

배추재배 시 바이오차 펠릿 완효성 비료의 적정 시용량 구명

김희선^a, 윤석인^b, 장은숙^c, 신중두[†]

Investigation of an Optimum Application Rate of Blended Biochar Pellet as Slow Release Fertilizer during Cabbage Cultivation

HuiSeon Kim^a, SeokIn Yun^b, Eunsuk Jang^c, JungDu Shin[†]

(Received: Mar. 5, 2019 / Revised: Mar. 21, 2019 / Accepted: Mar. 21, 2019)

ABSTRACT: This experiment was conducted to select an optimum application rate of blended biochar pellet as slow release fertilizer during cabbage cultivation. The blended biochar pellet made with a combination(4:6) of biochar and pig manure compost with unloading N, P, K solutions for adjusting about 9% of total nitrogen(TN). The treatments were consisted of the control as recommended application rates for cabbage cultivation in National Institute of Agricultural Sciences, N 40%, N 40% and 0.07M MgO and N 60 % of the blended biochar pellet, respectively, based on nitrogen application of recommended rates to cabbage cultivation. Changes of NH₄-N, NO₃-N, P₂O₅ and K₂O concentrations in the soil and growth characteristic and yield components were investigated and observed during the cabbage cultivation. The experimental result shown that contents of NH₄-N, NO₃-N and K₂O of soil in the N 40% were significantly difference(p<0.01) with the control. P₂O₅ concentrations of soil in the N 40% were highest among the treatments. The fresh weight per cabbage in the N 40% was not significantly different(p>0.05) from the control, but in the N 40% and 0.07M MgO and N 60% was lower than that of the control. It was considered that an optimum blended biochar application rate for cabbage cultivation was 40% of recommended nitrogen application.

Keywords: Biochar pellet as slow release fertilizer, optimum application rate, cabbage

초 록: 본 연구의 목적은 배추재배 시 바이오차 펠릿 완효성 비료의 적정 시용량 구명을 위해 수행하였다. 바이오차 펠릿 완효성 비료는 돈분과 바이오차 혼합비(6 : 4)로 조제한 후 N : P : K 용액을 추가하여 총 질소 함량이 약 9%가 되도록 조제하였다. 본 시험의 처리는 대조구, 추천 질소 시비량의 바이오차 펠릿 완효성 비료 질소기준 40%(N 40%), 바이오차 펠릿 완효성 비료 질소기준 40% + 0.07M MgO(N 40% + 0.07M MgO)와 바이오차 펠릿 완효성 비료 질소기준 60%(N 60%) 시용구로 구성되어있다. 배추의 생육기간동안 토양 중 NH₄-N, NO₃-N, P₂O₅, K₂O의 농도 변화를 분석하였다. 실험 결과로서 토양중의 NH₄-N, NO₃-N, K₂O 함량은 대조구와 비교하여 N 40%처리구가 유의차를 보였다. 토양 중의 P₂O₅농도는 바이오차 펠릿 완효성 비료의 처리구들 중 N 40%가 가장 높았다. 배추의 생체중은 N 40% 처리구는

^a 국립농업과학원 기후변화생태과 대학원생(산학연) (Graduate student, National Academy of Agricultural Science, Rural Development administration) / 원광대학교 생물환경화학과 대학원생 (Graduate student, Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University)

^b 원광대학교 생물환경화학과 교수 (Professor, Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University)

^c 국립농업과학원 기후변화생태과 과장 (Chair, Department of Climate Change and Agro-ecology, National Institute of Agricultural Sciences)

^d 국립농업과학원 기후변화생태과 연구사 (Principal scientist, Department of Climate Change and Agro-ecology, National Institute of Agricultural Sciences)

† Corresponding author(e-mail: jdshin1@korea.kr)

대조구와 비교하여 유의적인 차이가 나지 않았으며($p>0.05$), N 40% + 0.07M MgO 처리구와 N 60% 처리구는 대조구에 비해 감소하였다. 농경지에서 배추재배 시 추천 질소 시비량 기준의 N 40%가 적정 시용량이라 판단된다.

주제어: 바이오차 펠렛형 완효성 비료, 적정 시용량, 배추

1. 서론

벼짚과 왕겨는 쌀 농업을 기반으로 하는 국내에서 발생하는 대표적인 농업 부산물로 연간 발생량은 약 601만 톤에 이른다¹⁾. 벼짚의 경우 수요와 공급이 활발하게 이루어지고 있는 반면, 왕겨의 경우 단순히 농업 폐기물로 여겨질 정도로 실질적인 이용이 적고 축산시설의 깔개(사용 후 퇴비화), 축분의 혼합제(퇴비화), 과수원의 잡초 제거제(자연퇴비화) 등에 이용되고 있다^{2,3)}. 최근 들어 농업부산물을 바이오차로 변환하여 버려지는 자원을 재사용 하는 연구가 수행되고 있다.

바이오차는 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 열분해하는 과정을 통해 얻을 수 있는 고체물질이다. 그 효과로는 탄소를 격리 및 온실가스를 저감, 토양 개량제로서 pH 증가, 보수력 증가, 이온교환 능력의 증가, 미생물 서식지 제공에 기인한다고 보고되어있다^{3,4)}.

그 중 왕겨는 식물성 원료 중에 인산함량과 암모니아태 질소 함량이 높다는 결과가 보고되었다⁵⁾. 왕겨바이오차는 토양투입에 따른 기존 토양의 유기탄소를 안정화 시키는 경향을 보였으며, 토양내 입단 형성 촉진이나 안정화로 이산화탄소 발생을 감소시킨다고 보고했다⁴⁾.

이 등(2018)은 Bead형 바이오차 처리구와 비교해 펠렛형 바이오차 처리구에서는 바이오차 처리 비율이 증가할수록 유기물 함량이 더 증가한다고 보고 하였다⁷⁾. 신 등(2018)에 의하면 돈분 혼합 Biochar pellet에서 바이오차 혼합 량에 따라 N, P, K 용출을 지연

시키며 다공성인 biochar는 혼합 비율이 증가할수록 더욱 더 느리게 용출한다는 결과를 보고하였다¹⁰⁾. 하지만, 많은 양의 Biochar가 투입되면 작근이 불리해지고, 작물 생육에 악영향을 미친다는 연구도 보고된바 있다^{7,9)}.

배추는 엽채소로 2018년 가을배추의 재배 면적은 13,313 ha, 단수는 9,997 kg 10a⁻¹으로 조사되었다. 가을배추의 생산량은 133만톤으로 전체 우리나라 엽채소 생산량대비 63%내외를 차지한다¹¹⁾. 바이오차 펠렛을 농경지에 적용하였을 때 식물의 생장 기간 동안 바이오차 펠렛형 완효성비료로부터 토양으로의 영양염 용출 속도를 조절하고 유실 없이 식물이 대부분 영양분의 이용여부에 대한 연구가 필요하다고 판단되었다.

따라서 본 연구는 배추재배 시 바이오차 펠렛형 완효성 비료의 적정 시용량 구명을 위해 수행 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시용한 재료의 이화학 성분

본 시험은 국립농업과학원 시험포장에서 채취하여 수행하였으며, 시험 전 토양과 돈분 퇴비와 바이오차에 대한 이화학 성분을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 바이오차 펠렛형 완효성 비료(특허 등록 번호 : 제 1889400호)는 돈분과 바이오차 (6 : 4)혼합비로 N : P : K 용액을 반응시켜 총 질소 함량이 약 9%가 되도록 조제하였다.

Table 1. Chemical Properties of the Soil Before Experiment

Soil type	NO ₃ -N	NH ₄ -N	PO ₄ -P	K ₂ O
 mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹
clay loam	3.6	25.4	91.0	20.0

Table 2. Chemical Components of Biochar and Pig Manure Compost*

Materials	pH	EC (d Sm ⁻¹)	TC g kg ⁻¹	TOC	TIC	TN
Biochar	9.8(1:20)	16.5	575.5	533	42.5	2
Pig manure	8.8(1:5)	3.4	288.8	258.6	30.2	29.1

*TC; Total carbon, TOC; Total organic carbon, TIC; Total inorganic, and TN; Total nitrogen

2.2. 처리 내용

본 연구는 국립농업과학원 시험포장에서 총 72일 동안 배추(추월)를 재배하면서 수행되었다. 재식거리 60×40 cm으로 하여 30일 육묘를 포장에 정식하였다. 분시험의 처리내용은 대조구, 추천 질소 시비량의 바이오차 펠렛형 완효성비료의 질소 40%(N 40%), 바이오차 펠렛형 완효성비료의 질소 40% + 0.07M MgO (N 40% + 0.07M MgO), 바이오차 펠렛형 완효성비료 질소기준 60%(N 60%) 시용구로 나누어 3반복 세구 배치법을 이용하였다.

대조구의 시비량은 N-P-K를 11.0-7.8-11.0 kg 10a⁻¹를 기비로 살포 하였고, 추비는 N(21.0 kg 10a⁻¹),와 K(8.8 kg 10a⁻¹)로 2회 분시 하였다. 돈분 퇴비는 330 kg 10a⁻¹를 전량 기비로 이용하였다. 바이오차 펠렛은 처리구별 시용량을 전량 처리구별 기비로 이용하였다.

배추 재배는 농촌진흥청 배추 표준 재배법에 준하여 재배하였으며, 배추의 생육조사는 수확후 구고, 구폭, 그리고 생체중을 반복 당 5주를 취하여 측정하였다.

2.3. 토양 화학 분석

바이오차 펠렛형 완효성비료 처리에 따라 처리구별로 주기적으로 토양 시료를 채취하여 토양의 화학성분을 분석하였다. 토양은 시험 전, 배추 정식 후 5일 간격으로 표토를 채취하였고, 배추 정식 10일 이후부터는 약 10일 간격으로 토양시료 3반복 채취하였다.

토양중의 NH₄-N, NO₃-N함량측정을 위해 습토 5 g에 2M KCl 25 ml를 삼각플라스크(100 ml)에 넣어주고 실온에서 30분간 교반기로 진탕(200 rpm)한 후 토양 침출액을 여과지(Whatman No. 2)로 여과하였다.

여과액 중의 NH₄-N 와 NO₃-N 함량은 EPA Method 350.2에 따라 UV Spectrophotometer 측정용 키트(ST-Ammonium, C-Mac, Korea)로 655 nm에서 측정하였다. EPA Method 350.2에 따라 UV Spectrophotometer 측정용 키트(ST-Ammonium, C-Mac, Korea)로 측정하였다. 토양중의 P₂O₅,와 K₂O 함량 측정을 위해 100 ml 삼각플라스크에 풍건 토양 2 g에 Melich 3 추출액 20 ml를 넣은 후 실온에서 교반기로 5분간 진탕(200 rpm)하고 여과지(Whatman No. 2)로 여과한 침출액을 이용하여 PO₄-P 및 K를 분석한 후 변환 수식을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

바이오차 펠렛형 완효성 비료시용에 따른 배추 재배기간 동안 토양 중의 NH₄-N과 NO₃-N농도의 함량 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 배추 재배기간 동안 토양 중의 NH₄-N 및 NO₃-N 농도 변화는 바이오차 펠렛형 완효성 비료의 처리량에 의해 영향을 많이 받은 것으로 나타났다(Fig. 1). 배추 정식 후 5일에 N 40% 처리구의 토양 중 NH₄-N 농도는 대조구에 비해 유의차가 인정되지 않았으나, N 60% 처리구는 다른 처리구와 비교하여 유의성(p<0.01) 있게 가장 높았다. 재배기간에 따른 토양중의 NH₄-N 농도 변화를 보면, 대조구의 NH₄-N 농도는 각각 배추 정식 후 18일, N 40% 처리구에서는 30일에 감소하는 경향이 있었으며, 그리고 N 60% 처리구에서는 배추 재배기간 동안에 꾸준히 감소하였다. N 60% 처리구에서 정식 후 토양중의 NH₄-N 농도는 173.1 mg kg⁻¹로 가장 높게 나왔지만, 정식 후 39일에는 2.4 mg kg⁻¹으로 제일 낮은 농도가 관측되었다(Fig. 1). 배추 정식 후 5일에 바이

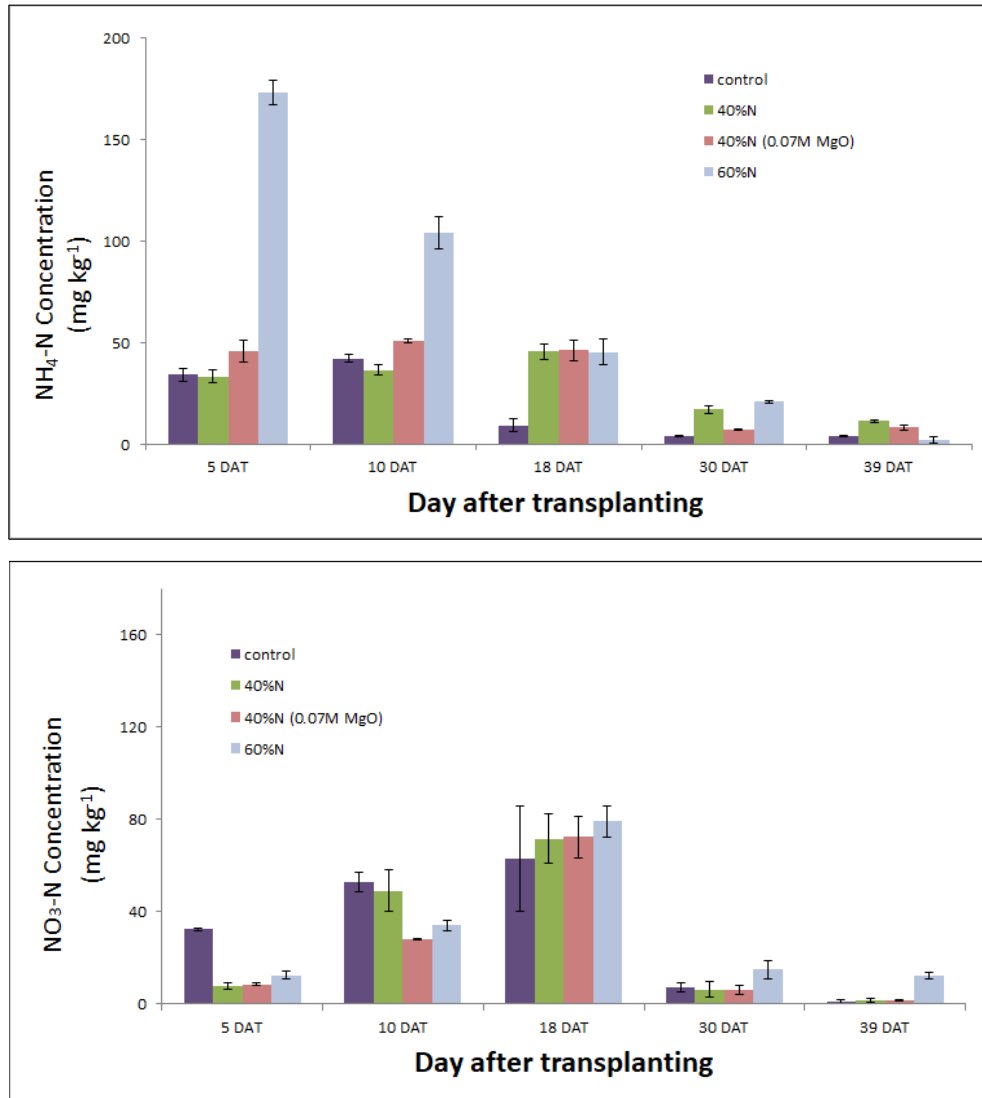


Fig. 1. Changes of NH₄-N and NO₃-N concentrations in the soil for the different treatments during cabbage cultivation. DAT; days after transplanting. Results are the mean of triplicates samples and error bars indicate standard deviation.

오차펠릿형 완효성비료 처리구의 토양 중 NO₃-N 농도는 대조구에 비해 유의적($p < 0.05$)으로 크게 낮았으며, 그 후 점차 증가하여 18일에는 대조구의 농도와 비슷하게 나타났다. 정식 후 30일에는 모든 처리구의 토양 중 NO₃-N 농도가 급격히 감소하였고, 다른 처리구에 비해 N 60% 처리구의 NO₃-N 농도는 높은 수준을 유지하였다.

기존 연구에서 바이오차 함량이 증가할수록 NH₄-N이 더 많이 흡착된다고 발표 하였으나¹⁰⁾, 본 연구에서 무기태 질소 농도는 2M KCl로 침출하였기에 바

이오차에 의한 NH₄-N의 흡착여부는 확인되지 않았지만, 토양 중 NO₃-N 농도에 크게 영향을 준다는 것을 확인하였다. 토양 중 무기태 질소의 농도는 식물 또는 미생물의 흡수에 의해 양이 변화될 수 있고, NH₄-N과 NO₃-N 사이의 농도 변화는 미생물에 매개된 질소 반응, 특히 질산화 반응에 의해 변화될 수 있다. 5일과 18일 사이에 무처리구에 비해 바이오차 처리구의 NO₃-N 농도가 크게 증가한 것은 질산화 미생물의 활성의 증가가 원인이거나 작물의 생육에 따라 NO₃-N의 흡수가 감소가 원인이 될 수 있다. 질

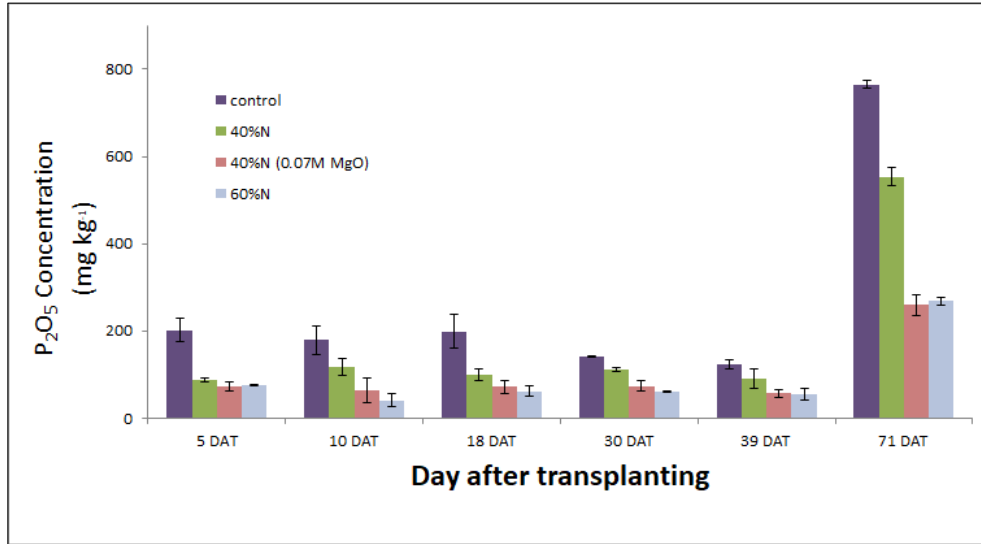
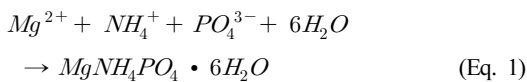


Fig. 2. Changes of P₂O₅ concentrations in the soil for the different treatments during cabbage cultivation. DAT; days after transplanting. Results are the mean of triplicates samples and error bars indicate standard deviation.

산화 과정과 작물의 질소 흡수에 대한 영향을 구분하기 위해 질산화 과정 연구가 더 필요하다.

배추 정식 30일 이후 토양 중의 P₂O₅ 농도는 N 40%+ 0.07M MgO 처리구와 N 60% 처리구와 비교하여 유의차가 인정 되었다(Fig. 2). 연구 결과 N 40%에 0.07M MgO를 첨가할 경우 인과 질소의 농도가 감소함을 볼 수 있었다. 이는 암모니아와 인이 결합하여 struvite 침전이 이루어지고, 토양 내에서 천천히 용해되는 것으로 판단된다¹²⁾. 이와 관련한 화학반응식은 Eq. 1과 같다.



배추 정식 5일차 대조구(202.3 mg kg⁻¹) > N 40% (88.1 mg kg⁻¹) > N 40%+ 0.07M MgO (80.0 mg kg⁻¹) > N 60%(75.0 mg kg⁻¹) 순으로 토양중의 P₂O₅ 함량이 높게 나왔다. 정식 후 배추 재배 기간 동안 토양중의 P₂O₅ 농도는 N 40% 처리구가 가장 높다. 이와 비교해서 배추 정식 10일 이후 N 60%처리구에서 지속적으로 낮게 관측 되었다. 신 등(2018)은 Biochar pellet는 다공성인 바이오차의 양을 많이 함유한 것일수록 더욱 느리게 NH₄-N을 용출한다고 발표했다¹⁰⁾. 따라

서 배추재배에서 추천 질소 시비기준 N 40% 처리구가 배추 재배기간 동안 최적의 영양분을 제공할 수 있다고 판단하였다. 또한 정식 71일에 토양 중의 P₂O₅ 함량이 급격하게 증가되었는데 대해서는 연구가 더 필요하다고 사료된다.

토양중의 K₂O의 농도는 5일차에는 처리간에 유의차가 인정되지 않았지만, 정식 후 18일에는 바이오차 펠릿 완효성 비료 N 40%+ 0.07M MgO처리구와 N 60% 처리구에서 각각 27.8 g kg⁻¹과 15.3 g kg⁻¹으로 대조구와 비교하여 증가하였다(Fig. 3). 배추정식 39일 후 대조구, N 40% 처리구, N 40%+ 0.07M MgO 처리구에서 각각 17.2 g kg⁻¹, 51.5 g kg⁻¹, 20.0 g kg⁻¹으로 대조구보다 높게 관측되었으며, N 40% 처리구가 가장 높은 농도를 보였다. 본 연구 결과는 바이오차가 열분해 시 무기양분(K, Ca, Mg등)이 농축되어 토양에 처리됨에 따라 농도가 증가한 것으로 판단 된다¹³⁾.

바이오차 펠릿형 완효성 비료 처리에 따른 배추 생육 반응에 대해 Table 3과 Fig. 4에 나타내었다. 초장은 대조구가 다른 처리구에 비해 가장 높게 나타나, 초기생육에 있어서는 속효성 비료에 의한 작물 생육 효과가 큰 것으로 판단되었다. 배추 수확 시 수량구성 요소로서 구고, 구폭의 길이 측정 결과 대

조구가 각각 28.8±0.8 cm, 20.1±1.2 cm로 가장 높게 측정되었으며, 배추의 생체중은 N 40 처리구는 대조구와 비교하여 유의차이 (p>0.05)가 인정되지 않았다.

이 등 (2018)은 바이오차의 함량이 높을수록 작물 생육이 저조하다고 발표하였다⁷⁾. 오 등 (2017)은 바

이오차의 처리량이 증가할수록 토양의 적정 pH범위 (6.0-6.5)를 더욱 초과하기 때문에 배추생육에 좋지 않은 영향을 미친다고 보고하였다⁸⁾. 또한 과량의 Biochar가 투입되면 밀도가 낮은 Biochar로 인해 작물의 뿌리 활착이 불리하고 높은 탄소함량과 낮은 양분함량으로 인해 C/N률이 증가되어 작물의 양분이용 능력이

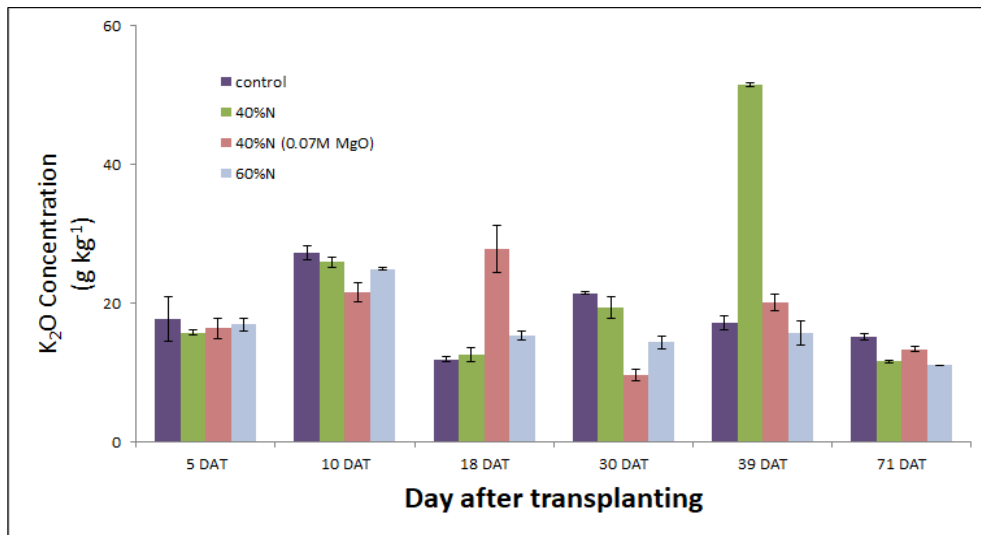


Fig. 3. Changes of K₂O concentrations in the soil for the different treatments during cabbage cultivation. DAT; days after transplanting. Results are the mean of triplicates samples and error bars indicate standard deviation.



Fig. 4. Comparisons of cabbage growth responses to different treatments.

Table 3. Cabbage Growth Responses to the Treatments

Parameters	Units	Control	N 40%	N 40% + 0.07M MgO	N 60%
Plant height	cm	35.8 ± 1.7	25.2 ± 0.6	17.3 ± 2.6	19.3 ± 2.8
Head	Height	28.8 ± 0.8	25.5 ± 1.1	21.8 ± 0.7	22.8 ± 1.6
	Width	20.1 ± 1.2	18.7 ± 0.3	17.4 ± 0.7	17.6 ± 0.6
Plant fresh weight	kg plant ⁻¹	3.7 ± 0.4	3.3 ± 0.4	2.6 ± 0.2	2.8 ± 0.3

The values are represented mean of 15 samples with standard errors.

감소 할 수 있다고 발표 한바 있다⁹⁾. 이상의 결과로 미루어 볼 때 배추 재배 시 추천질소 시비기준 바이오차 펠렛형 완효성 비료 최적 시용량은 N 40% 이었다.

4. 결론

본 연구는 배추재배에 따른 바이오차 펠렛형 완효성 비료 적정 시용량을 구명 하였다. 왕겨를 이용하여 제조한 바이오차 펠렛형 완효성 비료를 사용하여 배추 재배 시, 추천 질소시비기준 N 40% 처리구에서 가장 좋은 생육을 보였다. 배추 재배기간 동안의 토양의 화학적 특성 변화를 비교하였을 때 토양중의 P₂O₅를 제외한 NO₃-N 농도, NH₄-N 농도, K₂O 농도가 대조구와 큰 차이가 없는 경향을 보였다. 이는 바이오차 펠렛형 완효성 비료가 배추 수량을 감소시키지 않으면서 친환경적인 역할을 할 수 있을 거라고 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구과제 (Project No. PJ013814012018)로 수행되었음을 감사하게 생각합니다.

References

1. Lee, C. G., Lee, S. L., Joo, S. Y., Cho, L. H., Park, S. Y., Lee, S. H., Oh, K. C., and Kim, D., "A Study on Agricultural by-products for Biomass-to-energy Conversion and Korean Collecting Model", *New & Renewable Energy*, 13(1), pp. 27~35. (2017).
2. Park, S. J., Kim, M. H., and Shin, H. M., "Chemical Compositions and Thermal Characteristics of Rice Husk and Rice Husk Ash in Korea", *J. of Biosystems Eng.*, 30(4), pp. 235~241. (2005).
3. Woo, S. H., "Biochar for soil carbon sequestration", *Clean Technology.*, 19(3), pp. 201-211. (2013).
4. Kim, M. H., and Kim, G. H., "Analysis of environmental impacts for the biochar production and soil application", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, 36(7), pp. 461~468. (2014).
5. Lim, T. J., Hong, S. D., Kang, S. B., and Park, J. M., "evaluation of the Preplant optimum application rates of pig slurry composting biofiltration for chinese cabbage", *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 27(4), pp. 572~577. (2009).
6. Yoo, G. Y., Son, Y. G., Lee, S. H., Lee, Y. Y. and Lee, S. H., "Greenhouse gas emissions from soils amended with biochar", *Kor. J. Environ. Biol.*, 31(4), pp. 471~477. (2013).
7. Lee, J. H., Seong, C. J., Kang, S. S., Lee, H. C., Kim, S. H., Lim, J. S., Kim, J. H., Yoo, J. H., Park, J. H., and Oh, T. K., "Effect of different types of biochar on the growth of chinese cabbage", *Korean Journal of Agricultural Science*, 45(2), pp. 197~203. (2018).
8. Oh, T. K., Lee, J. H., Kim, S. H., and Lee, H. C., "Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*)", *KJOAS*, 44(3), pp. 359~365. (2017).
9. Kang, S. W., Kim, S. H., Park, J. H., Seo, D. C., and Cho, J. S., "Selection of optimal application condition of corn waste biochar for improvement of corn growth and soil fertility", *Kor. J. Soil. Sci. Fert.*, 50(5), pp. 452~461. (2017).
10. Shin, J. D., and Park, S. W., "Optimization of blended biochar pellet by the use of nutrient releasing model", *Appl. Sci*, 8(11), pp. 2274~2286. (2018).
11. KREI (Korea Rural Economic Institute), *Vegetables with leaf and root, Agricultural observation*, 849, pp. 1~12. (2018).
12. Oh, S. E., Son, J. S., Ok, Y. S., and Joo, J. H., "A modified methodology of salt removal through flooding and drainage in a plastic film house soil", *Kor. J. Soil. Sci. Fert.*, 43(5), pp. 565~571. (2010).

13. Lim, J. E., Kim, H. W., Jeong, S. H., Lee, S. S., Yoang, J. E., Kim, K. H., and OK, Y. S., “Characterization of burcucumber biochar and its poteneial as an adsorbent for veterinary antibiotics in water”, *J Appl Biol Chem*, 57(1), pp. 65~72. (2014).