

돈분 액비 관비가 토마토의 수량 및 토양화학성에 미치는 영향

박진면 · 임태준 · 강석범 · 이인복¹ · 강윤임²

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과, ¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과,
²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예시험장

Effect of Pig Slurry Fertigation on Soil Chemical Properties and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Jin-Myeon Park, Tae-Jun Lim, Seok-Boem Kang, In-Bok Lee¹, and Yun-Im Kang²

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

¹Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

²Protected Horticulture Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Busan, 618-800, Korea

This study was conducted to evaluate fertigation effects of pig slurry (PS) and chemical fertilizer (CF) in tomato by analyzing the growth and yield, nutrient content and uptake, nutrient use efficiency, and soil characteristics in greenhouse cultivation. The treatments compared were; no-fertilizer, two different levels of PS (26 mg L⁻¹ and 52 mg L⁻¹), and a control treatment of chemical fertilizer. There was no significant difference in growth and yield between PS and CF treatments. however, yield reduction was observed in PS 26 mg L⁻¹ treatment. The N-utilization efficiency in CF treatment was similar to that of PS 52 mg L⁻¹ treatment. Nutrient utilization efficiency decreased in order of potassium (K), nitrogen (N), phosphate (P) with 29.2~43.3% in K, 15.8~36.7% in N, and 3.0~6.3% in P. In soil chemical characteristics, soil pH in PS treatment was higher than in CF treatment. In contrast, nitrate content in soil was higher in CF treatment than in PS treatment. The content of exchangeable K in soil was higher in PS and CF 52 mg L⁻¹ treatments. There was no significant difference in exchangeable Ca and Mg among those treatments. Therefore, it can be concluded that chemical fertilizers can be substituted by PS based on soil chemical analysis in tomato fertigation culture.

Key words: Fertigation, Pig slurry, Tomato, Green house

서 언

우리나라에서 농축산부산물로 발생하는 유기자원은 벚짚, 왕겨 및 가축 분뇨 등이 대부분으로 그 중 가축 분뇨는 연간 5천만톤 (MAF, 2007)으로 돈분뇨가 가장 많다. 돈분뇨는 다른 축산 분뇨와 달리 수분이 많아 액비 형태로 활용 방법을 찾지 않으면 근본적으로 해결이 곤란하다. 가축 분뇨는 2012년부터 해양 투기가 금지되어 양돈 산업의 발전에 돈분뇨 처리가 걸림돌로 작용하고 있다. 가축 분뇨 액비는 벼농사에 사용되고 있으나 모내기 전에 사용되어야 하는 등 특정 시기에 이용이 집중되고 있어 분산 활용에 어려움을 겪고 있다. 작물 재배지

에서 가축 분뇨 액비 사용은 비료 절감과 화학비료 대체 효과가 있으나 냄새, 양분함량 불균형, 취급 곤란 등의 문제로 가축 분뇨 액비 시용 매뉴얼 (RDA, 2006)이 작성되었으나 원예작물에서 활용은 미미하다. 가축분 액비의 농업적 이용은 양분 공급과 지력 유지뿐만 아니라 유기물질의 순환을 원활히 하는 측면에서도 중요하다 (Lee 등, 2003). 가축 분뇨 액비와 같은 유기 액비는 냄새가 없으며 균질성을 확보한다면 원예작물 재배지에서 화학비료 대체 유기자원으로 활용이 가능하다. 돈분뇨는 우분뇨에 비하여 질소함량이 높기 때문에 암모니아 가스 발생량이 높게 나타나며 (Bonmati and Flotats, 2003), 낮은 C/N율로 인하여 암모니아 가스의 발생이 많아서 호기성 미생물의 생장에 장애를 주게 된다. 따라서 발생하는 질소성분을 제거하는 다양한 공법도 연구·개발되었다 (Clifford et al., 1992; Liao et al., 1995). 최근에 기존 퇴비화 시설을 활용하여 돈분뇨를 퇴비단 여과

(SCB: Slurry Composting Biofiltration) 함으로써 냄새가 줄어들고 농도가 낮은 비교적 균질한 저농도 액비의 생산기술을 확립하였다 (RDA, 2009a). SCB 액비는 질소함량 대비 인산함량이 낮아 시설 하우스 시비에 적합하며 관비에도 활용할 수 있다. 적당량의 가축분뇨 액비 사용은 토양의 pH, 질소, 탄소 및 양이온 치환용량이 증가된다고 하였으나 (Yadav et al., 2000), 과다 사용은 잉여 양분이 물의 이동에 따라 수질을 오염시키기 때문에 적량 사용이 중요하다 (Murayama et al., 2000). 원예 작물에 대한 SCB 액비 시험은 노지 재배의 배추에서 기비 기준 (Lim et al., 2009b)이 설정되고 수량과 생육에 대한 SCB 액비 효과는 고추 (Lim et al., 2008)와 배추 (Lim et al., 2009a)에서 질소 화학비료와 대등한 효과가 있었다. 친환경 농산물을 생산하는데 시설 재배에서 관비로 이용할 수 있는 양분은 제한적이며 충분하지 못하나 돈분뇨 액비는 다량원소뿐만 아니라 미량원소도 함유한 유기 액비로 활용 가능성이 높다. 따라서 시설 하우스 토마토 재배에서 비교적 균질하게 대량으로 생산되는 돈분뇨 액비의 화학비료 질소 및 칼리의 대체 가능성을 검토하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

시험 재료 시험 전 토양은 사양토이며 화학성은 pH가 7.1로 중성이고 유기물 함량이 11.5 g kg⁻¹, 유효인산 함량은 542 mg kg⁻¹이며 유기물 함량은 낮은 조건이다 (Table 1). 시험에 이용된 액비는 퇴비단 여과를 거친 (SCB) 돈분뇨 액비로 화학성은 전질소 함량이 1.02 g L⁻¹이며 칼리는 2.05 g L⁻¹, 인산은 0.28 g L⁻¹이었고 pH는 8.4였다. 시험에 이용된 토마토는 슈퍼도태랑 품종이다.

처리 및 방법 시험처리는 무비와 질소 기준으로 돈분뇨 액비 2처리 (1/2수준: 26 mg L⁻¹, 1수준: 52 mg L⁻¹) 화학비료 1처리 (52 mg L⁻¹)로 4처리를 두었다. 액비의 처리 농도는 토마토 생육에 적합하도록 토양 중 질산태 질소함량이 50~100 mg kg⁻¹을 유지할 수 있도록 토양 검정 결과를 고려하여 질소 관비 농도를 조절하였다. 화학비료 처리구의 칼리 관비는 염화칼륨으로 공

급하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복이며 처리당 면적은 4.3 m²이다. 관비 방법은 토양수분 장력계를 이용하였으며 관수점은 생육 초기에는 -20 kPa, 생육 후기에는 -30 kPa에서 액비가 자동 공급되도록 하였다.

작물 재배, 생육조사 및 양분 이용률 토마토 돈분뇨 액비 관비 시험은 국립원예특작과학원 탐동 시험포장의 1-2W형 시설하우스에서 수행하였다. 재식 주수는 40×40 cm 2줄로 처리구당 20주를 재배하였다. 재배기간은 이른 봄부터 여름까지 재배하는 반축성 재배는 2008년 3월 11일~8월 5일이었고 여름부터 초겨울까지 재배하는 억제 재배는 2008년 8월 28~12월 9일이었다. 토마토 하우스의 시설 관리 및 재배는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다.

생육 조사 중 초장은 시험 종료시점에 10주를 측정하여 평균하였고 잎 무게는 생체중을 측정한 후 건조기에 건조 후 건물량을 측정하였다. 수량은 과일이 익을 때마다 수확하여 누적 계산하였다. 억제 재배 수량은 10 g 이상 모든 과일을 12월 9일에 한번에 수확하여 계산하였다. 식물체 분석 시료 채취는 수확 후 각 처리구마다 2주를 취하여 잎, 줄기, 뿌리 및 과실로 분리하여 세척 후 70℃에 24시간 건조한 후 분석에 이용하였다. 토양 시료는 시험이 끝난 다음 정지 작업을 한 후 채취하여 음건 후 2 mm체로 쳐서 분석에 이용하였다. 처리별 양분 이용률은 다음과 같이 계산하였다.

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

토양 및 식물체 분석 토양 및 식물체 분석은 토양 화학분석법 (RDA, 2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하였다. 토양 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자 전극법으로 측정하였다. 토양 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)를 사용하여 측정하였다. 질산태 질소는 2M-KCl로 침출한 시료 액에서 암모니아를 제거한 후 켈달 분해 장치 (B-316, Buchi, Switzerland)로 증류한 후 0.01 N 황산표준용액으로 적정하

Table 1. Physicochemical properties of the soil used in experiment.

Soil texture	pH	Organic matter	NO ₃ -N	Available P ₂ O ₅	Exchange cation		
					K	Ca	Mg
		g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----		----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
Sandy loam	7.1	11.5	32.1	541	0.51	4.89	1.14

여 계산하였다. 식물체 무기성분 중 질소 측정은 식물체 시료 0.5 g을 황산염 혼합분말 (K_2SO_4 와 $CuSO_4 = 9:1$) 과 농황산을 넣고 분해한 후 켈달 분해 장치 (B-316, Buchi, Switzerland)로 증류한 후 황산표준용액으로 적정 계산하였으며 인은 ammonium vanadate 법으로 비색계 (UV/VIS spectrophotometer, Cintra 6 GBC, Australia)를 사용하여 정량하였고 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)로 측정하였다. 통계분석은 SAS 통계프로그램 (v. 4)을 이용하였다.

결과 및 고찰

돈분뇨 액비 및 화학비료 관비에 따른 토마토의 수량과 생육은 Table 2와 같다. 토마토 수량은 반축성 재배에서 통계적인 유의성은 없으나 돈분뇨 액비 52 mg L^{-1} 처리가 많은 경향을 보였고 억제재배는 화학비료 52 mg L^{-1} 처리가 많았다. 돈분뇨 액비가 화학비료 처리에 비하여 수량이 적었던 것은 돈분뇨 액비 52 mg L^{-1} 처리는 초기 생육이 좋아 도장하는 경향이 있었으며 이로 인하여 착과량이 적었기 때문으로 판단되었다. 토마토 관비 재배에서 토양 검정시비량의 80%를 관비를 했을 때 토마토 생육과 수량이 가장 좋다고 하였음 (Lee et al., 2007)을 볼 때, 본 연구의 돈분뇨 액비 100%는 생육 초기에 질소가 과다한 경향이었으며 50% 처리는 질소 시비량이 약간 부족한 것으로 판단되었다. 초장은 단수를 제한하여 일정하게 재배하기 때문에 처리간에 차이는 없었다. Lim et al. (2008)에 의하면 고추 재배에서 돈분뇨 액비를 50%만 시비하여도 125% 처리구와 초장

의 차이는 없다고 하여 본 연구결과와 같았다. 잎과 줄기의 생체중과 건물중은 억제 재배에서 처리간에 차이가 없으나 반축성 재배에서 돈분뇨 액비 100% 처리가 가장 많은 경향을 보였다. RDA (2009b)에 의하면 돈분뇨 액비와 화학비료 질소 관비 재배에서 시비량이 같으면 오이의 수량과 생육량이 같다고 보고하여 본 연구결과와 같은 경향이다. 결과적으로 돈분뇨 액비와 화학비료는 동일한 농도로 관비 재배를 하면 토마토 수량 및 생육은 차이가 없을 것으로 판단되었다.

돈분뇨 액비 및 화학비료를 관비한 결과 토마토 잎, 뿌리, 줄기 및 과실의 무기성분 함량은 Table 3과 같다. 잎의 무기성분 함량 중 질소와 칼륨은 비료 처리구가 무비구에 비하여 모두 높았으며 비료 처리구간에는 차이가 없었다. Choi (2008)는 토마토 및 오이에서 화학비료와 돈분뇨 액비 처리간에 잎의 무기성분 함량은 차이가 없다고 하여 본 연구와 일치하였다. 인 함량은 잎과 줄기에서 무비구가 가장 높았는데 이는 질소 시비량이 적을 때 인의 흡수량이 증가하는 것으로 판단되며 돈분뇨 액비를 시용했을 때 양과 잎에서도 무비구가 인산함량이 가장 높다는 보고 (Lee et al., 2006b)와 일치하였다. 비료 처리 간에 잎의 질소 및 칼륨함량에 차이가 없는 것은 돈분뇨 액비 26 mg L^{-1} , 52 mg L^{-1} 및 화학비료 52 mg L^{-1} 처리구 모두 토마토가 자라는데 필요한 질소와 칼륨이 공급되는 것으로 판단되었다. 마그네슘함량은 줄기, 뿌리 및 과실에서 화학비료 처리구가 낮았다. 이와 같은 결과는 칼슘 부족으로 발생하는 토마토 배꼽썩음과 발생이 돈분뇨 액비보다 화학비료 질소 과용에서 더 많이 발생할 것으로 예상되었다. Hwang et

Table 2. Effect of fertigation of chemical fertilizer and pig slurry on yield, shoot length, and weight of leaf and shoot of tomato in 2008.

Cropping system	Treatment	Yield	Plant height	Leaf		Stem	
				Fresh weight	Dry weight	Fresh weight	Dry weight
		$\text{kg } 10\text{a}^{-1}$	cm	g plant ⁻¹			
Semi-forcing culture	Non-fertilizer	9,563a [‡]	154.8a	616.0b	68.8b	250.2b	36.3b
	PS 1/2 [†]	9,879a	164.4a	793.2ab	87.1ab	311.4a	44.2ab
	PS 1	11,766a	173.0a	955.6a	103.3a	340.8a	47.7a
	Chemical fertilizer	10,625a	163.0a	830.1ab	87.0ab	307.3a	45.7ab
Retarding culture	Non-fertilizer	5,434b	186.3b	473.3a	43.8a	218.0a	19.0a
	PS 1/2	5,630b	193.0ab	485.8a	43.8a	221.8a	20.1a
	PS 1	5,960ab	199.3a	587.0a	44.8a	222.0a	19.9a
	Chemical fertilizer	6,450a	199.0a	509.5a	47.8a	257.0a	20.6a

[†] PS 1/2, 1: pig slurry N 26, 52 mg L⁻¹.

Chemical fertilizer: urea N 52 mg L⁻¹.

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

Table 3. Effect of fertigation of chemical fertilizer and pig slurry on the mineral content in leaf, root, stem, and fruit of tomato.

Position	Treatment	N	P	K	Ca	Mg
Leaf	Non-fertilizer	19.50b [‡]	4.23a	13.31b	48.19a	9.87a
	PS 1/2 [†]	25.50a	3.71b	22.08a	48.20a	9.23a
	PS 1	25.85a	3.45b	24.76a	45.71a	9.22a
	Chemical fertilizer	24.37a	3.59b	24.12a	49.01a	9.34a
Root	Non-fertilizer	15.65b	1.44a	11.21b	11.41c	1.96a
	PS 1/2	16.76ab	1.49a	17.22a	13.17b	2.22a
	PS 1	17.82a	1.51a	15.64a	15.02a	2.16a
	Chemical fertilizer	17.77a	1.43a	17.33a	14.57ab	2.23a
Stem	Non-fertilizer	10.83a	2.23a	17.10b	21.36b	4.39a
	PS 1/2	12.12a	1.94b	26.11ab	24.53a	4.40a
	PS 1	12.81a	1.93b	33.08a	22.97ab	4.61a
	Chemical fertilizer	12.18a	1.94b	34.13a	20.62b	4.45a
Fruit	Non-fertilizer	22.14a	3.44a	26.55b	1.50a	1.62a
	PS 1/2	23.13a	3.39a	32.40ab	1.39ab	1.75a
	PS 1	22.66a	3.36a	33.85a	1.40ab	1.73a
	Chemical fertilizer	21.99a	3.21a	32.19ab	1.36b	1.62a

[†] PS 1/2, 1: pig slurry N 26, 52 mg L⁻¹.

Chemical fertilizer: urea N 52 mg L⁻¹.

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

al. (2004)에 의하면 돈분 일반 액비와 화학비료 시비량이 같을 때 고추는 액비 처리에 의하여 인산과 칼륨은 증가하였으나 질소, 칼슘 및 마그네슘은 감소한다고 하였고 배추는 처리간에 차이가 없다고 하여 작물에 따라 차이가 있음을 시사하였다.

돈분노 액비 및 화학비료를 관비한 결과 양분 흡수량과 이용률은 Table 4와 같다. 질소 흡수량은 무비보다 돈분노 액비 26 mg L⁻¹를 시비했을 때 ha당 22 kg, 돈분노 액비 52 mg L⁻¹를 시비했을 때 ha당 24 kg 더 흡수하여 시비량이 증가하여도 흡수량 증가는 미미하였으며 화학비료 처리도 같은 경향으로 질소 시비량이 충분함을 알 수 있었다. 토마토 재배에서 질소를 관비했을 때 토양 검정시비량 80%에서 수량이 많았고 생육이 가장 좋았다는 보고 (Lee et al., 2007)가 있어 질소 기준으로 액비를 사용할 때는 토양 검정시비량 100%보다 시비량을 줄여 줄 필요가 있는 것으로 판단되었다. 양분 이용률은 질소는 16.0~36.7%, 인산은 3.0~6.3%, 칼륨은 29.2~43.3%로 칼륨, 질소, 인산 순으로 이용률이 높아 양과 노지 재배시 돈분노 액비 사용 결과 (Lee et al., 2006a)와 같은 경향이다. 인산은 시비구에서 흡수량 즉 양분 이용률이 낮기 때문에 흡수율을 높이는 방법을 강구할 필요가 있다. Lee et al. (2006b)의 보고

에 의하면 녹비작물 후작으로 토마토 재배했을 때 양분 이용률은 질소 14.6~37.8%, 인산 16.7~56.0%, 칼륨 23.6~46.5%로 돈분노 액비를 사용했을 때 보다 인산의 양분 이용률이 월등히 높아 돈분노 액비 및 화학비료 관비 재배에서 인산의 이용률을 높이기 위하여 녹비작물을 활용할 필요가 있다고 판단되었다.

돈분노 액비 및 화학비료 관비 처리 후 토양 화학성 변화를 보면 Table 5와 같다. pH는 화학비료 처리구보다 돈분노 액비 처리구가 높았는데 이는 돈분노 액비가 알칼리성이기 때문으로 판단되었다. 돈분노 액비를 사용한 고추 (Kang et al., 2004)와 양파 (Lee et al., 2006a)에서도 같은 경향이었다. 토마토를 재배한 후 토양 중 질산태 질소함량은 무비 재배에서는 28.8 mg kg⁻¹로 낮아졌으나 돈분노 액비 처리에서는 46.4~46.7 mg kg⁻¹로 증가하였고 화학비료 처리에서는 92.0 mg kg⁻¹로 증가하여 돈분노 액비 처리보다 화학비료 처리에서 질산태 질소 잔류량이 많았다. Hong (1998)은 토마토 질소 무비 재배 상한 기준을 토양 무기태질소 (NO₃-N, NH₄-N) 함량이 220 mg kg⁻¹이며, Kang and Hong (2004)에 의하면 시설 토마토 재배에서 질산태 질소함량의 하한 기준과 상한 기준은 각각 50, 280 mg kg⁻¹이라 하여 92.0 mg kg⁻¹는 토마토 재배에 높은 수치는 아니지만 장기재배에

Table 4. Nutrient input, uptake, and efficiency of retarding culture tomato cultivated in soil fertigated with chemical fertilizer and pig slurry.

Treatment	Input			Uptake			Nutrient efficiency		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			----- % -----		
Non-fertilizer	0	0	0	112	19	117	-	-	-
PS 1/2 [†]	60	16	120	134	20	169	36.7	6.3	43.3
PS 1	120	33	240	136	20	187	20.0	3.0	29.2
Chemical fertilizer	119	33	238	131	21	196	16.0	6.1	33.2

[†] PS 1/2, 1: pig slurry N 26, 52 mg L⁻¹.

Chemical fertilizer: urea N 52 mg L⁻¹.

Table 5. Effect of fertigation of chemical fertilizer and pig slurry on chemical properties in soil.

Treatment	pH	NO ₃ -N	Av. P ₂ O ₅	Exchange cation		
				K	Ca	Mg
		----- mg kg ⁻¹ -----		----- cmol kg ⁻¹ -----		
Non-fertilizer	7.1a [‡]	28.8c	511a	0.18b	6.01a	1.75a
PS 1/2 [†]	7.0ab	46.7b	630a	0.31b	6.30a	1.84a
PS 1	6.9b	46.4b	751a	0.55a	6.90a	1.98a
Chemical fertilizer	6.7c	92.0a	697a	0.50a	7.30a	2.31a

[†] PS 1/2, 1: pig slurry N 26, 52 mg L⁻¹.

Chemical fertilizer: urea N 52 mg L⁻¹.

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

의한 축적이 우려되는 것으로 판단되었다. 화학비료 처리에서 토양 중 잔류 질산태 질소함량이 많은 것은 생육에 따른 양분 흡수량과 생육 후기로 갈수록 지온이 낮아져 암모니아태 함량이 높은 돈분뇨 액비보다는 요소태인 화학비료 처리에서 이용량이 적어 잔류량이 많은 것으로 판단되었다. 치환성 칼륨은 무비가 낮고 돈분뇨 액비 및 화학비료 52 mg L⁻¹ 처리구가 높았지만 돈분뇨 액비와 화학비료는 처리간에 차이가 없었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 돈분뇨 액비는 토양 중 양분함량을 고려하여 적정량을 시비한다면 토마토 관비재배에 화학비료 질소와 칼리를 대체하여 이용할 수 있는 유기 자원으로 판단되었다.

요 약

시설 하우스 토마토재배에서 돈분뇨 액비와 화학비료의 관비 처리 효과를 알아보기 위하여 무비, 질소 기준으로 돈분뇨 액비 26 mg L⁻¹, 52 mg L⁻¹ 및 화학비료 52 mg L⁻¹ 4처리를 하여 토마토 수량, 생육, 무기성분 함량, 양분흡수량, 양분이용률 및 토양 화학성에 미치는 영향을 알아보았다. 돈분뇨 액비와 화학비료 관비 처리는 수량과 생육에 차이가 없었으며 돈분뇨 액비 26 mg

L⁻¹ 처리에서 수량이 감소하는 경향을 보였다. 돈분뇨 액비와 화학비료 처리에 비해 잎과 뿌리의 질소와 칼륨함량은 무비에서 낮았으나 뿌리와 줄기의 인산함량은 무비에서 높았다. 칼슘함량은 잎에서 처리간에 차이가 없었으나 뿌리와 줄기는 돈분뇨 액비 52 mg L⁻¹ 처리가 높았고 과실내 칼슘함량은 화학비료 52 mg L⁻¹ 처리가 낮았다. 양분 이용률은 질소 15.8~36.7%, 인산은 3.0~6.3%, 칼륨은 29.2~43.3%로 칼륨, 질소, 인산 순으로 낮았다. 토양 화학성 중 pH는 돈분뇨 액비 처리가 화학비료 처리보다 높았고 질산태 질소함량은 화학비료 처리가 돈분뇨 액비 처리보다 증가하였다. 치환성 칼륨함량은 돈분뇨 액비와 화학비료 52 mg L⁻¹ 처리구가 높았으며 칼슘과 마그네슘은 처리간에 차이가 없었다. 결과적으로 토마토 관비 재배에서 토양 검정에 의한 돈분뇨 액비 사용은 화학비료 질소와 칼리를 대체하여 이용할 수 있을 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

Bonmati, A. and X. Flotats. 2003. Air stripping of ammonia from pig slurry characterization and feasibility as pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion.

- Waste Management 23:261-272.
- 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.
- Clifford, W.R., L.B. James, and H.D. Stensel. 1992. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. *Water Quality Management Library* 5:1-23.
- Hong, S.D. 1998. Fertilizer recommendation based on soil testing for tomato in plastic film house. *J. Korea Soc. Soil Sci. Fert.* 31:350-358.
- 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 pepper and chinese cabbage by the application of liquid pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:171-176.
- 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.* 37:388-395.
- Kang, S.S. and S.D. Hong. 2004. Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate contraction for tomato cultivation in plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:74-82.
- Lee, C.H., K.Y. Shin, J.T. Lee, G.J. Lee, and J.H. Ahn. 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.
- Lee, I.B., J.H. Lim, and J.M. Park. 2007. Effect of reduced nitrogen fertigation rates on growth and yield of tomato. *Kor. J. Environ. Agr.* 26:306-312.
- Lee, J.T., I.J. Ha, H.D. Kim, J.S. Moon, W.I. Kim, and W.D. Song. 2006a. Effect of liquid pig manure on growth, nutrient uptake of onion, and chemical properties in soil. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:148-156.
- Lee, I.B., J.M. Park, J.H. Lim, and K.S. Hwang. 2006b. Growth and yield response of the following tomato crop according to incorporation of green manure into soil. *Kor. J. Environ. Agr.* 25:346-351.
- Liao, P.H., A. Chen, and K.V. Lo. 1995. Removal of nitrogen from swine manure water by ammonia stripping. *Bioresource. Technol.* 54:17-20.
- 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. *Kor. J. Environ. Agr.* 27:171-177.
- MAF. 2007. Statistical research annual report of agriculture and forestry. Ministry of Agriculture and Forestry. Seoul. Korea.
- Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Baba, and A. Tsumura. 2001. Water quality, particularly of trihalomethane formation potential of ground water of articultural 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.
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2006. Manual of applying liquid fertilizer with livestock manure. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 2009a. Improvement of the swine slurry treatment and land application technology for recycling, p. 1-50. 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.
- Rural Development Administration (RDA). 2009b. Improvement of the swine slurry treatment and land application technology for recycling, p. 110-134. In: Park, J.M., Y.I. Kang, I.B. Lee, T.J. Lim, J.K. Park, S.B. Kang. (eds.). Development of cultivation technology for appliance in fruit tree and greenhouse vegetation of slurry composting biofiltration. 2009 Report of National Joint Agricultural Research Project of RDA, Suwon, Korea.
- Yadav, R.L., B.S. Dwivede, K. Prasad, and P.S. Pandey. 2000. Yield trends and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manure and fertilizers. *Field Crop Res.* 68:219-246.