

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

钟伟 刘凤华 赵靖波 张铁涛 常忠娟 鲍坤
张海华 徐超 王夕国 李光玉*

(中国农业科学院特产研究所,吉林省特种经济动物分子生物学省部共建实验室,长春 130112)

摘要: 本试验旨在研究不同铜源对育成期雌性银狐生长性能、营养物质消化率以及血液生化指标的影响,以寻求育成期雌性银狐饲料中适宜铜源。试验选取 40 只平均体重为 $(3\ 315 \pm 11)$ g 的健康雌性银狐,随机分成 4 组,每组 10 个重复,每个重复 1 只。各组银狐分别饲喂在基础饲料中添加甘氨酸螯合铜(I组)、蛋氨酸螯合铜(II组)、硫酸铜(III组)、柠檬酸铜(IV组)的试验饲料,各试验饲料中铜源的添加水平以铜计均为 30 mg/kg。基础饲料中铜含量为 5.47 mg/kg。预试期 7 d,正试期 45 d。结果表明:不同铜源对育成期雌性银狐的末重、平均日增重和料重比均有显著影响($P < 0.05$),对平均日采食量无显著影响($P > 0.05$)。IV组的末重和平均日增重显著高于III组($P < 0.05$),IV组的料重比显著低于II组($P < 0.05$)。不同铜源对育成期雌性银狐的干物质、蛋白质和脂肪的消化率无显著影响($P > 0.05$)。血清总蛋白、尿素氮、免疫球蛋白 G、免疫球蛋白 M、铜蓝蛋白含量及碱性磷酸酶活性各组间差异不显著($P > 0.05$),但IV组尿素氮含量和碱性磷酸酶活性均略高于其他组。不同铜源对育成期雌性银狐的血清白蛋白含量、超氧化物歧化酶活性有显著影响($P < 0.05$),对血清铜锌超氧化物歧化酶活性有极显著影响($P < 0.01$)。IV组血清白蛋白含量显著高于其他各组($P < 0.05$),I组血清超氧化物歧化酶活性显著高于II和III组($P < 0.05$),I和III组血清铜锌超氧化物歧化酶活性极显著高于II组($P < 0.01$)。本试验条件下,综合考虑生长性能、营养物质消化率及血液生化指标,得出育成期雌性银狐饲料适宜铜源为柠檬酸铜。

关键词: 铜源;雌性银狐;生长性能;营养物质消化率;血液生化指标

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)10-2489-08

铜是动物生长过程中必需的微量元素之一,在机体造血、新陈代谢、生长繁殖、维持生产性能、增强机体抵抗力等方面具有不可替代的作用。铜最重要的生理作用之一是作为体内各种氧化酶的辅助因子,以辅酶形式参与氧化磷酸化、黑色素合成、铁和胺类代谢、毛发形成等生理代谢过程^[1]。

Cromwell 等^[2] 研究报道,在断奶仔猪上不同化学形式的铜盐的生物学效价存在差异,有机铜

如甘氨酸铜和柠檬酸铜的生物学效价比无机铜如硫酸铜和氧化铜的生物学效价高。Stansbury 等^[3] 研究报道,在生长猪上有机铜的生物学效价和促生长效果优于无机铜,并且在低水平下就可以达到较好的效果,可减少铜的排泄对环境所造成的污染。已有大量研究表明铜对畜禽具有促生长作用^[4-5]。此外,研究还表明赖氨酸铜对猪生长性能的促进作用要优于硫酸铜^[6-7];相对于硫酸铜而

收稿日期:2013-04-01

基金项目:公益性行业科研专项(200903014);吉林省特种经济动物营养与生理研究创新团队(20121810)

作者简介:钟伟(1980—),女,吉林永吉人,助理研究员,从事特种经济动物营养与饲料研究。E-mail: zhongwei8015@163.com

* 通讯作者:李光玉,研究员,博士生导师,E-mail: tcslgy@126.com

言,较低水平的柠檬酸铜即可有效促进肉鸡的生长^[8]。

关于铜对毛皮动物生长的研究报道,甘伯中^[9]研究得出添加 100 或 200 mg/kg 硫酸铜可提高毛兔生长性能和毛的增长速度;李道林^[10]在综合分析铜对獭兔生长、血液生化指标及肝脏中铜沉积等指标影响的基础上,表明蛋氨酸铜的生物学效价高于硫酸铜;白玉妍等^[11]通过在乌苏里貉基础饲料中添加蛋氨酸铜,得出蛋氨酸铜可促进毛皮质量的提高;Aulerich 等^[12]研究得出适宜的铜水平可促进水貂的生长和毛皮发育,在生长期添加 200 mg/kg 硫酸铜组的体重较 100 mg/kg 硫酸铜组显著增加;Bush 等^[13]和 Aulerich 等^[14]研究均表明饲喂高铜饲料能增加水貂毛皮的色素沉着,使毛色有变暗的趋势;Mejborn^[15]研究得出水貂饲料中含铜 5.1 mg/kg 时可满足其正常生长和毛皮发育的需要;李光玉等^[16]报道铜在毛皮动物饲料中建议添加水平为 4~6 mg/kg;吴学壮等^[17]通过研究饲料中添加不同水平硫酸铜对水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响,建议在水貂育成期饲料中硫酸铜添加水平为 32 mg/kg。有关适宜银狐生长的铜源形式的文献报道较少,因此本试验拟研究不同铜源对银狐生长性能、营养物质消化率及血液生化指标的影响,旨在探究促进育成期银狐生长的适宜铜源,为养殖生产中合理添加铜源提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 试验饲料

银狐基础饲料配制参考 NRC(1982) 狐貂营养需求标准^[18],其组成及营养水平见表 1。在基础饲料中添加不同形式的铜源配制 4 种试验饲料,各铜源的添加水平以铜计,均为 30 mg/kg,试验饲料中铜添加水平是依据促毛皮动物生长的铜剂量^[17],并根据大型银狐养殖场区生产实际确定。

1.2 试验动物与试验设计

本试验在中国农业科学院特产研究所毛皮动物试验基地完成。选取 40 只 75 日龄、平均体重为 (3 315 ± 11) g 的健康雌性银狐,随机分成 4 组,每组设 10 个重复,每个重复 1 只银狐。4 组银狐分别饲喂在基础饲料中添加 142.9 mg/kg 甘氨酸螯合铜(I 组)、171.4 mg/kg 蛋氨酸螯合铜(II 组)、125.0 mg/kg 硫酸铜(III 组)、88.2 mg/kg 柠

檬酸铜(IV 组)的试验饲料,各试验饲料的添加水平以铜计均为 30 mg/kg。其中,甘氨酸螯合铜和蛋氨酸螯合铜均是由氨基酸与铜离子以特定摩尔比螯合而成的氨基酸螯合物,前者铜含量 ≥ 21%,后者铜含量 ≥ 17.5%,购自上海德邦牧业有限公司;柠檬酸铜是有机铜形式,铜含量 ≥ 34%,硫酸铜含有 5 个结合水,铜含量 ≥ 24%,购自上海华亭化工厂有限公司。

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)		%
项目 Items	含量 Content	
原料 Ingredients		
膨化玉米 Extruded corn	26.0	
豆粕 Soybean meal	22.0	
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	9.0	
干酒糟及其可溶物 DDGS	13.7	
鱼粉 Fish meal	5.0	
肉粉 Meat meal	10.0	
豆油 Soybean oil	12.0	
赖氨酸 Lys	1.0	
蛋氨酸 Met	0.3	
预混料(无铜) Premix (Cu-free) ¹⁾	1.0	
合计 Total	100.0	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	14.68	
粗蛋白质 CP	31.86	
粗脂肪 EE	13.87	
粗灰分 Ash	4.35	
赖氨酸 Lys	2.19	
蛋氨酸 Met	1.52	
铜 Cu/(mg/kg)	5.47	
钙 Ca	2.55	
磷 P	1.47	

¹⁾ 每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following: VA 800 000 IU, VD₃ 200 000 IU, VE 4 000 mg, VK₃ 50 mg, VB₁ 400 mg, VB₂ 500 mg, VB₆ 200 mg, VB₁₂ 4.2 mg, 叶酸 folic acid 50 mg, 泛酸 pantothenic acid 2 200 mg, 生物素 biotin 1 600 mg, 氯化胆碱 choline chloride 120 mg, VC 12 000 mg, Fe (as ferrous sulfate) 4 000 mg, Zn (as zinc sulfate) 3 200 mg, Mn (as manganese sulfate) 1 600 mg, I (as potassium iodide) 80 mg, Se (as sodium selenite) 12 mg。

²⁾ 代谢能为计算值,其他营养水平为实测值。ME was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

试验动物单笼饲养。试验从2011年8月17日开始至2011年10月7日结束,预试期7 d,正试期45 d,每天08:00和15:00各饲喂1次,自由饮水。

1.4 消化代谢试验

预试期每天准确称量、记录饲喂量和剩余料量,计算采食量,观察动物健康和采食状况。试验开始19 d后,从2011年9月5日至8日进行消化代谢试验,每组选择8只采食和排便正常、体况接近的银狐进行消化代谢试验。消化代谢试验共进行4 d,利用自制的粪盘进行全粪收集,收集粪样中加入少量10% H₂SO₄ 固氮,65℃烘干,粉碎后过40目筛保存备用。

1.5 测定指标及方法

基础饲料及粪样中常规营养成分的测定参考文献[19]的方法,铜含量采用微波消解-火焰原子吸收法测定。血清总蛋白(TP)含量采用双缩脲法测定,尿素氮(UN)含量采用二乙酰-脲法测定,白蛋白(ALB)含量采用溴甲酚绿法测定,超氧化物歧化酶(SOD)和铜锌超氧化物歧化酶(Cu/Zn-SOD)活性采用抽提法测定,以上血清指标测试均采用南京建成试剂盒通过分光光度计测定;血清碱性磷酸酶(ALP)活性采用中生北控试剂盒(速率法)测定;血清铜蓝蛋白(CP)含量采用罗氏试剂盒(免疫比浊法)测定;免疫球蛋白G(IgG)和免疫球蛋白M(IgM)含量采用罗氏双试剂试剂盒(免疫比浊法)测定。

1.6 计算公式

干物质消化率(%) = [(干物质采食量 -

干物质排出量)/干物质采食量] × 100;

蛋白质消化率(%) = [(蛋白质采食量 - 蛋白质排出量)/蛋白质摄入量] × 100;

脂肪消化率(%) = [(脂肪采食量 - 脂肪排出量)/脂肪摄入量] × 100;

平均日采食量(g/d) = 试验期采食量/试验天数;

平均日增重(g/d) = (末重 - 初重)/试验天数;

料重比 = 平均日采食量/平均日增重。

1.7 数据整理与统计分析

试验数据采用Excel 2003进行整理,结果以平均值 ± 标准差表示。采用SAS 8.0软件中GLM程序对数据进行统计分析,多重比较采用Duncan氏法进行,其中P < 0.01为差异极显著,P < 0.05为差异显著,P > 0.05为差异不显著。

2 结果与分析

2.1 不同铜源对育成期雌性银狐生长性能影响

由表2可知,不同铜源对育成期雌性银狐的末重有显著影响(P = 0.0309),Ⅱ和Ⅳ组显著高于Ⅲ组(P < 0.05),其他组间差异不显著(P > 0.05);不同铜源对育成期雌性银狐的平均日增重有显著影响(P = 0.0466),Ⅳ组显著高于Ⅲ组(P < 0.05),其他组间差异不显著(P > 0.05);不同铜源对育成期雌性银狐的平均采食量无显著影响(P = 0.4012),Ⅳ组略高于其他各组,Ⅲ组最低。不同铜源对育成期雌性银狐的料重比有显著影响(P = 0.0435),Ⅳ组显著低于Ⅱ组(P < 0.05),其他组间差异不显著(P > 0.05)。

表2 不同铜源对育成期雌性银狐生长性能的影响

Table 2 Effects of different copper sources on growth performance of female silver foxes during growth period

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
初重 Initial weight/kg	3.31 ± 0.35	3.31 ± 0.37	3.33 ± 0.41	3.32 ± 0.50	0.999 9
末重 Final weight/kg	4.14 ± 0.29 ^{ab}	4.44 ± 0.68 ^a	3.85 ± 0.47 ^b	4.49 ± 0.46 ^a	0.030 9
平均日增重 ADG/g	26.39 ± 5.56 ^{ab}	24.44 ± 7.52 ^{ab}	22.50 ± 3.85 ^b	32.78 ± 4.67 ^a	0.046 6
平均日采食量 ADFI/g	218.46 ± 25.94	215.52 ± 38.37	205.26 ± 16.30	227.29 ± 17.07	0.401 2
料重比 F/G	8.73 ± 1.77 ^{ab}	10.53 ± 1.22 ^a	8.83 ± 1.87 ^{ab}	7.10 ± 1.03 ^b	0.043 5

同行数据肩标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),相同或无字母表示差异不显著(P > 0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P < 0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P < 0.01), while with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P > 0.05). The same as below.

2.2 不同铜源对育成期雌性银狐营养物质消化率的影响

由表 3 可知,不同铜源对育成期雌性银狐的干物质采食量无显著影响($P=0.2688$),IV 组略高于其他各组,III 组最低;不同铜源对育成期雌性银狐的干物质排出量有显著影响($P=0.0271$),II 组显著高于 III 组($P<0.05$),其他组间差异不显著($P>0.05$);不同铜源对育成期雌性银狐的干物质消化率无显著影响($P=0.1829$)。不同铜源对育成期雌性银狐的蛋白质采食量无显著影响($P=0.3074$),II 组略高于其他各组,III 组最低;不同铜源对育成期雌性银狐的蛋白质排出量有显著影

响($P=0.0298$),II 组显著高于 III 组($P<0.05$),其他组间差异不显著($P>0.05$);不同铜源对育成期雌性银狐的蛋白质消化率无显著影响($P=0.7392$)。不同铜源对育成期雌性银狐的脂肪采食量有显著影响($P=0.0493$),IV 组显著高于 III 组($P<0.05$),其他组间差异不显著($P>0.05$);不同铜源对育成期雌性银狐的脂肪排出量无显著影响($P=0.2557$),IV 组略高于其他各组,III 组最少;不同铜源对育成期雌性银狐的脂肪消化率无显著影响($P=0.6140$),I 组略高于其他各组,IV 组最低。

表 3 不同铜源对育成期雌性银狐营养物质消化率的影响

Table 3 Effects of different copper sources on nutrient digestibility of female silver foxes during growth period

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
干物质采食量 DM intake/(g/d)	202.56 ± 24.05	206.73 ± 30.67	189.67 ± 15.06	210.45 ± 15.80	0.2688
干物质排出量 DM output/(g/d)	26.56 ± 3.20 ^{ab}	32.37 ± 6.09 ^a	24.05 ± 3.68 ^b	29.84 ± 6.07 ^{ab}	0.0271
干物质消化率 DM digestibility/%	85.97 ± 1.95	85.03 ± 3.78	86.58 ± 2.17	85.72 ± 2.57	0.1829
蛋白质采食量 Protein intake/(g/d)	70.97 ± 8.42	71.64 ± 10.63	64.98 ± 5.16	70.09 ± 5.26	0.3074
蛋白质排出量 Protein output/(g/d)	11.86 ± 2.62 ^{ab}	14.48 ± 3.65 ^a	9.93 ± 1.93 ^b	11.01 ± 2.58 ^{ab}	0.0298
蛋白质消化率 Protein digestibility/%	83.34 ± 2.61	82.81 ± 5.09	84.78 ± 2.29	83.24 ± 4.18	0.7392
脂肪采食量 Fat intake/(g/d)	31.25 ± 3.71 ^{ab}	28.83 ± 4.83 ^{ab}	27.99 ± 2.22 ^b	32.16 ± 2.41 ^a	0.0493
脂肪排出量 Fat output/(g/d)	1.40 ± 0.28	1.66 ± 0.41	1.35 ± 0.24	1.71 ± 0.44	0.2557
脂肪消化率 Fat digestibility/%	95.65 ± 1.03	95.07 ± 1.37	95.17 ± 0.72	94.93 ± 1.32	0.6140

2.3 不同铜源对育成期雌性银狐血液生化指标的影响

由表 4 可知,血清总蛋白、尿素氮、IgG、IgM、铜蓝蛋白含量及碱性磷酸酶活性各组间差异不显著($P>0.05$)。不同铜源对育成期银狐的血清白蛋白含量有显著影响($P=0.0380$),IV 组显著高于其他 3 组,其他 3 组间差异不显著($P>0.05$);

不同铜源对育成期银狐的血清 SOD 活性有显著影响($P=0.0120$),I 组显著高于 II 和 III 组($P<0.05$),其他组间差异不显著($P>0.05$);不同铜源对育成期银狐的血清 Cu/Zn-SOD 活性有极显著影响($P=0.0047$),I 和 III 组极显著高于 II 组($P<0.01$),与 IV 组间差异不显著($P>0.05$)。

表 4 不同铜源对育成期雌性银狐血液生化指标的影响

Table 4 Effects of different copper sources on blood biochemical parameters of female silver foxes during growth period

项目 Items	组别 Groups				P 值 P-value
	I	II	III	IV	
总蛋白 TP/(g/L)	53.88 ± 2.74	55.16 ± 2.23	54.48 ± 3.13	55.11 ± 7.25	0.925 5
白蛋白 ALB/(g/L)	34.83 ± 1.40 ^b	35.25 ± 0.82 ^b	34.73 ± 1.36 ^b	36.85 ± 1.81 ^a	0.038 0
尿素氮 UN/(mmol/L)	8.11 ± 1.33	7.45 ± 1.34	7.28 ± 0.55	8.76 ± 2.02	0.260 9
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	107.43 ± 22.20	100.86 ± 18.80	106.50 ± 21.64	109.20 ± 18.07	0.893 4
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	1.45 ± 0.40	1.80 ± 0.36	1.41 ± 0.29	1.66 ± 0.28	0.210 3
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	0.42 ± 0.17	0.47 ± 0.17	0.36 ± 0.17	0.38 ± 0.13	0.639 9
铜蓝蛋白 CP/(mg/L)	35.71 ± 5.35	33.75 ± 5.18	34.00 ± 5.47	35.00 ± 5.48	0.894 7
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	133.81 ± 21.60 ^a	112.03 ± 11.03 ^b	104.49 ± 18.07 ^b	120.97 ± 8.31 ^{ab}	0.012 0
铜锌超氧化物歧化酶 Cu/Zn-SOD/(U/mL)	51.80 ± 11.10 ^{Aa}	31.05 ± 6.32 ^{Bb}	53.30 ± 11.97 ^{Aa}	44.58 ± 9.61 ^{ABab}	0.004 7

3 讨论

3.1 不同铜源对育成期雌性银狐生长性能的影响

柠檬酸铜组育成期雌性银狐的末重、平均日增重均高于其他组,且料重比低于其他各组,表明柠檬酸铜在促进银狐生长性能上优于其他形式铜源。硫酸铜组育成期雌性银狐的末重和平均日增重均为最低,与柠檬酸铜组间具有显著差异,虽与甘氨酸螯合铜和蛋氨酸螯合铜组未达到显著性差异,但均低于上述 2 组,表明在雌性银狐育成期添加相同水平铜的前提下,无机铜源的促生长作用不及有机铜源和氨基酸螯合铜源,这与大量文献报道相一致。Dove^[20]报道,与硫酸铜相比,柠檬酸铜在对猪促生长效应方面同效或更有效,低剂量的有机铜可发挥高剂量的无机铜的促生长效果;李家奎等^[21]试验表明,122.5 mg/kg 蛋氨酸螯合铜对 20~40 kg 猪的促生长效果与 250 mg/kg 硫酸铜无显著差异;黄志坚等^[22]研究表明,猪对低剂量的蛋氨酸螯合铜的利用率要比硫酸铜高;齐广海等^[23]研究报道,与硫酸铜相比,虽在鸡的生长性能方面柠檬酸铜的影响不显著,但其对蛋壳品质有改善作用,对降低鸡蛋和肝脏胆固醇含量方面表现出良好的效果。

3.2 不同铜源对育成期雌性银狐营养物质消化率的影响

刘国文等^[24]研究报道,高铜可使猪肠壁变薄,并通过影响内分泌系统改善饲料中营养物质的可

消化性,增强吸收功能。研究报道,高铜可增加饲料利用效率 5%~20%^[25],提高猪日增重^[26]。Luo 等^[27]研究报道,高铜能提高猪胃、肠道内某些酶的活性,从而提高营养物质消化率。冷向军等^[28]研究报道,高铜可提高断奶仔猪对脂肪的消化率。Pau 等^[29]研究报道,高铜通过刺激猪下丘脑分泌神经肽 Y 激素,进而引起猪采食量增加。本试验中添加的铜水平(30 mg/kg)未达到高铜水平,这可能是导致不同铜源对营养物质采食量及其消化率未产生显著影响的原因。

3.3 不同铜源对育成期雌性银狐血液生化指标的影响

血清白蛋白是由肝脏合成的,其主要是作为一种储存蛋白质,随时修补组织和提供能量。血清尿素氮是蛋白质与氨基酸在动物体内代谢的最终产物,饲料中蛋白质和氨基酸含量可直接影响血清尿素氮含量^[30-31]。本试验中,柠檬酸铜组育成期雌性银狐血清白蛋白含量显著高于其他各组,各组尿素氮含量虽未达到显著差异,但柠檬酸铜组略高于其他各组。出现上述结果可能是由于饲喂柠檬酸铜饲料的银狐日增重较快,导致体内蛋白质合成代谢增强,分解代谢减弱,机体在摄入充足的营养物质的情况下,在维持正常生长代谢时,血清白蛋白作为营养储备含量增加,流入代谢途径含量减少,增加了蛋白质沉积,因而导致血清尿素氮含量增加^[32]。动物机体在缺乏铜情况下,血液免疫球蛋白[IgG、IgM、免疫球蛋白 A(IgA)]含量降低,动物抵抗外界的免疫能力下降,本试验

设计的铜水平超出 NRC(1982)^[18] 推荐量,能够满
足动物生长对铜的需要量,不同铜源间在促进动
物机体免疫能力方面无显著性影响。血液中总蛋
白含量在一定程度上代表饲料中蛋白质的营养水
平及动物对蛋白质的消化吸收程度,当体内蛋白
质的合成作用增强、氮的沉积增强时,血液中总蛋
白含量增加^[33]。本试验中不同铜源对育成期雌性
银狐的蛋白质消化率无显著性影响。血清中碱性
磷酸酶活性高低可反映出动物的生长速度和生产
性能,提高血液中碱性磷酸酶活性有利于提高动
物的日增重^[34],本试验不同铜源对育成期雌性
银狐血清碱性磷酸酶活性虽未达到显著水平,但柠
檬酸铜组的最高,与该组平均日增重较高相一致,
此结果与文献报道结论相似。

铜蓝蛋白是由肝脏合成的一种含铜酶的 α -
糖蛋白,主要负责把铜从肝脏运输到各组织以供
机体利用。吸收进入体内的铜由血浆铜蓝蛋白、
血浆白蛋白及其他的铜结合物运送至全身,血清
铜蓝蛋白作为一种含铜的蛋白,其活性也可以作
为衡量动物机体铜营养需要量的指标^[35]。黄志坚
等^[22] 研究报道,在基础饲料中添加不同铜源对血
清中铜蓝蛋白含量无显著影响。本试验结果与该
文献报道一致。但也有相反结论,高凤仙等^[5] 研
究了氨基酸铜、硫酸铜和碱式氯化铜对猪生长性
能和血液生化指标的影响,结果表明氨基酸铜可
显著提高血清铜蓝蛋白含量。本试验中各组均添
加 30 mg/kg 的铜,高于 NRC(1982)^[18] 铜的推
荐量,完全能够满足机体生长需要,机体在不缺铜
的情况下,肝脏储存铜来为机体备用,运输到机体
其他组织利用量减少,这可能是导致各组铜蓝蛋
白含量差异不显著的原因。SOD 活性对动物机体
的氧化与抗氧化平衡起着至关重要作用,此酶能
清除超氧阴离子自由基,保护细胞免受损伤。铜
是 Cu/Zn-SOD 催化活性中心的组成部分,与 Cu/
Zn-SOD 活性密切相关。Hawk 等^[36] 报道,铜缺
乏时机体 SOD 活性降低,可引起机体组织损伤。
本试验中,柠檬酸铜和甘氨酸螯合铜组的血清
SOD 和 Cu/Zn-SOD 活性高于蛋氨酸螯合铜和
硫酸铜组,说明在雌性银狐育成期柠檬酸铜和
甘氨酸螯合铜较蛋氨酸螯合铜和硫酸铜更有
利于保护机体组织细胞免受损伤。

4 结 论

在本试验条件下,综合考虑生长性能指标、营
养物质消化率及血液生化指标,得出雌性银狐
育成期饲料适宜铜源为柠檬酸铜。

参考文献:

- [1] 吴建设, 冯于明, 杨汉春, 等. 微量元素铜的营养与免疫研究进展[J]. 国外畜牧科技, 1999, 26(1): 5-9.
- [2] 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: 2996-3002.
- [3] STANSBURY W F, TRIBBLE L F, ORRJR D E, Jr. Effect of chelated copper sources on performance of nursery and growing pigs[J]. Journal of Animal Science, 1990, 68: 1318-1322.
- [4] 王希春, 吴金节, 李义刚, 等. 高铜对断奶仔猪生长性能及血清激素水平的影响[J]. 动物医学进展, 2005, 26(8): 63-67.
- [5] 高凤仙, 杨仁斌, 何河, 等. 不同铜源及其水平对猪生产性能和血液生化指标的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 33(5): 595-598.
- [6] COFFEY R D, COFFEY G L, MONEGUE H J. Efficacy of a copper-lysine complex as a growth promoter for weanling pigs[J]. Journal of Animal Science, 1994, 72(11): 2880-2886.
- [7] ZHOU W, KORNEGAY E T, LINDEMANN M D, et al. Stimulation of growth by intravenous injection of copper in weanling pigs[J]. Journal of Animal Science, 1994, 72(9): 2395-2403.
- [8] BAKALLI R I, PESTI G M. Dietary copper in excess of nutritional requirement reduces plasma and breast muscle cholesterol of chickens[J]. Poultry Science, 1995, 74: 360-365.
- [9] 甘伯中. 不同铜添加水平对毛兔生产性能、消化代谢、组织器官和血液成分的影响[D]. 硕士学位论文. 兰州: 甘肃农业大学, 2000: 24-25.
- [10] 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: 2-3.
- [11] 白玉妍, 张浩, 叶纯子, 等. 蛋氨酸铜、蛋氨酸锌对乌苏里貉冬毛生长长期体重及毛皮质量的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2009(7): 113-114.
- [12] AULERICH R J, RINGER R K. Feeding copper sul-

- fate. Could it have benefits in nutrition of mink? [J]. U. S. Fur Rancher, 1976, 56(12): 4-9.
- [13] BUSH C R, RESTUM J C, BURSIAN S J, et al. Responses of growing mink to supplemental dietary copper and biotin [J]. Scientifur, 1995, 19(2): 141-147.
- [14] AULERICH R J, RINGER R K, BLEAVINS M R, et al. Effects of supplemental dietary copper on growth, reproductive performance and kit survival of Standard dark mink and the acute toxicity of copper to mink [J]. Journal of Animal Science, 1982, 55(2): 337-343.
- [15] MEJBORN H. Effect of copper addition to mink feed during the growth and moulting period on growth, skin production and copper retention [J]. Scientifur, 1989, 13(3): 229-234.
- [16] 李光玉, 王凯英, 赵靖波. 毛皮动物矿物元素的需要 [J]. 经济动物学报, 2003, 7(4): 10-13.
- [17] 吴学壮, 张铁涛, 崔虎, 等. 饲料添加铜水平对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响 [J]. 动物营养学报, 2012, 24(6): 1078-1084.
- [18] NRC. Nutrient requirements of mink and foxes [S]. 2nd ed. Washington, D. C.: National Academy Press, 1982.
- [19] 朱广祥, 范克平. 饲料生产应用手册 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [20] DOVE C R. The effect of copper level on nutrient utilization of weanling pigs [J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(1): 166-171.
- [21] 李家奎, 郑鑫, 杨连玉, 等. 不同形态的铜对猪生长性能及血清 GH、血浆 NPY 水平的影响 [J]. 中国兽医学报, 2004, 24(5): 488-503.
- [22] 黄志坚, 陈强, 李清禄, 等. 不同形态铜源对仔猪生长性能、血液生化指标和粪铜排出量的影响 [J]. 家畜生态学报, 2007, 28(1): 32-35.
- [23] 齐广海, 武书庚, 刁其玉, 等. 不同铜源及水平的日粮对产蛋鸡生产性能及蛋品质的影响 [J]. 动物科学与动物医学, 2000, 17(6): 14-16.
- [24] 刘国文, 王哲. 促生长激素轴与铜促生长的关系 [J]. 动物医学进展, 2000, 21(3): 22-24.
- [25] BRAUDE R. Copper as a stimulant in pig feeding (*Cuprum propecunia*) [J]. World Review of Animal Production, 1967, 3: 69-81.
- [26] WALLACE H D. High level copper in swine feeding [M]. New York: International Copper Research Association, Inc., 1967.
- [27] 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]. Journal of Animal Science, 1996, 74: 1888-1896.
- [28] 冷向军, 王康宁. 高铜对早期断奶仔猪消化酶活性、营养物质消化率和肠道微生物的影响 [J]. 饲料研究, 2001(4): 28-30.
- [29] PAU K Y F, KHORRAM O, KYNARD A H, et al. Simultaneous induction of neuropeptide Y and gonadotropin-releasing hormone release in the rabbit hypothalamus [J]. Neuroendocrinology, 1989, 49: 197-201.
- [30] 李秀宝, 张恒博, 黄郁萱, 等. 营养水平对保育期美系长白猪血清生化指标的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(7): 21-25.
- [31] 余红心, 贾俊静, 李琦华, 等. 不同蛋白质水平日粮对云南武定鸡生长性能及血液生化指标的影响 [J]. 中国饲料, 2009(5): 24-26.
- [32] 张苏江. 日粮铜水平对生长猪生长性能及生化指标影响的研究 [D]. 硕士学位论文. 长春: 中国人民解放军军需大学, 2001: 26-27.
- [33] 程忠刚, 许梓荣, 林映才, 等. 高剂量铜对仔猪生长性能及血液生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2004, 16(4): 44-46.
- [34] 伍革民, 柳小春, 施启顺, 等. 血浆酶活性与猪生产性状及其杂种优势的相关研究 [J]. 甘肃畜牧兽医, 1999(1): 34-36.
- [35] 杨文正. 动物矿物质营养 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 65-87.
- [36] HAWK S N, LANOUE L, KEEN C L, et al. Copper-deficient rat embryos are characterized by low superoxide dismutase activity and elevated superoxide anions [J]. Biology of Reproduction, 2003, 68(3): 896-903.

Effects of Different Copper Sources on Growing Performance, Nutrient Digestibility and Blood Biochemical Parameters of Female Silver Foxes during Growth Period

ZHONG Wei LIU Fenghua ZHAO Jingbo ZHANG Tietao CHANG Zhongjuan BAO Kun
ZHANG Haihua XU Chao WANG Xiguo LI Guangyu*

(State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology, Institute of Special Animal and Plant Science, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Changchun 130112, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different copper sources on growth performance, nutrient digestibility and blood biochemical parameters of female silver foxes during growth period, and in order to investigate the optimal copper source for the diet of female silver foxes during growth period. Forty female silver foxes with an average body weight of $(3\ 315 \pm 11)$ g were selected and randomly assigned into 4 groups with 10 replicates per group and 1 silver fox per replicate. The silver foxes in the 4 groups were fed the basal diets supplemented with different copper sources, which were glycine chelate copper (group I), methionine chelate copper (group II), copper sulfate (group III) and citric acid copper (group IV), respectively. The copper level in the basal diet was 5.47 mg/kg, and the copper supplemental level of all experimental diets was 30 mg/kg (counted with copper). The experiment included an adaptation period for 7 days and a test period for 45 days. The results showed as follows: different copper sources had significant effects on final weight, average daily gain (ADG) and feed to gain ratio (F/G) ($P < 0.05$), but had no significant effect on average daily feed intake (ADFI) ($P > 0.05$). The final weight and ADG in the group IV were significantly higher than those in the group III ($P < 0.05$), and the F/G in the group IV was significantly lower than that in the group II ($P < 0.05$). Different copper sources had no significant effect on digestibility of dry matter, protein and fat ($P < 0.05$). There were no significant differences in serum total protein (TP), urea nitrogen (UN), immunoglobulin G (IgG), immunoglobulin M (IgM), ceruloplasmin (CP) contents and alkaline phosphatase (ALP) activity among all groups ($P > 0.05$), but the UN content and ALP activity in the group IV were all higher than those in the other groups. Different copper sources had significant effects on serum albumin (ALB) content and superoxide dismutase (SOD) activity ($P < 0.05$), and had a extremely significant effect on serum Cu/Zn-SOD activity ($P < 0.01$). The serum ALB content in the group IV was significantly higher than that in the other groups ($P < 0.05$), the serum SOD activity in the group I was significantly higher than that in the groups II and III ($P < 0.05$), and Cu/Zn-SOD in the groups I and III was extremely significantly higher than that in the group II ($P < 0.05$). Under this study conditions, on the basis of comprehensive consideration of the growth performance, nutrient digestibility and blood biochemical parameters, the optimal dietary copper source is citric acid copper for female silver foxes during growth period. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(10):2489-2496]

Key words: copper source; female silver fox; growth performance; nutrient digestibility; blood biochemical parameter