

# 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能、蛋品质、血浆生化指标及血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量的影响

赵睿<sup>1</sup> 张博<sup>2</sup> 夏芳<sup>3</sup> 唐静<sup>2</sup> 侯水生<sup>2</sup> 吕丽华<sup>1\*</sup> 冯焱<sup>4\*</sup>

(1.山西农业大学动物科技学院,太谷 030801;2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,动物营养学国家重点实验室,北京 100193;3.安徽省芜湖市畜牧兽医局,芜湖 241000;4.山西农业大学生命科学学院,太谷 030801)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能、蛋品质、血浆生化指标及血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量的影响。采用单因子完全随机试验设计,选取 80 只 40 周龄产蛋期北京鸭母鸭,随机分为 5 个组,每组 8 个重复,每个重复 2 只鸭。各组分别饲喂核黄素水平为 1.48、3.98、6.48、11.48 和 16.48 mg/kg 的试验饲料。试验期 7 周。结果显示:1) 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭的体重、产蛋率、蛋重均无显著影响( $P>0.05$ )。2) 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭的蛋壳强度、蛋黄颜色、哈氏单位、蛋黄重及蛋黄比例均无显著影响( $P>0.05$ )。3) 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭的血浆谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性及总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇含量均无显著影响( $P>0.05$ )。4) 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量均有显著影响( $P<0.05$ )。随着饲料核黄素水平提高,各组血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量均呈上升趋势,当饲料核黄素水平提高至 11.48 mg/kg 时,血浆、蛋黄和蛋清核黄素含量均达到稳定。由此可见,饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能、蛋品质和血浆生化指标均无显著影响,但对血浆、蛋黄和蛋清中核黄素的含量有提高作用。分别以血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量作为评价指标,采用折线模型估测产蛋期北京鸭核黄素的需要量为 6.91、5.04 和 8.02 mg/kg。

**关键词:** 核黄素;维生素 B<sub>2</sub>;北京鸭;产蛋性能;蛋品质;血浆生化指标

中图分类号:S834

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)06-2889-07

核黄素又称维生素 B<sub>2</sub>,主要以黄素单核苷酸(flavin mononucleotide, FMN)和黄素腺嘌呤二核苷酸(flavin adenine dinucleotide, FAD) 2 种活性形式参与体内的生理生化过程<sup>[1]</sup>。核黄素主要参与体内的生物氧化,参与三羧酸(tricarboxylic acid, TCA)循环、脂肪酸 $\beta$ 氧化、氨基酸降解和电子传递链等过程<sup>[2]</sup>。目前相关研究表明,家禽饲料中添加适宜水平的核黄素可提高蛋白质沉积和饲料

利用效率<sup>[3-8]</sup>。蛋鸡饲料中添加核黄素可提高产蛋性能和蛋品质<sup>[3-4]</sup>。饲料中核黄素不足可导致白来航鸡体重、产蛋率和蛋重均显著降低,蛋壳厚度显著提高<sup>[3-4]</sup>,而添加 4.4 mg/kg 核黄素可显著提高其产蛋性能和蛋品质<sup>[3]</sup>。目前,水禽相关研究方面关于不同品种鸭的核黄素营养已有一些报道。霍思远<sup>[5]</sup>研究发现,饲料中添加 10 mg/kg 核黄素能显著提高笼养长期蛋鸭的生产性能。王

收稿日期:2019-11-28

基金项目:山西省留学项目(2017-67);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2018-YWF-YTS-8);山西省科技厅转化项目(J241942022)

作者简介:赵睿(1994—),女,山西长治人,硕士研究生,从事动物营养与繁殖研究。E-mail: 1410604839@qq.com

\*通信作者:吕丽华,教授,博士生导师,E-mail: sxauhlh@126.com;冯焱,副教授,硕士生导师,E-mail: fengyan0927@sina.com

爽等<sup>[6]</sup>报道,龙岩山麻鸭饲料中添加 6 mg/kg 核黄素可获得较好的产蛋率、料蛋比和蛋品质。唐静等<sup>[7]</sup>报道,饲料中添加 3.2~5.2 mg/kg 核黄素可显著提高生长期北京鸭生产性能、组织核黄素含量和抗氧化功能,显著降低血浆甘油三酯含量。石天虹等<sup>[8]</sup>研究发现,饲料中添加 20 mg/kg 的核黄素可以显著改善金定鸭的蛋黄色泽。然而,饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭的产蛋性能和蛋品质的影响还未见报道,关于产蛋期北京鸭饲料中适宜的核黄素添加量还不清楚,有待于进一步研究。因此,本试验拟通过探究饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能、蛋品质、血浆生化指标以及血浆、蛋黄及蛋清中核黄素含量的影响,以确定产蛋期北京鸭核黄素的需要量。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料和试验饲料

核黄素购自湖北广济药业股份有限公司,纯度为 80%。

基础饲料参照我国《肉鸭饲养标准》NY/T 2122—2012 配制,基础饲料组成及营养水平见表 1。高效液相色谱法测得基础饲料中核黄素含量为 1.48 mg/kg。在基础饲料中分别加入 0、2.5、5.0、10.0 和 15.0 mg/kg 核黄素,配制成 5 种试验饲料。试验饲料中核黄素总含量分别为 1.48、3.98、6.48、11.48 和 16.48 mg/kg。

### 1.2 试验设计及饲养管理

试验采用单因子完全随机试验设计,选取 80 只 40 周龄产蛋期北京鸭母鸭(中国农业科学院北京畜牧兽医研究所北京鸭昌平育种基地提供),按照体重和产蛋率一致的原则,随机分为 5 组,分别饲喂 5 种试验饲料,每组 8 个重复,每个重复 2 只鸭。试验鸭单笼平地饲养。试验期 7 周,试验期间自由采食和饮水,室温条件下人工补光,全天光照,其余按照常规饲养管理进行。

### 1.3 测定指标及方法

试验结束时称取母鸭体重,试验第 7 周每天收集所有鸭蛋,统计每天产蛋率,并称取蛋重。

试验第 7 周末,收集 1 d 所有鸭蛋测定蛋品质指标。利用多功能蛋品质分析仪(Orka Food Technology Ltd,以色列)测定哈氏单位、蛋黄颜色、蛋黄重、蛋黄比例和蛋壳强度。

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	56.00
豆粕 Soybean meal	23.80
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	10.00
石粉 Limestone	7.00
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.50
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00
食盐 NaCl	0.30
赖氨酸盐酸盐 Lys · HCl	0.30
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.10
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.48
粗蛋白质 CP	19.29
钙 Ca	3.07
有效磷 AP	0.35
赖氨酸 Lys	1.04
精氨酸 Arg	1.01
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.77
蛋氨酸 Met	0.46
苏氨酸 Thr	0.76
色氨酸 Trp	0.20
核黄素 Riboflavin/(mg/kg)	1.48

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per diet of the diet: Cu (CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O) 10 mg, Fe (FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O) 60 mg, Zn (ZnO) 60 mg, Mn (MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O) 80 mg, Se (NaSeO<sub>3</sub>) 0.3 mg, I (KI) 0.2 mg, 氯化胆碱 choline chloride 1 000 mg, VA 10 000 IU, VD 3 000 IU, VE 20 IU, VK<sub>3</sub> 2 mg, 硫胺素 thiamin 2 mg, 吡哆醇 pyridoxine hydrochloride 4 mg, 钴胺素 cobalamin 0.02 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 20 mg, 尼克酸 nicotinic acid 50 mg, 叶酸 folic acid 1 mg, 生物素 biotin 0.2 mg。

2) 核黄素为实测值,其他为计算值。Riboflavin was a measured value, while the others were calculated values.

试验结束时,母鸭空腹 12 h 后采集 5 mL 血液,放置于含有抗凝剂(肝素钠)的采血管中,置于离心机内 2 100×g 离心 15 min 制备血浆,-20 ℃ 冷冻保存备用。使用全自动生化分析仪(日立 721 型)测定母鸭血浆生化指标,测定指标包括谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)活性及总胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量。

采用高效液相色谱法测定母鸭血浆、蛋黄及蛋清中核黄素含量<sup>[9]</sup>。

#### 1.4 数据分析

试验数据以“平均值±标准差”表示。数据采用 SAS 9.0 统计软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 用 Duncan 氏法进行多重比较。P<0.05 为差异显著水平。采用折线模型估测产蛋期北京鸭核黄素需要量。

## 2 结果

### 2.1 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭体重及产蛋性能的影响

由表 2 可见, 饲料核黄素水平对试验第 7 周北京鸭的体重、产蛋率和蛋重均无显著影响 (P>0.05)。

表 2 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭体重及产蛋性能的影响

Table 2 Effects of dietary riboflavin level on body weight and laying performance of Pekin ducks during laying period

饲料核黄素水平 Dietary riboflavin levels/(mg/kg)	体重 Body weight/kg	产蛋率 Laying rate/%	蛋重 Egg weight/g
1.48	3.35±0.24	83.44±11.88	92.83±6.62
3.98	3.40±0.26	83.59±15.81	96.22±7.98
6.48	3.34±0.18	78.13±10.52	93.07±4.94
11.48	3.39±0.28	80.47±17.38	91.86±6.81
16.48	3.38±0.27	84.72±11.53	91.34±6.67
P 值 P-value	0.93	0.92	0.30

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)。表 3~表 5 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 Table 3 to Table 5.

### 2.2 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭蛋品质的影响

由表 3 可见, 饲料核黄素水平对试验第 7 周北

京鸭的蛋壳强度、蛋黄颜色、哈氏单位、蛋黄重及蛋黄比例均无显著影响 (P>0.05)。

表 3 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭蛋品质的影响

Table 3 Effects of dietary riboflavin level on egg quality of Pekin ducks during laying period

饲料核黄素水平 Dietary riboflavin levels/(mg/kg)	蛋壳强度 Eggshell strength/kg	蛋黄颜色 Eggshell color	哈氏单位 Haugh unit	蛋黄重 Yolk weight/g	蛋黄比例 Yolk proportion/%
1.48	3.52±0.70	9.89±0.42	63.00±12.36	31.86±2.35	0.34±0.02
3.98	4.02±0.91	9.63±0.74	70.96±7.22	32.71±2.67	0.34±0.02
6.48	3.34±1.14	9.50±0.76	69.84±10.06	31.79±2.85	0.34±0.03
11.48	3.68±0.59	9.50±0.55	60.30±8.07	31.56±3.10	0.35±0.03
16.48	3.42±1.11	9.92±0.50	63.28±17.78	31.88±2.82	0.35±0.03
P 值 P-value	0.32	0.15	0.45	0.85	0.40

### 2.3 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆生化指标的影响

由表 4 可见, 饲料核黄素水平对试验第 7 周北京鸭的血浆谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性及总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇含量均无显著影响 (P>0.05)。

### 2.4 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量的影响

由表 5 可见, 饲料核黄素水平对试验第 7 周北京鸭血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量均有显著影响 (P<0.05)。1.48 mg/kg 组北京鸭的血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量最低, 显著低于其他各组 (P<0.05)。随着饲料核黄素水平的提高, 各组血浆、

蛋黄和蛋清中核黄素含量均呈上升趋势,当饲料核黄素水平提高至 11.48 mg/kg 时,血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量均达到平台期。

表 4 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary riboflavin level on plasma biochemical parameters of Pekin ducks during laying period

饲料核黄素水平 Dietary riboflavin levels/(mg/kg)	谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	谷草转氨酶 AST/(U/L)	总胆固醇 CHOL/(mmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	低密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)
1.48	44.53±8.29	20.53±8.64	3.24±0.57	18.14±5.09	1.42±0.23	0.65±0.10
3.98	46.62±7.52	18.69±7.24	3.96±1.14	22.52±6.09	1.64±0.36	0.67±0.15
6.48	43.73±10.33	19.00±11.14	3.46±0.56	19.50±6.44	1.49±0.18	0.64±0.06
11.48	45.64±10.72	14.64±4.13	3.51±0.80	18.69±5.33	1.46±0.26	0.71±0.22
16.48	47.30±6.82	20.00±10.73	3.57±0.86	20.79±5.02	1.49±0.29	0.65±0.16
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	0.76	0.52	0.25	0.24	0.32	0.83

表 5 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆、蛋黄及蛋清中核黄素含量的影响

Table 5 Effects of dietary riboflavin level on contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen of Pekin ducks during laying period

饲料核黄素水平 Dietary riboflavin levels/(mg/kg)	血浆 Plasma/( $\mu$ mol/L)	蛋黄 Yolk/( $\mu$ g/g)	蛋清 Albumen/(ng/g)
1.48	1.15±0.59 <sup>d</sup>	7.05±0.96 <sup>c</sup>	17.05±6.59 <sup>d</sup>
3.98	3.14±0.58 <sup>c</sup>	15.45±3.93 <sup>b</sup>	43.29±8.86 <sup>c</sup>
6.48	3.75±0.32 <sup>b</sup>	18.00±3.64 <sup>a</sup>	56.39±9.08 <sup>b</sup>
11.48	4.22±0.48 <sup>a</sup>	19.43±3.13 <sup>a</sup>	72.50±14.14 <sup>a</sup>
16.48	4.30±0.78 <sup>a</sup>	19.09±2.87 <sup>a</sup>	72.90±15.71 <sup>a</sup>
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	<0.01	<0.01	<0.01

## 2.5 产蛋期北京鸭核黄素需要量估测

本试验采用折线模型估测产蛋期北京鸭核黄素需要量,结果见表 6。分别以血浆、蛋黄和蛋清

中核黄素含量作为评价指标,经过模型估测,产蛋期北京鸭核黄素的需要量为 6.91、5.04 和 8.02 mg/kg。

表 6 产蛋期北京鸭核黄素需要量估测

Table 6 Evaluation of riboflavin requirement of Pekin ducks during laying period

项目 Items	回归方程 Regression equation	需要量 Requirement/(mg/kg)	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	决定系数 $R^2$
血浆核黄素 Plasma riboflavin	$Y=4.28-0.55\times(6.91-X)$	6.91	<0.01	0.79
蛋黄核黄素 Yolk riboflavin	$Y=19.00-3.36\times(5.04-X)$	5.04	<0.01	0.79
蛋清核黄素 Albumen riboflavin	$Y=72.77-8.36\times(8.02-X)$	8.02	<0.01	0.80

## 3 讨论

### 3.1 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能的影响

国外在蛋鸡上的多个试验表明,饲料添加核

黄素可显著提高产蛋性能<sup>[3-4,10-11]</sup>。饲料核黄素水平不足可显著降低试验第 27 周产蛋母鸡体重、产蛋率和蛋重<sup>[3-4]</sup>。然而,王爽等<sup>[6]</sup>报道饲料核黄素水平对福建龙岩山麻鸭试验第 12 周产蛋性能无显著影响。本试验中,饲料核黄素水平对产蛋

期北京鸭试验第7周产蛋性能并无显著影响,与王爽等<sup>[6]</sup>的试验结果一致。核黄素参与体内生物氧化与能量代谢,与碳水化合物、蛋白质、核酸和脂肪的代谢相关,促进机体的生长发育,提高产蛋性能。本试验结果与蛋鸡上的研究结果<sup>[3-4,10-11]</sup>不同,可能与试验动物和试验周期不同有关。

### 3.2 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭蛋品质的影响

蛋黄颜色是衡量禽蛋质量的重要指标之一,消费者倾向于蛋黄呈金黄色。核黄素可能通过其抗氧化功能对蛋黄的着色成分起到保护作用,此外,蛋黄中的黄色有一部分来自核黄素<sup>[6]</sup>。研究表明,蛋鸡饲料中添加核黄素可显著提高蛋品质,饲料中添加核黄素可提高白来航鸡的蛋壳厚度<sup>[3-4]</sup>。石天虹等<sup>[8]</sup>研究发现,金定鸭饲料中添加20 mg/kg核黄素可改善蛋黄色泽,从7.9提高到9.0。王爽等<sup>[6]</sup>研究表明,随饲料核黄素添加水平升高,鸭蛋哈氏单位、蛋白高度以及蛋黄色泽呈现先升高后降低的趋势,其中,饲料核黄素添加水平为12 mg/kg时,蛋黄色泽最高。本试验中,饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭蛋品质并未产生显著影响,可能是由于试验周期较短以及物种的差异造成的。

### 3.3 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆生化指标的影响

核黄素参与脂肪酸 $\beta$ 氧化过程,依赖FAD的脂酰辅酶A脱氢酶是脂肪酸 $\beta$ 氧化过程的关键限速酶。核黄素缺乏导致机体脂酰辅酶A脱氢酶活性降低,脂肪酸 $\beta$ 氧化受阻,从而导致脂肪积累<sup>[12-13]</sup>。唐静等<sup>[14]</sup>研究表明,核黄素缺乏显著提高了1~28日龄北京鸭血浆谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性以及尿酸、甘油三酯和总胆固醇含量;同时,核黄素缺乏显著提高了15~42日龄北京鸭血浆谷丙转氨酶活性和甘油三酯含量。这些数据表明,饲料核黄素不足可导致北京鸭脂肪代谢紊乱、肝脏受损。在本试验中,饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性及甘油三酯、总胆固醇、高低密度脂蛋白胆固醇含量等指标均未产生显著影响,可能与试验动物日龄有关。

### 3.4 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量的影响

组织中核黄素含量是反映机体核黄素营养状

况的敏感指标<sup>[15-17]</sup>。徐琪寿等<sup>[15]</sup>的研究表明,大鼠采食核黄素缺乏的饲料4周后,血浆核黄素含量仅为对照组的8.1%;唐静等<sup>[14]</sup>报道,饲喂生长期北京鸭核黄素缺乏的饲料4周后,血浆核黄素含量仅为对照组的9%。本试验中,产蛋期北京鸭饲喂核黄素缺乏的基础饲料7周后,血浆核黄素含量降为核黄素充足组的26.7%,进一步说明血浆核黄素含量能够敏感地反映机体的核黄素营养状况。此外,研究表明,饲料核黄素缺乏会显著降低白来航鸡蛋黄和蛋清中核黄素的含量,且随着试验周期的延长逐渐降低<sup>[3-4,10-11]</sup>;王爽等<sup>[6]</sup>在蛋鸭上也发现了类似的结果。本试验中,饲喂核黄素缺乏的基础饲料组蛋黄和蛋清中核黄素含量最低,随着饲料核黄素水平的提高逐渐提高,与前人的研究结果<sup>[3-4,6]</sup>相似。研究还表明,蛋鸡饲料核黄素水平不足时,蛋清核黄素含量比蛋黄核黄素含量下降更快<sup>[3]</sup>。本试验也发现,与饲料核黄素水平较高组(11.48和16.48 mg/kg组)相比,饲喂基础饲料的产蛋期北京鸭蛋清核黄素含量下降幅度大于蛋黄核黄素含量;且饲料核黄素水平分别达到11.48和16.48 mg/kg时,蛋黄和蛋清核黄素含量到达平台期,说明蛋清核黄素含量比蛋黄核黄素含量更为敏感,这与前人的研究结果<sup>[3]</sup>一致。

### 3.5 产蛋期北京鸭核黄素需要量

关于蛋鸡和蛋鸭核黄素的需要量已有报道,饲料中添加4.4 mg/kg核黄素可显著提高白来航鸡体重、产蛋性能、蛋品质以及蛋清和蛋黄核黄素含量<sup>[3]</sup>。王爽等<sup>[6]</sup>报道,龙岩山麻鸭饲料中添加6 mg/kg核黄素可获得较好的产蛋率、料蛋比和蛋品质。NRC(1994)对产蛋期北京鸭核黄素的推荐量为4 mg/kg,但是该数据仅来自20世纪早期的2篇关于生长前北京鸭核黄素需要量的研究<sup>[18-19]</sup>。唐静等<sup>[7]</sup>研究了生长期北京鸭的核黄素需要量,结果表明饲料中添加3.2~5.2 mg/kg核黄素可显著提高生长期北京鸭生产性能、组织核黄素含量和抗氧化功能。然而,关于产蛋期北京鸭饲料中适宜的核黄素添加量还未见报道。因此,本试验利用折线模型探讨产蛋期北京鸭核黄素的需要量<sup>[20-22]</sup>,为肉鸭饲养标准的制定提供参考。试验分别以血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量作为评价指标,采用折线模型估测产蛋期北京鸭核黄素的需要量为6.91、5.04和8.02 mg/kg,明显高于NRC(1994)对产蛋期北京鸭核黄素的推荐量

(4 mg/kg)。

## 4 结 论

① 饲料核黄素水平对产蛋期北京鸭产蛋性能、蛋品质和血浆生化指标均没有显著影响。

② 饲料添加核黄素可显著提高产蛋期北京鸭的血浆、蛋黄、蛋清中核黄素含量。

③ 分别以产蛋期北京鸭血浆、蛋黄和蛋清中核黄素含量作为评价指标,采用折线模型估测产蛋期北京鸭核黄素的需要量为 6.91、5.04 和 8.02 mg/kg。

## 参考文献:

- [ 1 ] SAEDISOMEOLIA A, ASHOORI M. Riboflavin in human health: a review of current evidences [ J ]. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2018, 83: 57-81.
- [ 2 ] LIENHART W D, GUDIPATI V, MACHEROUX P. The human flavoproteome [ J ]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2013, 535(2): 150-162.
- [ 3 ] SQUIRES M W, NABER E C. Vitamin profiles of eggs as indicators of nutritional status in the laying hen; riboflavin study [ J ]. *Poultry Science*, 1993, 72(3): 483-494.
- [ 4 ] NABER E C, SQUIRES M W. Research note; early detection of the absence of a vitamin premix in layer diets by egg albumen riboflavin analysis [ J ]. *Poultry Science*, 1993, 72(10): 1989-1993.
- [ 5 ] 霍思远.核黄素对 5~11 周龄生长蛋鸭生产性能及生化指标的影响 [ D ]. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [ 6 ] 王爽, 陈伟, 阮栋, 等. 饲料核黄素水平对笼养蛋鸭产蛋性能、蛋品质、血液生化及抗氧化指标的影响 [ J ]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3284-3290.
- [ 7 ] 唐静, 谢明, 侯水生, 等. 日粮核黄素水平对 1~21 日龄北京鸭生长性能、抗氧化能力及激素分泌的影响 [ J ]. *畜牧兽医学报*, 2012, 43(11): 1747-1753.
- [ 8 ] 石天虹, 黄保华, 魏祥法, 等. 不同饲料添加剂对鸭蛋成分、蛋品质和蛋黄着色效果影响的研究 [ J ]. *饲料工业*, 2010, 31(21): 7-11.
- [ 9 ] 韦京豫, 郭长江, 徐静, 等. 测定外周血核黄素及其衍生物含量的 HPLC 方法研究 [ J ]. *营养学报*, 2006, 28(1): 79-82.
- [ 10 ] PETERSEN C F, LAMPMAN C E, STAMBERG O E. Effect of riboflavin intake on egg production and riboflavin content of eggs [ J ]. *Poultry Science*, 1947, 26(2): 180-186.
- [ 11 ] STAMBERG O E, PETERSEN C F, LAMPMAN C E. Effect of riboflavin intake on the content of egg whites and yolks from individual hens [ J ]. *Poultry Science*, 1946, 25(4): 320-326.
- [ 12 ] GIANAZZA E, VERGANI L, WAIT R, et al. Coordinated and reversible reduction of enzymes involved in terminal oxidative metabolism in skeletal muscle mitochondria from a riboflavin-responsive, multiple acyl-CoA dehydrogenase deficiency patient [ J ]. *Electrophoresis*, 2006, 27(5/6): 1182-1198.
- [ 13 ] TANG J, HEGEMAN M A, HU J, et al. Severe riboflavin deficiency induces alterations in the hepatic proteome of starter Pekin ducks [ J ]. *British Journal of Nutrition*, 2017, 118(9): 641-650.
- [ 14 ] 唐静, 胡健, 江勇, 等. 核黄素缺乏对 1~28 日龄北京鸭生长性能、器官指数和血浆生化指标的影响 [ J ]. *动物营养学报*, 2017, 29(11): 3899-3905.
- [ 15 ] 徐琪寿, 韦京豫, 杨继军, 等. 核黄素缺乏大鼠血浆与红细胞核黄素及衍生物浓度的变化 [ J ]. *营养学报*, 2005, 27(5): 386-389.
- [ 16 ] HUSTAD S, MCKINLEY M C, MCNULTY H, et al. Riboflavin, flavin mononucleotide, and flavin adenine dinucleotide in human plasma and erythrocytes at baseline and after low-dose riboflavin supplementation [ J ]. *Clinical Chemistry*, 2002, 48(9): 1571-1577.
- [ 17 ] MOAT S J, ASHFIELD-WATT P A, POWERS H J, et al. Effect of riboflavin status on the homocysteine-lowering effect of folate in relation to the MTHFR (C677T) genotype [ J ]. *Clinical Chemistry*, 2003, 49(2): 295-302.
- [ 19 ] FRITZ J C, ARCHER W, BARKER D. Riboflavin requirements of ducklings [ J ]. *Poultry Science*, 1939, 18(6): 449-454.
- [ 19 ] HEGSTED D M, PERRY R L. Nutritional studies with the duck: V. Riboflavin and pantothenic acid requirements: one figure [ J ]. *The Journal of Nutrition*, 1948, 35(4): 411-417.
- [ 20 ] DENG D F, WILSON R P. Dietary riboflavin requirement of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *Morone saxatilis* ♂) [ J ]. *Aquaculture*, 2003, 218(1/2/3/4): 695-701.
- [ 21 ] CHUNG T K, BAKER D H. Riboflavin requirement of chicks fed purified amino acid and conventional corn-soybean meal diets [ J ]. *Poultry Science*, 1990, 69(8): 1357-1363.
- [ 22 ] RUIZ N, HARMS R H. Riboflavin requirement of

broiler chicks fed a corn-soybean diet[J]. Poultry Sci-

ence, 1988, 67(5): 794-799.

## Effects of Dietary Riboflavin Level on Laying Performance, Egg Quality and Plasma Biochemical Parameters and Contents of Riboflavin in Plasma, Yolk and Albumen of Pekin Ducks during Laying Period

ZHAO Rui<sup>1</sup> ZHANG Bo<sup>2</sup> XIA Fang<sup>3</sup> TANG Jing<sup>2</sup> HOU Shuisheng<sup>2</sup> LYU Lihua<sup>1\*</sup> FENG Yan<sup>4\*</sup>

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Wuhu Animal Husbandry and

Veterinary Bureau, Wuhu 241000, China; 4. College of Life Science, Shanxi

Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to investigate the effects of dietary riboflavin level on laying performance, egg quality and plasma biochemical parameters and contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen of Pekin ducks during laying period. A single factor completely randomize design was used, eighty 40-week-old female Pekin ducks during laying period were randomly divided into 5 groups with 8 replicates per group and 2 ducks per replicate. Ducks in the 5 groups were fed the experimental diets which riboflavin levels were 1.48, 3.98, 6.48, 11.48 and 16.48 mg/kg, respectively. The experiment lasted for 7 weeks. The results showed as follow: 1) dietary riboflavin level had no significant effects on body weight, laying rate and egg weight of Pekin ducks during laying period ( $P>0.05$ ). 2) Dietary riboflavin level had no significant effects on eggshell strength, eggshell color, Haugh unit, yolk weight and yolk proportion of Pekin ducks during laying period ( $P>0.05$ ). 3) Dietary riboflavin level had no significant effects on activities of alanine aminotransferase and glutamate aminotransferase and contents of total cholesterol, triglycerides, high density lipoprotein cholesterol, low density lipoprotein cholesterol in plasma of Pekin ducks during laying period ( $P>0.05$ ). 4) Dietary riboflavin level had significant effects on the contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen of Pekin ducks during laying period ( $P<0.05$ ). With dietary riboflavin level increased, the contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen of each group showed an increase trend, and reached a plateau when dietary riboflavin level increased to 11.48 mg/kg. In conclusion, dietary riboflavin level had no significant effects on laying performance, egg quality and plasma biochemical parameters of Pekin ducks during laying period, but can improve the contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen. Using the contents of riboflavin in plasma, yolk and albumen as evaluation indexes, the estimated riboflavin requirement of Pekin ducks during laying period by broken line model are 6.91, 5.04 and 8.02 mg/kg, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(6): 2889-2895]

**Key words:** riboflavin; vitamin B<sub>2</sub>; Pekin ducks; laying performance; egg quality; plasma biochemical parameters

\* Corresponding authors: LYU Lihua, professor, E-mail: sxau11h@126.com; FENG Yan, associate professor, E-mail: fengyan0927@sina.com

(责任编辑 武海龙)