

갈짚에 두 가지의 다른 화학제제를 첨가하였을 때 육계의 생산성과 계사내의 이산화탄소 가스 발생에 미치는 영향

최인학[†] · 남기홍

대구대학교 자연자원대학 가축사료영양학 연구실

Effects of Applying Two Different Chemical Additives to the Litter on Broiler Performance and the Carbon Dioxide Gas Production in Poultry Houses

I. H. Choi[†] and K. H. Nahm

Feed and Nutrition Laboratory, College of Natural Resources, Taegu University, Gyong San, Gyongbuk 712-714, South Korea

ABSTRACT The objectives of this study were to determine the effect of applying two different additives to the litter on broiler performance and the carbon dioxide gas production in poultry cages. In two different experiments, the carbon dioxide gas production in poultry litter used for 42 days was measured. The chemical additives were applied to the litter at a rate of 200 g aluminum chloride ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$) or 200 g aluminum sulfate [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, Alum] + 50 g carbon carbonate per kg litter. There was no effect on broiler performance by the litter additives, but the values of carbon dioxide gas produced from broiler litters which were treated with chemical additives were significantly lower ($P < 0.05$ and 0.01) than that of the control. This study showed that carbon dioxide gas production can be reduced by chemically treating the litter with $AlCl_3$ or Alum + $CaCO_3$.

(Key words: broiler performance, carbon dioxide gas production, aluminum chloride, alum + carbon carbonate, chemical additives, litter)

서론

축산업이 농업부분에 있어서 중요한 분야를 차지하면서 계사의 바닥재인 갈짚이나 돈분과 우분에 의해서 발생하는 오염물질들이 이제는 환경오염으로 대두되었다. 따라서 높은 가축 사육밀도를 가진 나라에서는 축산 분뇨에 관한 법률과 그 환경에 맞는 기준 지침을 설정하도록 하고 있다(de Willigen and Ehelrt, 1991; MAFF, 1991). 가축의 분, 슬러리(slurry), 갈짚 등은 유기질 비료나 토양 개량제로 많이 이용되고 있다. 갈짚과 축분을 적절히 이용하면 퇴비의 사용 효과와 토양의 화학적·생물학적 특성의 개선, 질소(N)와 인(P)의 적절한 공급 등으로 식물의 영양소 공급원으로서의 장점을 가지고 있다는 장점을 가지고 있다(Feigin and Savig, 1974; Mathers and Stewart, 1974). 그러나, 과량 이용시에 가축 분뇨에 의해서 발생하는 냄새는 주위의 민원과 질소(N),

인(P)의 과다 배출에 의하여 심각한 대기오염과 수질오염 문제를 야기시키게 된다.

축분은 축사나 저장 탱크에 오랫동안 저장되어 있으면 공기를 오염시키는 가스를 생성한다. 이로 인하여 생성되는 냄새와 다른 악취의 영향 등이 지속적인 문제로 남게 되었다(Williams, 1995). 축사내에서 발생하는 가스는 130가지 이상이 되며 그 가운데서 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S), 이산화탄소(CO_2), 휘발성 지방산(VFA), phenol 및 indole 등이 그 주류를 이루고 있다(Muehling, 1970; O'Neill and Phillips, 1992; Curtis, 1993; Hartung and Phillips, 1994; Heber et al., 1997; Hobbs et al., 1999; Zhu et al., 1999).

종래의 연구에서는 계사내 온도, 습도, 사육밀도 및 환기율의 적절한 관리 방법 등으로 이산화탄소(CO_2)와 먼지 등을 포함한 공기 오염물질 발생을 감소시킬 수 있다고 연구 보고하였다(Grub et al., 1965; Harry, 1978; Webster, 1990). 계

[†] To whom correspondence should be addressed : tdf3582@icqmail.com

사 내에서 깔짚 중의 열과 과잉 수분은 먼지, 이산화탄소(CO₂) 및 암모니아(NH₃) 등의 생성 원인이 된다(Anderson et al., 1964; Al Homidan et al., 2003). 가금의 호흡기 질병, 높은 폐사율 및 생산자의 건강 침해(Gross et al., 1959; Anderson et al., 1964; O'Connor et al., 1987) 등 주요 원인은 바닥재인 깔짚의 형태, 사료, 가금 배설물, 사육밀도 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다(Yoder and Van Wicklen, 1988).

계사내에서 발생하는 가스 발생 감소에 관한 연구는 대부분 암모니아(NH₃) 발생량의 감소와 더불어 육계 생산성, 검정 등의 형태로 연구가 진행되어 왔지만, 깔짚에 화학제제 [AlCl₃ 나 Aluminum sulfate(Alum)+CaCO₃]를 처리하여 이산화탄소(CO₂) 발생이 어떻게 변화되는지에 관한 연구는 거의 없는 상태이다. 따라서 본 연구의 목적은 두 가지 화학제제 (AlCl₃ 나 Alum+CaCO₃)를 각각 깔짚에 처리하여 계사내에서 발생하는 이산화탄소(CO₂) 발생량과 육계 생산성에 미치는 영향을 조사하고자 시도하였다.

재료 및 방법

1. 시험동물 및 관리

본 시험은 시중에 시판되고 있는 무감별추 육계(Arbor acres)를 2002년 12월 13일부터 2003년 1월 23일까지 총 42일 동안 A와 B 계사가 있는 대구대학교 동물 사육실에서 2개의 시험을 실시하였다. 시험축은 A와 B 계사에 각각 처리구와 대조구를 두어 각각 32수씩(2처리×4반복×4케이지) 총 64수를 배치하였다. 사료와 물은 자유급식시켰으며 점등은 전 시험기간 동안 종야 점등을 실시하였다. 실내온도는 성장에 따라 자동 조절되게 하였다.

2. 시험사료 및 생산성 조사

본 시험에 이용된 시험사료의 배합비 및 영양소 함량은 Table 1과 같다. 시험사료는 2개의 처리구와 각 대조구에 전·후기로 구별하여 0~21일령에는 Diet 1을 22~42일령에는 Diet 2를 급여하였다. 사료섭취량, 증체량 및 사료요구율은 전 사양기간 동안 각 주별로 측정하였다.

3. 화학제제의 첨가방법과 이산화탄소(CO₂) 가스 측정

깔짚(왕겨)의 깊이는 10 cm 정도로 되게 각 케이지 바닥에 깔았다(Johnston et al., 1981). 2 가지 화학제제 처리는 사양시험이 시작되기 3일전에 실시되었다. 깔짚 kg당 A계사의 처리구에 AlCl₃ · 6H₂O 200 g을 처리하였고, B계사의 처리구

Table 1. Composition and calculated nutrient content of the experimental diets

	Diet 1(0~21d)	Diet 2(21~42d)
	(21% protein)	(19% protein)
	----- (% as fed) -----	
Corn	45.69	51.05
Wheat	15.60	15.64
Soybean meal, dehulled	24.60	17.31
Rapeseed meal	2.30	3.20
Corn gluten	2.50	3.20
Fish meal	4.60	3.30
Meat and bone meal		1.00
Limestone	0.93	0.80
TCP	0.55	0.45
Salt	0.25	0.25
Animal fat	1.95	2.70
L-Lysine	0.03	0.05
Methionine		0.05
Vitamin-mineral premix ¹	1.00	1.00
Calculated analysis		
ME, kcal/kg	2,959.50	3,102.20
Protein	21.76	19.03
Lysine	1.16	0.94
Methionine + cystine	0.83	0.40
Tryptophan	0.26	0.21
Threonine	0.83	0.72
Calcium	1.10	1.10
Total phosphorus	0.63	0.61
Available phosphorus	0.41	0.40

¹ The vitamin and mineral premix provide the following quantities per kilogram of diet : vitamin A, 13,000 IU (all-trans-retinanol); vitamin D, 2,600 IU; vitamin E, 32.50 mg; vitamin K, 2.99 mg; thiamine, 2.21 mg; riboflavin, 7.15 mg; pyridoxine, 4.55 mg; niacin, 40.30 mg; vitamin B₁₂, 0.02 mg; folic acid, 0.91 mg; biotin, 0.10 mg; manganese, 60 mg; zinc, 50 mg; iron, 50 mg; copper, 8.00 mg; iodine, 1.00 mg; cobalt, 0.50 mg; selenium, 0.20 mg.

에는 Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O 200 g+CaCO₃ 50 g의 비율로 top dressing 하였다(Moore, 1995; Moore et al., 1995).

Top dressing을 한 후 손 갈퀴로 가볍게 왕겨 위를 전반적으로 갈퀴질해 주었다(Reece et al., 1979). 대조구는 화학제제를 첨가하지 않은 채 같은 방법으로 깔짚만 케이지 바닥에 깔았다. 이산화탄소(CO₂) 가스 측정은 가스포집기(Gastec,

Corporation 6431 Fukaya, Ayase, Japan)를 이용하였으며 A와 B계사에는 각 처리구와 대조구에 칸막이를 쳐서 공기가 서로 내통되지 않도록 하였다.

이산화탄소(CO₂) 측정방법은 Johnston et al.(1981)의 방법과 동일하게 깔짚(왕겨) 표면으로부터 위로 1~2 cm 정도 떨어진 곳에서 가스를 흡입하여 1분 동안 머문 후에 검지관을 읽어서 측정하였다. 가스 측정은 한번에 케이지마다 4곳에서 실시하였으며 측정은 일주일 간격으로 실시되었다.

4. 통계처리

본 연구에서 얻어진 처리구와 대조구간의 생산성과 이산화탄소(CO₂) 가스 발생량의 통계처리는 t-test에 의하여 평균치를 비교하였다(Snedecor and Cochran, 1969). 유의성 검정은 평균치간에 5%(P < 0.05) 및 1%(P < 0.01) 수준에서 측정하였다.

결과 및 고찰

Table 2는 0~21일령, 22~42일령, 0~42일령에서 육계에 대한 사료섭취량, 증체량 및 사료요구율을 나타내고 있다. 사료섭취량과 증체량은, AlCl₃ 처리구가 대조구보다 0~21일령, 22~42일령과 0~42일령에서 감소하는 경향을 보였다. Alum+CaCO₃ 처리구는 대조구보다 0~21일령에서 감소하는 경향이었지만, 22~42일령과 0~42일령에서 좋은 경향을 보였다. 사료요구율은 AlCl₃ 처리구가 대조구보다 22~42일령에서 좋은 경향을 보였지만, 0~21일령과 0~42일령에서는

좋은 경향을 보이지 않았다. Alum+CaCO₃ 처리구의 사료요구율은 0~21일령에서 좋은 경향을 보이지 않았지만, 22~42일령과 0~42일령에서는 좋은 경향을 보였다. 이들 결과는 화학제제 첨가에 따른 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

Moore et al.(2000)은 대조구의 육계 평균 체중이 1.66 kg이었던 데 비해서 Alum을 처리한 그룹의 평균 체중은 1.75 kg으로 더 무거웠다고 보고하였다. Moore et al.(1995)의 다른 연구에서도 Alum 처리구와 대조구간에 육계 체중은 1.78 kg과 1.72 kg, 사료요구율은 1.83과 1.89로 Alum 처리구가 성적이 더 좋았다고 하였다.

본 연구결과는 통계적인 차이에 의한 유의성은 없었지만, Alum+CaCO₃ 처리구는 Alum을 처리할 경우 육계 생산성이 증가한다는 Moore et al.(1995, 2000)의 결과와 일치하는 경향을 보였다. 그러나 AlCl₃ 처리구의 육계생산성은 이와 정반대의 결과를 보였다. 깔짚에 화학제제를 첨가한 연구가 Alum과 육계 생산성에 초점을 맞추고 있어(Moore et al., 1995, 2000), AlCl₃ 처리를 했을 경우 육계 생산성에 관한 연구는 거의 없어 앞으로 이 부분에 대한 육계 생산성 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Table 3은 각 주별로 측정된 계사내에서 생성되어지는 이산화탄소(CO₂) 농도를 나타내고 있다. 깔짚에 화학제제를 처리한 구(AlCl₃, Alum+CaCO₃)와 각 대조구간에 2주 이후부터는 고도의 통계적 유의차가 인정되었다(P < 0.01). AlCl₃를 처리한 구는 2주에서 6주로 가면서 803.13, 1,009.38, 1,086.88, 1,312.50, 1,596.90 ppm으로 증가하였으며, Alum+ CaCO₃ 처리구는 2주에서 5주까지 1,045.63, 1,462.50, 1,676.88, 1,800.00

Table 2. Effect of aluminum chloride and aluminum sulfate+carbon carbonate on average feed intake, weight gain, and feed conversion ratio

Treatment	Feed intake			Weight gain			Feed : gain		
	Days 0 to 21	Days 22 to 42	Days 0 to 42	Days 0 to 21	Days 22 to 42	Days 0 to 42	Days 0 to 21	Days 22 to 42	Days 0 to 42
	g								
Control	898.1	2,893.7	3,791.8	502.0	1,501.8	2,003.8	1.79	1.93	1.89
AlCl ₃	870.4	2,814.1	3,684.5	463.6	1,471.5	1,935.1	1.88	1.91	1.90
Significance ¹	NS ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Control	871.5	2,702.9	3,574.4	506.8	1,365.4	1,872.3	1.72	1.98	1.91
Alum +CaCO ₃	865.1	2,750.9	3,616.0	477.2	1,445.7	1,922.9	1.81	1.90	1.88
Significance ¹	NS ²	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹ t-test.

² NS : Non-significant.

Table 3. Mean(\pm SEM) values of carbon dioxide gas concentration produced from broiler litter

Treatments	Carbon dioxide gas concentration(ppm)					
	1 wk	2 wks	3 wks	4 wks	5 wks	6 wks
Control	-	1,790.6 \pm 56.2	2,200.0 \pm 94.0	2,856.3 \pm 112.0	3,318.8 \pm 100.2	3,743.8 \pm 108.2
AlCl ₃ · 6H ₂ O	-	803.1 \pm 84.4	1,009.4 \pm 35.5	1,086.9 \pm 57.9	1,312.5 \pm 56.8	1,596.9 \pm 68.9
Significance ¹		**	**	**	**	**
Control	-	1,475.0 \pm 110.3	2,775.0 \pm 212.1	3,425.0 \pm 188.5	3,875.0 \pm 110.9	3,828.1 \pm 103.4
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 14H ₂ O +CaCO ₃	-	1,045.6 \pm 73.3	1,462.5 \pm 57.5	1,676.9 \pm 82.9	1,800.0 \pm 49.0	1,731.3 \pm 103.8
Significance		*	**	**	**	**

¹ t-test, *, P < 0.05, **, P < 0.01.

ppm으로 증가하였으나 6주에서는 1,731.25 ppm으로 약간 감소하는 경향을 보였다. 이는 처리구와 대조구 칸막이 사이의 문을 열어 놓았기 때문에 실험상의 오차로 보여지나 전체적인 경향으로 볼 때 화학제제를 처리한 것에 의해 대조구의 약 45~60% 수준을 유지하였다.

이산화탄소는(CO₂)는 공기보다 무겁고, 물에서 용해되며 색깔과 냄새가 없는 가스이다. 정상적인 대기상태에서 이산화탄소(CO₂)는 약 0.03%(300 ppm)가 함유된다. Lebeda et al.(1964)과 Noren et al.(1967)은 정상적인 환기를 한 축사에서 이산화탄소(CO₂)의 농도가 각각 600~700 ppm 범위와 1,000~1,800 ppm 범위에서 측정되었다고 하였다. 일부 학자들은 축사내에서 이산화탄소(CO₂)가 최대 3,000 ppm을 넘지 않도록 제시하고 있으나(Bruce, 1981; CIGR, 1992), 환기시설이 없는 상태의 축사에서는 이산화탄소(CO₂) 농도가 4,000 ppm 이상 증가한다고 하였다(Lebeda et al., 1964).

Table 3에 제시된 대조구의 경우 2주와 3주에 측정된 이산화탄소(CO₂) 농도를 제외하고는 위에서 제시된 3,000 ppm을 초과하고 있다. 만약 가금생산자들이 이산화탄소(CO₂) 함량이 3,000 ppm 이상인 계사에서, 6~8시간 정도 노출되면 재채기, 기침 등을 동반한 호흡기 증후군을 보이며 심하면 질식 상태에 이를 수도 있다고 하는데(Donham et al., 1982; Busse, 1993) 본 연구 결과에서도 장시간 동안 계사에 머문다면 그 가능성을 예측해 볼 수 있다. 각 대조구와 비교할 때 42일령에서 측정된 AlCl₃와 Alum+CaCO₃ 처리구의 이산화탄소(CO₂) 발생량은 각각 57.34%와 54.77% 감소되었다. 이러한 차이는 깔짚내 온도, pH 및 수분이 미생물 활성에 적합할 때 이산화탄소(CO₂)로 빨리 가수분해되기 때문(Rouf and Lonmpey, 1968; Siegal et al., 1975; Edwards and Daniel, 1992)으로 사료되며, 화학제제 처리구에서는 Al과 결합한 산화합물이 깔짚내 미생물의 활성을 중화·억제함으로써 이

산화탄소(CO₂) 발생량이 감소되었다고 사료된다(Carlile, 1984). 본 연구의 결과는 두 화학제제를 깔짚에 첨가함으로써 육계 생산성에 유의한 영향은 인정되지 않았지만, 계사내 이산화탄소(CO₂) 발생량을 유의하게 감소시키는 것이 인정되었다.

적 요

본 연구는 두 가지 화학제제(AlCl₃, Alum+CaCO₃)를 깔짚에 첨가하였을 때 육계생산성과 계사내 이산화탄소(CO₂) 발생에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해서 수행하였다. 2가지 실험은 42일 동안 이용한 깔짚에서 발생하는 이산화탄소(CO₂) 가스 함량을 측정하였다. 깔짚 kg 당의 화학제제는 200 g AlCl₃ · 6H₂O, 200g Al₂(SO₄)₃ · 14H₂O+50g CaCO₃의 비율로 첨가하였다. 시험 결과 육계생산성은 각 대조구와 처리구간에 차이가 없었지만, 화학제제를 처리한 육계 깔짚에서 생성된 이산화탄소(CO₂) 발생량은 대조구보다 낮았다(P < 0.05와 0.01). 본 연구는 화학제제를 처리한 구(AlCl₃, Alum+CaCO₃)가 화학제제를 처리하지 않은 구(대조구)보다 이산화탄소(CO₂) 발생량이 현저하게 감소되었다.

(색인어: 육계생산성, 이산화탄소, AlCl₃, Alum+CaCO₃, 화학첨가제, 깔짚)

인용문헌

- Al Homidan A, Robertson JF, Petchey AM 2003 The effect of ammonia and dust concentrations on broiler performance. Poultry Sci 59:340-349.
- Anderson DP, Beard CW, Hanson RP 1964 The adverse effects

- of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle Disease virus. *Avian Dis* 8:369-379.
- Bruce JM 1981 Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: Clark JA (Ed.) *Environmental Aspects of Housing for Animal Production*. Butterworths London pp. 197-216.
- Busse FW 1993 Comparison measurements of the house climate in swine stables with and without respiratory diseases or cannibalism. In: *Livestock Environment*(Collins E; Boon C eds), pp 904-908. Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. ASAE St Joseph MI.
- Carlile FS 1984 Ammonia in poultry houses: A literature review. *World's Poultry Sci J* 40:99-113.
- CIGR 1992 Climatization of animal houses. Commission Internationale du Genie Rural. Faculty of Agricultural Sciences, State University of Gent Gent Belgium.
- Curtis SE 1993 *Environmental Management in Animal Agriculture*. Iowa State University Press Ames.
- de Willigen P, Ehelrt PAL 1991 Nitrogen and phosphorus balance and losses from soil in the Netherlands, In: *Nitrogen and phosphorus balance and losses from soil in the Netherlands*, L. D Currie and P Loganathan, (eds), Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Occasional Report No. 9: Palmerston North pp.7-27.
- Donham KJ, Knapp LW, Monson R, Gustafan K 1982 Acute toxic exposure to gases from manure. *Journal of Occupational Medicine* 24:142-145.
- Edwards DR, Daniel TC 1992 Environmental Impacts of On-Farm Poultry Waste Disposal. *Bioresource Technology* 41:9-33.
- Feigin A, Savig B 1974 Cumulative effects of manures applied with and without fertilizers, on nutrient availability in the soil and on yields of crops under irrigation. A. Effects of manures and fertilizers on a pale brown loessial soil and on a series of crops on the "permanent plots" in the Negev. *Hassades* 54:1335-1384.
- Gross P, Westrick ML, McNerney JM 1959 The pulmonary response to a proteinaceous dust. *AMA Arch Ind Health* 20:477-488.
- Grub W, Rollo CA, Howes JR 1965 Dust problems in poultry environments. *Transactions of the American Society of Agriculture Engineers* pp.338-339, 352.
- Harry EG 1978 Air pollution in farm buildings and methods of control: A review. *Avian Pathology* 7:441-454.
- Hartung J, Phillips VR 1994 Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57(3):173-189.
- Heber AJ, Duggirala RK, Ni JQ, Spence ML, Haymore BL, Adamchuk VI, Bundy DS, Sutton AL, Kelly DT, Keener KM 1997 Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In: *International Symposium on Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities* (Voermans JAM; Monteny GS eds), pp 44-458. Vinkeloord, The Netherlands. NVTL, PO-Box 83, 5240 AB Rosmalen The Netherlands.
- Hobbs PJ, Misselbrook TH, Comby TR 1999 production and emission of odours and gases from ageing pig waste. *J Agri Engng Res* 72:291-298.
- Johnston NL, Quarles CL, Faberberg DJ, Caveny DD 1981 Evaluation of yucca saponin on broiler performance and ammonia suppression. *Poultry Sci* 60:2289-2292.
- Lebeda DL, Day DL, Havakawa I 1964 Air pollutants in swine buildings with fluid waste handling. ASAE paper 64-94 St Joseph Mich.
- MAFF 1991 Code of good agricultural practice for the protection of water. London:HMSO, London pp.79.
- Mathers AC, Stewart BA 1974 Corn silage yield and soil chemical properties as affected by cattle-feedlot manure. *J Environ Qual* 3:143-147.
- Moore Jr PA 1995 Reducing ammonia volatilization from poultry litter with aluminum sulfate. In: *Proceeding of the Meeting Arkansas Nutrition Conference, Clarion Inn Fayetteville Ar USA* pp:104-119.
- Moore Jr PA, Daniel TC, Edwards DR, Miller DM 1995 Effects of chemical amendments on reduce ammonia volatilization from poultry litter. *J Environ Qual* 24:293-300.
- Moore Jr PA, Daniel TC, Edwards DR 2000 Reducing phosphorus runoff and inhibiting ammonia losses from poultry manure with aluminum sulfate. *J Environ Qual* 29:37-49.
- Muehling AJ 1970 Gases and odors stored swine wastes. *Journal of Animal Science* 30:526-530.
- Noren O, Sren-Uno S, Gustaf A 1967 Recent experiences from JTI's studies in the manure gas problem. Tr. Alfa-Laval Ab Tumba. Circ. No. 20, Swedish Inst Agr Engin (JTI) Ultuna Upsala 7 Sweden.

- O'Connor JM, Mcquitty JM, Clark PC 1987 Air quality and contaminant loads in three commercial broiler breeder barns. *Canadian Agriculture Engineers*: pp.273-276.
- O'Neill DH, Phillips VR 1992 A review of the control odour nuisance from livestock buildings: Part 3. Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *J Agri ENG Res* 53:23-50.
- Reece FN, Bates BJ, Lott BD 1979 Ammonia control in broiler houses. *Poultry Sci* 58:754-755.
- Rouf MA, Lomphey, Jr RF 1968 Degradation of uric acid by certain aerobic bacteria. *J Bacteriol* 96:617-622.
- Siegal RS, Hafez AAR, Azevebo J, Stout PR 1975 Management procedurs for effective fertilization with poultry manure. *Compost Sci* 16:5-9
- Snedecor GW, Cochran WG 1969 *Statistical Methods*, 6th Ed., Iowa State University Press Ames IA USA.
- Webster AJ 1990 Housing on respiratory disease in farm animals. *Outlook on Agriculture* 19:31-35.
- Williams PEV 1995 Animal production and European pollution problems. *Anim Feed Sci Technol* 32:106-115.
- Yoder WL, Van Wicklen GL 1988 Respirable aerosol generation by broiler chickens. *Transactions of the American Society of Agriculture Engineers* 31:1510-1517.
- Zhu J, Riskowski GL, Torremorell M 1999 Volatile fatty acid as odor indicators in swine manure. *Transactions of the ASAE* 42(1):175-182.