

Research Article



CrossMark

Open Access

바이오차의 시용이 채소 유묘 생장 및 양분 흡수량에 미치는 영향

홍성창*, 유선영, 김경식, 이규현, 송새눈

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과

Effects of Biochar on Early Growth and Nutrient Content of Vegetable Seedlings

Sung-Chang Hong*, Seon-Young Yu, Kyeong-Sik Kim, Gyu-Hyun Lee and Sae-Nun Song (Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 2 January 2020/ Revised: 7 February 2020/ Accepted: 23 March 2020

Copyright © 2019 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

Sung-Chang Hong
<https://orcid.org/0000-0002-9042-1284>

Kyeong-Sik Kim
<https://orcid.org/0000-0002-1463-8617>

Sae-Nun Song
<https://orcid.org/0000-0003-0617-339X>

Seon-Young Yu
<https://orcid.org/0000-0002-8514-1712>

Gyu-Hyun Lee
<https://orcid.org/0000-0003-1872-427X>

Abstract

BACKGROUND: Biochar is used in various environmental fields, such as water quality and soil restoration, and affects soil fertility and nutrient cycling. Also, when crops are grown on biochar-applied soil, their characteristics may be affected. Biochar is used especially with commercial vegetable seedlings.

METHODS AND RESULTS: The objective of this study was to determine the effects of biochar content in seeding mixes on early growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.), Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.), and red pepper (*Capsicum annuum* L.). Treatments consisted of a control (0: 10, ratio of biochar to seeding mixes (w/w)), 1: 9 (biochar 10%), 3: 7 (biochar 30%), 5: 5 (biochar 50%), and 7: 3 (biochar 70%). The biochar was made from risk husk and had a C/N ratio of 104. As the mixing ratio of biochar

increased, pH increased whereas EC and nitrogen content decreased. The highest phosphorus content was with the treatment of 30% biochar, while there were significant increases in the weight of lettuce seedlings and concentrations of T-N, P₂O₅, K₂O, MgO, and Na with the treatments of 30% and 50% biochar. Although the weight of Chinese cabbage seedlings increased with the treatment of 10% biochar, the increase was not statistically significant. Also, there was an increase in the weight of red pepper seedlings with the treatment of 30% biochar, but the increase was not statistically significant. With increases in the biochar mixing ratio, the K₂O concentration of red pepper seedlings increased, but the concentrations of P₂O₅, CaO, MgO, and Na decreased. It was believed that this was because of absorption inhibition by calcium-phosphate formation in the seeding mixes owing to increased pH.

CONCLUSION: In conclusion, adding biochar to seeding mixes is considered to be an important mean for growing healthy vegetable seedlings. More field experiments are needed to verify the effect of biochar on vegetable crop

*Corresponding author: Sung-Chang Hong
Phone: +82-63-238-2501; Fax: +82-63-238-3825;
E-mail: schongcb@naver.com

growth over the entire growing season.

Key words: Biochar, Chinese cabbage, Lettuce, Red pepper, Seedling

서 론

바이오매스(biomass)와 차콜(charcoal)의 합성어로 바이오차(biochar)는 생물성 소재를 고온, 저산소 조건에서 연소시킨 것으로 숯가루를 말한다. 바이오차는 다공성의 변성이 쉽게 되지 않는 탄소골격으로 이루어져 독특한 물리적, 화학적 특성이 있다. 바이오차는 농업분야에서 토양비옥도와 작물생육에 대한 영향 등에 대해 다양하게 검토되어 왔는데 특히 2000년대 들어 탄소격리에 의한 기후변화 완화를 위한 연구 등이 수행되어 왔다. 바이오차는 토양 산성도를 낮추고, 양이온치환용량을 높이며 양분용탈을 낮추고, 유기탄소 함량과 양분함량을 높이고 토양 비옥도를 증진시키고 수목의 유묘 생장을 촉진시킨다고 하였다[1,2].

채소의 묘는 재배포장의 효율적 사용과 집약적인 관리를 위해 자가육묘하거나 유묘를 구입하여 재배한다. 유묘기의 식물체는 다양한 환경과 육묘배지 환경에 따라 유묘기간의 생장이 크게 영향을 받는다. 유묘기의 묘의 상태는 본포에 정식 후의 생장과 발육 뿐 아니라 수확대상물의 생산량과 품질에 큰 영향을 끼치므로 건설한 유묘의 양성은 매우 중요하다. 육묘를 위해서는 다양한 상토가 사용되며 다양한 원예작물 전용 배지가 생산 및 유통되고 있다. 상토는 묘를 키우는 배지로서 유기물 또는 무기물을 혼합하여 제조한 것으로 상토는 대상작물에 따라 수도용 상토, 원예용 상토 등 용도에 따라 조성분이 다양하게 제조되어 판매 및 사용되고 있다. 따라서 본 연구는 바이오차를 원예용 상토의 혼합이 채소 유묘의 생장과 양분 흡수량에 미치는 영향을 검토하고 그 활용 가능성을 검토하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

바이오차와 상토 혼합 처리

본 연구는 2018년 1월 부터 5월 까지 전북 전주의 국립농

업과학원에서 수행하였다. 시험에 사용한 바이오차는 왕겨바이오차를 사용하였다(주)유기산업), 이 바이오차는 하향식 가스화방식으로 탄화온도는 300~500°C 에서 제조되었다(Table 1). 상토는 원예용으로 사용되는 상토(바로커, (주)서울바이오)를 사용하였다(Table 2). 채소 유묘의 육묘를 위해 사용되는 원예용 상토를 대조구로 상토의 비율을 100% 로 하였고, 채소 유묘의 생장에 미치는 바이오차의 혼합비율에 대한 영향을 평가하고 위하여 상토에 대한 바이오차 비율(w/w)을 10%, 30%, 50%, 70% 로 혼합한 후 혼합상토의 이화학적 특성을 분석하였다. 바이오차와 상토 혼합배지의 이화학적은 상토의 공정분석법에 준하여 분석하였다(농진청 고시 제2019-11호).

유묘 생장과 무기성분 함량

바이오차와 원예용 상토의 배합비율을 달리한 채소 유묘 재배용 배지를 조성한 후 50 공 플라스틱 다공포트에 균일하게 충전한 후 상추(적측면상추)는 2018년 1월 4일, 고추는 (PR스마트) 2018년 월 6일, 배추는 2018년 5월 11일(진청배추)에 종자를 파종하였다. 파종 후 유리온실에서 균일하게 생육시킨 후 상추는 파종 후 60일 후, 배추는 파종 후 25일 후, 고추는 파종 90일 후 생육을 조사하였다. 생육은 초장, 엽수, 엽면적 등을 조사하였고 잎의 엽록소 함량은 SPAD 502(Japan, Minolta)를 이용하여 측정하였다. 식물체의 무기성분 분석을 위해 생육이 균일한 유묘의 지상부를 절단하여 건조기에서 60°C 에서 건조한 후 분석용 시료로 사용하였다. 식물체의 무기성분 분석은 국립농업과학원 토양 및 식물체분석법에 의거하여 T-N은 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법, 치환성 양이온은 유도결합플라즈마 분광광도계(Integra XMP, GBC, Australia)로 분석하였다(NIAS, 2000).

결과 및 고찰

바이오차 처리 혼합상토의 이화학적 특성

바이오차와 상토의 혼합배지의 이화학적성을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 혼합배지의 pH는 바이오차의 비율이 높아짐에 따라 증가하였고 바이오차의 혼합비율이 70% 인 BC 70% 처리구는 pH가 8.2까지 증가하였다. 본 시험에서 사용한 바이오차의 pH 9.6 이였고(Table 1). [3,4]는 바이오차는 주로

Table 1. Characteristics of biochar used in this study

pH (1:10)	EC (dS/m)	T-C (g/kg ⁻¹)	T-N (g/kg ⁻¹)	C/N
9.6	0.9	395.6	3.8	104

Table 2. Characteristics of seedling substrate used in this study

pH (1:5)	EC (dS/m)	CEC (mol ⁺ /kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)
5.5~7.0	0.65	35~55	250~350	200~350

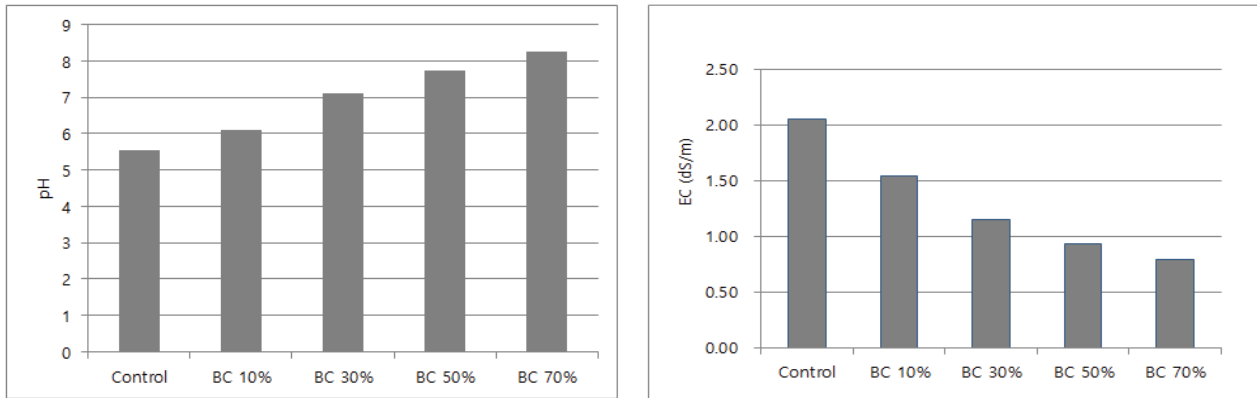


Fig. 1. Changes of pH and EC depend on biochar ratio to seeding mixes.

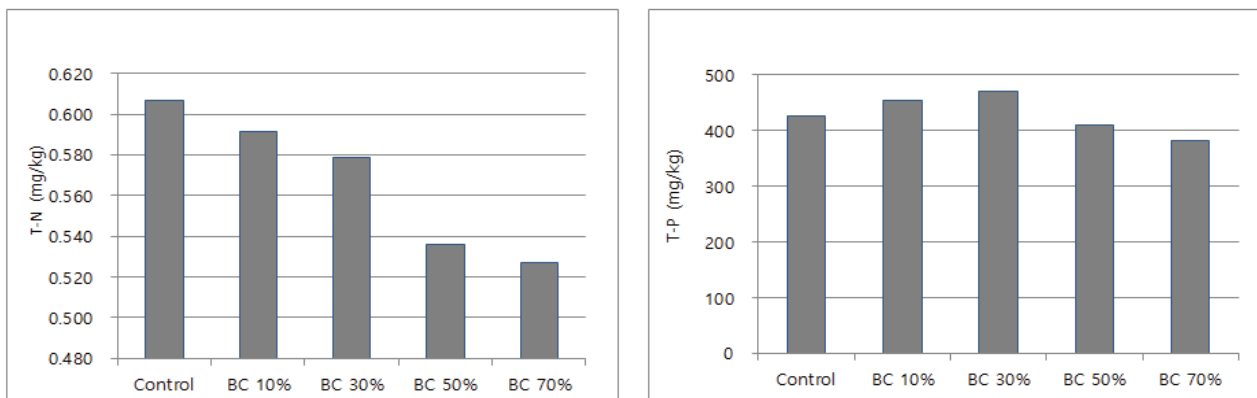


Fig. 2. Changes of T-N and T-P concentrations depend on biochar ratio to seeding mixes.

pH가 8~11 범위이며, 대부분 알칼리성을 나타내는 것으로 보고된 바 있다.

혼합배지의 EC는 바이오차의 비율이 높아짐에 따라 감소하였고 원예용 상토가 100% 인 대조구의 EC는 2.1 dS/m 였다. 바이오차의 혼합비율이 70% 인 BC 70% 처리구는 EC 는 0.8 dS/m 였다.

혼합배지의 총질소(T-N) 함량은 바이오차 혼합 비율이 높아짐에 따라 감소하였는데 원예용상토가 100% 인 대조구의 T-N 함량은 0.605 mg/kg, BC 30% 처리구는 0.580 mg/kg, BC 70% 처리구의 T-N 함량은 0.525 mg/kg 이었다. 혼합 배지의 총인산(T-P) 함량은 바이오차 혼합 비율이 높아짐에 따라 BC 30% 처리구 까지 증가하였고 BC 50%, BC 70% 처리구에서 낮아졌다.

처리별 파종후 1주일 간격으로 조사한 육묘트레이의 온도 (데이터 제시 안함)는 BC 70% 처리구, BC 50% 처리구가 대조구 보다 높게 4~5주간 경과하였다. 이것은 바이오차가 검정색을 띄어 갈색을 띄는 대조구 보다 태양광을 많이 흡수한 결과로 생각되고 이는 종자의 발아와 입묘 과정에 영향을 끼칠 수 있을 것으로 판단되었다. 실제 파종후 발아하여 상토 표면을 뚫고 나오는 발아 상태는 바이오차 비율이 높은 처리 구에서 다소 촉진되는 경향을 관찰할 수 있었다. 처리별 상토

의 온도는 유식물의 잎이 전개되어 상토 표면이 차광이 되면서 같은 수준으로 육묘 후기까지 유지되었다.

육묘의 생장특성과 무기성분 함량

바이오차와 상토의 혼합배지에 상추를 파종한 후 60일간 육묘하여 생육을 조사한 것은 Fig. 3과 Table 3과 같다. 바이오차 혼합 비율의 증가에 따라 상추의 건물중은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으나 대조구보다 증가하는 경향이였다.

상추의 생체중은 바이오차 50% 처리구에서 대조구보다 유의하게 증가하였다. 잎의 엽록소 함량의 지표로 사용되는 SPAD 수치는 바이오차 30% 혼합 처리구 부터 다소 증가하는 경향이였다. 건묘지수(HSI)는 대조구 보다 높았고 BC 30% 처리구에서 가장 높았다.

바이오차와 상토의 혼합배지에 상추를 파종하여 60일간 육묘한 후 무기성분을 분석한 것은 Fig. 4와 같다. 바이오차 함량이 30, 50, 70% 로 높아짐에 따라 상추의 N, P₂O₅, K₂O, MgO, Na 함량은 높아졌으나 CaO 함량은 증가하는 경향을 나타내지 않았다.

바이오차와 상토의 혼합배지에 배추를 파종한 후 25일간 육묘하여 생육을 조사한 것은 Fig. 5와 Table 4와 같다. 바이

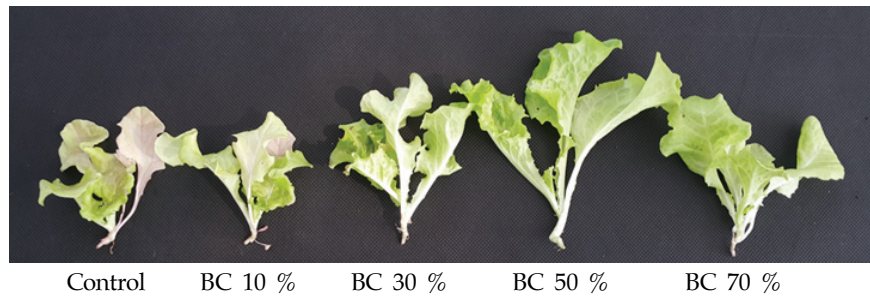


Fig. 3. Effect of biochar contents in seeding mixes on early growing of lettuce.

Table 3. Growing characteristics of lettuce seedlings on different biochar contents in seeding mixes

Treatments	plant height (cm)	Leaf number (No)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	SPAD	HSI
Control	9.1 c	4.4 b	1.13 b	0.15 ab	61 abc	6.6 b	16
Biochar 10%	9.2 bc	4.1 b	1.40 b	0.12 b	13 c	5.8 b	13
Biochar 30%	10.3 bc	4.8 ab	2.12 ab	0.32 a	79 ab	8.6 ab	20
Biochar 50%	15.2 a	5.3 a	3.03 a	0.20 ab	91 a	10.3 a	13
Biochar 70%	12.5 ab	5.5 a	1.95 b	0.11 b	29 bc	8.2 ab	9

The same letters in the columns show not significant differences by Duncan’s multiple range test, $P < 0.05$, HSI (healthy seedling index): dry weight/plant height

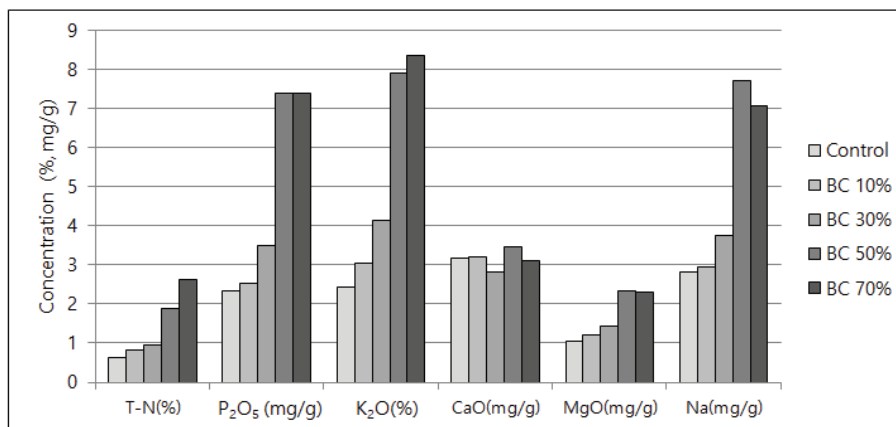


Fig. 4. Mineral component of lettuce seedlings 60 days after sowing on five different biochar ratio to seeding mixes.

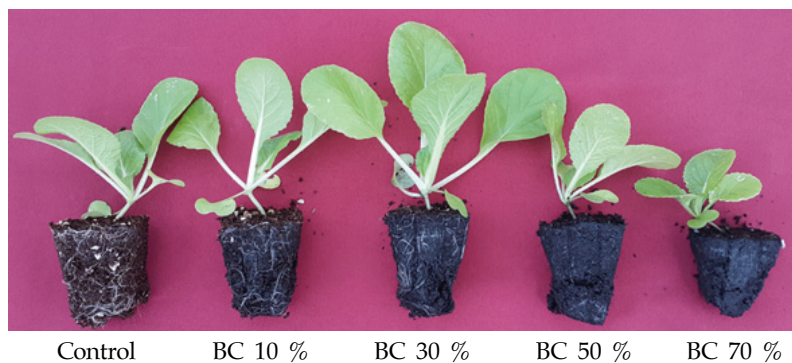


Fig. 5. Effect of biochar contents in seeding mixes on early growing of chinese cabbage (var. Jinchung).

Table 4. Growing characteristics of chinese cabbage (var. Jinchung) seedlings on different biochar contents in seeding mixes

Treatments	Plant height (cm)	Leaf number (No)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	SPAD	HSI
Control	8.5 ab	3.8 ab	1.35 ab	0.20 ab	55 abc	27.3 abc	24
Biochar 10%	10.5 a	4.2 a	2.27 a	0.30 a	90 ab	28.2 ab	29
Biochar 30%	10.8 a	4.2 a	2.37 a	0.24 a	93 a	29.5 a	22
Biochar 50%	7.6 b	3.4 bc	1.13 b	0.13 bc	52 bc	24.5 bc	17
Biochar 70%	6.4 b	3.1 c	0.83 b	0.10 c	39 c	23.0 c	16

The same letters in the columns show not significant differences by Duncan’s multiple range test, $P < 0.05$, HSI (healthy seedling index): dry weight/plant height

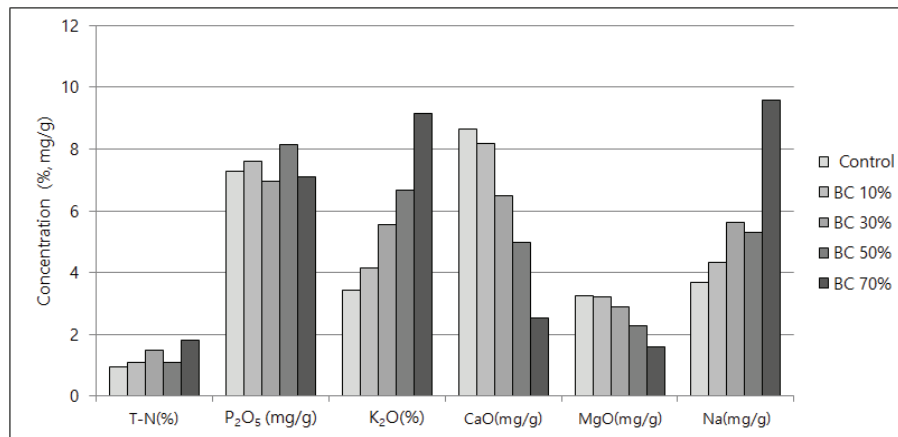


Fig. 6. Mineral component of red pepper seedlings (var. Jinchung) 90 days after sowing on five different biochar ratio to seeding mixes.

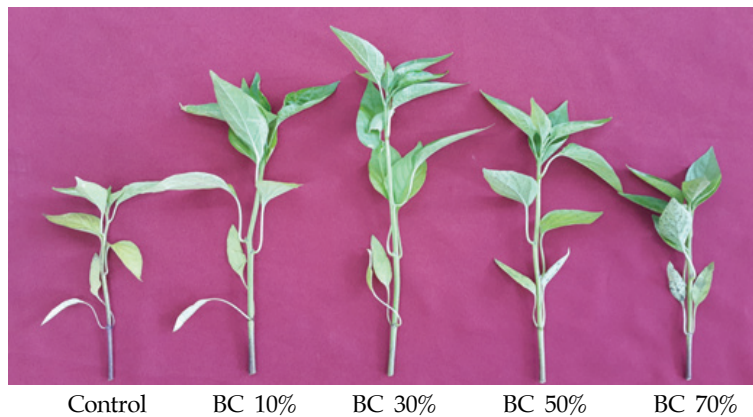


Fig. 7. Effect of biochar contents in seeding mixes on early growing of red pepper (var. PR smart).

오차 비율의 증가에 따라 배추의 건물중은 유의한 차이를 나타내지 않았으나 BC 10%, BC 30% 처리는 대조구보다 증가하는 경향이였다. 건물지수는 BC 10% 처리구에서 대조구보다 높았다.

바이오차와 상토의 혼합배지에 배추를 피종한 후 25일간 육묘하여 무기성분을 분석한 것은 Fig. 6과 같다. 배추의 무기성분 함량은 바이오차 비율이 30, 50, 70% 로 높아짐에 따

라 K₂O, Na의 함량은 높아졌다. 이에 반하여 CaO, MgO 함량은 바이오차 비율이 증가함에 따라 감소하였다. T-N과 P₂O₅ 함량은 바이오차의 함량에 따라 변화가 작았다.

바이오차와 상토의 혼합배지에 고추를 피종한 후 90일간 육묘하여 생육을 조사한 것은 Fig. 7과 Table 5와 같다. 배추의 초장, 엽수, 생체중, 건물중과 엽면적은 바이오차 혼합 비율의 증가에 따라 대조구 보다 BC 30% 처리구에서 가장 높았다.

Table 5. Growing characteristics of red pepper seedlings (var. PR-smart) on different biochar contents in seeding mixes

Treatments	Plant height (cm)	Leaf number (No)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	SPAD	HSI
Control	16.8 c	5.4 b	1.6 b	0.40 b	43 b	21.1 d	24
Biochar 10%	24.8 ab	7.3 a	3.2 ab	0.81 ab	91 ab	28.3 c	33
Biochar 30%	26.4 a	8.3 a	4.4 a	1.09 a	112 a	29.7 bc	41
Biochar 50%	21.4 abc	7.7 a	3.0 ab	0.75 ab	79 ab	34.2 a	35
Biochar 70%	17.0 bc	6.6 ab	2.0 b	0.50 b	50 b	33.8 ab	30

The same letters in the columns show not significant differences by Duncan's multiple range test, $P < 0.05$, HSI (healthy seedling index): dry weight/plant height

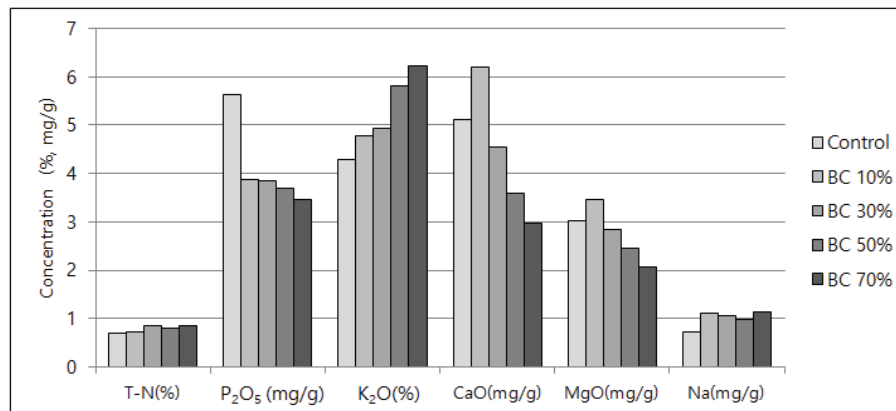


Fig. 8. Mineral component of red pepper seedlings (var. PR-smart) 90 days after sowing on five different biochar ratio to seeding mixes.

바이오차와 상토의 혼합배지에 고추를 파종한 후 90일간 육묘하여 무기성분을 분석한 것은 Fig. 8과 같다. 바이오차 비율이 30, 50, 70%로 높아짐에 따라 K₂O함량은 높아졌으나 CaO, MgO 함량은 바이오차 비율이 증가함에 따라 감소하였다. T-N과 Na 함량은 바이오차의 함량에 따라 변화가 작았다.

상추(Fig. 1 A), 배추(Fig. 1 B), 고추(Fig. 1 C) 육묘의 육묘 후 지상부 건물중과 바이오차 함량간의 상관관계를 나타낸 것은 Fig. 9와 같다. 또 Fig. 9로부터 채소 육묘의 건물중을 증가시키는 바이오차의 최대 혼합량은 상추 35%, 배추 10%, 고추는 35%로 각각 추정되었다.

Fig. 9의 결과는 상추와 배추, 고추 유식물의 육묘시 상토에 대한 바이오차의 비율이 10%, 30%에서 생육이 촉진적이고 건묘지수가 높았는데 이것은 바이오차의 토양 처리는 옥수수의 지상부, 지하부 성장량을 증가시키고 [5], 고무나무 목재 바이오차를 토양 무게의 2% (w/w)를 사용하면 파과 고무나무 식물의 육묘생장을 촉진시킨다는 [2]연구과 유사한 결과이다.

[6]은 작물의 수량증가, 양분흡수 증가는 대개 사용한 바이오차로부터 직접적으로 공급되는 K, P, Ca, Zn, Cu 양분의 공급에 의한 것이라고 했다. [7]은 축산퇴비나 하수오니를

원료로 제조되어 양분함량이 높은 바이오차는 산성에서 중성 토양, 거칠거나 중간 토양입자의 토양에서 바이오차의 가장 긍정적인 효과가 나타난다고 하였고 바이오차에 의한 작물 수량 증가 효과는 주로 바이오차에 의한 토양 산도를 완화, 토양수분 보유력 증진, 작물의 양분이용 효율을 높이는 효과에 의한 것이라고 하였고, [8,9]은 바이오차 사용으로 토양의 산성도를 낮추고 통기성을 향상키며 미생물 서식처 증가 작용을 통해 토양의 미생물 활성을 높이는데 매우 안정적인 바이오차라 하더라도 다소간의 생물학적으로 분해성 유기탄소를 함유하고 있다고 했다.

한편, [10,11]은 바이오차의 부정적인 효과도 있다고 하였는데, 부정적인 효과를 나타내는 이유는 바이오차의 C/N 특성에 의한 N 유효도 감소, pH 상승 작용 때문이라고 하였다.

특히, Fig. 8에서 고추 육묘의 식물체는 P₂O₅와 CaO 함량이 감소하였는데 이것은 pH 상승에 의해 CaO와 P₂O₅의 결합에 의한 침전으로 식물체내로의 흡수가 저해된 결과로 판단된다. 이것은 알칼리 용액에서 칼슘(calcium)은 인산(phosphate)과 가장 잘 반응하는 이온이며 pH 7.0 이상에서 칼슘 이온은 인산과 결합하여 calcium-phosphate를 형성한다는 [12,13]과 유사한 결과이다.

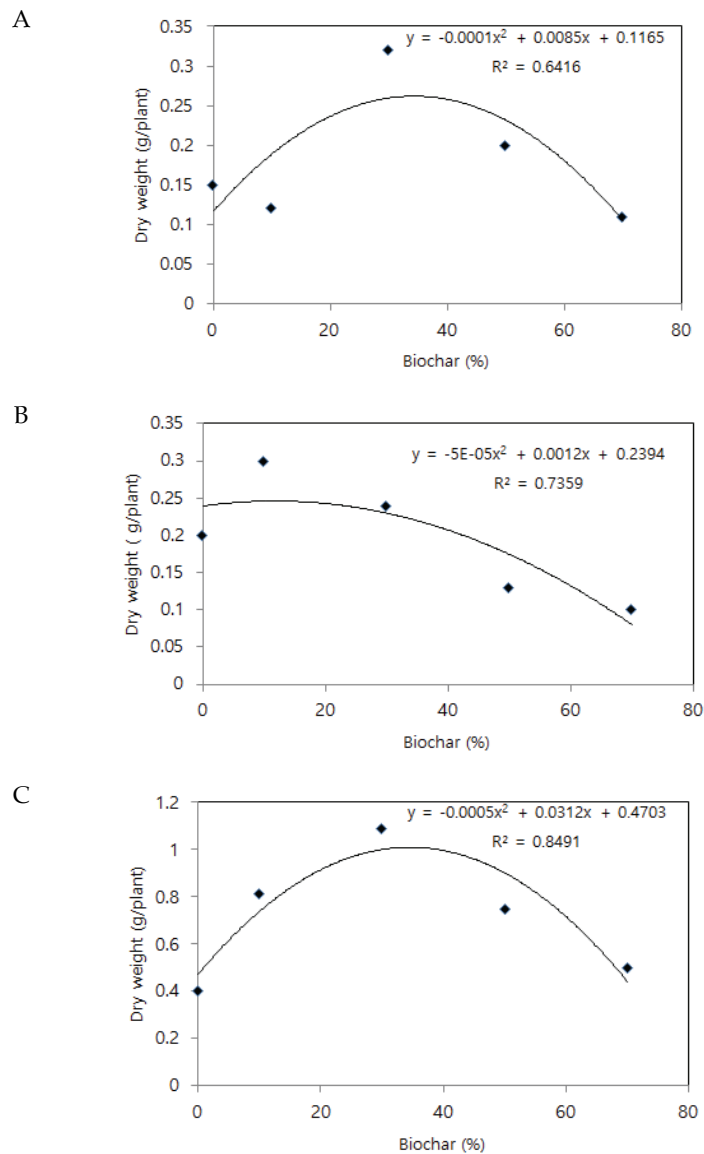


Fig. 9. Relationship between biochar content in seeding mixes and dry weight of lettuce(A), chinese cabbage(B), and red pepper(C) seedlings.

따라서, 채소 유묘에 사용하는 상토에 적절한 양의 바이오차를 혼합하여 육묘하면 유묘의 생육을 촉진시키고 묘소질을 향상시킬 수 있었으며 향후 포장시험을 통한 전 생육기간 동안의 바이오차의 사용 효과에 대해 검토할 필요성이 있다고 판단되었다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of

"Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ012546)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

1. Novak JM, Busscher WJ, Laird DL, Ahmedna M, Watts DW, Niandou MA (2009) Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112.
2. Dharmakeerthi RS, Chandrasiri JAS, Edirimanne VU (2012) Effect of rubber wood biochar on nutrition and

- growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *Springer Plus*, 1(1), 84.
3. Song W, Guo M (2012) Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 138-145.
 4. Guo M, Uchimiya SM, He Z (2016) Agricultural and environmental applications of biochar: Advances and barriers. pp. 495-504, *Soil Science Society of America, Inc., USA*.
 5. Zheng H, Wang Z, Deng X, Herbert S, Xing B (2013) Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 206(2013), 32-39.
 6. Lehmann J, da Silva JP, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B (2003) Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), 343-357.
 7. Jeffery S, Verheijen FG, van der Velde M, Bastos AC (2011) A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175-187.
 8. Kuzyakov Y, Bogomolova I, Glaser B (2014) Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific ^{14}C analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 229-236.
 9. Blackwell P, Shea S, Storer P, Solaiman Z, Kerkmans M, Stanley I (2007) Improving wheat production with deep banded oil mallee charcoal in Western Australia. In *International Agrichar Initiative Conference Terrigal New South Wales*, 1-24.
 10. Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1-2), 81-84.
 11. Kishimoto S (1985) Charcoal as a soil conditioner. In *Symposium on Forest Product Research, International Achievements for the Future*, 5, 12-23.
 12. Siebielec G, Ukalska-Jaruga A, Kidd P (2018) Bioavailability of trace elements in soils amended with high-phosphate materials. In *Phosphate in Soils*, pp. 254-285, CRC Press.
 13. da Silva Cerozi B, Fitzsimmons K (2016) The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution *Bioresource Technology*, 219, 778-781.