

硫酸锌和蛋氨酸锌对产蛋后期蛋鸡生产性能、 蛋品质及抗氧化性能的影响

张亚男 齐晓龙 武书庚* 张海军 岳洪源 王 晶 齐广海*

(中国农业科学院饲料研究所,农业部饲料生物技术重点开放实验室,北京 100081)

摘要: 本试验旨在研究硫酸锌和蛋氨酸锌对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化性能的影响。选取 504 只产蛋率和体重相近、健康的 54 周龄海兰灰蛋鸡,随机分成 7 组,每组 6 个重复,每个重复 12 只鸡。预试期 4 周,正试期 6 周,预试期饲喂缺乏锌的玉米-豆粕型基础饲料(锌水平 29.07 mg/kg),以尽量排除锌的影响;正试期各组分别饲喂基础饲料和在基础饲料中分别添加硫酸锌和蛋氨酸锌(锌添加水平分别为 35、70 和 140 mg/kg)的试验饲料。结果表明:1) 锌源未显著影响产蛋率、平均日采食量、料蛋比($P > 0.05$),但锌添加水平显著影响平均蛋重($P < 0.05$),锌添加水平为 35 mg/kg 时平均蛋重显著高于 70、140 mg/kg 时($P < 0.05$);2) 锌源和锌添加水平均显著影响蛋壳厚度($P < 0.05$),140 mg/kg 蛋氨酸锌组蛋壳最厚;饲喂 3 周时 70 mg/kg 硫酸锌组的鸡蛋蛋白高度和哈夫单位显著高于对照组(饲喂基础饲料)($P < 0.05$),而饲喂 6 周时,各组无显著差异($P > 0.05$);锌源未显著影响蛋壳强度和蛋黄颜色($P > 0.05$);单因素方差分析显示,70 mg/kg 硫酸锌组蛋品质最好;3) 锌源和锌添加水平显著影响蛋鸡血浆和肝脏内的总超氧化物歧化酶(T-SOD)、铜锌超氧化物歧化酶(Cu, Zn-SOD)活性,总抗氧化能力(T-AOC),抗超氧阴离子能力(抗 O_2^- 能力)等抗氧化指标($P < 0.05$),由各指标及单因素方差分析的结果可得出,70 mg/kg 硫酸锌组抗氧化性能最佳。由此可见,锌源未显著影响蛋鸡生产性能,但在一定程度上提高鸡蛋品质、改善机体抗氧化状态,本试验条件下,产蛋后期海兰灰蛋鸡饲料中使用硫酸锌且锌添加水平为 70 mg/kg 时效果最佳。

关键词: 锌;蛋鸡;生产性能;蛋品质;抗氧化

中图分类号: S831

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2013)12-2873-10

锌是蛋鸡饲料中不可缺少的微量元素,是体内 300 多种酶的组成成分,参与体内多种细胞的新陈代谢,促进金属硫蛋白的合成,去除体内多余的自由基,与体内维生素 E 协同共同阻碍机体氧化损伤,与铜、铁等微量元素产生竞争抑制机体内的脂质过氧化反应,维持机体正常的抗氧化状态。随着研究的不断发展,有机锌因其高吸收率、低污染率,不断被应用到蛋鸡饲料中。蛋鸡在产蛋后期,由于体内长时间旺盛的脂质代谢,

体内的生殖系统和抗氧化状态都显著下降,鸡蛋变大,蛋重增加,蛋壳质量变差。找出无机锌和有机锌对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质及抗氧化性能等方面的差异,确定适宜的添加水平,对于建立高效环保节约型蛋鸡生产体系具有重要意义。研究表明,饲料中添加 30 mg/kg 锌(硫酸锌, $ZnSO_4$)即可显著增加蛋重、蛋壳重量、蛋壳厚度和哈夫单位^[1],添加 140 mg/kg 硫酸锌或蛋白锌还能显著提高产蛋率、机体的抗氧化能力,降低耗料

收稿日期:2013-06-07

基金项目:现代农业产业技术体系(CARS-41-K13);国家科技支撑计划(2011BAD26B04);北京家禽创新团队(CARS-BTPI)

作者简介:张亚男(1988—),女,山东德州人,硕士,从事鸡蛋品质营养调控研究。E-mail: yanqingdao2006@126.com

* 通讯作者:武书庚,副研究员,硕士生导师, E-mail: wushugeng@mail.caas.net.cn;齐广海,研究员,博士生导师, E-mail: guanghai_qi@163.com

量^[2];添加 50 mg/kg 氧化锌或 10 mg/kg 蛋白锌可显著提高蛋鸡(60 周龄)机体的抗氧化性能^[3],且有机锌比无机锌更能提高蛋鸡体内的总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性,降低丙二醛(MDA)含量^[4]。而 Niyomdech 等^[5]认为饲料中添加 40、80、120 mg/kg 有机锌不影响蛋鸡(53 周龄)的生产性能、蛋品质等;还有学者认为,饲料中添加 100 mg/kg 蛋氨酸锌会降低产蛋率^[6]。因此,关于有机锌和无机锌对改善蛋鸡生产性能、机体氧化还原状态、鸡蛋品质等存在有效性,尚需深入研究;另外,生产中常遇到有机源锌效果并没有比无机源锌效果好的现象,那如何解释此类问题?本试验旨在对比研究硫酸锌和蛋氨酸锌对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质及机体抗氧化性能的影响,确定蛋鸡产蛋后期饲料中锌适宜的添加形式及水平,提高锌资源的有效利用,保护环境。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验锌源分别采用分析纯一水硫酸锌($ZnSO_4 \cdot H_2O$, 批次号:20110211, 含锌 34.8%)和蛋氨酸锌(含锌 9.58%),购于北京市科利民技术有限公司。

1.2 试验设计与饲料

试验采用双因子 + 对照试验设计,选取 504 只 54 周龄生产性能相近、健康的海兰灰蛋鸡,随机分为 7 个处理,每个处理 6 个重复,每个重复 12 只鸡,阶梯式笼养,每笼 3 只鸡。预试期 4 周,正试期 6 周。预试期均饲喂锌缺乏的玉米-豆粕型基础饲料(锌水平 29.07 mg/kg),正试期各处理分别饲喂基础饲料和在基础饲料中分别添加硫酸锌和蛋氨酸锌(锌添加水平分别为 35、70 和 140 mg/kg)的试验饲料。

基础饲料参照 NRC(1994)和我国《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004),并结合海兰灰蛋鸡饲养手册配制。基础饲料组成及营养水平见表 1。

1.3 饲养管理

采用半开放式鸡舍 3 层立体笼养,自然光照加人工补光,光照时间为 16 h/d、光照强度为 20 lx,相对湿度为 50%~90%,自然通风结合纵向负压通风。饲料为干粉料,每天喂料、捡蛋、清粪各 2 次,匀料 4 次,自由采食和饮水,每周消毒 1 次,鸡只常规免疫。

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		
玉米 Corn	62.23	
豆粕 Soybean meal	27.10	
石粉 Limestone	8.67	
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.25	
食盐 NaCl	0.30	
蛋氨酸 Met	0.11	
预混料 Premix ¹⁾	0.34	
合计 Total	100.00	
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.02	
粗蛋白质 CP	16.50	
钙 Ca	3.40	
有效磷 AP	0.36	
赖氨酸 Lys	0.81	
蛋氨酸 Met	0.38	
蛋氨酸 + 胱氨酸 Met + Cys	0.65	
锌 Zn/(mg/kg)	29.07	

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 12 500 IU, VD₃ 4 125 IU, VE 15 IU, VK 2 mg, 硫胺素 thiamine 1 mg, 核黄素 riboflavin 8.5 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 50 mg, 烟酸 niacin 32.5 mg, 吡哆醇 pyridoxine 8 mg, 生物素 biotin 2 mg, 叶酸 folic acid 5 mg, VB₁₂ 5 mg, 胆碱 choline 500 mg, Cu 8 mg, Fe 60 mg, Mn 65 mg, I 1 mg, Se 0.3 mg。

²⁾ 营养水平中除锌为实测值,其余均为计算值。Nutrient levels were calculated values except Zn.

1.4 指标测定与方 法

1.4.1 样品采集与制备

正试期,每天以重复为单位记录产蛋数和蛋重,计算平均蛋重和产蛋率。

每周以重复为单位计算耗料量和料蛋比。于试验第 3 周末和第 6 周末,每个重复取 5 枚鸡蛋,测定蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋白高度、蛋黄颜色、哈夫单位等蛋品质指标。

于试验的第 3 周末,每重复随机选取 1 只健康、体重相近的蛋鸡进行翅静脉采血并标号,3 000 r/min 离心 10 min,制备血浆,−80 ℃ 保存。于试验的第 6 周末,每重复选取标号蛋鸡进行屠宰,取血,3 000 r/min 离心 10 min,制备血浆,−80 ℃ 保存。摘取肝脏放于锡箔纸包好,并置液

氮中速冻, $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存。肝脏组织匀浆的制备:称取 0.5 g 左右肝脏,加 9 倍 0.9% 生理盐水,冰浴匀浆, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下 $4\ 500\text{ r/min}$ 离心 35 min ,取上清,待测。

1.4.2 测定方法

蛋壳厚度由蛋壳厚度测定仪(egg shell thickness gauge, Orka Technology Ltd)测定,蛋壳强度由蛋壳强度测定仪(egg force reader, Orka Technology Ltd)测定,蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位采用 SONOVA 蛋品质自动分析仪(egg analyzerTM, ORKA Technology Ltd)进行测定;T-SOD 活性、铜锌超氧化物歧化酶(Cu, Zn-SOD)活性采用黄嘌呤氧化酶法测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定;总抗氧化能力(T-AOC)和抗 O_2^- 能力用比色法测定。以上指标所用试剂盒购于南京建成生物工程研究所,采用酶标仪(versaMax, Molecular Devices, USA)测定吸光度。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 16.0 统计软件,采用 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析, Duncan 氏法进行多重比较和指标的相关分析,再采用 GLM 程序下的 Univariate 进行 2×3 因子分析,对锌源和锌添加水平的主效应及交互效应进行多元方差分析;显著水平为 $P < 0.05$,结果以平均值和标准误(SEM)表示。

2 结果与分析

2.1 硫酸锌和蛋氨酸锌对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知,产蛋率、平均日采食量和料蛋比在试验前期(1~3 周)、试验后期(4~6 周)及试验全期(1~6 周)均不受锌源和锌添加水平的影响,且锌源和锌添加水平不存在交互作用($P > 0.05$)。平均蛋重在试验后期及试验全期受锌添加水平影响显著($P < 0.05$),其中锌添加水平为 70 mg/kg 时的平均蛋重显著低于锌添加水平为 35 mg/kg 时($P < 0.05$),而与锌添加水平为 140 mg/kg 时的差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 硫酸锌和蛋氨酸锌对鸡蛋品质的影响

由表 3 可知,饲喂 3 周,蛋壳厚度受锌源和锌添加水平的交互作用影响显著($P < 0.05$)。单因素方差分析结果显示, 140 mg/kg 蛋氨酸锌组蛋壳

最厚。饲喂 3 周,蛋白高度和哈夫单位受锌源和锌添加水平的交互作用影响显著($P < 0.05$),由单因素方差分析结果可知, 70 mg/kg 硫酸锌组蛋白高度和哈夫单位最高;饲喂 6 周,锌源和锌添加水平对蛋白高度和哈夫单位均无显著影响($P > 0.05$)。无论饲喂 3 周还是 6 周,锌源和锌添加水平对蛋壳强度和蛋黄颜色均无显著影响($P > 0.05$)。

2.3 硫酸锌和蛋氨酸锌对蛋鸡产蛋后期抗氧化性能的影响

由表 4 可知,无论在血浆还是在肝脏的 T-SOD 活性方面,锌源和锌添加水平均存在极显著的交互作用($P < 0.01$)。饲喂 3 周, 140 mg/kg 硫酸锌组的血浆 T-SOD 活性最高,显著高于其他组($P < 0.05$);而饲喂 6 周, 140 mg/kg 蛋氨酸锌组的血浆 T-SOD 活性最高,且与 70 mg/kg 硫酸锌组差异不显著($P > 0.05$),但是显著高于其他组($P < 0.05$)。肝脏 T-SOD 活性以 70 mg/kg 蛋氨酸锌组最高,与 70 、 140 mg/kg 硫酸锌组以及 35 mg/kg 蛋氨酸锌组差异不显著($P > 0.05$),但是显著高于其他组($P < 0.05$)。

在血浆和肝脏 Cu, Zn-SOD 活性方面,锌源和锌添加水平存在显著的交互作用($P < 0.05$)。饲喂 3 周, 70 mg/kg 蛋氨酸锌组的血浆 Cu, Zn-SOD 活性最高,与 35 mg/kg 硫酸锌组的差异不显著($P > 0.05$),但是显著高于其他组($P < 0.05$);饲喂 6 周 140 mg/kg 硫酸锌组的血浆 Cu, Zn-SOD 活性显著高于其他组($P < 0.05$)。肝脏 Cu, Zn-SOD 活性以 70 mg/kg 硫酸锌组最高,与 140 mg/kg 硫酸锌组以及 35 、 70 mg/kg 蛋氨酸锌组的差异不显著($P > 0.05$),但是显著高于其他组($P < 0.01$)。

饲喂 3 周,血浆 MDA 含量随着锌添加水平增加有降低的趋势($P = 0.051$)。饲喂 6 周,在血浆 MDA 含量方面,锌源和锌添加水平存在显著的交互作用($P < 0.05$);单因素方差分析可知,6 周血浆中 MDA 含量均以 70 mg/kg 硫酸锌组较低。肝脏 MDA 含量受锌源影响显著($P < 0.05$),添加蛋氨酸锌的 MDA 含量显著低于硫酸锌的($P < 0.05$)。

表 2 不同来源和添加水平的锌对产蛋鸡生产性能的影响(59~64 周龄)

Table 2 Effects of different sources and supplemental levels of Zn on performance of laying hens (59 to 64 weeks of age)

项目 Items	平均蛋重 Average egg weight/g			平均日采食量 ADFI/g			料蛋比 Feed/egg			产蛋率 Laying rate/%		
	1~3 周 1 to 3 weeks	4~6 周 4 to 6 weeks	1~6 周 1 to 6 weeks	1~3 周 1 to 3 weeks	4~6 周 4 to 6 weeks	1~6 周 1 to 6 weeks	1~3 周 1 to 3 weeks	4~6 周 4 to 6 weeks	1~6 周 1 to 6 weeks	1~3 周 1 to 3 weeks	4~6 周 4 to 6 weeks	1~6 周 1 to 6 weeks
水平 Level/ (mg/kg)												
0	63.33	64.29	63.88	119.68	121.94	120.97	2.28	2.25	2.26	83.23	84.85	84.16
硫酸锌 ZnSO ₄	62.86	64.38	63.73	116.87	120.05	117.73	2.18	2.18	2.18	85.37	85.77	85.47
70	61.82	63.13	62.55	125.27	116.80	121.45	2.38	2.26	2.31	85.11	83.57	84.23
140	62.02	63.84	63.04	122.87	122.58	122.69	2.33	2.26	2.29	85.03	85.27	85.17
35	63.40	64.44	64.03	121.66	114.14	121.06	2.39	2.31	2.33	80.46	83.55	81.18
70	62.07	63.08	62.65	119.69	116.60	117.92	2.28	2.20	2.23	84.69	84.25	84.44
140	62.37	63.57	63.05	122.87	120.34	121.65	2.31	2.17	2.23	85.46	88.10	86.97
SEM	0.20	0.15	0.16	1.10	1.31	1.02	0.02	0.03	0.02	0.64	0.65	0.54
来源 Source												
硫酸锌 ZnSO ₄	62.23	63.78	63.11	121.67	119.81	120.62	2.30	2.23	2.26	85.17	84.87	84.71
蛋氨酸锌 Zinc methionine	62.61	63.70	63.24	121.40	117.03	120.21	2.33	2.23	2.26	83.54	85.30	84.20
35	63.12	64.41 ^x	63.88 ^x	119.27	117.09	119.40	2.29	2.25	2.26	82.92	84.66	82.96
70	61.95	63.11 ^y	62.60 ^y	122.48	116.70	119.68	2.33	2.23	2.27	84.90	83.91	84.33
140	62.19	63.71 ^{xy}	63.05 ^{xy}	122.87	121.46	122.17	2.32	2.21	2.26	85.25	86.68	86.09
SEM	0.23	0.16	0.18	1.43	1.59	1.29	0.03	0.04	0.03	0.73	0.73	0.60
P 值 P-value												
来源 Source	0.414	0.788	0.707	0.926	0.387	0.873	0.615	0.926	0.957	0.273	0.773	0.670
水平 Level/(mg/kg)	0.101	0.007	0.018	0.534	0.408	0.631	0.800	0.934	0.960	0.386	0.292	0.119
来源 × 水平 Source × level	0.966	0.909	0.945	0.344	0.761	0.552	0.088	0.398	0.141	0.291	0.378	0.187

同列数据肩标同一系列不同字母表示差异显著($P < 0.05$), 相同字母或者无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。系列 a, b, c 表示单因素方差分析的差异显著性; 系列 m, n 表示双因素下来源之间的差异显著性; 系列 x, y, z 表示双因素下水平之间的差异显著性。下表同。

In the same series of the same column, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The series of a, b and c show the difference of one-single factor analysis; the series of m and n show the difference of the resource; the series of x, y and z show the difference of the supplemental level. The same as below.

表 3 不同来源和添加水平的锌对蛋品质的影响(59~64 周龄)

Table 3 Effects of sources and different supplemental levels of Zn on egg quality of laying hens(59 to 64 weeks of age)

项目 Items	水平 Level/(mg/kg)	蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm		蛋壳强度 Eggshell strength/N		蛋白高度 Albumen height/mm		哈夫单位 Haugh unit		蛋黄颜色 Yolk color	
		第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6
硫酸锌 ZnSO ₄	0	0.331 ^c	0.331	32.57	31.85	6.41 ^b	6.29	77.07 ^{bc}	74.81	5.22	4.35
	35	0.342 ^{bc}	0.332	36.62	32.82	6.78 ^{ab}	6.10	80.78 ^{ab}	74.95	5.33	4.59
	70	0.346 ^{bc}	0.345	37.01	34.23	7.18 ^a	6.13	82.38 ^a	74.66	5.25	4.47
蛋氨酸锌 Zinc methionine	140	0.338 ^c	0.363	36.33	31.87	6.31 ^b	5.67	78.41 ^{bc}	72.29	5.25	4.53
	35	0.352 ^b	0.341	36.01	34.74	6.66 ^{ab}	6.05	79.49 ^{abc}	74.55	5.75	4.31
	70	0.354 ^b	0.361	33.80	31.92	6.24 ^b	5.76	76.53 ^c	71.79	5.16	4.61
	140	0.369 ^a	0.372	35.36	33.23	6.77 ^{ab}	5.81	80.52 ^{ab}	72.71	5.67	4.65
SEM		0.001	0.001	0.54	0.53	0.06	0.07	0.46	0.49	0.07	0.05
来源 Source	硫酸锌 ZnSO ₄	0.342	0.347 ⁿ	36.65	32.95	6.76	5.98	80.52	74.02	5.28	4.53
	蛋氨酸锌 Zinc methionine	0.358	0.358 ^m	35.06	33.24	6.57	5.88	78.85	73.09	5.47	4.53
水平 Level/(mg/kg)	35	0.347	0.337 ^z	36.32	33.72	6.72	6.07	80.14	74.75	5.52	4.45
	70	0.350	0.353 ^y	35.40	33.04	6.71	5.94	79.46	73.27	5.15	4.54
	140	0.354	0.368 ^x	35.85	32.55	6.57	5.74	79.46	72.50	5.47	4.59
SEM		0.002	0.001	0.65	0.57	0.07	0.08	0.50	0.60	0.08	0.06
P 值 P-value	来源 Source	<0.01	<0.01	0.223	0.779	0.151	0.556	0.096	0.429	0.186	0.961
	水平 Level	0.301	<0.01	0.849	0.685	0.484	0.238	0.815	0.292	0.121	0.633
	来源 × 水平 Source × level	0.016	0.088	0.675	0.263	0.001	0.457	0.006	0.518	0.198	0.281

表 4 不同来源和添加水平的锌对蛋鸡抗氧化指标的影响(59~64 周龄)

Table 4 Effects of sources and different supplemental levels of Zn on antioxidant indices of laying hens(59 to 64 weeks of age)

项目 Items	水平 Level/ (mg/kg)	总超氧化物歧化酶 T-SOD				铜锌超氧化物歧化酶 Cu,Zn-SOD				丙二醛 MDA				总抗氧化能力 T-AOC				抗超氧阴离子能力 抗 O ²⁻ 能力			
		血浆 Plasma/(U/mL)		肝脏 Liver/ (U/mg prot)		血浆 Plasma/(U/mL)		肝脏 Liver/ (U/mg prot)		血浆 Plasma/(U/mL)		肝脏 Liver/ (U/mg prot)		血浆 Plasma/(U/mL)		肝脏 Liver/ (U/mg prot)		血浆 Plasma/(U/mL)		肝脏 Liver/ (U/mg prot)	
		第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6	第 3 周 Week 3	第 6 周 Week 6
硫酸锌 ZnSO ₄	0	216.13 ^d	184.75 ^d	34.27 ^c	36.99 ^c	60.63 ^c	87.63 ^b	7.03 ^{ab}	1.00	5.21 ^c	3.77 ^c	2.48 ^b	201.90 ^c	284.47 ^b	7.21 ^{ab}						
	35	224.78 ^d	187.60 ^d	34.78 ^{bc}	40.11 ^{bc}	72.02 ^{ab}	80.63 ^c	7.85 ^a	1.07	6.67 ^d	5.28 ^c	2.42 ^b	220.58 ^c	279.12 ^{bc}	6.33 ^{bc}						
	70	264.61 ^b	215.88 ^{ab}	39.07 ^a	44.48 ^a	68.51 ^b	82.42 ^{bc}	5.06 ^b	1.10	7.23 ^d	4.44 ^d	2.78 ^a	289.89 ^a	321.63 ^a	7.40 ^{ab}						
	140	290.23 ^a	190.32 ^d	37.79 ^{ab}	40.98 ^{ab}	61.23 ^c	97.19 ^a	2.38	1.08	9.41 ^c	5.99 ^b	2.34 ^{bc}	217.35 ^c	228.68 ^d	4.91 ^d						
蛋氨酸 Zinc	35	259.07 ^{bc}	195.78 ^{cd}	38.58 ^a	43.08 ^{ab}	61.23 ^c	87.20 ^b	6.07 ^{ab}	1.09	11.98 ^a	4.80 ^d	2.15 ^c	296.83 ^a	281.45 ^{bc}	7.77 ^a						
	70	242.32 ^c	205.71 ^{bc}	40.49 ^a	44.19 ^a	75.49 ^a	80.29 ^c	7.88 ^a	0.67	10.89 ^b	5.86 ^b	2.17 ^c	296.97 ^a	271.95 ^{bc}	5.41 ^{cd}						
	140	247.64 ^{bc}	220.61 ^a	32.26 ^c	37.35 ^c	65.20 ^{bc}	82.24 ^{bc}	7.37 ^{ab}	0.65	11.29 ^{ab}	7.71 ^a	2.12 ^c	257.35 ^b	245.18 ^{cd}	5.17 ^d						
SEM		2.11	1.66	0.37	0.41	0.62	0.66	0.28	0.05	0.08	0.06	0.03	3.34	4.33	0.16						
来源 Source		259.87	197.04	37.12	41.86	67.25	86.75	6.63	1.09 ^m	7.77	5.31	2.51	242.61	274.22	6.43						
		249.67	206.89	36.94	41.55	67.30	85.66	7.14	0.82 ⁿ	11.39	6.15	2.15	283.71	266.65	6.37						
		241.92	191.69	36.68	41.60	66.62	87.55	7.11	1.09	9.32	5.04	2.29	258.70	280.29	7.10						
		253.46	210.79	39.78	44.34	72.00	81.37	6.83	0.67	9.06	5.15	2.49	293.43	296.80	6.57						
		268.93	205.47	35.03	39.17	63.21	89.72	6.76	0.65	10.35	6.85	2.23	237.35	236.93	5.14						
SEM		2.54	1.91	0.45	0.50	0.72	0.74	0.33	0.05	0.10	0.07	0.03	14.48	5.06	0.19						
P 值 P-value		0.054	0.018	0.910	0.752	0.972	0.470	0.682	0.011	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.316						
来源 Source		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.051	0.198	<0.01	<0.01	0.010	<0.01	<0.01	<0.01						
水平 Level		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.589	0.160	<0.01	<0.01	0.040	0.007	0.034	0.002						
来源 × 水平 Source × level		<0.01	<0.01	<0.01	0.030	<0.01	<0.01	0.017	0.160	<0.01	<0.01	0.040	0.007	0.034	0.002						

在 T-AOC 方面,锌源和锌添加水平存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。饲喂 3 周, 35、140 mg/kg 蛋氨酸锌组的血浆 T-AOC 显著的高于其他组 ($P < 0.05$); 饲喂 6 周, 140 mg/kg 蛋氨酸锌组血浆 T-AOC 显著高于其他组 ($P < 0.05$); 70 mg/kg 硫酸锌组的肝脏 T-AOC 显著高于其他组 ($P < 0.05$), 同时添加硫酸锌的肝脏 T-AOC 显著高于蛋氨酸锌 ($P < 0.05$)。

在血浆抗 O_2^- 能力方面, 锌源和锌添加水平存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。饲喂 3 周, 血浆抗 O_2^- 能力以 70 mg/kg 蛋氨酸锌组的最高, 与 70 mg/kg 硫酸锌组和 35 mg/kg 蛋氨酸锌组的差异不显著 ($P > 0.05$), 而显著高于其他组 ($P < 0.05$); 饲喂 6 周, 血浆抗 O_2^- 能力以 70 mg/kg 硫酸锌组的最高, 显著高于其他组 ($P < 0.05$); 肝脏抗 O_2^- 能力以 35 mg/kg 蛋氨酸锌组的最高, 与 70 mg/kg 硫酸锌组和对照组差异不显著 ($P > 0.05$), 而显著高于其他组 ($P < 0.05$)。综上, 70 mg/kg 硫酸锌组和 35 mg/kg 蛋氨酸锌组抗 O_2^- 能力较高。

3 讨论

3.1 硫酸锌和蛋氨酸锌对蛋鸡产蛋后期生产性能的影响

本试验结果表明, 除平均蛋重外, 锌源和锌添加水平对蛋鸡生产性能无显著影响。本试验中, 锌添加水平为 70 mg/kg 时平均蛋重显著下降, 这与张军霞等^[7]报道相近, 其研究指出饲料中添加 60 或 180 mg/kg 硫酸锌的平均蛋重显著降低。而饲喂 53 周龄的罗曼褐壳产蛋鸡, 饲料锌添加水平为 40、80、120 mg/kg 无机锌和 120 mg/kg 有机锌对蛋鸡的生产性能并无显著影响^[5]; 添加 100 mg/kg 蛋氨酸锌对换羽后蛋鸡生产性能亦无改善作用^[8]; 添加 40 mg/kg 蛋氨酸锌使 57 周龄的海蓝褐产蛋鸡获得最佳生产性能^[9]。可见, 高锌对蛋鸡生产性能并无显著改善作用, 甚至会在一定程度上降低平均蛋重, 这可能是因为在体内锌水平过高而其他微量元素并未增加时, 锌与饲料中的其他微量元素产生拮抗作用而抑制了体内营养的吸收, 影响蛋重; 或者可能是高锌引起了细胞损伤, 从而影响蛋重。由此可见, 饲料中添加高水平锌对蛋鸡产蛋后期生产性能并无改善作用。

3.2 硫酸锌和蛋氨酸锌对鸡蛋品质的影响

蛋品质是生产者 and 消费者共同关注的重要指标, 主要包括蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位等。本试验结果表明, 蛋壳厚度受锌源及锌添加水平的影响显著, 其中以 140 mg/kg 蛋氨酸锌组蛋壳最厚。锌是碳酸酐酶 (CA) 的重要组成部分, 高水平锌可更好的促进 CA 合成, 增加蛋壳腺内 HCO_3^- 的浓度, 促进碳酸钙的沉积, 蛋壳变厚。与硫酸锌相比, 蛋氨酸锌生物利用率高, 可保证夜间消化道持续释放钙, 碳酸钙沉积增多, 蛋壳更厚。Zamani 等^[10] 研究报道, 在基础饲料 (锌 50 mg/kg) 中添加水平为 50、100、150 mg/kg 锌可显著提高蛋壳厚度, 且添加水平为 150 mg/kg 的蛋壳最厚, 与本试验结果一致。

Mabe 等^[4] 研究表明, 饲料锌添加水平为 30 或 60 mg/kg 可在一定程度上提高蛋鸡后期 (62 ~ 70 周龄) 蛋壳强度, 但二者差异不显著, 而锌源对蛋壳强度也无显著影响, 与本试验结果一致。而有研究表明, 饲料中添加 100 mg/kg 蛋氨酸锌并不能提高蛋壳强度、蛋白高度和哈夫单位^[8], 为提高蛋鸡产蛋后期蛋壳强度和减少其他负面影响, 饲料中最适宜的有机酸锌的添加量为 20 mg/kg^[11]。饲料中缺锌时, 蛋壳强度明显降低; 但随着锌添加水平的提高, 蛋壳强度并不能持续增强。在本试验条件下, 70 mg/kg 硫酸锌组达到最佳蛋壳强度, 这可能是由于锌通过调节蛋壳腺内碱性磷酸酶的活性, 使蛋壳腺内某些磷酸化的基质蛋白表达, 从而影响蛋壳强度。研究发现蛋壳厚度和蛋壳强度之间并无直接关系, 蛋壳厚度在提高蛋壳强度方面仅发挥小部分作用, 而基质薄膜和蛋壳超微结构在提高蛋壳强度方面具有重要作用^[12]。本试验中, 在锌添加水平为 140 mg/kg 时蛋壳最厚, 而在锌添加水平为 70 mg/kg 时蛋壳强度最强, 与前人研究结果一致。

哈夫单位是衡量鸡蛋蛋白质量及新鲜程度的综合指标。3 周时, 鸡蛋哈夫单位在 70 mg/kg 硫酸锌组达到最大值。研究表明, 饲料添加 30 mg/kg 硫酸锌可显著提高鸡蛋哈夫单位^[1]。添加 60 mg/kg 氨基酸锌和硫酸锌对 60 周龄鸡蛋哈夫单位没有显著影响, 但添加 60 mg/kg 氨基酸锌时可显著提高放置 5 d 后鸡蛋的哈夫单位^[13]。锌参与体内 300 多种酶的形成, 如羧酸酶、氨基酰转移酶等, 可促进体内蛋白质的合成转运, 使鸡蛋的

蛋白含量和蛋白浓稠度增加,从而改善哈夫单位。由于锌在体内的转运平衡是一个动态的过程,锌过高会引起机体中毒,因而锌剂量增加没有对哈夫单位产生显著影响。

本试验中,随着蛋鸡周龄的增加,蛋品质有所下降。6周时,鸡蛋的蛋白高度、哈夫单位、蛋壳强度比3周时低,但各处理之间无显著差异。这可能是由于锌的添加不足以抵抗蛋鸡周龄增加导致的蛋品质下降。

3.3 硫酸锌和蛋氨酸锌对蛋鸡抗氧化性能的影响

T-SOD 活性是衡量机体抗氧化性能的重要指标。锌是 Cu, Zn-SOD 的重要组成部分, Cu, Zn-SOD 不仅在机体抗氧化系统中发挥重要作用,而且对维持锌的稳态具有一定的调节作用^[14]。锌还可促进金属硫蛋白(MT)的生成,清除体内自由基,抑制机体脂质过氧化反应,减少体内 MDA 的生成,从而提高机体的抗氧化能力。 O_2^- 是体内自由基的一种,抗 O_2^- 能力可直接反映机体抵抗自由基的能力。试验结果表明,饲料中添加锌可以提高血浆和肝脏内 T-SOD 活性、Cu, Zn-SOD 活性、T-AOC 和抗 O_2^- 能力,降低血浆 MDA 含量,并且蛋氨酸锌的作用效果较硫酸锌明显;单因素方差分析表明,70 mg/kg 硫酸锌组效果最好。前人研究发现,饲料中氨基酸锌添加水平为 60 mg/kg 时可显著提高 45、60 周龄蛋鸡肝脏 T-SOD 活性和 T-AOC 含量,显著降低 MDA 含量,而硫酸锌添加水平为 60 mg/kg 时则没有上述现象^[15]。饲喂 60 周龄的白来航产蛋鸡,饲料中添加 50 mg/kg ZnO 或 10 mg/kg 氨基酸锌可显著降低血浆 MDA 含量,且氨基酸锌的效果更明显^[5]。

随着蛋鸡周龄的增加,机体抗氧化能力下降。而相同周龄情况下,随着锌水平的提高,机体的抗氧化能力提高;而超过一定的剂量,抗氧化能力不再提高,甚至会降低。这可能是由于体内高剂量的锌,加速诱导细胞凋亡^[16];或是高锌对铁有较强的拮抗作用,影响铁离子正常功能发挥,而降低机体性能。在本试验中,随着饲喂时间的延长,锌在机体内贮存,饲喂 6 周后,稍低剂量的锌即可显著提高机体抗氧化性能,如饲喂 3 周的蛋鸡血浆 T-SOD 活性以 140 mg/kg 硫酸锌组最高,而饲喂 6 周后,血浆和肝脏 T-SOD 活性以 70 mg/kg 硫酸锌组最高。体内锌离子的增加,可提高细胞基质 Cu,

Zn-SOD 活性,但由于铜离子的限制, Cu, Zn-SOD 活性不能随着锌水平增加而持续升高。因产蛋后期,蛋鸡机体本身旺盛的脂质代谢使蛋鸡体内脂肪积累,容易导致脂肪肝,并且不同部位有些酶的活性不同,因而某些指标在蛋鸡肝脏和血浆内的变化有所不同,如本试验饲喂 3 和 6 周血浆的 T-AOC 都以 140 mg/kg 蛋氨酸锌组时最高,蛋氨酸锌组显著高于硫酸锌组,而肝脏内则以 70 mg/kg 硫酸锌组最高,且硫酸锌组高于蛋氨酸锌组。总体而言,锌可提高机体抗氧化能力,但是在血浆和肝脏产生效果的不同。推测由于肝脏是机体内参与生物转化过程的主要器官,血浆则是运输体内营养物质到各部位发挥作用的载体,二者作用重点不同。也可能是由于锌在血浆和肝脏内的含量不同,血浆酶活性较高时,肝脏由于锌积累过多而酶活性降低;而肝脏内酶活较高时,血浆由于锌不足而酶活性较低。还可能是来源产生的差异,可能是经过长时间饲喂后,同一添加水平的锌,硫酸锌在机体内的消化吸收,刚好达到最佳状态,而蛋氨酸锌在体内沉积过多而影响其他元素的吸收利用或诱导细胞损伤,影响机体的抗氧化状态,且研究表明,较低水平的有机微量元素(铜、锌、锰)代替高水平的无机微量元素,可显著提高血浆 T-SOD 活性,降低 MDA 含量,但不影响肝脏 T-SOD 活性和 MDA 含量^[17]。综上,70 mg/kg 硫酸锌组蛋鸡机体具有最好的抗氧化性能。

4 结论

① 锌源未显著影响产蛋后期蛋鸡的生产性能,锌添加水平为 70 mg/kg 时显著降低鸡蛋平均蛋重;硫酸锌和蛋氨酸锌可显著提高产蛋后期蛋鸡的蛋品质和机体的抗氧化性能。

② 本试验条件下,产蛋后期海兰灰蛋鸡饲料中使用硫酸锌且锌添加水平为 70 mg/kg 时效果最佳。

参考文献:

- [1] SAHIN N, ONDERCI M, SAHIN K. Effects of dietary chromium and zinc on egg production, egg quality, and some blood metabolites of laying hens reared under low ambient temperature[J]. *Biological Trace Element Research*, 2002, 85(1): 47-58.
- [2] IDOWU O, AJUWON R, OSO A, et al. Effects of

- zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens[J]. *International Journal of Poultry Science*, 2011, 10(3):225-230.
- [3] BULBUL A, BULBUL T, KUCUKERSAN S, et al. Effects of dietary supplementation of organic and inorganic Zn, Cu and Mn on oxidant/antioxidant balance in laying hens [J]. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2008, 14:19-24.
- [4] AKSU D S, AKSU T, ÖZSOY B, et al. The effects of replacing inorganic with a lower level of organically complexed minerals (Cu, Zn and Mn) in broiler diets on lipid peroxidation and antioxidant defense systems [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2010, 23(8):1066-1072.
- [5] NIYOMDECHA A, RUANGPANIT Y, ATTAMANGKUNE S, et al. Effect of organic zinc supplementation on yolk zinc content and laying hen performance [C] // *Proceedings of the 46th Kasetsart University Annual Conference. Kasetsart: Animals & Veterinary Medicine*, 2008:56-63.
- [6] MABE I, RAPP C, BAIN M M, et al. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens [J]. *Poultry Science*, 2003, 82(12):1903-1913.
- [7] 张军霞, 李发弟, 郝正里, 等. 饲料锌添加水平对蛋鸡生产性能和蛋锌含量的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2005, 39(6):692-695.
- [8] LIM H S, PAIK I K. Effects of supplementary mineral methionine chelates (Zn, Cu, Mn) on the performance and eggshell quality of laying hens [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2003, 16(12):1804-1808.
- [9] 许甲平, 鲍宏云, 冯一凡. 蛋氨酸锌对产蛋鸡产蛋性能和特异性免疫功能的影响 [J]. *饲料工业*, 2012, 33(20):58-61.
- [10] ZAMANI A, RAHMANI H, POURREZA J. Eggshell quality is improved by excessive dietary zinc and manganese [C] // *Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition. Balatonfüred, Hungary*, 2005:542-544.
- [11] SWIATKIEWICZ S. Effect of zinc and manganese level and source in the diet for laying hens on eggshell and bone quality and excretion of Zn and Mn [J]. *Roczniki Naukowe Zootechniki. RozPrawy Habilitacyjne*, 2005(22):53-62.
- [12] SOLOMON S E. The eggshell; strength, structure and function [J]. *British Poultry Science*, 2010, 51(Suppl. 1):52-59.
- [13] 成廷水, 冯于明. 氨基酸锌对产蛋鸡性能及免疫反应的影响 [J]. *饲料研究*, 2004(4):1-5.
- [14] WEI J P J, SRINIVASAN C, HAN H, et al. Evidence for a novel role of copper-zinc superoxide dismutase in zinc metabolism [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2001, 276:44798-44803.
- [15] 成廷水, 冯于明, 袁建敏. 日粮中添加氨基酸络合锌、铜、锰对蛋鸡产蛋性能、免疫及组织抗氧化机能的影响 [J]. *中国家禽*, 2004, 26(19):15-18.
- [16] WEISSGARTEN J, BERMAN S, MODAI D, et al. Zn²⁺ metabolism affects apoptosis rate and proliferative responsiveness of PBMC from patients on chronic hemodialysis [J]. *Metabolism*, 2002, 51(11):1392-1396.
- [17] AKSU D S, AKSU T, ÖZSOY B. The effects of lower supplementation levels of organically complexed minerals (zinc, copper and manganese) versus inorganic forms on hematological and biochemical parameters in broilers [J]. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2010, 16(4):553-559.

Effects of ZnSO₄ and Zinc Methionine on Performance, Egg Quality and Antioxidant Ability of Laying Hens in Late Laying Period

ZHANG Yanan QI Xiaolong WU Shugeng* ZHANG Haijun YUE Hongyuan
WANG Jing QI Guanghai*

(Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of different levels and sources of Zn on performance, egg quality and antioxidant ability of laying hens in late laying period. Five hundred and four 54-week-old healthy Hy-Line laying hens with the same laying rate and similar weight were randomly divided into 7 groups with 6 replicates per group and 12 hens per replicate. The pre-trial period lasted for 4 weeks and trial period lasted for 6 weeks. The laying hens were fed a Zn deficiency basal diet with Zn level at 29.07 mg/kg for pre-trial period. In trial period, the laying hens were randomly allocated into one of the 7 dietary treatments: basal diet (as control) and trial diets supplemented with ZnSO₄ and Zinc methionine (the basal diet supplemented levels of Zn were 35, 70, 140 mg/kg). The results showed as follows: 1) the Zn sources did not significantly affect the laying rate, average daily feed intake and the ratio of feed to egg ($P > 0.05$), but the Zn levels were significantly affect the average egg weight ($P < 0.05$), and the average egg weight of 35 mg/kg Zn group was significantly higher than that of 70, 140 mg/kg Zn groups ($P < 0.05$); 2) the egg-shell thickness was significantly affected by the different levels and sources of Zn, and the best group was 140 mg/kg Zinc methionine group; the album height and Haugh unit were significantly improved compared with control group after 3 weeks experiment ($P < 0.05$), but there were no significant difference after 6 weeks experiment ($P > 0.05$); the Zn sources had no effects on eggshell strength and egg yolk color ($P > 0.05$); the ANOVA showed that the best group of egg quality was 70 mg/kg ZnSO₄ group; 3) the activities of total superoxide dismutase (T-SOD) and Cu/Zn-superoxide dismutase (Cu, Zn-SOD), total antioxidant capacity (T-AOC) and the ability of inhibiting superoxide anion both in serum and liver were significantly increased by different sources and different levels of Zn ($P < 0.05$), and the best group was 70 mg/kg ZnSO₄ group. In conclusion, the Zn sources do not significantly affect performance, but can improve egg quality and antioxidant capacity of laying hens in some content. The best supplemental level and source of Zn are 70 mg/kg and ZnSO₄ in the present study. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(12):2873-2882]

Key words: Zn; laying hens; performance; egg quality; antioxidant

* Corresponding author, WU Shugeng, associate professor, E-mail: wushugeng@mail.caas.net.cn; QI Guanghai, professor, E-mail: guanghai_qi@163.com