

ANIMAL

Establishment scheme for official standards of liquid swine manure fertilizer

Dong Sung Lee¹, Jae-Bong Lee¹, Myoung-Yun Lee¹, Ri-Na Joo¹, Kyo-Suk Lee¹, Se-Won Min², Byeong-Deok Hong³, Doug-Young Chung^{1*}

¹Departement of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Daejeon Doosan Girl's High School, Daejeon 35233, Korea

³Technical Review & Quality Management Institute, Korea Rural Community, Daejeon 35233, Korea

*Corresponding author: dychung@cnu.ac.kr

Abstract

A more efficient use of nutrients can benefit both farmers and water quality. To propose an establishment scheme for official standards for liquid fertilizer from swine manure slurry, we evaluated previous and present data related to swine manure as well as analyzed 101 swine manure samples collected from 28 public livestock recycling centers throughout the nation. From these investigations, we found that the official standards for byproduct fertilizers set by the Rural Development Administration (RDA), especially for a liquid swine manure fertilizer, should be revised due to nutrient content requirements having to meet at least 0.3% content for the sum of nitrogen, phosphorus, and potassium. Otherwise, most of the swine manure cannot be utilized as a liquid fertilizer because the result of the 101 samples' analysis showed fewer than 28% of them met the minimum standard of $\geq 0.3\%$ content for the sum of nitrogen, phosphorus, and potassium, while the contents of heavy metals as indicators of toxicity met the standard requirements. Therefore, it is suggested that official standards for byproduct fertilizers set by RDA should be revised as follows: no limit for nutrient contents and addition of chloride as homogeneity. Also, NaCl should be changed to Na because NaCl cannot be analyzed by instrument.

Keywords: fermentation, liquid swine manure, livestock, recycling center

Introduction

국내에서 발생하는 가축 분뇨는 2014년 기준 약 4천 5백만 톤 정도이며(KOSIS, 2014) 양돈분뇨는 전체 가축분뇨 발생량의 39%를 차지하고 있다. 한편 가축분뇨액비를 제조하는데 사용하는 가축분뇨 원료의 불균질성 등의 문제로 인하여 보통비료와 같은 일정한 함량의 가축분뇨액비를 제조하기 어려울 뿐만 아니라 수분함량이 95% 이상인 돈분뇨는 퇴비화 시 과다한 부재료가 소요되어 처리비용 상승하고 또한 부재료로 인하여 탄질율이 증가하여 타 가축분뇨를 이용하여 생산된 퇴비보다 품질도 낮다(NIAST, 1999; Ra, 2013).

2015년 3월에 시행된 농림축산식품부령 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률에서는 가축



OPEN ACCESS

Citation: Lee DS, Lee JB, Lee MY, Joo RN, Lee KS, Min SW, Hong BD, Doug-Young Chung. 2016. Establishment scheme for official standards of liquid swine manure fertilizer. Korean Journal of Agricultural Science 43:360-368.

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160038>

Editor: Taek-Keun Oh, Chungnam National University, Korea

Received: September 2, 2016

Revised: September 19, 2016

Accepted: September 19, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

뇨 액비는 가축분뇨를 액체 상태로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로 정하는 기준에 적합한 것을 의미하며 현재 농촌진흥청고시 비료공정규격설정 및 지정에서 부산물비료 중 부속유기질비료인 가축분뇨발효액의 품질기준은 비료성분과 유해성분 중심으로만 지정·관리되고 있다(RDA, 2009; RDA, 2010; RDA, 2013). 한편 Lee (2015)는 가축분뇨 액비 품질의 등급화 및 상품화 수준과 관련하여 가축분뇨 액비 품질의 등급화 평가 요소와 마찬가지로 목표요소로 비효성, 위해성, 안정성, 균질성으로 구분하고 평가요소로 N 농도, N-P-K 성분합계량, 병원성미생물, 중금속 최대함유량, 부속도, 악취, 총고형물(TS), 전기전도도(EC), 원료의 종류, 성분 표시로 구분하였다. 국외에서는 액비기준은 최소품질기준, 중금속 함량(납 등 7항목), 위생(최소 부속온도 및 기간), 병원성미생물, 악취, 영양원(P_2O_5 , K_2O , Mg, Ca), 건물중, 유기건조물, pH, 염분함량, 총질소(T-N), C/N 비, 암모늄태 질소 등을 포함하고 있다.

가축분은 긍정적, 부정적인 요소를 동시에 지니고 있다. 가축분을 자원화과정을 통하여 퇴비나 액비형태로 농경지에 환원할 경우는 유기물 및 양분공급원으로써의 긍정적인 역할이 매우 크다(Jokela, 1992; Jeon et al., 2003; Hwang et al., 2004; Kang et al., 2004; Hwang et al., 2005). 한편 가축분뇨발효액비는 고형분 함량이 낮으나 대부분의 양분요소가 수용성 상태이기 때문에 농경지에 적용 시 식물생육을 위한 유효양분의 이용효율을 높일 수 있다(Summer and Miller, 1996). 그러나 퇴비나 가축분뇨액비는 비점오염물질로 토양오염원으로 또는 수질오염원으로 작용하기도 한다(Beckwith et al., 1998; Kim et al., 2004). 따라서 EU에서는 1980년대부터 가축분뇨 사용수준을 질소와 인의 기준에 맞추어 철저히 규제하고 있다(Nam and Lee, 2013; Lee, 2015). 그러나 우리나라는 아직 이에 대한 규제가 이루어지지 않고 있어 양축농가에서 생산된 저장 액비를 농경지에 과다하게 살포할 경우 배수와 함께 유출되는 유·무기물은 하천의 부영양화 뿐만 아니라 지하수 수질오염원으로 작용할 수 있다(USEPA, 1966; Yun and Yoo, 1996).

따라서 퇴비와 액비를 작물별로 알맞게 시비할 필요성이 제기되어 1999년에 작물별 시비처방요령, 2002년에 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, 그리고 2006년도에 영농현장에서 적정 시비방안으로 작물별 시비처방기준 기술지침서가 만들어졌으나 작물 재배기술 등의 급속한 발전 및 농경지내 일부 비료 성분의 축적 등의 문제가 제기됨에 따라 현실에 적합한 종합적인 가축분뇨 퇴·액비 이용기술에 대한 자료 요구가 높아지고 있는 실정이다. 향후 가축분뇨 액비의 이용·확대를 위해서는 국내 가축분뇨 처리시설 액비의 전반적인 품질분석을 실시하여 현 상황에 알맞은 최소한의 품질관리 기준을 설정한 뒤 비료성분 함량을 표시하는 액비기준이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 돈분액비 가축분뇨발효액의 특성과 활용 방안을 고려하여 돈분액비 가축분뇨발효액 공정규격 기준 설정 방안을 제시하고자 하였다.

Materials and Methods

국내외 관련 전문학회지, 농촌진흥청, 가축분뇨자원화협의회 포럼자료 등 유관 기관 등의 연구 자료를 통하여 돈분액비와 관련한 이화학적 특성, 농작물시비량 기준, 그리고 돈분액비가 환경에 미치는 영향, 그리고 국내외 기준 등에 대한 사례 등을 수집하여 본 과제의 목표인 돈분액비 품질검토를 통한 액비기준 제시하는데 활용하고자 한다.

돈분액비의 이화학적 특성은 기존에 발표된 자료 외에 충남대에서 2015년도 전국 8개 시도 23개 공동자원화시설에서 채취하여 분석한 101개의 돈분액비 자료를 활용하였으며 또한 상지대에서 부속도별로 조사한 80개 분석자료를 활용하였다. 그리고 농작물시비량 기준은 국립농업과학원 등이 발표한 작물별 시비처방요령, 2002년에 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, 영농현장에서 적정 시비방안으로 2006년도에 제정한 작물별 시비처방기준 기술지침서 등을 활용하였다. 그리고 돈분액비가 환경에 미치는 영향은 중금속을 중심으로 그리고 국내외 기준 등에 대한 사례를 수집하여 비교 평가하였다. 돈분액비 공정규격 기준 설정 방안은 국내 비료관령 법령을 기준하여 국외 돈분액비와 혐기성 액비 관련 자료를 수집하여 비교 평가하였다. 최종적으로 상지에서 조사한 자료를 종합하여 국내에서 생산되는 돈분액비의 공정규격 기준 방안을 제시하고자 하였다.

Results and Discussion

액비 법적 기준

농촌진흥청고시 제 2014-13호, 비료 공정규격설정 및 지정에 따른(RDA, 2014) 부숙유기질비료 중 가축분뇨발효액에 대한 규정에 따른 가축분뇨규격액비의 기준 및 범위는 가축분뇨를 원료로 제조한 액체 상태의 비료로서 비료 가치, 유해성, 부속도 품질 기준을 만족시키고 품질기준표시가 가능한 액체 상태의 가축분뇨로서 가축분뇨규격액비 및 가축분뇨규격액비를 원료로 토양 및 작물의 기능성을 부가하여 제조한 액비제품으로 정의하고 있다(Table 1).

Table 1. Definition of standard and range of liquid animal manure fertilizer.

Category	Content
Standard	Animal manure in liquid form for which quality standards can be verified as satisfying fertilizer value, toxicity, and composting quality as a liquid fertilizer made with animal manure
Range	A liquid product made with standard liquid animal manure to improve the functions of soils and the quality of crops

그리고 비료관리법 시행규칙 제3조에 따른 비료 공정규격 기준은 가축분뇨규격액비의 기준 중 비료가치, 유해성, 부속도 품질로 구분하여 규격함량은 N-P-K 전량의 합이 0.3% 이상이며 함유할 수 있는 유해 성분으로 중금속 8종에 대해 허용 최대량과 병원성미생물로서 대장균과 살모넬라는 불검출로 기준을 설정하고 있다(Table 2).

Table 2. Official standards of composted organic fertilizers consisting of liquid animal manure fertilizer among byproduct fertilizers.

Category		Contents							
Value of Fertilizer	Standard	Sum of N-P-K \geq 0.3%							
Toxicity	Max. contents of toxic components (mg kg ⁻¹)	As	Cd	Hg	Pb	Cr6+	Cu	Zn	Ni
		5	0.5	0.2	15	30	50	130	5
		No detection of following pathogens: O157:H7 (<i>Escherichia coli</i>) and <i>Salmonella</i> spp.							
Composting degree and quality standard	Other standards	<ul style="list-style-type: none"> • NaCl \leq 0.3% and Water content \geq 95% • Odor by function inspection: Level 2 based on the act of atmospheric environment conservation 							

돈분액비의 특성

시비기준은 표준시비량과 권장시비량으로 구분하며 시비는 N-P-K를 기준하여 작목별 시비량을 결정한다 (NAAS, 2010). 시비기준에 따른 시비의 경우 인과 칼륨의 시비량은 일반적으로 질소시비량보다 작다. 적정시비기준은 관행시비, 환경보전형 시비기준, 농토배양 시비기준, 그리고 다수확 시비기준으로 구분하고 있다. 그러나 시비량은 토양의 비옥도, 천연공급량에 따른 관개수의 종류, 비료흡수량에 영향을 미치는 기상환경, 수도재배의 경우 건답 또는 담수직파와 같은 재배양식, 품종, 비료종류에 따른 흡수이용율 등에 의해 결정되며 현재 91작물에 대한 시비 처방기준이 설정되어 있다. 또한 작물별로 가축분뇨 액비 시용량 결정에 고려할 점은 토양의 비옥도와 액비 중의 비료성분함량 분석결과다. 액비 살포량은 시비처방서에서 추천된 시비량과 액비 중 비료성분 함량을 고려하여 3요소 중 최소시용량을 기준으로 결정하는 것을 원칙으로 한다(NAAS, 2010). 비료 3요소를 기준으로 산정 시 제일 적은 성분을 기준으로 시용량을 결정하고 부족성분은 화학비료를 보충 사용하는 것을 원칙으로 한다. 한편 가축분 퇴비의

경우 인산기준 사용량이 있으나 액비의 경우 인산을 기준한 액비 사용기준이 없다. 따라서 돈분액비의 경우도 돈분액비 시비량을 결정하기 위해서는 반드시 돈분액비의 N-P-K 함량을 표기하여야 한다.

Kang (2007)이 조사한 돈분액비의 성분 특성을 살펴보면 pH는 7.4 - 8.4 (평균 7.79)로 조사되었고, 유기물 함량은 1.79 - 3.39% (평균 2.94%). 총질소함량은 0.23 - 0.46% (평균 0.30%), 총인함량은 0.017 - 0.057% (평균 0.027%), 그리고 총칼륨함량은 0.066 - 1.49% (평균 0.027%)로 조사되었다(Table 3).

Table 3. Chemical properties of a liquid swine manure fertilizer (NAAS, 2007).

Category	pH	EC	OM	T-N	T-P	T-K
		(dS m ⁻¹)		(%)		
Min.	7.4	3.18	1.79	0.23	0.017	0.066
Max.	8.4	48.7	3.39	0.46	0.057	0.15
Average	7.79	22.3	2.94	0.30	0.027	0.082

최근 Lee (2015)가 발표한 자료에 따르면 대부분의 액비의 pH는 8 이상으로 pH는 5.6 - 9.4 (평균 8.2)의 분포를 보였으며 EC는 평균 20.4 dS m⁻¹이며 유기물함량은 0.13 - 5.47% (평균 0.75), 총질소는 0.02 - 0.97% (평균 0.29%), 총인은 0.004 - 0.162% (평균 0.035%), 총칼륨은 0.02 - 0.40% (평균 0.09%)로 조사되었다(Table 4). 이와 같이 돈분액비는 알카리에 해당하며 EC도 10 dS m⁻¹ 이상으로 높은 것으로 조사되었다.

Table 4. Average content and range of chemical properties and nutrients in commercial liquid swine manure fertilizer.

Category	pH	EC	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
		(dS m ⁻¹)				(%)			
Average	8.2	20.4	0.75	0.29	0.035	0.09	0.08	0.027	0.063
Min.	5.6	3.7	0.13	0.02	0.004	0.02	0.002	0.001	0.017
Max	9.5	56.7	5.47	0.97	0.162	0.40	0.272	0.152	0.107

한편 Chung (2015)이 2015년도 전국 8개 시도 23개 공동자원화시설에서 채취하여 조사한 돈분액비의 이화학적 특성을 살펴보면 pH는 최저 5.18, 최고 9.54로 조사되었다. EC는 최고 53.2 dS m⁻¹, 평균 15 dS m⁻¹로 매우 높다. 영양원인 질소와 인은 평균 1,375 mg L⁻¹와 148 mg L⁻¹로 조사되었다. 수분함량은 99% 이상이며 수용성 상태로 존재하는 유기물 함량 중 총질소는 1,000 - 2,000 mg L⁻¹ 정도이나 총인은 200 mg L⁻¹로 조사되었다. 무기성분 중 가장 함량이 많은 것은 칼륨으로 1,500 mg L⁻¹로 약 47%를 차지하는 것으로 조사되었다. 그리고 조사된 전체 101개 시료 중 비료 공정 규격(질소전량, 인산전량, 칼리전량의 성분 합계량 0.3% 이상)을 충족하는 시료는 45개로 전체 시료의 약 44.6%이며 0.2% 이상은 약 74.3%, 그리고 0.1% 이상은 전체시료의 약 96%를 차지하였다(Table 5).

Table 5. Chemical properties of one hundred and one liquid swine manure samples.

Category	pH	EC	T-N	PO ₄ ³⁻ -P	WC	TDS	OM	Ash	OM		
		(dS m ⁻¹)	(mg L ⁻¹)				(%)	OM	T-C	Ash	
Min	5.18	3.0	0.0	0.54	80.0	0.3	0.11	0.1	4.4	2.6	7.7
Max	9.54	53.2	5512	873.6	99.7	20.0	7.2	12.9	92.3	53.5	95.6
Average	8.05	15.4	1375	102.3	97.8	2.2	0.9	1.2	47.3	27.4	52.7

WC: water content; TDS: total dissolved solid, OM: organic matter; T-C: total carbon.

그러나 Chung (2015)이 2015년도 23개 공동자원화시설에서 채취해 분석한 가축분뇨발효액비의 암모늄태 질소 함량은 14.9 mg L^{-1} 이나, Lee (2015)가 발표한 부숙 단계별 질소함량 자료에서는 308 mg L^{-1} 에서 $1,760 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 차이가 있다. 이는 시료 채취 시기와 채취 장소, 그리고 부숙도별 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 한편 총질소함량이 평균 $3,300 \text{ mg L}^{-1}$ 인 돈분액비의 수용성 질산성 질소와 암모늄태 질소함량은 각각 28.9 와 14.9 mg L^{-1} 로서 돈분액비의 총질소 기준으로 각각 0.83% 와 1.29% 로 조사되었다. 한편 돈분액비의 양이온은 칼륨이 평균 590 mg L^{-1} 으로 가장 높았으며 다음은 칼슘, 소듐, 고토, 철, 알루미늄 순이었다(Table 6).

Table 6. Contents of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and inorganic cations recovered as soluble phase in the liquid swine manure.

T-N	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
(mg L^{-1})								
3,300	28.9	14.9	128.6	591	200.9	55.8	48.7	11.1

돈분액비 부숙단계별 영양성분인 질소, 인 칼륨함량을 조사한 결과 총질소함량은 미숙, 중숙, 그리고 부숙단계로 진행됨에 따라 미숙에서 총질소함량은 약 $2,270 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 약 530 mg kg^{-1} 으로 급격히 감소하나 칼륨과 인함량은 부숙이 진행되어도 감소율이 매우 낮은 것으로 조사되었다. 특히 질소성분의 경우 암모늄이온의 농도는 미숙에서 부숙으로 진행됨에 따라 약 $1,760 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 약 308 mg kg^{-1} 으로 급격히 감소하나 질산태질소이온의 함량은 미숙에서 약 14 mg kg^{-1} 이나 부숙시 약 90 mg kg^{-1} 으로 증가하였다.

완숙퇴비의 평균 pH는 7.4 정도이나 조사된 시료 22개중 18개가 평균 pH보다 높은 것으로 조사되었다. 한편 돈분액비내 질소원이 암모니아 가스로 휘발되는 pH 수준인 7.6을 초과하는 돈분액비 시료는 총 22개 중 14개로 조사되었다(Table 7). 중숙돈분액비의 경우 평균 pH는 완숙액비보다 약 0.7 정도 높은 8.11 정도로 한편 대부분의 돈분액비는 돈분액비내 질소원이 암모니아 가스로 휘발되는 pH 수준인 7.6을 초과하였으며 미숙돈분액비의 평균 pH는 완숙액비보다 약 0.6 정도 높은 8.0 정도로 돈분액비는 돈분액비내 질소원이 암모니아 가스로 휘발되는 pH 수준인 7.6을 초과하는 수준으로 조사되어 악취 발생의 원인으로 작용할 수 있다.

Table 7. Chemical properties of liquid swine manure fertilizer for three different decomposition levels.

Category	pH	EC	T-N	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	Org-N	T-P	K
	(1:5)	(dS m^{-1})	(mg kg^{-1})					
Immature	8.01	23.4	2,272	1,762	14.3	496	134	2,067
Intermediate	8.11	19.8	1,924	1,313	14.3	555	153	2,425
Mature	7.41	10.0	533	307	90.3	221	182	2,944

그리고 완숙 돈분액비내 총질소함량은 평균 533 mg kg^{-1} 정도이며 이중 약 55% 정도가 암모늄태로 존재하며 질산태 질소는 약 17% 정도 존재하는 것으로 조사되었다. 그리고 부숙이 진행되어감에 부숙 돈분액비의 경우 총질소는 미숙 대비 약 66.3%의 질소가 손실되었으며 반면 중숙 돈분액비의 총질소 손실량은 약 15.3%로 낮은 것으로 조사되었다(Fig. 1). 따라서 약 55%의 암모늄태 질소는 돈분액비의 pH에 따라 암모니아가스로 휘발될 수 있다.

돈분액비 부숙정도별 N+P+K 전함량을 조사한 결과 부숙정도가 진행됨에 따라 질소함량은 감소하나 상대적으로 칼륨함량이 증가하여 부숙이 진행됨에 따라 돈분액비의 N+P+K 함량이 증가하는 것으로 조사되었다(Table 8). 한편 가축분뇨발효액의 공정 규격 중 규격함량 기준인 N+P+K 전함량 0.3% 이상을 충족하는 돈분액비의 비율을 살펴보면 부숙이 진행됨에 따라 규격에 부합되는 비율이 급격히 감소하는 경향을 보여 완숙의 경우 약 26.3% 정도만 규격에 부합되는 것으로 조사되었다.

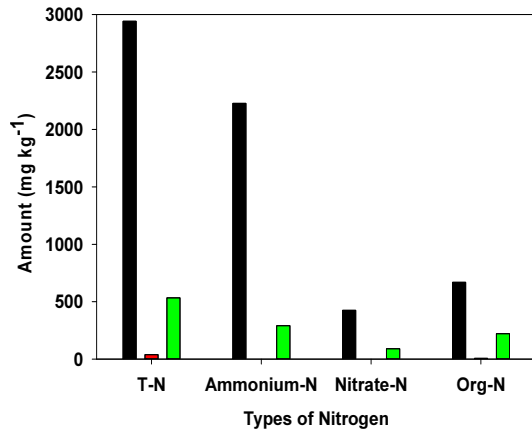


Fig. 1. Amount of nitrogen in the matured pig liquid fertilizer depending on the types of nitrogen.

Table 8. Proportion of the standard for the sum of N, P and K depending on the composting degree of the liquid swine manure fertilizer.

Category	Degree of fermentation					
	Mature		Intermediate		Immature	
	0.3% <	0.3% >	0.3% <	0.3% >	0.3% <	0.3% >
Ratio (%)	26.3	63.6	84.0	16.0	85.0	15.0

우리나라 유통액비 75점을 대상으로 중금속의 분포범위와 평균함량(mg L^{-1})은 As (0.001 - 0.083, 0.021), Cd (0.001 - 0.108, 0.038), Cr^{6+} (0.002 - 0.495, 0.117), Cu (0.07 - 47.8, 12.7), Ni (0.035 - 1.033, 0.31), Pb (0 - 0.291, 0.06), Zn (0.75 - 342.4, 40.83) 이었다 (Lee et al., 2011). 이는 우리나라 액비의 유해중금속 기준(RDA, 2009)에 비해 As, Cr, Hg, Pb의 경우 1/60 - 1/40 수준이고, Cd와 Ni의 경우 1/5 정도의 수준이다. 그러나 Cu의 경우 일부 시료에서 기준치인 50 mg L^{-1} 에 근접한 시료가 조사되었고, Zn의 경우 75점의 시료 중 4점의 시료가 기준치인 130 mg L^{-1} 를 초과하였다. 그리고 Chung (2015)이 조사한 돈분액비 101개 시료 중 중금속 기준을 초과하는 중금속은 구리 1종, 그리고 아연과 니켈은 각각 2종으로 조사되었다. 구리는 $0.13 - 302 \text{ mg L}^{-1}$ 그리고 아연 $0.31 - 186 \text{ mg L}^{-1}$ 으로 시료간 편차가 매우 크다. 한편 구리와 아연의 분포특성을 살펴보면 $50 - 100 \text{ mg L}^{-1}$ 가 거의 98%를 차지하고 아연은 $25 - 50 \text{ mg L}^{-1}$ 가 약 76%를 차지하는 것으로 조사되었다(Table 9).

Table 9. Contents of heavy metals recovered from the liquid swine manure fertilizer.

Category	Cu	Zn	As	Cd	Cr^{6+}	Ni	Pb	Hg
	(mg L^{-1})							
Min.	0.13	0.31	0.00	0.00	1.73	1.60	0.00	-
Max.	302.2	186.1	0.44	0.03	5.60	5.07	0.36	-
Median	7.32	17.9	0.04	0.003	3.58	3.30	0.04	-
Average	29.9	25.3	0.05	0.01	0.88	0.78	0.054	-

돈분액비 기준 설정

농촌진흥청이 정한 가축분뇨규격액비의 기준은 비료가치, 유해성, 부숙도 품질기준으로 구분하고 있다. 그러나 비료가치의 기준이 되는 돈분액비의 총질소함량은 부숙정도에 따라 질소함량이 다르며 부숙정도에 따른 돈분액비

에 포함된 칼륨의 양은 미숙보다 부숙이 평균 칼륨함량이 높다. 한편 돈분액비가 N+P+K 성분 합계량을 충족하는 비율은 부숙이 진행됨에 따라 감소하며 부숙의 경우 약 26.3% 정도만이 기준인 0.3% 이상을 충족하고 있다. 특히 부숙도의 경우 액비만을 대상으로 한 부숙도 판정 기준은 적합한 기준이 될 수 없다. 이는 돈분액비를 토양에 처리한 상태가 아닌 액비 자체의 조건에 따른 발아율에 결과를 기준하기 때문이다. 이와같이 돈분액비에 함유된 N, P, K 함량은 시료간 차이뿐만 아니라 부숙도 등에 따라 균질하지 않다. 따라서 비료가치 기준인 N-P-K 전량의 합과 관련한 기준은 재설정이 필요하다.

Lee (2015)가 제시한 가축분뇨 액비 품질인증 기준 제시안에 따르면 기준은 비효성(N농도, N,P,K 전량 농도), 위해성(중금속 8종), 안정성(부숙도, 무 발아지수, 부숙도, 암모니아 기준 약취), 그리고 균질성(EC, 수분함량, 염분 농도, BOD, SS)로 구분하며 각각의 항목에 대하여 3단계로 등급을 정하고 있다(Table 10). 이가 제시한 기준을 살펴보면 비효도는 질소함량을 기준하여 3단계로 나누고 있으나 시비는 표준시비량 또는 권장시비량에 준하여 처리량을 결정하기 때문에 이는 비효도 기준으로 적합하지 않다. 그리고 발아율을 기준한 부숙도 등급도 단순 돈분액비만을 기준한 결과일뿐 아니라 이는 균질성의 전기전도도(EC)와 상관성에 대한 비교 평가가 없다. 그리고 균질성에 있어서 TDS, BOD, SS는 수질환경과 관련한 항목으로 돈분액비를 농자재로 기준한 기준항목으로 설정하는 것은 바람직하지 않다.

Table 10. Proposed guidelines of quality standards for the liquid swine manure fertilizer.

Factor	Evaluation factor	Contents		
Fertility	N (%)	0.05 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 <
	Sum of N, P, K (%)	0.1	0.2 <	0.3 <
Toxicity	Heavy metals (mg/kg)	As, Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni		
Stability	Compost level (Germination)	70 <	80 <	90 <
	Compost (Meter measurement)	Immature	Intermediate	Mature
	Odor-Ammonia	1.0 - 2.0	0.1 - 1.0	0.1 >
Homogeneity	EC (dS m ⁻¹)	15 - 20	10 - 15	10 >
	Water content (%)		95 <	
	TDS (%)		0.3 >	
	BOD (ppm)	6,000 - 4,000	2,000 - 4,000	2,000 >
	SS (ppm)	15,000 - 10,000	10,000 - 5,000	5,000 >

따라서 돈분액비의 기준은 기존 농촌진흥청이 정한 가축분뇨규격액비의 기준인 비료가치, 위해성, 부숙도 품질 기준에서 비효성과 위해성, 그리고 부숙도 품질기준 대신에 균질성으로 구분하여 기준을 설정할 수 있다. 이는 돈분액비가 가지는 질소, 인산, 칼륨과 같은 양분적 특성을 고려한 비효성, 그리고 작물생육에 영향을 미칠 뿐만 아니라 인체에까지 영향을 주는 중금속을 고려한 위해도, 그리고 시비 시 고려사항인 pH, EC 그리고 토양물리성에 영향을 주는 Na와 돈사 등 청소수에서 유래하며 직접 식물체 백화현상에 기여하는 염소(Cl) 성분 등에 대한 기준 설정이 필요하다.

따라서 돈분액비의 기준은 비효성, 그리고 돈분액비를 사용하였을 때 작물에 대한 안정성을 우선한 위해성과 사용자가 돈분액비를 토양에 처리 시 기준이 되는 균질성 항목에 대하여 기준을 설정하여야 한다. 따라서 돈분액비의 공정규격은 기존의 비료공정 규격(질소전량, 인산전량, 칼리전량의 성분 합계량 0.3% 이상) 대신에 생산된 돈분액비의 각각의 비효성분인 각각의 질소, 인, 칼륨의 함량, 위해성 여부, 그리고 pH와 EC 등에 기준만을 설정하는 방안이 적절하다. 이에 따른 돈분액비 공정규격 기준 제시안은 Table 11과 같다.

Table 11. Proposed guidelines of quality standards for the liquid swine manure fertilizer.

Factor	Evaluation	Unit	Remarks
Fertility	N	Total Soluble Organic	Contents should be verified
	P	Total soluble P	
	K		
Toxicity	Heavy metal	(mg kg ⁻¹)	Heavy metals: As, Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni
Homogeneity	pH		Less than 7.3
	EC	(dS m ⁻¹)	Influence of salinity on crop growth
	Na	(mg L ⁻¹)	Deterioration of soil physical property
	Cl	(mg L ⁻¹)	Toxicity for crop growth

Conclusion

1. 돈분액비가 갖춰야 할 기본적 기준은 시행규칙 제3조에 따른 비료 공정규격설정 및 지정에 따른 부속유기질비료 중 가축분뇨발효액에 대한 비료 공정규격 설정기준에 준하여 비료가치, 유해성, 균질성으로 기준방안을 제시 할 수 있다.
2. 가축분뇨발효액의 공정규격과 돈분액비의 특성을 비교 평가한 결과, 조사된 전체 101개 시료 중 비료공정 규격(질소전량, 인산전량, 칼리전량의 성분 합계량 0.3% 이상)을 충족하는 시료는 45개로 전체 시료의 약 44.6%이며 0.2% 이상은 약 74.3%, 그리고 0.1% 이상은 전체시료의 약 96%를 차지하였다. 그리고 부속도별 비료공정 규격에 부합되는 돈분액비의 비율은 부속이 진행됨에 따라 급격히 감소하며 완숙의 경우 약 26.3% 정도만 규격에 부합되는 것으로 조사되었다.
3. 질소전량, 인산전량, 칼리전량의 성분 합계량 0.3% 이상에 대한 칼륨의 기여율은 미숙의 경우칼륨의 기여율은 약 46.2%에서 중숙과 부속단계로 진행됨에 따라 53.9%와 80.4%에 증가하였다. 따라서 비효도에 미치는 성분 기여율은 고려 시 비효도 0.3% 이상에 대한 재 기준설정이 필요하다.
4. 기존의 돈분액비내 중금속함량 조사결과와 조사된 전체 101개 시료 중 중금속 기준을 초과하는 중금속은 구리 1종, 그리고 아연과 니켈은 각각 2종으로 조사되었다. 따라서 돈분액비의 유해성과 관련한 문제는 거의 없을 것으로 판단된다.
5. 대부분의 돈분액비는 비료공정 규격을 충족하지 못하므로 비료가치 기준인 N-P-K 전량의 합이 0.3% 이상과 관련한 기준은 재설정이 필요하다. 따라서 돈분액비의 공정규격은 기존의 비료공정 규격(질소전량, 인산전량, 칼리전량의 성분 합계량 0.3% 이상) 대신에 생산된 돈분액비의 각각의 비효성분인 각각의 질소, 인, 칼륨의 함량, 유해성 여부, 그리고 pH와 EC 등에 기준만을 설정하는 방안이 적절하다.
6. 돈분액비 기준 제시안은 비효성, 유해성, 그리고 균질성 세가지로 구분하여 기준을 설정한다.

Acknowledgements

This research was conducted with the support of a research grant from Chungnam National University in 2016.

References

- Beckwith CP, Cooper J, Smith KA. 1998. Nitrate leaching loss following application of organic manures to sandy soils in arable cropping. I. Effects of application time, manure type, overwinter crop cover and nitrification inhibition. *Soil Use and Management* 14:123-130.

- Chung DY. 2015. Investigation of standards for a liquid animal manure depending on domestic animal manure management facilities in Korea as project. pp. 25-50.
- Hwang JJ. 2005. Effects of liquid pig manure application on soil chemical properties and potato growth. MS dissertation, Cheju National University, Jeju, Korea.
- Hwang KS, Ho QS, Yoo BS. 2004. Aspects of nutrient transportation after animal manure application in Jeju field soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 23:133-137.
- Jeon WT, Park HM, Park CY, Park KD, Cho YS, Yun ES, Kang UG. 2003. Effects of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 36:333-343.
- Kang BG, Kim HJ, Lee GJ, Park SG. 2004. Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 37:388-395.
- Kang JM. 2007. Heavy metal contents in commercial feed and pig manure in Korea. *Korean Agricultural Products Quality Management Service Annual Research Report*.
- Kim MC, Song ST, Hwang KJ. 2004. Evaluation of slurry, urine and fermented liquid manure at pig farms in Jeju area regarding chemical composition and pollution.
- KOSIS. 2014. National statistics of animal manure. Assessed in <http://www.index.go.kr/> on 2014.
- Lee JH, Go WR, Kunhikrishnan A, Yoo JH, Kim JY, Kim WL. 2011. Chemical composition and heavy metal contents in commercial liquid pig manures. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 44: 1085-1088.
- Lee MG. 2015. Recycling and Production of liquid animal manure fertilizer. Assessed in <http://graduate.sangji.ac.kr/> on 2015.
- NAAS. 2010. Standard of fertilizer application rate for crops. Suwon, Korea. [in Korean]
- Nam JJ and Lee HH. 2012. Needs for the establishment of new standards for utilization of anaerobic animal manure liquid. pp. 41-53. *Korean National Committee on Irrigation and Drainage*.
- Ra CS. 2013. Solutions and problems for livestock manure. Assessed in http://www.gsnj.re.kr/symposium2013/file/symposium2013_hwp_3_01.pdf on 2013.
- RDA (Rural Development Administration). 2009. The study to re-establish the amount and major compositions of manure from livestock. *RDA Annual Research Report*.
- RDA (Rural Development Administration). 2010. Establishment and designation of official standard of fertilizers. Notification No. 2010-8 of RDA. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2013. Establishment and designation of official standard of fertilizers. Notification No. 2013-5 of RDA. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2014. Establishment and designation of official standard of fertilizers. Notification No. 2014-6 of RDA. [in Korean]
- Jokela WE. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects of corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal* 56:148-154.
- NIAST. 1999. Solid and liquid composting of animal manure and its utilization. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea. [in Korean]
- Summer ME, Miller WP. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. In D. L. Sparks et al.(ed). *Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. pp. 1201-1230. SSSA Book Ser. 5, SSSA and ASA, Madison, WI.
- USEPA (U. S. Environmental Protection Agency). Allison, F.E. 1966. The fate of nitrogen applied to soil. *Advances in Agronomy* 18:219-258.
- Yun SG, Yoo SH. 1996. Behavior of NO₃-N derived from pig manure in soil. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 29:353-359.