

复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪生产性能和部分血液生化指标的影响

詹康¹, 李艳², 包文斌¹, 赵国琦¹, 喻礼怀¹, 霍永久^{1*}

(1. 扬州大学动物科学与技术学院, 扬州 225009; 2. 盐城市农产品质量监督检验测试中心, 盐城 224002)

摘要: 本试验旨在研究复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪生产性能、屠宰性能、血液生化指标、肝和肌肉铁、锌含量的影响。试验选择初始体重相近((55.63±1.33) kg)的杜×长×大育肥猪 36 头, 随机分为 3 个组, 每个组 3 个重复, 每个重复 4 头猪, 公母各半, 饲养期 8 周。对照组饲喂铁、锌含量均为 100 mg·kg⁻¹(由硫酸亚铁、硫酸锌提供)的基础日粮, 试验 1 组饲喂铁、锌含量均为 50 mg·kg⁻¹(由硫酸亚铁、硫酸锌提供)+50 mg·kg⁻¹(由氨基酸络合铁锌提供)的基础日粮, 试验 2 组饲喂铁、锌含量均为 100 mg·kg⁻¹(由氨基酸络合铁锌提供)的基础日粮。结果表明, 试验 2 组的末重、平均日增重、体斜长、体直长、总蛋白、肝和肌肉铁含量均显著高于对照组($P<0.05$), 血清铁和锌显著高于对照组和试验 1 组($P<0.05$), 料重比显著低于对照组($P<0.05$)。结果提示, 日粮中添加复合氨基酸络合铁、锌各 100 mg·kg⁻¹可提高肥育猪的生产性能, 降低料重比, 最终提高饲料转化效率。

关键词: 肥育猪; 铁; 锌; 生产性能

中图分类号: S828; S815.4

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2014)05-0769-06

Effect of Iron, Zinc Complex Amino Acid Chelate on Growth Performance and Partial Blood Biochemical Indexes in Finishing Pigs

ZHAN Kang¹, LI Yan², BAO Wen-bin¹, ZHAO Guo-qi¹, YU Li-huai¹, HUO Yong-jiu^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Supervision and Testing Center for Agricultural Product Quality, Yancheng 224002, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effect of iron and zinc complex amino acid chelate on growth performance, carcass traits, blood biochemical indexes, iron and zinc content in liver and muscle in finishing pigs. Thirty six hybrid fatten pigs with average initial body weight of ((55.63±1.33)kg) were selected and randomly allotted to three dietary treatments. There were three replicates per treatment and four pigs in each replicate. The feeding trial lasted for 8 weeks. Pigs in the control group were fed the basic ration with 100 mg·kg⁻¹ iron, zinc (which were offered by ferrous sulfate and zinc sulfate). Pigs in experimental group 1 were fed the basic ration with 50 mg·kg⁻¹ iron, zinc (which were offered by ferrous sulfate and zinc sulfate) and 50 mg·kg⁻¹ iron, zinc (which were offered by organic elements). Pigs in experimental group 2 were fed the basic ration with 100 mg·kg⁻¹ iron, zinc (which were offered by organic elements). The results showed that pigs in experimental group 2 had higher final weight, average daily gains, body oblique length, body straight length, total protein, iron in liver and muscle than those in control

收稿日期: 2013-08-27

基金项目: 扬州市-扬州大学科技合作资金计划(YZ2011153; 2012038-17); 扬州市科技攻关项目(YZ2012084); 江苏省科技支撑计划(BE2013293); 江苏省苏北科技发展计划(BN2013061; 2012029); 江苏省农业三新工程(SXGC(2013)115); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 詹康(1988-), 男, 江苏南京人, 硕士生, 主要从事动物分子营养研究, E-mail: zhankang0305@163.com

* 通信作者: 霍永久, 博士, 副教授, 主要从事动物分子营养研究, E-mail: huoyj@126.com

group ($P < 0.05$). Iron and zinc in serum in experimental group 2 were significantly higher than that in control group and experimental group 1 ($P < 0.05$), feed conversion ratio was significantly lower than that in control group ($P < 0.05$). These results indicate that iron and zinc complex amino acid chelate can improve growth performance in finishing pigs, enhance feed conversion ratio, finally, improve feed conversion efficiency.

Key words: finishing pigs; iron; zinc; growth performance

铁、锌是畜禽所必需的也是最重要的微量元素之一。常规饲料中一般通过添加无机铁、锌来满足动物铁、锌元素需要,由于无机铁、锌元素吸收利用率较低,大部分被排出体外,污染环境。与添加无机铁、锌相比,复合氨基酸络合物吸收形式可以利用氨基酸和小肽的吸收通道,被小肠上皮细胞所吸收并进入血液,被转运到各个组织中的氨基酸络合物则容易解离释放出微量元素而被利用^[1-2]。国内外相关的研究表明,氨基酸络合铁、锌具有促进动物生长、提高母猪繁殖性能、增强仔猪抗病能力等功能^[3-5]。E. Van Heugten 等研究表明,氨基酸络合有机铁、铜、锌替代无机铁、铜、锌可改善猪肉色、降低滴水损失、提高嫩度和肌肉脂肪含量^[6]。田萍报道,在杜长大三元杂交的断奶仔猪日粮中添加氨基酸络合铁后,日增重极显著提高了 25.4% ($P < 0.01$)^[7]。B. Fuchs 等研究发现,有机铁、铜、锌、锰能促进断奶仔猪的生长并且具有较高的饲料利用率^[8]。美国 ZinPro 公司的资料表明,用蛋氨酸锌饲喂肥育猪,日增重比无机锌组提高 8.8% ($P < 0.05$)^[9]。

本试验旨在研究日粮中添加有机复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪生产、屠宰性能和血液生化指标的影响,为有机复合氨基酸络合物饲料添加剂的科学开发与利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物及日粮

试验选用 36 头体重相近 (55.63 ± 1.33) kg 的杜×长×大健康育肥猪。试验日粮以玉米-豆粕为基础日粮,基础日粮铁和锌含量各 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,氨基酸粉末由扬州大学动物营养与饲料工程技术研究中心生产。日粮组成及营养成分见表 1。

1.2 试验设计与饲养管理

按体重相近、遗传基础相似的原则,试验猪随机分为 3 个组,每个组 3 个重复,每个重复 4 头肥育猪,公母各半,饲养 8 周。试验日粮以玉米-豆粕为

表 1 试验基础日粮组成及营养成分

Table 1 The composition of experimental basic ration and nutrient content %

项目 Item	含量 Content
日粮组成 Ingredient	
玉米 Corn	60
豆粕 Soybean meal	17
麸皮 Wheat bran	19
磷酸钙 $\text{Ca}_3(\text{PO}_3)_2$	1.45
石粉 Limestone	1.05
食盐 NaCl	0.5
预混料 ^① Premix ^①	1
总计 Total	100
营养成分 ^② Nutrient content ^②	
代谢能/($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) ME	11.92
干物质 DM	83.26
粗蛋白 CP	15.33
粗脂肪 CF	4.26
粗灰分 Ash	2.73
中性洗涤纤维 NDF	15.80
赖氨酸 Lys	0.89
酸性洗涤纤维 ADF	13.13
钙 Ca	0.56
磷 P	0.45

①. 预混料由扬州大学饲料厂提供。预混料向每千克日粮提供:铜 27 mg, 锰 10 mg, 碘 1.03 mg, 硒 0.3 mg 及满足 NRC 标准的维生素。②. 营养成分中各指标为计算值

①. Premix feed is offered by Yangzhou University feed mill. Premix feed provides nutrients for per kg ration; Cu 27 mg, Mn 10 mg, I 1.03 mg, Se 0.3 mg and vitamins meeting the NRC standard. ②. Nutrient content indexes are calculated

基础日粮,铁、锌含量均为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由硫酸亚铁、硫酸锌提供)的基础日粮构成对照组;铁、锌含量均为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由硫酸亚铁、硫酸锌提供) + $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由氨基酸络合铁和锌各半提供)的基础日粮构成试验 1 组;铁、锌含量均为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由氨基酸络合铁和锌各半提供)的基础日粮构成试

验 2 组(表 2)。试验结束时,每组选择 4 头屠宰。试验猪饲养在封闭式猪舍内,水泥槽饲喂,通风良好,自由采食,自由饮水,湿度保持清洁干燥,圈舍温

度为 26~34 ℃,平均温度 30 ℃。每日早晨和下午各清扫 1 次圈舍。试验期 56 d。

表 2 试验猪铁、锌的形态及添加水平

Table2 Iron and zinc forms and addition levels in experimental pigs

mg · kg⁻¹

形态 Form	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
无机铁/锌 Ferrous sulfate and zinc sulfate	100	50	0
络合铁/锌 Chelate iron and zinc	0	50	100

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能指标测定 试验结束的第 2 天 08:00 点空腹称个体重,计算平均日增重、平均日采食量和料重比。

1.3.2 屠宰性能的测定 测定体直长、体斜长和背膘厚,测定方法按照我国《瘦肉型猪胴体性状测定技术规范》(NY/T 825-2004)。

1.3.3 血液生化指标测定 饲养试验结束时,从每个重复中选取育肥猪 1 头,共 12 头,前腔静脉采血 8 mL,4 ℃、3 500 r · min⁻¹离心 10 min,分离血清,分装于 EP 管中,-25 ℃保存。取部分血清用于测定总蛋白、白蛋白、球蛋白,取适量血清加 4 mL 硫酸和 1 mL 高氯酸(均为分析纯)到凯氏烧瓶中进行消化,直至颜色清亮停止消化,冷却,用 1%盐酸和蒸馏水洗涤残留,并定容至 50 mL,待测。采用 Optima 7300 DV 电感耦合等离子体光谱仪测定血清铁和锌水平。

1.3.4 肝和肌肉铁、锌含量测定 猪屠宰后,用手术刀采集 100 g 肝,装入样品袋,放入干净培养皿中烘干,然后将样品放入研钵中,研磨成粉末。取 0.2 g 粉末放入烧杯中,滴加高锰酸和高氯酸,用电加热进行消化,直至颜色呈白色。冷却后,用 1%盐酸清洗 4 次,并移入容量瓶中,定容,摇匀。用注射器吸取 5 mL 样品溶液,并经过 0.45 μm 过滤器过滤除杂,用 Optima 7300 DV 电感耦合等离子体光谱仪测定。

1.4 数据处理及统计分析

试验数据以“平均数 ± 标准差”表示,用 SPSS16.0 软件进行统计分析,数据进行单因素方差分析(ONE-WAY ANOVA),差异显著则进行 Duncan's 均值多重比较。

2 结果

2.1 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪生长性能的影响

由表 3 可知,各组肥育猪的初重差异不显著。试验 2 组的末重显著高于对照组($P < 0.05$),与试验 1 组差异不显著。试验 2 组末重分别比试验 1 组和对照组提高了 3.08% 和 5.63%。试验 2 组的平均日增重显著高于对照组($P < 0.05$),与试验 1 组差异不显著,比试验 1 组和对照组提高了 7.14% 和 15.38%。各组间的平均日采食量差异不显著($P > 0.05$)。试验 2 组的料重比显著低于试验 1 组和对照组($P < 0.05$)

2.2 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪屠宰性能的影响

由表 4 可知,试验 2 组和 1 组的体斜长显著高于对照组($P < 0.05$),试验 2 组和 1 组间的体斜长差异不显著($P > 0.05$)。试验 2 组的体直长显著高于对照组($P < 0.05$),与试验 1 组差异不显著($P > 0.05$)。3 组间的背膘厚差异不显著($P > 0.05$)。

2.3 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪血液生化指标的影响

由表 5 可知,3 组间白蛋白、球蛋白差异不显著。试验 2 组的总蛋白显著高于对照组($P < 0.05$),也高于试验 1 组,但是差异不显著。试验 2 组的血清铁、血清锌显著高于对照组($P < 0.05$)。

2.4 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪肝铁、锌含量的影响

由表 6 可知,试验 2 组的肝铁含量比试验 1 组和对照组分别增加了 21.68% ($P > 0.05$) 和 32.83% ($P < 0.05$)。试验 1 组的肝锌显著高于对

表 3 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪生长性能的影响

Table 3 Effects of different level iron, zinc complex amino acid chelate on growth performance in finishing pigs

项目 Item	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
初重/kg Initial BW	56.69±1.86	56.48±0.98	56.41±1.14
末重/kg Final BW	93.25±2.83 ^b	95.56±2.14 ^{ab}	98.50±1.85 ^a
平均日增重/(kg·d ⁻¹) ADG	0.65±0.04 ^b	0.70±0.02 ^{ab}	0.75±0.02 ^a
平均日采食量/(kg·d ⁻¹) ADFI	2.22±0.12	2.33±0.05	2.30±0.23
饲料/肉重 Feed/Gain	3.40±0.05 ^a	3.34±0.17 ^a	3.07±0.17 ^b

同行数据后所标字母相异表示差异显著($P < 0.05$), 所标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$)。下表同

Note: Different letters in the same row means significant difference between the treatments ($P < 0.05$), the same letter in the same row means no significant difference between treatments ($P > 0.05$). The same as below

表 4 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪屠宰性能的影响

Table 4 Effects of different level iron, zinc complex amino acid chelate on carcass traits in finishing pigs

cm

项目 Item	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
体斜长 Body inclining length	80.50±1.78 ^b	82.48±0.41 ^a	83.42±0.70 ^a
体直长 Body straight length	96.03±1.04 ^b	97.90±2.28 ^{ab}	99.28±0.84 ^a
背膘厚 Backfat thickness	1.97±0.22	2.06±0.46	2.22±0.31

表 5 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪血液生化指标的影响

Table 5 Effects of different level iron, zinc complex amino acid chelate on blood biochemical indexes in finishing pigs

项目 Item	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
总蛋白/(g·L ⁻¹) Total protein	67.48±4.21 ^b	69.75±0.75 ^{ab}	72.93±3.32 ^a
白蛋白/(g·L ⁻¹) Albumin	35.23±2.64	38.40±2.73	39.50±4.08
球蛋白/(g·L ⁻¹) Globulin	33.70±4.57	31.35±2.18	33.43±6.64
血清铁/(mg·L ⁻¹) Serum iron	2.37±0.24 ^b	2.68±0.11 ^{ab}	2.89±0.22 ^a
血清锌/(mg·L ⁻¹) Serum zinc	0.68±0.06 ^b	0.70±0.03 ^{ab}	0.75±0.05 ^a

表 6 不同水平复合氨基酸络合铁、锌对肥育猪肝和肌肉铁、锌含量的影响

Table 6 Effects of different level iron, zinc complex amino acid chelate on iron, zinc in liver and muscle in finishing pigs

mg·kg⁻¹

项目 Item	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2
肝铁 Liver iron	765.19±125.76 ^b	835.31±130.31 ^{ab}	1 016.40±123.04 ^a
肝锌 Liver zinc	423.25±106.29 ^b	561.62±53.97 ^a	486.80±62.11 ^{ab}
肌肉铁 Muscle iron	189.56±27.13 ^b	228.45±47.84 ^{ab}	278.70±57.52 ^a
肌肉锌 Muscle zinc	317.44±15.65 ^b	340.25±7.63 ^a	325.92±13.64 ^{ab}

对照组($P < 0.05$); 试验 2 组肝锌和对照组差异不显著。试验 2 组的肌肉铁显著高于对照组($P < 0.05$), 与试验 1 组差异不显著, 但比试验 1 组、对照组分别增加了 22.00%、47.02%。试验 1 组的肌肉锌显著高于对照组($P < 0.05$), 试验 2 组肌肉锌和

对照组差异不显著。

3 讨论

微量元素氨基酸螯合物作为第三代微量元素饲料添加剂将逐渐取代以无机形式存在的添加剂。

铁、锌是动物机体生长发育最重要的微量元素,在饲料行业中,其添加形式主要以无机铁、锌和有机铁、锌为主。但是,以无机形式添加,将会出现一系列的问题,如动物吸收率低,很大部分随粪便排出体外,浪费资源,影响生态环境。而以有机形式添加,具有很高的生物学效价和良好的化学稳定性^[10]。当有机铁、锌受到各种氨基酸配位体的保护,不易受胃肠道内物理化学因素影响而变得更加稳定,有利于在胃肠道停留的时间更长。胃肠道 pH 对金属复合物的稳定性和溶解性影响较大,只有 pH 达到一定值时,各种氨基酸络合铁锌才会发生解离,有利于肥育猪对各种氨基酸与铁、锌元素的消化吸收,从而促进生长^[11]。有研究发现,单独添加螯合铁和螯合锌对肥育猪体直长、背膘厚有一定提高,但是试验组和对照组间的体直长、体斜长、背膘厚无显著性差异($P>0.05$)。邓波波等在研究复合氨基酸铁、锌络合物对育肥猪生产性能的影响中发现,试验组体直长和体斜长均显著高于对照组($P<0.05$),但是背膘厚无显著性差异($P>0.05$)^[12]。本研究发现,试验 2 组体斜长和体直长均显著高于对照组($P<0.05$),但是背膘厚无显著性差异($P>0.05$)。这是由于本试验添加的是复合氨基酸络合物,比单品氨基酸络合物有明显的优越性。复合氨基酸络合物能够减少微量元素的散失,使更多的氨基酸和铁、锌元素被组织吸收,从而促进动物的生长。

血清总蛋白由白蛋白和球蛋白组成。血清总蛋白和白蛋白的含量与肥育猪的蛋白质吸收代谢密切相关。虽然总蛋白和白蛋白不能直接反映机体的免疫情况,但是在一定程度上能够反映肥育猪肝的健康状况。血清球蛋白是动物机体内免疫器官产生的,含有血清内各种抗体,其浓度随着血清球蛋白上升,提示了肥育猪机体内免疫水平的提高。吴玉臣等在氨基酸螯合锌对断奶仔猪免疫功能影响的研究中,用氨基酸螯合锌替代无机锌($ZnSO_4$),结果表明,添加氨基酸螯合锌组的总蛋白、白蛋白、球蛋白的含量显著高于无机锌组($P<0.05$),能够提高断奶仔猪机体的抗体水平^[13]。S. H. Ahn 等用蛋氨酸锌替代 ZnO 饲喂蛋氨酸锌日粮能够提高仔猪血清球蛋白浓度($P<0.05$)^[14]。本试验结果表明,100% 复合氨基酸络合铁、锌组中的(试验 2 组)血清总蛋白显著高于对照组($P<0.05$),说明添加复合氨基酸络合铁、锌能够提高肥育猪血液总蛋白的沉积,提示有机铁、锌能够提高肥育猪对蛋白质的吸收利用。

猪肝是铁、锌元素的贮藏与代谢器官。研究表明,与添加同剂量的 $FeSO_4$ 比较,添加复合氨基酸络合铁,肝、脾的铁血黄素和铁蛋白含量以及肌肉中总铁含量、血红素铁浓度均显著提高。根据本试验结果,试验 2 组猪肝铁含量显著高于对照组。同时,铁可以直接参与细胞色素氧化酶、过氧化物酶等组成来催化各种反应。由于铁参与体内血红蛋白的合成,又是生物氧化及脱氧核糖核酸合成所必需的含铁酶的成分,所以机体内铁含量的多少直接影响猪的生长发育和代谢过程^[15-17]。锌也参与体内酶的组成,如碱性磷酸酶。锌对脂蛋白组成和脂蛋白酯酶也具有显著的影响^[18-19]。肌肉也是铁、锌元素沉积的主要组织,在动物生长的过程中,一些微量金属元素会沉积在动物体内。缺铁典型的症状是贫血,缺锌会导致动物皮肤不完全角质化。在氨基酸络合物研究中,屠宰之后对动物肌肉中微量元素测定的报道比较少。本研究表明,氨基酸络合物组提高肥育猪肌肉中铁、锌含量,尤其是铁的含量,提示复合氨基酸络合铁、锌可以增加铁、锌在肌肉中的含量。

血清铁是衡量动物机体内是否缺铁的重要指标,能够反映铁在血液中的运输状态。一般的生理状态下,转铁蛋白仅 1/3 与铁结合,这部分铁称血清铁。此外,转铁蛋白除参与铁结合转运功能之外,还有预防机体感染疾病的作用,防止大肠杆菌的利用,有利于乳酸杆菌的利用。锌是细胞生长和繁殖以及维持人体内某些酶(如碱性磷酸酶)活性的必需微量元素之一,在血清中约有 34% 的锌与血清蛋白紧密结合,通过血液循环将锌转运到各组织器官。动物体内缺锌典型的症状是皮肤不完全角质化,也可出现脱毛。同时,血清中的碱性磷酸酶活性下降,因此,动物体内维持一定量的锌元素对动物的生理功能非常重要。研究表明,仔猪缺、锌时血清锌含量降低,补锌后升高,来自不同形态的锌对血清锌含量也有影响^[20]。T. Matsui 等通过添加 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 氨基酸螯合锌来测定仔猪血清锌含量,结果表明,添加 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 氨基酸螯合锌组的血清锌显著高于添加硫酸锌组($P<0.05$),此外小肠液中锌的溶解度随着氨基酸螯合锌量的增加而升高,且高于添加同等剂量的硫酸锌组($P<0.05$)^[21]。本研究中,试验 2 组的血清铁和锌水平显著高于对照组($P<0.05$)。本试验采用复合氨基酸络合铁、锌元素,多种氨基酸与铁、锌配位键结合,与天然状态接近。试验结果表明,添加一定水平的复合氨基酸络合铁、锌

后,试验 1 组和 2 组育肥猪的生产发育指标如末重、平均日增重、体斜长、体直长等有显著提高,进一步证实复合氨基酸络合铁、锌对育肥猪的生长发育具有明显的促进作用。在生猪生产中,料重比是与经济效益最为密切相关的重要指标之一。本试验中,试验 2 组料重比显著低于对照组和试验 1 组($P < 0.05$)。试验结果表明,日粮中添加复合氨基酸络合铁、锌各 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的效果总体上优于添加 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由无机铁、锌提供) + $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (由氨基酸络合铁、锌提供)。

4 结 论

日粮中添加复合氨基酸络合铁和锌各 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,可显著提高杜×长×大肥育猪的生产性能,同时提高血液中总蛋白、铁、锌水平和肌肉中铁、锌的沉积,降低料重比,提高饲料转化效率。

参考文献:

- [1] POWER S R. The antioxidant properties of zinc [J]. *J Nutr*, 2000, 130:1447-1454.
- [2] CARLSON M S, BOREN C A, WU C, et al. Evaluation of various inclusion rates of organic zinc either polysaccharide or proteinate complex on growth performance, plasma and excretion of nursery pigs [J]. *J Anim Sci*, 2004, 82:1359-1366.
- [3] 曾丽莉,陈婉如,罗绪刚,等. 氨基酸铁络合物对新生和哺乳仔猪铁营养状况的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2003, 34(1):1-8.
- [4] DARNELEY A H, ASHMEAD H D. Improving reproductive performance with iron amino acid chelate [C]//The roles of amino acid chelates in animal nutrition, 1993:251-268.
- [5] CLOSE W. The role of trace mineral proteinate in pig nutrition [C]. Proceedings of Alltechs 14th Annual Symposium. 1998.
- [6] VAN HEUGTEN E, SPEARS J W, KEGLEY E B, et al. Effects of organic forms of zinc on growth performance, tissue zinc distribution, and immune response of weanling pigs [J]. *J Anim Sci*, 2003, 81(8):2063-2071.
- [7] 田 萍. 蛋氨酸络合铁对断奶仔猪生产性能的影响[J]. 家畜生态学报, 2005, 26(2):33-35.
- [8] FUCHS B, SZUBA-TRZNADEL A, KUBIZNA J. The rearing of pigs after weaning using diets containing mineral and organic sources of microelements

Cu, Zn, Mn and Fe [J]. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Biologia i Hodowla Zwierząt*, 2009, 59(575):101-120.

- [9] 美国 zinPro 公司(何正芳译). 金属特种氨基酸对猪禽生产的作用[J]. 国外畜牧学:猪与禽, 1993, (1):12-15.
- [10] GRAFF D. Absorption of minerals compared with chelates made from various protein sources into rat jejunum slices *in vitro* [D]. Paper presented at Utah Academy of Arts Letters and Science, April, 1970.
- [11] 孙晓光. 日粮添加螯合铜、铁、锰和锌对生长肥育猪增重, 胴体特性和矿物元素消化率的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [12] 邓波波, 霍永久, 赵国琦. 复合氨基酸铁、锌络合物对育肥猪生产性能的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8):204-206.
- [13] 吴玉臣, 郭 爽, 阴正兴. 氨基酸螯合锌对断奶仔猪免疫功能的影响[J]. 畜牧与兽医, 2008, 40(5):58-59.
- [14] AHN S H, UM J S, KIM D H, et al. Effects of the sources and levels of supplemental zinc on the performance of weanling pigs [J]. *J Anim Sci*, 1998, 40(1):9-20.
- [15] ALIEN P, LISTOWSKY L. Iron transport and storage proteins [J]. *Ann Rev Biochem*, 1980, 49:357-393.
- [16] RIBEIRO D L F, STAHLY T S, CROMWELL G L. Effect of coppers with and without ferrous sulfide and antibiotics on the performance of pigs [J]. *J Anim Sci*, 1981, 52:241-247.
- [17] 张 彬. 猪血浆含铁量变化及其与增重速度关系的研究[J]. 江苏农学院学报, 1990, 11(3):21-24.
- [18] KETTLER S I, EDER K, KETTLER A, et al. Zinc deficiency and the activities of lipoprotein lipase in plasma and tissues of rats forced-fed diets with coconut oil or fish oil [J]. *J Nutr Biochem*, 2000, 11:132-138.
- [19] YOUSEF M I, EI-HENDY H A, EI-DEMERDASH F M. Dietary zinc deficiency induced-changes in the activity of enzymes and the levels of free radicals, lipids and protein electrophoretic behavior in growing rats [J]. *Toxicology*, 2002, 175:223-234.
- [20] KORNEGAY E T, CHANG J, SCHEFF T C. Apparent zinc absorption and dry matter digestibility in the stomach, intestine and lower colon of weanling pigs fed an inorganic or organic zinc source added to deficient and adequate lysine diets [J]. *J Anim Sci*, 1996, 74:182.
- [21] MATSUI T, ISHIGURO T, SUZAKI S, et al. Supplementation of zinc as amino acid chelated zinc for piglets [C]//In: Pro. of the 8th AAAP Animal Congress, Tokyo, Japan, 1996:754-755.