.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., & Zech, W. (1998). Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. *Organic geochemistry*, 29(4), 811-819.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. *Methods of soil analysis*. (eds. Campbell et al.), pp. 383-412, Part 1. Physical and mineralogical methods. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G., Van Der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), 175-187.
- Jung, W. K. (2011). Characterization of crop residue-derived biochars produced by field scale biomass pyrolyzer. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 44(1), 1-7.
- Khalil, M. I., Hossain, M. B., & Schmidhalter, U. (2005). Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(8), 1507-1518.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3), 436-442.
- Lehmann, J. (2009). Biological carbon sequestration must and can be a win-win approach. *Climatic Change*, 97(3), 459-463.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J., Petersem, J., & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70(5), 1719-1730.
- Mathews, J. A. (2008). Carbon-negative biofuels. *Energy*

- Policy, 36(3), 940-945.
- Nichols, G. J., Cripps, J. A., Collinson, M. E., & Scott, A. C. (2000). Experiments in waterlogging and sedimentology of charcoal: results and implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164(1), 43-56.
- Park, W. K., Park, N. B., Shin, J. D., Hong, S. G., & Kwon, S. I. (2011). Estimation of biomass resource conversion factor and potential production in agricultural sector. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(3), 252-260.
- Seo, Y. J., Kim, J. S., Kim, J. K., Jo, J. U., Gwon, T. Y., & Lee, J. S. (2002). Soil chemical properties of peach orchard and nutrient content of peach leaves in Gyeongbuk area. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 35(3), 175-184.
- Singh, B. P., Cowie, A. L., & Smernik, R. J. (2012). Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. *Environmental Science & Technology*, 46(21), 11770-11778.
- Sohn, S. M. & Han, D. H. (2000). Assessment of environmentally sound function on the increasing of soil fertility by Korean organic farming. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 33(3), 1193-204.
- Sullivan, D. M., & Miller, R. O. (2001). Compost quality attributes, measurements, and variability. *Compost utilization in horticultural cropping systems*(eds. Stofella P. J., Kahn B. A.), pp. 95-120, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Lineres, M., Chenby, D., & Nicolardot, B. (2000). Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64(3), 918-926.
- Uchimiya, M., Wartelle, L. H., Klasson, K. T., Fortier, C. A., & Lima, I. M. (2011). Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(6), 2501-2510.
- Wang, J., Zhu, L., Wang, Y., Gao, S., & Daut, G. (2012). A comparison of different methods for determining the organic carbon and inorganic carbon content of lake sediment from two lakes on the Tibetan Plateau. *Quaternary International*, 250, 49-54.
- Wang, S. H., & Griffiths P. R. (1985). Resolution enhancement of diffuse reflectance i.r. spectra of coals by Fourier self-deconvolution: 1. C-H stretching and bending modes. *Fuel*, 64(2), 229-236.
- Zhang, X., Kondragunta, S., Schmidt, C., & Kogan, F. (2008). Near real time monitoring of biomass burning particulate emissions (PM_{2.5}) across contiguous United States using multiple satellite instruments. *Atmospheric Environment*, 42(29), 6959-6972.