ISSN 0367-6315
Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6), 1043-1048 (2012)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.6.1043

보문

돈분액비 시용법이 논토양의 이화학적 특성과 벼 생육 및 수확량에 미치는 영향

안창현* · 김우식 · 박지성 · 안 인[1]

(주)한국식물환경연구소, [1](사)한국친환경농자재협회

Effects of Liquid Pig Manuare Application Method on the Chemical Properties of Paddy Soil and Growth of Paddy Rice

Chang Hyun Ahn*, Woo Sik Kim, Jee Sung Park, and In Ahn[1]

Korea Plant Environmental Research Station Ltd., Suwon, 481-440, Korea
[1]Korea Eco-Friendly Agro-Materials Association, Seoul, 137-942, Korea

We have researched the changes of paddy soil properties and rice yield by several different methods to treated with liquid pig manure(LPM). In the execution of this experiment, rice was cultivated to full maturity at a paddy field in Jeollabuk-do in 2011. Field experiment was designed with surface application on dry field condition+jet hose spray(Tr. 1), surface application on dry field condition+incorporation with irrigation water(Tr. 2), surface application on dry field condition+application device of fertilizer through irrigation(Tr. 3), submerged application on irrigated field condition+jet hose spray(Tr. 4), submerged application on irrigated field condition+incorporation with irrigation water(Tr. 5) and submerged application on irrigated field condition+application device of fertilizer through irrigation(Tr. 6) plot. Total N, P, K contents in used LPM were 0.44%, 0.07% and 0.14%, respectively. After the experiment, soil properties were not significant difference both several treated plots. But NO_3 and NH_4 contents at incorporation with irrigation water plots in paddy soil were higher than other plots. The yield was 602 kg $10a^{-1}$ in Tr. 2 plot compared Tr. 6 plot, which showed a value of 9.6% higher.

Key words: Liquid pig manure, Paddy field, Pig compost, Rice yield

서 언

우리나라 가축분뇨 발생량은 2008년 4,174만 톤에서 2009년 4,370만 톤, 2010년 4,653만 톤으로 2년 사이 479만 톤이 증가하였고, 2010년 기준으로 86.6%가 자원화 되어 퇴·액비로 생산되어 농경지에 환원되고 있다. (NHERI, 2011). 가축분뇨의 퇴비화는 많은 양을 자원화 할 수 있으나, 관리 미흡시 오염원으로 작용하여 지표수와 지하수의 오염, 악취 발생 등 위생학적 및 환경문제를 발생시켜 적절한 관리가 요구되어 진다 (Sweeten, 1988). 가축분뇨에는 질소, 인산, 칼리를 비롯한 영양분들을 함유하고 있어 작물생육을 촉진시키며, 토양의 물리·화학적 개선 효과가 있는 것으로 보고되어 있다 (RDA, 2002). 2012년부터 가축분뇨는 런던 협약에 의한 해양오염방지법으로 해양투기가 전면 금지됨으로써 가축분뇨의 농경지 이용을 더욱 적극적으로 추진해 할 필요가 있다. 벼 재배포장에서 2년 동안 돈분액비를 연용하였을 때 토양 중 유효인산과 치환성 칼리의 함량을 약간 증가시켰고, 벼의 수량은 관행적 화학비료 시용에 상응하는 효과가 있다고 보고되어 있다. (Kwon et al., 2010). 가축분뇨는 시용시기와 시용량에 따라 작물의 생육과 토양에 영향을 미치는 것으로 보고되어 있으나 (Jeon et al., 2003; Kang et al., 2004; Lee et al., 2004; Lee et al., 2010; Park et al., 2001), 지역과 작부체계에 따라 다양한 시용법이 요구되어 돈분퇴액비를 시용하는 방법에 따른 작물의 수량과 토양에 어떤 영향을 미치는지 연구해 볼 필요가 있다. 본 연구는 전북지역 벼 재배농가에서 돈분액비의 시용법을 달리 하였을 때, 벼의 생육과 논토양에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

재료 및 방법

본 시험은 전라북도 김제시 죽산면에 위치한 시험포장에서 2011년 실시하였다. 시험에 사용된 포장의 토성은 미사

접수 : 2012. 10. 16 수리 : 2012. 12. 6
*연락저자 : Phone: +82312923681
E-mail: fun@kper.or.kr

Table 1. Several methods of liquid pig manure application in rice filed.

Tr. No.	Basal appli. (Compost 30%+Liquid manure 70%)	Additional appli. (Liquid manure 100%)
1	Surface application on dry field condition	Jet hose spray
2	Surface application on dry field condition	Incorporation with irrigation water
3	Surface application on dry field condition	Application device of fertilizer through irrigation
4	Submerged application on irrigated field condition	Jet hose spray
5	Submerged application on irrigated field condition	Incorporation with irrigation water
6	Submerged application on irrigated field condition	Application device of fertilizer through irrigation

Table 2. The chemical properties of used liquid pig manure.

T-N	P_2O_5	K_2O	Na_2O	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	pH
---------- % ----------				---------- mg kg^{-1} ----------					
0.44	0.07	0.14	0.09	7.35	N†	N	17.41	3.02	8.46

†N : Not detected.

질 양토이고, 벼의 품종은 중만생종인 신동진벼를 사용하였다. 시험구별 처리내용은 Table 1과 같이 기비 처리방법 2가지와 추비 처리방법 3가지를 조합하여 총 6개 처리구를 두었으며, 시험구당 면적은 1,320 m^2 단구제로 하였다. 모든 처리구는 화학비료를 처리하지 않고 돈분뇨를 벼 재배에 이용하는 다양한 시용법을 모색하였다. 기비처리는 화학비료 표준 질소시비량 대비 액비70%, 퇴비 30%를 이앙 7일 전 국제 존디어 6610 트랙터에 독립식 호스형 액비살포기를 결합하여 지상살포하였고, 담수 기비는 이앙 2일전에 화학비료 표준 질소시비량 대비 액비100%를 관개수로에 호스를 연결하여 담수 혼입하였다. 추비 처리는 유수형성기에 제트호스 분무, 관개호스 분무, 관수혼입으로 시용하였다. 제트호스 분무는 디젤엔진과 탱크로리를 결합한 후, 직경 10 cm의 분무호스에 소방용 살포 노즐을 장착하여 유압 공중분무 살포하였다. 관개호스 분무는 직경 10 cm의 소방용호스를 점적 간격 30 cm으로 타공하여 이앙 후 처리구에 설치하고, 추비시 탱크로리에 결합하여 유압 분무하였다. 관수혼입은 관개수로의 관수 혼입구에 호스를 결합하여 시용하였으며, 각 처리구는 썬라이트®를 설치하여 격리하였다. 포장관리는 잡초방제를 위해 써레질과 동시에 옥사디아존 유제를 토양처리 하였으며, 5월 중순 신동진벼를 산파용 상자 한 개에 120 g씩 파종하여 어린모로 육묘하고, 6월 22일에 재식거리 30 × 14 cm로 기계이앙 하였다. 출수 전 트리사이크라졸 액상수화제를 경엽처리 하였다. 그 외 재배관리는 농촌진흥청 벼 표준재배법 (RDA, 1982)으로 수행하였다.

본 시험에서 사용한 돈분액비는 전북 김제시 용지면 용암리 비육돈 농장에서 약 6개월간 계단식 발효조에서 상등액을 이동시키면서 부숙시킨 것을 사용하였고, 액비의 화학성분은 비료의 품질검사방법 (RDA, 2006)으로 분석하였다. 살포된 돈분액비의 질소량은 0.44%으로 Table 2와 같이 질소 이외에도 인산 및 칼리를 다량 함유하고 있었고, 중금속 함량은 비료공정규격 (농촌진흥청고시 제2012-34호)의 규정보다 훨씬 낮은 값을 보였다. 각 시용법은 시용기기와 액비 시용시간 및 시용법에 따른 문제점을 조사하였고, 액비 시용에 있어 대부분 균일하게 시용하였다. 시용법에 따라 균일도가 떨어지거나 액비가 과다 시용지점의 토양 이화학성을 조사하였고, 시험에 사용된 논토양의 이화학성은 일반화학분석법 (NIAST, 2000)으로 분석하였다. pH (ATI ORION EA940) 및 EC (Themo ORION 3STAR)는 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 하여 측정하였으며, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법을 이용한 비색법 (PerkinElmer Lamda25)으로 하였다.

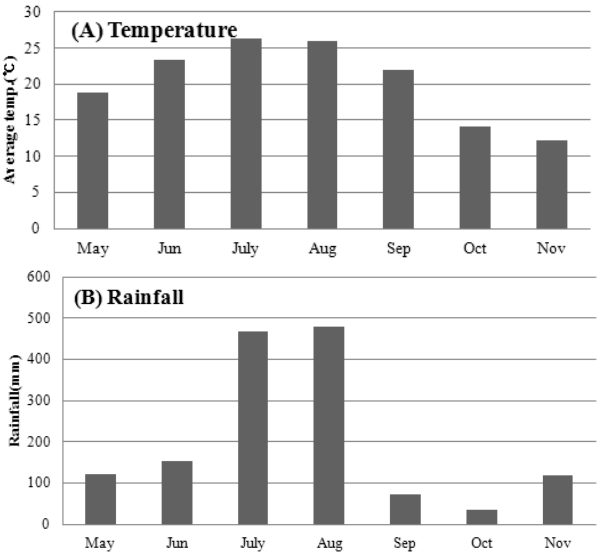

Fig. 1. Temperature(A) and rainfall(B) during the 2011 growing season.

처리별 벼 생육 조사를 위하여 수당립수, 초장, 주당수

Table 3. Descriptions of several application methods to treated liquid pig manure.

Treatment		Applicated coverage (m^2)	Applicated time (second)	Applicated amount (ton)	Average (s ton^{-1})
Basal appli.	Surface application on dry field condition	3,960	980	9.8	100.0
	Submerged application on irrigated field condition	3,960	1,890	13.6	139.0
Additional appli.	Jet hose spray	2,640	750	9.1	82.4
	Incorporation with irrigation water	2,640	1,290	9.1	141.8
	Application device of fertilizer through irrigation	2,640	2,230	9.1	245.1

수, 등숙비율, 수량 등을 구당 3반복으로 시료를 채취하여 조사하였다. 시험기간인 2011년도 전북 김제시의 월별 평균 온도 및 강수량은 Fig. 1에 제시하였으며, 7월 중순과 8월 중순에 집중호우가 내렸다.

결과 및 고찰

시용법에 따른 처리시간 및 문제점 돈분액비는 수분함량이 많고 경작지에 직접 살포함으로써 간편하고 높은 경제성을 보이기 때문에 사료작물재배 및 목초지에 많이 사용되고 있으나, 돈분액비의 자원화을 높이기 위해서는 경지정리가 잘되어 있고 면적이 넓은 논에 사용하는 것이 효율적이다. 그러나 논의 형태와 주변 농업용 도로의 상태에 따라 돈분액비를 시용법을 다르게 하는 것이 높은 작업성을 가져온다. 본 연구에서 사용한 각 시용법 별 돈분액비 시용시간 및 시용량은 Table 3에 표시된 바와 같이 건답 지상살포와 제트호스 분무 처리가 각각 100 s ton^{-1}과 82.4 s ton^{-1}의 가장 빠른 처리시간을 보였으며, 관수호스 분무 처리가 가장 느린 245.1 s ton^{-1}의 처리시간을 보였다. 기비시 건답 기비와 담수 기비는 큰 문제점이 없었으나 추비시 각 처리구에서 문제점이 발생하였다. 제트호스 분무 추비구에서는 분무압에 의한 도복과 엽면 상처가 발생하여 7~10일 후 회복되었으나, 엽면에 과도한 질소 공급으로 후숙기 이후에도 영양생장을 지속하여 수확기에 등숙율이 약 20% 저하되었다 (Table 5). 관수혼입 추비구에서 돈분액비가 혼입구 초입에 직접 된 부분에서 도장이 발생하였으나, 수확량에는 큰 영향을 주지 않았다. 이러한 도장현상은 관개수 초입구에 질소, 특히 NO_3의 과잉공급으로 판단된다 (Fig. 2). 관수호스 분무는 액비탱크로리의 유압을 견딜 수 있는 기존 기성품 점적호스가 없어 100 m 소방호스를 타공하여 제작하였고, 벼 생육기 설치에 어려움과 돈분액비내 고형물에 인한 호스 막힘 현상이 발생하였다.

각 시용법의 장단점을 종합한 결과, 돈분액비의 시용에는 고마력 트랙터나 액비살포기 등 고중량의 장비가 사용되기 때문에 지형이 불균일한 곳에서는 호스를 연장하여 관개수로에 관수 혼입하거나 연결부에 거름망을 부착한 관개호스를 설치하여 사용하는 것이 효과적이고, 장비의 진입이 용이하고 면적이 넓은 논에서는 기비시 살포기를 이용하여 지상살포하고 추비시 압력을 조절하여 제트분무로 공중살포하는 것이 빠르고 간편할 것으로 사료된다.

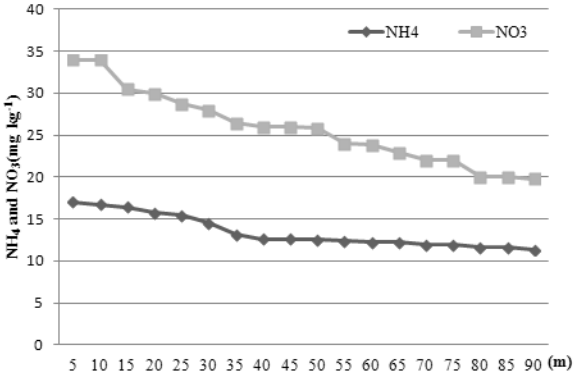

Fig. 2. Change of NH_4 and NO_3 contents in paddy soil at incorporation with irrigation water plot by distance.

시용법에 따른 토양 이화학성 Table 4는 액비를 시용한 후 논토양의 화학성 변화를 표시하였다. pH는 액비를 시용하기 전에는 5.2~5.4 였으나, 액비시용 후에는 모든 처리구가 5.8~6.0 으로 변하였다. 각 처리구간에 pH, 유기물 함량에서는 큰 차이가 없었고, 질소함량은 암모니아태(NH_4)와 질산태(NO_3) 질소로 구분하여 조사하였다. 암모니아태 질소는 담수 기비+관개호스 추비구에서 가장 높은 수치를 보였고, 질산태 질소는 담수 기비+관수 혼입 추비구에서 가장 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 논토양에서 배수조건과 기계작업에 따른 양분이동, 액비시용에 따른 무기양분의 용탈, 논 바닥의 균일도, 물에 대한 용해도, 벼의 양분 흡수량 등에 의해 암모니아태 질소와 질산태 질소의 휘산(Frost et al., 1990; Pain et al., 1990), 용탈 및 유실(Ishima et

Table 4. Chemical properties of paddy soil with different treatment methods of liquid pig manure.

Treatment		pH	O.M	Av.P_2O_5	NH_4	NO_3
Basal appli.	Additional appli.	(1:5)	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}	mg kg^{-1}
Surface application on dry field condition	Jet hose spray	5.8a†	29a	111a	15.17b	28.32b
	Incorporation with irrigation water	5.9a	30a	112a	12.33c	24.67c
	Application device of fertilizer through irrigation	5.8a	29a	109ab	12.38c	21.66d
Submerged application on irrigated field condition	Jet hose spray	6.0a	30a	103c	11.69c	20.73d
	Incorporation with irrigation water	5.8a	30a	107abc	12.24c	32.85a
	Application device of fertilizer through irrigation	5.9a	30a	103bc	16.69a	26.69bc

†Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

Table 5. Yield and yield components of rice with different treatment methods of liquid pig manure.

Treatment		No. of grain per panicle	Plant length	No. of panicle per hill	1,000 grains	Yield	Ripened grain
Basal	Additional		cm		g	kg $10a^{-1}$	%
Surface application on dry field condition	Jet hose spray	86.3b†	79.3b	14.1a	21.9a	588b	84b
	Incorporation with irrigation water	92.3a	81.2a	14.7a	22.4a	602a	95a
	Application device of fertilizer through irrigation	93.6a	77.8c	14.6a	22.5a	592b	94a
Submerged application on irrigated field condition	Jet hose spray	87.7b	77.9c	13.9a	21.6a	576c	81c
	Incorporation with irrigation water	91.1a	82.1a	14.7a	22.8a	596ab	95a
	Application device of fertilizer through irrigation	92.3a	78.2bc	14.3a	22.2a	591b	94a

†Means by the same letter within a column are not significantly different at 0.05 probability level according to DMRT.

al., 1974; Xie and Mackenzie, 1986)되는 양이 다르고, 시용법에 따른 암모니아 가스 발생량이 차이가 나기 때문인 것으로 추정된다.

벼의 수량 및 수량구성요소 돈분액비가 벼 생육에 미치는 효과를 조사하기 위해 수확기에 식물체를 채취하여 조사한 결과, 벼 생육과 쌀 수량은 돈분액비 각 처리구 간에 큰 차이가 거의 없었지만 처리별 벼의 수량 및 수량구성요소를 분석한 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 가장 적은 수확량을 보인 담수 기비+제트호스 분무 추비구에서 수당 입수, 초장, 주당 수수, 1,000립중 및 수확량은 각각 86.3개, 79.3 cm, 14.1개, 21.9 g, 588 kg $10a^{-1}$ 이었고, 가장 많은 수확량을 보인 건답 기비+관수 혼입 추비구는 각각 92.3개, 81.2 cm, 14.6개, 22.5 g, 602 kg $10a^{-1}$ 의 수확량을 얻어 담수 기비+제트호스 분무 추비구보다 9.6% 증수되었다.

일반적으로 벼의 수량은 영양생장기간의 발육 및 질소영양정도와 유수분화기의 시비량에 의해 결정되는데, 이는 영양생장기에서 생식생장기로 전환이 이뤄지는 유수분화기 추비시 질소영양상태 변화에 의해 수용부의 생장이 결정되기 때문이다(Schnier et al., 1990; Guindo et al.,1994). 생식생장이 시작되는 유수분화기는 질소요구도가 가장 큰 시기이고, 이 시기에 질소부족은 결국 생장량 감소뿐만 아니라 퇴화 영화수 증가로 인하여 수량요인를 저하시키고, 엽의 노화를 촉진시키며, 이로 인해 등숙기 광합성능력의 감소로 이어져 결국 등숙률과 천립중을 저하시켜 수량을 크게 감소시킨다(Hinzman et al., 1986; Diker and Bausch, 2003).

본 시험에서는 돈분액비를 관행적으로 전량 기비하지 않고 기비와 추비로 나누어 시비하였는데 거의 모든 처리구에서 등숙율을 제외한 수량구성요소 조사항목이 관행재배 수준의 수치를 보였다. 따라서 벼 재배시 품종이나 시비한 비종에 따라서도 수량에 차이가 있겠지만, 시비량이나 시비법에 의한 차이도 큰 것으로 보고되어 있고(Kim et al., 1993; Park et al., 2002), 본 시험에서와 같이 시용법이 다른 각 처리구별로 수량의 차이를 보여 돈분액비를 사용하여 작물 재배시 시용법에 따른 차이도 클 것으로 판단된다.

요 약

돈분액비의 시용법이 벼재배시 토양과 생육에 미치는 영향을 비교하고자 미사질양토 논에서 각각의 시용법에 따라 돈분액비를 논토양에 시용하여 토양의 이화학적 특성과 벼 생육 및 수량을 조사하였다. 사용된 돈분액비의 유효성분 함량은 질소 0.44%, 인산 0.07%, 가리 0.14%였으며, 벼 표준시비량에 준하여 10a당 6.8톤을 기비와 추비로 나누어 시비하였다. 액비 시비 후 토양의 이화학성은 처리구간에 큰 차이가 없었다. 질소 함량은 관수혼입 추비구에서 다소 높았으나 균일성이 떨어지고 혼입부에 벼의 도장이 발생하였다. 액비 시비 후 경시적인 암모니아 가스발생은 살포량이 많을수록 높았으며 살포 당일에 가장 높았고, 써레질 후에는 거의 발생하지 않았다. 벼의 수량은 담수 기비구보다 건답 기비구에서 증수되었으나 처리구간에 큰 차이는 없었으며, 제트분무 추비구에서는 유수형성기에 과도한 질소공급으로 영양생장을 지속하여 등숙율이 약 20% 저하되었고 식물체에 물리적 피해도 나타났다. 가장 적은 수확량을 보인 담수 기비+제트분무 추비구와 비교하여 건답 기비+관수혼입 추비구에서 9.6% 증수되었다.

사 사

이 논문은 2010년 농촌진흥청 15대 아젠다 연구과제인 “바이오매스 생산에 기초한 퇴·액비 활용 경종 포장 모델 개발(과제코드 : PJ007820)”로 수행되었음.

인 용 문 헌

Diker, K. and W.C. Bausch. 2003. Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen. Biosys. Engin. 86(4):411-420.

Frost, J.P., R.J. Stevens, and R.J. Laughlin. 1990. Effects of separation and acidification of cattle slurry on ammonia volatilisation and on the efficiency of slurry nitrogen for herbage production. J. of Agri. Sci. 115:49-56.

Guindo, D., B.R. Wells, and R.J. Norman. 1994. Cultivar and nitrogen rate influence on nitrogen uptake and partitioning in rice. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:840-845.

Hinzman, L.D. M.E.Bauer, and C.S.T. Daughtry. 1986. Effects of nitrogen fertilization on growh and reflectance characteristics of winter wheat. Rem. Sens. Environ. 19:47-61.

Ishima, T., H. Taira, H. Taira, and K. Mikoshiba. 1974. Effects of nitrogenous fertilizer and protein content in milled rice on organoleptic quality of cooked rice. Rep. Nat. Food Res. Inst. 29:9-15.

Jeon, W.T., H.M. Park, C.Y. Park, K.D. Park, Y.S. Cho, E.S. Yun, and U.G. Kang. 2003. Effect of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 36:333-343.

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.

Kim, J.K., M.H. Lee, and Y.H. Kim. 1993. Lodging pattern of rice plant in broadcast-seeded and hand transplanted cultivation. Korean J. Crop Sci. 38:219-227.

Kwon, Y.R., J. Kim, B.K. Ahn, and S.B. Lee. 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield and quality. Korean J. Environ. Agric. 29:54-60.

Lee, G.K. and J.S. Kim. 1999. Treating swine wastewater by anaerobic bioreactors. Korean J. Environ. Agric. 18:54-60.

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.

Lee, J.T., Y.K. Nam, and J.I. Lee. 2001. Changes of physio-chemical properties and microflora of pig manure due to composting with some bulking agents. Korean J. Soil Sci. Fert. 34:134-144.

Lee, S.T., D.C. Seo, E.S. Kim, W.D. Song, W.G Lee, J.S. Heo, and Y.H. Lee. 2010. Effect of Continual Application of Liquid Pig Manure on Malting Barley Growth and Soil Environment in Double Cropping System of Rice-Malting Barley. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 43:341-348.

Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009. Effect of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of chinese cabbage. Korean J. Environ. Agric. 28:227-232.

NIAST. 2000. Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

Pain, B.F., R.B. Thompson, Y.J. Rees, and J.H. Skinner. 1990. Reducing gaseous losses of nitrogen from cattle slurry applied to grassland by the use of additives. J. of Science of Food and Agri, 50:141-153.

Park, B.K., J.S. Lee, N.J. Cho, and K.Y. Jung. 2001. Effect of

liquid pig manure on growth of rice and infiltration water quality. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 34:153-157.

Park, J.S., W.W. Lee, Y.C. Ju, and Y.H. Kim. 2002. Field lodging degree of rice varieties according to nitrogen application rate. Korean J. Crop Sci. 47:226-235.

Schnier, H.F., M. Dingkuhn, S.K. De Datta, K. Mengel, and J.E. Faronilo. 1990. Nitrogen fertilization of directseeded flooded vs. transplanted rice : I. Nitrogen uptake, photo-systhesis, growh, and yield. Crop Sci. 30:1276-1284.

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.

Xie, R. and A.F. Mackenzie. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. Soil Sci Soc. Am. J. 50:1504-1508.

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 field. Korean J. Soil Sci. Fert. 41:285-292.