Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.51, No.2, pp.111-118, 2018

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.2.111
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Long-term Effects of Chemical Fertilizer and Compost Applications on Yield of Red Pepper and Soil Chemical Properties

Young-Eun Park[†], Tae-Jun Lim[1†]*, Jin-Myeon Park[2], and Seong-Eun Lee[2]

Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Pyeongchang 25342, Korea

[1]Division for Korea Program on International Agriculture, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

[2]Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

***Corresponding author:** taejun06@korea.kr

[†]Both authors contributed equally to this manuscript.

Received: March 16, 2018

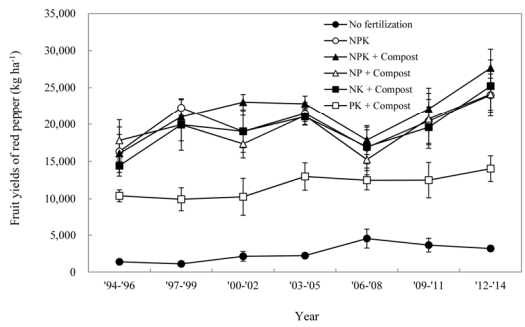
Revised: May 31, 2018

Accepted: May 31, 2018

ABSTRACT

A field experiment was conducted to investigate the effect of long-term (21-year) fertilizer and compost treatments on the yield of red pepper and chemical properties in top-dong, Suwon. Six treatments were chosen for this work: No fertilization (No fert.), NPK fertilizers (NPK), NPK and compost (NPK+Compost), NP and compost (NP+Compost), NK and compost (NK+Compost), PK and compost (PK+Compost). The yield of red pepper for 21 years indicated the significant differences among the No fertilization, the PK+Compost, and other treatments. The relative yield index was 13% and 59% respectively, for the No fertilization and the PK+Compost if the average yield of red pepper for the NPK regards 20,048 kg ha^{-1} as the yield index with 100%. Soil organic matter at the compost applied treatments significantly increased compared with the No fert. and the NPK. The average increase rates of soil organic matter by applying the compost ranged from 0.69 to 0.73 g kg^{-1} yr^{-1}. Available phosphate content in soil appeared the significant increase all treatments excluding the No fert. It is estimated that the available phosphate in soil was increased by 7.0 mg kg^{-1} yr^{-1} by applying compost and 14.2 mg kg^{-1} yr^{-1} by applying P fertilizer. Application of K fertilizer or the compost alone, the NPK, the NP+Compost, continuously caused soil K depletion whereas K fertilization plus the compost maintained at a constant level of exchangeable K. The results indicated that the addition of compost to NPK fertilizer is recommended for the maximum stable yield for red pepper and enhancement of organic matter though it is also needed for adjusting of P and K fertilization.

Keywords: Chemical fertilizer, Compost, Long-term application, Red pepper, Yield



Changes of yields of red pepper in a long-term (1994-2014) fertilization experiment. Error bars represent standard error of the average red pepper yield for every 3 year period from 1994 to 2014.

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

작물이 생장하고 안정적인 수량을 얻는데 양분의 공급원으로써 보통비료와 퇴비의 역할이 중요하며 농산물의 생산량은 이러한 비료의 사용량과 비례적인 관계에 있다 (Jeong et al., 2001; Yeon et al., 2007; Chung and Lee, 2008). 하지만 과다한 비료의 투입은 토양염류 집적으로 오히려 수량을 감소시키거나 하천 및 지하수로 유출될 경우 부영양화를 초래하며, 불필요한 비료자원 낭비를 가져올 수 있다 (Sharpley, 1995; Lee et al., 2009; Lee et al., 2012). 따라서 작물에 대한 적정한 비료시비량의 산정이 중요하며 또한 장기간에 걸쳐서 동일한 비료를 시비하였을 경우 작물의 생산성과 토양 화학성의 변동을 평가할 필요가 있다.

농경지에서 질소, 인산, 칼리 등 보통비료와 퇴비를 수십 년 간에 걸쳐서 공급하였을 때 작물의 생산성과 토양의 비옥도에 미치는 영향 등에 대한 다양한 연구들이 수행되어 왔다 (Jenkinson et al., 1989; Liu et al., 2010; Zhang et al., 2012; Zhao et al., 2014). 보통비료 시비는 작물의 생산성 증대에 직접적으로 영향을 미치고 있지만, 보통비료에만 의존할 경우 토양의 지력유지가 어렵기 때문에 유기물 시용에 의한 비옥도 유지 또는 증진은 매우 필요하다고 보고하고 있다 (Kapkiyai et al., 1999; Jeong et al., 2001). 예를 들어 Shon et al. (2016)은 벼에서 31년간 동일한 비료를 연용한 경우 질소, 인산, 칼리 등 3요소 비료의 평균수량은 4,570 kg ha^{-1}로 무비구의 2,310 kg ha^{-1}와 비교하여 약 2배가 증수되었지만 토양유기물은 14 g kg^{-1}에서 13 g kg^{-1}로 감소된다고 하였다. 비슷한 사례로 Jeong et al. (2001)은 벼에서 21년간 보통비료만을 시비하는 경우 토양유기물은 23 g kg^{-1}에서 21 g kg^{-1}로 양이온치환용량은 11.6 $cmol_c$ kg^{-1}에서 8.4 $cmol_c$ kg^{-1}로 낮아진다고 보고하고 있다.

국내에서는 논토양에서 장기간에 걸쳐 동일비료를 장기간 연용하였을 때 벼의 수량과 토양의 화학성 변화에 대한 보고들이 있으나 (Yeon et al., 2007; Yang et al., 2010; Kim et al., 2012; Kim et al., 2017), 밭토양에 대해서는 이러한 결과가 미흡한 실정이다. 고추의 경작면적은 2014년을 기준으로 36,120 ha로 노지 채소의 20%를 차지하고 있으며 (www.kosis.kr), 김치를 만드는데 꼭 필요한 조미채소로 식생활에 없어서는 안 되는 중요한 작물이다 (Lim et al., 2008). 그리므로 본 연구에서는 밭 토양에서 지속적으로 높은 작물 생산성을 유지하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 비료 및 퇴비의 장기 연용이 고추의 생육과 토양의 화학성 변화에 미치는 영향을 평가하였다.

Materials and Methods

시험토양 및 처리 본 시험은 수원 소재 국립원예특작과학원 탑동 포장에서 1994년부터 2014년까지 21년간 수행하였다. 처리는 무비구, 3요소구 (NPK), 종합개량구 (NPK+퇴비), 칼리결제구 (NP+퇴비), 인산결제구 (NK+퇴비), 질소결제구 (PK+퇴비) 등 6처리에 난괴법 3반복으로 하여 총 18개의 시험구를 두었다. 시험구는 재식면적이 10.8 m^2가 되는 가로 3.0 m, 세로 3.6 m의 콘크리트 무저 폿트를 제작하였고 1 m 깊이의 흙을 모두 교체하여 채워넣었다 (Table 1). 품종은 1994부터 2011년까지는 금탑고추였고 2012년부터 2014년까지는 무한질주이었다. 고추는 매년 5월 첫째주와 둘째주 사이에 정식하였으며 재식거리는 75 x 45 cm로 한 구당 32주를 심었다. 시험에 사용한 보통비료는 질소는 요소, 인산은 용과린, 칼리는 황산가리이었다. 퇴비는 2005년까지는 양송이 폐상퇴비를 시용하였고 2006년부터 2014년까지는 볏짚 또는 볏짚에 우분퇴비 등을 사용하였다. 질소는 기비와 추비의 비율을 54:46의 비율로 공급하였고 추비는 3회에 걸쳐서 분시하였다. 인산은 전량 밑거름으로 시비하였으며, 칼리는 기비와 추비를 각각 50%씩 공급하였다 (Table 2). 고추의 수량조사는 붉은 고추를 수확할 수 있는 시기부터 작물 재배 종료 시까지 매 1-2주 간격으로 수확하여 계산하였다.

Table 1. Chemical properties of soil used in experiment.

pH	OM	Av. P_2O_5	Ex. Cation			CEC
			K	Ca	Mg	
1:5	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	---------- $cmol_c$ kg^{-1}	----------		$cmol_c$ kg^{-1}
5.30	2.70	15	1.28	1.30	1.00	5.1

Table 2. Application rates of different chemical fertilizer and compost treatments.

Treatment	Period	Application			Compost
		N	P_2O_5	K_2O	
		---------- kg ha^{-1}	----------		Mg ha^{-1}
No fertilizer	’94-’14	0	0	0	0
NPK	’94-’05	190	200	200	0
	’06-’14	190	112	200	0
NPK + Compost	’94-’05	190	200	200	20
	’06-’14	190	112	200	20
NP + Compost	’94-’05	190	200	0	20
	’06-’14	190	112	0	20
NK + Compost	’94-’05	190	0	200	20
	’06-’14	190	0	200	20
PK + Compost	’94-’05	0	200	200	20
	’06-’14	0	112	200	20
Compost	’94-’14	0	0	0	20

토양 및 식물체 분석 토양의 화학성은 2 mm 체를 통과한 풍건 시료에 대해서 토양의 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕 후 pH meter (ORION Model 720A, MA, USA)로 측정하였고, 토양 EC는 1:5로 침출한 후 전기전도도계 (YSI Model 35, OH, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법 (NIAST, 2010), 유효인산은 Lancaster법 (NIAST, 2010)으로, 치환성 K, Ca, Mg은 1N-CH_3COONH_4 (pH 7.0) 용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)를 사용하여 측정하였다. 고추 식물체의 무기성분 분석을 위해서 매년 처리구 당 2주식 채취하였다. 식물체 시료는 70°C에서 건조 후 분쇄된 시료를 산 분해용액 ($HClO_4$:H_2SO_4=10:1)으로 습식 분해하여 질소는 Kjeldahl법 (NIAST, 2010)으로 분석하였고 인산은 Vanadate법 (NIAST, 2010)으로 하였으며 칼리는 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)를 사용하여 측정하였다. 분산분석 (ANOVA)은 SAS 프로그램 (Enterprise guide 4.2, USA)을 이용하였으며, Duncan의 다중검정으로 처리간의 통계적인 유의성을 비교 검토하였다.

Results and Discussion

고추 수량 및 양분흡수량 21년간에 걸친 고추의 수량조사 결과는 질소가 시비된 3요소구, 종합개량구, 인산결제구, 칼리결제구 등에서 지속적으로 높은 수량을 유지한 반면에 질소결제구와 무비구에서는 유의성 있는 차이를 나타내었다 (Fig. 1). 2006년부터 2008년까지 질소비료 처리구들간 평균수량이 다른 기간과 비교하여 적었는데 이는 2006년과 2008년에 탄저병 발병과의 증가에 의한 영향에 기인하였다. 3요소구의 고추 시험기간에의 평균수량을 100

으로 기준하였을 때 처리구별 수량을 상대지수로 평가한 결과 무비구의 상대수량은 13, 질소결제구는 59, 인산 및 칼리결제구는 97, 종합개량구에서는 107이었다 (Table 3). 이러한 결과는 비료처리가 고추 수량에 미치는 영향이 매우 뚜렷하다는 것을 알 수 있으며, 질소가 수량에 미치는 영향이 가장 크고 인산과 칼리의 영향은 낮음을 알 수 있다 (Lim et al., 2008; Shon et al., 2016). 한편 무비구와 비교하여 질소결제 처리에서 11,802 kg ha^{-1}로 수량이 증가하였는데 이는 인산과 칼리 보통비료보다는 퇴비 사용에 의한 영향으로 보인다. 2003년부터 2014년까지 퇴비만을 시용한 처리에서 고추의 평균 수량은 11,106 kg ha^{-1}이었으며 두 처리간의 통계적인 차이는 없었기 때문이다 (자료 미포함). 하지만 퇴비의 투입이 토양 중 질소가 부족한 경우 양분의 공급원으로서 고추의 수량 증대에 기여한 것으로 보이나, 종합개량구, 인산 및 칼리결제구 등에서는 작물이 필요로 하는 충분한 양의 질소 보통비료가 시비되었을 때 3요소구와 비교하여 퇴비의 추가투입에 의한 증수효과는 없었다.

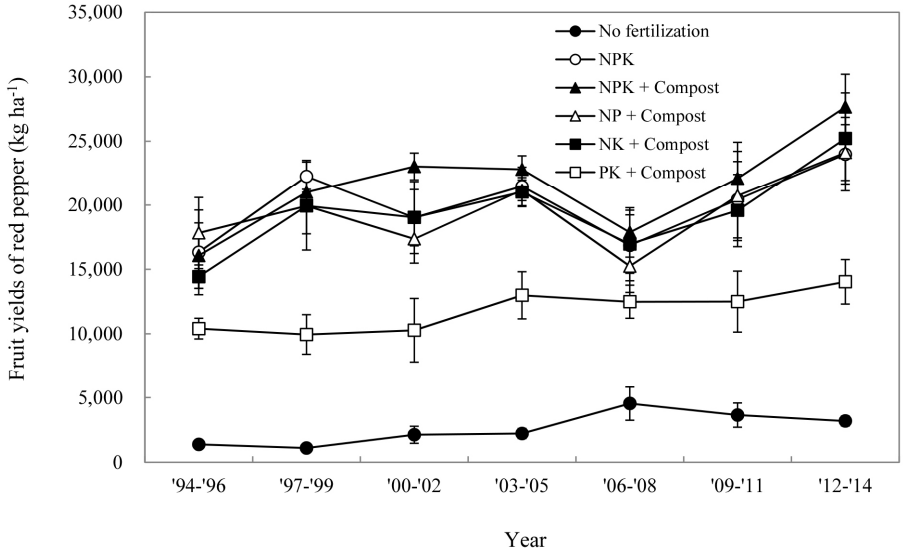


Fig. 1. Changes of fruit yields of red pepper in a long-term (1994-2014) fertilization experiment. Error bars represent standard error of the average red pepper yield for every 3 year period from 1994 to 2014.

Table 3. Mean fruit yields of red pepper in a long-term (1994-2014) fertilization experiment.

Treatment	Fruit yield	Relative index
	kg ha^{-1}	%
No fertilizer	2,599c†	13
NPK	20,048a	100
NPK + Compost	21,504a	107
NP + Compost	19,481a	97
NK + Compost	19,454a	97
PK + Compost	11,802b	59

†Different letters in the same column indicate significant difference (P<0.05) according to Duncan's multiple range test.

고추의 질소, 인산, 칼리 흡수량은 고추의 수량이 많을수록 같이 증가하였다 (Table 4). 처리별 양분흡수량은 질소, 인산, 칼리 등 3가지 성분 모두 무비구에서 가장 적었다. 3요소구, 종합개량구, 인산결제구, 칼리결제구 등 4처리는 질

소, 인산, 칼리 모두에서 각각의 성분에 대해서 처리간의 차이가 없이 가장 높은 양분흡수량을 보였다. 한편 3가지 성분 중 인산이 식물체에 가장 적게 흡수되었고 질소와 칼리의 순서로 흡수량이 많았는데 3요소구를 기준으로 질소, 인산, 칼리의 21년간 평균 양분흡수량은 각각 145.7 kg ha^{-1}, 57.5 kg ha^{-1}, 185.6 kg ha^{-1}를 나타냈다.

Table 4. Nutrient uptake of red pepper in a long-term (1994-2014) fertilization experiment.

Treatment	Nutrient element	'94-'96	'97-'99	'00-'02	'03-'05	'06-'08	'09-'11	'12-'14	Average
		kg ha^{-1}							
No fertilization	N	10.0 (0.7)†	8.0 (0.3)	15.4 (4.8)	16.1 (2.8)	33.0 (9.4)	26.5 (6.8)	23.2 (2.8)	18.9c‡
	P_2O_5	4.0 (0.3)	3.1 (0.1)	6.1 (1.9)	6.4 (1.1)	13.0 (3.7)	10.5 (2.7)	9.1 (1.1)	7.5c
	K_2O	12.8 (0.8)	10.2 (0.4)	19.7 (6.1)	20.6 (3.6)	42.0 (12.0)	33.7 (8.7)	29.5 (3.5)	24.1c
NPK	N	118.7 (20.0)	161.8 (9.1)	138.3 (16.0)	156.0 (11.0)	122.6 (20.0)	148.5 (36.1)	174.3 (35.2)	145.7a
	P_2O_5	46.8 (7.9)	63.8 (3.6)	54.6 (6.3)	61.6 (4.3)	48.4 (7.9)	58.6 (14.2)	68.8 (13.9)	57.5a
	K_2O	151.1 (25.4)	206.0 (11.6)	176.1 (20.3)	198.7 (14.0)	156.1 (25.4)	189.1 (46.0)	222.0 (44.9)	185.6a
NPK + Compost	N	116.8 (27.8)	152.6 (1.7)	167.4 (7.6)	165.8 (7.7)	129.9 (21.3)	160.7 (27.8)	201.1 (40.3)	156.3a
	P_2O_5	46.1 (19.0)	60.2 (0.7)	66.1 (3.0)	65.4 (3.0)	51.3 (8.4)	63.4 (11.0)	79.3 (15.9)	61.7a
	K_2O	148.7 (35.4)	194.4 (2.2)	213.2 (9.7)	211.1 (9.8)	165.4 (27.1)	204.6 (35.4)	256.0 (51.3)	199.1a
NP + Compost	N	129.6 (24.8)	144.9 (15.8)	126.2 (13.6)	153.8 (6.0)	110.8 (14.8)	150.6 (25.4)	192.3 (54.6)	144.0a
	P_2O_5	51.1 (9.8)	57.2 (6.3)	49.8 (5.4)	60.7 (2.3)	43.7 (5.8)	59.4 (10.0)	75.9 (21.5)	56.8a
	K_2O	165.0 (31.6)	184.5 (20.2)	160.7 (17.4)	195.9 (7.6)	141.1 (18.8)	191.8 (32.3)	244.8 (69.5)	183.4a
NK + Compost	N	97.6 (18.8)	145.0 (25.0)	138.4 (20.4)	152.8 (8.3)	123.3 (16.5)	142.3 (42.3)	202.7 (45.0)	143.2a
	P_2O_5	38.5 (7.4)	57.2 (9.9)	54.6 (8.1)	60.3 (3.3)	48.7 (6.5)	56.2 (16.7)	80.0 (17.7)	56.5a
	K_2O	124.3 (24.0)	184.5 (31.9)	176.2 (26.0)	194.6 (10.6)	157.0 (21.0)	181.2 (53.9)	258.0 (57.2)	182.3a
PK + Compost	N	75.6 (18.5)	72.3 (11.2)	74.6 (18.0)	106.6 (19.7)	95.6 (10.7)	90.9 (17.2)	111.7 (16.9)	89.6b
	P_2O_5	29.8 (7.3)	28.5 (4.4)	29.5 (7.1)	42.0 (7.8)	37.7 (4.2)	35.8 (6.8)	44.1 (6.7)	35.4b
	K_2O	96.3 (23.5)	92.0 (14.3)	95.1 (22.9)	135.7 (25.0)	121.8 (13.7)	115.7 (22.0)	142.2 (21.5)	114.1b

†Values in parentheses denote the standard error.
‡Different letters indicate significant difference (P<0.05) within each nutrient element.

토양의 화학성 변화 토양의 유기물 함량은 퇴비를 투입한 처리가 무비구, 3요소구와 비교하여 유의성 있는 증가를 나타내었다(Fig. 2). 시험 전 토양의 유기물 함량 2.7 g kg^{-1}로부터 21년간 퇴비를 사용한 후의 종합개량구는 18.1 g kg^{-1}, 질소결제구 17.5 g kg^{-1}, 인산결제구 17.8 g kg^{-1}, 칼리결제구에서는 17.2 g kg^{-1}로 각각 증가하였다. 퇴비의 사용에 따른 토양 유기물의 평균 증가율은 0.69 g kg^{-1} yr^{-1} − 0.73 g kg^{-1} yr^{-1}범위를 나타내었다. 이러한 결과는 논 토양에서 3요소에 볏짚퇴비를 매년 7.5 Mg ha^{-1}를 사용하였을 때 23년 동안 토양 유기물 함량이 11 g kg^{-1} 증가하고 (Yeon et al., 2007), 질소비료에 볏짚퇴비를 매년 10 Mg ha^{-1}의 양으로 21년간 사용한 경우 논 토양에서 5.6 g kg^{-1}의 토양 유기물 함량이 높아진다는 보고 (Jung et al., 2001)와 유사하지만, 동일한 양의 퇴비를 투입하였을 때의 토양 유기물의 증가율은 본 시험에서 더 높은 것으로 나타났다.

토양 중 유효인산 함량은 시험 전 15 mg kg^{-1}로부터 무비구를 제외하고 모든 처리에서 증가하였다 (Fig. 3). 3요소구에서는 21년간 인산 표준시비량 처리로 인해 유효인산 함량은 312 mg kg^{-1}로 높아졌으며 인산 보통비료에 의한 연평균 증가량은 14.2 mg kg^{-1} yr^{-1}를 나타냈다. 인산결제구에서는 유효인산 함량이 163 mg kg^{-1}로 연평균 증가량이 7.0 mg kg^{-1} yr^{-1}이었는데 이는 퇴비의 사용에 의한 영향으로 판단되었다. 그리고 종합개량구, 질소결제구, 칼리결제

구의 유효인산 함량은 각각 465 mg kg^{-1}, 495 mg kg^{-1}, 434 mg kg^{-1}로 증가하였는데, 이는 인산 보통비료 시비와 퇴비 사용에 의한 상호 영향으로 보인다. 한편 인산 보통비료의 시비만으로도 토양 중 유효인산 함량이 증가하였는데 이는 고추의 인산흡수량이 3요소구에서 57.5 kg ha^{-1}인데 반해서 시비량은 2005년까지 200 kg ha^{-1}, 2006-2014년까지는 112 kg ha^{-1}로 투입량이 더 많았기 때문인 것으로 사료된다. 그러므로 토양 중 유효인산 함량을 일정한 수준으로 유지하기 위해서는 인산 보통비료에 대한 시비량의 조절이 필요하고 인산 보통비료와 퇴비를 같이 시용하는 경우에는 보통비료의 시비량에 대해서 추가적으로 절감해야 할 필요가 있다고 사료된다. 이와 유사한 사례로 논에서도 1978년부터 2008년까지 31년간 3요소에 퇴비를 시용하였을 때 유효인산 함량이 49 mg kg^{-1}에서 139 mg kg^{-1}로 지속적으로 증가하므로 인산 보통비료에 대한 시비량 조절이 필요하다고 보고하고 있다 (Shon et al., 2016).

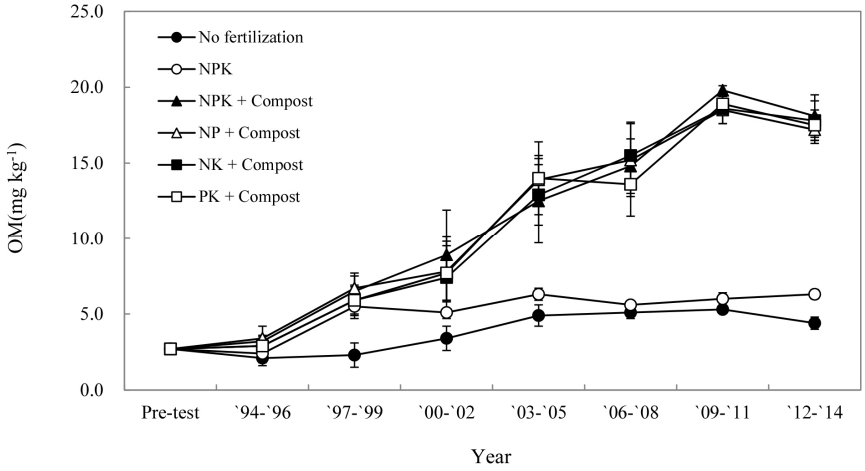


Fig. 2. Changes of soil organic matter (OM) in a long-term (1994-2014) fertilization experiment. Error bars represent standard error of the average OM for every 3 year period from 1994 to 2014.

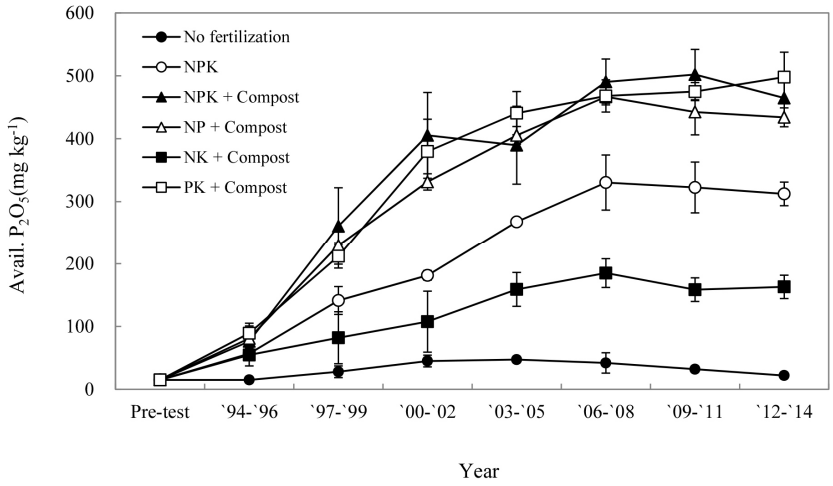


Fig. 3. Changes of soil avail. P_2O_5 in a long-term (1994-2014) fertilization experiment. Error bars represent standard error of the average avail. P_2O_5 for every 3 year period from 1994 to 2014.

토양의 치환성 칼리 함량은 시험 전 1.28 cmol$_c$ kg^{-1}과 비교하여 3요소구의 치환성 칼리 함량은 고추 경작연수가 증

가할수록 지속적으로 낮아져 0.68 $cmol_c\ kg^{-1}$까지 감소하였다 (Fig. 4). 무비구와 칼리결제구는 칼리를 시비하지 않은 영향으로 각각 0.50 $cmol_c\ kg^{-1}$, 0.37 $cmol_c\ kg^{-1}$을 보여 더 큰 감소폭을 나타냈다. 그리고 칼리 보통비료에 퇴비를 추가적으로 투입한 질소결제구, 인산결제구, 종합개량구에서는 시험 전 토양과 비슷한 수준을 유지하였다. 한편 3요소구에서도 치환성 칼리의 함량이 감소하였는데 이는 칼리 보통비료에 대한 연간 공급량은 200 kg ha^{-1}인 반면에 평균 칼리흡수량이 185.6 kg ha^{-1}로 공급량과 비슷하였으며, 또한 시비된 칼리질 비료가 강우로 인하여 용탈되었거나 시험 전 산성토양의 개량을 위해 석회질 비료의 투입에 따라 토양 중 치환성 칼슘과 마그네슘으로 일부가 교환되었기 때문인 것으로 사료되었다 (Kayser et al., 2012). 그러므로 3요소만의 투입으로는 치환성 칼리의 함량이 지속적으로 감소하는 경향을 보이므로 고추에서 칼리 표준시비량을 높일 필요가 있다고 판단되었다.

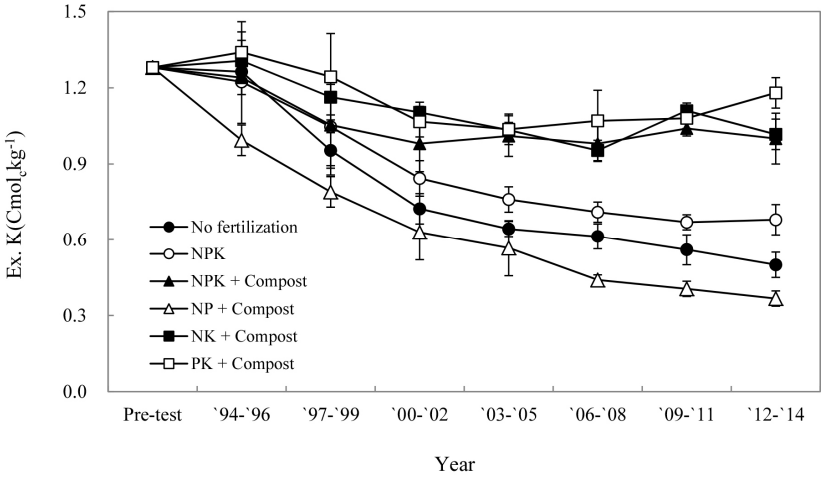


Fig. 4. Changes of soil exchangeable K (Ex. K) in a long-term (1994-2014) fertilization experiment. Error bars represent standard error of the average Ex. K for every 3 year period from 1994 to 2014.

Conclusions

1994년부터 2014년까지 21년간에 걸쳐 동일한 비료를 장기간 연용하였을 때 고추의 수량과 토양화학성에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 3요소구의 고추 평균수량인 20,048 kg ha^{-1}을 기준으로 무비구 13%, 질소결제구는 59%로 유의한 차이를 나타냈으나 인산결제구, 칼리결제구, 종합개량구와는 수량에서 차이는 없었다. 질소, 인산, 칼리 흡수량에서도 마찬가지로 무비구에서 가장 적었으며 3요소구, 인산결제구, 칼리결제구, 종합개량구에서는 각각의 성분에 대해서 처리간의 차이없이 동일한 양분 흡수량을 나타냈다. 토양의 유기물 함량은 퇴비를 투입한 처리가 무비구와 3요소구와 비교하여 유의성 있는 증가를 보였다. 퇴비의 시용에 따른 토양 유기물의 평균 증가율은 0.69 − 0.73 g kg^{-1} yr^{-1}이었다. 토양 중 유효인산 함량은 무비구를 제외하고 모든 처리에서 증가하였는데, 퇴비의 시용으로 인한 유효인산의 증가량은 7.0 mg kg^{-1} yr^{-1}이었고 인산 보통비료에 의한 증가량은 14.2 mg kg^{-1} yr^{-1}를 나타내었다. 토양의 치환성 칼리 함량은 칼리 보통비료에 퇴비를 같이 투입한 처리에서는 비슷한 수준을 유지한 반면에 3요소구, 무시비구, 칼리결제구에서는 지속적으로 감소하였다. 이러한 결과는 질소, 인산, 칼리 등 무기질비료에 퇴비를 추가하여 시용하는 것이 고추의 안정적인 최대 수량의 확보와 토양 유기물을 증진시키지만, 인산과 칼리의 시비량에 대한 조정은 필요하다고 사료되었다.

References

Chung, D.Y. and K.S. Lee. 2008. Role of chemical fertilizer and change of agriculture in Korea. J. Agric. Sci. Chungnam Nat'l Univ., Korea. 35(1):69-83.

Http://kosis.kr/search/search.do?query=%EC%B1%84%EC%86%8C%EC%83%9D%EC%82%B0%EB%9F%89.

Jenkinson, D.S. 1989. The rothamsted long-term experiment: are they still of use? Agron. J. 83(1):2-10.

Jeong, J.H., B.W. Sin, and C.H. Yoo. 2001. Effects of the successive application of organic matters on soil properties and rice yields. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(2):129-133.

Kapkiyai, J.J., N.K. Karanja, J.N. Qureshi, P.C. Smithson, and P.L. Woomer. 1999. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management. Soil Biol. Biochem. 31:1773-1782.

Kayser, M., M. Benke, and J. Isselstein. 2012. Potassium leaching following silage maize on productive sandy soil. Plant Soil Environ. 58:545-550.

Kim, M.S., S.C. Kim, S.G. Yun, S.J. Park, and C.H. Lee. 2017. Change in available phosphate by application of phosphate fertilizer in long-term fertilization experiment for paddy soil. Korean J. Environ. Agric. 36(3):141-146.

Kim, M.S., Y.H. Km, S.S. Kang, H.B. Yun, and B.K. Hyun. 2012. Long-term application effects of fertilizers and amendments on changes soil organic carbon in paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6):1108-1113.

Lee, C.H., T.J. Lim, S.S. Kang, M.S. Kim, and Y.H. Kim. 2012. Relationship between cucumber yield and nitrate concentration in plastic film house with ryegrass application. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6):943-948.

Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. Korean J. Environ. Agric. 28(4):397-402.

Liu, E., C. Yan, X. Mei, W. He, S.H. Bing, L. Ding, Q. Liu, S. Liu, and T. Fan. 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma. 158:173-180.

Lim, T.J., S.D. Hong, S.H. Kim, and J.M. Park. 2008. Evaluation of yield and quality from red pepper for application of pig slurry composting biofiltration. Korean J. Environ. Agric. 27:171-177.

NIAST. 2010. Method of soil and plant analysis. p. 61-124. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea.

Shon, J.Y., J.H. Kim, S.G. Kang, S.H. Shin, K.B. Shim, W.H. Yang, and S.G. Heu. 2016. Effects of long-term fertilization on rice yield and soil chemical properties in the mid-plain of Korea. Korean J. Crop Sci. 61(1)25-32.

Sharpley, A.N. 1995. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. J. Environ. Qual. 24(5):920-926.

Yang, C.H., J.H. Jeong, T.K. Kim, S. Kim, N.H. Baek, W.Y. Choi, Y.D. Kim, W.K. Jung, and S.J. Kim. 2010. Effect of long-term annual dressing of organic matter on physic-chemical properties and nitrogen uptake in the paddy soil of fluvio-marine deposit. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):981-986.

Yeon, B.Y., H.K. Kwak, Y.S. Song, H.J. Jun, and C.H. Kim. 2007. Changes in rice yield and soil properties under continued application of chemical fertilizer for 50 years in paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 40(6):482-487.

Zhang, J.B., T.B. Zhu, Z.C. Cai, S.W. Qin, and C. Műller. 2012. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer application on soil nitrogen transformations. Eur. J. Soil Sci. 63:75-85.

Zhao, S., P. He, S. Qiu, L. Jia, M. Liu, J. Jin, and A.M. Johnston. 2014. Long-term effects of potassium fertilization and straw return on soil potassium levels and crop yields in north-central China. Field Crops Res. 169:116-122.