

돈분 액비의 연용이 벼의 수량과 토양에 미치는 영향*

류 종 원**

Changes in Soil Properties and Rice Production as Influenced by the Consecutive Application of Liquid Swine Manure in Paddy Field

Ryoo, Jong-Won

The application of animal manure on farm fields is one of the most economical ways. However, the continuous application of manure in paddy fields might change soil properties influencing the growth of rice plant. Thus, this study was conducted to investigate the changes in selected chemical and biological properties of soils and rice production as affected by the applications of two different fertilizer sources, which were the consecutive applications of liquid swine manure (LSM) and chemical fertilizer (CF), during the three experimental years, from 2012 to 2014. Application amount of LSM was based on 100% of nitrogen fertilizer recommendation rate for rice cultivation estimated by soil testing. Plant height and tiller number in rice at the first year of liquid swine manure manure plot were lower than those of chemical fertilizer plot. Height and tillers of rice in liquid swine manure plot were higher than those of rice in chemical fertilizer plot after consecutive application for 3 years. Rice yield In the first year of application was decreased by 7% than that of chemical fertilizer, but the yield of rice in the third year of application in LM 100% plot was increased by 8% compared to the chemical fertilizer. Toyo-taste value of milled rice in LM 100% was decreased by increasing of protein contents and decreasing rate of perfect grain. The K and Zn contents in the soil were increased in the plots of consecutive LSM application. The results implied that the liquid manure may neither decrease the yield of rice and nor increase soil properties except K and Zn in the soil, and decrease rice quality.

Key words : *heavy metals, liquid swine manure, rice quality, rice yield, soil properties*

* 본 연구결과는 상지대학교에서 지원한 2014년도 교내연구비에 의해서 수행되었음.

** Corresponding author, 상지대학교 유기농생태학과(jwryoo@sangji.ac.kr)

I. 서 론

대규모 가축 사육 농가 및 가축사육두수의 증가에 따라 분뇨발생량이 꾸준히 증가하여 2012년 기준 국내 가축분뇨 발생량은 약 4,600만 톤으로 약 88.7%인 4,124만 톤이 퇴·액비로 자원화 되어 이는 농경지 10a당 2.4톤 정도의 퇴·액비를 투입하는 것이다(MAFF, 2012). 한편 농림부가 사육두수를 기준하여 제시한 양분공급 요인별 비중을 살펴보면 질소는 화학비료의 비중이 대체로 높고, 인산은 가축분뇨의 비중이 높다. 한국농촌경제연구원(KREI, 2004)이 조사한 전 국토의 양분잉여 정도와 농경지 물질순환구조 조사에 따르면 연간 토양으로 투입되는 양분은 화학비료가 약 60% 그리고 가축분뇨가 약 40%이다.

농경지 비료 관리정책에서 가축분뇨 자원화의 중요성은 농경지에 환원시켜 농업 자원으로 효율적 순환농업이 가능하다는 것이다. 최근 화학비료 가격이 상승하여 쌀 생산농가의 경영수지 악화의 원인이 되므로 액비자원화에 의한 가축분뇨액비를 경종농가에서 사용함으로써 처리비용을 절감하고 환경오염도 줄일 수 있어 액비사용농가가 증가되고 있는 추세이다. 가축분뇨를 농경지에 투입하면 화학비료 대신 작물에 양분을 공급할 수 있는 장점이 있으므로, 축산농가와 경종 농가 모두에게 이익이 될 수 있다. 축산농가에서는 가축분뇨의 처리비용 절감이 가능하게 되며, 경종농가는 화학비료의 사용량을 줄이면 생산비를 줄일 수 있을 것이다. 가축분뇨 액비를 토양에 적당량 시용하면 토양의 pH, 탄소, 질소, 양이온 교환용량이 증가된다고 보고하였다(Yadav et al., 2000; Choudhary et al., 1996). 우리나라는 가축분뇨 발효액비를 벼 재배에 사용하는 자원순환농업이 2,000년부터 시작되어 가축액상분뇨를 다년간 시용한 논이 다수 존재하고 있다. 그러나 액비의 연용시용이 쌀 생산과 미질 및 토양의 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 농경지에서 가축분뇨 퇴비와 액비를 활용하는 데 있어, 특히 연속적으로 시용할 경우 인산과 중금속의 축적 등의 우려가 제기되어 왔다. 축분을 5년 동안 계속 시용하였을 때의 토양 유효인산은 화학비료와 비교하여 높았다는 보고가 있다(NAAS, 1999, Whalen and Chang, 2001). 또한 축분 퇴비와 액비의 연속 시용으로 토양과 식물체의 구리와 아연의 함량이 증가되는 결과가 보고되어 왔다(Lim et al., 2004; Lloveras et al., 2004; Moreno-Caselles et al., 2005). 그러나 돈분, 우분의 5~7년 연용이 토양이나 식물체에서 비기능성 중금속(non-functional metals)인 카드뮴, 비소, 수은 함량은 화학비료 시용구와 비교하여 높지 않았다고 보고하였다(Lipoth and Schoenau, 2004). 가축분뇨는 시용시기와 시용량에 따라 작물의 생육과 품질에 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Jeon et al., 2003; Kang et al., 2004; Lee et al., 2010; Park et al., 2001). 따라서 돈분뇨를 연용하여 시용하였을 때 쌀의 수량과 품질 및 토양에 어떤 영향을 미치는지 연구해 볼 필요가 있다. 본 연구는 3년 동안 돈분액비와 화학비료를 연용하여 살포하였을 때, 돈분액비가 벼의 생육과 쌀의 품질 및 토양에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장과 처리내용

본 연구는 강원도 철원군 농가 포장에서 실시하였다. 공시품종으로 오대벼를 사용하였으며, 4월 하순에 파종하여 비닐 보온상에서 육묘하였다. 벼의 이앙은 재식거리 30 cm × 14 cm로 주당 3본씩 5월 하순에 기계이앙 하였다. 시험포장의 토성은 사질양토이었으며 논 포장을 100 m²씩 구획을 정하여 시험을 실시하였다. 시험 구는 임의배치 3반복으로 배치하였다. 시험포장은 각 시험 구의 논물이 배수로로 직접 연결 되어 인접 논으로 유입되지 않도록 하였으며, 장마철 과우로 인한 논물의 범람을 대비하여 액비 시험 구에 다른 논의 영양 성분이 유입 되지 않도록 배치하였고 이들 액비 시험 구는 거의 평지 상태를 이루고 있었다. 화학비료 사용구는 액비사용구와 인접하지 않게 배치하였다. 사용된 돈분뇨는 액비저장고에서 6개월 동안 저장된 돈분뇨를 사용하였다. 돈분액비 살포 시기는 벼는 이앙 전 10 일 전에 살포하였다.

돈분뇨 100% 처리구는 돈분뇨 중의 질소 함량을 계산하고 토양검정에 의한 질소시비량을 돈분뇨 중의 질소로 환산하여 질소 시비량의 전량을 100% 기비로 사용하였다. 화학비료 구의 질소, 인산 칼륨의 시비량은 요소, 용성인비와 염화가리를 사용하였으며, 질소와 칼리는 기비와 수비를 7:3의 비율로, 인산은 모두 기비로 사용하였다.

2. 공시 돈분액비의 특성

Table 1과 같이 공시 돈분액비의 성분 함량은 질소 이외에 인산 및 칼륨 등을 함유하고 있었다. 벼 시험포장에 살포된 돈분액비의 질소 성분은 0.29~0.32%, P₂O₅는 0.12~0.14%이고, K₂O 함량은 0.52~0.59%로 질소와 칼륨의 함량은 높았으나 인산의 함량은 다소 낮았다.

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

Components	1st year	2nd year	3rd year
pH (1:5)	8.2	8.1	7.9
T-N (%)	0.32	0.30	0.29
P ₂ O ₅ (%)	0.14	0.12	0.13
K ₂ O (%)	0.52	0.59	0.53
MgO (%)	0.08	0.06	0.06

3. 조사항목과 조사방법

주요 항목으로 벼의 초장, 분얼수, 수량구성요소, 수량과 작물 재배 후 토양의 화학적 특성을 조사하였다. 벼의 생육 및 쌀 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준(RDA, 2013)에 준하였다. 초장과 분얼수는 이앙 후 30일, 60일, 90일에 각 처리 구에서 15주씩 임의로 표본을 추출하여 측정하였다. 엽록소 측정(SPAD values)은 엽록소측정장치(Minolta Japan, SPAD-502)를 사용하여 분얼수조사와 같은 시기에 실시하였다. 측정엽은 완전 전개된 중상위 엽으로 하였으며 반복당 3주씩, 1주당 5엽씩 측정하여 평균하였다. 영화 수와 등숙비율을 수확 전 반복당 3주를 채취하여 조사하였으며, 수량조사는 반복 당 100주를 수확한 후 10a 당 수량으로 환산하였다. 통계분석은 SAS (Statistical analysis system ver. 9.1)를 이용하였고 처리구간 비교는 Duncan's Multiple range test로 유의성을 검정하였다.

4. 분뇨 및 토양 성분분석

돈분액비의 화학적 특성분석은 농촌진흥청의 비료의 이화학적 검사방법(RDA,2006)에 준하여 분석하였다. pH는 ORION model 420A을 사용하여 이온전극법(Ionic electronic method), EC(Electronic Conductivity)는 TOA model CM-7B으로 분석하였다. 또한, 총질소(T-N)는 spectrophotometric method, 총인(T-P)은 Ascorbic acid method (Ministry of Environment, 2007)으로 분석하였다. 토양 시료는 벼 재배 전과 시험 후, 시험 구별로 10개소에서 10 cm 깊이에서 채취하여 건조한 후, T-N은 Kjeldahl법으로 분석하였다. 유효 인산은 Lancaster법으로 비색계(Varian cary-50, Mulgrave, Australia)를 사용하여 측정하였으며, 양이온인 K, Ca, Mg, Na은 AAS (Varian SF-200, Mulgrave, Australia)를 사용하여 정량하였다.

5. 미질 조사

외관상 쌀 품위는 Grain Inspector (Cervitec TM 1625, Foss, Sweden)를 이용하여 완전미, 쉼미, 심복백미, 착색립, 피해립 등으로 구분하였으며, 쌀의 단백질 함량 및 아미로즈 함량은 Grain Analyzer (1241, Foss, Sweden)를 이용하여 조사하였다. 식미치는 쌀 시료 33 g을 10분간 취반한 후 Toyo 미도미터(MA90A, Toyo, Japan) 분석기기를 이용하여 분석하였다.

6. 토양미생물상 조사

토양미생물을 조사하기 위한 토양 시료는 벼 수확 후 채취하였으며 각 시험 구의 10군데의 표토 깊이 10 cm까지의 흙을 채취하여 폴리에틸렌 필름 봉투에 담아 잘 혼합한 다음 실

험실로 운반하여 사용하였다. 토양미생물은 농촌진흥청 토양미생물실험법(RDA, 2013)에 의하여 조사하였고, 조사배지는 세균과 방선균은 Egg albumin 배지를, 사상균은 Rosebengal agar (Martin et al., 1974) 배지를 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 생육특성

Table 2는 돈분액비 시용에 따른 초장, 분얼수를 나타낸 것이다. 1년차 시험에서 화학비료 시용구의 초장이 83.5 cm로 컸으나, 돈분액비 처리구와는 유의성이 나타나지 않았다. 그러나 돈분액비 시용 3년차 시용구의 초장은 91.0 cm로 화학비료 시용구에 비하여 유의성 있게 큰 것으로 나타났다.

돈분액비 시용년수가 분얼수에 미치는 영향을 조사한 결과 1년차 시험에서는 처리구 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 돈분액비 3년차 시용구의 분얼수는 21.8개로 화학비료 시용구 19.6개 보다 많았다. 이는 일반적인 돈분액비의 벼에 대한 시용효과는 초기 생육이 늦어 분얼수 확보가 화학비료 보다 늦은 것이 문제점으로 지적 되어 있으나(Douglas et al., 1991), 돈분액비의 연속 시용에 의하여 생육초기에 분얼수가 확보되었기 때문인 것으로 보인다. SPAD값(엽록소 함량의 간접적 측정)은 생육 중의 영양상태를 평가하는 간접지표로 이용되고 있다. 벼의 엽록소 측정치는 돈분액비 1년 시용구는 화학비료 시용구 보다 낮았으나 3년 시험 구와 화학비료 시험 구 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 2. Growth characteristics of rice plants as a result of the consecutive application of liquid manure

Years	Treatments	Plant height(cm)	No. of tiller per hill	SPAD values
2012	LSM ¹⁾ 100%	82.1 ^{a2)}	18.2 ^a	36.3 ^b
	CF ^y 100%	83.5 ^a	19.3 ^a	39.5 ^a
2013	LSM 100%	85.4 ^a	21.3 ^a	40.0 ^a
	CF 100%	85.0 ^a	20.5 ^a	41.1 ^a
2014	LSM 100%	91.0 ^a	21.8 ^a	40.1 ^a
	CF 100%	88.5 ^b	19.6 ^a	42.2 ^a

¹⁾ LSM: liquid swine manure, CF: chemical fertilizer

²⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

2. 수량 구성 요소와 수량

돈분액비 연속 시용에 따른 벼의 수량 및 수량구성요소는 Table 3과 같다. 주당 수수는 돈분액비 1년 시용구는 18.6개로 화학비료 시용구보다 다소 적었다. 돈분액비 3년 시용구의 주당수수는 21.7개로 화학비료 시용구의 20.6개보다 다소 높았다. 수당 영화수는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았으나 양돈분뇨 발효액비 1년 시용구는 화학비료시용구 보다 낮았으나 돈분액비 3년 시용구는 높았다.

등숙률은 돈분액비 1년 시용구는 화학비료 시용구와 유의한 차이가 없었으나 돈분액비 3년 시용구는 88.7%로 화학비료 시용구보다 다소 낮았다. 벼의 천립중은 처리구 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다.

백미수량은 돈분액비 1년 시용구에서는 화학비료 시용구 대비 7% 감소되었다. 돈분액비 2년 시용구는 화학비료 시용구와 대등한 수량을 나타내었다. 그러나 돈분액비 3년 연속시용구의 수량은 화학비료 시용구보다 8% 증가한 것으로 나타났다. 따라서 벼 재배시에 돈분액비를 연용하여 적량시용이 이루어지면 화학비료와 대등하거나 증수도 가능할 것으로 판단된다.

Table 3. Yield components and yield of rice as a result of consecutive liquid manure applications

Years	Treatments	Panicle no. per hill	Spikelet no. per panicle	Percent ripening	1,000 grain weight (g)	Brown rice yield (kg/10a)	Milled rice yield (kg/10a)
2012	LSM 100%	18.6 ^{b1)}	69.8 ^b	92.5 ^a	26.9 ^a	567 ^b	455 ^b
	CF 100%	19.5 ^a	73.4 ^a	89.7 ^a	27.1 ^a	608 ^a	486 ^a
2013	LSM 100%	20.1 ^a	70.3 ^a	90.7 ^a	26.5 ^a	667 ^a	516 ^a
	CF 100%	20.7 ^a	73.2 ^a	91.2 ^a	26.7 ^a	676 ^a	528 ^a
2014	LSM 100%	21.7 ^a	72.4 ^a	88.7 ^a	27.2 ^a	687 ^a	536 ^a
	CF 100%	20.6 ^a	73.0 ^a	90.1 ^a	27.0 ^a	637 ^b	495 ^b

¹⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3. 품질관련 이화학적 특성

돈분액비의 연속시용에 따른 쌀의 품질관련 이화학적 특성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 백미의 이화학적 성분에서 단백질 함량은 돈분액비 1, 2년 시용구는 화학비료 시용구와 유의한 차이를 나타내지 않았다. 돈분액비로 벼를 3년 재배하였을 때 쌀의 단백질 함량

은 7.01%로 대조구인 화학비료 시용구 보다 높은 수준이었다. 단백질함량을 낮추기 위해서는 돈분액비의 시용량과 돈분액비와 기비 시용과 화학비료 추비 시용량 조절에 따른 대한 추가 연구가 필요 할 것으로 보인다. 단백질 성분은 양분측면을 보면 3대 영양소중의 하나로 함량이 많으면 품질이 양호하다 할 수 있으나 미질 측면에서 보면 함량이 높을수록 밥이 딱딱하게 느껴지고 탄력과 점성이 떨어져 밥맛이 감소하고(Choi, 2002), 밥맛과 밀접한 부의 상관을 가지고 있으므로 돈분뇨의 적절한 시용량 조절이 필요하였다.

아밀로스 함량은 돈분액비 100% 시용구가 17.0%, 화학비료 100% 시용구가 16.5%로 나타났지만 유의성은 없었다. 벼 품종의 아밀로스 함량은 15~35%, 아밀로펙틴 함량은 85~65%이며, 아밀로스 함량이 높아지면 일반적으로 점성이 떨어지고 경도가 증가하여 밥맛이 저하되나 식미에 직접적인 영향을 미치지 않는다(Choi, 2002). Toyo 식미계를 이용하여 조사한 식미치는 돈분액비 시용 1년차에는 관행처리구인 화학비료 처리구와 돈분액비 처리구 사이에 유의한 차이가 없었다. 그러나 3년차 돈분액비 시용구의 식미치가 65.3로 화학비료 시용구보다 낮은 수준이었다. 돈분액비 3년 연용 시용구는 쌀의 높은 단백질함량이 식미치 저하의 원인이 된 것으로 생각된다.

Table 4. Physicochemical characteristics of milled rice influenced by liquid manure application

Years	Treatments	Protein (%)	Amylose (%)	Toyo-taste value
2012	LSM 100%	6.12 ^{a1)}	17.0 ^a	69.8 ^a
	CF 100%	6.35 ^a	16.5 ^a	71.0 ^a
2013	LSM 100%	6.25 ^a	17.0 ^a	68.3 ^a
	CF 100%	6.20 ^a	17.0 ^a	71.3 ^a
2014	LSM 100%	7.01 ^a	15.5 ^a	65.3 ^b
	CF 100%	6.45 ^b	15.4 ^a	71.7 ^a

¹⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

돈분액비 처리에 따른 백미 품위 특성을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 쌀의 품질관련 특성 중 백미품위 중 완전미율은 돈분액비 1년차 처리구는 81.7%로 화학비료 시용구와 유의한 차이가 없었다. 돈분액비 연속 3년 시용구는 완전미 비율이 78.7%로 화학비료 시용구 보다 낮았으며, 불완전미의 비율을 높인 주 원인은 심복백, 분상질립, 피해립의 비율이 증가하였기 때문이었다. 질소 시용량이 지나치게 많으면 쌀의 심복백미와 불완전미가 증가하고, 완전미 감소하는 등 외관 품질이 저하되고, 단백질 함량 증가 및 Mg/K비 감소로 미질이 떨어지게 된다(Kim et al., 1992; Park, 1993). 돈분액비 3년차 시용구의 쌀 품질이 다소 떨어진 것은 연용에 의한 토양 비료성분 증대에 기인하는 것으로 보이지만 미질저하의 원

인 규명에 대한 보완 연구가 필요할 것으로 보인다.

Table 5. Quality characteristics of milled rice as affected by consecutive liquid manure application

Years	Treatments	Proportion of perfect grain (%)	Less than half chalky grain (%)	More than half chalky grain (%)	Broken grain (%)	Damaged grain (%)
2012	LSM 100%	81.7 ^{a1)}	8.6 ^a	2.6 ^a	5.5 ^a	3.9 ^a
	CF 100%	83.3 ^a	8.4 ^a	2.5 ^a	5.8 ^a	3.3 ^a
2013	LSM 100%	80.3 ^a	9.8 ^a	1.9 ^a	5.4 ^a	3.0 ^a
	CF 100%	83.3 ^a	8.0 ^b	1.4 ^a	4.5 ^a	2.9 ^a
2014	LSM 100%	78.7 ^b	9.2 ^a	2.3 ^a	5.0 ^a	4.8 ^a
	CF 100%	83.7 ^a	7.0 ^b	1.5 ^b	4.6 ^a	3.2 ^b

¹⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4. 쌀 및 경엽중 질소 함량

돈분액비를 사용하여 재배한 쌀의 질소 성분을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 1년차 시험에서 쌀의 질소 함량은 0.98~1.09% 범위에 있었으며 돈분액비 처리구와 화학비료 시용구 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 경엽의 질소함량은 0.59~0.8% 범위에 있었다. 또한 식물체 전체의 질소 흡수량은 8.86~12.1 kg이었다. 돈분액비 3년 시용구는 12.1 kg의 질소를 흡수하여 이 처리구가 질소를 다소 과다 사용한 것으로 나타났다. 화학비료 3년 시용구의 질소흡수량은 돈분액비 시용구보다 적었다.

Table 6. Content and uptake rate of nitrogen in rice plant by the successive application of swine liquid manure

Years	Treatments	Nitrogen content(%)		Nitrogen uptake (kg N/10a ⁻¹)		
		Grain	Straw	Grain	Straw	Total
2012	LSM 100%	0.99 ^{a1)}	0.59 ^a	5.61 ^b	3.12 ^b	8.8 ^b
	CF 100%	1.01 ^a	0.62 ^a	5.83 ^a	4.66 ^a	10.5 ^a
2013	LSM 100%	1.02 ^a	0.76 ^a	6.77 ^a	3.62 ^a	10.3 ^a
	CF 100%	0.99 ^a	0.80 ^a	6.69 ^a	3.14 ^a	9.8 ^a
2014	LSM 100%	1.09 ^a	0.73 ^a	7.48 ^a	4.62 ^a	12.1 ^a
	CF 100%	0.98 ^b	0.75 ^a	6.81 ^b	3.83 ^b	10.6 ^b

¹⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5. 시용년수에 따른 토양 특성

돈분액비 시용년수에 따른 토양의 이화학적 특성은 Table 7과 같다. 돈분액비 1년차 시용구의 토양 유기물, 유효인산, 치환성 석회, 고토 함량은 화학비료 시용구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 돈분액비 3년차 시용구의 치환성 칼륨함량이 $0.51 \text{ cmol}^+/\text{kg}^{-1}$ 로 화학비료 시용구 보다 높아졌으며 친환경농업을 위한 적정 지력수준인 치환성 칼륨함량 0.3 보다 다소 높은 경향이어서 장기간 연용시 칼륨 축적이 예상된다. 토양에 시용된 양돈분뇨는 식물의 대사를 통하여 체구성물질 합성에 이용되지만 일부는 식물에 흡수되지 못하고 토양에 축적되거나 용탈된다(Roth and Fox, 1990). 많은 연구자들은 토양에 양돈분뇨를 연용하면 인산이 증가된다고(Hountin et al., 2000) 보고하였으나 본 연구에서는 인산 축적 현상은 나타나지 않았다. 본 연구에 쓰인 돈분액비의 인산은 0.13%로 질소 0.32%의 1/3에 지나지 않는다. 따라서 돈분 액비를 계속하여 사용하는 경우에는 칼륨이 토양에 집적될 수 있으므로, 장기시용시 토양 모니터링이 필요하다.

Table 7. Chemical properties of soil after experiment

Years	Treatments	pH	EC (dS m ⁻¹)	O.M. (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(cmol ⁺ kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2012	LSM 100%	5.9 ^{a1)}	0.12 ^a	20.2 ^b	87 ^a	0.20 ^a	2.0 ^a	0.34 ^a
	CF 100%	5.7 ^a	0.13 ^a	21.8 ^a	95 ^a	0.20 ^a	2.1 ^a	0.36 ^a
2013	LSM 100%	6.1 ^a	0.13 ^a	22.3 ^a	107 ^a	0.24 ^a	2.2 ^a	0.26 ^a
	CF 100%	6.3 ^a	0.13 ^a	22.9 ^a	104 ^a	0.18 ^a	2.5 ^a	0.35 ^a
2014	LSM 100%	5.6 ^a	0.10 ^a	23.4 ^a	107 ^a	0.35 ^b	2.8 ^a	1.3 ^a
	CF 100%	6.0 ^a	0.13 ^a	22.8 ^a	93 ^a	0.51 ^a	3.3 ^a	1.3 ^a

¹⁾ Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

돈분액비 시용 후 토양의 중금속 함량은 Table 8과 같다. 1년차구에 토양 중금속 함량은 돈분액비와 화학비료 사이에 유의한 차이는 보이지 않았다. 토양 중 아연 함량은 가축분뇨 3년 연용구에서 67.7 mg kg^{-1} 로 화학비료 시용구의 52.6보다 높았다. 아연은 식물과 동물 공히 필요로 하는 필수 원소이며 가축의 증체량을 증가하고 항균성 물질로 가축사료에 첨가한다. 유해 중금속인 Ni, Hg, As, Cu, Cr, Pb, Cd 함량은 돈분액비 시용구와 화학비료 시용구 사이에 유의한 차이를 나타내지 않아 돈분액비 시용구 토양에서 비기능성 중금속(non-functional metals)인 카드뮴, 비소, 수은 함량은 화학비료 시용구와 비교하여 높지 않았다는 보고(Lipoth and Schoenau, 2004)와 일치하였다. 아연과 구리 등 중금속은 가축분뇨를

농경지에 과도하게 사용하면 축적될 수 있다. 작물 생육에 악영향을 미칠 수 있는 토양 중 카드뮴 함량은 10~20 mg kg⁻¹이고, 아연의 함량은 100~500 mg kg⁻¹이며(Macnicol and Beckett, 1985), 구리는 25~40 mg kg⁻¹이므로(Baker et al., 1994) 돈분액비를 3년 연속 사용하여도 작물 성장에 나쁜 영향을 미치지 않을 것으로 판단되지만, 중금속이 축적된 농산물을 소비하는 가축이나 인간에게 위험을 줄 수 있어서 돈분액비 연용시 유해 중금속의 모니터링이 필요하다.

Table 8. Heavy metal contents in rice grain at different consecutive application year of the liquid manure

Years	Treatments	Soil heavy metal content (mg kg ⁻¹)							
		Zn	Ni	Hg	As	Cu	Cr	Pb	Cd
2012	LSM 100%	51.0 ^{a1)}	6.0 ^a	0.03 ^a	0.25 ^a	2.3 ^a	0.3 ^a	5.0 ^a	0.1 ^a
	CF 100%	48.4 ^a	6.2 ^a	0.03 ^a	0.25 ^a	2.3 ^a	0.3 ^a	4.0 ^a	0.2 ^a
2013	LSM 100%	61.0 ^a	6.8 ^a	0.03 ^a	0.25 ^a	2.3 ^a	0.3 ^a	4.1 ^a	0.1 ^a
	CF 100%	51.6 ^a	6.2 ^a	0.03 ^b	0.13 ^a	2.8 ^a	0.2 ^a	4.0 ^a	0.2 ^a
2014	LSM 100%	67.7 ^a	6.2 ^a	0.03 ^a	0.25 ^a	4.2 ^a	0.5 ^a	3.1 ^a	0.1 ^a
	CF 100%	52.6 ^b	6.7 ^a	0.03 ^a	0.25 ^a	2.9 ^a	0.2 ^a	3.8 ^a	0.1 ^a

^a Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

6. 양돈분뇨 장기연용 후 토양의 미생물상

돈분액비 연속 시용에 따른 토양의 미생물 밀도는 Table 9와 같다. 시험지 토양의 미생물 조사결과 돈분액비 3년 시용구에서 세균의 밀도가 48.0×10³ cfu g⁻¹로 화학비료 시용구보다 유의성 있게 높았다. 돈분액비 3년 시용구에서 방선균수는 11.9×10³ cfu g⁻¹로 화학비료 시용구보다 높았다. 반면 Coliform bacteria는 화학비료 시용구에서 12.0×10³ cfu g⁻¹로 높았다. 돈분액비 3년 시용구에서 세균과 방선균의 수가 화학비료 시용구보다 높고 Coliform bacteria도 낮은 것으로 나타나 토양 생물상 유지에 돈분액비가 유리한 것으로 나타났지만 처리구 간 차이가 크지 않아 양돈분뇨 장기연용 후 토양의 미생물상 변화는 추가 연구가 필요 할 것으로 보인다.

Table 9. Density of microorganisms in soil after experiment

(unit : cfu)

Years	Treatments	Bacteria (x10)	Actinomycetes (x10)	Fungi (x10 ³)	Coliform bacteria (x10 ³)
2012	LSM 100%	22.5 ^{a1)}	1.5 ^a	8.0 ^a	0.5 ^a
	CF 100%	18.5 ^a	1.0 ^a	7.0 ^a	1.5 ^a
2013	LSM 100%	36.1 ^a	5.5 ^a	8.6 ^a	2.0 ^a
	CF 100%	22.5 ^b	3.0 ^a	3.0 ^a	4.0 ^a
2014	LSM 100%	48.0 ^a	11.9 ^a	7.5 ^a	10.0 ^a
	CF 100%	23.5 ^b	5.5 ^b	8.0 ^a	12.0 ^a

¹⁾ The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

IV. 적 요

본 연구는 벼에 돈분액비와 화학비료를 연용하여 살포하였을 때 돈분액비가 벼의 수량과 미질 및 토양 화학성에 미치는 영향을 구명하고자 2012년부터 3년간 수행하였다. 시험은 강원도 철원군 농가 포장에서 오대벼를 공시하여 실시하였다. 시비는 돈분액비를 질소 검정시비량을 기준으로 하여 100%에 해당하는 양을 처리하였으며, 화학비료 처리구와 비교하였다. 돈분액비의 시용년수에 따른 벼의 분얼수 및 초장은 돈분액비 1년 시용구와 화학비료 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 돈분액비 3년 시용구의 분얼수는 화학비료 시용구보다 많았다.

쌀의 수량은 돈분액비 1년 시용구가 화학비료 대비 7% 감소하였다. 그러나 돈분액비 3년 연속 시용구에서 495 kg 10a⁻¹의 수량을 얻어 화학비료 대비 8% 증수하였다. 돈분액비로 벼를 3년 재배하였을 때 쌀의 단백질 함량은 7.01%로 대조구인 화학비료 시용구 보다 높은 수준이었다. 아밀로스 함량은 15.5~17.0%로 처리구별 유의성은 없었다. 식미치를 Toyo 식미계를 이용하여 조사한 결과 돈분액비 100% 처리구의 식미치가 65.3%로 화학비료 시용구 보다 낮은 수준이었다. 쌀의 품위 특성에서 돈분액비 100% 처리구의 완전미 비율은 78.7%로 낮았으며, 불완전미의 비율을 높인 주 원인은 분상질립, 피해립의 비율이 높았기 때문이었다.

3년간 돈분 액비를 계속 사용한 결과, 화학비료 처리에 비해 토양 중 칼륨과 아연의 함량이 높았으나 다른 중금속 함량도 관행 화학비료 처리와 크게 다르지 않았다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 돈분액비의 3년 시용시 돈분 액비의 연용이 쌀의 수량성에 나쁜 영향을 미치지 않을 것으로 판단되지만 쌀의 단백질 함량이 증가하고 Toyo 식미치와 완전미 비

율은 감소하는 결과를 얻었다. 돈분액비 3년 시용 후 토양의 칼륨 축적이 되므로 토양검정에 의한 액비 적량시용이 요구된다.

[Submitted, January. 18, 2016 ; Revised, February. 18, 2016 ; Accepted, February. 26, 2016]

References

1. Baker, A. J. M., S. P. McGrath, C. M. D. Sidoli, and R. D. Reever. 1994. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. *Res. Conserv. Recycling*. 11: 41-49.
2. Choi, H. C. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high quality and value-added products. *Korean J. Crop Sci.* 47(s): 15-32.
3. 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.
4. Douglas, B. F. and F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization induced for organic residues. *J. Environ. Anal.* 20: 368-372.
5. 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.
6. Jeon, W. T., H. M. Park, C. Y. Park, K. D. 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(5), 333-343.
7. 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.
8. Kim, Y. S., S. W. Hwang, B. Y. Yon, Y. D. Park, and D. S. Kim. 1992. Study on the improvement of rice quality. 1. Effect of chemical composition in brown rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25(4): 357-363.
9. KREI (Korea Rural Economics Institute). 2004. Regional-Based Materials Balance Analysis for Establishing Environmentally Friendly Agricultural System.
10. 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. *Kor. J. Soc. Soil Sci. Fert.* 43: 341-348.
11. Lim, D. K., S. B. Lee, S. I. Kwon, S. H. Lee, K. H. So, K. S. Sung, and M. H. Koh. 2004. Effect of pharmaceutical byproduct and cosmetic industry waste water sludge as raw materials of compost on damage of red pepper cultivation. *Korean J. Environ. Agr.* 23: 211-219.
 12. Lloveras, J., M. Aran, P. Villar, A. Ballesta, and A. Arcaya. 2004. Effect of swine slurry on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. *Agron. J.* 96:986-991.
 - Macnicol, R.D. and P.H.T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil.* 85: 107-129.
 13. Lipoth, S. L. and J. J. Schoenau. 2004. Impact of repeated manure applications on metal load and plant availability in Saskatchewan soils. *Proceedings of Soils and Crops Workshop 2004.* University of Saskatchewan Extension Press, Saskatoon, SK. On CD.
 14. MAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2012. Discharges amounts of livestock manure and resource recycling.
 15. Martin J. E., Jr., T. E. Billings, and J. F. Hackney. 1967. Primary isolation of *N gonorrhoeae* with a new commercial medium. 82: 361-363.
 16. Macnicol, R. D. and P. H. T. Beckett. 1985. Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant Soil.* 85: 107-129.
 17. Moreno-Caselles, J., R. Moral, M. D. Perez-Murcia, A. Perez-Espinosa, C. Paredes, and E. Agullo. 2005. Fe, Cu, Mn, and Zn input and availability in calcareous soils amended with the solid phase pig slurry. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 525-534.
 18. Morrison, J. L. 1969. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops. *J. Agric. Food Chem.* 17: 1288-1290.
 19. National Academy of Agricultural Science (NAAS). 1999. Annual Report of Research and Development for Agricultural Environment in 1998. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
 20. Park, K. B., 1993. Influence of coated urea complex fertilizer application on growth and grain quality of paddy rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 6(2): 72-77.
 21. 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. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 34: 153-157.
 22. RDA (Rural Development Administration). 2013. Investigation guidelines for agriculture experiment.

23. RDA (Rural Development Administration). 2013. Method of physiochemical examination by fertilizer, 144-234.
24. Roth, G. W. and Fox, R. H. 1990. Soil nitrate accumulations following nitrogen fertilized corn in Pennsylvania. *J. Environ. Qual.* 19: 243-248.
25. Whalen, J. K. and Chang, C. 2001. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual application of cattle feed-lot manure. *Journal of Environmental Quality*, 30: 229-237.
26. Yadav, R. L., B. S. Dwivedi, 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.