

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
지역단위 친환경 물질순환 연구		농업환경	'11~'12	농업기술원 환경농업연구과	박중수
질소 고농도 가축분뇨 액비 시용기술 개발		농업환경	'11~'12	농업기술원 환경농업연구과	박중수
색인용어	질소 고농도 액비, 고추, 시용기술				

ABSTRACT

This study was conducted to develop the fertilization method of high nitrogen containing liquid manure for red pepper cultivation in field. The liquid manure was made by concentration of nitrogen after ammonia collection in course of the treatment of stock raising waste water. The results are as follows.

Fertilizing of liquid manure, pH was lower than fertilizing after soil analysis of 3 factors based on chemical fertilizer. $\text{NO}_3\text{-N}$ and EC was the highest when 150% of liquid manure been fertilized. Fertilizing of 100% of liquid manure showed a 16% increase of the yield of dried red pepper compared with fertilizing after soil analysis of 3 factors based on chemical fertilizer (217.3kg/10a). The weight of dried plant and the amount of the mineral absorption did not show the difference between liquid manure fertilizing (100%, 150%) and fertilizing after soil analysis. The nitrogen utilization of plant after absorption was higher when fertilized in order of 50% of liquid manure > 100% of liquid manure > fertilizing after soil analysis > 150% of liquid manure.

Key words : High concentration nitrogen slurry, Red pepper, Optimal application rate

1. 연구목표

'11년도 경기도 가축분뇨 발생량은 819만톤으로 전국 4,125만톤 대비 19.9%를 점유하고 있다. 가축분뇨에 다량 함유되어 있는 질소, 인산 성분은 작물의 필수 영양원임과 동시에 환경오염원도 될 수 있으므로 가축분뇨의 농업적 이용은 토양 양분공급과 지력 유지 뿐만아니라 유기물질의 순환 측면에서도 매우 중요하다(Lee et al., 2003).

이중 양돈 분뇨는 다른 축산분뇨와는 달리 수분이 많아 액비 형태로서 활용 방법이

필요하다. 또한 양돈분뇨는 낮은 C/N율로 인해 암모니아 가스가 발생하고 호기성 미생물의 성장장애가 발생하므로 이를 방지하기 위해 농촌진흥청에서는 2009년에 기존 퇴비화 시설을 활용하여 양돈분뇨를 퇴비단 여과(SCB : Slurry Composting Biofiltration) 함으로써 냄새가 줄어들고 총질소 농도가 낮은 비교적 균질한 저농도의 SCB 액비 생산기술을 확립하였다(RDA, 2009). 한편 축산폐수처리장에서는 다양한 기술로 정화처리를 통해 정수된 깨끗한 물을 하천으로 방류하고 있다. 축산폐수처리시 다량 발생하는 암모니아 가스를 인산(H_3PO_4)을 이용하여 회수 농축처리시 총질소 함량이 5%내외인 질소 고농도 액비를 생산할 수 있다. 총질소 함량 5%정도의 질소 고농도 액비는 일반적인 혐기소화 방식으로 생산된 돈분액비의 총질소 함량 0.3%(농촌진흥청, 2012)에 비해 부피가 17배 정도로 작아짐을 의미한다. 액비의 부피가 줄면 이동성과 사용의 편리성이 증대되기 때문에 농가에서 활용성이 높을 것으로 기대된다. 또한, 가축분뇨 액비의 적정 사용량은 토양의 pH, 질소, 양이온 치환용량이 다소 증가된다고 하였으나 과다사용은 잉여 양분의 이동으로 수질을 오염시키기 때문에 적량 사용이 매우 중요하다(Murayama et al., 2001).

따라서 본 시험은 축산폐수처리시 암모니아 회수 후 질소 농축시스템에서 생산된 질소 고농도 액비를 이용하여 고추 노지재배시 적정 사용기술을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 경기도농업기술원 노지 시험포장에서 공시작물을 고추(슈퍼마니파)로 하여 2011년부터 2012년까지 2년간 수행하였다. 시험토양은 표 1과 같이 사양토로 pH는 7.1, 유기물과 유효인산 함량, 양이온치환용량 등이 보통발 수준이었다. 또한 시험에 사용된 질소고농도 액비는 축산폐수처리시 질소 고농도 농축시스템에서 생산된 것을 분양받아 이용하였으며 액비의 화학성은 표 2에서와 같이 T-N이 4.9%, pH 10.4, EC는 37.2 dS m^{-1} , SO_4 함량은 $1,027 \text{ mg L}^{-1}$ 였다. 처리내용은 질소 무시용, 화학비료로 3요소 토양검정시비, 검정시비 질소기준 액비로 질소 50% 관비(P, K 부족량은 화학비료로 보충), 액비 질소 100% 관비(P, K 부족량은 화학비료로 보충), 액비 질소 150% 관비(P, K 부족량은 화학비료로 보충)의 총 5처리 하였다. 시비방법은 질소는 기비로 52%, 추비로 48%를 3회에 걸쳐 균등시비하였고, 인산은 전량 기비, 가리는 기비로 60%, 추비 40%는 2회에 걸쳐 균등시비 하였다. 질소 고농도 액비 관비 방법은 기비로 52% 사용후 추비량 48%에 대해 1차 추비일로부터 2주 간격으로 3회에 걸쳐 각 추비시기에 500리터 물에 혼합희석후 관비하였다. 고추는 70일간 육묘하여 5월 9일에 재식거리 $80 \times 45 \text{ cm}$, 난피법 3반복으로 배치하여 정식하였다.

토양 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양분석법(RDA, 2000)에 준하

였다. pH는 초자전극법, EC는 포화용액침출법, NO₃-N은 Kjeldahl 증류법, OM은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1N-NaOAc로 추출하여 ICP(GBC Integra XL) 분석법으로 분석하였다. 식물체는 70℃에서 건조후 분쇄된 시료를 산분해용액 (HClO₄ : H₂SO₄ = 10 : 1)으로 습식분해하여 전질소는 Kjeldahl법으로, 인산은 Vanadate법으로 그리고 K, Ca, Mg는 ICP로 분석하였다. 시험에 이용된 액비는 농업과학기술원 액비 및 퇴비 분석법(RDA, 1999)에 준하였다. 생육조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석 기준(2003)에 준하였으며, 정식후 150일에 시험구당 20주에 대해서 초장, 경경을 조사하였다. 고추 수량은 5회 수확하여 70~80℃에서 건조한 후 누계로 환산하였다. 토양은 시험전 그리고 정식후 60일, 90일, 140일에 시험구당 고추 주간사이에서 15~20cm 깊이로 20지점을 채취하여 직사광선을 피하여 건조하고 2mm체에 통과한 토양시료를 분석에 사용하였다. 식물체는 최종 수확시기에 시험구당 2주를 채취하여 잎, 줄기로 분류하였으며, 고추 과실은 수확시기마다 시료를 채취하여 70~80℃에서 건조하여 분석시료로 사용하였다.

표 1. 시험전 토양의 화학성

토 성	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	SO ₄ (mg kg ⁻¹)	Ex. cations (cmol kg ⁻¹)		
							K	Ca	Mg
사양토	7.1	0.52	9.2	14.0	262	72.7	0.26	6.02	1.85

표 2. 질소 고농도 액비의 화학성

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg L ⁻¹)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (mg L ⁻¹)	SO ₄ (mg L ⁻¹)
10.4	37.2	52.0	47.9	4.9	2.7	68.4	1,027

3. 결과 및 고찰

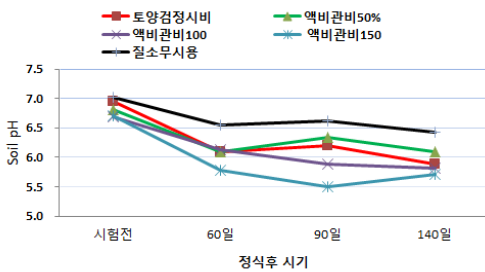
가. 토양의 화학성 변화

시험전과 고추정식 후 60일, 90일, 140일의 토양 화학성 변화는 그림 1과 같다. pH는 처리구 모두 시험전에 비해 시험후 낮아지는 경향이었으며, 처리간에는 질소 무시용구에서 가장 높았고 3요소 토양검정시비구에 비해서는 액비 50%와 100%관비는 비슷하였으나 액비 150% 관비는 낮았다. 액비 시용에 따라 pH가 낮아진 것은 액비에 포함된 SO₄ 함량이 1,027 mg L⁻¹로 높았기 때문으로 생각되었다. 유기물함량은 처리간에는 대차없었으나 시험전에 비해 정식후 정식후 90일까지는 증가하다 이후 감소하는 경향이였다. 이는 토양중에 남아있는 부산물이 완전히 무기화되지 않은 결과로 생각

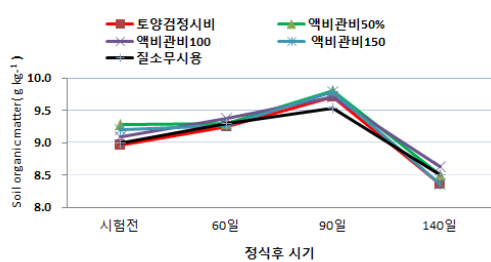
되었다. 유효인산함량은 질소무시용구와 3요소 토양검정시비구는 대차없었으나 관비량이 증가할수록 다소 많아지는 경향이었는데 시용한 액비중의 인산성분이 식물에 흡수 이용되고 남은 잔량이 토양에 잔존한 결과로 생각되었다. 치환성 칼리함량은 유효인산에서와 같이 정식후 60일에 가장 높았으며 이후 완만한 감소를 보였고 정식후 90일에는 액비 관비량이 많을수록 많았으나 기타시기에는 일정한 경향이 없었다. 강등(2004)은 고추 과실에는 다른 성분예 비해 칼리성분이 가장 많았다고 보고하여 본 시험에서도 칼리함량이 정식 60일 이후 완만한 감소 경향으로 고추 과실이 성숙하는 생육후기에 많이 흡수 이용된 것으로 추정되었다.

질산태질소 함량은 시험전에 비해 정식후 60일까지 증가후 감소하는 경향으로 질소 무시용이 가장 낮았고 액비 수준간에는 관비량이 많을수록 많은 경향이였으며 액비 100% 관비구는 3요소 토양검정시비구와 비슷하였다. 그러나 액비 150% 관비는 정식 후 90일, 140일에도 토양 중 질산태질소 함량이 많아 강우시 시비에 따른 유출이 우려되므로 금후 이에 대한 검토가 필요할 것으로 생각되었다. 질산태질소 함량에 영향을 많이 받는 EC는 질산태질소 변화와 매우 유사하였다. 이와 같이 액비 100% 관비가 3요소 토양검정시비구에 비해 질산태질소 함량이 크게 증가하지 않았던 점은 토양검정시비 기준으로 돈분뇨 액비를 시용할 경우 수질에 크게 영향을 미치지 않는다는 Jeon et al.(2003)의 보고와 같은 것으로 해석할 수 있다. 따라서 3요소 토양검정시비구와 액비 100% 관비구간 토양 화학성의 변화는 큰 차이 없는 것으로 생각된다.

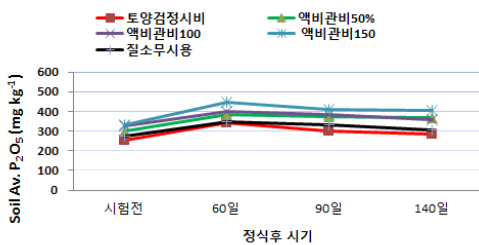
1) pH



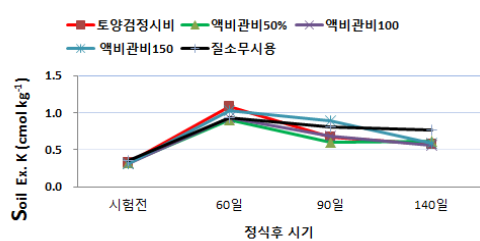
2) OM



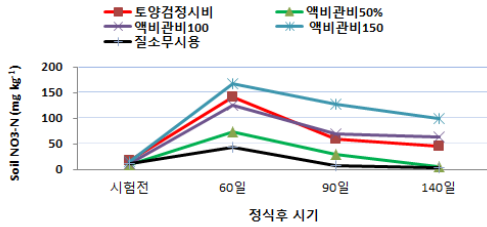
3) AV. P₂O₅



4) Ex. K



5) NO₃-N



6) EC

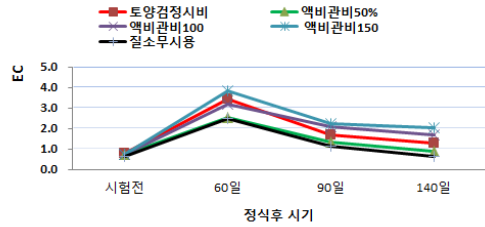


그림 1. 토양 화학성의 변화

나. 고추 생육특성, 식물체 건물중 및 수량

정식후 150일 고추 생육과 식물체 건물중, 건고추 수량은 표 3과 같다. 초장은 질소 무시용구가 90cm로 가장 작았고 액비 100% 관비에 비해 3요소 토양검정시비, 액비 150% 관비는 대차없었으나 액비 50% 관비는 작았다. 경경과 수확후 식물체 건물중도 초장에서와 같은 경향이였다. 건고추 수량은 3요소 토양검정시비(214.8kg 10a⁻¹)에 비해 액비 100% 관비는 16% 증수하였으나 액비 50%, 150% 관비는 대차없었고 질소 무시용구는 37% 감수하였다.

표 3. 고추 생육, 수량 및 식물체 건물중

처 리 내 용	초장 (cm)	경경 (mm)	식물체 건물중		건고추 수량	
			건물중(kg 10a ⁻¹)	지수	수량(kg 10a ⁻¹)	지수
1) 질소 무시용	90 c*	11.9 c*	77 c*	35	136 c*	63
2) 3요소 토양검정시비	110 ab	16.6 a	217 a	100	215 b	100
3) 액비 N 기준 50% 관비	104 b	14.6 b	151 b	69	223 b	104
4) 액비 N 기준 100% 관비	114 a	16.8 a	251 a	116	250 a	116
5) 액비 N 기준 150% 관비	109 ab	16.5 a	237 a	109	207 b	96

* DMRT at 5% level, ※ 생육조사 : 정식후 150일, 식물체 건물중 조사 : 수확 종료후

다. 식물체 무기성분함량 및 양분흡수량

수확 종료후 고추 과실을 제외한 잎과 줄기의 식물체 무기성분함량 분석결과는 표 4와 같다. 식물체 총질소 함량은 질소 무시용구가 가장 적었고 그 외 처리간에는 대차없었으며, 인산함량도 같은 경향이였다. 총질소 함량이 질소 무시용구에서 가장 적었던 것은 질소를 사용하지 않았기 때문이며 인산이 질소 무시용구에서 가장 많았던 것은 고추 생육량이 질소 무시용구에서 가장 적고 식물체의 인산흡수 이용량이 가장 낮아 잉여량이 토양중에 잔존하기 때문으로 생각되었다. 또한 고추 과실내 무기성분 함량은 칼리가 가장 많다는 강 등(2004)의 보고에서와 같이 본 시험에서도 칼리 함량

이 가장 많았으나 총질소, 인산 등 각 무기성분의 처리간에는 차이가 없었다(표 5).

식물체 부위별 무기성분 중 T-N, P₂O₅ 흡수량은 표 6과 같다. 총질소 흡수량은 고추 과실과 식물체 모두 질소 무시용구에서 가장 낮았으며, 3요소 토양검정시비구에 비해 고추 과실은 액비 50, 100, 150% 관비구와 식물체의 액비 100, 150% 관비구에서는 대차없었으나, 식물체의 액비 50% 관비구는 적었다. 인산 흡수량은 식물체에서 처리간 대차없었으나, 고추 과실에서는 질소 무시용구가 가장 적었고, 3요소 토양검정시비에 비해서는 액비 50%와 150% 관비는 대차없었으나 액비 100% 관비는 다소 많았다.

식물체 부위별 무기성분 중 K₂O, CaO, MgO 흡수량은 표 7과 같다. 가리 흡수량은 무시용구에서 가장 적었고, 3요소 토양검정시비구에 비해서는 고추 과실은 액비 50%, 150% 관비구는 대차없었으나 액비 100% 관비구는 많았고, 식물체에서는 액비 50%, 100% 관비구는 대차없었으나 액비 150% 관비구는 많았다. 칼슘 흡수량도 무시용구에서 가장 적었으며 3요소 토양검정시비구에 비해서 고추 과실은 액비 50%, 100, 150% 관비구는 모두 많았고, 식물체에서는 액비 100%, 150% 관비구는 대차 없었으나 액비 50% 관비구는 적었다. 마그네슘 흡수량은 고추 과실은 처리간 차이 없었으나, 식물체에서는 흡수량이 가장 작았던 질소 무시용구를 제외한 처리간에는 대차없었다.

표 4. 식물체 무기성분함량 (단위 : %)

처 리 내 용	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 질소 무시용	1.74 b*	1.21 a*	4.12 ^{NS}	2.78 ^{NS}	1.04 ^{NS}
2) 3요소 토양검정시비	2.61 a	0.62 b	4.19	2.37	1.07
3) 액비 N 기준 50% 관비	2.08 ab	0.64 b	4.02	2.56	0.99
4) 액비 N 기준 100% 관비	2.41 a	0.58 b	4.05	2.34	1.04
5) 액비 N 기준 150% 관비	2.67 a	0.60 b	4.33	2.42	0.94

* DMRT at 5% level

표 5. 고추 무기성분함량 (단위 : %)

처 리 내 용	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) 질소 무시용	1.77 ^{NS}	0.80 ^{NS}	3.56 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.28 ^{NS}
2) 3요소 토양검정시비	1.98	0.78	3.56	0.18	0.28
3) 액비 N 기준 50% 관비	1.96	0.80	3.55	0.22	0.28
4) 액비 N 기준 100% 관비	2.08	0.81	3.56	0.27	0.27
5) 액비 N 기준 150% 관비	2.03	0.80	3.49	0.37	0.26

* DMRT at 5% level

표 6. 식물체 부위별 무기성분 T-N, P₂O₅ 흡수량

(단위 : kg 10a⁻¹)

처 리 내 용	T-N			P ₂ O ₅		
	계	고추	식물체	계	고추	식물체
1) 질소 무시용	3.07	1.85 c*	1.22 c*	2.02	1.12 c*	0.90 ^{NS}
2) 3요소 토양검정시비	9.92	4.51 ab	5.41 a	2.92	1.69 b	1.23
3) 액비 N 기준 50% 관비	7.02	4.12 b	2.90 b	2.60	1.74 b	0.86
4) 액비 N 기준 100% 관비	10.78	5.19 a	5.59 a	3.23	2.02 a	1.21
5) 액비 N 기준 150% 관비	10.15	4.19 b	5.96 a	2.86	1.62 b	1.24

* DMRT at 5% level

표 7. 식물체 부위별 무기성분 K₂O, CaO, MgO 흡수량

(단위 : kg 10a⁻¹)

처 리 내 용	K ₂ O			CaO			MgO		
	계	고추	식물체	계	고추	식물체	계	고추	식물체
1) 질소 무시용	7.86	4.59 c*	3.27 c*	2.84	0.18 d*	2.66 c*	1.57	0.35 ^{NS}	1.22 b*
2) 3요소 토양검정시비	17.32	7.72 b	9.61 a	8.08	0.39 c	7.69 a	2.85	0.60	2.25 a
3) 액비 N 기준 50% 관비	13.92	7.57 b	6.35 b	5.04	0.52 b	4.53 b	2.42	0.60	1.82 ab
4) 액비 N 기준 100% 관비	19.62	8.93 a	10.69 a	8.90	0.73 a	8.17 a	3.12	0.67	2.45 a
5) 액비 N 기준 150% 관비	17.89	7.20 b	10.69 a	8.00	0.72 a	7.29 a	2.54	0.52	2.02 ab

* DMRT at 5% level

고추 재배 후 질소 흡수 이용율은 표 8과 같다. 질소 무시용구가 흡수한 질소의 총흡수량은 3.07 kg 10a⁻¹ 이었으며 토양검정시비와 액비 관비처리는 8.37~10.68 kg 10a⁻¹ 정도로 나타났다. 질소 흡수 이용율은 액비 50% 관비가 45.6%로 가장 높았고, 액비 100% 관비는 33.3%, 3요소 토양검정시비는 24.5%, 액비 150% 관비는 16.0%로 가장 낮았다.

표 8. 질소 흡수 이용율

처 리 내 용	질소 이용율		
	시비량(kg 10a ⁻¹)	흡수량(kg 10a ⁻¹)	이용율(%)
1) 질소 무시용	-	3.07	-
2) 3요소 토양검정시비	22.8	8.53	24.5
3) 액비 N 기준 50% 관비	11.4	8.37	45.6
4) 액비 N 기준 100% 관비	22.8	10.68	33.3
5) 액비 N 기준 150% 관비	34.2	8.52	16.0

이상과 같이 본 시험에서 고추 노지재배에서 화학비료 3요소 토양검정시비 대비 검정시비 질소기준 질소 고농도 액비 100% 관비는 생육 및 토양 화학성 변화 등에

서 대차없고 수량성과 질소 흡수이용율은 높기 때문에 농가 현장에서 사용가능한 것으로 판단되었다. 또한, 총질소 함량 4.9%의 질소 고농도 액비는 기존의 일반적 혐기소화 돈분액비(총질소 함량 0.3%)에 비해 부피가 17분의 1정도에 불과하므로 액비 운반과 살포에 매우 편리한 잇점이 있는 것으로 생각되었다. 그러나 축산분뇨 폐수 처리 및 정제과정에서 질소 고농도 액비 생산을 위해서 암모니아 회수 과정 등 또 다른 에너지 투입이 필요하므로 금후 생산 효율성, 경제성 등을 고려한 연구가 추가로 필요한 것으로 생각된다.

4. 적 요

본 시험은 축산폐수처리시 암모니아 회수 후 질소 농축시스템에서 생산된 질소 고농도 액비를 이용하여 고추 노지재배시 적정 시용기술을 구명하고자 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 토양 화학성은 화학비료 3요소 토양검정처리에 비해 pH는 액비 관비처리는 모두 낮았고, 질산태질소 함량은 액비 100% 관비는 대차없었으나, 액비 50% 관비는 작았고 액비 150% 관비처리는 많았다. EC는 질산태질소와 같은 경향이였다..
- 나. 건고추 수량은 토양검정시비(217.3kg/10a)에 비해 액비 100% 관비시 16% 증수 되었으며, 식물체 건물중은 토양검정시비에 비해 액비 100%, 150% 관비처리 시 대차 없었다.
- 다. 식물체 무기성분 흡수량은 화학비료 3요소 토양검정시비에 비해 액비 100%, 150% 관비 대차없었으며, 질소 흡수 이용율은 액비 50% 관비 > 액비 100% 관비 > 화학비료 3요소 토양검정시비 > 액비 150% 관비 순으로 높았다.

5. 인용문헌

- 강보구, 김현주, 이경자, 박성규. 2004. 고추에 대한 돈분액비 시용기준 설정. 한토비지. (37) 6 : 388-395.
- 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석 기준.
- 농촌진흥청 농업과학기술원. 2012. 가축분뇨 퇴·액비 품질관리와 활용. p.232-233.
- Jeon, W.T., H.M. Park, C.Y. Park, Y.S. Cho, E.S. Yun, and U.G. Kang. 2003. Effects of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 36:333-343.
- Lee, C.H., K.Y. Shin, J.T. Lee, and J.H. Ahn. 2003. Dertermination of nitrogen application level for Chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland. Korean J. Soil Sci. Fert. 36:280-289.

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.

RDA(Rural Development Administration). 1999. Solid and liquid composting of animal manure and its utilization. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2000. Methods for chemical analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2009. Improvement of the swine slurry treatment and land application technology for recycling, p.1-50., In: Kim, J. H. et. al. (ed.). Improvement of the swine slurry treatment system by SCB process. 2009. Report of National Joint Agricultural Research Project of RDA, Suwon, Korea.

6. 연구결과 활용제목

- 축산폐수 처리시스템에서 생산된 질소 고농도 액비 사용기술(기초활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
질소 고농도 가축분뇨 액비 사용기술 개발	책임자	농업기술원 환경농업연구과	농업연구관	박중수	세부과제총괄	'11~'12
	공동연구자	"	농업연구사	노안성	과제수행	'11~'12
		"	농업연구관	이경중	조사분석	'11~'12
		"	"	김순재	결과검토	'12