

FOOD&CHEMISTRY

Comparative study of individual and co-application of biochar and wood vinegar on growth of perilla (*Perilla frutescens* var.) and soil quality

Yun-Gu Kang, Nam-Ho Kim, Jun-Ho Kim, Da-Hee Ko, Jae-Han Lee, Jin-Hyuk Chun, Taek-Keun Oh^{*}

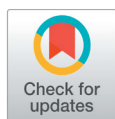
Department of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

^{*}Corresponding author: ok5382@cnu.ac.kr

Abstract

Biochar can be obtained by using various types of biomass under an oxygen-limited condition. Biochar can be utilized for various applications such as soil improvement, waste management, growth promotion, and adsorption. Wood vinegar is produced by the process of pyrolysis wood biomass and is used as a growth promoter, for soil improvement, and as a feed additive. When wood vinegar is treated on soil, it acts to control soil pH, improve nutrient availability, and alleviate N₂O and NH₃ volatilization. The objective of this study was to evaluate the effect of biochar and wood vinegar on the growth of perilla and soil quality. The experiment was conducted by using a Wagner pot (1.5,000 a⁻¹) in a glass greenhouse. The biochar was produced by pyrolysis at 450°C for 30 minutes using rice husk and rice straw. Wood vinegar was diluted to 1 : 500 (v·v⁻¹) and used in this experiment. In the results of a cultivation experiment, co-application of biochar and wood vinegar enhanced the growth of perilla. In particular, rice husk biochar affected the leaves of the perilla, and rice straw biochar influenced the stems of the perilla. In addition, soil quality after treatment with biochar and wood vinegar applied together was highest compared to other units. Therefore, it is anticipated that co-application of biochar and wood vinegar will be more productive and improve soil quality compared to individual utilization of biochar and wood vinegar.

Key words: biochar, perilla (*Perilla frutescens* var.), rice husk, rice straw, wood vinegar



OPEN ACCESS

Citation: Kang YG, Kim NH, Kim JH, Ko DH, Lee JH, Chun JH, Oh TK. Comparative study of individual and co-application of biochar and wood vinegar on growth of perilla (*Perilla frutescens* var.) and soil quality. Korean Journal of Agricultural Science 49:357-366. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20220034>

Received: Decmeber 14, 2021

Revised: May 25, 2022

Accepted: May 26, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

바이오차(biochar)는 바이오매스(biomass)와 숯(charcoal)의 합성어로, 농업 생산성 증대 및 탄소 격리 측면에서 중요하다고 알려져 있다(Kang et al., 2021a). 바이오차는 산소가 제한된 조건에서 다양한 바이오매스 및 유기 자원을 300°C 이상에서 열 분해하여 얻을 수 있는 고품질 물질이다(Woo, 2013; Lee et al., 2018; 2019; Kang et al., 2021a; 2021b). 바이오차는 다른 유기물과는 다르게 구조적 안정성이 매우 뛰어나 토양에 처리하였을 때에도 거의 분해되지 않고 형태를 유지하며, 이에 따라 탄소를 토양 내에 반영구적으로 저장하여 격리시킨다(Woolf et al., 2010; Woo, 2021). 바이오차는 이러한 구조적 안정성과 탄소 격리 효과 외에도 기후변화대응, 토양개량, 폐기물관리, 생육 증진, 흡착 등 다양한 측면에서 활용되고 있다(Park et al., 2020). 바이오차

의 특성(surface area, pore size, pH 등)은 제조 시 사용되는 원료의 종류와 열 분해 조건(온도, 시간, 방식 등)에 따라 달라진다(Kang et al., 2021b). 바이오차 제조 원료로 사용된 왕겨와 벚짚은 벚를 수확하는 과정에서 발생하는 부산물로, 2018년도를 기준으로 왕겨는 약 979천톤이 발생한 것으로 추정하며, 벚짚은 약 5,298천톤이 발생한 것으로 추정된다(An et al., 2019).

목초액(wood vinegar)은 bio-oil, pyrolygneous acid 등으로도 불리며, 목재 바이오매스를 열 분해하는 과정에서 생성되는 부산물이다(Simma et al., 2017). 목초액은 유기산과 알데하이드, 케톤, 페놀, 퓨란기 등을 함유하며, 이로 인해 농업 분야에서 유망한 다기능물질로 알려져 있다(Liu et al., 2018). 목초액은 주로 작물의 성장 촉진제, 사료 첨가제 및 탈취제, 토양개량제 등으로 많이 사용된다(Zhang et al., 2020). 특히 토양 개량 및 작물 생육 촉진을 위해 토양에 처리된 목초액은 토양 pH 조절 및 토양 내 양분 가용성 개선, NH_4^+ 손실 억제, N_2O 및 NH_3 배출 완화, 토양 미생물의 활성 증진 등 토양 환경에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Lashari et al., 2015; Lu et al., 2015; Grewal et al., 2018; Sun et al., 2018). 국내에서는 목초액을 주로 선충 방제 및 과실의 신선도 유지, 축산 농가의 악취 제거 등으로 활용한다(Geon et al., 2005; Jung et al., 2006; 2007).

따라서 본 연구는 바이오매스를 친환경적으로 자원화 할 수 있는 방법인 바이오차와 작물 생육에 긍정적인 영향을 미치는 목초액의 단독 처리 및 혼합 처리에 따른 작물의 생육과 토질의 변화를 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

Testing materials

실험에 이용한 토양은 충남대학교 내 시험포장에서 채취하여 유리온실에서 2주간 건조시킨 후 2 mm sieve로 체거름한 후 실험에 이용하였다. 바이오차 제조를 위한 왕겨와 벚짚은 충분히 건조시킨 후 각각 450°C에서 30분간 furnace (1100°C Box Furnace, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)로 열 분해하여 제조하였다. 목초액은 1 : 500 ($\text{v}\cdot\text{v}^{-1}$)의 비율로 희석한 후 실험에 이용하였다. 실험에 사용한 재료의 특성을 분석한 결과는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical properties of the soil and soil amendments.

| Sample | Initial soil | Rice husk biochar | Rice straw biochar | Wood vinegar |
|--|---------------|-------------------|--------------------|--------------|
| pH (1 : 5, D.H ₂ O) | 6.77 ± 0.09 | 10.78 ± 0.03 | 10.57 ± 0.02 | 3.35 ± 0.03 |
| EC (dS·m ⁻¹) | 0.41 ± 0.01 | 6.94 ± 0.06 | 58.13 ± 0.71 | 0.52 ± 0.01 |
| T-C (%) | 0.53 ± 0.13 | 49.73 ± 0.25 | 49.67 ± 0.50 | N.A. |
| T-H (%) | 0.56 ± 0.01 | 2.44 ± 0.01 | 2.53 ± 0.03 | N.A. |
| T-N (%) | 0.04 ± 0.00 | 0.56 ± 0.03 | 0.69 ± 0.02 | N.A. |
| T-P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹) | N.A. | 0.25 ± 0.01 | 0.44 ± 0.03 | 2.09 ± 0.03 |
| NH ₄ ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 7.61 ± 0.71 | N.A. | N.A. | 2.12 ± 0.34 |
| NO ₃ ⁻ (mg·kg ⁻¹) | 38.04 ± 3.54 | N.A. | N.A. | 0.72 ± 0.05 |
| Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹) | 64.16 ± 1.43 | N.A. | N.A. | N.A. |
| Mg ²⁺ (mg·kg ⁻¹) | 44.16 ± 0.02 | N.A. | N.A. | N.A. |
| Ca ²⁺ (mg·kg ⁻¹) | 204.00 ± 0.07 | N.A. | N.A. | N.A. |
| Na ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 3.44 ± 0.05 | N.A. | N.A. | N.A. |
| K ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 6.65 ± 0.00 | N.A. | N.A. | 1.18 ± 0.04 |
| MgO (%) | N.A. | 0.04 ± 0.00 | 0.39 ± 0.02 | N.A. |
| CaO (%) | N.A. | 0.01 ± 0.00 | 0.81 ± 0.05 | N.A. |
| Na ₂ O (%) | N.A. | 0.24 ± 0.01 | 0.26 ± 0.01 | N.A. |
| K ₂ O (%) | N.A. | 1.43 ± 0.06 | 6.37 ± 0.20 | N.A. |

D.H₂O, distilled water; EC, electrical conductivity; T-C, total carbon content; T-H, total hydrogen content; T-N, total nitrogen content; T-P₂O₅, total phosphate content; Av. P₂O₅, available phosphate; N.A., not analyzed.

Growth experiment

잎들깨(*Perilla frutescens* var. japonica Hara)는 유리온실에서 2021년 3월 30일부터 2021년 5월 28일까지 총 58일간 재배하였으며, Wagner pot ($1.5,000 \text{ a}^{-1}$)를 이용하여 수행하였다. 본 연구는 바이오차에 의한 작물의 초기 생육 및 생산량을 확인하고자 하였으며, 이에 따라 처리구는 총 7개로 구분하였다. 먼저 작물 재배에 따른 토양의 화학성 변화를 확인하기 위해 무처리구(untreated, UT)와 관행구(customary treatment, CT)를 설정하였으며, 무처리구는 재배 기간 중 수분만 공급하였으며, 관행구는 수분과 무기질 비료를 투입하였다. 이후 바이오차와 목초액의 투입 유무에 따른 작물의 생육을 비교하기 위해 바이오차를 단독 투입한 처리구(rice husk biochar treatment, HBT; rice straw biochar treatment, SBT)와 목초액을 단독 투입한 처리구(wood vinegar treatment, VT), 바이오차와 목초액을 혼합 투입한 처리구(rice husk biochar + wood vinegar treatment, HBVT; rice straw biochar + wood vinegar treatment, SBVT)로 설정하였다. 무기질 비료는 잎들깨 노지재배 표준시비처방기준에 준하여 N-P₂O₅-K₂O를 200-43-92 kg·ha⁻¹로 하여 모든 처리구에 동일한 양을 사용하였다(NAAS, 2019). 또한 무기질 비료는 기비(60-43-37 kg·ha⁻¹)와 추비(70-0-27.5 kg·ha⁻¹)로 총 3회에 걸쳐 분시하였으며, 바이오차는 기비 시 처리구에 따라 각각 토양의 중량 대비 1% (w·w⁻¹)을 처리하였다. 목초액은 주 1회 100 mL씩 총 1,000 mL를 처리하였다.

Sample analysis

토양의 화학적 특성은 pH, EC (electrical conductivity), T-C (total carbon contents), T-H (total hydrogen contents), T-N (total nitrogen contents), NH₄⁺ contents, NO₃⁻ contents, Av. P₂O₅ (available phosphate contents), exchangeable cations (Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺)를 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1 : 5 (w·v⁻¹)의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 Benchtop Meter with pH and EC (ORION™ Versa Star Pro™, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)로 측정하였다. T-C와 T-N의 경우 CHN Analyzer (TruSpec Micro, Leco, Michigan, USA)를 이용하여 측정하였다. NH₄⁺ contents와 NO₃⁻ contents는 2 M KCl로 침출한 후 각각 Indophenol법과 Brucine법을 이용하여 UV/Vis-spectrophotometer (GENESYS 50 UV-Visible spectrometer, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)로 분석하였다. Av. P₂O₅는 UV/Vis-spectrophotometer로 Lancaster법을 이용하여 분석하였다. Exchangeable cations (Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺)은 pH 7.0으로 교정한 1 M NH₄OA_c로 침출한 시료를 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer, ICAP 7000series ICP spectrometer, Thermo Scientific Inc., Waltham, Massachusetts, USA)를 이용하여 분석하였다.

바이오차의 특성은 pH, EC, T-C, T-H, T-N, T-P₂O₅ (total phosphate contents), Inorganic contents (MgO, CaO, Na₂O, K₂O)를 분석하였다. pH와 EC는 시료를 1 : 10 (w·v⁻¹)의 비율로 혼합한 뒤 진탕하여 Benchtop Meter with pH and EC로 측정하였으며, T-C와 T-H, T-N은 CHN Analyzer로 측정하였다. T-P₂O₅와 Inorganic contents (MgO, CaO, Na₂O, K₂O)는 Nitric acid와 Perchloric - Nitric acid 용액으로 분해한 후 ICP-OES로 분석하였다.

목초액의 특성은 pH, EC, NH₄⁺ contents, NO₃⁻ contents, T-P₂O₅, K₂O contents를 분석하였다. 목초액은 1 : 500 (v·v⁻¹)의 비율로 희석한 후 분석을 진행하였으며, pH와 EC는 Benchtop Meter with pH and EC로 측정하였다. NH₄⁺ contents와 NO₃⁻ contents는 UV/Vis-spectrophotometer를 이용하여 각각 Indophenol법과 Brucine법을 사용하였으며, T-P₂O₅, K₂O contents는 ICP-OES로 분석하였다.

작물의 생육 차이는 수확 후 생육조사를 통해 평가하였으며, 줄기와 잎을 분리하여 수행하였다. 조사 항목은 줄기 중량, 줄기의 마디 수, 줄기의 두께, 줄기의 길이, 엽중량, 엽수, 엽폭, 엽장, 엽록소 함량(chlorophyll content)이며, Choi와 Park (2005)에서 수행된 내용과 연구조사분석기준(NAAS, 2012)을 참고하여 수행하였다. 줄기와 잎의 중량은 수분이 날아가는 것을 고려하여 가장 먼저 조사하였으며, 줄기와 잎을 분리한 후 각각 측정하였다. 줄기의 마디 수는 잎이 자란 부위를 모두 고려하였으며, 줄기의 두께는 하단의 가장 두꺼운 부분을 Vernier calipers (Mitutoyo, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 줄기의 길이는 줄자를 이용하여 뿌리의 절단 부분부터 가장 긴 길이를 측정하였다. 엽수는 1 cm 이상의 모든 잎을 측정하였고, 그중 상위 3개 잎을 선정하여 엽폭과 엽장을 측정하였다. 엽록소 함량은 MINOLTA Chlorophyll meter (SPAD-502, Konica Minolta, Tokyo, Japan)을 이용하였으며, 상위 3개 잎을 3반복 측정하였다.

Statistical analysis

실험 결과는 모두 3반복 평균값으로 나타내었으며, 그에 따라 SPSS (IBM SPSS Statistics version 26, New York, USA)를 이용하여 처리구간 통계적 유의차를 확인하고자 하였다. 통계 분석은 95% 신뢰수준에서 ANOVA를 수행하였으며, 사후분석으로 Duncan의 multiple range test를 이용하였다.

Results and Discussion

Effect of amendments on soil quality

재배 후 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 토양 pH는 실험 전 토양의 pH 6.77에 비해 관행구에서 pH 5.73으로 가장 큰 감소폭을 나타내었으며, 볏짚 바이오차를 처리한 처리구(SBT, SBVT)에서 pH 6.93으로 가장 높게 증가하였다. 목초액을 단독 처리한 VT에서도 토양의 pH는 감소하여 pH 5.82를 나타내었으며, 이는 목초액을 1 : 500 (v·v⁻¹)의 비율로 희석하였음에도 상대적으로 낮은 pH (pH 3.35)를 나타내어 토양의 pH를 감소시킨 것으로 판단된다(Table 1). 또한 토양의 pH는 바이오차의 종류에 따라 달라지는 경향을 나타내었으며, 분석 결과는 왕겨 바이오차 시용에 비해 볏짚 바이오차 시용 시 토양 pH 상승에 더 기인하는 것을 나타내었다. 토양 내 EC는 UT를 제외한 모든 처리구에서 재배 후 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 볏짚 바이오차와 목초액을 혼합 처리한 SBVT에서 약 1.60 dS·m⁻¹로 가장 많이 증가하였다. 이외에도 CT, VT, SBT에서 각각 1.51, 1.23, 1.41 dS·m⁻¹로 EC가 1.0 dS·m⁻¹ 이상으로 증가하였다. 바이오차 처리에 따른 토양 EC 증가는 여러 선행연구에서 입증되었으며, 주로 회분 내 함유되어있는 알칼리성 물질에 의한 것으로 알려져 있다(Raison, 1979; Cantrell et al., 2012; Oh et al., 2014; 2017; Lee et al., 2018). 본 연구에서는 바이오차뿐만 아니라 목초액도 토양 EC 증가에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 토양 T-C의 경우 왕겨 바이오차를 처리한 처리구(HBT, HBVT)에서 각각 2.70, 2.63%로 유의하게 증가하였으며, 실험 전 토양의 0.53%에 비해 5배 이상 증가하였다. 볏짚 바이오차를 처리하였을 때에도 토양 T-C는 증가하였지만 다른 처리구와 통계적 유의차를 나타내지 않았다. 이는 볏짚 바이오차에 비해 왕겨 바이오차가 토양 T-C 증가에 더 기인함을 나타내었으며, 바이오차에 의한 토양 내 T-C 증가는 여러 문헌을 통해 확인되었다(Han et al., 2011; Woo, 2013; Park et al., 2019). T-H는 모든 처리구에서 실험 전 토양(0.56%)과 유사한 결과를 나타내었으며, 그 중에서도 SBT가 0.60%으로 소폭 증가하였다. 토양 T-N은 모든 처리구에서 증가하였으며, 특히 HBT에서 0.28%로 실험 전 토양에 비해 약 7배 가량 증가하였다. NH₄⁺ 함량과 NO₃⁻ 함량은 가장 높은 T-N을 나타낸 HBT에서 각각 18.74, 93.68 mg·kg⁻¹으로 가장 높게 나타났으며, UT에서 각각 6.09, 30.43 mg·kg⁻¹으로 가장 낮은 결과를 나타내었다. 또한 무기태질소(NH₄⁺, NO₃⁻)의 함량 분석을 통해 HBVT는 UT에 비해 토양 내 높은 무기태질소의 함량으로 인해

작물이 이용할 수 있는 양분이 많아 생육에 유리할 것으로 판단하였다. Av. P₂O₅는 UT를 제외한 모든 처리구에서 증가하였으며, HBT에서 약 140.91 mg·kg⁻¹으로 가장 많이 증가하였다. 또한 CT와 VT를 비교 시 CT에 비해 VT에서 토양 내 잔류하는 Av. P₂O₅ 함량이 증가하였으며, 이는 목초액 처리를 통해 토양 내 Av. P₂O₅ 함량을 증가시킬 수 있음을 시사하였다. 치환성 Mg²⁺ 및 Ca²⁺, Na⁺, K⁺은 재배 후 모든 처리구에서 증가하는 경향을 나타내었다. 앞선 선행 연구의 보고에 의하면 작물 재배 시 바이오차와 목초액의 투입은 토양의 물리성을 개선하고, 유기물 함량을 증진시켜 작물 생육에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다(Jusoh et al., 2021).

Table 2. Chemical properties of the soil amended with biochar and wood vinegar.

| Treatment | UT | CT | VT | HBT | SBT | HBVT | SBVT |
|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| pH (1 : 5, D.H ₂ O) | 6.63 ± 0.02a | 5.73 ± 0.14b | 5.82 ± 0.31b | 6.72 ± 0.48a | 6.93 ± 0.35a | 6.60 ± 0.04a | 6.93 ± 0.39a |
| EC (dS·m ⁻¹) | 0.33 ± 0.03c | 1.54 ± 0.23ab | 1.23 ± 0.36ab | 0.91 ± 0.16abc | 1.41 ± 0.30ab | 0.81 ± 0.46bc | 1.60 ± 0.78a |
| T-C (%) | 0.49 ± 0.06b | 0.56 ± 0.07b | 0.56 ± 0.06b | 2.70 ± 1.12a | 1.29 ± 0.28b | 2.63 ± 0.48a | 1.28 ± 0.30b |
| T-H (%) | 0.56 ± 0.03a | 0.58 ± 0.02a | 0.58 ± 0.05a | 0.59 ± 0.00a | 0.60 ± 0.06a | 0.56 ± 0.01a | 0.56 ± 0.02a |
| T-N (%) | 0.13 ± 0.07b | 0.19 ± 0.09a | 0.12 ± 0.01b | 0.28 ± 0.15a | 0.14 ± 0.02b | 0.10 ± 0.00b | 0.15 ± 0.03b |
| NH ₄ ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 6.09 ± 3.00b | 13.64 ± 3.52ab | 11.52 ± 5.59ab | 18.74 ± 11.16a | 11.25 ± 1.16ab | 8.40 ± 3.51b | 9.43 ± 2.10ab |
| NO ₃ ⁻ (mg·kg ⁻¹) | 30.43 ± 15.02b | 68.22 ± 17.61ab | 57.61 ± 27.95ab | 93.68 ± 55.78a | 56.24 ± 5.82ab | 41.98 ± 17.57b | 47.16 ± 10.51ab |
| Av. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹) | 61.60 ± 2.02e | 73.72 ± 4.84de | 81.31 ± 4.20cde | 140.91 ± 39.79a | 107.67 ± 7.35bc | 120.15 ± 17.11ab | 97.87 ± 14.04bcd |
| Mg ²⁺ (mg·kg ⁻¹) | 79.44 ± 0.04bc | 85.68 ± 0.03a | 85.92 ± 0.02a | 75.12 ± 0.08cd | 84.72 ± 0.04ab | 73.68 ± 0.25d | 84.48 ± 0.17ab |
| Ca ²⁺ (mg·kg ⁻¹) | 268.80 ± 0.15a | 280.00 ± 0.12a | 275.20 ± 0.11a | 231.20 ± 0.14b | 278.00 ± 0.18a | 230.40 ± 0.44b | 280.40 ± 0.09a |
| Na ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 26.56 ± 0.22a | 22.90 ± 0.02a | 22.44 ± 0.01b | 22.44 ± 0.02b | 22.67 ± 0.01b | 22.67 ± 0.03b | 23.13 ± 0.05ab |
| K ⁺ (mg·kg ⁻¹) | 23.46 ± 0.02d | 25.02 ± 0.03cd | 27.76 ± 0.14cd | 34.41 ± 0.12bc | 43.01 ± 0.28ab | 32.45 ± 0.04cd | 49.27 ± 0.12a |

UT, untreated unit; CT, customary unit; VT, unit treated with wood vinegar; HBT, unit treated with rice husk biochar; SBT, unit treated with rice straw biochar; HBVT, unit treated with rice husk biochar and wood vinegar; SBVT, unit treated with rice straw biochar and wood vinegar; D.H₂O, distilled water; EC, electrical conductivity; T-C, total carbon content; T-H, total hydrogen content; T-N, total nitrogen content; Av. P₂O₅, available phosphate.

a - e: Different small letters indicate significant difference of the stem characteristics among different units, which was determined by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Effect of soil amendments on growth of perilla

작물 줄기 부분의 생육을 평가한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 줄기의 중량은 SBVT에서 약 17.09 g으로 생육이 가장 좋았지만 UT (2.83 g)를 제외한 모든 처리구 사이의 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 단독 처리한 처리구 내에서는 비록 통계적 유의차는 나타나지 않았지만 목초액 처리(VT)에 비해 바이오차 처리(HBT, SBT)가 줄기 생육에 긍정적인 영향을 미침을 확인하였다. 줄기의 마디 수는 모든 처리구가 CT의 5.00개와 거의 유사한 경향을 나타내었으며, UT와 VT는 4.33개로 CT에 비해 소폭 낮게 관측되었다. 줄기의 두께의 경우 CT (7.52 mm)에 비해 모든 처리구에서 증가하였으며, 특히 HBVT와 SBVT에서 각각 8.41, 8.35 mm로 가장 좋은 생육을 나타내었다. 하지만 UT를 제외한 모든 처리구간 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 줄기의 길이는 다른 조사 항목과 유사하게 UT (155.67 mm)를 제외한 모든 처리구간 통계적 유의차는 나타나지 않았으며, CT의 231.00 mm에 비해 HBVT와 SBVT의 생육이 각각 261.67 mm와 271.50 mm로 가장 뛰어났다. 잎들께 줄기 부위의 생육은 바이오차와 목초액을 혼합하여 공급한 HBVT와 SBVT에서 가장 뛰어났으며, 그 중에서도 SBVT의 생육이 HBVT에 비해 우수하였다. 또한 본 연구의 결과를 통해 바이오차의 경우 단독 처리만으로도 생육 증진을 유도할 수 있었지만 목초액은 단독 투입 시 줄기 생육에 큰 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 그에 따라 목초액은 바이오차와 함께 활용하였을 때 작물증진효과가 더 크다고 판단하였다.

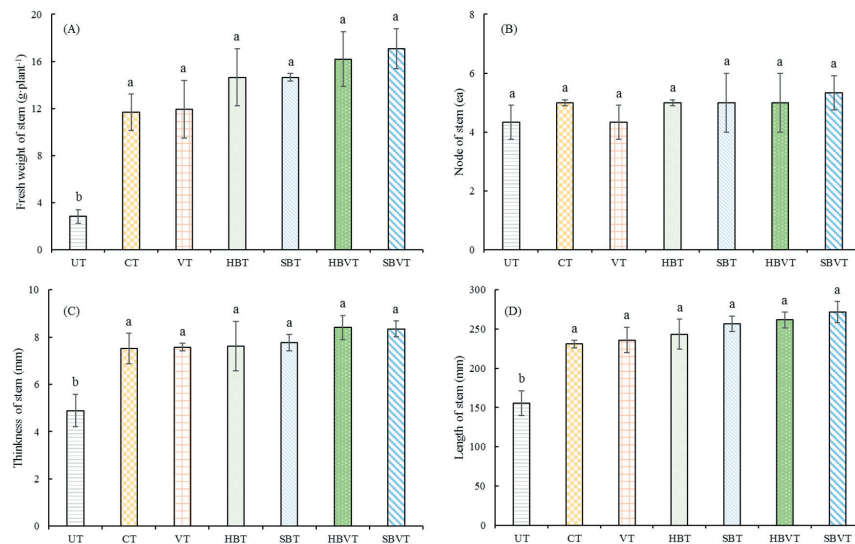


Fig. 1. Effect of biochar and wood vinegar addition on stem characteristics of perilla. (A) Fresh weight of stem, (B) node of stem, (C) thickness of stem, (D) length of stem. UT, untreated unit; CT, customary unit; VT, unit treated with wood vinegar; HBT, unit treated with rice husk biochar; SBT, unit treated with rice straw biochar; HBVT, unit treated with rice husk biochar and wood vinegar; SBVT, unit treated with rice straw biochar and wood vinegar. Error bars indicate standard deviations of the means ($n = 3$). a, b: Different small letters indicate significant difference of the stem characteristics among different treatments, which was determined by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

잎 부위의 생육을 조사한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 1 cm 이상의 잎을 모두 합한 무게는 SBVT에서 약 54.42 g으로 가장 높았으며, 이는 UT의 9.45 g에 비해 약 5.76배, CT의 41.30 g의 약 1.32배 증가하였다. 엽수는 HBT에서 62.50개로 가장 많았으며, UT에서 23.67개로 가장 저조한 생육을 나타내었다. 엽수의 경우 다른 조사 항목과는 다르게 왕겨 바이오차를 단독 처리한 HBT에서 가장 많았으며, UT를 제외한 다른 처리구 사이에서는 통계적 유의차가 나타나지 않았다. 엽폭은 CT의 167.00 mm에 비해 VT (96.78 mm)를 제외한 모든 처리구에서 증가하였으며, 그 중에서도 SBVT에서 약 178.89 mm로 가장 좋은 생육을 나타내었다. 엽장은 엽폭과 유사한 경향을 나타내었으며, UT에서 약 148.22 mm로 가장 저조한 생육을 나타내었고, HBVT에서 약 256.89 mm로 가장 좋은 생육을 나타내었다. 엽록소 함량의 경우 HBVT에서 약 46.53으로 가장 높았으며, UT에서 약 24.42로 가장 낮았다. 작물의 잎 부위의 생육은 HBVT와 SBVT에서 가장 생육이 좋았으며, 특히 HBVT의 생육이 가장 뛰어났다. 이는 줄기의 생육과 유사하게 바이오차와 목초액을 혼합하여 공급하는 것이 작물 생육에 가장 긍정적인 영향을 끼치며, 잎 부위에서는 목초액과 바이오차 각각을 단독 투입하였을 때에도 작물의 생육이 증진됨을 확인하였다. Pan 등(2017)은 바이오차와 목초액 투입에 따른 오이의 생육을 관찰하였으며, 바이오차와 목초액을 혼합하여 투입하였을 때 작물의 생육이 가장 좋았다고 보고하였다. Jusoh 등(2021)은 왕겨 바이오차와 목초액 투입에 따른 케나프의 생육 차이를 확인하였으며, 줄기나 뿌리에 비해 잎 부위에서 생육증진효과가 크게 나타났다고 보고하였다. 이에 따라 본 연구와 비교하였을 때 줄기의 생육은 통계적 유의차가 나타나지 않는 반면 잎의 수와 엽록소 함량에서 차이를 보였으며, 선행연구와 유사한 경향이었다. 이외에도 본 연구의 결과를 다른 선행연구의 보고와 비교하였을 때에도 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타내었다(Oh et al., 2017; Jang et al., 2018; Lee et al., 2018; Lee et al., 2020).

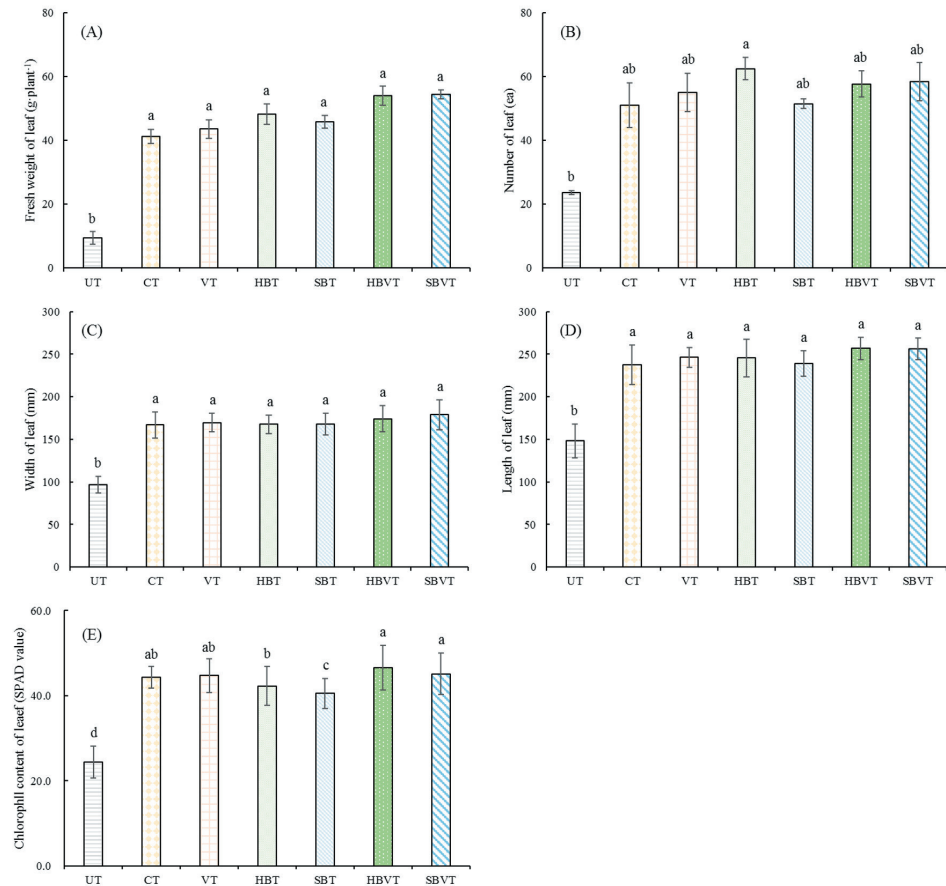


Fig. 2. Effect of biochar and wood vinegar addition on leaf characteristics of perilla. (A) Fresh weight of leaf, (B) number of leaf, (C) width of leaf, (D) length of leaf, (E) chlorophyll content of leaf. UT, untreated unit; CT, customary unit; VT, unit treated with wood vinegar; HBT, unit treated with rice husk biochar; SBT, unit treated with rice straw biochar; HBVT, unit treated with rice husk biochar and wood vinegar; SBVT, unit treated with rice straw biochar and wood vinegar. Error bars indicate standard deviations of the means ($n = 3$). a - d: Different small letters indicate significant difference of the leaf characteristics among different treatments, which was determined by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Conclusion

본 연구는 바이오차와 목초액의 단독 및 혼합 처리가 잎들개의 생육과 토질에 미치는 영향을 평가하였다. 작물의 생육은 지상부를 줄기와 잎으로 구분하여 각각 평가하였다. 작물의 줄기 생육은 벧짚바이오차와 목초액을 혼합 처리구에서 가장 좋았다. 특히 줄기의 무게가 무처리구에 비해 5배 이상 증가하였으며, 수확량과 직접적으로 연결될 수 있는 마디 수도 1.2배 증가하였다. 잎의 생육은 왕겨 바이오차와 목초액 처리구에서 가장 뛰어났으며, 무처리구와 비교하였을 때 최종 수확한 잎을 모두 합한 중량에서 약 5.7배로 가장 큰 차이를 나타내었다. 토질 변화를 확인하기 위한 토양의 화학적 특성을 분석한 결과에서는 무기질 비료만 처리한 CT와 목초액을 단독 처리한 VT는 각각 pH 5.73과 pH 5.82로 감소하였으며, 바이오차를 처리한 처리구에서는 실험 전 토양에 비해 증가하는 경향을 나타내었다. 바이오차 처리 시 작물이 이용할 수 있는 무기태질소인 NH_4^+ 함량과 NO_3^- 함량이 유의하게 증가하였다. 또한 왕겨 바이오차 처리구와 왕겨 바이오차와 목초액 처리구의 토양 내 탄소 함량은 각각 2.70, 2.63%로 증가하였으며, 무처리구의 0.49%에 비해 5배 이상 증가하였다.

따라서 작물 재배 시 무기질비료와 함께 바이오차와 목초액을 혼합 처리하는 것이 같은 면적 대비 높은 생산성을 기대할 수 있을 것이며, 줄기 부위의 생육 증진을 위해서는 볏짚 바이오차를 처리하는 것이 유리하며, 잎 부위의 생육을 증진시키기 위해서는 왕겨 바이오차를 처리하는 것이 생육 증진에 유리할 것으로 사료된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Authors Information

Yun-Gu Kang, <https://orcid.org/0000-0001-5368-5910>

Nam-Ho Kim, Chungnam National University, Undergraduate student

Jun-Ho Kim, Chungnam National University, Undergraduate student

Da-Hee Ko, Chungnam National University, Undergraduate student

Jae-Han Lee, <https://orcid.org/0000-0001-5761-2006>

Jin-Hyuk Chun, <https://orcid.org/0000-0002-3802-6834>

Taek-Keun Oh, <https://orcid.org/0000-0003-0215-0427>

References

- An NH, Lee SM, Cho JR, Lee CR. 2019. Estimation of agricultural by-products and investigation on nutrient contents for alternatives of imported oil-cakes. *Journal of Korean Organic Resources Recycling Association* 27:71-81. [in Korean]
- Cantrell KB, Hunt PG, Uchimiya M, Novak JM, Ro KS. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107:419-428.
- Choi JM, Park JY. 2005. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of leaf perilla (*Perilla Frutescens*) as influenced by nitrogen concentrations in the fertigation solution. *Journal of Bio-Environment Control* 14:365-371. [in Korean]
- Geon MG, Kim IS, Lee SC, Son TK, Shim GY, Kim JN. 2005. Effects of pyroligneous acid on control of large patch in Zoysiagrass. *Asian Journal of Turfgrass Science* 19:73-83. [in Korean]
- Grewal A, Abbey L, Gunupuru LR. 2018. Production, prospects and potential application of pyroligneous acid in agriculture. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 135:152-159.
- Han JH, Seo DC, Kang SW, Choi IK, Jeon WT, Kang UG, Kang SJ, Heo JS, Kim SD, Cho JS. 2011. Evaluation of fertilizer value of biochars using water plants. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44:794-800. [in Korean]
- Jang JE, Lim GJ, Park JS, Shim JM, Kang CS, Hong SS. 2018. Application effects of biochar derived from pruned stems of pear tree on growth of crops and soil physico-chemical properties. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association* 26:11-19. [in Korean]
- Jung SJ, Oh JS, Seok WY, Cho MY, Seo JB. 2007. The effect of chitosan and wood vinegar treatment on the growth of eggplant and leaf lettuce. *Korean Journal of Organic Agriculture* 15:437-452. [in Korean]
- Jung SJ, Oh JS, Seok WY, Kim JW, Kim DH, Jung YB. 2006. Effect of chitosan, wood vinegar and EM on microorganism in soil and early growth to tomato. *Korean Journal of Organic Agriculture* 14:433-443. [in Korean]

- Jusoh MF, Xin LJ, Ywih CH, Abdullah PS, Radzi NM, Abidin MAZ, Muttalib MFA. 2021. Effect of wood vinegar and rice husk biochar on soil properties and growth performances of immature kenaf (*Hibiscus cannabinus*) planted on BRIS soil. *Journal of Tropical Resources and Sustainable Science* 9:48-57.
- Kang YG, Lee JH, Chun JH, Oh TK. 2021a. Adsorption characteristics of NH_4^+ by biochar derived from rice and maize residue. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 40:161-168. [in Korean]
- Kang YG, Lee JY, Chun JH, Lee JH, Yun YU, Oh TK. 2021b. Adsorption characteristics of $\text{NH}_4\text{-N}$ by biochar derived from pine needles. *Korean Journal of Agricultural Science* 48:589-596. [in Korean]
- Lashari MS, Ye Y, Ji H, Li L, Kibue GW, Lu H, Zheng J, Pan G. 2015. Biochar-manure compost in conjunction with pyrolytic solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: A 2-year field experiment. *Journal of Science of Food and Agriculture* 95:1321-1327.
- Lee JH, Luyima D, Ahn JY, Park SY, Choi BS, Oh TK. 2019. Effect of different biochar formulations on the growth of cherry tomatoes. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:931-939. [in Korean]
- Lee JH, Seong CJ, Kang SS, Lee HC, Kim SH, Lim JS, Kim JH, Yoo JH, Park JH, Oh TK. 2018. Effect of different types of biochar on the growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). *Korean Journal of Agricultural Science* 45:197-203. [in Korean]
- Lee JK, Park HJ, Cha SJ, Park JH. 2020. Effect of pyrolytic acid on soil enzyme activity and plant growth. *Journal of Korean Society of Soil Sciences and Fertilizer* 1:80. [in Korean]
- Liu L, Guo X, Wang S, Li L, Zeng Y, Liu G. 2018. Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 150:270-279.
- Lu H, Lashari MS, Liu X, Ji H, Li L, Zheng J, Kibue GW, Joseph S, Pan G. 2015. Changes in soil microbial community structure and enzyme activity with amendment of biochar-manure compost and pyrolytic solution in a saline soil from central China. *European Journal of Soil Biology* 70:67-76.
- NAAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2012. Research and analysis criteria for crops. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- NAAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2019. Recommendation of the amount of fertilizer for crops. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]
- Oh TK, Lee JH, Kim SH, Lee HC. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). *Korean Journal of Agricultural Science* 44:359-365. [in Korean]
- Oh TK, Shinogi Y, Lee SJ, Choi B. 2014. Utilization of biochar impregnated with anaerobically digested slurry as slow-release fertilizer. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177:97-103.
- Pan X, Zhang Y, Wang X, Liu G. 2017. Effect of adding biochar with wood vinegar on the growth of cucumber. *Journal of Earth and Environmental Science* 61:012149.
- Park DG, Hong SG, Jang E, Shin JD. 2019. Assessment of an optimum biochar application rate for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation. *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association* 27:39-48. [in Korean]
- Park SY, Choi HY, Kang YG, Park SJ, Luyima D, Lee JH, Oh TK. 2020. Evaluation of ammonia (NH_3) emissions from soil amended with rice hull biochar. *Korean Journal of Agricultural Science* 47:1049-1056. [in Korean]
- Raison RJ. 1979. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: A review. *Plant and Soil* 51:73-108.
- Simma B, Polthanee A, Goggi AS, Siri B, Promkhambut A, Caragea PC. 2017. Wood vinegar seed priming improves yield and suppresses weeds in dryland direct-seeding rice under rainfed production. *Agronomy for Sustainable Development* 37:56.
- Sun H, Feng Y, Ji Y, Shi W, Yang L, Xing B. 2018. N_2O and CH_4 emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. *Atmospheric Environment* 185:153-158.
- Woo SH. 2013. Biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technology* 19:201-211. [in Korean]
- Woo SH. 2021. Application examples of climate change response in agriculture and forestry using biochar. *World Agricultural Reports* 16:39-51. [in Korean]

- Woolf D, Amonette JE, Street-Perrott FA, Lehmann J, Joseph S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1:56.
- Zhang Y, Wang X, Liu B, Liu Q, Zheng H, You X, Sun K, Luo X, Li F. 2020. Comparative study of individual and co-application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Chemosphere* 246:125699.