

饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能、繁殖性能、蛋品质和血清生化指标的影响

代国滔 王宝维* 葛文华 张名爱 岳 斌 孔 敏 石 静 王贺飞 隋福良
(青岛农业大学优质水禽研究所,国家水禽产业技术体系营养与饲料研究室,青岛 266109)

摘 要: 本试验旨在研究饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能、繁殖性能、蛋品质和血清生化指标的影响。选择 33 周龄体况相近的种鹅 120 只,随机分为 6 组,每组 4 个重复,每个重复 5 只鹅(1 公 4 母)。各组(I~VI 组)饲料铜添加水平分别为 0、4、6、8、10、12 mg/kg。预试期 1 周,正试期 10 周。结果表明:1) III、IV 和 V 组的周产蛋量显著或极显著高于 I 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), III 组的产蛋率显著或极显著高于 I、IV、V 和 VI 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), V 和 VI 组的平均日采食量显著低于 I 组($P<0.05$), III 和 VI 组的料蛋比显著或极显著低于 I 和 IV 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。2) III、IV 和 V 组的种蛋合格率显著或极显著高于 I、II 和 VI 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), III、IV、V 和 VI 组的种蛋受精率显著或极显著高于 I 和 II 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), III、IV 和 V 组的种蛋孵化率显著或极显著高于 I 和 II 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$), III、IV 和 V 组的健雏率显著或极显著高于 I、II 和 VI 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。3) 饲料铜添加水平对蛋重、蛋形指数、蛋比重、蛋壳厚度、蛋黄比率、蛋白高度、哈氏单位、蛋黄颜色影响不显著($P>0.05$)。II、III、IV、V、VI 组的蛋壳强度显著高于 I 组($P<0.05$)。4) III 组的血清总蛋白含量显著高于 I 组($P<0.05$), V 组的血清碱性磷酸酶活性显著高于 I 组($P<0.05$), V 和 VI 组的血清尿素氮含量显著或极显著高于 I、II、III 和 IV 组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。由此可见,饲料中添加适宜水平铜对产蛋期种鹅生产性能、繁殖性能、蛋壳强度有显著影响,建议产蛋期种鹅饲料铜添加水平 5.75~7.17 mg/kg。

关键词: 种鹅;铜;生产性能;繁殖性能;蛋品质;血清生化指标

中图分类号:S835

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)05-2136-08

铜是动物必需的微量元素之一^[1],它不仅以酶辅助因子的形式参与体内 30 多种酶的组成和活化,还通过酶的活性中心或激活剂的形式影响动物的造血、消化、生长、繁殖、免疫等生理功能^[2]。在日常生产中,饲料中添加铜能提高畜禽生产性能,但如果添加过量则起相反的作用。研究表明,饲料中添加 250 mg/kg 铜可提高仔猪生长速度和饲料利用率^[3]。目前,高铜促进畜禽生长的研究成果得到了许多营养配方师的效仿,然而,饲料中添加高铜使畜禽生产性能得到提高的

同时,也会产生负面影响,例如体组织铜沉积过量造成肝损伤、免疫力降低、重金属中毒等^[4]。此外高铜饲料还会导致畜禽排泄物中铜含量升高,作为农用有机肥长期使用,会对周边的环境造成危害,甚至在食物链的传递中威胁人类的健康^[5]。为此,在规模化养殖条件下精确定种鹅在产蛋期对于铜的营养需要量对于保护生态环境和人类健康具有重要意义。

铜是动物体内蛋白质和酶的重要组成部分,它以化合物的形式存在于动物机体中,有研究表

收稿日期:2018-11-05

基金项目:国家水禽产业技术体系专项基金(CARS-43-11);国家重点研发计划“绿色水禽高效安全养殖技术应用与示范”(2018YFD0501501)

作者简介:代国滔(1994—),男,贵州黔东南人,硕士研究生,研究方向为家禽营养与保健。E-mail: 1278039858@qq.com

* 通信作者:王宝维,教授,硕士生导师,E-mail: wangbw@qau.edu.cn

明,动物机体中的粪和尿内的铜都是蛋白质的复合物^[6]。Eckert等^[7]研究表明,铜的排泄是通过分泌胆汁进行的,胆汁中的氨基酸与铜结合后经粪便排出,小部分由肠壁排泄,微量由尿液排出,有极小部分的铜是由汗腺排泄的。Cerveza等^[8]指出,饲料中的铜进入消化道后,十二指肠和小肠上段是吸收铜的主要部位。Condomina等^[9]研究发现,成年动物对铜的吸收率为5%~10%,幼龄动物达15%~30%。Fuentelba等^[10]指出,吸收进入血液中的铜除一部分以肝铜蛋白的形式贮存于肝脏外,其余或在肝脏内合成铜蓝蛋白,或在各组织内合成各种含铜酶。崔学平^[11]研究指出,饲料中添加100、250、300 mg/kg铜后产蛋鸡各阶段采食量、产蛋率及全期蛋重都有所提高。Rojas^[12]指出,铜能促进小肠上皮细胞对养分的吸收。Chung等^[13]报道,每千克饲料添加400 mg铜后,兔的生长速度及饲料利用率明显改善。Xiong等^[14]研究表明,铜容易进入红细胞,其中60%铜与蛋白质结合形成血球铜蛋白,血球铜蛋白是氧代谢中的活性催化剂。宋明明等^[15]研究指出,铜的吸收分为2步:第1步,铜从肠腔进入肠黏膜细胞内,这一过程是以金属巯基组氨酸三甲基内盐的形式和大分子蛋白质结合进行转运;第2步,铜从黏膜细胞进入血液,该过程为蛋白质的转移。

截至目前为止,铜对畜禽生长发育、营养利用率和铜代谢方面已经开展了许多研究,而对产蛋期种鹅的营养研究还处于空白,至今尚未制定饲养标准,种鹅对铜的需要量仍有待于通过饲养试验科学确定。为此,本试验在查阅大量相关资料的基础上,采用等梯度添加铜的方法,研究饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能、繁殖性能、蛋品质和血清生化指标的影响,旨在筛选出产蛋期种鹅饲料中铜适宜添加水平,完善我国种鹅营养需要量数据库。

1 材料与方法

1.1 试验动物及设计

试验选择33周龄体况相近的种鹅120只,随机分为6组,每组4个重复,每个重复5只(1公4母)。各组(I~VI组)饲料铜添加水平分别为0、4、6、8、10、12 mg/kg。预试期1周,正试期10周。试验鹅由青岛农业大学优质水禽研究所育种基地提供,试验用的5个结晶水的硫酸铜购自浙江新

维普添加剂有限公司(有效成分含量为98%)。

1.2 试验饲料

试验用基础饲料以玉米和豆粕为主要原料,参照NRC(1994)家禽营养需要量中推荐的种鹅饲料营养水平设计配方,基础饲料组成及营养水平见表1。采用等离子体发射光谱仪测得基础饲料中铜含量为6.76 mg/kg。

1.3 饲养管理

试验种鹅采用地面饲养方式,全期自由采食,自由饮水。试验前鹅舍与器具进行充分冲洗和严格消毒,试验期内每周消毒2次。

每天08:00进行捡蛋,每天记录耗料量、产蛋数、合格蛋数,每周汇总以减小误差。种蛋每组随机挑选80个,共6组480个蛋,每30 d入孵1次,分别记录入孵蛋数、无精蛋数、死胚蛋数、出雏数、健雏数、弱雏数,计算产蛋率、料蛋比、种蛋合格率、种蛋受精率、种蛋孵化率、健雏率。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生产性能

每周统计1次试验鹅耗料量,余料回收,计算平均日采食量。每周以重复为单位统计产蛋数量,计算周产蛋量和产蛋率。平均日采食量与日产蛋的比值即为料蛋比。

1.4.2 繁殖性能和蛋品质

繁殖性能和蛋品质的测定与计算方法按照NY/T 823—2004进行。

1.4.3 血清生化指标

血清尿素氮(UN)、总蛋白(TP)含量及碱性磷酸酶(AKP)活性均采用试剂盒测定,试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5 数据处理与统计分析

采用SPSS 17.0软件的单因素方差分析(one-way ANOVA)方法,分析饲料不同铜添加水平的影响及各项指标间的差异。数据以最小二乘均值和均值标准误差(SEM)表示。 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能的影响

由表2可知,V组的周产蛋量显著高于I组($P<0.05$),Ⅲ和Ⅳ组的周产蛋量极显著高于I组($P<0.01$)。Ⅲ组的产蛋率显著高于I、Ⅳ和V组

($P<0.05$),极显著高于Ⅵ组($P<0.01$);Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ和Ⅴ组间产蛋率差异不显著($P>0.05$)。Ⅴ和Ⅵ组的平均日采食量显著低于Ⅰ组($P<0.05$),分别降低了2.26%和1.82%;Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组的平均日采食量与Ⅰ组相比差异不显著($P>0.05$)。Ⅲ和Ⅵ组的料蛋比显著低于Ⅰ组($P<0.05$),分别降低了

11.61%和11.84%;Ⅲ和Ⅵ组的料蛋比极显著低于Ⅳ组($P<0.01$)。随着饲料铜添加水平的升高,周产蛋量和产蛋率呈先升高后降低的趋势,在饲料铜添加水平为6 mg/kg时,周产蛋量和产蛋率达到最高。

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	59.45	粗蛋白质 CP	16.27
豆粕 Soybean meal	19.45	代谢能 ME/(MJ/kg)	11.43
鱼粉 Fish meal	3.00	蛋白质能量比 P/E/(g/MJ)	59.49
麸皮 Bran	0.50	钙 Ca	2.89
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.25	有效磷 AP	0.47
石粉 Limestone	5.58	赖氨酸 Lys	0.85
稻壳粉 Husk powder	7.70	蛋氨酸 Met	0.45
豆油 Soybean oil	1.90	半胱氨酸 Cys	0.25
食盐 NaCl	0.40	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.70
微量元素 Trace elements ¹⁾	0.50	精氨酸 Arg	0.95
多维生素 Multi-vitamin ¹⁾	0.11	粗纤维 CF	4.03
蛋氨酸 Methionine	0.16	铜 Cu/(mg/kg)	6.76
合计 Total	100.00		

¹⁾多维和微量元素(不含铜)为每千克饲料提供 The multi-vitamin and trace elements (without Cu) provided the following per kg of the diet: VA 9 000 IU, VD₃ 2 000 IU, VE 40 mg, VK₃ 0.8 mg, VB₁ 2.0 mg, VB₂ 4.0 mg, 烟酰胺 nicotinic acid 30 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 11 mg, VB₆ 4.0 mg, 生物素 biotin 0.2 mg, 叶酸 folic acid 0.5 mg, VB₁₂ 12 μg, Se 0.5 mg, Fe 80 mg, Mn 30 mg, Cu 4 mg, I 0.3 mg。

²⁾粗纤维、铜为实测值,其余营养水平为计算值。CF and Cu were measured values, while other nutrient levels were calculated values.

对Ⅱ~Ⅵ组种鹅周产蛋量和料蛋比(Y)分别与饲料铜添加水平(X)进行二次曲线拟合,建立回归方程如下:

$$Y(\text{周产蛋量}) = 31.020 + 4.506X - 0.293X^2$$

$(R^2 = 0.627, P_Q < 0.001);$

$$Y(\text{料蛋比}) = 2.408 + 0.442X - 0.027X^2$$

$(R^2 = 0.104, P_Q < 0.001)。$

由上述曲线回归方程得出,饲料铜添加水平为7.69 mg/kg时种鹅周产蛋量最高;饲料铜添加水平为8.19 mg/kg时种鹅料蛋比最高,但此时曲线拟合度低($R^2<0.6$),故此水平不作为参考值。

2.2 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅繁殖性能的影响

由表3可知,Ⅲ、Ⅳ组的种蛋合格率极显著高于Ⅰ、Ⅱ和Ⅵ组($P<0.01$),Ⅴ组的种蛋合格率显著高于Ⅰ、Ⅱ和Ⅵ组($P<0.05$)。Ⅲ和Ⅵ组的种蛋受

精率显著高于Ⅰ和Ⅱ组($P<0.05$),Ⅳ和Ⅴ组的种蛋受精率极显著高于Ⅰ和Ⅱ组($P<0.01$)。Ⅲ和Ⅳ组的种蛋孵化率极显著高于Ⅰ和Ⅱ组($P<0.01$),Ⅴ组的种蛋孵化率显著高于Ⅰ和Ⅱ组($P<0.05$)。Ⅳ和Ⅴ组的健雏率显著高于Ⅰ、Ⅱ和Ⅵ组($P<0.05$),Ⅲ组的健雏率极显著高于Ⅰ、Ⅱ和Ⅵ组($P<0.01$),Ⅱ和Ⅵ组的健雏率与Ⅰ组差异不显著($P>0.05$)。随着饲料铜添加水平的升高,种鹅的繁殖性能都呈现先升高后降低的趋势,且在饲料铜添水平为6 mg/kg时繁殖综合评定(繁殖综合评定=种蛋合格率×种蛋受精率×种蛋孵化率×健雏率)效果最好。

对Ⅱ~Ⅵ组种蛋合格率(Y)和健雏率分别与饲料铜添加水平(X)进行二次曲线拟合,建立回归方程如下:

$$Y(\text{种蛋合格率}) = 0.761 + 0.043X - 0.003X^2$$

$(R^2=0.751, P_Q<0.001)$;
 $Y(\text{健雏率})=0.843+0.023X-0.002X^2$
 $(R^2=0.668, P_Q<0.001)$ 。

由上述曲线回归方程得出,饲料铜添加水平为 7.17 mg/kg 时种蛋合格率最高,饲料铜添加水平为 5.75 mg/kg 时健雏率最高。

表 2 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能的影响

Table 2 Effects of dietary copper supplemental level on performance of breeding geese during laying period

项目 Items	组别 Groups						SEM	P 值 P-value		
	I	II	III	IV	V	VI		铜 Copper	线性 Linear	二次 Quadratic
周产蛋量 WEP/个	42.80 ^c	43.60 ^{bc}	49.00 ^a	48.40 ^a	45.20 ^b	43.70 ^{bc}	0.407	<0.001	<0.001	0.001
产蛋率 LR/%	38.26 ^{bc}	42.21 ^{ab}	43.48 ^a	38.21 ^{bc}	38.04 ^{bc}	37.14 ^c	0.730	0.029	0.410	0.940
平均日采食量 ADFI/(g/d)	219.11 ^{ab}	220.22 ^a	219.52 ^{ab}	219.16 ^{ab}	214.15 ^c	215.12 ^c	0.633	0.025	0.336	0.444
料蛋比 F/E	4.22 ^{ab}	3.88 ^{bc}	3.73 ^c	4.40 ^a	4.19 ^{abc}	3.72 ^c	0.071	0.013	0.007	0.004

同行数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 相邻小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相间小写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。下表同。

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

表 3 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅繁殖性能的影响

Table 3 Effects of dietary copper supplemental level on reproductive performance of breeding geese during laying period

%

项目 Items	组别 Groups						SEM	P 值 P-value		
	I	II	III	IV	V	VI		铜 Copper	线性 Linear	二次 Quadratic
种蛋合格率 Hatching egg qualified rate	88.09 ^c	88.35 ^c	93.00 ^a	93.00 ^a	90.85 ^b	89.03 ^c	0.005	<0.001	<0.001	0.001
种蛋受精率 Hatching egg fertilization rate	85.35 ^c	86.87 ^c	91.21 ^{ab}	92.21 ^a	91.69 ^a	89.41 ^b	0.580	<0.001	<0.001	0.073
种蛋孵化率 Hatching egg hatching rate	89.74 ^c	90.46 ^c	94.01 ^a	93.19 ^a	92.40 ^{ab}	91.31 ^{bc}	0.361	<0.001	<0.001	0.052
健雏率 Healthy rate	90.00 ^c	90.75 ^c	93.50 ^a	92.75 ^{ab}	92.00 ^b	90.50 ^c	0.003	<0.001	<0.001	0.005

2.3 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅蛋品质的影响

由表 4 可知,饲料铜添加水平对蛋重、蛋形指数、蛋比重、蛋壳厚度、蛋黄颜色、蛋白高度、哈氏单位和蛋黄比率没有显著影响 ($P>0.05$)。II、III、IV、V 和 VI 组的蛋壳强度显著高于 I 组 ($P<0.05$), II、III、IV、V 和 VI 组间蛋壳强度差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅血清生化指标的影响

由表 5 可知,随着饲料铜添加水平的升高,血

清总蛋白含量呈现先升高后降低的趋势,III 组的血清总蛋白含量显著高于 I 组 ($P<0.05$), I、II、IV、V 和 VI 组间的血清总蛋白含量差异不显著 ($P>0.05$)。V 组的血清碱性磷酸酶活性显著高于 I 组 ($P<0.05$)。V 和 VI 组的血清尿素氮含量显著高于 I、II 和 IV 组 ($P<0.05$), 极显著高于 III 组 ($P<0.01$); I、II、III 和 IV 组间的血清尿素氮含量差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅蛋品质的影响

Table 4 Effects of dietary copper supplemental level on egg quality of breeding geese during laying period

项目 Items	组别 Groups						SEM	P 值 P-value		
	I	II	III	IV	V	VI		铜 Copper	线性 Linear	二次 Quadratic
蛋重 EW/g	135.11	136.64	136.20	137.20	136.20	141.58	1.277	0.766	0.897	0.846
蛋形指数 ESI	1.45	1.43	1.50	1.49	1.47	1.462	0.015	0.756	0.680	0.735
蛋比重 EP/(g/mL)	1.09	1.10	1.09	1.10	1.09	1.09	0.001	0.985	0.971	0.977
蛋壳强度 ES/(kg/cm ²)	4.99 ^b	5.17 ^a	5.09 ^a	5.10 ^a	5.12 ^a	5.09 ^a	0.015	0.137	0.172	0.437
蛋壳厚度 EH/mm	0.530	0.533	0.515	0.518	0.538	0.543	0.009	0.968	0.942	0.962
蛋黄颜色 YC	4.725	3.800	3.425	3.900	3.400	3.350	0.187	0.263	0.601	0.609
蛋白高度 EPH/mm	15.67	16.37	15.60	17.12	16.30	15.95	0.220	0.430	0.340	0.330
哈夫单位 HU	120.700	122.452	120.125	124.350	122.452	121.225	0.652	0.491	0.388	0.342
蛋黄比率 YR/%	0.325	0.339	0.310	0.345	0.329	0.331	0.005	0.484	0.372	0.452

表 5 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅血清生化指标的影响

Table 5 Effects of dietary copper supplemental level on serum biochemical parameters of breeding geese during laying period

项目 Items	组别 Groups						SEM	P 值 P-value		
	I	II	III	IV	V	VI		铜 Copper	线性 Linear	二次 Quadratic
总蛋白 TP/(g/L)	61.21 ^b	66.71 ^{ab}	81.92 ^a	80.71 ^{ab}	77.41 ^{ab}	69.51 ^{ab}	2.680	0.135	0.152	0.790
碱性磷酸酶 AKP/(金氏单位/dL)	76.48 ^b	104.05 ^{ab}	134.78 ^{ab}	104.83 ^{ab}	168.31 ^a	100.24 ^{ab}	10.530	0.158	0.144	0.103
尿素氮 UN/(nmol/L)	1.80 ^{bc}	1.60 ^{bc}	1.03 ^c	1.31 ^{bc}	2.55 ^a	3.24 ^a	0.221	0.019	0.077	0.699

3 讨 论

3.1 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅生产性能的影响

铜作为酶辅助因子参与了动物体内 30 多种酶的活化和组成,并通过酶激活剂的形式来影响相关酶活性中心的活跃程度,以此来调节动物的生长、生产等生理功能^[16]。郭秀玲等^[17]研究表明,蛋鸡饲料中铜添加水平为 8 mg/kg 时耗料量最少,料蛋比最小。武书庚等^[18]研究报道,饲料中添加铜可显著提高蛋鸡产蛋率,铜添加水平为 6 mg/kg 时产蛋率最高。本试验结果表明,饲料添加不同水平的铜对五龙鹅种鹅的周产蛋量、产蛋率、平均日采食量和料蛋比影响显著;随着饲料铜添加水平的升高,周产蛋量呈先升高后降低的趋势,饲料铜添加水平为 6 mg/kg 时,周产蛋量最高,料蛋比最低,与武书庚等^[18]对蛋鸡饲料中添加铜的有关研究基本一致。饲料铜添加水平为

10 mg/kg 时平均日采食量最低,料蛋比却较高,表明种鹅料蛋比降低并不是通过降低采食量来实现的,而是可能通过增加产蛋数来实现的。对 II ~ VI 组种鹅周产蛋量与饲料中铜添加水平进行二次曲线拟合得到,当饲料铜添加水平为 7.69 mg/kg 时,产蛋期种鹅的周产蛋量和产蛋率最高,此研究结果对产蛋鹅具有重要参考价值。

3.2 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅繁殖性能的影响

柳琳等^[19]和 Ovesen 等^[20]报道,铜能转运 P 型 ATP 酶,动物体内铜水平过高,会使 ATP7A 和 ATP7B 发生迁移,将过量的铜隔离在囊泡,导致质膜融合,P 型 ATP 酶受损,造成真核生物的繁殖能力收到严重破坏。王春梅等^[21]报道,铜通过引起内分泌系统激素分泌失调、酶活性降低和生殖器官的组织结构变化而导致母猪生殖能力的下降。本试验结果表明,饲料中添加适宜水平的铜能显著提高种鹅的繁殖性能,当饲料中的铜添加水平

为6 mg/kg时,种鹅的产蛋率、种蛋合格率、种蛋受精率、种蛋孵化率和健雏率最高,且随着饲料铜添加水平的升高种鹅的各项繁殖性能呈现先升高后降低的趋势,说明饲料中适宜铜添加水平有利于提高繁殖性能,铜添加水平过高对种鹅繁殖性能不利。对Ⅱ~Ⅵ组种蛋合格率和健雏率分别与饲料铜添加水平进行二次曲线拟合得出,饲料铜添加水平为7.17 mg/kg时种蛋合格率最高,饲料铜添加水平为5.75 mg/kg时健雏率最高。此结果略高于NRC标准(种禽中铜推荐添加水平为4 mg/kg),其原因可能与品种和养殖方式有关。考虑饲养种鹅的最终目的和经济效益,建议产蛋期种鹅饲料铜添加水平为5.75~7.17 mg/kg。

3.3 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅蛋品质的影响

Yao等^[22]研究表明,蛋壳强度和蛋壳厚度随产蛋鸡的年龄增加而降低,而蛋壳重量不随产蛋鸡年龄增加而增加。齐广海等^[23]报道,蛋鸡饲料中铜添加水平为6 mg/kg时,蛋壳厚度最大,蛋形指数不受饲料中铜添加水平的影响。曹荣威等^[24]报道,蛋鸡饲料铜添加水平分别为6、15、30、60 mg/kg时,蛋壳厚度显著高于对照组。本试验结果表明,饲料铜添加水平为6 mg/kg时,种蛋的蛋壳强度最高,饲料铜添加水平对其他蛋品质影响不显著。原因可能是铜在动物体内作为酶辅助因子,协同相关酶促进饲料中钙、磷的吸收,从而致使蛋壳强度升高。但是饲料铜添加水平对其他蛋品质指标的影响不显著,与前人对蛋鸡的研究结果不够一致,可能的原因与不同禽种有关或与饲养方式有关,具体原因还有待进一步的研究。

3.4 饲料铜添加水平对产蛋期种鹅血清生化指标的影响

碱性磷酸酶是一种能够将对应底物去磷酸化的酶,即通过水解磷酸单酯将底物分子上的磷酸基团除去,并生成磷酸根离子和自由的羟基,这类底物包括核酸、蛋白质、生物碱等。尿素氮是蛋白质水解的最终产物,同时也是反映蛋白质代谢的重要指标。铜在肠道被小肠绒毛吸收后进入血浆,与血清白蛋白和氨基酸松散的结合,并以此形式广泛的分布在组织中,还能很快进入红细胞。高铜会引起动物肝脏病变或中毒,引起肝脏合成蛋白质功能减退,而使血浆总蛋白含量降低。本试验结果表明,饲料中添加6 mg/kg铜提高了产蛋期种鹅血清总蛋白含量和碱性磷酸酶活性,血

清尿素氮含量维持较低水平,且随着饲料铜添加水平的升高血清尿素氮含量呈现先降低后升高的趋势,即在饲料铜添加水平为6 mg/kg时血清尿素氮含量最低。尿素氮是反映动物机体体内蛋白质代谢的一个重要指标,因为尿素氮是蛋白质水解后的最终产物。在本试验中,随着饲料铜添加水平的升高,种鹅的血清尿素氮含量呈现先降低后升高的趋势,血清总蛋白含量呈现先升高后降低的趋势,且在铜添加水平为6 mg/kg时达到峰值。这表明,饲料添加适宜水平铜(≤ 6 mg/kg)有利于促进蛋白质消化吸收与合成,铜添加水平过高蛋白质消化吸收与合成能力降低。本试验结果与郝贵增等^[25]报道的“铜可能增强蛋白质合成代谢而减弱其分解过程,促进了蛋白质的利用率”的设想一致。

4 结 论

① 饲料中添加适宜水平铜可显著提高产蛋期种鹅产蛋量、种蛋合格率、种蛋受精率、种蛋孵化率、健雏率、蛋壳强度,显著降低料蛋比,而对蛋重、蛋形指数、蛋壳厚度、蛋黄颜色、蛋白高度、蛋黄比率、哈氏单位和蛋比重等没有显著影响。

② 饲料中添加适宜水平铜能够提高产蛋期种鹅血清碱性磷酸酶活性和总蛋白含量,血清尿素氮含量维持在较低水平;但是饲料铜添加水平过高(≥ 10 mg/kg)则会增加血清尿素氮含量,降低蛋白质利用率。

③ 建议产蛋期种鹅饲料中铜添加水平为5.75~7.17 mg/kg。

参考文献:

- [1] FRIEDEN E. Perspectives on copper biochemistry [J]. Clinical Physiology and Biochemistry, 1986, 4(1): 11-19.
- [2] 宋景萍. 铜对产蛋鸡生产性能及蛋壳品质的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(14): 193-194.
- [3] 田允波, 曾书琴. 高铜改善猪生产性能和促生长机理的研究进展 [J]. 粮食与饲料工业, 2000(10): 31-33.
- [4] APGAR G A, KORNEGAY E T. Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels [J]. Journal of Animal Science, 1996, 74(7): 1594-1600.
- [5] 王幼明, 王小龙. 高铜的应用对畜禽的慢性中毒作用

- 及对环境生态的影响[J].中国兽医杂志,2001,37(6):36-38.
- [6] WARD J D, SPEARS J W, GENGELBACH G P. Differences in copper status and copper metabolism among Angus, Simmental, and Charolais cattle[J]. Journal of Animal Science, 1995, 73(2): 571-577.
- [7] ECKERT G E, GREENE L W, CARSTENS G E, et al. Copper status of ewes fed increasing amounts of copper from copper sulfate or copper proteinate[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(1): 244-249.
- [8] CERVEZA P J, MEHRBOD F, COTTON S J, et al. Milk ceruloplasmin and its expression by mammary gland and liver in pigs[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2000, 373(2): 451-461.
- [9] CONDOMINA J, ZORNOZA-SABINA T, GRANERO L, et al. Kinetics of zinc transport *in vitro* in rat small intestine and colon: interaction with copper[J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2002, 16(4/5): 289-295.
- [10] FUENTEALBA I C, ABURTO E M. Animal models of copper-associated liver disease[J]. Comparative Hepatology, 2003, 2(1): 5.
- [11] 崔学平.日粮添加高铜对产蛋鸡生产性能和脂质代谢的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学, 2006:6-7.
- [12] ROJAS P, MONTES S, SERRANO-GARCÍA N, et al. Effect of EGb761 supplementation on the content of copper in mouse brain in an animal model of Parkinson's disease[J]. Nutrition, 2009, 25(4): 482-485.
- [13] CHUNG R S, HOWELLS C, EATON E D, et al. The native copper- and zinc-binding protein metallothionein blocks copper-mediated A β aggregation and toxicity in rat cortical neurons[J]. PLoS One, 2010, 5(8): e12030.
- [14] XIONG X, LI Y X, LI W, et al. Copper content in animal manures and potential risk of soil copper pollution with animal manure use in agriculture[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(11): 985-990.
- [15] 宋明明, 黄凯, 朱连勤.铜吸收与代谢的研究进展[J].饲料博览, 2014(9): 14-17.
- [16] CULOTTA V C, KLOMP L W, STRAIN J, et al. The copper chaperone for superoxide dismutase[J]. Journal of Biological Chemistry, 1997, 272(38): 23469-23472.
- [17] 郭秀玲, 陆红梅.日粮铜水平对蛋鸡生产性能的影响[J].中国动物保健, 2012, 14(4): 66-68.
- [18] 武书庚, 齐广海.日粮中不同铜源及添加水平对产蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].当代畜禽养殖业, 2011(11): 44-46.
- [19] 柳琳, 夏嫄.铜污染对昆虫生长发育及繁殖影响的研究进展[J].环境昆虫学报, 2016, 38(2): 451-456.
- [20] OVESEN J, MØLLER-MADSEN B, THOMSEN J S, et al. The positive effects of zinc on skeletal strength in growing rats[J]. Bone, 2001, 29(6): 565-570.
- [21] 王春梅, 王庆林.微量元素铬和铜对母猪繁殖性能的影响[J].江西饲料, 2010(3): 3-5.
- [22] YAO W G, BETHIN K, YANG X L, et al. Role of the GH/IGF- I axis in the growth retardation of weaver mice[J]. Endocrine, 2007, 32(2): 227-234.
- [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] 曹威荣, 张春善.蛋鸡铁铜和维生素 A 需要量及三者互作的研究进展[J].农业技术与装备, 2013(16): 12-16.
- [25] 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.

Effects of Dietary Copper Supplemental Level on Performance, Reproduction Performance, Egg Quality and Serum Biochemical Parameters of Breeding Geese during Laying Period

DAI Guotao WANG Baowei* GE Wenhua ZHANG Ming' ai YUE Bin

KONG Min SHI Jing WANG Hefei SUI Fuliang

(Nutrition and Feed Laboratory of China Agriculture Research System, Institute of High Quality Waterfowl, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary copper supplemental level on performance, reproduction performance, egg quality and serum biochemical parameters of breeding geese during laying period. A total of 120 thirty-three-week-old breeding geese with the similar body condition were randomly divided into 6 groups with 4 replicates per group and 5 geese per replicate (1 male and 4 female). Geese in the 6 groups (groups I to VI) were fed basal diets supplemented with 0, 4, 6, 8, 10 and 12 mg/kg copper, respectively. The pre-experimental period lasted for 1 week, and the experimental period lasted for 10 weeks. The results showed as follows: 1) the weekly egg production of groups III, IV and V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$ or $P<0.01$), the laying rate of group III was significantly higher than that of groups I, IV, V and VI ($P<0.05$ or $P<0.01$), the average daily feed intake of groups V and VI was significantly lower than that of group I ($P<0.05$), and the feed to egg ratio of groups III and VI was significantly lower than that of groups I and IV ($P<0.05$ or $P<0.01$). 2) The hatching egg qualified rate of groups III, IV and V was significantly higher than that of groups I, II and VI ($P<0.05$ or $P<0.01$), the hatching egg fertilization rate of groups III, IV, V and VI was significantly higher than that of groups I and II ($P<0.05$ or $P<0.01$), the hatching egg hatching rate of groups III, IV and V was significantly higher than that of groups I and II ($P<0.05$ or $P<0.01$), and the healthy rate of groups III, IV and V was significantly higher than that of groups I, II and VI ($P<0.05$ or $P<0.01$). 3) Dietary copper supplemental level had no significant effects on egg weight, egg shape index, egg specific gravity, eggshell thickness, yolk ratio, albumen height, Haugh unit and yolk color ($P>0.05$). The eggshell strength of groups II, III, IV, V and VI was significantly higher than that of group I ($P<0.05$). 4) The serum total protein content of group III was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), the serum alkaline phosphatase activity of group V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$), and the serum urea nitrogen content of groups V and VI was significantly higher than that of groups I, II, III and IV ($P<0.05$ or $P<0.01$). In conclusion, dietary suitable copper supplemental level has significant effects on performance, reproductive performance and eggshell strength of breeding geese during laying period; it is suggested that the dietary copper supplemental level of breeding geese during laying period is 5.75 to 7.17 mg/kg. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31 (5): 2136-2143]

Key words: breeding geese; copper; performance; reproductive performance; egg quality; serum biochemical parameters