



리그닌 바이오차가 배추 재배에 미치는 효과

조한나¹, 박재혁¹, 윤진주², 이승규², 김소희³, 조주식^{1,4}, 강세원^{1,4*}

¹순천대학교 일반대학원 농화학과, ²국립농업과학원 농업환경부 토양비료과,

³국립농업과학원 농업환경부 유기농업과, ⁴순천대학교 생명산업과학대학 농생명과학과

Effect of Lignin Biochar Application on Kimchi Cabbage Cultivation

Han-Na Cho¹, Jae-Hyuk Park¹, Jin-Ju Yun², Seung-Gyu Lee², So-Hui Kim³, Ju-Sik Cho^{1,4} and Se-Won Kang^{1,4*} (¹Department of Agricultural Chemistry, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea, ²Soil and Fertilizer Management Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea, ³Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea, ⁴Department of Agricultural Life Sciences, College of Life Science and Industry, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea)

Received: 01 December 2023/ Revised: 07 December 2023/ Accepted: 08 December 2023

Copyright © 2023 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

Han-Na Cho

<https://orcid.org/0000-0002-5143-9545>

Jae-Hyuk Park

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

Jin-Ju Yun

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

Seung-Gyu Lee

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

So-Hui Kim

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

Ju-Sik Cho

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

Se-Won Kang

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

Abstract

This study evaluated the effect of lignin biochar on Kimchi cabbage cultivation in an upland field. Each of the inorganic fertilizers (IF, applied at 32-7.8-19.8 kg/10a=N-P-K), lignin biochar (LBC, applied at 1,000 kg/10a), improved LBC (LBC+N, applied at 1,000 kg/10a), and LBC+IF treatments areas were separated by a control (Cn) treatment area. The fresh weight of Kimchi cabbage increased in the order LBC+N > IF > LBC+IF > Cn > LBC treatments, and the length and width of the leaf were ranged from 20.8-25.7 and 13.7-15.8 cm/

plant in all treatments. After Kimchi cabbage harvesting in the LBC+N treatment, soil quality improved bulk density, pH, OM, TN, and Av-P₂O₅ than those other treatments. In addition, the total N₂O flux in LBC+N was lower than in IF treatments. Therefore, improved lignin biochar application effectively improves Kimchi cabbage cultivation and can benefit the agricultural environment.

Key words: Kimchi cabbage, Lignin biochar, N₂O, Soil quality, Upland field

서 론

*Corresponding author: Se-Won Kang
Phone: +82-61-750-5192; Fax: +82-61-752-8011;
E-mail: kangsw@schnu.ac.kr

전세계적으로 화석연료 기반에서 바이오리파이너리 기반 산업으로 패러다임이 변하고 있다. 최근 목질계 바이오매스를

이용한 바이오에탄올 및 바이오부탄올 생산이 증가되면서, 제조 공정에서 발생되는 부산물인 리그닌의 양도 증가하고 있다 [1]. 리그닌은 식물 세포벽의 주요 구성 요소로서 목재 조성 중 함량은 약 25-35%로 구성되어 있으며, 폐놀 고분자 화합물로 생체변환이 어려워 대부분 폐기되고 있다[2]. 산업 공정에서 발생되는 리그닌은 점차 증가될 것으로 예상되어 산업적인 이용을 위한 연구가 필요한 실정이다.

최근, 다양한 바이오매스를 열분해 과정을 통해 탄소함량이 높은 바이오차를 생산하고 있다. 바이오차는 농경지 토양에 흔입될 경우 아산화질소 저감, 작물 생육 개선, 탄소격리에 효과적이라고 보고되고 있고[3], 바이오차의 낮은 양분 함량을 보충하기 위해 다른 유기 물질을 혼합하여 농경지에 적용한 연구 또한 보고된 바 있다[4]. 하지만, 유기 물질을 통한 양분이 보충된 바이오차는 물리적 결합을 통해 펠렛 형태로의 가공이 필요하며, 토양 내에서 유기 물질이 분해되는데 시간이 필요하기 때문에 단기간에 작물의 생육효과를 기대하기는 어렵다.

이러한 이유에서 벼려지는 부산물인 리그닌을 열분해하여 바이오차로 제조하고 추가적인 공정을 통해 작물이 양분을 빠르게 이용할 수 있는 양분 보증방법이 추가된다면, 산업 공정에서 발생되는 폐기물의 자원화와 동시에 농업적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 부산물인 리그닌을 바이오차로 제조하고, 작물 생육에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 개선된 리그닌 바이오차를 제조하여 배추의 생육, 토양 특성, 그리고 아산화질소 감축 효과를 평가하였다.

재료 및 방법

공시재료

리그닌 바이오차가 배추 재배에 미치는 영향을 조사하기 위한 시험은 순천대학교 부속농장에 위치한 포장에서 수행되었다. 시험포장의 pH는 5.37, EC는 0.12 dS/m로 조사되었고, OM 함량은 24.6 g/kg, T-N 함량은 2.11 g/kg, 그리고 Av-P₂O₅ 함량은 37.8 mg/kg으로 조사되었다. 배추 재배에 사용된 리그닌 바이오차(LBC)는 바이오리파이너리 공정에서 배출되는 리그닌을 건조 후 400°C에서 2시간 조건으로 열분해하여 제조하였으며, 개선된 리그닌 바이오차(LBC+N)는 리그닌 바이오차에 질소용액을 교반하고 여과 후 건조 과정을 통해 제조하였다. 질소용액은 요소 240 g에 중류수 300 mL를 첨가하여 제조하였다. 리그닌 바이오차와 개선된 리그닌 바이오차의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical characteristics of LBC and LBC+N

	pH (1:10 H ₂ O)	T-N (%)	K	Ca ---- (mg/kg) ----	Mg
LBC	5.64	0.10	174	331	42.7
LBC+N	5.98	11.2	314	152	20.9

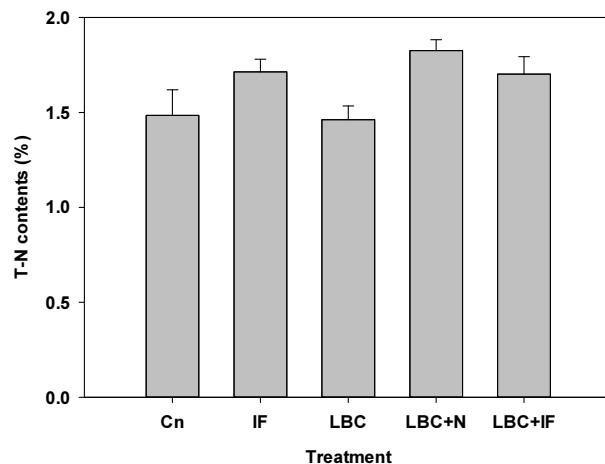


Fig. 1. T-N contents of Kimchi cabbage under different treatments conditions.

처리조건

배추 재배는 2020년 9월부터 12월까지 진행되었으며, 처리 조건은 무처리구인 Cn, 관행처리구인 IF (inorganic fertilizer, N-P-K=32-7.8-19.8 kg/10a), LBC (1,000 kg/10a), LBC+N (1,000 kg/10a), 및 LBC+IF로 각각 나누었으며, 모든 처리구는 완전임의배치법에 의해 3반복으로 수행되었다. 배추의 생육 특성은 수확 후 생체중, 너비 및 길이를 조사하였다.

분석방법

본 시험에 사용된 토양 이화학적 특성, 식물체 질소 함량 및 바이오차 화학적 특성은 토양 및 식물체 분해법(NIAST, 2000)에 의해 수행되었다. N₂O 발생량 조사는 closed chamber법을 사용하였고, 가스 채취는 7일 간격, 매주 오전 9:30-11:00에 0, 30 및 60분 간격으로 수행하여 배추 재배기간 동안 배출된 N₂O 발생량을 조사하였다[5]. 통계분석은 IBM SPSS 27.0을 사용하여 ANOVA 분석을 하였으며, DMRT (Duncan's Multiple Range Test)로 처리구의 평균에 대한 사후검정을 유의수준 5%로 실시하였다.

결과 및 고찰

리그닌 바이오차 시용에 따른 배추의 생육 특성은 Table 2와 같이 양분이 투입된 처리구에서 전반적으로 생육이 높은 경향이었다. 배추의 생체중은 LBC+N 처리구가 0.67 kg/plant로 다른 처리구에 비해 높은 생육을 보였으며, Cn, IF, LBC, LBC+IF 처리구 대비 각각 187, 112, 219 및 148%의

Table 2. Growth characteristics of Kimchi cabbage by LBC application

Treatment	Fresh weight (kg/plant)	Leaf height ---- (cm/plant) ----	Leaf width
Cn	0.39d*	21.6c	13.7c
IF	0.60b	25.7a	15.6a
LBC	0.31e	20.8d	14.3b
LBC+N	0.67a	25.3a	15.8a
LBC+IF	0.45c	24.5b	14.5b

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

증수효과가 나타났다. LBC 처리구에서 조사된 배추의 생체중은 Cn 처리구 대비 25%가 감소된 결과를 보였으나, 본 연구에서 개발된 LBC+N 처리구에서 전반적인 배추의 생육지표가 IF 및 LBC+IF 처리구와 동등하거나 증가된 것을 확인할 수 있었다. LBC+N의 경우 Fig. 1에서도 확인할 수 있듯이, 지상부 배추의 T-N 함량이 1.83%로 다른 IF 처리구에서 조사된 T-N 함량보다 높은 수치를 보였다. 일반적으로 바이오차는 높

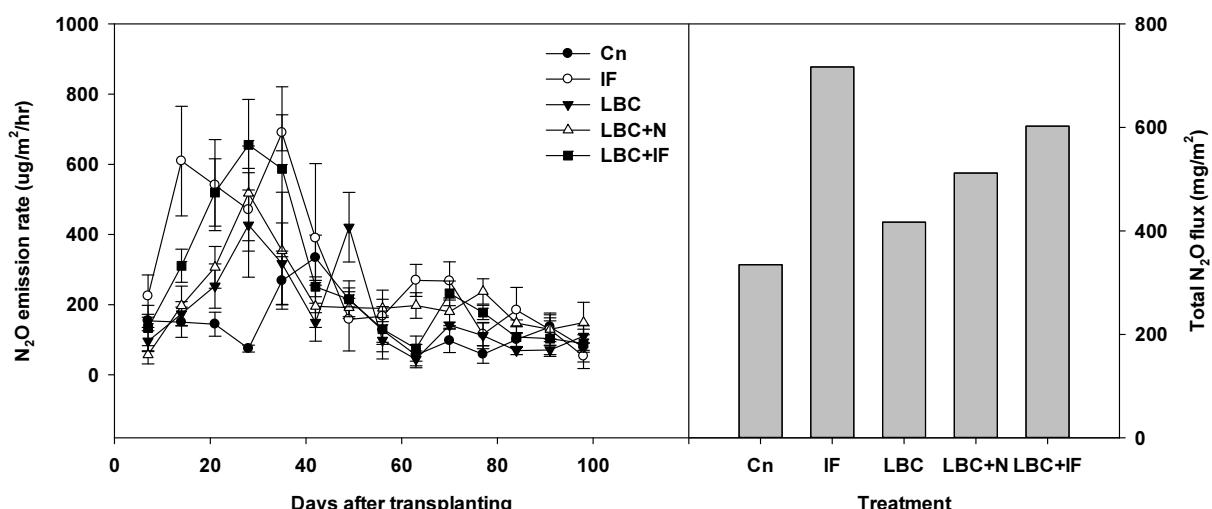
은 양이온 교환 능력과 표면 관능기로 인해 작물에게 양분을 공급해주는 능력이 뛰어나다고 알려져 있으며[6], Kang 등[5]의 연구에 의하면 배추 재배에 바이오차를 사용하면 질소 이용률이 향상되어 배추의 생육을 증가시킨다고 보고한 바 있다. 본 연구에 사용된 LBC+N는 바이오차와 질소용액의 화학적 결합을 통해 제조되어 배추가 질소를 이용하는데 일반 관행처리구에 비해 원활했던 것으로 판단된다.

배추 수확 후 토양의 용적밀도와 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 처리구별 용적밀도는 Cn 처리구에서 1.27 Mg/m³, IF 처리구에서 1.27 Mg/m³으로 배추 재배 전 토양의 용적밀도와 큰 차이 없이 조사되었으며, LBC를 사용한 처리구에서는 1.18-1.20 Mg/m³으로 용적밀도가 감소되었다. 산업폐기물로부터 제조된 LBC가 다른 토양개량제와 유사하게 토양의 물리성을 개선시킬 수 있다고 판단된다. 한편, 배추 수확 후 토양의 화학적 특성을 조사한 결과 처리구간 pH, OM, T-N 및 Av-P₂O₅ 함량은 모든 처리조건에서 각각 4.89-5.09, 23.6-27.0, 1.17-1.94 g/kg, 그리고 29.9-40.7 mg/kg 범위로 조사되었다. OM 함량은 LBC 처리구가 IF 처리구에 비해 약간 증가하는 경향을 보였고, 특히, LBC+N 처리구는 다른 처리구에 비해 질소 함량이 크게 증가되었다. 바이오차의

Table 3. Changes in soil physico-chemical characteristics after Kimchi cabbage harvesting

Treatment	Bulk density (Mg/m ³)	pH (1:5 H ₂ O)	OM --- (g/kg) ---	T-N	Av-P ₂ O ₅ (mg/kg)
Cn	1.27a*	4.98b	23.6c	1.17c	37.7b
IF	1.27a	4.89c	24.5bc	1.93b	40.7a
LBC	1.18b	5.09a	27.0a	1.94b	29.9d
LBC+N	1.20b	5.09a	26.2ab	2.57a	33.7c
LBC+IF	1.19b	5.05ab	25.0b	1.91b	39.0ab

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

Fig. 2. Changes in emission rate and flux of N₂O under different treatments conditions.

토양 적용은 열분해 온도별, 사용 수준별로 보고된 다양한 선행연구를 통해서 토양의 용적 밀도와 pH, CEC를 개선한다고 알려져 있다[7]. 이와 유사하게 본 연구에서도 LBC의 사용으로 토양의 물리·화학적 특성이 개선되는 효과를 보였으며, 토양 질소 함량의 경우 토양에 잔류한 바이오차는 질소 용액으로 화학적 결합으로 이루어져 있어 다른 처리구에 비해 높게 조사된 것으로 판단된다.

배추 재배기간 동안 리그닌 바이오차 처리에 따른 N_2O 발생량을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 전반적으로 N_2O 발생폐탄은 배추 이식 후 35일까지 증가하다가 이후 점차 감소하는 경향으로 조사되었다. 처리조건별 배추 재배지에서 조사된 N_2O 발생량은 Cn 처리구에서 56.0-334 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$, IF 처리구에서 52.9-690 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$, LBC 처리구에서 44.2-427 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$, LBC+N 처리구에서 218-517 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$, 그리고 LBC+IF 처리구에서 74.8-656 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$ 범위로 조사되었다. 처리구별 N_2O 발생량은 IF, LBC+IF, LBC+N, LBC, Cn 처리구 순으로 낮아졌으며, 이는 LBC의 토양 흔입에 의해 N_2O 를 감소시킬 수 있는 것으로 판단되었다. 특히, 배추 재배기간 동안 산정된 총 N_2O 발생량은 IF 처리구 대비 LBC, LBC+N 및 LBC+IF에서 각각 41.8, 28.6 및 15.9%의 감소 효과를 보였다. N_2O 발생은 토양의 물리, 화학적 특성, 질소원 등 다양한 조건에 의해서 발생폐탄이 달라진다[8,9]. 본 연구에서 Cn 처리구는 질소 비료, LBC 등의 물질이 투입되지 않아 가장 낮은 N_2O 발생(평균 142 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hr}$)을 보였지만, 양분이 투입되지 않아 배추 수확량이 다른 처리구에 비해 적었다. 또한, LBC+IF 처리구는 IF 처리구와 동일한 무기질 비료가 처리되었지만 LBC가 탈질과정에 영향을 미쳐 IF 처리구에 비해 N_2O 발생량이 감소된 것으로 판단된다[10].

따라서, 본 연구의 결과로 미루어 볼 때, 바이오차와 질소 용액의 결합은 작물의 생산성과 토양의 물리·화학적 특성, 그리고 아산화질소 저감에 효과적인 것으로 보인다. 하지만 현재 연구결과는 단기간 도출된 결과이기 때문에, 향후 바이오차와 질소 용액과의 결합이 토양 양분 순환에 미치는 영향에 대한 메커니즘 연구가 추가적으로 필요하다고 판단된다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2022R1F1A1064576). Also, this research was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE) (2021RIS-002). The authors also acknowledge the support of "Cooperative Research Program for Agri-

culture Science and Technology Development (Project No. PJ015568)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Lee SL, Park JH, Kim SH, Kang SW, Cho JS, Jeon JR, Lee YB, Seo DC (2019) Sorption behavior of malachite green onto pristine lignin to evaluate the possibility as a dye adsorbent by lignin. *Applied Biological Chemistry*, 62, 37. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0444-2>.
- Yin L, Leng E, Gong X, Zhang Y, Li X (2018) Pyrolysis mechanism of β -O-4 type lignin model polymers with different oxygen functional groups on Ca. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 136, 169-177. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.10.008>.
- Woo SH (2013) Biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technology*, 19, 201-211. <https://doi.org/10.7464/ksct.2013.19.3.201>.
- Cho HN, Kang SW (2023) Effect of pelleted bottom ash application on Kimchi cabbage cultivation. *Journal of Agriculture and Life Science*, 27, 39-47. <https://doi.org/10.14397/jals.2023.57.5.39>.
- Kang SW, Cheong YH, Yun JJ, Park JH, Park JH, Seo DC, Cho JS (2021) Effect of biochar application on nitrogen use efficiency for sustainable and productive agriculture under different field crops. *Journal of Plant Nutrition*, 44, 2849-2862. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921200>.
- Yadav SPS, Bhandair S, Bhatta D, Poudel A, Bhattarai S, Yadav P, Ghimire N, Paudel P, Paudel P et al. (2023) Biochar application: A sustainable approach to improve soil health. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100498. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100498>.
- Singh H, Northup BK, Rice CW, Prasad PVV (2022) Biochar applications influence soil physical and chemical properties, microbial diversity, and crop productivity: A meta-analysis. *Biochar*, 4, 8. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00138-1>.
- Dawar K, Rahman S, Fahad, S, Alam SS, Khan SA, Dawar A, Younis U, Danish S, Datta R et al. (2021) Influence of variable biochar concentration on yield-scaled nitrous oxide emissions, Wheat yield and nitrogen use efficiency. *Scientific Reports*, 11, 16774. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96309-4>.
- Zhang L, Jing Y, Chen C, Xiang Y, Rashti MR, Li Y, Deng Q, Zhang R (2021) Effects of biochar application

- on soil nitrogen transformation, microbial functional genes, enzyme activity, and plant nitrogen uptake: A meta-analysis of field studies. *GCB-Bioenergy*, 13, 1859-1873. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12898>.
10. Zhang A, Cheng G, Hussain Q, Zhang M, Feng H, Dyck M, Sun B, Zhao Y, Chen H et al. (2017) Contrasting effects of straw and straw-derived biochar application on net global warming potential in the Loess Plateau of China. *Field Crops Research*, 205, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.006>.