

The Effect of Zinc Amino Acid Chelate on the Performance of Weaning Pigs

ZHANG Chun^{1,2}, CHEN Dai-wen³, DING Xue-mei³, KUANG Sheng-yao², TANG Ling²

(1. College of Animal and Technology, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, Sichuan, China;

2. Animal Nutrition Institute, Sichuan Animal Science Academy, Chengdu 610066, China;

3. Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, Sichuan, China)

Abstract: Forty five hybrid pigs of 29 days old were selected and randomly allotted to one of five dietary treatments. All animals were fed with the same basic diet supplied 100 mg/kg of zinc but with different proportions of organic zinc (Zn- AAC) and inorganic zinc (ZnSO₄). This study explored the effect of different proportions of Zn- AAC and ZnSO₄ on the growth performance and blood characters of weaning pigs. The 28- day trial included two phases of day 1 to day 14 and day 15 to day 28. Data obtained in this study show: From day 1 to day 14, the ADG of piglets in group 2, 3, 4 and 5 increases by 22.0% ($P > 0.05$), 38.5% ($P < 0.01$), 32.6% ($P < 0.05$), and 26.2% ($P < 0.05$), respectively, and ADFI, by 24.6% ($P < 0.05$), 25.3% ($P < 0.05$), 23.5% ($P < 0.05$), and 23.8% ($P < 0.05$), respectively, when compared with the control piglets. From day 15 to day 28, all animals fed with Zn- AAC display higher ADFI than those in the control group ($P > 0.05$), with no significant change in ADG. From day 1 to day 28, piglets fed diets with 60% of Zn- AAC have statistical improvement in FCR ($P < 0.05$). Furthermore, the concentrations of serum zinc of those piglets fed diets with 80% and 100% of Zn- AAC are 1.63- fold and 1.46- fold higher than that of the control ($P < 0.01$). The amount of IgG in the serum rose up as the percentage of Zn- AAC increases ($P > 0.05$). The activity of ALP in the serum of those animals does not vary significantly. In conclusion, the supplementation of zinc amino acid chelates with normal dosage can increase the ADG, ADFI, the zinc concentration in the serum. The combination of organic (Zn- AAC) and inorganic (ZnSO₄) zinc is superior to either one. The optimal proportion of Zn- AAC to ZnSO₄ is 60: 40.

Key words: zinc amino acid chelate; growth performance; serum; weaning pigs

• 研究简报 •

锌氨基酸螯合物对断奶仔猪补饲效果的研究*

张 纯^{1,2}, 陈代文³, 丁雪梅³, 邝声耀², 唐 凌²

(1. 四川农业大学 动物科技学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川省畜牧科学研究院 动物营养所, 成都 610066;

3. 四川农业大学 动物营养研究所, 四川 雅安 625014)

摘要: 试验选用杜洛克×长白×约克夏 29 日龄断奶仔猪 45 头, 随机接受基础饲粮相同、添加 100 mg/kg(以锌计)由无机锌(ZnSO₄)和有机锌(Zn- AAC)组成的 5 种处理饲粮, 研究不同配合比例的 Zn- AAC 与 ZnSO₄ 对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响。28 d 试验, 分前期(1~ 14 d)和后期(15~ 28 d)两阶段。结果表明: 用 Zn- AAC 分别取代 ZnSO₄ 的 40%、60%、80% 和 100%, 与对照组(ZnSO₄ 0%) 比较, 试验前期 ADG 分别提高 22.0% ($P > 0.05$)、38.5% ($P < 0.01$)、32.6% ($P < 0.05$)、26.2% ($P < 0.05$), ADFI 分别提高 24.6% ($P < 0.05$)、25.3% ($P < 0.05$)、

* 收稿日期: 2005- 04- 06

基金项目: 四川省重点科技项目(03NG004- 004)。

23.5% ($P < 0.05$)、23.8% ($P < 0.05$); 试验后期所有含 Zn- AAC 组 ADFI 增加 ($P > 0.05$); FCR Zn- AAC 60% 组全期提高 4.2% ($P < 0.05$); 80% 和 100% 的 Zn- AAC 组, 血清锌浓度分别比对照增加 1.63 倍 ($P < 0.01$) 和 1.46 倍 ($P < 0.01$), 随着 Zn- AAC 取代量提高, 血清 IgG 含量增加 ($P > 0.05$), 各组血清 ALP 活性无显著差异。结论: 断奶仔猪补饲常规剂量的锌氨基酸络合物, 与 $ZnSO_4$ 比较, 能够提高仔猪 ADG 和 ADFI, 增加血清锌浓度; 有机锌与无机锌合用时饲喂效果优于单一使用, 其最佳配合比例为 Zn- AAC 60% 加 $ZnSO_4$ 40%。

关键词: 锌氨基酸络合物; 生长性能; 血清; 断奶仔猪

中图分类号: S828; S816.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2650(2005)04-0490-05

传统上用于饲养动物的锌制剂如硫酸锌等在消化过程中释放出的金属离子容易与肠道内其他物质(如植酸、草酸、磷酸根离子)结合成不溶物, 从而降低了微量元素的吸收。锌氨基酸螯合物中的锌离子通过配位键与氨基酸或小肽结合而呈现不活性, 并可以利用氨基酸和小肽的吸收通道^[1,2], 完整地通过小肠黏膜进入血浆, 被非常有效的吸收并转运到靶器官^[3], 因此生物利用率高。Ward 对断奶仔猪的研究显示, 有机微量元素与无机微量元素合用与否及其搭配比例等是影响有机微量元素使用效果的重要因素之一^[3]。然而, 氨基酸微量元素螯合物的使用存在几个问题。一是 AATMC 完全取代无机物后的适宜添加量; 二是 AATMC 在断奶仔猪中的适宜添加量; 三是 AATMC 不完全取代无机物的适宜比例。

本试验通过研究不同配合比例的锌氨基酸螯合物(Zn- AAC)与硫酸锌($ZnSO_4$)对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响, 以期对有机锌与无机锌、有机锌与无机锌的适宜配合比例作一个初步评价, 为断奶仔猪饲料中补充锌氨基酸螯合物提供试验依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用单因子试验安排。基础饲粮相同, 锌添加量均为 100 mg/kg。试验共设 5 个处理: 对照组锌 100% 由硫酸锌($ZnSO_4$)提供, 其余 4 组分别用锌氨基酸螯合物(Zn- AAC)取代对照组锌添加量的 40%、60%、80% 和 100%。每个处理 3 个重复, 每个重复 3 头仔猪。

1.2 试验材料来源

饲料级硫酸锌($ZnSO_4$, 为无机锌)市场采购, 锌含量为 35%; 锌氨基酸螯合物(Zn- AAC, 为有机锌)由四川省畜科院动物营养研究所研制, 锌含量为 16%。

1.3 试验动物及饲养管理

试验选用 29 日龄断奶的杜洛克 × 长白 × 约克夏三元杂种猪 45 头, 按照体重、性别一致性原则分为 5 组, 随机接受某种处理饲粮。试验在成都蒲江

巨丰食品有限公司种猪场进行, 圈舍为双列式金属漏缝地面, 乳头式饮水器。硬质颗粒饲料, 人工加料, 日喂 5 次, 自由采食和饮水。常规饲养管理。试验共 28 d, 分前期(1~14 d)和后期(15~28 d)。

1.4 试验日粮

试验基础日粮为玉米-豆粕型, 营养水平参考美国 NRC(1998)仔猪营养需要并结合四川养殖实际配制。基础饲料配方及营养成分见表 1。

表 1 基础饲粮配方及营养成分

Table 1 Composition of the basal diet

饲粮组成 Ingredient	比例 Proportion (%)
玉米 Ground corn	56.00
小麦 Wheat	5.00
小麦麸 Wheat bran	1.00
大豆粕 Soybean meal	22.00
进口鱼粉 Fish meal	5.40
食糖 Sugar	2.00
乳糖(低蛋白) Whey	6.00
石粉 Limestone	0.72
磷酸氢钙 Calcium monophosphate	0.60
L- 赖氨酸盐酸盐 L- Lysine·HCl	0.35
DL- 蛋氨酸 DL- Methionine	0.06
L- 苏氨酸 L- Threonine	0.03
氯化胆碱 Choline chloride	0.14
预混合饲料 ⁽¹⁾ Premix	0.50
食盐 Salt	0.20
营养成分 Composition	养分含量 Content
干物质 DM ⁽²⁾ (%)	88.04
消化能 DE (MJ·kg ⁻¹)	13.80
粗蛋白质 CP ⁽³⁾ (%)	19.20
粗纤维 CF (%)	2.62
粗脂肪 EE (%)	3.06
钙 Ca (%)	0.76
磷 TP (%)	0.61
钠 Na (%)	0.20
赖氨酸 Lys (%)	1.30
蛋氨酸 Met (%)	0.40
蛋+胱 MET+ Cys (%)	0.71
苏氨酸 Thr (%)	0.90
锌 Zn ⁽⁴⁾ (mg·kg ⁻¹)	40.60

(1) Supplied per kilogram of diet: Fe($FeSO_4 \cdot H_2O$) 120 mg, Cu($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 20 mg, Mn($MnSO_4 \cdot H_2O$) 50 mg, Se ($NaSeSO_3$) 0.35 mg, I(KI) 0.50 mg, VA 13500 IU, VD₃ 3000 IU, VE 30 mg, VK₃ 4 mg, VB₁ 4 mg, VB₂ 10 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 40 μg, Niacin 40 mg, D- Calpan 20 mg, Folic acid 2 mg, Biotin 160 μg; (2) (3) (4) Analyzed composition.

1.5 测定指标及方法

试验开始称重分组, 试验 14 d 和 28 d, 停饲 12 h 后称体重, 计算试验前期、后期和全期试猪平均日增重(ADG); 记录每天给料量、损失料量和剩余料量, 按前期、后期和全期计算平均日采食量(ADFI); 根据采食量和增重计算料重比(F/G)或饲料转换效率(FCR)。试验第 1 天和第 28 天对试猪前腔静脉抽血(每组 6 头, 每个重复 2 头)。血样用 3000 r/min 离心机分离血清, -20 °C 下保存备测。样本血清锌(Zn)浓度用美国 TDA 公司 ADVANTAJE 等离子发射光谱仪测定, 血清碱性磷酸酶(ALP)活性用日本 OLYMPUS-AU400 全自动生化分析仪测定, 血清免疫球蛋白(IgG)含量用美国 BAKMAN 公司出品的免疫散射分析仪测定。

1.6 数据处理

数据以平均数 ± 标准差表示, 用 SPSS 配方软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 仔猪生产性能

常规补锌断奶仔猪饲料(100 mg/kg)不同比例的锌氨基酸螯合物取代硫酸锌对断奶仔猪生长性能的影响见表 2。

由表 2 可见, 用不同比例的 Zn-AAC 取代 ZnSO₄, 增加了试验前期的 ADFI ($P < 0.05$), Zn-AAC 取代量大于 60% 时, 前期 ADG 提高 26.2% 以上, 与对照组差异显著。其中, Zn-AAC 取代量为 60% 的生长成绩最佳, 与 100% ZnSO₄ 组比较, ADG 全期提高 22.9% ($P < 0.01$), ADFI 前期增加

25.3% ($P < 0.05$)。FCR 试验前期各组差异不显著 ($P > 0.05$); 后期 ZnSO₄ 组和 Zn-AAC 60% 组与 Zn-AAC 80% 和 100% 组比较, 差异显著 ($P < 0.05$); 与对照组比较, Zn-AAC 60% 组全期提高 FCR 4.2% ($P > 0.05$)。

2.2 血清 Zn、免疫球蛋白 IgG 含量及碱性磷酸酶(ALP)活性

不同比例的锌氨基酸螯合物取代硫酸锌对仔猪血清中 Zn 和免疫球蛋白 IgG 含量以及碱性磷酸酶(ALP)活性的影响见表 3。

由表 3 可见, 试验 1 d 各处理断奶仔猪的血清锌含量、IgG 浓度和 ALP 活性无显著性差异 ($P > 0.05$); 试验 28 d, 血清锌浓度随着 Zn-AAC 取代比例的增加而增加, 与对照组比较, 依次提高 28.2%、68.4%、162.9%、146.5%, 其中, Zn-AAC 取代量为 80% 或 100% 时, 与对照组和 40% 取代组差异极显著 ($P < 0.01$), 同时也显著高于含 Zn-AAC 60% 的组 ($P < 0.05$)。除 Zn-AAC 取代量为 40% 组外, 血清 IgG 浓度随 Zn-AAC 取代量增加而提高, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。血清 ALP 活性各处理间无明显变化 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 无机锌、混合锌及有机锌

含锌 100 mg/kg 的断奶仔猪实用日粮, 用 Zn-AAC 分别取代 ZnSO₄ 添加量的 60%、80% 和 100%, 显著提高了试验前期的 ADG 和 ADFI。有机锌改进试验前期仔猪日增重和采食量的原因, 可能是刚断奶小猪对食物形式的改变和饲料中影响锌

表 2 不同比例的锌氨基酸螯合物取代硫酸锌对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effect of zinc amino acid chelate replacing partly or entirely zinc sulfate on growth performance of weaned pigs

	Zn-AAC+ ZnSO ₄ (mg·kg ⁻¹)					
	0+ 100	40+ 60	60+ 40	80+ 20	100+ 0	
始重 Initial weight (kg)	6.81 ± 0.069	6.81 ± 0.079	6.80 ± 0.030	6.83 ± 0.125	6.83 ± 0.142	
末重 Final weight (kg)	16.21 ± 0.963	16.7 ± 0.656	18.35 ± 1.20	16.76 ± 0.25	16.51 ± 0.736	
ADG (g·d ⁻¹)	前期 1~ 14 d	218 ± 20.7 ^{Bb}	266 ± 39.5 ^{ab}	302 ± 24.1 ^{Aa}	289 ± 25.8 ^a	275 ± 24.3 ^a
	后期 15~ 28 d	453 ± 53.5 ^{ab}	444 ± 13.2 ^b	512 ± 40.2 ^a	420 ± 22.9 ^b	417 ± 24.8 ^b
	全期 1~ 28 d	336 ± 34.9 ^{Bb}	355 ± 26.2 ^{ab}	413 ± 29.0 ^{Aa}	354 ± 9.60 ^{ab}	346 ± 21.5 ^{ab}
ADFI (g·d ⁻¹)	前期 1~ 14 d	281 ± 24.2 ^b	350 ± 29.9 ^a	352 ± 42.3 ^a	347 ± 18.1 ^a	348 ± 18.9 ^a
	后期 15~ 28 d	676 ± 83.9	727 ± 36.1	774 ± 21.7	711 ± 25.5	702 ± 28.6
	全期 1~ 28 d	479 ± 52.5	538 ± 32.9	563 ± 32.4	529 ± 19.3	528 ± 18.0
F/G	前期 1~ 14 d	1.29 ± 0.071	1.33 ± 0.129	1.16 ± 0.100	1.20 ± 0.044	1.27 ± 0.078
	后期 15~ 28 d	1.49 ± 0.109 ^b	1.64 ± 0.069 ^{ab}	1.52 ± 0.074 ^b	1.70 ± 0.102 ^a	1.69 ± 0.033 ^a
	全期 1~ 28 d	1.43 ± 0.046 ^{ab}	1.52 ± 0.080 ^a	1.37 ± 0.060 ^b	1.49 ± 0.027 ^a	1.53 ± 0.044 ^a

注: 右肩号小写字母不同者, 表示差异显著 ($P < 0.05$); 右肩号大写字母不同者, 表示差异极显著 ($P < 0.01$) (下表同)。

a and b: Statistical significant at 5% level between treatment means; A and B: Statistical significant at 1% level between treatment means.

表3 不同比例的锌氨基酸螯合物取代硫酸锌对断奶仔猪血清锌和免疫球蛋白浓度以及碱性磷酸酶活性的影响
Table 3 Effect of replacing zinc sulfate with zinc amino acid chelate on serum Zn, IgG concentration and ALP of weaned pigs

	Zn- AAC+ ZnSO ₄ (mg·kg ⁻¹)				
	0+ 100	40+ 60	60+ 40	80+ 20	100+ 0
试验开始 Trial Beginning (1 d)					
血清锌 Serum Zn (mg·L ⁻¹)	1.14 ± 0.23	1.30 ± 0.22	1.03 ± 0.21	1.31 ± 0.10	1.03 ± 0.12
血清 IgG Serum IgG (mg·L ⁻¹)	1.219 ± 1.208	0.389 ± 0.086	0.639 ± 0.389	0.199 ± 0.124	0.324 ± 0.144
血清 ALP 活性 Serum ALP (U·L ⁻¹)	420 ± 40.4	342 ± 62.5	380 ± 72.3	359 ± 14.9	377 ± 76.8
试验结束 Trial Finish (28 d)					
血清锌 Serum Zn (mg·L ⁻¹)	0.437 ± 0.202 ^{Bb}	0.560 ± 0.136 ^{Bb}	0.736 ± 0.153 ^b	1.149 ± 0.221 ^{Aa}	1.077 ± 0.177 ^{Aa}
血清 IgG Serum IgG (mg·L ⁻¹)	0.830 ± 0.100	1.530 ± 0.726	0.883 ± 0.290	0.967 ± 0.095	1.285 ± 0.493
血清 ALP 活性 Serum ALP (U·L ⁻¹)	298 ± 11.51	222 ± 7.21	299 ± 17.44	283 ± 34.77	280 ± 65.54

利用的因子更为敏感, 锌氨基酸螯合物由于其抗干扰和独特的吸收方式, 更易被小猪有效利用^[4-6]。锌的增加可能提高了仔猪味蕾对味觉的敏感程度, 并提高了唾液中两种含锌酶的活性, 从而增加仔猪采食量, 促进生长。就生长速度和采食量看, 有机锌部分取代无机锌优于全部取代, 而全部取代又优于无机锌。印证了 Ward 和张伟等^[7]的研究结果, 据后者报道, 断奶仔猪饲料中, 用蛋氨酸内络锌取代 40% 的 ZnSO₄, 与含相同剂量的 ZnSO₄ 饲料比较, 显著地提高了 ADG 和 ADFI, ADG 和 ADFI 的排序为“部分取代组”>“全部取代组”> ZnSO₄。Spears 和 Flowers 对繁殖母猪的研究也有类似发现^[8]。有机锌与无机锌联合使用时的这种优势是否与机体吸收和转运 Zn- AAC 与 ZnSO₄ 方式不同有关, 如混合使用增加了锌的吸收通道, 加快了运转速率, 进而提高了锌的生物利用率, 还不是很清楚。

3.2 有机锌与无机锌的适宜比例

研究发现, 含锌 100 mg/kg 的断奶仔猪实用日粮, 有机锌和无机锌的适宜配合比例为 60% 和 40%, 即 Zn- AAC 供给 60 mg/kg 的锌, ZnSO₄ 供给 40 mg/kg 的锌生长成绩最佳, 与含等量锌的 ZnSO₄ 饲料比较, 提高了试验全期的 ADG ($P < 0.01$), 增加了前期 ADFI ($P < 0.05$), 与用 80% Zn- AAC 和 100% Zn- AAC 取代 ZnSO₄ 的处理组比较, 显著提高了饲料转化效率 ($P < 0.05$)。本试验含 Zn- AAC 60% 的组与其他取代组比较, 血清 ALP 活性的平均值增加 5.7% 以上, 似乎从另一个角度表现出该处理试猪锌营养状况较好。其他研究显示^[9, 10], 硫酸锌在胃吸收较多, 而锌氨基酸螯合物在小肠溶解度更高。在本研究条件下, 饲料中以 Zn- AAC 60% 和 ZnSO₄ 40% 的配合比例添加, 是否最大限度地促进了胃和小肠对锌的吸收和利用, 目前尚不清楚, 需要进一步的试验证明。

3.3 锌与血清锌水平

研究表明, 仔猪缺锌时血清锌含量降低, 补锌后升高, 且不同锌源对血清锌含量有影响^[6]。本研究断奶仔猪补锌 100 mg/kg, 随着饲料中有机锌占补锌量的 40%、60%、80% 直至 100%, 与含 100% Zn- SO₄ 饲料比较, 断奶仔猪血清锌含量相应提高 0.28 倍、0.68 倍、1.63 倍 ($P < 0.01$) 和 1.46 倍 ($P < 0.01$)。Matsui 等测定仔猪股骨和血清中的锌含量发现, 添加 100 mg/kg 锌氨基酸螯合物组明显高于添加同等剂量的硫酸锌组 ($P < 0.05$), 小肠中锌的溶解度随着氨基酸螯合锌加量的增加而增加, 且高于添加同等剂量的硫酸锌组 ($P < 0.08$)^[10]。暗示有机锌在小肠中的溶解度较高可能是其生物利用率高的部分原因。

3.4 锌与免疫球蛋白 IgG 的浓度

很多研究发现锌与机体的免疫功能密切相关, IgG 是血清中主要的一种免疫球蛋白, 其含量反映机体的免疫状况, 缺锌导致动物免疫机能下降。据 Cheng 和 Kornegay 报道仔猪的免疫应答不受锌源影响^[11]。与此相反, Ahn 等在仔猪饲料中添加等量的锌 (200 mg/kg), 与 ZnO 相比, Zn- Met 提高了仔猪血清中 IgG 浓度 ($P < 0.05$)^[12]。本试验开始, 添加 ZnSO₄ 组血清 IgG 浓度异常高, 可能是采血时操作误差造成, 当时该组样品溶血较多。试验结束时, 除 Zn- AAC 取代 40% ZnSO₄ 组外, 有机锌取代无机锌呈现明显的规律性变化, 即随着 Zn- AAC 取代量的增加, 血清中 IgG 浓度升高 ($P > 0.05$)。40% Zn- AAC 组出现的不一致, 可能与实验动物本身有关, 其血清 ALP 活性平均值亦比较低, 在一定程度上或许反映了动物的健康状况。

3.5 锌与碱性磷酸酶 (ALP) 活性

血清碱性磷酸酶活性是反映单胃动物锌营养状况比较理想的指标。动物缺锌时, ALP 活性下降, 补锌后活性上升。同时, ALP 活性随饲料锌含量提

高上升到一定水平时趋于平稳。本研究中,有机锌与无机锌的不同配比未对仔猪血清 ALP 活性产生影响($P > 0.05$),与韦习会^[13]和王立新等^[14]的报道不同。分析原因,可能是他们锌添加量较低(54.7 mg/kg 和 60 mg/kg),ALP 活性还有随可利用锌增加而上升的空间。本试验锌的补充量为 100 mg/kg,根据有机锌利用率较高的推断,是否已经达到了使 ALP 活性趋于平稳的锌含量水平,尚需进一步的研究。

6 结 论

通过以上分析和讨论,本试验得出如下结论:①与硫酸锌相比,断奶仔猪补饲常规剂量的锌氨基酸螯合物,能够提高仔猪的生长速度和饲料摄入量,增加血清锌浓度;②有机锌与无机锌合用时饲喂效果优于单一使用,硫酸锌、锌氨基酸螯合物和混合锌在断奶仔猪增重和采食量上的排序是:混合锌> 锌氨基酸螯合物> 硫酸锌;③锌氨基酸螯合物与硫酸锌的最佳配合比例为 60%:40%。

参考文献:

- [1] 韩友文,滕冰.微量元素氨基酸螯合物的生物效价及其应用中一些问题[J].饲料博览,2001,(11):6-9.
Han Y W, Teng B. Bioavailability of the metal amino acid chelate and some problems in the application[J]. *J Feed Review*, 2001, (11): 6-9.
- [2] Carlson M S, C A Boren, C Wu, 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] Ward T L, G L Asche, G F Louis, et al. Zinc-methionine improves growth performance of starter pigs[J]. *J Anim Sci*, 1996, 74(1): 182.
- [4] Ashmead H D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metal salts [A]. In: *The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition*[C], Noyes Publishers, New Jersey, 1993. 306-319.
- [5] Fairweather-Tait S J. Bioavailability of dietary minerals[J]. *Biochem Soc Trans*, 1996, 24: 775-780.
- [6] Power R, K Horgan. Biological chemistry and absorption of inorganic and organic trace metals[A]. T P Lyons, K A Jacques, et al. *Biotechnology in the Feed Industry*[C], Nottingham University Press, Nottingham, UK, 2000. 277-291.
- [7] 张伟,姜礼胜,吴可真,等.不同锌源对仔猪生长性能的影响[J].中国饲料,2002,(1):17-18.
Zhang W, Jing L S, Wu K Z, et al. Effect of different zinc source on growth performance of piglet[J]. *J China Feed*, 2002, (1): 17-18.
- [8] Spears J W, Flowers W L. Effect of metal proteinates on baby pig growth and survival and sow reproductive performance[R]. Technical report. Chelated Minerals Corp. Salt Lake City, UT, 1995, 84127.
- [9] 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(1): 182.
- [10] Matsui T, T Ishiguro, S Suzuki, et al. Supplementation of zinc as amino acid-chelated zinc for piglets[A]. In: *Proc of the 8th AAAP Animal Congress*[C], Tokyo, Japan, 1996. 754-755.
- [11] Cheng J, E T Kornegay, T Schell. Influence of dietary lysine on the utilization of zinc from zinc sulphate and zinc lysine complex by young pigs[J]. *J Anim Sci*, 1998, 76: 1064-1074.
- [12] Ahn S H, J S Um, D H Kim. Effects of the sources and levels of supplemental zinc the performance of weanling pigs[J]. *J Anim Sci*, 1998, (40): 9.
- [13] 韦习会,夏东,李文艺,等.不同形态锌对断奶仔猪补锌效果的研究[J].养猪,1998,(4):6-7.
Wei X H, Xiao D, Li W Y, et al. The effect of different zinc sources on the performance of weaning pigs[J]. *J Swine Production*, 1998, (4): 6-7.
- [14] 王立新,王治华,卢文超,等.不同锌形式对仔猪生长性能和血液生化指标的影响[J].畜牧与兽医,2003,35(11):21-22.
Wang L X, Wang Z H, Lu W C, et al. Effect of supplementation of zinc oxide or Zn-methionine on performance and biochemical parameters of blood in the piglets[J]. *J Animal and Veterinary Science*, 2003, 35(11): 21-22.

(本文审稿:王康宁)