Effect of Livestock Manure Composts Application on Yield, Soil Chemical Properties and Carbon Sequestration of Maize Cropping for Five Years

Yun Hae Lee^{1†}, Seong Jin Park^{2†}, Jae Hong Shim², Soon Ik Kwon¹, and Seong Heon Kim^{2*}

¹Senior Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: ksh4054@korea.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

ABSTRACT

Received: October 21, 2021

Revised: November 3, 2021

Accepted: November 5, 2021

ORCID

Seong Heon Kim

<https://orcid.org/0000-0001-6047-9103>

This study investigated the effect of different livestock manure composts application on yield, soil chemical properties and carbon sequestration in maize cultivation. The experiment consisted of six different fertilizations; no fertilization (control), chemical fertilizer (NPK), pig manure (PM), NPK + residue of maize (NPKR), NPK + pig manure compost + residue of maize (NPKPR) and NPK + cow manure compost + residue of maize (NPKCR). The yield of maize under NPKPR (5,064.0 kg 10a⁻¹) and NPKCR (4,183.7 kg 10a⁻¹) were higher than that of NPK (3,775.6 kg 10a⁻¹). In soil chemical properties, pH, EC and Avail. P₂O₅ were increased when livestock compost applied in soil. The content of soil organic carbon (SOC) was higher in order: NPKPR (3.37 g kg⁻¹) > NPKCR (3.27 g kg⁻¹) > NPKR (3.12 g kg⁻¹) > PR (2.88 g kg⁻¹) > NPK (2.79 g kg⁻¹) > NF (2.48 g kg⁻¹). The highest SOC stock was observed in NPKCR (14.67 kg C ha⁻¹) due to the high SOC and low bulk density. In conclusion, application of livestock manure composts with inorganic fertilizer increase maize yield, SOC stock. Therefore, it is recommendable for suitable soil management strategy to improve soil fertility and increase crop yield in upland soil. Further study might be required to evaluate long-term compost application effect on soil chemical properties and crop yield.

Keywords: Compost, Organic carbon, Soil chemical property, Yield, Maize

Variation of grain yield under different livestock manure composts application in maize cultivation for five years.

Introduction

가축분퇴비는 가축분을 톱밥, 수피, 왕겨 등의 부재료와 혼합하여 부숙하여 만들어지는 부산물비료 중 하나로 오랜 기간동안 사용된 유기자원이며 (Kim et al., 2002; Lee et al., 2020), 자원 순환과 환경 친화적인 농업에서는 무기질비료의 대체 자원으로 중요한 역할을 하고 있다 (Ahn et al., 2017). 농식품부에서는 친환경농업육성 5개년 계획을 수립하여, 무기질비료 감축을 위한 대체방안으로 친환경 농자재 지원사업을 통해 매년 200만 톤 가량의 퇴비 등 퇴비 및 유기질비료를 지원하고 있다 (Kim et al., 2018). 가축분퇴비는 토양 유기물을 증가시키는 역할 뿐만 아니라 토양 이화학적 성을 개선하고 생물상과 활성을 유지 및 증진시키며 작물의 양분공급원으로서의 역할 또한 수행한다고 알려져 있다 (Gilmour et al., 1998; Yang et al., 2007; Ahn et al., 2017). 하지만 최근 문제가 되고 있는 것은 가축분뇨, 슬러지 및 음식물류폐기물 등을 원료로 사용한 퇴비는 과거 사용하던 퇴비에 비해 양분 함량이 높아져 과다 사용시 작물 생육에 필요한 양분보다 과다하게 투입되어 염류집적 등으로 인한 작물 수량 감소 및 수계배출로 인한 농업환경오염을 야기시킬 수 있다 (Kim and Jung, 2000; Hwang et al., 2002; Yun et al., 2010). 이러한 과다사용을 줄이기 위해 퇴비 사용에 대한 연구 (Yoon, 1983; Kwak et al., 1990; Kim et al., 2000; Yang et al., 2006; Lee et al., 2020)가 다수 진행되었으나 가축분퇴비는 사용된 원료 성분에 따라 분해 양상 및 양분공급력이 다르기 때문에 (Ahn et al., 2013), 가축분 퇴비의 종류별로 장기간 사용하였을 때 작물의 생산성 및 토양 화학성 변화에 미치는 영향 뿐만 아니라 토양 유기물공급원으로 가축분퇴비가 토양유기탄소축적에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 우분퇴비, 돈분퇴비, 옥수수 수확 후 잔재물을 5년간 단용 및 혼용하여, 옥수수 수량, 토양 화학성 및 토양 탄소축적량 변화를 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

처리구설정 2016년부터 2020년까지 전북 완주군 이서면에 위치한 시험포장에서 수행하였으며 시험포장의 시험 전 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 시험처리구는 무처리구 (NF), 화학비료구 (NPK), 돈분퇴비처리구 (PM), 화학비료 + 옥수수잔재물처리구 (NPKR), 화학비료 + 돈분퇴비 + 옥수수잔재물처리구 (NPKPR) 및 화학비료 + 우분퇴비 + 옥수수잔재물처리구 (NPKCR)로 설정하였다. 각 처리구는 난괴법으로 3반복 하였으며, 작물은 찰옥수수로, 재식거리는 이랑 폭 60 cm × 주간 거리 25 cm였다. 비료사용량은 표준사용량에 준하여 N-P₂O₅-K₂O = 132:30:55 kg ha⁻¹로 사용하였으며, 퇴비 사용량은 국립농업과학원에서 발간한 작물별 비료사용처방을 기준으로 우분퇴비, 돈분퇴비는 각각 20 ton ha⁻¹ 및 4.4 ton ha⁻¹ 사용하였다. 옥수수잔재물은 가식부위를 제외한 식물체를 토양에 환원하였다. 2020년에 사용한 퇴비와 옥수수잔재물의 화학성 분석 결과 옥수수잔재물은 총질소함량이 낮아 C/N이 가장 높았으며, 우분퇴비는 K₂O, 돈분퇴비는 총질소와 유효인산 함량이 높았다 (Table 2).

Table 1. Chemical properties of soil used for this study.

	pH (1:5 H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cation (cmol _e kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
Soil	5.8	0.35	3.02	60	0.27	2.8	1.9	0.16
Optical range	5.5 - 6.5	-	20 - 30	80 - 120	0.25 - 0.30	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-

Table 2. Chemical properties of organic amendment used for this study.

Type	TC (%)	TN (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	C/N
Residue of maize	34.8	0.35	0.31	1.78	0.86	1.15	99
Cow manure compost	36.0	2.09	2.57	4.01	3.89	1.35	17
Pig manure compost	40.8	2.69	4.38	1.08	3.73	1.08	15

재배 관리 및 생산량 조사 옥수수 재배포장의 재배 일정은 아래 Table 3과 같이 진행하였다. 정식 4주전 퇴비 살포 및 경운을 실시하였으며, 정식 1주전인 4월말에 무기질비료를 사용하였다. 5월초 묘를 정식을 하였으며 생육조사는 정식 후 90일에 실시하였다. 생산량조사는 정식 후 90일에 생체중을 조사하여 단위면적당 생산량을 산출하였다.

Table 3. Schedule of maize cultivation for this study.

Month	April				May		Jun		Jul	Aug	
Week	T [†]	C	T	F	P		F	G		H	H

[†]T, tillage; C, compost fertilization; F, fertilization; P, transplanting; G, growth survey; H, harvesting.

토양 시료 채취 및 토양 화학성 분석 토양시료 채취는 유기물 층을 제거한 다음 채취하였으며 풍건한 후 분쇄하여 2 mm 체에 통과된 시료를 분석에 사용하였다. 토양의 pH와 전기전도도 (EC, Electrical conductivity)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 측정하였고, 토양 탄소 및 질소는 원소분석기 (CHNS-932, Leco, USA)로, 유효인산은 Lancaster법으로 추출하여 720 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi, Japan)로, 치환성 양이온은 1M NH₄OAc (pH7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC, Australia)로 측정하였다 (NIAST, 2000).

탄소 축적량 평가 토양 내 탄소 축적량 평가는 유기물 사용 5년 후 토양을 채취하여 처리구별로 비교하였다. 탄소 축적량 평가를 위해 처리구별 용적밀도는 지름 7.5 cm 및 높이 7.5 cm의 코어를 이용해 시료를 채취한 후 용적밀도를 조사하였으며 (Blake and Hartge, 1986), 토양 탄소 축적량은 아래의 식을 이용하여 산정하였다 (Eq. 1).

$$\text{탄소 축적량 (kg C ha}^{-1}\text{)} = \text{SOC 함량 (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{용적밀도 (kg m}^{-3}\text{)} \times \text{깊이 (0.3 m)} \quad (\text{Eq. 1})$$

통계분석 실험데이터는 IBM SPSS Statistics (SPSS ver. 26, IBM, USA)을 이용하여 각 처리구별 평균비교를 위해 유의수준 5%로 Duncan's multiple test를 수행하였다.

Results and Discussion

가축분퇴비 종류에 따른 작물생육 평가 투입되는 가축분퇴비의 종류에 따른 5년간의 옥수수 생산량은 Fig. 1과 같다. 옥수수의 5년간 총 생산량은 NPKPR (5,064.0 kg 10a⁻¹) > NPKCR (4,183.7 kg 10a⁻¹) > NPKR (3,940.7 kg 10a⁻¹) ≃ NPK (3,775.6 kg 10a⁻¹) > PM (1,204 kg 10a⁻¹) > NF (791.8 kg 10a⁻¹) 순으로 화학비료 단용 처리구보다 화학비료와 퇴비를 혼용한 처리에서 높은 생산량을 보였으며 이는 고추 재배시 화학비료를 단용으로 사용한 것에 비해

화학비료와 퇴비를 혼용한 결과 혼용한 처리구의 수량이 증가한다는 선행연구 결과 (Park et al., 2009)와 유사한 경향이 있었다. 또한 화학비료와 옥수수잔재물만 투입한 처리는 퇴비를 혼용했을 때보다 생산량이 적은 것은 옥수수잔재물의 C/N비가 높아 작물 생육에 필수적인 질소 공급이 상대적으로 낮은 것에 의한 영향으로 판단된다 (Seo et al., 2015; Lee et al., 2020). 초기 토양의 비옥도가 너무 낮아, 옥수수 생산량이 낮은 것으로 추정되며, 연용할수록 작물의 생산량은 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 무처리구의 생산량이 증가하는 이유는 옥수수잔재물이 투입되었기 때문에 작게나마 증가한 것으로 판단된다.

* NF, no fertilizer; NPK, chemical fertilizer; PM, pig manure compost; NPKR, NPK + residue of maize; NPKCR, NPK + cow manure compost + residue of maize; NPKPR, NPK + pig manure compost + residue of maize.

Fig. 1. Variation of grain yield under different livestock manure composts application in maize cultivation for five years.

가축분퇴비 종류에 따른 토양 특성 변화 가축분퇴비 종류에 따른 토양 특성 변화는 Fig. 2와 같다. 토양 pH 및 EC는 무처리, NPK 처리구보다 가축분퇴비가 포함된 처리에서 높은 경향이 있었다. 선행 연구결과 Lee et al. (2020)은 퇴비를 장기간 연용하면 무기질비료 처리구에 비해 pH 및 EC가 증가한다는 결과와 일치하며, 유기물 공급원으로 퇴비를 사용한 경우는 5년 미만의 단기간에서는 퇴비 제조시 수분조절제로 사용하는 톱밥 등이 분해속도가 늦어 pH가 상대적으로 증가하는 것에 기인한 것으로 판단된다 (Kim et al., 2000).

유기물 함량은 5년간 큰 변화는 없었으며 이는 시험포장의 초기 비옥도가 매우 낮았기 때문이라고 판단된다. 그리고 무처리와 가축분퇴비 사용간 유기물함량의 차이가 없는 이유는 옥수수 그루터기에 의해 유기물원이 투입되었기 때문이라고 사료된다 (Yang et al., 2006; Lee et al., 2020).

유효인산은 가축분퇴비 사용에 따라 집적량이 증가하였으며 우분퇴비나 돈분퇴비를 무기질비료와 혼용하였을 때 가장 높은 집적량을 보였다. 이러한 결과는 Kim et al. (2000)의 선행연구에서 가축분퇴비의 사용에 따른 유효인산의 연간 집적은 계분 (203 mg kg⁻¹), 우분 (166 mg kg⁻¹), 분뇨잔사 (125 mg kg⁻¹)순으로 높고 (Kim et al., 2000), 무기질비료의 인산이 퇴비의 유기물원과의 결합으로 인해 토양에 집적되기 때문에 집적량이 증가한다는 결과와 유사하였다 (Yoon, 1983; Kwak et al., 1990; Yang et al., 2006; Lee et al., 2020).

토양 교환성 양이온은 가축분퇴비 사용에 따라 증가하는 경향이 있었으며 이와 같은 결과는 Choi et al. (2011) 및 Ahn et al. (2017)의 선행연구에서 보여준 작물 재배시 가축분퇴비와 같은 유기물원 투입시 교환성 양이온이 증가한다는 보고와 일치하였다.

* NF, no fertilizer; NPK, chemical fertilizer; PM, pig compost; NPKR, NPK+residue; NPKCR, NPK+cow compost+residue; NPKPR, NPK+pigcompost+residue.

Fig. 2. Effect of different livestock composts on soil chemical properties in single maize cultivation during 5 years; (A) Soil pH, (B) EC, (C) Soil organic matter, (D) Available P₂O₅, (E) Exchangeable K, (F) Exchangeable Ca, (G) Exchangeable Mg and (H) Exchangeable Na.

가축분 퇴비 연용에 따른 토양유기탄소 저장량 가축분퇴비 종류별 및 연용에 따른 토양유기탄소 (soil organic carbon, SOC), 용적밀도 및 토양유기탄소 저장량(SOC stock)의 변화는 Table 4와 같다. SOC 함량은 NPKPR (3.37 g kg⁻¹)와 NPKCR (3.27 g kg⁻¹)가 NF (2.48 g kg⁻¹)에 비해 1.3배가량 많은 양이 축적되었으며 용적밀도는 처리 간 유의적인 차이가 없었다.

SOC stock은 NPKCR 및 NPKPR처리구에서 14.67 및 14.53 kg C ha⁻¹로 가장 많이 저장하고 있었으며 이는 가축 분퇴비와 옥수수잔재물이 같이 투입되었기 때문으로 판단된다. Lee et al. (2020)에 따르면 유기물원으로 퇴비를 사용

하였을 때 무기질비료 처리보다 SOC stock이 증가한다고 보고하고 있으며, SOC stock 증가에 작물 잔재물의 역할로는 잔재물의 C/N비가 높으며 리그닌, 셀룰로스와 같은 난분해성 물질의 비율이 높기 때문에 SOC 격리능이 높아 SOC stock을 증가시킨 것으로 판단된다 (Six et al., 1999; Rasool et al., 2008; Hong et al., 2013; Lee et al., 2013; Hwang et al., 2019).

Table 4. Soil organic carbon (SOC) content, bulk density and SOC stock.

Treatment	SOC content (g kg ⁻¹)	Bulk density (g cm ⁻³)	SOC stock (kg C ha ⁻¹)
NF [†]	2.48 b	1.57 a	11.70 b
NPK	2.79 b	1.42 b	11.90 b
PM	2.88 b	1.51 a	13.05 ab
NPKR	3.12 ab	1.46 b	13.67 ab
NPKCR	3.27 a	1.45 b	14.67 a
NPKPR	3.37 a	1.48 b	14.53 a

[†]NF, no fertilization; NPK, chemical fertilizer; PM, pig manure; NPKR, NPK + residue; NPKCR, NPK + residue + cow compost; NPKPR, NPK + residue + pig compost.

Conclusions

투입되는 가축분퇴비 종류 및 연용에 따라 작물생육, 토양 화학성의 변화를 조사하고 축적되는 탄소 축적량을 평가하였다. NPK처리구와 비교하였을 때 옥수수잔재물과 가축분퇴비를 혼용시 1.11 - 1.34배가량 생산량이 증가함을 확인하였다. 토양 화학성의 경우 가축분퇴비 연용에 따라 큰 변화는 없었으나 토양 탄소는 가축분퇴비와 옥수수잔재물을 혼용하였을 때가 단용 처리구에 비해 증가하는 경향이였다. 이와 같은 결과를 통해 퇴비, 작물잔재물 등 유기물을 무기질비료와 같이 사용할 경우 작물의 생산성을 높일 뿐만 아니라 토양유기물을 축적하여 토양의 건전성을 향상시키는 것으로 확인되었다. 하지만 본 실험은 5년간의 실험결과로 보다 장기간 실험을 통해 가축분퇴비 사용에 따른 작물 및 토양에 미치는 영향을 평가하고 증명할 필요가 있다고 생각된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “PJ01352203” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, B.G., D.Y. Ko, H.J. Kim, J.H. Kim, and J.H. Lee. 2017. Effect of application amount of livestock manure compost on soil properties and rice growth. *J. Agric. Life Sci.* 48(1):1-7.
- Ahn, J.H., I.H. Song, and M.S. Kang. 2013. Correlation between raw materials and chemical contents of livestock compost. *J. Korean Soc. Agric. Eng.* 55(2):37-45.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363-375. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis, Part 1: Physical*

- and mineralogical methods (2nd edition). Agronomy Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, USA.
- Choi, H.S., C.R. Rom, and M. Gu. 2011. Effects of different organic apple production systems on seasonal nutrient variations of soil and leaf. *Sci. Hortic.* 129:9-17.
- Gilmour, J.T., A. Mauromoustakos, P.M. Gale, and R.J. Noman. 1998. Kinetics of crop residue decomposition: Variability among crops and years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:750-755.
- Hong, C.H., J.S. Kim, H.M. Shin, J.H. Cho, and J.M. Suh. 2013. Effect of compost and tillage on soil carbon sequestration and stability in paddy soil. *J. Environ. Sci. Int.* 22(11):1509-1517.
- Hwang, H.Y., S.H. Kim, M.S. Kim, D.W. Lee, J.E. Rim, J.H. Shim, and S.J. Park. 2019. Soil organic carbon fractions and stocks as affected by organic fertilizers in rice paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(4):520-529.
- Hwang, K.S., Q.S. Ho, H.D. Kim, and J.H. Choi. 2002. Changes of electrical conductivity and nitrate nitrogen in soil applied with livestock manure. *Korean J. Environ. Agric.* 21(3):197-201.
- Kim, C.B., D.H. Lee, and J. Choi. 2002. Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 35:296-305.
- Kim, J.G. and K.Y. Jung. 2000. Amount of maximum compost application on the long-term application with different organic material sources in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(3):182-192.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 2000. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(6):416-431.
- Kim, S.C., M.S. Kim, S.J. Park, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018. Estimation of nutrient balance in field crops applied with different fertilization. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):427-434.
- Kwak, H.K., C.S. Lee, and S.K. Lim. 1990. Influence of soil amendments on phosphorus response and changes of available phosphate amount in paddy soil. *Res. Rept. RDA* 32:52-56.
- Lee, C.H., K.Y. Jung, S.S. Kang, M.S. Kim, Y.H. Kim, and P.J. Kim. 2013. Effect of long term fertilization on soil carbon and nitrogen pools in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:216-222.
- Lee, Y.H., M.S. Kim, S.J. Park, H.Y. Hwang, and S.H. Kim. 2020. Assessment of soil organic carbon fractions and stocks under different farming practice in a single maize cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(4):626-634.
- NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, J.M., I.B. Lee, Y.I. Kang, and K.S. Hwang. 2009. Effects of mineral and organic fertilizations on yield of hot pepper and changes in chemical properties of upland soil. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27(1):24-29.
- Rasool, R., S.S. Kukal, and G.S. Hira. 2008. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize-wheat system. *Soil Tillage Res.* 101:31-36.
- Seo, M.C., H.S. Cho, J.H. Kim, W.G. Sang, P. Shin, and G.H. Lee. 2015. Evaluating soil carbon changes in paddy field based on different fraction of soil organic matter. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(6):736-743.
- Six, J., E.T. Elliott, and K. Paustian. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1350-1358.
- Yang, C.H., B.S. Kim, C.H. Yoo, W.K. Park, Y.S. Yoo, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2007. Composting impacts on soil properties and productivity in a fluvio-marine deposit paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(3):181-188.
- Yang, C.H., Y.S. Yoo, J.H. Jung, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2006. Changes of nutrient accumulation type and chemical property on annual dressing paddy soil in fluvio-marine deposit. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(6):351-356.
- Yoon, J.H. 1983. Parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and fertilizer recommendation. Ph.D. Thesis, Dong-Guk University, Seoul, Korea.
- Yun, H.B., Y. Lee, C.Y. Yu, J.E. Yang, S.M. Lee, J.H. Shin, S.C. Kim, and Y.B. Lee. 2010. Soil nitrogen mineralization influenced by continuous application of livestock manure composts. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(3):329-334.