

돈분 액비 시용이 배나무 잎의 무기성분 함량, 과실특성과 토양화학성에 미치는 영향

박진면* · 임태준 · 이성은

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

Effect of Pig Slurry Application on the Mineral Content of Leaf, Fruit Quality and Soil Chemical Properties in Pear Orchard

Jin-Myeon Park*, Tae-Jun Lim, and Seong-Eun Lee

*Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science,
Suwon 441-440, Korea*

This experiment was carried out to investigate the replaceability of chemical fertilizer by SCB liquid fertilizer (SCB) in pear orchard for 5 years. The effects on the mineral content of leaf, fruit quality, yield and soil chemical properties are as follows: The mineral content of leaf showed no difference between the treatments; two SCB liquid fertilizer treatments based on the N (SCB-N) and K (SCB-K) content, and control (chemical fertilizer application). There were no significant differences in yield, titratable acidity and weight of the fruit although the figure of fruit weight was high in SCB-N treatment. Soluble solids content was higher in the SCB treatments than the control. Soil chemical properties such as the content of soil organic matter, available soil phosphate and exchangeable cation were not different, although soil pH was higher in SCB treatments. In conclusion, it is suggest that the use of chemical fertilizer in pear orchard could be replaced by the application of SCB liquid fertilizer because of the same effect on the growth of pear tree and soil chemical properties.

Key words: Pig slurry liquid fertilizer, Pear, Chemical properties

서 언

우리나라에서 발생하는 가축분뇨는 해마다 다르지만 연간 5천만 톤에 달하며 그 중에서 양돈분뇨 처리가 가장 어려움을 겪고 있다 (MAF, 2007). 양돈 분뇨는 다른 축산분뇨와 달리 수분이 많아 액비 형태로 활용하는 방법을 찾지 않으면 근본적으로 해결이 곤란하다. 가축분뇨의 비료로서 자원화는 양축농가의 어려움을 해결함과 동시에 경종농가에 대한 유기 비료를 공급할 수 있어 자원 순환 시스템으로 활용 가능하다. 가축분뇨는 2012년부터 해양투기가 금지되어 축산 발전에 가축분뇨 처리가 걸림돌로 작용하고 있다. 가축분뇨 액비는 상당 부분이 벼농사에 사용되고 있으나 모내기 전에 대부분 사용되는 등 특정 시기에 사용이 집중되고 있어 연중 분산 이용될 수 있도록 원예작물에 대한 이용 확대가 요구되고 있다. 그러나 가축분뇨 액비는 냄새, 양분함량의 불균형, 취급 곤란 등 자원으로서는 쉽게 이용할 수 없다

는 단점을 가지고 있다. 축산분뇨의 농업적 이용은 유기자원의 활용, 영농비 경감, 각종 양분 공급, 중소미생물의 다양성 증대, 물질의 순환 개념 등 여러 가지 이점이 있어 앞에서 언급된 몇 가지 약점만 해결된다면 과수원에서 액비 자원화는 경영비 절감과 자원 순환농업을 위해서 적극적으로 검토할 필요가 있다. 양돈분뇨의 액비화는 그동안 외국에서도 많은 연구가 진행되어 왔다 (Ceotto and Spallacci, 2006; Tani et al., 2006). 우리나라에서 생산되는 액비의 종류는 고액분리 액상 분뇨, 연속발효시스템 (Continuously Aerated Bio-reactor)에서 만들어지는 액비, 고온호기성발효처리 (Thermophilic Aerobic Oxidation) 방법에 의해 생산된 액비 등 여러 가지가 있다. 제조 방법에 따라 호기성 액비와 혐기성 액비화 방법으로 나눈다 (RDA, 1999). 가축분 액비에 대한 원예작물에 대한 시비연구는 2000년 이후에 주로 이루어졌다. 배 과수원에서 돈분슬러리 액비에 대한 생육반응은 액비처리구가 화학비료보다 많은 경향을 보였고 수량은 질소 75%에 해당하는 액비 시용구와 화학비료 시용구가 같았다 (Won et al., 2002). 최근 Ro et al. (2008a)은 돈분액비 원액과 퇴비단 여과 저농도 액비의 질소변환에 미치는 수분 영향을 연구하였

접수 : 2012. 1. 27 수리 : 2012. 3. 21

*연락처 : Phone: +82312906222

E-mail: a1542627@korea.kr

Table 1. Total amount of SCB liquid fertilizer applied and input rate of N, P₂O₅ and K₂O.

Year	SCB-N [†]				SCB-K [‡]				N top dressing
	Liquid fertilizer	Input rate			Liquid fertilizer	Input rate			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
	m ³ ha ⁻¹	-----	kg ha ⁻¹	-----	m ³ ha ⁻¹	-----	kg ha ⁻¹	-----	kg ha ⁻¹
2006	96	125	13.4	226	51.0	66	7.1	120	59
2007	123	125	34.4	252	49.0	50	13.7	100	75
2008	237	185	40.3	732	56.5	44	9.6	175	141
2009	308	185	40.0	656	82.0	49	10.7	175	136
2010	298	185	17.9	289	180	112	10.8	175	73

[†]SCB-N: SCB (slurry composting biofiltration) liquid fertilizer based on the N content.

[‡]SCB-K: SCB liquid fertilizer based on the K content.

Table 2. Soil chemical properties of pear orchard used in this experiment.

pH	Organic matter	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation		
			K	Ca	Mg
1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
7.5	16	392	0.48	4.65	0.83

으며 돈분액비 시용량이 증가함에 따라 질소와 인이 용탈수와 유거수에서 함량이 높다고 하였다 (Ro et al., 2008b). SCB (Slurry Composting Biofiltration, 퇴비단) 액비는 정식 전 기비로 고추 (Lim et al., 2008)와 배추 (Lim et al., 2009)를 재배하거나 시설토마토 (Park et al., 2010)와 시설 오이 (Park et al., 2011) 재배에서 관비를 했을 때 화학비료와 대등한 효과가 있었으며 시설하우스 조건에서 5년간 오이와 토마토 (Seo et al., 2011)를 재배했을 때 화학비료와 비교하여 수량은 같았으며 중금속의 축적 우려는 없었다. SCB 액비는 비교적 균질하고 질소함량에 비하여 인산함량이 낮아 인산이 많이 축적된 과수원에 사용하는데 무리가 없을 것으로 판단되나 SCB 액비에 대한 과수원에서 장기적인 연구결과는 아주 미비한 실정이다. 본 연구는 배 과수원에 SCB 액비를 5년 동안 처리했을 때 잎의 무기성분 함량, 과실특성 및 토양 양분함량의 변화를 조사하여 화학비료 대체 가능성을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험 방법 배 과원에 대한 SCB 액비 시험은 2006년부터 2010년까지 5년간 국립원예특작과학원 탑동 포장에서 신고 품종 13년생을 이용하였으며 재식거리는 5×1.7 m이었다. 시험 처리는 화학비료 (요소, 염화加里) 시비, 질소기준 SCB 액비 시용, 칼리기준 SCB 액비 시용 3처리로 하였다. 연차별 시비량은 토양 검정에 의한 작물별 시비처방 기준 (RDA, 2006)으로 수령에 따라 질소는 2006~2007년에 125 kg ha⁻¹, 2008~2010년에 185 kg ha⁻¹이고 칼리는 2006

Table 3. Mineral content of SCB liquid fertilizer used in this experiment.

Year	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- g kg ⁻¹ -----		
2006	1.30	0.14	2.35
2007	1.02	0.28	2.05
2008	0.78	0.17	3.09
2009	0.60	0.13	2.13
2010	0.62	0.06	0.97
Average	0.86	0.16	2.12

년에 120 kg ha⁻¹, 2007년에 100 kg ha⁻¹, 2008~2010년에 175 kg ha⁻¹이며 SCB 액비는 Table 1과 같은 내용으로 처리하였다. 인산은 화학비료 처리구만 2006~2007년에 65 kg ha⁻¹, 2008~2010년에 105 kg ha⁻¹을 처리하였다. 화학비료의 시기별 처리 비율은 질소 처리는 기비 (가을) : 추비 (5월) : 추비 (9월)의 비율이 70 : 15 : 15%이었고 칼리 시비 비율은 50 : 40 : 10%로 처리하였으며 인산은 기비로 100% 가을에 처리하였다. Vetter and Steffens (1986)에 의하면 액비 질소는 가을이나 초겨울 살포보다 봄철에 사용했을 때 이용률이 높게 나타난다고 하였는데, 이 실험결과를 고려하여 SCB 액비 이용률을 높이기 위하여 SCB 액비 처리는 전량을 가을에 20%, 이른 봄에 80%로 분시하였고, 칼리기준 SCB 액비 처리의 질소 부족량은 5월 하순에 추비로 요소를 사용하였다.

시험 전 토양의 화학성은 유기물함량이 낮고 pH와 유효인산 함량은 약간 높은 조건이다 (Table 2).

시험에 이용된 액비의 화학성 (Table 3)은 전질소 함량이 0.62~1.30 g kg⁻¹로 2배까지 차이가 있으며 인산함량은 0.16 g kg⁻¹로 현저히 낮았고 칼리 함량은 2.12 g kg⁻¹로 다른 성분에 비하여 높았다. 연차간 성분량 차이는 많았으며 이는 액비를 공급 받는 시기와 공급처가 다르기 때문에 나타나는 결과이다.

조사 및 분석 시험 처리 전·후 토양 화학성과 잎 분석을 위한 배나무 잎 시료 채취는 생육 중기인 8월 상순에 채취하였다. 토양 시료는 Soil auger를 이용하여 주간 하부의 표층 5~15 cm 깊이의 흙을 채취하여 음건 후 2 mm체로 걸러 분석하였다. 잎 시료는 신초 중간의 완전 전개된 잎을 신초당 2~3매, 반복당 50매정도를 채취하여 세척한 후 70°C에서 건조하여 잎의 무기성분 분석에 이용하였고 과실 특성과 수량은 수확기에 채취하여 조사하였다. 과중은 1반복당 20개씩 3반복으로 조사하였다.

토양 및 식물체 분석은 토양화학분석법 (NIAST, 2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하였다. 토양 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였고, 토양 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 K, Ca, Mg

은 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)를 사용하여 측정하였다. 식물체 무기성분 중 질소 측정은 식물체 시료 0.5 g을 황산염 혼합분말 (K₂SO₄와 CuSO₄ = 9:1)과 농황산을 넣고 분해한 후 켈달 장치(B-316, Buchi, Switzerland)를 이용하여 증류한 후, 인은 ammonium vanadate 법으로 비색계 (UV/VIS spectrophotometer, Cintra 6 GBC, Australia)를 사용하여 정량하였고, 칼륨과 칼슘 및 마그네슘은 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)로 측정하였다. 과실 특성 중 가용성 고형분 함량은 굴절당도계 (ATAGO, Brix 0~32%)로 측정하였고, 산도는 과육을 착즙하여 0.1N-NaOH로 적정한 후 malic acid로 환산하여 백분율로 나타내었다. 통계분석은 SAS 통계프로그램 (v. 9.2)을 이용하였다.

결과 및 고찰

잎의 무기성분 함량 비교 토양검정에 의한 시비량을 기준으로 SCB 액비와 화학비료를 표층 시비했을 때, SCB 액비와 화학비료 처리에 따른 잎의 무기성분 함량은 처리간에 차이는 없었다 (Table 4). Kang et al. (2011a)은 옥수

Table 4. Effect of chemical fertilizer and pig slurry application on the mineral content of leaf in pear.

Treatment	T-N	P	K	Ca	Mg
	----- g kg ⁻¹ -----				
	2006				
SCB-N [†]	20.5a [§]	1.27a	15.7a	8.64a	1.18a
SCB-K [‡]	19.7a	1.08b	15.6a	7.74a	1.18a
Chemical fertilizer	19.8a	1.19ab	14.7a	7.66a	1.27a
	2007				
SCB-N	19.5a	1.42a	17.5a	9.38a	1.59a
SCB-K	19.5a	1.58a	19.5a	8.52a	1.51a
Chemical fertilizer	19.4a	1.50a	17.5a	8.92a	1.62a
	2008				
SCB-N	20.9a	1.52a	18.0a	9.27a	1.60a
SCB-K	20.0a	1.65a	19.4a	9.26a	1.58a
Chemical fertilizer	20.4a	1.54a	18.1a	9.66a	1.65a
	2009				
SCB-N	21.6a	1.14a	13.3a	10.34a	1.73a
SCB-K	21.9a	1.25a	12.7a	10.42a	1.94a
Chemical fertilizer	22.5a	1.15a	13.2a	11.62a	1.84a
	2010				
SCB-N	19.9a	1.39a	14.8a	9.64a	2.05a
SCB-K	17.9a	1.35a	15.6a	10.74a	2.25a
Chemical fertilizer	20.3a	1.43a	14.1a	10.90a	2.11a

[†]SCB-N: SCB (slurry composting biofiltration) liquid fertilizer based on the N content.

[‡]SCB-K: SCB liquid fertilizer based on the K content.

[§]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

수 재배시 SCB 액비 사용 후 장마기를 지나면서 전기전도도, 질산태질소 및 치환성 나트륨은 강우량에 비례하여 낮아졌으나 치환성 칼륨함량은 비교적 높은 상태를 유지하여 토양 중에 상당량이 집적된다고 하였다. 본 연구에서도 질소 기준 SCB 액비 처리는 칼리 시비기준량보다 해에 따라 106~557 kg ha⁻¹ 칼리가 많이 처리되어 잎의 칼륨함량에 영향을 미칠 것으로 예측되었으나 연구 결과 처리 간에 차이를 볼 수 없어 질소 기준으로 액비를 처리했을 때 칼륨 과잉 공급에 따른 과다 흡수 우려는 적은 것으로 판단되었다.

과실 특성 및 수량 비교 SCB 액비와 화학비료 질소와 칼리를 표층 시비했을 때 배 과실 특성은 Table 5와 같다. 과중은 처리 간에 유의성은 없으나 2006년부터 2009년까지 질소기준 SCB 액비 처리에서 큰 경향을 보였는데 이는 다른 처리에 비하여 질소 기준 SCB 액비 처리는 이른 봄에 적을 때는 7.6 mm, 많을 때는 24.6 mm까지 액비가 공급되어 관수 효과가 일부 나타난 것으로 추정할 수 있었다. 당도는 2007년과 2008년에 화학비료 처리에서 낮았다. Marzouk and Kassem (2011)은 대추야자 재배시 화학비료 단용 처리보다 유기물 또는 유기물+화학비료를 사용했을 때 당도가

상승한다고 하였고, Chatzitheodorou et al. (2004)은 복숭아 재배시 가축분뇨 사용은 당도 상승에 효과가 없다고 하였다. 산도는 2010년에 화학비료 처리에서 높았고 수량은 질소 기준 SCB 액비 처리에서 많은 경향을 보이나 처리 간에 유의성은 없어 Kang et al. (2011b)의 감자 연구에서와 같았다. 2010년 수량은 태풍으로 인하여 낙과가 많아 부정확하다고 판단되어 나타내지 않았다. 이와 같은 결과를 종합해보면 SCB 액비는 화학비료를 사용했을 때보다 과중은 크며 수량은 많은 경향이고 당도도 높아 화학비료 대용으로 긍정적인 면이 많은 것으로 판단되었다.

토양 화학성 비교 배 과원에서 SCB 액비 사용에 따른 토양화학성 변화는 Table 6과 같다. pH는 2006년부터 2009년까지는 처리 간에 차이가 없었으나 2010년에 화학비료 처리구에서 pH가 낮았다. 유기물함량은 칼리 기준 SCB 액비 처리에서 2007년과 2011년에 낮았으며 유효인산 함량도 2006년부터 2009년까지는 처리 간에 차이가 없으나 2011년에 SCB 액비 칼리기준 처리에서 낮았는데 이는 SCB 액비 칼리 기준 처리에서 인산비료의 투입량이 적어 나타난 결과로 판단되었다. 치환성 칼리함량은 칼리 기준 SCB 액비 처

Table 5. Effect of chemical fertilizer and pig slurry application on the fruit quality and yield of pear.

Treatment	Fruit weight g	Soluble solids °Bx	Acidity %	Yield kg 10a ⁻¹
2006				
SCB-N [†]	572.8a [§]	11.8a	0.094a	3,571a
SCB-K [‡]	530.6a	11.6a	0.099a	3,325a
Chemical fertilizer	547.2a	12.0a	0.096a	3,386a
2007				
SCB-N	544.7a	12.3a	0.073a	3,511a
SCB-K	527.0a	12.3a	0.070a	3,528a
Chemical fertilizer	524.7a	11.7b	0.070a	3,480a
2008				
SCB-N	593.0a	12.4a	0.100a	3,982a
SCB-K	572.9a	12.5a	0.104a	3,911a
Chemical fertilizer	579.9a	11.1b	0.098a	3,946a
2009				
SCB-N	677.0a	13.0a	0.076a	3,691a
SCB-K	642.0a	13.1a	0.073a	3,508a
Chemical fertilizer	638.0a	12.8a	0.076a	3,408a
2010				
SCB-N	525.0a	12.2a	0.075b	-
SCB-K	497.0a	11.6a	0.071b	-
Chemical fertilizer	527.0a	12.0a	0.084a	-

[†]SCB-N: SCB (slurry composting biofiltration) liquid fertilizer based on the N content.

[‡]SCB-K: SCB liquid fertilizer based on the K content.

[§]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

Table 6. Effect of chemical fertilizer and pig slurry application on the soil chemical properties in pear orchard.

Treatment	pH	Organic matter	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation		
				K	Ca	Mg
	1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
2006						
SCB-N [†]	7.7a [§]	17.3a	394a	0.62a	5.60a	1.20a
SCB-K [‡]	7.5a	16.9a	369a	0.54a	4.38a	0.94ab
Chemical fertilizer	7.6a	16.5a	360a	0.60a	5.61a	0.84b
2007						
SCB-N	7.3a	19.5a	419a	0.66a	4.82a	0.96a
SCB-K	7.1a	16.5b	411a	0.52a	4.74a	0.84a
Chemical fertilizer	7.3a	20.8a	437a	0.61a	5.03a	0.97a
2008						
SCB-N	7.4a	13.4a	399a	0.81a	5.27a	1.15a
SCB-K	7.6a	14.6a	403a	0.68a	5.33a	1.29a
Chemical fertilizer	7.4a	16.7a	442a	0.77a	5.17a	1.14a
2009						
SCB-N	7.3a	21.0a	375a	1.30a	7.00a	1.30a
SCB-K	7.3a	19.4a	418a	0.80b	7.00a	1.30a
Chemical fertilizer	7.2a	21.1a	435a	1.10a	7.40a	1.40a
2010						
SCB-N	7.4a	21.6a	401a	0.96ab	6.49b	1.47a
SCB-K	7.3a	15.6b	349b	0.53b	4.75c	1.12a
Chemical fertilizer	6.7b	25.6a	427a	1.21a	8.52a	1.56a

[†]SCB-N: SCB (slurry composting biofiltration) liquid fertilizer based on the N content.

[‡]SCB-K: SCB liquid fertilizer based on the K content.

[§]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

리에서 가장 낮았다. 이는 화학비료 처리와 SCB 액비 칼리 기준 처리는 칼리 시비량은 같으나 화학비료 처리는 분시를 하였고 SCB 액비 처리는 가을 기비와 이른 봄에 액비로 사용함으로써 용탈량이 많아 화학비료 처리보다 SCB 액비 칼리 기준 처리의 칼리 함량이 낮은 것으로 판단되었다. Kang et al. (2011b)은 화산 및 비화산회토양에서 돈분 액비를 사용하여 감자를 재배했을 때 화학비료 처리에서 돈분 액비 처리에 비하여 pH가 낮았고 치환성 칼륨은 화학비료 처리보다 돈분 액비 처리에서 높다고 하였다. SCB 액비 질소 기준 처리는 같은 액비라 하더라도 질소 기준 처리를 함으로써 실제 칼리 시비량이 기준량보다 106~557 kg ha⁻¹ 많게 처리되어 일부 유실되고 상당량이 남아 높은 함량을 유지하였다 (Kang et al., 2011a). 질소 기준 SCB 액비 처리에서 토양 중 칼리함량이 높은 것을 볼 때 칼륨함량이 높은 SCB 액비 사용은 토양 중 칼리함량을 높일 수 있으며, 칼륨 과용으로 인한 칼륨의 용탈량도 많을 것으로 판단되었다. Won et al. (2002)에 의하면 액비 사용량이 질소 기준량의 200%, 300%, 400%으로 증가하면 토양 중 인산 및 칼리함량은 증가하였으나 pH, 유기물, 칼슘 및 마그네슘함량은 차

이가 없다고 하였다. 본 연구에서는 질소 기준 SCB 액비 처리에서 칼리함량은 증가하는 경향이나 인산함량은 통계적 유의성은 없으나 SCB 액비 처리구보다 화학비료 처리구에서 많은 경향을 보였는데 이는 본 연구에 이용된 SCB 액비는 인산함량이 낮아 액비에서 공급되는 인산만으로는 부족하여 인산비료를 보충할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

요 약

과수원에서 화학비료 대체 가능성을 검토하기 위하여 5년 동안 SCB 액비 사용했을 때 배나무 잎의 무기성분 함량, 과실 특성 및 수량, 토양 화학성에 미치는 영향은 다음과 같다. SCB 액비와 화학비료 사용에 따른 배나무 잎의 무기 성분함량은 처리 간에 차이가 없었다. 과실 특성 중 과중, 산도와 수량은 처리 간에 유의성이 없으나 질소 기준으로 SCB 액비를 처리했을 때 과중이 큰 경향을 보였고 당도는 액비 처리구가 화학비료 처리구보다 높았다. SCB 액비 사용에 따른 토양 화학성 변화는 화학비료 처리에 비하여 pH가 높았으나 유기물, 유효인산, 치환성 양이온은 화학비료

처리와 같은 경향을 보였다. 결과를 종합하면 SCB 액비는 토양 분석에 의한 질소 기준량을 사용하여도 배나무 및 토양 화학성에 미치는 영향이 화학비료와 대등하여 화학비료 대체가 가능할 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Ceotto, E. and P. Spallacci. 2006. Pig slurry applications to alfalfa: Productivity, solar radiation utilization, N and P removal. *Field Crops Research*. 95:135-155.
- Chatzitheodorou, I.T., T.E. Sotiropoulos, and G.I. Mouhtaridou. 2004. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilization and manure on fruit yield and fruit quality of the peach cultivars 'Spring Time' and 'Red Haven'. *Agron. Res.* 2(2):135-143.
- Kang, S.S., M.K. Kim, S.I. Kwon, M.S. Kim, S.W. Yoon, S.G. Ha, and Y.H. Kim. 2011a. The effect of application levels of slurry composting and biofiltration liquid fertilizer on soil chemical properties and growth of radish and corn. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1306-1313.
- Kang, H.J., S.H. Yang, and S.C. Lee. 2011b. Effects of liquid pig manure on growth of potato, soil chemical properties and infiltration water quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1130-1136.
- Lim, T.J., S.D. Hong, S.H. Kim, and J.M. Park. 2008. Evaluation of yield and quality from red pepper for application rates of pig slurry composting biofiltration. *Korean J. Environ. Agric.* 27(2):171-177.
- Lim, T.J., S.D. Hong, S.B. Kang, and J.M. Park. 2009. Evaluation of preplant optimum application rates of pig slurry composting biofiltration for chinese cabbage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:572-577.
- MAF. 2007. Statistical research annual report of agriculture and forestry. Ministry of Agriculture and Forestry. Seoul.
- Marzouk, H.A. and H.A. Kassem. 2011. Improving fruit quality, nutritional value and yield of Zaghoul dates by the application of organic and/or mineral fertilizers. *Scientia Hort.* 127:249-254.
- NIAS. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park, J.M., T.J. Lim, S.B. Kang, I.B. Lee, and Y.I. Kang. 2010. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):488-493.
- Park, J.M., T.J. Lim, S.E. Lee, and I.B. Lee. 2011. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and growth and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):194-199.
- Ro, H.M., L.S. Kim, M.J. Lee, H.J. Choi, and C.H. Park. 2008a. Soil moisture regime affects variation patterns in concentration of inorganic nitrogen from liquid swine manure during aerobic incubation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(1):34-37.
- Ro, H.M., H.J. Choi, S.I. Yun, M.J. Lee, J.M. Kim, H.L. Choi, and K. Zhu. 2008b. Growth of chinese cabbage and losses of non-point sources from runoff and leaching in soils as affected by anaerobically digested liquid pig slurry. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:112-117.
- Rural Development Administration (RDA). 1999. Manufacturing and applying of compost and liquid fertilizer with swine slurry. Munyoungdang. Suwon. Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2006. Fertilization Standard of Crop Plants. Kwangmun Press, Suwon, Korea.
- Seo, Y.H., M.S. Ahn, A.S. Kang, and Y.S. Jung. 2011. Influence of continuous application of low-concentration swine slurry on soil properties and yield of tomato and cucumber in a greenhouse. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):773-778.
- Tani, M., N. Sakamoto, T. Kishimoto, and K. Umetsu. 2006. Utilization of anaerobically digested dairy slurry combined with other wastes following application to agricultural land. *International Congress Series*. 1293:331-334.
- Vetter, H. and G. Steffens. 1986. *Wirtschaftseigene Dungung*. DLG-Verlag. Frankfurt (Main). p.104-119.
- Won, S.N., K.R. Jo, and K.Y. Park. 2002. Effect of livestock liquid fertilizer (pig slurry) applying in pear orchard. p. 634-645. *In* Research report of gyeonggi-do agricultural research. Gyeonggi-Do Agricultural Research & Extension Services. Hwasung, Korea.