

饲粮铜添加水平对 3~4 月龄生长獭兔生长性能、血清生化指标、毛皮质量及氮代谢的影响

李 凡^{1,2} 陈晓阳^{1,2} 杨国雨^{1,2} 张 斌^{1,2} 李晨阳^{1,2} 李福昌^{1,2*}

(1. 山东农业大学动物科技学院, 泰安 271018; 2. 山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室, 泰安 271018)

摘要: 本试验旨在研究饲粮铜添加水平对 3~4 月龄生长獭兔生长性能、血清生化指标、毛皮质量及氮代谢的影响。选用 160 只健康、体重相近的 3 月龄獭兔, 随机分为 4 组(每组 40 个重复, 每个重复 1 只), 分别饲喂在基础饲粮中添加 0、30、60、120 mg/kg 铜(以五水硫酸铜形式)的试验饲粮。预试期 7 d, 正试期 29 d。结果显示: 在初始体重 (IBW) 无显著差异 ($P>0.05$) 的前提下, 饲粮铜添加水平对獭兔的平均日增重 (ADG) 有显著影响 ($P<0.05$), 对平均日采食量 (ADFI) 有极显著影响 ($P<0.01$)。添加 60 mg/kg 铜组的 ADG 显著高于未添加铜组和添加 120 mg/kg 铜组 ($P<0.05$); 添加 60 和 120 mg/kg 铜组的 ADFI 极显著高于未添加铜组和添加 30 mg/kg 铜组 ($P<0.01$)。饲粮铜添加水平对獭兔血清总蛋白含量有显著影响 ($P<0.05$), 对白蛋白含量有极显著影响 ($P<0.01$)。血清中总蛋白和白蛋白含量均随饲粮铜添加水平的升高呈现先升高后降低的趋势, 且均以添加 30 mg/kg 铜组最高。饲粮铜添加水平对獭兔的皮张重量、皮张面积、皮张厚度和被毛长度均无显著影响 ($P>0.05$)。饲粮铜添加水平对食入氮 (IN)、尿氮 (UN) 和氮生物学效价 (NBV) 均有显著影响 ($P<0.05$)。在铜添加水平为 30 mg/kg 时, 尿氮最低, 氮生物学效价最高。综合本试验测定的各项指标得出, 3~4 月龄生长獭兔饲粮适宜的铜添加水平为 30 mg/kg (饲粮中铜含量的实测值为 39.1 mg/kg)。

关键词: 铜; 獭兔; 生长性能; 血清生化指标; 氮代谢

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)09-4179-07

铜是动物体内多种酶的重要组分, 是动物体内多种生化反应所必需的微量元素, 含铜酶是铁和儿茶酚胺代谢的关键, 同时在血红蛋白、弹性蛋白和胶原蛋白合成中发挥重要作用。大量研究表明, 基础饲粮中添加适量的铜可提高动物的蛋白质利用率和生长性能^[1-2], 但高铜会抑制生长并且产生一定的毒副作用, 同时粪污中铜对水和土壤的污染也愈发严重^[3-5]。王雅秋等^[6]指出, 獭兔缺铜会使被毛质量变差, 骨骼发育异常且易骨折, 同时使其生长速度变慢。隋啸一^[7]认为, 在断奶至 3 月龄獭兔饲粮中添加 15 mg/kg 铜有利于提高獭

兔对氮的利用。张永翠等^[8]认为断奶至 2 月龄长毛兔饲粮最适铜添加水平为 20~80 mg/kg。目前, 对微量元素铜的研究主要集中在猪、牛等动物上, 针对铜在獭兔生产中应用的研究不多。鉴于此, 本试验以生长獭兔为研究对象, 以五水硫酸铜为铜的添加形式, 探讨不同铜添加水平对 3~4 月龄獭兔生长性能、血清生化指标、毛皮质量及氮代谢的影响, 以研究 3~4 月龄獭兔饲粮适宜的铜添加水平, 为制订我国獭兔饲养标准提供理论和实践依据。

收稿日期: 2019-02-27

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (ZR2018MC025); 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-43-B-1); 山东省双一流建设项目 (SYL2017YSTD11)

作者简介: 李 凡 (1995—), 男, 山东新泰人, 硕士研究生, 从事家兔营养与代谢研究。E-mail: 763961627@qq.com

* 通信作者: 李福昌, 教授, 博士生导师, E-mail: chlf@sdau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 试验饲料

基础饲料参照 De Blas 等^[9] 建议的生长兔饲养标准配制。以五水硫酸铜为铜源, 向基础饲料

中分别添加 0(对照)、30、60、120 mg/kg 铜制备成 4 种试验饲料, 试验饲料中铜含量的实测值分别为 8.4、39.1、67.5、127.7 mg/kg。基础饲料组成及营养水平见表 1。

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	10.50	消化能 DE/(MJ/kg)	10.37
豆粕 Soybean meal	6.00	干物质 DM	89.16
玉米胚芽粕 Corn germ meal	20.00	粗蛋白质 CP	16.87
小麦麸皮 Wheat bran	18.00	粗灰分 Ash	6.83
稻壳粉 Husk powder	11.00	粗脂肪 EE	4.39
葵花籽粕 Sunflower seed meal	12.00	粗纤维 CF	15.79
苜蓿 Alfalfa	6.00	钙 Ca	0.70
豆秸粉 Soya bean stem meal	12.00	磷 P	0.54
青蒿草粉 Artemisia apiacea flour	3.00	赖氨酸 Lys	0.53
预混料 Premix ¹⁾	1.50	蛋氨酸 Met	0.89
合计 Total	100.00		

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kilogram of the diet: VA 15 000 IU, VD₃ 1 100 IU, VE 60 mg, VK₃ 2.0 mg, VB₁ 6 mg, VB₂ 12.5 mg, VB₁₁ 2.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, 氧化胆碱 choline chloride 500 mg, Fe (as ferrous sulfate) 50 mg, I (as potassium iodide) 0.6 mg, Mn (as manganese sulfate) 4 mg, Zn (as zinc sulfate) 50 mg, CaHPO₄ 1 500 mg, NaCl 5 000 mg, 赖氨酸 Lys 1 000 mg, 蛋氨酸 Met 2 000 mg, 石粉 limestone 1 500 mg。

²⁾ 消化能为计算值, 其余均为实测值。DE was a calculate value, while the others were measured values.

1.2 试验动物与饲养管理

试验选取健康状态良好的 3 月龄獭兔 160 只(平均体重为 1 914.0 g), 按公母各占 1/2 的原则随机分为 4 组, 每组 40 个重复, 每个重复 1 只, 单笼饲养, 且各组间体重无显著差异 ($P=0.7095$)。4 组獭兔分别饲喂在基础饲料中添加 0、30、60、120 mg/kg 铜(以五水硫酸铜形式)的试验饲料。兔舍采光和通风状况良好, 试验前以甲醛-高锰酸钾熏蒸法对兔舍彻底消毒, 试验期间每周带兔消毒 1 次, 正常免疫和饲养管理。试验期间早晚各饲喂 1 次, 自由采食和饮水, 预试期 7 d, 正试期 29 d。每日记录剩料量, 每周记录增重。

1.3 样品采集与制备

在正试期的最后 7 d, 每组挑选体重相近的 8 只状况良好的试验兔(公母各 4 只)转入提前刷洗消毒的代谢笼内, 一笼一兔, 自由采食和饮水, 继续饲喂试验饲料。预试期 3 d, 预试期结束后连续 3 d 每天收集试验兔全部粪便和尿液, 密封保存于 4 °C 冰箱中并尽快进行氮代谢指标测定。试验结

束当天每组随机挑选 8 只试验兔心脏采血 10 mL, 将采集到的血液收集至肝素钠抗凝管中, 3 000 r/min 离心 15 min, 小心地将血清吸出存放在 Eppendorf 管中, -20 °C 保存, 待测血清生化指标。采血后的试验兔立即屠宰剥皮, 用于毛皮质量测定。

1.4 测定指标和方法

1.4.1 生长性能指标

试验开始前和结束后分别称重并记录, 试验期间记录每日采食量和剩料量, 计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。

ADFI = 正试期内试验兔总采食量 / 正试期天数;

ADG = [终末体重(FBW) - 初始体重(IBW)] / 正试期天数;

F/G = ADFI / ADG。

1.4.2 血清生化指标

应用日立 7020 型全自动分析仪测定血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素(UREA)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL)和低密度脂蛋白

(LDL)含量。上述指标测定所用试剂盒均购于日本和光纯药工业株式会社。

1.4.3 毛皮质量指标

试验兔屠宰后,将整张兔皮小心剥下,去除残存脂肪和肌肉后称量皮张重量。将兔皮沿腹部正中中线剪开平铺于桌面,然后用软尺测量其长度(颈部至尾根)和宽度(腹中部最窄处),计算皮张面积。以游标卡尺测量其皮张厚度和被毛长度,同一位置测量3次,取平均值。

皮张面积=长度×宽度。

1.4.4 氮代谢指标

可消化氮(g/d)=食入氮-粪氮;

沉积氮(g/d)=食入氮-粪氮-尿氮;

氮表观消化率(%)=100×可消化氮/食入氮;

氮利用率(%)=100×沉积氮/食入氮;

氮生物学效价(%)=100×沉积氮/可消化氮。

1.5 数据处理与分析

试验数据记录后用 Excel 2016 预处理,以统

计软件 SAS 9.1.3 分析数据的方差,试验数据的多重比较应用 Duncan 氏法,数据以平均值和均方根误差(R-MSE)表示,其中 $P < 0.05$ 为显著差异, $P < 0.01$ 为差异极显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有变化趋势。

2 结果与分析

2.1 饲料铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

由表2可看出,在初始体重无显著差异($P = 0.7905$)的前提下,饲料铜添加水平对獭兔的终末体重无显著影响($P = 0.1155$),但对ADG有显著影响($P = 0.0340$),对ADFI有极显著影响($P = 0.0007$),对F/G有影响趋势($P = 0.0688$)。其中,添加60 mg/kg铜组的ADG显著高于未添加铜组和添加120 mg/kg铜组($P < 0.05$);添加60和120 mg/kg铜组的ADFI极显著高于未添加铜组和添加30 mg/kg铜组($P < 0.01$)。

表2 饲料铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary copper supplemental level on growth performance of growing Rex rabbits ($n = 40$)

项目 Items	饲料铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)				均方根误差 R-MSE	P值 P-value
	0	30	60	120		
	初始体重 IBW/g	1 916.03	1 964.44	1 926.03		
终末体重 FBW/g	2 530.14	2 628.89	2 604.71	2 544.87	199.15	0.115 5
平均日增重 ADG/(g/d)	21.18 ^b	22.91 ^{ab}	23.40 ^a	21.18 ^b	4.01	0.034 0
平均日采食量 ADFI/(g/d)	160.86 ^{Bb}	161.06 ^{Bb}	163.18 ^{Aa}	162.80 ^{Aa}	2.86	0.000 7
料重比 F/G	7.85	7.22	7.24	8.00	1.56	0.068 8

同行数据肩标无字母或相同小写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 no letter or the same 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 extremely significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

2.2 饲料铜添加水平对生长獭兔血清生化指标的影响

由表3可看出,饲料铜添加水平对生长獭兔血清中尿素($P = 0.3527$)、总胆固醇($P = 0.2021$)、高密度脂蛋白($P = 0.4514$)和低密度脂蛋白含量($P = 0.1648$)均无显著影响,对总蛋白含量有显著影响($P = 0.0346$),对白蛋白含量有极显著影响($P = 0.0063$)。血清中总蛋白含量随饲料铜添加水平的升高呈现先升高后降低的趋势,以

添加30 mg/kg铜组最高,显著高于添加120 mg/kg铜组($P < 0.05$);血清中白蛋白含量随饲料铜添加水平的升高呈现先升高后降低的趋势,但3个铜添加组之间无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 饲料铜添加水平对生长獭兔毛皮质量的影响

由表4可看出,饲料铜添加水平对皮张重量($P = 0.7454$)、皮张面积($P = 0.6780$)、皮板厚度($P = 0.3188$)和被毛长度($P = 0.5129$)均无显著影响。

表 3 饲料铜添加水平对生长獭兔血清生化指标的影响

Table 3 Effects of dietary copper supplemental level on serum biochemical indices of growing Rex rabbits ($n=8$)

项目 Items	饲料铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)				均方根误差 R-MSE	P 值 P-value
	0	30	60	120		
	总蛋白 TP/(g/L)	64.28 ^{ab}	67.33 ^a	66.10 ^a		
白蛋白 ALB/(g/L)	36.13 ^{Aa}	39.78 ^{Bb}	38.85 ^{Bb}	38.59 ^{Bb}	1.96	0.006 3
尿素 UREA/(mmol/L)	7.66	7.61	7.69	8.41	1.01	0.352 7
总胆固醇 TC/(mmol/L)	1.43	1.48	1.23	1.14	0.36	0.202 1
高密度脂蛋白 HDL/(g/L)	0.08	0.09	0.07	0.06	0.03	0.451 4
低密度脂蛋白 LDL/(g/L)	0.23	0.2	0.18	0.13	0.12	0.164 8

表 4 饲料铜添加水平对生长獭兔毛皮质量的影响

Table 4 Effects of dietary copper supplemental level on fur quality of growing Rex rabbits ($n=8$)

项目 Items	饲料铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)				均方根误差 R-MSE	P 值 P-value
	0	30	60	120		
	皮张重量 Fur weight/g	406.88	416.25	398.75		
皮张面积 Fur area/cm ²	1 501.63	1 514.75	1 487.63	1 466.25	82.09	0.678 0
皮张厚度 Fur thickness/mm	2.44	2.58	2.31	2.32	0.32	0.318 8
被毛长度 Hair length/mm	25.00	25.63	25.38	25.75	1.06	0.512 9

2.4 饲料铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

由表 5 可看出,饲料铜添加水平对食入氮 ($P=0.001 0$)、尿氮 ($P=0.001 6$) 和氮生物学效价 ($P=0.006 3$) 有极显著影响,对可消化氮 ($P=0.058 2$) 和氮利用率 ($P=0.099 8$) 有影响趋势,对粪氮 ($P=0.290 3$)、沉积氮 ($P=0.142 8$) 和氮表观

消化率 ($P=0.185 0$) 均无显著影响。添加 60 和 120 mg/kg 铜组食入氮显著高于其他 2 组 ($P<0.05$); 添加 30 mg/kg 铜组尿氮最低,显著低于未添加铜组和添加 120 mg/kg 铜组 ($P<0.05$); 氮生物学效价随饲料铜添加水平的升高先升高后降低,在铜添加水平为 30 mg/kg 时达到最高。

表 5 饲料铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

Table 5 Effects of dietary copper supplemental level on nitrogen metabolism of growing Rex rabbits ($n=8$)

项目 Items	饲料铜添加水平 Dietary copper supplemental level/(mg/kg)				均方根误差 R-MSE	P 值 P-value
	0	30	60	120		
	食入氮 IN/(g/d)	5.35 ^{Bb}	5.42 ^{Bb}	5.60 ^{Aa}		
粪氮 FN/(g/d)	1.70	1.98	1.65	1.70	0.37	0.290 3
尿氮 UN/(g/d)	1.71 ^{ABab}	1.32 ^{Cc}	1.45 ^{BCbc}	2.06 ^{Aa}	0.36	0.001 6
可消化氮 DN/(g/d)	3.65	3.44	3.95	3.85	0.38	0.058 2
沉积氮 RN/(g/d)	2.12	2.30	2.31	1.83	0.45	0.142 8
氮表观消化率 NAD/%	68.25	63.45	70.47	69.47	6.70	0.185 0
氮利用率 NUR/%	38.30	41.11	42.54	32.81	8.03	0.099 8
氮生物学效价 NBV/%	55.03 ^{ABab}	63.64 ^{Aa}	61.06 ^{Aa}	46.98 ^{Bb}	9.30	0.006 3

3 讨论

3.1 饲料铜添加水平对生长獭兔生长性能的影响

铜是维持动物机体正常生长发育最重要的微量元素之一,铜广泛参与动物体内多种营养物质代谢,铜蓝蛋白通过催化转铁蛋白生成参与机体造血过程,同时铜还是多种酶的辅基,与机体结缔组织、心血管系统、神经系统以及被毛正常发育联系紧密。研究表明,基础饲料中添加适宜水平的铜有助于提高动物的生产性能^[10-11]。隋啸一^[7]研究认为,饲料铜添加水平对断奶至3月龄獭兔的ADG和ADFI有显著影响,并且在铜添加水平为15 mg/kg得到最大的ADG和ADFI。张永翠等^[8]研究认为,饲料铜添加水平对断奶至2月龄长毛兔的ADG和F/G有显著影响,在铜添加水平为80 mg/kg时得到最大的ADG和最低的F/G。本试验结果表明,饲料铜添加水平对生长獭兔的FBW无显著影响,对ADFI有极显著影响,ADFI随着铜添加水平的升高先升高后降低,在铜添加水平为60 mg/kg时有最大值,这说明饲料中添加适宜水平的铜可提高生长獭兔的采食量,但铜添加过量则会降低其采食量;饲料铜添加水平对生长獭兔的ADG有显著影响,ADG随着铜添加水平的升高先升高后降低,在铜添加水平为60 mg/kg时有最大值。这与上述前人研究结果基本一致,说明在基础饲料中添加适宜水平的铜有助于提高生长獭兔的采食量和氮利用率,从而提高增重。

3.2 饲料铜添加水平对生长獭兔血清生化指标的影响

血清生化指标是衡量动物机体代谢水平和健康状况的重要指标。血清中的蛋白质具有维持血液胶体渗透压和代谢产物运输等生理学功能,同时具有一定的免疫学和营养学作用。血清中的总蛋白、白蛋白与动物机体蛋白质和氨基酸代谢联系紧密,血清中尿素的含量可用来反映机体蛋白质代谢水平,其含量升高即代表氮排出增多,机体蛋白质合成率降低。Wu等^[12]研究得出冬毛期雌性蓝狐饲料中添加适量铜可提高血清总蛋白和白蛋白含量。本试验结果显示,饲料铜添加水平对血清总蛋白含量有显著影响,在铜添加水平为30和120 mg/kg时可获得较高的血清总蛋白含量;饲料铜添加水平对血清白蛋白含量有极显著影

响,未添加铜组血清白蛋白含量极显著低于3个铜添加组。饲料铜添加水平对血清尿素含量无显著影响,隋啸一^[7]研究认为饲料铜添加水平显著提高獭兔血清尿素含量,这与本试验结果并不一致,其原因可能是试验獭兔日龄不同。此外,饲料铜添加水平对血清总胆固醇、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量均无显著影响,说明饲料铜添加水平对胆固醇代谢无显著影响,这与前人的研究结果^[7]一致。

3.3 饲料铜添加水平对生长獭兔毛皮质量的影响

獭兔是重要的皮用兔,其毛皮与水獭毛皮极为相似,皮毛绒细密丰厚,短而平整。除年龄和季节因素外,饲料营养水平是影响獭兔毛皮质量的关键因素之一。微量元素铜可通过促进二硫键的生成来促进被毛生长,并具有一定的改善被毛品质的作用。李金博等^[13]研究认为,在基础饲料中添加一定水平的铜可提高滩羊二毛裘皮的质量。高雅琴等^[14]研究认为,可以从皮张重量、皮张面积、皮张厚度以及被毛长度等方面对獭兔毛皮质量进行评价。本试验结果表明,饲料铜添加水平对生长獭兔皮张面积、皮张重量、皮张厚度和被毛长度均无显著影响,因此可以认为30 mg/kg的铜添加水平足以维持獭兔被毛发育并保持较高的毛皮质量。

3.4 饲料铜添加水平对生长獭兔氮代谢的影响

动物体食入饲料中的含氮物质经消化代谢后,部分氮用以合成蛋白质,而另一部分则通过粪便、尿液等方式排出体外。对于动物体来说,沉积氮即代表将食入的氨基酸合成蛋白质,而蛋白质作为生命最基本的物质,同时也是动物机体重要的组成物质,广泛存在于动物体各组织器官中。本试验结果表明,饲料铜添加水平对生长獭兔的食入氮有极显著影响,其中添加60和120 mg/kg铜组食入氮显著高于其他2组,同时该2组的ADFI也极显著高于其他2组,推测饲料中高剂量的铜有一定刺激食欲的作用,但食入氮增加并未使沉积氮增加,推测高剂量的铜具有一定的抑制氮沉积的作用;此外,饲料铜添加水平对生长獭兔的尿氮和氮生物学效价均有极显著影响,在铜添加水平为30 mg/kg时尿氮最低和氮生物学效价最高。可以推断,基础饲料中添加一定量的铜可能通过提高氮生物学效价来提高生产性能。

4 结 论

综合本试验测定各指标得出,3~4月龄生长獭兔饲料适宜的铜添加水平为30 mg/kg(饲料中铜含量的实测值为39.1 mg/kg)。

参考文献:

- [1] WANG J, ZHU X, GUO Y, et al. Influence of dietary copper on serum growth-related hormone levels and growth performance of weanling pigs [J]. *Biological Trace Element Research*, 2016, 172(1): 134-139.
- [2] RPCHELL S J, USRY J L, PARR T M, et al. Effects of dietary copper and amino acid density on growth performance, apparent metabolizable energy, and nutrient digestibility in *Eimeria acervulina*-challenged broilers [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(3): 602-610.
- [3] 孙辰鹏, 赵远, 韩志华, 等. 稳定剂对铅、铜污染土壤的稳定效果 [J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(24): 341-344.
- [4] SHAW B J, HANDY R D. Dietary copper exposure and recovery in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquatic Toxicology*, 2006, 76(2): 111-121.
- [5] LIU X J, LUO Z, XIONG B X, et al. Effect of waterborne copper exposure on growth, hepatic enzymatic activities and histology in *Synechogobius hasta* [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010, 73(6): 1286-1291.
- [6] 王雅秋, 刘元福. 兔四类重要微量元素缺乏症的诊治 [J]. 养殖技术顾问, 2013(12): 194.
- [7] 隋啸一. 獭兔饲料铜适宜添加量及对脂肪代谢的影响 [D]. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [8] 张永翠, 程光民, 伏桂华, 等. 饲料中铜添加量对断奶至2月龄长毛兔生产性能和血清指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2017, 29(12): 4365-4371.
- [9] DE BLAS C, WISEMAN J. Nutrition of the rabbit [M]. New York: CABI Publishing, 2010: 333-342.
- [10] NETTO A S, ZANETTI M A, DEL CLARO G R, et al. Effects of copper and selenium supplementation on performance and lipid metabolism in confined brangus bulls [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27(4): 488-494.
- [11] HUANG Y L, WANG Y, SPEARS J W, et al. Effect of copper on performance, carcass characteristics, and muscle fatty acid composition of meat goat kids [J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(10): 5004-5010.
- [12] WU X J, LIU Z, GUO J, et al. Influence of dietary zinc and copper on apparent mineral retention and serum biochemical indicators in young male mink (*Mustela vison*) [J]. *Biological Trace Element Research*, 2015, 165(1): 59-66.
- [13] 李金博, 李爱华, 巫亮, 等. 滩母羊日粮中铜水平对其羔羊裘皮品质影响的研究 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2010(8): 7-9.
- [14] 高雅琴, 杜天庆, 席斌, 等. 獭兔毛皮特征及质量评定方法 [J]. *中国养兔*, 2008(5): 42-43, 19.

Effects of Dietary Copper Supplemental Level on Growth Performance, Serum Biochemical Indices, Fur Quality and Nitrogen Metabolism of 3 to 4-Month-Old Growing Rex Rabbits

LI Fan^{1,2} CHEN Xiaoyang^{1,2} YANG Guoyu^{1,2} ZHANG Bin^{1,2} LI Chenyang^{1,2} LI Fuchang^{1,2*}

(1. College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Animal Biotechnology and Disease Control and Prevention, Tai'an 271018, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary copper supplemental level on growth performance, serum biochemical indices, fur quality and nitrogen metabolism of 3 to 4-month-old growing Rex rabbits. One hundred and sixty 3-month old healthy Rex Rabbits with similar body weight were randomly assigned to 4 groups with 40 replicates in each group and each replicate contained 1 rabbit. Rabbits in 4 groups were fed experimental diets which supplemented with 0, 30, 60 and 120 mg/kg copper (in the form of copper sulfate pentahydrate) based on a basal diet, respectively. The pre-experimental period lasted for 7 days and the formal test for 29 days. The results showed as followed: under the premise that there was no significant difference in initial body weight (IBW) ($P>0.05$), dietary copper supplemental level had significant influence on average daily gain (ADG) ($P<0.05$), and had extremely significant influence on average daily feed intake (ADFI). The ADG in adding 60 mg/kg copper group was significantly higher than that in no adding copper group and adding 120 mg/kg copper group ($P<0.05$). The ADFI in adding 60 and 120 mg/kg copper groups was extremely significantly higher than that in no adding copper group and adding 30 mg/kg copper group ($P<0.01$). Dietary copper supplemental level had significant influence on serum total protein content ($P<0.05$), and had extremely significant influence on serum albumin content ($P<0.01$). With the dietary copper supplemental level increasing, serum total protein and albumin contents were firstly increased and then decreased, and the highest values of them were all found in adding 30 mg/kg copper group. Dietary copper supplemental level had no significant influences on fur weight, fur thickness, fur area and hair length ($P>0.05$). Dietary copper supplemental level had extremely significant influences on intake nitrogen (IN), urinary nitrogen (UN) and nitrogen biological value (NBV) ($P<0.01$). When copper supplemental level was 30 mg/kg, the urinary nitrogen was the lowest and the nitrogen biological value was the highest. Considering all indexes of this experiment, the appropriate dietary copper supplemental level is 30 mg/kg for 3 to 4-month-old growing Rex rabbits (the measured value of diet copper content is 39.1 mg/kg). [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(9):4179-4185]

Key words: copper; Rex rabbits; growth performance; serum biochemical indices; nitrogen metabolism