

饲料铅污染对蛋鸡生产性能、蛋品质以及抗氧化性能的影响

朱莎¹ 张爱婷¹ 代腊¹ 顾林英² 朱巧明² 邹晓庭^{1*}

(1. 浙江大学饲料科学研究所, 动物分子营养学教育部重点实验室, 杭州 310058;

2. 浙江欣欣饲料股份有限公司, 嘉兴 314005)

摘要: 本试验旨在研究不同剂量铅对蛋鸡生产性能、蛋品质以及血清、肝脏和肾脏中与抗氧化性能相关指标的影响。选用40周龄生产性能相近的海兰褐蛋鸡576羽, 随机分为4组: 对照组、试验1组(T₁组)、试验2组(T₂组)、试验3组(T₃组), 每组4个重复, 每个重复36羽。对照组饲喂基础饲料, T₁、T₂、T₃组分别饲喂在基础饲料中添加15、30、60 mg/kg 铅的试验饲料。试验期8周。结果表明: 1) 各组间产蛋率和料蛋比均无显著差异($P > 0.05$), 1~8周T₃组平均蛋重显著低于对照组($P < 0.05$), 1~8周T₁、T₂、T₃组平均日采食量分别较对照组降低了3.72% ($P < 0.05$)、1.93% ($P > 0.05$)、3.63% ($P < 0.05$)。2) 与对照组相比, 试验组蛋白高度和哈夫单位均有降低趋势, 除T₃组蛋白高度($P < 0.05$)外均差异不显著($P > 0.05$); T₃组蛋壳强度和蛋壳厚度最低, 第4周和第8周时T₃组蛋壳强度分别比对照组降低了21.89%、16.84% ($P < 0.05$); 蛋壳厚度的变化趋势与蛋壳强度一致, 均随着铅添加量的增加而降低, 呈现一定的剂量-效应关系。3) 与对照组相比, 各试验组血清、肝脏和肾脏中谷胱甘肽过氧化物酶活性均显著降低($P < 0.05$); 丙二醛(MDA)含量均在一定程度上升高, T₃组血清和肝脏中MDA含量均较对照组显著上升($P < 0.05$), 各试验组肾脏中MDA含量均显著高于对照组($P < 0.05$); 血清、肝脏和肾脏中还原型谷胱甘肽含量和总抗氧化能力以及总超氧化物歧化酶活性均呈现降低趋势。综上所述, 饲料中铅污染可以导致蛋品质降低, 诱导脂质过氧化作用, 降低蛋鸡抗氧化能力。

关键词: 铅; 蛋鸡; 生产性能; 蛋品质; 抗氧化性能

中图分类号: S831

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)03-0534-09

铅是一种常见的灰黑色重金属元素, 铅及其化合物侵入机体的主要途径是消化道和呼吸道, 其毒性可损害神经系统^[1]、生殖系统^[2]以及肝脏、肾脏^[3]等器官, 且铅易在动物体内富集, 最终可能通过食物链进入人体, 威胁人类健康。国际癌症研究署(IARC)将铅及其化合物划分为2B族致癌物, 其毒性已引起人们的普遍重视。有研究者提出, 体内不存在任何铅的安全阈值^[4]。国内外已有多起铅中毒的报道, 儿童因铅中毒导致的智力下降也成为社会广泛关注的问题之一。近几十年

来科研工作者在职业性铅暴露人群和鼠类等动物模型上对铅中毒进行了大量的研究, 目前认为铅诱导自由基的过量产生而导致氧化应激是铅毒性作用的主要机制之一^[5-8]。在畜禽生产中, 铅污染还未受到重视, 然而未引起中毒症状剂量的铅可能会降低畜禽的生产性能、免疫能力以及肉蛋品质等, 而且也最终会通过食物链进入人体, 对人体产生不良影响。

常见的矿物质添加剂硫酸锰和硫酸亚铁等是饲料中铅的主要来源, 还有一部分来自含铅量高

收稿日期: 2011-09-26

基金项目: 国家蛋鸡产业技术体系建设专项资金(nycytx-41-g16)

作者简介: 朱莎(1988—), 女, 湖北鄂州人, 硕士研究生, 从事蛋鸡饲料安全研究。E-mail: apple.zhusha@163.com

* 通讯作者: 邹晓庭, 教授, 博士生导师, E-mail: xtzou@zju.edu.cn

的饲料原料或牧草。我国饲料卫生标准(GB 13078—91)规定猪、鸡等配合饲料中铅的含量不得超过 5 mg/kg,但由于原料购入把关不严以及检测手段跟不上,采用铅含量较高的饲料原料或预混料配制全价饲料,全价饲料中的铅含量就会大大高于国家标准。为此,本试验以蛋鸡为研究对象,通过模拟实际生产中可能存在于饲料中的铅的含量,人为地在饲料中添加 15、30 和 60 mg/kg 铅,研究慢性铅暴露对产蛋高峰期蛋鸡生产性能、蛋品质以及与抗氧化相关指标的影响,并初步探讨其作用机制,以进一步认识铅污染的饲料对蛋鸡的毒害作用,为研究铅致毒机理以及后期防治蛋鸡铅中毒提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试剂

试验用硝酸铅[$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$]购自上海吉沪化工有限公司,分析纯,硝酸铅含量大于 99%。

1.2 试验动物与饲料

试验选用 40 周龄生产性能相近的海兰褐蛋鸡 576 羽,采用单因子试验设计,将试验鸡随机分为 4 组:对照组、试验 1 组(T_1 组)、试验 2 组(T_2 组)、试验 3 组(T_3 组),每组 4 个重复,每个重复 36 羽。预试期 1 周,正试期 8 周。对照组饲喂基础饲料,基础饲料中铅的含量为 3.57 mg/kg, T_1 、 T_2 、 T_3 组分别饲喂在基础饲料中添加 15、30、60 mg/kg 铅的试验饲料。

基础饲料参照 NRC(1994) 蛋鸡营养需要量配制,基础饲料组成及营养水平见表 1。

1.3 饲养管理

饲养试验在浙江省嘉兴市桐乡龙翔蛋鸡养殖场进行。3 层全阶梯笼养(每个笼内 3 只鸡),采用人工光照与自然光照相结合的方法,每天光照 16 h,采用机械通风与自然通风相结合,从而保证鸡舍内空气流通良好。蛋鸡自由饮水、采食,按常规免疫程序对其进行接种,定期对鸡舍消毒。

1.4 指标测定与方 法

1.4.1 生产性能测定

试验期间,每天以重复为单位记录产蛋数和总蛋重,每周以重复为单位统计总采食量,计算产蛋率、平均蛋重、平均日采食量及料蛋比。

1.4.2 蛋品质测定

在试验中期(第 4 周末)和试验结束(第 8 周

末)时,每组采集鸡蛋 16 枚(各重复 4 枚),用于测定蛋白高度、哈夫单位、蛋黄颜色、蛋壳厚度和蛋壳强度,以上指标均采用日本产 DET6000 蛋品质仪测定。

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	65.75
豆粕 Soybean meal	20.89
鱼粉 Fish meal	2.70
磷酸氢钙 CaHPO_4	0.72
石粉 Limestone	8.66
食盐 NaCl	0.30
预混料 Premix ¹⁾	0.50
蛋氨酸 Met	0.14
沸石粉 Zeolite powder	0.34
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.26
粗蛋白质 CP	15.99
赖氨酸 Lys	0.83
蛋氨酸 Met	0.41
蛋氨酸 + 半胱氨酸 Met + Cys	0.65
有效磷 AP	0.36
钙 Ca	3.50

¹⁾ 预混料为每千克全价料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 7 000 IU, VD₃ 2 500 IU, VE 30 mg, VK₃ 1 mg, VB₁ 1.5 mg, VB₂ 4 mg, VB₆ 2 mg, VB₁₂ 0.02 mg, 烟酸 niacin 30 mg, 叶酸 folic acid 0.55 mg, 泛酸 pantothenic acid 10 mg, 生物素 biotin 0.16 mg, 氯化胆碱 choline chloride 400 mg, Cu 20 mg, Fe 70 mg, Mn 100 mg, Zn 70 mg, I 0.4 mg, Se 0.5 mg。

²⁾ 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4.3 血清和肝肾抗氧化指标测定

饲养试验结束时,从每个重复随机选取 3 只蛋鸡,每组 12 只,禁食 24 h 后采血,并摘取肝脏和肾脏,制备血清以及肝脏、肾脏组织匀浆,备检与抗氧化性能相关的指标。

血清、肝脏和肾脏中总抗氧化能力(T-AOC)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性、丙二醛(MDA)含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、还原型谷胱甘肽(GSH)含量均由购自南京建成生物工

程研究所的试剂盒测定,试剂的配制和操作步骤均按说明书进行。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS(17.0 版)进行单因子方差分析,均以“平均值±标准误”表示,各组间的平均值比较采用 Duncan 氏法多重比较进行差异显著性检验。以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的标准。

2 结果

2.1 铅对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知,在 8 周的试验期内,与对照组相比,各试验组产蛋率和料蛋比均无显著差异($P >$

0.05)。

1~8 周各试验组平均蛋重在数值上均低于对照组,但仅 T_3 组与对照组差异显著($P < 0.05$),3 个试验组间差异不显著($P > 0.05$)。

除了 1~4 周 T_2 组外,其余时间段内各试验组的平均日采食量在数值上均低于对照组,其中 5~8 周 T_2 组下降程度最大,降低了 11.83% ($P < 0.05$),1~8 周 T_1 、 T_2 、 T_3 组平均日采食量与对照组相比分别降低了 3.72% ($P < 0.05$)、1.93% ($P > 0.05$)、3.63% ($P < 0.05$),3 个试验组间无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 饲料中铅含量对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of dietary lead level on performance of laying hens

项目 Items	时间 Time/week	铅添加量 Lead supplemental levels/(mg/kg)			
		0	15	30	60
产蛋率 Laying rate/%	1~4	95.93 ± 2.68	94.74 ± 0.98	96.92 ± 1.09	96.08 ± 1.16
	5~8	95.90 ± 1.17	91.80 ± 2.26	95.63 ± 1.59	95.90 ± 1.91
	1~8	95.92 ± 1.87	93.48 ± 0.69	96.37 ± 0.73	96.00 ± 1.28
平均蛋重 Average egg weight/g	1~4	61.37 ± 0.50	60.59 ± 1.16	61.05 ± 0.50	60.35 ± 0.66
	5~8	60.29 ± 0.51	60.45 ± 0.17	60.02 ± 0.55	59.49 ± 1.54
	1~8	60.91 ± 0.39 ^a	60.53 ± 0.72 ^{ab}	60.61 ± 0.42 ^{ab}	59.98 ± 0.33 ^b
平均日采食量 Average daily feed intake/g	1~4	117.08 ± 4.73 ^a	112.05 ± 3.03 ^b	118.07 ± 3.20 ^a	115.61 ± 2.88 ^{ab}
	5~8	114.41 ± 4.08 ^a	111.06 ± 3.43 ^a	100.87 ± 10.37 ^b	106.56 ± 4.69 ^{ab}
	1~8	115.94 ± 2.48 ^a	111.63 ± 1.45 ^b	113.70 ± 3.10 ^{ab}	111.73 ± 2.78 ^b
料蛋比 Feed-egg ratio	1~4	1.99 ± 0.11	1.95 ± 0.09	2.00 ± 0.08	2.00 ± 0.09
	5~8	2.00 ± 0.08	1.98 ± 0.05	1.88 ± 0.17	1.87 ± 0.11
	1~8	1.99 ± 0.04	1.97 ± 0.06	1.95 ± 0.04	1.96 ± 0.07

同行数据肩注字母不同表示差异显著($P < 0.05$),无肩注或肩注有相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下表同。

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

2.2 铅对蛋品质的影响

由表 3 可以看出,除了第 4 周时 T_1 组蛋黄颜色高于对照组($P > 0.05$)以及 T_3 组蛋白高度较对照组降低了 23.89% ($P < 0.05$)外,其余试验组蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位均随着饲料中铅含量的增加有降低趋势,但均差异不显著($P > 0.05$)。

饲料中铅含量主要对蛋壳强度和蛋壳厚度有影响。第 4 周和第 8 周时的蛋壳强度均随着铅添加量的增加有降低趋势,蛋壳强度最小的 T_3 组第 4 周和第 8 周时分别比对照组降低了 21.89%、16.84% ($P < 0.05$), T_2 组第 4 周时蛋壳强度比对照组降低了 15.31% ($P < 0.05$),其余试验组与对

照组差异不显著($P > 0.05$)。蛋壳厚度的变化趋势与蛋壳强度类似,与对照组相比,第 4 周时 T_1 、 T_2 、 T_3 组分别降低了 9.23%、9.98%、19.20% ($P < 0.05$),第 8 周时分别降低了 4.42%、8.44%、9.50% ($P < 0.05$),呈现出明显的剂量-效应关系。

2.3 铅对蛋鸡血清和肝肾抗氧化指标的影响

由表 4 可以看出,3 个试验组血清中 T-AOC 和 T-SOD 活性均在一定程度上低于对照组,但差异不显著($P > 0.05$)。对照组血清中 GSH-Px 活性为 2 848.66 $\mu\text{mol/L}$,比 T_1 、 T_2 、 T_3 组分别高出 18.03%、27.08%、31.31% ($P < 0.05$); T_2 组 GSH 含量最低,较对照组和 T_1 组分别降低了 41.39%、

29.66% ($P < 0.05$)。T₁、T₂、T₃ 组 MDA 含量均在一定程度上高于对照组,其中 T₃ 组含量最高,

较对照组升高了 49.22% ($P < 0.05$),3 个试验组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料中铅含量对蛋品质的影响

Table 3 Effects of dietary lead level on egg quality

项目 Items	时间 Time/week	铅添加量 Lead supplemental levels/(mg/kg)			
		0	15	30	60
蛋白高度 Albumen height/mm	4	5.86 ± 1.22 ^a	5.03 ± 1.20 ^a	5.09 ± 0.60 ^a	4.46 ± 1.02 ^b
	8	5.19 ± 1.07	4.98 ± 0.53	4.91 ± 1.11	4.39 ± 1.03
蛋黄颜色评分 Yolk color score	4	7.00 ± 0.00	7.25 ± 0.16	6.50 ± 0.53	6.38 ± 0.92
	8	6.30 ± 0.48	6.50 ± 0.53	6.40 ± 0.52	6.30 ± 0.48
哈夫单位 Haugh unit	4	73.31 ± 8.11	67.30 ± 12.11	66.73 ± 7.70	62.84 ± 10.75
	8	70.69 ± 9.00	65.46 ± 4.65	67.71 ± 11.38	62.31 ± 10.78
蛋壳强度 Eggshell strength/(kg · f)	4	4.088 ± 0.089 ^a	3.859 ± 0.165 ^{ab}	3.462 ± 0.219 ^{bc}	3.193 ± 0.120 ^c
	8	3.837 ± 0.068 ^a	3.613 ± 0.086 ^{ab}	3.405 ± 0.081 ^{ab}	3.191 ± 0.089 ^b
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	4	0.401 ± 0.007 ^a	0.364 ± 0.011 ^b	0.361 ± 0.007 ^b	0.324 ± 0.006 ^c
	8	0.379 ± 0.086 ^a	0.363 ± 0.006 ^b	0.347 ± 0.007 ^b	0.343 ± 0.010 ^b

表 4 饲料中铅含量对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of dietary lead level on antioxidant indices in serum of laying hens

项目 Items	铅添加量 Lead supplemental levels/(mg/kg)			
	0	15	30	60
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	7.91 ± 0.56	6.51 ± 0.25	6.99 ± 0.49	6.53 ± 0.70
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	200.05 ± 13.57	194.14 ± 9.98	182.97 ± 11.33	175.41 ± 10.97
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μmol/L)	2 848.66 ± 66.72 ^a	2 334.95 ± 65.46 ^b	2 077.37 ± 73.41 ^c	1 956.71 ± 52.90 ^c
还原型谷胱甘肽 GSH/(mg/mL)	3.60 ± 0.48 ^a	3.00 ± 0.43 ^a	2.11 ± 0.53 ^b	2.56 ± 0.47 ^{ab}
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	7.07 ± 0.48 ^b	9.57 ± 1.70 ^{ab}	8.42 ± 0.77 ^{ab}	10.55 ± 1.20 ^a

由表 5 可以看出,饲料中铅污染对蛋鸡肝脏和肾脏抗氧化性能的影响主要体现在其对 T-SOD 和 GSH-Px 活性以及 MDA 含量有显著影响上。尤其是最高剂量组 T₃ 组,与对照组相比,肝脏、肾脏 T-SOD 和 GSH-Px 活性均显著降低 ($P < 0.05$),MDA 含量均显著上升 ($P < 0.05$)。T₁、T₂ 组肝脏中 GSH-Px 活性较对照组分别降低了 19.09%、18.70% ($P < 0.05$),肝脏其余指标无显著差异 ($P > 0.05$)。与对照组相比,肾脏 T₁ 组 T-SOD、GSH-Px 活性均显著降低 ($P < 0.05$),T₁、T₂ 组 MDA 含量均显著上升 ($P < 0.05$)。T-AOC 和 GSH 含量均在一定程度上低于对照组,但差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 铅对蛋鸡生产性能的影响

目前的研究还未发现铅对生物体有任何的营

养生理功能^[9],而众多研究都证实了铅污染对人和动物的生长发育会产生不良影响^[10-12]。余东游^[13]在体重 33 kg 左右猪的饲料中添加 10 mg/kg 铅,猪表现出生长缓慢,采食量与日增重均显著降低。Shafiqur 等^[14]研究发现,在 2~6 周龄肉鸡的饮水中分别添加 250、400 mg/kg 醋酸铅均可显著降低肉鸡的平均采食量和日增重,但对饲料转化率无显著影响。Jeng 等^[15]研究表明,在家养蛋鸭饲料中分别添加 10、20 mg/kg 铅对蛋鸭的体重没有显著影响,也没有观察到与铅毒性有关的症状,因此认为 10 和 20 mg/kg 铅在 3 个月的试验期内对蛋鸭没有临床上的毒性效果,这与 Coburn 等^[16]在野生禽类上的报道存在一定的差异,可能是家养禽类较野生禽类可忍受更高剂量的铅。Hermayer 等^[17]报道,在蛋鸡饲料中添加 100 mg/kg 铅,56 d 的试验期结束后未发现铅对蛋鸡生产性能有显著的影响。但 Vodela 等^[18]研究发现,饮水

含铅会降低肉鸡的日采食量和日增重,削弱免疫功能。本试验中,除了1~4周T₂组平均日采食量外,T₁、T₂、T₃组平均蛋重和平均日采食量均在一定程度上低于对照组,且随着试验时间的增加,产蛋率、平均蛋重和平均日采食量还有进一步降低

的趋势,呈现一定的时间-效应与剂量-效应关系。从以上可以看出,试验结果不尽相同,可能是因为铅暴露的生物种类、暴露剂量、暴露时间及方式的不同所致。

表5 饲料中铅含量对蛋鸡肝肾抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of dietary lead level on antioxidant indices in liver and kidney of laying hens

项目 Items	铅添加量 Lead supplemental levels/(mg/kg)			
	0	15	30	60
肝脏 Liver				
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg)	4.25 ± 0.21	3.63 ± 0.31	3.60 ± 0.27	3.49 ± 0.28
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg)	183.45 ± 6.62 ^a	153.00 ± 7.46 ^a	151.45 ± 11.73 ^a	137.96 ± 10.73 ^b
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g)	120.99 ± 4.54 ^a	97.89 ± 5.52 ^b	98.36 ± 7.48 ^b	87.58 ± 5.08 ^b
还原型谷胱甘肽 GSH/(mg/g)	31.56 ± 1.55	26.81 ± 3.23	29.58 ± 3.55	22.87 ± 2.64
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	1.58 ± 0.11 ^b	1.62 ± 0.12 ^b	1.92 ± 0.11 ^{ab}	2.31 ± 0.15 ^a
肾脏 Kidney				
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg)	5.38 ± 0.26	5.03 ± 0.23	5.53 ± 0.15	4.57 ± 0.32
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg)	68.56 ± 3.53 ^a	53.61 ± 2.63 ^b	59.92 ± 2.76 ^{ab}	49.47 ± 1.88 ^b
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g)	37.50 ± 0.69 ^a	29.81 ± 1.75 ^{bc}	32.62 ± 1.86 ^{ab}	25.34 ± 0.78 ^c
还原型谷胱甘肽 GSH/(mg/g)	5.55 ± 0.38	5.06 ± 0.46	5.29 ± 0.21	5.49 ± 0.54
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	0.21 ± 0.05 ^b	0.58 ± 0.05 ^a	0.57 ± 0.06 ^a	0.72 ± 0.07 ^a

3.2 铅对蛋品质的影响

国内外关于铅对蛋品质影响的研究报道甚少。蛋品质指标,如蛋白高度、哈夫单位等是评价鸡蛋品质的重要指标,蛋白高度越高,哈夫单位越大,说明蛋白越黏稠、品质越好。本试验结果表明,随着饲料中铅添加量的增加,鸡蛋的蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位有降低的趋势,但除了第4周时T₃组蛋白高度较对照组显著降低外,其余指标均与对照组差异不显著,表明本试验所添加铅的剂量对鸡蛋的蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位未造成较大影响,可能是由于本试验所用铅的剂量还未达到使蛋品质这3项指标发生显著性降低的水平。

蛋壳质量包括蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋壳相对重等多项指标。良好的蛋壳质量有利于减少鸡蛋的破损率、提高种用蛋的孵化率。蛋壳的厚度发生微小的变化,蛋壳的破损程度便受到很大的影响。据报道,蛋壳的厚度在0.38~0.40 mm时,蛋壳的破损率一般为2%~3%,而当蛋壳的厚度在0.30~0.32 mm时,蛋壳的破损率可高达10%^[19]。一般来说,蛋壳厚度及强度直接影响鸡蛋的破损率。Nyholm^[20]研究表明,重金属铅可以

改变蛋壳的结构,干扰蛋壳钙的沉积和胚胎发育过程中钙的流动。蛋壳厚度降低是禽类受污染最重要的标志之一。赵立^[21]在研究中发现随着饲料中铅沉积时间的延长,蛋壳厚度逐渐降低,且各組间差异显著,然而蛋壳强度未发生显著变化。本试验结果发现,铅对蛋品质的影响主要体现在降低蛋壳强度和蛋壳厚度方面,二者均随着铅添加量的升高和试验时间的延长出现了较为明显的降低,T₃组的蛋壳强度显著低于对照组,T₁、T₂、T₃组的蛋壳厚度均显著低于对照组。在蛋壳强度方面的变化与赵立^[21]的研究结果不同,原因可能是蛋壳强度不仅由蛋壳厚度决定,蛋的形状、大小及蛋壳表面的状况等因素对其也有一定的影响。铅作为2价金属,与钙离子的转运机制相似,因而可通过与钙竞争直接抑制细胞对钙的主动转运,有试验报道铅中毒会引起体内钙水平降低,认为钙与铅有一定的拮抗作用^[22]。蛋壳厚度及强度与蛋壳中的钙、磷及维生素D₃等含量密切相关,钙、磷供应不足或比例失调及维生素D₃缺乏均会对蛋壳厚度及强度造成一定的影响。维生素D₃的前体是一种激素原,本身无活性,需先在肝脏中代谢成25-羟胆钙化醇,再在肾脏进一步羟基化后才

形成有活性的维生素 D₃。由于肝脏和肾脏是铅毒性作用的主要靶器官,铅可能通过对肝肾功能的损伤进而间接影响维生素 D₃ 的合成,具体的作用机制还有待进一步深入研究。

3.3 铅对蛋鸡血清和肝肾抗氧化指标的影响

T-AOC 是衡量机体抗氧化系统功能状况的综合指标。它的大小可以反映机体抗氧化酶系统 [T-SOD、GSH-Px 和过氧化氢酶 (CAT) 等] 和非酶系统 (GSH、维生素 E、半胱氨酸和葡萄糖等) 对外来刺激的代偿能力以及机体自由基代谢的状态。本研究结果显示,蛋鸡血清、肝脏和肾脏中 T-AOC 随着饲料中铅含量的增加总体呈降低趋势,但各组间均差异不显著。

T-SOD 和 GSH-Px 是体内清除氧自由基的主要抗氧化酶,前者能歧化超氧阴离子自由基 ($O_2^- \cdot$) 生成 H_2O_2 , 后者可以使有害的过氧化物还原为无害的羟基化合物,同时促进 H_2O_2 分解。GSH-Px 可以与 T-SOD 协同构成防止活性氧损伤的有效防御体系。这些酶的活性与其清除自由基的能力成正比。本试验结果表明,血清以及肝肾 T-SOD 和 GSH-Px 活性明显受饲料中铅含量的影响,这与金海丽^[23]、余东游^[13] 在猪上的试验,Shyam 等^[24] 在小鼠上的试验结果一致。铅对这些抗氧化酶的影响可能基于 2 个方面的原因,一方面 T-SOD 和 GSH-Px 都是含金属离子的蛋白酶,而铅离子 (Pb^{2+}) 可与这些酶中发挥活性作用的铜离子 (Cu^{2+})、锌离子 (Zn^{2+}) 等 2 价金属离子产生拮抗作用^[25];此外,许多研究也证实,铅易与这些抗氧化酶上的巯基 (-SH) 结合,破坏酶的空间构象^[26],进而使酶的活性降低,甚至失活。

GSH 是体内最主要的、含量最丰富的含巯基的低分子肽,一方面它可以直接清除自由基,另一方面,GSH 也是 GSH-Px 和谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 2 种酶作用的底物,为这 2 种酶分解过氧化物所必需^[27]。戴伟^[28] 研究发现,饲喂含铅 800 $\mu\text{g/g}$ 的饲料 60 d 后,罗非鱼肝脏和肾脏 GSH 含量均较对照组显著降低,Nuran 等^[29] 以及 Jeng^[30] 在小鼠上也得到了类似的结果。在本试验中,3 个试验组蛋鸡血清以及肝肾中 GSH 含量都较对照组有不同程度的降低,这与前人研究结果一致。

自由基攻击不饱和脂肪酸发生过氧化作用而形成脂质过氧化物,而 MDA 就是脂质过氧化产物

之一,其含量可以间接反映脂质过氧化损伤程度^[31]。本试验结果表明,3 个试验组蛋鸡血清及肝肾中 MDA 含量均不同程度地高于对照组,且有一定的剂量-效应关系,T₃ 组血清及肝肾中 MDA 含量均较对照组显著上升。可见,铅可以造成蛋鸡体内脂质过氧化物的过量产生,使机体受到脂质过氧化损伤。Emrah 等^[32] 在大鼠饮水中添加 2 000 mg/kg 的铅后发现其血清中 MDA 的生成量显著高于对照组,其他研究人员也有过类似的报道^[33-34]。由上可以得出,铅使氧化应激增强,致使 MDA 过量产生,进而对机体造成损害。

饲料铅污染增加了蛋鸡血清和肝肾中 MDA 含量,降低了 T-SOD、GSH-Px 等抗氧化酶的活性,二者的协同性证明了饲料铅污染造成了蛋鸡机体与肝肾组织的氧化损伤。此外,我们还发现,饲料中铅及其含量对蛋鸡肾脏抗氧化相关指标的影响高于肝脏,可导致蛋鸡较强的肾毒性,究其原因,可能是肝脏的主动调节能力和代偿能力较强,对铅毒性有较大的调节和适应能力。

4 结 论

① 饲料铅污染显著降低了蛋鸡平均日采食量,但对产蛋率和料蛋比无显著影响。

② 饲料铅污染可以使蛋白高度、哈夫单位有降低的趋势,降低蛋品质,对蛋壳强度和蛋壳厚度影响显著,且随着时间的增加,这种降低的效应会越来越明显。

③ 饲料铅污染可以使抗氧化酶,如 SOD、GSH-Px 等活性降低,诱发蛋鸡脂质过氧化,脂质过氧化产物 MDA 含量增加。

参考文献:

- [1] ADEMUYIWA O, UGBAJA R N, ABAM E, et al. Erythrocyte acetylcholinesterase activity as a surrogate indicator of lead-induced neurotoxicity in occupational lead exposure in Abeokuta, Nigeria [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2007, 24 (2): 183-188.
- [2] ROBIN G, LARRY A, ELLEN K. Lead: male-mediated effects on reproduction and development in the rat [J]. *Environmental Research*, 1999, 80 (4): 355-363.
- [3] JOHNY C P, OSCAR P M, ROLANDO H M, et al. Protective effects of spirulina maxima on hyperlipi-

- demia and oxidative-stress induced by lead acetate in the liver and kidney[J]. *Lipid in Health and Disease*, 2010, 9:35–42.
- [4] WIGLE D T, LANPHEAR B P. Human health risks from low-level environmental exposure: no apparent safety thresholds[J]. *Reproductive Toxicology*, 2007, 24(2):131–138.
- [5] LEE D H, LIM J S, SONG K, et al. Graded associations of blood lead and urinary cadmium concentrations with oxidative-stress-related markers in the US population: results from the third National Health and Nutrition Examination Survey [J]. *Environmental Health Perspective*, 2007, 114(3):350–354.
- [6] JURCZUK M, MONIUSZKO-JAKONIUK J, BRZOSKA M M. Involvement of some low-molecular thiols in the peroxidative mechanisms of lead and ethanol action on rat liver and kidney[J]. *Toxicology*, 2006, 219(1/2/3):11–21.
- [7] GURER H, ERCAL N. Can antioxidants be beneficial in the treatment of lead poisoning? [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2000, 29(10):927–945.
- [8] SIVAPRASAD R, NAGARAJ M, VARALAKSHMI P. Combined effects of lipoic and 2,3-dimercaptosuccinic acid against lead-induced lipid peroxidation in rat liver [J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2004, 15(1):18–23.
- [9] TERESA A G, LAURA C. Biochemical changes in the kidneys after perinatal intoxication with lead and/or cadmium and their antagonistic effects when coadministered[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004, 57:184–189.
- [10] 成军, 高丰, 潘耀谦, 等. 仔猪试验性铅中毒的病理学研究[J]. *中国兽医学报*, 2004, 24(4):372–375.
- [11] BAKALLI R I, PESTI G M, RAGLAND W L. The magnitude of lead toxicity in broiler chickens [J]. *Veterinary and Human Toxicology*, 1995, 37(1):15–23.
- [12] DILSHAD A K, SHAZIA Q, SHAHID S, et al. Lead exposure and its adverse health effects among occupational worker's children[J]. *Toxicology and Industrial Health*, 2010, 26(8):497–504.
- [13] 余东游. 纳米级硅酸盐结构微粒-PBAA-驱除猪饲料铅效果及其机理研究[D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [14] SHAFIQR R, JOSHI M V. Effect of lead toxicity on growth and performance of broilers [J]. *Journal of Veterinary and Animal Science*, 2009, 5(2):59–62.
- [15] JENG S L, LEE S J, LIU Y F, et al. Effects of lead ingestion on concentrations of lead in tissues and eggs of laying Tsaiya ducks in Taiwan [J]. *Poultry Science*, 1997, 76:13–16.
- [16] COBURN O R, METZLER D W, TREICHLER R. A study of absorption and retention of lead in wild waterfowl in relation to clinical evidence of lead poisoning [J]. *The Journal of Wildlife Management*, 1951, 15(2):186–192.
- [17] HERMAYER K L, STAKE P E, SHIPPE R L. Evaluation of dietary zinc, cadmium, tin, lead, bismuth and arsenic toxicity in hens [J]. *Poultry Science*, 1977, 56(5):1721–1722.
- [18] VODELA J K, RENDEN J A, LENZ S D, et al. Drinking water contaminatants (arsenic, cadmium, lead, benzene and trichloroethylene). Interaction of contaminants with nutritional status on general performance and immune function in broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 1997, 76:1474–1492.
- [19] 王修启, 郑海刚, 安汝义, 等. 影响蛋壳质量的因素及改善措施[J]. *中国家禽*, 1999, 21(7):39–41.
- [20] NYHOLM N E I. Influence of heavy metal exposure during different phase of the ontogeny on the development of pied flycatchers, *Ficedula hypoleuca*, in nature populations [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 1998, 35(4):632–637.
- [21] 赵立. 饲料中铅在鸡种蛋和胚胎中的沉积及其对鸡胚肝肾毒性机理的研究[D]. 博士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [22] 徐健, 颜崇淮, 沈晓明, 等. 铅神经发育毒理的分子机制及相关研究进展[J]. *中国公共卫生*, 2005, 21(2):231–233.
- [23] 金海丽. PBAN 吸附猪日粮中重金属铅效果的研究[D]. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [24] SHYAM S C, ANAND K. Protective effects of vitamin E against lead-induced deterioration of membrane associated type-I iodothyronine 5'-monodeiodinase (5'-D-I) activity in male mice [J]. *Toxicology*, 1997, 124(3):203–209.
- [25] ABDELRAHIM A, HUNAITI M. Effect of lead concentration on the level of glutathione, glutathione S-transferase, reductase and peroxidase in human blood [J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 248:45–50.
- [26] HUNAITI A, SOUD M, KHALIL A. Lead concentration and level of glutathione, glutathione S-transferase, reductase and per-oxidase in the blood of

- some occupational workers from Irbid city, Jordan [J]. *The Science of the Total Environment*, 1995, 170:95 – 100.
- [27] SAXENA G, PATHAK U, FLORA S J. Beneficial role of monoester of meso-2, 3-dimercaptosuccinic acid in the mobilization of lead and recovery of tissues oxidative injury in rats[J]. *Toxicology*, 2005, 214(1/2):39 – 56.
- [28] 戴伟. 饲料铅对罗非鱼的毒性及硅酸盐纳米级微球减轻其毒害影响的研究[D]. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [29] NURAN E, PIYANEE T, TERESE C, et al. *In vivo* indices of oxidative stress in lead-exposed C57BL/6 mice are reduced by treatment with meso-2, 3-dimercaptosuccinic acid or N-acetylcysteine [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1996, 21(2):157 – 161.
- [30] JENG M H. Lead toxicity as related to glutathione metabolism [J]. *The Journal of Nutrition*, 1981, 111: 26 – 33.
- [31] GARCIA-FERNANDEZ A J, BAYOUMI A E, PEREZ-PERTEJO Y, et al. Alterations of the glutathione-redox balance induced by metals in CHO-K1 cells [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology and Physiology Part C: Toxicology Pharmacology*, 2002, 132(3):365 – 373.
- [32] EMRAH C, METIN A, IHSAN H. Antioxidant effects of methionine, α -lipoic acid, N-acetylcysteine and homocysteine on lead-induced oxidative stress to erythrocytes in rats [J]. *Experimental and Toxicology Pathology*, 2008, 60(4/5):289 – 294.
- [33] NEHRU B, KANWAR S S. N-acetylcysteine exposure on lead-induced lipid peroxidative damage and oxidative defense system in brain regions of rats [J]. *Biological Trace Element Research*, 2004, 101(3):257 – 264.
- [34] JIN X, LING-JUN L, CHEN W, et al. Lead induces oxidative stress, DNA damage and alteration of *p53*, *Bax* and *Bcl-2* expressions in mice [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 48(5):1488 – 1494.

Lead Contamination in Feed Affects Performance, Egg Quality and Antioxidant Capacity of Laying Hens

ZHU Sha¹ ZHANG Aiting¹ DAI La¹ GU Linying² ZHU Qiaoming² ZOU Xiaoting^{1*}

(1. Key Laboratory for Molecular Animal Nutrition of Ministry of Education, Feed Science Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Zhejiang Xinxin Feed Co., Ltd., Jiaxing 314005, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of lead contamination in feed on performance, egg quality and antioxidant indices in serum, liver and kidney of laying hens. Five hundred and seventy-six 40-week-old Hyline laying hens with the similar performance were randomly allocated to four groups (control group, T₁ group, T₂ group and T₃ group), and every group had four replicates with 36 layers each. Lead was added to the basal diet at 0 (control), 15, 30, and 60 mg/kg, respectively. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in laying rate and feed-egg ratio among all groups ($P > 0.05$); compared with the control group, the average egg weight in T₃ group was significantly decreased ($P < 0.05$) and the average feed intake in groups T₁, T₂ and T₃ was decreased by 3.72% ($P < 0.05$), 1.93% ($P > 0.05$) and 3.63% ($P < 0.05$) from 1 to 8 weeks, respectively. 2) Lead contamination in feed decreased albumen height and Haugh unit to some extent, but there were no significant differences in them compared with the control group except for albumen height in T₃ group ($P > 0.05$). Eggshell strength and thickness in T₃ group were both the lowest in all groups. Compared with the control group, eggshell strength in T₃ group was declined by 21.89% and 16.84% at 4 and 8 weeks ($P < 0.05$). The variation trend of eggshell thickness was consistent with that of the eggshell strength, and both of them were decreased with the increase of dietary lead level, presenting a dose-effect relationship to some extent. 3) Compared with the control group, glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in serum, liver and kidney in experimental groups was significantly decreased ($P < 0.05$), and the malondialdehyde (MDA) content was increased to some extent with the increase of dietary lead level. The MDA content in serum and liver in T₃ group was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). The MDA content in kidney in experimental groups was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). There was a decreasing trend in glutathione (GSH) content and total antioxidant capacity (T-AOC), as well as superoxide dismutase (SOD) activity in serum, liver and kidney of laying hens. These results indicate that lead can reduce the egg quality, and induce the lipid peroxidation, furthermore, reduce the antioxidant capacity of laying hens. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(3):534-542]

Key words: lead; laying hens; performance; egg quality; antioxidant capacity

* Corresponding author, professor, E-mail: xtzou@zju.edu.cn