

# 蛋氨酸铜对 2~4 月龄长毛兔生产性能、血清生化指标及血清含铜酶活性的影响

张永翠<sup>1</sup> 王恩玲<sup>1\*</sup> 严俊丽<sup>1</sup> 伏桂华<sup>1</sup> 王宇文<sup>1</sup> 谭清元<sup>1</sup>

梁启军<sup>2</sup> 杨磊<sup>3</sup> 解红梅<sup>1\*\*</sup>

(1.山东畜牧兽医职业学院,潍坊 261061;2.诸城市龙都畜牧兽医站,诸城 262200;

3.临沂市郯城县庙山镇畜牧兽医站,临沂 276000)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料中蛋氨酸铜添加量对 2~4 月龄长毛兔生产性能、血清生化指标及血清含铜酶活性的影响。选用 180 只刚剪完胎毛的 2 月龄蒙阴长毛兔,随机分为 6 组,每组 10 个重复,每个重复 3 只。以蛋氨酸铜为铜源,在基础饲料中分别添加 0、10、20、40、80 和 160 mg/kg 铜,配制 6 种试验饲料。预试期 7 d,正试期 53 d。结果表明:铜添加量对长毛兔平均日增重(ADG)、料重比(F/G)有显著影响( $P < 0.05$ ),随着铜添加量的增加,ADG 先增加后降低,F/G 先降低后增加,当铜添加量为 40 mg/kg 时,ADG 最高,F/G 最低,但与铜添加量为 20 mg/kg 时差异不显著( $P > 0.05$ )。铜添加量对产毛量、毛直径、皮张面积均无显著影响( $P > 0.05$ )。铜添加量对血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿素氮(UN)含量以及白球比(A/G)的影响均不显著( $P > 0.05$ )。随着铜添加量的增加,血清 GLB 含量呈先升高后降低的趋势。铜添加量对血清铜锌超氧化物歧化酶、铜蓝蛋白活性有显著影响( $P < 0.05$ ),铜添加量为 20 mg/kg 时,血清铜锌超氧化物歧化酶、铜蓝蛋白的活性最高,分别为 69.33 U/mL 和 227.30 U/L。铜添加量对血清钙、磷含量无显著影响( $P > 0.05$ ),对肝脏指数、肾脏指数、心脏指数、脾脏指数亦无显著影响( $P > 0.05$ )。依据本试验结果并考虑环保要求,以蛋氨酸铜为铜源时,推荐 2~4 月龄长毛兔饲料中铜添加量为 20 mg/kg。

**关键词:** 蛋氨酸铜;长毛兔;生产性能;血清生化指标;含铜酶活性

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-1036-08

铜元素作为动物生长必需的微量元素之一,能够增强动物体的造血功能、促进有机物的代谢和生长繁殖、维护动物的毛发正常生长和色泽、增强机体抵抗力<sup>[1]</sup>,在毛皮动物饲料中添加一定量的铜可以提高其生长性能和毛皮品质<sup>[2-3]</sup>。饲料中添加适宜水平的铜有利于提高动物的生长性能和营养物质消化率,并且不同铜源的促生长效果存在差异<sup>[4-5]</sup>。目前,在动物生产中铜的添加形式主要有无机铜、有机铜 2 种。无机铜是饲料中铜

元素的主要添加形式,但是由于无机铜的吸收利用率低,导致高剂量添加铜成为畜禽养殖中的普遍现象<sup>[6]</sup>。高剂量的铜不但危害动物自身健康,而且最终会沉积到畜禽产品中,过量的铜还会随排泄物进入土壤和水源,对生态环境造成极大破坏<sup>[7-8]</sup>。有机铜以蛋氨酸铜应用较为广泛,其具有利用率高、稳定性好的特点,转运吸收不需要额外的配位反应,节省了小肠的载体蛋白,减少了与锌、铁等离子的竞争拮抗反应,减少能量的损

收稿日期:2020-07-15

基金项目:山东省现代农业产业技术体系特种经济动物创新团队(SDAIT-21-03)

作者简介:张永翠(1982—),女,山东济南人,讲师,硕士,从事动物营养与饲料研究。E-mail: 1-zyc@163.com

\* 同等贡献作者

\*\* 通信作者:解红梅,副教授,E-mail: hmx861@163.com

耗<sup>[9-10]</sup>。我国农业农村部发布的第 2625 号公告《饲料添加剂安全使用规范》已经对动物饲料中铜的添加量作出进一步限制,其中规定肉兔配合饲料或全混合日粮中,铜的最高限量为 25 mg/kg(包含饲料原料本底值)。蛋氨酸铜在畜禽饲料中的应用研究已经比较广泛,但其在长毛兔饲料中的应用研究较少且研究结论不尽相同。因此,本试验在长毛兔饲料中添加不同水平的蛋氨酸铜,研究其对 2~4 月龄长毛兔生产性能、血清生化指标、血清含铜酶活性及内脏发育情况的影响,探讨 2~4 月龄长毛兔对蛋氨酸铜形式铜的需要量,旨在为我国长毛兔饲养中蛋氨酸铜的应用提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验动物及分组

选用 180 只刚剪完胎毛的 2 月龄蒙阴长毛兔,

随机分为 6 组,每组 10 个重复,每个重复 3 只试验兔。试验兔要求体重差异不显著( $P>0.05$ )、公母各 1/2、健康状况良好,并采取驱虫保健、疫苗接种等必要的抗病防疫措施。试验兔舍自然通风、采光,于每天 06:00、18:00 饲喂,自由采食,自由饮水。预试期 7 d,正试期 53 d。

### 1.2 试验饲料及试验设计

基础饲料参照中华人民共和国标准(审定稿 1994)安哥拉毛兔饲养标准配制,其组成及营养水平见表 1。以蛋氨酸铜(蛋氨酸铜中铜含量为 17.1%,蛋氨酸含量为 78.5%)为铜源,在基础饲料中分别添加 0、10、20、40、80 及 160 mg/kg 铜,配制 6 种试验饲料,试验饲料中铜含量的实测值分别为 2.65、12.53、21.38、41.82、83.11 及 159.37 mg/kg。用环模制粒机将饲料压成直径 4 mm 的颗粒饲料,通风避光处保存备用。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	含量 Content
玉米 Corn	17.5	消化能 DE/(MJ/kg)	10.55
豆粕 Soybean meal	18.0	粗蛋白质 CP	16.38
小麦麸 Wheat bran	19.0	粗纤维 CF	16.53
花生秧 Peanut vine	26.0	粗脂肪 EE	2.44
苜蓿草粉 Alfalfa meal	15.0	赖氨酸 Lys	1.16
豆油 Soybean oil	0.5	蛋氨酸 Met	0.48
预混料 Premix <sup>1)</sup>	4.0	钙 Ca	0.94
合计 Total	100.0	磷 P	0.39

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kilogram of the diet: VA 10 000 IU, VD<sub>3</sub> 1 000 IU, VE 100 mg, VB<sub>1</sub> 1 mg, VB<sub>2</sub> 3 mg, VB<sub>6</sub> 1 mg, VB<sub>12</sub> 0.01 mg, 烟酸 nicotinic acid 30 mg, 泛酸 pantothenic acid 8.0 mg, 叶酸 folic acid 0.5 mg, Zn 50 mg, Fe 60 mg, Mn 10 mg, Mg 150 mg, I 0.5 mg, Se 0.1 mg, NaCl 5 g, 胆碱 choline 1.5 g, 赖氨酸 Lys 3.0 g, 蛋氨酸 Met 2.9 g。

2) 消化能为计算值,其余为实测值。DE was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

### 1.3 样品的采集与制备

正试期结束后,试验兔空腹称重记为宰前活重。每组随机抽取 6 只试验兔,心脏采血 10 mL,离心机以 3 000 r/min 离心 10 min,分离所得血清分装于离心管中,置于-20 °C 冷冻保存,用于血清生化指标、血清含铜酶活性以及钙、磷含量的测定。

### 1.4 测定指标与方法

#### 1.4.1 生产性能指标

记录试验正式开始时试验兔体重和试验结束时试验兔的体重,统计试验期间(不包括预试期)的喂料量,计算平均日采食量(ADFI)、平均日增

重(ADG)和料重比(F/G)。

试验结束后,对长毛兔剪毛,称取实际剪毛的重量,并记录为产毛量。兔毛直径采用光学纤维直径分析仪和纤维投影仪进行测定。

将试验兔用颈椎错位法致死、屠宰,剥离内脏器官并称量。剥离皮张,用于测定皮张面积,量取肩部、腰部、臀部长,取平均值为皮张宽度,量取颈部中间至尾根长度,为皮张长度,计算皮张面积。

#### 1.4.2 血清生化指标

血清总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albu-

min, ALB)、球蛋白(globulin, GLB)、尿素氮(urea nitrogen, UN)含量采用日本和光纯药工业株式会社提供的试剂盒,在日立7180型全自动生化仪上进行测定,白球比(albumin/globulin ratio, A/G)为ALB与GLB含量的比值。

#### 1.4.3 血清含铜酶活性

血清铜锌超氧化物歧化酶(copper/zinc-superoxide dismutase, Cu-Zn SOD)和铜蓝蛋白(ceruloplasmin, CP)活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒,在UV762型紫外分光光度计上测定吸光度值后,按照试剂盒说明计算得出。

#### 1.4.4 血清钙、磷含量

血清钙、磷含量采用日立7180型全自动生化分析仪进行测定。

#### 1.4.5 内脏器官发育

试验结束后,空腹称量试验兔体重,为宰前活重;剥离肝脏、心脏、肾脏、脾脏并称量,并根据以下公式计算内脏器官指数:

肝脏指数=肝脏重量(g)/宰前活重(kg);

心脏指数=心脏重量(g)/宰前活重(kg);

肾脏指数=肾脏重量(g)/宰前活重(kg);

脾脏指数=脾脏重量(g)/宰前活重(kg)。

### 1.5 数据处理与分析

采用SPSS 13.0软件的单因素方差分析程序对试验数据进行方差分析,并采用Duncan氏法进行多重比较检验,试验数据用平均值±标准误表示, $P<0.05$ 表示组间差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔生产性能的影响

由表2可知,各组试验兔的初始体重无显著差异( $P>0.05$ )。铜添加量对试验兔的ADFI无显著影响( $P>0.05$ )。铜添加量为40 mg/kg时ADG最高,F/G最低,但与铜添加量为20、80 mg/kg时无显著差异( $P>0.05$ )。铜添加量对试验兔的产毛量、毛直径、皮张面积均无显著影响( $P>0.05$ )。随铜添加量的增加,产毛量、皮张面积呈现先升高后降低的趋势。

表2 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔生产性能的影响

Table 2 Effects of copper methionine on performance of 2 to 4 months old long hair rabbits

项目 Items	铜添加量 Copper supplemental level/(mg/kg)					
	0	10	20	40	80	160
初始体重 IBW/g	1 094.52±2.21	1 280.38±2.64	1 213.51±1.98	1 235.46±4.66	1 097.51±2.36	1 180.27±1.59
平均日增重 ADG/g	15.37±0.71 <sup>b</sup>	19.93±1.73 <sup>b</sup>	23.79±2.87 <sup>a</sup>	24.46±3.46 <sup>a</sup>	22.83±2.64 <sup>a</sup>	19.77±2.74 <sup>ab</sup>
平均日采食量 ADFI/g	115.03±6.34	113.25±2.74	131.63±3.72	111.07±4.25	117.92±5.26	115.03±2.69
产毛量 Hair production/g	146.36±2.12	176.93±3.75	224.75±2.44	241.84±3.18	191.65±4.16	184.62±2.45
毛直径 Wool diameter/ $\mu$ m	25.03±1.76	22.39±1.63	21.83±2.62	23.54±2.35	18.98±1.37	21.66±0.96
皮张面积 Fur area/ $\text{cm}^2$	988.00±5.85	1 164.35±3.06	1 212.06±2.47	1 239.41±3.11	1 198.73±2.10	1 106.83±6.21

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below.

### 2.2 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清生化指标的影响

由表3可知,铜添加量对2~4月龄长毛兔血清TP、ALB、GLB、UN含量及A/G均无显著影响( $P>0.05$ )。随着铜添加量的增加,血清GLB呈含量先升高后降低的趋势。

### 2.3 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

由表4可知,铜添加量对血清Cu-Zn SOD活

性的影响显著( $P<0.05$ ),铜添加量为20 mg/kg时血清Cu-Zn SOD活性最高,为69.33 U/mL,显著高于铜添加量为0和10 mg/kg时( $P<0.05$ ),与铜添加量为40、80和160 mg/kg时差异不显著( $P>0.05$ )。铜添加量对血清CP活性的影响显著( $P<0.05$ )。铜添加量为20 mg/kg时血清CP活性最高,为227.30 U/L,显著高于铜添加量为0、40和80 mg/kg时,与铜添加量为10、160 mg/kg时差异不显著( $P>0.05$ )。

表3 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清生化指标的影响

Table 3 Effects of copper methionine on serum biochemical indexes of 2 to 4 months old long hair rabbits

项目 Items	铜添加量 Copper supplemental level/(mg/kg)					
	0	10	20	40	80	160
总蛋白 TP/(g/L)	61.07±0.81	63.45±2.35	67.05±1.79	65.45±0.68	62.03±1.22	64.65±1.98
白蛋白 ALB/(g/L)	39.90±1.95	39.75±3.18	39.20±2.95	41.35±3.22	39.94±1.79	40.95±2.13
球蛋白 GLB/(g/L)	25.45±2.66	23.70±0.88	27.85±1.03	24.10±3.03	22.10±0.82	23.70±0.34
白球比 A/G	1.58±0.22	1.68±0.21	1.43±0.44	1.72±0.30	1.81±0.24	1.79±0.18
尿素氮 UN/(mmol/L)	10.90±0.73	7.85±0.33	8.85±0.72	9.05±0.53	8.65±0.27	8.10±0.38

表4 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

Table 4 Effects of copper methionine on serum copper-containing enzyme activities of 2 to 4 months old long hair rabbits

项目 Items	铜添加量 Copper supplemental level/(mg/kg)					
	0	10	20	40	80	160
铜锌超氧化物歧化酶 Cu-Zn SOD/(U/mL)	60.38±0.59 <sup>b</sup>	62.16±1.17 <sup>b</sup>	69.33±2.38 <sup>a</sup>	67.24±2.17 <sup>a</sup>	68.76±3.12 <sup>a</sup>	66.59±2.46 <sup>a</sup>
铜蓝蛋白 CP/(U/L)	124.61±0.57 <sup>b</sup>	221.49±0.92 <sup>a</sup>	227.30±1.35 <sup>a</sup>	99.46±1.42 <sup>c</sup>	135.25±1.29 <sup>b</sup>	225.69±2.41 <sup>a</sup>

## 2.4 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清钙、磷含量的影响

由表5可知,铜添加量对2~4月龄长毛兔血清钙、磷含量无显著影响( $P>0.05$ )。

## 2.5 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔内脏器官发育的影响

由表6可知,铜添加量对2~4月龄长毛兔肝脏指数、肾脏指数、心脏指数、脾脏指数均无显著影响( $P>0.05$ )。

表5 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清钙、磷含量的影响

Table 5 Effects of copper methionine on serum calcium and phosphorus contents of 2 to 4 months old long hair rabbits

项目 Items	铜添加量 Copper supplemental level/(mg/kg)					
	0	10	20	40	80	160
钙 Ca	3.31±0.11	3.30±0.16	3.19±0.07	3.36±0.02	3.22±0.14	3.36±0.03
磷 P	1.79±0.21	1.66±0.05	1.84±0.07	1.61±0.03	1.83±0.12	1.61±0.08

表6 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔内脏器官发育的影响

Table 6 Effects of copper methionine on development of visceral organs of 2 to 4 months old long hair rabbits g/kg

项目 Items	铜添加量 Copper supplemental level/(mg/kg)					
	0	10	20	40	80	160
肝脏指数 Liver index	2.69±0.37	2.33±0.21	2.54±0.35	2.47±0.23	2.57±0.11	2.52±0.57
肾脏指数 Kidney index	0.59±0.21	0.52±0.15	0.54±0.14	0.53±0.11	0.55±0.04	0.54±0.07
心脏指数 Heart index	2.47±0.03	2.29±0.01	2.42±0.05	1.96±0.03	2.42±0.02	2.23±0.01
脾脏指数 Spleen index	0.05±0.02	0.05±0.05	0.04±0.03	0.06±0.01	0.06±0.01	0.07±0.02



## 3 讨论

### 3.1 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔生产性能的影响

一般来讲,有机微量元素的吸收利用率要高于无机微量元素。Mcdowell<sup>[11]</sup>研究指出,动物对饲料中不同铜源的吸收率有差异。晏家友等<sup>[12]</sup>研究表明,饲料中添加甘氨酸铜可提高肉兔的ADG,较对照组提高15.63%。对于毛皮动物,在水貂<sup>[13]</sup>、蓝狐<sup>[14]</sup>、银狐<sup>[15-16]</sup>的研究中发现,与硫酸铜相比,氨基酸铜的相对利用率分别为113.41%、127.91%、116.46%,氨基酸铜能更好地被动物吸收利用。本试验表明,以蛋氨酸铜为铜源,长毛兔饲料中添加量为20 mg/kg时,ADG比对照组提高54.78%,比10 mg/kg组提高19.37%,与上述研究基本一致。

白玉妍等<sup>[17]</sup>研究表明,蛋氨酸铜对乌苏里貉对针毛、绒毛长度和细度无显著影响,但0号皮和I级皮的数量要比对照组分别高出9.24%和4.06%,说明在乌苏里貉饲料中添加蛋氨酸铜可提高毛皮质量。本试验中,蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔的产毛量、毛直径、皮张面积均无显著影响,与上述研究结果一致。其原因可能是因为铜元素作为酪氨酸酶的合成酶,影响黑色素的形成<sup>[18]</sup>,铜元素主要在加深毛色方面起着重要作用,而在毛直径、产毛量方面的影响较小。随着铜添加量的增加,产毛量先提高后降低,其原因是铜添加量增加后长毛兔的体重及皮张面积增大,所以产毛量有所提高;但随铜添加量继续提高,长毛兔体重降低,皮张面积减少,产毛量降低。

### 3.2 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清生化指标的影响

血液中的TP由ALB和GLB组成。本试验中试验兔血清TP、ALB、GLB含量都与正常值接近,提示饲料中营养成分充足,长毛兔的免疫力较强,铜添加量对免疫性能的影响不大。血液中的尿素是蛋白质分解的最终产物<sup>[19]</sup>,通过鸟氨酸循环合成,是反映蛋白质代谢的重要指标,在饲料蛋白质含量稳定的情况下,血清中UN含量也比较稳定。本试验结果表明,铜添加量对血清UN含量无显著影响,说明在长毛兔的蛋白质代谢过程中铜对蛋白质的利用率并无促进作用。

### 3.3 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

含铜蛋白和含铜酶广泛存在于自然界中。含铜蛋白和含铜酶涉及生物体内的电子传递、氧化还原、氧分子的运送及活化等过程。Cu-Zn SOD可以有效地除去超氧负离子,是一种很好的抗氧化剂,从而起到防止老化、抑制肿瘤发生等作用。在貂、狐等动物的研究中发现,血清中Cu-Zn SOD和CP的活性与饲料中铜含量相关,随着饲料中铜含量的升高,血清中Cu-Zn SOD和CP的活性呈现先升高后降低的趋势<sup>[20-23]</sup>。本试验研究表明,铜添加量显著影响血清Cu-Zn SOD和CP活性,且血清Cu-Zn SOD和CP活性均以铜添加量为20 mg/kg时最高,随后呈现降低趋势,与上述毛皮动物中的研究结果一致。

### 3.4 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔血清钙、磷含量的影响

动物生长需要多种维生素和矿物元素,这些矿物元素之间可能存在拮抗的现象。郝贵增<sup>[24]</sup>研究表明,饲料中添加125和250 mg/kg蛋氨酸铜,可使血清锌含量显著下降,而对血清铁含量则无显著影响。铜添加量对血清钙、磷含量影响的报道较少。本试验中,铜添加量对血清钙、磷含量无显著影响,说明在饲料中添加蛋氨酸铜时,可不考虑钙、磷添加量的问题。

### 3.5 蛋氨酸铜对2~4月龄长毛兔内脏器官发育的影响

动物的内脏器官重量和指数在一定程度上反映了动物机体的机能状况,对于理论研究和生产实践有重要的意义<sup>[25-26]</sup>。本试验中,各组试验兔的肝脏指数、肾脏指数、心脏指数、脾脏指数均无显著影响,该结果表明,在以蛋氨酸铜为铜源时,20~160 mg/kg的铜添加量并不会对2~4月龄长毛兔内脏器官造成不良影响。

## 4 结论

本试验条件下,以蛋氨酸铜为铜源,饲料中添加20~40 mg/kg铜时长毛兔有较高的ADG和血清含铜酶活性;综合本试验结果并考虑环保要求,推荐2~4月龄长毛兔饲料中铜添加量为20 mg/kg。

### 参考文献:

[1] 钱剑,王哲,刘国文.铜在动物体内代谢的研究进展

- [J]. 动物医学进展, 2003, 24(2): 55-57.
- QIAN J, WANG Z, LIU G W. Advance of copper medicine metabolism in animal body [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2003, 24(2): 55-57. (in Chinese)
- [2] 吴学壮. 水貂饲料适宜铜源及铜水平研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- WU X Z. Optimum copper sources and levels in mink [D]. Ph.D. Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015. (in Chinese)
- [3] 刘志. 生长期蓝狐饲料适宜铜水平和铜源的研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- LIU Z. Optimum copper sources and levels in growing foxes [D]. Ph.D. Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016. (in Chinese)
- [4] CROMWELL G L, STAHLY T S, MONEGUE H J. Effects of source and level of copper on performance and liver copper stores in weanling pigs [J]. Journal of Animal Science, 1989, 67(11): 2996-3002.
- [5] MONDAL M K, DAS T K, BISWAS P, et al. Influence of dietary inorganic and organic copper salt and level of soybean oil on plasma lipids, metabolites and mineral balance of broiler chickens [J]. Animal Feed Science and Technology, 2007, 139(3/4): 212-233.
- [6] STERN B R. Essentiality and toxicity in copper health risk assessment: overview, update and regulatory considerations [J]. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 2010, 73(2/3): 114-127.
- [7] DEBSKI B. Supplementation of pigs diet with zinc and copper as alternative to conventional antimicrobials [J]. Polish Journal of Veterinary Sciences, 2016, 19(4): 917-924.
- [8] 高阳, 周业勋, 张继泽, 等. 高剂量铜、锌在猪饲料中的应用、潜在危害及解决策略 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(7): 2459-2466.
- GAO Y, ZHOU Y X, ZHANG J Z, et al. Application, potential hazards and solution strategy of high-dose copper and zinc in pig diets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(7): 2459-2466. (in Chinese)
- [9] 单玉萍, 单安山. 氨基酸铜在猪生产中的研究与应用 [J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(4): 20-22.
- SHAN Y P, SHAN A S. The research and applications of the copper amino acid chelate in pigs production [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011, 38(4): 20-22. (in Chinese)
- [10] 蔡菊, 李奎, 朱可, 等. 不同形式的铜源在猪上的应用探讨 [J]. 饲料研究, 2013(1): 37-38.
- CAI J, LI K, ZHU K, et al. The discussion of the application of different copper sources in pigs [J]. Feed Research, 2013(1): 37-38. (in Chinese)
- [11] MCDOWELL L R. Minerals in animal and human nutrition [M]. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2003: 633-644.
- [12] 晏家友, 张锦秀, 张纯, 等. 不同铜源对肉兔生产性能、腹泻率及组织器官中铜沉积量的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(6): 135-137, 149.
- YAN J Y, ZHANG J X, ZHANG C, et al. Effects of different copper sources on production performance, diarrhea rate and copper deposition in weaning organs of meat rabbits [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2020, 56(6): 135-137, 149. (in Chinese)
- [13] WU X Z, LIU Z, ZHANG T T, et al. Effects of dietary copper on nutrient digestibility, tissular copper deposition and fur quality of growing-furring mink (*Mustela vison*) [J]. Biological Trace Element Research, 2014, 158(2): 166-175.
- [14] 刘志, 孙皓然, 吴学壮, 等. 不同铜源及铜水平对育成期蓝狐生长性能、营养物质消化率及血清指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(8): 3091-3099.
- LIU Z, SUN H R, WU X Z, et al. Effects of different copper sources and levels on growth performance, nutrient digestibility and serum indices of growing blue foxes [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(8): 3091-3099. (in Chinese)
- [15] 钟伟, 刘风华, 赵靖波, 等. 不同铜源对育成期雌性银狐生长性能、营养物质消化率及血液生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2013, 25(10): 2489-2496.
- ZHONG W, LIU F H, ZHAO J B, et al. Effects of different copper sources on growing performance, nutrient digestibility and blood biochemical parameters of female silver foxes during growth period [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(10): 2489-2496. (in Chinese)
- [16] 钟伟, 鲍坤, 张婷, 等. 饲料铜水平对冬毛期银狐铜表观生物学利用率及组织器官铜沉积量的影响 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(11): 3525-3530.
- ZHONG W, BAO K, ZHANG T, et al. Effects of dietary copper level on copper apparent biological utilization and copper deposition in tissue and organ of silver foxes during the winter hair period [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(11): 3525-3530. (in Chinese)
- [17] 白玉妍, 张洁, 叶纯子, 等. 蛋氨酸铜、蛋氨酸锌对乌

- 苏里貉冬毛生长期体重及毛皮质量的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2009,13(7):113-114.
- BAI Y Y,ZHANG J,YE C Z,et al.Effect of Cu-methionine,Zn-methionine on the body weight and fur quality during the winter wool growing period of Usuri raccoon[J].Heilongjiang Animal Science and veterinary Medicine,2009,13(7):113-114.(in Chinese)
- [18] 宋宇宁.酪氨酸酶(*Tyrosinase*)基因对毛色调控机制的研究[D].博士学位论文.长春:吉林大学,2017.
- SONG Y N,The regulation mechanism of *Tyrosinase* gene on hair color[D].Ph.D.Thesis.Changchun:Jilin University,2017.(in Chinese)
- [19] 李道林.铜源和铜水平对生长獭兔的生长性能、毛皮品质及理化指标的影响[D].硕士学位论文.长春:中国人民解放军军需大学,2002.
- LI D L,Effects of copper sources and copper level on growth performance, fur quality and biochemical parameters of Rex rabbits[D].Master's Thesis.Changchun:Quartermaster University of Chinese People's Liberation Army,2002.(in Chinese)
- [20] 王化勇,马泽芳,崔凯,等.不同水平铜饲料对育成期水貂生长发育及血液生化指标的影响[J].饲料工业,2014,35(7):57-61.
- WANG H Y,MA Z F,CUI K,et al.Effect of high copper dietary on growth and serum biochemical parameters of mink[J].Feed Industry,2014,35(7):57-61.(in Chinese)
- [21] 崔凯,张光超,马泽芳.高铜饲料对冬毛期水貂生长发育及血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(9):42-45.
- CUI K,ZHANG G C,MA Z F,et al.Effect of high copper dietary on growth and serum biochemical parameters of winter wool period[J].Chinese Journal of Animal Science,2013,49(9):42-45.(in Chinese)
- [22] WU X Z,CUI H,GAO X H,et al.Effects of dietary copper on elemental balance, plasma minerals and serum biochemical parameters of growing-furring male mink (*Mustela vison*) [J].Animal Nutrition,2015,1(1):36-40.
- [23] WU X Z,ZHANG T T,GUO J G,et al.Copper bioavailability, blood parameters, and nutrient balance in mink[J].Journal of Animal Science,2015,93(1):176-184.
- [24] 郝贵增,靳玉芬,田萍,等.蛋氨酸铜对仔猪的生长性能及血清生化指标的影响[J].中国兽医学报,2009,29(3):346-349.
- HAO G Z,JIN Y F,TIAN P,et al,Effect of Cu-methionine on growth performance and serum biochemical indicator of pigs[J].Chinese Journal of Veterinary Science,2009,29(3)346-349.(in Chinese)
- [25] AGUAYO-ULLOA L A,MIRANDA-DE LA LAMA G C,PASCUAL-ALONSO M,et al.Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare, production performance and meat quality[J].Small Ruminant Research,2013,111(1/2/3):147-156.
- [26] 张晋青,岳度兵,罗海玲,等.日粮中维生素E水平对敖汉细毛羊内脏器官生长发育的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(17):43-46.
- ZHANG J Q,YUE D B,LUO H L,et al.Effects of vitamin E supplementation on the growth performance of visceral organs of Aohan fine wool sheep[J].Chinese Journal of Animal Science,2010,46(17):43-46.(in Chinese)

## Effects of Copper Methionine on Performance, Serum Biochemical Indexes and Copper-Containing Enzyme Activities of 2 to 4 Months Old Long Hair Rabbits

ZHANG Yongcui<sup>1</sup> WANG Enling<sup>1\*</sup> YAN Junli<sup>1</sup> FU Guihua<sup>1</sup> WANG Yuwen<sup>1</sup> TAN Qingyuan<sup>1</sup>  
LIANG Qijun<sup>2</sup> YANG Lei<sup>3</sup> XIE Hongmei<sup>1\*\*</sup>

(1. Shandong Vocational Animal Science and Veterinary College, Weifang 261061, China; 2. Zhucheng Longdu Animal Husbandry and Veterinary Station, Zhucheng 262200, China; 3. Animal Husbandry and Veterinary Station of Miaoshan Town, Tancheng County, Linyi 276000, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study the effects of dietary copper methionine supplemental level on the performance, serum biochemical indexes and copper-containing enzyme activities of 2 to 4 months old long hair rabbits. One hundred and eighty *Mengyin* long hair rabbits were randomly assigned to 6 groups with 10 replicates per group and 3 rabbits per replicate. Rabbits in the 6 groups were fed a basal diet supplemented with 0, 10, 20, 40, 80 and 160 mg/kg copper (the form was copper methionine), respectively. The trail lasted for 7 days for adaption and 53 days for test. The results showed as follows: copper supplemental level had significant effects on average daily gain (ADG) and feed/gain (F/G) ( $P < 0.05$ ). With the copper supplemental level increasing, the ADG was firstly increased and then decreased, and the F/G was firstly decreased and then increased. The ADG was the highest and the F/G was the lowest when copper supplemental level was 40 mg/kg, but it has no significant difference with the 20 mg/kg of copper supplemental level. Copper supplemental level had no significant effects on hair production, wool diameter and fur area ( $P > 0.05$ ), and had no significant effects on serum total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB), urea nitrogen (UN) contents and albumin/globulin (A/G) ( $P > 0.05$ ). The serum GLB content was firstly increased and then decreased with the copper supplemental level increasing. Copper supplemental level had significant influences on the activities of serum copper-zinc superoxide dismutase (Cu-Zn SOD) and ceruloplasmin (CP) ( $P < 0.05$ ), the activities of Cu-Zn SOD and CP were all the highest when copper supplemental level was 20 mg/kg, and they were 69.33 U/mL and 227.30 U/L, respectively. Copper supplemental level had no significant influences on serum calcium (Ca) and phosphorus (P) contents ( $P > 0.05$ ), and had no significant influences on liver index, kidney index, heart index and spleen index ( $P > 0.05$ ). According to the results and the requirement of environmental protection, the appropriate copper (copper methionine as copper source) supplementation level is 20 mg/kg for 2 to 4 months old long hair rabbit. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2): 1036-1043]

**Key words:** copper methionine; long hair rabbit; performance; serum biochemical indexes; copper-containing enzyme activities

\* Contributed equally

\*\* Corresponding author, associate professor, E-mail: hmx861@163.com