

토양 비옥도가 상이한 조건에서 돈분 퇴비와 요소 비료의 배추에 대한 시비효과

윤홍배 · 한승갑¹ · 이종식 · 이예진 · 김명숙 · 이용복^{2*}

농촌진흥청 국립농업과학원, ¹국립원예특작과학원, ²경상대학교 농업생명과학원

Pig Manure Compost and Urea Application Effects on Chinese Cabbage in Different Soil Fertility

Hong-Bae Yun, Seung-Gap Han¹, Jong-Sik Lee, Ye-Jin Lee, Myung-Sook Kim, and Yong-Bok Lee^{2*}

National Academy of Agricultural Science, RDA.

¹National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA.

²Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

The influences of the different mixture of urea fertilizer and pig manure compost as a nitrogen (N) source on Chinese cabbage yield, N uptake, and N agronomic efficiency (AE) were evaluated in two soils having different soil fertility levels. Increasing urea application level was very effective to improve yield and N uptake of Chinese cabbage, and the highest yield was obtained by urea fertilization alone in two soils. On the other hand, the lowest yield and N uptake was obtained from compost alone application in two soils. There was no significant difference in terms of the nitrogen AE between low and high fertility soils that were fully applied with urea. The AE values of Chinese cabbage applied by compost alone were significantly higher in the soil having a low fertility (28.8 g g⁻¹) than that in soil with high fertility (16.2 g g⁻¹), suggesting that N in compost was more responsive in improving the yield of Chinese cabbage in low fertility soils.

Key words: Chinese cabbage, Urea, Pig manure compost, Nitrogen agronomic efficiency

서 언

가축분 퇴비는 친환경농업에서 토양 유기물 공급뿐 만 아니라 화학비료 대체 효과를 기대할 수 있는 주목받고 있는 유기자원 중 하나이다 (Clark et al., 1998; Grandy et al., 2002; Reganold, 1988; Sommerfeldt et al., 1988). 그러나 가축분 퇴비는 녹비와 같은 유기자원에 비해서 양분함량이 높아서 장기간 또는 많은 양을 사용할 경우, 농경지에서는 양분의 집적과 불균형을 초래하고, 수계에서는 비점오염원이 될 수 있는 많은 연구 결과들이 보고되고 있다 (Hwang et al., 2002; Kim et al., 2000; Park et al., 2005; Sharpley et al., 1984; Stamatiadis et al., 1999).

우리나라는 농경지 단위 면적 당 화학비료를 가장 많이 사용하는 나라 중 하나로 알려져 있으며, 특히 질소

양분수지는 2005년까지 OECD 나라 중 가장 높았던 네덜란드를 앞서고 있다 (Kim et al., 2008). 이와 같이 국내 농경지의 양분수지가 OECD 국가 중 가장 높은 원인은 양분함량이 높은 가축분 퇴비를 사용하면서 화학비료 사용량을 줄이지 않기 때문이다. 따라서 화학비료 사용량을 줄이기 위하여 작물재배 전 토양 검정에 의해 시비량을 결정하는 정책을 도입하여 실시하고 있다 (<http://asis.rda.go.kr>). 현재 토양 검정 질소시비량은 시설재배지의 경우 전기전도도 또는 토양 질산태 질소 함량을 기준으로 결정하며, 논은 유기물과 유효규산함량으로, 밭토양은 유기물함량을 기준으로 결정하고 있다 (NIAST, 2006). 그러나 가축분 퇴비와 화학비료를 동일 작기에 사용하고 있는 현실에서 가축분 퇴비에 포함된 양분 함량은 토양검정시비량 결정에 반영되지 못하고 있다.

지금까지 많은 연구자들에 의해서 가축분퇴비와 화학비료 혼용사용에 의한 작물의 수량 증수에 관한 연구가 이루어졌다 (Lee et al., 2003; Patra et al., 2000; Schlegel, 1992). Park (2000)은 논토양에서 돈분퇴비 사용시 질소 사용기준 설정 시험을 통해서 질소 비료 가

접수 : 2010. 11. 26 수리 : 2010. 12. 22

*연락처 : Phone: +82557515467

E-mail: yblee@gnu.ac.kr

치가 높음을 주장하였다. 다른 한편으로 Kim and Jung (2000)은 가축퇴비 과잉 시용시 질산염을 포함한 토양내 염류 집적 문제를 초래할 수 있기 때문에 적정 시용이 필요하다고 하였다. 그리고 Jung and Park (2000)은 가축분 퇴비는 식물생육에 필요한 양분을 다량 함유하고 있어 농경지에 활용시 퇴비의 양분 함량과 작물별 양분 요구량을 고려하여 시용량을 결정하여야 한다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 가축분퇴비의 시비효율 향상도 및 합리적 활용방안을 위한 기초자료를 얻고자 토양 비옥도가 상이한 두 토양에서 돈분 퇴비와 요소비료 혼용비율에 따른 배추수량과 시비질소의 효율성을 조사·분석하였다.

재료 및 방법

시험토양 및 퇴비 특성 본 연구에 이용된 두 토양의 토성은 사양토 (sand : 62±0.7%, silt : 24±0.4%, clay : 14±0.3%)로 동일한 토성을 가지고 있으며, 토양의 이화학적 특성은 상대적으로 유기물함량과 양분함량인 낮은 Soil-L 와 높은 Soil-H를 선발하였다 (Table 1).

시험퇴비는 돈분톱밥 퇴비를 이용하였으며, 퇴비의 양분함량은 총 질소가 11.7 g kg⁻¹, 총 인산이 43.2 g kg⁻¹

이였으며, C/N 율은 13.7 이었다 (Table 2).

처리내용 및 배추재배 배추재배 시험은 경기도 수원시 소재 국립농업과학원 포장에서 1/2,000a 와그너 포트틀 이용하여 3반복으로 수행하였다. 이때 와그너 포트당 18 kg의 두 가지 토양을 채우고, 시험포장에 매설한 후 가을배추 (장미)를 1주씩 정식하였다. 배추는 파종 후 약 4주 경과한 플러그 육묘를 시중에서 구입하여 사용하였다.

본 시험에서 배추는 포트에서 재배하였기 때문에 노지 배추의 표준 시비량인 320-78-198 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K₂O)를 30% 증비하여 수행하였다 (NIAST, 2006). 시험처리내용은 질소를 시비하지 않은 무처리 (-N), 표준시비량의 질소, 인산 및 칼리를 각각 전량 화학비료로 시비한 NPK, 화학비료 질소 70%와 퇴비 질소 30%를 혼용한 N70+COM30, 화학비료 질소 50%와 퇴비 질소 50%를 혼용한 N50+COM50, 화학비료 질소 30%와 퇴비 질소 70%를 혼용한 N30+COM70 및 질소 전량을 퇴비로 사용한 COM100으로 구성하였다 (Table 3). 퇴비와 화학비료 기비는 정식 3일전에 시비하여 즉시 토양과 혼합하였으며, 1차 추비는 정식 15일 후 그리고 2차 추비는 정식 30일 후 시비하였다. 배추는 정식 후 45일째에 수확

Table 1. The chemical properties of used soil in this experiment.

Soils	pH	T-N	O.M	Av.P ₂ O ₅	Ex. cations		
					K	Ca	Mg
	(1:5)	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		
Soil-L	5.9	0.95	16.1	190	0.23	3.72	1.44
Soil-H	6.9	1.25	21.5	430	0.42	4.23	2.23

Table 2. The chemical properties of used compost in this experiment.

T-N	C/N ratio	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	water content
		g kg ⁻¹ , Fw.			%	
11.7	13.7	43.2	38.6	59.9	21.2	26.0

Table 3. Application of compost and chemical fertilizer in this experiment.

Treatment	Basal fertilization (kg ha ⁻¹)				First additional fertilization (kg ha ⁻¹)	Second additional fertilization (kg ha ⁻¹)	
	Compost-N	Chemical fertilizer			Chemical fertilizer	Chemical fertilizer	
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N	K ₂ O
-N	0	0	101	180	0	0	77
NPK	0	166	101	180	125	125	77
N70+COM30	125	117	0	0	87	87	0
N50+COM50	208	104	0	0	104	0	0
N30+COM70	291	125	0	0	0	0	0
COM100	416	0	0	0	0	0	0

하여 수량을 계산하였다. 본 시험에 사용된 질소 화학비료는 요소, 인산 화학비료는 용과린, 그리고 칼륨 화학비료는 염화칼리이다. 그리고 시비 질소에 대한 배추의 생산 효율성은 다음과 같은 식을 이용하여 산출하였다 (Delogu et al., 1998).

$$\text{작물생산효율 (agronomic efficiency, g g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{처리별 수량} - \text{질소 무처리 수량}}{\text{질소 시비량}}$$

식물체 및 토양 분석 배추는 수확 후 70°C에서 3일간 건조시켜 수분을 정량한 다음 분쇄하여 성분 분석에 사용하였다. 퇴비, 토양 및 식물체 총 질소는 황산으로 가수분해한 후 켈달 증류법으로 분석하였다 (NIAST, 2000). 그리고 퇴비, 토양 및 식물체 인산과 양이온 (K, Ca, Mg)은 국립농업과학원에서 발간한 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다.

결과 및 고찰

배추수량 토양유기물을 비롯한 질소, 인산 등 토양 양분함량 차이가 있는 두 토양(Soil-L와 Soil-H)에서 등분 퇴비와 요소비료 처리 수준별로 재배한 배추 수량은 Fig. 1에서와 같다.

Soil-L에서는 NPK 대비 퇴비 단용구는 17% 수량이 감소하였으며, 퇴비와 화학비료를 혼용한 3처리, N70+COM30, N50+COM50 및 N30+COM70는 NPK 처리구에 비해 배추의 수량 감소 현상은 나타나지 않았다. 반면, 토양의 비옥도가 상대적으로 높은 Soil-H에서는 NPK 처리 대비 퇴비 단용구는 23.6%의 수량이 감소하여 Soil-L에 비해 감소폭이 컸다. 특히 상대적으로 토양 비옥도가 높은 Soil-H에서는 화학비료 혼합율이 30%인 N30+COM70

처리에서는 NPK 처리 대비 13.4%, 화학비료 혼합율이 50%인 N50+COM50 처리에서는 NPK 처리 대비 9.4% 배추 수량 감소를 보였고, 화학비료 혼합율이 70%인 N70+COM30 처리에서는 NPK 처리와 동일한 배추 수량을 보였다. 따라서 삼요소 처리구와 동일한 배추 수량을 얻기 위해서는 전체 질소 시비량 중 약 70% (Soil-L)와 30% (Soil-H)를 가축분 퇴비로 시용이 가능한 것으로 나타났다. Sikora와 Enkiri (2000)는 tall fescue의 목표 수량을 얻기 위해서는 전체 질소 시비량의 약 33%는 퇴비로 대체가 가능하다고 하였으며, 이는 본 연구결과와 비슷한 경향이다.

수확기 배추의 양분함량 Soil-L와 Soil-H 처리구의 수확기 배추 양분 함량은 Table 4에서 보는 바와 같다. 토양 비옥도가 낮은 Soil-L에서 재배한 배추의 질소함량은 NPK와 N70+COM30 처리구에서 가장 높았으며, 인산함량은 COM 100과 N50+COM50 처리구에서 그리고 칼리함량은 COM 100에서 가장 높았다. 한편, Soil-H에서 재배한 배추의 질소와 인산함량은 Soil-L에서와 동일한 경향으로 질소함량은 NPK와 N70+COM30 처리구에서, 인산함량은 COM 100과 N50+COM50 처리구에서 각각 가장 높았다. 반면, Soil-H에서 재배한 배추의 칼리함량은 N50+COM50 처리구에서 가장 높았다. 배추 중 질소함량은 두 토양 공히 화학비료 혼용비율이 많아짐에 따라서 높아지는 경향을 보였다. Azeez and Van Averbek (2010)는 토양에서 가축분 퇴비의 무기화 패턴을 3가지로 구분하였으며, 시용 후 30일까지는 무기화가 빠르게 상승하며, 40-55일째는 일정하게 유지하다가, 시용 후 70-90일째는 감소한다고 하였다. 본 시험에서 배추 재배 기간은 45일로 퇴비 중 유기태 질소가 충분히 무기화 되는 시간보다 짧았기 때문에 화학비료의 질소가 퇴비에 포

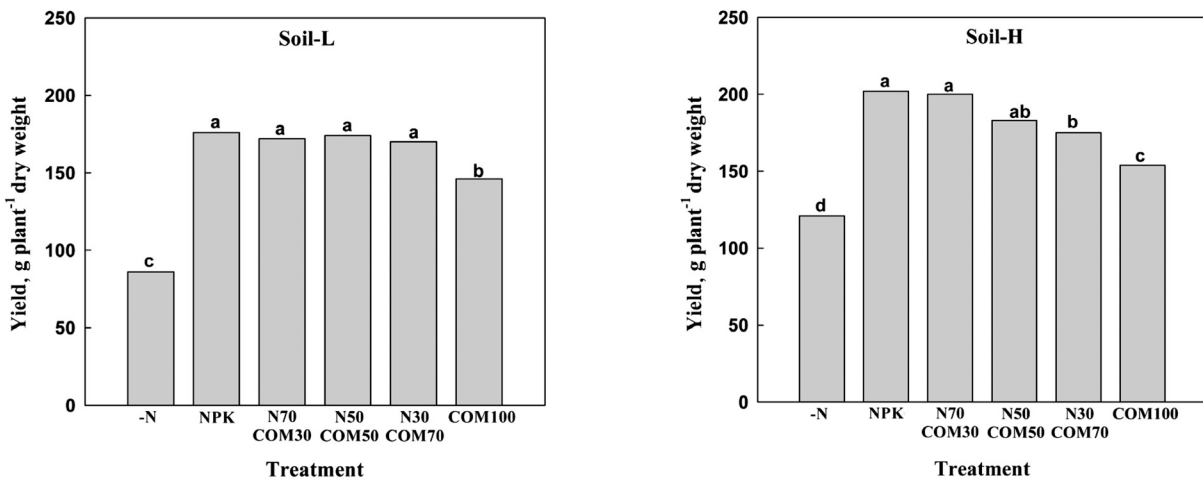


Fig. 1. Effects of nitrogen sources mixture ratio of compost and chemically applied nitrogen on the yield of Chinese cabbage. Bars with different letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level.

Table 4. The nitrogen, phosphorus, and potassium contents in Chinese cabbage under different mixture ratio of compost and chemically applied nitrogen.

Treatments	Soil-L			Soil-H		
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----					
NPK	1.55a [†]	0.99b	3.53b	1.73a	1.18b	4.53c
N70+COM30	1.48a	1.06ab	3.39b	1.62a	1.20b	4.75b
N50+COM50	1.21b	1.10a	3.56b	1.44b	1.26a	5.06a
N30+COM70	1.18b	0.99b	3.50b	1.38bc	1.15b	4.91a
COM 100	1.19b	1.16a	3.88a	1.29c	1.26a	4.85b

[†] Values within the same column with same letters are not significantly different at *P* < 0.05.

Table 5. The uptake of N, P, K by Chinese cabbage under different mixture ratio of compost and chemically applied nitrogen.

Treatments	Soil-L			Soil-H		
	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- dry based, g plant ⁻¹ -----					
NPK	2.70a [†]	1.75b	6.20a	3.72a	2.17ab	9.10a
N70+COM30	2.58a	1.81ab	5.63b	3.67a	2.39a	9.50a
N50+COM50	2.11b	1.91a	6.22a	2.82b	2.31a	9.26a
N30+COM70	2.01b	1.70b	6.02a	2.64b	1.97b	9.25a
COM 100	1.74c	1.76b	6.24a	2.08c	1.95b	7.79b

[†] Values within the same column with same letters are not significantly different at *P* < 0.05.

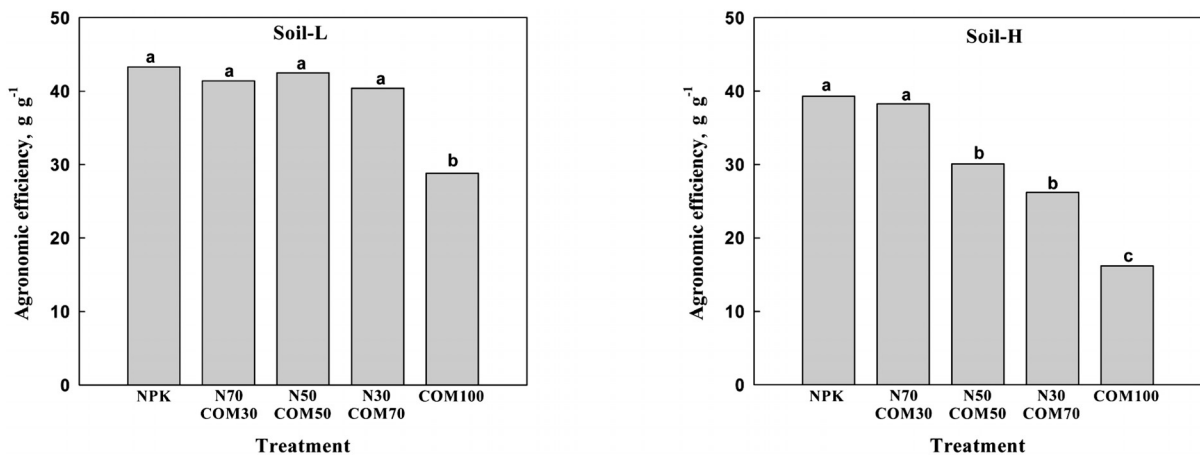


Fig. 2. Effects of nitrogen sources mixture ratio of compost and chemically applied nitrogen on nitrogen agronomic efficiency. Bars with different letters indicate significant differences at the *P* < 0.05 level.

함된 질소보다 배추 질소함량에 더 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

수확기 배추의 질소 흡수량 Soil-L과 Soil-H에서 재배한 수확기 배추의 총 양분흡수량은 Table 5에 각각 나타내었다. Soil-L에서 재배한 배추의 질소흡수량은 NPK > N70+COM30 > N50+COM50 > N30+COM70 > COM100 처리구 순으로 많았으며, Soil-H에서도 동일한 결과를 보였다. 동일 수준의 질소 사용에서 화학비료와 퇴비의

질소 혼합비율은 배추의 수량에 영향을 미쳤고 (Figure 1), 이에 따라서 질소 흡수량에도 영향을 미친 것으로 나타났다. 즉, 화학비료 질소의 혼합비율을 증가시키에 따라서 배추의 수량과 질소 함량이 증가되었고, 이에 따라서 질소 흡수량은 증가하였다.

시비질소의 작물생산효율 비옥도가 상이한 두 토양 Soil-L과 Soil-H에서 처리별 시비질소의 배추 생산 효율성은 Fig. 2와 같다. 두 토양 모두 시비질소에 대한

배추의 생산효율은 화학비료 질소 전량 사용구인 NPK 처리구에서 가장 높았으며, 퇴비 질소 전량 사용구인 COM100에서 가장 낮았다. 특히, 비옥도가 높은 Soil-H에서는 질소 시비량에서 화학비료 질소의 혼합비율을 증가시킴에 따라서 질소에 대한 배추의 생산 효율이 증가되었다. 화학비료 질소를 전량 사용한 NPK 처리구의 질소 시비량에 대한 배추의 생산효율은 Soil-L 및 Soil-H에서 각각 43.3 및 39.3 g g⁻¹으로 큰 차이가 없었다. 그러나 퇴비 질소를 전량 사용한 COM100 처리구의 질소 시비량에 대한 배추의 생산효율은 Soil-L에서 28.8 g g⁻¹로 Soil-H 16.2 g g⁻¹에 비해 현저히 높았다. 시비 질소에 대한 작물의 생산 효율은 질소 시비량에 의한 작물의 생산능력을 대표하는 인자로 널리 이용되고 있다 (Novoa and Lois, 1981; Craswell and Godwin, 1984). 따라서 본 시험에서 토양 비옥도가 낮은 토양 (Soil-L)에서는 퇴비 질소가 배추의 생산 효율성이 큰 반면, 상대적으로 토양 비옥도가 높은 토양 (Soil-H)에서는 화학비료 질소가 배추의 생산 효율성이 크다는 사실을 알 수 있었다.

요 약

가축분퇴비 사용시 시비질소의 이용효율 증진 도모를 위한 기초자료를 얻고자 토양 비옥도가 다른 두 토양 (Soil-L와 Soil-H)에서 돈분 퇴비와 질소비료 (요소)의 혼합비율을 달리하여 포장조건에서 배추를 포트 재배시험을 실시하였다. 배추수량은 Soil-L에서는 사용질소를 전량 화학비료로 시비한 NPK 대비 돈분퇴비로 사용한 COM 100 처리구에서 17% 감소한 반면, 화학비료 질소와 퇴비를 혼용한 3처리 (COM 70+N30, COM50+N50 및 COM30+N70)에서는 통계적 유의한 차이가 없었다. Soil-H에서는 NPK 대비 COM100 처리구에서 23.6%의 수량감소를 보였다. 배추의 질소흡수량은 두 토양 공히 NPK 처리구와 N70+COM30 처리구에서 가장 많았다. 시비 질소에 대한 배추의 생산효율은 두 토양 모두 화학비료의 시비량이 증가함에 따라 증가되었다. 그리고 화학비료를 전량 시비한 NPK 처리구에서 두 토양의 질소 생산효율은 큰 차이를 보이지 않았지만, 질소 시비량을 전량 퇴비로 사용한 COM 100 처리구에서는 Soil-L에서 28.8 g g⁻¹으로 Soil-H 16.2 g g⁻¹보다 현저히 높았다.

인 용 문 헌

Azeez, J.O. and W. Van Averbeke. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manure applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology*. 101: 5645-5651.

- Cassman, K.G., S. Peng, D.C. Olk, J.K. Ladha, W. Reichardt, A. Dobermann, and U. Singh. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. *Field Crops Res.* 56:7-39.
- Clark, M.S., W.R. Horwath, C. Shennan, and K.M. Scow. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and lowinput farming practices. *Agron. J.* 90:662-671.
- Craswell, E.T. and D.C. Godwin. 1984. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. *Adv. Plant. Nutr.* 1:1-55.
- Delogu, G., L. Cattivelli, N. Pecchioni, D. Defalcis, T. Maggiore, and AM. Stanca. 1998. Uptake and agronomic efficiency of nitrogen in winter barley and winter wheat. *Eur. J. Agron.* 9:11-20.
- Grandy, A.S., G.A. Porter, and M.S. Erich. 2002. Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1311-1319.
- 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.* 21:197-201.
- Jung, Y.G. and B.K. Park. 2000. Determination of the Guideline for application rate of Compost and Liquid Manure on Crops. *Livestock Research Institute, RDA, Swon.* p.139-164.
- 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.* 33:182-192.
- Kim, J.G., K.B. Lee, J.D. Kim, S.S. Han, and S.J. Kim. 2000. Change of nutrition loss of long-term application with different organic material sources in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:432-445.
- Kim, P.J., Y.B. Lee, Y. Lee, H.B. Yun, and K.D. Lee. 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balances. *Korean J. of Environ. Agric.* 27:337-342.
- Lee, C.S., K.Y. Shin, J.T. Lee, and G.J. Lee. 2003. Determination of nitrogen application level for chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:280-289.
- NIAS (National Institute Agricultural Science & Technology). 2000. The methods of soil and plant analysis. National Institute Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea. p.103-146.
- NIAS (National Institute Agricultural Science & Technology). 2006. Fertilization standard on crops. National Institute Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea. p.19-250.
- Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant

- production. *Plant and Soil*. 58:177-204.
- Park, C.G. 2000. Development of Technology for Livestock Manure use. Res. Rept. GyeongGi-Do National Agricultural Experiment Station. p.367-378.
- Park, C.S., J.H. Joo, W.J. Lee, K.Y. Lee, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2005. Nitrogen and Phosphorus Loss with Runoff and Leachate from Soils Applied with Different Agricultural By-product Composts. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:307-312.
- Patra, D.D., M. Anwar, and S. Chand. 2000. Integrated nutrient management and waste recycling for restoring soil fertility and productivity in Japanese mint and mustard sequence in Uttar Pradesh, India *Agric. Eco. Environ.* 80:267-275.
- Reganold, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *Am. J. Alternative Agric.* 3:144-155.
- Schlegel, A.J. 1992. Effect of composted manure on soil chemical properties and nitrogen use by grain sorghum. *J. Prod. Agric.* 5:153-157.
- Sharpley, A.N., S.J. Smith, B.A. Stewart, and A.C. Mathers. 1984. Forms of P in soil receiving cattle feedlot waste. *J. Environ. Qual.* 13:211-215.
- Sikora, L.J. and N.K. Enkiri. 2000. Efficiency of compost-fertilizer blends compared with fertilizer alone. *Soil Sci.* 165:444-451.
- Sommerfeldt, T.G., C. Chang, and T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1668-1672.
- Stamatiadis, S., M. Werner, and M. Buchanan. 1999. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field. *Appl. Soil. Ecol.* 12:217-225.