



인분해효소를 급여한 산란계에서 배출되는 계분의 성상과 비료화에 관한 연구

임천익¹ · 김성준¹ · 김주은¹ · 송상은¹ · 이덕배² · 류경선^{2*}

¹전북대학교 동물자원과학과 연구원, ²전북대학교 동물자원과학과 교수

Study on Composition and Fertilization of Feces from Laying Hens Fed Dietary Phytase

Chun Ik Lim¹, Seong Jun Kim¹, Ju Eun Kim¹, Seong Eun Song¹, Deog Bae Lee² and Kyeong Seon Ryu²

¹Researcher, Department of Animal Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

²Professor, Department of Animal Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

ABSTRACT This study was conducted to produce a nutrient-balanced complex fertilizer using compost from laying hens fed with phytase levels. A total of 30 laying hens were randomly assigned in individual cages. The dietary treatments were fed from 51 to 60 wks of age, and included a phytase; 0, 1,000, and 2,000 FTU/kg in basal diets. Fresh feed (110 g) and drinking water were supplied to the laying hens every day. Feces from hens were collected daily and analyzed for N, P₂O₅, and K₂O after compost maturity. This result showed there was no difference on the fecal excretion per feed intake of laying hens supplemented with phytase levels in the diets. On the other hand, the excretions of dried feces, N, P₂O₅, and K₂O were significantly ($P<0.05$) reduced in 2,000 FTU/kg treatment than 0, 1,000 FTU/kg treatments. There was no difference on the compost composition and nutrient contents in compound fertilizer using compost from hens fed dietary phytase levels. However, compost content in the fertilizer was 69.6~71.6% when compost of 25~30% moisture content was used, and 13.0~47.1% at compost of 40~60% moisture content. As a result of this study, it was confirmed that hen's compost controlled moisture content could be produced as a nutrient-balanced compound fertilizer.

(Key words: phytase, laying hens, compost, fertilizer)

서 론

가축분뇨에는 비료의 3대 양분인 질소, 인산, 칼리가 풍부하여 주로 토양에서 농작물의 에너지원으로 이용되고 있다(Hwangbo et al., 2009; Lee and Yoon, 2019). 그러나 양분이 불균형된 퇴비는 농작물이 온전히 흡수하기 어려우므로 특정 양분들이 토양에 과잉으로 축적되며 대기, 토양 및 하천에 유입되어 환경오염을 악화시킨다(Li, 2005). 실제로 우리나라의 토양은 OECD의 다른 국가들에 비해 질소와 인의 양분수치가 높으며(OECD, 2019), 2009년 런던협약 의정서 가입, 2012년 가축분뇨 해양투기 금지, 한미 FTA, 축산업 대규모화 등 국내외 환경과 관련된 논쟁이 심화되어 가축분뇨에 관한 관리가 절실하다. 특히 현대 축산업은 가축사육의 대규모화로 분뇨 발생량이 2012년 17만 m³/일에서 2018년 18.5만 m³/일로 증가하였으나, 발생된 분뇨가 적절하게

처리되지 못하는 문제에 직면하였다(ME, 2020). 이를 해결하기 위해 가축분뇨의 질소와 인을 감축하고, 양분을 농작물에게 온전히 환원하는 비료화가 필요하다(Li, 2005). 계분은 돈분이나 우분보다 질소, 인산, 칼리의 함량이 높아서 단독원료로 이용되고 있으므로, 질소, 인산, 칼리의 함량이 높아서 퇴비로서의 양분 균형과 관리가 매우 중요하다(Amanullah et al., 2007; Ahn et al., 2021). 또한 닭의 특성상 분뇨가 동시에 배설되므로 음수량은 계분의 함수율에 큰 영향을 미치며, 이로 인해 계분의 양분 함량도 큰 차이가 나타난다(Choi et al., 1996). 따라서 계분 퇴비를 함수율에 따라 구분하고, 다른 원료들과의 조합을 통해 토양에서 쉽게 환원되는 양분 비율을 맞춘다면 고품질의 비료로서 환경친화적으로 계분을 처리하는 방안이 된다(Hansen et al., 1989; Kim et al., 2018). 특히, 가금사료 내 인분해효소의 첨가는 사료효율을 증가시켜 분변 내 질소와 인의 배출을 감소시켜

* To whom correspondence should be addressed : seon@jbnu.ac.kr

고(Olukosi et al., 2008; Selle et al., 2012), 이를 원료로 제조한 유기질 비료는 토양에서 부작용 없이 환원될 수 있다 (Vadas et al., 2004).

그러므로 본 연구는 인분해효소를 수준별 급여한 산란계에서 배출된 계분의 성상을 함수율에 따라 구분하고, 이를 주원료로 이용하여 양분균형을 맞춘 유기질 위주의 복합비료를 생산하고자 진행한다.

재료 및 방법

1. 실험동물 및 설계

본 연구는 전북대학교 동물실험윤리위원회에서 동물실험 계획 승인을 받아 동물실험농장에서 진행하였다(JBNU 2021-0168). 60주령 하이라인 산란계 30수를 분변 채집이 가능한 30개의 개별 대사케이지에 분배하여 10주간 사양실험을 실시하였다. 실험계사는 완전 무창계사로서 계사 내부온도는 $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 였고, 점등시간은 매일 16시간으로 일정하게 조사하

였다. 각 처리구는 기초사료에 인분해효소(Ronozyme Hi-Phos-L, 6-phytase produced by the strain of *Aspergillus oryzae*)를 0, 1,000 및 2,000 FTU/kg 수준으로 첨가하였다. 개별 케이지에 배치한 산란계에게 매일 일정한 사료(110 g/수)와 신선한 음용수를 제공하였으며, 기초사료는 KFSP (2012)에 부합되도록 대사에너지 2,750 kcal/kg과 단백질 16% 수준으로 배합하였다(Table 1).

2. 조사항목 및 방법

1) 계분 위주의 유기질 복합비료제조

처리구별 대사케이지에서 채집한 분변을 깃털이나 각질 등의 이물질 제거 후 생계분과 건계분 무게를 측정하였다. 생계분의 부숙은 가온(40°C)과 통풍이 가능한 퇴비시설에서 매일 분변을 섞어주며 실시하였다. 부숙은 계분의 냄새와 형태가 구분되지 않을 정도로 진행하였으며, 이외에도 가축분퇴비 육안판별법에 따라 완전부숙하였다. 계분 위주

Table 1. Basal diet composition for laying hens

Ingredient	%
Corn	67.23
Soybean meal	17.38
Corn gluten meal	4.24
Limestone	9.42
Calcium phosphate	0.94
Salt	0.38
L-Lysine	0.05
DL-Methionine	0.03
Vitamin premix ¹	0.18
Mineral premix ²	0.15
Total	100
Chemical composition	
ME (kcal/kg)	2,750
CP (%)	16.00
Lysine (%)	0.74
Methionine (%)	0.32
Calcium (%)	3.80
Sodium (%)	0.17
Available phosphorus (%)	0.32

¹ Contains per kg: vit. A, 5,500 IU; vit. D₃, 1,100 ICU; vit. E, 11 mg; vit. B₁₂, 0.0066 mg; vit. K₃, 1.1 mg; riboflavin, 4.4 mg; pantothenic acid, 11 mg (calcium pantothenate: 1.96 mg); choline, 190.96 mg; folic acid, 0.55 mg; pyridoxine, 2.2 mg; biotin, 0.11 mg; thiamine, 2.2 mg; ethoxyquin, 125 mg.

² Contains per kg: Cu, 10 mg; Fe, 60 mg; I, 0.46 mg; Mn, 120 mg; Zn, 100 mg.

의 복합비료 제조를 위해 계분퇴비는 25~60%로 함수율을 조절하였고, 대두피, 주정박, 생미강, 야자박, 대두박, 골분 및 염화칼륨과 함께 배합하였다(Table 2). 복합비료는 함수율이 약 20%인 상태에서 주요 양분(질소, 인산, 칼리) 비율을 범용복합비료(21-17-17%)의 비율인 1.0-0.8-0.8%로 배합하였고(Yun et al., 2011; Kim et al., 2016), 펠렛팅 기계(Guangzhou OS & J Co. Ltd, 5551191568 Model, China)를 이용하여 지름 1 cm의 펠렛 형태로 정형하였다.

2) 주요 양분 함량 분석

유기질 위주의 복합비료 내 원료성분인 인분해효소 처리 구별 계분, 대두피, 주정박, 생미강, 야자박, 대두박, 골분 및 염화칼륨은 비료분석법(NIAST, 1996)에 준하여 분석하였다. 함수시료를 가수분해한 후 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate 법, 칼리는 유도결합플라즈마 원자흡광도계(ICP-OES, GBC Scientific Equipment Ltd., Australia)를 이용하여 분석하였다.

3) 통계처리

인분해효소의 처리구별로 측정된 계분의 생계분량, 건계분량, 질소, 인산 및 칼리 함량은 SAS 소프트웨어의 GLM 절차(SAS 9.1, 2009, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 통계분석을 실시하였다. 모든 처리구 간의 유의성은 Duncan의 다중 범위 테스트에 의해 95%수준에서 통계적으로 구명하였다.

결과 및 고찰

1. 산란계의 분변 성상

산란계에게 인분해효소를 수준별로 급여한 후 배출되는 분변의 성상을 조사한 결과는 Table 3에 나타내었다. 건조분변 내 질소, 인산 및 칼리의 함량은 인분해효소의 사료첨가 수준에 따른 차이가 없었다. 산란계 사료섭취(kg)당 배설된 생계분량은 인분해효소의 급여수준(0~2,000 FTU/kg)에서 1,276.49~1,381.69 g으로 유의적 차이가 없었다. 반면에

Table 2. Nutrient composition of ingredient feeds

Ingredient feed	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sample number
Soybean bran	1.39	0.10	1.28	3
Distillers dried grains	4.32	0.82	1.21	3
Rice bran	2.23	1.75	1.73	3
Coconut meal	3.11	0.58	2.52	3
Soybean meal	6.81	0.57	2.57	3
Bone meal	1.00	15.00	-	1
Potassium chloride	-	-	41.84	1

Table 3. Fecal composition per feed intake (kg) of laying hens fed dietary phytase levels (n=10)

FTU/kg	Composition (%) of dried feces			Fecal excretion (g) of laying hens fed 1 kg diets				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total feces	Dried feces	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	7.66	0.73	2.41	1,381.69	226.24 ^a (100%)	17.36 ^a (100%)	1.64 ^a (100%)	5.46 ^a (100%)
1,000	7.78	0.76	2.74	1,276.49	200.52 ^b (88%)	15.59 ^b (90%)	1.53 ^{ab} (93%)	5.49 ^a (101%)
2,000	7.53	0.78	2.58	1,329.35	163.91 ^c (72%)	12.26 ^c (71%)	1.28 ^b (78%)	4.22 ^b (77%)
SEM	0.15	0.02	0.10	28.25	5.88	0.53	0.06	0.26
P-value	0.81	0.56	0.46	0.33	<0.01	<0.01	0.03	0.05

^{a-c} Means within column with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$). SEM: standard error of mean.

산란계 사료섭취(kg)당 발생한 건계분은 인분해효소 2,000 FTU/kg 처리구에서 0과 1,000 FTU/kg 처리구에 비해 유의적으로 감소하였다($P<0.05$). 또한 배설된 질소, 인산 및 칼리의 양도 2,000 FTU/kg 처리구에서 0과 1,000 FTU/kg 처리구보다 감소하였다($P<0.05$). 이것을 감축비율로 산정한 결과(Table 3), 인분해효소 1,000 FTU/kg 급여로 계분의 배출량은 건계분 12%, 질소 10% 및 인산 7%가 감소되었으며, 2,000 FTU/kg 수준에서 배출량은 건계분 28%, 질소 29%, 인산 12% 및 칼리는 23% 감소되었다. 이러한 결과는 Arguelles-Ramos et al.(2020)의 연구에서 미생물 유래 인분해효소의 550 FTU/kg 수준에서 계분의 함수율이 10% 이상 높았으며 결과적으로 양분 배출을 저감하였다는 결과와 일치하였다. 또한 가금 사료 내 인분해효소의 1,500 FTU/kg 수준의 첨가 급여가 영양소 배출을 감소한다는 다양한 선행 연구 결과도 있다(Lalpanmawia et al., 2014; Kiarie et al.,

2015; He et al., 2017). 그러므로 산란계 사료에서 인분해효소의 첨가로 배출된 건계분량이 감소하였으므로 국내 과잉되는 계분을 줄일 수 있을 것으로 기대되며, 인분해효소의 첨가를 통한 계분에서 유래된 양분 배출량 감소는 국가 양분수지 개선 효과가 있을 것으로 사료되었다. 추후에는 인분해효소 급여에 따른 사료 비용 상승과 계분 발생 저감에 따른 처리비용 감축을 비교하여 편익 구조를 연구할 가치가 있다.

2. 계분 내 비료성분 함량

본 연구에서 채집한 계분을 퇴비화하여 함수율과 양분 균형을 고려한 펠릿형태의 복합비료를 제조할 수 있었다(Fig. 1, 2). 인분해효소를 급여한 산란계에서 배출된 계분을 퇴비화(25~30% 함수율)하여 복합비료를 제조한 결과(Table 4, Fig. 1), 비료 내 계분 함량은 인분해효소 처리구간 69.8~



Fig. 1. Compound fertilizer (example of Table 4): compost¹ from laying hens fed dietary phytase levels² + feed ingredients. ¹ Moisture content of compost: 25%; A, C, E, 30%; B, D, F. ² Phytase levels: 0 FTU/kg; A, B, 1,000 FTU/kg; C, D, 2,000 FTU/kg; E, F.



Fig. 2. Compound fertilizer (example of Table 5): compost from laying hens¹ + feed ingredients². ¹ Moisture content of compost: 40%; A, D, G, J, M, 50%; B, E, G, K, N, 60%; C, F, I, L, O. ² Feed ingredients: soybean bran; A, B, C, distillers dried grains; D, E, F, rice bran; G, H, I, coconut meal; J, K, L, soybean meal; M, N, O.

Table 4. Compound fertilizer using compost (moisture content: 25, 30%) from laying hens fed dietary phytase levels

Composition (%)	0 FTU/kg		1,000 FTU/kg		2,000 FTU/kg	
Compost (moisture content)	70.1 (25%)	71.6 (30%)	69.8 (25%)	71.3 (30%)	69.6 (25%)	70.9 (30%)
Bone meal	22.3	21.1	22.6	21.4	22.6	21.6
Potassium chloride	7.6	7.3	7.6	7.3	7.8	7.5
Total	100					
Nutrient composition (%)						
N	4.25	4.05	4.29	4.09	4.31	4.10
P ₂ O ₅	3.41	3.23	3.45	3.27	3.44	3.29
K ₂ O	3.39	3.25	3.41	3.27	3.43	3.30
N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	1.0:0.8:0.8					
Moisture	17.5	21.5	17.5	21.7	17.4	21.3

71.6%로 유사하였다. 또한 인분해효소의 첨가수준(0~2,000 FTU/kg)에 따라 25% 함수율의 퇴비를 사용할 경우 질소 4.25~4.31%, 인산 3.41~3.45%, 칼리 3.39~3.43%이며, 30% 함수율 퇴비사용으로 질소 4.05~4.10%, 인산 3.23~3.29%, 칼리 3.25~3.30%로 확인되어, 인분해효소 급여가 비료의 양분 함량에는 큰 영향을 미치지 않았다(Table 3). 한편, 25% 함수율의 퇴비를 활용한 비료가 30% 함수율에 비해 양분 함량은 높았지만, 국내에서 계분퇴비의 평균 함수율이 30% 내외이므로 30% 함수율의 계분퇴비가 이용성이 높을 것으로 사료된다(Nam et al., 2010). 비료 내 평균 양분 함량(질소, 인산, 칼리)은 4-3-3%로 범용비료(21-17-17%)에 비해 낮았으나 양분균형 측면에서는 1-0.8-0.8%로 유사하게 제조될 수 있었다(Table 4, Fig. 1). 가축분 퇴비원료 중 계분은 돈분과 우분에 비해 양분 함량과 균형이 우수하여 약 15%의 계분이 단독원료로 사용되고 있다(Ahm et al., 2021). 본 연구에서도 계분퇴비는 함수율을 조절하여 복합비료의 주원료로 이용될 수 있음을 확인하였다.

40~60% 함수율의 계분을 단미사료(대두피, 주정박, 미강, 야자박 및 대두박)와 혼합하여 복합비료를 제조한 결과(Table 5, Fig. 2), 단미사료는 계분과 비교하여 양분 함량이 높고 수분 함량이 낮으므로 비료의 수분과 양분 함량조절을 위해 활용될 수 있었다. 제조된 비료의 양분 함량은 대두박과 혼합 시에 가장 높았고, 계분퇴비의 활용성은 대두피를 이용하는 것이 가장 효율적이었다. 40% 함수율의 퇴비를 이용한 비료에서 50%와 60% 함수율의 계분을 이용한 비료보다 질소, 인산, 칼리가 일괄적으로 높았다.

한편, 퇴비의 구성비는 25~30% 함수율 퇴비를 이용할 경우 비료 내 69.6~71.6%를 차지하였고, 40~60% 함수율 퇴비는 비료 내 13.0~47.1%를 구성하였다. 따라서 계분처리량을 높이기 위해 계분의 함수율을 낮추기 위한 연구가 병행될 필요가 있다. 일반적으로 수분 함량이 높은 계분의 특성상 이를 낮추기 위해 양분이 거의 없는 왕겨나 톱밥을 이용하지만, 이것은 비료의 양분 감소와 부피 증가의 원인이 된다(Choi et al., 1996). 또한 비료공정규격에서 퇴비의 수분을 55% 이하로 업체에서 자율적으로 규제하도록 되어 있으므로 계분퇴비의 이용성을 높이기 위해서는 계분의 함수율을 낮추는 제조공정이 도입되어야 한다(Hansen et al., 1989). 또한 추후에는 이러한 복합비료 내 유해성분이나 유해균 조사가 필요하며 농작물에 공급하여 생육성상을 조사하는 연구가 필요하다.

적 요

사료 내 인분해효소를 첨가급여한 산란계에서 사료섭취당 생계분 발생량의 차이는 없었다. 반면에 2,000 FTU/kg 인분해효소 처리구에서 발생한 생계분은 높은 함수율로 인하여 건계분 배출량이 유의적으로 감소하였고($P<0.05$), 질소, 인산, 칼리의 배출량도 모두 감축되었다($P<0.05$). 부숙한 계분으로 복합비료를 제조한 결과 인분해효소 급여에 따른 퇴비의 배합량과 비료의 양분 함량의 차이는 확인되지 않았다. 퇴비의 구성비는 25~30% 함수율의 퇴비를 사용 시에 비료 내 69.6~71.6%를 차지하였으며, 40~60% 함수율 퇴

Table 5. Compound fertilizer using compost (moisture content: 40, 50, 60%) and ingredient feeds

Composition (%)	Soybean bran			Distillers dried grains			Rice bran			Coconut meal			Soybean meal		
Compost (moisture content)	47.1 (40%)	37.1 (50%)	30.0 (60%)	42.0 (40%)	31.4 (50%)	24.5 (60%)	26.5 (40%)	17.5 (50%)	13.0 (60%)	42.5 (40%)	31.5 (50%)	25.0 (60%)	40.0 (40%)	29.0 (50%)	22.7 (60%)
Ingredient feed	23.4	33.2	40.2	35.2	48.0	56.4	64.2	77.2	83.6	37.8	52.4	61.0	29.6	40.0	46.0
Bone meal	22.0	22.2	22.2	17.1	16.6	14.5	6.9	3.9	2.5	15.9	13.7	12.4	22.6	23.1	23.3
Potassium chloride	7.5	7.5	7.6	5.7	5.0	4.6	2.4	1.4	0.9	3.8	2.4	1.6	7.8	7.9	8.0
Total	100														
Nutrient composition (%)															
N	4.20	4.22	4.26	3.62	3.43	3.33	2.72	2.43	2.29	3.29	2.97	2.79	4.33	4.41	4.45
P ₂ O ₅	3.36	3.40	3.39	2.90	2.75	2.65	2.18	1.94	1.84	2.64	2.38	2.23	3.46	3.54	3.57
K ₂ O	3.35	3.36	3.40	2.90	2.73	2.65	2.18	1.96	1.85	2.64	2.39	2.25	3.47	3.52	3.56
N:P ₂ O ₅ :K ₂ O	1.0 : 0.8 : 0.8														
Moisture	20.1	20.4	20.2	20.3	20.4	20.3	20.2	20.3	20.3	20.2	20.2	20.2	20.3	20.3	20.3

비는 비료 내 13.0~47.1%를 구성하였다. 따라서 계분처리량을 높이기 위해 계분의 함수율을 낮추기 위한 연구가 추가로 필요하다. 본 연구결과, 계분퇴비는 함수율 조절 및 다른 원료들과의 조합을 통해 양분 균형을 맞춘 복합비료의 주원료로 이용될 수 있음을 확인하였다.

(색인어 : 인분해효소, 산란계, 퇴비, 비료)

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농식품 기술융합 창의인재양성사업의 지원을 받아 연구되었다(과제번호: 716002-7).

ORCID

Chun Ik Lim <https://orcid.org/0000-0003-0386-5694>
 Seong Jun Kim <https://orcid.org/0000-0002-7507-9775>
 Ju Eun Kim <https://orcid.org/0000-0002-0903-6734>
 Seong Eun Song <https://orcid.org/0000-0002-4109-0212>
 Deog Bae Lee <https://orcid.org/0000-0002-0834-0769>
 Kyeong Seon Ryu <https://orcid.org/0000-0002-3246-8412>

REFERENCES

- Ahn TU, Kim DM, Lee HS, Shin HS, Chung EG 2021 A study on the nutrient composition and heavy metal contents in livestock manure compost · liquefied fertilizer. *J Korean Soc on Water Envir* 37(4):306-314.
- Amanullah MM, Somasundaram E, Vaiyapuri K, Sathyamoorthi K 2007 Poultry manure to crops - A review. *Agri rev* 28(3):216-222.
- Arguelles-Ramos M, Nusairat B, Qudsieh R, Brake J 2020 Effects of phytase inclusion in broiler breeder diets during early lay on their fecal and egg characteristics. *Brazilian J Poult Sci* 22(1):1-6.
- Choi HL, Kim HT, Richard TL 1996 Composting high moisture materials: bio-drying poultry manure in a sequentially fed reactor. *Korean J Anim Sci* 38(6):649-658.
- Hansen RC, Keener HM, Hoitink HAJ 1989 Poultry manure composting: an exploratory study. *Trans ASAE* 32(6): 2151-2158.
- He S, Medrano RF, Yu Q, Cai Y, Dai Q, He J 2017 Effect of a microbial phytase on growth performance, plasma parameters and apparent ileal amino acid digestibility in Youxian Sheldrake fed a low-phosphorus corn-soybean diet. *Asian-Austr J Anim Sci* 30(10):1442-1449.
- Hwangbo J, Hong EC, Na SH, Yu DJ, Kim HK, Park MN,

- Seo OS 2009 A study on the amount and chemical compositions of excreta from laying hens. *Korea J Poult Sci* 36(4):337-342.
- KFSP (Korean Feeding Standard for Poultry) 2012 Nutrient requirement of poultry. National Institute of Animal Science. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Kiarie E, Woyengo T, Nyachoti CM 2015 Efficacy of new 6-phytase from *Buttiauxella* spp. on growth performance and nutrient retention in broiler chickens fed corn soybean meal-based diets. *Asian-Austr J Anim Sci* 28(10):1479-1487.
- Kim MS, Kim SC, Yun SG, Park SJ, Lee CH 2018 Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated. *J Korea Organic Resources Recycling Assoc* 26(1):21-28.
- Kim YS, Lee CE, Ham SK, Lee GJ 2016 Growth of creeping bentgrass by application of compound fertilizer containing microbes. *Weed & Turfgrass Science* 5(1):42-50.
- Lalpanmawia H, Elangovan AV, Sridhar M, Shet D, Ajith S, Pal DT 2014 Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in broiler chicken. *Anim Feed Sci Technol* 192(1):81-89.
- Lee JH, Yoon YM 2019 Comparison of nutrient balance and nutrient loading index for cultivated land nutrient management. *Korean J Envir Biol* 37(4):554-567.
- Li PENG 2005 The producing and damaging of environmental pollution from feces of livestock and poultry. *J Ecol Domestic Anim* 26(4):103-106.
- ME (Ministry of Environment) 2020 Statistics of Livestock Manure Treatment. Ministry of Environment, Sejong, Korea.
- Nam Y, Yong SH, Song KK 2010 Evaluating quality of fertilizer manufactured (livestock manure compost) with different sources in Korea. *Korean J Soil Sci and Fertilizer* 43(5):522-527.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology) 1996 The Official Test Methods for the Fertilizer Quality and Sampling Guideline. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- OECD. 2019 Data and Metadata for OECD Countries and Selected Non-Member Economies. Organization for Economic Cooperation and Development. <https://stats.oecd.org>. Accessed on February 22, 2019.
- Olukosi OA, Cowieson AJ, Adeola O 2008 Influence of enzyme supplementation of maize-soyabean meal diets on carcass composition, whole-body nutrient accretion and total tract nutrient retention of broilers. *Bri Poult Sci* 49(4):436-445.
- Selle PH, Cowieson AJ, Cowieson NP, Ravindran V 2012 Protein-phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. *Nutr Res Rev* 25(1):1-17.
- Vadas PA, Meisinger JJ, Sikora LJ, McMurtry JP, Sefton AE 2004 Effect of poultry diet on phosphorus in runoff from soils amended with poultry manure and compost. *J Envir quality* 33(5):1845-1854.
- Yun HD, Kaown DI, Lee JS, Lee YJ, Kim MS, Song YS, Lee YB 2011 The nitrogen, phosphate, and potassium contents in organic fertilizer. *Korean J Soil Sci Fert* 44(3):498-501.

Received Dec. 6, 2021, Revised Mar. 7, 2022, Accepted Mar. 23, 2022