

## 사료 내 베테인 첨가 급여가 비육돈의 영양소 소화율 및 생리학적 변화에 미치는 영향

김기현<sup>1</sup>, 김광식<sup>1</sup>, 김두완<sup>1</sup>, 사수진<sup>2</sup>, 김영화<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립축산과학원, <sup>2</sup>농촌진흥청 기술협력국

### Effects of supplementation of dietary betaine on apparent nutrient digestibility and physiological responses in finishing pigs

Ki-Hyn Kim<sup>1</sup>, Kwang-Sik Kim<sup>1</sup>, Doo-Wan Kim<sup>1</sup>, Soo-Jin Sa<sup>2</sup>, Young-Hwa Kim<sup>1\*</sup>

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

<sup>2</sup>Technology Cooperation Bureau, Rural Development Administration

**요약** 본 연구는 사료 내 베테인의 첨가 급여 시 비육돈의 영양소 소화율 및 생리학적 반응을 조사하기 위하여 실시하였다. 평균 체중 80.1±3.7 kg의 거세 수퇘지 12두를 개별 대사케이지에 공시하였다. 시험사료는 비육돈의 영양소 요구량을 충족하는 시판사료를 기초 대조구 시험사료로 하였으며, 기초사료에 0.5%의 베테인을 첨가한 사료를 처리구 사료로 이용하였다. 시험디자인은 2×2 Latin square 법으로 설계하여 각 Phase 당 7일간 순치기간과 7일간의 시험기간을 두었다. 분석에서 얻어진 결과들에 대하여 처리구간의 통계적 유의성은 student' t-test을 이용하여 검증하였다. 영양소 소화율을 조사한 결과, 베테인 첨가 급여에 의해 건물 및 단백질의 외관상 소화율이 통계적으로 유의하게 각각 1%와 1.3%가 개선되는 것으로 관찰되었다 (p<0.05). 에너지 이용율을 조사한 결과에서도 에너지의 외관상 소화율이 82.3%에서 83.7%로 베테인 급여에 의해 증가되었으며(p<0.05), 이로 인하여 체내 에너지 retention도 약 6% 이상 (대조구 4,057 vs 처리구 4,314 kcal; p<0.01) 유의하게 증가되는 것으로 관찰되었다. 혈중 생화학 성분 및 스트레스 호르몬, 면역단백질, 전염증성 사이토카인을 분석한 결과에서는 베테인 급여에 의한 유의한 영향은 관찰되지 않았다. 요약하자면, 육성돈 사료 내 베테인의 첨가급여는 생리적으로 부정적인 영향 없이 영양소 소화율 및 에너지 이용성 개선에 유의한 효과를 가지며, 이것은 증체량 및 사료효율을 개선하여 생산성을 향상시킬 수 있는 가능성을 시사한다.

**Abstract** This study was conducted to investigate the effects of supplementation of dietary betaine on nutrient digestibility and physiological responses in finishing pigs. A total of twelve pigs with a body weight of 80.1±3.7 kg were individually caged, and randomly assigned to one of the two experimental diets containing 0 (control) or 5 g/kg (treatment) of the betaine in a 2 × 2 Latin square design. The experimental period was 14 days-7 days adaptation and 7 days trial period-per phase. All data for the difference between control and treatment groups were statistically analyzed by student's t-test. Dry matter and crude protein digestibility in the treatment group were significantly improved by 1% and 1.3%, respectively, as compared with those in the control (p<0.05). The apparent absorption of dietary energy was increased from 82.3% to 83.7% by dietary betaine supplementation. Thus, the retention of energy was also significantly increased to above 6% in the treatment group compared with the control group (control 4,057 vs treatment 4,314 kcal; p<0.01). The physiological parameters indicating serum biochemical contents and stress-, immune-, and inflammatory- responses were not changed by the supplementation of dietary betaine. In conclusion, dietary betaine improves the nutrient digestibility without any negative effects in terms of physiology in finishing pigs. It suggests that the supplementation of dietary betaine may increase the productivity through the improvement of weight gain and feeding efficiency.

**Keywords** : Betaine, Digestibility, Energy, Nutrient, Pig, Protein

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

\*Corresponding Author : Young-Hwa Kim (National Institute of Animal Science)

Tel: +82-41-580-3446 email: yhkms@korea.kr

Received August 25, 2016

Revised (1st September 30, 2016, 2nd October 10, 2016)

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

## 1. 서론

아미노산 유래의 비테인은 대부분의 유기체 내에서 질소원자에 3개의 methyl(CH<sub>3</sub>-)기가 결합되어 있는 trimethylglycine의 형태로 존재하는데[1], 가축사료 내 비테인의 공급은 methyl기의 공여자로써 사료 내의 methionine이나 choline 등의 요구량을 줄여줄 수 있다[2]. 동물에서 비테인의 기능으로는 체내에서 아미노산, 지질대사 및 항체형성 등에 중요한 역할을 하며[3-6], 삼투압 조절과 스트레스 저감에도 효과적인 것으로 보고되고 있다[7,8].

국내에서는 가축의 사료 비 절감 차원에서 아미노산 대체제 혹은 단백질 이용성 증진을 목적으로 비테인을 급여하는 연구가 일부 수행되어 증체량 혹은 도체품질 등이 개선되는 효과를 보고하고 있으나[9,10], 혈액학적 특성이나 생리적 변화에 대한 연구는 미미한 실정이다. 한편, 실험동물에서 지질대사에 관련하여 지방간 혹은 비만 관련 인자에 대한 비테인의 연구가 일부 연구자들에 의해 수행되었지만, 축산분야에 있어서 가축에 접목된 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다[11,12].

비테인의 사료 내 이용에 관한 연구는 국외에서 보다 활발하게 진행되고 있는데, 비테인의 급여에 의한 생산성 개선효과는 이미 오래전에 증명 되었으며[13,14], 고온환경 또는 독성 challenge 시험 등 다양한 스트레스 환경 하에서의 비테인 급여에 의한 스트레스 저감 효과를 보고하고 있다[15-17].

국내외의 연구들에서 돼지를 이용한 비테인 급여 효과에 대해서는 주로 증체량, 도체특성, 육질 등에 미치는 영향에 초점을 맞추어 이루어지고 있으며, 사료 내 영양소 소화율 및 생리학적 변화에 대한 연구는 미미한 수준이다. 또한, 비테인은 단백질 합성 및 에너지 대사에 관여하기 때문에 사료 내 단백질과 에너지 함량에 따라서도 영향이 다른 것으로 나타나 연구자들의 시험조건에 따라 일관된 결과가 보고되고 있지 않는 실정이다[18-20].

따라서, 국내 한국사양표준(2012)에서 권장하고 있는 영양소 요구율을 충족하는 조건에서 비육돈 사료 내 비테인 급여가 따른 영양소 소화율 및 이용성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 본 연구는 비육돈 사료 내 비테인을 첨가 급여하였을 때, 영양소 소화율 및 체내 생리반응에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시동물 및 시험디자인

평균 체중 80.1 ± 3.7 kg의 3원교잡종 (Landrace × Yorkshire × Duroc) 거세 수컷 비육돈 12두를 공시하여 2개의 처리구에 12두를 완전 임의 배치법에 의해 각각 6두씩 배치하였다. 시험디자인은 2×2 Latin Square법으로 설계하였다.

### 2.2 시험사료 및 사양관리

본 연구에 이용된 시험사료는 옥수수과 대두박을 기초로 하여 에너지 및 영양수준을 한국사양표준(2012)에서 권장하는 수준을 만족하는 사료를 기초사료로 하여 비테인 비첨가구를 대조구(Con)로 하였으며, 사료 내에 0.5%의 비테인을 첨가한 구를 처리구(TRT)로 설계하였다. 기초시험사료의 영양소 함량은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of basal diet

Chemical composition	contents
Digestible energy, kcal/kg	3,500
Crude protein, %	16.5
Crude fat, %	4.5
Crude Fiber, %	6.0
Crude Ash, %	7.0
Calcium, %	0.5
Phosphorus, %	0.90
Lysine, %	0.95

사양관리 방법은 다음과 같다. 공시축을 스테인레스 개별 대사틀에 입식한 후 7일간의 순치기간을 두었다. 사료급여량은 공시축의 체중에 기초한 대사에너지 요구량의 2배를 산출하여 1일 급여량으로 설정하였다. 급여 방법은 1일 사료급여량을 2회 (09:00시 및 16:00)로 나누어 급여하였으며, 음수는 자유음수를 실시하였다. 사료급여량은 순치기간과 시료채취기간 동안 동일하였다.

Fig. 1.에서는 본 연구에서 수행된 시험디자인을 간략히 도식화해서 나타내었다. 순치 종료 후 시험개시 당일 09:00시에 분 중 마커로써 5 g의 산화철을 사료에 혼합하여 급여(1차)하였으며, 5일 후 다시 한 번 5 g의 산화철을 사료에 혼합하여 급여(2차)하였다. 1차 산화철을

급여한 후 분변에서 산화철이 관찰된 시점부터 2차 산화철 급여한 후 분변에서 산화철이 관찰되는 시점까지 배설된 모든 분과 뇨를 수집하였다. 수집된 분은 80°C 건조기에서 48시간 동안 건조를 실시한 후 분석에 이용하였다. 뇨 중 휘발성 질소의 손실을 예방하기 위하여 소변 1L 당 6N HCl 10 mL를 첨가하여 시료를 수집하였으며, 분석 전까지 -70°C에 냉동 보관하였다. Phase 1의 시료 채취가 종료된 후에 공시축의 체중을 측정하였으며, 공시축의 처리구 재배치 후 Phase 2의 과정을 위의 방법과 동일한 방법으로 실시하였다.

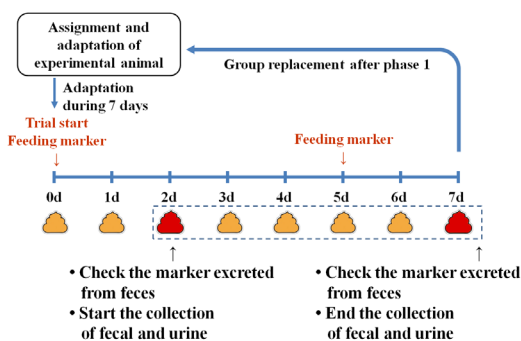


Fig. 1. Experimental Design

### 2.3 분석항목 및 분석방법

#### 2.3.1 외관상 전장 소화율

외관상 전장 소화율을 측정하기 위하여 사료 및 배설된 분, 뇨 중의 일반영양소 (조단백질, 조지방, 조섬유, 조회분, 에너지)를 AOAC (1995) 방법을 이용하여 분석하였다[21]. 영양소 소화율은 분석 치료부터 다음과 같은 공식을 이용하여 산출하였다.

$$\% \text{apparent total tract digestibility} = 100 \times \frac{(\text{consumed nutrients} - \text{fecal nutrient})}{(\text{consumed nutrients})}$$

#### 2.3.2 혈액학적 분석

혈액샘플은 각 Phase 종료 시 채취 전날 16:00에 사료급여 이후부터 17시간 동안 절식 후 채취 당일 09:00 시에 경정맥을 통하여 채취하였다. 채취된 혈액은 2,000 × g, 4°C에서 20분간 원심분리하여 상층의 혈청을 분리한 후 분석 전까지 -70°C 냉동고에 보관하였다. 혈액 내 생화학 성분인 glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), glutamic pyruvic transaminase (GPT), glucose

(GLU), total cholesterol (T-CHO), total protein (T-PRO), triglyceride (TG), blood urea nitrogen (BUN), non-esterified fatty acid (NEFA)의 농도를 자동 생화학 분석기(Hitachi 7180, Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다.

혈중 스트레스 호르몬인 cortisol과 면역학적 반응지표인 immunoglobulin G (IgG) 및 cytokines (interleukin-6, IL-6; tumor necrosis factor-alpha, TNF-α)의 농도는 시판 enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit (cortisol, CSB-E06811p, CUSABIO, CHINA; IgG, E101-104, BETHYL Lab., USA; IL-6, P6000B, R&D systems, USA; TNF-α, PTA00R&D systems, USA)를 사용하여 각 kit의 procedure에 의해 microplate reader로 측정하였다.

### 2.4 통계분석

본 연구에서 분석된 모든 결과는 통계프로그램 SPSS version 17.0을 이용하여 분석하였다. 처리구간의 통계적 유의성은 student' t-test를 이용하여 분석하였으며, 통계적 유의차는 유의수준 0.05 이하에서 인정되었다.

## 3. 분석결과

### 3.1 영양소 소화율

Table 2. Effect of supplementation of dietary betaine on apparent total tract digestibility of nutrients in pigs

Items	Con	TRT	SEM	P value
DM, %	84.9	85.9	0.3	0.036
Crude Protein, %	82.3	84.0	0.4	0.038
Crude Fat, %	63.7	66.4	1.5	0.390
Crude Fiber, %	41.6	45.6	1.3	0.111
Crude Ash, %	37.1	41.0	1.3	0.148

DM, dry matter; Con, non-supplemented betaine; TRT, dietary 0.5% supplemented with betaine; SEM, standard error mean; Significant differences were considered below 0.05.

모든 공시축은 시험기간 동안 체중에 기초한 대사에너지 요구량의 2배를 산출하여 급여하였다. 일당 사료섭취량은 Phase 1과 2에서 각각 1.66 kg±0.01, 1.71 kg±0.01이었다. 비테인 급여에 따른 사료 내 영양소 소화율은 Table 2에 나타내었다. 건물소화율은 비테인 급

여에 의해 대조구 84.9%보다 85.9%로 약 1% 유의하게 증가하는 것으로 관찰되었으며( $p=0.036$ ), 단백질 소화율 또한 대조구 82.3% 보다 비테인 급여구에서 84.0%로 약 1.3%가 개선되는 것으로 나타났다( $p=0.038$ ). 그러나 조지방, 조섬유, 조회분의 소화율에 있어서는 비테인 급여에 의한 효과는 관찰되지 않았다( $p>0.05$ ).

**Table 3.** Effect of supplementation of dietary betaine on energy balance in pigs

Item	Con	TRT	SEM	P value
Energy Intake, kcal	5,486	5,679	39	0.011
Fecal Excretion, kcal	968	922	18	0.213
Apparent Absorption, kcal	4,518	4,756	44	0.004
Digestibility, %	82.3	83.7	0.4	0.046
Urinary excretion, kcal	460	442	30	0.771
Retention, kcal	4,057	4314	46	0.003
Retention of intake, %	74.0	76.0	0.5	0.054
Retention of absorbed, %	89.8	90.7	0.6	0.484

Con, non-supplemented betaine; TRT, dietary 0.5% supplemented with betaine; SEM, standard error mean; Significant differences were considered below 0.05.

비테인 급여에 따른 에너지 balance를 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 일당 에너지 섭취량은 대조구와 비테인 급여구에서 각각 5,486과 5,679 kcal이었으며, 분 중 에너지 배출량은 대조구와 처리구에서 각각 968과 922 kcal로 관찰되었다. 외관상 소화율은 대조구 82.3%에 비하여 비테인 급여구에서 83.7%로 유의하게 증가되는 것으로 나타났다( $p=0.046$ ). 뇨 중으로 배설되는 에너지양은 두 처리구간의 차이가 없는 것(460 kcal in Con vs. 442 kcal in TRT;  $p=0.771$ )으로 관찰되어 체내 에너지 retention은 소화율이 높은 비테인 급여구(4,314 kcal)에서 비급여구(4,057 kcal) 보다 약 6.3%가 유의하게 높은 것으로 나타났다( $p=0.003$ ).

### 3.2 혈액생화학 성분

Table 4는 각종 영양소 대사반응의 지표로써 활용되는 혈중 GLU, T-CHO, T-PRO, TG, BUN, NEFA의 함량과 간수치를 나타내는 GOT, GPT의 농도를 나타내었다. 두 처리구 사이에서 NEFA를 제외한 모든 관찰 지표는 비슷한 수준으로 관찰되었다. 다만, 지질대사의 지표로서 이용되는 NEFA의 경우 통계적인 유의차는 아니지만, 대조구 100.5 mEq/L에 비하여 처리구에서 139.4

mEq/L로 약 40%의 증가가 비테인 급여에 의해 관찰되었다.

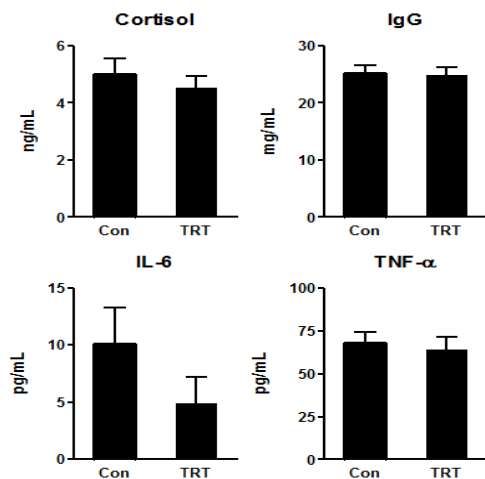
**Table 4.** Effect of supplementation of dietary betaine on serum biochemical parameters in pigs

Item	Con	TRT	SEM	P value
GLU, mg/L	76.0	72.0	1.5	0.181
T-CHO, mg/L	89.3	88.3	2.1	0.831
T-PRO, g/L	6.8	6.6	0.1	0.210
TG, mg/L	20.5	20.4	1.1	0.970
BUN, mg/L	9.8	9.5	0.3	0.615
NEFA, mEq/L	100.5	139.4	16.1	0.235
GOT, IU/L	27.3	27.1	2.7	0.976
GPT, IU/L	43.1	42.9	1.0	0.933

GOT, glutamic oxaloacetic transaminase; GPT, glutamic pyruvic transaminase; GLU, glucose, T-CHO, total cholesterol; T-PRO, total protein; TG, triglyceride; BUN, blood urea nitrogen, NEFA, non-esterified fatty acid; Con, non-supplemented betaine; TRT, dietary 0.5% supplemented with betaine; SEM, standard error mean; Significant differences were considered below 0.05.

### 3.3 혈중 스트레스 호르몬, IgG, cytokines

비테인 급여에 의한 스트레스 반응 정도와 이와 함께 수반되는 면역반응을 조사하기 위하여 혈중의 cortisol, IgG, pro-inflammatory cytokines의 함량을 분석하였다 (Fig. 2).



**Fig. 2.** Effect of supplementation of dietary betaine on serum cortisol, IgG, IL-6 and TNF-α in pigs. Columns and bars present mean and standard error, respectively. Con, non-supplemented betaine; TRT, dietary 0.5% supplemented with betaine

스트레스 호르몬인 cortisol의 혈중 농도는 대조구와 비테인 첨가구에서 각각 5.01 ng/mL와 4.52 ng/mL로 비슷한 수준으로 관찰되었으며 통계적인 유의성 또한 인정되지 않았다. 혈중 면역글로불린인 IgG의 함량과 pro-inflammatory cytokine인 IL-6와 TNF- $\alpha$ 의 함량 또한 두 처리구간의 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

## 4. 고찰

### 4.1 영양소 소화율

본 연구에서는 사료 내 비테인 첨가급여가 비육돈의 체내 영양소 이용성 및 혈중 생리학적 지표들에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

영양소 이용성을 분석한 결과에서 건물 및 조단백질 소화율, 에너지 소화율 및 retention이 유의한 차이를 나타내며 개선되는 것으로 관찰되었다. Schrame 등[2]의 연구에서 사료 내 비테인을 첨가 급여하였을 때 에너지와 단백질의 retention이 증가되는 것으로 관측되어 본 연구와 동일한 결과를 보고하였으며, Kwack 등[22]의 연구에서도 비테인을 사료 내에 0.4% 첨가하였을 때 첨가하지 않은 처리구보다 약 5% 이상의 단백질 소화율이 개선되는 것으로 보고하였다. 한편, Overland 등[18]의 연구에서는 사료 내 비테인의 0.13%를 첨가 급여하였을 때, 사료효율 및 혈중 생화학지표, 영양소 소화율 및 이용성에 대한 유의한 효과를 관찰하지 못하여 본 연구와는 상반된 결과를 보고하였다. 이는 시험설계상의 차이에서 나타날 수 있는 것으로 사료된다. 실제적으로 Overland[18]의 연구에서 비테인 급여수준은 본 연구보다 1/4 수준으로 낮은 수준이었으며, 시험사료 내 단백질과 필수아미노산의 수준은 본 연구보다 높게 설정되어 있었다. 비테인은 사료 내 단백질과 에너지 수준에 따라서 그 효과가 다르게 나타나는 데[20], 본 연구에서는 이러한 효과에 대하여 증명할 수 없지만, 단백질과 아미노산 수준이 낮은 경우에 비테인의 methyl기 대체 효과는 더욱 커질 것으로 예상할 수 있으며 이에 대한 검증이 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

사료 내 비테인의 첨가 급여는 돼지에 있어서 증체량 및 사료효율을 개선시키며 도체성적에도 긍정적인 영향을 미친다는 연구결과가 Matthews 등[23]의 많은 연구자들에 의해 보고되고 있다[13,14]. 본 연구에서는 제

한급여로 인해 증체량 등의 생산성 조사를 실시하지 않았지만, 증가된 에너지 이용성 및 단백질 소화율은 증체량 및 사료효율 개선에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 이는 양돈분야에 있어서 생산성 증진 및 사료비 절감을 위해 사료 내에 생균제, 한방약제 부산물, 효소제 등 다양한 기능성 물질의 첨가 효과에 대한 연구들[24,25]이 활발히 진행되고 있는 가운데 비테인 또한 사료 내 영양소 이용율을 높이기 위한 사료첨가제로써의 이용가능성이 있음을 시사한다.

### 4.2 혈액생화학 성분

혈중 GLU, BUN, NEFA의 함량은 생체내의 에너지 이용성 및 단백질과 지방의 대사상태를 나타내는 지표로서 이용된다[3,4]. 본 연구에서는 비테인 급여에 의해 에너지 이용성과 단백질 소화율이 유의한 수준으로 개선되었지만, 혈중 이들의 함량은 비테인 급여에 의한 영향을 받지 않는 것으로 관찰되었다. Eklund [7]등은 비테인의 급여에 의한 생리학적 변화는 연구자들마다 다른 결과를 보고하고 있다고 주장하였는데, Urbanczyk 등[26]과 Xu 등[27]의 연구에서는 사료 내 비테인을 0.1에서 0.2%까지 급여하였을 때, 혈중 BUN과 TG의 농도는 감소하고 T-CHO의 농도는 증가하는 것으로 관찰하여 본 연구와 상반된 결과를 보고하였다. 한편, 사료 내 비테인의 첨가급여는 돼지만만 아니라 가금류에서도 혈중 NEFA의 수준을 증가시키는 것으로 보고되고 있는데[7], 본 연구에서도 유의적인 차이는 아니지만 비테인 급여구가 대조구에 비해서 높은 수준의 NEFA 함량을 나타내는 것으로 관찰되었다. 다만, 유의한 차이를 얻을 수 없었던 것은 분석에 이용된 시료의 수가 통계적 유의성을 얻기에는 불충분 했던 것으로 사료된다.

이와 반면에, 사료급여를 제한한 조건에서 비테인의 급여효과를 조사한 Fernandez-Figares 등[28]의 연구에 따르면 혈중 BUN 농도는 비테인 급여에 의해 변하지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서도 실험목적상 영양소 소화율 분석을 위하여 제한급여를 실시하여 이들의 연구결과와 일치하는 것을 확인하였다. 또한, Matthews 등[23]의 연구에서는 사료를 제한급여하지 않았지만 비육말기 비육돈에게 비테인을 사료 내에 0.13에서 0.5%까지 첨가 급여하였을 때, 혈중 BUN, T-PRO, TG, HDL (high density lipoprotein)-CHO 등의 생화학성분은 영향을 받지 않는 것으로 보고하였다. 혈중 생화학지표들

은 사료, 온도, 시설, 환경 등의 외인성 요인들뿐만 아니라 가축의 품종, 연령, 생리적 상태 등의 내인성 요인들에 의해서도 영향을 받는데[29], 이들의 작용기전에 대해서는 아직 명확하게 밝혀지지 않았다. 혈중 GOT 및 GPT의 함량 또한 비테인 급여에 의한 영향을 받지 않았는데, 자연계에 존재하는 비테인은 동물체 내에서 독성을 가지지 않는다는 것은 이전의 연구들에 의해서 이미 밝혀져 왔다[30]. GOT, GPT의 혈중 함량이 비테인 급여에 의한 영향을 받지 않는 것은 사료 내 비테인을 0.5% 첨가하였을 때 돼지 체내에서 독성을 띄지 않는다는 것을 의미하며 사료 첨가제로써 이용이 가능하다는 것을 시사한다.

#### 4.3 혈중 스트레스 호르몬, IgG, cytokines

비테인은 다양한 생리학적 기능을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며, 그중 스트레스 저감 효과 또한 잘 알려져 있는 대표적인 기능 중 하나이다. Balkan 등[31]은 기니피그에 비테인 급여시 에탄올로 유도한 산화 스트레스 상황 하에서 혈중 중성지방과 지방산산화물의 함량 및 transaminase 활성을 감소시키고 glutathione의 농도는 증가시켜 산화스트레스에 대한 보호효과를 가지는 것으로 보고하였다. 또한, Hassan 등[32]의 연구에서도 사료 내 비테인 첨가급여는 고온 스트레스에 노출된 토끼의 생산성을 증가시키며, 호흡수 및 면역반응을 개선시키는 데에 긍정적인 효과가 있는 것으로 증명하였다. Dangi 등[33]도 고온 스트레스에 노출된 염소에게 비테인을 급여하였을 경우 heat shock proteins의 mRNA 및 단백질 발현량이 억제되는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 혈중 스트레스 반응의 지표인 cortisol의 농도와 면역반응의 지표인 IgG, 이와 함께 수반되는 염증반응에 대한 지표로서 IL-6와 TNF- $\alpha$ 의 농도를 분석한 결과, 비테인 급여에 따른 변화는 관찰되지 않았으며, 이들의 혈중 농도는 정상범위 내에 속하는 수준으로 관찰되었다. 이는 본 연구의 시험조건상 공식동물들은 어떠한 스트레스 환경에도 노출되지 않았으며, 비테인 또한 가축의 체내에서 스트레스나 면역반응을 유도하는 요인으로 작용하지 않았음을 시사한다. 다른 한편으로, 비테인의 급여는 성장과 관련 있는 호르몬 인자들의 분비량도 증가시킨다는 연구결과가 보고되고 있는데[7], 본 연구에서는 성장관련 호르몬에 대한 비테인의 효과는 구명하지 않았다. 따라서 사료가 제한된 상황 혹은 스트레스 환경 하에

서 비테인 급여에 따른 성장호르몬 인자들의 변화 또한 탐색되어야 할 연구 분야로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 사료 내 비테인의 첨가급여가 비육돈의 영양소 소화율 및 생리학적 반응에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다. 비육돈 사료 내에 비테인을 0.5% 수준으로 첨가 급여할 경우, 건물소화율과 단백질 소화율은 유의한 수준으로 각각 1%와 1.3%가 개선되었다. 또한, 에너지 이용성을 분석한 결과에서 비테인 급여에 의해서 에너지 소화율은 1.4%가 증가하였으며, 에너지 retention은 약 6%가 개선되는 것으로 나타났다. 한편, 체내의 생리생화학적 지표들에서는 사료 내 비테인 급여에 따른 유의미한 영향을 나타내지 않았다. 이는 영양소의 소화율을 개선하고 증체량 및 사료효율 증진을 위한 사료 첨가제로써 비테인의 이용가능성을 시사한다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01088201)의 지원에 의해 이루어진 것임. 본 연구는 2016년도 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연수과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

## References

- [1] J. Sales, A meta-analysis of the effects of dietary betaine supplementation on finishing performance and carcass characteristics of pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 165, pp. 68 - 78, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.02.008>
- [2] J. W. Schrama, M. J. W. Heetkamp, P. H. Simmins, W. J. J. Gerrits, Dietary betaine supplementation affects energy metabolism of pigs. *J. Anim. Sci.*, 81, pp. 1202-1209, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/2003.8151202x>
- [3] L. E. McBreairty, Methionine metabolism in Yucatan miniature swine. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 41, pp. 691. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/apnm-2016-0158>
- [4] R. P. F. Dullaart, E. Garcia, E. Jeyarajah, E. G. Gruppen, M. A. Connolly, Plasma phospholipid transfer protein activity

- is inversely associated with betaine in diabetic and non-diabetic subjects. *Lipids Health Dis.*, 31, pp. 143-148, 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12944-016-0313-5>
- [5] J. Simon, Choline, betaine and methionine interactions in chickens, pigs and fish (including crustaceans). *World's Poult. Sci. J.*, 55, pp. 353-474, 1999.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1079/WPS19990025>
- [6] S. K. Kim, K. H. Choi, Y. C. Kim, Effect of acute betaine administration on hepatic metabolism of S-amino acids in rats and mice. *Biochem. Pharmacol.*, 65, pp. 1565-1574, 2003.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-2952\(03\)00115-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-2952(03)00115-1)
- [7] M. Eklund, E. Bauer, J. Wamatu, R. Mosenthin, Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutr. Res. Rev.*, 18, pp. 31-48, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1079/NRR200493>
- [8] R. R. Alfieri, P. G. Petronini, M. A. Bonelli, S. Desenzani, A. Cavazzoni, A. F. Borghetti, K. P. Wheeler, Roles of compatible osmolytes and heat shock protein 70 in the induction of tolerance to stresses in porcine endothelial cells. *J. Physiol.*, 555, pp. 757-767, 2004.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2003.058412>
- [9] J. H. Park, K. S. Ryu, Relationship between dietary protein levels and betaine supplementation in laying hens. *J. Poult. Sci.*, 48, pp. 217-222, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2141/jpsa.010101>
- [10] H. S. Yang, J. I. Lee, S. T. Joo, G. B. Park, Effects of dietary glycine betaine on growth and pork quality of finishing pigs. *Asian Austral. J. Anim. Sci.*, 22, pp. 706-711, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2009.80645>
- [11] W. C. Sim, H. Q. Yin, H. S. Choi, Y. J. Choi, H. C. Kwak, S. K. Kim, B. H. Lee, L-serine supplementation attenuates alcoholic fatty liver by enhancing homocysteine metabolism in mice and rats. *J. Nutr.*, 145, pp. 206-267, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3945/jn.114.199711>
- [12] C. W. Ahn, Y. J. Choi, S. H. Hong, D. S. Jun, J. D. Na, Y. J. Choi, Y. C. Kim, Involvement of multiple pathways in the protection of liver against high-fat diet-induced steatosis by betaine. *J. Funct. Foods.*, 17, pp. 66-72, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.010>
- [13] J. O. Matthews, L. L. Southern, T. D. Bidner, Estimation of the total sulfur amino acid requirement and the effect of betaine in diets deficient in total sulfur amino acids for the weanling pig. *J. Anim. Sci.*, 79, pp. 1557 - 1565, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/2001.7961557x>
- [14] D. Y. Yu, Z. R. Xu, W. F. Li, Effects of Betaine on Growth Performance and Carcass Characteristics in Growing Pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 17, pp. 1700-1704, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2004.1700>
- [15] A. M. Amerah, V. Ravindran, Effect of coccidia challenge and natural betaine supplementation on performance, nutrient utilization, and intestinal lesion scores of broiler chickens fed suboptimal level of dietary methionine. *Poult. Sci.*, 94, pp. 673-680, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev022>
- [16] F. Rink, E. Bauer, M. Eklund, R. Mosenthin, The effect of betaine on in vitro fermentation of carbohydrate and protein combinations under osmotic stress in pigs. *J. Sci. Food Agr.*, 92, pp. 2486-2493, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5657>
- [17] M. A. M. Sayed, J. Dowing, Effects of dietary electrolyte balance and addition of electrolyte-betaine supplements in feed or water on performance, acid-base balance and water retention in heat-stressed broilers. *Br. Poult. Sci.*, 56, pp. 195-209, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00071668.2014.995594>
- [18] M. Overland, K. A. Rorvik, A. Skrede, Effect of Trimethylamine Oxide and Betaine in Swine Diets on Growth Performance, Carcass Characteristics, Nutrient Digestibility, and Sensory Quality of Pork. *J. Anim. Sci.*, 77, pp. 2143-2153, 1999.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/1999.7782143x>
- [19] B. V. Lawrence, A. P. Schinckel, O. Adeola, K. Cera, Impact of betaine on pig finishing performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 80, pp. 475-482, 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/2002.802475x>
- [20] A. Ratriyanto, R. Mosenthin, E. Bauer, M. Eklund, Metabolic, Osmoregulatory and Nutritional Functions of Betaine in Monogastric Animals. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 22, pp. 1461-1476, 2009.
- [21] AOAC, "Official Methods of Analysis. 15thEd", Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA, 1995.
- [22] S.C. Kwack, J. H. Kim, Y. J. Ha, J. I. Lee, J. R. Lee, J. D. Jung, J. D. Lee, Effects of dietary glycine betaine on the growth performance in pigs. *J. Anim. Sci. Technol.*, 47, pp. 205-220, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5187/JAST.2005.47.2.205>
- [23] J. O. Matthews, L. L. Southern, A. D. Higbie, M. A. Persica, T. D. Bidner, Effects of betaine on growth, carcass characteristics, pork quality, and plasma metabolites in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 79, 722 - 728, 2001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/2001.793722x>
- [24] J. S. Yoo, Y. J. Chen, I. H. Kim, Effects of dietary complex probiotics on growth performance nutrient digestibility and blood characteristics in growing pigs. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.*, 8, pp. 1266-1272, 2007.
- [25] K. S. Shon, J. W. Hong, O. S. Kwon, B. J. Min, J. H. Cho, Y. J. Chen, I. H. Kim, Effects of dietary Astragalus membranaces and dried-onion meal on growth performance and nutrient digestibility in pig diets. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.*, 5, pp. 273-278, 2004.
- [26] J. Urbanczyk, E. Hanczakowska, M. Swiatkiewicz M, The efficiency of betaine and organic chromium compounds according to fattening pig genotype. *Biuletyn Naukowy Przemyslu Paszowego*, 39, 53 - 64. 2000.
- [27] Z. R. Xu, M. Q. Wang, M. Y. Huai, Approach of the mechanism of growth-promoting effect of betaine on swine. *Chinese J. Vet. Sci.*, 19, 399 - 403. 1999.
- [28] I. Fernandez-Figares, D. Wray-Cahen, N. C. Steele, R. G. Campbell, D. D. Hall, E. Virtanen, T. J. Caperna, Effect of dietary betaine on nutrient utilization and partitioning in the young growing feed-restricted pig. *J. Anim. Sci.*, 80, 421 - 428. 2002.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.2527/2002.802421x>
- [29] K. H. Kim, E. S. Cho, K. S. Kim, J. E. Kim, K. H. Seol, S. J. Sa, Y. M. Kim, Y. H. Kim, Effects of stocking density on growth performance, carcass grade and immunity of pigs

housed in sawdust fermentative pigsties. S. Afr. J. Anim. Sci., 46, pp. 294-301, 2016.

- [30] Q. C. Huang, Z. R. Xu, X. Y. Han, W. F. Li, Changes in hormones, growth factor and lipid metabolism in finishing pigs fed betaine. Livest. Sci., 105, pp. 78-85, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.031>
- [31] J. Balkan, S. Öztezcan, M. Küçük, U. Çevikbaş, N. Koçak-Toker, M. Uysal, The effect of betaine treatment on triglyceride levels and oxidative stress in the liver of ethanol-treated guinea pigs. Exp. Toxic Pathol., 55, pp. 505-509, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1078/0940-2993-00347>
- [32] R. A. Hassan, T. A. Ebeid, A. I. Abd El-Lateif, N. B. Ismail, Effect of dietary betaine supplementation on growth, carcass and immunity of New Zealand White rabbits under high ambient temperature. Livest. Sci., 135, pp. 103-109, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.132>
- [33] S. S. Dangi, S. K. Dangi, V. S. Chouhan, M. R. Verma, P. Kumar, G. Singh, M. Sarkar, Modulatory effect of betaine on expression dynamics of HSPs during heat stress acclimation in goat (Capra hircus). Gene, 575, pp. 543-550, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gene.2015.09.031>

**김 기 현(Ki-Hyun Kim)**

[정회원]



- 2009년 8월 : 한경대학교 동물나 농생명과학전공 (농학석사)
- 2013년 3월 : 교토대학교 응용생물과학전공 (농학박사)
- 2013년 4월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후 연구원

<관심분야>

동물영양, 가축사양

**김 광 식(Kwang-Sik Kim)**

[정회원]



- 2016년 2월 : 충북대학교 축산학과(농학석사)
- 2012년 10월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 가축사양

**김 두 완(Du-Wan Kim)**

[정회원]



- 1998년 2월 : 전남대학교 농과대학 축산학과 (축산학학사)
- 2016년 2월 : 전북대학교 축산학과 (식육가공석사)
- 2010년 4월 ~ 현재 : 국립축산과학원 양돈과 농업연구사

<관심분야>

가축사양, 식육

**사 수 진(Soo-Jin Sa)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 강원대학교 축산학과 (농학석사)
- 2006년 2월 : 강원대학교 축산학과 (농학박사)
- 2007년 2월 ~ 2009년 1월 : Nottingham University, 박사후연구원
- 2009년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 농업연구사

<관심분야>

동물번식학, 생명공학

**김 영 화(Young-Hwa Kim)**

[정회원]



- 1997년 2월 : 전남대학교대학원 축산학과 (농학석사)
- 2002년 2월 : 경상대학교대학원 축산학과 (농학박사)
- 1987년 5월 ~ 1991년 12월 : 영천군농촌지도소 농촌지도사
- 1992년 1월 ~ 현재 : 국립축산과학원 농업연구사

<관심분야>

동물영양, 가축사양