바이오가스 플랜트에서 혐기 소화시킨 돈사 Slurry의 화학적 특성 및 배추생육 시용효과에 관한 연구

정찬성¹ · 박정근¹ · 노안성² · 조웅기⁴ · 이성실³ · 문여황^{4*}

¹경기도축산위생연구소, ²경기도농업기술원, ³경상대학교 응용생명과학부,

⁴경남과학기술대학교 동물생명과학과

Effect on the Growth of Chinese Cabbage and Chemical Composition of the Liquid Piggery Slurry Digested Anaerobically in Biogas Plant

Chan-Seong Jeong¹, Jeong-Geun Bak¹, Ahn-Sung Roh², Woong-Gi Cho⁴,
Sung-Sill Lee³, Yea-Hwang Moon^{4*}

¹Department of a livestock breeding managment, Gyeonggido Livestock and Veterinary Service, Yongin 449-882, Korea, ²Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong, 445-784, ³Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, ⁴Department of Animal Science & Biotechnology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 757-803, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects on chemical properties of soil and yield of chinese cabbage when the piggery liquid slurry (ADS) digested anaerobically in the biogas plant was sprinkled to the soils. Treatments were composed of non-nitrogen plot (PK), chemical fertilizer plot (NPK) and ADS plot, and were arranged by randomized block design with 3 replications. The ADS was an alkali (pH 8.6) fertilizer containing 0.55% of total nitrogen, optimal levels of phosphorus, potassium and other components. When based (100%) on the yield of chinese cabbage in the NPK, those of the ADS and the PK were 114% and 43%, respectively. The nitrogen absorption of chinese cabbage at 50-d after transplant was significantly greater ($p < 0.05$) in the ADS than other treatment. Heavy metal contents of soil were not difference between before and after experiment. With supplementing phosphorus and potassium sources in it, the ADS should be an excellent fertilizer in cabbage culture.

(**Key words** : Liquid piggery slurry, Anaerobic digestion, Chinese cabbage)

*Corresponding author : Prof. Y. H. Moon, Department of Animal Science and Biotechnology, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea. Tel: +82-55-751-3265, E-mail: yhmoon@gntech.ac.kr

2014년 8월 21일 투고, 2014년 9월 11일 심사완료, 2014년 9월 20일 게재확정

서 론

국내의 가축분뇨 발생량은 연간 4,200만톤에 달하여 가용 바이오매스 총량의 50% 이상을 차지하고 있으며, 이 중 약 3,500만톤(84.3%)이 퇴·액비로 이용되고 있다(MAF, 2007). 가축분뇨 중 양돈분뇨가 차지하는 비율은 3분의 1 정도로서 수분 함량이 많아 대부분 액비로 활용되고 있다(MAF, 2007). 가축분뇨는 비료적 가치를 가지고 있지만 무단 방출될 경우에는 토양 및 수질오염을 유발하고 악취, 해충의 발생 등으로 환경적 악영향을 미칠 수 있는 고농도 유기물이다. 따라서 가축분뇨의 처리는 축산농가에서 많은 비용과 노력을 들이고 있음에도 불구하고 가장 해결하기 어려운 과제 중의 하나이다. 2012년부터 가축분뇨와 같은 유기성 폐기물의 해양투기가 전면금지 됨으로써 정부에서도 유기성 폐기물 처리에 친환경 개념을 강화시켜 바이오매스 원료나 퇴·액비를 자연순환형 자원으로서 활용하는데 많은 연구와 지원을 하고 있다(Ministry of Environment, 2009).

지금까지 가축분뇨를 액상비료로 활용하기 위한 연구도 많이 이루어져 왔지만(Ceotto and Spallacci, 2006; Cho et al., 2013; Park et al., 2012; Cho et al., 2012), 액비화 사업이 활발하지 못한 것은 고농도의 유기성물질과 악취가 주요원인이라 할 수 있다. 뿐만 아니라 가축분뇨의 퇴·액비 생산과정에서는 메탄가스, 이산화탄소 등 온실가스가 배출되어 이상기후 변화의 주요인이 되기도 한다(Amon et al., 2006). 이러한 문제를 해결하기

위하여 저농도 액비개발(NIAS, 2000)과 혐기성 소화과정을 거쳐 유기물 함량을 일부 제거하여 액비로 이용하는 연구가 진행되고 있다(Ro et al., 2008). 또한 바이오가스플랜트(Continuous stirred-tank reactor model)를 이용한 혐기소화의 경우에는 악취를 제거할 뿐만 아니라 혐기소화과정 즉 가수분해, 산발효, 메탄발효과정을 거치면서 메탄가스를 생산한다(Mes, et al., 2003; Oh et al., 2007). 이렇게 생산된 메탄가스는 탈황 정제 등 몇 가지 과정을 거치게 되면 고갈되어가는 화석연료의 일부를 대체할 수도 있다. 그동안 가축분뇨 액비화 연구는 호기성 발효에 의한 돈분의 액비화 연구가 대부분이며(Kang et al., 2012; Go et al., 2012; Kang et al., 2011), 혐기성 소화액에 의한 돈사 slurry(ADS 액비)를 사용한 시험은 거의 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 바이오가스플랜트에서 약 한달 동안 혐기소화 시킨 후 배출된 ADS 액비를 봄배추 재배용 비료로서 사용가능성을 조사해 보고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 시험재료

본 시험에서 사용된 ADS 액비는 돈사에서 배출되는 slurry를 바이오가스플랜트에서 메탄생산을 위해 32일간 혐기발효 후 배출된 소화액을 사용하였으며, 화학적특성은 Table 1에 나타내었다.

바이오가스플랜트는 고액분리를 하지 않은

Table 1. The chemical properties of ADS used in the experiment.

Item	pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Heavy metals						
									As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
		dS/m	...	%	...				mg/kg						
ADS [*]	8.6	21.6	0.55	0.02	99.8	8.34	0.68	31.7	0.012	0.002	0.62	3.63	1.21	0.027	15.17

* The liquid piggery slurry digested anaerobically in biogas plant.

상태의 돈사 slurry를 중온 ($35^{\circ}\text{C} \pm 2$)형 혐기소 화조 2기의 완전혼합형 연속반응조 (Continuous flow Stirred Tank Reactor, CSTR) 공법으로 운영되었다. 본 시험에서 사용된 ADS 액비는 알칼리성이며, 총 질소 함량이 0.55%이며, 인산과 칼리가 소량 함유되어 있었다. 농촌진흥청 비료공정규격 (RDA, 2011)에서 가축분뇨발효액은 부산물비료 중 부숙비료로서 규정하고 있어 본 시험에 사용된 돈분액비는 모든 조건을 만족시키고 있었으며, 식물성장에 필수요소인 Zn과 Cu가 공정규격의 1/3 수준으로 함유되어 있어 작물재배를 위한 액비로서 사용 가능한 것으로 나타났다.

2. 시험설계

재배시험은 경기도농업기술원 포장에서 봄배추 춘광 (*Brassica campestris* L. cv.)의 생육상태를 비교 검증하였다. 처리구는 질소 무시용구 (PK), 화학비료 3요소 시용구 (NPK) 및 돈분액비 (Anaerobically digested piggery slurry, ADS) 시용구를 두고, 질소는 NPK 시용구에서는 요소태 질소를 10a당 32.4 kg (기비 50%, 추비 50%) 시용하였으며, ADS구에는 NPK 시용구의 질소량에 해당되는 ADS 액비를 10a당 2,950 l를 시용하였다. 인산과 칼리는 전 처리구에 대하여 용과린 (P_2O_5)과 염화칼리 (K_2O)를 10 a당 각각 23.0 kg (기비 100%) 및 29.5 kg (기비 60%, 추비 40%)를 공통적으로 시비하였다. 각 처리별 질소와 칼리의 추비는 배추정식 후 20일에 실시하였다. 공시배추 재식거리는 75×30 cm (처리구

당 시험구 면적 31.5 m^2)로 하고 재배포장을 처리당 3반복으로 난괴법으로 배치하여 총 1,242포기 ($23 \text{ 개} \times 6 \text{ 주} \times 9 \text{ 구}$)를 식재하였다.

3. 시험토양의 조건 및 분석방법

시험토양의 이화학적성은 Table 2에서 보는 바와 같이 USDA (2004)의 기준에 의한 토성은 약산성의 양토로서 유기물, 유효태 인산 및 질소함량을 고려한 비옥도는 낮은 수준이었다. 토양시료는 시험전과 생육시기별 (정식 후 15일, 30일, 50일)로 표토 15 cm 부위를 채취하여 풍건한 후, 2 mm체를 통과시켜 분석에 사용하였다.

성분 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)에 준하여 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 토양의 pH 및 치환성 양이온 (EC)은 5배량 (1 : 5, w/w)의 물로 추출하여 초자전극법으로 측정하였고, 유기물 (OM)은 Tyurin법, 유효태 인산 (AV- P_2O_5)은 Lancaster법, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Kjeldahl 증류법, SO_4 는 Calcium phosphate 비색법, Cl는 질산은 적정법, EC는 1N- NaOAc (pH 7.0)로 추출한 후 ICP (GBC Integra XL, Australia)로 분석하였다. 양이온치환능 (CEC)은 1N- NH_4OAc (pH 7.0)로 포화시키고 ethanol로 과잉의 NH_4 를 제거한 후, HCl로 산성화한 1N- CaCl_2 로 NH_4 를 용출시켜 Kjeldahl 증류법으로 분석하였다. 토성은 미농무성 기준 (USDA, 2004)에 따라 판정하였다.

퇴비와 식물체는 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 로 습식 산 분해하여 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate

Table 2. The phycochemical properties of soil applied in the experiment.

Item	pH	EC	OM	AV- P_2O_5	$\text{NO}_3\text{-N}$	SO_4^{--}	Cl^-	CEC	Exchangeable cations				Heavy metals					
									K	Ca	Mg	Na	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb
		dS/m	g/kg		mg / kg					cmol/kg				mg / kg				
Soil [†]	6.7	0.17	7.9	222	1.9	162	19	7.0	0.14	5.16	1.63	0.06	3.4	2.1	19	18	10	32

[†] Loam (USDA, 2004), Dry matter basis.

법, K, Ca, Mg, Na는 ICP (GBC Integra XL, Australia)로 분석하였고, 중금속은 RDA (2011) 수질오염공정시험기준의 유도결합 플라즈마 발광광도법 (Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy)에 준용하여 As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb 및 Zn 함량을 분석하였다.

4. 통계처리

본 시험의 모든 data 분석은 SAS (1999) 통계 package를 이용한 LSD검정 ($p < 0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 토양의 성분함량 변화

배추정식, 시비 후 토양의 화학적 성분변화는 시험전, 정식후 15일, 30일, 50일에 채취하여 분석한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 토양 pH는 처리간 유의차는 없었지만 시험 전에는 6.7 이었으며 (Table 1), 인과 칼륨만 시용한 PK구에서는 시험시작 15일이후로 떨어져 6.2~6.3 수준으로 유지되었다.

그러나 N를 시용한 구로서 화학비료를 시용한 NPK구에서는 배추정식 후 15일까지는 pH 6.7 수준으로 유지되다가 정식 30일 이후로 6.2로 낮아졌으며, 돈분액비 처리를 한 ADS구에서는 정식 15일까지 pH 7.0으로 약간 상승하였다가 정식 30일 이후에는 pH 6.3~6.4으로 유지되었다. 이러한 결과는 요소의 질산화과정 (nitrification)이 화학비료인 NPK구가 유기질비료인 ADS구 보다 빠르게 진행되었기 때문 (Tan, 1993)으로 사료된다.

치환성 양이온 EC는 각 시기별 처리간에는 유의차가 없었으나 시험시작 후 시간이 경과함에 따라, 즉 배추가 성장함에 따라 낮아졌다. 이러한 결과는 MgO와 같은 다량무기물 치환성 양이온은 작물이 성장함에 따라 요구량이 증가하기 때문이다 (Tan, 1993). 토양내 유기물 (OM)은 처리간에 유의적인 차이가 없이 비슷한 수준이었다. 토양내 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 배추정식을 위한 기비를 시용한 후, 어린 모종으로서 뿌리 활착시기인 15일 경과시까지의 처리간 차이가 없었으나, 추비를 실시 (정식 후 20일)한 10일동안 (정식후 30일) 질소 무시용구인 PK구에서는 급격하게 감소되었다 ($p < 0.05$). 그러나 NPK구에서는 추비로 인

Table 3. Chemical properties of soils applied in the experiment.

Item		pH	EC	OM	$\text{NO}_3\text{-N}$	Av.- P_2O_5	Exchangeable cations			
							K	Ca	Mg	Na
			dS/m	g/kg	 mg/kg		 cmol/kg			
15-d after transplant	PK	6.3	1.23	9.7	12.4	408	0.29	5.91	1.90	0.10
	NPK	6.7	1.14	9.2	13.3	416	0.35	5.58	1.80	0.09
	ADS [†]	7.0	1.48	10.1	9.6	401	0.59	5.69	1.74	0.20
30-d after transplant	PK	6.2	0.64	9.8	3.0 ^c	336	0.22 ^b	5.84	1.86	0.09 ^b
	NPK	6.2	0.66	8.8	20.0 ^a	304	0.17 ^b	5.55	1.76	0.06 ^c
	ADS [†]	6.4	0.81	10.0	9.8 ^b	321	0.33 ^a	5.66	1.75	0.13 ^a
50-d after transplant	PK	6.3	0.40	9.0	2.9 ^b	323	0.20	5.79	1.88	0.07
	NPK	6.2	0.32	9.0	7.1 ^a	290	0.15	5.50	1.83	0.05
	ADS [†]	6.3	0.35	9.1	3.6 ^b	300	0.18	5.41	1.75	0.07

[†] The liquid piggery slurry digested anaerobically in biogas plant.

Means with different superscript in the same column significantly differ ($p < 0.05$).

하여 토양내 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 ADS구에 비해 유의적으로 많이 남아 있었으며 ($p<0.05$), ADS구에서는 정식 후 15일 경과시의 수준과 비슷하게 유지되었다. 배추 정식후 50일 경과시에는 토양내 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 처리구 모두 낮은 수준으로 떨어졌다. 토양 중 질소는 주로 NO_3^- 또는 NH_4^+ 형태로 되어있고, 공중 질소는 근류균에 의해 식물체의 주요 질소원인 암모늄염이나 질산염으로 무기태 형태로 고정된다. 본 시험에서 N수준을 동일하게 사용한 ADS구가 NPK구에 비해 토양 중에 남아 있는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이 낮았던 것은 배추의 생육에 필요한 무기태 질소로의 전환이 ADS구에서 빨라 식물체내로 흡수도 빠르게 일어났다는 것을 의미하는데, Table 4에서 식물체내 총 질소 함량이 ADS구가 높았던 것도 이를 뒷받침하고 있다.

토양내 유효태 인산 ($\text{Av.-P}_2\text{O}_5$) 함량은 처리간에는 큰 차이를 보이지 않았으나 배추 정식후 시간의 경과에 따라 점차 감소하여 식물이 성장함에 따라 토양 내 유효태 인산이 흡수되고 있다는 것을 알 수 있다.

치환성 K^+ 과 Na^+ 이온은 배추 정식 후 30

일에 ADS구가 NPK구에 비해 유의적으로 높았으나 ($p<0.05$) 타 처리구에서는 차이가 없었다. 토양이 중금속에 오염이 되었을 경우, 치환성 자리에 중금속이 흡착되어 치환성 양이온을 방출함으로써 토양내 K, Ca, Mg 등 양이온의 농도가 일시적으로 크게 증가하기도 하는데 (Ko et al., 2012), 본 시험에서 배추 정식 후 30일된 ADS구에서 나타난 위의 결과가 수준 상으로 볼 때, 토양 중금속 오염에 의한 것이라 볼 수는 없다.

2. 배추의 수확량 및 양분흡수량

배추의 수확은 정식 후 50일에 실시하였고, 양분흡수량은 정식 후 30일과 50일에 각각 측정하여 Table 4에 나타내었다.

배추 수확량은 NPK구를 100%로 기준하였을 경우, ADS구에서는 114%로 증수되었으나, N 무시용구인 PK구에서는 43% 수준으로 매우 적었다 ($p<0.05$).

정식 30일후 배추의 영양소 흡수량은 ADS구가 NPK구에 비해 P_2O_5 와 K_2O 의 흡수량은 많았고 MgO 흡수량은 적었으며 ($p<0.05$), 다

Table 4. Yield and the amount of nutrients uptake of chinese cabbage.

Item		Yield	Amount of nutrients uptake					
			T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
30-d after transplant		 kg/10a						
	PK	—	0.98 ^b (57)	0.41 ^c (68)	1.97 ^b (93)	1.01 ^b (68)	0.22 ^c (61)	0.12 ^b (32)
	NPK	—	1.72 ^a (100)	0.60 ^b (100)	2.11 ^b (100)	1.48 ^a (100)	0.36 ^a (100)	0.38 ^a (100)
	ADS [†]	—	1.86 ^a (108)	0.70 ^a (117)	2.65 ^a (126)	1.32 ^a (89)	0.30 ^b (83)	0.46 ^a (121)
50-d after transplant	PK	2,906 (43)	3.75 ^c (24)	2.61 ^b (34)	7.92 ^b (37)	3.51 ^b (36)	0.73 ^b (33)	0.13 ^b (7.3)
	NPK	6,707 (100)	15.72 ^b (100)	7.64 ^a (100)	21.61 ^a (100)	9.88 ^a (100)	2.22 ^a (100)	1.79 ^a (100)
	ADS [†]	7,610 (114)	18.18 ^a (116)	8.25 ^a (108)	23.11 ^a (107)	10.43 ^a (106)	2.43 ^a (109)	1.95 ^a (109)

[†] The liquid piggery slurry digested anaerobically in biogas plant.

() Parenthesis means the relative percentage to the NPK.

Means with different superscript in the same column significantly differ ($p<0.05$).

Table 5. Concentrations of heavy metals in soil and chinese cabbage.

Item		Soil							Chinese cabbage	
		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Pb	Cd
		 mg/kg								
50-d after transplant	PK	2.90	2.03	18.07	18.45	0.02	9.84	32.34	0.061 ^a	0.016 ^b
	NPK	2.94	2.01	18.44	17.94	0.02	10.07	32.26	0.044 ^b	0.024 ^a
	ADS [†]	3.03	2.10	19.43	19.47	0.02	10.24	32.84	0.016 ^c	0.019 ^b

[†] The liquid piggery slurry digested anaerobically in biogas plant.

Means with different superscript in the same column significantly differ ($p < 0.05$).

른 영양소에서는 차이가 없었다. N를 제외하고 P과 K를 동량으로 시용한 PK구와 NPK구 간에는 K₂O는 차이가 없었으나, PK구가 P₂O₅는 비롯한 조사된 모든 영양소 흡수량이 유의적으로 적었다 ($p < 0.05$).

배추 수확시 (정식 후 50일경과) N 흡수량은 ADS구가 NPK구에 비해 많았으며 ($p < 0.05$), 모든 영양소 흡수량에서 PK구가 유의적으로 낮았다 ($P < 0.05$).

정식 50일 후 배추의 총 질소 (T-N) 흡수량은 배추가 성장함에 따라 크게 증가하였는데 NPK구의 흡수량을 100%로 하였을 때, ADS구에서는 116%로 수확량과 비슷하였으나 N 무시용구인 PK구에서는 24%로서 수확량 비율인 43%에 비해서도 현저히 떨어졌다 ($P < 0.05$). 특히, PK구는 Na₂O 흡수량이 NPK구의 7.3% 수준 밖에 되지 않았다. 조사된 성분 중에서 K₂O 흡수량이 가장 많았고, 다음으로 T-N, CaO 및 P₂O₅ 순이며, MgO와 Na₂O가 가장 낮았다.

3. 토양 및 배추의 중금속 함량

배추수확 시 토양 및 배추의 주요 중금속 함량은 Table 5에 나타내었다. 토양의 중금속 함량은 시험 전 (Table 2)과 수확 시 토양과의 차이가 없었다. 배추의 Pb 함량은 PK, NPK, ADS 처리구 순으로 높았으며, Cd 함량은 NPK구가 타 처리구에 비해 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 그러나 MFDS (2014)의 식품위생

법에 따르면 배추내 중금속 잔류허용기준은 배추 kg당 Pb는 0.3 mg, Cd는 0.2 mg 이라고 하여 본 시험보다 10배 정도 높은 수준이었다. Kim et al. (2009)은 국내 유통 중인 농산물의 중금속 함량을 모니터링한 결과 배추의 중금속 중 Pb가 0.019, Cd는 0.007 mg/kg라 하여 본 시험의 ADS구와 비슷한 수준이었다. 토양의 조건이 비슷하였음에도 불구하고 배추의 중금속 (Pb, Cd) 함량이 처리간에 차이가 나타난 것은 식물체의 성장 특성이 달랐던 것이 주요한 원인일 수 있으나 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

이상의 결과들을 종합해 보면, 바이오가스 플랜트에서 32일간 혐기발효시켜 메탄가스 생산 후 배출되는 돈사 slurry는 발효기질의 다양성에도 불구하고 액비로서 적절한 N 수준을 유지하면서 유해 중금속 함량도 안전한 수준이었다. 또한 P과 K만 적정량 보충하면, 배추의 질소 흡수량과 수확량에 있어서도 NPK 화학비료구 보다 많아 유기태 질소비료 대체원으로서 적절할 것으로 사료된다.

결 론

본 시험은 돈사 slurry를 바이오가스플랜트에서 메탄가스 생산 (32일간 혐기발효) 후 배출되는 액비 (ADS 액비)를 배추에 시비하였을 때, 양분 공급능, 생육상태, 수확량 및 토양환경에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행되었다.

재배시험은 봄배추 (*Brassica campestris* L. cv.)를 대상으로 질소 무시용구 (PK), 화학비료 시용구 (NPK), ADS 액비 시용구를 두고, 3반복으로 난괴법에 의해 배치하였다.

본 시험에 사용된 ADS 액비는 총 질소 함량은 0.55%이며, 인산, 칼리 및 기타성분에서도 적정수준을 함유하고 있는 pH 8.6인 알칼리성이었다.

배추정식 후 30일 경과 시 토양에는 NPK구에서는 추비로 인하여 토양내 NO₃-N 함량이 ADS구에 비해 많이 남아 있었으며 (p<0.05), ADS구에서는 정식 후 15일 경과시의 수준과 비슷하게 유지되었다. 배추 정식 후 50일 경과시에는 토양내 NO₃-N 함량이 처리구 모두 낮은 수준으로 떨어졌다.

배추 정식 후 30일 경과 시 토양 중 치환성 K⁺과 Na⁺ 이온은 ADS구가 타 처리구에 비해 유의적으로 높았다 (p<0.05).

배추 수확량은 NPK구를 100%로 기준하였을 경우, ADS구에서는 114%로 증수되었으나, N 무시용구인 PK구에서는 43% 수준이었다.

수확 시 (정식 후 50일경과) 배추의 N 흡수량은 ADS구가 NPK구에 비해 많았으며 (p<0.05), 모든 영양소 흡수량에서 PK구가 유의적으로 낮았다 (p<0.05).

토양의 중금속 함량은 시험 전과 수확 시 토양과의 차이가 없었으며, 배추내 중금속함량은 식품위생법의 잔류허용기준보다 현저히 낮은 수준이었다.

이상의 결과로부터 바이오 가스플랜트에서 혐기소화시킨 돈분액비는 P와 K만 적절히 보충하면 우수한 비료가 될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

사 사

본 논문은 농림수산식품부 농림기술개발사업 (과제번호 : 307007-3) 및 2014년 경남과학기술대학교 기성회 연구지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Amon, B., Kryvoruchko, V., Moitzi, G., Amon, T., 2006. Greenhouse gas and ammonia emission abatement by slurry treatment. International Congress Series 1293, 295-298.
2. Ceotto, E. and Spallacci, P., 2006. Pig slurry applications to alfalfa: Productivity, solar radiation utilization, N and P removal. Field Crops Res. 95, 135-155.
3. Cho, K.M., Lee, S.B., Kang, C.S., Back, N.H., Yang, C.H., Lee, K.B., Park, K.H., Huh, M.R., Park, C.S., 2013. The Effect of Liquid-Pig-Manure Application with Korea Wheat Cultivation on Yield and Feed Value in Upland. J. Agr. & Life Sci. 47, 43-51.
4. Cho, K.M., Lee, S.B., Back, N.H., Yang, C.H., Jeong, J.H., Lee, K.B., Kim, K.J., Chun, J.C., 2012. Effect of Liquid-Pig-Manure and Tillage on Yield of Winter Forage Crop and Occurrence of Water-Foxtail in Paddy Soil at Drought Conditions. Korean J. Intl. Agri. 24, 429-434.
5. Go, W.R., Kim, J.Y., Yoo, J.J., Lee, J.H., Kunhikrishnan, A., Lee, J.M., Kim, K.H., Kim, D.H., Kim, W.I., 2012. Monitoring of Heavy Metals in Agricultural Soils from Consecutive Applications of Commercial Liquid Pig Manure. Korean J. Environ. Agric. 31, 217-223.
6. Kang, H.J., Yang, S.H., Lee, S.C., 2011. Effects of Liquid Pig Manure on Growth of Potato, Soil Chemical Properties and Infiltration Water Quality. Korean J. Soil Sci. Fert. 44, 1130-1136.
7. Kang, S.W., Seo, D.C., Seo, Y.J., Lee, S.G., Choi, I.W., Jeon, W.T., Kang, U.G.,

- Sohn, B.K., Heo, J.S., Cho, J.S., 2012. Effect of Liquid Pig Manure Application on Soil Chemical Properties in Rice-Chinese Milk Vetch Crop Rotation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45, 149-155.
8. Kim, H.Y., Kim, J.I., Kim, J.C., Park, J.E., Lee, K.J., Kim, S.I., Oh, J.H., Jang, Y.M., 2009. Survey of Heavy Metal Contents of Circulating Agricultural Products in Korea. Korean J. Food Sci Technol. 41, 238-244.
9. KOSIS., 2014. Livestock Trend Investigation Report. Statistics Korea.
10. MAF., 2007. Statistical research annual report of agriculture and forestry. Ministry of Agriculture and Forestry. Seoul, Korea.
11. Mes, T.Z.D., Stams, A.J.M., Reith, J.H., Zeeman, G., 2003. Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes, Bio-methane & Bio-hydrogen. Dutch Biological Hydrogen Foundation, The Hague.
12. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety)., 2014. Article 2. Common Standards and Specifications for General foods. p 10.
13. Ministry of Environment, 2009. Environmental field green growth performance plan.
14. NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology)., 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
15. NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology)., 2000. Development swine slurry evaporation system integrated aerobic and anaerobic (SESA2) process. Research report of National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, Korea. pp. 53-79.
16. Oh, S.M., Bae, Y.S., Park, C.H., 2007. A Characteristics of Biogas Recovery and Biodegradability of Piggery Wastewater Using Granule of Two-Phase Anaerobic Process with UASB. J. Korean Soc. Water & Wastewater. 21, 315-322.
17. Park, J.M., Lim, T.J., Lee, S.E., 2012. Effect of Pig Slurry Application on the Mineral Content of Leaf, Fruit Quality and Soil Chemical Properties in Pear Orchard. Korean J. Soil Sci. Fert. 45, 209-214.
18. Ro, J.M., Choi, H.J., Yun, S.I., Lee, M.J., Kim, J.M., Choi, H.L., Zhu, K., 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.
19. RDA (Rural Development Administration)., 2011. Official standard of commercial fertilizer.
20. SAS., 1999. SAS/STAT guide for personal computers @8.01. SAS Inst., Gary., NC., USA.
21. Tan, K.H., 1993. Principles of soil chemistry (2nd ed.). p. 264. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
22. USDA, NRCS., 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil survey investigation report No. 42. Version 4.0. USDA, NRCS, Washington.