연구노트

환경경영 기법을 이용한 가금산업에 적용(I)
- 화학제재를 첨가한 깔짚으로 부터 수용성 중금속
저감에 관한 연구를 중심으로 -

최인학^{*,**}, 최 선^{***}, 최정훈^{****}

^{*}진생유기농(주), ^{**}경북대학교 산업동물의학연구소,

^{***}한양사이버대학교 경영학부, ^{****}한양대학교 화학과

(2009년 9월 2일 접수; 2009년 11월 9일 수정; 2009년 12월 16일 채택)

Application of Poultry Industry Using Methods of Environmental Management
- A Study on Decreasing Soluble Metals from
Poultry Litter with Chemical Additives -

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

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

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

^{***}School of Business, Hanyang Cyber University, Seoul 133-791, Korea

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

(Manuscript received 2 September, 2009; revised 9 November, 2009; accepted 16 December, 2009)

Abstract

Recent studies have shown that alum addition to litter results in many environmental and economic advantages, such as reductions in metal runoff, lower ammonia emission and improved poultry performance. However, no research has been conducted to evaluate the effects of different types of alum on soluble metals in poultry litter. The objective of this study was conducted to investigate changes in soluble metal from poultry litter with different types of aluminum sulfate (alum) under laboratory condition. The treatments used in this study, which were mixed in the upper 1 cm of litter or sprayed onto the litter surface, were 4 g alum, 8 g alum, 8.66 g liquid alum, 17.3 g liquid alum, 11.2 g A7 (high acid alum), and 22.4 g A7 (high acid alum)/100 g litter. Applying different types of alum to poultry litter reduced ($P<0.05$) concentrations of soluble Fe (9 to 54%), Cu (9 to 49%) and Zn (11 to 40%), relative to untreated litter, whereas it increased Ca and Mg ($P<0.05$). Mean soluble Fe and Cu levels in poultry litter from different types of alum decreased in the order: 22.4 g A7 (54% and 49%) > 17.3 g liquid alum (48% and 42%) > 8 g alum (48% and 31%) > 4 g alum (28% and 10%) > 8.6 g liquid alum (10% and 9%) > 11.2 g A7 (8.6% and 9%). Additionally, the high reduction in soluble Zn concentration was 4 g alum (40%), followed by 8 g alum (26%), 22.4 g A7 (25%), 17.3 g liquid alum (23%), 8.66 g liquid alum (18%), and 11.2 g A7 (11%), respectively. In conclusion, the current studies suggest that treating poultry litter with different types of alum can be applied to reduce soluble metal (Fe, Cu, and Zn) and to develop a production to merchandise for poultry litter that would result in reduction in pollutants from these materials. Furthermore, in order to improve environmental management in the poultry industry, the use of alum, liquid alum and high acid alum all should be provided a valid means of reducing negative environmental impact.

Key Words : Poultry litter, Alum, Liquid Alum, A7 (high acid alum), Soluble metal

1. 서 론

우리나라 축산업의 현주소는 30년 전에 비하여 비약적인 발전을 이루었다. 그러나 밀집된 시설과 대량 생산에 의한 축 분뇨, 폐사가축 그리고 가공 폐기물과 같은 축산 부산물의 처리가 커다란 관심사가 되고 있다. 따라서 이들 부산물을 처리 방법에 따라 축산경영자들에게는 경제적인 이익 창출이 될 수도 있지만 환경경영 부재로 인하여 환경오염이라는 큰 문제가 될 수도 있다¹⁾. 더욱이 급변하는 현대 사회에서 환경에 관한 문제는 매우 민감한 문제이기도 하지만 가축 사육과 축산 폐기물 생성에 따른 새로운 법령들이 제정되어 이에 대한 처벌이 계속 강화 추세에 이르게 되었다. 가축 사육 시 환경규제 조치에 대한 예로는 살 처분 시 부과금을 낙농가들에게 지불하거나 축사에서 환경 오염물질의 배출 시 배출량 한도를 어느 정도로 규제할 것인지 등을 제시하고 있다¹⁾. 이런 시점에도 불구하고 축산업의 모든 부분이 점점 세분화되고 그러한 경영 및 연구 결과에만 의존하고 있으며 축산업 전반적인 경영에 관한 연구는 보고되지 않고 있다^{2,3)}. 특히 기업경영에 관한 노하우는 대외비로 취급되는 이유 때문에 축산업 대부분이 환경오염을 유발시키면서도 그 원인과 결과에 대한 진단 및 규제 등을 정확하게 말하기 어려운 실정이다^{2,3)}.

특히, 축 분뇨 가운데서 계분과 깔짚은 유기질 비료와 영양소원으로 가치가 있기 때문에 환경경영개선 통해 수익을 창출할 수 있는 것으로 알려져 있다^{4,5)}. 이러한 계분과 깔짚에는 Al, Ca, Cr, Fe 등의 21개 광물질이 포함되어 있으며³⁾, 이들 광물질은 계란생산량의 증대와 증체량 그리고 사료효율의 향상 및 질병을 예방할 목적으로 투여된 가금 사료에 첨가된다⁶⁻⁸⁾. 그런데 대부분 가금 사료에 첨가된 과잉의 광물질은 분으로 직접 배설되거나 침착 되어 광물질이 농집되는 결과를 초래하며, 이를 토양에 살포 후 토양오염과 지하수오염으로 이어지는 사이클을 형성하게 된다. 결국 이러한 사이클은 궁극적인 중금속 오염원이 되는 것이다. 한 예로 1996년 미국에서는 깔짚 생산량이 1200만 메가그램(Mg)으로 이들 중 약 90%가 토양에 직접 시비된다고 보고하였다⁹⁾. Jackson 등¹⁰⁾의 연구에서는 가금농장의 구조특성상

운임 문제로 곤경에 처한 지역에서는 매년 반복하여 같은 장소에 깔짚을 토양에 살포하게 되고 이에 따른 중금속 오염문제와 과잉의 인(excessive P) 문제가 발생된다고 하였다. Kunkle 등¹¹⁾의 연구에서도 계사에서 연속적으로 다섯 번 사용된 깔짚은 한번 사용한 깔짚보다 중금속 함량이 3배정도 높다고 하였다. 심지어 하수 슬러지(sewage sludge)의 경우는 토양에 시비할 때 시비량을 조절함으로써 중금속 함량을 조절할 수 있지만¹²⁾, 가축 분에서는 중금속 함량을 조절할 수 있는 방법이 없다고 보고되었다¹³⁾. 그러나 몇몇 연구에서는 이러한 오염물질 조절방법으로서 황산알루미늄(aluminum sulfate, alum)을 깔짚에 첨가하는 것이 중금속 함량을 감소시킬 수 있다고 알려져 있다¹⁴⁾. 그 이후 Sim와 Luka-McCafferty¹⁵⁾의 연구에서도 Moore 등¹⁴⁾의 선행 연구를 입증하기 위해 황산알루미늄을 깔짚에 이용하는 것이 효과적이라는 사실을 보고하였다. 따라서 지금까지도 화학제제에 대한 연구가 계속 진행되고 있지만, 화학제제를 깔짚에 첨가하여 수용성 중금속과 관련된 이전의 보고가 많이 없었기에 이에 대한 선행 연구 바탕으로 환경경영 개선의 한 방법으로 모색하여 본다면 향후 경제적인 측면에서도 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 환경경영 개선 방법으로 실험실 연구를 통해 서로 다른 형태의 황산알루미늄을 깔짚에 처리한 구와 대조구를 비교하고, 수용성 중금속함량에 어떠한 변화가 있는지를 규명하고 이에 따른 환경경영 기초자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 준비 및 설계

본 실험은 가금 사육을 하고 있는 농장에서 약 10 kg 깔짚(poultry litter) 샘플을 채취하였다. 채취한 샘플은 잘 섞이도록 5분 정도 흔들어 준 다음 플라스틱 백에 넣어 분석을 위하여 냉장고에 보관하였다. 화학제제는 깔짚 100 g을 기준으로 미리 준비된 21개(7처리×3반복)의 밀폐된 플라스틱 용기(750 mL)에 넣었다. 대조구에는 화학제제를 첨가하지 않았지만, 고상(solid) 황산알루미늄은 플라스틱 용기에 있는 깔짚 상층 1 cm에서 첨가하여 섞였으며 액상(liquid) 황산알루미늄과 고농도 액상 황산알루미늄

은 깔짚 상층 부분에서 분무하였다. 화학제제 첨가 비율은 아래와 같이 제시되었다.

- 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
- 6) 11.2 g A7(high acid alum)/100 g litter
- 7) 22.4 g A7(high acid alum)/100 g litter

그리고 A7(high acid alum)은 액상 황산알루미늄보다 높은 산(acid)을 함유한 액상 형태의 황산알루미늄이다. 실험은 플라스틱 용기에 화학제제를 처리 후 42일 동안 그대로 두었고 샘플은 즉시 분석에 이용하였다.

2.2. 분석

중금속 함량 분석을 위해 20 g 샘플에 200 ml 증류수를 1:10비율로 가하여 진탕기에서 2시간 동안 샘플이 잘 섞이도록 흔들어 주었다. 6000 rpm에서 15분 동안 원심 분리시켜 상·하층이 구별이 된 액상 시료를 0.45 μ m membrane filter를 이용하여 여과시켰다. 여과된 액상시료는 HCl로 pH 2에 맞추어 Ca, Mg, Fe, Cu 및 Zn 함량을 ICP(inductively coupled plasma)로 분석하였다.

2.3. 통계처리

본 실험에서 얻어진 자료들의 통계 분석은 난괴법(a randomized complete block design)으로서 SAS package¹⁶⁾의 GLM procedure로 분석분석을 실시하였으며, 처리 평균간의 차이는 Fisher's Protected LSD 검정으로 5% 수준에서 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

다른 형태의 황산알루미늄을 첨가 수준을 달리 하여 깔짚에 첨가했을 때 수용성 Ca과 Mg 함량에 미치는 영향을 Fig. 1에 제시하였다. 수용성 Ca(Fig. 1A)과 Mg(Fig. 1B) 함량은 대조구와 비교할 때 다양한 형태의 황산알루미늄 처리구에서 증가하는 경향이 있었다($P < 0.05$). 다양한 형태의 황산알루미늄 처리구의 수용성 Ca과 Mg 함량은 22.4 g A7에서 가장 높았고, 17.3 g liquid alum(LA), 8 g alum 순으로 높았다. 그 다음은 11.2 g A7, 8.6 g liquid alum(LA) 그리고 4 g alum 순이었으며, 대조구가 수용성 Ca과 Mg 함량이 가장 낮았다. 이런 차이는 비율을 달리 하는 고상과 액상 상태의 화학제제가 반응하는 과정에서 Ca과 Mg 결합력을 달리하기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 본 연구의 흥미로운 사실은 수용성 Mg 함량의 증가가 수용성 Ca 함량 증가와 비슷한 형태의 분포도를 보이고 있다. 이 결과는 Moore 등¹⁴⁾이 황산알루미늄을 깔짚에 첨가하여 토양에 시비한 후 수용성 중금속(soluble metal) 함량을 분석한

Fig. 1. Effect of different types of alum treatments on (A) Ca and (B) Mg in poultry litter. Data presented are mean ($\pm$ SEM) values. ^{a-f} Bars with the same letters are not significantly different at $P < 0.05$.

유거수(runoff) 실험에서도 Ca과 Mg 함량이 증가된다는 보고와 일치하였다. 그러나 화학제재를 첨가했을 때 수용성 Ca과 Mg 함량이 증가되는 이유는 명확하지 않지만, 희석효과(dilution effect) 때문이라고 Moore 등¹⁴⁾ 등은 설명하고 있다. 보고된 깔짚 중에 함유된 총 Ca 함량은 평균적으로 22.4 g/kg이며, 수용성 Ca 함량은 총 Ca 함량의 3%를 차지한다고 한다¹⁰⁾. 총 Mg 함량의 경우는 깔짚 속에 평균 7.2 g/kg, 수용성 Mg 함량은 총 Mg 함량에 대하여 평균 17% 범위로 보고되어 있다¹⁰⁾. 본 연구에서 관측된 결과와 보고된 Ca과 Mg 함량을 비교해 보면, 그 범위가 분명히 다르며 다양한 변인들이 존재한다는 사실을 추측할 수 있다. 앞에서 언급했듯이 Mg과 Ca은 가금성장, 계란 및 가금사양에서 없어서 안될 다량 무기물(trace element)로서 매우 중요한 물질이다. 그러나 환경 오염적인 측면을 고려할 때는 사료 조절 및 배설물의 배출량조절을 통해서도 Ca과 Mg 함량을 조절할 필요는 자명하다.

Fig. 2는 다른 형태의 황산알루미늄을 깔짚에 첨가했을 때 첨가 수준에 따라 분석된 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량을 나타내었다. 수용성 Fe(Fig. 2A)과 Cu(Fig. 2B) 함량은 대조구보다 다양한 형태의 황산알루미늄 처리구에서 감소되는 것으로 관측되었다($P < 0.05$). 수용성 Fe의 경우, 통계적 유의성은 22.4 g A7, 17.3 g liquid alum 및 8 g alum 처리구간에는 없는 것으로 나타났다($P > 0.05$). 이는 서로 다른 형태의 화학제재이지만 높은 비율에서는 화학제재의 효능이 비슷하기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 마

찬가지로 8.6 g liquid alum와 11.2 g liquid alum 처리구에서도 수용성 Fe 함량에는 영향을 주지 않았다($P > 0.05$). 수용성 Cu는 22.4 g A7와 17.3 g liquid alum 처리구와 4 g alum 와 11.2 g A7 처리구에서는 각각 통계적 유의성이 인정되지 않았다($P > 0.05$). 황산알루미늄을 처리한 깔짚의 수용성 Fe와 Cu 함량은 그 종류에 따라 각각 9~54%, 9~49%로 감소되었다. 수용성 Fe와 Cu 함량 감소의 가장 큰 범위는 22.4 g A7(54%와 49%), 17.3 g liquid alum(48%와 42%) 그리고 8 g alum(48%와 31%) 처리구 순으로 관측되었다. 그 다음은 4 g alum(28%와 10%), 8.6 g liquid alum(10%와 9%) 그리고 11.2 g A7(8.6%와 9%) 처리구 순으로 나타났다. 수용성 Zn 함량(Fig. 2C)은 대조구보다 서로 다른 형태의 황산알루미늄 처리구에서 감소되는 것으로 나타났다($P < 0.05$). 그러나 8 g alum, 8.6 g liquid alum, 17.3 g liquid alum 및 22.4 g A7처리구간에는 통계적 유의성은 없었다($P > 0.05$). 대조구와 비교할 때 이들 황산알루미늄 처리구의 Zn 함량은 그 종류와 특성에 따라 11~40%로 감소되었다. 8 g alum, 22.4 g A7, 그리고 17.3 g liquid alum 처리구는 수용성 Zn 함량 감소가 각각 26%, 25%, 23%로 중간 정도 범위에서 결정되었으며 이는 높은 비율로 첨가된 화학제재의 효능이 비슷하다는 것을 의미한다. 가장 큰 감소 범위는 약 40%인 4 g alum 처리구로 이런 결과는 아마도 실험비과정에서의 실수나 분석기기의 오차로 보여진다. 가장 낮은 감소 범위는 8.66 g liquid alum(18%) 그리고 11.2 g A7 (11%) 처리구 순으로 관측되었다. 전체적

Fig. 2. Effect of different types of alum treatments on (A) Fe, (B) Cu, and (C) Zn in poultry litter. Data presented are mean ($\pm$ SEM) values. ^{a-d} Bars with the same letters are not significantly different at $P < 0.05$.

으로 본 연구 결과는 다른 형태의 황산알루미늄 첨가 수준을 높일수록 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량이 크게 감소되었다는 것을 보여준다. 또한, 황산알루미늄을 이용한 Sims와 Luka-McCafferty¹⁵⁾의 선행연구와 일치하였다. 최근 가금산업에서의 주된 관심사는 깔짚에 함유된 수용성 Cu와 Zn 함량을 줄이는 것으로 Moore 등¹⁴⁾의 연구에서도 깔짚에 황산알루미늄의 처리는 대조구와 상대적으로 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량이 상대적으로 감소된다고 보고하였다. 일반적으로 깔짚에 함유된 총 Fe, Cu 및 Zn 함량은 각각 2,189 mg/kg, 479.2 mg/kg, 372.7 mg/kg로 보고되었으며 물에 용해되어 있는 상태에서 Fe, Cu 및 Zn 함량은 총 Fe, Cu 및 Zn 함량에 상대적으로 각각 5%, 41%, 6%라고 알려져 있다. 몇몇 보고된 깔짚에 함유된 Cu와 Zn 함량은 연구자마다 다르며, van der Watt 등⁸⁾의 연구에서는 1196와 631 mg/kg, Nicholson 등¹⁷⁾은 743과 501 mg/kg로 보고하였다. 본 연구에서 한가지 주목해야 할 사실은 깔짚에 서로 다른 형태의 황산알루미늄을 첨가했을 때 수용성 중금속이 감소되는 메커니즘으로서 현재로서는 정확한 이유는 불분명하며 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. Moore 등¹⁴⁾에 따르면 황산알루미늄 특성으로 인해 유기수에서 중금속 함량이 감소되는 이유는 수용성 유기탄소(soluble organic C) 함량과 관련이 있음을 제시하였다.

4. 결 론

최근 화학제제를 이용한 방법이 경제적으로 축산 환경경영에 이점을 제공한다는 보고가 있으며, 이에 따라 본 연구에서는 실험실 연구를 통하여 유기질 가치 자원인 깔짚에 새로운 형태의 황산알루미늄을 첨가하여 깔짚의 특성과 수용성 중금속함량의 변화를 조사하였다. 이에 따라 환경문제를 최소화하고 양계부분의 환경경영 개선방법으로서 기초자료를 얻고자 하는데 그 목적이 있다. 100 g 깔짚에 첨가된 다른 형태의 황산알루미늄은 4 g alum, 8 g alum, 8.66 g liquid alum, 17.3 g liquid alum, 11.2 g A7 및 22.4 g A7로 밀폐된 폴리스틱 용기에 넣어 42 일 그대로 두어 그 후의 변화를 관측하여 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다. 수용성 Ca과 Mg 함량은 대조구보다 다른 형태의 황산알루미늄 처리구

에서 증가하였지만($P<0.05$), 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량은 다른 형태의 황산알루미늄 처리구에서 감소되는 것으로 관측되었다($P<0.05$). 황산알루미늄을 처리한 깔짚의 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량은 그 종류에 따라 각각 9~54%, 9~49%, 11~40%로 감소되었다. 수용성 Fe와 Cu 함량 감소의 가장 큰 범위는 22.4 g A7(54%와 49%), 17.3 g liquid alum(48%와 42%), 8 g alum(48%와 31%), 4 g alum(28%와 10%), 8.6 g liquid alum(10%와 9%) 그리고 11.2 g A7(8.6%와 9%) 처리구 순으로 나타났다. 그리고 수용성 Zn의 경우는 4 g alum(40%) 처리구에서 가장 큰 감소를 보였으며, 그 다음은 8 g alum, 17.3 g liquid alum 및 22.4 g A7 처리구로 23~26%로 비슷한 감소 수준이었다. 가장 낮은 감소 범위는 8.66 g liquid alum(18%), 11.2 g A7(11%) 처리구 순으로 관측되었다. 본 연구 결과를 종합해 보면, 깔짚에 새로운 형태의 황산알루미늄 적용은 가금산업에서 시급히 해결해야 될 문제인 수용성 Fe, Cu 및 Zn 함량을 줄일 수 있으며, 더 나아가 환경경영 측면에서 연구가 이루어진다면 환경경영개선을 통한 경제적인 이익과 경영의 효율적인 측면에서도 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 양계연구, 1994, 양계장의 부산물 관리, 38-44.
- 2) 양계연구, 2003, 축산공해와 축산 전문 실험실의 역할, 54-59.
- 3) Nahm K. H., 2000, A strategy to solve the environmental concerns caused by poultry production, *World's Poul. Sci.*, 56, 379-388.
- 4) Fontenot J. P., L. W. Smith, and A. L. Sutton, 1983, Alternative utilization of animal wastes, *J. Anim. Sci.*, 57, 221-233.
- 5) Choi I. H., S. J. Yi and C. M. Kim, 2008, A study on pH and soluble reactive phosphorus (SRP) from litter using various poultry litter amendments during short-term: a laboratory experiment, *Korean Environ. Sci. Soc.*, 17, 233-237.
- 6) Kelly T. R., O. C. Pancorbo, S. A. Merka, S. A. Thompson, M. L. Cabrera and H. M. Barnhart, 1996, Elemental concentrations of stored whole and fractionated broiler litter., *J. Appl. Poult. Res.*, 5, 276-281.
- 7) Kpomblekou-A K., R. O. Ankumah and H. A. Ajwa, 2002, Trace and nontrace element contents of broiler litter, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 33, 1799-1811.

- 8) van der Watt H. v. H. and M. E. Sumner, M. L. Cabrera, 1994, Heavy metals in the environment: Bio-availability of copper, manganese, and zinc in poultry litter, *J. Environ. Qual.*, 23, 43-49.
- 9) Cabrera M. L. and J. T. Sims, 2000, Beneficial use of poultry by products: Challenges and opportunities, *In* Power J. F. and Dick W. A. (ed.) *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*, SSSA, Madison, WI.
- 10) Jackson B. P., P. M. Bertsch, M. L. Cabrera, J. J. Camberato, J. C. Seaman and C. W. Wood, 2003, Trace element speciation in poultry litter, *J. Environ. Qual.*, 32, 535-540.
- 11) Kunkle W. E., L. E. Carr, T. A. Carter and E. H. Bossard, 1981, Effect of flock and flock type on the levels of nutrients and heavy metals in broiler litter, *Poult. Sci.*, 60, 1160-1164.
- 12) USPEA, 2002, List drinking water contaminants and MCLs (EPA 816-F-02-013), [Online] Available at <http://www.epa.gov/OGWDW/mcl.html#mcls> (accessed 25 May 2005; verified 24 May 2006).
- 13) Pirani A. L., K. R. Byre, T. C. Daniel, B. E. Haggard, E. E. Gbur and J. D. Mattice, 2006, Soluble metal leaching from a poultry litter-amended soil under pasture vegetation, *Vadose Zone J.*, 5, 1017-1034.
- 14) Moore P. J. Jr., T. C. Daniel, J. T. Gilmour, B. R. Shreve, D. R. Edwards and B. H. Wood, 1998, Decreasing metal runoff from poultry litter with aluminum sulfate, *J. Environ. Qual.*, 27, 92-99.
- 15) Sims J. T. and N. J. Luka-McCafferty, 2002, On-farm evaluation of aluminum sulfate (alum) as poultry litter amendment: effects on litter properties, *J. Environ. Qual.*, 31, 2066-2073.
- 16) SAS Institute, 1990, *SAS/STAT user's guide*, Version 6, 4th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC.
- 17) Nicholson F. A., B. J. Chambers, J. R. Williams and R. J. Williams, 1999, Heavy metal contents of live-stock feeds and animal manures in England and Wales, *Bioresour. Technol.*, 70, 23-31.