

## 开产体重对苏禽 3 号 L 系产蛋性能·蛋品质及血清生殖激素水平的影响

黄正洋, 李春苗, 王钱保, 黄华云, 黎寿丰, 赵振华\*

(中国农业科学院家禽研究所, 江苏扬州 225125)

**摘要** [目的]研究开产体重对优质肉鸡苏禽 3 号 L 系产蛋性能、蛋品质及血清生殖激素水平的影响。[方法]试验选择 20 周龄优质肉鸡苏禽 3 号 L 系群体 600 只, 按体重分为小体重组(体重 1 200~1 550 g)、中体重组(体重 1 551~1 850 g)、大体重组(体重 1 851~2 200 g)。统计每组开产蛋重、开产日龄和开产体重, 并在 30 周龄时测定蛋品质。采集翅静脉血清, 测定相关生殖激素含量。[结果]随着开产体重的增大, 开产日龄呈增大趋势。开产体重与开产蛋重存在正相关。随着开产体重的增大, 开产蛋重呈增加趋势, 而蛋壳颜色、蛋形指数、蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋壳重量、蛋黄比例、蛋壳比例、蛋黄颜色、蛋白高度和哈氏单位等指标没有显著变化( $P>0.05$ )。由于蛋重的增加, 蛋黄重明显增加。随着开产体重的增加, 苏禽 3 号 L 系血清中促卵泡素(FSH)、促性腺激素释放激素(GnRH)和雌二醇(E2)含量均明显升高, 各组促黄体素(LH)变化不显著( $P>0.05$ )。[结论]开产体重显著影响苏禽 3 号 L 系的产蛋性能, 但其对蛋品质的影响不大。随着开产体重的提高, 血清中生殖激素水平也随之升高, 而该试验中体重组(体重 1 551~1 850 g)个体最符合育种目标。

**关键词** 开产体重; 产蛋性能; 蛋品质; 生殖激素

中图分类号 S831.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)04-0098-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Effects of Body Weight at the First Birth on the Laying Performance, Egg Quality and Serum Reproductive Hormone Level in Suqin No.3 Chicken L Line****HUANG Zheng-yang, LI Chun-miao, WANG Qian-bao et al** (Poultry Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Yangzhou, Jiangsu 225125)

**Abstract** [Objective] To study the effects of body weight at the first birth on the laying performance, egg quality and serum reproductive hormone level of Suqin No.3 chicken L line broiler. [Method] 600 chicken (Suqin No.3 chicken L line) at 20 week-age were selected and divided into three groups according to body weight: small body weight (1 200-1 550 g) group, medium body weight (1 551-1 850 g) group and large body weight (1 851-2 200 g). The egg weight at the first birth, laying day-age at the first birth, and body weight at the first birth of chicken in each group were counted, and the egg quality was measured at 30 week-age. Wing vein serum was collected, and the content of reproductive hormones was determined. [Result] The laying day-age at the first birth increased with the increase of the body weight at the first birth. There was a positive correlation between the egg weight at the first birth and body weight at the first birth. With the increase of body weight at the first birth, the egg weight at the first birth showed an increasing trend, but the eggshell color, egg shape index, eggshell strength, eggshell thickness, eggshell weight, yolk ratio, eggshell ratio, yolk color, albumen height and Haugh unit had no significant changes ( $P>0.05$ ). As the egg weight increased, the yolk weight obviously increased. With the increase of body weight at the first birth, the contents of FSH, GnRH and E2 in the serum of Suqin No.3 chicken L line obviously increased, but LH level in each group had no significant difference ( $P>0.05$ ). [Conclusion] The laying performance of Suqin No.3 chicken L line was significantly affected by the body weight at the first birth, but the egg quality was little affected. With the increase of body weight at the first birth, the reproductive hormone level in the serum increased significantly. In this experiment, the individuals in medium body weight (1 551-1 850 g) group could meet the breeding objectives.

**Key words** Body weight at the first birth; Laying performance; Egg quality; Reproductive hormone

在家禽生产中, 家禽的生产性能与品种、环境和饲养管理等因素相关, 而开产日龄和开产体重是目前研究最多的影响因素<sup>[1-2]</sup>。开产日龄和开产体重不仅在蛋鸡、蛋鸭育种中至关重要, 而且在肉种鸡育种中备受关注。开产体重不仅影响群体开产日龄和开产蛋重, 而且影响着品系整个产蛋期的产蛋量<sup>[3]</sup>。开产体重不仅与饲料营养水平、光照有关, 而且与品种密切相关。目前在二郎山山地鸡<sup>[4]</sup>、固始鸡<sup>[5]</sup>等家禽品种中都开展其开产体重对产蛋性能的影响及遗传分析。目前的研究主要是对遗传力进行估计<sup>[6]</sup>, 或者是不同产蛋时期生殖激素含量分析等<sup>[7-8]</sup>, 缺乏将开产体重对开产性状的影响、蛋品质、生殖激素含量与相关基因表达变化联系起来综合分析。在家禽繁殖过程中, 对家禽生长繁殖的影响最直接的是相关激素含量的变化。目前, 激素对家禽生长繁殖的

影响研究主要是通过测定家禽血清中激素的含量变化, 结合家禽的繁殖性能, 关联分析激素对家禽繁殖性能的影响。笔者通过分析开产体重对优质肉鸡苏禽 3 号 L 系产蛋性能、蛋品质和血清生殖激素含量的影响, 寻找该品系的最佳开产体重, 提高世代选育效率, 旨在为优质肉种鸡育成期体重管理以及开产性状选育提供理论支持。

**1 材料与方法**

**1.1 试验设计** 试验在中国农业科学院家禽研究所邵伯试验基地进行, 以中国农业科学院家禽研究所选育的苏禽 3 号 L 系为试材。20 周龄时, 从大群中选取发育良好、生长健康的试验用鸡 600 只, 分为 3 组, 每组 4 个重复, 每个重复 50 只, 分别为小体重组(试验 I 组, 体重 1 200~1 550 g)、中体重组(试验 II 组, 体重 1 551~1 850 g)、大体重组(试验 III 组, 体重 1 851~2 200 g)。在相同的管理条件下产蛋笼饲养(1 只/笼), 自由采食、饮水, 并按照常规免疫程序进行免疫。试验期从 21 周龄开始, 30 周龄结束, 试验持续 10 周。统计试验群体开产日龄(个体产出前 3 个蛋的日龄平均值)、开产体重(个体产出前 3 个蛋的体重平均值)、开产蛋重(个体产出前 3 个蛋的平均蛋重)。试验期末, 每组随机选取 30 只,

**基金项目** 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-41-Z05); 江苏省农业自主创新基金项目(CX(20)2012); 江苏省科技成果转化项目(BA2019049)。**作者简介** 黄正洋(1987—), 男, 河南信阳人, 助理研究员, 博士, 从事家禽遗传育种研究。\* 通信作者, 研究员, 博士, 从事优质鸡遗传育种研究。**收稿日期** 2021-07-04

上午采集血清后分离血清, -20℃下保存备用。

制并提供, 其组成及营养水平见表 1~2。

## 1.2 饲养管理 基础日粮由扬州翔龙禽业发展有限公司配

表 1 基础日粮组成

Table 1 The composition of the basic diet

日龄 Day-age	玉米 Corn	石粉 Stone powder	去皮豆粕 Dehulled soybean meal	菜粕 Rapeseed meal	米糠粕 Rice bran meal	玉米酒糟 粕 DDGS	豆油 Soybean oil	预混料 Premix
1~21	54	12.0	21	2	0	6	1.0	4
22~84	50	11.8	12	2	12	7	1.2	4

注: 预混料可为 1 kg 日粮提供: 0~21 日龄,  $V_A$  7 000 IU、 $V_D$  2 000 IU、 $V_E$  30 mg、 $V_{K_1}$  4.0 mg、 $V_{B_1}$  3.0 mg、 $V_{B_2}$  7.0 mg、 $V_{B_6}$  9.0 mg、 $V_{B_{12}}$  0.03 mg、胆碱 450 mg、烟酸 35 mg、泛酸 20 mg、叶酸 1.0 mg、生物素 0.2 mg、Fe 60 mg、Cu 8 mg、Mn 85 mg、Zn 80 mg、I 0.35 mg、Se 0.3 mg; 22~84 日龄,  $V_A$  6 000 IU、 $V_D$  2 000 IU、 $V_E$  10 mg、 $V_{K_1}$  1.0 mg、 $V_{B_1}$  2.0 mg、 $V_{B_2}$  4.0 mg、 $V_{B_6}$  3.0 mg、 $V_{B_{12}}$  0.02 mg、胆碱 400 mg、烟酸 20 mg、泛酸 10 mg、叶酸 0.6 mg、生物素 0.1 mg、Fe 55 mg、Cu 5 mg、Mn 80 mg、Zn 75 mg、I 0.3 mg、Se 0.2 mg

Note: Premix per kilogram of diet could provide: 0~21 day-age:  $V_A$  7 000 IU,  $V_D$  2 000 IU,  $V_E$  30 mg,  $V_{K_1}$  4.0 mg,  $V_{B_1}$  3.0 mg,  $V_{B_2}$  7.0 mg,  $V_{B_6}$  9.0 mg,  $V_{B_{12}}$  0.03 mg, choline 450 mg, niacin 35 mg, pantothenic acid 20 mg, folic acid 1.0 mg, biotin 0.2 mg, Fe 60 mg, Cu 8 mg, Mn 85 mg, Zn 80 mg, I 0.35 mg, Se 0.3 mg; 22~84 day-age,  $V_A$  6 000 IU,  $V_D$  2 000 IU,  $V_E$  10 mg,  $V_{K_1}$  1.0 mg,  $V_{B_1}$  2.0 mg,  $V_{B_2}$  4.0 mg,  $V_{B_6}$  3.0 mg,  $V_{B_{12}}$  0.02 mg, choline 400 mg, niacin 20 mg, pantothenic acid 10 mg, folic acid 0.6 mg, biotin 0.1 mg, Fe 55 mg, Cu 5 mg, Mn 80 mg, Zn 75 mg, I 0.3 mg, Se 0.2 mg

表 2 基础日粮的营养水平

Table 2 The nutritional level of the basic diet

日龄 Day-age	粗蛋白 Crude protein//%	代谢能 Metabolizable energy//MJ/kg	赖氨酸 Lysine %	蛋+胱氨酸 Methionine+ Cystine//%	钙 Calcium %	有效磷 Available phosphorus//%
1~21	18.5	12.12	0.95	0.78	0.85	0.40
22~84	16.0	11.72	0.70	0.65	0.80	0.35

**1.3 蛋品质测定** 在 25 周龄时, 每组收集 100 个鸡蛋, 测定蛋品质。使用游标卡尺测量鸡蛋长径和短径, 进而计算蛋形指数; 使用螺旋测微器测定蛋壳厚度 (取鸡蛋大头、小头和中间位置厚度的平均值); 使用蛋壳强度测定仪测定蛋壳强度; 称量蛋和蛋壳的重量, 计算蛋壳相对重量。使用蛋品质测定仪测定并计算蛋比重、蛋白高度、蛋黄颜色、蛋壳重、蛋黄重、蛋形指数及哈氏单位。哈氏单位计算公式如下:

$$HU = 100 \log_{10}(H - 1.7W^{0.37} + 7.6)$$

式中, HU 为哈氏单位, H 为蛋白高度 (mm), W 为蛋重 (g)。

**1.4 血清生殖激素含量测定** 在试验结束时 (30 周龄), 在 08:00 前每组随机选取 30 只, 翅下静脉采集血样, 3 000 r/min 离心 15 min 后分离血清, 置于 -20℃ 下保存。采用酶联免疫法 (ELISA) 测定血清中促黄体素 (LH) 和促卵泡素 (FSH) 水平。采用放射免疫法测定促性腺激素释放激素

(GnRH) 和雌二醇 (E2) 含量。试验所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

**1.5 数据统计与分析** 试验结果均以平均值±标准差表示。数据分析使用 SPSS 26.0 软件的一般线性模型 (GLM) 过程的 One-way ANOVA 进行单因素方差分析。使用 GraphPad Prism 9 软件进行绘图, 利用 Duncan's 法对血清生殖激素含量进行各组间的多重比较, 生殖轴相关基因相对表达量采用 *t* 检验进行差异显著性分析。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 开产体重对苏禽 3 号 L 系开产性能的影响** 由表 3 可知, 随着开产体重的增大, 开产日龄显著延后 (P<0.05), 开产蛋重显著变大 (P<0.05)。随着开产体重的增大和开产日龄的推迟, 试验期内产蛋数有所降低。

表 3 开产体重对苏禽 3 号 L 系开产性能的影响

Table 3 The effects of body weight at the first birth on the laying performance at the first birth of Suqin No. 3 L line

组别 Group	开产体重 Laying weight at the first birth//g	开产日龄 Laying day-age at the first birth//d	开产蛋重 Egg weight at the first birth//g	产蛋数 Number of eggs laid//枚
试验 I 组 Experimental group I	1 448.98±79.85 c	158.52±9.29 c	35.38±2.88 b	77.52±20.10 a
试验 II 组 Experimental group II	1 732.90±68.95 b	161.98±9.09 b	37.38±3.27 a	75.16±19.97 a
试验 III 组 Experimental group III	1 987.00±85.61 a	164.56±9.45 a	38.35±3.99 a	73.50±21.92 b

注: 同列不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)

Note: Different lowercase letters marked in the same column indicated significant differences (P<0.05)

对开产日龄、开产蛋重、开产体重、产蛋数进行相关性分析, 结果如图 1 所示。图中 LA 代表开产日龄, EW 代表开产蛋重, BW 代表开产体重, AM 代表产蛋数。用不同颜色表示相关性的强度, 蓝色表示 2 个变量呈正相关, 红色表示 2 个变量呈负相关, 色彩越深, 相关性越大, 其中圆形的大小也说

明相关性的大小。从图 1 可以看出, 开产日龄与开产蛋重呈正相关, 开产体重与开产蛋重呈正相关, 开产日龄与产蛋数呈负相关。

**2.2 开产体重对苏禽 3 号 L 系蛋品质的影响** 从表 4 可以看出, 开产体重的增大会使得苏禽 3 号 L 系蛋重明显增大, 而

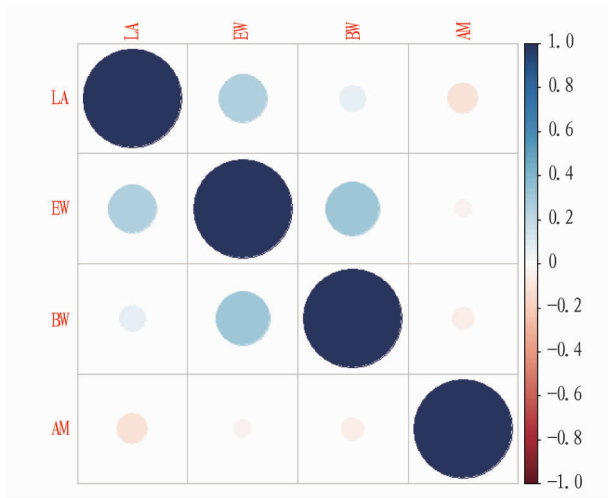


图1 开产性能各指标间相关性分析

Fig.1 Correlation analysis of various indices of laying performance at the first birth

蛋壳颜色、蛋形指数、蛋壳强度、蛋黄比例、蛋壳厚度、蛋壳重量、蛋壳比例、蛋黄颜色、蛋白高度和哈氏单位等指标没有显著变化( $P>0.05$ )。蛋重增加,蛋黄重也相应增加。各试验组的蛋品质评级均达到 AA 级,各试验组蛋品质没有显著差异。

**2.3 开产体重对苏禽 3 号 L 系血清生殖激素含量的影响** 由表 5 可知,随着开产体重的增大,苏禽 3 号 L 系血清中促卵泡素(FSH)、促性腺激素释放激素(GnRH)和雌二醇(E2)含量明显升高,而促黄体素 LH 含量变化不明显( $P>0.05$ )。

### 3 讨论

开产体重能够显著影响家禽的产蛋性能。当开产体重变化范围较大时,这个群体均匀度不好,还有较大的选择空间。李花妮等<sup>[9]</sup>研究了开产日龄对峪口褐壳蛋鸡 B 系体重、生产性能和蛋品质的影响,结果发现开产日龄与开产体重存在极显著正相关,也就是说开产日龄晚的鸡开产体重也大。开产日龄和开产体重这 2 个性状存在紧密的关联性,但是在

表 4 开产体重对苏禽 3 号 L 系蛋品质的影响

Table 4 The effects of body weight at the first birth on the egg quality of Suqin No. 3 L line

组别 Group	蛋重 Egg weight g	蛋壳颜色 Eggshell color	蛋形指数 Egg shape index	蛋壳强度 Eggshell strength//kg/cm <sup>2</sup>	蛋黄重 Yolk weight g	蛋黄比例 Yolk ratio
试验 I 组 Experimental group I	37.29±2.88 b	37.34±5.63	1.31±0.04	3.92±0.73	9.56±0.72 b	0.26±0.01
试验 II 组 Experimental group II	39.48±3.31 b	37.64±6.02	1.32±0.03	3.90±0.72	10.67±1.17 a	0.27±0.03
试验 III 组 Experimental group III	42.43±3.27 a	37.23±5.43	1.30±0.02	3.96±0.93	11.34±1.16 a	0.27±0.02

组别 Group	蛋壳厚度 Eggshell thickness//μm	蛋壳重量 Eggshell weight//g	蛋壳比例 Eggshell ratio	蛋黄颜色 Yolk color	蛋白高度 Albumen height//mm	哈氏单位 Haugh unit
试验 I 组 Experimental group I	332.56±30.14	4.21±0.33	0.11±0.01	9.16±0.60	5.09±1.17	79.27±8.61
试验 II 组 Experimental group II	335.16±20.17	4.54±0.46	0.11±0.01	9.15±0.47	5.16±1.36	78.79±7.98
试验 III 组 Experimental group III	336.00±31.43	4.69±0.45	0.11±0.02	9.13±0.52	5.23±0.94	78.01±7.88

注:同列数据肩标不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters marked in the same column indicated significant differences ( $P<0.05$ )

表 5 开产体重对苏禽 3 号 L 系血清生殖激素含量的影响

Table 5 The effects of body weight at the first birth on the concentrations of serum reproductive hormones in Suqin No. 3 L line

组别 Group	促卵泡素 FSH mIU/mL	促性腺激素释放 激素 GnRH//ng/L	雌二醇 E2 ng/L	促黄体素 LH mIU/mL
试验 I 组 Experimental group I	15.44±2.17 b	176.23±20.14 c	60.26±7.14 b	4.96±0.72
试验 II 组 Experimental group II	16.11±1.73 ab	192.14±14.33 b	65.47±6.37 b	4.93±0.83
试验 III 组 Experimental group III	17.16±1.25 a	207.13±19.26 a	77.23±8.14 a	5.02±0.57

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters marked in the same column indicated significant differences ( $P<0.05$ )

实际育种过程中育种工作需要选择开产日龄早但开产体重又不太小的个体。因为开产体重过小会导致开产蛋重不足,不符合育种中的种蛋选择标准。如何在二者之间平衡选择就变得至关重要。李光奇等<sup>[10]</sup>研究了早期蛋鸡体重对蛋鸡生产性能的影响,结果发现 10 周龄鸡体重越大,产蛋期体重和蛋重呈现出增大的趋势,综合分析产蛋期生产性能发现 10 周龄体重占平均体重 90%~120%的个体具有适宜的开产日龄和较多的产蛋数。谭卫莹<sup>[2]</sup>分析了体重对蛋鸡生产性能的影响,提出蛋鸡的生产性能主要包括产蛋量、蛋重和蛋品质 3 个方面。开产体重对这 3 个生产性能指标都有较大的

影响。若开产体重不足,则鸡个体发育不良,不能达到合格生产期,鸡体内的营养物质不足以支撑个体的繁殖任务,必将使开产日龄推迟,产蛋高峰期延迟,产蛋持续时间缩短,总产蛋量下降。如果开产体重过大,鸡只个体提前在体内积累脂肪,提高了耗料量,增加了养殖经济成本。钟仙龙<sup>[11]</sup>对缙云麻鸭开产体重与产蛋性能的关系进行了研究,结果发现开产体重 1 200~1 500 g 的 300 日龄缙云麻鸭产蛋数和总蛋重都较大,但开产体重对平均蛋重的影响不大。这说明开产体重过低或者过高,蛋重差异较大,均一性较差,在实际育种工作中要给予足够重视。开产后,低开产体重组开产蛋重更

小,蛋壳厚度更小,蛋黄重也越小。这在一定程度上可能会影响种蛋的孵化成功率。

下丘脑-垂体-性腺轴是家禽生长繁殖研究领域重要的研究调控机制,生殖轴影响着家禽产蛋性能的发挥,而这种影响主要是通过内分泌途径产生的各种激素来调控的<sup>[7,12]</sup>。由于测定家禽下丘脑、垂体或者卵巢等性腺组织中激素水平不容易操作,在实际科研中一般采集家禽翅下静脉,分离血清来测定相关激素,以此来推测个体激素水平对家禽的影响。王鹏等<sup>[13-14]</sup>采用 ELISA 法测定不同产蛋时期儋州鸡生殖激素含量,结果发现产蛋高峰期 FSH 和 LH 浓度极显著高于开产前期和产蛋后期,这说明 FSH 与 LH 是维持家禽产蛋高峰期的重要激素。刘立文<sup>[15]</sup>研究了日粮能量水平对塞北乌骨鸡促性腺激素分泌的影响,通过饲喂能量水平降低 5%、10%和能量水平升高 5%、10%的日粮,采用放射免疫法测定血浆中激素的含量,结果发现能量水平可通过激素分泌影响生殖性能。该研究发现不同开产体重的组别激素水平同样也会受到影响,最终表现为影响家禽产蛋性能。该研究中中体重组(体重 1 551~1 850 g)苏禽 3 号 L 系在各方面都能做到兼顾,是符合育种种目标的体重。

#### 4 结论

开产体重显著影响苏禽 3 号 L 系的产蛋性能,但对蛋品质的影响不大。随着开产体重的提高,血清中的生殖激素水平也随之升高,而该试验中中体重组(体重 1 551~1 850 g)个

体符合育种目标。

#### 参考文献

- [1] 曹运东,王晓芝,杨莉.开产蛋鸡体重及体型控制技术要点[J].家禽科学,2017(1):21-23.
- [2] 谭卫莹.体重对蛋鸡生产性能的影响[J].吉林农业,2016(12):88.
- [3] 杨祥碧,赖守勋,钟茂伦,等.不同开产体重和均匀度对蛋鸡生产性能的影响[C]//中国畜牧业协会禽业分会,国家蛋鸡产业技术体系.第五届(2011)中国蛋鸡行业发展大会论文集.扬州:《中国家禽》编辑部,2011:4.
- [4] 廉婷,尹华东,刘益平,等.二郎山山地鸡不同开产前期体重对产蛋性能的影响[J].中国家禽,2009,31(22):50-51,54.
- [5] 宋素芳,康相涛,李明,等.固始鸡 G2 系母鸡 8、18 周龄体重与开产体重相关性分析[J].中国家禽,2003,25(13):10-11.
- [6] 马猛,王克华,曲亮,等.鸡开产日龄和开产体质量的主基因+多基因混合遗传分析[J].江西农业大学学报,2015,37(3):530-535.
- [7] 李富贵,刘嘉,苗小猛,等.蛋鸡育成期和产蛋高峰期生殖激素水平及激素受体基因表达规律研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(4):18-26.
- [8] 喻世刚,廖娟,唐梅,等.产蛋期和就巢期峨眉黑鸡血清部分生化指标及生殖激素水平的变化[J].中国家禽,2017,39(22):10-14.
- [9] 李花妮,赵向朋,闫奕源,等.峪口褐壳蛋鸡 B 系开产日龄对其体重、生产和蛋品质性状的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2020(14):60-65.
- [10] 李光奇,石凤英,李花妮,等.蛋鸡 10 周龄体重对产蛋期生长和生产性能的影响[J].中国家禽,2019,41(8):74-76.
- [11] 钟仙龙.缙云麻鸭开产体重与产蛋性能的关系[J].丽水学院学报,2012,34(5):59-60.
- [12] 郭禹,李玉荣,姜璐莹,等.下丘脑-垂体-性腺轴在调控鸡产蛋性能中的核心作用[J].中国家禽,2020,42(7):82-87.
- [13] 王鹏,管庆丰,文福,等.儋州鸡不同产蛋时期生殖激素分泌规律的研究[J].中国家禽,2017,39(4):8-11.
- [14] 王鹏,管庆丰,华蕊,等.促卵泡素和促黄体生成素对儋州鸡生殖激素调控规律的研究[J].中国畜牧兽医,2017,44(10):3029-3034.
- [15] 刘立文.日粮能量水平对塞北乌骨鸡促性腺激素分泌的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(8):204-206.

(上接第 86 页)

表 7 各重金属的富集系数和污染程度

Table 7 Enrichment factor and pollution degree of various heavy metals

重金属 Heavy metal	EF	污染程度 Pollution degree
Cr	3.515	中度污染
Cu	2.386	中度污染
Fe	1.000	无污染
Mn	1.138	轻微污染
Ni	4.432	中度污染
Pb	8.108	显著污染
As	3.256	中度污染
Zn	1.455	轻微污染

的平均含量均高于背景值,其中 Pb 的含量最高,高于背景值 6.44 倍;内梅罗综合污染指数为 1.298,土壤达到轻度污染的程度。Ni 的超标样点共 20 个,超标率达 76.9%;As 超标样点 2 个,超标率为 7.7%;Pb 仅 1 个超标样点,超标率为 3.8%,其余元素均未超标。这可能与人类活动有关。

(2)地积累指数法和富集系数法的评价结果表明吉林省黑土区 Pb 污染较为严重,受到了人为活动排放的影响。Ni、Cr、Cu、As 为中度污染,Fe、Mn、Zn 为轻微污染程度,并未造成污染。

#### 参考文献

- [1] 吴启堂.环境土壤学[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 刘培桐.环境学概论[M].北京:高等教育出版社,2011:109,127-128.
- [3] 何东明,王晓飞,陈丽君,等.基于地积累指数法和潜在生态风险指数法评价广西某农田土壤重金属污染[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):126-131.
- [4] 赵秀峰,王强盛,石宁宁,等.石化园区周边农田土壤重金属污染分析与评价[J].环境科学学报,2010,30(1):133-141.
- [5] 赵庆令,李清彩,谢江坤,等.应用富集系数法和地累积指数法研究济南部区域土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].岩矿测试,2015,34(1):129-137.
- [6] 胡恭任,于瑞莲.应用地累积指数法和富集因子法评价 324 国道塘头段两侧土壤的重金属污染[J].中国矿业,2008,17(4):47-51.
- [7] 李娟娟,马金涛,楚秀娟,等.应用地累积指数法和富集因子法对铜矿区土壤重金属污染的安全评价[J].中国安全科学学报,2006,16(12):135-139,170.
- [8] 孙锐,舒帆,郝伟,等.典型 Pb/Zn 矿区土壤重金属污染特征与 Pb 同位素源解析[J].环境科学,2011,32(4):1146-1153.
- [9] LOSKA K, WIECHUŁA D, KORUS I. Metal contamination of farming soils affected by industry[J]. Environment international, 2004, 30(3): 159-165.
- [10] 李绍生.永城矿区土壤重金属污染评价研究[J].河南科学,2011,29(4):484-488.
- [11] 胡艳霞,周连第,魏长山,等.北京水源保护地土壤重金属空间变异及污染特征[J].土壤通报,2013,44(6):1483-1490.
- [12] 滕彦国,鹿先国,倪师军,等.攀枝花工矿区土壤重金属人为污染的富集因子分析[J].土壤与环境,2002,11(1):13-16.
- [13] SUTHERLAND R A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii[J]. Environmental geology, 2000, 39(6): 611-627.
- [14] 李健,郑春江.环境背景值数据手册[M].北京:中国环境科学出版社,1988.
- [15] 国家环境保护局,国家技术监督局.土壤环境质量标准:GB 15618-1995[S].北京:中国标准出版社,1995.