

국내 가축분뇨 부숙액비의 비료성분 및 중금속 함량 분포특성

강택원, Joshua Nizel Halder, 김수량*, 운영만**, 이명규†

상지대학교 환경공학과, 상지대학교 산학협력단*, 한경대학교 바이오가스센터**

Nutrient Composition and Heavy Metal Contents of Matured Livestock Liquid Fertilizer in Korea

Tak-Won Kang, Joshua Nizel Halder, Soo-Ryang Kim*, Young-Man Yoon*, Myung-Gyu Lee†

Dept. of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju, 26339, Korea
Industry-Academic Cooperation Foundation, Sangji University, Wonju, 26339, Korea*
Biogas Research Center, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea**

(Received: Oct. 23, 2017 / Revised: Dec. 14, 2017 / Accepted: Dec. 15, 2017)

ABSTRACT: From July to August 2013, liquid fertilizers produced at 180 liquid manure public resource centers and liquid fertilizer distribution centers were collected. The maturity of liquid fertilizers was measured using the mechanical maturity measurement device. The nutrient contents (nitrogen, phosphorus, and potassium), physicochemical properties, and heavy metal content of 46 liquid fertilizers were investigated in this study. We used a matured liquid fertilizer with a total number of 46, with number of 7 for Gyeonggi-do, 3 for Chungcheongbuk-do, 2 for Chungcheongnam-do, 13 for Jeollabuk-do, 5 for Jeollanam-do, 3 for Gyeongsangbuk-do, 11 for Gyeongsangnam-do, 1 for Daejeon, and 1 for Jeju-do. The physicochemical properties were as follows: pH 8.0, EC 11.6 mS/cm, SS 5,188 mg/L, TKN 847mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 317 mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 170 mg/L, Org-N 360 mg/L, TP 193 mg/L, and TK 2,557 mg/L. The total amount of NPK was 3,596 mg/L. The total amount of N-P-K was as follows: a number of 2 at 1,000-2,000 mg/L (4%), a number of 17 at 2,000-3,000mg/L (37%), a number of 11 at 3,000-4,000mg/L (24%), and a number of 16 at 4,000mg/L or more (35%). Thus, 41% of the mature liquid fertilizers were below the official standard of commercial fertilizer (livestock manure liquid fertilizer) (0.3% of the total amount of N-P-K). Most of the N-P-K total amount showed non-uniform characteristics of low nitrogen and low phosphoric acid due to the potassium concentration. The average heavy metal content in the matured liquid fertilizer was as follows: As, not detected; Cd, 0.01 mg/kg; Hg, not detected; Pb, 0.02 mg/kg; Cr, 0.14 mg/kg; Cu, 6.89 mg/kg; Ni, 0.44 mg/kg; and Zn, 20.70 mg/kg. Thus, the official standard of commercial fertilizer was satisfied in all categories, indicating a safe level.

Keywords: Livestock manure, Liquid fertilizer, Maturity degree, Nutrient contents, Heavy Metal

초 록: 2013년 7월~8월 동안 전국 가축분뇨 공동자원화센터 및 액비유통센터 중 180개소에서 생산된 액비를 수집하였으며, 기계적 부숙도 측정기를 통하여 액비의 부숙도 판정을 수행하였다. 본 연구에서는 수집된 180개의 액비 중에서 부숙으로 판정된 46개의 샘플을 이용하여 비료성분 (질소, 인, 칼륨) 및 이화학적 성분과 중금속

† Corresponding author(e-mail : mglee@sangji.ac.kr)

함량에 대하여 조사하였다. 조사대상 액비는 경기도 7점, 충청북도 3점, 충청남도 2점, 전라북도 13점, 전라남도 5점, 경상북도 3점, 경상남도 11점, 대전광역시 1점, 제주도 1점으로 전체 46점의 부숙 액비를 이용하였으며 부숙액비의 이화학적 성상 평균은 pH 8.0, EC 11.6 mS/cm, SS 5,188 mg/L, TKN 847 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 317 mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 170 mg/L, Org-N 360 mg/L, TP 193 mg/L, TK 2,557 mg/L, NPK 성분 합계량은 3,596 mg/L로 조사되었다. NPK 성분 합계량의 경우 1,000~2,000 mg/L에서 2점 (4%), 2,000~3,000 mg/L에서 17점 (37%), 3,000~4,000 mg/L에서 11점 (24%), 4,000 mg/L 이상의 범위에서 16점 (35%)으로서 부숙 액비의 41%가 비료공정규격 (가축분뇨발효액)의 기준(NPK 성분 합계량 0.3%)에 미달하는 것으로 나타났으며, 성분의 대부분이 칼륨농도에 기인하는 저질소·저인산의 불균일한 비효성분 특성을 확인할 수 있었다. 부숙 액비의 중금속함량 평균은 As 불검출, Cd 0.01 mg/kg, Hg 불검출, Pb 0.02 mg/kg, Cr 0.14 mg/kg, Cu 6.89 mg/kg, Ni 0.44 mg/kg, Zn 20.70 mg/kg로 나타났으며, 모든 항목에서 비료공정규격의 기준을 만족하여 안전한 수준인 것으로 판단되었다.

주제어: 가축분뇨, 액비, 부숙도, 비료성분, 중금속

1. 서론

가축분뇨에는 질소 (N)를 비롯한 인산 (P_2O_5), 칼리 (K_2O) 등 3대 비료성분과 함께 각종 미량물질이 다량 함유되어 있으므로 농지환원 시에 토양 중 유기물, 양이온 치환용량 및 유효인산이 증가되며, 작물에 각종 영양소와 생육 촉진물질의 공급은 물론 토양 입단형성, 완충능 증대, 킬레이트기능, 생물상 증진의 효과를 얻을 수 있다¹⁾. 이처럼 가축분뇨의 자원화는 토양환경의 개선과 친환경 자연순환 농업의 추진을 가능케하나, 적절하게 관리되지 않을 경우 점오염원 또는 비점오염으로 작용하여 수질·대기·토양환경에 큰 악영향을 미치므로, 가축분뇨의 적절한 관리 및 이용을 위해서는 축종 별 발생형태 및 물리·화학적 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다.

환경적 측면에서의 가축분뇨는 퇴·액비의 과다 사용 및 축사나 운동장, 또는 그 주변에 방치된 분뇨 등이 강우 시 유출되는 비점오염원의 특성을 가지고 있으며^{2),3),4)} 축사에서 발생하는 강우 유출수는 공공처리시설의 방류수 수질기준과 비교할 때 7~28 배의 고농도로 발생되어 하천으로 유출된다고 보고하고 있다⁵⁾. 이처럼 가축분뇨 유래 비점오염원은 국가적 차원의 모니터링 뿐만 아니라 오염물 과부하에 따른 수계 및 토양환경의 자정작용 한계상실에 대한 대책 마련이 필요한 실정이다. 더욱이 최근 식량에 대한 패러다임이 수량 및 품질에서 안전성 및

기능성으로 변화되는 시점이며, 이에 따라 안전 농산물 생산에 대한 국민의 관심증대와 함께 농산물 생산에 투여되는 퇴비, 액비 등 농업 자재의 안전성 확인이 필수적이다. 농산물 안전성과 관련하여 우리나라 뿐 만 아니라, CODEX 및 EU 국가 등에서 농경지 토양 등 농업환경 및 농산물에 대한 중금속 등 유해물질의 규제기준이 확대되고 있다⁶⁾.

적정하게 관리된 가축분뇨 자원화는 환경에 미치는 부정적인 영향을 원천적으로 타개하고, 고품질의 퇴·액비와 같은 유익한 비료로 기능하여 친환경농축산업 및 바이오가스화 등 자원순환에 기여할 수 있다. 그동안 정부 관련 부처에서는 가축분뇨에 대한 적절한 관리 및 최적의 이용에 관하여 다양한 대책수립과 정책 마련, 지속적인 지원을 하고 있으며, 최근에는 친환경농업의 일환으로 화학비료 사용량을 줄이는 반면, 가축분뇨 퇴·액비를 비롯한 유기질비료 사용량을 늘리려는 정책을 적극적으로 시행하고 있다⁷⁾. 2013년에는 농림축산식품부의 ‘중장기 가축분뇨 자원화 대책’ 수립에 따라서 자원화 처리에 필요한 계획들을 마련하였으며, 전문 관리기술 지원기관 설립 등을 통한 사후관리 체계 및 개선방안까지 구축하였다. 구체적으로는 가축분뇨 자원화와 관련된 처리시설, 품질관리, 사후관리, 제도관리로 구분하여 각 항목에 대한 문제점을 도출하고 이에 대한 대안을 모색하였다. ‘처리시설’에 대한 문제점으로는 공동자원화시설의 고품질화 및 액비유통센터의 품질관리, 에너지화시설 및 정화시설의 보완

필요성, 방류수 수질기준 등의 환경규제의 강화 등이며, ‘사후관리’ 및 ‘제도정비’에서는 각각 축산환경(가축분뇨) 관리 전문가, 전문교육기관, 관리기구의 부재에 대한 애로사항 및 가축분뇨법 등 관련제도 정비의 부족, R&D과제 발굴과 지원 미흡을 주요 문제점으로 보고하고 있다. 특히 ‘품질관리’에 대한 문제점으로는 미부숙 액비살포로 인한 경중농가의 사용기피 현상, 악취민원, 개별농가의 액비품질 기준 미흡 등을 가장 큰 문제점으로 분석하고 있으며, 같은 맥락으로 가축분뇨 액비의 이용 활성화 및 품질규격을 설정하기 위한 다양한 연구로서 가축분뇨 액비의 이화학적 특성비교 연구⁸⁾, 액비품질인증제도의 목표요소 도출⁹⁾, 가축분뇨 액비의 이화학적 특성과 상관성 연구¹⁰⁾, 액비품질인증기준 방안의 도출¹¹⁾ 등이 수행된바 있다.

본 연구는 향후 친환경 경축순환 및 가축분뇨 유래 잉여양분 관리의 기초가 되는 액비품질인증기준 설정의 기초자료로 활용하고자 국내에서 유통되는 돈분뇨 액비의 비효성분 및 중금속 함량 특성을 조사하였다. 본 연구에서 수집된 180개의 액비샘플 중 기계적 부숙도 판정기에 의해 부숙으로 판정된 액비샘플 (이하 부숙액비) 46개를 이용하여 비효성분(질소, 인, 칼륨) 및 이화학적 성상과 중금속 함량에 대하여 조사하였으며, 이는 가축분뇨 액비의 품질인증과 유통활성화 및 잉여양분관리를 위한 기초자료 수집의 일환으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사방법

2013년 7월~8월 동안 전국 가축분뇨 공동자원화센터 및 액비유통센터 중 180개소에서 생산·유통되는 액비샘플을 수집하였으며, 액비의 기계적 부숙도 측정방법을 통하여 액비의 부숙도 판정을 수행하였다. 기계적 부숙도 판정기에 의해 부숙으로 판정된 액비샘플 46개를 이용하여 비효성분(질소, 인, 칼륨) 및 이화학적 성상과 중금속 함량에 대하여 조사하였다.

2.2. 시료 분석

수집된 액비샘플의 수소이온농도 (pH), 전기전도도 (EC, Electrical Conductivity), 부유물질(SS, Suspended Solid), 총질소(TKN, Total Kjeldahl Nitrogen), 암모니아성질소(NH₄-N), 질산성질소(NO₃⁻-N), 총인(TP, Total Phosphorus), 칼륨(K)을 분석하였다. pH, EC는 각각 수질다항목측정기(YSI 556MPS, USA)를 이용하였고, SS, TP, TK는 Standard Method (APHA, AWWA, WEF, 2012)¹²⁾에 따라 분석하였다. TP 분석에는 분광광도계(UV/Visible Spectrophotometer, OTIZEN POP, Mecasis, Korea)를 이용하였으며, TKN, NH₄-N과 NO₃⁻-N은 kjeldahl method (JSWA, 1984)¹⁴⁾에 따라 분석하였다. 중금속 (As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) 함량은 ICP-MS (Spectroblue FMX36, SPECTRO, Germany)를 이용하여 측정하였으며, 수은 (Hg) 함량은 US EPA method 7476 (US EPA, 1998)에 근거하여 자동수은분석기(Mercury Analyzer, NIC RA-5, USA)를 이용하여 분석하였다.

또한 수집한 가축분뇨 액비의 부숙도는 기계적 부숙도 판정기 (LMQ2000, Korea Spectral Products, Korea)를 이용하여 분석하였다. 기계적 부숙도 측정기는 분광광도계를 이용한 색도 (UV/VIS 대역) 측정과 암모니아 (NH₃) 및 황화수소 (H₂S)의 가스농도 측정부로부터 얻은 액비의 색도 및 가스상 데이터를 분류 모델링과 결정 모델링에 적용하여 통계적 방법으로 액비의 부숙도를 결정한다. 색도와 가스농도 측정을 중심으로 ‘액비샘플링 → 색도분석 → 악취분석 (NH₃, H₂S) → 통계처리 → 분류모델링 적용 → 부숙정도 결정 → 분석결과 출력 → 분석완료’의 순서에 따라 측정하고, 항목별 점수를 합산하여 부숙, 중숙, 미숙으로 신속하게 판정하는 장치이다.¹³⁾

2.3. 통계분석

통계분석은 SPSS (Version 13.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA) 프로그램을 이용하여 피어슨 상관계수 (Pearson Correlation Coefficient) 분석을 통해 항목 간 상관관계를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 부숙 액비의 비효성분 및 화학성 분포

본 연구의 조사대상 액비는 지역별로 경기도 7점, 충청북도 3점, 충청남도 2점, 전라북도 13점, 전라남도 5점, 경상북도 3점, 경상남도 11점, 대전광역시 1점, 제주도 1점으로 전체 46점의 부숙 액비를 이용하였으며, 이화학적 성상의 평균과 화학성 분포특성을 Table 1과 Fig. 1에 나타냈다. 부숙 액비의 이화학적 성상 평균은 pH 8.0, EC 11.6 mS/cm, SS 5,188 mg/L, TKN 847 mg/L, NH₄-N 317 mg/L, NO₃⁻-N 170 mg/L, Org-N 360 mg/L, TP 193 mg/L, TK 2,557 mg/L, NPK 합계량은 3,596 mg/L로 조사되었다.

가축분뇨 ‘액비’는 「가축분뇨 관리 및 이용에 관한 법률」 제2조 (정의)에 의해 ‘가축분뇨를 액체상으로 발효시켜 만든 비료성분이 있는 물질로서 농림축산식품부령이 정하는 기준에 적합한 것’으로 법률상 정의하고 있다. 「가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙」 제3조 (액비)에서는 ‘농림축산식품부령이 정하는 기준이란 「비료관리법」에서 고시한 비료공정규격 중 ‘가축분뇨발효비료(액)’의 공정규격을 말한다. 다만, 질소전량의 최소함유량은 0.1 퍼센트 이상이어야 한다’로 규정하여 액비의 정의를 보조하고 있다. 즉, 현행의 법률적 액비 성분기준은 「비료관리법」, 「비료 공정규격설정 및 지정」의 ‘부산물비료’ 중 ‘가축분뇨발효액’을 의미하는 것이며, 이 기준에는 규격의 함량 (NPK 성분 합계량), 함유할 수 있는 유해성분의 최대량 (중금속 8종 및 병원성미생물 2종) 및 그 밖의 규격 (염분, 수분함량)이 제시되어 있다. 또한 비효성분 즉 NPK 성분 합계량을 0.3% 이상으로 명시하고 있다.

Fig. 2에는 부숙 액비의 농도분포에 따른 비효성분의 함량을 비교하였다. TKN의 경우 부숙 액비 46점 중 500 mg/L 미만이 17점 (37%), 500~1,000 mg/L이 16점 (35%)로 전체의 약 72%가 1,000 mg/L 미만의 농도 분포를 나타내어, 조사된 액비샘플의 대다수가 「가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙」에서 제시하는 질소전량 최소함유량 0.1%에는 만족하지 못하는 것으로 조사되었다. 일반적으로 양돈 분뇨 등 가축분뇨의 호기성 처리에 따라 액상 내 질

Table 1. Physicochemical Properties of Matured Liquid Fertilizer (n = 46)

(Mean±S.D.)

Item		Matured liquid fertilizer
pH	Mean	8.0±0.5
	Max.	9.0
	Min.	7.0
EC (mS/cm)	Mean	11.6±3.7
	Max.	19.1
	Min.	3.4
SS (mg/L)	Mean	5,188±6,115
	Max.	36,400
	Min.	460
TKN (mg/L)	Mean	847±637
	Max.	3,640
	Min.	158
NH ₄ -N (mg/L)	Mean	317±323
	Max.	1,260
	Min.	N.D.
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Mean	170±256
	Max.	1,190
	Min.	N.D.
Org-N (mg/L)	Mean	360±293
	Max.	1,610
	Min.	14
TP (mg/L)	Mean	193±210
	Max.	1,267
	Min.	20
TK (mg/L)	Mean	2,557±1,043
	Max.	8,420
	Min.	511
NPK (mg/L)	Mean	3,596±1,463
	Max.	8,151
	Min.	1,150

*N.D.: Not Detected

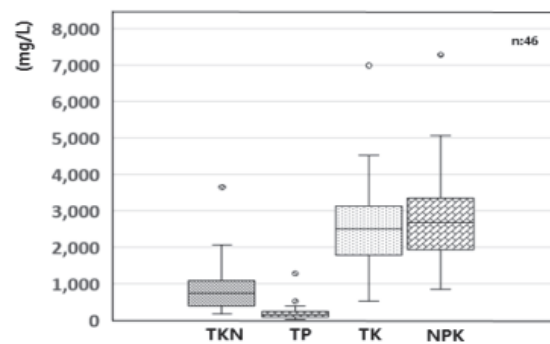
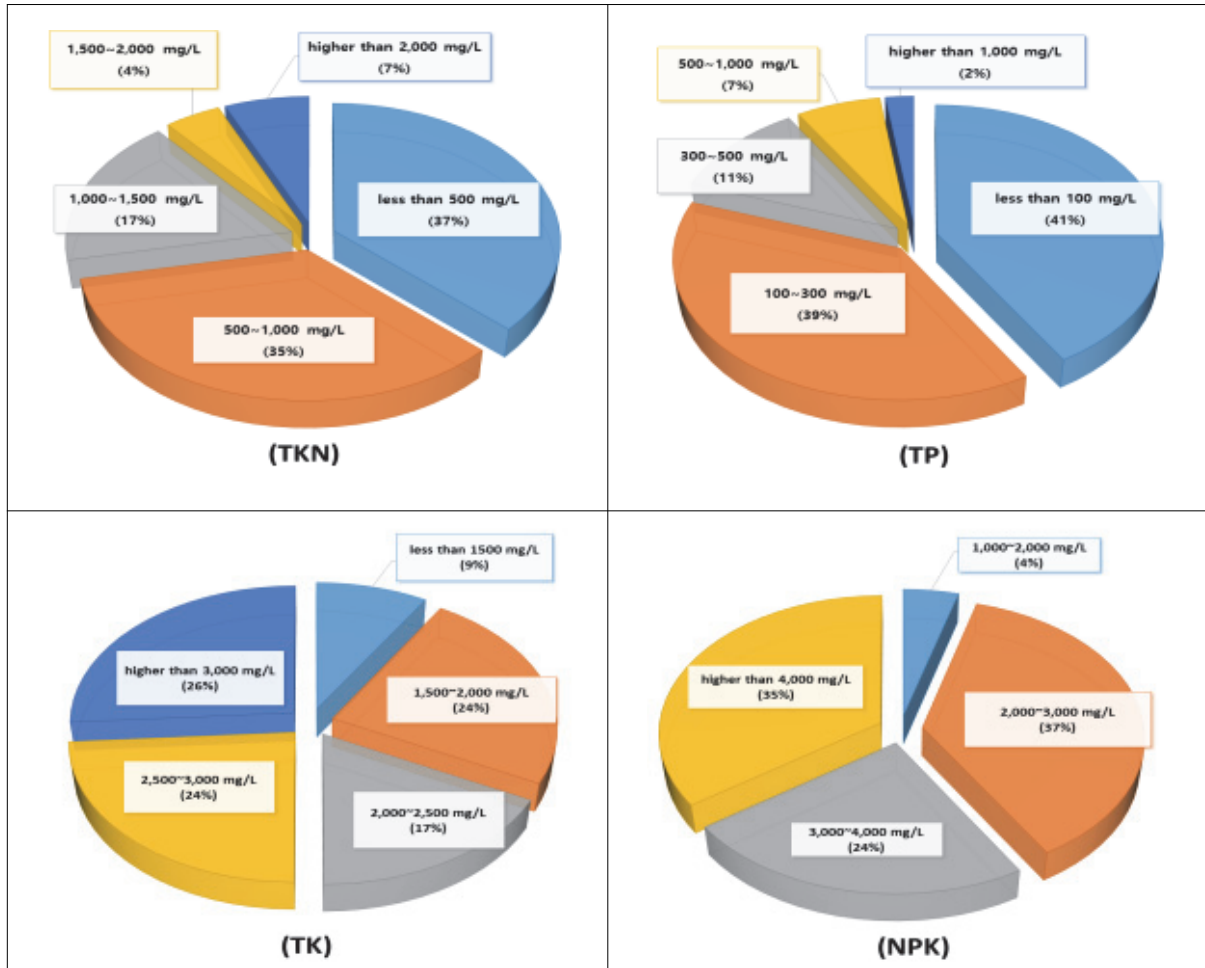


Fig. 1. The nutrient contents of matured liquid fertilizer (n = 46)

Fig. 2. Comparison of nutrient contents for matured liquid fertilizer according to their distribution of concentration.

(n = 46)



소의 농도는 상당부분 감소 (암모니아 휘산)되며^{15),16)} 액비의 제조과정이나 제조 후 시용 시 악취의 발생을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. Kim et al. (2005)¹⁷⁾은 액비 저장조를 운영하는 조사 대상 농가의 21%가 악취로 인한 민원 경험이 있으며, 액비 살포시 악취 발생을 감소시키는 목적으로 폭기 처리하는 농가가 57%라고 보고하였는데, 이처럼 액비화공정을 운영하는 현장에서는 장기간 폭기 처리함으로써 악취발생을 최소화하나 불가피하게 액비 내 질소성분의 농도는 현저히 감소되는 것으로 사료된다.

TP의 경우는 100 mg/L 미만인 19점 (41%), 100~300 mg/L 이 18점 (39%)로 전체의 약 80%가 300 mg/L의 저농도로 분포하는 것을 조사되었으며, TK의 경우는 1,500 mg/L 미만인 4점 (9%),

1,500~2,000 mg/L에서 11점 (24%), 2,000~2,500 mg/L에서 8점 (17%), 2,500~3,000 mg/L에서 11점 (24%), 3,000 mg/L이상의 범위에서 12점 (26%)로 다양하게 분포하였으나, 비교적 고농도인 2,000 mg/L 이상에서 약 67%의 농도분포 특성을 나타냈다.

NPK 성분 합계량의 경우에는 1,000~2,000 mg/L에서 2점 (4%), 2,000~3,000 mg/L에서 17점 (37%), 3,000~4,000 mg/L에서 11점 (24%), 4,000 mg/L 이상의 범위에서 16점 (35%)으로 조사대상 액비 중 41%가 비료공정규격 ‘가축분뇨발효액’의 규격의 함량(NPK의 성분 합계량 0.3%)에 미달하는 것으로 나타났다. NPK 성분 합계량의 대부분이 칼륨농도에 기인하는 저질소·저인산의 불균일한 비효성분 특성을 확인할 수 있었다.

Table 2. Correlation Coefficients Between Major Physicochemical Characteristics of Matured Liquid Fertilizer (n = 46)

	pH	EC	SS	TKN	NH ₄ -N	NO ₃ ⁻ -N	Org-N	TP	TK
pH	1								
EC	0.260	1							
SS	-0.082	0.052	1						
TKN	0.357*	0.475**	0.643**	1					
NH ₄ -N	0.720**	0.412**	0.053	0.673**	1				
NO ₃ ⁻ -N	-0.115	0.345*	0.512**	0.711**	0.114	1			
Org-N	0.082	0.279	0.891**	0.812**	0.261	0.546**	1		
TP	-0.079	0.082	0.933**	0.610**	0.013	0.588**	0.799**	1	
TK	0.095	0.464**	0.253	0.260	-0.006	0.214	0.384**	0.216	1

*, ** Significant at $p < 0.05$, $p < 0.01$ respectively

3.2. 부숙 액비의 특성 인자간 상관관계

Table 2에는 부숙 액비의 화학적 특성 인자간의 상관도를 분석하였다. 부숙 액비에서 pH는 TN과 95% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 보였으며, NH₄⁺-N과 99% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 보였다. EC는 TN, NH₄⁺-N, K와 99% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 보였으며, NO₃⁻-N과는 95% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 보였다. 또한 SS는 TN, NO₃⁻-N, TP와 99% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 보였으며, TN은 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, TP와 99% 신뢰수준에서 유의성 있는 상관관계를 나타내었다. 따라서 EC, TN, NH₄⁺-N 항목 간에 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. Halder et al. (2017)¹⁸⁾은 국내 가축분뇨 부숙 액비 22종, 중숙 액비 25종, 미부숙 액비 19종의 시료 (총 66개 시료)를 분석하고 액비의 화학성 인자들 간의 상관성 분석을 실시한 바 있다. 이때, 부숙 액비, 중숙 액비 및 미부숙 액비에서 EC와 NH₄⁺-N, Org-N, NO₃⁻-N 항목 간의 유의성 있는 상관관계를 확인하였다. 이러한 보고는 본 연구에서 부숙 액비의 EC, TN, NH₄⁺-N 항목 간 높은 상관관계가 도출된 것과 유사한 결과를 보여주고 있으며, EC 또는 TN 또는 NH₄⁺-N 항목 중 하나만으로도 액비의 부숙도 판정이 가능하다는 것을 의미한다. 특히 EC의 경우 액비화 과정에서 간편하고 저렴한 측정 장비로 모니터링이 가능하다는 점에서 액비의 부숙도를 관리하는데 효율적인 관리 인자로 판단된다.

3.3. 부숙 액비의 중금속 함량 특성

부숙 액비의 중금속의 평균 함량과 「비료공정규격설정 및 지정」의 ‘가축분뇨발효액’의 중금속함량 기준 비교를 Table 3에 나타냈다. 부숙관정 액비의 중금속함량 평균은 As 불검출, Cd 0.01 mg/kg, Hg 불검출, Pb 0.02 mg/kg, Cr 0.14 mg/kg, Cu 6.89 mg/kg, Ni 0.44 mg/kg, Zn 20.70 mg/kg로 나타났으며, 분석결과 부숙 액비 샘플의 중금속함량은 전체 항목에서 비료공정규격의 기준을 만족하여 안전한 수준인 것으로 판단되었다. 이는 액비 사용에 따른 농산물로의 중금속 전이 및 축적에 대한 기초자료와 액비품질인증의 중금속 (위해성) 허용기준설정의 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 사료되며, 향후 친환경 경축순환의 농산물 안전성 향상을 위하여 가축분뇨 액비의 지속적인 조사와 품질의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

자원화 혹은 유통되고 있는 가축분뇨 액비의 국내 이용현황을 미루어 볼 때 크게 ①자가처리 (농가 단위 또는 비료공정규격의 가축분뇨발효액) ②위탁처리 (공동자원화센터, 액비유통센터) ③상품화 단계로 구분할 수 있다. 가축분뇨의 통합관리 측면에서 액비품질인증의 평가 및 상품화, 고품질화 및 고농도화, 비효성분의 균질화 방안에 대해서는 액비

Table 3. Average and Ranges of Heavy Metal Concentrations Analyzed from Matured Liquid Fertilizer, Comparing with Official Standard for Heavy Metal Concentrations of Commercial Fertilizer in Korea (n = 46)

(Mean±S.D.)

Item		Matured liquid fertilizer	Official standard of commercial fertilizer
As (mg/kg)	Mean	N.D.	5
	Max.	N.D.	
	Min.	N.D.	
Cd (mg/kg)	Mean	≤0.01±0.01	0.5
	Max.	0.03	
	Min.	N.D.	
Hg (mg/kg)	Mean	N.D.	0.2
	Max.	N.D.	
	Min.	N.D.	
Pb (mg/kg)	Mean	≤0.02±0.02	15
	Max.	0.14	
	Min.	N.D.	
Cr (mg/kg)	Mean	0.14±0.22	30
	Max.	1.24	
	Min.	N.D.	
Cu (mg/kg)	Mean	6.89±6.48	50
	Max.	27.39	
	Min.	N.D.	
Ni (mg/kg)	Mean	0.44±0.18	5
	Max.	1.07	
	Min.	0.11	
Zn (mg/kg)	Mean	20.70±22.40	130
	Max.	88.56	
	Min.	N.D.	

*N.D.: Not Detected

이용에 있어서 가장 기본적인 조건인 일정수준의 비료성분 (비효성) 보장과 함께, 적정한 부숙 과정을 통한 악취문제의 해결 (안정성), 가축사육시설은 물론 토양과 작물로의 병원성미생물 및 바이러스 오염에 대한 안전성이 확보되어야 한다. 또한 농가마다 사료 종류 및 다양한 사양관리 방식과 환경요인으로 분뇨의 성상은 각각 다를 수밖에 없으며, 액비화 시설의 종류 및 공법 또한 다양하기 때문에 자원화시설에서 생산되는 액비의 성분비를 균일하게 맞추기란 불가능하다. 따라서 일정한 액비제품을 생산할 수 있는 시스템 및 매뉴얼의 통합적인 관리와 수익성 (경제성)을 확보할 수 있는 공법의 선정이 필요하며, 액비를 사용하는 소비자가 확인할 수 있도

록 제품에 성분표시를 필수적으로 도입해야 불균일한 성분비의 문제를 해소할 수 있을 것으로 사료된다. 현재 가축분뇨 퇴비의 경우에는 등급화에 따라 고품질의 비료로 생산 및 판매되는 사례가 있으나 액비의 경우 일부 선도적인 시설에서 고품질로 생산되어도 상품화되어 판매되고 있는 경우는 찾아보기 어려운 실정이나 향후 가축분뇨 액비 또한 품질을 기능적 요소를 향상시킨 상품화로서의 전개가 예상되므로 그 기준과 목표요소에 대한 설정 즉, 액비품질기준에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2013년 전국 가축분뇨공동자원화센터 및 액비유통센터 중 46점의 부숙 판정된 국내 유통 액비에 대하여 이화학적 성상, 비료성분 (N, P, K) 및 중금속

8종을 조사하였으며, 향후 친환경 경축순환 및 가축 분뇨 유래 잉여양분 관리의 기초가 되는 액비품질 인증기준 설정의 기초자료로서 활용하기 위한 목적으로 수행하였다. 연구 결과에 대한 주요내용은 다음과 같다.

첫째, 부숙액비 46점의 이화학적 성상 평균은 pH 8.0, EC 11.6 mS/cm, SS 5,188 mg/L, TKN 847 mg/L, NH₄-N 317 mg/L, NO₃⁻-N 170 mg/L, Org-N 360 mg/L, TP 193 mg/L, TK 2,557 mg/L로 조사되었다.

둘째, TKN의 경우 조사대상 액비의 72%가 1,000 mg/L 미만의 농도 분포를 나타내어, 「가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙」에서 제시하는 질소 전량 최소함유량 0.1%에 만족하지 못하였다. 또한 TP는 80%가 300 mg/L의 저농도로 분포하였으며, TK의 경우는 비교적 고농도인 2,000 mg/L 이상에서 약 67%의 농도분포 특성을 나타냈다.

셋째, NPK 성분 합계량은 조사대상 액비의 41%가 비료공정규격 중 ‘가축분뇨발효비액’의 규격의 함량(NPK 성분 합계량 0.3%)에 미달하였으며, NPK 성분 합계량의 대부분이 칼륨농도에 기인하는 저질소·저인산의 불균일한 비효성분 특성을 나타냈다.

넷째, 부숙 액비의 이화학적성상 간 상관관계는 ①pH와 NH₄-N, ②EC와 TKN, NH₄-N, TK, ③SS와 TKN, NO₃⁻-N, Org-N, TP, ④TKN과 TP, ⑤NO₃⁻-N와 TP, ⑥Org-N과 TP, TK 간에 통계적으로 유의한 높은 상관관계 (p<0.01)를 보였다.

다섯째, 부숙 액비의 중금속함량 평균은 As 불검출, Cd 0.01 mg/kg, Hg 불검출, Pb 0.02 mg/kg, Cr 0.14 mg/kg, Cu 6.89 mg/kg, Ni 0.44 mg/kg, Zn 20.70 mg/kg로 나타났으며, 분석결과 부숙 액비 샘플의 중금속함량은 전체 항목에서 비료공정규격의 기준을 만족하였다.

사 사

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품 기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업 (과제번호 316024-03)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. National Institute of Crop Science, “Development of Field Model for Cultivation Using Compost and Liquid Manure Based on Biomass Production (Final Report)”, Rural Development Administration, Wanju, Korea. (2014).
2. Lee, M. W. and Lee. Y. S., “A study on Runoff Characteristics of Non-point Pollutant with Rainfall Intensity-A case of fowls manure”, Journal of Wetlands Research, 11(1), pp. 91~97. (2009).
3. Lee, T. S., Lee, H. J., Hong, S. C. and Oh. D. M., “Effect of Non-Point Sources from Livestock composted Land-A case of cows manure”, Journal of Wetlands Research. 11(3), pp. 81~88. (2009).
4. Han, G. H. and Lee. Y. S., “A study on the estimation of TMDL run-off pathway coefficients for livestock resources”, Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association, 21(3), pp. 67~75. (2013).
5. Hwang. J.S., Park. Y. K. and Won. C. H., “Runoff Characteristics of Non-Point Source Pollution in Lower Reaches of Livestock Area”, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 34(8), pp. 557~565. (2012).
6. Go, W. R., Kim, J. Y., Yoo, J. H., Lee, J. H., Kunhikrishnan, A., Lee, J. M., Kim, K. H., Kim, D. H. and Kim. W. I., “Monitoring of heavy metals in agricultural soils from consecutive applications of commercial liquid pig manure”, Korean J. Environ. Agric., 31(3), pp. 217~223. (2012).
7. Yun, H. B., Kaown, D. I., Lee, J. S., Lee, Y. J., Kim, M. S., Song, Y. S. and Lee. Y. B., “The nitrogen, phosphate, and potassium contents in organic fertilizer”, Korean J. Soil Sci. Fert., 44(3), pp. 498~501. (2011).
8. Jeon, S. J., Kim, S. R., Rho, K. S., Choi, D. Y., Kim, D. K., and Lee. M. G., “Physicochemical characteristics of liquid fertilizer made from pig manure in Korea”, Journal of animal environmental science, 18(3), pp. 221~228. (2012).

9. Jeon, S. J., Kim, S. R., Kim, D. G., Rho, K. S., Choi, D. Y. and Lee. M. G., "Studies on the Main Level-Grading Factors for Establishment of LFQC (Liquid Fertilizer Quality Certification) System of Livestock Manure in Korea", The Korean society for Livestock housing and Environment, 18(2), pp. 111~122. (2012).
10. Jeon, S. J, Kim, S. R., Hong, I. G., Kim, H. J., Kim, D. K. and Lee. M. G., "A Comparative Study on Correlation Through Physiochemical Property Comparison of Livestock Liquid Fertilizer", Journal of animal environmental science, 19(2), pp. 163~168. (2013).
11. Jeon, S. J, Kim, S. R., Hong, I. G., Kim, H. J., Kim, D. K. and Lee. M. G., "A Study to Draw a Plan of Liquid Fertilizer Quality Certification Standards for Livestock Manure Management", Journal of animal environmental science, 19(2), pp. 183~190. (2013).
12. APHA, AWWA, WEF, "Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th ed.", American Public Health Association, Washington, USA. (2012).
13. Choi, D. Y., Kwag, J. H., Park, K. H., Song, J. I., Kim, J. H., Kang, H. S., Han, C. B., Choi, S. W. and Lee. C. S., "Study on the Development of Measuring System for Fermentation Degree of Liquid Swine Manure Using Visible Ray", The Korean society for livestock Housing and Environment, 16(3), pp. 227~236. (2010).
14. JSWA. "Sewage analysis standard methods", Japan Sewage Works Association, Tokyo, Japan. (1984).
15. Osada, T., Haga, K. and Harada. Y., "Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process", Original Research Article, Water Research, 25(11), pp. 1377~1388. (1991).
16. Boiran, B., Couton, Y. and Germon. J. C., "Nitrification and denitrification of liquid lagoon piggery waste in a biofilm infiltration-percolation aerated system (BIPAS) reactor", Bioresource Technology, 55(1), pp. 63~77. (1996).
17. Kim, T. I., Song, J. I., Joung, S., Jeong, J. W., Chung, E. S., Barroga, A. J., Yoo, Y. H., Yang, C. B. and Kim. M. K., "Investigation of the Condition of the Operation of the Livestock Liquid Manure Bin and Assessment of Malodorant Emissions", Journal of Livestock Housing and Environment, 11(3), pp. 189~196. (2005).
18. Halder, J. N., Kang, T. W., Yabe. M. and Lee, M. G., "Development of a quality certification and maturity classification method for liquid fertilizer by measuring electrical conductivity (EC) of swine manure", Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 62(1), pp. 205~212. (2017).