

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.3.296>
 pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Estimation of Optimum Organic Fertilizer Application under Fertilizer Recommendation System

Seok cheol Kim, Byong Gu Ko¹, Seong Jin Park, Myung Sook Kim, Seong Heon Kim[†], and Chang Hoon Lee^{*}

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

¹Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

^{*}Corresponding author: chlee915@korea.kr

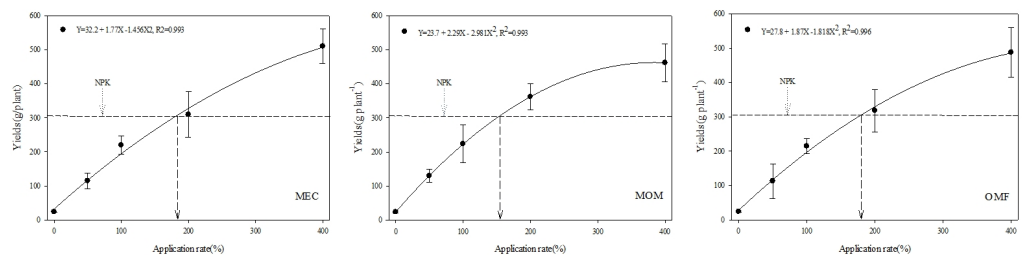
[†]This author contributed equally to this works as corresponding authors

ABSTRACT

Received: July 27, 2018
Revised: August 29, 2018
Accepted: August 31, 2018

Organic fertilizer has been one of soil management to improve crop productivity and soil fertility. Unfortunately, there is little information on optimum level of organic fertilizer for crop cultivation. In this study, we were tried to use the fertilizer recommendation system for determining organic fertilizer application under upland soil condition. This work was carried out; 1) to compare the effects of organic fertilizer and compost application on yields of Chinese cabbage, and 2) to estimate optimum levels on three types of organic fertilizer of 0, 50, 100, 200, and 400% with 320 kg N ha⁻¹. The yield of Chinese cabbage in organic fertilizer plots was ranged from 71.3 to 74.1% compared to yield index of NPK. which was 2-7 times higher than in compost treatments due to improvement of N uptake efficiency. However, organic fertilizer was required addition of about 1.5-2.0 times amount to the 4 Mg ha⁻¹ to gain the same yield of NPK treatment, these was similar soil properties of NPK treatments. This result indicated that fertilizer recommendation system could be alternative to calculate optimum levels of organic fertilizer for crop cultivation in upland soil.

Keywords: Organic fertilizer, Nitrogen use efficiency, Optimum replacement rate



Investigation of optimum application rate by organic fertilizers types.



Introduction

유기질 비료는 화학비료를 절감하거나 대체하는 방안이 되기도 하며, 친환경농업에서는 유기질 비료의 사용을 추천하고 있다 (Yun et al., 2011). 유기질비료는 동·식물성 원료 및 퇴비 등을 혼합하여 만들어지며 비료공정규격상 부산물 비료로 구분된다 (RDA, 2017). 퇴비화 과정을 거친 부숙유기질 비료 (퇴비)와 달리, 유기태 화합물이 다량 함유하고 있는 유기질 비료는 토양 중에서 무기화 과정을 거쳐 작물생육에 필요한 질소 및 인 등의 양분을 공급할 수 있다 (Cho et al., 2009). 유기질비료는 2003년 208천톤에서 2007년 549천톤으로 공급이 증가하는 추세에 있지만 (Lee et al., 2009), 작물재배를 위한 유기질 비료의 사용방법은 농가 경험에 의존하고 있는 실정이다.

농경지에서 벼, 옥수수, 상추, 쪽갓 재배에 유기질 비료 사용효과에 대한 평가는 많이 이루어졌다 (Lim et al., 1990; Lim et al., 1983; Kim et al., 1998). Cho et al. (2009)은 유기질비료 1.46, 2.92, 4.38 Mg ha⁻¹를 논에 사용한 결과, 벼 정조지수는 NPK 대비 약 102, 121, 90%로 유기질비료 사용량에 따라 수량의 차이가 난다고 하였다. 또한 유기질 비료 사용은 용적밀도, 투수성 및 통기성, CEC, pH 및 유효인산 등 토양특성에 영향을 미치기도 한다 (Mader et al., 2002; Diacono and Montermuro, 2012; Lim et al., 2011; Choi et al., 2010; Yun, 2009). 그러나 유기질비료의 과다 사용은 토양 중 염류를 축적시켜 작물의 수분 흡수를 저해하고, 이온독성을 유발하여 작물생육 장애를 초래한다 (Cho and Park, 2002). 또한 관개 및 강우 등에 의한 축적된 양분이 주변수계로 이동할 경우에는 수질에 영향을 줄 수 있다 (Lee et al., 2011). 이러한 측면에서 유기질 비료의 적정 사용은 지속적 작물생산 및 환경보전을 위한 방안이 될 수 있다.

현재 농경지에 적정한 비료를 사용하는 방법으로 작물별 표준시비추천량 또는 토양검정 시비체계를 활용하고 있다 (RDA, 2017). 특히, 토양검정 시비는 토양비옥도와 작물수량 간에 관계를 고려하기 때문에, 비료의 적정 사용을 유도하고 작물수량 감소를 예방할 수 있다. 이러한 장점으로 토양검정 시비체계는 유기질 비료의 사용을 결정하는데 이용되었다 (Yoon et al., 2012; Uhm et al., 2012). 그러나 유기질 비료는 무기화 과정을 통해 양분을 작물에 공급하기 때문에 (Alexandratos, 1995; Kim et al., 2014; Tei, 1999), 작물에 대한 유기질 비료 사용효과를 검정할 필요가 있다. 많은 연구에서 작물수량 및 양분흡수율을 대상으로 유기질 비료의 사용효과를 평가하고 있다 (Simamoto and smith, 2000; Kim et al., 1998; Lim et al., 2011). 그럼에도 불구하고 유기질 비료의 사용에 따른 작물의 질소이용효율을 평가한 연구는 미미한 실정이다. 본 연구는 부산물 비료로 구분되는 유기질비료와 퇴비의 사용효과를 비교하였고, 유기질 비료 종류별 사용수준에 따른 작물 수량과 토양특성을 평가하여 유기질 비료의 적정사용을 위한 토양검정 시비체계의 활용가능성을 검토하였다

Materials and Methods

포트재배 본 시험에 사용된 부산물비료는 유기질비료 3종 (혼합 유박, 혼합 유기질, 유기 복합 비료)과 퇴비 2종 (가축분 퇴비, 퇴비)으로 총 5종을 사용하였고, 시험 토양은 식양토로 국립농업과학원내 시험포장에서 채취하여 포트 재배에 이용하였다 (Table 2). 와그너포트 (1 5000a⁻¹)에 모래를 5 cm 깊이로 채우고, 토양 충진은 용적 밀도 1.2 g cm⁻³ 및 높이 20cm 조건을 적용하였다. 배추재배시험을 위한 부산물 비료의 사용량은 토양검정 질소시비량을 이용하여 Eq. (1)과 같이 산정하였다 (Yun et al., 2009).

$$\text{부산물비료 시비 (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{토양검정 N 시비 (kg ha}^{-1}\text{)} \times [100/\text{부산물 비료 질소함량 (\%)}] \quad (1)$$

본 시험에서 부산물 비료의 사용효과 비교와 시비수준별 수량과 토양특성 평가는 4반복의 완전임의배치법으로 수행되었다. 우선 부산물 비료의 사용효과 비교 시험은 토양검정 320 kg ha⁻¹에 상응하는 각 부산물 비료의 사용량을 산정하였다. 이때, 혼합 유박 3.74 Mg ha⁻¹, 혼합 유기질 비료 4.2 Mg ha⁻¹ 및 유기 복합 비료 3.78 Mg ha⁻¹로, 부숙 유기질 비료인 가축분 퇴비는 22 Mg ha⁻¹ 및 퇴비 35 Mg 10a⁻¹을 전량 밀거름으로 사용하였다. 또한 또한 유기질 비료 3종의 시비수준에 따른 작물 생산성과 토양특성 변화를 평가는 320 kg ha⁻¹에 상응하는 유기질 비료 사용량을 100%으로 하여 0, 50, 100, 200, 400%의 5수준을 전량 밀거름으로 사용하였다. 대조구 (NPK)는 N-P₂O₅-K₂O : 320-78-198 kg ha⁻¹을 요소, 용성인비, 염화加里를 사용하였으며, 밀거름은 110-78-110 kg ha⁻¹을, 옷거름은 210-0-88 kg ha⁻¹로 시비하였다. 물 관리는 2016년 9월부터 11월까지 중량수분 25% 범위로 관수하였다.

질소 이용효율 포트 재배 70일 경과 후 배추를 수확하였고, 엽폭 및 엽장, 생체중을 조사하였고, 70°C 건조기에서 48시간 건조한 다음 수분을 정량하였다. 질소의 이용효율을 조사하기 위해 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였으며, T-N은 습식분해 (HClO₄)하여 전처리 후 킬달분석하였다. 부산물 비료의 질소 이용효율 (%)은 아래와 같이 Eq. (2)식을 이용하여 산출하였다 (Yoon et al., 2012).

$$\text{질소 이용 효율(\%)} = \frac{\text{각 처리구 배추 질소흡수량 (kg/ha)} - \text{무비구 질소흡수량 (kg/ha)}}{\text{질소 총 시비량 (kg/ha)}} \times 100 \quad (2)$$

토양분석 토양분석은 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 토양의 pH 및 EC는 풍건 조건에서 건조한 시료와 증류수를 1:5 (w/v)비율로 30분 교반하여 pH meter (Orion star A121) 및 EC meter (Orion star A121)로 각각 측정하였다. 토양의 전탄소 (TC) 및 전질소 (TN)는 토양시료를 10 g을 막자사발로 곱게 같은 다음에 원소분석기 (Vario Max, Elementar)로 정량하였다. 가용성 질소함량은 2M KCl로 추출한 여액을 이용하여 질소자동분석기 (Bran-Luebbe, AutoAnalyzer 3)로 여액 중 NH₄-N 및 NO₃-N을 측정하였다.

통계분석 모든 데이터는 ANOVA 분석을 실시하였고, 각 처리간에 평균비교는 유의수준 5%로 Duncan 분석하였다. 또한 유기질 비료의 사용에 따른 작물수량 반응을 예측하기 위해 유의수준 5%로 회귀분석을 하였다.

Results and Discussion

부산물비료 사용효과 부산물 비료의 무기화는 성상 및 탄질비 차이로 달라지며, 작물 생산성에 영향을 미치기도 한다 (Kang et al., 2002; Cho and Chang, 2007; Yang et al., 2008; Cho et al., 2009). Table 1의 결과와 같이, 유기질 비료의 배추 수량은 평균 219 g plant⁻¹로 퇴비에 비해 약 2-7배 높았다. Uhm et al. (2012)은 토양에 사용되는 유기질 비료의 무기화는 30일경에는 61.2-65.0%, 60일 후에는 71.4-75.6%가 이루어진다고 보고하였다. 또한 Kim et al. (2000)은 토성에 따라 무기화 차이가 있다고 보고하였고, 특히 식양토에서 가축분 퇴비 및 퇴비의 질소무기화는 16-48%이라고 하였다. 부산물비료 종류에 관계없이 토양검정 시비체계의 질소시비에 대응한 부산물 비료를 농경지에 사용한다면, 토양 중 질소 무기화가 촉진되는 유기질 비료가 배추 수량의 증수효과가 높을 것으로 사료된다. 또한

발효 및 부숙 공정을 거친 안정화 된 퇴비는 토양 중 무기화가 낮기 때문에 배추의 수량 증대효과는 미미할 것으로 판단된다.

Table 1. Yield characteristics of Chinese cabbage in soil applied with different various organic fertilizer types.

Treatments	Fertilizer types	Height (cm)	Periphery (cm)	Quantity	
				(g ea ⁻¹)	Index
Control	-	10.8 e	12.8 c	24.0 d	8.0
NPK	-	25.3 a	43.0 a	303.0 a	100.0
Organic fertilizer	MEC	20.0 b	42.8 a	220.0 b	73.2
	MOM	21.0 b	40.3 a	223.5 b	74.1
	OCF	20.5 b	42.0 a	214.3 b	71.3
Compost	AMC	15.8 c	29.5 b	103.8 c	34.5
	CM	13.8 d	17.0 c	30.8 d	10.2

Note) MEC : mixed expeller cake, MOM : mixed organic matter, OCF : organic complex fertilizer, AMC : animal manure fertilizer, CM : compost. Different letters indicate statistics significance at 5% level.

부산물 비료 종류별 배추의 질소 이용효율을 평가하였다 (Table 4). 유기질 비료를 사용한 배추의 질소함량은 1.6-2.1%로, 유기질 비료 종류는 배추의 질소함량에 영향을 주었다 ($p < 0.01$). 배추의 질소이용 효율은 무기질 비료가 4.4%로 가장 높았고, 혼합 유박 (3.7%) > 혼합 유기질 (2.6%) ≒ 유기 복합 비료 (2.6%) > 가축분 퇴비 (0.8%) > 퇴비 (0.3%) 순으로 낮았다. 부산물 비료 중 배추의 질소이용 효율이 가장 높은 혼합유박 처리구는 NPK 대비할 경우 84.1% 이었고, 혼합유기질 및 유기복합 처리구에 비해 질소이용 효율은 약 30% 향상되었다. 토양의 질소공급은 작물 생육 및 수량 반응에 주 요인으로 작용한다 (Schulten and schnizer, 1998). 특히 유기질 비료는 다양한 유기태 질소를 함유하고 있기 때문에, 유기질 비료의 원료에 따른 토양 중 무기화 속도가 달라질 수 있다 (Cho and Chang, 2007). Table 2와 같이, 유기질 비료 종류에 따른 배추의 질소이용효율 차이를 유도한 것으로 판단되며 (Lee et al., 2011), 유기질 비료의 종류에 따라 무기화 속도가 다르기 때문에 배추의 질소이용효율이 차이가 난 것으로 판단된다.

Table 2. Nitrogen use efficiency of Chinese cabbage in soil applied with different various organic fertilizer types

Treatments	Fertilizer types	T-N (%)	Nitrogen use efficiency	
			(%)	Index
Control	-	1.2 c	-	-
NPK	-	1.9 ab	4.4 a	100
Organic fertilizer	MEC	2.1 a	3.7 b	84.1
	MOM	1.6 bc	2.6 c	59.1
	OCF	1.6 bc	2.6 c	59.1
Compost	AMC	1.3 c	0.8 d	18.2
	CM	2.0 ab	0.3 e	6.8

Note) MEC : mixed expeller cake, MOM : mixed organic matter, OCF : organic complex fertilizer, AMC : animal manure fertilizer, CM : compost. Different letters indicate statistics significance at 5% level.

수확기 토양의 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 토양 pH는 배추의 질소이용 효율이 가장 높았던 혼합 유박 (MEC) 시용은 토양 pH 에 영향을 미쳤다. 혼합유박 처리구의 토양 pH는 4.87로 NPK에 비해 약 6.9% 감소되었다. 혼합유기질 (MOM)과 유기복합 (OCF)는 토양 EC를 0.26 dS m⁻¹이었고, 혼합유박 0.19 dS m⁻¹에 비해 높았다. 유기질 비료 시용은 토양 EC를 5.8~16.1% 증가되는 경향을 나타낸다 (Uhm et al., 2012). 이러한 유기질 비료 종류에 따른 토양 pH와 EC의 변화는 유기질 비료시용에 따른 무기화와 작물의 양분이용효율에 의해 영향을 받을 수 있다. 혼합 유박 처리구에서 배추의 질소이용 효율과 가용성 NH₄-N 함량은 3.7%와 20.8 mg kg⁻¹로 유기질 비료 중 가장 높았다 (Table 2와 3). 이는 유기질 비료의 무기화가 영향을 미친 것으로 판단된다. 유기질 비료의 시용은 토양 탄소 및 질소 함량을 증가시키지 않았으나, 부숙유기질비료 (퇴비)는 증가되었다. 또한 토양 유효인산은 부숙유기질비료에 의해 증가되었는데, 이는 가축분, 음식물 등 원료에 포함된 인산함량과 관련이 있을 것으로 추정된다. 이상의 결과에서 토양검정 질소시비량 320 kg ha⁻¹에 부합하는 유기질 비료의 시용은 질소공급이 가능하지만 NPK 배추수량의 약 70% 수준을 나타내었고, 특히 토양 pH와 EC 변화에 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 따라서 유기질 비료의 적정 시용량 산정방법으로 토양검정 시비체계를 활용하기 위해서는 유기질 비료의 시용에 따른 배추수량의 반응을 예측할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

Table 3. Chemical properties in soil applied with different fertilization at harvesting stage

		pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	TC (%)	TN (%)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.cation (cmol kg ⁻¹)				Extractable N (mg kg ⁻¹)	
							K	Ca	Mg	Na	NH ₄ -N	NO ₃ -N
Control	-	5.88 b	0.16 c	5.90 c	0.72 b	64.7 c	0.27 c	4.54 b	2.08 cd	0.10 c	13.7 b	1.1 c
NPK	-	5.23 bc	0.15 c	6.14 c	0.61 b	65.4 c	0.13 d	4.23 b	1.92 d	0.05 c	16.9 ac	4.5 a
Organic fertilizer	MEC	4.87 c	0.19 bc	6.40 bc	0.69 b	66.0 c	0.13 d	4.30 b	1.99 d	0.08 c	20.8 a	3.2 ab
	MOM	5.38 bc	0.26 ab	6.88 bc	0.59 b	66.8 c	0.13 d	4.38 b	2.04 cd	1.01 a	14.2 b	3.2 ab
	OCF	5.49 bc	0.27 ab	7.59 b	0.73 b	83.2 b	0.15 d	4.30 b	2.19 c	1.03 a	13.5 b	1.7 bc
Compost	AMC	6.93 a	0.35 a	10.57 a	1.06 a	175.0 a	0.50 a	6.33 a	2.79 a	0.17 b	16.6 ab	0.3 d
	CM	6.90 a	0.32 a	9.60 a	1.02 a	73.8 bc	0.39 b	20.27 a	2.45 b	0.20 b	15.6 b	2.2 bc

Note) MEC : mixed expeller cake, MOM : mixed organic matter, OCF : organic complex fertilizer, AMC : animal manure fertilizer, CM : compost. Different letters indicate statistics significance at 5% level.

유기질비료 시용수준별 수량반응 토양검정 질소시비에 대비한 유기질 비료 종류에 따른 시용수준별 배추수량 반응을 예측한 결과는 Fig. 1과 같다. 유기질 비료에 시용량이 증감함에 따라 배추수량은 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 NPK와 동일한 배추수량을 얻기 위해서는 토양검정 질소시비 320 kg ha⁻¹에 대비한 유기질 비료 (약 4 Mg ha⁻¹)의 1.5~2배를 사용해야 했다. 논에 유기질 비료를 약 4 Mg ha⁻¹를 사용할 경우, 벼 정조 수량은 NPK 수량대비 10% 감소되었다 (Cho et al., 2009). 그러나 본 시험에서는 최대 8 Mg ha⁻¹의 유기질 비료를 밀거름으로 사용하더라도 배추의 수량은 감소되지 않았는데, 이는 논과 밭토양 조건에서 환원장에 발달의 차이일 수 있다 (Kim et al., 1997). 또한 Table 1과 같이 낮은 토양비옥도가 유기질 비료의 무기화 속도에 영향을 미친 것으로 판단된다.

유기질 비료 종류에 따른 시용수준별 배추의 질소이용 효율을 평가한 결과는 Fig. 2와 같다. 혼합 유박을 약 4 Mg ha⁻¹ 사용할 경우에 배추의 질소이용율은 가장 높았다. 이후 혼합 유박시용이 증가함에 따라 배추의 질소이용효율은

감소되었다. 혼합 유박을 제외한 유기질 비료는 사용량이 증가하더라도 배추의 질소이용 효율의 감소는 미미하였다. 유기질 비료의 사용량이 증가함에 따른 질소이용 효율의 감소는 토양 중 질소 등 양분이 축적 될 수 있음을 의미하며 (Cho and Park, 2002), 결국 장기간 유기질 비료의 사용으로 작물생육을 저해하거나 환경 부하를 가중시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 토양검정 시비체계를 이용한 유기질 비료의 적정 사용은 작물의 질소이용 효율 증가에 따른 작물 생산성 향상과 환경보전을 위한 합리적인 유기질 비료 사용방법의 대안이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

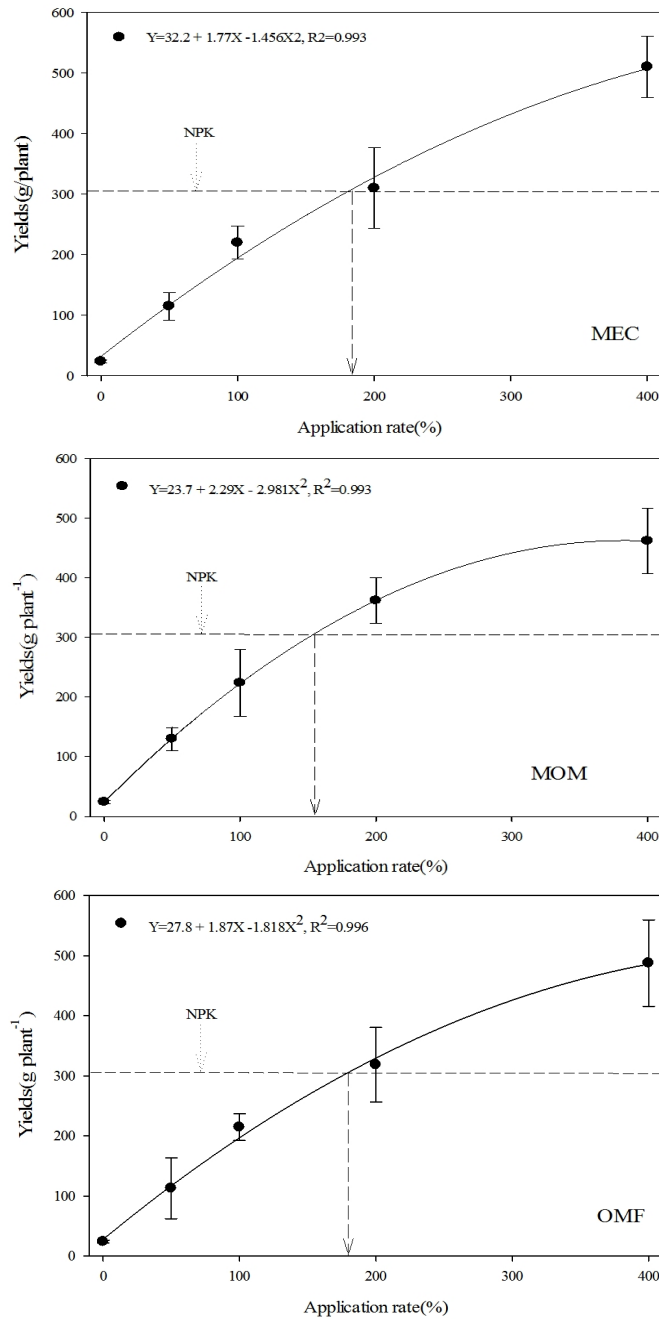


Fig. 1. Change of yields by organic fertilizer replacement rates.

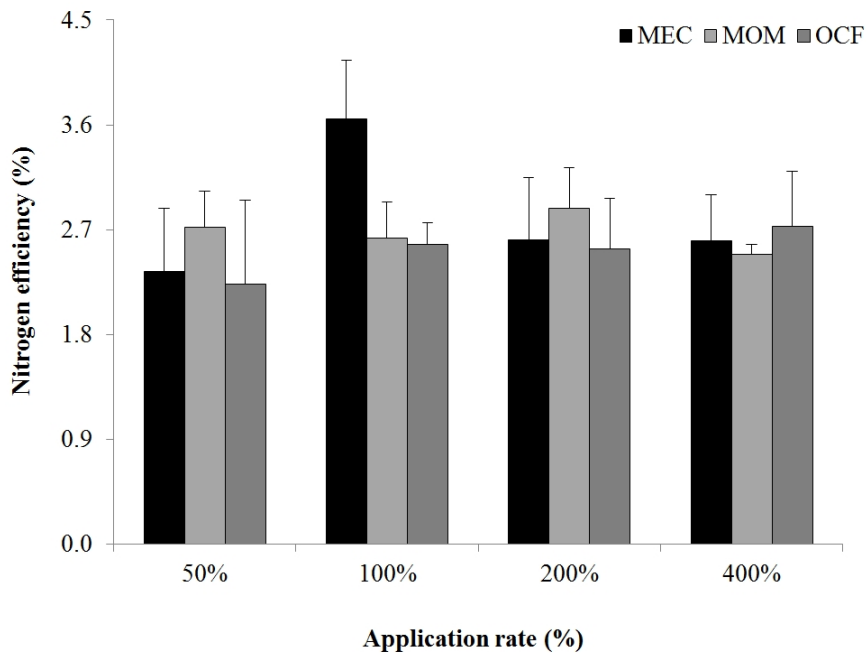


Fig. 2. Variation of nitrogen use efficiency by replacement rate of organic fertilizers.

유기질 비료의 사용수준에 따른 토양의 화학적 특성 변화에 대해 평가하였다 (Fig. 3). 유기질 비료 사용은 pH를 감소시키는 경향을 나타내었다. 그럼에도 불구하고 NPK 처리구의 토양 pH와는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으며, Yang et al. (2008)이 보고한 결과와 유사하였다. 토양 EC의 경우에는 유기질 비료의 사용에 영향을 받았다. 유기질 비료의 시비량이 증가할수록 토양 EC도 동반 증가하는 경향을 보였으며, 특히 혼합 유기질 비료의 경우는 과량 (16 Mg ha^{-1}) 사용함에 따라 토양 EC는 NPK 처리구 대비 약 2배가량 증가되었다. 토양 중 TC와 TN은 8 Mg ha^{-1} 이상의 유기질 비료를 사용할 경우에 높아졌고, 가용성 질소인 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량 또한 유기질 비료의 사용량에 영향을 받는 것으로 조사되었다. 유기질 비료의 경우 발효가 잘 되어진 퇴비와 달리 발효가 진행되지 않는 미부숙 (Kang et al., 2002) 상태이고, C/N비가 퇴비에 비해 낮고 이로 인해 미생물에 의한 질소 무기화가 빨라 (Cho et al., 2000), 토양 중으로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 공급이 증가된다. 토양 중 가용성 질소가 과다한 경우는 토양 EC 증가에 영향을 준다는 보고가 있다 (Kang et al., 1997). 본 실험의 경우도 유기질 비료의 과다 사용으로 EC 및 가용성 질소의 농도가 증가됨을 확인하였다. 이는 유기질 비료를 과다하게 시비할 경우에 토양에 잔류되는 양분으로 인해 작물생산에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

Conclusions

토양검정으로 산정된 질소시비량을 기준으로 토양에 사용된 유기질 비료의 사용효과와 더불어 적정 유기질 비료의 사용량을 추정하였다. 토양검정 질소시비 기준으로 사용된 유기질 비료는 NPK 배수 수량 대비 71.3-74.1% 생산성을 보였고, 배추의 질소이용효율의 향상으로 퇴비의 배추수량 보다 약 2-7배 높았다. 그러나 NPK의 배추 수량을 얻기 위해서는 토양검정 질소시비 320 kg ha^{-1} 로 산정된 유기질 비료의 사용량의 1.5-2배 더 사용해야 하는 것으로 평가되었다. 이때, 토양 pH, EC 등의 토양특성은 NPK 처리구와 유사하였다. 토양검정 질소시비산정체계는 적정 유기질

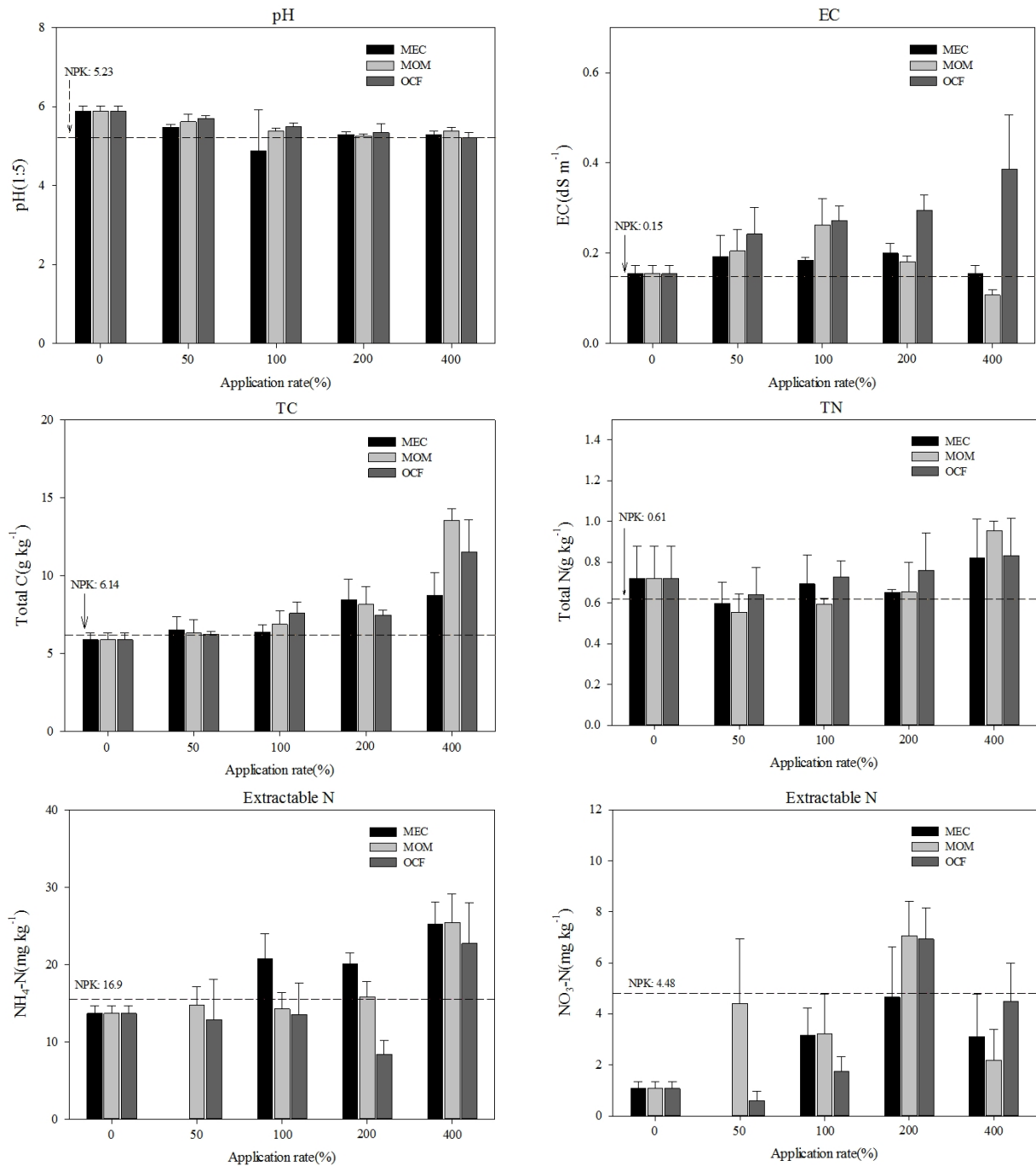


Fig. 3. Chemical properties in soil applied different organic fertilizers after harvesting. MEC : mixed expeller cake, MOM : mixed organic matter, OCF : organic complex fertilizer.

비료 사용량을 산정방법으로 활용할 수 있었다. 그러나 유기질 비료의 종류에 따라 적정 사용량이 차이를 나타내어 이를 보완하기 위해 유기질 비료의 질소무기화에 대한 평가도 함께 이루어져 할 것으로 여겨진다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “PJ0126232018” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Alexandratos, N. 1995. World agriculture : towards 2010 an FAO study. Food and Agriculture organization of the united nations. 189-205.
- 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.
- Cho, S.H. and K.W. Chang. 2007. Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture. *Korea Organic Resource Recycling Association.* 149-158.
- Cho, S.H. and T.H. Park. 2002. Effect of organic fertilizer, Microorganism and swaweed extract application on growth of Chinese cabbage. *J. of KOWREC.* 10(4):81-85.
- 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.
- Diacono, M. and F. Montemurro. 2012. Long term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Argon. Sustain. Dev.* 30:401-422.
- Kang, B.G. , I.M. Kim, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soil in Chunhbuk area. *Korea J. Soil Sci. Fert.* 30:265-271.
- Kang, S.W., C.H. Yoo, C.H. Yang, and S.S. Han. 2002. Effects of rapeseed cake application at panicle initiation stage on rice yield and N-use efficiency in machine transplanting cultivation. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 35:272-279.
- 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.* 33:416-431.
- Kim, K.C., B.K. Ahn, D.Y. Ko, J. Ko, and S.S. Jeon. 2014. Effects of expeller cake fertilizer on soil properties and Tah Tasai Chinese cabbage yield in organic greenhouse farm. *Korea J. Environ. Agric.* 33:149-154.
- 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. Medicinal Crop Sci.* 6:137-141.
- Kim, P.J., D.Y. Chung, K.W. Chang, and B.L. Lee. 1997. Mineralization of cattle manure compost at various soil moisture content. *Korean J. Environ. Agric.* 16(4):295-303.
- Lee, C.H., C.O. Hong, S.Y. Kim, T. Schumachers, and P.J. Kim. 2011. Reduction of phosphorus release by liming from temporary flooded rice rotational system in greenhouse upland soil. *Ecological engineering.* 37(8):1239-1243.
- Lee, K.S. and W.J. Kim. 2009. The development and use of fertilizer for 40 years in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:195-211.
- 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, 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, 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.

- Mader, P., A.F. Bach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- 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. *Boil. Feril. Soils*. 26:1-15.
- Simamoto, G. and S.J. Smith. 2000. Advanced microbial farming for promoting soil. Gardening Part. Third edition. Translated by Korea Society of Compost Farming, Seongju, Korea. 181-334.
- Tei, F., P. Benincasa, and M. Guiducci. 1999. Nitrogen fertilization on lettuce, processing tomato and sweet pepper: yield, nitrogen uptake and the risk of nitrate leaching. *Acta Hort*. 506:61-67.
- Uhm, M.J., J.J. Noh, H.G. Chon, S.W. Kown, 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.
- Yang, C.H., C.H. Yoo, B.S. Kim, W.O. Park, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2008. Effects of application time and rate of mixed expeller cake on soil environment and rice quality. *Korean J. Soil Sci. Fert*. 41:103-111.
- 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. Fert*. 45(4):511-514.
- Yun, H.B., W.K. Park, S.M. Lee, S.C. Kim, and Y.B. Lee. 2009. Nitrogen uptake by Chinese cabbage and soil chemical properties as affected by successive application of chicken manure compost. *Korean J. Environ Agric*. 28:9-14.