

형태별 구리 및 아연 급여가 비육돈의 생산성, 영양소 소화율, 도체 및 육질 특성에 미치는 영향

김영화¹ · 유종상 · 박준철¹ · 정현정¹ · 조진호 · 진영걸 · 김해진 · 김인철¹ · 이상진¹ · 김인호*
단국대학교 동물자원과학과, ¹농촌진흥청 축산연구소

Effects of Copper and Zinc Sources on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Carcass Traits and Meat Characteristics in Finishing Pigs

Y. H. Kim¹, J. S. Yoo, J. C. Park¹, H. J. Jung¹, J. H. Cho, Y. J. Chen,
H. J. Kim, I. C. Kim¹, S. J. Lee¹, and I. H. Kim*

Department of Animal Resource & Science, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea
¹Swine Research Division, National Livestock Research Institute, RDA, Suwon 441-706, Korea

ABSTRACT

This study investigated the effects of copper and zinc sources on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits and meat characteristics in finishing pigs. Dietary treatments included 1) inorganic copper ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30 ppm), 2) organic copper (Cu-methionine, 30 ppm), 3) inorganic zinc (ZnO , 80 ppm) and 4) organic zinc (Zn-methionine, 80 ppm). ZnO treatment improved the ADFI (average daily feed intake) compared to Cu-met and Zn-met treatments ($p < 0.05$) during 5 weeks of treatment. However, during the entire experimental period, the ADG (average daily gain), ADFI and F:G ratio (feed conversion ratio) were not significantly different among the treatments ($p > 0.05$). DM and N digestibility were not significantly different among the treatments after 5 weeks ($p > 0.05$). At the end of the experiment, DM and N digestibility were decreased with Zn-met treatment relative to the other three treatments. The pH value of meat from CuSO_4 treated pigs was greater than Zn-met and ZnO treated pigs ($p < 0.05$). Sensory evaluation was carried out for randomly selected ($n = 16$) paired loin samples. Meat color levels were increased ($p < 0.05$) with Cu treatments compared to Zn treatments. CuSO_4 decreased the marbling of meat relative to the other treatments ($p < 0.05$). The firmness was greater with ZnO treatment compared to Cu-met and ZnO treatments ($p < 0.05$). These results indicate that inorganic Zn can improve growth performance, however, inorganic Cu and Zn are as effective as organic Cu and Zn at improving nutrient digestibility, carcass traits and meat quality. This form of organic additive can be friendlier to the environment than inorganic supplements.

Key words: copper, zinc, growth performance, nutrient digestibility, meat and carcass characteristics

서 론

현재 세계적으로 축산분뇨로 인한 환경오염은 매우 심각하게 대두되고 있으며, 우리나라도 양축업이 규모화 및 기업화됨에 따라 가축으로부터 배출된 분뇨가 수질 및 토양오염원이 되고 있다. 따라서, 정부에서는 축산폐수에 의한 환경오염을 인지하고 환경관련법을 강화하였으며, 사료내 광물질 첨가 수준을 규제하였다. 그러나, 가축의 고

능력화로 인하여 영양소 요구량뿐만 아니라 광물질의 요구량 또한 증가하고 있어 현재 아미노산을 함유한 유기태 광물질 첨가에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

사료내 아연을 NRC(1998)의 요구량과 비교하여 많이 첨가하는 이유는 metalloenzyme들의 구성성분으로, 면역, 번식, 비유 등 다양한 신체기능에 관여하며, 단백질, 탄수화물, 그리고 지질의 대사에서 중요한 역할을 수행하기 때문이다. 이유자돈에게 ZnO 형태로 높은 수준의 아연을 공급할 때 이유직후 설사 발생율이 감소하고, 사양성적을 향상시킨다(Kavanagh, 1992; Hahn and Baker, 1993). 하지만 사료내 높은 수준의 구리와 아연을 성장 개선의 목적으로 사료에 첨가 급여시 독성 문제 및 분을 통한 배설로 인해

*Corresponding author : In Ho Kim, Department of Animal Resource & Science, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea. Tel: 82-41-550-3652, Fax: 82-41-550-3604, E-mail: inhokim@dankook.ac.kr

토양 및 수질오염을 일으킬 수 있다. 따라서 체내 이용률이 낮은 무기태 광물질의 첨가에 대한 문제점을 보완하기 위하여 생체 이용률이 높은 새로운 형태의 광물질 개발에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 형태는 아미노산과 저분자 펩타이드(Miller *et al.*, 1972; McNaughton *et al.*, 1974; Zoubek *et al.*, 1975; Spears and Kegley, 2002)와 같은 유기물과 금속 이온이 chelation 결합한 형태(착염)의 유기태 광물질이 체내 흡수에 용이하다(Ashmead, 1993). 금속이온이 아미노산이나 저분자 펩타이드와 같은 유기물과 chelation 결합시 전기적 중성 성질을 가지며, 결합력에 의한 화학적 안정성에 의해 소장벽을 통과하는 것이 보다 수월해지기 때문에 체내 이용률이 용이하며(Kratzer and Vohra, 1986), 배설되는 구리 및 아연의 양을 감소시킬 수 있어(Buff *et al.*, 2005) 축분으로 인한 환경오염을 줄일 수 있다.

따라서 본 시험은 분내 배출되는 구리와 아연 함량을 감소시킬 수 있는 chelate 구리 및 아연을 비육돈 사료내 첨가 급여시 생산성, 영양소 소화율, 육질 및 도체 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

시험동물 및 시험설계

3원 교잡종(Landrace×Yorkshire×Duroc) 비육돈 64두를 공시하였으며 시험 개시시의 체중은 55.60 kg이었으며, 사양시험은 70일간 실시하였다. 처리구는 1) 무기태 구리($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 30 ppm), 2) 유기태 구리(Cu-methionine, 30 ppm), 3) 무기태 아연(ZnO , 80 ppm) 및 4) 유기태 아연(Zn-methionine, 80 ppm)으로 4개 처리를 하여 처리당 4 반복, 반복당 4두씩 완전임의 배치하였다.

시험사료과 사양관리

시험사료는 옥수수-대두박 위주의 사료로서 NRC(1998) 사양표준을 기초로 하여 3,380 kcal ME/kg, 17.50% CP, 1.03% lysine, 57.51 ppm Cu, 102.38 ppm Zn(mineral premix의 Cu와 Zn의 함량은 각각 49.50, 66.00 ppm)을 함유하도록 하였다(Table 1). 시험사료는 가루사료의 형태로 자유채식토록 하였으며, 물은 자동급수기를 이용하여 자유로이 먹을 수 있도록 하였다.

조사항목 및 방법

1) 일당증체량, 일당사료섭취량 및 사료요구율

체중 및 사료 섭취량은 시험개시시, 5주차 및 종료시에 각각 측정하여 일당증체량, 일당사료섭취량 및 사료요구율을 계산하였다.

Table 1. Composition of experimental diets

Ingredient	%
Corn	46.60
Soybean meal	24.08
Wheat meal	13.00
Bakery by-product	1.00
Rice bran	4.00
Rapeseed meal	2.00
Molasses	3.00
Tallow	4.19
Limestone	0.65
Dicalcium phosphate	0.76
Salt	0.30
Mineral premix ¹⁾	0.15
Vitamin premix ²⁾	0.15
Choline chloride	0.03
L-lysine · HCl	0.07
Chemical composition ³⁾	
ME, kcal/kg	3,380
CP, %	17.50
Lysine, %	1.03
Cu, ppm	57.51(49.50) ⁴⁾
Zn, ppm	102.38(66.00) ⁴⁾

¹⁾Supplied per kg diet: Cu, 140 mg; Fe, 145 mg; Zn, 179 mg; Mn, 12.5 mg; I, 0.5 mg; Co, 0.25 mg; Se, 0.4 mg.

²⁾Supplied per kg diet: vitamin A, 10,000 IU; vitamin D₃, 2,000 IU; vitamin E, 42 IU; vitamin K, 5 mg; riboflavin, 2,400 mg; vitamin B₂, 9.6 mg; vitamin B₆, 2.45 mg; vitamin B₁₂, 40 µg; niacin, 49 mg; pantothenic acid, 27 mg; biotin, 0.05 mg.

³⁾Calculated values.

⁴⁾Added mineral premix values.

2) 영양소 소화율

영양소 소화율을 측정하기 위하여 시험 5주와 종료시 분을 채취하였다. 분 채취 7일전에 표시물로서 산화크롬(Cr_2O_3)을 0.2% 첨가하여 급여 후 항문 마사지법으로 분을 채취하였다. 채취한 분은 60°C의 건조기에서 72시간 건조시킨 후 Willey mill로 분쇄 후 분석에 이용하였다. 사료의 일반성분과 표시물로 혼합된 Cr은 AOAC(1995)에 제시된 방법에 의해 분석하였다.

3) 도체 및 육질 특성

도체특성은 충남 천안시 소재 도축장에서 각 처리구마다 115-120 kg 도달시 도축(탕박)하여 도체중, 도체율, 등지방 두께 및 등급을 측정하였다.

육질 분석에 사용된 돈육은 각 처리구별로 6두씩을 임의 선발하여 도살 후 4°C 냉장고에 24시간 저장 후 반도체 등심 부위(M. longissimus dorsi)를 분할 정형하여 분석에 이용하였다. 육색은 4°C에서 30분간 발색시킨 후 chromameter (Model CR-300, Minolta Co. Ltd., Japan)를 사용하여 동일한 시료를 3회 반복하여 명도를 나타내는 L값, 적색도를 나타내는 a값과 황색도를 나타내는 b값을 측

정하였으며 이때 표준화 작업은 표준색판 No. 12633117을 이용하여 $Y=93.5$, $x=0.3136$, $y=0.3198$ 값으로 표준화시킨 후 측정하였다. 가열감량(cooking loss)은 시료를 2×2×2 cm 두께로 일정하게 절단하여 무게를 측정하고 70°C 항온수조에서 10분간 가열한 다음 냉각시켜 감량된 무게를 백분율로 환산하여 측정하였다.

통계처리

모든 자료는 SAS(1996)의 General Linear Model procedure를 이용하여 Duncan's multiple range test(Duncan, 1955)로 처리하여 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

비육돈 사료내 구리 및 아연의 첨가 형태가 비육돈의 성장능력에 미치는 영향은 Table 2에 나타내었다. 시험 0-5주간 일당증체량 및 사료 요구율은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나($p>0.05$), 일당사료 섭취량에 있어서 무기태 아연 처리구가 유기태 구리 및 아연 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났($p<0.05$). 시험 5-10주 및 전체 사양시험기간동안 일당증체량, 사료 섭취량 및 사료 요구율은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). Stansbury 등(1990)은 사료내 $CuSO_4$ 첨가시 일당사료섭취량과 사료효율에 있어 영향을 미치지 못한다고 보고하였으며, Dove 등(1990)은 육성돈 사료내 Cu 첨가는 일당증체량, 일당사료섭취량 및 사료효율에 영향을 미치지 못한다고 보고하여 본 시험과 유사한 결과를 보여주었다. Buff 등(2005)은 이유 자돈사료내 Zn-polysaccharide 300 ppm와 ZnO 2,000 ppm(치료목적수준) 첨가 급여 시험에서는 일당증체량, 사료섭취량에 차이를 보이지 않았

으나, 사료 효율에 있어서 ZnO를 첨가한 처리구가 높게 나타났다.

비육돈 사료내 구리 및 아연의 첨가 형태가 영양소 소화율에 미치는 영향은 Table 3에 나타내었다. 5주의 건물과 질소 소화율은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나($p>0.05$), 10주의 건물과 질소 소화율은 유기태 아연을 첨가한 처리구가 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 낮게 나타났($p<0.05$). Kim 등(2003)은 이유자돈 사료내 copper chelates를 첨가시 건물 및 조단백질 소화율에서는 차이를 보이지 않았다고 보고하여 본 연구에서 비육 전기의 영양소 소화율과 동일한 결과를 보여 주었으나, 비육 후기의 영양소 소화율에 있어서 유기태 아연 첨가시 낮은 소화율을 보여 주었다. Xia 등(2005)은 cooper chelate 첨가시 장내 유해균인 *Clostridium* 및 *Escherichia coli*의 균수를 감소시켰고, 유익균인 *Bifidobacterium* 및 *Lactobacillus*의 수는 증가시키는 경향을 보여주었다고 보고하였다. 따라서 장기간 급여한 비육 후기에서 유익균의 증가로 영양소 소화율이 개선되었을 것이라 사료된다.

Table 3. Effects of status Cu and Zn supplementation on nutrient digestibility in finishing pigs

Cu-met ¹⁾	$CuSO_4$ ¹⁾	Zn-met ¹⁾	ZnO ¹⁾	SE ²⁾
72.03	75.04	75.51	78.98	3.63
69.52	75.20	75.22	78.81	3.63
80.13 ^a	81.26 ^a	76.87 ^b	79.68 ^a	0.53
78.31 ^a	81.02 ^a	74.96 ^b	80.48 ^a	0.84

¹⁾Abbreviated Cu-met, basal diet + 80 ppm Cu-methionine; $CuSO_4$, basal diet + $CuSO_4$; Zn-met, basal diet + Zn-methionine; ZnO, basal diet + ZnO.

²⁾Pooled standard error.

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

Table 2. Effects of status Cu and Zn supplementation on growth performance in finishing pigs

Items	Cu-met ¹⁾	$CuSO_4$ ¹⁾	Zn-met ¹⁾	ZnO ¹⁾	SE ²⁾
0-5 weeks					
ADG, kg	0.809	0.747	0.811	0.760	0.036
ADFI, kg	2.432 ^b	2.467 ^{ab}	2.378 ^b	2.573 ^a	0.044
F:G	3.001	3.303	2.932	3.386	0.227
5-10 weeks					
ADG, kg	0.806	0.817	0.779	0.768	0.036
ADFI, kg	2.724	2.641	2.573	2.592	0.065
F:G	3.380	3.233	3.303	3.375	0.159
0-10 weeks					
ADG, kg	0.807	0.782	0.795	0.764	0.036
ADFI, kg	2.578	2.554	2.476	2.583	0.047
F:G	3.195	3.266	3.114	3.381	0.136

¹⁾Abbreviated Cu-met, basal diet + 80 ppm Cu-methionine; $CuSO_4$, basal diet + $CuSO_4$; Zn-met, basal diet + Zn-methionine; ZnO, basal diet + ZnO.

²⁾Pooled standard error.

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

Table 4. Effects of status Cu and Zn supplementation on carcass characteristic in finishing pigs

Items	Cu-met ¹⁾	CuSO ₄ ¹⁾	Zn-met ¹⁾	ZnO ¹⁾	SE ²⁾
Live weight (kg)	121.70	119.90	120.30	120.90	0.70
Carcass weight (kg)	96.72	94.08	96.22	92.50	2.40
Dressing (%)	79.47	78.47	79.98	76.51	1.94
Backfat thickness (cm)	18.66	18.56	19.94	19.94	1.31
Carcass grade (%)					
A	60	40	40	40	
B	20	60	40	40	
C	20	-	20	20	

¹⁾ Abbreviated Cu-met, basal diet + 80 ppm Cu-methionine; CuSO₄, basal diet + CuSO₄; Zn-met, basal diet + Zn-methionine; ZnO, basal diet + ZnO.

²⁾ Pooled standard error.

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

비육돈 사료내 구리 및 아연의 첨가 형태가 도체 특성에 미치는 영향은 Table 4에 나타내었다. 도체중, 등지방 두께 및 도체등급에서는 처리간에 유의한 효과가 나타나지 않았다($p < 0.05$). Spears와 Kegley(2002)은 비육우 사료내 아연을 급여하였을 때 육량지수(dressing percentage)가 유의적으로 높게 나타났다고 보고하였으나, Engle 등(2000)은 비육우 사료내 구리를 첨가시 육량지수에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 축종은 다르지만 본 시험에서도 구리 및 아연 급여가 도체 특성에 영향을 미치지 않는다고 사료된다.

비육돈 사료내 구리 및 아연의 첨가 형태가 육질 특성에 미치는 영향은 Table 5에 나타내었다. pH는 유기태 구리를 급여한 처리구가 아연 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 등심 단면적과 육색은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나($p > 0.05$), 관능평가의 육색에서 유기태 및 무기태 구리 처리구가 아연 처리

구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 근내지방도는 유기태 구리가 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 낮게 나타났으며($p < 0.05$), 육의 경도는 유기태 아연 처리구가 유기태 구리 및 무기태 아연 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 육색은 돈육 품질과 관련이 많으며 보수력 및 근육구조와 관련되어 있고(Warriss and Brown, 1982) 육색소인 myoglobin이 산소와의 반응으로 나타나고 육색의 변화는 육색소내의 산소 유무 및 양, 육조직내의 효소활동, 저장온도, 미생물의 오염도, pH 등에 따라 다르며, 특히 산소와의 반응도와 효소 활동이 가장 큰 영향을 미친다고 알려져 있다(Lawrie, 1985). 그러나 아직까지 사료내 구리와 아연 함량이 육질 특성이 어떠한 효과를 미치는지 연구되어 있지 않은 실정이기 때문에 본 시험결과를 바탕으로 사료내 구리와 아연 함량이 돈육의 육질특성에 미치는 영향에 대한 보다 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 환경오염을 야기시키는 무기태 구리 및 아연의 첨가 대신 유기태 구리 및 아연의 첨가는 성장 능력, 등심 단면적 및 육색에 영향을 미치지 않았다.

요 약

본 연구는 사료내 형태별 구리와 아연 첨가가 비육돈의 생산성, 영양소 소화율 도체 및 육질 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 3원 교잡종(Landrace x Yorkshire x Duroc) 비육돈 64두를 공시하였으며, 시험개시시의 체중은 55.60 kg이었다. 1) 무기태 구리(CuSO₄ · 5H₂O 30 ppm), 2) 유기태 구리(Cu-methionine, 30 ppm), 3) 무기태 아연(ZnO, 80 ppm) 및 4) 유기태 아연(Zn-methionine, 80 ppm)으로 4개 처리를 하여 처리당 4반복, 반복당 4두씩 완전임의 배치하였다. 0-5주 동안 일당 사료 섭취량은 무기태 아연 처리구가 유기태 구리 및 아연 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($p < 0.05$). 그러나 전체

Table 5. Effects of status Cu and Zn supplementation on meat characteristic in finishing pigs

Items	Cu-met ¹⁾	CuSO ₄ ¹⁾	Zn-met ¹⁾	ZnO ¹⁾	SE ²⁾
pH	5.71 ^a	5.63 ^{ab}	5.57 ^b	5.60 ^b	0.03
LM area (cm ²)	49.98	50.47	48.72	51.24	2.11
Meat color					
L*	44.42	44.63	43.54	43.49	0.85
a*	10.13	11.02	11.89	11.23	0.63
b*	2.91	3.36	3.32	2.87	0.27
Sensory evaluation					
Color	3.00 ^a	3.02 ^a	2.65 ^b	2.60 ^b	0.11
Marbling	1.70 ^b	2.10 ^a	2.13 ^a	2.03 ^a	0.11
Firmness	2.03 ^b	2.25 ^{ab}	2.57 ^a	2.05 ^b	0.12

¹⁾ Abbreviated Cu-met, basal diet + 80 ppm Cu-methionine; CuSO₄, basal diet + CuSO₄; Zn-met, basal diet + Zn-methionine; ZnO, basal diet + ZnO.

²⁾ Pooled standard error.

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

시험기간 동안 일당 증체량, 사료 섭취량 및 사료 요구율은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$). 시험 5주째의 건물 및 질소 소화율은 처리구간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나($p>0.05$), 시험 10주째의 건물 및 질소 소화율은 유기태 아연을 첨가한 처리구가 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 낮게 나타났다($p<0.05$). 육의 pH는 Cu-Met 처리구가 아연을 첨가 급여한 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났으며, 관능검사에서 육색은 Cu-met과 CuSo₄ 처리구가 Zn-met과 ZnO처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났고($p<0.05$), 근내지방도는 Cu-met 처리구가 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 낮게 나타났으며($p<0.05$), 경도에 있어서는 Zn-met 처리구가 유기태 구리 및 무기태 아연 처리구와 비교하여 유의적으로 높게 나타났다($p<0.05$). 결론적으로 환경오염을 야기 시키는 무기태 구리 및 아연의 첨가 대신 유기태 구리 및 아연의 첨가는 성장 능력, 등심 단면적 및 육색에 영향을 미치지 않았다.

참고문헌

1. AOAC (1995) Official Method of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
2. Ashmead, H. D. (1993) The role of Amino Acids Chelates in Animal Nutrition. Noyes Publications. New Jersey.
3. Amer, A. M. and Elliot, J. I. (1973) Effects of level of copper supplement and removal of supplemental copper from the diet on the physical and chemical characteristics of porcine depot fat. *Can. J. Anim. Sci.* **53**, 139-145.
4. Buff, C. E., Bollinger, D. W., Ellersieck, M. R., Brommelsiek, W. A., and Veum, T. L. (2005) Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. *J. Anim. Sci.* **83**, 2380-2386.
5. Dove, C. R. and Ewan, R. C., (1990) Effect of excess dietary copper, iron or zinc on the tocopherol and selenium status of growing pigs. *J. Anim. Sci.* **68**, 2407-2413.
6. Duncan, D. B. (1955) Multiple range and multiple F tests. *Biometrics.* **11**, 1-42.
7. Engle, T. E., Spears, J. W., Armstrong, T. A., Wright, C. L., and Odle, J. (2000) Effects of dietary copper source and concentration on carcass characteristics and lipid and cholesterol metabolism in growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* **78**, 1053-1059.
8. Edmonds, J. S., Izquierdo, O. A., and Baker, D. H. (1985) Feed additive studies with newly weaned pigs: Efficacy of supplemental copper, antibiotics and organic acid. *J. Anim.*

- Sci.* **60**, 462-479.
9. Hahn, J. D. and Baker, K. H. (1993) Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc. *J. Anim. Sci.* **71**, 3020.
10. Hong, S. J., Lim, H. S., and Paik, I. K. (2002) Effects of Cu and Zn-methionine chelates supplementation on the performance of broiler chickens. *J. Anim. Sci. Technol.* **44**, 399-406.
11. Kavangh, N. T. (1992) The effect of feed supplemented with zinc oxide on the performance of recently weaned pigs. Proceed. Int. Pig Vet. Meetings.
12. Kim, B. H., Lim, H. S., Namkung, H., and Paik, I. K. (2003) Effect of copper chelates (methionine-Cu, chitosan-Cu and yeast-Cu) as the supplements to weaning pig diet. *J. Anim. Sci. Technol.* **45**, 49-56.
13. Kratzer, F. H., and Vohra, P. (1986) Chelates in Nutrition. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
14. Lawrie, R. A. (1985) Packaging fresh meat. In: Development in meat science. Taylor, A. A. (ed), Elsevier Applied Science Publisher. pp. 89.
15. McNaughton, J. L., Day, E. L., Dilworth, B. C., and Lott, B. D. (1974) Iron and copper availability from various sources. *Poult. Sci.* **53**, 1325-1330.
16. Miller, D., Soares, Jr. J. H., Bauersfeld, Jr. P., and Cupett, S. L. (1972) Comparative selenium retention by chicks fed sodium selenite, selenomethionine, fish meal and fish solubles. *Poult. Sci.* **51**, 1669-1673.
17. NRC (1998) Nutrient Requirements of swine. National Research Council, Academy Press.
18. SAS (1996) SAS user's guide. Release 6.12. SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA.
19. Spears, J. W. and Kegley, E. B. (2002) Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* **80**, 2747-2753.
20. Stansbury, W. F., Tribble, L. F., and D. E. Orr, Jr, D. E. (1990) Effect of chelated copper sources on performance of nursery and growing pig. *J. Anim. Sci.* **68**, 1318-1322.
21. Warriss, P. D. and Brown, S. N. (1982) The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pigs muscle. *Meat Sci.* **20**, 65-74.
22. Xia, M. S., Hu, C. H., and Xu, Z. R. (2005) Effects of copper bearing montmorillonite on the growth performance, intestinal microflora and morphology of weanling pigs. *J. Anim. Sci. Technol.* **118**, 307-317.
23. Zoubek, G. L., Peo, Jr. E. R., Moser, B. D., Stahly, T., and Cunningham, P. J. (1975) Effects of source on copper uptake by swine. *J. Anim. Sci.* **40**, 880-884.