

饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔生长性能、产毛性能、血清生化指标与含铜酶活性及内脏器官发育的影响

张永翠¹ 王恩玲¹ 李燕舞¹ 王元新² 程光民¹ 刘建胜¹ 姜八一^{1*}

(1.山东畜牧兽医职业学院,潍坊 261061;2.兰陵县畜牧发展促进中心,临沂 277700)

摘要: 本试验旨在研究饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔生长性能、产毛性能、血清生化指标与含铜酶活性及内脏器官发育的影响。选取 180 只刚剪完胎毛的长毛兔,随机分为 6 组,每组 30 只,单笼饲养。6 组长毛兔分别饲喂在基础饲料中添加 0(对照)、10、20、40、80 及 160 mg/kg 铜(添加形式为五水硫酸铜)的试验饲料,试验饲料中铜含量的实测值依次为 3.25、13.13、23.40、44.56、83.58 及 163.87 mg/kg,预试期 7 d,正试期 53 d。结果显示:饲料铜添加水平对长毛兔的平均日增重和料重比有显著影响($P<0.05$),铜添加水平为 80 mg/kg 时平均日增重最高,铜添加水平为 40 mg/kg 时料重比最低。饲料铜添加水平对长毛兔的产毛量、皮张面积、毛直径均有显著影响($P<0.05$)。铜添加水平为 40 mg/kg 时,皮张面积最大,产毛量最高。20、40 mg/kg 组毛直径显著高于对照组($P<0.05$)。饲料铜添加水平对长毛兔血清中尿素氮(UN)含量有显著影响($P<0.05$),铜添加水平为 40 mg/kg 时,血清中 UN 含量最低,为 7.24 mmol/L,显著低于其他各组($P<0.05$)。饲料铜添加水平对血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)含量与白球比(A/G)无显著影响($P>0.05$)。饲料铜添加水平显著影响血清中铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)和铜蓝蛋白(CP)活性($P<0.05$)。40、80 mg/kg 组血清 CuZn-SOD 活性显著高于其他各组($P<0.05$)。40、80 mg/kg 组血清 CP 活性显著高于对照组与 10、20 mg/kg 组($P<0.05$)。饲料铜添加水平对内脏发育指数均无显著影响($P>0.05$)。根据本试验测定结果,推荐 2~4 月龄长毛兔饲料中铜添加水平为 40~80 mg/kg(饲料中铜含量的实测值为 44.56~83.58 mg/kg)。

关键词: 铜;长毛兔;生长性能;产毛性能;血清生化指标;血清含铜酶活性

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)10-4622-08

铜是动物生长必需的微量元素之一,参与动物体的造血功能和有机物的代谢,在促进生长繁殖、维护毛发正常生长和色泽、增强机体抵抗力等方面起着极其重要的作用^[1]。Braude^[2]于 1945 年首次发现在饲料中添加正常需要量 10 倍的铜可以显著提高猪的生产性能。Barber 等^[3]发现在

猪饲料中添加 250 mg/kg 铜可以促进生长育肥猪的生长。尽管铜可促进猪生长,但过量的摄入会对猪产生较大的危害^[4]。铜等重金属不仅会在动物内脏中残留,直接影响人的健康,而且会经排泄物进入到土壤,对土壤造成污染。一般情况下,生长育肥猪对饲料中铜的需要量为 4~6 mg/kg,饲

收稿日期:2019-03-26

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

* 通信作者:姜八一,教授,E-mail: Sdmyjby@163.com

粮中铜含量的最高安全限量为 250 mg/kg。饲料中铜含量达到 350~400 mg/kg 时,可引起猪铜中毒,铜含量超过 500 mg/kg 时即可引起猪死亡^[5]。铜作为添加剂在养兔业中的使用始于欧洲。Patten 等^[6]报道,在每千克饲料中加入 400 mg 铜后,仔兔的生长速度及饲料利用率得到改善,因腹泻引起的死亡率降低。虽然关于铜需要量的研究在畜禽中已经相当广泛,但有关长毛兔铜需要量的研究较少且研究结论不一致。国内的饲养标准中对安哥拉长毛兔铜需要量的推荐量断奶至 3 月龄为 3~5 mg/kg、4~6 月龄为 10 mg/kg^[7],NRC (1977)对于各个生长阶段兔铜需要量的推荐量均为 3 mg/kg,AEC (1993)对各个生长阶段兔铜需要量的推荐量均为 5 mg/kg。本试验拟通过研究饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔生长性能、产毛性能、血清生化指标与酶活性及内脏器官发

育的影响,探讨 2~4 月龄长毛兔对饲料中铜的需要量,为我国长毛兔饲养标准的制订提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验用基础饲料参照中华人民共和国专业标准(审定稿 1994)安哥拉毛用兔饲养标准配制,其组成及营养水平见表 1。以五水硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)的形式,在基础饲料中分别添加 0(对照)、10、20、40、80 及 160 mg/kg 铜,制成 6 种试验饲料,试验饲料中铜含量的实测值依次为 3.25、13.13、23.40、44.56、83.58 及 163.87 mg/kg。饲料原料粉碎混匀后用制粒机将压成直径 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 ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	17.0	消化能 DE/(MJ/kg)	10.42
豆粕 Soybean meal	18.5	粗蛋白质 CP	16.98
小麦麸 Wheat bran	19.5	粗纤维 CF	16.56
花生秧 Peanut vine	25.5	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 ¹⁾	4.0	钙 Ca	0.94
合计 Total	100.0	总磷 TP	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,VD₃ 1 000 IU,VE 2 400 mg,VB₁ 1 mg,VB₂ 3 mg,VB₆ 1 mg,VB₁₂ 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 others were measured values.

1.2 试验动物与试验设计

选用刚剪完胎毛的 2 月龄长毛兔 180 只,要求体重相近(1 000 g 左右)、公母各占 1/2、健康状况良好,并采取了驱虫保健、疫苗接种等必要的抗病防疫措施。将 180 只试验兔随机分为 6 组(每组 30 只),分别饲喂添加不同水平铜的试验饲料。试验兔单笼饲养,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。

1.3 样品的采集与制备

试验结束当日,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,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 ℃下冷冻保存待测。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能指标

记录试验兔的初始体重(IBW)和终末体重(FBW),统计试验期间(不包括预试期)的喂料量

和,计算平均日采食量(ADI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。

1.4.2 产毛性能指标

于试验结束后对长毛兔进行剪毛,称量长毛兔实际剪毛的重量,并记录。

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。

将剪毛后的试验兔用颈椎错位法致死、屠宰,剥离皮张,用于测定皮张面积。量取肩部、腰部、臀部长度的平均值,为皮张宽度,并量取颈部中间至尾根长度,为皮张长度,计算皮张面积。

1.4.3 血清生化指标

血清总蛋白(total protein, TP)、白蛋白(albumin, ALB)、球蛋白(globulin, GLB)、尿素氮(urea nitrogen, UN)的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, A/G)为ALB与GLB含量的比值。

1.4.4 血清超氧化物歧化酶和铜蓝蛋白活性

血清铜锌超氧化物歧化酶(copperzinc-superoxide dismutase, CuZn-SOD)和铜蓝蛋白(ceruloplasmin, CP)活性的采用由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进行测定。

1.4.5 内脏器官发育指标

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、脾脏并称重,根据以下公式计算内脏器官指数:

肝脏指数(g/kg)=肝脏重量(g)/宰前活重(kg);

心脏指数(g/kg)=心脏重量(g)/宰前活重(kg);

肾脏指数(g/kg)=肾脏重量(g)/宰前活重(kg);

脾脏指数(g/kg)=脾脏重量(g)/宰前活重(kg)。

1.5 数据处理

试验数据用平均值±标准误表示,采用SPSS 15.0软件进行单因素方差分析,并采用Duncan氏法多重比较检验组间差异显著性,显著性水平为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔生长性能的影响

由表2可知,在初始体重基本一致($P>0.05$)的情况下,饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔的平均日增重、料重比有显著影响($P<0.05$),对平均日采食量无显著影响($P>0.05$)。40、80 mg/kg组的平均日增重显著高于其他组($P<0.05$),以铜添加水平为80 mg/kg时平均日增重最高,为20.95 g/d。铜添加水平为40 mg/kg时料重比最低,为6.13,显著低于对照组和160 mg/kg组($P<0.05$)。

表2 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary copper supplement level on growth performance of 2- to 4-month-old long hair rabbits

项目 Items	铜添加水平 Copper supplemental level/(mg/kg)						P 值 P-value
	0	10	20	40	80	160	
初始体重 IBW/g	1 094.51±2.21	1 052.47±1.42	1 117.53±0.96	1 192.49±1.11	1 105.39±2.13	1 080.72±3.87	0.782 2
终末体重 FBW/g	1 909.12±11.71 ^b	2 031.91±6.58 ^b	2 120.29±8.33 ^b	2 244.54±9.66 ^a	2 215.74±8.48 ^a	2 016.70±7.45 ^b	0.046 4
平均日增重 ADG/(g/d)	15.37±0.71 ^c	18.48±1.21 ^b	18.92±1.39 ^b	19.85±2.61 ^a	20.95±1.22 ^a	17.66±2.14 ^c	0.039 6
平均日采食量 ADFI/(g/d)	115.03±6.34	129.13±4.27	129.39±3.69	121.65±5.46	136.05±2.71	131.44±3.16	0.868 1
料重比 F/G	7.48±0.87 ^a	6.99±0.69 ^{ab}	6.84±1.05 ^{ab}	6.13±2.11 ^b	6.49±0.62 ^{ab}	7.44±0.58 ^a	0.041 2

同行数据肩标相同字母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($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。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 ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

2.2 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔产毛性能的影响

由表 3 可知,饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔的产毛量、毛直径和皮张面积均有显著影响($P<0.05$)。40 mg/kg 组产毛量显著高于其他组($P<0.05$),同时 80、160 mg/kg 组显著高于对照组和 10 mg/kg 组($P<0.05$)。20、40 mg/kg 组毛

直径显著高于对照组($P<0.05$),以铜添加水平为 20 mg/kg 时毛直径最大,为 13.14 μm 。铜添加水平为 40 mg/kg 时皮张面积最大,为 1 239.41 cm^2 ,显著大于其他各组($P<0.05$);以饲料中不添加铜时皮张面积最小,为 988.06 cm^2 ,显著小于铜添加水平为 20 mg/kg 外的其他各组($P<0.05$)。

表 3 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔产毛性能的影响

Table 3 Effects of dietary copper supplement level on wool performance of 2- to 4-month-old long hair rabbits

项目 Items	铜添加水平 Copper supplemental level/(mg/kg)						P 值 P-value
	0	10	20	40	80	160	
产毛量 Lanugo production/g	146.36±2.12 ^c	148.77±5.41 ^c	164.82±3.69 ^c	198.51±2.13 ^a	186.74±1.94 ^b	181.95±2.06 ^b	0.038 0
毛直径 Wool diameter/ μm	12.00±0.40 ^b	12.56±0.21 ^{ab}	13.14±0.75 ^a	13.05±0.39 ^a	12.85±0.43 ^{ab}	12.81±0.38 ^{ab}	0.046 1
皮张面积 Fur area/ cm^2	988.06±5.85 ^c	1 070.66±8.03 ^c	1 132.33±2.46 ^b	1 239.41±8.49 ^a	1 175.67±6.02 ^b	1 158.53±2.73 ^b	0.015 2

2.3 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔血清生化指标的影响

由表 4 可知,饲料中铜添加水平对血清 TP、ALB、GLB 含量与 A/G 均无显著影响($P>0.05$),其中 A/G 随铜添加水平的增加呈先升高后降低的

趋势,而其他指标则无变化规律。饲料中铜添加水平对血清 UN 含量有显著影响($P<0.05$),当铜添加水平为 40 mg/kg 时,血清中 UN 含量最低,为 7.24 mmol/L,显著低于其他各组($P<0.05$)。

表 4 饲料中添加铜对 2~4 月龄长毛兔血清生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary copper supplement level on serum biochemical indices of 2- to 4-month-old long hair rabbits

项目 Items	铜中添加水平 Copper supplemental level/(mg/kg)						P 值 P-value
	0	10	20	40	80	160	
总蛋白 TP/(g/L)	61.07±0.81	61.55±3.14	65.35±2.75	63.45±1.96	59.72±3.11	64.45±3.76	0.068 5
白蛋白 ALB/(g/L)	39.90±1.95	40.22±2.53	38.71±0.39	41.50±1.24	38.20±3.32	41.54±4.23	0.139 8
球蛋白 GLB/(g/L)	24.10±2.66	21.35±12.02	22.30±4.31	19.37±0.29	21.59±0.49	23.45±1.58	0.105 6
白球比 A/G	1.43±0.22	1.74±0.31	2.15±0.19	1.84±0.05	1.76±0.14	1.69±0.09	0.715 7
尿素氮 UN/(mmol/L)	10.90±0.73 ^a	8.60±0.25 ^a	9.92±0.54 ^a	7.24±0.97 ^b	9.15±0.82 ^a	8.05±0.41 ^a	0.026 2

2.4 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

由表5可知,饲料中铜添加水平显著影响血清CuZn-SOD和CP活性($P < 0.05$)。40、80 mg/kg组血清CuZn-SOD活性显著高于其他各组($P < 0.05$),以铜添加水平为40 mg/kg时血清

CuZn-SOD活性最高,为139.46 U/mL。血清CP活性随铜添加水平的增加呈逐渐升高的趋势,当铜添加水平为160 mg/kg时,血清CP活性最高,为210.69 U/L,显著高于其他各组($P < 0.05$),同时40、80 mg/kg组显著高于对照组与10、20 mg/kg组($P < 0.05$)。

表5 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

Table 5 Effects of dietary copper supplement level on serum copper-containing enzyme activities of 2- to 4-month-old long hair rabbits

项目 Items	铜添加水平 Copper supplemental level/(mg/kg)						P值 P-value
	0	10	20	40	80	160	
铜锌超氧化物歧化酶 Cu Zn-SOD/(U/mL)	103.62±0.59 ^b	115.28±2.86 ^b	120.33±3.01 ^b	139.46±3.16 ^a	132.11±4.54 ^a	96.04±0.15 ^b	0.011 7
铜蓝蛋白 CP/(U/L)	124.61±0.74 ^c	91.24±1.72 ^c	119.61±0.46 ^c	139.93±0.95 ^b	149.28±4.46 ^b	210.69±3.90 ^a	0.014 4

2.5 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔内脏器官发育的影响

由表6可知,饲料中铜添加水平对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6 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔内脏器官发育的影响

Table 6 Effects of dietary copper supplement level on visceral organ development of 2- to 4-month-old long hair rabbits

项目 Items	铜添加水平 Copper supplemental level/(mg/kg)						P值 P-value
	0	10	20	40	80	160	
肝脏指数 Liver index	2.69±0.37	2.51±0.21	2.52±0.35	2.66±0.23	2.56±0.11	2.41±0.57	0.821 2
肾脏指数 Kidney index	0.57±0.21	0.50±0.15	0.56±0.14	0.55±0.11	0.55±0.04	0.52±0.07	0.794 2
心脏指数 Heart index	2.30±0.03	2.12±0.01	2.45±0.05	2.25±0.03	2.39±0.02	2.29±0.01	0.706 5
脾脏指数 Spleen index	0.04±0.02	0.04±0.05	0.07±0.03	0.04±0.01	0.05±0.01	0.04±0.02	0.052 2

3 讨论

3.1 饲料中铜添加水平对2~4月龄长毛兔生长性能的影响

对于长毛兔的生长性能,刘世民等^[8]报道安哥拉毛兔平均日增重为17.6~29.9 g/d。本试验中,长毛兔的平均日增重为15~21 g/d,与以上报道相比较,这可能与试验兔的品种有关,也可能

与饲料营养水平、养殖条件有关。Bassuny^[9]研究认为,饲料中补加铜可以提高幼兔的营养物质消化率和饲料效率,减少幼兔死亡;为提高兔的生产性能,饲料中铜的添加水平应在75~150 mg/kg。本试验中,随着铜添加水平的增加,长毛兔的平均日增重呈现增加的趋势,当铜添加水平为80 mg/kg时,长毛兔的平均日增重得到显著提高,但当铜添加水平为160 mg/kg时,平均日增重则

出现显著下降,这可能与不同品种兔对铜的耐受剂量不同有关。

3.2 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔产毛性能的影响

铜在机体能量代谢、造血和被毛着色等生理过程中发挥着重要作用^[10]。铜缺乏会导致毛皮动物生长不良、被毛凌乱^[11]。李振^[12]研究发现,饲料中铜添加水平为 50 mg/kg 时对兔毛生长有显著的促进作用;李宏等^[13]研究表明,饲料中铜添加水平对兔毛产量的影响不显著。连继勤等^[14]报道,在基础饲料铜含量为 14.21 mg/kg 的基础上,以硫酸铜形式添加不同水平铜对兔毛生长有促进作用。本试验结果显示,铜添加水平为 40 mg/kg 时兔毛产量最高,达 198.51 g,这说明铜能促进长毛兔的毛产量。当铜添加水平为 40 mg/kg 时,长毛兔的皮张面积显著大于其他各组,该组长毛兔的产毛量显著比其他各组与其皮张面积较大有密切的关系。

3.3 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔血清生化指标的影响

血清 TP 含量主要反映肝脏合成功能和肾脏病变造成蛋白质丢失的情况,检测血清 TP 含量可间接了解机体的营养状况。血清 TP 含量的高低可反映机体蛋白质合成代谢的强弱,当血清 TP 含量升高时,可促使其与组织蛋白质保持的动态平衡向组织蛋白质沉积正方向进行。本试验中,铜添加水平对血清 TP、ALB、GLB 含量与 A/G 均无显著影响,说明 2~4 月龄长毛兔营养状况较好,饲料中铜添加水平对长毛兔物质代谢没有产生不良影响。Dove^[15]和 Luo 等^[16]研究表明,高铜使仔猪血清 UN 含量显著降低。本试验中,血清 UN 含量随着铜添加水平的增加先降低后升高,说明饲料中铜含量过低或者过高都会导致长毛兔对蛋白质代谢能力降低。

3.4 饲料中添加铜对 2~4 月龄长毛兔血清含铜酶活性的影响

铜是构成含铜金属氧化酶的成分,参与体内氧化还原过程,CuZn-SOD 是机体防御氧化损伤的一种十分重要的金属酶,能专一清除超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$),在维持氧自由基平衡方面起着重要作用^[17]。CP 又称铜氧化酶,是一种含铜的 α 2-糖蛋白,具有抗氧化作用。研究表明,饲料中添加铜影响血清中 CP 的活性。高宏伟等^[18]在 50 日

龄生长獭兔饲料中添加不同水平铜,结果表明,铜添加水平为 80 mg/kg 时,血清中 CuZn-SOD 的活性最高;铜添加水平为 40 mg/kg 时,血清中 CP 的活性最高。本试验中,铜添加水平达 40 mg/kg 时,血清 CuZn-SOD 活性最高,与 80 mg/kg 组差异不显著,与上述研究结果基本一致;铜添加水平为 160 mg/kg 时,血清中 CuZn-SOD 活性降低,说明饲料中铜含量过高会降低血清中 CuZn-SOD 活性。李道林^[19]以硫酸铜为铜源,在饲料中添加不同水平铜,结果发现,獭兔血清中 CuZn-SOD 活性存在极显著差异,CP 活性也有显著差异。李宏等^[20]研究表明,随着饲料铜添加水平的增加,兔血清 CP 活性有提高的趋势,但是差异不显著。本试验中,血清 CP 活性随铜添加水平的增加而提高,这说明铜添加水平的增加能增强长毛兔的抗氧化功能。以上研究结果各有不同,可能与选取的试验动物对铜的需要量和敏感性不同有关。

3.5 饲料中铜添加水平对 2~4 月龄长毛兔内脏器官发育的影响

脏器指数可反映动物体内器官的发育情况,在毒理学试验中,脏器指数也用来表示脏器的受损情况。吴建设等^[21]报道,铜缺乏或过量都会导致免疫器官萎缩。本试验中,铜添加水平对长毛兔肝脏指数、肾脏指数、心脏指数、脾脏指数均无显著影响,可能与长毛兔年龄增大,机体成熟有关,也可能是本试验中设定的铜添加水平在长毛兔的耐受范围内,因此没有对长毛兔的内脏器官造成负面影响。

4 结 论

饲料中添加高水平(160 mg/kg)的铜对 2~4 月龄长毛兔并没有显著的促生长作用;根据本试验的测定指标,2~4 月龄长毛兔饲料中铜的适宜添加水平为 40~80 mg/kg(饲料中铜含量的实测值为 44.56~83.58 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.
- [2] BRAUDE R. Some observation on the need for copper in the diet of fattening pigs[J]. The Journal of Agriculture Science, 1945, 35(3): 163-167.
- [3] BARBER R S, BRAUDE R, MITCHELL K G, et al.

- High-copper mineral mixture for fattening pigs [J]. *Chemistry and Industry*, 1955, 21: 601-603.
- [4] 于炎湖. 饲料中的重金属污染及其预防 [J]. *粮食与饲料工业*, 2001(6): 12-14.
- [5] 姜萍, 金盛杨, 郝秀珍, 等. 重金属在猪饲料-粪便-土壤-蔬菜中的分布特征研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5): 942-947.
- [6] PATTEN N M, HARRY D J, GROBNER M A, et al. The effect of dietary copper sulfate on enteritis in fryer rabbits [J]. *Journal of Applied Rabbit Research*, 1982, 5: 72-78.
- [7] 张宏福, 张子仪, 等. 动物营养参数与饲养标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [8] 刘世民, 魏春梅, 彭大惠, 等. 不同日粮配方和添加蛋氨酸、硫酸盐对毛兔及肉用生长兔生产性能的影响 [J]. *甘肃畜牧兽医*, 1989(6): 3-5.
- [9] BASSUNY S M. The effect of copper sulfate supplement on rabbit performance under Egyptian condition [J]. *Journal of Applied Rabbits Research*, 1991, 14(2): 93-97.
- [10] 郑军, 许梓荣, 沈文祥. 毛用兔日粮蛋白质、含硫氨基酸和能量最适水平的探讨 [J]. *中国农业科学*, 1985, 18(3): 72-75.
- [11] LEOSCHKE W L N. Nutrition and nutritional physiology of the fox; a historical perspective [M]. Indiana: Trafford Publishing, 2011.
- [12] 李振. 几种提高长毛兔产毛量的添加剂的应用 [J]. *中国养兔*, 2006(2): 15-17.
- [13] 李宏, 程胜利, 甘伯中, 等. 日粮铜水平对安哥拉兔生产性能的影响 [J]. *中国草食动物*, 2000, 2(3): 16-17.
- [14] 连继勤, 陈成功, 王玉平, 等. 铜水平对幼兔早期生长及皮毛的影响 [J]. *中国养兔杂志*, 1997(5): 13-16.
- [15] DOVE C R. The effect of copper level on nutrient utilization of weanling pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(1): 166-171.
- [16] LUO X G, DOVE C R. 1996. Effect of dietary copper and fat on nutrient utilization, digestive enzyme activities, and tissue mineral levels in weanling pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 74(7): 1888-1896.
- [17] 章铁锋, 唐善虎, 秦文玲, 等. 铜锌超氧化物歧化酶的研究进展 [J]. *四川畜牧兽医*, 2008, 35(1): 33-35.
- [18] 高宏伟, 段铭, 孟轲音, 等. 日粮中锌、铜、锰和硒对生长獭兔生产性能及生化指标的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2005, 25(5): 530-533.
- [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: 21
- [20] 李宏, 郭天芬, 程胜利, 等. 日粮铜水平对兔血铜含量及两种酶活性的影响 [J]. *中国草食动物*, 2002, 22(4): 15-17.
- [21] 吴建设, 吴于明, 杨汉春, 等. 日粮铜水平对肉仔鸡生长性能和免疫功能影响的研究 [J]. *畜牧兽医学报*, 1999, 30(5): 414-420.

Effects of Dietary Copper Supplementation Level on Growth Performance, Wool Performance, Serum Biochemical Indices and Copper-Containing Enzyme Activities and Visceral Organ Development of 2- to 4-Month-Old Long Hairy Rabbits

ZHANG Yongcui¹ WANG Enling¹ LI Yanwu¹ WANG Yuanxin² CHENG Guangmin¹
LIU Jiansheng¹ JIANG Bayi^{1*}

(1. Shandong Vocational Animal Science and Veterinary College, Weifang 261061, China; 2. Animal Husbandry Development Promotion Center in Lanling County, Linyi 277700, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary copper supplemental level on growth performance, wool performance, serum biochemical indices and copper-containing enzyme activities and visceral organ development of 2- to 4-month-old long hairy rabbits. After cutting lanugo, one hundred and eighty long hairy rabbits were randomly assigned to 6 groups with 30 rabbits in each group, the rabbits were fed separately. Rabbits in the 6 groups were fed experimental diets which supplemented with 0 (control), 10, 20, 40, 80 and 160 mg/kg copper (the form was $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) based on a basal diet, and the measured values of copper content in the 6 experimental diets were 3.25, 13.13, 23.40, 44.56, 83.58 and 163.87 mg/kg, respectively. The trail lasted for 7 days for adaption, and 53 days for test. The results showed as follows: dietary copper supplemental level had significant effects on average daily gain (ADG) and feed/gain (F/G) ($P < 0.05$), the highest ADG was obtained when the copper supplemental level was 80 mg/kg, and the lowest F/G was obtained when the copper supplemental level was 40 mg/kg. Dietary copper supplemental level had significant effects on lanugo production, fur area and wool diameter of rabbits ($P < 0.05$), the lanugo production was the highest and the fur area was the biggest when the copper supplemental level was 40 mg/kg. Dietary copper supplemental level had significant influence on serum urea nitrogen (UN) content ($P < 0.05$), when the copper supplemental level was 40 mg/kg, the serum UN content was the lowest and it was 7.24 mmol/L, but dietary copper supplemental level had no influences on serum total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB) and ALB/GLB (A/G) ($P > 0.05$). Dietary copper supplemental level had significant influence on the activities of serum copper-zinc superoxide dismutase (CuZn-SOD) and ceruloplasmin (CP) ($P < 0.05$). The serum CuZn-SOD activity of 40 and 80 mg/kg groups was significantly higher than that of other groups ($P < 0.05$). The serum CP activity of 40 and 80 mg/kg groups was significantly higher than that of control group and 10, 20 mg/kg groups ($P < 0.05$). Dietary copper supplemental level had no significant influence on organ development indices ($P > 0.05$). Considering all results of this experiment, the appropriate copper supplemental levels are 40 to 80 mg/kg (the measured values of copper content in diets are 44.56 to 83.58 mg/kg) for 2- to 4-month-old long hairy rabbits. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(10):4622-4629]

Key words: copper; long hair rabbits; growth performance; wool performance; serum biochemical indices; copper-containing enzyme activities