

다양한 깔짚 첨가제 이용이 단 기간 깔짚내 pH와 수용성 인에 미치는 영향에 관한 연구

최인학 · 이성준* · 김창만**

대구대학교, *경북대학교, **프레봄
(2007년 11월 28일 접수; 2008년 1월 22일 채택)

A Study on pH and Soluble Reactive Phosphorus (SRP) from Litter Using Various Poultry Litter Amendments During Short-Term: A Laboratory Experiment

In Hag Choi, Seong Joon Yi* and Chang Mann Kim**

Probiotic Korea, Inc., Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea

*Department of Anatomy College of Veterinary Medicine, Kyungbook National University, Daegu 702-701, Korea

**Trevom Co. Ltd, Gyeonggi 410-380, Korea

(Manuscript received 28 November, 2007; accepted 22 January, 2008)

Abstract

The objective of this study was conducted to evaluate the effects of poultry litter amendments on pH and soluble reactive phosphorus (SRP) in poultry litter. Two laboratory studies were conducted for 42 d in Exp. 1 and for 10 d in Exp. 2, respectively. The poultry litter was treated with various amendments which included 4 g fly ash and 4 g $AlCl_3$ ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$)/100 g litter in Exp. 1 and 4 g alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$), 8 g alum, 8.66 g liquid alum, and 17.3 g liquid alum/100 g litter in Exp. 2; untreated litter served as controls. There were no differences in pH between control and T1(4 g fly ash) and SRP contents between T1(4 g fly ash) and T2(4 g $AlCl_3$) in Exp. 1. A significant difference in pH and SRP contents in Exp. 2 was observed among all treatments ($P < 0.05$). In experiment 1, T1(4 g fly ash) and T2(4 g $AlCl_3$) at 42 d decreased SRP in litter by 47.1% and 62.6% of that from litter alone, respectively. In experiment 2, T1(4 g alum), T2(8.66 g liquid alum), T3(8 g alum), and T4(17.3 g liquid alum) treatments at 10 days reduced SRP contents by up to 36.2%, 62.9%, 87.0%, and 83.9%, respectively, when compared with the controls. Decrease in SRP contents was chiefly associated with reduction in litter pH. These results indicate that use of various litter amendments to limit P solubility has potential and should be pursued as a means of reducing soluble reactive phosphorus during short term.

Key Words : pH, Soluble reactive phosphorus, Fly ash, $AlCl_3$, Alum, Liquid alum

1. 서 론

축산업은 인간생활과 더불어 발전해 왔다. 그러

나 친 축산형 유기농업의 중요성이 강조되면서 우리 의식주 생활에 많은 변화를 가져왔지만, 축산분야와 관련된 환경문제는 우리 실생활에 직면한 문제 중의 하나로 자리 잡아 관심사가 증대되고 있다. 그 대표적인 것으로 대량생산을 위하여 제한된 밀도에 다두 사육을 함으로서 발생하는 축산분뇨(갈

짚, 계분, 돈분 그리고 우분)는 토양, 수질, 대기오염, 살포 및 약취 등의 문제를 포함하고 있다^{1,2)}. 이에 대한 선행연구로 계분과 깔짚은 작물성장에 필요한 유기질 비료 성분을 포함하고 있는 장점이 있지만, 실제로 N:P 비율은 2-3:1이고 작물에서 필요로 하는 N:P 비율은 6-11:1 이다³⁾. 또한, 계사에서 이용되는 깔짚은 작물이 필요로 하는 질소 요구량을 기준으로 장기간 토양에 시비할 경우 과잉의 인이 토양에 축적되어 지표수를 통한 영양물질 유입으로 인해 생태계에 영향을 주는 것으로 알려져 있다⁴⁻⁶⁾.

인(P)은 동·식물 성장에 필수 영양소원으로 토양에서 이용성이 부족하게 되면 식물성장이 제한되는 특성을 가지고 있다. 그러나 수질오염원은 총 인(total-phosphorus)이 아니라 수용성 인(soluble reactive phosphorus)으로 수중에서 조류(algae)가 쉽게 이용할 수 있는 인의 90%로 존재하며 부영양화를 야기하는 주범으로 인식하게 되었다⁷⁾. 환경오염원으로 간주되는 인 배출의 일차적 요인은 가축에게 과잉 공급되어 섭취한 사료에서 기인되며⁸⁾ 다양한 요인들이 관여한다고 Perkin 등⁹⁾에 의해 보고된 바 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 축종에 따른 축분뇨처리, 적절한 사양관리 등 여러가지 방법들이 제시되고 있지만 그 실효성과 경제성을 고려할 때 많은 과제를 안고 있다. 이에 대한 최근의 보고서에서 Henuk¹⁰⁾은 “환경적으로 잘 유지된 사료 관리 체계(environmentally balanced feed management system)” 라는 개념을 도입하여 가금산업에 직면한 문제를 해결 하려는 가능성을 제시하였으며, Kim¹¹⁾은 인을 제어하는 방법과 관련하여 관리도구로서 인 유출지수(phosphorus site index)를 개발하여 적용할 필요성을 강조하였다.

Ferrous sulfate($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), calcium hydroxide [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 그리고 aluminum sulfate [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$] 등의 화학제제를 깔짚과 축분에 첨가하면 깔짚내 화학성분 변화 및 토양에 살포할 때 환경오염을 줄일 수 있다는 연구를^{12,13)} 바탕으로 다양한 화학제제의 특성 및 효능이 조사되었다. 그리고 Moore 등¹⁴⁾은 3년 동안 alum 처리한 깔짚을 시비한 목초지로부터 실시한 유거수(runoff) 실험에서 대조구보다 수용성 인 함량이 73% 감소된다고 보고하였으며, 수분조절제를 가진 퇴비화 과정의 깔짚에 Al과 Fe이

함유된 화학제제를 첨가한 Dao¹⁵⁾와 Vadas et al.¹⁶⁾ 연구 결과는 수용성 인 함량이 감소되는 것으로 보고되었다. 그외에도 Sims and Luka-MaCafferty¹³⁾는 alum을 처리한 깔짚에 함유된 수용성 인, 비소(As), 구리(Cu) 그리고 아연(Zn) 함량이 대조구와 비교할 때 상당히 낮아졌다는 결과를 보여주었다. 석탄재를 축분에 첨가한 연구는 최근이며 수용성 인 함량이 상당히 감소되는 것으로 보고되어 토양 첨가제로서 효능을 입증하였다^{17,18)}. 석탄재는 종류에 따라 효능과 특성이 좌우되며 현재까지 계분과 깔짚에 첨가되어진 연구와 정보는 제한적으로 알려져 있다.

본 연구는 깔짚에 첨가제를 깔짚 첨가에 집중되는 기존의 연구와는 달리 결정(solid)과 액상(liquid) 첨가제를 깔짚에 첨가·분무의 형태로 처리하여 기간에 따라 깔짚내 pH와 수용성 인 함량에 어떠한 영향을 주는지 기초 자료를 얻기 위해서 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 준비 및 설계

본 실험은 육계 사육을 하고 있는 가금 농장에서 약 5 kg 채취한 깔짚(poultry litter)을 반복하여 섞고 플라스틱 백에 넣은 후 공기를 차단하여 냉장고에서 보관하였다. 두개의 실험이 진행되어 실험 1에서는 42일 동안, 실험2에서는 10일 동안 실시되었다. 깔짚 첨가제는 깔짚 100 g을 기준으로 하여 아래에 제시된 비율로 미리 준비된 24개(8처리×3반복)의 플라스틱 용기(750-mL)에 넣었다. 대조구에는 깔짚 첨가제를 첨가하지 않았다. 고상(solid) 첨가제는 플라스틱 용기에 있는 깔짚 상층 1 cm에서 첨가하여 섞었으며 액상(liquid) 첨가제는 깔짚 상층 부분에 분무하였다.

실험 1.

- 1) 대조구, 2) 4 g fly ash/100 g litter, 3) 4 g AlCl_3 /100 g litter

실험 2

- 1) 대조구, 2) 4 g alum/100 g litter, 3) 8 g alum/100 g litter, 4) 8.66 g liquid alum/100 g litter, 5) 17.3 g liquid alum/100 g litter

2.2. 분석

pH와EC는 20 g 시료에 증류수 200 ml를 1:10비율로 가하여 진탕기에서 2시간 동안 샘플이 잘 섞이도록 흔들어서 주었다. 6000 rpm에서 15분 동안 원심 분리하도록 한 다음, 상층과 하층이 구별이 된 액상시료는 필터에 여과 시키지 않고 pH meter(Model 520A, ORION, USA)와 EC meter(Model 441, CORNING, USA)를 이용하여 측정하였다. 수용성 인 분석은 원심분리한 액상 시료를 0.45 μm membrane filter을 이용하여 여과시켰다. 액상 시료를 HCl로 pH 2에 맞추어 ascorbic acid분석 방법을 이용하여 자동 분석기로 분석하였다¹⁹⁾.

2.3. 통계처리

본 실험에서 얻어진 자료들의 통계 분석은 SAS package²⁰⁾의 GLM procedure로 분석분석을 실시하였으며, 처리 평균간의 차이는 LSD (Fisher's protected least significance difference) 검정으로 5% 수준에서 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

42일과 10일에서 깔짚을 채취하여 분석한 처리구와 대조구의pH와 수용성 인(SRP) 함량 결과를 Table 1과 2에 나타내었다. Table 1에서는 T1(4 g fly ash)과 T2 (4 g AlCl₃) 처리구가 대조구보다 수용성 인 함량이 각각47.1%와 62.6% 감소되었다. 그러나 대조구와 T1 처리구의 pH, T1과 T2 처리구의 SRP 함량에서는 통계적 유의성이 인정되지 않았다(P>0.05). Table 2에서 T1 (4 g alum), T2 (8.66 g liquid alum), T3 (8 g alum) 그리고 T4 (17.3 g liquid alum) 처리구의 수용성 인 함량은 대조구보다 각각36.2%, 62.9%, 87.0% 그리고 83.9% 감소되었으며 통계적 유의성이 인정되었다(P<0.05). 실험적인 측면에서 Table 1과 2의 결과를 보면 되면 기간별(42일과 10일), 처리방법(첨가 또는 분무) 그리고 서로 다른 alum의 종류에 따라서도 처리구의 수용성 인 함량이 대조구보다 감소되는 것으로 나타났다.

석탄재(fly ash)는 입자의 크기에 따라 화학적 조성과 토양의 물리적 성질에 영향을 주는 것으로 알려져 있어 축분에 첨가하면 인의 용해성을 감소시키며 pH 범위는 4.5~12로 다양하다고 하였다^{17,18,21)}.

Table 1. Concentration of SRP(soluble reactive phosphorus) and pH with and without poultry amendments at 42 days(Exp 1).

Treatment	pH	SRP(mg/kg)
Control	8.51±0.03 ^a	725.80±54.06 ^a
T1 ¹	8.64±0.08 ^a	384.03±20.27 ^b
T2 ²	7.86±0.04 ^b	271.60±62.27 ^b
LSD(0.05)	0.20	161.32

^{a-b}Means within the same column with no common superscript differ significantly(P<0.05).

¹4 g fly ash.

²4 g AlCl₃.

Table 2. Concentration of SRP(soluble reactive phosphorus) and pH with and without poultry amendments at 10 days(Exp 2).

Treatment	pH	SRP(mg/kg)
Control	7.92±0.04 ^a	835.68±44.21 ^a
T1 ¹	7.35±0.05 ^{ab}	533.53±11.10 ^b
T2 ²	7.34±0.03 ^{ab}	310.37±88.43 ^c
T3 ³	6.72±0.05 ^{bc}	108.87±1.42 ^d
T4 ⁴	6.04±0.46 ^c	134.81±58.98 ^{cd}
LSD(0.05)	0.71	181.56

^{a-d}Means within the same column with no common superscript differ significantly(P<0.05).

¹4 g alum[Al₂(SO₄)₃ · 18H₂O].

²8.66 g liquid alum.

³8 g alum.

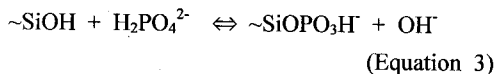
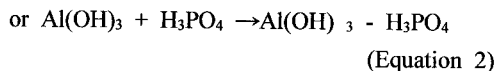
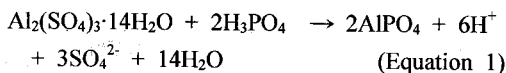
⁴17.3 g liquid alum.

화학제제는 Al, Fe 및 Ca을 포함하는 산 형성 화합물 (acid-forming compounds)로 축분에 첨가하면 수용성 인이 감소된다고 보고한 바 있다^{12,22-24)}. Dou et al.¹⁸⁾은 우분, 돈분 그리고 깔짚 kg당 석탄재의 일종인 FBC(fluidized bed combustion)를 400 g 비율로 첨가했을 때 용해성 인(soluble P) 함량이 50~60% 감소된다고 보고하였다. Adriano et al.²⁵⁾는 토양에 존재하는 인의 용해성을 감소시키기 위해 석탄재 부산물 속에 함유된 Ca²⁺ 이온은 경제적으로 안전한 첨가제라는 것을 증명하였다. Caliche, alum 그리고 fly ash를 축분에 첨가한 Dao et al.¹⁷⁾의 연구는 수용성 인 함량을 각각 21%, 60% 그리고 85% 감소 효과가 있다고 보고하였다. Shreve et al.²⁶⁾은 깔짚에 alum을 처리 하였을때 1차와 2차 유거수(runoff) 실험에서 수용성 인 함량이 각각 87%와 63% 감소된

다고 보고하였다. Alum과 Aluminum chloride를 이용한 Smith²³⁾ 연구에 의하면 수용성 인 함량이 84% 감소된다고 보고하였다. Nahm²⁷⁾의 다른 연구에서도 축분과 깔짚에 함유된 수용성 인 함량을 감소시키기 위한 다양한 화학제제의 효능을 보고하였다.

pH 는 깔짚 첨가제인 aluminum sulfate, aluminum chloride 그리고 석탄재(fly ash)를 축분과 깔짚에 첨가하면 수용성 인 함량이 감소되는 가장 중요한 요인으로 보고되어 있으며^{28,29)}, 본 연구 결과를 뒷받침하고 있다.

Alum과 석탄재는 인(P)과 결합할 때 다음과 같은 침전 반응과정을 거쳐 pH를 낮추어 수용성 인 함량이 감소되는 것으로 보고되어 있다^{17,30,31)}.



Alum은 두가지 반응을 거쳐 pH가 6이하일 경우 AlPO_4 를 형성하며(Equation 1), pH가 높아질(pH 6 to 8) 때는 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 를 형성하게 되어(Equation 2), pH 범위에 따라 Al이 인(P)과 결합하여 안정화시켜 수용성 인이 감소된다³¹⁾. 석탄재는 Equation 3에서 보는 바와 같이 작용기(functional group)의 일종인 $\sim\text{SiOH}$ 가 수용성 상태에서 반응하여 인 음이온(phosphorus anion)이 미립자 부분의 인 용해성을 억제하여 수용성 인이 감소되는 것을 알 수 있다^{17,29)}.

4. 결 론

실험실에서 수행한 다양한 깔짚 첨가제를 깔짚에 첨가 또는 분무의 형태로 처리하여 얻어진 pH와 수용성 인 함량은 실험 1에서 T1(4 g fly ash)과 T2(4 g AlCl_3) 처리구가 대조구보다 수용성 인 함량이 각각 47.1%, 62.6% 감소되었으며, 실험 2에서는 T1(4 g alum), T2(8.66 g liquid alum), T3(8 g alum) 그리고 T4(17.3 g liquid alum) 처리구의 수용성 인 함량은 대조구보다 각각 36.2%, 62.9%, 87.0% 그리고 83.9%

감소되는 것으로 나타났다. 단 기간 동안 깔짚 첨가제를 첨가·분무하는 방법이 깔짚내 pH를 낮추어 수질오염원인 수용성 인 함량을 감소시키는데 효과적이었다.

참 고 문 헌

- 1) Sims J. T., Wolf D. C., 1994, Poultry waste management: agriculture and environmental issues, *Advances in Agronomy*, 52, 1-83.
- 2) Bell D. D., 2002, Waste management. In: *Chicken Meat and Egg Production*, 5th edition, (Bell, D.D. and Weaver, Jr., W.D., Eds), Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, pp. 149-167.
- 3) Greaves J., Hobbs P., Chadwick D., Haygarth P., 1999, Prospect for the recovery of phosphorus from animal manure: A review, *Environmental Technology*, 20, 697-708.
- 4) Sharpley A. N., 1997, Rainfall frequency and nitrogen and phosphorus runoff from soil amended with poultry litter, *J. Environ. Qual.*, 26, 1127-1132.
- 5) Sharpley A. N., 1999, Agriculture phosphorus, water quality, and poultry production: Are they compatible? *Poult. Sci.*, 78, 660-673.
- 6) Silverstein K., 1999, Meat factories. *SIERRA*, Jan/Feb: pp.28-35, 110-112.
- 7) Edwards D. R., Daniel T. C., 1993, Effects of poultry litter application rate and rainfall intensity on quality of runoff from fescue plots, *J. Environ. Qual.*, 22, 361-365.
- 8) Choi I. H., Nahm K. H., 2003, Effects of dietary protein levels and addition of aluminum sulfate to litter on broiler performance, ammonia production and soluble phosphorus content of litter, *Korean J Poult Sci.*, 30(2), 113-118.
- 9) Perkin H. F., Parker M. B., Walker M. L., 1964, Chicken manure-its production, composition, and use as a fertilizer, *Bull. NS.* 123, Georgia Agriculture Experiment Station, Athens, GA.
- 10) Henuk Y. L., 2001, Nutrient adjustments of the diets fed to cage and barn laying hens to decrease waste. Ph.D Thesis, University of Queensland, Gatton.
- 11) Kim S. B., 2005, Agriculture phosphorus runoff and water quality management in watershed, *TALS* (<http://www.alric.org>) Vol.3(3), 22-28.
- 12) 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.
- 13) Sims J. T., Luka-McCafferty N. J., 2002, On-farm eval-

- uation of aluminum sulfate (alum) as a poultry litter amendmen: Effects on litter properties, *J. Environ. Qual.*, 31, 2066-2073.
- 14) 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.
 - 15) Dao T. H., Sikora L. J., Hamaski A., Chaney R. L., 2001, Manure phosphorus extractability as affected by aluminum and iron by products and aerobic composting, *J. Environ. Qual.*, 29, 1924-1931.
 - 16) Vadas P. A., Meisinger J. J., Sikora L. J., McMeutry J. P., Sefton A. E., 2004, Effect of poultry diet on phosphorus in runoff from soils amended with poultry manure and compost, *J. Environ. Qual.*, 33, 1246-1254.
 - 17) Dao T. H., 1999, Coamendments to modify phosphorus extractability and nitrogen/phosphorus ratio in feedlot manure and composted manure, *J. Environ. Qual.*, 28, 1114-11121.
 - 18) 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.
 - 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) SAS Institute, 1990, SAS/STAT user's guide, Version 6. 4th ed. SAS Inst., Cary, NC.
 - 21) Plank C. D., Martens D. C., 1974, Boron availability as influenced by applications of fly ash to soil, *Soil Science Society of America Proceeding* 38, 974- 977.
 - 22) Moore P. A. Jr., Daniel T. C., Edwards D. R., Miller D. M., 1995, Effects of chemical amendments on reduce ammonia volatilization from poultry litter, *J. Environ. Qual.*, 24, 293-300.
 - 23) Smith D. R., Moore P. A. Jr., Griffins C. L., Daniel T. C., Edwards D. R., Boothe D. L., 2001a, Effects of alum and aluminum chloride on phosphorus runoff from swine manure, *J. Environ. Qual.*, 30, 992- 998.
 - 24) Smith D. R., Moore P. A. Jr., Maxwell C. V., Daniel T. C., 2001b, Dietary phytase and aluminum chloride manure amendments to reduce phosphorus and ammonia volatilization from swine manure, In: *Proceeding of 2001 International Symposium* (Havenstein, G.B. Eds), North Carolina State University, NC. pp. 502-507.
 - 25) Adriano D. C., Woodford T. A., Giravolo T. G., 1978, Growth and elemental composition of corn and bean seedling as influenced by soil application of coal ash, *J. Environ. Qual.* 7, 416-421.
 - 26) Shreve B. R., Moore P. A. Jr., Daniel T. C., Edwards D. R., Miller D. M., 1995, Reduction of phosphorus in runoff from field-applied poultry litter using chemical amendments, *J. Environ Qual.*, 24, 106-111.
 - 27) Nahm K. H., 2005, Environmental effects of chemical additives used in poultry litter and swine manure, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35, 487-513.
 - 28) Shreve B. R., Moore P. A. Jr., Miller D. M., Daniel T. C., Edwards D. R., 1996, Long-term phosphorus solubility in soils receiving poultry litter treated with aluminum, calcium, and iron amendments, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 27(11&12), 2493-2510.
 - 29) Dao T. H., Daniel T. C., 2002, Particulate and dissolved phosphorus chemical separation and phosphorus release from treated dairy manure, *J. Environ. Qual.*, 31, 1388-1398.
 - 30) Ripley P. G., 1974, Nutrient removal-an American experience, *J Water Pollut Control Fed.*, 46, 406- 416.
 - 31) Cooke G. D., Welch E. B., Peterson S. A., and Newroth P. R., 1986, *Lake and reservoir restoration*, Butterworths, Ann Arbor Science Book, Boston, MA, USA.