

# 자돈에서 대체 단백질 원료사료의 외관상 회장 아미노산 소화율 및 표준 회장 아미노산 소화율 평가

최요한<sup>1</sup>, 김동우<sup>2</sup>, 김진수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립축산과학원 양돈과, <sup>2</sup>강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과

## Evaluation of Apparent Ileal and Standardized Ileal Digestibility of Amino Acid in Feed Ingredients to Alterate the Protein Sources for Weaned Pigs

Yo-Han Choi<sup>1</sup>, Dong-Woo Kim<sup>2</sup>, Jin-Soo Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Swine Science Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration,

<sup>2</sup>Department of Animal Industry Convergence, College of Animal Life Sciences, Kangwon National University

**요약** 본 시험은 돼지 사료 내 단백질원으로 사용되는 원료사료의 외관상 회장 아미노산 소화율과 표준 회장 아미노산 소화율을 평가하기 위해 수행하였다. 본 시험에서 T-cannula를 회장에 설치한 자돈(Landrace×Yorkshire×Duroc, 14.4±0.35kg) 6두를 공시동물로 사용하였으며, 6×6 라틴스퀘어 설계법(Latin square design)을 이용하였다. 평가 원료사료로서 옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물이 사용하였으며, 각 원료사료별 5일의 적응기간과 2일의 소화물 채취기간을 두었다. 라이신의 외관상 회장 소화율에서 클로렐라와 라이신 부산물이 유의적으로 높았으며(p<0.05), 각각 79.1% 및 78.7%이었다. 메치오닌의 외관상 회장 소화율은 원료사료들 간의 유의적인 차이가 없었다. 트레오닌의 외관상 회장 소화율은 클로렐라가 유의적으로 높게 나타났으며(p<0.05), 81.8%이었다. 라이신의 표준 회장 소화율에서 클로렐라, 라이신 부산물 및 옥수수 글루텐밀이 유의적으로 높게 나타났으며(p<0.05), 각각 80.4%, 79.5% 및 77.0%이었다. 메치오닌의 표준 회장 소화율은 원료사료들 간의 유의적인 차이가 없었다. 트레오닌의 표준 회장 소화율은 클로렐라가 라이신 부산물, 옥수수 글루텐 피드에 비해 유의적으로 높게 나타났으며(p<0.05), 84.2%이었다. 본 연구결과, 클로렐라와 라이신 부산물의 외관상 및 표준 회장 아미노산 소화율이 가장 우수하였으며, 이 원료들은 돼지 사료 내 단백질 대체 원료사료로서 가치가 있음을 시사한다.

**Abstract** This study was conducted to evaluate the apparent ileal digestibility (AID) and standardized ileal digestibility (SID) of amino acids in feed ingredients for use as protein sources in swine feed. A total of six weaned pigs (Landrace×Yorkshire×Duroc, 14.4±0.35kg) surgically fitted with a T-cannula in the distal ileum were used in this study and were randomly allotted to a 6×6 Latin square design. Corn germ, corn gluten meal (CM), corn gluten feed (CF), chlorella (CH), and lysine co-product (LC) were used for evaluation, and the experimental periods of each ingredient included 5 days for adaptation and 2 days for collection. CH and LC had significantly higher (p<0.05) AID of lysine (79.1% and 78.7%, respectively). The AID of methionine was not significantly different among all feed ingredients. The AID of threonine of CH was significantly higher (p<0.05) than those of other ingredients and was 81.8%. CH, LC, and CM had higher (p<0.05) SID of lysine (80.4%, 79.5%, and 77.0%, respectively). The SID of methionine showed no difference among all treatments. CH showed 81.8% SID of threonine, which was significantly higher (p<0.05) than LC and CF. In conclusion, chlorella and lysine co-product showed the greatest AID and SID of amino acids, which makes them potentially valuable feed ingredients for use as protein sources in swine feed.

**Keywords** : Evaluation, Ileal digestibility, Feed ingredients, Protein source, Weaned pigs

본 논문은 대상(주) 연구용역 사업의 지원 및 2020년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

\*Corresponding Author : Jin-Soo Kim(Kangwon national Univ.)

email: kjs896@kangwon.ac.kr

Received March 12, 2020

Revised April 10, 2020

Accepted June 5, 2020

Published June 30, 2020

## 1. 서론

사료비는 돈육을 생산함에 있어 생산비 중 약 60~70%를 차지하고 있으며, 이중 에너지원 사료와 단백질 사료가 큰 비중을 차지한다[1]. 다양한 단백질 원료 중 대두박은 단백질 함량이 높고 돼지가 필요로 하는 아미노산의 조성이 매우 우수하기 때문에 돼지 사료 내 가장 많이 사용되는 주요 단백질원이다[2]. 그러나 국내에서 생산하는 양만으로는 국내 수요를 충족할 수 없기 때문에 이들의 대부분이 수입에 의존되고 있으며[3], 의존도는 약 95%를 상회할 정도로 매우 높다. 따라서 환율 변동, 기상 변화 및 바이오 원료 생산 등에 의한 가격 상승이 지속되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 대체 원료 사료에 대한 연구와 더불어 기존 이용되는 원료 사료의 영양적 가치에 대한 정확한 평가 연구가 이루어져야 하며 [2,4], 이를 바탕으로 배합사료를 생산해야 한다.

단백질 원료의 대체재 중 다른 산업에서 발생하는 옥수수 부산물 관련 대체원료는 글루텐 밀(corn gluten meal), 옥수수 글루텐 피드(corn gluten feed), 옥수수 배아(corn germ) 등이 있으나, 이들에 대한 외관상 회장 아미노산 소화율, 표준 회장 아미노산 소화율 등과 같은 정밀한 사료가치 평가 연구는 미흡한 실정이다[5]. 최근에 수행된 연구에서 식물성 단백질 원료에 대한 아미노산 평가를 수행한 연구[6]가 있으나, 옥수수 부산물에 대한 전반적인 원료들이 다루어지지 않아 제한적인 결과를 제시하였다. 이외에도 해당 원료를 활용한 에너지 소화율 평가연구[7,8]와 표준전장 인 소화율 연구[9]가 진행되었다. 클로렐라(Chlorella)는 구형 단세포 녹조류로서 건물 기준으로 50~70%의 조단백질 함량을 나타내며, 이외에도 지질, 비타민 및 광물질 등을 풍부하게 함유하고 있다. 따라서 가금과 돼지에서 유용한 단백질원으로서 제시된 바 있으나[10], 단순한 첨가수준에 따른 효과를 본 연구 결과가 대부분이며, 정밀한 원료가치평가로서 아미노산 소화율 분석은 이루어지지 않은 상황이다. 라이신 부산물(microbial lysine by-product meal)은 미생물을 이용하여 합성 라이신을 생산하고 남은 부산물로서 여기에는 70~80%의 조단백질을 함유하고 있다. 이외에도 핵산, 지질 등을 포함하기 때문에 사료적 가치가 높다[11]. 이로 인해 가금과 일부 돼지 연구에서 사료 단백질원으로 연구된 바 있으나[12,13], 사용수준에 따른 성장성을 평가한 것으로서 정밀한 사료가치 평가를 위한 아미노산 소화율 분석에 관한 연구는 수행되지 않았다.

단백질은 아미노산으로 구성되어 있으며, 섭취 시 아

미노산으로 분해되어 체내에 이용되기 때문에 실질적인 소화율, 또는 단백질의 효율을 평가하기 위해서는 회장 아미노산 소화율을 분석하는 것이 더 효과적이다[14].

따라서 본 연구는 돼지 사료 내 대체 단백질원으로서 옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물의 회장 아미노산 소화율을 분석하여 영양학적 가치를 정확하게 평가하고, 향후 돼지 사료 내 단백질성 원료사료의 기초 자료로서 활용하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험동물 및 실험설계

옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물의 아미노산 회장 소화율을 측정하기 위하여 Stein 등[15]의 방법에 따라 회장 말단부에 T-cannula를 설치한 3원 교잡종 자돈(Landrace × Yorkshire × Duroc, 평균체중 14.4 ± 0.35kg) 6두를 공시하였다. 시험설계는 6×6 라틴방격법(Latin square design)에 따라 설계하여 수행하였다.

### 2.2 실험사료 및 사양관리

아미노산 회장 소화율을 측정하기 위해 시험사료는 무질소 사료(nitrogen free diet)와 대체 단백질 원료인 옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물만을 사용한 기본사료로 구성하였다. 본 시험에 사용된 주요원료들은 대상(DAESANG Co., Ltd., Korea)에서 공급받아 사용하였으며, 모든 사료 내 에너지 함량과 아미노산 함량을 제외한 영양소 함량은 National Research Council(NRC)[16]에 제시된 돼지 영양소 요구량에 충족시키거나 초과하도록 배합하였다(Table 1).

모든 시험사료는 각각의 자돈 체중을 기준으로 유지에너지 요구량의 2.5배를 정량하여 급여하였다(2.5 × 197 kcal of metabolizable energy/kg of body weight 0.60; NRC). 시험사료는 하루에 두 번으로 나누어 09:00와 17:00에 급여하였으며, 급여 시 적당량의 물을 첨가하여 반죽형태로 급여하였다. 라틴방격법에 따라 시험사료별 7일간 진행하여 총 42일간 수행하였으며, Fig. 1에 실험설계에 대한 내용을 도식화로 나타내었다.

Table 1. Ingredient composition of experimental diets (as-fed basis)

Item <sup>1</sup> , %	CG	CM	CF	CH	LC	NF
CG	50.00	-	-	-	-	-
CM	-	40.00	-	-	-	-
CF	-	-	82.33	-	-	-
CH	-	-	-	30.00	-	-
LC	-	-	-	-	35.00	-
Cornstarch	31.62	41.66	-	51.43	47.03	80.77
Sugar	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Limestone	1.28	1.68	1.57	1.46	1.87	1.56
MCP	1.00	0.56	0.00	1.01	0.00	1.57
Chromic oxide	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Salt	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Premix <sup>2</sup>	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

<sup>1</sup>CG, corn germ; CM, corn gluten meal; CF, corn gluten feed; CH, chlorella; LC, lysine co-product; NF, Nitrogen free diet.

<sup>2</sup>Provided per kg: 50,000 IU vitamin A, 400,000 IU vitamin D<sub>3</sub>, 50,000 mg vitamin E, 2,500 mg vitamin K, 10,000 mg riboflavin, 90,000 mg niacin, 2,500 mg thiamine, 40,000 mg pantothenic acid, 3,000 mg folic acid, 200 mg biotin, 30mg vitamin B<sub>12</sub>. Provided per kg: 30,000 mg Cu, 20,000 mg Zn, 30,000 mg Mn, 400 mg I, 100 mg Se, 50,000 mg Fe, 200 mg Co.

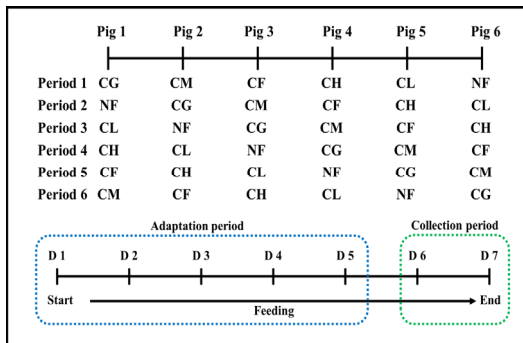


Fig. 1. Experimental design and sampling collection period

시험기간은 5일간의 시험사료 적응기간과 2일간의 샘플 채취 기간으로 나누어 실시하였다[17].

회장내용물은 폐지별로 설치된 T-cannula의 외측부 위에 폴리에틸렌 백을 고정하여 채취하였으며, 채취는 10:00, 13:00, 16:00 및 19:00로 나누어 3시간 간격으로 1일 4회 채취하였다. 채취한 회장내용물 시료는 즉시 동결건조하여 -80°C에서 분석 전까지 보관하였다.

## 2.3 조사항목

### 2.3.1 일반성분

본 시험에 사용된 원료사료의 일반성분은 AOAC의 방법[18]에 준하여 건물(dry matter), 단백질(crude protein), 조지방(ether extract), 칼슘(calcium), 인(phosphorous)을 분석하였다. 에너지는 단열폭발열량

측정기(Model 1241 Parr Instrument Co., Molin IL, USA)로 측정하였다.

소화율의 지시제로서 사용된 산화크롬(Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)은 기존 선행 연구에서 제시된 방법[19]에 준하여 시료 전처리를 진행한 후 spectrophotometer(Model V-550, Jasco Co., Japan)를 이용하여 측정하였다.

### 2.3.2 아미노산

실험사료와 회장내용물 시료의 아미노산 분석은 시료를 24시간 동안 105°C에서 6N HCl용액으로 가수분해시켰다. 전처리가 끝난 시료는 high performance liquid chromatography(Waters 486, Waters Co., USA)를 이용하여 분석하였다. 황 함유아미노산은 24시간 동안 가수분해 시킨 후, cold performic acid 용액으로 산화 처리하여 분석하였다[20]

시험사료 내 아미노산의 외관상 회장 소화율(AID, apparent ileal digestibility)과 표준 전장 소화율(SID, standardized ileal digestibility)은 Stein 등[21]이 제시한 다음과 같은 공식으로 산출하였다.

$$AID = 100 - [(AAd/AAf) \times (Cr_f/Crd)] \times 100\% \quad (1)$$

Where AID is the apparent ileal digestibility coefficient of an amino acid(%), AAd is the amino acid content in ileal digesta(mg/kg DM), AAf is the amino acid content in feed(mg/kg DM), and Crf and Crd are the chromium content in the feed DM and in the ileal digesta DM, respectively.

$$EAL = AAd \times (Cr_f/Crd) \quad (2)$$

Where EAL is the endogenous loss of an amino acid (mg/kg DMI), AAd is the concentration of that amino acid in digesta(mg/kg DM), Crf is the chromium content in feed DM, and Crd is the chromium content in digesta DM..

$$SID = AID + (EAL/AAf) \times 100\% \quad (3)$$

Where SID represents the standardized ileal digestibility coefficient(%) of an amino acid, AID is the apparent ileal digestibility coefficient(%) calculated using Eq.(1), EAL is the nonspecific endogenous losses of that amino acid measured at the distal ileum(mg/kg DMI) after feeding the protein-free diet and calculated according to

Eq.(2), and AAF is the dietary content of the amino acid(mg/kg diet DM).

## 2.4 통계분석

본 시험에서 도출된 모든 결과 값은 반복별에서 얻어진 값으로 분석하였다. 통계분석을 위해 통계프로그램 SAS(Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., USA)[22]의 One-way ANOVA를 이용하였으며, Turkey 검정을 사후검정에 이용하였다. 통계적 유의성 인정은 유의수준 0.05이하에서 인정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 일반성분 및 아미노산 함량

옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물의 일반성분과 아미노산 분석 함량은 Table 2와 같다.

Table 2. Analyzed nutrient composition of experimental feed ingredients (as-fed basis)

Item <sup>1</sup>	CG	CM	CF	CH	LC
Components, %					
Dry matter	91.50	92.85	91.06	91.15	92.33
GE, kcal/kg	4.726	5.256	4.244	4.502	4.846
Crude protein	20.26	60.79	18.90	59.14	67.27
Ether extract	2.33	1.62	3.68	2.73	1.90
Calcium	0.24	0.37	0.17	1.35	0.22
Phosphorus	0.51	0.89	0.95	0.59	1.05
Indispensable AA, %					
Arginine	1.18	2.13	0.81	3.09	2.39
Histidine	0.72	1.41	0.70	1.10	1.40
Isoleucine	0.97	2.34	0.78	4.13	1.12
Leucine	1.82	10.86	1.67	5.79	2.68
Lysine	0.90	1.15	0.87	3.11	6.58
Methionine	0.41	1.61	0.48	1.07	1.28
Phenylalanine	0.96	4.70	0.87	3.41	1.22
Threonine	0.92	1.66	0.51	4.74	1.29
Tryptophan	0.18	0.34	0.16	1.36	0.72
Valine	1.29	2.69	0.72	4.41	2.62
Dispensable AA, %					
Alanine	1.08	6.01	1.04	4.25	4.45
Aspartic acid	1.37	3.93	1.21	6.37	4.66
Cysteine	0.35	0.87	0.36	0.94	0.47
Glutamic acid	2.03	14.39	2.20	7.13	7.27
Glycine	1.11	1.33	1.02	3.61	1.73
Proline	1.09	5.73	1.52	2.36	2.55
Serine	0.86	3.55	0.73	3.23	2.67
Tyrosine	0.79	3.88	0.59	0.51	0.70

<sup>1</sup>Data are the mean of duplicate analysis of each ingredient.  
<sup>2</sup>CG, corn germ; CM, corn gluten meal; CF, corn gluten feed; CH, chlorella; LC, lysine co-product; GE, gross energy; AA, amino acids.

일반성분에서 조단백질의 함량은 라이신 부산물이 67.27%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 옥수수 글루텐 밀이 60.79%, 클로렐라가 59.14%로 높게 나타났다. 돼지사료 내 필수 아미노산 중 주요 아미노산인 라이신의 함량은 라이신 부산물이 6.58%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 클로렐라 3.11%, 옥수수 글루텐 밀 1.15% 순서로 높게 나타났다. 메치오닌의 함량은 옥수수 글루텐밀이 1.61%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 라이신 부산물이 1.28%, 클로렐라가 1.07%로 가장 높게 나타났다. 트레오닌의 함량의 경우, 클로렐라가 4.74%로 가장 높았으며, 그 다음으로 옥수수 글루텐 밀 1.66%, 라이신 부산물 1.29% 순서로 높았다. 비필수 아미노산 중 시스테인의 표준 회장 소화율은 클로렐라가 0.94%로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 옥수수 글루텐 밀 0.87%, 라이신 부산물 0.47% 순서로 높게 나타났다(p=0.058).

옥수수는 사료산업뿐만 아니라 다양한 산업에서 이용되고 있다. 특히, 바이오에너지 생산 시 발생하는 부산물로 옥수수 주정박, 글루텐 피드, 글루텐 밀, 배아 등이 있으나 주정박을 제외한 부산물들에 대한 영양학적 가치 평가는 미흡한 실정이다[5]. NRC[16]에서 옥수수 배아의 조단백질 함량은 약 15%이며, 아미노산 함량은 라이신 0.78%, 메치오닌 0.26%, 트레오닌 0.52% 및 시스테인 0.32%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 조단백질 함량은 약 17%이며, 아미노산 함량은 라이신 0.63%, 메치오닌 0.35%, 트레오닌 0.74% 및 시스테인 0.46%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 밀의 조단백질 함량은 약 58%이며, 아미노산 함량은 라이신 0.93%, 메치오닌 1.21%, 트레오닌 1.81% 및 시스테인 1.01%를 나타냈다.

다른 연구결과[5]로 옥수수 배아의 조단백질 함량은 약 25%이며, 아미노산 함량은 라이신 0.94%, 메치오닌 0.40%, 트레오닌 0.83% 및 시스테인 0.33%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 조단백질 함량은 약 23%이며, 아미노산 함량은 라이신 1.02%, 메치오닌 0.32%, 트레오닌 1.21% 및 시스테인 0.43%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 밀의 조단백질 함량은 약 63%이며, 아미노산 함량은 라이신 1.18%, 메치오닌 1.61%, 트레오닌 2.03% 및 시스테인 1.14%를 나타냈다. 이를 포함하여, Sauvant 등[23], Slominski 등[24], Stein과 Shurson[25]이 제시한 연구결과들과 본 연구결과와 비교해보아, 정상 범주 안에 포함되는 것으로 사료된다. 또한 성분의 함량이 다르게 나타나는 것은 옥수수 부산물은 다른 제조 공정에서 발생하는 부산물로서 제조 공정도에 따라서, 혹은 원재료의 영양소 함량에 차이에 따라서 다르게 나타날 수

있다[5].

현재 대체 원료로서 평가되고 있는 옥수수 배아, 글루텐 밀, 글루텐 피드와 비교하였을 때 클로렐라와 라이신 부산물은 단백질 원료로서 충분한 조단백질 함량과 아미노산 조성을 나타내며, 일부 제한 아미노산에 대해서는 더 우수한 것으로 나타났다. 따라서 단백질 대체 원료로서 활용도가 매우 클 것으로 사료된다.

### 3.2 아미노산 소화율

#### 3.2.1 외관상 회장 소화율

옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물의 외관상 회장 소화율 분석 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Apparent ileal digestibility of amino acids in protein sources fed to weaned pigs<sup>1</sup>

Item <sup>2</sup>	CG	CM	CF	CH	LC	SEM
Indispensable AA, %						
Arginine	74.7 <sup>b</sup>	87.0 <sup>a</sup>	75.5 <sup>b</sup>	75.5 <sup>b</sup>	76.2 <sup>b</sup>	2.09
Histidine	77.5 <sup>ab</sup>	77.7 <sup>ab</sup>	74.6 <sup>b</sup>	83.0 <sup>a</sup>	76.7 <sup>ab</sup>	1.87
Isoleucine	73.3 <sup>ab</sup>	79.0 <sup>a</sup>	69.2 <sup>b</sup>	80.8 <sup>a</sup>	74.0 <sup>ab</sup>	2.33
Leucine	75.2 <sup>b</sup>	87.2 <sup>a</sup>	81.4 <sup>ab</sup>	76.6 <sup>b</sup>	84.8 <sup>a</sup>	1.89
Lysine	62.0 <sup>c</sup>	72.2 <sup>b</sup>	59.7 <sup>c</sup>	79.1 <sup>a</sup>	78.7 <sup>a</sup>	1.64
Methionine	75.7	84.2	79.9	76.5	81.8	2.31
Phenylalanine	76.5 <sup>b</sup>	83.7 <sup>a</sup>	77.2 <sup>b</sup>	77.2 <sup>b</sup>	76.2 <sup>b</sup>	1.58
Threonine	72.6 <sup>b</sup>	76.9 <sup>ab</sup>	55.9 <sup>c</sup>	81.8 <sup>a</sup>	72.6 <sup>b</sup>	1.67
Tryptophan	74.9 <sup>b</sup>	79.3 <sup>ab</sup>	73.3 <sup>b</sup>	82.2 <sup>a</sup>	79.0 <sup>ab</sup>	1.51
Valine	76.3 <sup>b</sup>	84.0 <sup>a</sup>	71.4 <sup>b</sup>	82.6 <sup>a</sup>	76.0 <sup>b</sup>	1.68
Dispensable AA, %						
Alanine	69.1 <sup>b</sup>	81.8 <sup>a</sup>	69.9 <sup>b</sup>	87.3 <sup>a</sup>	79.4 <sup>ab</sup>	2.75
Aspartic acid	72.4 <sup>a</sup>	75.2 <sup>a</sup>	59.0 <sup>b</sup>	79.7 <sup>a</sup>	80.0 <sup>a</sup>	1.92
Cysteine	56.9 <sup>bc</sup>	75.3 <sup>a</sup>	52.8 <sup>c</sup>	79.7 <sup>a</sup>	66.1 <sup>b</sup>	2.60
Glutamic acid	75.8 <sup>b</sup>	85.2 <sup>a</sup>	74.4 <sup>b</sup>	74.2 <sup>b</sup>	76.2 <sup>b</sup>	1.64
Glycine	45.9 <sup>b</sup>	47.6 <sup>b</sup>	41.3 <sup>b</sup>	74.0 <sup>a</sup>	84.9 <sup>a</sup>	3.69
Proline	-3.71	46.3	-8.02	74.8	73.3	40.92
Serine	66.0 <sup>c</sup>	83.2 <sup>a</sup>	66.9 <sup>c</sup>	81.3 <sup>ab</sup>	76.7 <sup>b</sup>	1.58
Tyrosine	73.9 <sup>b</sup>	86.7 <sup>a</sup>	63.1 <sup>c</sup>	64.2 <sup>c</sup>	68.6 <sup>bc</sup>	1.98

<sup>a-d</sup>Within a row, means without a common superscript letter differ(p<0.05).

<sup>1</sup>Data represents means based on six replicates pig per ingredients.

<sup>2</sup>CG, corn germ; CM, corn gluten meal; CF, corn gluten feed; CH, chlorella; LC, lysine co-product; SEM, standard error of the means; AA, amino acids.

돼지사료 내 필수 아미노산 중 주요 아미노산인 라이신의 외관상 회장 소화율은 클로렐라와 라이신 부산물이 각각 79.1% 및 78.7%로 유의적으로 가장 높게 나타났으며(p<0.05), 이들 간의 차이는 없었다. 그 다음으로 옥수수 글루텐 피드가 72.2%의 외관상 회장 소화율을 나타냈으며, 이는 옥수수 배아 62.0%와 옥수수 글루텐 밀 59.7%에 비해 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 메치

오닌은 모든 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 트레오닌은 클로렐라가 다른 원료들에 비해 81.8%로 유의적으로 가장 높게 나타났다(p<0.05).

사료의 영양가는 에너지 함량, 아미노산 소화율에 대한 정확한 정보와 이에 대한 활용은 사료비용의 감소뿐만 아니라 양질의 돼지고기를 생산할 수 있다[21]. NRC[16]는 옥수수 배아의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 56%, 메치오닌 67%, 트레오닌 42% 및 시스테인 58%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 51%, 메치오닌 79%, 트레오닌 57% 및 시스테인 53%를 나타냈으나, 이는 추정치일 뿐 실제로 평가된 자료는 아니었다. 옥수수 글루텐 밀의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 77%, 메치오닌 92%, 트레오닌 84% 및 시스테인 86%를 나타냈다. 다른 연구결과[5,23]로 옥수수 배아의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 64%, 메치오닌 79%, 트레오닌 64% 및 시스테인 57%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 64%, 메치오닌 75%, 트레오닌 68% 및 시스테인 58%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 밀의 외관상 회장 아미노산 소화율은 라이신 74%, 메치오닌 90%, 트레오닌 79% 및 시스테인 78%를 나타냈다. 옥수수 부산물의 외관상 회장소화율은 기존에 제시된 결과들[5,21,26]과 유사하였으며, 정상적인 범위 안에 포함되는 것으로 나타났다. 한편 프롤린의 경우 결과 값이 매우 상이하게 나왔으며, 이는 회장소화율 진행 시 필수 아미노산에 대한 부적절한 공급에 따른 소화율의 차이에서 기인하는 문제점으로 제시되었다[27].

본 연구결과, 클로렐라와 라이신 부산물이 기존 단백질 원료 대체원료로서 평가받던 옥수수 부산물에 비해 우수한 소화율을 나타냈으며, 단백질 원료로서의 가치가 있다고 사료된다.

#### 3.2.2 표준 회장 소화율

옥수수 배아, 옥수수 글루텐 밀, 옥수수 글루텐 피드, 클로렐라 및 라이신 부산물의 표준 회장 소화율 분석 결과는 Table 4와 같다.

돼지사료 내 필수 아미노산 중 주요 아미노산인 라이신의 표준 회장 소화율은 클로렐라, 라이신 부산물 및 옥수수 글루텐 밀이 각각 80.4%, 79.5% 및 77.0%로 유의적으로 가장 높게 나타났으며(p<0.05), 이들 간의 차이는 없었다. 메치오닌은 모든 처리구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 트레오닌은 클로렐라가 84.2%로 라이신 부산물, 옥수수 글루텐 피드에 비해 유의적 가장 높게 나타

났다(p<0.05). 라이신 부산물은 옥수수 글루텐 피드에 비해 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05).

Table 4. Standardized ileal digestibility of amino acids in protein sources fed to weaned pigs<sup>1</sup>

Item <sup>2</sup>	CG	CM	CF	CH	LC	SEM
Indispensable AA, %						
Arginine	81.0 <sup>b</sup>	90.1 <sup>a</sup>	83.2 <sup>ab</sup>	76.6 <sup>b</sup>	78.2 <sup>b</sup>	2.09
Histidine	80.3	80.0	78.5	84.5	78.1	1.87
Isoleucine	75.7	80.1	74.1	81.9	75.7	2.33
Leucine	78.0 <sup>b</sup>	88.0 <sup>a</sup>	84.7 <sup>ab</sup>	78.2 <sup>b</sup>	87.4 <sup>a</sup>	1.89
Lysine	65.2 <sup>b</sup>	77.0 <sup>a</sup>	64.3 <sup>b</sup>	80.4 <sup>a</sup>	79.5 <sup>a</sup>	1.64
Methionine	77.3	84.9	83.0	77.3	82.4	2.31
Phenylalanine	78.6	84.8	79.9	78.5	78.3	1.58
Threonine	78.1 <sup>ab</sup>	80.7 <sup>ab</sup>	64.5 <sup>c</sup>	84.2 <sup>a</sup>	76.6 <sup>b</sup>	1.67
Tryptophan	80.2	81.8	79.9	83.3	80.8	1.51
Valine	78.8 <sup>bc</sup>	86.0 <sup>a</sup>	75.9 <sup>c</sup>	84.0 <sup>ab</sup>	77.7 <sup>bc</sup>	1.68
Dispensable AA, %						
Alanine	73.8 <sup>b</sup>	83.9 <sup>ab</sup>	78.1 <sup>b</sup>	90.7 <sup>a</sup>	81.9 <sup>ab</sup>	2.75
Aspartic acid	76.0 <sup>a</sup>	77.5 <sup>a</sup>	66.7 <sup>b</sup>	81.2 <sup>a</sup>	81.9 <sup>a</sup>	1.92
Cysteine	61.3 <sup>cd</sup>	76.6 <sup>ab</sup>	57.4 <sup>d</sup>	81.0 <sup>a</sup>	68.6 <sup>bc</sup>	2.60
Glutamic acid	78.5 <sup>b</sup>	86.2 <sup>a</sup>	77.5 <sup>b</sup>	75.5 <sup>b</sup>	79.1 <sup>b</sup>	1.64
Glycine	56.9 <sup>b</sup>	55.3 <sup>b</sup>	55.5 <sup>b</sup>	76.9 <sup>a</sup>	87.0 <sup>a</sup>	3.69
Proline	48.3	63.4	46.2	106.6	101.8	40.92
Serine	72.0 <sup>c</sup>	85.5 <sup>a</sup>	76.7 <sup>bc</sup>	83.8 <sup>a</sup>	79.9 <sup>ab</sup>	1.58
Tyrosine	77.8 <sup>b</sup>	88.1 <sup>a</sup>	69.8 <sup>c</sup>	70.0 <sup>c</sup>	72.3 <sup>bc</sup>	1.98

<sup>a-d</sup>Within a row, means without a common superscript letter differ(p<0.05).

<sup>1</sup>Data represents means based on six replicates pig per ingredients.

<sup>2</sup>CG, corn germ; CM, corn gluten meal; CF, corn gluten feed; CH, chlorella; LC, lysine co-product; SEM, standard error of the means; AA, amino acids.

외관상 회장 소화율은 가축 소화 장관 내 발생하는 아미노산 함량까지 고려되지 못하기 때문에 내생아미노산을 고려한 표준 회장 아미노산 소화율 평가 방법이 제시되었다[21]. NRC[16]는 옥수수 배아의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 64%, 메치오닌 72%, 트레오닌 52% 및 시스테인 66%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 66%, 메치오닌 82%, 트레오닌 71% 및 시스테인 62%를 나타냈으나 평가 자료가 아닌 추정치로 제시되었다. 옥수수 글루텐 밀의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 81%, 메치오닌 93%, 트레오닌 87% 및 시스테인 88%를 나타냈다. 다른 연구결과[5,21,26]로 옥수수 배아의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 68%, 메치오닌 81%, 트레오닌 71% 및 시스테인 64%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 피드의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 69%, 메치오닌 79%, 트레오닌 75% 및 시스테인 65%를 나타냈다. 옥수수 글루텐 밀의 표준 회장 아미노산 소화율은 라이신 79%, 메치오닌 91%, 트레오닌 84% 및 시스테인 81%를 나타냈다.

옥수수 부산물의 회장 회장소화율은 기존에 제시된 일부 결과들과[5,23,28] 과 크게 다르지 않았다. 그러나 일부 아미노산은 발표된 기존 연구결과[23]보다 다소 낮게 나왔으나 정상적인 범주 안에 포함된다. 프롤린의 회장소화율에서도 값이 매우 상이하게 나왔으며, 이는 앞서 언급한 아미노산 균형에 따른 문제점으로 사료된다[27]. 표준 회장소화율은 외관상 회장 소화율에 비해 내생 아미노산 발생량까지 고려하기 때문에 원료의 아미노산 소화율에 대한 정확한 평가가 가능하다[21]. 본 연구결과 또한 내생아미노산을 고려하여 분석해본 결과 외관상 회장 소화율에 비해 더 높은 소화율을 나타냈다. 표준 회장소화율 또한, 클로렐라와 라이신 부산물이 기존 대체원으로 사용되던 옥수수 부산물에 비해 우수하게 나타났다. 따라서 단백질원 대체 원료사료로서 활용가치가 매우 크다고 사료된다.

#### 4. 요약 및 결론

라이신의 외관상 회장 소화율에서 클로렐라와 라이신 부산물이 각각 79.1% 및 78.7%로 가장 우수하였으며, 트레오닌의 외관상 회장 소화율은 클로렐라가 81.8%로 가장 높았다. 라이신의 표준 회장 소화율에 클로렐라, 라이신 부산물 및 옥수수 글루텐밀이 각각 80.4%, 79.5% 및 77.0%로 가장 높게 나타났다. 트레오닌의 표준 회장 소화율은 클로렐라가 84.2%로 나타나 다른 원료들에 비해 우수하였다. 본 연구결과를 종합해보면 클로렐라와 라이신 부산물의 외관상 및 표준 회장 아미노산 소화율이 가장 우수하였으며, 돼지 사료 내 옥수수 부산물과 같은 단백질 대체 원료사료로서의 가치가 있음을 시사한다.

#### References

- [1] E. A. Saleh, S. E. Watkins, A. L. Waldroup, P. W. Waldroup, "Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of male broilers grown for further processing", *International Journal of Poultry Science*, Vol.3, No.1, pp.1-10, 2004. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijsps.2004.1.10>
- [2] D. I. Kim, G. I. Jang, D. I. Yoo, J. H. Cho, "Evaluation of apple by-product as protein source in growing pigs diet", *Bulletin of the Animal Biotechnology*, Vol.7, pp.23-26, 2015.
- [3] S. O. Shin, J. H. Cho, H. J. Kim, Y. J. Chen, J. S. Yoo,

- Y. Wang, Y. Huang, I. H. Kim, "Effects of dietary nutrient levels on growth performance, blood urea nitrogen, and meat quality in finishing pigs", *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, Vol.27, No.4, pp.387-391, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2007.27.4.387>
- [4] S. H. An, C. S. Kong, "Calculation of replacement price for alternative feed ingredient in consideration of nutrient content in feed ingredient fed to broiler chickens", *Korean Journal of Poultry Science*, Vol.45, No.2, pp.73-79, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.5536/KJPS.2018.45.2.73>
- [5] F. N. Almeida, G. I. Petersen, H. H. Stein, "Digestibility of amino acids in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.89, No.12, pp.4109-4115, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4143>
- [6] A. R. Son, C. S. Park, K. R. Park, B. G. Kim, "Amino acid digestibility in plant protein sources fed to growing pigs", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol.32, No.11, pp.1745-1752, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0037>
- [7] Y. Li, Z. Li, H. Liu, J. Noblet, L. Liu, D. Li, F. Wang, C. Lai, "Net energy content of rice bran, corn germ meal, corn gluten feed, peanut meal, and sunflower meal in growing pigs", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol.31, No.1, pp.1481-1490, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0829>
- [8] Z. Lyu, Y. Li, H. Liu, E. Li, P. Li, S. Zhang, F. Wang, C. Lai, "Digestibility of amino acids in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs", *Journal of Animal Science*, Vol.96, No.5, pp.1877-1888, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky098>
- [9] Y. She, Y. Su, L. Liu, C. Huang, J. Li, P. Li, D. Li, X. Piao, "Effects of microbial phytase on coefficient of standardized total tract digestibility of phosphorus in growing pigs fed corn and corn co-products, wheat and wheat co-products and oilseed meals", *Animal Feed Science and Technology*, Vol.208, pp.132-144, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.011>
- [10] L. Yan, S. U. Lim, I. H. Kim, "Effect of fermented *Chlorella* supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, fecal microbial and fecal noxious gas content in growing pigs", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol.25, No.12, pp.1742-1747, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12352>
- [11] Y. Zhao, B. Yu, X. Mao, J. He, Z. Huang, Q. Mao, D. Chen, "Effect of dietary bacterial lysine by-product meal supplementation on growth performance and excretion of purine base derivatives in growing-finishing pigs", *Livestock Science*, Vol.149, No.1-2, pp.18-24, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.06.017>
- [12] A. Skrede, H. F. Schøyen, B. Svihus, T. Storebakken, "The effect of bacterial protein grown on natural gas on growth performance and sensory quality of broiler chickens", *Canadian Journal of Animal Science*, Vol.83, No.2, pp.229-237, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.4141/A02-047>
- [13] M. Øverland, N. P. Kjos, E. Olsen, A. Skrede, "Changes in fatty acid composition and improved sensory quality of backfat and meat of pigs fed bacterial protein meal", *Meat Science*, Vol.71, No.4, pp.719-729, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.017>
- [14] W. Sauer, L. Ozimek, "Digestibility of amino acids in swine: Results and their practical applications. A review." *Livestock Production Science*, Vol.15, No.4, pp.367-388, 1986.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(86\)90076-X](https://doi.org/10.1016/0301-6226(86)90076-X)
- [15] H. H. Stein, C. F. Shipley, R. A. Easter, "Technical note: A technique for inserting a T-cannula into the distal ileum of pregnant sows", *Journal of Animal Science*, Vol.76, No.5, pp.1433-1436, 1998.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.7651433x>
- [16] National Research Council, Nutrient requirements of swine, The national academies press, 2012.
- [17] A. Nongyao, In K. Han, Yun J. Choi, N. H. Lee, "Amino acid digestibility as affected by various fiber sources and levels 1. Difference between ileal and fecal digestibility of amino acids", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol.3, No.4, pp.347-351, 1990.  
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.1990.347>
- [18] AOAC, Official methods of analysis (18th ed.). Association of Official Agricultural Chemists. Washington, DC., 2007.
- [19] S. Kavanagh, P. B. Lynch, F. O'Mara, P. J. Caffrey, "A comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs", *Animal Feed Science and Technology*, Vol.89, No.1-2, pp.49-58, 2001.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00237-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00237-6)
- [20] S. Moore, "On the determination of cystine as cysteic acid", *The Journal of Biological Chemistry*, Vol.238, No.1, pp.235-237, 1963.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.7651433x>
- [21] H. H. Stein, M. F. Fuller, P. J. Moughan, B. Seve, R. Mosenthin, A. J. M. Jansman, C. F. M. De Lange, "Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs", *Livestock Science*, Vol.109, No.1-3, pp.282-285, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.019>
- [22] SAS Institute, Statistical Analysis System. Users Guide: Statistics, Version 8.2, Cary, USA, 2012.
- [23] D. Sauvant, J. Perez, G. Tran, Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials. Pigs, Poultry, Cattle, Sheep, Goats, Rabbits, Horses and Fish. 2nd ed. Wageningen Acad. Publ., Wageningen, the



Netherlands, 2004.

- [24] B. A. Slominski, D. Boros, L. D. Campbell, W. Guenter, O. Jones, "Wheat by-products in poultry nutrition. Part I. Chemical and nutritive composition of wheat screenings, bakery by-products and wheat mill run.", *Canadian Journal of Animal Science*, Vol.84, No.3, pp.421-428, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.4141/A03-112>
- [25] H. H. Stein, G. C. Shurson, "BOARD INVITED REVIEW: The use and application of distillers dried grains with solubles (DDGS) in swine diets", *Journal of Animal Science*, Vol.87, No.4, pp.1292-1303, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1290>
- [26] Y. Ji, L. Zuo, F. Wang, D. Li, C. Lai, "Nutritional value of 15 corn gluten meals for growing pigs: chemical composition, energy content and amino acid digestibility", *Archives of Animal Nutrition*, Vol.66, No.4, pp.283-302, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.702466>
- [27] H. H. Stein, B. Sève, M. F. Fuller, P. J. Moughan, C. F. M. de Lange, "Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application", *Journal of Animal Science*, Vol.85, No.1, pp.172-180, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-742>
- [28] M. R. C. de Godoy, L. L. Bauer, C. M. Parsons, G. C. Fahey, "Select corn coproducts from the ethanol industry and their potential as ingredients in pet foods", *Journal of Animal Science*, Vol.87, No.1, pp.189-199, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0596>

최요한(YoHan Choi)

[정회원]



- 2015년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학석사)
- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생명과학전공 (농학박사)
- 2019년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원

<관심분야>

동물영양 및 사양, 동물복지

김동우(Jin-Soo Kim)

[준회원]



- 2019년 2월 : 강원대학교 동물생명시스템학과 (농학석사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 동물산업융합전공 석사과정

<관심분야>

동물영양, 가축사양

김진수(Jin-Soo Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 동물영양학(농학석사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 동물영양학(농학박사)
- 2013년~2016년 : University of Minnesota research fellow
- 2017년 2월 : 강원대학교 동물산업융합 학과 조교수

<관심분야>

동물영양 및 사양, 축사시설