

Phytase 수준별 급여가 육계의 생산성, 인의 배설과 흡수 및 회장과 분에서 소화율에 미치는 영향

황보 종^{1a} · 안정현^{1a} · 정완태¹ · 오상집³ · 이현정¹ · 김 원² · 이선업¹ · 홍의철^{1*}
¹농촌진흥청 축산과학원, ²한일사료, ³강원대학교 동물자원학과

Effects of Dietary Phytase on Performance, Excretion and Retention of P, and Ileal and Feces Digestibility in Broilers

J. Hwangbo^{1a}, J. H. Ahn^{1a}, W. T. Chung¹, S. J. Ohh², H. J. Lee¹, W. Kim², S. U. Lee¹ and E. C. Hong^{1*}
¹National Institute of Animal Science, ²Hanilfeed, Co., LTD., ³Institute of Animal Science Resources, Kangwon National University

ABSTRACT This work was carried out to assess the effect of microbial phytase (MP) on the performance, retention and excretion of phosphorus, and nutrients availability in broiler chicks. Two hundred and sixteen one day old Ross strains broiler chicks were used to investigate on performance for 5 weeks (earlier (0~2wk), finisher (3~5wk)) and were divided 3 treatments, three cages per treatment and 12 birds per cage. Treatments are P0 (basal diet), P1 (microbial phytase 300 FTU/kg), and P2 (microbial phytase 600 FTU/kg). After 5 weeks, three diets containing 0, 300, 600 FTU/kg of microbial phytase were fed to 5-wk-old broilers to assess the digestibility. Twenty seven broilers were divided into 3 treatments (9 birds per treatment) to investigate on the absorption and retention of phosphorus and nutrient digestibility. Body weight gain and feed efficiency were highly significant at P1 and P2 treatments compared to those of P0 ($P<0.05$), however, feed intake was no significant difference among all treatments ($P>0.05$). The excretion of phosphorus decreased in P1 and P2 compared to P0 ($P<0.05$). The digestibility of nutrients and amino acid was high in P1 and P2 treatments compared to P0 ($P<0.05$). Ileal digestibility was lower about 1~2% than feces digestibility ($P>0.05$). Finally, microbial phytase influenced on the performance, the retention and excretion of phosphorus and ileal and feces digestibility in broilers.

Key words : microbial phytase, performance, excretion, retention, nutrient utility

서 론

파이타제에 대한 연구에서는 피틴산염(phytate), 피틴(phytin), 피틴산(phytic acid)이라는 세 가지 전문 용어가 주로 사용된다. 피틴산염은 피틴산(myo-inositol hexaphosphate, IP₆)의 복합 염으로서, 넓게 식물계에 분포되어 있다. 식물성 사료 원료를 위주로 하는 육계용 사료 중에는 0.25~0.4%의 피틴산염의 인(피틴태인)이 포함되어 있다(Lantzsch 등, 1995; Pasamontes 등, 1997). 사료 성분에 존재하는 피틴산염은 마그네슘, 칼슘, 칼륨과 킬레이트 결합하여 광물질-결합 화합물로 존재하며(Reddy 등, 1982), 장내에서의 무기물 흡수를 방해하여 필수 무기물의 생체 이용률을 감소시킨다. 또한, 피

틴산염은 산성 pH에서 직접적으로 단백질과 결합하고, 또는 양이온 결합에 의한 3중 복합체로서 존재한다(Reddy와 Salunkhe, 1981). 피틴산염은 단위 동물에 있어 소화가 되지 않고 항영양적이라는 두 가지 측면에서 동물 영양학자들의 관심이 된다(Swick과 Ivey, 1992).

피틴태인은 단위 동물의 대장에서 일부 분해되어지기는 하나, 대부분의 인이 소장내에서 흡수되기 때문에 이용되지 못한다. 이렇듯, 피틴태 인은 돼지나 가금과 같은 단위 동물의 장내에서 거의 분해되지 않아 이용되지 못하고 분변으로 배설된다(Nelson 등, 1971; Pasamontes 등, 1997). 또한, 인 공급을 위해 별도로 첨가한 인의 경우도 과도하게 첨가되기 때문에 일부가 배설되고 있다. 축산 농가에서 발생하는 인의

^a First two authors equally contributed to this work.

* To whom correspondence should be addressed : coldboy72@hanmail.net

배설량이 증가함에 따라 환경오염의 발생과 함께 수질에 대한 피해도 증가되고 있다. 특히 인이 과다하게 축적된 토양으로부터 흐르는 물은 강이나 호수의 부영양화를 촉진시키며, 결과적으로 독성 조류의 확산과 물고기 등의 죽음을 가져온다(Sharpley, 1999). 따라서 돼지와 가금 배설물의 인 감소는 환경과 축산물의 지속적 생산에 이익이 된다(Correll, 1999).

돼지와 가금 사료내 미생물 유래 파이타제의 함유는 인 배설량과 환경에 대한 손실을 절감시키기 위해 시도되었다. 파이타제(phytase; *myo*-inositol hexakisphosphate phosphohydrolase)는 피틴산염을 분해하여 미오이노시톨과 무기태 인(비피틴태 인)을 형성하게 하는 효소로서 식물체, 동물의 장관 및 미생물 등에 존재한다(Maenz와 Classen, 1998; Kerr 등, 2000). 파이타제는 피틴산염의 인 분해가 C₃ 지점에서 시작되는 3-파이타제(EC 3.1.3.8)와 C₆ 지점인 6-파이타제(EC 3.1.3.6)의 두 종류로 분류된다(Reddy 등, 1982; Kim 등, 1998). 현재 사용되는 파이타제는 *A. niger*로부터 유래된 3-파이타제와 *Peniophora lucii*와 *Escherichia coli*에서 유래된 6-파이타제이다. 파이타제 활성은 *ftase* unit (FTU)으로 명시되며, 1 FTU/kg은 pH 5.5와 37°C에서 0.00015 M/L 나트륨 피틴산염에서 분당 1 μM의 무기태 오르토탄산염(orthophosphate)을 분리시키는 효소의 양이다(Denbow 등, 1995).

파이타제 연구에서는 Simons 등(1990)이 사료에 파이타제 첨가가 0~24일령 육계의 인 배설량을 절감시키고 증체량과 사료 효율을 증가시킨다는 것이 자주 인용된다. Cabahug 등(1999)은 파이타제 첨가가 7~25일령 육계의 증체량, 사료 섭취량, 사료 효율을 증가시킨다고 하였다. Selle 등(1999)은 600 FTU/kg 파이타제 첨가가 증체량과 사료 효율을 유의적으로 증가시켰다. 반면에, Paik(2003)은 500 FTU/kg의 파이타제를 첨가하여 육계 전기와 육계 후기에서 비피틴태 인을 감소시킨 결과, 14.8%까지 인 배설량을 감소시키지만 증체량을 악화시켰다. 파이타제에 대한 대부분의 연구에서 파이타제 효과는 사료내 성분의 함량과 관련이 있다(Rosen, 2003). Camden 등(2001)은 2.8 g/kg 피틴태 인을 함유하는 옥수수-대두박 위주 육계용 사료에 *A. niger* 파이타제를 500 FTU/kg 첨가하면 회장에서서의 아미노산의 외관상 소화율이 2.7% 개선되었으며, Tamim 등(2004)은 옥수수-대두박 위주 육계에 갈습과 *A. niger* 파이타제를 각각 0.5%와 500 FTU/kg 첨가하면, 사료내 피틴산염의 33.5%가 감소한다고 보고하였다.

따라서 본 시험은 육계 사료내 파이타제의 수준별 첨가가 생산성, 인의 배설량과 축적량 및 회장과 분의 소화율에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시 동물과 시험 설계

본 시험에 사용된 공시 동물은 1일령 Ross종 육계(평균 체중 44.5±2.0 g) 216수를 선별하여 육계 전기(0~2주)와 육계 후기(2~5주)의 5주 동안 사양 시험을 실시하였다. 시험 사료는 한국사양표준(가금, 2002)에서 제시한 옥수수-대두박 위주의 육계 사료를 전기(조단백질 22%, 대사 에너지 3,100 kcal/kg)와 후기(조단백질 20%, 대사에너지 3,100 kcal/kg)로 나누어 기초 사료로 하였으며(Table 1), 시험 사료는 파이타제

Table 1. Formula and chemical compositions of basal diets^a

Items	Earlier(0~2wk)	Finisher(2~5wk)
Ingredients (%)		
Corn	52.70	60.60
Soybean meal	30.00	27.50
Corn gluten meal	9.30	5.00
Soybean oil	3.00	3.00
Tricalcium phosphate	1.50	1.20
Limestone	2.00	1.50
Salt	0.25	0.25
L-Lysine	0.50	0.50
DL-Methionine	0.25	0.25
Vit.-min. Premix ¹	0.50	0.50
Chemical compositions ²		
ME (kcal/kg)	3,100	3,100
Crude protein (%)	22.00	20.00
Calcium (%)	1.28	1.00
Phosphorus (%)	0.78	0.68
Non-phytate P (%)	0.55	0.45

¹ Provided 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.

² Calculated values.

^a 한국사양표준(가금, 2002).

를 각각 300 FTU/kg과 600 FTU/kg을 첨가하였다. 시험 설계는 기초 사료를 대조구로 하고, 파이타제 첨가구를 시험구로 하여 P0(대조구), P1(300 FTU/kg), P2(600 FTU/kg)로 나누고 체중별로 완전 임의 배치하였다. 사양 시험이 끝난 육계는 각 처리구에서 체중이 유사한 5주령 육계(평균 체중 1.7±0.2 kg)를 9수씩 선별하여 소화 시험을 7일간 실시하였다. 시험 사료는 한국사양표준(가금, 2002)에서 제시한 옥수수-대두박 위주의 육계 후기 사료를 기초 사료로 하였으며, 파이타제 300 FTU/kg과 600 FTU/kg을 첨가하여 시험 사료로 하였다. 처리구는 파이타제에 의한 3처리구와 회장과 분의 소화율에 따른 2처리구로 나누어 3×2의 6처리구, 처리구당 9수씩 54수를 완전 임의 배치하였다.

2. 공시 재료

본 시험에 사용된 파이타제는 *Trichoderma reesei*에서 유래된 역가 1,000 PPU/g인 파이타제를 사용하였다. *Trichoderma reesei*는 식물체에서 당과 bioethanol로 이용되고 남은 폐기물을 분해하는 효소를 분비하는 곰팡이 균이다(Ouyang 등, 2006).

3. 사양 관리

사양 시험에서 사료는 자유 급이를 하였으나, 소화 시험에서는 수당 80 g씩을 급여하여 잔량이 없도록 하였다. 급수는 니플을 통하여 자유롭게 마실 수 있게 하였으며, 24시간 연속 점등으로 시험 기간 중 계사내 평균 온도는 입추시에는 34℃로 조절하였으며, 온도를 점점 낮추어 5주령에는 24℃로 조절하였다. 계사내 습도는 육계 전기에는 약 70%, 육계 후기에는 약 60%를 유지하였다. 기타 사양 관리는 농촌진흥청 축산과학원의 사양 관행에 따라서 수행하였다.

4. 조사 항목

1) 사료 섭취량, 체중 및 사료 효율

시험 기간 중 체중과 사료 섭취량을 매주 오전 10시에 측정하였다. 사료 섭취량은 사료 잔량을 측정하여 사료 급여량에서 제하여 계산하였다. 사료 효율은 섭취량에서 증체량을 나누어 계산하였다.

2) 인의 흡수량과 배설량

소화 시험 중 채취한 사료와 분뇨의 인 함량은 원자 흡광도계(Atomic absorption spectrophotometry, SPECTRO Analytical Instruments GmbH & Co. KG, Germany)를 이용하여 분석하였다.

3) 분 소화율 측정

영양소 소화율을 측정하기 위하여 표시물로서 산화크롬(Cr_2O_3)을 사료내 0.2% 첨가하여 간접적 방법으로 소화율을 측정하였다.

닭은 분과 뇨를 총 배설장을 통하여 혼합 배설물을 배설하므로, 정확한 시험을 위해 분과 뇨를 분리 수거할 필요가 생기게 된다(손장호과 남기홍, 1997). 따라서 본 시험의 공시 동물은 인공 항문(Isshiki와 Nakashiro, 1988)을 장착하여 7주 일간의 회복 기간을 거친 후, 3일간의 섭취량을 조사하고 급여량을 섭취량의 약 70%인 100 g을 오전과 오후 2회로 나누어 제한 급여하여 잔량이 없도록 하였다. 분의 채취는 항문에 부착된 플라스틱 분변 통에 0.05M의 황산을 10 mL씩을 넣어 부패와 암모니아 가스의 발생을 최소화하고, 오전과 오후 일정한 시기에 각 1회씩 3일간 총 6회에 걸쳐서 채취하고, 채취 즉시 -20℃의 냉동고에 저장 보관 후, 60℃의 건조기에서 72시간 건조시킨 후, 분쇄하여 분석에 이용하였다.

4) 회장 소화율 측정

사양 시험이 끝난 산란계는 처리구별로 9수씩을 선별하여 도체시켰다. 도체된 산란계들은 Gong 등(2003)의 방법에 따라 난황낭과 회장 말단 부위(회장 끝에서 2 cm 되는 부분) 사이의 소화 내용물을 도체 후 즉시, 조심스럽게 채집하였다. 채집한 소화 내용물은 시료 용기에 담아 -20℃에서 냉동 보관하였다. 냉동된 소화 내용물은 동결 건조시킨 후 1 mm 이하로 분쇄하여 소화율 측정에 사용하였다.

5. 화학 분석과 통계 처리

사료와 분의 일반 성분과 표시물로 혼합된 Cr은 AOAC (1995)에 의해 분석하였다. 아미노산 함량은 6 N HCl로 110℃에서 16시간 동안 가수분해시킨 후(Mason, 1984), 아미노산 분석기(HITACHI L-8500A, Japan)를 이용하여 분석하였다.

본 시험에서 얻어진 모든 자료는 SAS(1996)의 GLM을 이용 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 증체량, 사료 섭취량 및 사료 효율

육계 사료에서 영양소 수준, 피틴테 인 농도, 파이타제 함량은 상호 작용하기 때문에 매우 중요하다. 파이타제에 의한 피틴산염 분해는 인 보존량, 경골 회분, 증체량, 사료 섭취량,

질소 보존량, 사료 효율, 대사 에너지 및 칼슘 보존량이 크게 증가하는 것과 관련이 있다(Shirley와 Edward, 2003).

육계 전기(0~2주)와 후기(3~5주) 및 전 기간(0~5주) 동안 육계의 증체량, 사료 섭취량 및 사료 효율을 Table 2에 나타내었다. 육계 전기에는 P1과 P2 처리구에서 증체량이 각각 505 g/bird와 516 g/bird로서 P0 처리구에 비해 높게 나타났다($P<0.05$). 사료 섭취량도 증체량과 마찬가지로 P1과 P2 처리구에서 각각 617 g/bird와 621 g/bird로 유의적으로 높게 나타났다($P<0.05$). 육계 전기에서 사료 효율은 P0, P1, P2 처리구에서 각각 0.76, 0.82, 0.84로 파이타제 처리구에서 사료 효율이 높았다($P<0.05$). 육계 후기에서는 증체량이 P1과 P2 처리구에서 각각 1,458 g/bird와 1,501 g/bird로 나타나 대조구에 비해 높게 나타났다($P<0.05$). 사료 섭취량과 사료 효율은 P2 처리구에서 각각 2,852 g/bird와 0.55로 대조구에 비해 높게 나타났으며($P<0.05$), P1 처리구는 P0 처리구와 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 전체 기간 동안 증체량을 보면, P0, P1, P2 처리구에서 각각 1,738, 1,963, 2,022 g/bird로 파이타제 첨가구에서 높게 나타났다($P<0.05$). 사료 섭취량과 사료 효율은 파이타제 처리구에서 무처리구보다 높게 나타났

Table 2. Body weight gain, feed intake, and feed efficiency on the additive levels of phytase in the diet of broiler chicks¹

Items	P0	P1	P2	SEM ²
0~2 weeks				
Body weight gains (g/bird)	433 ^b	505 ^a	516 ^a	25.5
Feed intakes (g/bird)	566 ^b	617 ^a	621 ^a	18.8
Feed efficiency	0.76 ^b	0.82 ^a	0.84 ^a	0.022
2~5 weeks				
Body weight gains (g/bird)	1,305 ^b	1,458 ^a	1,501 ^a	63.7
Feed intakes (g/bird)	2,605 ^b	2,731 ^{ab}	2,852 ^a	71.1
Feed efficiency	0.50 ^b	0.53 ^{ab}	0.55 ^a	0.016
0~5 weeks				
Body weight gains (g/bird)	1,738 ^b	1,963 ^a	2,022 ^a	58.9
Feed intakes (g/bird)	3,171	3,398	3,473	122.4
Feed efficiency	0.55	0.58	0.58	0.28

¹ P0, control (basal diet); P1, phytase 300 FTU/kg; P2, phytase 600 FTU/kg.

² Pooled standard error of the mean for 216 broilers per treatment.

^{ab} Means with different superscripts in the same row differ significantly ($P<0.05$).

으나, 처리구 사이에서 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$).

인이 충분한 사료에 파이타제의 첨가는 성장 생산성을 강화시킨다. Simons 등(1990)의 연구에서는, 4.5 g/kg 총 인을 함유하고 있는 사료에 파이타제 첨가는 0~24일령 육계의 증체량과 사료 효율을 증가시킨다. Cabahug 등(1999)은 2.3 g/kg 비피틴테 인 사료에 파이타제 첨가(400과 800 FTU/kg)는 7~25일령 육계의 증체량(18.8%), 사료 섭취량(9.0%), 사료 효율(7.9%)을 증가시킨다고 하였다. 이것은 육계 초기에 증체량, 사료 섭취량 및 사료 효율을 증가시킨 본 시험의 결과와 유사하다. 그러나 많은 연구들이 7~25일령 사이의 생산성에 대한 연구를 보고하고 있어, 25일령 이후에는 파이타제 효과가 감소한다고 사료된다. 이것은 파이타제에 대한 사료 효율 반응이 시간에 따라 변화하기 때문이다(Rosen, 2003). 또한 Catalá-Gregori 등(2006)은 파이타제 첨가시 사육 환경을 다르게 하였을 때 사육 환경(케이지, 사육 밀도)에 따른 차이가 나타났다고 보고하여, 추후 연구에서는 파이타제를 첨가한 육계 사료를 평가할 때에 사육 환경도 고려해야 한다고 사료된다.

2. 인의 축적량과 배설량

가금 사료내 미생물 유래 파이타제의 첨가 목적은 인 축적량과 환경에 대한 손실을 절감시키는 것이다. 과도한 인 농도는 강, 호수, 저수지의 부영양화의 원인이 되며(Correll, 1999), 독성 조류의 확장 및 물고기 등의 죽음을 가져온다(Sharpley, 1999). 따라서 가금 배설물내 인의 감소는 환경과 지속적 생산에 이익이 된다.

인의 흡수량과 배설량에 대한 결과는 Table 3에 나타내었다. 인의 축적량은 P1과 P2 처리구에서 각각 0.42 g/d와 0.47 g/d로 높았으며, 배설량은 P0 처리구에서 0.22 g/d로 가장 높았다. Simons 등(1990)은 1,500 FTU/kg 파이타제 활성은 평균 61%까지 인 배설량을 감소시킨다고 하였으며, Paik(2003)은 보다 간단한 실험으로 500 FTU/kg의 파이타제를 첨가하여, 육계 전기 사료와 육계 후기 사료에서 인 배설량을 14.9%까지 감소시켰다. 본 시험에서는 P2 처리구에서 인의 배설량을 11%까지 감소시켰으므로 Paik(2003)의 연구 결과와 유사하다. 이것은 파이타제가 피틴테 인을 분해하여 단위 가축에서 흡수가 용이하도록 하기 때문이라 사료된다. 그러나 인이 불충분한 사료내 파이타제 함유는 최대 29.6%까지 인 배설량을 감소시키지만, 성장 생산성은 향상되지 않는다(Paik, 2003). 따라서 사료내 인의 함량, 파이타제의 첨가 수준 및 성장 생산성 사이에 상호 관계가 있다고 사료된다.

Table 3. Effects of phytase supplementation on retention and excretion of phosphorus in broilers¹

	P0	P1	P2	SEM ²
	----- g/d -----			
P intake	0.53(100%)	0.53(100%)	0.53(100%)	
Retention	0.31(58%) ^b	0.42(79%) ^a	0.47(89%) ^a	0.041
Excretion	0.22(42%) ^a	0.11(21%) ^b	0.06(11%) ^b	0.033

¹ P0, control (basal diet); P1, phytase 300 FTU/kg; P2, phytase 600 FTU/kg.

² Pooled standard error of the mean for 9 broilers per treatment.

^{a,b} Means with different superscripts in the same row differ significantly ($P<0.05$).

3. 영양소와 아미노산 소화율

사료 성분의 분 소화율은 가금류의 수컷의 배설물을 채취하여 측정하며(Sibbald, 1986; Green 등, 1987; Parsons, 1991; NRC, 1994; Rhone-Poulenc, 1993), 가금류를 도살시키지 않고 실험이 가능하다(McNab, 1994). 그러나 분 소화율 측정은 분 내 아미노산 배설량에 대한 단백질 이용성과 미생물 단백질의 활동이 조류의 후장내 미세 기관에 영향을 미치기 때문에 비평적이다(Payne 등, 1968; Parsons 등, 1982; Raharjo와 Farrell, 1984). 게다가, 분과 노가 함께 배설되기 때문에 배설물의 분석으로 명확한 소화율을 정의내리기가 쉽지 않다.

회장 내용물 분석은 가금류의 소화율을 측정할 수 있는 적절한 방법이다. Payne 등(1968)은 회장 내용물 분석이 배설물 분석보다 가금류의 영양소와 아미노산 소화율을 구하기 위한 실질적인 방법이라고 처음으로 제시하였다. 이 방법은 닭을 도살시킨 후에 회장 내용물을 채취하거나(Summers와 Robblee, 1985; Siriwan 등, 1993), 외관을 삽입하여(Raharjo와 Farrell, 1984) 측정할 수 있다. Ravindran 등(1999)은 회장 소화율이 분 소화율보다 더 정확하지만, 그 수치는 제한되어 있다고 하였다. 그럼에도 불구하고, 가금 후장내 미생물의 영향을 변경할 수 있기 때문에 회장 내용물 분석이 권장되고 있다.

파이타제 첨가시 회장과 분의 소화율을 비교한 결과는 Table 4에 나타내었다. 회장과 분의 영양소 소화율은 고형물, 조단백질, 조지방 및 칼슘의 소화율에 대하여 처리구간에 차이가 없었다($P>0.05$). 회장에서의 조섬유, 조회분 및 인의 소화율은 P0 처리구에서 각각 31.2, 41.9, 26.4%로 파이타제 첨가구에 비해 낮게 나타났으며, 특히 인의 소화율은 P2 처리구에서 32.3%로 다른 처리구에 비해 높게 나타났($P<0.05$).

분에서의 영양소 소화율은 P0 처리구에서 각각 33.7, 43.5, 28.0%로 파이타제 첨가구에 비해 낮게 나타났($P<0.05$). 파이타제의 작용으로 조섬유의 소화가 쉬어졌기 때문에 소화율이 증가하였다고 사료되며, 인은 파이타제가 피탄태 인을 소화 가능한 비피탄태 인으로 분해하기 때문이라 사료된다.

회장과 분에서의 필수 아미노산 중 histidine, methionine, phenylalanine의 소화율은 처리구간에 차이가 없었다($P>0.05$). 회장 소화율 중 arginine, iso-leucine, leucine, lysine, threonine, valine의 소화율은 P0 처리구에서 각각 68.2, 69.7, 70.6, 75.0, 69.8, 71.5%로 파이타제 첨가구에 비해 낮게 나타났($P<0.05$). 분 소화율도 회장 소화율과 마찬가지로 arginine, iso-leucine, leucine, lysine, threonine, valine의 소화율이 각각 69.8, 71.2, 72.6, 76.9, 72.0, 73.4%로 파이타제 첨가구에 비해 낮은 소화율을 보였다($P<0.05$). 회장과 분에서의 비필수 아미노산의 소화율 중 glutamic acid, proline, serine의 소화율은 전 처리구에서 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 회장에서의 소화율 중 alanine, aspartic acid, cystine, glycine과 tyrosine은 P0 처리구에서 각각 73.4, 78.1, 70.6, 72.4 및 70.2%로 파이타제 첨가구에 비해 낮게 나타났($P<0.05$). 분에서의 소화율 중 alanine, aspartic acid, cystine, glycine과 tyrosine은 P0 처리구에서 각각 75.1, 80.7, 72.2, 74.5 및 71.7%로 가장 낮게 나타났($P<0.05$).

전체 소화율을 보면 회장과 분의 영양소와 아미노산 소화율은 파이타제 첨가구에서 대조구에 비해 3~4% 정도 높게 나타났다. 이것은 많은 연구들이 육계 사료에 파이타제 첨가를 하므로서 아미노산의 외관상 회장 소화율(CAID)이 개선되었다고 보고한 결과와 유사하다(Kornegay 등, 1999; Namkung과 Leeson, 1999; Zhang 등, 1999; Camden 등, 2001; Dilger 등, 2004; Onyango 등, 2005). 또한 회장에서의 소화율은 분중 소화율보다 1~2% 정도가 낮았다. 이것은 회장에서 채취한 소화물과 장에서 흡수되고 남은 분의 소화물 사이에서 영양소와 아미노산의 함량 차이 때문이라 사료된다.

파이타제가 가금에서 단백질과 아미노산 소화율 개선을 일으킨다는 연구는 다양하다. 이런 연구들은 소화율 시험에 이용되는 불활성 물질 표시제, 성분 형태 사이에서 생기는 차이점, 칼슘과 비피탄태 인의 사료내 수준, 사료내 전해질 균형에 따라 소화율이 결정된다고 주장한다(Ravindran 등, 2006). 특히 소화 표시제로서 산화크롬을 사용하면 평균 소화율이 1.4%까지 증가하지만(Camden 등, 2001; Dilger 등, 2004; Onyango 등, 2005), 산 불용성 회분(Ravindran 등, 2000, 2001; Selle 등, 2003)과 산화 티타늄(Rutherford 등, 2004; Ravindran 등, 2006)을 사용하면 필수 아미노산의 평균 소화율이

Table 4. Effects of phytase supplementation on the digestibility of nutrition and amino acids in laying hen diet¹

Items	Ileal			Feces			SEM ²
	P0	P1	P2	P0	P1	P2	
Dry matter	65.7	67.7	68.3	67.4	68.6	69.1	1.72
Crude protein	63.1 ^b	66.8 ^{ab}	67.4 ^{ab}	65.9 ^{ab}	68.9 ^{ab}	69.3 ^a	2.08
Crude fat	80.4	83.1	83.9	82.6	84.0	85.3	2.11
Crude fiber	31.2 ^c	34.4 ^{ab}	35.7 ^{ab}	33.7 ^{bc}	36.8 ^a	37.1 ^a	1.19
Crude ash	41.9 ^c	45.6 ^{ab}	46.2 ^{ab}	43.5 ^{bc}	46.7 ^{ab}	47.4 ^a	1.34
Calcium	30.8	32.6	33.4	31.5	33.5	34.7	1.72
Phosphorus	26.4 ^c	31.5 ^{ab}	32.3 ^a	28.0 ^{bc}	32.7 ^a	33.1 ^a	1.55
Essential amino acid (%)							
Arginine	68.2 ^c	71.8 ^{ab}	72.1 ^{ab}	69.8 ^{bc}	73.3 ^a	74.2 ^a	1.27
Histidine	70.8	73.0	73.8	71.5	74.6	75.1	2.05
Iso-leucine	69.7 ^c	72.8 ^{ab}	73.9 ^{ab}	71.2 ^{bc}	74.6 ^a	75.3 ^a	1.24
Leucine	70.6 ^c	73.3 ^{bc}	74.3 ^{ab}	72.6 ^{bc}	76.4 ^a	77.1 ^a	1.47
Lysine	75.0 ^c	78.4 ^{ab}	79.7 ^{ab}	76.9 ^{bc}	80.4 ^a	81.2 ^a	1.32
Methionine	78.4	80.4	81.1	79.6	81.5	82.3	2.06
Phenylalanine	75.2	77.1	78.2	76.6	78.2	79.8	2.02
Threonine	69.8 ^b	71.5 ^{ab}	72.4 ^{ab}	72.0 ^{ab}	74.4 ^{ab}	75.6 ^a	1.85
Valine	71.5 ^c	75.2 ^{ab}	75.9 ^{ab}	73.4 ^{bc}	77.7 ^a	78.1 ^a	1.41
Non-essential amino acid (%)							
Alanine	73.4 ^c	77.5 ^{ab}	78.0 ^{ab}	75.1 ^{bc}	79.0 ^a	80.2 ^a	1.55
Aspartic acid	78.1 ^c	82.8 ^{ab}	83.1 ^{ab}	80.7 ^{bc}	83.8 ^{ab}	84.5 ^a	1.60
Cystine	70.6 ^c	73.8 ^{ab}	74.5 ^{ab}	72.2 ^{bc}	75.4 ^a	76.1 ^a	1.11
Glutamic acid	77.2	79.6	80.5	79.9	81.6	82.3	1.59
Glycine	72.4 ^c	75.7 ^{ab}	76.1 ^{ab}	74.5 ^{bc}	78.3 ^a	79.5 ^a	1.41
Proline	78.6	80.6	81.0	80.2	82.6	83.1	1.60
Serine	73.5	75.7	76.1	75.2	77.8	78.4	1.84
Tyrosine	70.2 ^c	73.4 ^{ab}	74.0 ^{ab}	71.7 ^{bc}	74.5 ^{ab}	75.3 ^a	1.22

¹ P0, control (basal diet); P1, phytase 300 FTU/kg; P2, phytase 600 FTU/kg.

² Pooled standard error of the mean for 9 broilers per treatment.

^{a-c}Means with different superscripts in the same row differ significantly ($P < 0.05$).

4.4% 증가한다고 한다. 따라서 정확한 소화율 측정을 위해 서는 소화시험에서 소화 표시제를 산화크롬에서 산화 티타늄 이나 산불용성 회분으로 교체하여 사용할 필요가 있다고 사 료된다.

적 요

본 시험은 파이타제의 수준별 첨가(0, 300, 600 FTU/kg)가 육계의 생산성, 영양소 소화율, 장내 미생물 성장 및 영양소

이용률에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다. 공시 동물로서 1일령 Ross종 육계(44.5±2.0 g) 216수를 선별하여 육계 전기(0~2주) 및 육계 후기(2~5주)의 5주 동안 사양 시험을 실시하였다. 처리구는 파이타제의 첨가 수준에 따라 P0(대조구), P1(300 FTU/kg), P2(600 FTU/kg)의 3처리구로 나누고, 처리당 6반복, 반복당 12수씩 216수를 체중별로 완전 임의 배치하였다. 사양 시험이 끝난 후 체중이 유사한 5주령 육계(1.7±0.2 kg)를 처리구당 9수씩 선별하였으며, 처리구는 파이타제의 첨가 수준에 따른 3처리구와 회장과 분의 소화율에 따른 2처리구로 나누어 3×2의 총 6처리구, 처리당 9수씩 54수를 공시하여 소화 시험을 실시하였다. 증체량과 사료 효율은 P0 처리구에 비해 P1과 P2 처리구에서 유의적으로 높았으나($P<0.05$), 사료 섭취량은 처리구간에 큰 차이가 없었다($P>0.05$). 인의 배설량과 흡수량은 파이타제 첨가구에서 대조구에 비해 배설량이 크게 감소하였다($P<0.05$). 영양소와 아미노산의 소화율은 회장 소화율이 분 소화율보다 낮게 나타났다으나 유의적인 차이는 없었으며($P>0.05$), 파이타제 첨가구(P1, P2)에서 대조구(P0)에 비해 유의적으로 높았다($P<0.05$). 그러나 고형물과 조단백질의 소화율은 처리구간에 차이가 없었다. 결론적으로, 파이타제의 첨가는 육계의 생산성이나 인의 흡수량과 배설량 및 영양소와 아미노산 소화율에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2007년 농촌진흥청 축산과학원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

- AOAC 1995 Official method of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC. USA. P1-43.
- Cabahug S, Ravindran V, Selle PH, Bryden WL 1999 Response of broiler chickens to microbial phytase as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. I. Effects on bird performance and toe ash content. Br Poult Sci. 40:660-666.
- Catalá-Gregori P, García V, Hernández F, Madrid J, Cerón JJ 2006 Response of broilers to feeding low-calcium and phosphorus diets plus phytase under different environment conditions: body weight and tibiotarsus mineralization. Poultry Science 85:1923-1931.
- Camden BJ, Morel PCH, Thomas DV, Ravindran V, Bedford MR 2001 Effectiveness of exogenous microbial phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in maize-soya-bean meal diets for broilers. Anim Sci 73:289-297.
- Correll DL 1999 Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. Poult Sci 78:674-682.
- Denbow DM, Ravindran V, Kornegay ET, Yi Z, Hulet RM 1995 Improving phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase. Poult Sci 74:1831-1842.
- Dilger RN, Onyango EM, Sands JS, Adeola O 2004 Evaluation of microbial phytase in broiler diets. Poult Sci 83:962-970.
- Duncan DB 1995 Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1-42.
- Gong LM, Li DF, Wang FL, Huang DS 2003 The effect of the ratio of threonine to lysine on performance, carcass quality, nutrient digestibility and plasma biochemistry indexes in broilers. Pages 52-63 in Proc. 2003 Studies on Animal Nutrition and Metabolism. Beijing Agricultural Press, Beijing, China.
- Green S, Bertrand SL, Duron MJC, Mailard R 1987 Digestibilities of amino acids in maize, wheat and barley meals, determined with intact and cecectomised cockerels. Br Poult Sci 28:631-641.
- Isshiki Y, Nakahiro Y 1988 A technique for attaching an artificial anus using the reversed rectum method in domestic fowl. Jap Poult Sci. 25(3):394.
- Kerr MJ, Classen HL, Newkirk RW 2000 The effects of gastrointestinal tract micro-flora and dietary phytase on inositol hexaphosphate hydrolysis in the chicken. Poult Sci 79 (Suppl. 1), 11 (Abstract).
- Kim YO, Kim HK, Bae KS, Yu JH, Oh TK 1998 Purification and properties of thermostable phytase from *Bacillus* sp. DS11. Enzyme Microb Technol 22:2-7.
- Kornegay ET, Zhang Z, Denbow DM 1999 Influence of microbial phytase supplementation of a low protein/amino acid diet on performance, ileal digestibility of protein and amino acids, and carcass measurements of finishing broilers. In: phytase in Animal Nutrition and Waste Management, second revised ed. BASF Corporation, Mount Olive, NJ, pp. 557-

- 572.
- Lantzsch HJ, Wist S, Drochner W 1995 The effect of dietary calcium on the efficacy of microbial phytase in rations for growing pigs. *J Anim Physiol Anim Nutr* 73:192-195.
- McNab JM 1994 Amino acid digestibility and availability studies with poultry, in: D'Mello J.P.F. (Ed) *Amino Acids in Farm Animal Nutrition*, pp. 63-98 (Wallingford, CAB International).
- Maenz DD, Classen HL 1998 Phytase activity in the small intestinal brush border membrane of the chicken. *Poult Sci* 77:557-563.
- Mason VC 1984 Metabolism of nitrogen compound in the large gut {Emphasis on recent findings in the sheep and pig}. *Proc Nutr Soc* 43:45-53.
- Namkung H, Leeson S 1999 Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolisable energy and the ileal digestibility of nitrogen and amino acids. *Poult Sci* 78:1317-1319.
- Nelson TS, Shieh TR, Wodzinski RJ, Ware JH 1971 Effect of supplemental phytase on utilization of phytate phosphorus by chicks. *J Nutr* 101:1289-1294.
- NRC 1994 *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev ed. Natl Acad Press, Washington DC.
- Onyango EM, Bedford MR, Adeola O 2005 Efficacy of an envolved *Escherichia coli* phytase in diets for broiler chicks. *Poult Sci* 84:248-255.
- Ouyang J, Yan M, Kong D, Xu L 2006. A complete protein pattern of cellulase and hemicellulase genes in the filamentous fungus *Trichoderma reesei*. *Biotechnol J* 1(11):1266-74.
- Paik I 2003 Application of phytase, microbial or plant origin, to reduce phosphorus excretion in poultry production. *Asian-Aust J Anim Sci* 16:124-135.
- Parsons CM 1991 Amino acid digestibility for poultry: Feed-stuff evaluation and requirements. Kyowa Hakka Technical Review-1, Nutri Quest Inc., Chesterfield, MO.
- Pasamontes L, Haiker M, Markus W, Michel T 1997 Gene cloning, purification, and characterization of a heat-stable phytase from the fungus *Aspergillus fumigatus*. *Appl Environ Microbiol* 63:1696-1799.
- Payne WL, Combs GF, Kifer RR, Snider DG 1968 Investigation of protein quality-ileal recovery of amino acids. *Federation Proceedings* 27:1199-1203.
- Raharjo Y, Farrell DJ 1984 A new biological method for determining amino acid digestibility in poultry feedstuffs using a simple cannula, and the influence of dietary fibre on endogenous amino acid output. *Anim Feed Sci Techn* 12:29-45.
- Ravindran V, Hew LI, Ravindran G, Bryden WL 1999 A comparison of ileal digesta and excreta analysis for the determination of amino acid digestibility in feed ingredients for poultry. *Br Poult Sci* 40:266-274.
- Ravindran V, Cabahug S, Ravindran G, Selle PH, Bryden WL 2000 Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. II. Effects on apparent metabolisable energy, nutrient retention. *Br Poult Sci* 41:193-200.
- Ravindran V, Selle PH, Ravindran G, Morel PCH, Kies AK, Bryden WK 2001 Microbial phytase improves performances, apparent metabolisable energy and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poult Sci* 80:338-344.
- Ravindran V, Morel PCH, Partridge GG, Hruby M, Sands JS 2006 Influence of an *E. coli*-derived phytase on nutrient utilization in broiler starter fed diets containing varying concentrations of phytic acid. *Poult Sci* 85:82-89.
- Reddy NR, Salunkhe DK 1981 Interactions between phytate, protein, and minerals in whey fractions of black gram. *J Food Sci* 46:564-570.
- Reddy NR, Sathe SK, Salunkhe DK 1982 Phytates in legumes and cereals. *Adv Food Res* 28:1-91.
- Rhone-Poulenc 1993 *Rhodimet nutrition guide*. 2nd ed. Rhone-Poulenc Anim Nutr Antony France.
- Rosen G 2003 Microbial phytase in broiler nutrition. In: Garnsworthy, PC, Wiseman J(Eds), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 105-117.
- Rutherford SM, Chung TK, Morel PCH, Moughan PJ 2004 Effect of microbial phytase on ileal digestibility of phytate phosphorus, total phosphorus, and amino acids in a low-phosphorus diet fro broilers. *Poult Sci* 83:61-68.
- SAS 1999 *SAS user guide*. release 6.11 edition. SAS Inst Inc Cary NC USA.
- Selle PH, Ravindran V, Pittolo PH, Bryden WL 1999 An evaluation of microbial phytase in sorghum-based broiler diets. *Proc Aust Poult Sci Symp* 11:97-100.

- Selle PH, Ravindran V, Ravindran G, Pittolo PH, Bryden WL 2003 Influence of phytase and xylanase supplementation on growth performance and nutrient utilisation of broilers offered wheat-based diets. *Asian-Aust J Anim Sci* 16:394-402.
- Sharpley A 1999 Agricultural phosphorus, water quality and poultry production: are they compatible? *Poult Sci* 78:660-673.
- Shirley RB, Edwards HM 2003 Graded levels of phytase past industry standards improves broiler performance. *Poult Sci* 82:671-680.
- Sibbard IR 1986 The TME system of feed evaluation: Methodology, feed composition data and bibliography. *Technical Bulletin* 1984-4E, Agric Ottawa Canada.
- 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.
- Siriwan P, Bryden WL, Annison EF 1994 Use of guanidinated dietary protein to measure losses of endogenous amino acid in poultry. *Br J Nutr* 71:515-529.
- Summers DJ, Robblee AR 1985 Comparison of apparent amino acid digestibilities in anesthetized vs sacrificed chickens using diets containing soybean meal and canola meal. *Poultry Sci* 64:536-541.
- Swick RA, Ivey FJ 1992 Phytase: the value of improving phosphorus retention. *Feed Manage* 43:8-17.
- Tamim NM, Angel R, Christman M 2004 Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chickens. *Poult Sci* 83:1358-1367.
- Zhang X, Roland DA, McDaniel GR, Rao SK 1999 Effect of Natuphos[®] phytase supplementation to feed on performance and ileal digestibility of protein and amino acids in broilers. *Poult Sci* 78:1567-1572.
- 손장호 남기홍 1997 닭에 있어서 결장 적출수술 후 캐놀라를 주입시키는 인공항문 장착법에 관한 연구. *한국가금학회지* 24(2):91-95.
- 한국사양표준(가금) 2002 농림부 · 농촌진흥청 축산연구소.