

饲料锌水平对笼养蛋雏鸭生长性能、抗氧化功能及免疫器官发育的影响

苏莉娜 王 安*

(东北农业大学动物营养研究所, 哈尔滨 150030)

摘 要: 本试验旨在研究饲料锌水平对笼养蛋雏鸭生长性能、抗氧化功能及免疫器官发育的影响。试验采用单因素完全随机分组设计, 选择健康 1 日龄金定蛋雏鸭 180 只, 随机分成 5 组, 每组 6 个重复, 每个重复 6 只鸭。对照组(Ⅰ组)饲喂基础饲料, 试验组(Ⅱ~Ⅴ组)分别饲喂在玉米-豆粕型基础饲料中添加 20、40、60、80 mg/kg 锌($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)的试验饲料。试验期 4 周。结果表明: 1) Ⅲ、Ⅳ组蛋雏鸭的料重比和Ⅲ组的平均日增重显著高于对照组($P < 0.05$), 雏鸭平均日增重、料重比随饲料锌水平的增加呈明显的二次曲线变化, 以此为指标估测的锌适宜添加水平分别是 50.4 和 54.7 mg/kg; 2) Ⅲ组血清和肝脏总抗氧化能力(T-AOC)、血清铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)活性、肝脏丙二醛(MDA)含量、肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性与对照组相比差异显著($P < 0.05$), 估测的锌适宜添加水平分别是 44.6、47.8、55.7、43.4、54.2 mg/kg, 而血清 MDA 含量、血清 GSH-Px 活性和肝脏 CuZn-SOD 活性与对照组差异不显著($P > 0.05$); 3) Ⅲ组胸腺指数、脾脏指数、法氏囊指数均显著高于对照组($P < 0.05$)。由此可见, 蛋雏鸭采食玉米-豆粕型基础饲料(含锌 33.3 mg/kg)时, 锌的适宜添加水平为 55.7 mg/kg。

关键词: 锌; 蛋雏鸭; 生长性能; 抗氧化功能; 免疫器官发育

中图分类号: S834

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)05-0815-07

锌是动植物生长发育及维持正常生理功能的必需微量元素之一。锌广泛存在于动物的组织中, 而以骨骼、肝脏、肌肉、皮肤、毛、血液和蛋黄中锌含量较多, 对动物生长发育、免疫功能、生殖能力、创伤愈合等方面有着重要影响^[1]。目前生产上蛋鸭饲料的配制基本上是凭借经验和参考鸡的研究数据进行的, 一些鸭场甚至用蛋鸡料或肉鸡料代替, 与我国蛋鸭产业现状与发展势头不相适应。本研究拟在玉米-豆粕型基础饲料中添加微量元素锌, 以探讨锌对笼养蛋雏鸭生长性能、抗氧化功能及免疫器官发育的影响, 确定锌的适宜添加水平, 为蛋鸭饲料的配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与设计

试验选用健康的体重接近的 1 日龄金定蛋雏鸭 180 只, 初始体重经方差分析差异不显著($P < 0.05$)。采用单因子试验设计, 随机分成 5 组, 每组 6 个重复, 每个重复 6 只鸭。试验期从试鸭 1 日龄开始, 共 4 周。

1.2 试验饲料及饲养管理

玉米-豆粕型基础饲料(含锌 33.3 mg/kg)参照我国台湾省畜牧学会(1993)和 NRC(1994)建议的饲养标准配制, 其组成及营养水平见表 1。Ⅰ组为对照组, 饲喂基础饲料, Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组为

收稿日期: 2011-12-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972111)

作者简介: 苏莉娜(1986—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: sulina_20082008@163.com

* 通讯作者: 王 安, 教授, 硕士生导师, E-mail: wangan451@126.com

试验组,分别饲喂在基础饲粮的基础上添加 20、40、60、80 mg/kg 锌($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)的试验饲粮,各组除锌外,其他营养水平一致。将试鸭饲养于 3 层重叠式金属笼中,按常规方法和程序进行饲养和免疫,及时记录死亡数。

1.3 样品采集与处理

试验结束时,每个重复抽取 1 只健康、接近平均体重的试鸭,每组 6 只,共 30 只,采血前对试鸭断料(前 1 天 20:00),空腹采血。用一次性注射器进行心脏采血,离心后血清分装于 EP 管中,−20 ℃ 保存备用;采血后将试鸭放血处死,摘取肝脏(去掉胆囊),置于 −20 ℃ 冰柜中保存备用;摘取免疫器官(胸腺、脾脏、法氏囊),去除结缔组织和脂肪后称重。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 生长性能指标

在试验开始时称量每个重复雏鸭的初始重,以后每周称重 1 次,称重前 1 天 20:00 停料,第 2 天早上空腹称重。每周统计 1 次试鸭耗料量,余料回收,作详细记录,计算平均日采食量(average daily feed intake, ADFI)、平均日增重(average daily gain, ADG)、料重比(feed to gain, F/G)。以上测定指标均以重复为单位。

1.4.2 抗氧化指标

血清和肝脏组织的总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和铜锌超氧化物歧化酶(CuZn-SOD)活性使用日本岛津 UV-2401PC 紫外可见分光光度计测定。

1.4.3 免疫器官指数

免疫器官(脾脏、胸腺、法氏囊)指数(g/kg) = 免疫器官鲜重(g)/宰前空腹活重(kg)。

1.5 数据处理与统计分析

采用 SPSS 19.0 统计软件中单因子方差分析进行数据的统计分析,差异显著时用 Duncan 氏法进行多重比较,统计显著水平设定为 $P < 0.05$,结果用平均值 ± 标准差表示。对相应的指标用二次曲线进行回归分析,以确定饲粮锌的适宜添加水平。

2 结果与分析

2.1 饲粮锌水平对笼养蛋雏鸭生长性能的影响

由表 2 可见,饲粮中添加不同水平的锌可不

同程度地提高蛋雏鸭的 ADG,其中Ⅲ组显著高于 I 组($P < 0.05$),其他各组间差异均不显著($P > 0.05$)。ADFI 以 I 组最高,但各组间差异均不显著($P > 0.05$)。Ⅲ、Ⅳ组的 F/G 与 I 组差异显著($P < 0.05$),分别比 I 组降低了 34.26%、31.48%,其他各组间差异均不显著($P > 0.05$)。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)		%
项目 Items	含量 Contents	
原料 Ingredients		
玉米 Corn	63.77	
豆粕 Soybean meal	30.00	
小麦麸 Wheat bran	3.00	
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.22	
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.13	
石粉 Limestone	1.20	
食盐 NaCl	0.26	
胆碱 Choline	0.10	
维生素预混料 Vitamin premix ¹⁾	0.02	
微量元素预混料(不含锌) Mineral premix (without Zn) ²⁾	0.20	
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys · HCl	0.10	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ³⁾		
代谢能 $\text{ME}/(\text{MJ/kg})$	11.56	
粗蛋白质 CP	18.14	
赖氨酸 Lys	0.86	
蛋氨酸 Met	0.41	
钙 Ca	0.82	
总磷 TP	0.60	
有效磷 AP	0.37	
锌 $\text{Zn}/(\text{mg/kg})$	33.33	

¹⁾ 维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided following per kg of diet: VA 4 000 IU, VB₆ 15 000 mg, VD₃ 600 IU, VB₁₂ 0.01 mg, VE 200 mg, VB₁ 3.5 mg, D-生物素 D-biotin 0.01 mg, VK₃ 2 mg, 叶酸 folic acid 1.0 mg, 烟酰胺 niacinamide 50 mg, 吡哆醇 pyridoxol 2.5 mg, D-泛酸钙 D-calcium pantothenate 10 mg。

²⁾ 微量元素预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided following per kg of diet: Se 0.15 mg, Fe 88 mg, Cu 11 mg, Mn 43 mg, I 0.15 mg。

³⁾ 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

表 2 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary zinc level on growth performance of caged egg-type ducklings

组别 Groups	平均日采食量 ADFI/g	平均日增重 ADG/g	料重比 F/G
I	57.51 ± 1.48	9.36 ± 1.12 ^a	5.40 ± 0.38 ^b
II	54.24 ± 1.15	11.71 ± 0.62 ^{ab}	4.68 ± 0.80 ^{ab}
III	51.28 ± 1.39	15.96 ± 0.78 ^b	3.55 ± 0.36 ^a
IV	51.78 ± 0.68	14.29 ± 0.70 ^{ab}	3.70 ± 0.41 ^a
V	53.37 ± 0.45	12.79 ± 1.22 ^{ab}	4.04 ± 0.67 ^{ab}

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

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

评定营养需要量时,随着饲料锌添加水平(X)的增加,反映指标(Y)要达到一个平台期,即不再有显著意义上的增加^[1]。根据这一定义,从表 2 中可以看出,锌添加水平对蛋雏鸭的 ADG 和 F/G 影响显著,均随锌添加水平的增加呈二次曲线变化,ADG 和 F/G 与锌添加水平间拟合的二次曲线方程分别为:

$$Y = -0.002\ 4X^2 + 0.241\ 7X + 8.99, (R^2 = 0.878\ 7, \text{ 锌适宜添加水平为 } 50.4\ \text{mg/kg});$$
$$Y = 0.000\ 6X^2 - 0.065\ 6X + 5.509\ 1, (R^2 = 0.956\ 4, \text{ 锌适宜添加水平为 } 54.7\ \text{mg/kg}).$$

尽管采用不同指标估测出的锌的添加水平不同,但是锌的适宜添加水平应为满足其全部代谢

需要的水平^[2]。根据这一定义,从生长性能来看,蛋雏鸭饲料中适宜的锌添加水平是 54.7 mg/kg。

2.2 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭抗氧化功能的影响

2.2.1 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭血清中抗氧化指标的影响

由表 3 可见,Ⅲ组的 T-AOC 与 I、V 组差异显著 ($P < 0.05$),分别比 I、V 组提高了 47.17%、37.07%,与其他各组差异均不显著 ($P > 0.05$)。Ⅲ组的 CuZn-SOD 与 I 组差异显著 ($P < 0.05$),与其他各组差异不显著 ($P > 0.05$)。MDA 含量和 GSH-Px 活性各组间差异均不显著 ($P > 0.05$),但以Ⅲ组的 MDA 含量为最低,GSH-Px 活性为最高。

表 3 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭血清中抗氧化指标的影响

Table 3 Effects of dietary zinc level on serum antioxidative indices of caged egg-type ducklings

组别 Groups	总抗氧化能力 T-AOC (U/mL)	铜锌超氧化物歧化酶 CuZn-SOD (U/mL)	丙二醛 MDA (nmol/mL)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px (U/mL)
I	8.14 ± 0.64 ^a	185.25 ± 4.16 ^a	6.34 ± 0.58	361.08 ± 3.61
II	9.30 ± 0.55 ^{ab}	187.75 ± 4.40 ^{ab}	5.47 ± 0.64	376.99 ± 5.84
III	11.98 ± 0.54 ^b	190.17 ± 2.72 ^b	5.16 ± 0.58	382.80 ± 6.22
IV	10.80 ± 0.86 ^{ab}	189.35 ± 2.17 ^{ab}	5.53 ± 0.48	375.70 ± 7.41
V	8.74 ± 0.48 ^a	189.34 ± 2.73 ^{ab}	5.77 ± 0.45	360.22 ± 8.21

2.2.2 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭肝脏中抗氧化指标的影响

由表 4 可见,Ⅲ、Ⅳ组的 T-AOC 与 I 组差异显著 ($P < 0.05$),分别比 I 组提高了 47.90%、32.49%,与其他各组差异不显著 ($P > 0.05$)。Ⅲ组的 MDA 含量与 I、V 组差异显著 ($P < 0.05$),

分别比 I、V 组降低了 40.89%、35.58%,与其他各组差异不显著 ($P > 0.05$)。Ⅲ组与 I 组的 GSH-Px 活性差异显著 ($P < 0.05$),与其他各组差异均不显著 ($P > 0.05$)。CuZn-SOD 活性各组间差异均不显著 ($P > 0.05$),以Ⅲ、Ⅳ组较高。

表 4 饲粮锌水平对笼养蛋雏鸭肝脏中抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of dietary zinc level on liver antioxidative indices of caged egg-type ducklings

组别 Groups	总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	铜锌超氧化物歧化酶 CuZn-SOD/(U/mg prot)	丙二醛 MDA/(nmol/mg prot)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)
I	6.68 ± 0.62 ^a	33.77 ± 1.22	5.82 ± 0.51 ^b	38.57 ± 0.33 ^a
II	8.17 ± 0.72 ^{ab}	34.53 ± 2.22	4.92 ± 0.54 ^{ab}	39.88 ± 0.69 ^{ab}
III	9.88 ± 0.75 ^b	34.90 ± 1.88	3.44 ± 0.43 ^a	42.07 ± 0.76 ^b
IV	8.85 ± 0.68 ^b	35.28 ± 1.27	4.35 ± 0.62 ^{ab}	41.76 ± 0.53 ^{ab}
V	8.43 ± 0.52 ^{ab}	34.50 ± 1.26	5.34 ± 0.51 ^b	40.91 ± 0.48 ^{ab}

2.2.3 拟合曲线模式估测饲粮锌适宜添加水平

本试验中有效评价锌营养需要量的抗氧化指标为血清和肝脏 T-AOC、血清 CuZn-SOD、肝脏 MDA、肝脏 GSH-Px,所有曲线拟合方程见表 5。根据锌的适宜添加水平应为满足其全部代谢需要

的水平这一定义,得出笼养蛋雏鸭的实用饲粮中适宜的锌添加水平是 55.7 mg/kg,加上基础饲粮中所含的锌,饲粮中锌的总含量为 89.0 mg/kg 时可使蛋雏鸭的抗氧化功能达到最佳。

表 5 拟合曲线模式估测笼养蛋雏鸭饲粮锌适宜添加水平

Table 5 Optimal dietary zinc level for caged egg-type ducklings based on fitting curve model

指标 Indices	回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient correlation	锌适宜添加水平 Optimal Zn supplemental level/(mg/kg)
血清总抗氧化能力 Serum T-AOC	$Y = -0.001\ 8X^2 + 0.160\ 5X + 7.780\ 4$	0.840 5	44.6
肝脏总抗氧化能力 Liver T-AOC	$Y = -0.001\ 2X^2 + 0.114\ 7X + 6.627\ 6$	0.892 9	47.8
血清铜锌超氧化物歧化酶 Serum CuZn-SOD	$Y = -0.001\ 5X^2 + 0.167X + 185.23$	0.946 5	55.7
肝脏丙二醛 Liver MDA	$Y = 0.001\ 1X^2 - 0.095\ 5X + 5.961\ 2$	0.870 2	43.4
肝脏谷胱甘肽过氧化物酶 Liver GSH-Px	$Y = -0.001\ 2X^2 + 0.13X + 38.356$	0.925 3	54.2

2.3 饲粮锌水平对笼养蛋雏鸭免疫器官发育的影响

由表 6 可见,Ⅲ组的脾脏指数与 I、II、V 组差异显著 ($P < 0.05$),分别比 I、II、V 组提高了 30.11%、23.66%、27.96%,IV 组与其他各组差异

均不显著 ($P > 0.05$)。Ⅲ、IV 组的胸腺指数与 I 组差异显著 ($P < 0.05$),与其他各组差异不显著 ($P > 0.05$)。Ⅲ组与 I 组的法氏囊指数差异显著 ($P < 0.05$),比 I 组提高了 10.92%,而与其他各组差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 6 饲粮锌水平对笼养蛋雏鸭免疫器官指数的影响

Table 6 Effects of dietary zinc level on immune organ indices of caged egg-type ducklings

g/kg

组别 Groups	脾脏指数 Spleen index	胸腺指数 Thymus index	法氏囊指数 Bursa of Fabricius index
I	0.653 ± 0.178 ^a	2.720 ± 0.401 ^a	2.115 ± 0.140 ^a
II	0.709 ± 0.051 ^a	3.238 ± 0.296 ^{ab}	2.273 ± 0.239 ^{ab}
III	0.933 ± 0.163 ^b	3.892 ± 0.328 ^b	2.379 ± 0.193 ^b
IV	0.770 ± 0.147 ^{ab}	3.671 ± 0.340 ^b	2.320 ± 0.154 ^{ab}
V	0.673 ± 0.142 ^a	3.307 ± 0.396 ^{ab}	2.137 ± 0.233 ^{ab}

3 讨 论

3.1 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭生长性能的影响

从本试验结果可以看出,添加锌的试验组 ADG 均高于对照组,而且添加 40 mg/kg 锌的试验组与对照组差异达到显著水平,但添加过高有降低的趋势。添加锌的试验组的 F/G 都低于对照组,且添加 40、60 mg/kg 锌的试验组与对照组差异显著。由此可见,饲料中添加适宜水平的锌能够提高笼养蛋雏鸭的生长性能,过高或过低都不能显著提高笼养蛋雏鸭的生长性能。锌影响雏鸭生长性能的原因可能有以下几点:1) 缺锌使口腔黏膜增生,角质不全,造成食物与味蕾接触受阻,致使动物的味觉敏感性降低,从而影响食欲;2) 锌与体内 200 多种酶的结构和生物活性有关,影响多种营养物质,如蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质的分解代谢,从而影响营养物质的消化和吸收;3) 许多饲料因素影响锌的吸收和利用,如植酸盐和纤维,而本试验采用的是植物性饲料,植酸盐和纤维的含量较多,故锌的利用率较低。何金明等^[3]报道,根据 ADG 推测的雏鸭风干饲料锌的需要量为 53 ~ 77 mg/kg。闫素梅等^[4]研究报道,饲料锌的适宜水平为 47.61 ~ 87.61 mg/kg 时肉仔鸡的生长性能较高。冯旺宝等^[5]研究结果为,育成蛋鸭的需要量为 30 ~ 60 mg/kg。刘玉兰等^[6]、蒋宗勇等^[7]报道,肉仔鸡饲料锌水平为 85 mg/kg 时,其生长性能最佳。本试验通过拟合曲线得到笼养蛋雏鸭生长性能最佳时的锌适宜添加水平是 54.7 mg/kg,加上基础饲料中的锌含量,蛋雏鸭总的锌需要量为 88.0 mg/kg,与前人研究结果基本一致。

3.2 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭抗氧化功能的影响

超氧化物歧化酶(SOD)、GSH-Px、T-AOC 是体内酶促抗氧化体系的重要组成部分,能清除机体活性氧和自由基,减轻和阻止活性氧的过氧化作用。MDA 是自由基引发的脂质过氧化作用的最终分解产物,其可以反映机体内脂质过氧化的程度。锌可促进肝脏中谷胱甘肽(GSH)转化为氧化型谷胱甘肽(GSSG),该过程主要依赖 GSH-Px, GSH-Px 通过催化有机和无机过氧化物的还原,使机体免受过氧化损伤。CuZn-SOD 是机体组织中清除超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)的关键酶,锌作为

CuZn-SOD 的金属辅酶之一,在维护该酶的结构与功能方面发挥重要的作用。虞泽鹏等^[8]对小鼠的研究表明,饲料总锌为 70 mg/kg 时,显著提高 GSH-Px 活性,不同程度地提高 T-AOC 和 CuZn-SOD 活性。蒋宗勇等^[7]研究报道,饲料中添加锌显著提高了黄羽肉仔鸡血清 CuZn-SOD 和 GSH-Px 的活性。Shaheen 等^[9]研究表明,缺锌显著降低血液和肝脏 GSH 含量及 SOD 活性,增加 MDA 含量,补锌显著减少内源 MDA 的形成。从本试验结果可以看出,血清和肝脏 T-AOC、血清 CuZn-SOD 活性和肝脏 GSH-Px 活性随锌添加水平的增加先升高后降低,MDA 含量则先降低后升高。由此说明,添加适宜水平的锌可提高蛋雏鸭抗氧化功能,进而促进机体的生长发育。

3.3 饲料锌水平对笼养蛋雏鸭免疫器官发育的影响

胸腺、法氏囊是中枢免疫器官,对体液免疫功能的发挥起着重要的作用,脾脏是机体的外周免疫器官,可清除机体衰老死亡的红细胞和血液中的大部分抗原,三者的重量可用来衡量机体的免疫状态。Fraker 等^[10]研究报道,饲料锌缺乏(0.5 mg/kg)可使成鼠的胸腺显著的萎缩。Pimentel 等^[11]采用低锌饲料(8 mg/kg)饲喂肉仔鸡,在第 5 周时胸腺和法氏囊显著小于正常锌水平的对照组。吴嘉惠等^[12]研究报道,饲喂大鼠高锌饲料(1 000 mg/kg)严重影响了大鼠的胸腺的发育。方静等^[13]、崔恒敏等^[14]试验结果表明,缺锌(22.9 mg/kg)和锌中毒(1 300 mg/kg)都严重抑制了雏鸭免疫器官的发育,雏鸭适宜的锌水平是 100 mg/kg。蒋宗勇等^[7]研究表明,饲料中总锌水平为 65 mg/kg 时,能显著提高黄羽肉仔鸡的脾脏指数、胸腺指数和法氏囊指数。本试验结果表明,在基础饲料中添加 40 mg/kg 的锌,可显著提高蛋雏鸭的免疫器官指数,造成与上述结果有差异的原因可能与试验动物的生长阶段、种类、饲养条件以及饲料等因素有关。

4 结 论

本试验表明,笼养蛋雏鸭采用玉米-豆粕型基础饲料(含锌 33.3 mg/kg)时,锌添加水平为 54.7 mg/kg 时可显著改善笼养蛋雏鸭的生长性能,锌添加水平为 55.7 mg/kg 时可显著提高机体的抗氧化功能,这 2 种水平均可促进免疫器官的发育。

参考文献:

- [1] 井明艳,孙建义,赵树盛,等.微量元素锌的营养学研究进展[J].饲料工业,2004,25(10):20-24.
- [2] 黄艳玲,吕林,李素芬,等.0~21日龄肉仔鸡饲料中锌适宜水平研究[J].畜牧兽医学报,2008,39(7):900-906.
- [3] 何金明,闰天海,乐国伟.雏鸭实用饲料锌的适宜添加量研究[J].四川农业大学学报,1991,9(4):621-629.
- [4] 闫素梅,郝永清,史彬林,等.日粮锌水平对肉仔鸡组织锌浓度及其生产性能与免疫机能的影响[J].饲料工业,2002,23(12):24-27.
- [5] 冯望宝,王安,艾涛.不同锌水平对笼养育成蛋鸭生长性能及总抗氧化能力的影响[J].东北农业大学学报,2007,38(5):654-659.
- [6] 刘玉兰,李德发,龚利敏,等.日粮锌铜水平对肉仔鸡生产性能和免疫器官发育的影响[J].饲料工业,2003,24(8):16-18.
- [7] 蒋宗勇,刘小雁,蒋守群,等.1~21日龄黄羽肉鸡锌需要量的研究[J].动物营养学报,2010,22(2):301-309.
- [8] 虞泽鹏,乐国伟,施用晖,等.不同锌源对断奶小鼠生长及机体抗氧化能力的影响[J].畜牧与兽医,2005,37(4):1-3.
- [9] SHAHEEN A A, EI-FATTAH A A. Effect of dietary zinc on lipid peroxidation, glutathione, protein thiols levels and superoxide dismutase activity in rat tissues[J]. International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 1995, 27(1):89-95.
- [10] FRAKER P J, HAAS S M, LUECKE R W. Effect of zinc deficiency on the immune response of the young adult A/J mouse[J]. The Journal of Nutrition, 1977, 107(10):1889-1895.
- [11] PIMENTEL J L, COOK M E, GREGER J L. Immune response of chicks fed various levels of zinc[J]. Poultry Science, 1991, 70(4):947-954.
- [12] 吴嘉惠,徐迪雄,贺泽华.高锌饲料对大鼠胸腺发育及其作用机理的探讨[J].动物营养学报,1997,19(1):39-42.
- [13] 方静,崔恒敏,彭西.锌中毒对雏鸭免疫系统结构及其功能影响的研究[J].动物营养学报,2003,25(1):79-84.
- [14] 崔恒敏,方静,彭西.缺锌对雏鸭免疫功能影响的研究[J].畜牧兽医学报,2003,34(2):161-167.

Effects of Dietary Zinc Level on Growth Performance, Antioxidant Function and Immune Organ Development of Caged Egg-Type Ducklings

SU Li'na WANG An*

(*Institute of Animal Nutrition, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary zinc level on growth performance, antioxidant function, and immune organ development of caged egg-type ducklings. Using a single factor completely randomized design, a total of 180 one-day-old *Jinding* egg-type ducklings were randomly divided into 5 groups with 6 replicates per group and 6 ducks in each replicate. Ducks in control group (group I) were fed a basal diet, and the others in experimental groups (groups II-V) were fed the basal diet supplemented with 20, 40, 60 and 80 zinc (as $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), respectively. The experiment lasted for 4 weeks. The results showed as follows: 1) the feed to gain in groups III, IV and average daily gain in group III were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). The average daily gain and feed to gain were changed quadratically with increasing dietary zinc level, and the estimation values of optimal dietary zinc level were 50.4 and 54.7 mg/kg, respectively. 2) The serum and liver total anti-oxidation capability (T-AOC), serum Cu-Zn-superoxide dismutase (CuZn-SOD) activity, liver malondialdehyd (MDA) content, and liver glutathion peroxidase (GSH-Px) activity in group III had significant differences compared with the control group ($P < 0.05$), and the estimation values of optimal dietary zinc level were 44.6, 47.8, 55.7, 43.4 and 54.2 mg/kg, respectively, but the serum MDA content, serum GSH-Px activity, and liver CuZn-SOD activity in group III had no significant difference compared with the control group ($P > 0.05$). 3) The thymus index, spleen index and bursa of Fabricius index in group III were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). In conclusion, the optimal dietary zinc level of caged egg-type ducklings fed corn-soybean meal basal diet (33.3 mg/kg zinc) is 55.7 mg/kg. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(5):815-821]

Key words: zinc; egg-type ducklings; growth performance; antioxidant function; immune organ development