

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2022.55.4.455>
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Evaluation of Greenhouse Gas Emission and Crop Growth in Chinese Cabbage Cultivation Using Biochar

Seung-Gyu Lee¹, So-Hui Kim¹, Jae-Hyuk Park², Jin-Ju Yun², Se-Won Kang³, and Ju-Sik Cho^{4*}

¹Master's Degree, Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

²Ph.D. Student, Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

³Associate Professor, Department of Agricultural Life Science, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

⁴Professor, Department of Agricultural Life Science & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

*Corresponding author: chojs3297@scnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: November 2, 2022

Revised: November 17, 2022

Accepted: November 18, 2022

Edited by

Won-Pyo Park,
Jeju National University, Korea

ORCID

Seung-Gyu Lee
<https://orcid.org/0000-0003-4022-7237>

So-Hui Kim
<https://orcid.org/0000-0002-5216-9364>

Jae-Hyuk Park
<https://orcid.org/0000-0001-6073-0185>

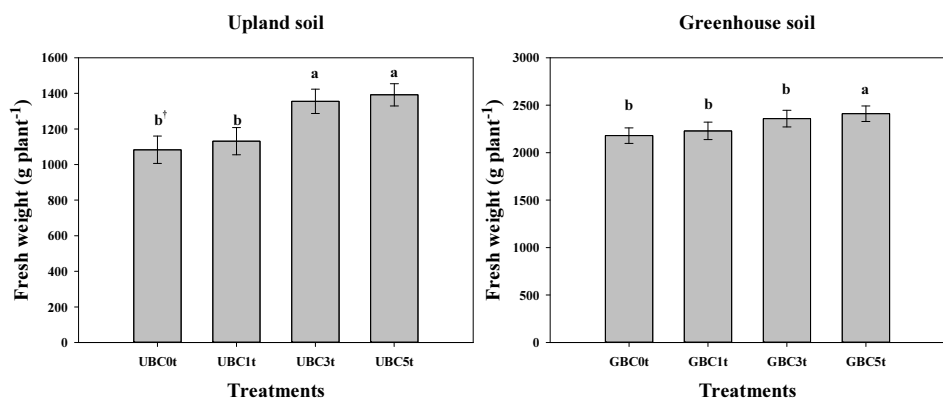
Jin-Ju Yun
<https://orcid.org/0000-0002-5433-7325>

Se-Won Kang
<https://orcid.org/0000-0003-2038-5465>

Ju-Sik Cho
<https://orcid.org/0000-0001-9610-5373>

This study was conducted to evaluate the changes in greenhouse gases and crop growth according to application levels of rice hull biochar (BC) in upland (U) and greenhouse (G) fields. The field experiment was performed by applying a different input amount biochar (0, 1, 3 and 5 t ha⁻¹) and all treatments were applied inorganic fertilizers by N-P₂O₅-K₂O : 0.32-0.08-0.2 t ha⁻¹. CO₂ and N₂O emissions in U and G fields were determined using closed chamber for crop cultivation period. The growth of Chinese cabbage by BC was positively affected, and the Fresh weight of Chinese cabbage in U and G Fields treated with BC increased up to 28.5% and 10.6% compared to UBC0t and GBC0t treatments. CO₂ emissions in the BC treatment were increased. Compared with 0 t ha⁻¹ CO₂ cumulative emission was increased in the range of UBC treatments 1.36 - 2.26 times and GBC treatments 1.15 - 1.70 times. Compared with 0 t ha⁻¹ N₂O emission was decreased in the range of UBC treatments 47.6 - 81.3 and GBC treatments. 27.4 - 54.7%. These results indicate that the application of BC in Chinese cabbage cultivation can have the effect of increasing the growth of Chinese cabbage and reducing greenhouse gas emissions.

Keywords: Agricultural soil, Chinese cabbage, Greenhouse gas emission, Rice hull biochar



Fresh weight of Chinese cabbage by application level of rice hull biochar.



Introduction

17세기 중반 산업혁명 이후 인간은 기후변화에 명백한 영향을 미치고 있다고 밝혔으며, 최근 배출된 인위적 온실가스의 양은 관측 이래 최고 수준으로, 전 지구적인 기후변화에 광범위한 영향을 주고 있다 (IPCC, 2014). 이에 따라 각 국가들은 기후변화 문제에 대응하여 온실가스 저감정책을 수립하였고 우리나라는 2030년 배출 전망치 대비 37% 감축이라는 목표를 제시하였으며 각 산업 부문 중 농업 비에너지 부문은 배출 전망치 대비 7.9%에 해당하는 약 1.6백만 톤의 감축 목표가 설정되었다 (Kwon and Kim, 2017). 농업분야에서 발생하는 주요 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O이며, 노지와 시설재배지에서 주로 CO₂와 N₂O가 발생된다. 농경지에서 CO₂는 대기 CO₂의 2배 이상의 탄소를 저장하고 있으며 토지를 개간 및 이용하는 순간부터 토양의 유기탄소는 지속적으로 감소하며 토양 유기물 보존하는 탄소 중립적인 농업 방법이 필요하다. 또한 N₂O는 상대적으로 CO₂에 비해 적응에도 불구하고 지구온난화에 미치는 영향이 큰 온실가스이며, 지구의 온난화 기여율은 6% 이상인 것으로 알려져 있다 (IPCC, 1996). N₂O는 주로 질소질 비료의 투입과 퇴비 시비, 식물 잔재물의 시용 등에서 발생한다 (Regina et al., 2013; Li et al., 2015).

또한 우리나라는 OECD 국가 중 농경지 단위면적 당 무기질 비료를 가장 많이 시비하는 국가 중 하나로 특히 노지와 시설재배지에서 토지 이용률을 높이기 위해 추천 비료 시비량보다 과량의 비료를 시비하고 있으며 이로 인해 토양의 염류집적 및 물리성 악화와 N₂O 휘발과정에 의한 온실가스 배출량 증가 문제로 인해 적정량의 무기질 비료 사용법과 토양 내 식물이 이용가능한 질소의 함량을 높일 수 있는 방안이 필요한 실정이다 (Seo et al., 2000). 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 바이오차 시비효과가 주목받고 있으며, 토양환경을 개선함과 동시에 온실가스 감축효과가 있다는 연구결과가 있다 (Lyu et al., 2022).

바이오차는 산소가 제한된 조건에서 바이오매스의 열분해를 통하여 생산되는 탄화체를 말하는데 일반적으로 토양 개량제로 널리 사용되고 있다. 바이오차는 열분해 과정을 거치면서 물질의 용적밀도 감소와 비표면적이 증가하여 토양에 시용했을 때 수분보유능력이 증가하여 토양 물리성이 개선되고 양이온 교환 능력 (cation exchange capacity, CEC)의 증가로 양분보유능력이 향상되는 효과가 있다 (Wacal et al., 2019). 또한 바이오차를 비료와 함께 토양에 시비하였을 때, 작물 생산량이 증대되는 효과가 있으며 (Lehmann and Joseph, 2015), 토양에 직접 바이오차와 질소질 비료를 시비했을 시 탄소투입과 함께 느린 질소 방출속도로 인한 N₂O의 배출이 완화된다 (Cayuela et al., 2013). 최근 다양한 바이오차를 이용하여 농경지 토양에서 발생하는 온실가스의 감축 기술 및 배출계수 개발에 대한 연구가 꾸준히 이루어지고 있으며, 노지에서 다양한 바이오차를 시용했을 시 N₂O 배출량을 80%까지 감축시켰고 (Lee et al., 2018), 옥수수 재배지에서 왕겨 바이오차를 이용해 질소비료 종류에 따라 52.4% 저감되었다는 연구가 보고되었다 (Lee et al., 2020).

현재 우리나라의 대표적인 연중 재배하는 배추는 다른 채소들과 비교했을 때, 높은 질소 시비량을 요구하는 채소이며, 김치의 주원료가 되는 채소로 국내에서 가장 많이 재배되는 대표적인 엽채류 채소이다. 현재 국내 배추 재배면적은 30,085 ha로 엽채류 재배면적 중 64.9%를 차지하며, 1년 내내 파종과 수확이 가능해 노지와 시설재배지 등에서 재배되고 있다 (Lee et al., 2017). 따라서 본 연구에서는 배추 재배지에서 농경지 토양에 바이오차를 투입하여 작물의 생산성 증진과 바이오차 적용수준에 따른 온실가스 감축 효과를 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

시험포장 본 연구를 수행하기 위해 전남 순천시 서면 지본리에 위치한 순천대학교 부속농장 (35°00'07.0"N 127°30'24.3"E)과 인근 시설재배지 (34°59'54.8"N 127°30'23.6"E)에서 현장 포장실험을 진행하였다. 기상청에 관측된 자료에 따르면 배추 재배기간 중 현장 시험지에서 일일 최소 평균기온과 최대 평균기온은 각각 9.58°C, 22.78°C로 조사되었고, 총 강수량은 277 mm였다. 재배기간 평균기온과 강수량은 Fig. 1에 나타내었다.

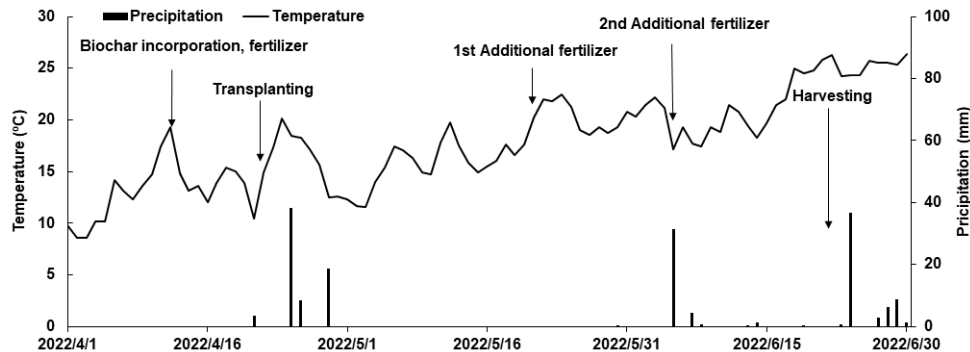


Fig. 1. Daily mean air temperature and precipitation.

토양 및 바이오차 분석 순천대학교 부속농장에 위치한 노지토양(U)과 인근 시설재배지(G)의 토양 시료를 채취 후 풍건하여 2 mm 체거름 후 시료를 분석하였으며, 토양 분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 토양 용적밀도와 수분함량은 코어법을 사용하여 표토 15 cm 깊이에서 채취 후 분석하였다. 토양 pH 및 EC는 풍건한 시료를 증류수와 1:5 (w/v) 비율로 30분간 교반하여 pH meter (S230 Mettler Toledo, USA) 및 EC meter (S230 Mettler Toledo, USA)로 각각 측정하였다. 유기물 함량 및 T-N은 원소분석기 (EA2400II, Perkinelmer, USA)를 이용하여 분석하였으며, 유효인산은 Lancaster법을 이용하여 (UV2550PC, Pekinlmer, USA) 분석하였고, 치환성 양이온 및 CEC는 1N-NH₄OAc 용액으로 침출 후 ICP (ICPE-9000, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였다. 공시토양 이화학적 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 노지토양은 식양토의 특성을 가지고 있었으며, pH는 5.23, 유기물 함량은 19.0 g kg⁻¹, CEC는 8.24 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다. 시설재배지 포장의 토양은 미사질 양토로 조사되었으며, EC는 3.70 dS m⁻¹, 유기물 함량은 43.8 g kg⁻¹, CEC는 12.93 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다.

Table 1. Properties of experimental soil used in this study.

Type [†]	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			CEC	Soil texture
						K	Ca	Mg		
U	5.23	0.22	19.0	1.29	176	0.44	2.68	0.86	8.24	Clay loam
G	6.68	3.70	43.8	2.71	285	0.66	9.52	1.58	12.93	Silt loam

U, upland field; G, greenhouse.

본 연구에서 사용된 바이오차는 전북 고창에 있는 왕겨숯 제조공장 탄화로에서 약 500°C 온도에서 4시간 30분 동안 TLUD (top lit up draft) 열분해 방식으로 제조된 바이오차를 확보하여 본 연구에 사용하였으며 바이오차의 pH 및

EC는 시료 5 g을 증류수와 1:10 (w/v) 비율로 30분간 교반하여 pH meter 및 EC meter로 각각 측정하였다. 바이오차의 원소분석 중 C, H, N는 원소분석기를 이용하여 성분함량을 분석하였으며, K, Ca, Mg은 습식분해법 (H₂SO₄:HClO₄)으로 전처리한 후, ICP를 사용하여 분석하였으며, 바이오차의 화학적 특성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of rice hull biochar used in study.

pH (1:10)	EC (dS m ⁻¹)	C (g kg ⁻¹)	H (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Molar ratio (H/C)
10.7	4.58	538	2.95	6.17	10.0	1.51	1.32	0.07

재배방법 및 시험처리 본 연구에 사용한 배추의 품종은 진청배추를 사용하였으며, 육묘장에서 파종하여 3주간 육묘 후 4월 21일에 정식하였고 75일간 재배하였다. 처리구의 면적은 4 m² (2 m × 2 m)이며, 재식거리는 이랑너비 75 cm, 포기사이는 45 cm로 하여 처리구당 16주를 정식하였다. 모든 처리구는 비닐멀칭을 피복하였으며, 정식 후 점적 관수를 이용하여 수분을 공급하였으며, 배추 생육초기에는 2일 간격으로 경엽 신장기와 결구기에는 약 2주 간격으로 관수를 실시하였다. 비료시비량은 농촌진흥청 작물별 시비처방기준 (NIAST, 2017)을 기준으로 N-P₂O₅-K₂O : 0.32-0.08-0.2 t ha⁻¹를 각 처리구별로 시비하였으며, 본 연구에 사용한 비료의 비종은 질소는 요소로, 인산은 용성인비로, 칼리는 염화칼리로 사용하였고 질소와 칼리비료는 기비와 정식 30, 45일 후 3회에 걸쳐 분시하였다. 시험 처리구는 완전임의 배치구로 배치하였으며, 모든 처리구는 3반복으로 하여 연구를 진행하였다. 처리조건은 BC0t (NPK), BC1t (biochar 1 t ha⁻¹ + NPK), BC3t (biochar 3 t ha⁻¹ + NPK), BC5t (biochar 5 t ha⁻¹ + NPK)로 모든 처리구에 무기질 비료를 시비하였다. 배추의 생육조사는 수확 후 엽폭, 엽장, 둘레 및 생중량을 조사하였다.

가스 flux 측정 및 분석 시험포장에서 Closed Chamber Method를 이용하여 내 발생되는 CO₂와 N₂O의 농도를 조사하였으며, 설치된 챔버는 PVC 소재로 제작되었고, 지름이 0.3 m, 높이가 0.5 m이었다. 챔버는 배추와 배추사이에 고정하여 설치하였고, 가스 샘플링은 10:00 - 12:00시 사이 30분 동안 밀폐하여 단위 시간당 온실가스의 농도 증가율을 측정하였다. 온실가스는 1주일에 1회 채취하여 분석하였으며, 강우가 많은 날과 추비를 준 다음 날은 추가로 가스를 채취하여 분석하였다. 온실가스 측정은 가스크로마토그래피 (8892 GC System, Agilent, USA)를 이용하여 측정하였다. 온실가스의 flux 계산식은 아래 Eq. 1과 같이 계산하였다.

$$F = \rho \times (V/A) \times (\Delta c / \Delta t) \times (273/T) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, F는 CO₂ 및 N₂O flux, ρ 는 기체밀도로써 CO₂는 1.977 mg cm⁻³, N₂O는 1.967 mg cm⁻³, V는 챔버의 부피 (m³), A는 챔버 표면적 (m²), $\Delta c / \Delta t$ 는 챔버 내 단위시간당 CO₂ 및 N₂O 농도의 평균 증가량, T는 항온온도를 의미한다.

통계분석 통계분석은 SAS 9.4 (SAS Institute Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 측정 결과에 대한 통계 처리는 Duncan's multiple range test (DMRT) 방법으로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하여 상호 비교하였다.

Results and Discussion

토양 물리적 특성 배추 수확 후 조사한 토양의 물리적 특성 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 노지에서 토양의 수분함량, 용적밀도, 공극률을 조사하였으며 수분함량은 노지에서 23.3 - 27.4% 범위로 조사되었고, 시설재배지에서는 26.3 - 33.0% 범위로 조사되었으며, 용적밀도는 노지에서 1.06 - 1.24 Mg m⁻³의 범위로 조사되었으며, 공극률은 노지에서 53.4 - 56.2%의 범위로, 시설재배지에서 61.8 - 64.4%의 범위로 조사되었다. 수분함량은 노지와 시설재배지 모두 바이오차 사용량이 많을수록 증가하였고 용적밀도는 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았으며 공극률은 노지와 시설재배지에서 대조구에 비해 바이오차를 사용한 처리구에서 증가하였으나 바이오차 사용량 간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 열분해로 생성되는 바이오차의 다공성 구조는 토양의 수분보유능력을 증가시키고 용적밀도를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 토양 입단화를 촉진시켜 식물 뿌리의 성장을 증가시키고 양분과 물 이용효율을 향상시킬 수 있다고 보고하였다 (Wang and Liu, 2018).

Table 3. Soil physical properties of soil after Chinese cabbage harvest.

Treatments	Water contents (%)	Bulk density (Mg m ⁻³)	Porosity (%)
UBC0t	23.3 a [†]	1.24 a	53.4 a
UBC1t	23.9 a	1.21 a	54.3 a
UBC3t	26.9 a	1.21 a	54.3 a
UBC5t	27.4 a	1.16 a	56.2 a
GBC0t	26.3 b	1.01 a	61.8 b
GBC1t	27.7 ab	0.95 a	64.2 a
GBC3t	29.8 ab	0.95 a	64.2 a
GBC5t	33.0 a	0.94 a	64.4 a

[†] Values within columns having the same letters are not significantly different at the 0.05 as determined by DMRT.

배추 생육조사 바이오차 사용 수준별 배추의 생육을 조사한 결과는 Table 4 및 Fig. 2와 같다. 노지에서 배추의 엽장, 엽폭 및 둘레는 생육조사 결과 각각 27.8 - 28.8 cm plant⁻¹, 16.8 - 17.5 cm plant⁻¹ 및 60.2 - 66.3 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 생중량은 1,083 - 1,391 g plant⁻¹로 조사되었다. 시설재배지의 경우 배추의 엽장은 44.4 - 46.9 cm plant⁻¹ 범위, 엽폭은 23.5 - 27.1 cm plant⁻¹ 범위 및 둘레는 57.3 - 59.6 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 생중량은 2,180 - 2,411 g plant⁻¹로 조사되었다. 배추의 생중량은 바이오차의 사용량이 증가할수록 대조구에 비해 최대 노지에서 28.5%, 시설재배지에서 10.6%로 생육이 증가한 것으로 나타났다. Jang et al. (2018)에 따르면 배 전정까지 바이오차를 100, 200 및 300 kg 10a⁻¹의 범위로 사용하였을 때 배추 생중량이 300 kg 10a⁻¹ 처리구에서 20.2%까지 증가했다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과와 유사한 경향으로 왕겨 바이오차 사용량이 증가함에 따라 배추 생중량이 증가한 결과와 유사한 경향이다. 또한 왕겨 바이오차를 수박재배지에 2,000 kg 10a⁻¹로 시비하였을 때 수박의 개당 과중은 대조구 대비 최대 8.9%의 증가율을 보였으며 (Kim et al., 2022), Kang et al. (2018) 연구에서는 옥수수 수량이 대조구 대비 바이오차와 무기질 비료 혼합 처리구에서 최대 147%의 증가율을 나타냈다고 보고한 바 있다. 이는 바이오차 시비로 인해 토양의 공극이 증가하면서 양분보유력 향상으로 인한 결과라고 보고하였다. 이에 본 연구에서도 왕겨 바이오차의 사용이 토양의 물리적 환경을 개선시켜 배추의 생육이 증가한 것으로 판단된다.

Table 4. Growth characteristics of Chinese cabbage by biochar applications.

Treatments	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Perimeter (cm)
UBC0t	27.8 b [†]	16.8 a	64.4 ab
UBC1t	28.6 ab	16.8 a	61.3 b
UBC3t	28.6 ab	17.5 a	66.3 ab
UBC5t	28.8 a	17.4 a	60.2 b
GBC0t	44.4 a	23.9 b	59.6 a
GBC1t	46.6 a	24.0 b	58.3 a
GBC3t	46.1 a	23.5 b	57.3 a
GBC5t	46.9 a	27.1 a	59.4 a

[†] Values within columns having the same letters are not significantly different at the 0.05 as determined by DMRT.

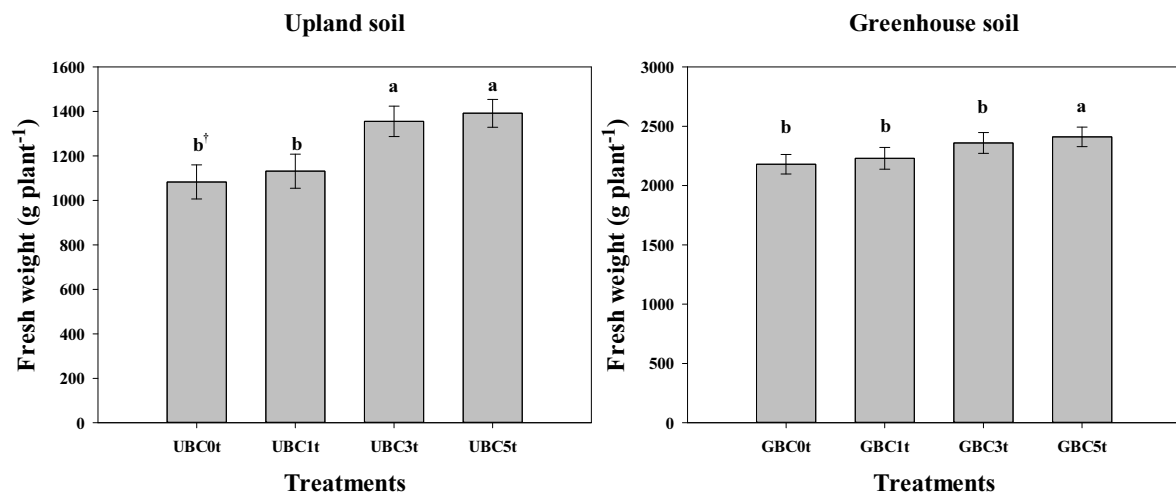


Fig. 2. Fresh weight of Chinese cabbage by biochar ([†] Values within columns having the same letters are not significantly different at the 0.05 as determined by DMRT)..

온실가스 발생량 분석 본 연구 기간 동안 농경지 토양 및 바이오차 시용량에 따른 CO₂ 및 N₂O 배출량 변화는 Figs. 3, 4와 같다. CO₂의 최대배출량은 노지의UBC0t에서 109 mg m⁻² hr⁻¹ 그리고 UBC1t, UBC3t, UBC5t에서 각각 146, 161, 278 mg m⁻² hr⁻¹로 조사되었다. 시설재배지의 GBC0t에서는 111 mg m⁻² hr⁻¹ 그리고 GBC1t, GBC3t, GBC5t에서 각각 164, 174, 181 mg m⁻² hr⁻¹으로 조사되었다. 두 농경지 모두 바이오차를 투입했을 때 CO₂의 배출량이 증가하는 경향을 보였고, 시험 기간동안 노지에서 바이오차 처리구의 CO₂ 누적 배출량은 대조구에 비해 1.36 - 2.26배 범위로 증가하였으며, 시설재배지에서 바이오차 처리구의 CO₂ 누적 배출량은 대조구에 비해 1.15 - 1.70배 범위로 증가하였다. 온실가스 배출량 분석결과 바이오차의 시용량이 증가함에 따라 CO₂ 배출량이 증가하였으며 그 이유는 토양 내에 존재하는 미생물과 시용한 바이오차가 가지고 있는 물리화학적 특성과 관계가 있을 것으로 판단된다. Wang et al. (2020)에 따르면 질소비료 없이 바이오차를 시비한 토양을 배양했을 때 CO₂ 배출량에 영향을 미치지 않았으며 질소원과 함께 시비하였을 때 바이오차의 시용량이 증가함에 따라 CO₂의 배출량도 증가하였다고 보고하였다. 또한 토양에 질소원과 바이오차가 투입됨에 따라 미생물 에너지원의 공급으로 미생물의 활동이 활발해지며 바이오차의 점화 효과로 인한 CO₂ 발생량 증가로 판단된다 (Woolf and Lehmann, 2012).

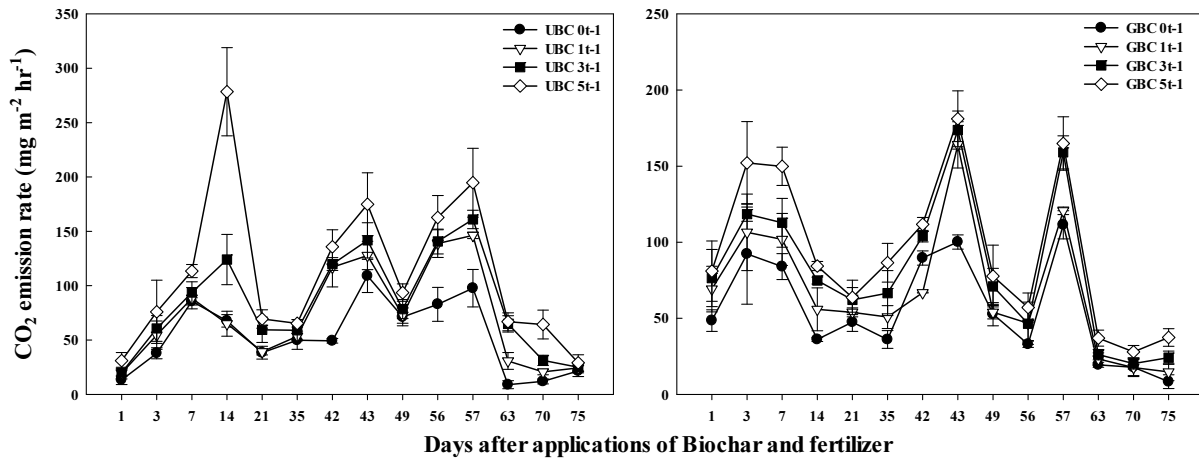


Fig. 3. Changes in CO₂ emission rates in an upland and greenhouse fields with different treatment conditions.

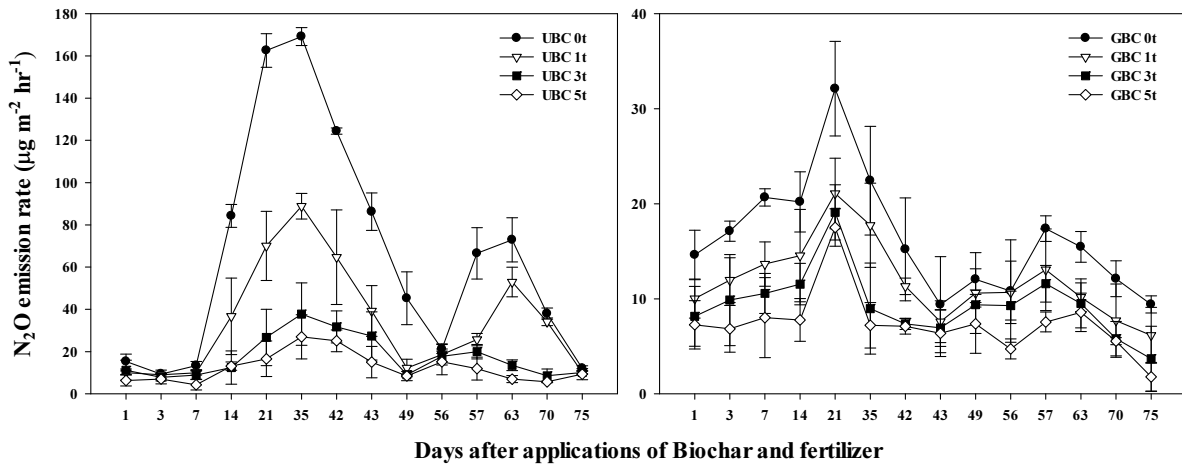


Fig. 4. Changes in N₂O emission rates in an upland and greenhouse fields with different treatment conditions.

연구 기간 동안의 N₂O 배출 양상결과는 Fig. 4와 같으며, CO₂ 결과와 유사한 경향으로 감소하였다. 배추 재배기간 동안 전반적으로 N₂O의 발생은 무기질 비료 투입 후 점차적으로 증가하여 노지에서는 35일 차에 가장 높은 발생량을 보였고, 시설재배지에서는 21일 차에서 가장 높은 발생량을 보였다. N₂O의 평균 배출량은 UBC1t, UBC3t, UBC5t에서 각각 34.5, 17.4, 12.3 $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ 로 조사되었으며, 대조구에 비해 1.91 - 5.35배 감소하였다. 시설재배지의 1, 3, 5 t ha⁻¹ 처리구는 각각 11.9, 9.4, 7.4 $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ 로 조사되었으며, 대조구에 비해 1.38 - 2.21배 감소하였다. 무기질 비료의 질소가 N₂O로 배출되기까지 미생물에 의한 질산화 및 탈질과정을 위한 소요시간으로 인해 나타나는 경향으로 판단된다 (Lee et al., 2020). Abbruzzini et al. (2019)에 따르면 열대지방의 밀 재배지에서 일일 N₂O flux 조사한 결과 NPK 처리구에서 545 $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 로 가장 높았다고 보고하였다. 또한 Lee et al. (2022)에 따르면 바이오차 투입량이 증가함에 따라 N₂O 배출량이 유의하게 감소하였다고 보고하였으며 토양에 무기 질소가 풍부하고 수분이 상대적으로 적을 때 토양의 N₂O 배출을 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 바이오차 처리구가 대조구 대비 노지에서 최대 6.26배, 시설재배지에서 최대 1.83배 감소한 결과와 유사하였다. 이는 바이오차가 토양에 투입되었을 때 습윤 토양의 통기성을 개선하여 탈질과정에서 배출되는 N₂O를 저감할 수 있으며, 바이오차의 넓은 비표면적으로 인해 NH₄⁺ 및

NO₃⁻의 고정으로 토양내 질소순환과정에 영향을 미치는 등 다양한 바이오차 기작에 의한 N₂O의 발생이 저감되었다고 판단된다 (Lee et al., 2018).

Conclusions

본 연구는 노지와 시설재배지를 대상으로 배추를 재배하며 왕겨 바이오차를 0, 1, 3, 5 t ha⁻¹을 사용수준으로 투입하여 작물 생육과 온실가스 발생량을 비교하였다. 배추 생육은 바이오차의 사용수준이 증가할수록 배추의 생육이 증가하였고, 배추의 생중량은 노지에서는 UBC5t에서 36.4%까지 증가하였으며, 시설재배지에서는 GBC5t에서 최대 10.6%까지 증가하였다. 또한 노지와 시설재배지에서 CO₂의 누적배출량은 최대 노지에서 2.26배, 시설재배지에서는 1.70배 증가하였으며, N₂O는 최대 5.4배 시설재배지는 최대 2.2배 감소하였다. 따라서 무기질 비료시비와 바이오차 혼합시비 시 토양에서의 N₂O의 발생량을 상당히 저감시킬 수 있음을 확인하였다. 이에 농경지 토양에 무기질 비료와 바이오차를 함께 시비할 경우 토양에 직접적인 탄소 공급으로 인한 이점과 기후변화 완화에 기여할 수 있는 친환경적인 기술이라고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 연구과제 (PJ01556 8022022)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Abbruzzini, T.F., C.A. Davies, F.H. Toledo, and C.E.P. Cerri. 2019. Dynamic biochar effects on nitrogen use efficiency, crop yield and soil nitrous oxide emissions during a tropical wheat-growing season. *J. Environ. Manage.* 252:109638.
- Cayuela, M.L., M.A. Sánchez-Monedero, A. Roig, K. Hanley, A. Enders, and J. Lehmann. 2013. Biochar and denitrification in soils: When, how much and why does biochar reduce N₂O emissions? *Sci. Rep.* 3(1):1-7.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference manual (Volume 3). Intergovernmental Panel on Climate Change, Hadley Centre, Bracknell, UK.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Jang, J.E., G.J. Lim, J.S. Park, J.M. Shim, C.S. Kang, and S.S. Hong. 2018. Application effects of biochar derived from pruned stems of pear tree on growth of crops and soil physico-chemical properties. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26:11-19.
- Kang, S.K., W.J. Lee, H.G. Jeong, J.H. Park, J.H. Lee, J.J. Yun, S.Y. Kim, D.C. Seo, and J.S. Cho. 2018. Effect of application levels of inorganic fertilizer with biochar on corn growth in an upland field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51:547-554.
- Kim, Y.S., K.H. Kim, J.W. Han, T.G. Jeong, M.J. Kim, and I.J. Kim. 2022. Effect of rice hull-derived biochar application on watermelon growth, and soil physico-chemical properties under greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 55:175-184.
- Kwon, P.S. and S.J. Kim. 2017. Scenario analysis for the achievement of the 2030 national greenhouse gas reduction goal in the Korean electricity sector. *J. Environ. Policy Adm.* 25:129-163.
- Lee, J.H., H.J. Lee, S.K. Kim, S.G. Lee, H.S. Lee, and C.S. Choi. 2017. Development of growth models as affected

- by cultivation season and transplanting date and estimation of prediction yield in kimchi cabbage. *J. Bio-Env. Con.* 26:235-241.
- Lee, J.M., D.G. Park, S.S. Kang, E.J. Choi, H.S. Gwon, H.S. Lee, and S.I. Lee. 2022. Short-term effect of biochar on soil organic carbon improvement and nitrous oxide emission reduction according to different soil characteristics in agricultural land: A laboratory experiment. *Agronomy* 12:1879.
- Lee, S.I., G.Y. Kim, E.J. Choi, J.S. Lee, and H.C. Jung. 2018. Reduction of carbon dioxide and nitrous oxide emissions through various biochars application in the upland. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26:11-18.
- Lee, S.I., G.Y. Kim, E.J. Choi, J.S. Lee, H.S. Gwon, and J.D. Shin. 2020. Effect of biochar application on nitrous oxide emission in the soil with different types of nitrogen fertilizer during corn (*Zea mays*) cultivation. *Korean J. Environ. Agric.* 39:397-304.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2015. Biochar for environmental management: An introduction. p. 1-13. In J. Lehmann and S. Joseph (ed.) *Biochar for environmental management: Science, technology and implementation*. Routledge, London, UK.
- Li, B., C.H. Fan, H. Zhang, Z. Chen, L.Y. Sun, and Z.Q. Xiong. 2015. Combined effects of nitrogen fertilization and biochar on the net global warming potential, greenhouse gas intensity and net ecosystem economic budget in intensive vegetable agriculture in southeastern China. *Atmos. Environ.* 100:10-19
- Lyu, H., S. Xu, Y. Liu, W. Zhang, Q. Duan, M. Zhu, and J. Tang. 2022. Chapter 20 - Effect of biochar on the emission of greenhouse gas in farmland. p. 251-262. In D.C.W. Tsang and Y.S. Ok (ed.) *Biochar in agriculture for achieving sustainable development goals*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- NIAST. 2000. *Methods of soil and plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2017. *Recommended rate of fertilizer on crops*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Regina, K., J. Kaseva, and M. Esala. 2013. Emissions of nitrous oxide from boreal agricultural mineral soils—statistical models based on measurements. *Agric., Ecosyst. Environ.* 164:131-136.
- Seo, J.H., H.J. Lee, I.B. Hur, S.J. Kim, C.K. Kim, and H.S. Jo. 2000. Comparisons of soil nitrate and corn nitrogen uptake according to winter forage rye and green manure hairy vetch. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 20:199-206.
- Wacal, C., N. Ogata, D. Basalirwa, T. Handa, D. Sasagawa, R. Acidri, T. Ishigaki, M. Kato, T. Masunaga, and S. Yamamoto. 2019. Growth, seed yield, mineral nutrients and soil properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by biochar addition on upland field converted from paddy. *Agronomy* 9:55.
- Wang, L., K. Yang, C. Gao, and L. Zhu. 2020. Effect and mechanism of biochar on CO₂ and N₂O emissions under different nitrogen fertilization gradient from an acidic soil. *Sci. Total Environ.* 747:141265.
- Wang, Y. and R. Liu. 2018. Improvement of acidic soil properties by biochar from fast pyrolysis. *Environ. Prog. Sustainable Energy* 37:1743-1749.
- Woolf, D. and J. Lehmann. 2012. Modelling the long-term response to positive and negative priming of soil organic carbon by black carbon. *Biogeochemistry* 111(1-3):83-95.