

양돈분뇨 발효액비 시용이 토양 화학성과 벼 (*Oryza sativa* L.) 생육에 미치는 영향

이규회¹ · 유재홍¹ · 박은주 · 정영인 · S.C. Tipayno² · C.C. Shagol² · 사동민^{2*}

영광군농업기술센터, ¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물팀, ²충북대학교 농업생명환경대학 농화학과

Effect of Swine Liquid Manure on Soil Chemical Properties and Growth of Rice (*Oryza sativa* L.)

Kyu-Hoi Lee, Jae-Hong Yoo¹, Eun-Ju Park, Yeong-In Jung, S.C. Tipayno², C.C. Shagol², and Tong-Min Sa^{2*}

Yeonggwang Agricultural Technology Center, Yeonggwang, 513-843, Korea

¹Team of Agricultural Microbiology, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Gyeonggi, 441-707, Korea

²Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

This study was conducted to evaluate the effect of swine liquid manure (SLM) on rice grown in Yeonggwang-gun in 2008. The treatments consisted of SLM and chemical fertilizer (CF) based on the recommended amount of nitrogen (11 kg N 10a⁻¹). The Total N content of the SLM used was 2,881 mg L⁻¹. Plant height at the early stage of growth and tiller number were not significantly different between plots applied with swine liquid manure and those with chemical fertilizer in all areas. Plant height at the later stage of growth, lodging and yield were not significantly different between plots applied with swine liquid manure and those with chemical fertilizer in three areas (Baeksu, Gunnam, Beopseong). Plant height at the later stage of growth, as well as lodging were higher in SLM plots than in chemically fertilized plots in Yeonggwang and Yeomsan. However, grain yield was lower in SLM plots than in chemically fertilized plots in these areas. Soil organic matter content and exchangeable cations increased in the swine liquid manure applied plots. Moreover, heavy metal content did not increase in the plots treated with swine liquid manure. Further research to determine the suitable rate of swine liquid manure is needed to reduce lodging damage and to increase the yield and quality of rice.

Key words: Rice, Swine liquid manure, Yield components, Lodging, Soil chemical properties

서 언

농업생태계는 양분의 이용과 환원을 통하여 균형을 이루어 왔으며, 농업생산 활동에서 유기물 자원의 균형적인 공급을 통하여 유지 증진된다. 그러나 최근에는 화학비료 위주의 영농으로 인하여 지력이 저하되고 토양의 무기성분의 불균형이 초래되고 있어서 화학비료의 단점을 보완할 친환경 유기자원의 필요성이 요구되고 있다.

가축분뇨 발효액비는 가축의 사육과정에서 배출되는 분뇨 및 청소수의 혼합물 또는 기타 처리과정 (혐기 발효 폐액 등)에서 발생하는 물질을 비료로 활용하고자 일

정기간 부숙시켜 위생적이며, 경종적으로 안정화된 액상물로 정의하고 있다 (RDA, 2002). 이러한 가축분뇨 발효 액비를 자원화 하여 농경지에 적정량을 사용하면 토양의 pH, 탄소, 질소, 양이온교환용량이 증가된다 (Yadav et al., 2000; Choudhary et al., 1996). 하지만 가축분뇨를 과다하게 사용할 경우 토양의 산화환원전위가 낮아져 유해물질이 생성되고 벼 재배 시 질소 과다 흡수로 인한 도복 및 미질저하 현상이 발생하며, 잉여 양분이 물의 이동을 따라 유실될 경우 수계오염의 원인이 되기 때문에 무엇보다 적정량 사용이 중요하다고 보고하였다 (Murayama et al., 2001).

농경지로부터 생산된 사료 (곡물, 농산부산물, 조사료 등)가 가축사육에 이용되고, 가축은 인간에게 유용한 축산물 (고기, 우유 등)과 함께 지력증진에 필요한 분뇨를 생산한다. 작물생산에 꼭 필요한 영양성분을 다량으로 폭넓게 함유하고 있는 유기물 자재인 가축분 액비의 활

접수 : 2010. 11. 4 수리 : 2010. 12. 3

*연락처 : Phone: +82432612561

E-mail: tomsa@chungbuk.ac.kr

용은 양분의 공급 및 지력의 유지 뿐만 아니라 유기물질의 순환을 원활히 하는 측면에서도 매우 중요하다 (Paschold et al., 2008). 이러한 관점에서 가축의 배설물은 그들이 섭취하는 먹이를 생산하기 위한 자원으로 토양으로 돌려주어야 마땅하며, 농업생태계의 환경부하를 고려하면서 시용할 필요성이 있다. 우리나라는 가축에 급여하는 배합사료 원료의 75% 이상을 수입에 의존하고 있고, 배합사료의 원료는 질소와 인의 함량이 높은 농후사료로서 우리나라 농업환경에 질소와 인의 축적을 가중시킬 소지가 크다 (Yoon et al., 2008). 따라서 오염부하의 근원이 되는 수입사료를 국내에서 대체하여 사료자급률을 상승시키는 노력과 더불어 가축분뇨로 인한 우리나라 농업환경의 오염부하에 미치는 영향에 대해서도 꾸준한 연구가 필요하다.

우리나라에서 가축분뇨 발생량은 연간 약 3,186만톤 정도이나, 가축분뇨 생산능력의 86%만이 자원화 처리 시설을 갖추고 있고 (RDA, 2002), 가축분뇨의 해양배출이 2012년에 중단됨은 물론, 가축분뇨 수요확대를 위한 경종농가와 연계 또한 부족한 실정으로 가축분뇨 자원화 확대를 위한 자연순환농업 기술보급 및 확산이 시급하다. 가축분뇨 액비이용에 있어서 해결되어야 하는 문제로는 농경지확보, 살포기술개발, 악취감소 등을 들 수 있다. 대부분의 축산농가들은 액비를 살포할 수 있는 농경지가 거의 없기 때문에 어떻게 하면 축산농가와 경종농가를 연계하는가 하는 점도 중요하다. 따라서 가축분뇨의 이용을 확대하기 위해서는 인근 경종농가, 특히 벼 재배 농가에 이용하는 방안을 강구해야 한다. 우리나라 농경지의 약 62%를 차지하는 논에 재배되고 있는 벼의 비료원으로 가축분뇨를 자원화하여 이용할 수 있다면, 이는 살포경지면적을 확대하는 의미가 되는 동시에 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 되는 것이다.

본 연구는 영광지역에서 가축분뇨 발효액비를 활용한 벼 재배 현장평가를 통하여 가축분뇨 발효액비의 시용이 토양 화학성, 벼의 생육특성, 수량구성요소, 수량, 도복 및 쌀 품질에 미치는 영향을 규명하고자 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

양돈분뇨 발효액비의 제조 및 분석 양돈분뇨 발효액비는 영광군 가축분뇨 자원화시설의 고온 호기성 발효시스템을 통해 생산하였으며, 그 생산공정은 다음과 같다. 양돈분뇨 원수를 고액분리기로 상층의 1차 고형분을 제거하고, 남은 액상은 저류조를 통해 1차 산화부상조에서 30°C로 6시간 동안, 2차 산화부상조에서 45°C로 10

시간 동안, 3차 산화부상조에서 38°C로 18시간 동안 이동하면서 고온발효과정을 거쳤다. 이후 가압부상조로 이동하여 상층의 전분을 여과한 다음 저장조에서 실온으로 5시간 경과 후 생산된 액비를 실험에 이용하였다.

양돈분뇨 발효액비의 각 항목별 분석방법은 농업과학기술원 액비 및 퇴비분석법에 준하여 다음과 같이 분석하였다 (NIAST, 1999). pH는 양돈분뇨 발효액비 원액을 pH·Conductivity meter (Orion 4star)를 이용하여 측정하였다. 액비의 전질소 (Total nitrogen)는 액비 10 mL와 분해촉진제 황산염혼합분말 ($K_2SO_4 : CuSO_4 = 1 : 9$) 3 g을 첨가하여 Block digester (Tecator 2040 digester)를 이용하여 370°C에서 2시간 동안 분해하여 식힌 후 Kjeldahl 자동 증류적정장치 (JP selecta PN-1430)를 사용하여 측정하였다. 인산은 액비를 분해촉진제인 60% Perchloric acid를 사용하여 분해한 다음 NO. 6 여과지 (ϕ 10 cm, Whatman, USA)로 여과한 후 발색시약 Ammonium meta vanadate 용액 10 mL을 가하여 30°C에서 15분간 발색 후 UV-visible spectrophotometer (Shimadzu UV-1601)를 이용하여 분석하였다. 칼리는 액비를 분해촉진제인 60% Perchloric acid를 사용하여 분해한 다음 NO. 6 여과지 (Whatman, USA)로 여과한 후 Inductively coupled plasma (ICP, Varian 720EP)를 이용하여 분석하였다. 중금속 함량은 분해촉진제 60% Perchloric acid를 사용하여 분해한 시료를 NO. 6 여과지 (Whatman, USA)로 여과한 후 ICP (Varian 720EP)를 이용하여 분석하였다.

토양의 화학적 특성 분석 전라남도 영광군 5개 지역 (영광, 백수, 군남, 법성, 염산)의 일반농가 포장에서 표토로부터 20 cm 깊이의 토양을 채취하여 풍건 시킨 후 2 mm체에 통과된 토양만을 분석시료로 사용하였다. 토양의 화학적 특성 중 각 항목은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법에 준하여 다음과 같이 분석하였다 (NIAST, 2000). pH는 풍건한 토양을 증류수와 1:5로 혼합하여 1시간 동안 진탕한 현탁액을 pH·Conductivity meter를 이용하여 측정하였다. EC는 풍건 토양을 증류수와 1:5로 혼합하여 1시간 동안 진탕한 현탁액을 pH·Conductivity meter를 이용하여 측정한 값에 희석배수 5를 곱하여 분석하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 5 g의 토양시료에 50 mL의 1N- CH_3COONH_4 (pH 7.0)를 가하여 30분간 진탕하여 No. 2 여과지 (Whatman, USA)로 여과 후 ICP (Varian 720ES)를 이용하여 분석하였다. 유기물은 200 mesh 체를 통과시킨 0.5 g의 토양시료에 10 mL의 0.4 N 중크롬산칼리황산혼합용액을 가하여 잘 섞은 다음, 기포가 발생하기 시작할 때부터 5분간 열판에 끓였다. 그 후 증류수를 150 mL를

가해 식혀 두었다가 Diphenylamine을 첨가한 후 0.2 N 황산제1철암모니움용액으로 적정하여 탄소함량을 알아 낸 다음 1.724 (토양 부식중 탄소함량 비)를 곱해서 구 하였다. 유효인산은 토양 5 g에 침출액 20 mL를 넣고 10분간 진탕한 후 No. 2 여과지 (Whatman, USA)로 여과하였다. 여과한 시료액 1 mL에 침출액 9 mL를 첨 가하여 10배 희석하였다. 희석된 시료액 1 mL에 발 색시약 (Ascorbic acid 혼합액) 1.5 mL과 증류수 7.5 mL 를 첨가 한 후 30°C에서 30분간 항온 후 720 nm에서 UV-visible spectrophotometer를 이용하여 분석하였다. 토양의 중금속 함량은 토양 10 mL에 0.1 N HCl 50 mL를 첨가하여 침출한 후 NO. 6 여과지 (Whatman, USA)로 여과하여 ICP를 이용하여 분석하였다.

처리 내용 및 시비 방법 전라남도 영광군 5개 지 역 (영광, 백수, 군남, 법성, 염산)의 일반농가 포장에서 2008년도에 수행하였다. 처리는 지역별로 벼에 대한 기준시비량 11 kg N 10a⁻¹를 기준으로 양돈분뇨 발효 액비 처리구 (SLM)와 화학비료 처리구 (CF)를 배치하 였으며, 지역별 3반복으로 처리하였다. 양돈분뇨 발효액 비 시용수준에 따른 벼 생육특성 및 수량을 구명하기 위 하여 전라남도 영광군 장려품종인 중만생종 일미벼 (밀 양122호)를 공시품종으로 이용하였으며, 재식거리 30 × 15 cm로 2008년 6월 5일에 이앙하였다.

양돈분뇨 발효액비 시비량은 벼에 대한 기준시비량 11 kg N 10a⁻¹를 액비 성분량으로 환산하여 공시액비 3.8 ton 10a⁻¹ 수준으로 이앙 14일 이전에 균일살포기 를 이용하여 전량기비로 시용한 후 경운 로타리를 실시 하였다. 화학비료 시용구의 시비량은 성분량으로 N : P₂O₅ : K₂O = 11 : 4.6 : 7.3 kg 10a⁻¹를 기준으로 시비 하였다. 규산-석회-마그네슘의 시비량은 성분량으로 SiO₂ : CaO : MgO = 42.5 : 68 : 3.4 kg 10a⁻¹를 기 준으로 규산질비료 (SiO₂ : CaO : MgO = 25 : 40 : 2, 한일 C&S)를 170 kg 10a⁻¹ 수준으로 이앙 1개월 전에 시비하였다. 화학비료의 분시비율은 인산은 기비로 이앙 전에 100%, 칼리는 기비로 이앙 전에 60%, 이삭거름으 로 출수 3주전에 40%로 시비 하였다. 질소는 기비로 이 앙 전에 50%, 분얼거름으로 이앙 2주 후에 20%, 이삭 거름으로 출수 3주전에 30%로 시비 하였다.

생육조사 농촌진흥청 농사 시험연구 조사기준 (RDA, 1995)에 준하여 분얼기인 이앙 후 30일, 유수형성기인 이앙 후 80일, 및 수확기인 이앙 후 110일에 초장 및 경수를 조사 하였다. 초장은 각 포기의 원줄기의 길이를 지면에서부터 잎 끝까지의 길이를 조사하였으며, 경수는 분얼 경수가 2잎 이상 완전히 전개된 것만 조사하였다. 초장과 경수는 기준포기 (기준포기는 조사 안함)에서 주 간을 중심으로 좌우 각 5포기, 총 10포기를 조사하였다. 수량구성요소 (주당수수, 수당영화수, 등숙률, 천립중)는 수확 후 조사 하였고, 주당수수는 각 시험구마다 10주를 조사 하였으며, 각 시험구마다 평균주수를 가진 3주를 채취하여 수당영화수, 등숙률, 천립중을 구하였다. 수당 영화수는 단위주수의 전체영화수를 이삭수로 나누어 구 하였으며, 등숙률은 총수수 계수 후 탈곡 조제하여 그 중 무작위로 30 g을 취하여 비중 1.06의 소금물로 등숙 립과 불완전립을 선별 계수하여 구하였다. 천립중은 등 숙립 100립의 무게를 측정한 후 1,000립으로 환산하여 구하였다. 도복률은 이앙 후 110일에 단위면적 당 이삭 줄기 경사 16%이상 되는 면적을 환산하여 구하였다. 미 질의 성분은 등숙립을 백미로 도정 후 일본에서 제작된 비파괴검사기기인 AN-700 (KETT)을 이용하여 단백질, 아미로오스를 분석하였다.

통계 처리 일반선형모형 (GLM) 버전 9.1 (SAS in- stitute Inc, Cary, NC, USA)를 이용하여 데이터 처리 하였으며, 평균은 최소 유의차 (LSD)를 사용하여 비교 하 였다.

결과 및 고찰

양돈분뇨 발효액비의 화학적 특성 실험에 사용된 양돈분뇨 발효액비의 화학적 특성은 Table 1과 같다. pH는 7.9로 약알칼리성을 나타내었으며, 전질소 (T-N)는 2,881 mg L⁻¹, 인산 (P₂O₅)은 948 mg L⁻¹, 칼리 (K₂O) 는 2,869 mg L⁻¹의 함량을 각각 나타내었다. 일반적으로 인산, 칼슘, 마그네슘은 분에 많으나, 칼리는 노에 많다. 이로 볼 때 돈분 액비의 비료 성분조성은 분과 노의 구성 비율에 의해 지배된다고 생각된다. 본 실험에 사용된 양돈분뇨 발효액비의 성분별 상대적 비율을 계산 하면 전질소 (T-N), 인산 (P₂O₅), 칼리 (K₂O)의 비율이

Table 1. Chemical properties of swine liquid manure used in the experiment.

pH	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	As	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr	Zn
	----- mg L ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----						
7.9	2,881	948	2,869	0.33	0.05	3.75	3.08	0.41	0.61	11.44

3 : 1 : 3으로 질소, 칼리의 비율이 상대적으로 높은 반면, 인산의 비율이 현저히 낮게 나타났다. 따라서 본 실험에 사용된 양돈분뇨 발효액비를 연용 했을 때는 토양 중의 인산 부족으로 인한 결핍증 발생이 커질 것으로 예상되었다.

중금속 함량은 비료공정규격 (MIFAFF, 2009)인 비소 5 mg kg⁻¹, 카드뮴 0.5 mg kg⁻¹, 납 15 mg kg⁻¹, 구리 50 mg kg⁻¹, 니켈 5 mg kg⁻¹, 크롬 30 mg kg⁻¹, 아연 130 mg kg⁻¹ 이하의 적합한 범위 내에 포함되어 있었다. 중금속은 일단 유기물에 혼입되면 킬레이트화 되어 결합되기 때문에 물에 의한 용탈이 일어나지 않는다. 따라서, 사료에 항생제로 투입되는 중금속을 다른 대체 물질로 전환시키는 것이 중요하고 퇴비제조 공정에서 중금속이 함유된 오염물질 재료가 혼입되지 않도록 하는 관리가 필요할 것이라고 생각된다.

토양의 화학적 특성 변화 공시토양의 화학적 특성은 Table 2와 같다. pH는 5.7~6.5로 5개 지역 모두 약산성을 나타내었으며, 염류 집적의 간접 지표인 EC는 0.4~1.3 dS m⁻¹으로 나타났다. 토양유기물은 16.0~27.0 g kg⁻¹으로 군남 지역을 제외한 4개 지역에서 수도재배를 위한 적정수준인 25.0~30.0 g kg⁻¹보다 대부분 낮은 함량을 보였으며 (Ryoo, 2009), 유효인산은 78.0~114.0 mg kg⁻¹으로 대부분 수도재배를 위한 적정수준인 80~120 mg kg⁻¹ 범위내의 함량을 나타내었다

(Ryoo, 2009). 치환성 칼리 함량은 0.2~0.5 cmol⁺ kg⁻¹로 Hur et al. (1997)이 보고한 우리나라 논 토양의 평균 칼리 함량 0.2 cmol⁺ kg⁻¹보다 높은 특성을 보였다. 식물체 지지의 중요한 기능을 하는 규산 함량은 88.0~135.5 mg kg⁻¹으로 수도재배를 위한 적정수준인 130~180 mg kg⁻¹보다 다소 낮은 경향을 나타내었다 (Ryoo, 2009).

영광군 5개 지역 (영광, 백수, 군남, 법성, 염산)에서 양돈분뇨 발효액비와 화학비료 시용 후 토양의 화학적 특성은 다음과 같았다. pH는 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으나, 염류 집적의 간접 지표인 EC는 가축분뇨 발효액비 시용 시 화학비료 처리구보다 발효액비 처리구에서 높은 경향을 나타내었다.

유기물은 화학비료 처리구와 양돈분뇨 발효액비 처리구 모두에서 시험 전 토양과 비교하였을 때 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 액비 및 화학비료 시용 시 작기의 경과에 따라서 토양 중 유기물 함량이 낮아진다는 연구결과와 일치하였다 (Lim et al., 2009). 처리별 유기물 함량은 일반적으로 유기물 원을 사용하면 토양 중 유기물 함량이 높아지는 것과 같이 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 화학비료 처리구 보다 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 높은 경향을 나타내었다.

유효인산은 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 시험 전

Table 2. Soil chemical properties among treatments for the 1-yr period.

Date	Site	Treatment	pH	EC	OM	P ₂ O ₅	Ex. cation			SiO ₂
							K	Ca	Mg	
			(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol ⁺ kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹
Spring	Yeonggwang		5.7	0.5	21.0	78.0	0.3	3.5	1.5	88.0
	Baksu		6.3	1.0	18.0	79.0	0.5	4.2	3.3	135.5
	Gunnam		6.0	0.4	27.0	114.0	0.2	4.7	1.6	111.0
	Beopseong		6.5	1.3	16.0	96.5	0.5	4.0	3.3	109.0
	Yeomsan		6.0	0.9	18.5	82.0	0.4	3.7	2.4	105.5
Fall	Yeonggwang		5.8	1.8	22.8	38.0	0.6	6.2	3.5	106.2
	Baksu		5.6	1.9	21.3	37.0	0.4	3.1	1.7	221.7
	Gunnam	SLM [†]	5.9	1.0	24.1	42.0	0.6	4.7	1.6	139.3
	Beopseong		5.8	1.0	23.1	58.0	0.5	4.9	1.8	158.4
	Yeomsan		5.7	0.9	20.9	80.0	0.5	4.2	1.8	156.1
	Yeonggwang		6.3	1.7	14.0	45.2	0.8	3.0	4.5	202.0
	Baksu		6.3	1.7	15.0	63.4	0.8	3.1	4.5	149.0
	Gunnam	CF [‡]	6.8	0.8	16.0	81.2	0.5	3.9	4.7	168.0
	Beopseong		6.9	1.2	17.0	70.7	0.6	4.1	5.2	198.7
	Yeomsan		6.7	0.7	17.0	78.5	0.5	5.5	2.4	228.0

[†] SLM (swine liquid manure), [‡] CF (chemical fertilizer).

Table 3. Effect of application of swine liquid manure on the heavy metal content of paddy soil.

Site	As	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----						
Yeonggwang	2.7	0.03	2.0	1.6	11.7	0.1	31.3
Baeksu	2.0	0.09	3.8	3.3	5.2	0.1	33.6
Gunnam	2.4	0.04	0.8	1.2	2.8	0.1	20.8
Beopseong	2.4	0.04	0.8	1.1	2.3	0.2	17.8
Yeomsan	2.8	0.03	0.7	0.8	1.5	0.2	14.5
Standard of † regulation	6.0	1.5	100	50	40	4.0	300

† Soil pollution guideline by the Soil environmental preservation law.

토양과 비교하였을 때 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 감소하였다. 이러한 결과는 가축분뇨 발효액비 연용 시 토양중의 인산함량이 증가하였다 (Hountin et al., 2000)는 보고와 달리 토양중의 유효 인산 함량은 증가하지 않았는데, 이는 본 실험에 사용된 액비중의 인산 함량이 낮은 것에 기인하며, 본 실험에 사용된 가축분뇨는 인산, 칼슘, 마그네슘의 함량이 높은 돈분 퇴비가 아닌 인산함량이 상대적으로 낮은 돈분 액비를 시용함으로써 인해 토양 중 유효인산 함량이 감소된 것으로 생각된다.

치환성 칼리 함량은 영광, 군남, 법성의 3개 지역에서 액비 시용 전에 비해 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 시험에 사용된 양돈분뇨 발효액비의 전질소 (T-N), 인산 (P₂O₅), 칼리 (K₂O)의 상대적 비율 중 인산의 비율이 매우 낮은 대신 칼리 비율이 높은 특징을 나타냄에 따른 것으로 생각된다. Ryoo (2007)는 액비 5년 연용 시용 구에서 치환성 칼리 함량이 증가하는 경향이어서 장기간 연용 시 칼륨이 축적 되었다고 보고하여 본 실험의 결과와 같은 경향을 나타내었다. 처리별 치환성 칼리함량은 영광, 백수, 법성 지역에서 양돈분뇨 발효액비 처리구가 화학비료 처리구에 비해 낮았다. 하지만, 군남과 법성 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구가 화학비료 처리구에 비해 높거나 같은 함량을 나타내었다. 따라서 향후 화학비료 및 양돈분뇨의 시용 년차에 따른 토양 성분 변화에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

양돈분뇨 발효액비 시용에 따른 농토양의 중금속함량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 양돈분뇨 발효액비 시용과 더불어 문제가 되고 있는 구리와 아연 함량은 각각 0.8~3.3 mg kg⁻¹, 14.5~33.6 mg kg⁻¹으로 나타났다. 이것은 단위 동물사료에 첨가된 구리나 아연의 잔류량에서 기인된 것으로 사료 된다. Kim et al. (1995)이 보고한 우리나라 농토양의 중금속 자연함량 중 구리와 아연의 평균함량은 각각 4.52 (0~60.80) mg kg⁻¹, 3.90 (0.3~43.03) mg kg⁻¹으로 본 실험의 결과와 비

교하였을 때 구리는 평균함량보다 낮은 경향을 나타내었고, 아연은 평균함량보다 다소 높은 경향을 나타내었지만, 액비 시용 후 토양의 중금속 함량은 토양환경보전법의 토양오염 기준치 이하로 우려할 수준보다 낮았다. 하지만, Lim et al. (2007)은 가축분뇨 시용 시 철과 망간은 화학비료구와 차이가 없었지만, 구리와 아연은 다소 증가를 보이고 있으며, 특히 돈분액비 처리구와 발효돈분 처리구는 더욱 차이가 있었다고 보고하였다. 따라서, 양돈분뇨 발효액비의 장기적 시용은 토양중금속 함량을 증가시킬 것으로 생각되며, 액비의 장기적 시용 시 토양의 중금속 변동조사가 필요할 것으로 사료된다.

벼의 수량 반응 및 품질 영광군 5개 지역 (영광, 백수, 군남, 법성, 염산)에서 양돈분뇨 발효액비 및 화학비료 처리 시기별 초장과 경수는 Table 4와 같다. 이양 후 30일의 생육초기 초장과 경수는 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. Douglas and Magdoff (1991)는 양돈분뇨 발효액비를 시용한 처리구에서 벼 재배 시 초기생육이 늦어 분얼 수 확보가 화학비료보다 늦어져 수량이 감소한다고 보고하였으나, 이번에 나타나는 결과는 5개 지역 모두 양돈분뇨 발효액비 시용구에서 벼 생육 초기 분얼 수 확보에 긍정적인 결과를 나타내었다. Kim et al. (2004)은 액비 시용 직후 로타리 경운 처리는 무로타리 처리보다 암모니아 가스 발생량이 감소되었고, 발생농도는 주로 시용초기에 높았다고 보고하였다. 본 실험에서도 액비 시용 직후 로타리 경운 처리로 시용된 액비와 토양이 섞이게 된 결과 암모니아가스 발생량이 감소된 것으로 생각되며, 액비살포 후 로타리 경운처리는 질소 휘산 및 양분유실을 막아 생육 전반에 화학비료와 같은 비효를 내는데 유리 할 것으로 판단된다.

이양 후 80일의 초장은 영광, 백수 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으나, 군남과 법성지역에서는

Table 4. Effect of swine liquid manure and chemical fertilizer application on plant height and tiller number of rice grown in different sites.

Site	Treatment	Plant height			Tiller number		
		30 DAT [†]	80 DAT	110 DAT	30 DAT	80 DAT	110 DAT
		cm			No.		
Yeonggwang	SLM	24.0a [‡]	70.6a	77.0a	11.1a	19.7a	18.7a
	CF	25.1a	66.2a	69.1b	10.9a	19.7a	19.1a
Baeksu	SLM	25.9a	68.3a	75.1a	9.7a	18.5b	18.1a
	CF	23.8a	66.8a	77.5a	9.2a	20.9a	18.1a
Gunnam	SLM	26.4a	63.4b	69.4a	9.8a	17.7a	17.5a
	CF	28.8a	67.6a	72.7a	9.6a	19.5a	17.9a
Beopseong	SLM	28.1a	65.8b	66.4b	12.7a	17.7a	17.3a
	CF	26.4a	72.5a	72.9a	13.6a	20.3a	17.9a
Yeomsan	SLM	22.9a	73.9a	74.1a	10.2a	20.6a	19.2a
	CF	25.8a	67.3b	69.1b	14.6a	19.6a	17.5a

[†]DAT (days after transplanting). [‡]Each value represents the average of three replicates per treatment. Significant differences within the same column are indicated by different letters (LSD at $P \leq 0.05$ level).

화학비료 처리구가, 염산 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 유의성 있는 생육증가를 나타내었다. 이양 후 80일의 경수는 백수를 제외한 4개 지역에서 양돈분뇨 발효액비 처리구의 분얼수가 화학비료 처리구와 비교해서 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.

생육후기의 이양 후 110일의 초장은 백수, 군남의 2개 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 하지만 영광과 염산의 2개 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 화학비료 처리구보다 유의성 있는 생육증가를 나타내었다. Babarika et al. (1985)은 양돈분뇨 발효액비에는 유기태 질소도 포함되어 있어서 생육중기의 여름철 고온기에 무기화가 많이 나타나 벼 생육후기에 까지 영향을 미친 것으로 보인다고 보고하였다. 따라서 양돈분뇨의 과다사용이 벼의 도장을 초래할 수 있음을 확인할 수 있었다. 생육후기의 이양 후 110일의 경수는 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다.

영광군 5개 지역 (영광, 백수, 군남, 법성, 염산)에서 각 지역별 양돈분뇨 발효액비 사용이 벼의 수량구성요소 및 정조수량에 미치는 영향은 Table 5와 같다. 주당 수수는 분얼기의 영양상태 및 유효비율에 의해 결정되며, 백수, 법성, 염산의 3개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 영광 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구가, 군남 지역에서는 화학비료 처리구가 유의성 있게 높은 수치를 나타내었다. 수당립수는 벼의 유수

형성기와 수잉기의 영양상태와 수수에 의해 크게 좌우된다. 처리별 수당립수는 영광, 염산의 2개 지역의 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 높은 값을 나타내었으며, 백수와 군남 지역에서는 화학비료 처리구에서 높은 값을 나타내었다. 등숙률은 백수, 군남, 법성의 3개 지역의 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 80.3~84.9%로 화학비료 처리구 78.4~82.6% 보다 유의성 있게 높아 졌다. 이러한 결과는 양돈분뇨 발효액비의 적정량 준수와 균일 살포를 하였을 때 화학비료 처리구와 비교하여 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 높은 등숙률을 나타내었다는 결과와 일치하였다 (Yoon et al., 2005). 천립중은 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다.

정조수량은 백수와 군남 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았지만, 영광과 염산지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 695.3~722.6 kg 10a⁻¹로 화학비료 처리구 730.5~735.5 kg 10a⁻¹ 보다 유의성 있게 낮은 수량을 나타내었다. 이러한 결과는 일반적으로 양돈분뇨 발효액비 사용 직후 암모니아의 휘산이나 부숙되기 쉬운 유기물에 의해서 단기간 질소가 부동화 됨에 따라 벼의 초기 생육이 부진하였다 (Peter and Amato, 2002)는 보고와 같이 액비사용으로 인한 초기 생육부진과 양돈분뇨 발효액비 사용 시 액비살포장비 노후화 및 살포기술 수준이 낮음에 따라 액비의 중복 살포로 인한 도복 및 병해충 발생으로 수량이 감소하였다고 생각된다.

양돈분뇨 발효액비 및 화학비료 사용이 벼의 도복 및

Table 5. Effect of swine liquid manure and chemical fertilizer application on yield components of rice grown in different sites.

Site	Treatment	No. of panicle	No. of spikelet	Ripened grain	Weight of 1,000 grains	Brown rice yield
		hill ⁻¹	panicle ⁻¹	%	g	kg 10a ⁻¹
Yeonggwang	SLM	19.0a [†]	81.6a	80.1a	20.2b	695.3b
	CF	18.3b	77.8b	79.8a	24.5a	730.5a
Baeksu	SLM	19.0a	78.6b	80.3a	22.3a	706.0a
	CF	19.2a	82.4a	79.4b	19.8a	701.7a
Gunnam	SLM	19.2b	80.9b	84.9a	20.3a	696.8a
	CF	19.8a	84.6a	82.6b	20.3a	707.3a
Beopseong	SLM	20.1a	80.0a	81.0a	20.1a	718.2a
	CF	19.6a	80.2a	78.4b	19.9a	706.9b
Yeomsan	SLM	19.8a	81.2a	77.9a	22.7a	722.6b
	CF	20.0a	80.3b	80.7a	21.4a	735.5a

[†]Each value represents the average of three replicates per treatment. Significant differences within the same column are indicated by different letters (LSD at $P \leq 0.05$ level).

Table 6. Effect of swine liquid manure and chemical fertilizer application on the lodging area and the quality of milled rice grown in different sites.

Site	Treatment	Quality of milled rice		Lodging area
		Protein	Amylose %	
Yeonggwang	SLM	7.1a [†]	19.1a	2.2a
	CF	6.8b	19.3a	1.2b
Baeksu	SLM	7.1a	19.0a	2.0a
	CF	7.1a	19.3a	1.8a
Gunnam	SLM	7.0a	19.2a	1.6a
	CF	6.9a	19.2a	1.2a
Beopseong	SLM	7.0a	19.1a	1.9a
	CF	7.0a	19.2a	1.9a
Yeomsan	SLM	6.9a	19.2a	1.9a
	CF	6.9a	19.2a	0.4b

[†]Each value represents the average of three replicates per treatment. Significant differences are indicated by different letters within the same column (LSD at $P \leq 0.05$ level).

품질에 미치는 영향은 Table 6과 같다. 도복율은 백수, 군남, 법성의 3개 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 없는 것으로 나타났다. 영광과 염산 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 1.9~2.2%로, 화학비료 처리구 0.4~1.2% 보다 유의성 있게 높은 수치를 나타내었다. 이러한 결과는 백수, 군남, 법성은 식물체 지지의 중요한 기능을 하는 토양의 규산 함량이 109~135.5 mg kg⁻¹로 영광, 염산의 규산 함량 (88, 105.5 mg kg⁻¹)보다 높은 함량을 나타냄에 따른 것으로 생각된다. 규산의 작물 대하 생리적 작용은 가용성 규산이 뿌리에 흡수되면 잎이나 줄기의 표피세포에 침적되어 세포를 규질화 시킴

으로서 식물체가 튼튼하게 되어 내도복성을 증대시킨다. 또한 영광과 염산의 2개 지역은 액비살포장비 노후화 및 살포기술 수준이 낮음에 따라 양돈분뇨 발효액비 증복살포로 인한 질소성분 과다로 도복률이 증가하였다고 생각되며, 따라서 도복발생을 방지하기 위해서 가축분뇨 발효액비의 적정 시용량 준수와 균일 살포가 매우 중요할 것으로 사료된다.

양돈분뇨 발효액비 및 화학비료 시용이 백미의 품질 관련 화학적 특성에 미치는 영향은 다음과 같다. 영광을 제외한 백수, 군남, 법성, 염산의 4개 지역에서 백미의 단백질 함량은 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 일반

적으로, 미질에 중요한 영향을 미치는 단백질 함량은 식물의 세포 원형질의 주요성분인 단백질을 구성하는 질소의 흡수량과 밀접한 관계를 가진다. 따라서, 본 실험의 결과로 볼 때 양돈분뇨 발효액비의 비료성분이 벼 생육후기까지 유효도가 높아져 추비를 한 화학비료 처리와 비슷한 비효를 갖는 것으로 생각된다. 아밀로오스 함량은 영광, 백수, 군남, 법성, 염산의 5개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다.

요 약

영광지역에서 양돈분뇨 발효액비를 활용한 벼 재배 현장평가를 통하여 가축분뇨 발효액비의 사용이 벼의 생육특성, 수량, 수량구성요소, 쌀 품질, 토양화학성에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다. 공시 양돈분뇨 액비의 총질소 함량은 $2,881 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 토양화학성 변화 중 pH는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구 간에 일정한 경향을 보이지 않았으나, EC와 유기물은 화학비료 처리구 보다 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 높은 경향을 나타내었다. 양돈분뇨 발효액비 사용 후의 토양의 치환성 칼륨 함량은 화학비료 처리구보다 낮은 경향을 보였다. 양돈분뇨 발효액비 사용에 따른 논토양의 중금속함량은 높아지지 않았으며, 시험 후 토양의 구리와 아연 함량은 토양환경보전법의 토양오염 기준치 이하였다. 분얼기인 이앙 후 30일, 유수형성기인 이앙 후 80일, 수확기인 이앙 후 110일에 평균 초장 및 경수는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구에서 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 주당수수는 백수, 법성, 염산의 3개 지역 모두에서 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 등숙률은 백수, 군남, 법성의 3개 지역의 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 80.3~84.9%로 화학비료 처리구 78.4~82.6% 보다 유의성 있는 증가를 보였다. 정조수량은 백수와 군남 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았지만, 영광 과 염산지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 $695.3 \sim 722.6 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 화학비료 처리구 $730.5 \sim 735.5 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 보다 유의성 있게 낮은 수량을 나타내었다. 도복율은 영광과 염산 지역에서는 양돈분뇨 발효액비 처리구에서 1.9~2.2%로, 화학비료 처리구 0.4~1.2% 보다 유의성 있게 높은 수치를 나타내었다. 백수, 군남, 법성, 염산의 4개 지역에서 백미의 단백질 함량은 양돈분뇨 발효액비 처리구와 화학비료 처리구간의 유의성 있는 차이가 나타나지 않았다. 따라서, 양돈분뇨 발효액비를 벼에 대한 기준시비량 11 kg N

10a^{-1} 를 기준으로 균일 살포하였을 때 화학비료 시용과 비교해서 생육(초장, 경수), 수량 및 미질 면에서 큰 차이가 나지 않음을 나타내었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 자연순환농업 연구사업단의 연구비 지원으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

- Babarika, A.L., P. Sikola, and D. Golacicco. 1985. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1403-1406.
- 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.* 14:581-595.
- Douglas, B.F. and F.R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization induce for organic residues. *J. Environ. Anal.* 20:368-372.
- Hountin, J.A., A. Karam, and D. Couillard. 2000. Use of a fractionation procedure to assess the potential for P movement in a soil profile after 14 years of liquid pig manure fertilization. *Agr. Ecosyst. Environ.* 78:77-84.
- Hur, B.K., S.K. Rim, Y.H. Kim, and K.Y. Lee. 1997. Physico-chemical properties on the management groups of paddy soils in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30:62-66.
- Kim, B.Y., B.K. Jung, J.W. Choi, E.S. Yun, and S. Choi. 1995. Heavy metals in paddy soil of Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 28:295-300.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, and S.Y. Na. 2004. Influence of liquid pig manure on rice growth and nutrient movement in paddy soil under different drainage conditions. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 37:97-103.
- Lim, Y.C., S.H. Yoon, M.W. Jung, W.H. Kim, J.G. Kim, J.K. Lee, S. Seo, N.G. Park, and W.B. Yook. 2007. Effect of livestock manure application on the productivity of whole crop rice, feed value and soil fertility. *J. Korean Grassl. Sci.* 27:287-296.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of chinese cabbage. *Korean J. Environ. Agric.* 28:227-232.
- MIFAFF (Ministry for Food, Agriculture, Forstry and Fisheries). 2009. Official standard of commercial fertilizer, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Korea.

- Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Bada, 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.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 1999. Solid and liquid composting of animal manure and its utilization. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods for chemical analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.
- Paschold, J.S., B.J. Wienhold, D.L. Mc Callister, and R.B. Ferguson. 2008. Crop nitrogen and phosphorus utilization following application of slurry from swine fed traditional or low phytate corn diets. *Agron. J.* 100:997-1004.
- Peter, S. and M. Amato. 2002. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *Eur. J. Agron.* 16:81-95.
- RDA (Rural Development Administration). 1995. Standard methods for agricultural experiment. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2002. Guidelines for applying livestock manure (Liquid pig manure). Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Ryoo, J.W. 2007. Effects of continuous application of animal liquid slurry on growth characteristics and yield of rice. *J. Korean Lives. Hous. & Env.* 13:53-58.
- Ryoo, J.W. 2009. Effects of application seasons and rates of swine liquid manure on yield and quality in rice. *J. Korean Organic Agriculture.* 17:95-109
- Yadav, R.L., B.S. Dwivedi, K. Prasad, and P.S. Pandey. 2000. Yield trends, and change 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.
- Yoon, C., W.B. Yook, K.C. Choi, K.B. Lee, and K.N. Chung. 2005. Effect of application of pig manure slurry to rye on rice productivity in paddy-land. *J. Korean Grassl. Sci.* 25:251-258.
- Yoon, Y.M., S.E. Lee, D.Y. Chung, G.Y. Cho, J.D. Kim, and C.H. Kim. 2008. The analysis of environmental loads and material recycling of the nutrients by the livestock wastewater originating from imported feeds. *J. Kor. Grassl. Forage. Sci.* 28:139-154.