KOREAN J ORGANIC AGRI
Volume 22, Number 4: 667-682, December 2014
http://dx.doi.org/10.11625/KJOA.2014.22.4.667

ISSN 1229-3571 (Print)
ISSN 2287-819X (Online)

돈분액비의 시용수준이 벼 생육과 품질 및 토양에 미치는 영향*

류 종 원**

Effects of Application Rates of Liquid Pig Manure on Rice Growth, Quality and Soil Properties

Ryoo, Jong-Won

The effects of liquid pig manure (LM) on the yield and quality of rice as well as soil chemical properties were determined in the field of sandy loam soil under the different fertilizer management. Treatments consisted of 100%, 130% and 160% N application rates of liquid manure as calculated on the basis of the recommended rate of nitrogen (9 kg N/10a) for rice cultivation. Chemical fertilizer (CF) was used as control. Concentrations of T-N and T-P in paddy water were measured by 5-day intervals up to 20days after application. LM treatments significantly increased T-N concentrations in paddy water proportionally with increasing rates of LM (13.2 to 25.7 mg/L). Similarly Total-P content in paddy water was increased right after LM applications but was well below the quality standard of wastewater and manure. Plant height and tillers in 100% and 130% N LM treatments were lower than those in CF control. In the 160% LM treatment, however, plant height and numbers of tillers were higher than those in the CF control. Yields in 100% LM and 160% LM plots were decreased by 3 and 5%, respectively, as compared with 422 kg per 10a in the CF plot. Rice protein contents were similar between 100% LM and CF control (about 6.8%) but it was increased to 7.2% and 7.7% in 130% LM and 160% LM treatments, respectively. Toyo-taste value in the 100% LM treatment was higher than in CF control plot. The proportions of perfect grain of the brown rice were lower in 130% LM and 160% LM treatments than that in CF control. Soil organic matter content, heavy metal and exchangeable cations were highest in the 160% LM plot. Thus considering yield and quality of rice and heavy metals contents in soil, 130% N basal application of liquid manure can be recommended for rice cultivation in this experiment.

* 본 연구결과는 상지대학교에서 지원한 2013년도 교내연구비에 의해서 수행되었음.
** Corresponding author, 상지대학교 유기농생태학과(jwryoo@sangji.ac.kr)

Key words : *liquid pig manure, paddy field, application level, rice cultivation*

Ⅰ. 서 론

농업은 생태계의 물질순환을 통하여 생산물을 획득하는 산업이다. 태양에너지가 광합성을 통하여 생산자인 식물에 고정되고, 식물체는 소비자인 동물의 먹이가 된다. 동물이 배설한 가축분뇨는 분해자인 미생물에 의하여 무기물로 분해되어 식물에 이용된다. 가축분뇨를 이용한 작물의 시비방법은 화학비료가 도입하기 전에는 토양비옥도 유지에 필수적인 요소이었다. 역사적으로 가축분뇨가 식물의 주요 영양원이 되고 토양의 생산성을 유지하는 것은 고대로부터 알려져 왔다.

가축분뇨는 올바르게 이용하면 화학비료를 대체 할 수 있는 농업분야의 대표적인 자원이다(Bouwman and Booij, 1998). 가축분뇨는 식물의 가치있는 양분 공급원이어서 농경지 시용 시 수량 반응에 기여한다(Mooleki et al., 2002). 가축분뇨에는 각종 영양분을 함유하고 있어 작물생육을 촉진시키며, 토양의 물리·화학적 개선효과 및 토양 중 생물상의 활성증진에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(RDA, 2002).

가축의 생산규모가 증가함에 따라 가축분뇨에 의한 대기, 수질, 토양오염의 위험성도 증가하고 있다(Gerber et al., 2005). 또한 가축분뇨를 올바르게 관리 되지 않으면 수질, 토양, 대기오염원이 될 수도 있고(Burton and Turner, 2003), 과도한 시용은 토양에 질소, 인의 축적을 초래한다(Stumborg et al., 2005).

가축분뇨 발효액비는 가축의 사육과정에서 배출되는 분·뇨 및 청소수의 혼합물을 일정기간 부숙시켜 위생적이며, 경종적으로 안정화된 액상물로 정의하고 있다(RDA, 2002). 조사료 가격이 상승함에 따라 벼 수확 후 볏짚을 사료로 활용하고자 축산농가에서 볏집을 모두 수거해 가기 때문에 논 토양의 유기물은 점차 고갈되는 실정에 있다(Yang et al., 2010). 따라서 가축분뇨 퇴·액비의 활용성을 높이기 위해서는 논에서 활용성을 높여 지력유지·증진을 시킬 필요가 있다.

가축분뇨는 화학비료와 달리 무기태, 유기태 질소가 혼재하고 있어서 식물에 이용되는 양분에 변이가 있고, 식물의 양분 요구량에 일치하게 정확한 량을 맞추기 어려운 요인이 있다(Klausner et al., 1994). 지금까지 가축분뇨를 효과적으로 사용하기 위해 작물에 따른 시용효과, 토양환경에 미치는 영향 등을 통한 자원 화 연구가 많이 이루어지고 있다(Kwon et al., 2010; Lee et al., 2010; Yang et al., 2008). 벼에 대한 돈분뇨 액비의 연구는 시용량과 시용시기의 검토가 있었고(Park et al., 2001), 돈분뇨 액비 시용이 벼 생육 및 침투수 수질에 미치는 영향이 조사되었으며(Park et al., 2001), 가축분뇨 시용에 따른 질소양분의 동태가 보고되었다(Peter and Amato, 2002). 가축분뇨는 시용시기와 시용량에 따라 작물의 생육과

품질에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2010).

따라서 가축분뇨의 이용을 확대하기 위해서는 돈분액비를 적정하게 이용하는 방안을 강구해야 한다. 우리나라 농경지의 약 62%를 차지하는 논에 재배되고 있는 벼의 비료원으로 가축분뇨를 자원화하여 이용할 수 있다면, 이는 가축분뇨 살포경지면적을 확대하는 의미가 되는 동시에 분뇨 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 되는 것이다(Lee et al., 2010).

가축분뇨액비의 다량시용은 토양산화환원 전위가 낮아져 유해물질이 생성되고, 벼 재배 시 질소흡수량이 증가되어 도복발생의 원인이 될 수 있다(Kwon et al., 2010). 또한 돈분뇨가 벼의 생육과 미질에 미치는 영향에 대하여 검토한 결과 화학비료를 시용한 구에 비해 도복지수가 증가하였으며, 쌀의 단백질 함량이 증가하고 Toyo 식미치와 완전미 비율은 감소하여 쌀의 품질은 감소하는 결과가 있다고 보고하였다(Lee et al., 2010).

따라서 액상분뇨 시용량이 벼의 수량과 품질, 토양에 어떤 영향을 미치는지 연구해 볼 필요가 있다. 본 연구는 돈분액비의 시용량을 달리하여 살포하였을 때, 액상분뇨가 벼의 생육특성, 수량구성요소, 수량, 쌀의 미질과 토양화학성에 미치는 영향을 규명하고자 실험을 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 시험포장과 재배개요

본 연구는 강원도 원주시 문막읍 농가 포장에서 실시하였다. 공시작물인 벼(*Oriza sativa* L.)는 일반형 품종인 추청벼를 4월 25일 파종하여 비닐 보온 상에서 육묘하였다. 추청벼의 이앙은 재식거리 30×14 cm로 주당 3본씩 5월 22일에 기계이앙하였다. 시험포장의 토양은 사양토이었으며 논 포장을 100 m^2씩 구획을 정하여 시험을 실시하였다. 시험구는 임의배치 3반복으로 배치하였다. 시험포장은 각 시험구의 논물이 배수로로 직접 연결 되어 인접 논으로 유입되지 않도록 하였으며, 장마철 과우로 인한 논물의 범람을 대비하여 액비시험구에 다른 논의 영양성분이 유입 되지 않도록 배치하였고 이들 액비 시험구 3개소는 거의 평지 상태를 이루고 있었다. 화학비료 시용구는 액비시용구와 인접하지 않게 배치하였다.

2. 공시 가축분뇨 발효액비의 특성

시험 당년 시용한 양돈분뇨 발효액비의 화학적 특성은 다음과 같다(Table 1). 사용된 양돈분뇨 발효액비의 pH는 7.9로 약알칼리성 특성을 가지고 있었다. 비료의 3요소인 N-P-K에 있어서 T-N 함량은 0.37%, P_2O_5는 0.14%이고, K_2O 함량은 0.38%로 질소와 칼륨의 함량은

높았으나 인산의 함량은 다소 낮은 것으로 나타났다.

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

Components	Mean
pH (1:5)	7.9
T-N (%)	0.37
P_2O_5 (%)	0.14
K_2O (%)	0.38
MgO (%)	0.07

3. 조사항목과 조사방법

주요 조사항목으로 벼 생육조사로서 초장, 분얼수, 수량구성요소, 수량을 조사하고 작물 재배 후 토양의 화학적 특성를 조사하였다. 벼의 생육 및 쌀 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준(RDA, 2013)에 준하였다. 초장과 분얼수는 이앙 후 30일, 60일, 90일에 각 처리구에서 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. 벼 생육은 출수 후 20일경에 반복당 20주를 임의 선정하여 간장, 수장, 수수를 조사하였다. 영화수와 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. 처리 및 관리

처리는 돈분액비 시용량 처리구와 대조구로 화학비료 시용구를 두었다. 돈분액비 시용구는 벼의 권장 질소시용량인 9 kg N/10a를 기준으로 100%, 130%, 160%에 해당되는 돈분액비 중의 액비의 전량을 기비로 시용하였다. 화학비료구의 질소, 인산칼륨의 시비량은 요소, 용성인비와 염화가리를 사용하여 성분량으로 10a당 각각 9.0, 4.5, 5.7 kg로 표준재배법에 준하였으며, 질소와 칼리는 기비와 수비를 7:3의 비율로, 인산은 모두 기비로 시용하였다.

5. 분뇨 및 토양 성분분석

돈분액비와 논물의 각 항목의 분석방법은 폐기물 공정시험법과 Standard Method(APHA, 1998)에 따라 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 method으로, 총인(T-P)은 Ascorbic acid method(Ministry of Environment, 2007)으로 분석하였다. 토양 시료는 벼 재배 전과 시험 후, 시험구별로 10개소에서 10 cm 깊이에서 채취하여 건조한 후, T-N은 Kjeldahl법으로 분석하였다. 유효 인산은 Lancaster 법으로 비색기(Varian cary-50, Mulgrave, Australia)를 사용하여 측정하였으며, 양이온인 K, Ca, Mg, Na은 AAS(Varian SF-200, Mulgrave, Australia)를 사용하여 정량하였다.

6. 미질 조사

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

알칼리붕괴도(Alkali Digestion Value; ADV)는 불순물이 없는 시료에 1.4% KOH 10 mL를 넣은 후 30℃ 항온기에 24시간 동안 정치한 후 알칼리붕괴도(퍼짐도+맑음도)를 농촌진흥청 조사기준(RDA, 2003)에 의하여 측정하였다. 밥의 호화점도 특성은 신속점도측정계(Rapid Visco Analyzer, Model RVA-3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 사용하여 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 논물의 수질변화

돈분액비 시용 후 1일차에 논물의 T-N 함량은 돈분액비 100%, 130%, 160% 시용구와 화학비료 시용구에서 각각, 13.2, 19.4, 25.7, 10.3 ㎎/L로 액비 시용량이 높을수록 높게 나타났으며(Table 2) 시용 후 TN은 급격히 낮아졌고 20일 후에 모든 시용구에서 0에 가까운 함량을 나타내었다. 논물의 총인함량(㎎/L)은 돈분액비 100%, 130%, 160% 시용구와 화학비료 시용구에서 각각 3.0, 5.2, 8.2, 4.1를 나타내었고 시용 20일 후에 0.8~2.2로 모두 처리구에서

매우 낮은 함량를 보였다. 돈분액비 시용구와 화학비료 시용구의 논물의 수질을 비교하면 T-N은 다소 높았고, T-P는 비슷한 경향 이었으며 오분법에서 정하는 특정지역의 방류수질 기준(T-N 260, T-P 50)과 비교하면 수질오염을 야기할 수 있는 수준은 아니었다.

Table 2. Effects of liquid manure (LM) on T-N and T-P of paddy water in a rice field as measured up to 20 days after application (DAA)

Nutrients	Treatments[z]	1 DAA	5 DAA	10 DAA	15 DAA	20 DAA
T-N (mg/L)	100% N LM	13.2	1.5	0.5	0.2	0
	130% N LM	19.4	1.8	0.7	0.3	0
	160% N LM	25.7	2.0	1.0	0.3	0
	Chemical fertilizer	10.3	1.2	1.1	0.1	0.2
T-P (mg/L)	100% N LM	3.0	3.0	1.8	1.4	0.8
	130% N LM	5.2	3.4	2.5	1.5	1.2
	160% N LM	8.2	4.2	3.1	2.8	2.2
	Chemical fertilizer	4.1	4.0	2.6	2.6	2.1

[z] The amounts of LM application were determined on the basis of a recommended rate of N application of chemical fertilizer (9 kg/10a): thus 100% LM had the same amount of N as chemical fertilizer, while 130 and 160% LM contained 30 and 60% more N than chemical fertilizer, respectively.

2. 벼의 생육 특성

Table 3은 돈분액비 시용량에 따른 초장, 분얼수를 나타낸 것이다. 생육초기 초장과 분얼수는 돈분액비 100, 130% 시용구에서 화학비료 시용구 보다 다소 낮았으나 생육 중기 이후에는 화학비료 시용구와 대등한 생육을 나타내었다. 그러나 돈분액비 160% 시용구의 분얼수는 35개로 화학비료 시용구 33개보다 많았다. 돈분액비 160% 시용구에서 벼의 분얼수가 많은 것은 돈분액비의 특성상 유기태질소의 함량이 적고 무기태질소의 함량이 높은 것이 원인이 된 것으로 판단된다(Klausner et al., 1994). 일반적으로 가축분뇨의 벼 시용은 초기 생육이 늦어 분얼수 확보가 화학비료 보다 늦은 것이 문제점으로 지적되고 있으나(Douglas et al., 1991), 돈분액비는 대부분 속효성의 특성을 가지고 priming effect(Jokela, 1992)에 의하여 생육중기 분얼수의 확보가 화학비료시용구와 대등한 결과를 나타낸 것으로 보인다. 돈분액비는 시용 초기에 질소 휘산량이 많고, 무기화된 질소가 유기물의 분해에 이용되어 화학비료 보다 상대적으로 질소 공급량이 적어 생육이 부진하다는 보고(Peter and Amoto, 2002)가 있으나 본 연구에서는 돈분액비를 130% 이상 시용한 처리구에서 생육이 왕성함을

보여 차이가 있었다.

잎의 엽록소 측정치는 Table 3과 같다. SPAD값(엽록소 함량의 간접적 측정)은 생육 중의 영양상태를 평가하는 간접지표로 이용되고 있다. 생육초기 돈분액비 100% 처리구에서의 엽록소 측정치는 33.4로 화학비료 시용구의 37.6 보다 낮았다. 돈분액비 130% 시용구와 화학비료 처리구는 유사한 엽록소 측정치를 나타내었다. 돈분액비 160% 시용구의 엽록소 측정치는 39.8로 화학비료 처리구 보다 유의적으로 높았다. Hong et al.(1983)은 유수형성기의 엽록소 측정치가 34~40이면 임계농도로서 수비와 실비를 생략하면 약 5%의 수량이 감소되지만, 40 이상이면 위험농도로 수비와 실비를 생략해도 수량이 감소되지 않았다고 보고하였다.

Table 3. Growth characteristics of rice plants depending on the application rates of liquid pig manure

Treatments	Plant height (cm)			No. of tiller per hill			SPAD values		
	25 Jun.	23 Jul.	25 Aug.	25 Jun.	23 Jul.	25 Aug.	25 Jun.	23 Jul.	25 Aug.
100% N LM	48.6b[z]	75.4b	90.1b	33.0c	33.0b	31.0b	33.4c	32.4b	27.2b
130% N LM	50.5b	79.5a	94.2a	35.0b	34.2ab	31.1b	37.8b	32.9b	28.5b
160% N LM	54.5a	82.1a	96.1a	38.5a	35.4a	34.5a	39.8a	35.2a	32.8a
Chemical fertilizer	54.2a	80.3a	95.8a	34.5b	33.6b	31.7b	37.6b	32.5b	27.2b

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3. 벼 수량 구성요소 및 수량

돈분액비 처리별 벼의 수량 및 수량구성요소는 Table 4와 같다. 수확기에 조사한 간장과 수장은 돈분액비 100, 130% 시용구는 화학비료 처리구와 차이가 없었으나, 돈분액비 160% 시용구에서는 화학비료 시용구 보다 컸다. 수당립수는 돈분액비 160% 시용구가 다른 처리구 보다 많았다. 현미 등숙율은 돈분액비 100, 130% 시용구에서 85.3~85.5%로 높았고, 160% 시용구에서는 83.2%로 낮았다. 이러한 결과는 돈분액비 160% 시용구는 영양생장이 과다하여 과번무로 인한 생육장해 때문에 등숙률이 낮아진 것으로 사료된다. 천립중은 돈분액비 100, 130% 시용구에서는 화학비료 시용구와 비슷하였으나 돈분액비 160%시용구는 화학비료 보다 낮았다.

백미수량은 돈분액비 100% 처리구에서 410 kg/10a로 관행시비(화학비료 처리구)에 비해 3% 정도 낮았다. 이와 같은 결과는 화학비료와 돈분액비의 질소 이용효율이 달라던 점이 영향를 미친 것으로 보인다. 돈분액비 130% 시용구는 화학비료 시용구와 대등한 수량을 나

타내었다. 그러나 돈분액비 160% 시용구는 화학비료 대비 5% 감수된 것으로 나타났는데 돈분액비 과다 시용에 따른 수량 구성요소 중 등숙률과 천립중이 낮아진 것이 원인으로 보인다. 돈분액비는 살포시 암모니아 휘산량이 30~70%에 이르고(Sommer and Hutchings, 1995; Meisinger et al., 2001) 액비 질소의 50%인 유기태질소가 무기화 과정을 통하여 이용 할 수 있는 질소 공급량이 화학비료 보다 적어(Peter and Amoto, 2002) 벼 재배시에 돈분액비 130% 범위의 시용이 이루어져야 화학비료와 대등한 생산량이 가능할 것으로 보인다.

Table 4. Yield components and yield of rice as a function of application rates of liquid pig manure

Treatments	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	Panicle no. per hill	Spikelet no. per panicle	Percent ripening	1000 grain weight (g)	Milled rice yield (kg/10a)
100% N LM	86.0b[z]	17.0b	19.1a	60.2b	85.5a	20.8a	410ab
130% N LM	87.6b	17.3b	20.1a	61.7b	85.3a	21.2a	420a
160% N LM	89.8a	18.9a	19.7a	65.1a	83.2b	19.1b	402b
Chemical fertilizer	86.2b	17.7b	19.3a	59.9b	84.8a	20.4a	422a

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4. 미질특성 조사

돈분액비 시용량을 달리하여 벼를 재배하였을 때 쌀의 이화학적 성분함량은 Table 5와 같다. 단백질 함량은 돈분액비 100% 시용구에서 6.8%, 화학비료 처리구에서는 6.9%를 제외하고 돈분액비 130, 160% 시용구는 각각 7.20, 7.67% 함량을 함유하고 있어 높은 수준이었다. 쌀의 단백질 함량은 질소시비량이 많을수록(Patrick et al., 1974) 증가한다는 내용과 일치하였다. 단백질 함량은 쌀의 품질과 밥의 찰기에 영향이 있어 단백질이 많을수록 밥이 단단하고 부착성이 떨어져 식미가 저하된다(Ishima et al., 1974).

Table 5과 같이 amylose는 19.9~20.6%로 큰 차이를 나타내지 않았다. 아밀로스 함량은 돈분액비 100%, 130% 처리구가 각각 20.2, 20.6%, 화학비료 시용구에서 19.9%로 나타났다. 일반적으로 아밀로스(amylose)는 취반시 호화점도 및 밥의 경도에 영향을 끼치며 국내의 고품질 쌀의 아밀로스 함량을 17~20% 수준으로 규정(Son et al., 2002)하고 있다. 식미와 관계가 크지는 않지만 일반적으로 쌀의 호화온도와 관련이 깊은 알칼리 붕괴도(ADV)는 돈분액비 160%가 6.6의 수준을 보여준 것을 제외하고 나머지 처리구는 6.3으로 처리구별 차이를 보이지 않았다.

Toyo 식미계를 이용하여 조사한 식미치는 돈분액비 100%, 130% 시용구에서 각각 73.7,

72로 돈분액비 100% 시용구에서 가장 좋았다. 관행처리구인 화학비료시용구에서의 식미치는 69.7, 돈분액비 160% 처리구는 66.9로 가장 낮은 수준이었다.

Table 5. Physicochemical characteristics of milled rice influenced by application rates of liquid pig manure

Treatments	Alkali digestive value (1~7)[z]	Amylose (%)	Protein (%)	Toyo-taste value
100% N LM	6.3b[y]	20.2a	6.80b	73.7a
130% N LM	6.3b	20.6a	7.20b	72.0ab
160% N LM	6.6a	19.9a	7.68a	67.1c
Chemical fertilizer	6.3b	20.3a	6.90b	69.7b

[z] ADV : Score 1: low, 7: high

[y] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

돈분액비 처리에 따른 현미 품위 특성을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 쌀의 품질관련 특성 중 현미품위 중 완전미 비율은 88.9~91.5%로 대체적으로 높은 수준이었다. 완전미 비율이 가장 높은 처리구는 화학비료 처리구로서 92.2%이었고, 돈분액비 160% 시용구는 88.9%로 가장 낮았으며, 불완전미의 비율을 높인 주원인은 활청미의 비율이 증가하였기 때문이었다.

Table 6. Quality characteristics of brown rice as affected by application rates of liquid pig manure

Treatments	Perfect grain (%)	Green-transparent grain (%)	Broken grain (%)	Damaged grain (%)	Red grain (%)
100% N LM	91.5a[z]	2.6b	4.4a	1.5a	0.0a
130% N LM	90.9ab	3.7b	4.0a	1.4a	0.1a
160% N LM	88.9b	5.9a	3.6a	1.6a	0.0a
Chemical fertilizer	92.2a	0.6c	5.4a	1.7a	0.0a

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

쌀의 품질관련 특성 중 백미품위 중 완전미율은 돈분액비 100%, 130% 처리구에서 76.7~78.3%로 화학비료를 시용한 시험구에 비해 높았으며 심복백, 쇄미 등이 낮았다. 그러나 돈분액비 160% 시용구에서 쌀 품질이 다소 떨어진 것으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Quality characteristics of milled rice influenced by application rates of liquid pig manure

Treatments	Milled/brown rice rate (%)	Proportion of perfect grain (%)	Less than half chalky grain (%)	More than half chalky grain (%)	Broken grain (%)	Damaged grain (%)
100% N LM	91.6a[z]	78.0a	12.4b	1.7a	5.6a	2.1a
130% N LM	91.5a	78.3a	12.6b	1.0b	5.9a	2.1a
160% N LM	90.9a	76.7a	12.7b	2.1a	5.4a	3.1a
Chemical fertilizer	91.7a	74.0b	15.4a	1.7a	6.6a	2.3a

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

돈분액비 시용에 따른 백미의 호화점도(RVA) 특성은 Table 8에 나타내었다. 최고점도(peak viscosity)와 최저점도(tough viscosity)는 돈분액비 100%, 화학비료 시용구에서 각각 135.1, 136.1이었으나 돈분액비 160% 시용구는 119.2로 낮았다. 백미의 RVA 특성에서 돈분액비 100% 시용구는 화학비료를 시용구와 차이가 없었으나 돈분액비 160% 수준에서는 낮은 경향이었다.

Table 8. Pasting properties of milled rice by rapid visco-analyzer as a function of application rates of liquid pig manure

Treatments	Initial pasting temp.(℃)	Peak viscosity (RVU)	Tough viscosity (RVU)	Final viscosity (RVU)	Breakdown viscosity (RVU)	Setback viscosity (RVU)	Pasting consistency (RVU)
100% N LM	67.5a[z]	192.7a	135.1a	230.1a	57.7a	94.7a	37.9a
130% N LM	67.4a	191.8a	134.5a	229.2a	57.3a	94.7a	37.4a
160% N LM	67.3a	173.5b	119.2b	209.9b	54.3b	90.8b	36.4b
Chemical fertilizer	67.5a	192.9a	136.1a	231.3a	56.8a	95.2a	38.4a

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5. 쌀 및 경엽중 성분함량

돈분액비를 시용하여 재배한 현미의 무기성분을 분석한 결과는 Table 9에서 보는 바와 같다. 질소 함량은 돈분액비 100% 시용구에서 0.92%로 화학비료시용구와 유의한 차이가 없었으나, 돈분뇨 160% 시용구에서는 0.99%로 높았다. 인 함량도 돈분액비 100% 시용구와

화학비료 처리구에서 각각 0.32, 0.30%로 돈분액비 160% 시용구의 인 함량보다 낮았다. 칼륨함량도 인산과 같은 경향이었다. 칼슘 및 마그네슘의 함량은 처리구별 유의성이 관찰되지 않았다.

Table 9. Nutrient and heavy metal contents of rice grain at different application rates of liquid pig manure

Treatments	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
100% N LM	0.92b[z]	0.32b	0.61b	0.03a	0.08a	90.3b	10.4a	78.3b	21.2a
130% N LM	0.94b	0.27b	0.64b	0.04a	0.09a	97.3b	11.3a	118.3a	22.3a
160% N LM	0.99a	0.39a	0.72a	0.03a	0.09a	120.3a	11.5a	115.3a	19.0a
Chemical fertilizer	0.93b	0.30b	0.66b	0.03a	0.09a	105.3ab	9.3a	57.7c	20.3a

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

돈분액비 시용에 따른 경엽의 양분 및 중금속 함량은 다음과 같다(Table 10). 경엽의 질소함량은 0.66~0.96% 범위에 있었다. 돈분액비 100% 시용구의 질소 함량은 0.64%로 화학비료 시용구의 0.77% 보다 낮았다. 그러나 돈분액비 160% 시용구에서 경엽의 질소, 인산, 칼륨 함량은 화학비료 시용구 보다 높았다. 액비와 화학비료 처리구 사이에 질소농도의 차이가 있는 것는 동일한 질소 시용량에서도 돈분액비의 암모니아 휘산과 질소의 분해 및 이용에 차이 때문인 것으로 생각된다(Sommer and Hutchings, 1995).

Table 10. Nutrient and heavy metal content of rice straw as influenced by application rates of liquid pig manure

Treatments	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
100% N LM	0.64bz	0.18	2.80	0.36	0.11	270.2	9.1	1,006	35.7
130% N LM	0.66	0.19	2.89	0.38	0.11	278.3	13.0	1,537	54.0
160% N LM	0.96	0.21	3.48	0.39	0.13	280.0	13.3	1,660	56.2
Chemical fertilizer	0.77	0.19	2.93	0.31	0.10	400.7	9.0	785	36.0

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

6. 식물체 중의 질소함량과 양분흡수량

벼의 질소흡수량은 건물중과 질소함량의 곱으로 표현되는데 돈분액비 시용에 따른 벼의 질소흡수량 변화는 Table 11와 같다. 질소흡수량은 돈분액비 100% 시용구에서 10a당 12.5 kg, 화학비료시용구에서 15.1 kg로 화학비료구에서 돈분액비 100% 시용구보다 높았다. 이는 질소이용율 측면에서 돈분액비 보다 화학비료를 시용하였을 경우 질소이용율이 높았기 때문으로 생각된다(Yang et al., 2008). 또한 돈분액비 130%, 160% 시용구의 질소흡수량은 각각 14.1, 20.9 kg을 나타내어 돈분액비 시용량이 높을수록 질수흡수량이 증가하였다.

Table 11. Nitrogen deposition in rice plant as influenced by application rates of liquid pig manure

Treatments	Nitrogen input (kg N/10a)	Nitrogen deposition (kg N/10a)			N Balance (Deposited - Input, kg N/10a)
		Grain	Straw	Total	
100% N LM	9.0	6.1b[z]	6.4c	12.5c	3.5
130% N LM	11.7	7.2ab	6.9c	14.1b	2.4
160% N LM	14.4	9.2a	11.7a	20.9a	6.5
Chemical fertilizer	9.0	7.0ab	8.1b	15.1b	6.1

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

7. 토양 성분 함량

돈분액비 시용 후 토양의 화학적 성분에 미치는 영향은 Table 12와 같다. 돈분액비 시용량이 높을수록 EC, 유기물, 질소, 인산, 칼륨이 높아졌다. 특히 돈분액비 160% 시용구에서

Table 12. Chemical properties of the soil 10 days after experiment

Treatments	pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M. (g/kg)	T-N (g/kg)	Avail. P_2O_5 (mg/kg)	Ex. cation ($cmol^+/kg$)			
						Ca	Mg	K	Na
100% N LM	6.3a[z]	0.12c	20.2b	1.18b	96b	1.96c	0.20bc	0.21b	0.15b
130% N LM	6.2a	0.19b	24.3a	1.21b	106b	2.46b	0.23b	0.26b	0.19b
160% N LM	6.2a	0.34a	27.3a	1.33a	175a	3.80a	0.32a	0.36a	0.40a
Chemical fertilizer	6.7a	0.08c	20.8b	1.21b	89b	1.55c	0.17c	0.17c	0.14b
Before experiment	6.2a	0.10c	20.4b	1.11b	105b	1.75c	0.17c	0.20b	0.14b

[z] The same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

유효인산 및 치환성 칼륨 등 모든 무기성분 함량이 높아졌다. 가축분뇨의 과다시용은 토양 중의 인산과 칼리의 함량이 시험 전 토양보다 많아진다고 보고된 것을 볼 때(Hountin et al., 2000) 토양의 완충능력을 초과하는 가축분뇨의 과다시용은 염류집적 등 부정적인 효과를 가져오므로 적정의 시용량 준수와 연용시 모니터링이 필요하다.

돈분액비 시용 후 토양의 중금속 함량은 Table 13과 같다. 돈분액비 100%, 130% 시용구의 토양 중금속 함량은 차이를 나타내지 않았다. 그러나 돈분액비 160% 시용구 토양의 아연, 구리, 비소 함량은 화학비료 시용구 보다 높았다. 토양 중 아연 함량은 가축분뇨 시용구에서 61~67.7 mg kg^{-1}로 화학비료 시용구의 52.6보다 높았다. 돈분, 우분의 5~7년 연용의 토양이나 식물체에서 비기능성 중금속(non-functional metals)인 카드륨, 비소, 수은 함량은 화학비료 시용구와 비교하여 높지 않았다고 보고하였다(Lipoth and Schoenau, 2004). 구리와 아연은 식물과 동물 공히 필요로 하는 필수 원소이며 가축의 증체량을 증가하고 항균성 물질로 가축사료에 첨가한다. 아연과 구리와 같은 중금속은 가축분뇨를 농경지에 과도하게 시용하면 축적 될 수 있다. 대부분의 중금속은 토양 내에서 이용이 되지 않아서 작물생산에 부정적인 영향을 가져 올 뿐만 아니라, 중금속이 축적된 농산물을 소비하는 가축이나 인간에게 위험을 줄 수 있으므로 돈분액비 연용시 모니터링이 필요하다.

Table 13. Effect of application rates of liquid pig manure on heavy metal content in soil

Treatments	Soil heavy metal content (mg kg^{-1})							
	Zn	Ni	Hg	As	Cu	Cr	Pb	Cd
100% N LM	61.0a[z]	13.0a	0.03b	0.25b	2.3b	0.2a	5.0a	0.1a
130% N LM	65.4a	13.5a	0.08a	0.36b	2.6b	0.3a	5.9a	0.1a
160% N LM	67.7a	13.5a	0.08a	0.53a	4.2a	0.3a	6.3a	0.1a
Chemical fertilizer	52.6b	6.2b	0.03b	0.13c	2.8b	0.2a	4.8a	0.1a

[z] Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

Ⅳ. 적 요

본 연구는 돈분액비의 시용수준이 벼의 생육, 수량구성요소, 수량, 미질과 토양에 미치는 영향을 구명하기 위하여 실시하였다. 돈분액비의 시용수준은 벼의 추천 질소시용량인 9kg N/10a를 기준으로 하여 화학비료 질소 총량을 돈분액비로 대체하는 방법, 즉 100%, 130%, 160% 시용구를 두어 시용시험을 수행하였다. 결과를 요약하면 아래와 같다.

초장과 분얼수는 돈분액비 100, 130% 시용구에서 화학비료와 대등하였다. 돈분액비 160

% 시용구는 화학비료 시용구 보다 분얼수가 많았고 초장이 큰 과번무 상태를 나타내었다. 백미수량은 돈분액비 100% 처리구에서 410 kg/10a으로 화학비료 처리구에 비해 3% 낮은 수준을 보였으나 돈분액비 130% 처리구는 화학비료처리구와 대등한 수량을 나타내었다. 그러나 돈분액비 160% 처리구에서 화학비료를 시용한 구에 비해 5%의 수량 감소가 있었는데 등숙율 및 천립중 저하가 수량감소의 원인이었다.

백미의 단백질 함량은 돈분액비 100% 시용구에서 6.8%로 화학비료 처리구의 6.9%와 유사하였다. 그러나 돈분액비 130, 160% 시용구에서 7.20~7.68%로 높은 수준이었다. 식미치는 돈분액비 100% 시용구가 73.7로 가장 좋았고 돈분액비 160% 처리구에서 66.9로 식미치가 낮았다. 완전미 비율이 가장 높은 처리구는 화학비료구로서 92.2%이었던 반면 돈분액비 100, 130% 처리구에서는 약간 감소하였다. 돈분액비 160% 처리구의 완전미 비율이 88.9%로 가장 낮았는데, 주원인은 활청미의 비율이 높았기 때문이었다.

현미의 무기성분 중 질소농도는 0.92~0.99% 범위이었는데 처리간 유의적 차이는 관찰되지 않았다. 벼의 10a당 질소흡수량은 화학비료시용구에서 15.1 kg으로 돈분액비 100% 시용구의 12.5 kg보다 높은 흡수량을 나타냈다. 돈분액비 100%, 130% 시용구의 토양 중금속 함량은 화학비료 시용구와 차이를 나타내지 않았다. 그러나 돈분액비 160% 시용구 토양의 아연, 구리, 비소 함량은 화학비료 시용구 보다 높았다. 따라서 벼의 수량과 품질지수 측면에서는 돈분액비 130%가 유리하였다. 돈분액비 160% 시용구에서는 등숙률과 천립중이 낮아지므로 수량이 감소하였다. 따라서 돈분액비의 양분 이용률을 고려 할 때 130% 범위에서 시용량을 조절하는 것이 벼의 수확량과 품질 그리고 토양의 중금속함량 감소에 유리할 것으로 사료되었다.

그러나 돈분액비 160% 시용구 토양의 아연, 구리, 비소 함량은 화학비료 시용구보다 높았다. 따라서 벼의 수량과 품질지수 측면에서는 돈분액비 130%가 유리하였다. 돈분액비 160% 시용구에서는 등숙률과 천립중이 낮아지므로 수량이 감소하였다. 따라서 돈분액비의 양분 이용률을 고려 할 때 130% 범위에서 시용량을 조절하는 것이 벼의 수확량과 품질 증대, 그리고 토양의 중금속함량 감소에 유리할 것으로 사료되었다.

[논문접수일 : 2014. 10. 8. 논문수정일 : 2014. 10. 14. 최종논문접수일 : 2014. 10. 22.]

Reference

1. APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th Ed. APHA, Washington DC.

2. Bouwman, A. F. and H. Booij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 52: 261-267.
3. Burton, C. H. and C. Turner. 2003. Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture, 2nd Ed. Silsoe Research Institute, Silsoe, Bedford, UK.
4. Douglas, B. F. and F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization induce for organic residues. J. Environ. Anal. 20: 368-372.
5. Gerber, P., P. Chilonda, G. Franceschini, and H. Menzi. 2005. Geographical determinants and environmental implications of livestock production intensification in Asia. Biores. Technol. 96: 263-276.
6. Hong, K. P., Y. G. Kim., W. K. Joung, G. M. Shon, G. W. Song, Y. J. Choi, and Z. R. Choe. 2003. Varietal differences and time course changes in greenness values in rice leaf. Kor. J. Crop Sci. 48: 479-483.
7. 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.
8. Ishima, T. H., 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.
9. Jokela W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 148-154.
10. Klausner, S. D., V. R. Kamneganti, and D. R Bouldin. 1994. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. Agron. J. 86: 897-903.
11. 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. Kor. J. Environ. Agri. 28: 54-60.
12. 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.
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. Meisinger, J. J., A. M. Lefcourt, and R. B. Thompson. 2001. Construction and validation of small mobile wind tunnels for studying ammonia volatilization. Appl. Eng. Agric. 17: 375-381.

15. Ministry of Environment. 2007. Official methods for the water qualities determination.
16. Mooleki, S. P., J. J. Schoenau, G. Hultgreen, G. Wen, and J. L. Charles. 2002. Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 82: 457-467.
17. 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.
18. Patrick, R. M., F. H. Hoskins, E. Wilson, and F. J. Peterson. 1974. Protein and amino acid content of rice as affected by application of nitrogen fertilizer. Cereal Chem. 51: 84-95.
19. Peter, S. and M. Amato. 2002. Remineralization and residual effects of N after application of pig slurry to soil. Eur. J. Agron. 16: 81-95.
20. RDA (Rural Development Administration). 2002. Guidelines for applying liquid livestock manure. Rural Development Administration. Suwon, Korea.
21. RDA. 2003. Analysis criteria on agricultural researches. Rural Development Administration. pp. 288-290.
22. RDA. 2013. Investigation guidelines for agriculture experiment.
23. Sommer, S. G. and N. Hutchings. 1995. Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. Water Air Soil Poll. 85: 237-248.
24. Son, J. R., J. H. Kim, J. I. Lee, Y. H. Youn, J. K. Kim, H. G. Hwang, and H. P. Moon. 2002. Trend and further research of rice quality evaluation. Kor. J. Crop Sci. 47: 33-54.
25. Stumborg, C. M., J. J. Schoenau, and P. Qian. 2005. Phosphorus loading and environmental analysis in manured soils. Proceedings of Soils and Crops 2005. University of Saskatchewan Extension Press, Saskatoon, SK. On CD.
26. 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. Kor. J. Soil Sci. Fert. 45: 285-292.