

가축분뇨 퇴·액비가 시용된 옥수수 밭토양 특성 변화

김민경 · 권순익* · 강성수¹ · 정구복 · 강기경

국립농업과학원 기후변화생태과, ¹국립농업과학원 토양비료관리과

Changes of Soil Properties in Corn (*Zea mays* L.) Fields Treated with Compost and Liquid Fertilizer

Min-Kyeong Kim, Soon-Ik Kwon*, Seong-Soo Kang¹, Goo-Bok Jung, and Kee-Kyung Kang

Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹Soil and Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

A wide diversity of liquid fertilizers and composts produced from the livestock manure in Korea is commonly applied to agricultural lands as an alternative of chemical fertilizers. However, their effects on the crop production and environmental impacts are still vague. The current study was conducted to understand the effects of the pig manure-based liquid fertilizer on the growth of *Zea mays* L. and soil properties. Four different liquid fertilizers were treated to each cultivated upland plot located in Gyeong-gi province, Korea while no fertilizer (control A) and a chemical fertilizer (control B) were treated to separate plots for comparison. The liquid fertilizer treatment did not make a significant difference in the fresh weight of *Zea mays* L. compared to the controls. This is probably due to the nutrient residues carried over from the last year fertilization. Electric conductivity (EC) and organic matter contents in soils were increased right after the liquid fertilizer treatments compared to the controls. However, soil pH was maintained as the same as the level of control A. A long-term effect of the continuous treatment of the manure based liquid fertilizer will be carried out in the successive study.

Key words: Compost, Liquid fertilizer, Livestock manure, Soil properties

서 언

우리나라 가축분뇨 발생량은 2009년 말 현재 연간 43.7 백만톤이며, 이 중에서 85.6%가 퇴비나 액비로 자원화 처리되고 있다. 특히, 양돈분뇨는 전체 가축분뇨 발생량의 42%를 차지하고 있으며, 다른 축종에 비하여 자가 소유 경지가 적을 뿐 아니라 액상물이기 때문에 처리가 어렵다. 가축분뇨가 적절히 처리되지 못할 경우 농업의 비점오염으로 작용하여 지표수 및 지하수 오염의 원인이 되기도 하고, 악취발생 등의 위생학적 문제를 유발한다 (Murayama et al., 2001; RDA, 2002; Sweeten, 1988).

따라서, 이들 축산 농가는 액비를 6개월 이상 저장하여 저장액비를 활용함으로써 분뇨 처리비용을 절감하고, 경종농가는 화학비료를 대체할 수 있다. 최근 들어 액상물인 양돈분뇨 슬러리를 퇴비단을 통과시켜 여과하는 퇴비단여과법을 통해 생성된 SCB (Slurry Composting & Biofiltration)

액비의 활용이 증가하고 있는 추세이다. 가축분뇨의 액비로의 활용은 경종 및 축산농가의 경영비 절감과 돈분뇨 유출로 인한 환경오염 방지 등의 장점도 가지고 있어, 액비 시용 농가가 증가하는 추세이다.

최근 들어 우리나라에서는 가축분뇨 퇴·액비에 대한 시용 효과와 유기질 퇴비로서 가축분뇨의 활용 가치에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 가공하여 액비화된 가축분뇨는 대체 질소 비료로써 활용가치가 높았고, 이러한 가축분뇨를 표준 시비량의 2배로 처리하였을 때 배추의 생장이 향상되었다고 보고하였다 (Ro et al., 2008). 또한, 노지재배 배추의 SCB 액비 시용기준을 설정하였고 (Lim et al., 2009b), 고추와 배추에서 질소 화학비료와 대응한 효과가 있었다고 보고하였다 (Lim et al., 2008; Lim et al., 2009a).

환경적인 측면에서의 가축분뇨 액비는 다량 시비시 잉여 양분이 물의 이동에 따라 수계로 이동하여 오염원으로 작용할 우려가 있어 (Murayama et al., 2001; Sweeten, 1988) 작물의 생육을 고려하면서 환경부하를 최소화할 수 있는 방안으로 연구되어야 한다. 그러나, 현재까지의 연구들은 가축분뇨 퇴·액비별 작물 생육에 초점을 맞춘 연구에 집중되어 가축분뇨 퇴·액비를 이용한 작물 재배시 환경에 미치

접수 : 2011. 3. 30 수리 : 2011. 5. 27

*연락처 : Phone: +82312900227

E-mail: sikwon@korea.kr

는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다. 특히, 토양환경에 미치는 영향 연구는 작물의 양분 측면에서의 토양 화학성 평가에만 집중되어 중금속 등의 위해성 평가 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구는 작물과 토양의 양분 공급원으로써 가축분뇨 퇴·액비의 효과를 분석하고, 농경지에 시용시 토양 환경에 미치는 영향을 평가하고자 경기도 여주군 능서면 오계2리에 위치한 밭토양에 가축분뇨 퇴·액비를 사용하고 옥수수를 재배하였을 때 토양 중 일반 화학성 및 중금속 함량을 조사하였다.

재료 및 방법

시험개요 경기도 여주군 능서면 오계 2리에 위치한 밭에서 2009년 4월 30일에 가축분뇨 퇴·액비를 처리한 후 5월 7일에 사료용 옥수수 (품종 : 파이오니아)를 재식거리 20×60 cm로 파종하여 3개월 동안 재배하였다. 이때의 시험구의 크기는 2.7×10 m 였다.

시험구는 무비, 화학비료, 가축분뇨 퇴비, SCB 액비, 저장액비 및 혐기소화액비를 각각 사료용 옥수수의 질소 사용량 (20 kg 10a⁻¹)을 기준으로 시비하였으며, 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 하였다.

토양 시료는 사료용 옥수수 파종 후부터 수확기까지 토양의 화학성 변화를 조사하기 위하여 각각 표토 (0~15 cm)와 심토 (15~30 cm)를 채취하였다. 옥수수의 초기 반응을 알아보기 위해 파종 3주 후에 지상부 출현율을 조사하였고, 식물체 시료는 수확기에 지상부를 채취하여 줄기, 잎, 알곡으로 나누어 분석하고, 양분 흡수량 및 이용율은 각 부위별

로 구하여 합산하였다. 처리별 양분 이용율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{양분 이용율 (\%)} = (\text{처리구별 양분 흡수량} - \text{무비구 양분 흡수량}) / (\text{처리구 양분투입량}) \times 100$$

시험재료 특성 시험재료인 SCB 액비, 저장액비 및 혐기소화액은 경기도 이천시 백사면 모전리 모전양돈조합에서 제공한 것으로, SCB 액비는 시험 직전에 제조된 것으로 사용하였고, 저장액비는 5개월 정도 숙성된 것을 사용하였다. 혐기소화액은 통합혐기소화액과 돈분뇨를 이용하여 운영하는 M 바이오가스시설에서 발생하는 돈분혐기소화액을 사용하였다. 퇴비는 시판 가축분 퇴비를 구입하여 사용하였다.

시험재료의 화학적 조성은 Table 1에서 보는 바와 같이 SCB 액비는 질소가 0.24%인데 반해 다른 가축분뇨 퇴·액비는 0.33~0.92%로 높았다. 중금속 함량이 있어서도 SCB 액비는 다른 재료에 비해 낮았다.

퇴·액비, 토양 및 식물체 분석 퇴·액비 및 식물체의 전질소는 Micro-Kjeldahl 법으로 정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 및 중금속 성분은 시료 0.5~1.0 g을 H₂SO₄-SClO₄ 법으로 습식 분해하여 인산은 Vanadate법으로 비색정량하였고, 칼리, 석회, 고토 및 중금속은 ICP-OES (GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였으며 (NIAST, 2000), 액비 및 토양의 pH와 EC는 각각 초차전극법 (Model 720A, Orion)과 EC meter (Model 145A, Orion)를 사용하여 측정하였다 (RDA, 1999).

토양시료는 시험 전·후에 채취한 토양을 풍건하여 2 mm 체를 통과시킨 후 조제하여 pH와 EC를 측정하였고, 유기물

Table 1. Chemical properties of livestock fertilizer and compost.

	pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	(1:5)	dS m ⁻¹	----- % -----					
SCB [†]	8.6	13.3	0.24	0.02	0.22	0.03	0.003	0.06
Storage	7.8	21.5	0.38	0.07	0.23	0.08	0.02	0.06
Digested	8.0	20.0	0.33	0.08	0.21	0.10	0.03	0.06
Compost	7.6	6.9	0.92	0.36	0.35	0.46	0.15	0.36
	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Fe	Mn
	----- Heavy metals [‡] mg L ⁻¹ -----							
SCB	0.00	4.0	11.4	0.06	0.13	0.05	16.6	3.0
Storage	0.01	14.6	27.4	0.16	0.38	0.09	42.5	8.7
Digested	0.02	15.0	58.8	0.15	0.26	0.12	61.7	10.7
Compost [§]	0.00	31.7	274.5	0.92	1.91	2.74	367.2	69.1

[†]SCB represents SCB liquid fertilizer, Storage represents Storage liquid fertilizer, and Digested represents Digested liquid fertilizer.

[‡]Total contents for heavy metals.

[§]Heavy metal contents of compost represent mg kg⁻¹ dry basis, respectively.

은 Turin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N NH₄OAc 용액 (pH 7)으로, 총 중금속 함량은 Microwave (CEM MARS 500, USA)로 분해하여 ICP-OES (GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 분석하였다 (Summer and Miller, 1996).

결과 및 고찰

가축분뇨 퇴·액비가 사용된 밭토양의 특성 변화를 조사하기 위해 선정된 밭토양의 시험 전 화학적 특성은 Table 2와 같았다. 시험 전 토양의 유효인산 함량은 989 mg kg⁻¹로 우리나라 전국 밭토양의 유효인산 평균 함량인 607 mg kg⁻¹보다 높았으나, 다른 성분들은 전국 밭토양 평균 함량보다 낮았다 (RDA, 2009a).

가축분뇨 퇴·액비 사용 후 옥수수 밭토양 (표토; 0~15 cm)의 화학적 특성 변화는 Fig. 1과 같았다. 다른 가축분뇨 퇴·액비에 비해 혐기소화액과 퇴비 처리구에서 토양 중 질산태 질소, 유효인산, 치환성 칼륨의 함량이 높았으나, 대체적으

로 생육후기로 갈수록 함량이 낮아지는 경향이였다. 그러나, 질산태 질소와 치환성 칼륨의 함량은 강우의 영향으로 함량이 낮아지다가 다시 높아지는 경향도 보였다.

본 연구결과는 Lee et al. (2010)과 Yang et al. (2008)이 돈분액비를 토양에 사용하면 EC, 유기물, 유효인산 및 치환성 양이온 함량이 증가한다고 보고한 결과와 비슷하였으며, 또 가축분뇨 액비를 토양에 사용하였을 때 토양 중 T-C와 CEC의 증가도 보고되고 있다 (Choudhary et al., 1996; Yadav et al., 2000).

가축분뇨 퇴·액비 사용 후 옥수수 밭토양의 표토와 심토의 중금속 함량은 Table 3과 같았다. 토양 깊이별 중금속 함량은 Cd의 경우에는 처리에 의한 영향을 받지 않았고, Pb의 경우에는 심토보다 표토에서 높았으나 처리간에는 큰 차이를 보이지 않았다. Cu, Zn, Ni, Cr, Fe, Mn 성분의 함량은 퇴비 처리구를 제외한 모든 처리에서 표토보다 심토가 높아 토양하부에 집적되어 있었으며, 퇴비 처리구의 경우 Zn, Ni, Cr 및 Mn은 심토에서 함량이 높았으나 Cu와 Fe은 일정한 경향이 없었다. 이러한 결과는 토양에 투입되는 물질의 종류에 따라 중금속의 토양내 이동에 다른 영

Table 2. Chemical properties of upland soil before livestock manure treatment.

	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			
Topsoil	6.5	0.52	23.9	989	0.94	6.58	2.18	0.11

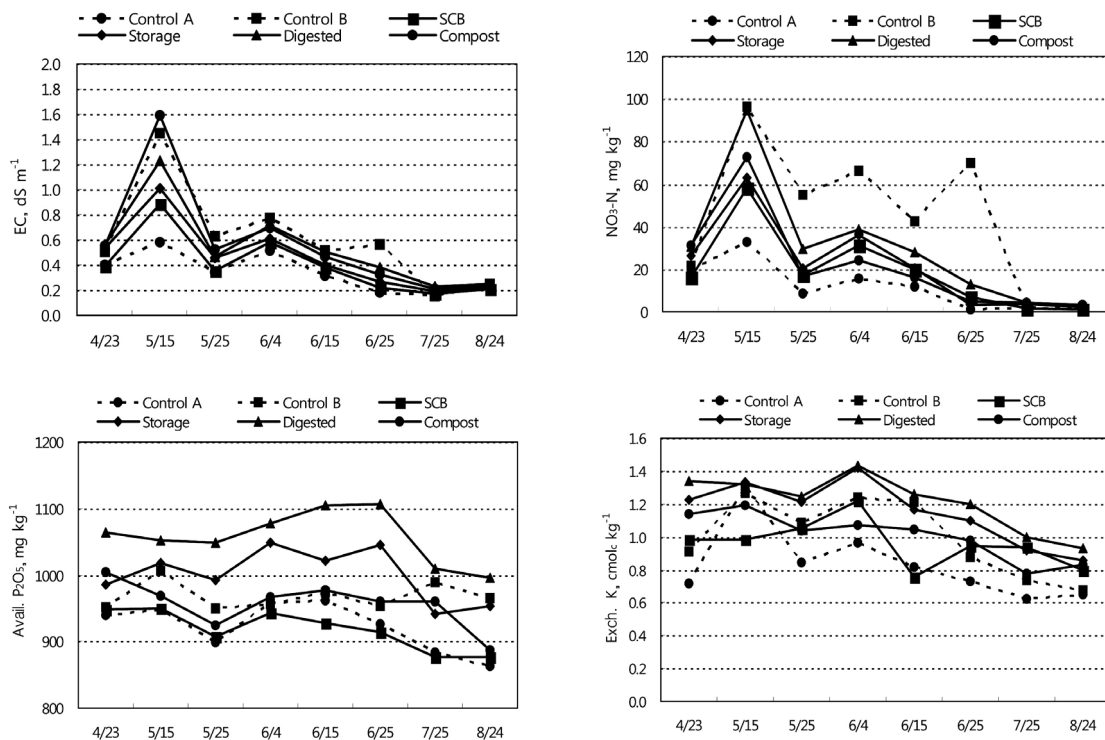


Fig. 1. Chemical properties of corn-cultivated upland soils (Control A, Control; Control B, Chemical fertilizer; SCB, SCB liquid fertilizer; Storage, Storage liquid fertilizer; Digested, Digested liquid fertilizer).

향을 주기 때문으로 생각된다. 따라서 앞으로 가축분뇨 퇴·액비의 장기 연용시 중금속의 집적에 관한 환경영향 평가 연구가 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

가축분뇨 퇴·액비 사용에 따른 옥수수의 출현율과 수확 후 건물중을 조사한 결과는 Fig. 2와 같았다. 옥수수의 출현율은 SCB 액비 처리구가 다른 처리구에 비해 낮았고, 다른 처리구와도 통계적인 유의차가 있었다. 수확 후 건물중은 화학비료 처리구가 가장 높아 통계적인 유의차가 있었으나, 가축분뇨 퇴·액비 처리 간에는 통계적인 유의차가 없었다.

RDA (2009b)의 보고에 의하면 돈분뇨 액비와 화학비료 질소 관비 재배에서 시비량이 같으면 오이의 수량과 생육량이 같다고 하였고, Eghball and Power (1999)는 옥수수 생산량이 가축분뇨를 사용함으로써 무시용보다 유의적으로 증가하였으며 Shin et al. (1999)은 돈분뇨 액비를 질소표준량 대비 200% 사용할 때 사일리지용 옥수수 수량이 화학비료구에 비해 17% 증수한다고 보고하였다.

또한, SCB 액비 처리구에서 초기 출현율이 낮은 이유는 SCB 액비의 T-N 함량이 다른 가축분뇨 퇴·액비에 비해 낮아 질소를 기준으로 하여 시비한 결과 SCB 액비 사용량이 많아짐과 동시에 상대적으로 다른 성분들의 사용량도 많아 토양 중 염이 다량 존재하여 초기 출현율에 영향을 준 것으로 생각된다. 또한, 초기 출현율이 낮아 수확 후 건물중도 다른 가축분뇨 퇴·액비에 비해 낮아진 것으로 생각된다.

가축분뇨 퇴·액비 사용에 따른 옥수수의 수량 및 양분 흡수량은 Table 4와 같았다. 옥수수의 수량과 양분 흡수량은 화학비료 처리구가 가장 높았으며, 가축분뇨 퇴·액비 처리구에서는 비슷한 수준이었으나, 처리 간에는 통계적인 유의차가 없었다.

Hwang et al. (2004)은 발토양에 돈분액비를 기비로 전량 사용하고 고추와 배추에 대한 성분을 조사한 결과, 고추는 액비 사용으로 화학비료에 비하여 잎의 인산 및 칼리 함량이 증가하였고, 질소, 칼슘 및 마그네슘 함량은 감소하였지만, 배추 잎의 무기성분 함량은 화학비료구와 차이가 없

Table 3. Characteristics of heavy metal in corn-cultivated upland soils treated with livestock manure.

Treatment	Soil depth	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Fe	Mn
	cm	mg kg ⁻¹							
Control A [†]	0~15	0.09	7.5	21.4	1.77	0.34	0.23	59.4	83.4
	15~30	0.09	10.9	45.9	1.60	0.68	0.32	77.9	172.2
Control B	0~15	0.10	9.0	20.0	1.99	0.35	0.27	63.0	93.8
	15~30	0.08	9.9	40.5	1.84	0.72	0.44	84.7	157.2
SCB [‡]	0~15	0.09	7.1	18.5	1.82	0.33	0.20	57.5	76.6
	15~30	0.09	10.7	52.4	1.47	0.70	0.31	72.2	153.1
Storage	0~15	0.09	7.2	17.0	1.71	0.34	0.19	58.4	87.9
	15~30	0.09	12.2	58.7	1.42	0.74	0.32	72.7	169.9
Digested	0~15	0.10	8.3	22.1	1.82	0.35	0.21	57.1	82.2
	15~30	0.10	11.0	55.2	1.24	0.71	0.30	65.8	148.8
Compost	0~15	0.08	6.0	12.6	1.49	0.27	0.15	57.6	82.8
	15~30	0.08	5.6	45.8	0.92	0.72	0.31	39.7	176.8

[†]Control A represents none of fertilizer, Control B represents Chemical fertilizer.

[‡]SCB represents SCB liquid fertilizer, Storage represents Storage liquid fertilizer, and Digested represents Digested liquid fertilizer.

[§]Total contents for heavy metals.

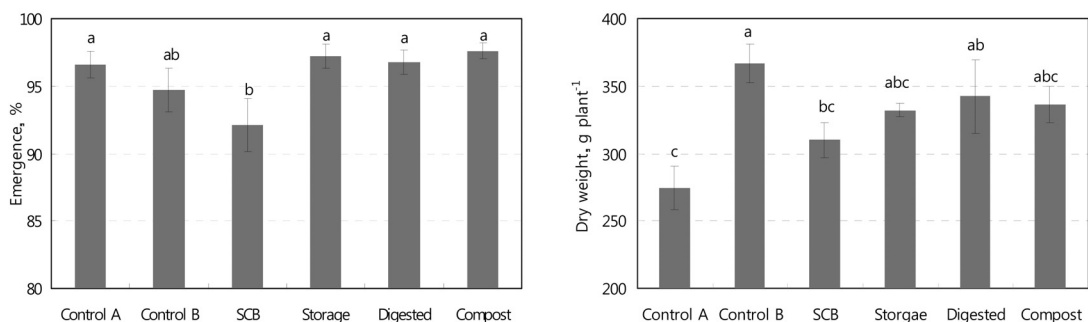


Fig. 2. Emergence of corn (left) and dry weight after corn harvest (right) treated with livestock manure (Control A, Control; Control B, Chemical fertilizer; SCB, SCB liquid fertilizer; Storage, Storage liquid fertilizer; Digested, Digested liquid fertilizer).

Table 4. Amount of corn harvest and nutrient absorption from corn-cultivated upland soils treated with livestock manure.

Treatment	Harvest	Upper part (leaf+stem+grain)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	kg 10a ⁻¹	kg 10a ⁻¹					
Control A [†]	796	15.3	10.3	6.5	2.4	2.9	0.01
Control B	1,001	24.0	13.9	10.2	4.2	4.0	0.02
SCB [‡]	957	22.0	13.4	8.7	4.0	3.9	0.02
Storage	975	20.7	12.0	8.6	2.9	3.4	0.01
Digested	932	21.5	12.5	9.2	3.6	3.6	0.02
Compost	966	21.9	11.4	8.2	2.9	3.5	0.03

[†]Control A represents none of fertilizer, Control B represents Chemical fertilizer.

[‡]SCB represents SCB liquid fertilizer, Storage represents Storage liquid fertilizer, and Digested represents Digested liquid fertilizer.

Table 5. Nutrient utilization rate of corn from the upland field treated with livestock manure.

Treatment	Upper part (leaf+stem+grain)					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	%					
Control A [†]	-	-	-	-	-	-
Control B	41.7	23.3	23.7	-	-	-
SCB [‡]	27.8	88.8	9.4	47.4	97.9	0.2
Storage	26.4	42.1	16.2	10.9	43.0	0.0
Digested	18.2	2.8	9.5	2.4	2.0	0.1
Compost	33.1	18.7	29.7	6.1	24.3	0.3

[†]Control A represents none of fertilizer, Control B represents Chemical fertilizer.

[‡]SCB represents SCB liquid fertilizer, Storage represents Storage liquid fertilizer, and Digested represents Digested liquid fertilizer.

었다고 하였다. 또한, Choi (2008)도 토마토 및 오이에서 화학비료와 돈분뇨 액비 처리간에 잎의 무기성분 함량은 차이가 없다고 보고하였다. 그리고 Park et al. (2010)도 토마토에 돈분뇨 액비 및 화학비료를 관비한 결과 토마토 잎, 뿌리, 줄기 및 과실 중의 무기성분 함량은 비료 처리구간에는 차이가 없었다고 보고하였다.

가축분뇨 퇴·액비 시용에 따른 옥수수의 양분 이용율은 Table 5와 같았다. 질소 이용율은 화학비료 > 퇴비 > SCB 액비 > 저장액비 > 혐기소화액 순이었으며 칼륨도 비슷한 경향이었다. 그러나 인산의 이용율은 SCB 액비가 다른 가축분뇨 퇴·액비 처리구에 비해 2.1~31.7%로 높았으나 처리간의 통계적인 유의차는 없었다.

이와 관련하여 양분 이용율은 작물별 가축분뇨 퇴·액비의 시용시기 및 시용량에 따라 차이가 있는 것으로 보고되고 있는데, Kampf et al. (1985)은 액비 중 질소 이용율은 봄철에 사용할 때는 50~75%, 가을이나 초겨울에는 30% 정도 되었으며 액비의 질소 이용율을 개선하려면 무기질 질소비료와 병용하는 것이 좋은 것으로 보고하였다 (Vetter et al. 1986). 또한, Park et al. (2010)은 돈분 액비의 관비처리에 의한 토마토 재배에서 양분 이용률은 질소 15.8~36.7%, 인

산은 3.0~6.8%, 칼륨은 29.2~43.3%로 칼륨 > 질소 > 인산의 순이라고 하였다.

결론적으로 가축분뇨 퇴·액비의 시용은 액비의 종류와 상관없이 화학비료구에 비하여 수량은 약간 낮으나, 토양 및 작물에 대한 특이한 영향은 없는 것으로 생각된다. 따라서, 가축분뇨 퇴·액비는 화학비료를 대체하여 사용할 수 있을 것으로 생각되며, 장기간에 걸쳐 연속하여 사용하였을 때의 중금속 집적 등에 의한 환경 영향에 대해서는 지속적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006813022011)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Choi, J.K. 2008. Effect of liquid pig manure on horticultural crop and soil environment. 2007 Annual Report on Natural Cycle Agricultural Research. RDA. Natural Recycle Agricultural

- Research Project Team. p. 95-103.
- Choudhary, M., L.D. Bailey, and C.A. Grant. 1996. Review of the use of swine manure in crop production : Effects on yield and composition on soil and water quality. *Waste Manage. Res.* 14:581-591.
- Eghball, B. and J.F. Power. 1999. Phosphorus and nitrogen-based manure and compost application: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:895-901.
- Hwang, S.W., J.K. Sung, B.K. Kang, C.S. Lee, S.G. Yun, T.W. Kim, and K.C. Eom. 2004. Polyamine biosynthesis in red peeper and chinese cabbage by the application of liquid pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:171-176.
- Kampf, R., E. Nohe, K. Petzoldt, and J. Sneyd. 1985. *Feldfutterbau*. DLG-Verlag. Frankfurt (Main). p.22-29.
- Kang, B.G., H.J. Kim, G.J. Lee, and S.G. Park. 2004. Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(6): 388-395.
- Lee, J.T., C.J. Lee, and H.D. Kim. 2004. Utilization of liquid pig manure as a substitute for chemical fertilizer in double cropping system of rice followed by onion. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:149-155.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009a. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of chinese cabbage. *Kor. J. Environ. Agr.* 28:227-232.
- Lim, T.J., S.D. Hong, S.B. Kang, and J.M. Park. 2009b. Evaluation of preplant optimum application rates of pig slurry composting biofiltration for chinese cabbage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:572-577.
- 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 for chinese cabbage. *Kor. J. Environ. Agr.* 27:171-177.
- Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Baba, and A. Tsumura. 2001. Water quality, particularly of trihalomethane formation potential of ground water of agricultural area of humic volcanic ash soil on Shirash Plateau where livestock wastes have been applied as land management. *Soil Sci. Plant Nutr.* 72:764-774.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. *Methods of soil and plant 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 fertilization on soil chemical properties and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:610-615.
- Ro, H.M., H.J. Choi, S.I. Yun, M.J. Lee, J.M. Kim, H.L. Choi, and K. Zhu. 2008. 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. *Guidelines for applying liquid livestock manure*. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2002. *Guidelines for applying liquid livestock manure*. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2009a. *Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality*. p.13-17.
- Rural Development Administration (RDA). 2009b. *Improvement of the swine slurry treatment and land application technology for recycling*. p.150. In: Kim, J.H., U.S. Jeong, J.G., Choi, J.H. Gwak, G.H. Jeong, M.S. Jeong, M.S. Han, Y.S. Song, T.H. Yun, C. Kim. (eds.) *Improvement of the swine slurry treatment system by SCB process*. 2009 Report of National Joint Agricultural Research Project of RDA. Suwon. Korea.
- Shin, J.S., H.H. Lee, J.W. Ryoo, K.J. Choi, Y.W. Rim, W.H. Kim, K.Y. Kim, and K.J. Lee. 1999. Effect of swine manure separated from its slurry on pasture productivity and soil chemical characteristics. *J. Korean Anim. Sci.* 41:479-486.
- Summer, M.E. and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. pp. 1201-1230. In: D.L. Sparks et al.(ed.). *Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. SSSA Book Ser 5. SSSA and ASA. Madison. WI.
- Sweeten, J.M. 1988. *Composting manure sludge*. p.38-44. In *National poultry waste management symp.*, Columbus, OH. Dep. of Poultry Sci. Ohio State Univ. Columbus.
- Vetter, H. and G. Steffens. 1986. *Wirtschaftseigene Dungung*. DLG-Verlag. Frankfurt (Main). p.104-119.
- Yadav, R.L., B.S. Dwivedi, K. Prasad, and P.S. Pandey. 2000. Yield trend and changes in soil organic-C and available NPK in a longterm rice/wheat system under integrated use of manure and fertilizers. *Field Crop. Res.* 68:219-246.
- Yang, C.H., S.B. Lee, T.K. Kim, J.H. Ryu, C.H. Yoo, J.J. Lee, J.D. Kim, and K.Y. Jung. 2008. The effect of tillage methods after application of liquid pig manure on silage barley growth and soil environment in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:285-291.