

산란계의 분뇨 배설량 및 이화학적 성상

황보 중^{a,†} · 홍의철^a · 나승환 · 유동조 · 김학규 · 박미나 · 정기철 · 추효준 · 박희두 · 서옥석

농촌진흥청 국립축산과학원

A Study on the Amount and Chemical Compositions of Excreta from Laying Hens

Jong Hwangbo^{a,†}, Eui Chul Hong^a, Seung Hwan Na, Dong Jo Yu, Hak Kyu Kim, Mi Na Park,
Kie Chul Jung, Hyo Jun Choo, Hee Du Park and Ok Suk Seo

National Institute of Animal Science

ABSTRACT This work was conducted to investigate the manure excreta and chemical compositions of layers. Two hundred 1-d-old ISA Brown layers were used in this work, and ten of 200 layers were selected for measurement of manure excreta with feeding phase. Means of the manure excreta per bird, the moisture content of poultry, and the dried manure were 124.7 ± 27.5 g/bird/day, $76.9 \pm 1.9\%$, and 29.1 ± 3.9 g/bird/day, respectively. N, P_2O_5 , and K_2O of manure (55 weeks) were 1.39 ± 0.139 , 0.62 ± 0.11 and $0.68 \pm 0.09\%$, respectively. pH, BOD_5 , COD_{Mn} , and suspended solids (SS) were 8.19 ± 0.71 , $50,266 \pm 621$ mg/L, $62,832 \pm 803$ mg/L, and $121,725 \pm 16,165$ mg/L, respectively. Heavy metal contents in the manure were 0.003 ± 0.0013 ppm for Hg and 0.008 ± 0.0012 ppm for Pb, the latter of which was highly low compared with the standard (150 ppm), but no Cd was detected. The results of this work show the average excretion amounts and chemical compositions of layer's manure, which is used as an organic fertilizer.

(Key words : layers, manure, N, P_2O_5 , K_2O , BOD_5 , COD_{Mn} , SS)

서 론

최근 가축 사육의 대규모화와 함께 가축 분뇨의 발생량이 증가하여 2008년에는 그 양이 약 4,174만 3천 톤에 이르고 있다(농림수산식품부, 2009). 가축 분뇨에는 3대 비료 성분인 질소, 인산, 칼리(N, P_2O_5 , K_2O) 이외에도 마그네슘, 칼슘(Mg, Ca) 등의 영양소와 구리, 나트륨, 망간, 아연, 붕소, 몰리브덴(Cu, Na, Mn, Zn, B, Mo) 등의 미량 원소를 함유하고 있어 농가에서 주요 비료원으로서 이용되어 왔으나, 악취 발생 및 수질 오염 등과 같은 환경오염원으로서 문제점을 가지고 있어 인근 주민의 민원을 유발하고 있다.

가축 분뇨의 처리는 퇴비와 액비로 주로 이용되며, 최근 대체 에너지원으로서 범국가적 정책의 일환으로 진행되고 있다(Inbar et al., 1993; Huh and Jeong, 2001; 박기도와 박창영, 2007). 2008년 말 현재, 국내 가축 분뇨 처리는 퇴비(78.8%)와 액비(5.5%), 공공처리(7.0%), 해양 배출(3.5%), 정화방류

(2.8%) 및 기타(2.4%) 등으로 분류된다(농림수산식품부, 2009). 이 중 퇴비와 액비의 비율이 84.3%로 가장 높고, 질소(N)와 인(P), 염(Na) 등의 특정 성분이 많이 함유된 가축 분뇨를 퇴비로서 일정 지역에 장기 사용 시, 토양 오염은 물론 인근의 수질에 까지 악영향을 줄 수 있다.

가축 분뇨의 이화학적 특성은 가축 품종의 특성, 사료 및 환경에 의해 영향을 받는다. 특히 배합 사료는 일일 섭취량 뿐만 아니라 분뇨의 화학적 조성에도 영향을 미칠 수 있으며, 사료 내 질소의 대부분은 단백질 형태로서 근육 대사에 따른 단백질 변화와 아미노산의 이화 작용에 따라 대략 70~75%가 소실되거나 배설된다(Parsons, 1995). 즉, 불소화 단백질 내 질소는 토양에 분으로 배설되며, 소화된 단백질은 체내에 흡수 이용된 후에 노로 배설된다. 인의 경우에는 가금류의 충분한 골격 발달과 특히, 산란계에서의 계란 생산성 향상을 위한 중요한 공급원이지만 사료에 과다한 인의 공급으로 인의 배설량이 증가된다(Sharpley, 1999).

^a First two authors equally contributed to this work.

[†] To whom correspondence should be addressed : kohb@korea.kr

따라서 본 연구는 산란계의 성장 단계별 분뇨 발생량 및 이화학적 특성 조사를 통해 분뇨의 효율적 처리를 위한 기초 자료를 제공함과 동시에 정확한 분뇨 배출원 단위 산출을 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시 동물 및 시험 사료

본 시험에 사용된 공시동물은 1일령 ISA Brown종 산란계 200수를 선별하여 65주 이상 사양 시험을 실시하였다. 시험 기간을 육성기와 산란기로 구분하고, 육성기는 다시 초생추(0~5주령), 중추(5~12주령), 대추(12~16주령) 및 산란 전(16주령~초란)으로 분류하였으며, 산란기는 산란 초기(초란~35주령), 중기(35~45주령), 후기(45~55주령) 및 말기(55주령~)로 분류하여 65주 이상 시험을 수행하였다. 공시 사료는 한국가금사양표준(2007)에 따라 옥수수-대두박 위주의 사료를 성장 단계별로 배합하였다(Table 1, 2). Table 3과 4는 본 시험에 사용된 산란 말기 사료의 주요 비료 성분과 광물질 함량을 나타낸 것이다.

2. 사양 관리

사료는 자유급이하였으며, 급수는 니플을 통하여 자유음수 시켰다.

점등 관리는 1~2일에 24시간, 3~6일에 16시간, 2주령에 14시간, 3주령에 12시간, 4주령에 10시간, 5주령부터 점등 시간을 8~10시간으로 점등 시간을 낮추었다. 점등 자극 주령인 16~18주령에는 13시간으로 점등 시간을 높였으며, 이후 2주령이 지난 시점부터 30분씩 증가시켜 17시간이 되면 시험 종료 시까지 유지하였다.

계사 내 온도는 병아리 입추 2시간 전부터 36°C로 설정하였다. 주령별 계사 온도는 1~2일령에 34~36°C, 3~4일령에 32~34°C, 5~7일령에 30~32°C, 2주령에 28~30°C, 3주령에 26~28°C, 4주령에 24°C, 5주령에 22°C, 6주령 이후 20°C로 조절하였다.

습도는 입추부터 1주간은 60~80%, 이후로는 50~70%를 유지하였다.

산란계의 백신 접종과 기타 사양 관리는 국립축산과학원의 관행에 따라 수행하였다.

3. 분뇨 채취

산란계의 분뇨는 측정시마다 총 200수에서 10수씩 선별

Table 1. Formula and chemical composition of basal diets (0~first egg)^a

Items	0~5 weeks	5~12 weeks	12~16 weeks	16 weeks ~ first egg
Ingredients (%)				
Corn (CP 8.3%)	54.74	59.32	61.68	59.05
Wheat bran	9.37	15.03	18.44	12.20
Soybean meal (CP 45.0%)	29.75	19.90	14.83	17.40
Corn gluten meal	-	2.00	1.50	3.50
Soybean oil	2.00	-	-	-
Limestone	0.85	1.00	0.90	5.60
Dicalcium phosphate	1.54	1.50	1.40	1.50
Salt	0.25	0.25	0.25	0.25
L-lysine	0.30	-	-	-
DL-Methionine	0.15	-	-	-
Vitamin-mineral premix ¹	1.00	1.00	1.00	0.50
Antibiotic	0.05	-	-	-
Chemical composition ²				
ME (kcal/kg)	2,900	2,800	2,750	2,800
CP (%)	19.0	17.0	15.0	16.0
Lysine (%)	0.90	0.65	0.46	0.49
Nonphytate P (%)	0.40	0.26	0.20	0.21

¹Provided following nutrients per kg of diet : vitamin A, 9,000,000 IU; vitamin D₃, 2,100,000 IU; vitamin E 15,000 IU; vitamin K, 2,000 mg; vitamin B₁, 1,500 mg; vitamin B₂, 4,000 mg; vitamin B₆, 3,000 mg; vitamin B₁₂, 15 mg; Ca-pantothenate, 8,500 mg; niacin, 20,000 mg; biotin, 110 mg; folic acid, 600 mg; Co, 300 mg; Cu, 3,500 mg; Mn, 55,000 mg; Zn, 40,000 mg; I, 600 mg; Se, 130 mg.

²Calculated values.

^aKorean Feeding Standard for Poultry (2007).

하였으며, 사양 단계에 따라 4, 9, 15, 21, 26, 30, 35, 45, 55 및 65주령에 분뇨를 채취하였다. 분뇨 발생량의 정확한 측정을 위해, 시험계(4주령 이후) 각각의 항문에 자체 제작한 플라스틱 분변 통(황보 중 등, 2009)을 이용하여 1주 동안 오전과 오후 2회에 나누어 일정한 시각에 채취하였다. 21주령 이후 분뇨 채취는 바닥에 분변 틀을 깔고 비닐을 깔 다음 일정 시간 동안 수집된 분뇨에서 먼지, 비듬 및 털 등을 제거하여

Table 2. Formula and chemical composition of basal diets(first egg~)^a

Items	First egg ~ 35 weeks	35~45 weeks	45~55 weeks	55 weeks ~
Ingredients (%)				
Corn (CP 8.3%)	57.05	58.65	56.85	56.75
Wheat bran	5.00	7.40	10.00	13.50
Soybean meal (CP 45.0%)	21.50	19.00	17.20	13.00
Corn gluten meal	4.50	3.00	3.50	4.00
Limestone	9.50	10.00	10.50	11.00
Dicalcium phosphate	1.50	1.00	1.00	0.80
Salt	0.25	0.25	0.25	0.25
L-lysine	-	-	-	-
DL-Methionine	0.10	0.10	0.10	0.10
Vitamin-mineral premix ¹	0.50	0.50	0.50	0.50
Chemical composition²				
ME (kcal/kg)	2,750	2,700	2,650	2,600
CP (%)	17.0	16.0	15.0	14.0
Lysine (%)	0.83	0.76	0.69	0.63
Nonphytate P (%)	0.34	0.32	0.30	0.28

¹Provided following nutrients per kg of diet : vitamin A, 9,000,000 IU; vitamin D₃, 2,100,000 IU; vitamin E 15,000 IU; vitamin K, 2,000 mg; vitamin B₁, 1,500 mg; vitamin B₂, 4,000 mg; vitamin B₆, 3,000 mg; vitamin B₁₂, 15 mg; Ca-pantothenate, 8,500 mg; niacin, 20,000 mg; biotin, 110 mg; folic acid, 600 mg; Co, 300 mg; Cu, 3,500 mg; Mn, 55,000 mg; Zn, 40,000 mg; I, 600 mg; Se, 130 mg.

²Calculated values.

^aKorean Feeding Standard for Poultry (2007).

Table 3. Fertilizer compositions of layer diet

Fertilizer composition	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Layer diet (55 weeks)	2.36 ± 0.11*	1.21 ± 0.17	0.84 ± 0.10

*Means ± SD (standard deviation).

Table 4. Ca, Mg and heavy metals composition of layer diet (ppm)

Items	Ca (%)	Mg (%)	Cu	Cr	Pb	Cd	As	Hg
Layers (55 weeks)	4.38 ± 0.19	0.14 ± 0.03	8.41 ± 2.13	0.58 ± 0.34	1.02 ± 0.40	ND	0.62 ± 0.15	0.018 ± 0.0012

*Means ± SD (standard deviation).

오전과 오후 2회씩 채취하였다. 채취한 분뇨는 즉시 -20℃의 냉동고에 저장 보관하며, 일정량의 분뇨는 따로 70℃의 건조기에서 48시간 건조시켜 1차 수분을 측정하였다. 분뇨는 60℃의 건조기에서 72시간 건조시키고, 분쇄하여 분석에 이용하였다.

4. 조사 항목 및 조사 방법

사료와 분의 일반 성분은 AOAC(2000)에 의해 분석하였으며, 에너지 함량은 bomb calorimeter(Parr 6200 Instrument, US)를 사용하여 측정하였다. pH는 Digital pH meter(DMP-600)를 이용하여 조사하였으며, 시료의 오염 물질인 BOD₅, COD 및 SS와 같은 수질 분석은 Clesceri 등(1998)의 Standard methods에 따라 실시하였다. P₂O₅와 K₂O의 측정은 곽정훈 등(2004)의 방법을 이용하여 측정하였으며, 미량 성분(Ca, Mg, Cu, Pb, Cd 및 As)은 건식 분해법(우순자와 류시생, 1983)에 의한 전처리 후 유도 결합 plasma 발광 광도계(Atomic absorption spectrophotometry, SPECTRO Analytical Instruments GmbH & Co. KG, Germany)로 표준검량선을 작성하여 측정하였고, Hg 분석은 자동분석기(Nippon Instrument : Mercury Detector MD-1, Mercury sp, Japan)로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 산란계의 체중, 사료 섭취량, 음수량 및 분뇨 발생량

산란계의 분뇨 발생량 측정 시기를 사료 교환 시기와 맞추어 나누고 체중, 사료 섭취량, 음수량 및 분뇨 발생량을 측정하였다(Table 5). 육성기인 4, 9, 15주령의 체중은 각각 325, 844 및 1,587 g/수/일이었으며, 사료 섭취량은 각각 61, 68 및 76 g/수/일이었다. 산란 초기인 21주령에는 체중이 1,788 g/수/일, 사료 섭취량이 107 g/수/일이었으며, 26, 30, 35 및 45주령에는 체중이 각각 1,813, 1,841, 1,869 및 1,978 g/수/일, 사료 섭취량이 각각 112, 118, 128 및 132 g/수/일로 나타났다. 산란 피크인 55주령에는 체중이 2,187 g/수/일, 사료 섭취량이 125 g/수/일이었으며, 65주령에는 체중이 1,989 g/수/일, 사료 섭취량이 130 g/수/일이었다. 21주령과 55주령의 음수

Table 5. Body weight, feed intake, water intake and manure excreta of layers

Weeks	Body weight (g/bird/day)	Feed intake (g/bird/day)	Water intake (mL/bird/day)	Raw manure (g/bird/day)	Moisture (%)	Dried manure (g/bird/day)
4	325 ± 27*	61 ± 4.4	92 ± 17	67.3 ± 7.1	76.1 ± 1.9	16.1 ± 1.5
9	844 ± 41	68 ± 7.4	104 ± 20	86.9 ± 7.3	75.0 ± 2.2	21.7 ± 1.1
15	1,587 ± 67	76 ± 5.1	116 ± 11	111.3 ± 8.7	79.0 ± 2.6	23.9 ± 2.6
21	1,788 ± 96	107 ± 8.5	197 ± 36	133.5 ± 9.6	79.5 ± 1.5	27.4 ± 2.6
26	1,813 ± 117	112 ± 12.2	206 ± 34	139.1 ± 7.2	77.2 ± 1.7	31.7 ± 3.1
30	1,841 ± 128	118 ± 8.4	217 ± 24	142.7 ± 9.1	76.2 ± 1.8	34.0 ± 6.6
35	1,869 ± 120	128 ± 9.5	236 ± 12	145.0 ± 9.3	74.7 ± 0.3	36.7 ± 7.6
45	1,978 ± 132	132 ± 12.0	243 ± 22	141.6 ± 10.1	78.1 ± 2.6	31.2 ± 6.4
55	2,187 ± 99	125 ± 8.1	226 ± 19	135.4 ± 9.7	75.5 ± 1.8	33.2 ± 2.2
65	1,989 ± 120	130 ± 12.5	235 ± 17	143.7 ± 10.0	75.9 ± 2.4	34.6 ± 6.3
Mean ¹	1,622 ± 563	106 ± 27.4	187 ± 60	124.7 ± 27.5	76.7 ± 1.9	29.1 ± 3.9

¹Mean of sum over 4, 9, 15, 21, 26, 30, 35, 45, 55 and 65 weeks.

*Means ± SD (standard deviation).

량은 각각 사료 섭취량의 약 1.8배인 197과 226 mL/수/일이 었다. 산란계의 평균 체중은 1,622 g/수/일이었으며, 평균 사료 섭취량과 음수량은 각각 105.7 g/수/일과 187.2 mL/수/일 로 나타났다.

4, 9, 15, 21, 26, 30, 35, 45, 55 및 65주령의 평균 분뇨 발생량은 124.7 g/수/일이었으며, 수분 함량은 76.7%, 건조된 분뇨량은 29.1 g/수/일이었다. 분뇨 발생량은 농촌진흥청(1999) 127.5 g/수/일과 Harada(1996)의 136 g/수/일 그리고 일본 중앙축산회(1989)가 보고한 140 g/수/일보다 낮았다. 이러한 결과로부터, 년도가 지남에 따라 산란계의 분뇨 발생량이 대체 적으로 감소했으며, 그 원인으로서, 사료의 품질 개선과 산란계종의 유전적 형질 개선에 따라 영양소 이용률이 높아졌기 때문이라고 사료된다. 분뇨 중의 수분 함량은 농촌진흥청(1999) 77.6%, Ostrander(1965) 75~80% 그리고 North(1972)의 74~81%와 유사하였다.

산란계의 체중과 분뇨 발생량간의 고도($P < 0.01$)의 상관관계식 $Y = 0.0449X - 51.858$ ($R^2 = 0.9165$)을 얻었다(Fig. 1).

2. 분뇨의 이화학적 특성

55주령 산란계의 분뇨 중 주요한 비료 성분을 Table 6에 나타내었다. 분뇨 내 N 함량은 1.39%로 Kroodsma(1986) 1.13%와 농촌진흥청(1999)의 1.29%보다는 약간 높았으나, Yushok and Bear(1943)의 4.14%와 Harada(1996)의 3.65%보다는 낮았

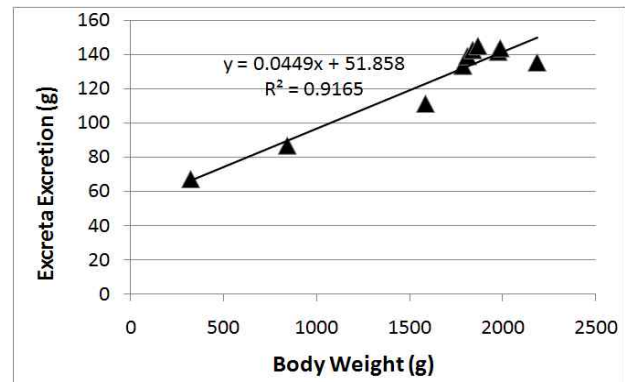


Fig. 1. Correlation between the daily excretions of excreta and body weight of layers.

다. 이 시기의 분뇨 중 P_2O_5 함량은 0.62%로 농촌진흥청(1999)의 산란 말기(55~59주령)와 같은 결과를 보였으며, Kroodsma(1986)의 0.88%보다는 낮았으나, Bentz and Rice(1958)의 2.5%와 Harada(1996)의 6.41%보다는 크게 낮았다. 같은 시기의 분뇨 중 K_2O 함량은 0.68%로 같은 주령의 산란계에 대하여 농촌진흥청(1999)의 0.53%나 Kroodsma(1986)의 0.55%보다 높았다.

Table 7은 산란계의 분뇨 중에 함유된 오염 물질의 농도를 나타낸 것이다. 분뇨의 pH는 8.19, BOD_5 50,266 mg/L, COD_{mn} 62,832 mg/L 그리고 SS는 121,725 mg/L이었다. 이것은 농촌

Table 6. Fertilizer compositions of layer manure (%)

Fertilizer composition	N (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O
Layer manure (55 weeks)	1.39 ± 0.14*	0.62 ± 0.11	0.68 ± 0.09

*Means ± SD (standard deviation).

Table 7. Concentration of water pollutants in layer manure¹

Items	Moisture (%)	BOD ₅ (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	SS (mg/L)	pH
Layer (55 weeks)	76.7 ± 1.9*	50,266 ± 621	62,832 ± 803	121,725 ± 16,165	8.19 ± 0.71

¹BOD₅: biological oxygen demand on day 5; COD_{Mn}: chemical oxygen demand on Mn; SS: suspended solid.

*Means ± SD (standard deviation).

Table 8. Ca, Mg and heavy metals composition of layer manure (ppm)

Items	Ca (%)	Mg (%)	Cu	Cr	Pb	Cd	As	Hg
Layers (55 weeks)	1.97 ± 0.22	0.09 ± 0.02	4.32 ± 1.47	ND	0.008 ± 0.0012	ND	0.008 ± 0.0017	0.003 ± 0.0013

*Means ± SD (standard deviation).

진홍청(1999)의 BOD₅ 20,122 mg/L, COD_{mn} 50,454 mg/L 그리고 SS 108,667 mg/L보다 높았으며, 일본 중앙축산회(1989)의 BOD₅ 65,000 mg/L와 SS 130,000 mg/L보다는 낮은 결과를 보였다.

산란계의 분뇨 중 광물질 함량을 Table 8에 나타내었다. Ca는 1.97%로 Reeves(2001)의 3.12%보다는 낮았으며, Mg는 0.09%로 Reeves(2001)의 0.25%보다 낮게 나타났다. Cu는 4.32 ppm으로 농촌진홍청(1999)의 2 ppm보다는 높았으나, Reeves(2001)가 보고한 5 ppm보다는 낮았다. Pb는 0.008 ppm으로 Webber and Webber(1983)의 2.3 ppm, 농촌진홍청(1999)의 6.23 ppm보다 낮았으며, 규제 농도인 150 ppm보다 크게 낮았다. Cd의 경우 Webber and Webber(1983)는 0.48 ppm으로 보고하였으나, 본 시험에서는 농촌진홍청(1999)의 결과와 마찬가지로 분뇨에서 검출되지 않았다. As는 농촌진홍청(1999)에서 검출되지 않았으나, 본 시험에서는 0.008 ppm으로 검출되었다. Hg는 농촌진홍청(1999)과 마찬가지로 0.003 ppm이었으나 규제농도(2 ppm)보다 낮았다.

이러한 결과들로부터 가축 분뇨의 특성은 가축에 급여하는 사료의 원료 성분에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서, 가축 분뇨의 특성은 사료 원료 공급에 따른 그 지역적 특성이나 환경적 규제 및 경제성에 따라 그 변이가 적지 않을 것으로 사료된다. 가축 분뇨의 토양 및 수질 환경오염에 미치는 영향은 N와 P의 발생량과 직접적으로 관계될 수 있다. 이러한 성분들의 감소를 위해 사료내 phytase 첨가로 N와 P의

감소뿐만 아니라 다른 유기물 및 미량 광물질의 배설 감소 효과도 기대할 수 있다(Simons et al., 1990; Corell, 1999; Sharpley, 1999; Zyla et al., 2001). 따라서, phytase의 사료 내 첨가에 따른 추후 연구도 요구되며, 현대 현장(사료 공장 등)에서는 잡박(예, 채종박, 캐놀라박, 기타 잡박류)을 첨가하여 배합하고 있어 기타 잡박류의 사용량 증가에 따른 분뇨 배설량 비교가 추가로 연구되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

산란계의 분뇨 발생량과 이화학적 특성을 구명하기 위해 1일령 산란계 200수를 선별하여 공시하였으며, 200수 중 10수씩을 선별하여 분뇨의 채취에 이용하였다. 산란계의 일일 수당 평균 분뇨 발생량은 124.7±27.5 g/수/일이었으며, 계분의 수분함량은 76.7±1.9%, 건물 함량은 29.1±3.9 g/수/일이었다. 산란계 계분(55주령)의 N, P₂O₅ 및 K₂O는 각각 1.39±0.14, 0.62±0.11 및 0.68±0.09%이었다. 계분뇨의 pH는 8.19±0.71이었으며, BOD₅ 농도는 50,266±621 mg/L로 나타났다. COD_{mn}의 경우 62,832±803 mg/L이었으며, SS는 121,725±16,165 mg/L를 나타냈다. 계분의 중금속 함량 중 Pb는 0.008±0.0012 ppm으로 규제 농도인 150 ppm보다 크게 낮았고, Cd의 경우 검출되지 않았으며, As는 0.008±0.0017 ppm으로 검출되었다. Hg는 0.003±0.0013 ppm이었으나, 규제 농도인 2 ppm에 미치지

못하였다. 따라서, 본 시험의 결과로 국내 산란계의 평균 분뇨 발생량을 추정할 수 있었으며, 분뇨의 이화학적 성상을 조사함으로써 유기비료원로서 적절한 사용이 가능할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 2007~2008년 농촌진흥청 농업현안대응기술개발 연구과제의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

- AOAC International 2000 Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed AOAC Int, Gaithersburg MD.
- Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD 1998 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th Edition). APHA-AWWA-WPCF, Washington DC.
- Correll DL 1999 Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poult Sci* 78:674-682.
- Harada Y 1996 Animal manure recycle systems and its utilization in Japan. *Proceedings of the 8th AAAP Animal Science Congress*. 99-108.
- Huh D, Jeong MK 2001 Cost and return to the scale of livestock manure management. *Kor J Agric Manag Policy* 28: 364-382.
- Inbar Y, Hadar Y, Chen Y 1993 Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity. *J Environ Qual* 22:857-863.
- Korean Feeding Standard for Poultry. 2008. National Institute of Animal Science, RDA.
- Kroodsma IW 1986 Treatment of livestock manure: Air drying and composting poultry manure: In: *Odour Prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming*, The Netherlands, pp. 166-174.
- North MO 1972 *Commercial Chicken Production Manual*. The Avian Publishing Company Inc. Westport, Connecticut.
- Ostrander CE 1965 Poultry manure disposal. *Amer Soc Agr Eng Trans* 8(1):105-106.
- Parsons CM 1995 Nutrient utilization and methods of assessment-an environmental perspective. In: *Deagussa Technical Symposium*, May 17, Marriott Hotel, Indianapolis, IN, USA, pp. 1-5.
- Reeves JB III 2001 Near- versus mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for determination of minerals in dried poultry manure. *Poult Sci* 80:1437-1443.
- Sharpley A 1999 Agricultural phosphorus, water quality and poultry: are they compatible? *Poult Sci* 78:660-673.
- Simons PCM, Versteegh HAJ, Jongbloed AW, Kemme PA, Slump P, Bos KD, Wolters MGE, Beudeker RF, Verschoor GJ 1990 Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. *Br J Nutr* 64:525-540.
- Webber MD, Webber LR 1983 Chapter 4, Micronutrients and heavy metals in livestock and poultry manures. In *Farm Animal Manures in the Canadian Environment*. Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. Publication No. NRCC 18976 of the Environmental Secretariat, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada.
- Yushok W, Bear FE 1943 Poultry manure, its preservation, deodorization and disinfection. *N J Agr Expt Sta Bull* 707.
- Zyla K, Korelski J, Swiakiewicz S, Piironen J, Ledoux DR 2001 Influence of supplemental enzymes on the performance and phosphorus excretion of broilers fed wheat-based diets to 6 weeks of age. *Anim Feed Sci Technol* 89:113-118.
- 곽정훈 최동윤 박치호 정광화 김재환 강희설 양창범 라창식 2004 기계교반 퇴비화시설에서의 구간별 발효온도에 따른 수분 증발량 및 특성 변화 연구. *축산시설환경* 10(3):163-168.
- 농림수산식품부 2009 축산분야의 바이오가스 산업 이용과 활성화 방안. *자연순환농법포럼*.
- 농촌진흥청/농업과학기술원 1999 친환경농업을 위한 가축 분뇨 퇴비·액비 제조와 이용. pp. 157-168.
- 박기도 박창영 2007 가축 분뇨가 토양에 미치는 영향 및 자연순환농업의 연구방향. *축산시설환경* 13(1):59-74.
- 우순자 류시생 1983 원자흡광분석을 위한 식품시료 전처리방법 -왕수액 처리법과 건식 및 습식분해법과의 비교-. *한국식품영양학회지* 15(3):225-230.
- 황보 중 홍의철 정일병 강근호 박희두 서옥석 정완태 장성국 2009 육계의 분뇨 배설량 및 분뇨 성분 조사 결과. *한국가금학회지* 36(2):157-163.
- 日本中央畜産會 1989 “家畜尿汚水の處理利用技術と事例”, 中央畜産會.

(접수: 2009. 12. 18, 수정: 2009. 12. 23, 채택: 2009. 12. 23)