Growth Responses and Changes of Soil Chemical Properties with Application Rate of Supplemented Biochar pellet as Slow Release Fertilizer during Tomato Cultivation

Minjin Kim¹, Huiseon Kim¹, Seok-In Yun², Changkyu Lee³, Dogyun Park⁴, Myungsook Kim⁵, and JoungDu Shin^{6*}

¹Graduate Student, Relating with National Institute of Agricultural Sciences & Wonkwang University Collaboration, Korea

²Professor, Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

³Agricultural Researcher, Jellabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea

⁴Agricultural Technician, National Academy of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

⁵Principal Scientist, Department of Soil and Fertilizer Management, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

⁶Principal Scientist, Climate Change and Agro-ecology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: jdshin1@korea.kr

ABSTRACT

Received: June 30, 2020

Revised: August 11, 2020

Accepted: August 21, 2020

ORCID

JoungDu Shin

<https://orcid.org/0000-0002-5941-3438>

This experiment was conducted to select an optimum application rate of supplemented biochar pellet as slow release fertilizer during tomato cultivation. The supplemented biochar pellet was made through pellet mill placed with a combination (4:6) of biochar and pig manure compost with spraying the N-P-K solution. The treatments consisted of control as the recommended application rates of fertilizers and pig manure compost, N 40%, N 50% and N 70% of the supplemented biochar pellet application based on the recommended application rates of nitrogen. The highest nitrogen balance was 80.1% in the N 40%, while the highest carbon balance was 80.8% in the N 50% during tomato cultivation. Mehlich III extractable P_2O_5 contents in the N 50% was highest among the supplemented biochar pellet treatments. The highest stem diameter and plant height were 10.7 mm and 169.3 cm in the N 70% at 90 days after transplanting. The fresh weight of fruit was not significantly different between the control and N 50% treatment. Therefore, it might be considered that an optimum application rate was N 50% with considering chemical properties of soil and growth responses to application of supplemented biochar pellet during tomato cultivation.

Keywords: Biochar pellet, slow release fertilizer, optimum application rate, tomato cultivation

Responses of nitrogen balance to application of blended biochar pellets for tomato cultivation.

Treatments*	Input amounts of total nitrogen (g pot ⁻¹)	Residual amounts of total nitrogen (g pot ⁻¹)	Nitrogen balance
Control	6.2	7.0 ± 0.1	△ 12.9 ± 1.6
N 40%	5.3	4.2 ± 0.3	80.1 ± 5.7
N 50%	5.4	3.5 ± 0.3	63.5 ± 4.8
N 70%	5.8	8.6 ± 0.2	△ 47.5 ± 3.5

Introduction

질소(N), 인산(P), 칼륨(K)는 작물 생육에 있어 필수 영양소이며, 그중 질소는 결핍 시 백화현상으로 인해 엽색이 노랗게 되고, 과잉 시 병충해에 대한 저항성이 떨어져 생육이 지연되기 때문에 작물의 생산성과 품질에 중요한 역할을 한다(Raymond, 2011). 이런 관리의 어려움 때문에 농경지 및 작물에 맞는 투입량으로 질소를 시비하도록 관리하고 있지만, 연작으로 인해 질소를 포함한 염이 축적되어 과량이 토양에 잔류하게 된다. 또한, 질소 비료와 퇴비를 사용하게 되면 토양 내 유기태 질소가 NH_4^+ , NO_3^- , $(\text{NO})_x$ 로 이어지는 질소순환 과정을 거쳐 온실가스인 N_2O 로 배출된다(Pérez et al., 2010). 또한 우리나라에서 가장 많이 사용하는 질소 비료인 요소는 토양에서 빠르게 가수 분해되어 NH_3 가 생성되고, 이는 대기로 휘산 되기 때문에 많은 양의 질소 손실을 초래할 수 있다(Raymond, 2011). 때문에 화학 비료를 대체하고자 유기질 비료를 사용하거나 가축분 퇴비를 사용하여 화학 비료 사용량을 줄이려고 노력하고 있다. 더 나아가 완효성비료나 바이오매스 전환 산물을 이용한 토양 개량제를 이용하여 질소 이용 효율이 증가될 수 있다.

바이오매스는 살아있는 동·식·미생물의 유기물 또는 그로 인한 부산물로(Woo, 2013), 농경지에 유기물과 양분을 제공하고 토양의 물리·화학적 특성을 개량하는 데에 도움을 줄 수 있다. 바이오매스의 종류로는 농업 부산물, 나무, 쓰레기 등을 이용하여 제조한 것들이 있으며, 이 중 우리나라 농업으로 인한 바이오매스 생산량은 해마다 약 5,000만 톤 이상으로 추정 된다(MIFAFF, 2010). 그 중 왕겨는 벼에서 차지하는 비율이 20% 정도 임에도 불구하고 단순 농업 폐기물로 처리되고 있기에 실질적인 이용량은 적은 편이다(Park et al., 2005). 그러나 최근 이러한 왕겨를 바이오차로 제조하여 토양 개량제 및 온실가스 저감에 사용하는 연구가 증가하는 추세에 있다(Mohan et al., 2014; Lee et al., 2018).

바이오차란 바이오매스를 공기가 없는 상태에서 고온으로 열분해하여 생성되는 탄소 함량이 높은 물질로(Woo, 2013), 넓은 표면적과 다공성 구조 등의 물리적 특징을 가지고 있는 안정화된 방향족 화합물의 상태이기 때문에 화학 구조 때문에 생물학적 요인이나 환경적인 요인에 의해 쉽게 분해되지 않는 난분해성 물질이다(Lehmann et al., 2006; Seredych and Bandosz, 2007). 이러한 바이오차를 토양에 사용하게 되면 바이오차의 물리적 특성 때문에 퇴비의 부속을 촉진시키고(Beesley and Marmiroli, 2011), 바이오차가 토양과 섞여 토양 내 물 보수성을 높여 뿌리의 수분흡수를 도와주며(Chan et al., 2007; Asai et al., 2009), 미생물이 자생하는 공간을 제공하는 담체 역할을 하여 미생물 활성도를 증가시키기 때문이다(Laird et al., 2010). 또한 바이오차는 미생물에 의한 바이오매스 분해 시 발생하는 이산화탄소 배출을 근본적으로 차단하여 토양에 탄소를 저장시킴으로 탄소격리의 역할도 하며(Woo, 2013), 토양 유기물이 나 퇴비보다 원료물질에 따라 양이온과 음이온을 더 잘 흡착하여(Major, 2009) 중금속이나 유기 오염물질 등을 제거하는 흡착제 기능을 가지므로 토양 개량제로도 이용되고 있다(Tan et al., 2015). 또한 토양 개량제로 바이오차를 처리하여 콩과 잔디를 재배한 경우 N_2O 배출을 각각 50%와 80% 이상 감소시킨다고 하였다(Rondan et al., 2005). 이외에도 많은 기존 연구에서 비료를 기본으로 한 바이오차는 영양분 용출을 지연하여 농업이나 환경에 미치는 영향을 줄이는 데 기여하는 것으로 알려졌다지만, 바이오차의 사용 효과는 작물 마다 수확량이나 생산량이 다르며, 토양의 유기물 함량과 기상 조건 등 여러 가지 환경적 변수에 따라 효과가 다르게 나타났다(Jeffery et al., 2011). 이러한 연구를 검토하여, 유리온실에서 토마토 재배 시 바이오차를 토양 중량 대비로 처리하여 토마토 생육 및 탄소격리에 대해 실험한 결과 대조구와 비교하여 바이오차 처리구에서 토마토 생육이 더 좋았고, 탄소격리량과 질소 이용 효율 또한 더 높은 것으로 발표하였다(Park et al., 2019). 그러나 배추 재배 시 과량의 바이오차를 시비하게 되면 오히려 토양의 pH를 증가시켜 염기성을 띠게 하므로 배추 생육에 좋지 않았다고 기술하였다(Oh et al., 2017).

바이오차의 손실은 미립자 형태로 바람에 의한 영향을 많이 받기 때문에 사용 시 30%는 공기 중으로 날아가고,

25%가량은 집중 호우 시 유거수에 의해 손실된다 (Shin and Park, 2018). 특히 시비할 때 비산에 의해 사람의 코나 입으로 들어가게 되면 호흡기 관련 문제를 일으키는 단점도 있다 (Shin and Park, 2018). 이러한 문제점에 대해 돈분 퇴비와 바이오차를 혼합하여 만든 돈분 바이오차 펠렛 형태는 바람에 의한 손실을 줄일 뿐만 아니라, 돈분 퇴비보다 펠렛형 돈분 퇴비가 NH_4^+ -N를 더 천천히 용출 시킨다고 하였다 (Shin et al, 2018). 따라서 혼합형 바이오차 펠렛을 이용한 결과 작물을 재배하는 동안 양분을 이용할 수 있도록 서서히 방출하기 때문에 손실을 최소화한다고 하였고 (Shin and Park, 2018), 바이오차와 돈분 퇴비 혼합비에 따른 작물 생육에 관한 연구 결과 돈분과 바이오차 혼합비 (6:4) 처리구에서 상추 수량이 11% 증수되었다 (Shin et al., 2018). 이와 비슷한 연구로 배추 재배 시 돈분 퇴비와 바이오차의 혼합비 (6:4)로 바이오차 펠렛 완효성 비료를 제조하여 추천 질소 사용량 기준으로 60%로 시비하였을 때, 바이오차 펠렛 처리구에서 대조구보다 토양 중의 NO_3 -N의 농도는 천천히 감소하였고, 배추 수량은 대조구와 비교하여 유의한 차이가 없었다고 발표하였다 (Kim et al., 2019).

이러한 기존 연구를 살펴본 결과 토마토 재배 시 바이오차 펠렛 완효성 비료의 적정 사용량 구명이 필요하다고 판단되었다. 따라서 본 연구는 토마토 재배에서 바이오차 펠렛형 완효성 비료의 사용량에 따른 토양 내 질소와 탄소 Balance, 토마토 생육에 대한 영향을 분석하여 적정 처리량을 구명하기 위하여 수행하였다.

Materials and Methods

공시 재료의 이화학성 본 연구는 국립농업과학원 유리온실에서 포트실험으로 시행하였으며, 왕겨에 8M KOH를 처리한 후 열분해하여 바이오차를 생산하였고, 돈분 퇴비와 바이오차는 6:4로 혼합한 후 N-P-K 용액을 분사하여 펠렛 형태로 조제하였다. 시험 전 토양은 국립농업과학원 시험 포장에서 채취하였고, 시험 전 토양과 바이오차 펠렛형 완효성 비료에 대한 이화학성 성분을 Table 1에 나타내었다. 바이오차 펠렛형 완효성 비료의 전질소 함량은 92.94 g kg^{-1} 으로 나타났다 (Table 1).

토마토 포트 재배 관리 본 실험은 시판 중인 육묘 45일 된 완숙 토마토용 품종을 총 90일 동안 유리온실에서 재배하면서 시행되었다. 대조구는 포트 ($27 \times 27 \times 30 \text{ cm}$)의 가장 밑 부분에 5.3 kg의 토양을 채워 넣은 후 농촌진흥청의 토마토 표준 기비 사용량 기준으로 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ ($11.6\text{-}10.3\text{-}4.1 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)와 돈분 퇴비 ($440 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)를 토양과 잘 혼합하여 포트에 충전하였다. 질소와 가리는 2회에 걸쳐 절반은 기비로 시험 전 토양과 혼합하여 처리하였고, 추비는 질소 ($8.8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)와 가리 ($8.1 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)를 정식 후 60일에 시비하였다. 바이오차 펠렛형 완효성 비료는 총 질소 함량 대비 40% (7.76 g), 50% (9.70 g), 70% (13.58 g)로 전량 기비로 시험 전 토양과 혼합하여 충전하였고, 포트에 투입

Table 1. Physicochemical properties of soil and supplemented biochar pellet used in this study.

Characteristics	Soil texture	pH	$\text{EC}^{\dagger}$	$\text{TN}^{\ddagger}$	$\text{TC}^{\S}$
			dS m^{-1}	g kg^{-1}	
Soil	Clay loam	5.5 ± 0.04 (1 : 5)	7.9 ± 0.4	4.6 ± 0.08	3.63 ± 0.81
Biochar pellet	-	9.0 ± 0.03 (1 : 10)	0.9 ± 0.3	92.94 ± 0.2	1.1 ± 3.06

† EC : Electrical conductivity.

‡ TN: Total nitrogen.

§ TC: Total carbon.

Fig. 1. Changes of daily temperature and irrigation amounts during tomato cultivation in the greenhouse. DAT; days after transplant.

된 토양 총 무게는 9.9 kg이며, 3 반복 완전 임의배치법으로 수행하였다. 각 포트마다 점적관수 컨트롤러 (네타픽, 아쿠아프로)를 설치하여 하루 평균 90 mL를 물 주기 하였으며, 정식 30일 후부터 하루 평균 1.9 L를 관수 하였다. 오전 11시부터 1시까지 약 2시간 동안 유리 온실의 측창과 천장을 개방하여 환기시켰으며, 유리온실의 평균 온도를 27.5°C로 토마토 재배 적정온도인 25°C보다 약간 높은 수준으로 유지되었다 (Fig. 1).

시료 채취 및 토양 화학 분석 토양 시료는 각 포트별로 상위 표토를 약 1 cm 걷어낸 다음 토양 채취기 (Auger)를 사용하여 10 cm 깊이로 뿌리 주변을 피해 약 10 g 정도를 정식 후 15일까지 5일 간격으로 채취하였고, 정식 30일 후부터 약 30일 간격으로 2회 채취하였다. 토양은 무게를 측정한 후 건조기에서 60°C로 1 - 2일간 건조시켜 수분함량을 분석한 후 2 mm 체에 걸렀다. pH와 EC는 100 mL 삼각플라스크에 체 거름한 건조한 토양 5 g과 증류수 25 mL를 가하여 항온 진탕기 (JP/NTS-3000 EYELA Japan)에서 30분간 200 rpm으로 진탕한 후, pH, EC meter (Orion 4 star, Thermo scientific, USA)로 측정하였다. Mehlich III 추출성 P_2O_5 및 K_2O 는 100 mL 삼각플라스크에 체 거름한 토양 4 g과 Mehlich III 추출액 40 mL를 넣고 항온진탕기 (JP/NTS-3000 EYELA Japan)로 5분간 200 rpm으로 진탕한 후 여과지 (Whatman No. 2)로 여과한 침출액을 UV Spectrophotometer를 사용하여 측정용 키트 (C-Mac, Korea)로 분석한 후 변환 수식을 이용하여 계산하였다. 총 질소 (TN, total nitrogen)와 총 탄소 (TC, total carbon)는 체 거름한 토양을 도가니로 마쇄한 후 캔에 350mg씩 정량하여 원소분석기 (Vario EL II, Elementar, Germany)로 측정하였다.

질소 및 탄소 Balance 산정 돈분 퇴비를 혼합한 바이오차 펠렛형 완효성 비료 투입량에 따른 토양 내 질소 Balance를 산정하기 위해 다음 수식 (Eq. 1)을 이용하였다.

$$SNB = (\Delta LSTN \times SW) / ITN \quad (\text{Eq. 1})$$

SNB는 토양의 질소 Balance, $\Delta LSTN$ 은 수확 후 토양의 총 질소 함량의 변화, SW는 포트에 투입된 토양의 총 무게, ITN은 포트에 투입된 시험 전 총질소의 양이다.

또한, 탄소 Balance를 산정하기 위해 다음 수식 (Eq. 2)을 이용하였다.

$$\text{SCB} = (\Delta\text{LSTC} \times \text{SW}) / \text{ITCN} \quad (\text{Eq. 2})$$

SCB는 토양의 탄소 Balance, ΔLSTC 는 수확 후 토양의 총 탄소 함량의 변화, SW는 포트에 투입된 토양의 총 무게, ITCN는 포트에 투입된 시험 전 총탄소의 양이다.

토마토 생육 효과 바이오차 펠렛 완효성 비료 사용 비율에 따른 토마토 생육 특성에 미치는 영향을 구명하기 위해, 초장, 줄기 굵기 및 총 수량을 조사하였다. 토마토 과실 중은 수확시기별로 토마토를 수확한 후 처리 별로 합산하여 주당 과일 무게로 나타내었다. 처리 간에 토마토 생육 효과를 구명하기 위해 표준편차 ($p < 0.05$)를 이용하였다.

Results and Discussion

토양의 질소 및 탄소 Balance 바이오차 펠렛 완효성 비료를 사용한 토양의 질소 Balance를 수식 (Eq. 1)을 이용 산정하여 Table 2에 나타내었다. 그 결과 바이오차 펠렛 N 40% 처리구에서 80.1%로 가장 높게 나타났으며, N 50% 처리구에서 63.5%로 나타났다.

Glaser and Lehmann (2002)은 과량의 바이오차를 투입 시 양분 흡착 능력 때문에 작물의 양분이용능력이 저하된다는 점을 고려할 때, 대조구와 N 70% 처리구를 보면 실험 전 포트에 투입한 질소량보다 수확 후 포트에 남아있는 양이 더 많았으며, 질소 Balance 또한 12.9% - 47.5% 초과하였다. 이러한 현상은 토마토가 이용할 수 있는 적정 질소량보다 과잉 존재하며, 바이오매스 증가에 영향을 미친다고 판단된다.

토마토 전체 생육 기간 동안 P_2O_5 의 농도는 전체적으로 대조구에서 평균 2.6 g kg^{-1} 으로 가장 높게 유지되었으며, 바이오차 펠렛 N 50% 처리구에서 평균 1.5 g kg^{-1} 으로 두 번째로 높은 값을 보였다 (Fig. 2). 바이오차를 처리할 경우 산성 토양 ($\text{pH} < 6$)에서 P 흡착능이 증가했지만, 알칼리 토양에서는 P 흡착능은 오히려 다소 감소하는 점 (Xu et al., 2014)을 고려하면, 바이오차 처리구보다 대조구에서 토양 중의 Mehlich III 추출성 P_2O_5 함량이 더 높게 나타난 이유는 초기에 투입한 인산 사용량이 많은데 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 토마토 재배 기간이 지남에 따라 농도가 점차 감소하는 경향을 보였으며, 처리 30일과 처리 60일에 대조구와 바이오차 펠렛 N 50% 처리구의 감소 폭을 비교해

Table 2. Responses of nitrogen balance to application of blended biochar pellets for tomato cultivation.

Treatments [†]	Input amounts of total nitrogen (g pot ⁻¹)	Residual amounts of total nitrogen (g pot ⁻¹)	Nitrogen balance
Control	6.2	7.0 ± 0.1	$\triangle 12.9 \pm 1.6$
N 40%	5.3	4.2 ± 0.3	80.1 ± 5.7
N 50%	5.4	3.5 ± 0.3	63.5 ± 4.8
N 70%	5.8	8.6 ± 0.2	$\triangle 47.5 \pm 3.5$

[†]N-40%, 50%, 70%; application amounts of supplemented biochar pellets based on recommended application rates of nitrogen for tomato cultivation by National Institute of Agricultural Sciences.

Mean values of three replications with standard deviations ($p < 0.05$).

보면, 각각 $2.8 - 1.6 \text{ g kg}^{-1}$ 에서 $1.7 - 1.1 \text{ g kg}^{-1}$ 로 바이오차 펠릿 처리구보다 대조구에서 약 2배 더 큰 폭으로 감소되었다.

토양 중의 Mehlich III 추출성 K_2O 농도는 처리 10일을 정점으로 토마토 재배 기간이 지남에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였으며 (Fig. 3), 처리 5일에 대조구와 바이오차 펠릿 N 40% 처리구에서 토양 중의 Mehlich III 추출성 K_2O 농도가 $13.0 - 9.4 \text{ g kg}^{-1}$ 로 농도차가 약 1/3배 정도 차이가 나는 반면, 처리 60일에는 $7.8 - 6.9 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 두 처리간에 농도차가 크지 않았다.

바이오차는 넓은 표면적을 가지고 있어 토양 내 양이온 및 음이온을 흡착하여 양분 보유 능에 기인하는 것으로 생각된다 (Han et al., 2014). 이러한 실험 결과를 고려하여, 토마토 재배 기간이 지남에 따라 토양 중의 Mehlich III 추출성 P_2O_5 와 K_2O 에서 대조구 보다 바이오차 펠릿 처리구의 농도가 더 천천히 감소하는 것은 바이오차 펠릿에 의한 양분보유능력 때문이라고 판단된다.

Fig. 2. Changes of Mehlich III extractable P_2O_5 contents in the soil incorporated with different ratios of supplemented biochar pellet during tomato cultivation. Mean values of three replications with standard deviations ($p < 0.05$). DAT; days after transplant.

Fig. 3. Changes of Mehlich III extractable K_2O contents in the soil incorporated with different ratios of biochar pellet during tomato cultivation. Mean values of three replications with standard deviations ($p < 0.05$). DAT; days after transplant.

토양 탄소는 유기물 분해 때문에 일부는 CO₂로 배출되고, 일부는 잔류물로 남아 토양에 저장된다. 또한, 저장된 탄소는 토양에서 반응하여 중 탄산염을 생성하고, 이것은 쉽게 용해되어 유거수에 의해 유출되거나, 일부는 다시 CO₂로 배출된다(Raymond, 2011). Shin et al. (2017)는 바이오차를 우분 또는 돈분 퇴비를 혼합하여 경작지에 처리한 결과, CO₂ 배출량은 바이오차와 돈분 퇴비를 혼합한 것이 7.24 MT ha⁻¹로 가장 적은 양의 CO₂ 배출로 탄소저장 가능성을 제기한 바 있다.

토양 내 바이오차 펠렛형 완효성 비료를 사용한 토양의 탄소 Balance는 수식 (Eq. 2)을 이용하여 산정하였다(Table 3). 그 결과 바이오차 펠렛 N 50% 처리구에서 80.8%로 가장 큰 값을 나타내었으며, 전체적으로 실험 전 탄소 투입량과 비교해 수확 후 포트에 남은 탄소량이 감소하였다. 대조구와 바이오차 펠렛 N 50% 처리구를 비교해보면 초기 탄소 투입량이 많은 대조구에 비해 N 50% 처리구에 남아있는 탄소량이 큰 차이를 보이지 않았다.

Lal (2004)에 의하면 투입된 탄소는 작물 재배로 단기간에 광합성으로 인해 토양에 저장되며, 호흡을 통해 에너지 원으로 사용된 후 손실된다고 하였다. 대조구에 처리한 탄소는 작물 호흡으로 인해 많은 양이 손실되었지만, N 50% 처리구의 탄소는 바이오차의 물리적 특성으로 인해 토양 중에 분해되지 않는 탄소를 남아있다고 판단된다.

토마토 생육 반응 및 수량 토마토의 초장 길이와 줄기 두께는 정식 후 90일에 바이오차 펠렛 N 70% 처리구에서 169.3 cm와 10.7 mm로 가장 큰 값을 보였으며, 대조구와 비교하여, 모든 바이오차 펠렛 처리구에서 높게 나타났다. 과실 총 중량을 분석한 결과, 대조구에서 179.9 g으로 가장 높게 나타났으며, N 50% 처리구에서 173.4 g으로 대조구와 유의차를 보이지 않았다 (Table 4). 이러한 결과로 보아 토마토 재배 시 바이오차 펠렛 적정 사용량은 추천 시비량의 절반가량인 바이오차 펠렛 N 50% 처리가 적정하다고 판단된다.

Table 3. Responses of carbon balance to application of supplemented biochar pellets during tomato cultivation.

Treatments [†]	Input amounts of total carbon (g pot ⁻¹)	Residual amounts of total carbon (g pot ⁻¹)	carbon balance
Control	45.0	33.8 ± 0.1	75.1 ± 0.3
N 40%	38.0	28.5 ± 0.2	74.9 ± 0.5
N 50%	38.5	31.1 ± 0.3	80.8 ± 0.9
N 70%	39.6	28.2 ± 0.2	71.1 ± 0.5

[†]N-40%, 50%, 70%; application amounts of supplemented biochar pellets based on recommended application rates of nitrogen for tomato cultivation by National Institute of Agricultural Sciences.

Mean values of three replications with standard deviations ($p < 0.05$).

Table 4. Growth responses to different application ratios of supplemented biochar pellets during tomato cultivation.

Treatment [†]	Plant height (cm)	Plant stem (mm)	Total fruit weight (g)
Control	140.8 ± 7.8	8.5 ± 0.5	179.9 ± 7.8
N 40%	143.3 ± 7.6	8.8 ± 0.5	131.9 ± 15.8
N 50%	154.3 ± 2.9	10.2 ± 0.2	173.4 ± 12.7
N 70%	169.3 ± 7.2	10.7 ± 0.5	148.8 ± 11.8

[†]N 40%, 50%, 70%; application amounts of supplemented biochar pellets based on recommended application rates of nitrogen for tomato cultivation by National Institute of Agricultural Sciences.

Mean values of three replications with standard deviations ($p < 0.05$).

Conclusions

본 연구는 토마토 재배 시 바이오차 펠렛형 완효성 비료의 적정 사용량을 구명하기 위해 수행되었다. 연구 결과 토양의 질소 Balance를 보면 바이오차 펠렛 N 40% 처리구에서 80.1%로 가장 높게 나타났으며, 탄소 Balance는 N 50% 처리구에서 80.8%로 가장 큰 값을 보였다. 토양 중의 Mehlich III 추출성 P_2O_5 농도는 전체적으로 대조구에서 2.7 g kg^{-1} 으로 가장 큰 값을 보였고, 바이오차 펠렛 N 50% 처리구에서 1.5 g kg^{-1} 으로 나타났다. 토양 중의 Mehlich III 추출성 K_2O 농도는 전체 생육 기간 동안 대조구에서 가장 큰 값을 보였고, 처리 10일 정점으로 토마토 재배 기간이 지남에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였다. 과실의 총 중량은 대조구와 바이오차 펠렛 N 50% 처리구 사이에 유의차를 보이지 않았다. 따라서 본 공시 토양에서 토마토 재배 시 바이오차 펠렛 완효성 비료의 적정 사용량은 질소 기준 시비량의 절반인 N 50% 처리가 적정한 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea [project no. PJ 01381401].

References

- Asai, H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songtikhangsuthor, K. Homma, Y. Kiyono, Y. Inoue, T. Shitaiwa, and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in northern. Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Res.* 111(1-2):81-84.
- Beesley, L. and M. Marmiroli. 2011. The Immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. *Envir. pollut.* 159(2):474-480.
- Chan, K.Y., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendmen. *Aust. J. Soil Res.* 45(8):629-634.
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical propertie og highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biol Fertil Soils.* 35(4):219-230.
- Han, K.H., Y.S. Jung, H. K, H.R. Cho, and Y.K. Sonn. 2014. Evaluating germination of lettuce and soluble organic carbon leachability in upland sandy loam soil applied with rice husk and food waste biochar. *KJOAS.* 41(4):369-377.
- Jeffery, S., F.G.A. Verheijen, M. van der Velde, and A.C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agric, Ecosyst, Environ.* 144:175-187.
- Kim, H.S., S.I. Yun, E.S. Jang, and J.D. Shin. 2019. Invesigation of an optimum application rate of blended biochar pellet as slow release fertilizer during cabbage cultivation. *J. of KORREA.* 27(1):49-56.
- Laird, D., P. Fleming., B.Q. Wang., R. Horton, and D. Karlen. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma.* 158:436-442.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304. 1623-1627.
- Lee, S.I., G.Y. Kim., E.J. Choi., S.J. Lee, and H.C. Jung. 2018. Reduction of carbon dioxide and nitrous oxide emissions through various biochars application in the upland. *J. of KORREA.* 26(2):11-18.

- Lehmann, J., J. Gaunt, and M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystem review. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang*. 11:403-427.
- Major, J., C. Steiner, A. Downie, and J. Lehmann. 2009. Biochar Effects on Nutrient Leaching. in Lehmann, J., and Joseph, S., Eds. *Biochar for Environmental Management*. Science and Technology. Earthscan. London: 67-84.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2010. Annual Statistics in food, Agriculture, Fisheries and Forest in 2009. Korean Ministry for Food, Agriculture, Fisheries and Forestry, Environ, Sci, Pollut, Res. 16:1-9.
- Oh, T.K., J.H. Lee, S.H. Kim, and H.C. Lee. 2017. Effect of biochar application on growth of Chinese cabbage (*Brassica chinensis*). *KJOAS*. 44(3):359-365.
- Park, D.G., S.G. Hong, E.S. Jang, and J.D. Shin. 2019. Assessment of an optimum biochar application rate for tomato cultivation. *J. of KORREA*. 27(1):39-48.
- Park, S.J., M.H. Kim, and H.M. Shin. 2005. Chemical compositions and thermal characteristics of rice husk and rice husk ash in Korea. *J. Biosyst. Eng*. 30(4):23-241.
- Pérez, C.A., M.R. Carmona, J.M. Fariña, and J.J. Armesto. 2010. Effects of nitrate and labile carbon on denitrification of southern temperate forest soils. *Chil J Agric Res*. 70(2):251-258.
- Raymond, R.W. 2011. p. 448-461. *Elements of the Nature and Properties of Soils*, 3rd Edition, Prentice-Hall, Korea
- Rondan, M., J.A. Ramirez, and J. Lehmann. 2005. Greenhouse gas emissions decrease with charcoal additions to tropical soils. <http://soil carbon center.kstate.edu/conference/USDA /Abstracts /html/Abs- tract/Rondon.htm>
- Seredych, M, and T.J. Badosz. 2007. Mechanism of ammonia retention on graphite oxides: role of surface chemistry and structure. *J. Phys. Chem. C*. 111(43):155596-15604.
- Shin, J.D, and S.W. Park. 2018. Optimization of blend biochar pellet by the use of nutrient release model. *In Korea. Appl. Sci*. 8:2274.
- Shin, J.D., E.J. Choi, E.S. Jang, S.G. Hong, S.R. Lee, and R. Balasubramani. 2018. Adsorption characteristics of ammonium nitrogen and plant responses to biochar pellet. *Sustainability*. 10(5):1331-1342.
- Shin, J.D., T.S. Choi, E.J. Choi, M.S. Kim, and J.W. Heo. 2017. Evaluation of efficiency to plant growth in horticultural soil applied biochar pellet for soil carbon sequestration. *J. of KORREA*. 25(3):73-78.
- Tan, X., Y. Liu, G. Zeng, X. Wang, X. Hu, Y. Gu, and Z. Yang. 2015. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*. 125:70-85.
- Woo, S.H. 2013. Biochar for soil carbon sequestration. *Clean Technology*. 19(3):201-211.
- Xu, G., J.N. Sun, H.B. Shao, and S.X. Chang. 2014. Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecological Engineering*, 62:54-60.