

# 碱式氯化铜对肉仔鸡的生物学有效率、饲料中维生素 E 的氧化稳定性和生物安全性研究

林月霞, 吕 林, 罗绪刚\*, 王志跃, 刘 彬

(中国农业科学院畜牧研究所, 北京 100094)

**摘要:** 用分别添加 150、300、450 mg/kg 铜的硫酸铜和碱式氯化铜的饲料饲喂 420 只 1 日龄 AA 肉公雏, 对照组为添加需要量水平铜(硫酸铜来源)的玉米-豆粕型饲料, 试验期 21 d, 测鸡血浆和肝脏中铜含量比较其生物学有效率; 测不同存放期饲料中的维生素 E 含量, 比较硫酸铜和碱式氯化铜对其氧化稳定性的影响; 比较各周龄鸡生长性能看其生物安全性。碱式氯化铜生物学有效性优于硫酸铜, 其相对于硫酸铜的生物学利用率(以硫酸铜的生物学利用率为 100% 计)分别为 106.9% (以总铜分析值摄入量为自变量); 108.4% (以总铜计算值摄入量为自变量); 109% (以铜添加水平摄入量为自变量); 碱式氯化铜处理组鸡的血浆和肝脏维生素 E 含量明显高于硫酸铜处理组 ( $P < 0.0001$ ), 表明碱式氯化铜源饲料中维生素 E 的氧化稳定性明显优于硫酸铜源饲料; 碱式氯化铜对肉仔鸡的生物安全性明显高于硫酸铜。碱式氯化铜可完全代替硫酸铜, 在饲料工业中有广阔的应用前景。

**关键词:** 碱式氯化铜; 硫酸铜; 生物学有效率; 维生素 E; 肉仔鸡

中图分类号: S831.5

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2006)02-0141-05

## Effect of Dietary Supplementation with Copper Sulfate or Tribasic Copper Chloride on Broiler Performance, Relative Copper Bioavailability, and Oxidation Stability of Vitamin E in Feed

LIN Yue-xia, LÜ Lin, LUO Xu-gang\*, WANG Zhi-yue, LIU Bin

(Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

**Abstract:** An experiment was conducted using a total of 420 1-d-old Arbor Acres commercial male chicks to compare Cu sulfate and tribasic Cu chloride (TBCC) as sources of supplemental Cu for broilers. Chicks were randomly allotted to 1 of 7 treatments for 6 replicates of 10 birds each, and were fed the basal corn-soybean meal diet (11.45 mg/kg Cu) supplemented with either 0, 150, 300, or 450 mg/kg Cu from Cu sulfate or TBCC for 21 d. Chicks fed 450 mg/kg Cu as Cu sulfate had lower ( $P < 0.01$ ) average daily feed intake and average daily gain than those consuming other diets. Feeding supplemental Cu increased linearly ( $P < 0.0001$ ) liver Cu concentrations regardless of Cu source. The slopes of regressions of  $\log_{10}$  liver Cu on different independent variables used in regressions differ ( $P < 0.05$ ) between the two Cu sources. Linear regression over nonzero dietary levels of  $\log_{10}$  transformed liver Cu concentration on added Cu intake resulted in a slope ratio estimate of  $109.0 \pm 3.4$  (with a 95% confidence interval from 102.2 to 115.8) for bioavailability of Cu from TBCC compared to 100 for that in Cu sulfate. When the feeds were stored at room temperature for 10 days or 21 days, the vitamin E content in the feed fortified with 300 mg/kg Cu as TBCC was higher ( $P < 0.01$ ) than that in the feed added with 300 mg/kg Cu as  $\text{CuSO}_4$ . The

收稿日期: 2005-04-05

作者简介: 林月霞(1978-), 女, 江苏盐城人, 硕士生, 主要从事动物微量元素营养研究。E-mail: love\_xxy@126.com

\* 通讯作者: 罗绪刚, Tel: 010-62816012; E-mail: wlysz@263.net

vitamin E contents in liver and plasma of broilers given TBCC were also higher ( $P < 0.01$ ) than those of birds fed Cu sulfate. The results from this study indicate that TBCC is a safer product and more available to broilers than Cu sulfate, and it is chemically less active than Cu sulfate in promoting the oxidation of vitamin E in feed.

**Key words:** tribasic copper chloride; copper sulfate; bioavailability; vitamin E; broilers

铜(Cu)是家禽和家畜必需的微量元素,Cu源的生物学有效率是能否选择该Cu源用于家畜和家禽生产的关键,且其生物安全性直接关系到动物和人类的身体健康。碱式氯化铜(Tribasic Copper Chloride,以下简称TBCC)是用中和与结晶的方法研制成的新型Cu源<sup>[1]</sup>,具有不吸湿结块、流动性好、不氧化破坏饲料中的维生素、生物利用率高等优点<sup>[2,3]</sup>。国内外对家禽、猪、牛的饲用研究表明,碱式氯化铜的生物学有效性和生物安全性明显高于硫酸铜,而铜的使用量比硫酸铜减少25%~30%<sup>[4~6]</sup>,不仅降低饲料成本,而且可大大减少铜排泄对环境的污染,对保护生态环境也有重要意义<sup>[7,8]</sup>。另外,碱式氯化铜加到饲料中还可改进饲料的氧化稳定性,但关于此种TBCC的主要化学特性、对饲料中维生素E(VE)等氧化稳定性和在猪鸡等畜禽上的应用效果及其生物安全性研究,国内现有文献尚未见报道。本研究以肉仔鸡为动物模型,通过以下试验观测美国微量养分公司所生产的TBCC对动物的生物学有效率、对饲料中VE的氧化稳定性及其生物安全性情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 动物分组及处理

420只1日龄AA肉公雏,随机分成7个处理组:处理1组为饲喂添加需要量水平Cu(CuSO<sub>4</sub>来源)的玉米-豆粕型基础饲料对照组,处理2~4组饲料为在对照组的基础上分别添加150、300、450 mg/kg Cu的CuSO<sub>4</sub>组,处理5~7组饲料为在对照组的基础上分别添加150、300、450 mg/kg Cu的TBCC组。每组60只鸡,分6个重复笼饲养,每笼10只,24 h恒定光照,自由采食与饮用自来水,试验21 d。饲养管理按《AA肉仔鸡饲养管理手册》进行。每周末以重复笼为单位称重、结算耗料量观察记录鸡的腿病和死亡情况。参照美国NRC<sup>[9]</sup>家禽营养需要量配制0~21日龄肉仔鸡玉米-豆粕型基础饲料(见表1,含Cu实测为11.45 mg/kg)。

### 1.2 样品采集与检测

分别于试验期第10、21天采集饲料样,检测其中的VE含量;21 d试验结束时,从各组的每个重复

笼按平均体重抽取4只鸡,心脏穿刺采血后离心制得血浆,冷冻保存供测血浆VE含量。然后将鸡屠宰,取出肝脏,保存于-20℃冰箱内,用于测定肝脏铜和VE含量。

表1 基础日粮组成与养分含量

Table 1 Composition and nutrients levels of the basal diet

原料 Ingredient	百分含量 Composition/%
玉米 Corn	53.3
豆粕 Soybean meal	35
鱼粉 Fish meal	4
植物油 Plant oil	4.24
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	1.4
石粉 Ground limestone	1.22
食盐 Salt	0.3
D,L-蛋氨酸 D,L-Methionine	0.21
预混料 Vitamin-mineral premix*	0.33
合计 Total	100
营养水平 Nutrients levels	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.73
粗蛋白 CP**	22.4
钙 Ca**	1.04
非植酸磷 Nonphytate phosphorus	0.49
赖氨酸 Lysine	1.25
蛋+胱氨酸 Methionine+Cystine	0.99
铜 Cu/(mg/kg)**	11.45

\* 每千克饲料中添加:VA 12 500 IU,VD<sub>3</sub> 4 250 IU,VE 16IU,VK<sub>3</sub> 2.0 mg,VB<sub>1</sub> 1.0 mg,VB<sub>2</sub> 8.5 mg,VB<sub>6</sub> 2.0 mg,VB<sub>12</sub> 10 μg,泛酸钙 10.0 mg,烟酸 32.5 mg,生物素 158 μg,叶酸 1.0 mg,胆碱 700 mg,抗氧化剂 0.06 mg,Cu(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 8 mg,Fe(FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) 80 mg,Zn(ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) 80 mg,Mn(MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) 100 mg,I(碘钙粉) 0.35 mg,Se(亚硒酸钠) 0.2 mg。多维中不含抗氧化剂。

\*\* 分析值

\* Provided per kilogram of diet: vitamin A (as all-trans retinol acetate), 12 500 IU; cholecalciferol, 4 250 IU; vitamin E (as all-rac- $\alpha$ -tocopherol acetate), 16IU; vitamin K (as menadione sodium bisulfate), 2.0 mg; thiamin (as thiamin mononitrate), 1.0 mg; riboflavin, 8.5 mg; vitamin B<sub>6</sub>, 2.0 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 10 μg; pantothenic acid calcium, 10.0 mg; niacin, 32.5 mg; biotin, 158 μg; folic acid, 1.0 mg; choline (as choline chloride), 700 mg; antioxidant 0.06 mg; Cu(CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), 8 mg; Fe (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 80 mg; Zn (ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 80 mg; Mn(MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O), 100 mg; I (CaI<sub>2</sub>), 0.35 mg; Se (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), 0.2 mg. The multiple vitamin did not contain an antioxidant.

\*\* Determined by analysis.

饲料、血浆、肝脏用浓HNO<sub>3</sub>和HClO<sub>3</sub>湿法消化,然后在ICAP-9000等离子体发射光谱仪上分析其中Cu等矿物元素含量;用维生素E测定试剂盒(南京建成生物工程研究所生产)测定饲料、血浆和肝脏中VE含量。

### 1.3 数据分析

数据用 SAS 软件中的 GLM 法<sup>[10]</sup>按完全随机设计进行方差分析,以 LSD 法检测各处理平均数间的差异显著性。用《J Anim Sci》等国际名刊趋于采用的 0.10 作为各项数据的差异显著性检验水平<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 在饲料中的铜浓度及混合均匀度比较

添加 CuSO<sub>4</sub> 源和 TBCC 源饲料中实测铜浓度分别为 25.4% 和 56.7%。添加 CuSO<sub>4</sub> 源 450 mg/kg Cu 和 TBCC 源 450 mg/kg Cu 组饲料中铜浓度变异系数分别为 3.52% 和 2.16%,说明 TBCC 在饲料

中的混合度比 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 好,这是因为 TBCC 比 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 颗粒小且流动性好。

### 2.2 生长性能比较

生长性能比较见表 2。由表 2 可见,Cu 源、添加 Cu 水平对肉仔鸡日采食量和日增重有显著影响 ( $P < 0.01$ ),且在影响日增重方面 Cu 源和添加 Cu 水平之间存在互作 ( $P < 0.05$ )。添加 CuSO<sub>4</sub> 源 450 mg/kg Cu 组肉仔鸡的日采食量和日增重都显著低于其它各处理组。添加 TBCC 源的各处理组肉仔鸡的日采食量和日增重都与对照组差异不显著 ( $P > 0.10$ )。Cu 源、添加 Cu 水平以及二者互作对肉仔鸡 21 d 饲料报酬影响不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 2 铜源和铜水平对 0~21 日龄阶段肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary Cu source and level on growth performance of 21 day-old broilers

Cu 源 Cu source	添加 Cu 水平 Added Cu level / (mg/kg)	采食量 ADFI /g	日增重 ADG/g	耗料/增重 F/G/(g/g)
对照 Control	0	45.8 <sup>AC</sup>	34.1 <sup>A</sup>	1.34 <sup>a</sup>
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	150	45.8 <sup>AC</sup>	33.8 <sup>A</sup>	1.35 <sup>ac</sup>
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	300	44.1 <sup>A</sup>	33.3 <sup>A</sup>	1.33 <sup>a</sup>
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	450	40.4 <sup>B</sup>	29.3 <sup>B</sup>	1.38 <sup>c</sup>
TBCC	150	47.4 <sup>C</sup>	34.9 <sup>A</sup>	1.36 <sup>ac</sup>
TBCC	300	46.1 <sup>AC</sup>	34.7 <sup>A</sup>	1.33 <sup>a</sup>
TBCC	450	44.6 <sup>AC</sup>	33.4 <sup>A</sup>	1.33 <sup>a</sup>
集合标准误 Pooled	SE	0.84	0.64	0.01
Cu 源 Cu source	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	44.0 <sup>A</sup>	32.6 <sup>A</sup>	1.35
	TBCC	46.0 <sup>B</sup>	34.3 <sup>B</sup>	1.34
集合标准误 Pooled	SE	0.42	0.32	0.01
添加 Cu 水平 Added Cu level	0	45.8 <sup>A</sup>	34.1 <sup>A</sup>	1.34 <sup>ab</sup>
	150	46.6 <sup>A</sup>	34.4 <sup>A</sup>	1.36 <sup>a</sup>
	300	45.1 <sup>A</sup>	34.0 <sup>A</sup>	1.33 <sup>b</sup>
	450	42.5 <sup>B</sup>	31.3 <sup>B</sup>	1.36 <sup>a</sup>
集合标准误 Pooled	SE	0.59	0.45	0.01
<i>P</i> -value				
Cu 源 Source		0.002 4	0.000 8	0.182 8
Cu 水平 Level		0.000 1	0.000 1	0.051 5
Cu 源 × Cu 水平 Source × level		0.121	0.018 3	0.128 4

所有值均为 6 个重复笼的平均值。同一列肩标不同大写字母(A,B)者差异极显著 ( $P < 0.01$ ),不同小写字母(a,b)者差异显著 ( $P < 0.05$ ),下表同

Each value represents the mean of 6 cages. Means with different capital letter superscripts(A,B)within the same column differ very significantly ( $P < 0.01$ ), means with different small letter superscripts(a,b)within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ), The same below

Miles 等报道分别在饲料中添加 CuSO<sub>4</sub> 源和 TBCC 源 Cu 400 mg/kg,肉仔鸡体重和饲料报酬差异均不显著<sup>[15]</sup>,添加 CuSO<sub>4</sub> 源 Cu 450 mg/kg 降低肉仔鸡日采食量<sup>[5,11]</sup>,而添加 TBCC 源 Cu 450 mg/kg 不降低肉仔鸡日采食量<sup>[11]</sup>。以上报道与本研究结果一致。

### 2.3 肝 Cu 浓度和 TBCC 的相对生物学利用率

由表 3 可见,Cu 源、添加 Cu 水平以及二者互作

对肉仔鸡肝脏 Cu 浓度影响极显著 ( $P < 0.000 1$ ),肉仔鸡肝 Cu 浓度随着饲料 Cu 水平的提高显著增加 ( $P < 0.000 1$ )。

经 log<sub>10</sub> 转化后的肝铜含量与 Cu 摄入量总水平的多元线性回归方程见表 4。由表 4 可见,log<sub>10</sub> 转化后的肝铜含量分别与总铜分析值摄入量、总铜计算值摄入量、铜添加水平摄入量的多元线性回归斜率并应

用斜率比法<sup>[12]</sup>进行计算, TBCC 铜源相对于  $\text{CuSO}_4$  源生物学利用率(以硫酸铜的生物学利用率为 100% 计<sup>[11,13]</sup>)分别为 106.9%、108.4% 和 109%。TBCC 的

生物学利用率显著高于  $\text{CuSO}_4$  ( $P < 0.05$ )。在商业生产中使用 TBCC 作 Cu 源添加剂可以降低 Cu 的添加水平, 从而减少环境中的 Cu 残留。

表 3 铜源和铜水平对 0~21 日龄阶段肉仔鸡肝脏和血浆中 VE 及肝脏铜含量的影响  
Table 3 Effects of dietary Cu source and level on concentrations of VE in plasma and livers, and liver Cu contents of 21 day-old broilers

Cu 源 Cu source	添加 Cu 水平 Added Cu level /(mg/kg)	肝铜* Liver Cu /(mg/kg)	肝 VE 含量 Liver VE /( $\mu\text{g/g}$ )	血浆 VE Plasma VE /( $\mu\text{g/mL}$ )
对照 Control	0	5.6 <sup>A</sup>	35.7 <sup>AB</sup>	8.4 <sup>AD</sup>
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	150	5.9 <sup>A</sup>	32.6 <sup>A</sup>	7.7 <sup>AB</sup>
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	300	10.9 <sup>B</sup>	36.8 <sup>AB</sup>	7.5 <sup>B</sup>
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	450	28.6 <sup>C</sup>	35.5 <sup>AB</sup>	7.9 <sup>AB</sup>
TBCC	150	5.5 <sup>A</sup>	39.8 <sup>B</sup>	9.7 <sup>C</sup>
TBCC	300	14.8 <sup>D</sup>	38.3 <sup>AB</sup>	8.9 <sup>D</sup>
TBCC	450	49.7 <sup>E</sup>	52.0 <sup>C</sup>	9.1 <sup>CD</sup>
集合标准误 Pooled SE	0.94	1.56	0.2	
Cu 源 Cu source	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	12.7 <sup>A</sup>	35.2 <sup>A</sup>	7.9 <sup>A</sup>
	TBCC	18.9 <sup>B</sup>	41.5 <sup>B</sup>	9.0 <sup>B</sup>
集合标准误 Pooled SE		0.47	0.78	0.1
添加 Cu 水平 Added Cu level	0	5.6 <sup>A</sup>	35.7 <sup>A</sup>	8.4 <sup>ab</sup>
	150	5.7 <sup>A</sup>	36.2 <sup>A</sup>	8.7 <sup>a</sup>
	300	12.9 <sup>B</sup>	37.5 <sup>A</sup>	8.2 <sup>b</sup>
	450	39.2 <sup>C</sup>	43.8 <sup>B</sup>	8.5 <sup>ab</sup>
集合标准误 Pooled SE		0.67	1.1	0.14
<i>P</i> -value				
Cu 源 Source		0.000 1	0.000 1	0.000 1
Cu 水平 Level		0.000 1	0.000 1	0.066 7
Cu 源×Cu 水平 Source×level		0.000 1	0.000 1	0.000 1

\* 肝铜含量为实测值的  $\log_{10}$  转化值, 分析样品均为鲜样

GLM of  $\log_{10}$  transformed liver Cu concentration. Fresh basis by analyses

表 4  $\log_{10}$  转化后的肝 Cu 含量与 Cu 摄入量总水平的多元线性回归  
Table 4 Multiple linear regressions of  $\log_{10}$  transformed liver Cu concentration (y) on various independent variables over non-zero levels

独立变量 Independent variable	截距 Intercept	斜率±SE ( $\times 10^{-5}$ ) Slope±SE ( $\times 10^{-5}$ )	$r^2$	<i>P</i> 值 <i>P</i> -Value	相对生物学利 用率 RBV/ %
铜添加水平摄入量 Added Cu intake /( $\mu\text{g/d}$ )	0.269 2	6.30±0.32 Sulf 6.87±0.29 TBCC	0.946 1	0.000 1	100.0 <sup>a</sup> 109.0 <sup>b</sup>
总铜计算值摄入量 Calculated total Cu intake/ ( $\mu\text{g/d}$ )	0.233 1	6.34±0.32 Sulf 6.87±0.30 TBCC	0.944 9	0.000 1	100.0 <sup>a</sup> 108.4 <sup>b</sup>
总铜分析值摄入量 Analyzed total Cu intake/ ( $\mu\text{g/d}$ )	0.200 5	6.69±0.37 Sulf 7.15±0.33 TBCC	0.935 9	0.000 1	100.0 <sup>a</sup> 106.9 <sup>b</sup>

## 2.4 饲料中 VE 的氧化稳定性

由于高剂量的  $\text{CuSO}_4$  很容易氧化破坏饲料中的 VE 等维生素, 本研究根据前人的报道<sup>[6]</sup> 直接测定配合饲料中的 VE 含量以及分析体内血浆和肝中 VE 含量来反映饲料中 VE 的氧化稳定性。血浆和肝脏 VE 含量见表 3, 饲料中 VE 含量见表 5。从表 3 看

出, 添加 TBCC 源 Cu 450 mg/kg 组鸡的肝中 VE 含量极显著高于其他各组 ( $P < 0.01$ ), 添加 TBCC 源各组鸡的血浆 VE 含量均高于添加相同水平的  $\text{CuSO}_4$  源各组 ( $P < 0.01$ ); 肝脏和血浆中 VE 含量结果表明, TBCC 对肉仔鸡饲料中 VE 的氧化破坏明显低于  $\text{CuSO}_4$ , 即 TBCC 源饲料中 VE 的氧化稳定性明显优于

CuSO<sub>4</sub> 源饲料;从表 5 可见,添加 Cu 300 mg/kg 的 TBCC 组饲料在常温保存 10 和 21 d 测得的 VE 含量均显著高于添加 Cu 300 mg/kg 的 CuSO<sub>4</sub> 组,表明在加快饲料中 VE 的氧化方面 TBCC 的活性明显低于 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O。

表 5 以不同铜源形式添加 300mg/kg 铜对存放不同天后饲料中 VE 含量的影响

Table 5 VE concentrations (mg/kg) in feeds (fresh basis) supplemented with 300mg/kg Cu as two sources at different time

铜源 Copper Source	10 days	21 days
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	28.1 <sup>A</sup>	21.7 <sup>A</sup>
TBCC	31.3 <sup>B</sup>	29.7 <sup>B</sup>
P-value	0.000 1	0.000 1

所有值均为 10 个重复样品的平均值

Each value represents the mean of 10 samples

## 2.5 生物安全性(见表 2)

从表 2 可见,日粮添加 TBCC 源 Cu 450mg/kg 时对鸡的采食量和日增重与对照组相比均无显著差异,而添加 450mg/kg Cu 的 CuSO<sub>4</sub> 源组对鸡的采食量和日增重与对照组相比均显著下降 ( $P < 0.05$ ),说明肉鸡日粮中添加高剂量的铜 TBCC 源比 CuSO<sub>4</sub> 源更安全。

表 6 鸡只死亡记录表

Table 6 Mortality of chicks by treatment

Cu 添加水平 Supplemental Cu level/(mg/kg)	死亡鸡只数/只 Death of chicks	
	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	TBCC
0	0	0
150	1	0
300	0	1
450	0	1

本试验鸡只死亡率为 0.7%(见表 6),与预期 3 周龄死亡率基本一致,Ensminger 曾报道肉仔鸡在生长的前 3 周死亡率约 2%<sup>[14]</sup>。本试验全程共有 3 只鸡死亡,TBCC 处理组死亡 2 只,所有死亡鸡组织剖检未发现病变,认为是正常的弱雏死亡。这一结果不能说 TBCC 影响鸡只的存活率。

可见作为动物饲料 Cu 源的添加剂,TBCC 的生物安全性明显优于 CuSO<sub>4</sub>。

## 3 结 论

作为微量元素添加剂的 TBCC 在提高肉仔鸡

生长性能方面明显优于 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O,表明 TBCC 的生物有效性高于 CuSO<sub>4</sub>,在安全剂量范围内对肉仔鸡生产无危害,且 TBCC 对饲料中 VE 的氧化破坏性明显低于 CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O。因此,TBCC 可完全代替 CuSO<sub>4</sub> 而在饲料工业中有广阔的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 陈昌铭,温 神,慎义勇. 碱式氯化铜的合成与理化特性研究[J]. 饲料工业, 2004,25(5): 38~41.
- [2] 郭荣富,陈克卑,张 曦. 动物营养中高效铜源及其生物利用率[J]. 饲料工业,1999,20(7): 11~12.
- [3] 姜淑贞,杨在宾,杨维仁. 铜在畜牧生产中的应用趋势[J]. 中国饲料,2000,17:7~9.
- [4] Luo X G, Dove C R. Effect of dietary copper and fat on nutrient utilization, digestive enzyme activities, and tissue mineral levels in weanling pigs [J]. Anim Sci, 1996, 74:1 888~1 896.
- [5] Miles R D, O'keefe S F, Henry P R, *et al.* The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tri-basic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability and dietary prooxidant activity [J]. Poult Sci,1998, 77: 416~425.
- [6] 武书庚,齐广海,郑君杰. 微量元素铜的研究综述[J]. 饲料工业, 1999,20(12):5~7.
- [7] 李清宏,韩俊文,罗绪刚. 猪高剂量铜应用研究进展[J]. 中国饲料, 2000,(19):12~14.
- [8] 李清宏,罗绪刚,刘 彬,等. 饲料甘氨酸铜对断奶仔猪血液生理生化指标和组织铜含量的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2004,35(1):23~27.
- [9] National Research Council. Nutrient Requirements of Poultry [M]. Washington D C: National Academy Press, 1994.
- [10] SAS Institute Inc. SAS User's Guide: Statistics[J]. SAS Institute Inc, 1989,Cary NC.
- [11] Ledoux D R, Henry P R, Ammerman C B, *et al.* Estimation of the relative bioavailability of inorganic copper sources for chicks using tissue uptake of copper [J]. Anim Sci, 1991, 69: 215.
- [12] Littell R C, Henry P R, Lewis A J, *et al.* Estimate of relative bioavailability of nutrients using SAS procedures[J]. Anim Sci, 1997,75: 2 672~2 683.
- [13] Spears J W, Kegley E B, Mullis L A, *et al.* Bioavailability of copper chloride in cattle[J]. Anim Sci,1997, 75 (Suppl. 1):265.
- [14] Ensminger M E. Poultry Science[M]. The Interstate Printers and Publishers, Inc., Danville IL. 1980.