

연구노트

한우액상분뇨에 화학제재를 첨가 시 인과 총 휘발성지방산 함량에 미치는 영향

최인학*, ** · 최정훈***

*진생유기농(주) 중부대학교, **경북대학교 산업동물의학연구소, ***한양대학교 화학과
(2009년 4월 8일 접수; 2009년 5월 11일 수정; 2009년 6월 1일 채택)

Effects of Chemical Amendments on Phosphorus and Total Volatile Fatty Acids in Hanwoo Slurry

In Hag Choi^{*,**} and Jung Hoon Choi^{***}

^{*}Ginseng & Organic Co., Ltd 407, Industry Academy Cooperation, Joongbu University, Chungnam 312-702, Korea

^{**}Research Institute for industry and animal medicine, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

^{***}Department of Chemistry, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Manuscript received 8 April, 2009; revised 11 May, 2009; accepted 1 June, 2009)

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the effects of chemical additives on total phosphorus (TP), soluble reactive phosphorus (SRP), and total volatile fatty acids (total VFAs) in hanwoo slurry. The treatments in this study were ferrous sulfate, alum, and aluminum chloride, and applied at the rate of 0, 0.5, and 1.0 g/25 g of hanwoo slurry. All of the chemical treatments significantly lowered TP (11 to 53% of the untreated control), SRP (41 to 99.9% of the untreated control), and total VFAs (22 to 48.5% of the untreated control) by reducing hanwoo slurry pH (3.42 to 6.86). Among these chemical amendments, addition of 0.5 g ferrous sulfate, alum, and aluminum chloride to hanwoo slurry were the best results evaluated on farms with respect to reducing negative environmental impacts. In conclusion, the results of this study indicate that the use of chemical amendments should be considered in the development of best management practices (BMPs) for the hanwoo industries.

Key Words : Ferrous sulfate, Alum, Aluminum chloride, pH, Total phosphorus (TP), Soluble reactive phosphorus (SRP), Total volatile fatty acid (Total VFAs), Hanwoo slurry

1. 서 론

축분뇨에 함유된 인(P)을 적절하게 처리하지 않은 채 토양에 살포하거나 방류하게 될 경우, 토양 및 수질오염에 따른 문제는 우리나라뿐만 아니라

여러 국가에서 우선 해결해야 될 과제로 주목 받고 있다. 우리나라의 경우, 가축의 액상분뇨를 토양에 대량으로 반복 살포함으로써 토양에 인이 과잉 축적되게 된다. 더욱이 이차적으로 인의 유출에 의한 수질오염이¹⁾ 큰 문제점으로 부각되고 있다. 따라서 이러한 환경오염을 줄이기 위하여 그 근본적인 원인이 되고 있는 가축의 인 배설량을 줄이고자 많은 노력하고 있다. 네덜란드에서는 젓소 농장이 차지

하는 비율은 64%정도이며, 이들 농장으로부터 비효율적인 가축 사료 공급 때문에 약 35%의 인 과잉 현상이 발생하게 되었다. 따라서 이를 장기간 농업 비료로 사용하게 되는 경우, 인 함량이 크게 증가되어 수질오염에 영향을 미치게 된다고 하였다^{2,3)}.

인을 함유한 축분뇨는 토양에 축적되어서 농경지에 적절한 수준으로 이용되면 강·하천으로 유입되는 인의 양을 줄일 수 있다. 즉, 축분뇨를 토양에 공급하는 것은 작물의 질소요구량을 충족시키고 동시에 토양에 인을 축적시켜 작물에 이용될 수 있다는 장점을 가지고 있다¹⁾. 그러나 일부 연구에서는 토양에 살포되는 축분에서 질소와 인의 비율이 3대1 또는 5대1 정도로 포함되어 있지만, 작물에는 8대1의 정도로만 이용된다고 하였다^{4,5)}. 그 결과 작물의 질소 요구량을 맞추기 위하여 축분을 더욱 많이 공급하는 것은 토양에서 인의 함량을 증가시키는 궁극적인 요인이 된다.

더욱이 인은 부영양화(eutrophication)를 가속시켜 수중생태계를 파괴시키는 것으로 알려져 있다. 최근 연구에 의하면 부영양화는 조류(dinoflagellate algae, Pfiesteria piscicidia)의 독성 때문에 대중의 건강과도 직접연관성이 있다고 보고되었다⁶⁾.

축산분뇨의 또 다른 관심사는 축사 내 탱크에 액상의 상태로 저장될 때 발생하는 냄새이다. 축산분뇨는 단백질, 탄수화물 및 지방을 포함하는 소화되지 않은 유기잔존물로 구성이 되어 있다⁷⁾. 이들 유기물은 호기성 상태에서의 탄소, 질소 및 황 화합물은 이산화탄소, 질산염, 황산염 및 물로 생성되며, 혐기성 상태에서는 유기물이 충분히 분해될 때 메탄, 이산화탄소, 암모니아 및 물 등이 최종 분해 산물로 생성이 된다⁷⁾. 따라서 혐기성상태에서 유기물이 충분히 분해되지 않을 경우, 악취냄새가 발생하며 이러한 냄새는 휘발성지방산(VFA)과 방향족 화합물(aromatic compounds)을 포함하고 있다^{8,9)}. 그러므로 축사 내 저장탱크에 이러한 냄새를 조절하는 가장 효율적인 방법은 휘발되는 비율을 줄이는 것이다. 휘발율은 상대적 습도, 공기온도, 바람속도, 발산, 지표면 및 공급된 사료원 등의 여섯 가지 요인에 의해 영향을 받는다⁷⁾. 마찬가지로 인은 가축 생산성에 영향을 미치지 않는 범위에서 인 배설량을 줄이기 위해서는 사료에 필요 이상의 인을 급여하

지 않는 것이 원칙이다¹⁾. 결국 저장탱크에 발생하는 냄새, 토양에 과잉의 인이 축적되어 하천유역에 부영양화가 자주 발생하는 원인은 가축사료로부터 기인된 것이며 사료조절시스템으로 이들을 조절할 수 있을 것이다.

앞에서 언급된 사료조절 방법과는 달리 좀더 발전되고 효과적인 방법으로는 화학제재 또는 천연 식물성오일을 축산분뇨에 처리하면 인 함량과 냄새를 줄일 수 있다^{7,10,11)}. Thymol, carvacol 및 pinene 등의 천연 식물성오일의 이용은 우분뇨에서 발생하는 새로운 휘발성지방산의 생성을 억제한다고 보고⁷⁾ 되었으며, 다양한 식물성 오일을 비교한 연구에서는 축분의 특성에 따라 다르게 보고한 바 있다⁷⁾. 화학제재의 대표적인 것으로는 황산알루미늄(alum)이며^{10,11)} 이를 다양한 축분에 첨가했을 때 수용인 함량이 80~99%까지 감소된다고 보고하였다¹²⁾. 그러나 화학제재를 젖소액상분뇨에 첨가하여 화학적 특성과 환경오염원을 줄이는 연구는 일부 보고^{13,14)} 되었지만 한우 액상분뇨에 적용된 사례는 거의 없다. 그러므로 본 연구는 다양한 화학제재를 수준별로 한우액상분뇨에 첨가하여 인과 총 휘발성 지방산함량을 분석함으로써 어느 화학제재가 효과적으로 환경오염원을 줄일 수 있는지 비교하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험 기간 및 장소

본 시험은 대구대학교 가축사육농장에서 실시하였으며, 모든 사양프로그램은 대구대학교 농장에 수행하는 규칙과 기준에 따랐다(20두로 구성된 소 규모 한우 사육장이다). 시험기간은 2003년 11월 1과 16일 동일하게 두 번씩 한우액상분뇨를 채취하였다.

2.2. 시료 채취 및 화학제재 첨가 방법

분뇨채취기는 지름 5 cm, 길이 1 m, 1.5 m, 2 m 크기의 파이프를 본 연구에서 직접 설계하고 제작하였으며, 샘플은 한우액상분뇨 저장 탱크에 저장된 시료에서 채취하였다. 저장된 탱크에 제작된 채취기를 깊이에서 따라 다른 4지점에서 채취하였다. 서로 다른 깊이에서 채취한 4L 샘플을 잘 혼합한 다음

subsample을 채취하고 2L plastic bottle에 옮겨 분석을 위하여 4°C 냉장고에 보관하였다¹⁵⁾. 본 실험에 사용된 화학제제로서 황산철(FeSO_4 , ferrous sulfate), 황산알루미늄($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, aluminum sulfate) 및 염화알루미늄(AlCl_3 , aluminum chloride)은 한우 액상분뇨에 첨가되는 비율에 따라 조절하였으며 첨가량은 아래와 같다.

- 1) 각 대조구
- 2) 각 FeSO_4 , alum 및 AlCl_3 0.5 g/25 g 한우액상분뇨(hanwoo slurry)
- 3) 각 FeSO_4 , alum 및 AlCl_3 1.0 g/25 g 한우액상분뇨(hanwoo slurry)

2.3. 한우액상분뇨 분석방법

pH 측정은 한우액상분뇨를 30분 정도 정치하여 여과시키지 않고 pH meter(MettlerDelta 350, CH-8902 Urdorf, Switzerland)를 이용하여 즉시 측정하였다¹⁶⁾. 건물 함량 결정을 위하여 수분 함량을 먼저 측정 후 100으로 뺀 다음 계산되었다. 수분 함량은 한우 액상분뇨의 유기물 함량 변화를 막기 위하여 건조오븐을 이용하여(63°C, 72시간) 항량 유지상태로 측정하여 무게 차이로 계산하였다¹⁷⁾. 수분측정 후 건조된 한우액상분뇨 샘플은 총 인(total phosphorus, TP)함량 분석에 이용하였으며, TP 분석은 1 g 시료를 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 3 ml와 도가니에 넣어 건열기에서 충분히 건조시키고 HNO_3 3 ml를 가하여 재차 건조시켰다. 이런 과정을 3회 반복 한 후 다시 HCl 5 ml를 가하여 건조시킨 다음, 처리한 시료를 550°C에서 4시간 정도 회화시킨 후 1/4 HCl로 분해하였다. 분해된 시료액을 조제 후 여과하고 일정 비율로 희석한 후 발색제를 이용하여 발색시킨 다음 Spectrophotometer (Optizen2+, HANSON, Korea)로 660 nm에서 흡광도를 측정하여 TP 함량을 계산하였다¹⁸⁾. 수용성 인(soluble reactive phosphorus, SRP) 분석은 액상상태에서 샘플을 2시간 정도 진탕기에 흔들려 준 다음 6000 rpm에서 15분간 원심 분리하였다. 원심 분리한 추출액은 엉김 현상을 방지하기 위해서 HCl로 pH를 2에 맞춘 다음 0.45 μm membrane filter로 여과시켰다. 여과액은 일정 비율로 희석한 후 ascorbic acid 분석 방법을 이용하여 발색제로 발색시킨 후 Spectrophotometer(UV-24DI(PC)5, SHIMADZU,

Australia)로 880 nm에서 흡광도를 측정하여 SRP 함량을 계산하였다¹⁹⁾.

총 휘발성지방산 분석(total volatile fatty acid, total VFA)은 샘플을 자주 흔들어 잘 섞이게 하고 3,000 rpm, 4°C에서 15분간 원심 분리한 다음 상층부분을 채취하였다. 상층 추출물 25 ml에 증류수 300 ml와 농축된 H_2SO_4 1 ml를 넣고 수증기 증류장치를 이용하여 300 ml beaker에 200 ml까지 sample을 포집하였다. 포집한 sample 200 ml에 phenolphthalein을 3~5 방울 넣어 주고 0.1N NaOH로 적정하여 total VFA 함량을 계산하였다^{20,21)}.

2.4. 통계처리

본 시험에서 얻어진 자료는 SAS package²²⁾를 이용하여 통계분석 처리하였으며, 처리 평균간 비교는 Duncan's Multiple Range Test²³⁾로 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 총 인(TP)과 수용성 인(SRP)함량 변화

Table 1은 다양한 화학제제를 첨가 수준에 따라 한우액상분뇨에 첨가하여 분석된 pH, TP 및 SRP 함량을 나타내고 있다. 11월 1일과 11월 16일에 채취한 시료를 분석한 결과 FeSO_4 , Alum 및 AlCl_3 를 0.5 g과 1.0 g 처리구의 pH, TP 및 SRP는 대조구 보다 낮았다($P < 0.05$). 이 결과의 중요한 점은 TP와 SRP함량이 감소되는 요인이 pH감소와 관련이 있음을 보여주었으며, 화학제제는 0.5 g 처리하는 것이 효과적인 것으로 관측되었다. 돈 분에 황산알루미늄과 염화알루미늄을 다양한 비율로 첨가한 Smith 등¹⁶⁾의 연구에서는 대조구의 경우 pH는 약 8.0이지만, 낮은 비율의 황산알루미늄과 염화알루미늄의 pH는 7.3, 높은 비율의 황산알루미늄과 염화알루미늄의 pH는 7.0로 보고되었다. 몇몇 보고된 연구에서도 축분뇨에 화학제제를 첨가하여 측정된 pH는 감소되며, pH 감소 범위는 축분의 종류와 화학제제에 따라 다르다고 하였다^{12,24,25)}.

실험기간(11월 1일과 16일)에 채취한 FeSO_4 와 Alum 처리구의 TP함량은 대조구와 비교할 때 11~44%의 범위로 감소되었을 뿐만 아니라 SRP 함량은 95~99.9%까지 감소되었다. AlCl_3 처리구의 TP 함량은 대조구보다 13~53%, SRP 함량은 41~83%로

Table 1. Effects of ferrous sulfate, alum, and aluminum chloride added to hanwoo slurry on pH, TP and SRP. Data presented are means, with their standard errors.

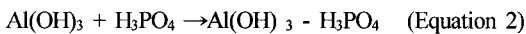
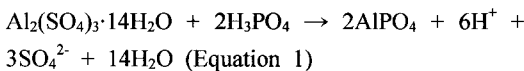
Items	FeSO ₄ treatment (November, 1)			FeSO ₄ treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
pH	7.18±0.02 ^a	6.38±0.02 ^b	6.12±0.01 ^c	8.14±0.02 ^a	6.86±0.03 ^b	6.70±0.02 ^c
TP ¹ (g/kg)	4.80±0.51 ^a	2.70±0.06 ^b	2.70±0.08 ^b	5.20±0.05 ^a	4.30±0.05 ^b	4.50±0.11 ^b
SRP ² (mg/g)	160.75±2.75 ^a	0.21±0.01 ^b	0.30±0.01 ^b	159.43±1.36 ^a	0.25±0.01 ^c	2.01±0.06 ^b
Items	Alum ³ treatment (November, 1)			Alum treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
pH	7.44±0.04 ^a	4.61±0.02 ^b	4.06±0.02 ^c	7.96±0.03 ^a	4.22±0.02 ^b	3.93±0.03 ^c
TP (g/kg)	2.80±0.05 ^a	2.50±0.04 ^b	2.00±0.05 ^c	5.20±0.06 ^a	4.20±0.05 ^b	3.80±0.06 ^c
SRP (mg/g)	169.25±1.32 ^a	1.09±0.03 ^c	2.08±0.02 ^b	198.90±2.85 ^a	10.15±0.15 ^b	8.14±0.14 ^c
Items	AlCl ₃ treatment (November, 1)			AlCl ₃ treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
pH	7.40±0.02 ^a	4.18±0.03 ^b	3.63±0.02 ^c	8.03±0.02 ^a	3.80±0.01 ^b	3.42±0.01 ^c
TP (g/kg)	3.20±0.05 ^a	1.50±0.04 ^c	2.40±0.04 ^b	5.20±0.04 ^a	4.50±0.09 ^b	3.70±0.04 ^c
SRP (mg/g)	160.02±0.91 ^a	27.45±0.52 ^c	93.95±1.81 ^b	204.12±3.42 ^a	43.26±0.39 ^c	108.53±2.15 ^b

^{a-c}Row means with the same letter are not significantly different (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05).

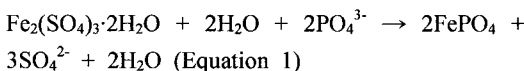
¹TP=total phosphorus; ²SRP=soluble reactive phosphorus; ³Alum = Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O.

감소되었다. 이 결과는 화학제재의 종류에 따라 TP와 SRP 함량이 감소범위가 다르다는 것을 보여주고 있다. Moore 등¹⁰⁾과 Dou 등¹²⁾은 황산알루미늄을 첨가 시 SRP 함량이 80~99%까지 감소된다고 보고하였으며 본 연구결과와 일치하였다. 또한, Smith 등¹⁶⁾은 돈 분으로부터 황산알루미늄과 염화알루미늄을 높은 비율로 첨가하여 수행한 유거수(runoff) 실험에서도 SRP 함량이 84% 감소된다고 보고하였다. 이들 보고들은 Al과 Fe화합물이 pH를 낮춤으로서 Al과 Fe에 의한 P의 결합력을 안정화시켜 SRP 함량에 영향을 주어 감소된다고 설명하고 있다^{26,27)}. 일반적으로 Al과 Fe 등을 포함하는 화학제재는 물이나 하수(sewage)에서 침전반응을 거쳐 인(P)과 결합할 때 pH를 낮추어 수용성 인 함량이 감소되는 것으로 보고^{28,29)} 되어 있으며 방정식은 아래와 같다.

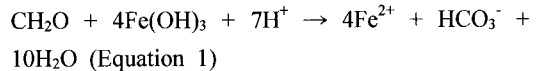
1) Al의 경우



2) Fe의 경우



or



Al과 Fe이 인과 결합될 때 인을 제거하기 위한 최적 pH 수준은 metal/P mole 비율에 의해 결정된다고 보고되었다³⁰⁾. metal/P mole 비율은 2대 5일 때 Al의 경우는 인 제거 최적 pH가 5.5~8.0이 되며, Fe 경우는 pH 4.7~7.1일 때 인을 제거하는 최적의 조건이라고 제시하였다²⁹⁾.

3.2. 총 휘발성 지방산(total VFA)함량 변화

Table 2는 한우액상분뇨에 화학제재를 첨가수준에 따라 분석된 total VFA 을 나타내었다. 11월 1일과 16일 채취한 시료를 분석한 FeSO₄, Alum 및 AlCl₃ 처리구의 total VFA 함량은 각 대조구보다 낮았다(P<0.05). total VFA 함량의 감소범위는 22~48.5%였으며, 이곳은 각 화학제재의 특성에 따라 다르다는 것을 의미한다. 화학제재의 효능 면에서도 한우액상분뇨에 0.5 g 수준으로 첨가하는 것이 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 의문점은 화학제재의 첨가수준을 높일수록 total VFA 함량이 감소될 것으로 기대하였으나 정 반대의 결과를 보여 주었다. 이는 한우액상분뇨와 각 화학제재 사이의 결합력의 차이에서 기인된 것으로 판단된다. 일

Table 2. Effects of ferrous sulfate, alum, and aluminum chloride added to hanwoo slurry on total VFA. Data presented are means, with their standard errors.

Items	FeSO ₄ treatment (November, 1)			FeSO ₄ treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
Total VFA (mmole/100 g)	0.070±0.001 ^a	0.040±0.001 ^c	0.050±0.001 ^b	0.070±0.001 ^a	0.046±0.001 ^c	0.052±0.001 ^b
	Alum ¹ treatment (November, 1)			Alum treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
Total VFA (mmole/100 g)	0.075±0.001 ^a	0.051±0.002 ^b	0.053±0.001 ^b	0.045±0.001 ^b	0.027±0.002 ^c	0.050±0.001 ^a
	AlCl ₃ treatment (November, 1)			AlCl ₃ treatment (November, 16)		
	Control	0.5 g	1 g	Control	0.5 g	1 g
Total VFA (mmole/100 g)	0.059±0.002 ^a	0.033±0.001 ^c	0.046±0.001 ^b	0.033±0.001 ^a	0.017±0.002 ^c	0.022±0.001 ^b

^{a-c}Row means with the same letter are not significantly different (Duncan's Multiple Range Test, P<0.05)

¹Alum = Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O.

부 연구에 의하면 VFA에 큰 영향을 주는 요인은 pH라고 보고하였다³¹⁾. 한 예로 식물성 오일을 축 분에 적용한 연구³²⁾에서도 total VFA 함량이 우분과 돈분 각각 70와 50%에서 감소된다고 하였다. 깔짚에 액상 염화알루미늄을 첨가 수준에 따라 이용한 Choi와 Moore의 연구³³⁾는 total VFA 함량이 20~51% 감소된다고 보고하였다. 현재까지 total VFA 함량을 감소시키는 화학제제와 관련된 이유는 정확히 보고되지 않았지만, 보고된 연구에서는 미생물의 성장과 호흡을 억제하는 화학제제의 특성과 pH의 관련성에 가설을 두고 있다^{32,33)}. 따라서 한우액상분뇨에 발생하는 total VFA 감소는 FeSO₄, Alum 및 AlCl₃ 첨가에 의한 미생물 활성억제와 pH 감소로 보여진다.

4. 결론

한우액상분뇨에 황산철, 황산알루미늄 및 염화알루미늄을 첨가 수준에 따라 인 함량과 총 휘발성지방산 함량 변화를 조사하여 환경오염에 미칠 수 있는 영향을 평가하였다.

첫째, 황산철, 황산알루미늄 및 염화알루미늄 처리수준에 따라 pH는 감소되었다.

둘째, 대조구와 비교할 때, 황산철, 황산알루미늄 및 염화알루미늄 처리구의 TP 함량은 11~53%, SRP 함량은 41~99.9%까지 감소되었다.

셋째, 총 휘발성지방산 함량은 황산철, 황산알루미늄 및 염화알루미늄 처리구가 대조구보다 22~48.5% 감소되었다.

넷째, 환경오염을 감소시킬 수 있는 화학제제의 첨가수준은 0.5 g으로 처리하는 것이 효과적인 것으로 관측되었다.

이상의 결과를 종합해 보면 인과 총 휘발성지방산을 감소시키는 요인은 pH와 관련이 있으며 화학제제를 처리하는 것이 한우액상분뇨에서 발생하는 환경오염원을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) 양계연구, 1999, 사양관리로 질소와 인 배설량을 줄인다, 77-78.
- 2) Van Bruchem J., Schiere H., Van Keulen H., 1999, Dairy farming in the Netherlands in transition towards more efficient nutrient use, *Livestock Production Science.*, 61, 145-153.
- 3) Chapuis-Lardy L., Temminghoff E. J. M., De Goede R. G. M., 2003, Effects of different treatments of cattle slurry manure on water-extractable Phosphorus, *Neth. J. Agric. Sci.*, 51, 91-102.
- 4) Beegle D., 1999, Integrating phosphorus and nitrogen management at the farm level. Pages 159-168 in *Agriculture and Phosphorus Management: the Chesapeake Bay*. A. N. Sharpley, ed. Lewis Pub., Boca Raton, FL.
- 5) Sharpley A. N., Meisinger J. J., Breeuwsma A., Sims J. T., Daniel T. C., Schepers J. S., 1998, Impacts of animal manure management on ground and surface water quality. Pages 173-242 in *Animal Waste Utilization: Effective use of Manure as a Soil Resource*, J. L. Hatfield and B. A. Stewart, ed. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- 6) Satchell M., 1997, The cell from hell. *U.S. News and World Report.*, 123, 26-28.
- 7) Varel V. H., 2002, Livestock manure odor abatement

- with plant-derived oils and nitrogen conservation with urease inhibitors: A review, *J. Anim. Sci.*, 80, E1-E7.
- 8) Watts P. J., Jones M., Lott S. C., Tucker R. W., Smith R. J., 1994, Feedlot odor emissions following heavy rainfall. *Trans. ASAS (Am. Soc. Agric. Eng.)*, 37, 629-636.
 - 9) Mackie R. I., Stroot P. G., Varel V. H., 1998, Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste, *J. Anim. Sci.*, 76, 1331-1342.
 - 10) Moore P. A. Jr., Daniel T. C., Edwards D. R., 2000, Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia loss from poultry manure with aluminum sulfate, *J. Environ. Qual.*, 29, 37-49.
 - 11) Moore P. A. Jr., Miller D. M., 1994, Decreasing phosphorus solubility in poultry litter with aluminum, calcium and iron amendments, *J. Environ. Qual.*, 23, 325-330.
 - 12) Dou Z., Zhang G. Y., Stout W. L., Toth J. D., Ferguson J. D., 2003, Efficacy of alum and coal combustion by-products in stabilizing manure phosphorus, *J. Environ. Qual.*, 32, 1490-1497.
 - 13) Lefcourt A. M., Meisinger J. J., 2001, Effects of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition, *J. Dairy Sci.*, 84, 1814-1821.
 - 14) Timby G. G., Daniel T. C., McNew R. W., Moore P. A. Jr., 2004, Polymer type and aluminum chloride affect screened solids and phosphorus removal from liquid dairy manure, *Applied Eng in Agriculture*, 20, 57-64.
 - 15) Molly S. P., Tunney H., 1983, A laboratory study of ammonia volatilization from cattle and pig slurry, *J. Agri. Res.*, 66, 37-45.
 - 16) Smith D. R., Moore P. A. Jr., Griffis C. L., Edwards D. R., Daniel T. C., Boothe D. L., 2001, Effect of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure, *J. Environ. Qual.*, 30, 992-998.
 - 17) Kithome M., Paul J. W., Bomke A. A., 1999, Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments, *J. Environ. Qual.*, 28, 194-201.
 - 18) Nahm K. H., 1992, Practical guide to feed, forage, and water analysis(English Edition), Yoo Han Pub. Co., Seoul, South Korea.
 - 19) American Public Health Association., 1992, Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 18th Ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
 - 20) Fenner H., Elliot J. M., 1963, Quantitative method for determining the steam volatile fatty acids in rumen fluid by gas chromatography, *J. Anim. Sci.*, 22, 624-627.
 - 21) Kim S. C., 2003, The study of feed development with wormwood (*Artemisia Montana Pampan*) Silage, Ph.D. thesis, Kyung Sang National University, Jinju, South Korea.
 - 22) SAS Institute., 1990, SAS/STAT user's guide, Version 6. 4th ed, SAS Institute Inc., Cary, NC.
 - 23) Duncan D. B., 1955, Multiple range and multiple *F*-test, *Biometrics*, 11, 1-42.
 - 24) Smith D. R., Moore P. A. Jr., Haggard B. E., Maxwell C. V., Daniel T. C., VanDevander K., Davis M. E., 2004, Effect of aluminum chloride and dietary phytase on relative ammonia losses from swine manure, *J. Anim. Sci.*, 82, 605-611.
 - 25) Lefcourt A. M., Meisinger J. J., 2001, Effects of adding alum or zeolite to dairy slurry on ammonia volatilization and chemical composition, *J. Dairy Sci.*, 84, 1814-1821.
 - 26) Soon Y. K., Bates T. E., 1982, Extractability and solubility of phosphorus in soils amended with chemically treated sewage sludges, *Soil Sci.*, 134, 89-96.
 - 27) McCoy J. L., Sikora L. J., Weil R. R., 1986, Plant availability of phosphorus in sewage sludge compost, *J. Environ. Qual.*, 15, 403-409.
 - 28) Ripley P. G., 1974, Nutrient removal-an American experience, *J Water Pollut Control Fed.*, 46, 406-416.
 - 29) Freeze R. A., Cherry J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.
 - 30) Hsu P. H., 1976, Comparison of iron(III) and aluminum in precipitation of phosphorus from solutions, *Water research.*, 10, 903-907.
 - 31) Parkhurst C. R., Hamilton P. B., Baughman G. R., 1974, The use of volatile fatty acids for the control of microorganism in pine sawdust litter, *Poult. Sci.*, 53, 801-806.
 - 32) Varel V. H., Miller D. N., 2004, Eugenol stimulates lactate accumulation yet inhibits volatile fatty acid production and eliminates coliform bacteria in cattle and swine waste, *J. Appl. Microbiol.*, 97, 1001-1005.
 - 33) Choi I. H., Moore P. A. Jr., 2008, Effects of liquid aluminum chloride additions to poultry litter on broiler performance, ammonia emissions, soluble phosphorus, total volatile fatty acids, and nitrogen contents of litter, *Poult. Sci.*, 87, 1955-1963.