

옥수수 DDGS의 색상과 Phytase의 첨가가 육계 회장 아미노산 소화율에 미치는 영향

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

농촌진흥청 국립축산과학원

Effects of Corn Distillers Dried Grains with Solubles Colors and Phytase Levels on the Ileal Amino Acid Digestibility of Broilers

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

National Institute of Animal Science

ABSTRACT This work was carried out to investigate the effects of CDDGS (corn distillers dried grains with solubles) colors and phytase levels on the amino acid digestibility of broilers for 7 days. One hundred eight Ross broilers were used in 9 treatment groups with a 3 × 3 factorial design as three colors of DDGSs (DDGS1, DDGS2, and DDGS3) in combination with phytase (0, 500, and 1,000 FTU/kg). The L* values of DDGS1, DDGS2, and DDGS3 were 55.2, 39.8, and 28.3; the a* values, 8.8, 7.5, and 6.1; and the b* values, 41.3, 27.1, and 15.4, respectively. The ileal digestibility of amino acids was decreased as DDGS color was dark, and increased as additive phytase level was increased in the diet. Average digestibilities of essential amino acids were 67.6~80.0%, and those of nonessential amino acids 67.4~77.3. Amino acid digestibility was low in the dark DDGS with no phytase in the diet.

(Key words : DDGS, phytase, amino acid digestibility, broiler)

서 론

옥수수의 가공 공정에는 건식가공(dry milling)과 습식가공(wet milling)이 있으며, 건식 공정을 이용한 옥수수에서는 에탄올 34.4%, 이산화탄소 34% 및 DDGS 31.6% 정도가 생산된다(Renewable Fuels Association, 2005). 미국의 에탄올 산업은 매년 30% 정도씩 증가되고 있으며(DiPardo, 2000; Renewable Fuels Association, 2005), 따라서, 사료 산업에 이용되는 CDDGS(corn distillers dried grains with solubles)의 공급도 증가하는 추세이다. DDGS는 섬유소 함량(9.1%)이 높아(NRC, 1994) 주로 반추 동물에 이용되어 왔으나, 최근 연구 보고에서 가금 사료에 초기에 6%, 육성 비육기에 12~15%까지 첨가가 가능하다(Lumpskin et al., 2004). 그러나, 다양한 공정에 따라 DDGS 성분 차이 및 단백질의 품질 저하로 가금 사료에 이용은 극히 제한 되어왔다.

DDGS를 사료로 이용하기 위해 고려해야 할 특성으로는

색깔, 냄새, 입자도, 밀도, pH, 유동성, 저장 안정성 및 흡수성 등이 있다. DDGS의 색은 이러한 특성 중의 하나로 매우 어두운 갈색에서 매우 밝은 노란색까지 다양하다. 국제표준 컬러측정기구(CIE, Commission Internationale d'Eclairage)에서는 식품이나 사료의 색을 L*(0 어두움, 100 밝음), a*는 적색(고)-녹색(저) 및 b*는 황색(고)-청색(저)으로 표시하고 있다. 지금까지 사료 산업에서는 색도계를 사료의 아미노산 함량과 소화율을 추정하는데 이용하지 않았으나, DDGS 제품들의 색에 차이가 있고 밝기(L*) 및 황색(b*)과 lysine 소화율과의 상관관계가 상대적으로 높아 DDGS의 품질을 평가하는데 이런 색도계가 사용되고 있다(USGC, 2006).

또한, 많은 연구 보고에서 육계 사료에 phytase를 첨가함으로써 아미노산의 외관상 회장 소화율이 개선되었다(Kornegay, 1996; Sebastian et al., 1997; Kornegay et al., 1999; Namkung and Leeson, 1999; Zhang et al., 1999; Ravindran et al., 2000, 2001; Camden et al., 2001; Selle et al., 2003; Dilger et

^a First two authors equally contributed to this work.

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

al., 2004; Rutherford et al., 2004; Onyango et al., 2005; Ravindran et al., 2006).

따라서, 본 연구의 목적은 CDDGS 색상에 따른 phytase의 수준별 첨가가 회장 아미노산 소화율에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시 재료, 공시계 및 시험 설계

본 시험에 공시된 DDGS는 세 가지 색상의 미국산 옥수수 DDGS를 사용하였다. 시험계는 유사한 체중의 5주령 Ross종 (Ross 308) 육계 수컷 108수(평균 체중 1.8 ± 0.2 kg)를 공시하였다. 시험 설계는 3종류 색상의 DDGS (DDGS1, DDGS2, DDGS3)와 phytase 3 처리구(0, 500 및 1,000 FTU/kg)의 3×3 복합 요인으로 총 9처리구, 처리당 12수씩 완전 임의 배치하여 7일 동안 소화 시험을 하였다. 시험 사료는 한국가금사양 표준(2007)에 따라 옥수수-대두박 위주의 육계 후기 사료(CP 19%, ME 3,150 kcal/kg)를 자체 제작하여 공시하였으며(Table 3), CDDGS는 10%씩 첨가하여 배합하였다. 사료는 잔량이 없도록 80 g/일을 오전과 오후 2회로 나누어 급여하였으며, 자유 음수하였다.

2. 조사 항목

1) DDGS의 색깔

각각의 DDGS에서 10개씩 샘플을 취하여 색도계(Konica Minolta Photo Imaging USA Inc., Mahwah, NJ)로 측정된 후 평균을 구하였다. 국제표준컬러측정기구(CIE)는 L*은 0=어두움, 100=밝음, a*는 적색(고)-녹색(저) 및 b*는 황색(고)-청색(저)으로 정의하고 있다.

2) 회장 소화율 측정

7일 후, 시험계들은 CO₂ 가스로 마취시키고, 난황낭(yolk sac)부터 회장 말단 부위(회장 끝에서 2 cm되는 부분)까지를 채취하여, 이를 3등분한 후 상부, 중부, 하부로 정하였다. 중부와 하부의 소화 내용물은 즉시 채집하여 시료 용기에 담아 -20°C에서 냉동 보관하고, 냉동된 소화 내용물은 동결 건조시킨 후, 곱게 분쇄하여 소화율 측정에 사용하였다.

3. 화학 분석과 통계 처리

사료와 분의 일반 성분과 표시물로 혼합된 Cr은 AOAC(1995)

에 의해 분석하였다. 아미노산 함량은 6 N HCl로 110°C에서 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. DDGS의 색상, 에너지 및 아미노산

세 가지 CDDGS의 색과 일반 성분, 에너지 및 아미노산의 함량은 Table 1과 2에 나타내었다. DDGS1, 2 및 3은 각각 L*이 55.2, 39.8 및 28.3, a*은 8.8, 7.5 및 6.1, b*은 41.3, 27.1 및 15.4로 DDGS3가 가장 어두운 색을 띠고 있었다. DDGS의 색에 따른 총 에너지는 DDGS1, 2, 3이 각각 4,784, 4,787 및 4,737 kcal/kg으로 유사한 에너지 값을 가지고 있었으며, CP는 각각 26.2, 26.3 및 25.0%로 DDGS3에서 CP의 함량이 낮았다. 필수 아미노산은 DDGS1, 2 및 3이 각각 10.41, 10.96, 9.63%, 비필수 아미노산은 각각 13.16, 13.65 및 12.51%로서 아미노산 함량은 단백질 함량과 유사하게 DDGS3에서 가장 낮았다. 가장 밝은 색을 가진 DDGS1은 라이신 함량이 DDGS2에 비해 높았으나, 다른 아미노산 함량은 낮게 나타났다.

이런 색의 차이는 가공 전 곡물의 색깔, DDGS를 만드는 과정에서 첨가되는 solubles의 양 및 건조 시간과 건조 온도의 차이에 기인한다(Ganesan et al., 2005; Noll et al., 2006). DDGS 색도의 밝기는 총 lysine 함량과 상관관계가 있는 것으로 보이며, 밝은 색의 DDGS에서 총 lysine 함량과 lysine 소화율이 높은 경향이 있었으나, 열 손상이 많은 DDGS(어

Table 1. Color characteristics of the 3 sources of corn distillers dried grains with solubles (CDDGS)

| Item | DDGS1 | DDGS2 | DDGS3 |
|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| Color scores ¹ | | | |
| L* | 55.2±1.62 ² | 39.8±1.84 | 28.3±1.39 |
| a* | 8.8±0.44 | 7.5±0.46 | 6.1±0.52 |
| b* | 41.3±1.75 | 27.1±1.65 | 15.4±1.25 |

¹L* = lightness of sample; where 0 = black to 100 = white; higher values for a* and b* indicate greater degrees of redness and yellowness, respectively.

²Ten observations per means ± SD (standard deviation).

Table 2. Gross energy, crude protein, and amino acid contents of the 3 sources of corn distillers dried grains with solubles (CDDGS)

| Item | DDGS1 | DDGS2 | DDGS3 |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| Gross Energy (kcal/kg) | 4,784 | 4,787 | 4,737 |
| Crude Protein (%) | 26.2 | 26.3 | 25.0 |
| Essential amino acids (%) | | | |
| Arginine | 1.15 | 1.17 | 0.95 |
| Histidine | 0.61 | 0.65 | 0.58 |
| Isoleucine | 0.83 | 0.89 | 0.76 |
| Leucine | 2.98 | 3.19 | 3.06 |
| Lysine | 0.76 | 0.71 | 0.49 |
| Methionine | 0.47 | 0.49 | 0.44 |
| Phenylalanine | 1.21 | 1.29 | 1.21 |
| Threonine | 0.96 | 1.01 | 0.82 |
| Tryptophan | 0.26 | 0.28 | 0.20 |
| Valine | 1.18 | 1.28 | 1.12 |
| Total | 10.41 | 10.96 | 9.63 |
| Nonessential amino acids (%) | | | |
| Alanine | 1.88 | 2.02 | 1.87 |
| Aspartic acid | 1.59 | 1.64 | 1.33 |
| Cystine | 0.48 | 0.50 | 0.45 |
| Glutamine | 3.90 | 3.95 | 4.02 |
| Glycine | 1.00 | 1.05 | 0.90 |
| Proline | 2.20 | 2.28 | 1.95 |
| Serine | 1.13 | 1.20 | 1.03 |
| Tyrosine | 0.98 | 1.01 | 0.96 |
| Total | 13.16 | 13.65 | 12.51 |

두운 색)는 총 lysine의 함량이 감소하였다(Friedman, 1992; van Barneveld et al., 1994; Finot, 2005). Ergul et al.(2003)은 DDGS의 밝기와 황색도는 가금류의 가소화 lysine 함량을 평가하는데 합리적이라고 하였고, 본 연구 결과에서도 같은 결과를 얻을 수 있었다.

2. 아미노산의 회장 소화율

DDGS의 색상과 phytase 첨가 수준에 따른 소화율을 Table 4에 나타내었다. Phytase의 첨가 수준이 높을수록 DDGS의

Table 3. Chemical compositions of the basal diet

| Items | Finisher |
|-------------------------------------|----------|
| Ingredients (%) | |
| Corn | 63.30 |
| Soybean meal | 27.70 |
| Corn gluten meal | 3.50 |
| Soybean oil | 2.50 |
| Limestone | 1.00 |
| Dicalcium phosphate | 1.10 |
| Salt | 0.25 |
| L-Lysine | 0.05 |
| DL-Methionine | 0.10 |
| Vitamin-mineral premix ¹ | 0.50 |
| Chemical compositions ² | |
| ME (kcal/kg) | 3,150 |
| Crude protein (%) | 19.00 |
| Lysine (%) | 1.02 |
| Nonphytate P | 0.37 |

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.

소화율이 개선되었으나, DDGS의 색상에 따른 아미노산 소화율은 어두운 색이 밝은 색보다 모든 아미노산의 소화율이 낮게 나타났다($P<0.05$). 색과 상관관계를 가지는 lysine의 소화율(Cromwell et al., 1993) 또한 DDGS3(어두운 색)에서 가장 낮게 나타났으며($P<0.05$), leucine, glutamate(glutamic acid) 및 proline의 소화율은 DDGS3에 phytase 첨가한 처리구가 DDGS1과 2의 phytase 무첨가 처리구와 유사하게 나타났다. 필수 아미노산의 평균 소화율은 모든 처리구에서 각각 77.7, 80.0, 81.5, 76.0, 78.4, 80.1, 67.6, 69.6 및 71.0% 이었으며, 비 필수 아미노산의 평균 소화율은 각각 73.6, 75.8, 77.3, 73.1, 75.3, 76.8, 67.4, 69.4 및 70.7% 이었다.

사료 원료에 열이 가해지면, 당류의 carboxyl기와 단백질

Table 4. Effect of supplemental corn distillers dried grains with solubles (CDDGS) and phytase on apparent ileal amino acid digestibility for chicks¹

| Amino acids | CDDGS | DDGS1 | | | DDGS2 | | | DDGS3 | | | SEM ² |
|------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------|
| | Phytase (FTU/kg) | 0 | 500 | 1,000 | 0 | 500 | 1,000 | 0 | 500 | 1,000 | |
| Essential amino acids (%) | | | | | | | | | | | |
| Arginine | 78.1 ^a | 80.4 ^a | 82.0 ^a | 77.4 ^a | 79.7 ^a | 81.3 ^a | 65.6 ^b | 67.6 ^b | 68.9 ^b | 1.36 | |
| Histidine | 77.9 ^b | 80.2 ^{ab} | 81.8 ^a | 77.2 ^b | 79.5 ^{ab} | 81.1 ^{ab} | 66.2 ^d | 69.2 ^{cd} | 70.6 ^c | 1.22 | |
| Isoleucine | 78.4 ^b | 80.8 ^{ab} | 82.3 ^a | 77.7 ^b | 81.6 ^{ab} | 81.6 ^{ab} | 69.1 ^d | 71.2 ^{cd} | 72.6 ^c | 1.09 | |
| Leucine | 86.3 ^b | 88.9 ^a | 90.6 ^a | 81.5 ^c | 84.0 ^b | 85.6 ^b | 80.4 ^d | 82.8 ^{bc} | 84.4 ^b | 0.64 | |
| Lysine | 72.8 ^a | 75.0 ^a | 76.4 ^a | 71.0 ^a | 73.1 ^a | 74.6 ^a | 55.8 ^b | 57.5 ^b | 58.6 ^b | 2.07 | |
| Methionine | 84.6 ^b | 87.1 ^{ab} | 88.8 ^a | 83.8 ^b | 86.3 ^{ab} | 88.0 ^{ab} | 77.6 ^c | 79.9 ^c | 81.5 ^{bc} | 1.27 | |
| Phenylalanine | 81.7 ^{ab} | 84.2 ^a | 85.8 ^a | 80.3 ^b | 82.7 ^{ab} | 84.3 ^a | 74.9 ^d | 77.2 ^c | 78.7 ^{bc} | 0.84 | |
| Threonine | 65.2 ^a | 67.2 ^a | 68.5 ^a | 63.9 ^a | 65.8 ^a | 67.1 ^a | 55.5 ^b | 57.2 ^b | 58.3 ^{ab} | 1.95 | |
| Valine | 73.9 ^{ab} | 76.1 ^a | 77.6 ^a | 71.1 ^b | 73.2 ^b | 74.7 ^{ab} | 62.3 ^c | 64.2 ^c | 65.4 ^c | 1.40 | |
| Mean | 77.7 ^{ab} | 80.0 ^a | 81.5 ^a | 76.0 ^b | 78.4 ^{ab} | 80.1 ^a | 67.6 ^c | 69.6 ^c | 71.0 ^c | 1.32 | |
| Nonessential amino acids (%) | | | | | | | | | | | |
| Alanine | 80.2 ^b | 82.2 ^{ab} | 83.5 ^a | 78.0 ^b | 80.3 ^b | 81.9 ^{ab} | 74.1 ^d | 76.3 ^c | 77.8 ^{bc} | 0.86 | |
| Aspartic acid | 67.8 ^{ab} | 69.8 ^a | 71.2 ^a | 64.5 ^b | 66.4 ^b | 67.7 ^{ab} | 55.9 ^c | 57.6 ^c | 58.7 ^c | 1.56 | |
| Cystine | 66.6 ^a | 68.6 ^a | 69.9 ^a | 66.1 ^a | 68.1 ^a | 69.4 ^a | 56.4 ^b | 58.1 ^b | 59.2 ^{ab} | 2.57 | |
| Glutamine | 80.3 ^b | 82.7 ^{ab} | 84.3 ^a | 74.8 ^c | 77.0 ^c | 78.5 ^b | 71.6 ^d | 73.8 ^{cd} | 75.2 ^c | 0.92 | |
| Proline | 81.1 ^b | 83.5 ^{ab} | 85.2 ^a | 78.3 ^b | 80.7 ^{ab} | 82.2 ^{ab} | 74.2 ^c | 76.4 ^{bc} | 77.9 ^b | 1.16 | |
| Serine | 72.5 ^{ab} | 74.7 ^{ab} | 76.1 ^a | 71.7 ^{ab} | 73.9 ^a | 75.3 ^a | 64.8 ^c | 66.7 ^c | 68.0 ^{bc} | 1.76 | |
| Tyrosine | 80.7 ^b | 83.1 ^{ab} | 84.7 ^a | 78.4 ^{bc} | 80.8 ^{ab} | 82.3 ^{ab} | 74.7 ^c | 76.9 ^{bc} | 78.4 ^{bc} | 1.31 | |
| Mean | 73.6 ^{ab} | 75.8 ^a | 77.3 ^a | 73.1 ^{ab} | 75.3 ^a | 76.8 ^a | 67.4 ^c | 69.4 ^{bc} | 70.7 ^{bc} | 1.45 | |

¹DDGS1 ($L^*=55.2$, $a^*=8.8$, $b^*=41.3$), DDGS2 ($L^*=39.8$, $a^*=7.5$, $b^*=27.1$), DDGS3 ($L^*=28.3$, $a^*=6.1$, $b^*=15.4$).

²Pooled standard error of the mean for 12 broilers per treatment.

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

의 amino기가 축합하여 갈화 반응 또는 Maillard 반응이 일어나 melanoidins(갈색 물질)라는 고분자 화합물을 생성한다(USGC, 2006). 따라서 갈화도(420 nm에서 흡광도 측정)는 식품이나 사료에서 Maillard 반응의 기준으로 사용된다. Parsons et al.(1992)은 건조 과정 중의 과다 가열은 lysine 잔류물과 탄수화물 일부분에 영향을 미치는 Maillard 반응에 원인이 될 것이며, 그 결과로서 부산물의 색을 어둡게 만든다고 하였다. 즉, lysine의 소화율은 Maillard 반응에 의해 가장 큰 영향을 받는다(USGC, 2006). 어두운 색의 DDGS는 lysine이 car-

boxyl기와 결합하여 Maillard 반응이 일어나는 동시에 lysine 함량의 감소(Fastinger and Mahan, 2006)로, 어두운 색의 DDGS는 밝은 색의 DDGS에 비해 lysine의 소화율이 감소되는 것이라 사료된다.

본 연구에서는 DDGS의 밝기와 황도의 정도가 특정 지점 ($L^* 28\sim34$, $b^* 15\sim20$)에 도달함에 따라, 아미노산의 소화율이 감소하였다. 이런 감소는 필수 아미노산인 lysine에서 특히 악화되며, 이것은 평가된 3가지 DDGS 샘플들 사이에서 가장 큰 가변성을 가지고 있기 때문으로 사료된다. 이런 결

과는 L*과 b*와 같은 색도가 DDGS 품질을 평가하기 위한 방법의 하나로서 제시될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

본 연구는 옥수수 DDGS의 색상과 phytase 첨가가 회장 아미노산 소화율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 공시 재료는 세 가지 색상의 DDGS(DDGS1, DDGS2, DDGS3)를 이용하였으며, 시험계는 유사한 체중의 5주령 Ross종 (Ross 308) 육계 수컷 108수(평균 체중 1.8±0.2 kg)를 공시하였다. 시험 설계는 세 가지 색상의 DDGS와 phytase 첨가 3처리구(0, 500, 1,000 FTU/kg)의 3×3 복합 요인으로 총 9처리구, 처리당 12수씩 완전 임의 배치 하여 7일 동안 소화 시험을 실시하였다. DDGS의 색상은 각각 DDGS1이 L*=55.2, a*=8.8, b*=41.3, DDGS2가 L*=39.8, a*=7.5, b*=27.1, DDGS3이 L*=28.3, a*=6.1, b*=15.4로 나타났다. DDGS의 색상에 따른 아미노산 소화율은 어두운 색이 밝은 색보다 모든 아미노산의 소화율이 낮게 나타났다. DDGS의 처리구에 phytase를 첨가하여 급여시에 소화율이 증가하는 경향이였다. 필수 아미노산의 평균 소화율은 모든 처리구에서 각각 77.7, 80.0, 81.5, 76.0, 78.4, 80.1, 67.6, 69.6 및 71.0% 이었으며, 비필수 아미노산의 평균 소화율은 각각 73.6, 75.8, 77.3, 73.1, 75.3, 76.8, 67.4, 69.4 및 70.7% 이었다. 이번 실험의 결과에서, DDGS 색상이 어두울수록 그리고 phytase 수준이 낮을수록 아미노산 이용률이 낮게 나타났다.

사 사

본 연구는 2008년 농촌진흥청 국립축산과학원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

- AOAC 1995 Official method of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC USA pp 1-43.
- 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.
- Cromwell GL, Herkelman KL, Stahly TS 1993 Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J Anim Sci* 71:679-686.
- Dilger RN, Onyango EM, Sands JS, Adeola O 2004 Evaluation of microbial phytase in broiler diets. *Poult Sci* 83:962-970.
- DiPardo J 2000 Outlook for biomass ethanol production and demand. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/pdf/biomass.pdf>. Accessed March 2005.
- Duncan DB 1995 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Ergul T, Matinez Amezcuca C, Parsons C, Walters B, Noll SL 2003 Amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles. *Poult Sci* 82(Suppl. 1):70.
- Fastinger ND, Mahan DC 2006 Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using growing-finisher pigs. *J Anim Sci* 84: 1722-1728.
- Finot PA 2005 The absorption and metabolism of modified amino acids in processed foods. *J of AOAC Int* 88:894-903.
- Friedman M 1992 Dietary impact of food processing. *Annual Reviews in Nutrition* 12:119-137.
- Ganesan V, Rosentrater KA, Muthukumarappan K 2005 Effect of moisture content and soluble levels on the physical and chemical properties of DDGS. ASAE paper No. 056110. St Joseph MI.
- Kornegay ET 1996 Effect of Natuphos® phytase on protein and amino acid digestibility and nitrogen retention in poultry. In: *phytase in Animal Nutrition and Waste Management*. BASF Corporation, Mount Olive, NJ, pp, 493-514.
- 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.
- Lumpkin BS, Batal AB, Dale NM 2004 Evaluation of distillers dried grains with solubles as a feed ingredient for broilers. *Poult Sci* 83:1891-1896.
- 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.
- National Research Council 1994 Nutrient Requirements for Poultry 9th rev ed Natl Acad Press Washington DC.
- Noll S, Parsons C, Walters B 2006 What's new since September 2005 in feeding distillers co-products to poultry. Proceedings from the 67th Minnesota Nutrition Conference & University of Minnesota Research Update Session: Livestock Production in the New Millenium, St Paul MN. pp 149-154.
- Onyango EM, Bedford MR, Adeola O 2005 Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets for broiler chicks. *Poult Sci* 84:248-255.
- Parsons CM, Hashimoto K, Wedekind KJ, Han Y, Baker DH 1992 Effect of overprocessing on availability of amino acids and energy in soybean meal. *Poult Sci* 71:133-140.
- 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, 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.
- 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.
- Renewable Fuels Association 2005 Homegrown for ther home-land: Ethanol industry outlook 2005. http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook_2005.pdf Accessed May 2005.
- 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 suer guide. release 6.11 edition. SAS Inst Inc Cary NC USA.
- Sebastian S, Touchburn SP, Chavez ER, Lague PC 1997 Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. *Poult Sci* 76:1760-1769.
- 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. *Asain-Aust J Anim Sci* 16:394-402.
- U.S. Grains Council 2006 Use of DDGS in Poultry Diets. DDGS User Handbook pp 1-13.
- van Barneveld RJ, Batterham ES, Norton BW 1994 A comparison of ileal and fecal digestibilities of amino acids in raw and heat-treated field peas (*Pisum sativum* cultivar Dunale). *Br J Nutr* 72:221-241.
- 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.
- 한국가금사양표준 2007 농촌진흥청 국립축산과학원.

(접수: 2009. 12. 21, 수정: 2009. 12. 29, 채택: 2009. 12. 29)