



## 사료 내 조단백질 및 Phytase 첨가 수준이 7-21일령 육계의 생산성, 소화율 및 질소와 인 배설량에 미치는 영향

홍의철<sup>1\*</sup> · 김현수<sup>1</sup> · 손지선<sup>1</sup> · 채한화<sup>2</sup> · 김희진<sup>3</sup> · 변승준<sup>4</sup>

<sup>1</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, <sup>2</sup>국립축산과학원 동물유전체과 농업연구사,

<sup>3</sup>국립축산과학원 가금연구소 박사후연구원, <sup>4</sup>국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

### Effect of Dietary Crude Protein and Phytase Levels on Performance, Digestibility, and Nitrogen and Phosphorus Excretion in 7-to-21-day-old Broilers

Eui-Chul Hong<sup>1\*</sup>, Hyunsoo Kim<sup>1</sup>, Jiseon Son<sup>1</sup>, Han-Ha Chai<sup>2</sup>, Hee-Jin Kim<sup>3</sup> and Sung-June Byun<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>2</sup>Researcher, Animal Genomics and Bioinformatics Division, National Institute of Animal Science, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>3</sup>Post-Master Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

<sup>4</sup>Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the appropriate levels of crude protein (CP) and Phytase in the diet of broiler chicks in order to reduce nitrogen and phosphorus contents in feces while maintaining performance of broilers. Six hundred forty-eight 1-day-old male broilers (41.9±0.91 g) had a total of 3 × 3 complex factor of 3 levels of CP (20%, 19%, and 18%) and 3 levels of Phytase (1,000, 800, and 500 FTU/kg) in the diet. Divided into 9 treatments, 4 replications per treatment, 18 birds per replication, were completely randomly assigned and reared in a metabolic cage for 7 days. Seven-day-old body weight (BW) and body weight gain (BWG) of broilers were significantly lower at CP 20% treatment ( $P<0.05$ ), and feed conversion ratio (FCR) was significantly lower at CP 21% and Phytase 800 FTU/kg treatment ( $P<0.05$ ). Nitrogen and phosphorus contents in chicken excreta were significantly lower in CP 20% and Phytase 500 FTU/kg treatment, respectively ( $P<0.05$ ). Interactions between CP and Phytase in the feed were shown for nitrogen and phosphorus in feces ( $P<0.05$ ). In conclusion, considering the broiler performance and excretion contents of nitrogen and phosphorus, it is thought that CP and Phytase levels of broiler chicks diet can be reduced by 21% and 800 FTU/kg, respectively.

(Key words: broiler, crude protein, Phytase, nitrogen, phosphorus)

## 서 론

최근 환경오염 및 동물복지에 대한 대중의 관심이 집중되고 있다. 세계야생생물기금(World Wildlife Fund, 2016)은 2016년 지구생명보고서(Living Planet Report, 2016)에서 질소와 인을 지구의 환경을 위협하는 요소라고 지적하였다. 분변 내 질소는 집약적 축산에서 높은 암모니아 배출, 부영양화 및 토양 산성화를 일으키며(Belloir et al., 2017), 인은 지표수 등에 유입되어 조류 및 수생식물을 성장시킴으로써 용존 산소를 감소시킨다(Sharpley and Smith, 1994; Nahm, 2007). 가금 산업에서는 사료 내 질소와 인의 수준이 높고

이용 효율이 낮기 때문에 분변으로 배설되는 질소와 인의 함량 또한 높아진다. 특히, 사료 내 인은 Phytate와 결합되어 있어 이용 효율이 20~27% 정도로 낮기 때문에(Ferket et al., 2002) 인 요구량을 충족시키기 위해 무기 인을 과도하게 첨가함에 따라 분변 내 인의 함량도 증가한다(EC, 2010; Santonja et al., 2017).

육계 사료 내 CP 수준을 낮추는 것은 질소 배설을 줄이는데 효과적인 방법이 될 수 있으나(Bregendahl et al., 2002; Angel et al., 2006; Hernández et al., 2012; Lemme et al., 2019), 생산성을 감소시킬 수 있다(Hofmann et al., 2019; Hilliar et al., 2020; Hofmann et al., 2020). 그러나, 다양한 연

\* To whom correspondence should be addressed : drhong@korea.kr

구에서 단백질 감소 수준, 영양소 수준의 변화, 비필수 아미노산 요구량 및 산-염기 균형의 차이와 같은 많은 요인으로 인하여 저단백질 사료를 급여한 육계의 생산성에 대해서는 다양한 결과를 보이고 있다(Bregendahl et al., 2002; Ospina-Rojas et al., 2014; Vieira et al., 2016). 따라서, Santonja et al.(2017)은 소화 가능한 아미노산을 기반으로 한 질소 균형 사료, 성장단계별 사료 공급, 필수 아미노산 첨가 및 기타 적합한 사료 첨가제를 사용하여 사료 내 조단백질을 줄이는 것을 제안하였다.

아미노산 소화율을 높이는 것은 저단백질 급여 시에 감소된 육계의 성장 능력을 유지시키는 방법 중 하나이며, Phytase 사용 시 육계의 아미노산 소화율을 1-6% 증가시킬 수 있다(Sommerfeld et al., 2018; Siegert et al., 2019; Krieg et al., 2020). Phytase는 육계 분변 내 인을 줄이는 방법으로 가장 널리 알려져 있지만(Lenis and Jongbloed, 1999; Bedford, 2000; Selle and Ravindran, 2007; Kumar et al., 2015), 이와 함께 lysine이 감소된 사료에 Phytase를 첨가하면 육계 체중, 도체중 및 가슴육 무게를 증가시킨다는 연구결과가 보고되었다(Selle et al., 2007; Walk and Rao, 2019). 또한, Wang et al.(2021)은 1일령 육계 초생추 사료 내 CP 수준을 1.5% 낮추었을 때 감소된 FCR은 1,500 FTU/kg Phytase 공급으로 보완될 수 있다고 하였다. 그러나, 육계에서 CP 수준 감소로 인한 성장 제한 효과가 사육단계별로 Phytase 급여에 의해 보상될 수 있는지는 알려져 있지 않다.

육계의 생산성 유지와 질소, 인 배설량을 저감시키기 위한 CP 수준 및 Phytase 첨가 수준은 사료 생산비용에도 영향을 미친다. 사료에서 높은 비율로 함유된 원료사료는 외국에서 비싼 가격으로 수입되고 있는 옥수수(에너지원)와 대두박(단백질원)이며, 인의 수준을 맞추기 위해 사료에 첨가되는 무기 인산염은 옥수수와 대두박에 이어 세 번째로 비싼 성분이다(Boling et al., 2000). 따라서, 질소 배설량을 저감시키기 위해 단백질 원료 성분을 줄이고, Phytase 첨가로 체내 인의 활성을 높여 무기 인산염의 공급을 줄이게 된다면 생산비용도 절감될 수 있다.

본 연구는 육계 전기의 생산성을 유지하고 질소, 인 배설량을 저감시키기 위한 사료 내 CP 및 Phytase의 적정 수준을 구명하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

본 시험은 농촌진흥청 국립축산과학원의 동물실험 계획

서에 의거한 동물보호법 및 국립축산과학원 동물실험윤리 위원회에서 승인된 동물실험방법(승인번호: 2022-548)에 따라 수행되었다.

### 1. 공시동물 및 시험설계

본 시험에서 사용되는 미생물 유래 Phytase는 1,000 Phytase 단위(FTU/g) 활성을 함유하고 있다.

본 시험에서는 7일령 육계 수컷(Ross308, 136.5±9.34 g) 144 수를 공시하였으며, 국립축산과학원 가금연구소의 대사 케이지에서 14일 동안 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 육계는 2단 4열 6칸 케이지에서 사육하였으며, 케이지 1칸(75 cm × 60 cm × 40 cm)을 1반복으로 하였다. 시험설계는 2022년 한국가금사 양표준에서 제시한 육계 전기 CP 수준(20%)을 기준으로 하는 CP 3수준(20%, 19% 및 18%)과 국내 사료 회사의 Phytase 첨가 수준(1,000 FTU/kg)을 기준으로 하는 Phytase 3수준(1,000, 800, 및 500 FTU/kg) 등 두 가지 요인으로 총 9처리구, 처리당 4반복, 반복당 4수씩을 완전임의 배치하였다.

### 2. 시험사료 및 사양관리

시험사료는 처리구에 따라 자체 제작한 옥수수-대두박 위주의 자가 배합한 가루사료로서, 총 9개의 사료를 개별적으로 배합하였다. 시험사료의 배합비와 아미노산 함량은 각각 Table 1과 2에 나타내었다. 21일령의 영양소 소화율을 측정하기 위해 16일령에 소화되지 않는 산화크롬(CrO<sub>3</sub>)을 사료에 0.2% 수준으로 첨가하여 5일 동안 급여 후 21일령에 분변을 채집하였다. 사료와 물은 자유롭게 섭취하도록 하였으며, 계사 내 습도는 60-70%, 온도는 25-29℃를 유지하였다. 점등시간은 종야점등(23시간 점등)으로 관리하였으며, 기타 사양관리는 가금연구소 사양 관행에 따라 수행되었다.

### 3. 생산성 조사

개시 체중(7일령)과 종료 체중(21일령)을 측정하였으며, 증체량은 종료 체중에서 개시 체중을 제한 값으로 하였다. 사료섭취량은 21일령에 사료 잔량을 조사하여 급여량에서 제하여 산출하였으며, 사료요구율은 사료섭취량에서 증체량을 나눈 값으로 하였다.

### 4. 시료 채취 및 분석

분변은 21일령에 200 g을 수집하여 70℃ dry oven에서 48 시간 동안 건조시킨 후, 일반 성분과 아미노산 분석에 이용하였다. 사료와 분변 내 일반 성분은 AOAC 방법(2019)에 의해 분석되었다. 사료와 분변의 CP 함량은 조단백질 분석기(Kjeltec™8400, FOSS, Denmark)로 측정하였으며, CP 수

**Table 1.** Ingredient composition and nutrient content of the experimental diets

Ingredients (%)	Phytase (FTU/kg)	1,000 (0.1%)			800 (0.08%)			500 (0.05%)		
	CP (%)	20	19	18	20	19	18	20	19	18
Corn		39.91	41.55	44.84	39.91	41.55	44.84	39.91	41.55	44.84
Wheat		2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Wheat bran		10.36	11.73	11.69	10.38	11.75	11.71	10.41	11.80	11.74
Soybean meal		33.84	30.72	27.70	33.84	30.72	27.70	33.84	30.70	27.70
Soybean oil		9.73	9.72	9.35	9.73	9.72	9.35	9.73	9.72	9.35
Limestone		1.76	1.77	1.77	1.76	1.77	1.77	1.76	1.77	1.77
Dicalcium phosphate		0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.51
Lysine		0.29	0.35	0.42	0.29	0.35	0.42	0.29	0.35	0.42
Methionine		0.23	0.24	0.26	0.23	0.24	0.26	0.23	0.24	0.26
Vit.-Min. Premix <sup>1</sup>		0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Salt		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Threonine		0.03	0.07	0.11	0.03	0.07	0.11	0.03	0.07	0.11
Phytase		0.10	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05
Total		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Calculated Values										
ME (kcal/kg)		3,101	3,102	3,101	3,101	3,102	3,101	3,101	3,102	3,102
CP (%)		20.01	19.02	18.01	20.01	19.02	18.01	20.02	19.02	18.02
Ca (%)		0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.91	0.92	0.92	0.91
Available P (%)		0.27	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26
Lysine (%)		1.27	1.26	1.26	1.27	1.26	1.26	1.27	1.26	1.26
Methionine (%)		0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Threonine (%)		0.77	0.76	0.76	0.77	0.76	0.76	0.77	0.76	0.76

<sup>1</sup> Vitamin mineral premix: vitamin A, 1,600,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 300,000 IU; vitamin E, 800 IU; vitamin B<sub>1</sub>, 97 mg; vitamin B<sub>2</sub>, 500 mg; vitamin B<sub>6</sub>, 200 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 1.2 mg; vitamin K<sub>3</sub>, 132 mg; choline chloride, 35,000 mg; nicotinic acid, 2,000 mg; pantothenic acid, 800 mg; folic acid, 60 mg; manganese, 12,000 mg; zinc, 9,000 mg; iron, 4,000 mg; copper, 500 mg; iodine, 250 mg; cobalt, 100 mg; selenium, 50 mg.

**Table 2.** Analyzed amino acid contents of the experimental diets

Ingredients (%)	Phytase (FTU/kg)	1,000 (0.1%)			800 (0.08%)			500 (0.05%)		
	CP (%)	20	19	18	20	19	18	20	19	18
----- Analyzed value -----										
----- Indispensable amino acid (%)-----										
Arginine		1.29	1.08	0.84	1.08	1.08	0.84	1.23	1.06	1.10
Histidine		0.48	0.42	0.33	0.42	0.40	0.33	0.46	0.40	0.33
Iso-leucine		0.79	0.68	0.53	0.65	0.66	0.57	0.77	0.67	0.70
Leucine		1.52	1.30	1.05	1.28	1.27	1.07	1.47	1.28	1.31
Lysine		1.26	1.11	0.91	1.08	1.04	0.96	1.18	1.10	1.09
Methionine		0.30	0.29	0.26	0.34	0.30	0.26	0.32	0.14	0.30
Phenylalanine		0.98	0.86	0.69	0.84	0.81	0.69	0.93	0.83	0.84
Threonine		0.87	0.78	0.67	0.73	0.81	0.66	0.81	0.78	0.81
Valine		0.90	0.80	0.62	0.74	0.77	0.66	0.89	0.76	0.81
----- Dispensable amino acid (%)-----										
Alanine		0.90	0.77	0.61	0.75	0.77	0.65	0.87	0.77	0.78
Aspartic acid		2.21	1.84	1.45	1.88	1.77	1.50	2.09	1.84	1.87
Cystine		0.38	0.38	0.37	0.41	0.34	0.32	0.40	0.37	0.37
Glutamic acid		3.51	2.99	2.37	2.94	2.90	2.44	3.34	2.98	3.00
Glycine		0.84	0.71	0.56	0.69	0.70	0.58	0.79	0.70	0.72
Proline		1.09	0.95	0.74	0.89	0.92	0.76	1.02	0.88	0.93
Serine		0.99	0.84	0.68	0.85	0.80	0.67	0.91	0.83	0.84
Tyrosine		0.72	0.63	0.50	0.61	0.60	0.51	0.67	0.60	0.62

준에 0.16을 곱하여 질소 수준을 산출하였다. 크롬과 인의 함량은 ICP 방출 분광 분석기(ICP-OES Spectrometer, Optima 8300, PerkinElmer Inc., USA)를 이용하여 분석하였으며, 아미노산 함량은 회전증발농축기(N-122B, EYELA, Japan)로 농축시킨 후 아미노산 분석기(L-8900, HITACHI, Japan)를 이용하여 분석하였다.

5. 통계처리

본 시험에서 얻어진 모든 결과들은 SAS(2019)의 GLM Program(two-way ANOVA procedure)을 이용하여 단백질과 Phytase의 상호작용을 3 × 3 복합요인으로 분석하였으며, 각 처리구 간의 평균값은 Duncan의 다중 검정을 이용하여 95%와 99% 신뢰수준에서 검정되었다.

결 과

1. 체중, 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율

Table 3은 사료 내 CP 및 Phytase 수준에 따른 육계의 생산성을 나타낸 결과이다. 본 연구 결과 체중은 683.3-822.5 g으로 CP 및 Phytase 첨가 수준에 따른 유의적인 차이가 없었으며, 증체량 또한 493.2-633.4 g/수로 유의차를 보이지 않았다. 사료섭취량 및 사료요구율은 각각 733.4-863.3 g/수와 0.98-1.19로 나타났으며, 체중 및 증체량과 마찬가지로 CP 및 Phytase 첨가 수준에 따른 유의차를 보이지 않았다.

2. 분내 질소와 인 함량

본 시험에서 사료 내 CP 및 Phytase 첨가 수준에 따른 분내 질소와 인 함량은 Table 4에 나타내었다. 육계 분뇨 내 질소 함량은 사료 내 Phytase 500 FTU/kg 첨가 시 2.98%로 가장 낮았으며( $P < 0.01$ ), CP 수준에 따라서는 유의적인 차이가 없었으나 낮을수록 감소하는 경향이였다. 분뇨 내 인 함량은 Phytase 수준에 따른 유의차는 없었으나, 500 FTU/kg 일 때 가장 낮아지는 경향을 보였으며, CP 수준에 따라서는 18%일 때 가장 높게 나타났었다( $P < 0.01$ ). 육계 분뇨 내 질소 및 인 함량은 Phytase 첨가 수준과 CP 수준 사이에서 상호작용이 있었다( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ).

3. 일반 성분(건물, CP, 조지방 및 인) 소화율

Table 5는 사료 내 CP 및 Phytase 첨가 수준에 따른 일반 성분의 소화율을 나타낸 것이다. Phytase 첨가 수준에 따른 수분, CP, 조지방 및 인의 소화율은 유의적인 차이를 보이지 않았으나, CP 수준에 따른 일반 성분 소화율은 CP 소화율을

Table 3. Body weight (BW), body weight gain (BWG), feed intake (FI) and feed conversion ratio (FCR) according to dietary crude protein and additional Phytase levels

Treatments		BW (g/bird)	BWG (g/bird/d)	FI (g/bird/d)	FCR
CP (%)	Phytase (FTU/kg)				
20	1,000	745.8	547.6	750.0	1.01
	800	748.4	554.5	733.4	0.98
	500	683.3	576.6	765.8	1.02
19	1,000	739.2	544.7	863.3	1.19
	800	822.5	633.4	839.2	1.02
	500	712.5	525.9	801.7	1.01
18	1,000	683.3	493.3	781.7	1.12
	800	777.5	586.3	716.7	1.03
	500	730.0	545.6	810.8	1.11
SEM <sup>1</sup>		64.70	64.61	72.27	0.104
Crude protein (%)					
20		754.2	559.6	53.9	1.14
19		758.1	568.0	57.6	1.23
18		730.3	541.0	56.6	1.24
SEM <sup>2</sup>		69.26	69.25	5.56	0.124
Phytase (ppm)					
1,000		722.8	45.2	56.7	1.26
800		782.8	49.5	56.5	1.14
500		736.9	46.1	55.0	1.20
SEM <sup>3</sup>		65.17	4.77	5.74	0.123
P-Value					
Crude protein		0.57	0.63	0.26	0.11
Phytase		0.08	0.08	0.73	0.07
Phytase × CP		0.20	0.20	0.12	0.13

<sup>1</sup> SEM, standard error of means (n = 4).

<sup>2</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

<sup>3</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

CP, crude protein; BW, body weight; BWG, body weight gain; FI, feed intake; FCR, feed conversion ratio.

제외하고 20%일 때 가장 낮게 나타났으며( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ), CP 19%와 18% 수준 사이에서는 유의차가 없었다. 또한, 수분과 인의 소화율은 Phytase 첨가 수준과 CP 수준의 상호작용이 있었다( $P < 0.01$ ).

4. 필수 및 비필수 아미노산 소화율

본 시험의 사료 내 CP 수준과 Phytase 첨가 수준에 따른 필수 아미노산의 소화율은 Table 6에 나타내었다. Methionine

**Table 4.** Fecal nitrogen and phosphorus contents according to dietary crude protein and additional Phytase levels

Treatments			
CP (%)	Phytase (FTU/kg)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)
20	1,000	3.16 <sup>bc</sup>	1.08 <sup>d</sup>
	800	3.67 <sup>a</sup>	1.14 <sup>bcd</sup>
	500	2.97 <sup>bc</sup>	1.09 <sup>cd</sup>
19	1,000	3.05 <sup>bc</sup>	1.18 <sup>abc</sup>
	800	3.37 <sup>ab</sup>	1.12 <sup>bcd</sup>
	500	3.02 <sup>bc</sup>	1.13 <sup>bcd</sup>
18	1,000	2.88 <sup>c</sup>	1.24 <sup>a</sup>
	800	3.07 <sup>bc</sup>	1.20 <sup>ab</sup>
	500	2.95 <sup>bc</sup>	1.21 <sup>ab</sup>
SEM <sup>1</sup>		0.275	0.059
CP (%)			
20		3.27	1.10 <sup>b</sup>
19		3.15	1.14 <sup>b</sup>
18		2.97	1.21 <sup>a</sup>
SEM <sup>3</sup>		0.323	0.059
Phytase (ppm)			
	1,000	3.03 <sup>b</sup>	1.17
	800	3.37 <sup>a</sup>	1.15
	500	2.98 <sup>b</sup>	1.14
SEM <sup>2</sup>		0.298	0.076
P-Value			
Crude protein		0.09	<0.01
Phytase		<0.01	0.77
Phytase × CP		0.01	<0.01

<sup>1</sup> SEM, standard error of means (n = 4).  
<sup>2</sup> SEM, standard error of means (n = 12).  
<sup>3</sup> SEM, standard error of means (n = 12).  
<sup>a-d</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different (P<0.01).

과 valine의 소화율은 Phytase 500 FTU/kg 첨가 시에 각각 84.3%와 72.9%로 높았으나(P<0.05), 그 외 필수 아미노산 소화율은 Phytase 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한, 모든 필수 아미노산의 소화율은 CP 수준에 따른 유의 차이가 없었다. Iso-leucine, leucine, methionine, threonine 및 valine의 소화율은 Phytase 첨가 수준과 CP 수준 사이에 상호작용이 있음을 보여주었다(P<0.05, P<0.01).

Table 7은 사료 내 CP 수준에 따른 비필수 아미노산 소화율을 나타낸 것이다. Aspartic acid 및 glutamic acid 소화율은

**Table 5.** Digestibility of dry matter, crude protein, ether extract, and phosphorus according to dietary crude protein and additional Phytase levels

Treatments		Dry matter	Crude protein	Ether extract	Phosphorus
CP (%)	Phytase (FTU/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)
20	1,000	61.9 <sup>c</sup>	63.7	70.4	45.9 <sup>b</sup>
	800	65.6 <sup>bc</sup>	67.1	76.5	48.3 <sup>ab</sup>
	500	65.4 <sup>bc</sup>	66.7	75.9	44.0 <sup>bc</sup>
19	1,000	65.6 <sup>bc</sup>	67.1	76.5	48.3 <sup>ab</sup>
	800	72.8 <sup>a</sup>	68.2	84.3	58.1 <sup>a</sup>
	500	69.8 <sup>ab</sup>	70.4	81.4	53.0 <sup>ab</sup>
18	1,000	65.4 <sup>bc</sup>	66.7	75.9	44.0 <sup>bc</sup>
	800	71.6 <sup>ab</sup>	72.2	85.2	53.4 <sup>ab</sup>
	500	71.1 <sup>ab</sup>	72.0	73.6	48.9 <sup>ab</sup>
SEM <sup>1</sup>		4.09	4.92	8.76	6.45
Crude protein (%)					
20		63.0 <sup>b</sup>	65.4	71.5 <sup>b</sup>	43.1 <sup>b</sup>
19		69.4 <sup>a</sup>	68.6	80.7 <sup>a</sup>	53.1 <sup>a</sup>
18		69.3 <sup>a</sup>	70.3	78.2 <sup>ab</sup>	48.7 <sup>ab</sup>
SEM <sup>3</sup>		4.58	4.98	8.81	7.43
Phytase (ppm)					
	1,000	64.3	65.8	74.3	46.1
	800	68.7	68.1	79.6	49.1
	500	68.8	70.4	76.6	49.8
SEM <sup>2</sup>		5.07	5.07	9.44	8.39
P-Value					
Crude protein		<0.01	0.06	<0.05	<0.01
Phytase		0.06	0.11	0.39	0.51
Phytase × CP		<0.01	0.16	0.15	<0.01

<sup>1</sup> SEM, standard error of means (n = 4).  
<sup>2</sup> SEM, standard error of means (n = 12).  
<sup>3</sup> SEM, standard error of means (n = 12).  
<sup>a-c</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different (P<0.01, P<0.05).

Phytase 500 FTU/kg 첨가 시에 각각 81.2%와 87.6%로 가장 높았다(P<0.05). Aspartic acid 및 glutamic acid를 제외한 비필수 아미노산 소화율은 Phytase 수준에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 전체 비필수 아미노산의 소화율은 CP 수준에 따른 유의차가 없었다. Alanine, aspartic acid, glutamic acid, glycine, proline 및 serine의 소화율은 CP 수준과 Phytase 첨가 수준이 상호작용함을 보여주었다(P<0.05).

**Table 6.** Digestibility of essential amino acids according to dietary crude protein and additional Phytase levels

Treatments		ARG	HIS	I-LE	LEU	LYS	MET	PHE	THR	VAL
CP (%)	Phytase (FTU/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20	1,000	89.6	85.1	79.4 <sup>ab</sup>	84.2 <sup>a</sup>	86.3	79.8 <sup>b</sup>	83.3	78.4 <sup>ab</sup>	72.3 <sup>a</sup>
	800	86.0	81.5	71.5 <sup>c</sup>	76.6 <sup>c</sup>	81.6	78.8 <sup>b</sup>	77.7	70.6 <sup>c</sup>	62.0 <sup>b</sup>
	500	90.2	85.4	80.5 <sup>a</sup>	84.2 <sup>a</sup>	85.6	85.1 <sup>a</sup>	83.5	76.8 <sup>abc</sup>	73.5 <sup>a</sup>
19	1,000	89.0	84.4	76.7 <sup>abc</sup>	81.6 <sup>abc</sup>	84.1	80.6 <sup>b</sup>	82.6	77.1 <sup>abc</sup>	70.8 <sup>a</sup>
	800	90.0	86.3	80.5 <sup>a</sup>	84.0 <sup>a</sup>	85.3	85.0 <sup>a</sup>	83.8	80.4 <sup>a</sup>	73.3 <sup>a</sup>
	500	89.3	85.2	79.5 <sup>ab</sup>	83.4 <sup>ab</sup>	85.2	85.2 <sup>a</sup>	83.3	79.0 <sup>ab</sup>	72.1 <sup>a</sup>
18	1,000	90.2	85.4	80.5 <sup>a</sup>	84.2 <sup>a</sup>	85.6	85.1 <sup>a</sup>	83.5	76.8 <sup>abc</sup>	73.5 <sup>a</sup>
	800	84.8	79.7	72.9 <sup>bc</sup>	77.1 <sup>c</sup>	80.7	80.0 <sup>b</sup>	77.2	71.3 <sup>c</sup>	62.2 <sup>b</sup>
	500	90.1	86.1	79.5 <sup>ab</sup>	83.6 <sup>ab</sup>	85.4	82.6 <sup>ab</sup>	83.8	80.1 <sup>a</sup>	73.1 <sup>a</sup>
SEM <sup>1</sup>		3.13	3.63	4.31	3.99	3.33	3.39	3.71	4.18	5.34
Crude protein (%)										
20		88.6	84.0	77.1	81.7	84.5	81.2	81.5	75.2	69.2
19		89.3	85.2	78.9	83.0	84.9	83.4	83.2	78.8	72.1
18		87.0	81.7	74.6	79.4	82.4	80.4	79.8	74.7	65.4
SEM <sup>3</sup>		3.07	3.97	5.17	4.63	3.52	3.49	4.11	4.95	6.64
Phytase (ppm)										
1,000		88.2	82.9	75.8	81.1	83.8	79.6 <sup>b</sup>	81.5	76.0	68.0 <sup>ab</sup>
800		86.8	82.5	75.0	79.2	82.5	81.2 <sup>b</sup>	79.5	74.1	65.8 <sup>b</sup>
500		89.8	85.5	79.8	83.8	85.4	84.3 <sup>a</sup>	83.5	78.6	72.9 <sup>a</sup>
SEM <sup>2</sup>		2.96	4.03	5.02	4.49	3.49	6.65	4.01	4.94	6.54
P-Value										
Crude protein		0.18	0.11	0.14	0.17	0.19	0.19	0.08	0.09	0.06
Phytase		0.05	0.17	0.05	0.06	0.15	<0.05	0.07	0.09	<0.05
Phytase × CP		0.05	0.05	<0.01	<0.05	0.14	<0.05	0.05	<0.01	<0.01

<sup>1</sup> SEM, standard error of means (n = 4).

<sup>2</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

<sup>3</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

<sup>a-c</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ).

## 고찰

많은 연구들이 육계 분내 질소 함량을 저감시키기 위해 사료 내 CP 수준을 낮추는 방법을 제시하고 있다(Bregendahl et al., 2002; Angel et al., 2006; Hernández et al., 2012; Lemme et al., 2019). 또한 다양한 연구들이 육계 분내 인 함량을 저감시키는 방법으로 Phytase 첨가를 제시하고 있다(Lenis and Jongbloed, 1999; Bedford, 2000; Selle and Ravindran, 2007). 그러나, Hofmann et al.(2019), Hilliar et al.(2020) 및 Hofmann et al.(2020)은 육계 사료 내 CP 수준을 낮추었을 때 생산성이 저감된다고 하였으며, Babatunde et al.(2020)와 Attia et al.(2021)은 육계의 저단백질 사료 내 Phytase 첨가가 생산성 향상에 효과적이라고 하였다. 본 연구에서도 육계 전 기 사료 내 CP 수준을 낮추었을 때, 체중과 증체량은 감소하고 사료섭취량은 증가하는 경향을 보였으나 처리구 사이에서 유의적인 차이는 보이지 않았다.

본 연구에서는 육계 분내 질소 함량은 사료 내 CP 수준을 낮추면서 감소되는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 또한, 육계 분내 인 함량은 Phytase 1,000 FTU/kg 처리구에서 1.17%로 가장 높았으나 유의적인 차이를 보이지 않았으며, CP 18% 처리구에서 가장 높았다. Phytase 첨가에 대한 이전 연구에서는 500 FTU/kg 이하로 공급되는 Phytase는 인을 비롯한 기타 영양소의 소화율을 향상시킨다고 하였으며 (Ravindran et al., 1999; Selle et al., 2000; Ravindran et al., 2008; Powell et al., 2011), 더 낮은 첨가 수준으로 육계 생산성을 향상시키고, 인의 배설량을 줄일 수 있다고 하였다(Lenis and Jongbloed, 1999; Bedford, 2000; Selle and Ravindran, 2007). 본 연구에서도 Phytase 첨가 수준이 가장 낮을 때(<500 ppm) 질소와 인의 배설량이 감소하였으며, CP와 인의 소화율은 Phytase 500 FTU/kg 처리구에서 가장 높았다. 그러나, Phytase 수준에 따른 생산성 개선 및 환경부하물질 저감 효과로 인하여 현재의 사료 회사에서는 더 많은 Phytase를 첨가하



**Table 7.** Digestibility of non-essential amino acids according to dietary crude protein and additional Phytase levels

Treatments		ALA	ASP	CYS	GLU	GLY	PRO	SER	TYR
CP (%)	Phytase (FTU/kg)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20	1,000	70.3 <sup>a</sup>	81.9 <sup>a</sup>	68.4	88.4 <sup>a</sup>	62.9 <sup>ab</sup>	80.6 <sup>ab</sup>	83.5 <sup>ab</sup>	80.9
	800	60.5 <sup>b</sup>	74.7 <sup>bc</sup>	66.1	83.4 <sup>cd</sup>	49.7 <sup>c</sup>	73.2 <sup>c</sup>	76.9 <sup>bcd</sup>	76.2
	500	71.7 <sup>a</sup>	81.4 <sup>a</sup>	73.4	87.2 <sup>abc</sup>	62.6 <sup>ab</sup>	80.8 <sup>ab</sup>	81.2 <sup>abc</sup>	81.0
19	1,000	65.7 <sup>ab</sup>	78.5 <sup>abc</sup>	73.0	87.7 <sup>ab</sup>	63.3 <sup>ab</sup>	81.6 <sup>ab</sup>	82.1 <sup>abc</sup>	81.0
	800	72.6 <sup>a</sup>	80.7 <sup>ab</sup>	72.6	87.5 <sup>ab</sup>	66.8 <sup>a</sup>	83.2 <sup>a</sup>	82.6 <sup>ab</sup>	81.9
	500	70.0 <sup>a</sup>	81.1 <sup>a</sup>	71.7	87.6 <sup>ab</sup>	63.0 <sup>ab</sup>	79.7 <sup>abc</sup>	82.4 <sup>ab</sup>	81.3
18	1,000	59.0 <sup>b</sup>	73.1 <sup>c</sup>	71.3	83.8 <sup>bcd</sup>	52.3 <sup>bc</sup>	75.1 <sup>bc</sup>	75.8 <sup>cd</sup>	76.3
	800	70.0 <sup>a</sup>	81.1 <sup>a</sup>	71.7	87.6 <sup>ab</sup>	63.0 <sup>ab</sup>	79.7 <sup>abc</sup>	82.4 <sup>ab</sup>	81.3
	500	70.7 <sup>a</sup>	81.2 <sup>a</sup>	74.0	87.9 <sup>ab</sup>	66.8 <sup>a</sup>	81.9 <sup>ab</sup>	83.8 <sup>a</sup>	82.4
SEM <sup>1</sup>		5.66	3.98	4.45	2.57	7.54	4.55	4.09	3.87
Crude protein									
20		67.5	79.3	69.3	86.3	58.4	78.2	80.5	79.3
19		69.4	80.1	72.4	87.6	64.3	81.5	82.3	81.4
18		63.7	75.6	70.7	84.8	57.4	76.7	78.1	77.9
SEM <sup>3</sup>		6.89	4.81	4.79	2.99	8.79	5.23	4.73	4.23
Phytase									
1,000		65.0	77.8 <sup>ab</sup>	70.9	86.6 <sup>ab</sup>	59.5	79.1	80.4	79.4
800		64.8	76.0 <sup>b</sup>	68.5	84.5 <sup>b</sup>	56.6	76.5	78.1	77.7
500		70.8	81.2 <sup>a</sup>	73.0	87.6 <sup>a</sup>	64.1	80.8	82.5	81.5
SEM <sup>2</sup>		6.72	4.71	4.58	2.93	8.78	5.32	4.71	4.17
P-Value									
Crude protein		0.13	0.06	0.29	0.08	0.13	0.09	0.11	0.14
Phytase		0.06	<0.05	0.07	<0.05	0.12	0.16	0.09	0.09
Phytase × CP		<0.01	<0.01	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.06

<sup>1</sup> SEM, standard error of means (n = 36).

<sup>2</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

<sup>3</sup> SEM, standard error of means (n = 12).

<sup>a-d</sup> Means in same rows with different superscripts are significantly different ( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ).

고 있다(Walters et al., 2019). 또한 필수 아미노산 중 methionine 과 valine, 비필수 아미노산 중 aspartic acid와 glutamic acid의 소화율이 높아졌다.

가금류는 내인성 Phytase 활성이 부족하여 피틴테인(phytate-P)의 분해 및 인의 소화율이 낮기 때문에, 인 요구량을 충족시키기 위해서는 무기 인산염 보충이 필요하다(Wendt and Rodehutsord, 2004; Cowieson et al., 2006). 이전 연구에서는 사료 내 Phytase 첨가 시 무기 인산염 첨가량을 줄이는 것으로 나타나고 있다(Walters et al., 2019). 이는 Phytase 첨가가 phytate와 결합된 인을 분리시킴으로써 이용 가능한 인의 함량을 증가시킬 수 있기 때문으로 사료된다.

따라서, 높은 수준의 Phytase 첨가는 더 많은 피틴테인(Phytate-P)을 분해시키기 때문에 인의 이용률이 높아진다. 그러나, 사료 내 조단백질 수준을 저감시키기 위해서 대두박 배합 비율을 낮추는 경우(Chrystal et al., 2020), Phytase 첨가로 분해되는 피틴테인의 함량도 감소하게 되므로, 내인성 Phytase 활성으로도 어느 정도 분해가 가능하며, 필요한 Phytase 첨가 수준도 낮아진다(Fan et al., 2005). 이런 이유로 사료 내 Phytase 를 최소 500 FTU/kg 정도만 첨가하여도 육계의 생산성 향상 및 질소, 인 배설량 저감에 효과를 볼 수 있으며, 결과적으로 저단백질 사료 급여 시에는 Phytase 첨가 수준에 따른 효과를 볼 수 없을 것으로 사료된다.

한편, 사료 내 CP 수준이 가장 낮을 때(18%), CP와 질소의 소화율이 높았으나, CP 19% 처리구 사이에서 유의적인 차이는 없었다. 반면, 인의 소화율은 CP 19% 처리구에서 높았다. 사료 내 CP 수준을 낮춘다는 의미는 대두박을 포함한 단백질 원료의 함유량을 감소시킨다는 것이다(Chrystal et al., 2020). 사료 내 대두박 함유량을 낮추는 경우, CP 소화를 억제하는 Phytate(식물성 사료에 포함) 수준이 낮아지면 첨가된 Phytase 활성으로 조단백질, 질소 혹은 인의 소화율이 높아지는 것이라 사료된다. 이와 관련하여, Haetinger and Adeola(2024)은 단백질 공급원(대두박 등)이 인 소화율에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서 육계 전기 사료 내 CP 와 Phytase 첨가 수준을 변화시켰을 때, CP 수준과 Phytase 첨가 수준 사이에서는 상호작용이 있는 것으로 나타났다. 또한, 생산성은 처리구 사이에서 차이를 보이지 않았으나, 분변 내 질소와 인의 함량과 일반성분 및 몇몇 아미노산 소화율에는 유의적인 차이가 나타났다. 특히, 사료 내 CP 수준이 18% 및 19%일 때 분변 내 질소 함량이 감소하고, 질소와 아미노산 소화율이 개선되었다. 또한, Phytase 수준을 500 FTU/kg 으로 낮추어 사용하였을 때, 질소와 인 배설량이 감소하고 질소 및 아미노산 소화율이 향상되었다. 따라서, 육계 전기 사료 내 CP 수준은 18%까지 낮추는 것이 가능하며, Phytase 첨가 수준은 500 FTU/kg이 적정 수준이라고 사료된다.

## 적 요

본 연구는 육계 전기의 생산성을 유지하고 질소와 인 배설량을 저감시키기 위한 사료 내 조단백질 및 Phytase의 적정 수준을 구명하기 위해 수행되었다. 시험설계는 육계 전기 CP 수준(20%)을 기준으로 하여 사료 내 CP 3수준(20%, 19% 및 18%)과 Phytase 3수준(1,000, 800 및 500 FTU/kg)의 복합요인으로 총 9처리구로 하였다. 7일령 육계 수컷(136.5±9.34 g) 144수를 공시하여 처리당 4반복, 반복당 4수씩을 완전임의 배치하였으며, 14일 동안 시험을 수행하였다. 분변 내 질소 함량은 사료 내 Phytase 500 FTU/kg 첨가 시 2.98%로 가장 낮았으며( $P<0.01$ ), 분변 내 인 함량은 Phytase 수준 500 FTU/kg, CP 수준 18%일 때 유의적으로 높게 나타났다( $P<0.01$ ). CP 수준에 따른 일반 성분 소화율은 CP 소화율을 제외하고 CP 20%일 때 가장 낮게 나타났으며( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 19%와 18% 수준 사이에서는 유의차가 없었다. 필수아미노산 중 valine 소화율은 Phytase 500 FTU/kg 첨가 시에 72.9%로 가장 높았으며( $P<0.05$ ), 비필수 아미노산 중 aspartic acid 및 glutamine 소화

율은 Phytase 500 FTU/kg 첨가 시에 각각 81.2%와 87.6%로 높았다( $P<0.05$ ). 체중, 증체량, 사료섭취량 및 사료요구율은 CP 및 Phytase 첨가 수준에 따른 유의차를 보이지 않았다. 결론적으로, 육계 전기 사료 내 CP 18% 및 19% 사료 급여구에서 영양소 소화율이 유의적으로 향상되었다. 결론적으로, 육계 전기 사료 내 CP와 Phytase 적정 수준은 각각 19%와 500 FTU/kg으로 추정된다.

(색인어 : 육계, 조단백질, Phytase, 질소, 인)

## 사 사

본 연구는 2024년 농촌진흥청의 기관고유사업(과제번호: PJ01678201) 및 전문연구원 지원사업에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## ORCID

Eui-Chul Hong	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1982-2023">https://orcid.org/0000-0003-1982-2023</a>
Hyunsoo Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8887-1318">https://orcid.org/0000-0001-8887-1318</a>
Jiseon Son	<a href="https://orcid.org/0000-0002-5285-8186">https://orcid.org/0000-0002-5285-8186</a>
Han-Ha Chai	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7752-3967">https://orcid.org/0000-0001-7752-3967</a>
Hee-Jin Kim	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6959-9790">https://orcid.org/0000-0002-6959-9790</a>
Sung-June Byun	<a href="https://orcid.org/0000-0001-6909-1025">https://orcid.org/0000-0001-6909-1025</a>

## REFERENCES

Angel R, Powers W, Zanzow S, Applegate T 2006 Dietary modifications to reduce nitrogen consumption and excretion in broilers. *Poult Sci* 85:25.

AOAC. 2016. Official Method of Analysis. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.

Attia YA, Bovera F, Al-Harathi MA, El-Din AE-RET, Said Selim W 2021 Supplementation of microbial and fungal Phytase to low protein and energy diets: effects on productive performance, nutrient digestibility, and blood profiles of boilers. *Agriculture* 11(5):414.

Batatunde OO, Jendza JA, Ader P, Xue P, Adedokun SA, Adeola O 2020 Response of broiler chickens in the starter and finisher phases to 3 sources of microbial Phytase. *Poult Sci* 99(8):3997-4008.

Bedford MR 2000 Exogenous enzymes in monogastric nutrition-Their current value and future benefits. *Anim Feed*



- Sci Technol 86(1-2):1-13.
- Belloir P, Méda B, Lambert W, Corrent E, Juin H, Lessire M, Tesseraud S 2017 Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal* 11(11):1881-1889.
- Boling SD, Douglas MW, Johnson ML, Wang X, Parsons CM, Koelebeck KW, Zimmerman RA 2000 The effects of dietary available phosphorus levels and Phytase on performance of young and older laying hens. *Poult Sci* 79(2):224-230.
- Bregendahl K, Sell JL, Zimmermann DR 2002 Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poult Sci* 81(8):1156-1167.
- Chrystal PV, Moss AF, Khoddami A, Naranjo VD, Selle PH, Liu SY 2020 Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poult Sci* 99(3):1421-1431.
- Chrystal PV, Greenhalgh S, Selle PH, Liu SY 2000 Facilitating the acceptance of tangibly reduced-crude protein diets for chicken-meat production. *Anim Nutr* 6(3):247-257.
- European Commission 2010 Directive 2010/75/EU of the European Parliament of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Union*, L334/17.
- Fan MZ, Li TJ, Yin YL, Fang RJ, Tang ZY, Hou ZP, Huang RL, Deng ZY, Zhong HY, Zhang RG, Zhang J, Wang B, Schulze H 2005 Effect of phytase supplementation with two levels of phosphorus diets on ileal and faecal digestibilities of nutrients and phosphorus, calcium, nitrogen and energy balances in growing pigs. *Ani Sci* 81(1):67-75.
- Ferket P, Van Heugten E, van Kempen T, Angel R 2002 Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *J Ani Sci* 80(E-Suppl\_2):E168-E182.
- Haetinger VS, Adeola O 2024 Comparison of different protein sources on the phosphorus digestibility of soybean meal for broiler chickens determined using the regression method. *Poult Sci* 103(2):103327.
- Hernández F, López M, Martínez S, Megías MD, Catalá P, Madrid J 2012 Effect of low-protein diets and single sex on production performance, plasma metabolites, digestibility, and nitrogen excretion in 1-to-48-day-old broilers. *Poult Sci* 91(3):683-692.
- Hilliar M, Hargreave G, Girish CK, Barekatin R, Wu S-B, Swick RA 2020 Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poult Sci* 99(3):1551-1563.
- Hofmann P, Siegart W, Kenéz Á, Naranjo VD, Rodehustcord M 2019 Very low crude protein and varying glycine concentrations in the diet affect growth performance, characteristics of nitrogen excretion, and the blood metabolome of broiler chickens. *J Nutr* 149(7):1122-1132.
- Hofmann P, Siegart W, Naranjo VD, Rodehustcord M 2020 Effects of supplemented nonessential amino acids and nonprotein nitrogen on growth and nitrogen excretion characteristics of broiler chickens fed diets with very low crude protein concentrations. *Poult Sci* 99(12):6848-6858.
- Krieg J, Siegart W, Berghaus D, Bock J, Feuerstein D, Rodehustcord M 2020 Phytase supplementation effects on amino acid digestibility depend on the protein source in the diet but are not related to InP6 degradation in broiler chickens. *Poult Sci* 99(6):3251-3265.
- Lemme A, Hiller P, Klahren M, Taube V, Stegemann J, Simon I 2019 Reduction of dietary protein in broiler diets not only reduces n-emissions but is also accompanied by several further benefits. *J Appl Poult Res* 28(4):867-880.
- Lenis NP, Jongbloed AW 1999 New technologies in low pollution swine diets: diet manipulation and use of synthetic amino acids, Phytase and phase feeding for reduction of nitrogen and phosphorus excretion and ammonia emission – review. *Asian-Australas J Anim Sci* 12(2):305-327.
- Nahm KH 2007 Feed formulations to reduce N excretion and ammonia emission from poultry manure. *Bioresour Tech* 98(1):2282-2300.
- Ospina-Rojas IC, Murakami AE, Duarte CRA, Eyng C, Oliveira CAL, Janeiro V 2014 Valine, isoleucine, arginine and glycine supplementation of low-protein diets for broiler chickens during the starter and grower phases. *Br Poult Sci* 55(6):766-773.
- Powell S, Bidner T, Southern L 2011 Phytase supplementation improved growth performance and one characteristics in broiler fed varying levels of dietary calcium. *Poult Sci* 90(3):604-608.
- Ravindran V, Cowieson AJ, Selle PH 2008 Influence of

- dietary electrolyte balance and microbial Phytase on growth performance, nutrient utilization, and excreta quality of broiler chickens. *Poult Sci* 87(4):677-688.
- Ravindran V, Cabahug S, Ravindran G, Bryden WL 1999 Influence of microbial Phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult Sci* 78(5):699-706.
- Santonja GG, Geogitzikis K, Scalet BM, Montobbio P, Roudier S, Delgado Sancho L 2017 Best available techniques (BAT) Reference document for the intensive rearing of poultry or pig. EUR 28674 EN. Doi:10.2760/020485.
- Selle PH, Ravindran V 2007 Microbial Phytase in poultry nutrition. *Anim Feed Sci Technol* 135:1-41.
- Selle PH, Ravindran V, Ravindran G, Bryden WL 2007 Effects of dietary lysine and microbial Phytase on growth performance and nutrient utilization of broiler chickens. *Asian-Australas J Anim* 20(7):1100-1107.
- Selle PH, Ravindran V, Caldwell RA, Bryden WL 2000 Phytate and Phytase: consequences for protein utilization. *Nutr Res Rev* 13(3):255-278.
- Sharpley AN, Smith SJ 1994 Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil and Tillage Res* 30(1):33-48.
- Siegert W, Zuber T, Sommerfeld V, Krieg J, Feuerstein D, Kurrle U, Rodehustscord M 2019 Prececal amino acid digestibility and phytate degradation in broiler chickens when using different oilseed meals, Phytase and protease supplements in the feed. *Poult Sci* 98(11):5700-5713.
- Sommerfeld V, Künzel S, Schollenberger M, Rodehustscord M 2018 Influence of Phytase or myo-inositol supplements on performance and phytate degradation products in the crop, ileum, and blood of broiler chickens. *Poult Sci* 97(3):920-929.
- Vieira SL, Stefanello C, Cemin HS 2016 Lowering the dietary protein levels by the use of synthetic amino acids and the use of a mono component protease. *Anim Feed Sci Technol* 221:262-266.
- Walk CL, Rao SVR 2019 High doses of Phytase on growth performance and apparent ileal amino acid digestibility of broilers fed diets with graded concentrations of digestive lysine. *J Anim Sci* 97(2):698-713.
- Walters HG, Coelho M, Coufal CD, Lee JT 2019 Effects of increasing Phytase inclusion levels on broiler performance, nutrient digestibility, and bone mineralization in low-phosphorus diets. *J Appl Poult Res* 28(4):1210-1225.
- Wang J, Patterson R, Kim WK 2021 Effects of Phytase and multcarbohydrase on growth performance, bone mineralization, and nutrient digestibility in broilers fed a nutritionally reduced diet. *J Appl Poult Res* 30:100146.
- World Wildlife Fund 2016 Living Planet Report 2016 - Risk and Resilience in a New Era. WWF International, Gland, Switzerland.

---

Received Oct. 5, 2024, Revised Nov. 14, 2024, Accepted Nov. 15, 2024