Effect of Organic Fertilizer Application on Plant Growth and Soil Chemical Properties under Different Crops Cultivation

Seong Heon Kim¹, Jae Hong Shim¹, Yun Hae Lee², Soon Ik Kwon², and Seong Jin Park^{1*}

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

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

*Corresponding author: archha98@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 22, 2021

Revised: November 9, 2021

Accepted: November 10, 2021

ORCID

Seong Heon Kim

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

In this study, we investigated the effect of organic fertilizer application on yield and soil chemical properties for different crops; pepper, garlic, lettuce and zucchini. This study was carried out; 1) to compare crop productivity and relative efficiency of nitrogen (N) under different fertilization level, and 2) to evaluate soil chemical properties during 2 years of cultivation. The organic fertilizer was applied at 50, 100 and 150% level of the pre-plant fertilization rate based on N rate according to soil testing recommendation system. Control treatment was conducted with inorganic fertilization; urea, fused superphosphate and potassium chloride fertilizer. The yields of organic fertilizer treatments were higher than control. And also, relative efficiency of N in organic fertilizer treatments were similar to that of inorganic treatment. Soil properties such as pH, EC and exchangeable cations (K, Ca, Mg, Na) were not significantly different among all treatment, there is no difference between 2 years of experiment. In organic fertilizer application treatments, soil organic matter content showed a tendency of increase compared to inorganic treatment. These results suggest that organic fertilizer application was an effective management strategy to improve crop yield and soil fertility. But, it was short-term monitoring experiment, therefore, long-term experiment is required to evaluate organic fertilizer fertilization impact on crop and soil properties.

Keywords: Inorganic fertilizer, Pre-plant fertilization rate, Relative efficiency of nitrogen

Variation of yield under different organic fertilizer application rate.

Introduction

우리나라는 과거 벼, 녹비, 인분뇨 등의 자급비료로 작물을 재배하였으나 무기질비료 생산을 통해 다비 다작으로 작물을 생산하였다. 이로 인해 토양, 하천수 등 환경오염이 야기되며 안전생산물 생산에 문제점이 대두되었다. 이에 1997년부터 친환경농업육성법을 개정하였고 5년을 주기로 육성 및 실천계획을 수립 및 시행하고 있다. 이러한 친환경 농업 정책의 한 부분으로 유기질 비료지원사업이 수행되고 있다 (Yoon et al., 2012; Kim et al., 2018a, 2020a).

유기질비료는 비료공정규격상 부산물비료에 속하며 제조되는 원료에 따라 식물성 유박을 2종 이상 혼합한 혼합유박, 식물성 유박과 동물성 잔재물 등 유기물질 2종 이상이 혼합된 혼합유기질비료, 식물성 유박, 동물성 잔재물, 천연 광물 등 유기물질이 2종 이상이 혼합된 유기복합비료 등으로 구분된다 (RDA, 2017).

유기질비료는 토양에 투입 후 무기물질로 분해되어 작물에 양분을 공급함으로 무기질비료에 비해 상대적으로 완효적인 특징을 가지고 있으며 (Cho et al., 2009; Kim et al., 2018b, 2020b), Kim et al. (2018b)에 따르면 국내 유통상품분석 결과 평균 양분 함량이 질소 4.8 - 4.9%, 인산 2.5 - 3.1% 및 칼리 1.7 - 1.8%로 보고 하였다. 이러한 유기질비료는 양분공급능 뿐만 아니라 토양 유기물을 공급함으로 토양의 건정성을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다 (Yoon et al., 2012; Kim et al., 2019). 그러나 유기질비료의 사용은 장점뿐만 아니라 단점도 존재하는데 가장 큰 문제점은 과다 사용에 따른 농업환경 오염이다. 최근까지 벼, 옥수수, 상추, 마늘, 고추 등 다양한 작물에 대한 유기질비료 사용에 대한 효과가 평가되고 있으며 적정사용량에 대한 연구도 수행되고 있다 (Lim et al., 1983, 1990; Kim et al., 1998, 2018a, 2019, 2020b). 그럼에도 불구하고 현장에서는 과다사용으로 인한 농업환경오염이 우려되고 있는 실정이다.

이에 본 연구는 무기질비료 사용 절감을 위한 대처방안으로 주목되고 있는 유기질비료를 시설 및 노지 작물에 2년간 연용시험을 통해 작물의 생산성과 토양특성의 변화를 평가하고 이를 통해 유기질비료의 적정사용에 대한 필요성과 과다사용으로 인한 문제점에 대해 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

포장시험 본 시험은 노지와 시설로 구분하였으며 노지시험은 국립농업과학원내 시험포장에서 고추와 마늘로 작물을 설정하여 실시하였고 시설작물은 평택 (호박) 및 논산 (상추)의 시험포장에서 2년간 실시하였다. 본 연구에 사용한 시험포장의 토양특성은 Table 1과 같으며 작물 품종은 고추 (칼라탄), 마늘 (의성), 상추 (선풍골드), 및 호박 (진안)을 사용하였다.

Table 1. Chemical properties of soil used.

	pH (1:5H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
Pepper	6.4	1.0	26.0	36.3	615	1.6	9.8	2.6	0.1
Garlic	6.8	0.5	21.0	4.9	445	1.4	6.9	1.9	0.05
Lettuce	7.5	1.5	22.4	18.8	634	0.9	8.8	3.2	0.7
Zucchini	6.1	2.7	10.1	138.1	503	1.0	1.0	1.9	0.6

본 실험의 처리구는 모두 난괴법 3반복으로 설정하였으며 각 작물별 처리구는 무처리구, NPK처리구, 혼합유기질 비료처리구로 구분하였다. 작물별 무기질비료 사용량, 유기질비료처리구의 비료사용방법 및 재배일정은 Table 2와 같다. 비료 사용은 토양검정을 통해 비료 사용량을 설정하였으며 작물별로 밑거름과 웃거름으로 나누어 시비하였다. 혼합유기질비료처리구는 혼합유기질비료 (N-P₂O₅-K₂O = 5-1-1%) 1종을 선별하여 사용하였으며 작물별 질소 밑거름량을 기준으로 밑거름 대체수준을 50, 100 및 150%로 구분하여 실험을 진행하였다. 무처리구를 제외한 모든 처리구의 웃거름은 무기질비료 (요소, 염화칼리)를 사용하였다. 작물별 비료사용량 및 재배일정은 Table 2와 같으며 2년간 동일한 방법으로 실험을 진행하였다.

Table 2. Fertilization and cultivation schedules of crops (pepper, garlic, lettuce and zucchini).

Crop	Fertilization (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (kg 10a ⁻¹)		Transplanting	Harvesting
			Month/Week	Month/Week
Pepper	Pre-plant	10.3-11.2-9.1	Apr/2nd week	Aug/2nd week
	Top-dressing	8.7-0.0-5.8		
Garlic	Pre-plant	9.0-7.7-4.5	Oct/2nd week	Jun/2nd week
	Top-dressing	16.0-0.0-8.3		
Lettuce	Pre-plant	3.5-3.0-1.8	Oct/3rd week	Apr/2nd week
	Top-dressing	3.0-0.0-1.8		
Zucchini	Pre-plant	10.0-8.4-4.4	Mar/1st week	Aug/1st week
	Top-dressing	10.0-0.0-7.0		

The organic fertilizer was applied at 50, 100 and 150% level of the pre-plant fertilization rate based on N rate according to soil testing recommendation system.

토양분석 토양 시료 채취 및 토양분석은 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 토양시료 채취는 표면의 유기물 층을 제거한 뒤 채취하였으며 풍건 조건에서 건조 후 2 mm체를 통과시킨 시료를 이용하여 pH 및 EC는 시료와 증류수를 1:5 (w/v)비율로 30분 교반하여 pH meter (Orion star A121) 및 EC meter (Orion star A121)로 각각 측정하였다. 토양 유기물함량은 원소분석기 (Vario Max, Elementar)를 이용하여 정량하였으며 암모니아태 질소 및 질산태 질소는 질소자동분석기 (Bran-Luebbe, AutoAnalyzer 3)에 1M KCl로 추출한 여액을 이용하여 분석하였다. 유효인산은 720 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi)로 분석하는 Lancaster법을 이용하였으며, 교환성 양이온은 1M Ammonium acetate로 추출하여 유도결합 플라즈마-발광광도계 (ICP-OES, GBC)로 분석하였다.

식물체 분석 식물체 분석을 위해 생육 조사 및 수확 후 건조기에서 70°C조건에서 48시간 건조한 후 토양 및 식물체분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 총질소분석은 습식분해 (H₂SO₄:HClO₄) 후 킬달장치를 이용하여 분석하였으며 유기질비료 사용에 따른 질소비효율 (%)은 아래와 같이 Eq. 1을 이용하여 질소이용효율을 산출한 후 Eq. 2에 따라 무기질비료 및 유기질비료처리구의 질소이용효율로 산출하였다 (Kim et al., 2019).

$$\text{Nitrogen use efficiency (\%)} = \frac{\{\text{N removed by crop} - \text{N coming from soil}\}}{\{\text{Fertilizer applied to crop}\}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Relative efficiency of nitrogen (\%)} = \frac{\{\text{Nitrogen efficiency of organic fertilizer (\%)}\}}{\{\text{Nitrogen efficiency of inorganic fertilizer (\%)}\}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

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

Results and Discussion

유기질비료 사용에 따른 작물 생산량 비교 유기질비료 밀거름사용량에 따른 작물별 생산량은 Fig. 1과 같다. 노지 고추는 재배연차 및 유기질비료 사용량에 따른 유의적인 차이는 없었으며 유기질비료 처리구의 평균 생산량 ($1,852.3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)은 무기질비료처리구의 생산량 ($1,871.5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)과 유사하였다. 노지 마늘, 시설 상추 및 시설호박은 1차년도에 비해 2차년도에 생산량이 증대되었으며 특히 2차년도에는 유기질비료 처리구가 무기질비료 처리구의 생산량과 유사한 결과를 보였다. 선행연구 결과 토양에 사용된 유기질비료는 무기화과정을 통해 작물에게 양분을 공급하므로 작물 재배기간동안 지속적으로 양분 공급이 가능하고 (Lim et al., 2011; Kim et al., 2018a, 2019, 2020b) 토양의 건정성을 증대시키기 때문에 장기간 사용시 무기질비료 단독사용보다 생산성을 향상시키며 (Yoon et al., 2012), 무기질비료와 혼용시 병용효과를 나타내어 작물의 생산성을 증대시킨다고 알려져 있다 (Son, 2002). 본 연구 결과 또한 유기질비료와 무기질비료를 혼용해서 작물을 재배하였으며 유기질비료의 유기물공급효과 등으로 인해 토양의 건정성을 증가시켜 생산량이 증대되었다고 판단된다.

Fig. 1. Variation of yield under different organic fertilizer application rate. The different letters indicate statistics significance at 5% level.

유기질비료 사용에 따른 작물의 질소비효율 평가 유기질비료 사용에 따른 작물의 질소비효율은 Table 3과 같다. 1차년도에는 대부분이 71.9 - 105.5% 범위로 100% 미만이 대부분이었으나 2차년도에는 92.6 - 108.7%로 밑거름량의 50% 처리구를 제외하고 대부분이 무기질비료와 유사하거나 초과하였다. 작물에 있어 질소 이용효율은 작물의 생장과 연관되어 있으며 생산성과 정의 상관관계를 가진다고 알려져 있다 (Schulten and Schunitzer, 1998; Choi et al., 2010; Kim et al., 2019). 그리고 Cho et al. (2009)의 선행연구결과 유기질비료를 밑거름으로 사용하였을 때 생육 초기에는 무기질비료처리구에 비해 질소이용효율이 낮으나 최종 수확시에는 높아지며 밑거름으로 100% 사용하였을 때가 높다고 보고하였고 본 연구결과 또한 유사한 경향으로 나타났다.

Table 3. Relative efficiency of nitrogen for pepper, garlic, lettuce and zucchini cultivated.

Crop	Treatment	1st cultivation (%)		2nd cultivation (%)	
		NUE	REN	ANU	REN
Pepper	NPK	72.4 a	100.0	68.4 ab	100.0
	50%	57.4 b	79.3	63.4 b	92.6
	100%	76.4 a	105.5	74.3 a	108.7
	150%	60.7 b	83.9	73.8 a	107.9
Garlic	NPK	65.1 a	100.0	55.7 a	100.0
	50%	53.7 b	82.5	47.5 b	85.2
	100%	64.4 a	98.9	57.9 a	103.9
	150%	57.8 ab	88.7	53.7 ab	96.4
Lettuce	NPK	46.9 a	100.0	36.5 ab	100.0
	50%	36.6 ab	77.9	35.6 ab	97.5
	100%	38.8 ab	82.6	39.5 a	108.2
	150%	33.7 b	71.9	33.9 b	93.0
Zucchini	NPK	37.7 a	100.0	37.7 a	100.0
	50%	28.3 b	75.2	37.4 a	99.3
	100%	30.8 b	81.8	38.9 a	103.1
	150%	28.8 b	76.3	38.7 a	102.6

NUE: nitrogen use efficiency, REN: relative efficiency of nitrogen and different letters indicate statistics significance at 5% level.

유기질비료 사용에 따른 토양화학성의 변화 작물 재배 후 토양 화학성의 변화를 조사한 결과 (Table 4), pH 및 EC는 작물 및 유기질비료 사용량에 따른 유의적인 차이는 없었다. 선행연구에 따르면 노지 작물 재배시 유기질비료를 사용할 경우 무기질비료처리구에 비해 pH는 감소하고 EC는 증가하는 경향이라고 보고 하였고 (Kim et al., 2000, 2020a), 시설작물 재배시에는 유의적인 차이가 없었다고 (Kim et al., 2020a) 보고 하였다. 본 연구결과와 같이 작물 및 유기질비료 사용량에 따라 유의적인 차이가 나지 않은 이유는 유기질비료 사용시 토양검정시비량의 질소기 준으로 사용하고 밑거름의 비율만 달리하여 투입하여 실험을 진행하였으므로 무기질비료 처리구와 pH나 EC의 결과 값이 유사하였다고 생각된다. 토양 유기물함량의 변화에 대한 연구 중 Kim et al. (2020b)과 Uhm et al. (2012)의 선행 연구에 따르면 유기질비료 사용이 토양유기물 함량 증가에 영향을 미치지만 단기간 사용으로는 유의적인 차이는 없다고 보고 하였으나 본 연구에서는 2년간 연용으로 사용하였을 때 무기질비료 처리구에 비해 유기질비료 처리구가

0.7 - 4.7 g kg⁻¹가량 증가하는 경향으로 확인되었다. 유효인산, 질산성 질소, 암모니아성 질소 및 양이온은 작물 및 유기질비료 처리구별 결과와 무기질비료의 값과는 유의적인 차이는 없었다. 이는 모든 처리구에 투입되는 양분의 함량이 일정하기 때문으로 판단된다.

Table 4. Chemical characteristics of soil under different organic fertilizer application rate and crops after cultivation during 2 years.

Crop	Treatment	pH (1:5H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	K (cmol _c kg ⁻¹)	Ca (cmol _c kg ⁻¹)	Mg (cmol _c kg ⁻¹)
Pepper	NPK	7.1 a	1.0 a	12.7 b	33.7 a	7.1 a	508 a	1.6 a	9.3 a	2.8 a
	50	6.7 a	0.7 ab	13.9 ab	32.7 a	6.6 a	405 b	1.3 a	9.2 a	1.8 b
	100	7.1 a	0.7 ab	15.7 a	25.8 ab	6.3 a	457 ab	1.2 a	9.8 a	2.2 ab
	150	6.8 a	0.6 b	17.4 a	18.5 b	6.7 a	502 a	1.3 a	8.2 b	1.8 b
Optimum range		6.0 - 6.5	<2	25 - 35	70 - 200		450 - 550	0.7 - 0.8	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0
Garlic	NPK	6.5 a	0.7 a	12.7 b	14.5 b	13.7 b	484 a	1.2 a	1.3 a	2 a
	50	6.7 a	0.6 a	13.9 ab	16.6 a	13.7 b	458 a	1.4 a	7.5 a	2 a
	100	6.5 a	0.7 a	15.7 a	16.7 a	16.8 ab	419 a	1.3 a	7 a	1.8 b
	150	6.2 a	0.7 a	17.4 a	17.1 a	17.2 a	465 a	1.4 a	7.3 a	2.1 a
Optimum range		6.5 - 7.0	<2	25 - 35	12.7 b		300 - 400	0.7 - 0.8	6.0 - 7.0	2.0 - 2.5
Lettuce	NPK	6.6 a	1.5 a	13.9 b	33.1 b	33.1 ab	433 a	0.6 a	8.1 a	2.9 a
	50	6.8 a	1.3 a	15.7 ab	36.2 a	29.3 b	429 a	0.7 a	7.6 a	2.4 b
	100	6.3 a	1.5 a	17.4 a	38.6 a	36.3 ab	443 a	0.6 a	8.9 a	2.6 ab
	150	6.4 a	1.4 a	17.2 a	40.1 a	39.1 a	491 a	0.6 a	7.4 a	2.3 b
Optimum range		6.5 - 7.0	<2	20 - 30	13.9 ab		250 - 400	0.4 - 0.6	6.0 - 7.0	2.0 - 2.5
Zucchini	NPK	6.1 a	2.2 a	15.7 b	15.2b	4.1 b	886 ab	0.6 a	7.1 a	2.3 ab
	50	6.3 a	1.8 ab	17.4 a	28.7a	3.5 b	815 b	1.8 a	7.3 a	2.4 ab
	100	6.2 a	1.1 b	16.4 a	29.6 a	5.9 a	1,156 a	1.1 a	7.9 a	2.7 a
	150	6.4 a	2.0 a	16.9 a	23.9 ab	4.0 b	985 ab	1.6 a	7.1 a	2.1 b
Optimum range		6.5 - 7.0	<2	20 - 30	70 - 200		250 - 400	0.7 - 0.8	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

Different letters indicate statistics significance at 5% level.

Conclusions

본 연구는 노지 및 시설작물재배시 유기질비료의 연용사용이 작물 및 토양에 미치는 영향에 대해 확인하고 적절한 사용방법에 대해 평가하고자 하였다. 노지 및 시설재배지의 작물에 따라 약간의 차이는 있지만 작물 생산량, 질소비효율 및 토양화학적 특성을 확인한 결과 유기질비료는 전체 비료사용량 중 밑거름으로 100%로 사용하고 웃거름으로는 무기질비료를 사용하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단되며 무기질비료와 유기질비료의 혼용이 지속가능한 농업을 위한 방법으로 적합할 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “PJ0126232021” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Cho, K.R., T.J. Won, C.S. Kang, J.W. Lim, and K.Y. Park. 2009. Effect of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 42(3):152-159.
- Choi, H.S., L. Xiong, W.S. Kim, K.J. Choi, Y. Lee, and S.K. Jung. 2010. Soil characteristics and leaf and bud developments with different organic fertilizers in a pear orchard. *Korean J. Org. Agric.* 18(3):363-375.
- 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. *J. Korea Soc. Soil Sci. Fert.* 33:416-431.
- Kim, M.S., B.J. Chung, G.C. Park, T.D. Park, S.C. Kim, and J.H. Shim. 1998. Effect of organic fertilizers on growth and yield of *Achyranthes japonica* N. *Korean J. Med. Crop Sci.* 6(2):131-136.
- Kim, M.S., S.C. Kim, S.G. Yun, S.J. Park, and C.H. Lee. 2018a. Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 26(1):21-28.
- Kim, M.S., S.J. Park, S.H. Kim, H.Y. Hwang, J.H. Shim, and Y.H. Lee. 2020a. Effects of application amount of organic compound fertilizer on lettuce growth and soil chemical properties under plastic film house. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 28(3):37-44.
- Kim, S.C., B.G. Ko, S.J. Park, M.S. Kim, S.H. Kim, and C.H. Lee. 2018b. Estimation of optimum organic fertilizer application under fertilizer recommendation system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(3):296-305.
- Kim, S.H., H.Y. Hwang, H.B. Seo, J.E. Lim, S.J. Park, Y.H. Lee, and M.S. Kim. 2019. Response of yield and nitrogen use efficiency for garlic on different types and rates of organic fertilizer. *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.* 27(4):35-42.
- Kim, S.H., S.J. Park, J.H. Shim, H.B. Seo, J.E. Lim, Y.H. Lee, H.Y. Hwang, and M.S. Kim. 2020b. Effects of different organic fertilizers and fertilization method on red pepper growth and soil chemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 53(2):110-117.
- Lim, S.K., S.D. Kim, and S.K. Lee. 1990. The effects of organic matter (BIO-COM) application on the soil physico-chemical properties and rice yields. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 23:25-33.
- Lim, S.U., J.S. Oh, and B.J. Kim. 1983. The effect of organic fertilizer granulated with slurry of glutamate fermentation residue on corn and Chinese cabbage. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 10:156-161.
- Lim, T.J., J.M. Park, S.E. Lee, H.C. Jung, S.H. Jeon, and S.D. Hong. 2011. Optimal application rate of mixed expeller cake and rice straw and impacts on physical properties of soil in organic cultivation of tomato. *Korean J. Environ. Agric.* 30:105-110.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2017. Fertilizer Regulation. Rural development administration, Suwon, Korea.
- Schulten, H.R. and M. Schunitzer. 1998. The chemistry of soil organic nitrogen: Review. *Biol. Fert. Soils* 26:1-15.
- Son, S.M. 2002. Problems and solutions of soil fertility enhancement on Korean organic farming. *Korean J. Org. Agric.* 8:53-77.
- Uhm, M.J., J.J. Noh, H.G. Chon, S.W. Kwon, and Y.J. Song. 2012. Application effect of organic fertilizer and chemical fertilizer on the watermelon growth and soil chemical properties in greenhouse. *Korean J. Environ. Agric.* 31(1):1-8.

Yoon, H.B., J.S. Lee, Y.J. Lee, M.S. Kim, and Y.B. Lee. 2012. Effect of different colored polyethylene mulch on the change of soil temperature and yield of Chinese cabbage in autumn season. Korean J. Soil. Sci. Fert. 45(4):511-514.