

ANIMAL

Effects of different copper sources (inorganic and organic) on the growth performance, fecal excretion, intestinal morphology, and health in growing pigs

Minji Kim¹, Hyunjung Jung¹, Pil-Nam Seong¹, Jin Young Jeong¹, Youl-Chang Baek¹, Seol Hwa Park¹, Chae Hwa Ryu¹, Ki Hyun Kim², Ju Lan Chun², Sang-Ik Oh³, Byeonghyeon Kim^{1*}

¹Animal Nutrition & Physiology Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Animal Welfare Team, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

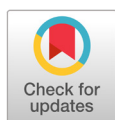
³Division of Animal Disease & Health, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: osorikim619@gmail.com

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of different copper sources (inorganic and organic) on the growth performance, fecal copper excretion, intestinal morphology, and health in growing pigs. A total of 40 growing pigs (30.22 ± 1.92 kg) were randomly assigned to 5 dietary treatments: a basal control diet (CON), 4 experimental diets supplemented with either copper sulfate (CuSO₄), Cu-glycine complex (CuGly), Cu-amino acid complex (CuAA), or Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex (CuHMB) at 100 ppm, respectively. At the end of the study (28 days), fecal and blood samples were collected, and the pigs were slaughtered to determine the intestinal morphology. During the 28 days of the experimental period, pigs fed the inorganic and organic copper showed a higher average daily gain ($p < 0.01$) and gain feed ratio ($p < 0.01$). There were no differences in mineral concentrations of the serum; however, the copper concentration of the feces was lower ($p < 0.01$) in the CuAA and CuHMB groups. The intestinal morphology and blood profiles did not significantly differ between the groups. In conclusion, the organic copper sources (CuAA and CuHMB) can be used as a growth promoter to replace the CuSO₄ without any negative effects on health in growing pigs and to reduce fecal copper excretion.

Keywords: copper, fecal excretion, growing pigs, growth performance



OPEN ACCESS

Citation: Kim M, Jung H, Seong PN, Jeong JY, Baek YC, Park SH, Ryu CH, Kim KH, Chun JL, Oh SI, Kim B. Effects of different copper sources (inorganic and organic) on the growth performance, fecal excretion, intestinal morphology, and health in growing pigs. Korean Journal of Agricultural Science 48:447-454. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210034>

Received: May 24, 2021

Revised: June 24, 2021

Accepted: June 30, 2021

Copyright: © 2021 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

구리는 항균작용을 통해 성장을 촉진시키는 필수 미량광물질로 알려져 있다(Shurson et al., 1990). 이유자돈에게 급여시 성장률이 증가하는 긍정적인 효과를 보여주었으며 이러한 효과로 인해 양돈 사료 내 첨가를 하고 있다(Lee et al., 2001; Liao et al., 2018). 하지만, 사료 내 높은 수

준의 구리 첨가는 분변 내 구리 배출량을 증가시킬 뿐만 아니라 가축의 분변으로 인한 토양과 수질 오염의 부작용이 발생한다(Lee et al., 2016; Liao et al., 2017). 이러한 환경 문제를 줄이기 위해 구리 첨가 수준을 낮추거나 구리의 생체 이용률이 높다고 알려진 유기태 구리를 사용하는 방법이 있다(Liao et al., 2017).

현재 가장 많이 사용되는 구리 형태는 무기태인 황산구리(CuSO_4)이다. 하지만, 동물 사료에 주로 사용되는 식물성 원료인 옥수수과 대두박에 존재하는 phytic acid는 CuSO_4 와 결합하여 체내 구리 흡수를 억제하여 이용 효율을 감소시킬 수 있다(Liu et al., 2014). 반면에, 유기태 구리는 phytic acid와 결합을 형성하지 않아 구리의 흡수 및 소화가 잘 될 수 있다(Liu et al., 2014). 뿐만 아니라, 유기태 구리는 무기태 구리에 비해 생체 이용률이 상대적으로 높아 체내 축적이 잘되며 분으로 적게 배출될 수 있다(Huang et al., 2010a; Zhao et al., 2014; Espinosa and Stein, 2021).

이전 연구결과에 의하면 유기태와 무기태 구리를 이유사돈에게 급여시 일당증체량이 증가하고 설사율이 감소하는 긍정적인 효과를 보여주었지만(Carpenter et al., 2019; Lin et al., 2020), 육성비육 기간 동안에는 유기태와 무기태 구리 급여가 성장률에 미치는 영향이 적었다(Huang et al., 2010a; 2010b; Zhao et al., 2014; Coble et al., 2018). 또한 사료 내 높은 함량의 CuSO_4 사용은 십이지장 및 공장 의 용모 길이를 감소시키고 혈액 내 생화학 지표의 변화를 일으키게 된다(Fry et al., 2012; Liao et al., 2017). 하지만, 유기태 구리의 성장 촉진 효과, 구리 분 배출량 감소 및 돼지의 건강에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 부족하고 객관적인 효능 검증이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 육성돈 사료에 CuSO_4 와 세 종류의 유기태 구리(Cu-glycine complex [CuGly], Cu-amino acid complex [CuAA] 및 Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex [CuHMB])를 첨가 및 급여하여 성장률, 분 내 구리 배출량, 장 형태학 및 혈액 생화학 분석을 통해 돼지에 미치는 영향을 평가하고자 수행되었다.

Materials and Methods

본 연구는 국립축산과학원 동물사육시설에서 실시되었으며 동물실험윤리위원회(IACUC) 운영 규정을 준수하고 승인을 받았다(No. 2020-1849).

공시동물, 처리구 및 실험 설계

시험 동물은 체중 30.22 ± 1.92 kg 육성돈 40두를 공시하였다. 처리구는 총 5개 처리구가 있으며 처리구당 8두씩(8반복 및 1두/펜) 체중을 고려하여 임의 배치하였다. 처리구로는 대조구(CON), 무기태 처리구(CuSO_4)와 세개의 유기태 처리구(Cu-glycine complex [CuGly], Cu-amino acid complex [CuAA] 및 Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex [CuHMB])들이 있다. 시험기간은 총 4주동안 진행되었으며 급여 사료는 옥수수 및 대두박 위주로 한국돼지사양표준(NIAS, 2017) 영양소 요구량 이상 배합한 사료를 물과 함께 무제한 급여 하였다. 또한 무기태와 유기태 구리 처리구는 각 제품들을 100 ppm 추가 배합하여 급여하였다. 시험 사료의 원료 및 화학적 조성은 Table 1과 같다.

조사항목 및 조사방법

돼지의 개시체중(initial body weight, IBW)과 종료체중(final body weight, FBW)을 측정하여 일당증체량(average daily gain, ADG), 일당사료섭취량(average daily feed intake, ADFI) 및 사료효율(gain : feed)을 계산하였으며 시험 마지막 날(28 days) 혈액을 경정맥으로부터 채취하여 혈청 튜브에 보관하였다. 채취한 혈액은 생화학 및 광물질 분석에 이용되었으며 분 내 구리 함량을 측정하기 위해 분을 채취하였다. 그 후, 도축을 하고 공장 의 용모 길이 및 음와 깊이를 측정하기 위해 샘플 채취 및 내용물 제거 후 10% buffered formalin에 침지시켰다.

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

Item	Ratio (%)
Ingredient	
Corn	64.60
Soybean meal, 45%	20.50
Wheat bran	8.90
Soybean oil	2.00
Molasses	1.50
Limestone	0.75
Tricalcium phosphate	0.55
L-lysine	0.40
Salt	0.30
Vitamin-mineral premix ^z	0.50
Calculated composition	
Metabolizable energy (kcal·kg ⁻¹)	3,300
Crude protein	16.00
Crude fat	4.80
Lysine	1.01
Methionine + cysteine	0.48
Calcium	0.53
Phosphorus	0.46
Ash	4.47

^z Supplied per kg of diet: Vit A, 5,000,000 IU; Vit D₃, 1,000,000 IU; Vit E, 1,000 mg; Vit B₁, 150 mg; Vit B₂, 300 mg; Vit B₁₂, 1,500 mg; niacin amide, 1,500 mg; DL-calcium pantothenate, 1,000 mg; folic acid, 200 mg; Vit H, 10 mg; choline chloride, 2,000 mg; Mn, 3,800 mg; Zn, 1,500 mg; Fe, 4,000 mg; Cu, 500 mg; I, 250 mg; Co, 100 mg; Mg, 200 mg.

혈액 내 광물질 및 분 내 구리 분석

샘플 내 광물질 분석 항목은 혈액의 경우 철, 구리, 황 및 칼슘이고 분의 경우 구리이다. 분석은 유도결합 플라즈마 발광광도법을 이용하여 ICPS-7510 (Shimadzu, Tokyo, Japan)으로 수행되었으며 기기 설정 값은 다음과 같다: plasma gas flow = 1.0 L·min⁻¹, RF power = 0.8 kW.

장 형태학 분석

고정된 공장 조직 샘플을 탈수 및 파라핀으로 블록을 제작 후 5 µm 두께로 rotary microtome (Leica RM 2245, Leica Microsystems, Tokyo, Japan)을 사용하여 잘라낸 후 유리 슬라이드에 고정시켰다. 그 후 슬라이드를 hematoxylin and eosin 염색을 하였다. 염색이 된 슬라이드는 스캐너(NanoZoomer Digital Pathology System, Hamamatsu Co., Bridgewater, NJ, USA)를 이용해 용모 사진을 스캔하였다. 각 처리구당 3개의 용모를 임의로 선택하여 ImageJ software (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA)를 사용하여 용모 길이(villus height), 음와 깊이(crypt depth) 및 용모 너비(villus width)를 측정하였다.

혈액 생화학 분석

혈액 생화학 분석을 하기 위해 채취한 혈액으로부터 혈청을 채취하기 위해 15분 동안 원심분리(1,800 × g) 하였으며 분리된 혈청을 새로운 튜브에 옮긴 후 분석을 위해 -80°C에 보관 하였다. 생화학 분석은 분석기(Catalyst Dx, IDEXX Labs Inc., Westbrook, USA)를 사용하여 분석하였으며 분석 항목은 다음과 같다: 글루코오스(glucose), 크레아

틴(creatine), 혈액요소질소(blood urea nitrogen, BUN), 총 단백(total protein), 알부민(albumin), 글로불린(globulin), alanine aminotransferase (ALT), alkaline phosphatase (ALP), gamma-glutamyl transferase (GGT) 및 콜레스테롤(cholesterol).

통계 분석

통계 분석은 SAS version 9.4 (SAS, 2009)를 사용하여 GLM procedures를 이용해 분석하였으며 실험단위(experimental unit)로 각 공시동물을 이용하였다. 또한 각 처리구 평균간 차이를 비교하고자 Tukey's multiple comparison test (SAS, 2009)를 이용하였다. 결과값은 평균과 standard error of the means (SEM)로 표기하였으며 유의성 검정은 95% 유의수준으로 분석하였다.

Results and Discussion

유기태와 무기태 구리 첨가사용이 성장률 차이의 유무에 대해 서로 다른 의견이 나오고 있다(Pluske et al., 2002; Huang et al., 2010a; 2010b; Zhao et al., 2014; Liao et al., 2018). 문헌에 따르면 유기태가 무기태에 비해 성장률에 더 좋으며 그 이유가 구조적차이에 따른 생체이용률의 차이 때문이라고 설명하고 있다(Fry et al., 2012; Liu et al., 2014; Zhao et al., 2014). 유기태 구리의 경우 아미노산과 같은 다른 물질과 킬레이트(chelate) 결합을 통해 고리 형태의 화학 구조를 형성하게 된다(Yenice et al., 2015). 킬레이트는 유기태 구리가 무기태 구리와 다른 경로로 장관을 통해 쉽게 흡수될 수 있도록 도와주는 역할을 하게 된다(Yenice et al., 2015). 따라서 이러한 역할은 유기태가 무기태에 비해 체내 흡수 및 간에 저장하는 것이 효과적이다(Zhao et al., 2014). 본 연구에서 CuSO_4 와 다른 유기태 구리와의 성장률 차이를 본 결과(Table 2), 구리첨가는 무기태 구리와 유기태 구리 처리구 모두 성장성 측면에서 긍정적인 효과를 보였다. CuSO_4 처리구와 CuHMB처리구에서의 FBW가 대조구에 비해 유의적으로 높았으며($p = 0.020$), ADG의 경우 무기태와 유기태 처리구 모두 대조구에 비해 높았다($p = 0.001$). CuSO_4 를 첨가한 처리구에서 ADFI가 다른 처리구들에 비해 높았지만($p < 0.001$), gain : feed를 측정할 결과 CuSO_4 처리구와 다른 유기태 처리구 간의 차이는 없었다. 따라서 무기태와 유기태 구리 첨가는 대조구에 비해 성장률이 증가하는 긍정적인 효과를 보였지만, 무기태와 유기태 간의 성장 촉진 효과 차이는 없었다. 이전 연구결과에서 무기태와 유기태 구리를 이유자돈에게 급여하였을 때 ADG 및 ADFI가 증가하였으며 유기태가 무기태에 비해 더 높은 ADG와 ADFI결과를 보여주었다(Carpenter et al., 2019). 또한 육성기 초기에 무기태 구리 급여시 ADG가 2.4% 증가하였으며 $160 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 의 CuSO_4 와 CuHMB 급여시 성장률에 긍정적인 효과를 보여주었다(Zhao et al., 2014; Coble et al., 2018). 하지만, 이전 연구결과에서도 유기태와 무기태 처리구간의 성장률 차이는 보이지 않았다(Zhao et al., 2014).

Table 2. Effect of different copper (Cu) sources on growth performance in growing pigs ($n = 8 \cdot \text{treatment}^{-1}$).

Item	Dietary treatment ^z					SEM	p-value
	CON	CuSO_4	CuGly	CuAA	CuHMB		
IBW (kg)	29.08	30.85	30.50	29.83	30.83	0.78	0.460
FBW (kg)	44.26b	48.45a	47.93ab	47.41ab	48.53a	0.96	0.020
ADG (g)	542.26b	628.57a	622.62a	627.68a	632.14a	15.52	0.001
ADFI (g)	1,878.46bc	1,901.55a	1,857.76d	1,882.22b	1,867.39cd	3.40	<0.001
Gain : feed	0.28b	0.33a	0.33a	0.33a	0.33a	0.008	0.001

SEM, standard error of the means; IBW, initial body weight; FBW, final body weight; ADG, average daily gain; ADFI, average daily feed intake.

^z CON, control diet; CuGly, Cu-glycine complex; CuAA, Cu-amino acid complex; CuHMB, Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex.

a - d: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($p < 0.05$).

본 연구결과에서 혈액 내 미네랄의 농도를 측정된 결과(Table 3), 철, 구리, 황 및 칼슘 농도는 처리구간 차이가 없었다. 하지만, 이전 연구결과에 의하면 유기태가 무기태에 비해 소화율이 높고 섭취한 양에 비해 체내에 축적이 잘 되며 혈액 내 구리 함량이 더 높았다(Liu et al., 2014). 하지만, 이전 연구결과에 의하면 650 g·t⁻¹의 무기태 구리(CuSO₄)와 640 g·t⁻¹의 유기태 구리(N-carbamylglutamate chelate, NCG-Cu)를 이유자돈에게 급여한 결과 두 처리구 모두 혈액 내 구리 함량은 대조구에 비해 차이가 없었다(Liao et al., 2017). 또한 170 ppm의 유기태 구리(Cu amino-chelate와 Cu lysine)와 무기태 구리(CuSO₄)를 이유자돈 사료에 첨가 및 급여한 결과 혈액 내 구리 함량이 서로 차이가 없었다(Lee et al., 2001). 따라서 본 연구결과에서 혈액 내 구리 함량이 처리구간 차이가 없는 이유는 구리 첨가 농도가 이전 연구결과에 비해 낮았고 유기태 구리의 종류 차이 때문이라고 판단된다(Lee et al., 2001; Liao et al., 2018). 혈액 내 구리 함량과 달리 대조구의 분 내 구리 함량은 다른 유기태 구리 처리구들에 비해 유의적으로 낮게 배출되었다(Table 3; $p < 0.001$). CuSO₄처리구와 유기태 구리 처리구 결과를 비교해 보면 CuSO₄처리구의 구리 배출량은 CuGly처리구와 차이가 없었지만, 나머지 유기태 처리구(CuAA 와 CuHMB)에 비해 높았다($p < 0.001$). 이전 연구결과에 의하면 유기태 구리 첨가 사용은 무기태 구리에 비해 분 구리 배출량이 낮았으며 환경 보호 측면에서 긍정적이라고 보고되었다(Huang et al., 2010a; 2010b). 또한 이전 연구결과에서 혈액 내 구리 함량이 처리구간 차이가 없었지만, 무기태와 유기태 구리를 급여하였을 때 간이나 신장에서 구리 함량이 증가한 것으로 보아 유기태 구리는 생체이용률이 높아 체내에 축적이 잘 되는 것으로 판단된다(Liao et al., 2017).

Table 3. Effects of different copper (Cu) sources on mineral concentrations (mg·L⁻¹) of serum and feces in growing pigs (n = 8·treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment ^z					SEM	p-value
	CON	CuSO ₄	CuGly	CuAA	CuHMB		
Serum							
Fe	2.05	1.13	1.30	1.04	0.88	0.44	0.394
Cu	0.77	0.88	0.67	0.78	0.78	0.07	0.400
S	868.13	858.63	836.08	836.59	875.63	19.62	0.503
Ca	148.35	147.98	150.20	145.34	150.32	3.31	0.823
Feces							
Cu	48.53d	186.71a	169.50ab	114.27c	140.36bc	7.37	< 0.001

SEM, standard error of the means.

^z CON, control diet; CuGly, Cu-glycine complex; CuAA, Cu-amino acid complex; CuHMB, Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex.

a - d: Values with different superscripts in the same row are significantly different ($p < 0.05$).

사료 내 과도한 구리 첨가 사용은 분 배출량 증가뿐만 아니라 장관 내 산화스트레스를 유발하게 된다. CuSO₄ (225 mg·kg⁻¹)를 이유자돈에 급여시 십이지장과 공장에서 용모의 길이가 감소하였다(Fry et al., 2012). 반면에 그보다 낮은 함량(200 ppm)을 급여하면 십이지장과 공장의 용모 길이가 증가하고 음와 깊이는 감소하였다(Zhao et al., 2007). 또한 유기태 구리는 용모 형태를 발달시켜 소화 및 흡수 기능 강화에 기여할 수 있다(Chabaev et al., 2020). 하지만, 본 연구결과에서 용모 길이 및 음와 깊이는 처리구간 차이가 없었으며(Table 4), 이는 낮은 함량(100 ppm)에 의해 효과가 적은 것으로 판단된다.

사료 내 높은 구리 함량으로 인해 체내에 과도하게 축적이 되면 간이나 신장에 영향을 주게 되고 이러한 영향은 혈액 생화학 분석을 통해 알 수 있다(Hyder et al., 2013). 특히, ALT는 간세포가 영향을 받게 되면 민감하게 반응하는 물질이다(Liao et al., 2017). 높은 함량의 CuSO₄를 이유자돈에게 급여할 경우 혈액 내 ALT 수치가 증가하지만 유기태

구리는 증가하지 않았다(Liao et al., 2018). 또한 이전 연구결과에서 CuSO_4 는 유기태 구리에 비해 혈액 내 creatine, total protein 및 albumin 수치를 증가시켰지만 유기태 구리는 영향을 주지 않았다. 그러므로 높은 함량의 구리 첨가 및 지속적인 급여는 돼지의 건강에 해로울 수 있다(Liao et al., 2017). 본 연구결과에서 처리구간 혈액 생화학 지표를 비교한 결과 유의적인 차이가 없었다(Table 5). 따라서 본 연구에서 사용된 구리 첨가 함량(100 ppm)은 돼지의 건강에 부정적인 영향을 끼치지 않았음을 알 수 있다.

Table 4. Effects of different copper (Cu) sources on intestinal morphology in growing pigs (n = 8·treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment ^z					SEM	p-value
	CON	CuSO_4	CuGly	CuAA	CuHMB		
Villus height (VH, μm)	102.84	102.45	112.79	113.45	110.30	7.66	0.744
Crypt depth (CD, μm)	54.77	45.98	51.68	52.56	56.79	4.32	0.491
VH : CD	1.87	2.29	2.30	2.23	2.05	0.20	0.521
Villus width (μm)	32.14	30.42	25.76	30.45	29.30	2.29	0.401

SEM, standard error of the means.

^z CON, control diet; CuGly, Cu-glycine complex; CuAA, Cu-amino acid complex; CuHMB, Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex.

Table 5. Effects of different copper (Cu) sources on serum parameters in growing pigs (n = 8·treatment⁻¹).

Item	Dietary treatment ^z					SEM	p-value
	CON	CuSO_4	CuGly	CuAA	CuHMB		
Glucose ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	79.00	75.25	83.00	81.87	82.87	2.84	0.273
Creatine ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	0.94	0.88	0.93	0.93	0.90	0.05	0.920
BUN ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	5.63	7.00	6.38	6.38	6.63	0.49	0.396
Total protein ($\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	6.24	6.33	6.13	6.21	6.19	0.10	0.716
Albumin ($\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	3.20	3.14	3.14	3.19	3.16	0.06	0.941
Globulin ($\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	3.04	3.19	2.99	6.85	3.03	1.75	0.444
ALT ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	57.30	54.60	56.40	59.10	51.50	3.39	0.582
ALP ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	156.38	180.13	187.75	170.75	165.25	14.47	0.582
GGT ($\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$)	24.00	16.60	16.90	18.50	20.60	3.97	0.669
Cholesterol ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	62.50	64.60	57.80	67.00	63.10	3.75	0.520

SEM, standard error of the means; BUN, blood urea nitrogen; ALT, alanine aminotransferase; ALP, alkaline phosphatase; GGT, gamma-glutamyl transferase.

^z CON, control diet; CuGly, Cu-glycine complex; CuAA, Cu-amino acid complex; CuHMB, Cu-hydroxy-4-methylthio butanoate chelate complex.

Conclusion

무기태(CuSO_4)와 유기태(CuGly, CuAA 및 CuHMB) 구리를 육성돈 사료 내 100 ppm 첨가 및 급여시 일당증체량 및 사료효율이 증가하였다. 하지만, 유기태와 무기태 구리 종류 차이에 따른 효과는 없었다. 혈액 내 구리 함량은 처리구간 차이를 보이지 않았으나 유기태 구리를 첨가한 처리구들(CuAA와 CuHMB)에서 분으로 배출되는 구리 함량이 CuSO_4 처리구보다 적었다. 또한 본 연구에서 육성돈 사료에 첨가된 무기태와 유기태 구리 함량은 육성돈의 건강에 부정적인 영향이 없었으며 유기태 구리(CuAA와 CuHMB)를 사용하는 것이 환경적 측면에서 구리 배출량 감소에 기여할 수 있을 것이다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Aknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01493601)의 지원과 2021년도 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

Minji Kim, 0000-0003-2106-1921

Hyunjung Jung, 0000-0002-7004-2017

Pil-Nam Seong, 0000-0003-2915-1059

Jin Young Jeong, 0000-0002-8670-7036

Youl-Chang Back, 0000-0003-4454-5339

Seol Hwa Park, 0000-0002-7218-8212

Chae Hwa Ryu, 0000-0002-7753-0929

Ki Hyun Kim, 0000-0002-9834-2126

Ju Lan Chun, 0000-0002-4618-586X

Sang-Ik Oh, Division of Animal Disease & Health, National Institute of Animal Science, Researcher

Byeonghyeon Kim, 0000-0003-4651-6857

References

- Carpenter CB, Woodworth JC, Derouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Dritz SS, Dritz SS, Wu F, Usry JL. 2019. Effects of increasing copper from tri-basic copper chloride or a copper-methionine chelate on growth performance of nursery pigs. *Translational Animal Science* 3:58-64.
- Chabaev MG, Nekrasov RV, Strekozov NI, Tsis EY, Klementyev MI. 2020. Effects of different levels and forms of chelated metal proteinates on productive performance and metabolic processes in fattening young pigs. *Russian Agricultural Sciences* 46:161-166.
- Coble KF, Burnett DD, DeRouchey JM, Tokach MD, Gonzalez JM, Wu F, Dritz SS, Goodband RD, Woodworth JC, Pluske JR. 2018. Effect of diet type and added copper on growth performance, carcass characteristics, energy digestibility, gut morphology, and mucosal mRNA expression of finishing pigs. *Journal of Animal Science* 96:3288-3301.
- Espinosa CD, Stein HH. 2021. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 12:1-12.
- Fry RS, Ashwell MS, Lloyd KE, O'Nan AT, Flowers WL, Stewart KR, Spears JW. 2012. Amount and source of dietary copper affects small intestine morphology, duodenal lipid peroxidation, hepatic oxidative stress, and mRNA expression of hepatic copper regulatory proteins in weanling pigs. *Journal of Animal Science* 90:3112-3119.

- Huang Y, Yoo JS, Kim HJ, Wang Y, Chen YJ, Cho JH, Kim IH. 2010a. The effects of different copper (inorganic and organic) and energy (tallow and glycerol) sources on growth performance, nutrient digestibility, and fecal excretion profiles in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23:573-579.
- Huang Y, Zhou TX, Lee JH, Jang HD, Park JC, Kim IH. 2010b. Effect of dietary copper sources (cupric sulfate and cupric methionate) and concentrations on performance and fecal characteristics in growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 23:757-761.
- Hyder MA, Hasan M, Mohieldein AH. 2013. Comparative levels of ALT, AST, ALP and GGT in Liver associated diseases. *European Journal of Experimental Biology* 3:280-284.
- Lee DS, Lee JB, Lee MY, Joo RN, Lee KS, Min SW, Hong BD, Chung DY. 2016. Chemical properties of liquid swine manure for fermentation step in public livestock recycling center. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:424-431. [in Korean]
- Lee SH, Choi SC, Chae BJ, Acda SP, Han YK. 2001. Effects of feeding different chelated copper and zinc sources on growth performance and fecal excretions of weanling pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 14:1616-1620.
- Liao P, Li M, Li Y, Tan X, Zhao F, Shu X, Yin Y. 2017. Effects of dietary supplementation with cupreous N-carbamylglutamate (NCG) chelate and copper sulfate on growth performance, serum biochemical profile and immune response, tissue mineral levels and fecal excretion of mineral in weaning piglets. *Food and Agricultural Immunology* 28:1315-1329.
- Liao P, Shu X, Tang M, Tan B, Yin Y. 2018. Effect of dietary copper source (inorganic vs. chelated) on immune response, mineral status, and fecal mineral excretion in nursery piglets. *Food and Agricultural Immunology* 29:548-563.
- Lin G, Guo Y, Liu B, Wang R, Su X, Yu D, He P. 2020. Optimal dietary copper requirements and relative bioavailability for weanling pigs fed either copper proteinate or tribasic copper chloride. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 11:1-15.
- Liu Y, Ma YL, Zhao JM, Vazquez-Añón M, Stein HH. 2014. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *Journal of Animal Science* 92:3407-3415.
- NIAS (National Institute of Animal Science). 2017. Korean feeding standard for swine. NIAS, RDA, Wanju, Korea. [in Korean]
- Pluske JR, Pethick DW, Hopwood DE, Hampson DJ. 2002. Nutritional influences on some major enteric bacterial diseases of pig. *Nutrition Research Reviews* 15:333-371.
- SAS (Statistical Analysis System). 2009. SAS user's guide. Version 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shurson GC, Ku PK, Waxler GL, Yokoyama MT, Miller ER. 1990. Physiological relationships between microbiological status and dietary copper levels in the pig. *Journal of Animal Science* 68:1061-1071.
- Yenice E, Mızrak C, Gültekin M, Atik Z, Tunca M. 2015. Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. *Biological Trace Element Research* 167:300-307.
- Zhao J, Allee G, Gerlemann G, Ma L, Gracia MI, Parker D, Vazquez-Anon M, Harrell RJ. 2014. Effects of a chelated copper as growth promoter on performance and carcass traits in pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27:965-973.
- Zhao J, Harper AF, Estienne MJ, Webb KE, McElroy AP, Denbow DM. 2007. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray-dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments. *Journal of Animal Science* 85:1302-1310.