

饲料砷污染对蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化性能的影响

蒋媛婧 袁超 宋华慧 邹晓庭*

(浙江大学饲料科学研究所,农业部动物营养与饲料科学重点实验室,杭州 310058)

摘要: 本试验旨在研究饲料不同剂量的砷对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清、肝脏和肾脏中抗氧化性能相关指标的影响。选用 56 周龄生产性能相近的“京红一号”蛋鸡 320 羽,随机分为 4 组,每组 4 个重复,每个重复 20 羽。对照组饲喂基础饲料,试验组(T_1 、 T_2 和 T_3 组)分别饲喂在基础饲料中添加 17、34、51 mg/kg 砷的试验饲料。试验期 8 周。结果表明:1) 各组间产蛋率、平均蛋重、平均日采食量和料蛋比均无显著差异($P > 0.05$)。2) 与对照组相比, T_1 、 T_2 和 T_3 组第 4 周蛋壳强度分别降低了 27.32%、17.86% 和 15.48% ($P < 0.05$), T_3 组第 4 周的蛋白高度较对照组降低了 17.33% ($P < 0.05$)。第 4 周和第 8 周蛋黄颜色均随饲料中砷含量的增加而下降,但差异不显著($P > 0.05$)。3) T_3 组血清巯基含量显著低于对照组($P < 0.05$)。4) 与对照组相比, T_3 组肝脏中总超氧化物歧化酶活性显著降低($P < 0.05$), T_2 和 T_3 组肝脏中丙二醛含量显著升高($P < 0.05$),各试验组肾脏超氧化物歧化酶活性均显著降低($P < 0.05$), T_1 和 T_3 组肾脏谷胱甘肽过氧化物酶活性显著降低($P < 0.05$)。综上所述,饲料中砷污染可导致蛋品质降低,诱导脂质过氧化反应,降低蛋鸡抗氧化能力。

关键词: 砷污染;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(2013)11-2720-07

砷是一种广泛存在于岩石、土壤和水中的有毒类金属^[1],并有许多的同素异形体。砷元素本身无毒,但其化合价态、化合物种类和溶解性等会显著改变其毒性。砷主要以化合物的形式经消化道和呼吸道进入人体继而损伤皮肤、消化系统、血液系统、呼吸系统和中枢系统等^[2]。人类长期食入、吸入或接触砷,可引起砷急性或慢性中毒^[3]。来自废气污染沉降、矿山开采与加工、农药和化肥施用、工业和城市废弃物堆积扩散等的砷,90% 以上最终归于土壤^[4],部分进入水体,并逐渐富集到植物、动物和人体中。目前全球至少有 5 000 多万人口正面临着地方性砷中毒的威胁,其中大多数为亚洲国家,而中国正是受砷毒污染危害最为严

重的国家之一。砷对各种动物均有毒性,Adrien^[5]指出,砷化物的药理和毒理作用本质上是相同的,砷能杀死细菌和寄生虫,对宿主也有毒害作用。三价砷能与酶蛋白分子上的 2 个巯基或羟基结合形成稳定的络合物或环状化合物,抑制组织中大量巯基依赖酶系,使其活性受到抑制甚至失活,从而影响细胞的正常代谢。五价砷在许多生化反应中还能取代磷酸,但生成的产物易水解,使氧化磷酸化过程偶联,氧化迅速,从而干扰细胞线粒体内氧化磷酸反应,直接影响细胞的能量代谢。砷还能干扰染色体基因的正常功能,使染色体发生异常并致癌^[6],具有生殖与发育毒性^[7]。

常见的矿物质添加剂硫酸铜和硫酸锌等是饲

收稿日期:2013-05-02

基金项目:国家蛋鸡产业技术体系建设专项基金资助(CARS-41-K17)

作者简介:蒋媛婧(1988—),女,四川眉山人,硕士研究生,从事蛋鸡营养研究。E-mail: hana_maomao@126.com

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

料中砷的主要来源^[8],还有一部分砷来自鱼粉等饲料原料。因矿物类饲料产地不同,鱼粉来源不同,砷含量差异较大。与粮食砷限量标准(GB 4810—1994)比较,我国污染区的玉米和小麦的样本砷超标率高于 20%^[9]。我国《饲料卫生标准》(GB 13078—2001)规定,饲料中砷允许量为 ≤ 2.0 mg/kg。若饲料原料采购把关不严,全价饲料中的砷含量就会远高于国家标准。因此,本试验以蛋鸡为研究对象,通过在饲料中添加阿散酸($C_6H_8AsNO_3$),模拟饲料砷污染对蛋鸡生产性能、蛋品质及抗氧化性能的影响,并初步探讨砷的作用机制,为砷对蛋鸡的毒害作用提供理论依据,有利于进一步认识和重视砷污染饲料对蛋鸡和人体的潜在危害。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用阿散酸购自浙江明珠动物保健品有限公司,分析纯,含量大于 98.5%。

1.2 试验设计与饲粮

试验选用 56 周龄生产性能相近的“京红一号”蛋鸡 320 羽,采用单因子试验设计,随机分成 4 组,每组 4 个重复,每个重复 20 羽。预试期 1 周,正试期 8 周。对照组饲喂基础饲粮,基础饲粮中砷含量为 1.46 mg/kg,试验组(T_1 、 T_2 、 T_3 组)分别饲喂在基础饲粮中添加 17、34、51 mg/kg 砷(砷元素含量)的试验饲粮。基础饲粮参照《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)配制,基础饲粮组成及营养水平见表 1。

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)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	62.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	10.79
豆粕 Soybean meal	23.00	粗蛋白质 CP	15.29
麦麸 Wheat bran	2.00	赖氨酸 Lys	0.77
石粉 Limestone	8.00	蛋氨酸 Met	0.33
预混料 Premix ¹⁾	5.00	钙 Ca	3.49
合计 Total	100.00	总磷 TP	0.43

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 7 500 IU, VD₃ 2 500 IU, VE 25 mg, VK₃ 2.5 mg, VB₁ 1.5 mg, VB₂ 4.5 mg, VB₆ 3 mg, VB₁₂ 0.02 mg, 烟酸 niacin 25 mg, 叶酸 folic acid 1.1 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 8 mg, 生物素 biotin 0.12 mg, 氯化胆碱 choline chloride 400 mg, Cu 20 mg, Fe 90 mg, Mn 100 mg, Zn 90 mg, I 0.8 mg, Se 0.3 mg。

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

1.3 饲养管理

饲养试验在浙江省建德市维丰蛋鸡场进行,采用 3 层笼养,全期自由采食,自由饮水,人工光照与自然光照方式相结合。按常规方法进行饲养管理及免疫,并定期对鸡舍消毒。

1.4 指标测定及方法

1.4.1 生产性能

每天按重复记录产蛋数、蛋重和采食量,并计算出产蛋率、平均蛋重、平均日采食量和料蛋比。

1.4.2 蛋品质

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,以上指标采用日本产 DET600 蛋品质仪测定。

1.4.3 抗氧化指标

试验结束时,从每个重复随机选取 2 只蛋鸡,禁食 24 h 后,解剖摘取肝脏和肾脏,并制备组织匀浆,备测。

血清、肝脏和肾脏总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量和总抗氧化能力(T-AOC)测定所需试剂盒均购自于南京建成生物工程研究所,并按其说明书进行试剂配制和指标测定。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 17.0 进行单因子方差分

析, Duncan 氏法进行差异显著性检验。以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的标准, 测定结果以“平均值 \pm 标准误”表示。

2 结果

2.1 饲料砷污染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、平均蛋重、平均日采食量和料蛋比均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 饲料砷污染对蛋鸡蛋品质的影响

由表 3 可知, 与对照组相比, T_1 、 T_2 和 T_3 组第 4 周蛋壳强度分别降低了 27.32%、17.86% 和 15.48% ($P < 0.05$), 除 T_3 组第 4 周蛋白高度较对照组降低了 17.33% ($P < 0.05$) 外, 其余各试验组蛋白高度、哈夫单位和蛋壳厚度均与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。第 4 周和第 8 周蛋黄颜色评分均随饲料中砷含量的增加而下降, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料砷污染对蛋鸡生产性能的影响

Table 2 Effects of arsenic contamination in feed on performance of laying hens

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	T_1	T_2	T_3
产蛋率 Laying rate/%	67.29 \pm 5.53	64.99 \pm 3.33	67.32 \pm 1.76	62.19 \pm 8.72
平均蛋重 Average egg weight/g	65.35 \pm 0.79	66.02 \pm 2.10	66.55 \pm 0.80	66.46 \pm 1.25
平均日采食量 Average daily feed intake/g	115.09 \pm 1.53	116.72 \pm 1.50	117.65 \pm 1.38	116.32 \pm 2.78
料蛋比 Feed/egg ratio	1.75 \pm 0.05	1.77 \pm 0.06	1.77 \pm 0.03	1.75 \pm 0.06

同行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 row, 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.

表 3 饲料砷污染对蛋鸡蛋品质的影响

Table 3 Effects of arsenic contamination in feed on egg quality of laying hens

项目 Items	时间 Time/week	组别 Groups			
		对照 Control	T_1	T_2	T_3
蛋白高度 Albumen height/mm	4	7.714 \pm 0.862 ^a	6.929 \pm 1.633 ^{ab}	7.200 \pm 1.354 ^{ab}	6.377 \pm 1.617 ^b
蛋黄颜色评分 Yolk color score	8	7.688 \pm 0.270	6.700 \pm 0.918	6.978 \pm 1.512	7.675 \pm 0.903
哈夫单位 Haugh unit	4	8.000 \pm 0.845	7.867 \pm 0.915	7.750 \pm 0.683	7.750 \pm 0.856
蛋壳强度 Eggshell strength/(kgf)	8	8.100 \pm 0.738	8.000 \pm 0.817	7.800 \pm 0.632	7.556 \pm 0.882
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	4	84.35 \pm 8.30	78.66 \pm 15.19	82.86 \pm 11.01	78.57 \pm 13.09
	8	83.82 \pm 5.03	78.56 \pm 6.08	79.73 \pm 10.89	83.63 \pm 4.99
	4	4.469 \pm 0.972 ^a	3.248 \pm 1.229 ^b	3.671 \pm 0.731 ^b	3.777 \pm 0.775 ^b
	8	3.849 \pm 1.608	3.499 \pm 1.286	3.305 \pm 0.841	3.300 \pm 1.279
	4	0.396 \pm 0.030	0.373 \pm 0.026	0.375 \pm 0.032	0.383 \pm 0.035
	8	0.402 \pm 0.022	0.401 \pm 0.037	0.394 \pm 0.050	0.415 \pm 0.023

2.3 饲料砷污染对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知, 除 T_3 组血清巯基含量显著低于对照组 ($P < 0.05$) 外, 各组间 T-SOD、GSH-Px、CAT 活性, T-AOC 和 MDA 含量差异均不显著

($P > 0.05$), 但 T-SOD、GSH-Px 活性和 T-AOC 有随饲料中砷含量增加而降低的趋势, 而 MDA 含量有随饲料中砷含量增加而增加的趋势。

表 4 饲料砷污染对蛋鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of arsenic contamination in feed on antioxidant indices in serum of laying hens

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	T ₁	T ₂	T ₃
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	5.483 ± 1.683	5.128 ± 0.610	5.106 ± 0.995	4.795 ± 1.354
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	69.29 ± 5.45	69.27 ± 2.96	66.36 ± 2.53	65.66 ± 2.44
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	24 463.6 ± 970.3	23 737.0 ± 559.7	23 198.5 ± 468.6	23 395.3 ± 930.8
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	4.773 ± 0.442	4.030 ± 0.871	4.376 ± 0.814	3.972 ± 1.331
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.820 ± 0.446	4.972 ± 0.805	4.984 ± 1.237	5.006 ± 0.500
巯基 —SH/(μmol/L)	601.2 ± 102.7 ^a	485.6 ± 89.4 ^{ab}	488.0 ± 69.5 ^{ab}	456.1 ± 125.4 ^b

2.4 饲料砷污染对蛋鸡肝脏和肾脏抗氧化指标的影响

由表 5 可知, T₃ 组肝脏 T-SOD 活性较对照组降低了 11.44% ($P < 0.05$)。T₂ 和 T₃ 组肝脏 MDA 含量与对照组相比, 分别提高了 49.86% 和 52.86% ($P < 0.05$)。各试验组肝脏 GSH-Px 活性

均低于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

T₁、T₂ 和 T₃ 组肾脏 T-SOD 活性分别较对照组降低了 17.26%、12.98% 和 11.73% ($P < 0.05$)。T₁ 和 T₃ 组肾脏 GSH-Px 活性分别比对照组降低了 16.49% 和 9.10% ($P < 0.05$)。各组肾脏 MDA 含量差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 5 饲料砷污染对蛋鸡肝脏和肾脏抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of arsenic contamination in feed on antioxidant indices in liver and kidney of laying hens

项目 Items	组别 Groups			
	对照 Control	T ₁	T ₂	T ₃
肝脏 Liver				
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg)	109.64 ± 7.85 ^a	112.26 ± 7.12 ^a	107.63 ± 10.06 ^{ab}	97.10 ± 6.11 ^b
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g)	62.99 ± 11.06	56.72 ± 7.67	53.47 ± 7.71	59.27 ± 4.57
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	4.888 ± 1.573 ^b	5.684 ± 1.553 ^{ab}	7.325 ± 1.840 ^a	7.472 ± 1.469 ^a
肾脏 Kidney				
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg)	76.44 ± 3.17 ^a	63.25 ± 6.52 ^b	66.52 ± 5.43 ^b	67.47 ± 3.96 ^b
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/g)	41.67 ± 2.84 ^a	34.80 ± 2.10 ^c	39.05 ± 2.05 ^{ab}	37.89 ± 0.84 ^{bc}
丙二醛 MDA/(nmol/mg)	5.024 ± 1.390	6.243 ± 1.580	6.234 ± 0.784	6.661 ± 1.447

3 讨论

3.1 饲料砷污染对蛋鸡生产性能的影响

Donoghue 等^[10]报道, 洛克沙肿可降低蛋鸡的产蛋率和蛋重。Stanley 等^[11]研究发现, 砷会降低雏鸭的孵化率和成年野鸭蛋重, 使成年野鸭产蛋期延迟, 蛋重降低, 其原因可能是成年野鸭能够侦测到饲料中的砷酸盐, 从而减少采食量。Hermayer 等^[12]在蛋鸡饲料中添加 100 mg/kg 砷, 蛋鸡表现为产蛋率降低。Aggarwal 等^[13]研究发现, 砷能降低肉鸡体增重。Vodola 等^[14]报道, 饮水中含砷降低了肉种鸡产蛋率和蛋重。本试验在 8 周的试验期内, 与对照组相比, 各试验组产蛋率、平均蛋重、平均日采食量和料蛋比均无显著差异, 这与上述

试验结果存在一定差异, 这可能与模拟砷污染的添加量、砷的添加形式、动物的种类及环境因素不同有关。

3.2 饲料砷污染对蛋鸡蛋品质的影响

蛋白高度、蛋壳强度、哈夫单位和蛋黄颜色等是评价蛋品质的重要指标。哈夫单位越大, 蛋白高度越高, 说明蛋白越黏稠, 蛋品质越好^[15]。在正常情况下, 蛋黄颜色越深, 蛋品质越好^[16]。本试验结果表明, 3 个试验组的蛋白高度、蛋黄颜色和哈夫单位均低于对照组, 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, 说明本试验模拟的砷污染程度未达到使这 3 项指标显著降低的水平。

衡量蛋壳质量有蛋壳厚度、蛋壳强度和蛋壳

相对重等指标。蛋壳厚度在 0.38 ~ 0.40 mm 时, 蛋壳的破损率能低达 2% ~ 3%^[17]。本试验结果显示, 砷对蛋壳质量的影响主要体现在降低蛋壳强度方面。在第 4 周时, T₁、T₂ 和 T₃ 组的蛋壳强度均显著低于对照组。第 8 周时, 各试验组的蛋壳强度与对照组相比, 差异均不显著, 这可能是由于随着试验时间的增加, 机体对砷的耐受力 and 适应性增强。研究表明, 蛋壳质量与蛋壳中的钙、磷和维生素 D₃ 等含量密切相关, 钙、磷和维生素 D₃ 含量过多或不足以及钙磷比例失调均可降低蛋壳厚度及强度^[17]。维生素 D₃ 参与机体钙磷代谢, 其前体是一种激素原, 本身无活性, 需在肝脏和肾脏中转变为具有活性的维生素 D₃^[15,18]。由于肝脏和肾脏是砷毒性作用的主要器官, 本试验中造成蛋壳强度降低的原因之一可能是砷对肝肾功能造成损伤进而间接导致维生素 D₃ 在肝肾中的活化程度降低, 具体的作用机制还有待进一步研究。目前国内外关于重金属对鸟类蛋壳质量的影响报道不一。有研究认为, 产蛋时重金属会妨碍骨钙动员, 从而损伤蛋壳结构并影响蛋壳形成^[19-20]。Eeva 等^[21]发现重金属会使斑姬鹀的蛋壳变薄, 蛋壳表面结构更加粗糙, 渗透性增强。Stanley 等^[8]也报道饲料中的砷会使成年野鸭蛋壳变薄。而 Dauwe 等^[22]却发现重金属对蓝冠山雀的蛋壳厚度没有显著影响。本试验结果显示, 砷污染对蛋壳厚度无显著影响, 这与 Dauwe 等^[22]的报道相符, 但与 Stanley 等^[11]和 Eeva 等^[21]的报道不符。这可能与动物种类、环境条件、试验材料等不同有关。

3.3 饲料砷污染对蛋鸡血清、肝脏和肾脏抗氧化性能的影响

巯基是一个具有还原性的基团, 是保护细胞的一个要素。三价砷离子与巯基结合, 降低了巯基的含量, 继而影响巯基依赖酶系及其他含巯基物质的活性^[23-24]。T-SOD 能把超氧阴离子自由基(O₂⁻·)转化为过氧化氢, GSH-Px 能将有害的过氧化物还原成无害的羟基化合物, 并促进过氧化氢分解。肖静等^[25]研究发现, 地方性砷中毒患者与对照组相比, 血清 SOD、GSH-Px 活性明显降低, 而 MDA 含量明显增加。刘开泰等^[26]在对大鼠进行染毒试验时, 检测出砷污染大鼠的肝脏 SOD 和 GSH-Px 等活性均明显低于对照组。本试验结果表明, T₃ 组血清巯基含量和肝脏 T-SOD 活

性显著低于对照组。T₁、T₂ 和 T₃ 组肾脏 T-SOD 活性均显著低于对照组, 且 T₁ 和 T₃ 组肾脏 GSH-Px 活性也显著降低。这与上述报道基本一致。

T-AOC 是反映机体综合抗氧化能力的有效指标^[27]。普遍认为, 脂质过氧化是造成机体损伤的主要原因。脂质过氧化物是自由基攻击不饱和脂肪酸并发生过氧化作用而形成的^[14]。MDA 是脂质过氧化物产物之一, 其含量可以间接反映脂质过氧化损伤程度^[28]。有报道指出砷会引起脂质过氧化反应, 增加自由基, 降低 T-AOC^[29-31]。Wu 等^[32]报道, 血浆抗氧化能力随着全血中砷含量的升高而降低, 推测摄入被砷污染的井水会降低人的血浆 T-AOC。罗鹏等^[33]通过对小鼠的灌胃染毒(三氧化二砷), 发现 T-AOC 随砷添加量的增加而降低, 而 MDA 含量则显著升高。本试验显示砷显著提高肝脏 MDA 含量, 并呈现出剂量-效应关系。血清和肾脏中 MDA 含量也有随饲料中砷含量升高而升高的趋势, 这与肖静等^[25]和罗鹏等^[33]的报道一致。由此可见, 砷污染可导致蛋鸡脂质过氧化物 MDA 含量增多, 可能对机体产生损伤。

4 结 论

饲料中砷污染可导致蛋品质降低, 诱导脂质过氧化反应, 降低蛋鸡抗氧化能力。

参考文献:

- [1] PACHAURI V, MEHTA A, MISHRA D, et al. Arsenic induced neuronal apoptosis in guinea pigs is Ca²⁺ dependent and abrogated by chelation therapy: role of voltage gated calcium channels[J]. Neurotoxicology, 2013, 35:137-145.
- [2] 徐志, 黄可龙. 砷的代谢及其毒性机制的相关性研究[J]. 中国药业, 2009, 18(12):19-21.
- [3] 李雪霞. 对饲料中大量添加有机砷制剂的思考[J]. 云南畜牧兽医, 2008(6):35-36.
- [4] 钟崇林. 被轻视的危险——养殖业有机砷[J]. 环境保护, 2011(15):32-34.
- [5] ADRIEN A. Selective toxicity: the physico-chemical basis of therapy[M]. 7th ed. London: Chapman and Hall, 1985:550-561.
- [6] 游伟, 万发春. 应尽早下决心在饲料中禁用有机砷制剂——“饮鸩止渴”的财富不能要! [J]. 中国动物保健, 2007(9):50.

- [7] 谢惠芳. 砷对人体作用的多样性[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2001, 28(5): 265-269.
- [8] JARMAN T, FRIO A, LEARY A, et al. Heavy metal contamination in mineral sources for monogastric feed in Asia Pacific [C] // Proceedings of the 21st annual Australian poultry sciences symposium. Sydney: New South Wales, 2010: 174-177.
- [9] 华建峰, 林先贵, 尹睿, 等. 矿区砷污染对土壤线虫群落结构特征的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(1): 79-84.
- [10] DONOGHUE D J, HAISTON H, COPE C V, et al. Incurred arsenic residues in chicken eggs[J]. Journal of Food Protection, 1994, 57(3): 218-223.
- [11] STANLEY T R Jr, SPAHN J W, SMITH G J, et al. Main and interactive effects of arsenic and selenium on mallard reproduction and duckling growth and survival[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1994, 26(4): 444-451.
- [12] 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.
- [13] AGGARWAL M, NARAHARISSETTI S B, SARKAR S N, et al. Effects of subchronic coexposure to arsenic and endosulfan on the erythrocytes of broiler chickens: a biochemical study[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 56(1): 139-148.
- [14] VODELA J K, LENZ S D, RENDEN J A, et al. Drinking water contaminants (arsenic, cadmium, lead, benzene, and trichloroethylene). 2. Effects on reproductive performance, egg quality, and embryo toxicity in broiler breeders [J]. Poultry Science, 1997, 76(11): 1493-1500.
- [15] 朱莎, 张爱婷, 代腊, 等. 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[J]. 动物营养学报, 2012, 24(3): 534-542.
- [16] 梁欣, 于晓丽. 鸡蛋品质评定的指标及测定方法[J]. 山东畜牧兽医, 2012, 33(5): 23-24.
- [17] 顾忠欢. 影响鸡蛋壳质量的因素及控制措施[J]. 中国家禽, 2003, 25(6): 40-43.
- [18] 李玉清, 肖海俊, 王伟青, 等. 影响蛋壳质量的因素及控制措施[J]. 畜牧与饲料科学, 2008, 29(5): 54-56.
- [19] SCHEUHAMMER A M. Effects of acidification on the availability of toxic metals and calcium to wild birds and mammals [J]. Environmental Pollution, 1991, 71(2/3/4): 329-375.
- [20] NYHOLM N. Heavy metal tissue levels, impact on breeding and nestling development in natural populations of pied flycatcher (Aves) in the pollution gradient from a smelter [C] // Ecotoxicology of soil organisms. Boca Raton: CRC Press, 1993.
- [21] EEVA T, LEHIKONEN E. Egg shell quality, clutch size and hatching success of the great tit (*Parus major*) and the pied flycatcher (*Ficedula hypoleuca*) in an air pollution gradient [J]. Oecologia, 1995, 102(3): 312-323.
- [22] DAUWE T, JANSSENS E, KEMPENAERS B, et al. The effect of heavy metal exposure on egg size, egg-shell thickness and the number of spermatozoa in blue tit *Parus caeruleus* eggs [J]. Environmental Pollution, 2004, 129(1): 125-129.
- [23] WU C X, GU X L, GE Y M, et al. Effects of high fluoride and arsenic on brain biochemical indexes and learning-memory in rats [J]. Fluoride, 2006, 39(4): 274-279.
- [24] DELNOMDEDIEU M, BASTI M M, STYBLO M, et al. Complexation of arsenic species in rabbit erythrocytes [J]. Chemical Research in Toxicology, 1994, 7(5): 621-627.
- [25] 肖静, 吴顺华, 郑玉建, 等. 地方性砷中毒患者细胞因子水平与抗氧化能力相关分析[J]. 新疆医科大学学报, 2006, 29(1): 7-9.
- [26] 刘开泰, 张永亮, 姜平, 等. 砷对大鼠肝脏抗氧化作用影响的动态观察[J]. 地方病通报, 2000, 15(3): 13-14.
- [27] GHISELLI A, SERAFINI M, NATELLA F, et al. Total antioxidant capacity as a tool to assess redox status: critical view and experimental data [J]. Free Radical Biology and Medicine, 2000, 29(11): 1106-1114.
- [28] GARCÍA-FERNÁNDEZ A J, BAYOUMI A E, PÉREZ-PERTEJO Y, et al. Alterations of the glutathione-redox balance induced by metals in CHO-K1 cells [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology, 2002, 132(3): 365-373.
- [29] WANG J D, GE Y M, NING H M, et al. Effects of high fluoride and low iodine on oxidative stress and antioxidant defense of the brain in offspring rats [J]. Fluoride, 2004, 37(4): 264-270.
- [30] ZHANG J H, LIANG C, MA J J, et al. Effects of sodium fluoride and sulfur dioxide on oxidative stress

and antioxidant defenses of testis in male rats[J]. Fluoride, 2006, 39(3):185-190.

- [31] MACHADO A F, HOVLAND D N Jr, PILAFAS S, et al. Teratogenic response to arsenite during neurulation; relative sensitivities of C57BL/6J and SWV/Fnn mice and impact of the splotch allele[J]. Toxicological Sciences, 1999, 51(1):98-107.

- [32] WU M M, CHIOU H Y, WANG T W, et al. Associa-

tion of blood arsenic levels with increased reactive oxidants and decreased antioxidant capacity in a human population of northeastern Taiwan[J]. Environmental Health Perspectives, 2001, 109(10):1011-1017.

- [33] 罗鹏, 吴应宽, 蒋宪瑶. 急性砷中毒小鼠血清中 NO、GSH、MDA 及总抗氧化能力的实验研究[J]. 中国地方病学杂志, 2004, 23(4):325-326.

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

JIANG Yuanjing YUAN Chao SONG Huahui ZOU Xiaoting*

(Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science of Ministry of Agriculture, Feed Science Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of arsenic contamination in feed on performance, egg quality and antioxidant capacity of laying hens. Three hundred and twenty 56-week-old 'Jinghong No. 1' laying hens with the similar performance were randomly allocated to 4 groups with 4 replicates per group and 20 layers per replicate. The control group was fed a basal diet and experimental groups (groups T₁, T₂ and T₃) were fed the basal diets supplemented with 17, 34 and 51 mg/kg arsenic, respectively. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in laying rate, average egg weight, average daily feed intake and feed/egg ratio among all groups ($P > 0.05$). 2) Compared with the control group, the eggshell strength in the groups T₁, T₂ and T₃ was decreased by 27.32%, 17.86% and 15.48% at week 4, respectively ($P < 0.05$), and the albumen height in the T₃ group was decreased by 17.33% at week 4 ($P < 0.05$). Arsenic contamination has a tendency to reduce yolk color at weeks 4 and 8 ($P > 0.05$). 3) The serum hydrosulfuryl content in T₃ group was significantly lower than that in the control group ($P < 0.05$). 4) Compared with the control group, the liver superoxide dismutase (SOD) activity in group T₃ was significantly decreased ($P < 0.05$), and the liver malondialdehyde content in groups T₂ and T₃ was significantly increased ($P < 0.05$); the kidney SOD activity in groups T₁, T₂ and T₃ was significantly decreased ($P < 0.05$), and the kidney glutathione peroxidase activity in groups T₁ and T₃ was significantly decreased ($P < 0.05$). These results indicate that arsenic contamination can reduce the egg quality, induce the lipid peroxidation, and reduce the antioxidant capacity of laying hens. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11):2720-2726]

Key words: arsenic contamination; laying hens; performance; egg quality; antioxidant capacity