

우사의 깔짚 종류에 따른 발효 효율과 질소와 인의 형태 변화에 미치는 영향

유건상

안동대학교 응용화학과

(접수 2021. 12. 20; 게재확정 2022. 1. 11)

Fermentation Efficiency and Effect on Morphological Change of Nitrogen and Phosphorous with the Litter Types of Cowshed

Keon Sang Ryoo

Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 36729, Korea.

E-mail: ksr@andong.ac.kr

(Received December 20, 2021; Accepted January 11, 2022)

요 약. 안동에 있는 한 가축 농가의 우사에서 깔짚으로 왕겨와 톱밥으로 만든 퇴비를 각각 채취하였다. 분뇨의 발효 효율은 깔짚의 종류와 특성에 의해서 상당한 영향을 받으며 부영양화의 원인물질인 질소와 인을 저감시키기 위해 고려되어야 할 요소이다. 시료의 온도에 따른 중량 변화는 열중량 분석기(TG-DTA)로, 구성성분은 X-선 형광분석기(XRF)로 조사하였다. 빗물에 의해 퇴비에서 침출되어 나오는 아질산성질소(NO_2^-), 질산성 질소(NO_3^-), 인산이온(PO_4^{3-})과 암모니아성 질소(NH_4^+), 총인(T-P), 총질소(T-N)는 각각 각각 이온 크로마토그래프(IC)와 자외선/가시광선 분광기(UV/Vis spectrometry)를 이용하여 측정하였다. 결과적으로, 왕겨에 비하여 톱밥에서 분뇨의 발효 효율이 대략 3배 높게 나타났다. 우분의 발효성이 높을수록 암모니아성 질소의 탈질화 효율이 높았으며, 유기인도 인산이온으로 변화되었다. 덧붙여, 인산이온은 Ca와 Mg를 첨가하여 인산칼슘($\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)과 스트루루바이트($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 형태의 난용성염을 생성 시킴으로서 제거 할 수 있다.

주제어: 질소, 인, 깔짚, 퇴비, 스트루루바이트, 인산칼슘

ABSTRACT. The manure made of chaff and sawdust as litter was collected separately at a cowshed of a livestock farm in Andong city. The fermentation efficiency of excreta is greatly influenced by the type and characteristics of litter and a factor to be considered for reducing N and P, the causes of eutrophication. Changes in weight with temperature and constituents of sample were examined using TG-DTA and XRF, respectively. NO_2^- , NO_3^- , and PO_4^{3-} ions and NH_4^+ , T-P and T-N eluted from manure by rain were analyzed using ion chromatograph and UV/Vis spectrometry, respectively. As a result, the fermentation efficiency of excreta in sawdust manure is three times higher as compared with chaff manure. The higher the fermentation efficiency, ammonia nitrogen was highly de-nitrogenated and organic phosphorous were also changed into phosphorous ions. Furthermore, phosphorous ions can be removed by transforming insoluble salts such as calcium phosphate ($\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) and struvite ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) with addition of Ca and Mg.

Key words: N, P, Litter, Manure, Struvite, Calcium phosphate

서 론

녹조는 먹이원으로 탄소, 수소, 산소, 질소, 인을 사용하고 있으며 이들 영양원이 풍부하게 존재할 경우에는 물 속에서 무한 반복적으로 성장할 수 있다. 특히, 수온이 높은 여름에 그 성장세가 크게 작용한다. 일반적으로 녹조는 물과 공기 속에서 탄소, 수소, 산소는 무한히 공급받을 수 있으나 질소와 인은 물 속에 존재하는 양이 적기 때문에 이들의 농도에 따라 녹조의 성장성이 결정된다. 질소와 인이 녹조를 성장시키는 제한물질로 작용하므로 외부에서 질소

와 인의 유입이 클 경우 녹조의 성장은 크게 증가하게 된다.¹⁻³ 따라서 하천이나 강으로 질소와 인의 유입을 차단하거나 유입량을 줄일 필요성이 있다. 질소와 인과 같은 녹조의 영양물질들은 산업폐수와 농업 비료 등 모든 분야에서 발생하므로 이를 제어하기가 매우 어렵다. 특히, 축산 분뇨에서 우분의 경우는 별도의 처리없이 대기 중에서 일정기간 발효시켜 농토에 그대로 살포한다. 농토에 살포된 우분은 빗물에 쓸려 중국에는 하천으로 흘러 들어감으로서 하천에 직접적으로 부영양화를 발생시켜 녹조류 증식의 주범으로 작용한다.

축산업은 생명산업이자 식량 주권의 최일선에 있는 산업으로서 우리나라의 축산업은 1980년대를 기점으로 하여 매우 빠른 속도로 발전하여 왔다. 2016년도 환경부 자료에 의하면 전국 농가에서 소는 대략 300만 마리가 사육되고 있으며 소에서 발생하는 분뇨가 하루에 130만 톤에 이르고 있다.⁴ 우리나라 축산업의 문제점은 좁은 농경지와 초지 부족에 따라 가축 농장을 운영하기에는 어려움이 있으며 부적절한 가축 분뇨처리와 배출에 따라 수질오염, 악취 등을 야기하고 있어 지역주민의 행정 민원이 증가하고 있는 상황이다. 가축 분뇨에는 질소, 인, 박테리아 및 유기물 등과 같은 성분이 함유되어 있어 과잉 배출되거나 환경부하 기준치를 초과하면 환경문제(악취, 수질, 토양, 대기오염 등)가 발생하게 되고, 인체와 자연 생태계에도 부정적 영향을 미치게 된다. 특히 논이나 밭에 살포한 가축분뇨의 퇴·액비 이용이 토양이나 하천 등의 녹조류 발생의 주요염원으로 인식되기 시작함에 따라 가축분뇨법 개정 등 환경규제가 지속적으로 강화되고 있는 실정이다.⁵⁻⁷

소의 배설물은 배설단계에서 1~3개월간 우사 깔짚에서 정체 후 발효장으로 운반되어 1개월 이상 발효과정을 거쳐 퇴비로 반출된다. 우사에 넣어주는 깔짚들은 차후 발효과정을 거쳐 퇴비화로 이루어지므로 깔짚의 종류와 특성에 따라 분뇨의 발효과정에 많은 영향을 준다. 향후 우분으로부터 용출되는 질소, 인과 같은 부영양화 물질들을 저감시키기 위해서는 깔짚 선택부터 고려되어야 한다. 우분 내에 포함되어 있는 부영양화 물질들이 깔짚과 균질하게 혼합되어 발효가 쉽게 유도되고 수분 증발이 잘 이루어질 필요가 있기 때문이다. 그리고 깔짚이 분뇨와 혼합되었을 때 통상적으로 유기물질이 미생물에 의하여 분해되는 과정에서 안정성 확보도 중요하게 작용한다. 최종적으로 퇴비화된 물질이 환경에 나쁜 영향을 주지 않으면서 토양에 사용할 수 있어야 하므로 우분과 함께 혼합되어 발효/숙성과정을 거치는 깔짚의 선택이 매우 중요하다.

본 연구의 목표는 왕겨나 톱밥을 이용한 깔짚에 함유되어 있는 배설물의 발효 정도를 파악하고, 발효 과정 중에 다양한 형태의 질소와 인이 생성되므로 이들의 성상 변화

과정들을 조사하는 것이다. 이를 토대로 질소와 인을 저감하기 위해서 이들을 난용성으로 고정화 시킬 수 있는 성상이 어떤 구조일 때가 가장 적합한지를 조사하였다. 또한, 우분의 배설단계에서부터 호기성 또는 혐기성 과정으로 진행되는 동안 자연적으로 질소를 대기 중으로 휘발시켜 저감시킬 수 있는 조건들도 규명하고자 하였다.

실험방법

시료 채취

본 연구에 사용할 시료는 발효장에 있는 왕겨퇴비(왕겨를 깔개로 이용한 퇴비)와 톱밥퇴비(톱밥을 깔개로 이용한 퇴비)에서 각각 채취하였다(Fig. 1(a)와 1(b)). 우사에 깔짚으로 사용되는 왕겨나 톱밥은 우사 바닥으로부터 5~10 cm 두께로 깔은 것으로, 깔짚은 시간이 지난 후 퇴비 발효장으로 운반되어 발효장에서 건조와 발효 과정을 거쳐 퇴비로서 농토로 배출된다.

시료 분석

열 분석기(TG-DTA, TG-1280, Rigaku, Japan)를 이용하여 시료에 대한 열적 특성을 확인하였다. 분석 조건은 승온 속도 10 °C/min, 질소 분위기 100 mL/min로서 상온에서부터 800 °C까지 온도를 증가하였다. X-선 형광분석기(XRF, ZSX Primus II, Rigaku, Japan)를 사용하여 시료의 구성성분과 함량을 조사하였다. 시료는 우선 800 °C에서 소성 시킨 후 생성된 회분을 펠렛으로 제작하여 분석하였다. 시료중의 무기성분은 유도결합플라즈마-원자방출분광기(ICP-AES, 720 series, Agilent Technologies, USA)로 측정하였다. 시료는 분석에 앞서 120 °C에서 건조하여 분말로 만든 이후에 0.25 g의 질산-불산-과염소산을 혼합한 혼합산 6 mL에 넣고 220 °C의 고압초단파 용해장치를 이용하여 완전히 녹인 후, 테프론 용기에서 산을 휘발시키고 증류수를 넣어 최종부피 25 mL로 만들어 분석하였다. 시료에서 용출되어 나오는 아질산성질소(NO₂⁻), 질산성 질소(NO₃⁻), 인산이온(PO₄³⁻) 성분들은 이온 크로마토그래피(IC, DX-600, Dionex,



(a) chaff manure

(b) sawdust manure

Figure 1. Sampling of (a) chaff manure and (b) sawdust manure.

USA)로, 암모니아성 질소(NH_4^+), 총인(T-P), 총질소(T-N)는 자외선/가시광선 분광기(UV/Vis, Cary-5000, Varian Technologies, USA)를 이용하였다. 이온 크로마토그래프(IC)에 의한 시료 분석은 건조된 분말 시료에 증류수를 첨가하여 믹서기로 분쇄한 후 4,000 rpm으로 5분간 원심분리하여 상등액을 분석하였다. 암모니아성 질소, 총질소, 총인은 수질 공정 시험법에 의거하여 측정하였다. 암모니아성 질소는 흡광 광도법인 인도페놀법으로 전처리하고 630 nm 파장에서 분석하였다. 총질소와 총인은 과황산칼륨으로 전처리하여 각각 220 nm와 880 nm 파장에서 측정하였다. 시료의 pH를 측정하기 위하여 시료 50 g에 증류수 150 mL를 첨가하여 진탕기에서 10분간 진탕 과정을 거친 후 원심분리기에서 4,000 rpm으로 5분간 원심분리하고 상등액을 측정하였다.

결과 및 고찰

열중량분석

Table 1은 왕겨퇴비와 톱밥퇴비에 대한 열중량 분석을 나타낸 것이다. 일반적으로 퇴비의 발효가 잘 진행될 경우에는 휘발분의 함량은 낮아지고 고정탄소는 높아지는 특성이 있다.⁸ 분뇨에 포함된 유기물질들은 미생물 발효 과정을 거치면서 미생물 활성에 의해서 유기물질에 포함되어 있는 수소와 작용기들이 분해되어 떨어져 휘발되고 탄소만 남게된다. 왕겨와 톱밥 퇴비에 함유되어 있는 우분의 발효 정도를 확인하기 위해서 고정탄소/휘발분의 비율을 알아 본 결과, 왕겨는 0.06, 톱밥은 0.17로 나타났다. 고정탄소/휘발분의 비교 시 톱밥의 우분이 왕겨의 우분보다 발효가 3배 정도 더 잘 진행되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 왕겨와 톱밥의 깔짚 특성에서 오는 우분의 발효 특징을 나타내 주는 것으로서 톱밥을 깔짚으로 사용시 미생물에 의한 우분의 발효가 더욱 잘 진행된다는 것을 확인할 수 있었다.

구성성분 분석

Table 2는 왕겨와 톱밥 퇴비에 대한 구성성분을 XRF로 분석한 결과로 주요 성분은 Na_2O , MgO , SiO_2 , P_2O_5 , Cl , K_2O , CaO 이었다. 나트륨(Na), 염소(Cl), 칼륨(K), 인(P), 황(S)은 깔짚에도 일부 포함되어 있을 수 있으나 대부분 분뇨에서 다량 유입되어 누적된 것이며, 그 외의 성분들은 깔짚(왕겨나 톱밥)과 분뇨에 공통적으로 포함되어 있는

Table 2. Constituents and their content of chaff manure and sawdust manure (wt.%) by XRF

Sample	Chaff manure	Sawdust manure
Na_2O	7.43	8.16
MgO	9.92	6.66
Al_2O_3	1.10	1.55
SiO_2	18.11	13.50
P_2O_5	12.62	17.10
SO_3	2.61	2.82
Cl	10.05	8.37
K_2O	20.87	14.89
CaO	15.58	25.46
MnO	0.26	0.36
Fe_2O_3	1.45	1.13

성분들이다. 왕겨퇴비가 톱밥퇴비보다 규소함량이 더 높은 것은 왕겨가 톱밥보다 규소의 함량이 높은 특성에서 비롯된다. 소의 섭취 성분들이 대부분 곡물류와 짚을 혼합하여 섭취하고 있었기 때문에 소화 기능에 영향을 주는 나트륨(Na)과 염소(Cl) 성분 함량에는 큰 차이점을 보이지 않았다. 왕겨퇴비가 톱밥퇴비에 비해 인(P)과 칼슘(Ca) 성분이 낮은 것에 비하여, 칼륨(K) 성분은 높게 나타났다. 이것은 우사 내에서 분과 뇨의 배설 시 깔짚 성분의 특성과 소가 분뇨와 깔짚을 밟는 과정에서 분뇨와 깔짚의 혼합되는 특성에 따른 것이다. 왕겨보다 수분 흡수율이 높은 톱밥을 깔짚으로 사용할 경우, 소가 분을 배설 시에는 톱밥 위에 놓이지만 뇨의 배설 시에는 하부의 톱밥이 뇨를 흡수하고 건조되는 과정에서 지속적인 뇨의 배설 시 뇨가 상대적으로 톱밥 위보다는 하부에 누적되는 경우가 많았다. 따라서 뇨에 주로 포함되어 있는 칼륨(K)은 왕겨깔짚에, 인(P)과 칼슘(Ca)은 톱밥깔짚에 주로 농축되어 있는 특성을 보였다.

무기원소 분석

ICP-AES로 왕겨퇴비와 톱밥퇴비 중의 무기원소 성분들과 그들의 함량(wt.%)을 Table 3에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이, 무기원소들의 각각의 함량은 발효 전과 후에도 그다지 큰 차이를 보이지 않았다. 왕겨퇴비와 톱밥퇴비 둘다 타 무기원소들 중에서 칼슘(Ca)과 마그네슘(Mg)이 높은 수준이었으나 망간(Mn)과 아연(Zn)은 미량으로 나타났다.⁹ 칼슘과 마그네슘은 인과 결합하는 경향이 있는 원소로서 다량 함유 시 인(P)의 제거효율이 탁월

Table 1. Thermal gravity analysis of chaff manure and sawdust manure by TG-DTA

Sample	Water (%)	Volatile matter (%)	Fixed carbon (%)	Ash (%)
Chaff manure	3.09	74.4	4.56	17.9
Sawdust manure	1.82	62.3	11.1	24.8

Table 3. Inorganic components of chaff manure and sawdust manure (wt.% based on dry sample) by ICP-AES

Sample	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	Zn
Chaff manure	1.98	0.69	0.16	0.10	0.004	0.017
Sawdust manure	2.77	1.31	0.11	0.17	0.037	0.036

Table 4. Morphological change of nitrogen in chaff manure and sawdust manure (wt.% based on dry sample)

Sample	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	T-N
	Value based on dry sample (mg/kg)			
Chaff manure	8	453	4,960	6,920
Sawdust manure	10	10	3,920	6,930

하다고 알려져 있지만 이들 원소들이 난용성 형태로 존재 시에는 인을 제거하는 효과가 없다. 따라서 인(P)을 침전 제거하기 위해서는 인을 물에서 잘 이온화하는 인산이온 형태로 바꾸어 준 후 칼슘, 마그네슘, 알루미늄, 철 등을 첨가하여 수중의 인산성 인(PO₄³⁻-P)을 난용성염 형태로 바꾸어 줄 필요성이 있다.

용출액 분석

Table 4는 왕겨퇴비와 톱밥퇴비에 함유되어 있는 질소(N)의 형태적 변화와 그 함량을 나타낸 것이다. 일반적으로 소의 먹이원에서 단백질에 포함되어 있는 질소는 소화 기관을 거치는 과정에서 대부분 암모니아성 질소로 변화하여 배설된다. 암모니아성 질소로 배설된 분뇨는 대기 중에서 공기와 접촉하는 가운데 질소산화물로 변화되어 최종적으로 대기 중의 질소로 변화한다.¹⁰ 왕겨퇴비와 톱밥퇴비에서 총질소는 각각 6920과 6930 mg/kg이었고, 질소 성분 중의 대부분은 암모니아성 질소였다. 톱밥퇴비의 경우 왕겨퇴비에 비해 암모니아성 질소가 아질산성과 질산성으로의 형태 변화가 이루어지면서 암모니아성 질소의 함량이 상당량 저감되었음을 알 수 있었다. 이는 톱밥을 깔짚으로 사용한 퇴비가 왕겨보다 미생물 작용에 의한 질산화 반응 효율이 높다는 것을 보여준다.

왕겨퇴비와 톱밥퇴비 중의 인(P)의 성상 별 분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 톱밥퇴비에서 총인(T-P)의 값은 왕겨퇴비와 비슷한 수치를 보였으나 인산성인(PO₄³⁻-P)은 거의 4배 정도 높았다. 소의 초기 배설단계에서의 인은 유기염 형태의 인으로 존재하다가 미생물 활동과 공기와의

접촉을 통하여 산화반응이 유도되어 물 속에 용해되는 인산이온 형태로 변화한다. 결과적으로, 왕겨 깔짚에 들어 있는 분뇨에 비하여 발효가 잘 진행되는 톱밥퇴비에서 인산이온 형태가 많이 나타났다. 우분에서 인(P)을 난용성 형태로 만들어 주기 위해서는 배설 직후 유기인 상태에서 바로 처리하기는 어려우며, 미생물 작용과 공기와의 접촉 시간을 증가시켜 유기염 형태의 인을 인산이온 형태로 성상 변화시킬 줄 필요성이 있다. 인산이온 형태로 성상 변화된 인은 물에 잘 용해되며 쉽게 이온화가 가능하여 칼슘과 마그네슘 등의 첨가 시 난용성 물질로 바뀔 수 있는 조건이 된다.

퇴비에서의 질소와 인의 형태적 변화 해석

우분의 경우 건조 및 발효 과정을 거치면서 수분의 함량이 줄어들게 되고 이 과정에서 수분에 용해되어 있는 각종 염(salt)들이 이온결합을 통하여 고형화되고, 고형화된 상태에서 물이 다시 첨가되었을 경우 염들이 물에 용해되어 이온화되는 특성이 있다. 일반적으로 우분에서는 수분이 건조되면서 아질산성질소(NO₂⁻), 질산성질소(NO₃⁻), 인산이온(PO₄³⁻)들의 경우 나트륨이온(Na⁺) 또는 칼륨이온(K⁺)과 주로 이온결합을 형성한다. 암모니아성 질소이온(NH₄⁺)은 주로 염화이온(Cl⁻)과 결합되어 NH₄Cl염으로 존재한다. 녹조의 주 영양원인 PO₄³⁻의 경우는 우분의 수분이 건조되면서 NaH₂PO₄와 KH₂PO₄ 형태로 존재하다가 물과 접촉시 다시 PO₄³⁻ 이온 상태로 쉽게 용출된다. 특히, 인(P)의 경우 pH가 강산성에서는 H₃PO₄로 존재하고 약산성 상태에서 인산은 H₂PO₄⁻ 형태로 존재한다. 중성과 약알칼리 상태에서는 HPO₄²⁻로 존재하고 강알칼리에서는 PO₄³⁻로 존재한다. 따라서 칼슘이나 마그네슘을 첨가하여 인을 난용성염으로 침전시키기 위해서는 pH를 중성이나 약염기 상태로 조절해 주는 것이 중요하다. 암모니아성 질소의 경우 우분에서는 암모니아이온과 염화이온 상태로 존재하다가 발효 건조가 진행됨에 따라 염화암모늄 형태의 염으로 존재한다. 여기에 물이 다시 첨가되면 암모니아이온

Table 5. Morphological change of phosphorous in chaff manure and sawdust manure (wt.% based on dry sample)

Sample	PO ₄ ³⁻ -P	T-P
	Value based on dry sample (mg/kg)	
Chaff manure	48.93	460
Sawdust manure	205.24	690

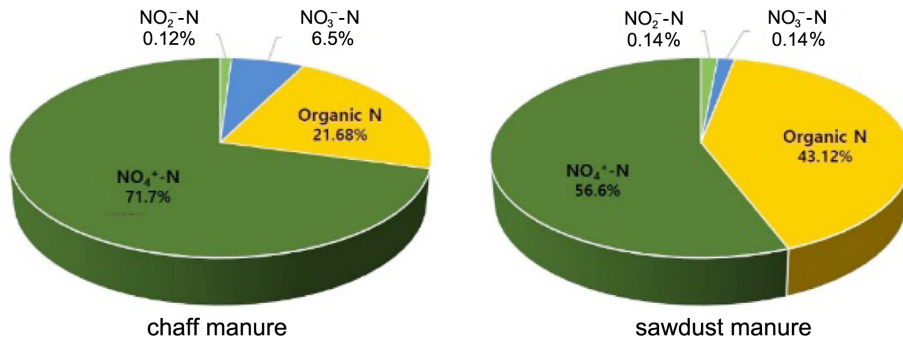


Figure 2. Percentage of morphological content of nitrogen in chaff manure and sawdust manure.

과 염화이온으로 이온화된다. 그러나 암모니아이온과 인산이온이 공존하고 있는 상태에서 마그네슘 이온을 첨가할 경우 이들 3가지 이온이 화학결합하여 난용성염의 형태인 Struvite염(NH₄MgPO₄·6H₂O)이 생성된다.¹¹

Fig. 2는 왕겨퇴비와 톱밥퇴비 중의 질소 성분들을 형태별로 분석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 왕겨퇴비는 총질소에서 암모니아성 질소가 71.7%, 아질산성 질소와 질산성 질소의 합이 6.62%를 차지하였으며, 톱밥퇴비에서는 56.6%와 0.28%를 보였다. 왕겨퇴비의 경우 질소는 시간이 지남에 따라 초기에 과량으로 존재하는 암모니아성 질소가 질산성 질소로 형태 변화를 이루고 있으나 그 반응 속도가 느리며 발효가 정상적으로 이루어지지 않을 경우 잔류 암모니아성 질소가 그대로 존재하여 작물의 가스 장애와 같은 피해는 물론 우수 시비에 그대로 녹아서 하천으로 흘러들어 감으로써 녹조의 영양원으로 직접 작용한다. 따라서 소의 사육 시 깔짚으로 왕겨보다는 톱밥을 사용하는 것이 발효 효율이 높기 때문에 부영양화를 조금이나마 더 줄일 수 있다고 판단된다.

Fig. 3은 왕겨퇴비와 톱밥퇴비 중의 인 성분들을 형태별로 분석한 결과로, 인산이온은 왕겨퇴비와 톱밥퇴비에서 각각 10.6%와 29.7%의 비중을 차지하였다. 인은 배설 단계에서 유기인으로 존재하다 수분이 말라 건조가 되면

서 인산성 염으로 존재한다. 깔짚에 함유되어 있는 인산성 염은 이후 발효가 진행되면서 인산이온으로의 형태로 변화하기 시작한다. 그림에서 보듯, 인산성 염이 인산이온으로의 전환이 왕겨퇴비보다는 톱밥퇴비에서 원활히 이루어졌다. 퇴비중의 인산이온은 추후 Ca를 첨가하여 난용성 형태의 인산칼슘(CaHPO₄·3H₂O)로 침전 제거할 수 있다.

결론

고정탄소/휘발분의 비를 조사함으로써 톱밥퇴비가 왕겨퇴비에 비해 소의 배설물에 대한 발효 효율이 3배 정도 높았다. 우분의 배설 초기에 질소는 대부분 암모니아성 질소 형태로 존재하며 발효가 진행됨에 따라 질산성 질소의 형태 변화가 일어난다. 발효가 진행되지 않고 단지 건조만 행한 경우에는 암모니아성 질소는 염(salt)의 형태로 존재한다. 미생물에 의한 발효가 진행됨에 따라 대부분의 인은 인산이온으로 성상이 변화한다. 우분이 발효과정 없이 바로 건조되는 경우, 인은 인산이온으로 변화하지 않고 물에 잘 녹지 않는 유기성인의 형태로 유지하다가 농도에 살포시 발효가 진행되어 용존성 인산이온으로 변화되어 우수 시 유출된다. 우분의 발효성이 클수록 암

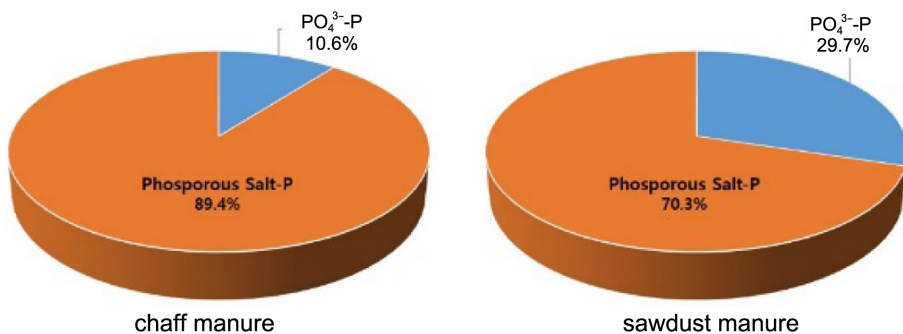


Figure 3. Percentage of morphological content of phosphorous in litter and manure.

모니아성 질소의 탈질화 효율이 높아졌으며, 유기인도 인산이온으로의 변화율도 상승하였다. 육우의 초기 배설 단계에서 질소를 제거하기 위해서는 pH를 상승시켜 암모니아성 질소를 암모니아 가스 상태로 바로 휘발시킬 수 있는 조건을 확립할 필요성이 있다. 퇴비 중의 질소와 인은 시간을 연장하여 발효를 더욱 촉진시켜 우분에 포함된 유기인을 인산이온으로 변화시킨 이후에 칼슘(Ca)이나 마그네슘(Mg) 등을 첨가하여 Struvite($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)나 인산칼슘($\text{CaHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 형태의 난용성 화합물을 생성시킴으로서 물 속에서 용출되지 않도록 하는 것이 효율적 방법이다.

Acknowledgements. This research was supported by the Basic Science Research Program (NRF-2019R1F1A1042413) through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology.

REFERENCES

1. Kim, T. J.; Kim, T. C.; Lim, H. B. *J. of Applied Subtle Energy* **2018**, *16*, 1.
2. An, C.Y.; Lee, C. S.; Choi, J. W.; Lee, S. B.; Lee, S. H. *Korean J. of Environ. Biology* **2015**, *33*(1), 1.
3. Park, J. B.; Gal, B. S.; Lee C. G.; Hong S. W. *Wet Land Society of Korea* **2018**, *20*(4), 330.
4. Yu, S. H. *Legislative Policy* **2016**, *10*:1, 121.
5. Ko, H. J.; Kim, K. H.; Kim, T. H.; Ko, M. S. *J. of Animal Sci. Technol.* **2008**, *50*(3), 391.
6. Lee, Y. S.; Lee, H. G.; Hong, S. C.; Oh, D. M. *Wet Land Society of Korea* **2009**, *11*(3), 81.
7. Hong, G. H. *Science of the Total Environ.* **2009**, *9*(2), 1.
8. Han, H. S.; Lee, K. D. *Korean J. of Soil Science and Fertilizer* **2012**, *45*(6), 1126.
9. Nam, I. Yeoung, S. H.; Song, K. G. *Korean J. of Soil Science and Fertilizer* **2010**, *43*(5), 644.
10. Seong, K. D.; Ryoo, W. R.; Kim, I. W.; Jo, M. H. *Korean J. of Biotechnol. Bioengineers* **2001**, *16*(2), 140.
11. Won, S. Y.; Park, S. K. *J. of Korean Society of Environmental Engineers* **2000**, *22*(4), 599.