

# 饲料添加 25-羟基维生素 D<sub>3</sub>、植物精油和苯甲酸对蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道形态的影响

弓浩杰 丁雪梅 白世平 曾秋凤 张克英 申攀 王建萍\*

(四川农业大学动物营养研究所,教育部动物抗病营养重点实验室,动物抗病营养与饲料农业农村部重点实验室,动物抗病营养四川省重点实验室,成都 611130)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料添加 25-羟基维生素 D<sub>3</sub> (HyD)、植物精油和苯甲酸对蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道形态的影响。试验采用单因子试验设计,选取 45 周龄 1 200 只产蛋后期罗曼粉壳蛋鸡,随机分为 5 个组,每组 10 个重复,每个重复 24 只鸡。对照组饲喂玉米-豆粕型基础饲料,试验组分别饲喂在基础饲料中添加 0.069 mg/kg HyD (HYD 组)、0.069 mg/kg HyD+150 mg/kg 植物精油 (PEO 组)、1 000 mg/kg 苯甲酸 (BA1 组) 和 2 000 mg/kg 苯甲酸 (BA2 组) 的饲料。试验预试期 4 周,正试期 16 周。结果表明:1) 与对照组相比,PEO 组、BA1 组和 BA2 组蛋鸡第 1~4 周平均日采食量显著降低 ( $P<0.05$ ),同时料蛋比也显著降低 ( $P<0.05$ );BA2 组蛋鸡第 1~4 周和第 13~16 周平均蛋重显著降低 ( $P<0.05$ )。2) 与对照组相比,PEO 组第 4 周蛋壳厚度显著提高 ( $P<0.05$ ),试验组第 8 周蛋壳厚度均显著提高 ( $P<0.05$ ),PEO 组、BA1 组和 BA2 组第 16 周蛋白高度和哈氏单位显著提高 ( $P<0.05$ )。3) 与对照组相比,试验组鸡蛋破壳蛋率和暗斑蛋发生率降低。4) 与对照组相比,HYD 组、PEO 组和 BA1 组蛋鸡十二指肠绒毛高度显著增加 ( $P<0.05$ ),PEO 组蛋鸡十二指肠绒毛高度/隐窝深度值显著增加 ( $P<0.05$ );PEO 组蛋鸡空肠绒毛高度显著高于对照组 ( $P<0.05$ )。5) 与对照组相比,HYD 组和 PEO 组蛋鸡胫骨强度显著提高 ( $P<0.05$ )。6) 与对照组相比,HYD 组和 PEO 组蛋鸡血清促卵泡素和钙含量显著增加 ( $P<0.05$ )。结果提示,蛋鸡饲料中添加 HyD 或同时添加 HyD 和植物精油可以提高产蛋后期生产性能、蛋品质和胫骨质量并能改善肠道形态,而 HyD、HyD+植物精油和低剂量的苯甲酸可以降低破壳蛋率和暗斑蛋的发生率,但短期(前 4 周)高剂量的苯甲酸会降低蛋鸡的采食量,从而影响蛋鸡产蛋性能。

**关键词:** 蛋鸡;生产性能;蛋品质;肠道形态;胫骨质量;25-羟基维生素 D<sub>3</sub>;苯甲酸

中图分类号:S816.7

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)06-2638-12

我国是全世界最大的蛋鸡饲养、鸡蛋生产及消费大国,2019 年我国蛋鸡的存栏量为 11.50 亿只,鸡蛋产量约为 2 864 万 t。随着我国蛋鸡产业发展,为提高饲养效率,降低生产成本,集约化高

密度饲养将成为养殖的主要方式。有研究表明,集约化高密度饲养会降低蛋鸡的生产性能和骨骼发育<sup>[1-2]</sup>,同时易引起鸡群热应激,降低采食量,导致产蛋率降低<sup>[3]</sup>。在集约化饲养方式下,来自高

收稿日期:2019-12-13

基金项目:国家十三五重点研发计划(2017YFD0500500);国家自然科学基金项目(31872792);四川省科技厅国际合作项目(2019YFH0062);四川省蛋鸡产业链项目(2018NZ0009,2014NZ0002,2014NZ0043,2013NZ0054)

作者简介:弓浩杰(1997—),男,山西太原人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: ghjie2904@163.com

\*通信作者:王建萍,副教授,硕士生导师,E-mail: wangjianping@sicau.edu.cn

密度、高温、高产、饲料有毒有害物质等应激因素对蛋鸡生产性能和健康的影响,以及在产蛋后期钙沉积能力有限导致蛋壳变薄、易破损已成为了蛋鸡养殖中所面临的主要问题。

25-羟基维生素 D<sub>3</sub>(HyD)是维生素 D<sub>3</sub>的一种中间活性代谢产物,血液中的 HyD 是维持骨骼健康的重要因素<sup>[4]</sup>。研究发现饲料中添加 HyD 可以调节蛋鸡钙磷的吸收,促进其骨骼发育<sup>[5]</sup>,提高蛋壳质量,降低破壳蛋率,提高其生产性能<sup>[6]</sup>。苯甲酸是一种芳香族酸,存在于酸果蔓、肉桂和丁香中,广泛用作食品防腐剂<sup>[7]</sup>,具有广谱抗菌的特性<sup>[8]</sup>。有研究表明,有机酸具有调节肠道菌群结构、提高肠道消化酶活性的作用<sup>[9]</sup>,饲料中添加有机酸能够提高肉鸡的生长性能<sup>[10-11]</sup>,但苯甲酸对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响还不清楚。本试验所用植物精油主要成分是为百里香酚、香芹酚和胡椒碱。研究发现百里香酚可提高蛋鸡的产蛋率<sup>[12-13]</sup>,并且植物精油作为促生长剂能够改善家禽的生产性能<sup>[14-15]</sup>。此外,植物精油能够延缓鸡蛋的氧化<sup>[16-17]</sup>,提高蛋品质和鸡蛋货架期,但饲料中同时添加 HyD 和植物精油对蛋鸡的影响尚不清楚,有待进一步的研究。

为此,本试验通过在蛋鸡饲料中添加 HyD、植物精油和苯甲酸,研究其对蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道形态的影响,为生产实践提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验采用单因子试验设计,选用 1 200 只 45 周龄产蛋后期罗曼粉壳蛋鸡,随机分为 5 个组,每组 10 个重复,每个重复 24 只鸡(6 只/笼子,4 个连续的笼子为 1 个重复)。试验开始前,先进行 4 周的预试验,预试期间蛋鸡饲喂玉米-豆粕型基础饲料,调整使得各组间起始产蛋率一致。正试期 16 周。正试期间,对照组饲喂基础饲料,试验组分别饲喂在基础饲料中添加 0.069 mg/kg HyD (HYD 组)、0.069 mg/kg HyD+150 mg/kg 植物精油(PEO 组)、1 000 mg/kg 苯甲酸(BA1 组)和 2 000 mg/kg 苯甲酸(BA2 组)的饲料。基础饲料根据 NRC(1994)和我国《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)配制,其组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲料组成及其营养水平(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	59.06
小麦麸 Wheat bran	3.87
大豆油 Soybean oil	1.50
豆粕 Soybean meal (43% CP)	15.24
玉米蛋白粉 Corn gluten meal (60% CP)	5.00
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	5.00
石粉(粒状) Limestone (granular)	6.10
石粉(粉状) Limestone (powder)	2.50
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	0.94
食盐 NaCl	0.25
小苏打 NaHCO <sub>3</sub>	0.10
L-赖氨酸硫酸盐 L-Lys · HCl	0.16
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.01
氯化胆碱 Choline chloride	0.10
维生素预混料 Vitamin premix <sup>1)</sup>	0.02
矿物质预混料 Mineral premix <sup>2)</sup>	0.15
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>3)</sup>	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.30
粗蛋白质 CP	16.00
钙 Ca	3.70
总磷 TP	0.60
有效磷 AP	0.36
可消化赖氨酸 Digestible Lys	0.65
可消化蛋氨酸 Digestible Met	0.33
可消化半胱氨酸 Digestible Cys	0.23

1) 维生素预混料为每千克饲料提供 Vitamin premix provided the following per kilogram of the diet: VA 9 950 IU, VB<sub>1</sub> 37.7 mg, VB<sub>2</sub> 12 mg, D-泛酸 D-pantothenate 18.2 mg, VB<sub>6</sub> 7.55 mg, VB<sub>12</sub> 0.5 mg, VD<sub>3</sub> 5 000 IU, VE 70 IU, VK<sub>3</sub> 4.47 mg, 生物素 biotin 4 mg, VC 19.5 mg, 烟酸 nicotinic acid 70.35 mg。

2) 矿物质预混料为每千克饲料提供 Mineral premix provided the following per kilogram of the diet: Cu (as copper sulfate) 9.6 mg, Fe (as ferrous sulfate) 64 mg, Mn (as manganese sulfate) 121.5 mg, Zn (as zinc sulfate) 57 mg, I (as potassium iodide) 0.60 mg, Se (as sodium selenite) 0.36 mg。

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

## 1.2 饲养管理

试验在四川绵阳圣迪乐村生态食品有限公司宏仁鸡场进行,饲养管理按常规饲养管理进行,每周进行严格消毒,室温保持在 20~22 ℃,注意通风换气。每天记录产蛋率和蛋重,每周结算采食量。

## 1.3 测定指标与方法

### 1.3.1 生产性能

每天记录每个重复的蛋鸡产蛋率和蛋总重,每周统计 1 次采食量,计算产蛋率、平均蛋重、破壳蛋率和料蛋比。

### 1.3.2 蛋品质

分别于正试期第 4、8、12 和 16 周每组采集 30 枚鸡蛋(每个重复 3 枚鸡蛋),共计 150 个鸡蛋测

定鸡蛋品质(16:00 点采集、19:00 测定蛋品质)。蛋壳强度使用蛋壳强度测定仪(Robotmation Co., Ltd., Tokyo, 日本)测定;蛋壳颜色采用色差仪测定;蛋黄颜色、哈氏单位、蛋白高度采用蛋品质全自动测定仪(EMT-7300, 日本)进行测定;使用游标卡尺测定蛋黄高度和蛋黄直径用以计算蛋黄指数(蛋黄指数=蛋黄高度/蛋黄直径);另外,蛋壳厚度(钝端、尖端和赤道)使用蛋壳厚度测定仪进行测定(Robotmation Co., Ltd., Tokyo, 日本);用分蛋器将蛋清和蛋黄分离,并对蛋黄重及蛋壳重进行测定。选择试验结束(第 16 周)的鸡蛋,储存 10 d 以后测定暗斑蛋发生率,评分标准见表 2。

表 2 暗斑蛋评分标准

Table 2 Grading standard for translucent eggs

评分 Score	图片 Picture	描述 Description
0		表面光滑,无任何黑色暗斑,光照下蛋壳表面不透光
1		表面有少量不明显暗斑,光照下表面少量透光
2		表面暗斑明显,数目增加,光照下表面透光面积增加
3		表面暗斑数目增加,光照下表面透光面积更多,光点分布均匀
4		表面暗斑肉眼清晰可见,暗斑数目多且聚集,光照下可见蛋壳表面通透,光点分布十分不均匀
5		肉眼可见的表面暗斑遍布,光照下可见蛋壳表面十分通透,有大面积透光区域,光点分布十分不均匀

### 1.3.3 骨骼质量

试验结束时每个重复选择接近平均体重的 1 只蛋鸡屠宰,采集左胫骨,去除肌肉和软骨,用质构仪(北京微讯超技仪器技术有限公司)测定胫骨强度以及胫骨灰分、钙和磷的含量。

### 1.3.4 肠道形态

试验结束时每个重复选择接近平均体重的 1 只蛋鸡屠宰,采集十二指肠、空肠和回肠中部肠段

(1 cm×2 cm),用数码摄像显微镜(BA400 Digital, 麦克奥迪实业集团有限公司)观察切片,共测量 10 组数据,每组数据包括绒毛高度和隐窝深度,并计算绒毛长度/隐窝深度(V/C)值。

### 1.3.5 血清指标

试验结束时每个重复选择接近平均体重的 3 只蛋鸡采集蛋鸡血液,离心制备血清。然后使用全自动生化仪测定血清钙和磷含量。采用酶联免

疫吸附试验(ELISA)试剂盒测定血清中雌二醇、促卵泡素、睾酮、抗缪勒管激素、皮质酮和孕酮含量。

#### 1.4 数据处理

试验数据采用 SAS 9.0 软件 GLM 程序进行统计分析,采用 Tukey 检验比较不同组间的差异,结果用平均值和 SEM 表示,以  $P \leq 0.05$  为差异显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡生产性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,PEO 组、BA1 组和 BA2 组蛋鸡第 1~4 周平均日采食量显著降低 ( $P < 0.05$ ),同时料蛋比也显著降低 ( $P < 0.05$ );试验组其他阶段平均日采食量和料蛋比与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ );BA2 组第 1~4 周和第 13~16 周平均蛋重显著低于对照组 ( $P < 0.05$ );此外,试验组第 9~12 周、第 13~16 周和第 1~16 周破壳蛋率显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡蛋品质的影响

#### 2.2.1 常规蛋品质

由表 4 可知,与对照组相比,PEO 组第 4 周蛋壳厚度显著提高 ( $P < 0.05$ ),试验组第 8 周蛋壳厚度均显著提高 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,HYD 组和 BA1 组第 4 周蛋壳颜色亮度 ( $L^*$ ) 值显著降低 ( $P < 0.05$ ),黄度 ( $b^*$ ) 值显著提高 ( $P < 0.05$ );HYD 组、PEO 组和 BA2 组第 16 周蛋壳颜色  $L^*$  值显著降低 ( $P < 0.05$ ),HYD 组第 16 周蛋壳颜色  $b^*$  值显著提高 ( $P < 0.05$ );试验组各阶段蛋壳颜色红度 ( $b^*$ ) 值与对照组相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。与对照组相比,PEO 组和 BA1 组第 4 周蛋形指数显著降低 ( $P < 0.05$ ),PEO 组、BA1 组和 BA2 组第 16 周蛋白高度和哈氏单位显著提高 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,试验组第 4 周蛋黄颜色均显著提高 ( $P < 0.05$ );但在第 8 周时,仅 PEO 组的蛋黄颜色较对照组显著提高 ( $P < 0.05$ )。此外,各组蛋壳强度、平均蛋重、蛋黄重、蛋黄指数和蛋壳重差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 3 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡生产性能的影响

Table 3 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on performance of laying hens

项目 Items	产蛋率 Laying rate/%	平均蛋重 Average egg weight/g	平均日采食量 ADFI/ g	料蛋比 F/E/%	破壳蛋率 Breaking egg rate/%
第 1~4 周 Weeks 1 to 4					
对照组 Control group	94.34	63.12 <sup>a</sup>	112.81 <sup>a</sup>	1.91 <sup>a</sup>	0.54
HYD 组 HYD group	94.12	63.29 <sup>a</sup>	111.36 <sup>ab</sup>	1.87 <sup>ab</sup>	0.97
PEO 组 PEO group	94.46	63.03 <sup>a</sup>	110.59 <sup>b</sup>	1.85 <sup>b</sup>	0.54
BA1 组 BA1 group	94.99	62.98 <sup>a</sup>	109.62 <sup>bc</sup>	1.84 <sup>b</sup>	0.72
BA2 组 BA2 group	94.11	62.13 <sup>b</sup>	108.29 <sup>c</sup>	1.84 <sup>b</sup>	0.59
SEM	0.73	0.28	0.89	0.02	0.16
P 值 P-value	0.75	<0.01	<0.01	0.04	0.06
第 5~8 周 Weeks 5 to 8					
对照组 Control group	93.78	63.24	117.91 <sup>abc</sup>	1.97	0.73
HYD 组 HYD group	93.37	62.94	114.37 <sup>c</sup>	1.94	0.71
PEO 组 PEO group	93.58	63.58	118.86 <sup>ab</sup>	1.99	0.62
BA1 组 BA1 group	94.44	63.99	121.04 <sup>a</sup>	2.01	0.75
BA2 组 BA2 group	93.37	63.22	115.60 <sup>bc</sup>	1.97	0.46
SEM	0.78	0.39	2.07	0.03	0.15
P 值 P-value	0.64	0.10	0.02	0.24	0.34
第 9~12 周 Weeks 9 to 12					
对照组 Control group	93.61	64.12 <sup>ab</sup>	117.73 <sup>ab</sup>	1.93	2.63 <sup>a</sup>

续表 3

项目 Items	产蛋率 Laying rate/%	平均蛋重 Average egg weight/g	平均日采食量 ADFI/ g	料蛋比 F/E/%	破壳蛋率 Breaking egg rate/%
HYD 组 HYD group	91.77	63.81 <sup>b</sup>	115.63 <sup>b</sup>	1.98	0.81 <sup>b</sup>
PEO 组 PEO group	93.86	64.44 <sup>ab</sup>	115.95 <sup>ab</sup>	1.92	0.65 <sup>b</sup>
BA1 组 BA1 group	94.04	64.68 <sup>a</sup>	119.15 <sup>a</sup>	1.95	0.81 <sup>b</sup>
BA2 组 BA2 group	93.03	63.80 <sup>b</sup>	114.59 <sup>b</sup>	1.93	0.56 <sup>b</sup>
SEM	0.99	0.32	1.55	0.03	0.17
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	0.47	0.04	0.04	0.27	0.03
第 13~16 周 Weeks 13 to 16					
对照组 Control group	92.36	64.92 <sup>a</sup>	120.42	2.01	2.71 <sup>a</sup>
HYD 组 HYD group	91.33	64.63 <sup>ab</sup>	117.28	1.99	0.73 <sup>b</sup>
PEO 组 PEO group	92.55	65.10 <sup>a</sup>	120.21	2.02	0.61 <sup>b</sup>
BA1 组 BA1 group	93.56	64.96 <sup>a</sup>	120.90	2.01	0.72 <sup>b</sup>
BA2 组 BA2 group	93.91	63.99 <sup>b</sup>	118.18	1.99	0.49 <sup>b</sup>
SEM	0.94	0.35	2.10	0.04	0.17
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	0.06	0.03	0.36	0.95	0.05
第 1~16 周 Weeks 1 to 16					
对照组 Control group	93.37	63.86 <sup>ab</sup>	116.75	1.95	1.63 <sup>a</sup>
HYD 组 HYD group	92.21	63.60 <sup>ab</sup>	114.59	1.94	0.76 <sup>b</sup>
PEO 组 PEO group	93.47	63.97 <sup>a</sup>	116.30	1.95	0.63 <sup>b</sup>
BA1 组 BA1 group	94.03	64.16 <sup>a</sup>	117.64	1.94	0.81 <sup>b</sup>
BA2 组 BA2 group	93.60	63.33 <sup>b</sup>	114.14	1.92	0.72 <sup>b</sup>
SEM	0.70	0.28	1.33	0.02	0.10
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	0.14	0.04	0.06	0.79	0.05

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下表同。

Values in the same column with different letter superscripts mean significant different ( $P<0.05$ ). The same as below.

### 2.2.2 暗斑蛋发生率

由表 5 可知,与对照组相比,HYD 组和 PEO 组暗斑蛋的平均分均降低(分值越低,代表暗斑蛋发生率越低),4 分和 5 分暗斑蛋的比例也降低。同样的结果也在苯甲酸处理中发现,BA1 组和 BA2 组暗斑蛋的平均分均低于对照组,而且 BA1 组的 2 分、4 分和 5 分和 BA2 组 5 分暗斑蛋的比例也低于对照组。

### 2.3 饲粮添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡肠道形态的影响

由表 6 可知,与对照组相比,HYD 组、PEO 组和 BA1 组蛋鸡十二指肠绒毛高度显著增加 ( $P<$

0.05),HYD 组和 BA1 组蛋鸡十二指肠隐窝深度显著增加 ( $P<0.05$ ),PEO 组蛋鸡十二指肠 V/C 值显著增加 ( $P<0.05$ )。PEO 组蛋鸡空肠绒毛高度显著高于对照组 ( $P<0.05$ ),其余空肠和回肠形态指标各组蛋鸡无显著差异 ( $P>0.05$ )。

### 2.4 饲粮添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡胫骨质量的影响

由表 7 可知,与对照组相比,HYD 组和 PEO 组蛋鸡胫骨强度显著提高 ( $P<0.05$ ),但对胫骨灰分、钙和磷含量没有显著差异 ( $P>0.05$ )。此外,与对照组相比,饲粮添加苯甲酸对蛋鸡胫骨质量均没有显著影响 ( $P>0.05$ )。

表 4 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡常规蛋品质的影响  
Table 4 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on common egg quality of laying hens

项目 Items	蛋壳颜色 Eggshell color		蛋形指数 Egg shape index	蛋壳强度 Eggshell strength/ (kg/cm <sup>3</sup> )	平均蛋重 Average egg weight/g	蛋白高度 Albumen height/ mm	蛋黄颜色 Yolk color	哈氏单位 Haugh unit	蛋黄指数 Yolk index	蛋黄重 Yolk weight/g	蛋壳重 Eggshell weight/g	蛋壳厚度 Eggshell thickness/ (×10 <sup>-2</sup> mm)
	亮度 L*	红度 a*										
第 4 周 Week 4												
对照组 Control group	81.81 <sup>a</sup>	5.97 <sup>ab</sup>	18.21 <sup>b</sup>	1.33 <sup>a</sup>	62.97	6.98	12.93 <sup>b</sup>	82.45	0.52	17.91	6.70	40.47 <sup>bc</sup>
HYD 组 HYD group	80.32 <sup>b</sup>	6.98 <sup>a</sup>	20.08 <sup>a</sup>	1.31 <sup>ab</sup>	61.58	7.23	13.65 <sup>a</sup>	84.23	0.52	17.20	6.68	41.56 <sup>ab</sup>
PEO 组 PEO group	82.02 <sup>a</sup>	5.89 <sup>b</sup>	17.86 <sup>b</sup>	1.30 <sup>b</sup>	62.51	7.57	13.36 <sup>a</sup>	86.19	0.52	17.85	6.68	41.91 <sup>a</sup>
BA1 组 BA1 group	80.47 <sup>b</sup>	6.98 <sup>a</sup>	19.69 <sup>a</sup>	1.30 <sup>b</sup>	63.12	6.98	13.54 <sup>a</sup>	82.10	0.51	17.85	6.70	40.50 <sup>bc</sup>
BA2 组 BA2 group	81.97 <sup>a</sup>	6.03 <sup>ab</sup>	18.01 <sup>b</sup>	1.33 <sup>a</sup>	63.32	6.94	13.46 <sup>a</sup>	82.08	0.51	17.87	6.82	39.97 <sup>c</sup>
SEM	0.64	0.47	0.71	0.01	0.95	0.24	0.17	1.63	0.01	0.35	0.12	0.64
P 值 P-value	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.37	0.07	<0.01	0.06	0.50	0.22	0.71	0.01
第 8 周 Week 8												
对照组 Control group	80.88	6.33	16.67	1.34	64.76	6.67	13.28 <sup>b</sup>	79.88	0.53	18.20	7.10	33.97 <sup>b</sup>
HYD 组 HYD group	80.65	6.05	17.67	1.32	62.63	6.57	13.22 <sup>b</sup>	79.70	0.52	18.12	7.01	37.08 <sup>a</sup>
PEO 组 PEO group	80.70	6.13	17.44	1.33	64.70	6.54	13.63 <sup>a</sup>	78.66	0.53	19.06	7.01	38.60 <sup>a</sup>
BA1 组 BA1 group	80.16	6.33	17.87	1.33	63.67	6.72	13.49 <sup>ab</sup>	80.44	0.52	18.40	6.95	36.68 <sup>a</sup>
BA2 组 BA2 group	80.11	6.39	18.16	1.33	63.57	6.44	13.46 <sup>ab</sup>	77.65	0.53	18.37	7.01	35.10 <sup>a</sup>
SEM	0.77	0.58	0.87	0.01	1.07	0.24	0.15	1.72	0.01	0.37	0.13	0.61
P 值 P-value	0.81	0.97	0.49	0.65	0.25	0.78	0.05	0.49	0.53	0.10	0.87	<0.01
第 12 周 Week 12												
对照组 Control group	82.21	5.45	16.11	1.34	63.59	6.94	13.11	81.86	0.53	18.50	6.76	35.25
HYD 组 HYD group	81.16	6.31	17.22	1.33	64.81	6.60	13.27	79.46	0.52	18.37	6.98	35.89
PEO 组 PEO group	81.57	5.84	16.68	1.34	64.04	6.39	13.38	79.06	0.52	18.48	6.74	35.12
BA1 组 BA1 group	81.97	5.37	15.99	1.34	63.97	6.24	13.63	77.14	0.52	18.41	7.02	36.38
BA2 组 BA2 group	82.66	5.45	15.80	1.33	62.69	6.34	13.47	78.12	0.52	17.98	6.84	35.40
SEM	0.72	0.53	0.84	0.01	1.00	0.22	0.18	1.53	0.01	0.37	0.13	0.65
P 值 P-value	0.28	0.36	0.43	0.91	0.33	0.51	0.06	0.33	0.51	0.62	0.12	0.28
第 16 周 Week 16												
对照组 Control group	83.23 <sup>a</sup>	5.56	16.30 <sup>b</sup>	1.32	65.10	7.13 <sup>b</sup>	13.30	82.66 <sup>b</sup>	0.52	18.28	7.06	36.73
HYD 组 HYD group	82.25 <sup>b</sup>	6.02	17.46 <sup>a</sup>	1.33	64.88	7.08 <sup>b</sup>	13.27	82.37 <sup>b</sup>	0.52	17.81	7.18	37.63
PEO 组 PEO group	82.39 <sup>b</sup>	5.96	16.86 <sup>ab</sup>	1.32	65.85	8.02 <sup>a</sup>	13.46	87.89 <sup>a</sup>	0.52	18.52	7.24	37.41
BA1 组 BA1 group	82.92 <sup>ab</sup>	5.50	16.50 <sup>b</sup>	1.33	64.66	7.59 <sup>a</sup>	13.54	85.75 <sup>a</sup>	0.51	18.37	7.28	37.54
BA2 组 BA2 group	82.39 <sup>b</sup>	5.57	16.55 <sup>b</sup>	1.32	65.77	7.67 <sup>a</sup>	13.65	86.19 <sup>a</sup>	0.52	18.43	7.30	38.14
SEM	0.32	0.22	0.35	0.01	0.81	0.23	0.15	1.38	0.01	0.38	0.12	0.61
P 值 P-value	<0.01	0.06	0.01	0.66	0.48	<0.01	0.06	<0.01	0.64	0.36	0.28	0.25

表 5 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡暗斑蛋发生率的影响

Table 5 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on the incidence of translucent eggs of laying hens

组别 Groups	评分 Score						平均分 Average score
	0	1	2	3	4	5	
对照组 Control group	45%	5%	20%	10%	5%	15%	1.70
HYD 组 HYD group	50%	10%	20%	15%	0	5%	1.20
PEO 组 PEO group	50%	0	30%	15%	0	5%	1.30
BA1 组 BA1 group	40%	25%	15%	15%	0	5%	1.25
BA2 组 BA2 group	45%	5%	25%	20%	5%	0	1.35

表 6 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡肠道形态的影响

Table 6 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on intestinal morphology of laying hens

项目 Items	十二指肠 Duodenum			空肠 Jejunum			回肠 Ileum		
	绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C	绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C	绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	绒毛高度/ 隐窝深度 V/C
对照组 Control group	756.81 <sup>c</sup>	141.46 <sup>b</sup>	5.44 <sup>b</sup>	1 142.71 <sup>bc</sup>	178.71	6.57	1 202.31	196.08	6.17
HYD 组 HYD group	832.46 <sup>b</sup>	154.74 <sup>a</sup>	5.53 <sup>b</sup>	1 106.36 <sup>d</sup>	211.14	5.35	1 290.57	202.23	6.59
PEO 组 PEO group	900.06 <sup>a</sup>	142.45 <sup>b</sup>	6.57 <sup>a</sup>	1 233.84 <sup>a</sup>	201.11	6.31	1 478.62	216.56	7.00
BA1 组 BA1 group	892.46 <sup>a</sup>	162.83 <sup>a</sup>	5.58 <sup>b</sup>	1 125.68 <sup>c</sup>	221.53	5.41	1 173.56	204.90	5.90
BA2 组 BA2 group	704.44 <sup>d</sup>	141.84 <sup>b</sup>	5.18 <sup>b</sup>	1 191.25 <sup>ab</sup>	164.11	7.43	1 343.21	233.30	5.93
SEM	25.80	5.49	0.20	29.75	73.37	0.82	249.03	51.09	0.87
P 值 P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.32	0.25	0.54	0.67	0.17

表 7 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡胫骨质量的影响

Table 7 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on tibia quality of laying hens

项目 Items	胫骨强度	灰分含量	钙含量	磷含量
	Tibia strength/kgf	Ash content/%	Ca content/%	P content/%
对照组 Control group	16.78 <sup>b</sup>	51.76	18.86	7.21
HYD 组 HYD group	17.80 <sup>a</sup>	53.49	19.68	7.08
PEO 组 PEO group	18.20 <sup>a</sup>	51.76	18.86	7.52
BA1 组 BA1 group	17.05 <sup>ab</sup>	51.37	18.92	7.85
BA2 组 BA2 group	17.21 <sup>ab</sup>	52.41	19.21	7.41
SEM	0.24	1.03	0.51	0.54
P 值 P-value	0.04	0.16	0.30	0.38

## 2.5 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡血清指标的影响

由表 8 可知,与对照组相比,HYD 组和 PEO

组蛋鸡血清促卵泡素含量显著增加 ( $P < 0.05$ ),血清钙含量也显著增加 ( $P < 0.05$ );而 BA1 组和 BA2 组蛋鸡血清促卵泡素和钙含量无显著差异 ( $P >$

0.05)。各组蛋鸡血清雌二醇、睾酮、抗缪勒管激素、皮质酮、孕酮和磷含量无显著差异( $P>0.05$ )。

表 8 饲料添加 HyD、植物精油和苯甲酸对蛋鸡血清指标的影响

Table 8 Effects of HyD, essential oil and benzoic acid on serum indices of laying hens

项目 Items	雌二醇 E2/ (pmol/L)	促卵泡素 FSH/ (U/L)	睾酮 TTE/ (nmol/L)	抗缪勒 管激素 AMH/(pg/mL)	皮质酮 CORT/ (ng/L)	孕酮 PROG/ (pmol/L)	钙 Ca/ (mmol/L)	磷 P/ (mmol/L)
对照组 Control group	77.32	6.64 <sup>b</sup>	178.09	274.14	459.78	1 857.99	3.25 <sup>b</sup>	1.80
HYD 组 HYD group	75.91	8.97 <sup>a</sup>	185.03	271.13	427.93	1 905.43	3.71 <sup>a</sup>	1.71
PEO 组 PEO group	74.24	9.24 <sup>a</sup>	187.21	268.11	435.55	1 872.25	3.64 <sup>a</sup>	1.72
BA1 组 BA1 group	76.77	7.57 <sup>b</sup>	177.54	278.27	478.25	1 831.07	3.29 <sup>b</sup>	1.89
BA2 组 BA2 group	75.68	7.99 <sup>b</sup>	176.29	274.25	469.64	1 891.21	3.32 <sup>b</sup>	1.92
SEM	0.08	0.37	7.52	9.81	39.87	51.12	0.09	0.11
P 值 P-value	0.57	<0.01	0.17	0.32	0.87	0.69	0.01	0.74

### 3 讨论

HyD 对家禽生产性能影响的报道较多,但并不统一。Keshavarz<sup>[18-19]</sup>报道在蛋鸡饲料中用 HyD 替代维生素 D<sub>3</sub> 未能改善蛋鸡的生产性能,但贾洪阁等<sup>[20]</sup>研究发现在饲料中添加 34.5 μg/kg HyD 和 1 380 IU/kg 维生素 D<sub>3</sub> 时,能有效提高肉鸡的生长性能和骨骼质量。梁彦明等<sup>[21]</sup>研究发现在肉鸡饮水中添加 18 μg/kg HyD 可以提高肉鸡采食量,并显著提高饲料转化率,这可能与基础饲料中 HyD 和维生素 D<sub>3</sub> 的比例有关。本试验基础饲料中维生素 D<sub>3</sub> 的含量为 5 000 IU/kg,根据 NRC(1994) 和我国《蛋鸡饲养标准》,这已经高于蛋鸡正常生长的维生素 D<sub>3</sub> 需要量,导致额外添加 HyD 对蛋鸡生产性能没有显著影响。植物精油是芳香植物的高度浓缩提取物,其成分和比例不同对畜禽的影响也不同。王光富等<sup>[22]</sup>研究表明饲料中添加植物精油对 21~35 周龄蛋鸡生产性能无显著影响,Bölükbaşı 等<sup>[23]</sup>也发现百里香精油对蛋鸡的料蛋比无显著影响,但本试验发现 PEO 组蛋鸡第 1~4 周的平均日采食量和料蛋比显著降低。Józefiak 等<sup>[24-25]</sup>研究表明,饲料中添加 0.25% 的苯甲酸对肉鸡生产性能没有显著影响,而且添加 0.50% 和 0.75% 苯甲酸抑制了肉鸡的生长。Amaechi 等<sup>[26]</sup>研究表明添加 1.2% 苯甲酸显著提高了肉鸡的生长性能。陈杰等<sup>[27]</sup>研究发现,饲料中添加 1.5 g/kg 酸化剂能显著降低蛋鸡料蛋比。本试验结果表明,与对照组相比,饲料添加 1 000 mg/kg

苯甲酸显著降低了蛋鸡第 1~4 周平均日采食量和料蛋比;而饲料添加 2 000 mg/kg 苯甲酸不仅显著降低了蛋鸡第 1~4 周平均日采食量和料蛋比,而且还降低了平均蛋重。研究结果不尽一致的原因可能是由于品种、生理阶段和饲料等因素的差异。

蛋壳质量是影响鸡蛋运输和储存的重要因素,本试验发现饲料添加 HyD 能显著增加蛋壳厚度。Kim 等<sup>[28]</sup>研究发现,HyD 可以增加蛋壳的厚度和强度;McLoughlin 等<sup>[29]</sup>研究也显示饲料中添加 HyD 能提高 72 周龄蛋鸡的蛋壳强度和厚度;而 Keshavarz<sup>[19]</sup>的研究结果表明饲料中添加 HyD 替代维生素 D<sub>3</sub> 对蛋鸡的蛋壳质量没有影响。蛋鸡在形成蛋壳的过程中,约 70% 的钙源于饲料,其余的钙源于骨骼中。蛋鸡的胫骨质量能够反映蛋鸡的生产性能和蛋品质<sup>[30]</sup>。本试验结果显示,饲料添加 HyD 和 HyD+植物精油能够显著提高蛋鸡的胫骨强度,但饲料中添加苯甲酸对蛋鸡胫骨质量没有显著影响。Światkiewicz 等<sup>[31]</sup>研究表明饲料中添加 HyD 代替 80% 和 100% 维生素 D<sub>3</sub> 时,会显著提高肉鸡的胫骨强度;韩进诚等<sup>[32]</sup>也研究表明 HyD 提高了 42 日龄肉鸡胫骨质量和长度。这说明 HyD 对增强蛋鸡胫骨强度有积极作用。除此之外,本试验还发现饲料添加 HyD 提高了蛋壳的颜色(降低 L\* 值,提高 b\* 值),降低了暗斑蛋的发生率,其具体原因还不清楚。鉴于蛋壳颜色与蛋鸡机体健康状态和遭受应激密切相关<sup>[33]</sup>,人和鼠上的研究表明 HyD 具有提高机体免疫功能的作用<sup>[34]</sup>,说明 HyD 可能通过缓解蛋鸡应激,从而提高蛋壳的颜色。本试验发现,饲料同时添加 HyD

和植物精油增加了蛋壳厚度,也降低了暗斑蛋的发生率,并且提高了蛋白高度和哈氏单位。植物精油可以促进家禽肠道对矿物质尤其是钙离子的吸收,利于蛋品质的提升。Bozkurt等<sup>[35]</sup>研究发现植物精油混合物能够缓解蛋鸡对高温的应激并且提高蛋壳质量;张安等<sup>[36]</sup>也研究表明饲料中添加225 mg/kg 精油混合物显著提高蛋壳比例并能够改善蛋白品质。这说明饲料中添加植物精油利于蛋品质的提升,这可能与植物精油可以促进家禽肠道对矿物质尤其是钙离子的吸收。除此之外,植物精油也会影响输卵管腺体分泌的浓蛋白的含量以及成分。王文杰等<sup>[37]</sup>研究发现,木醋酸对蛋形指数没有显著影响;赵旭等<sup>[38]</sup>研究表明,饮水中添加有机酸对鸡蛋的蛋形指数、蛋白高度、哈氏单位、蛋壳比例和蛋壳强度均无显著影响。本研究发现,与对照组相比,BA1组第4周蛋形指数显著降低,BA1组和BA2组第16周蛋白高度和哈氏单位均显著提高,这与上述前人研究结果不一致,原因可能是有机酸的种类不同、添加形式不同、添加水平不同都会对蛋鸡蛋品质造成影响。目前关于苯甲酸对蛋品质的报道较少,有待进一步研究。

家禽的营养吸收与肠道绒毛形态密切相关,肠道绒毛高度越高,隐窝深度越小,V/C值越大,说明吸收营养物质的能力越强<sup>[39]</sup>。Chou等<sup>[40]</sup>研究发现饲料添加HyD增加了肉鸡十二指肠和空肠的绒毛高度,本试验表明饲料添加HyD显著增加了蛋鸡十二指肠的绒毛高度,十二指肠的V/C值也有增加的趋势,这与上述前人的研究结果一致。这说明HyD可以改善十二指肠肠道的形态,利于营养物质吸收。植物精油能够刺激肠道分泌内源消化液并且持肠道上皮细胞结构<sup>[41]</sup>,Yang等<sup>[42]</sup>研究发现饲料中添加肉桂精油对肉鸡十二指肠、空肠和回肠高度没有显著影响,但显著降低了十二指肠隐窝深度。本试验结果表明,饲料添加HyD+植物精油显著增加蛋鸡十二指肠绒毛高度并且显著提高了V/C值。这说明植物精油有利于十二指肠的消化吸收功能。有机酸对家禽肠道的影响在肉鸡上研究较多,宋凡春<sup>[43]</sup>研究发现饲料添加0.25%的苯甲酸对肉鸡肠道形态没有显著影响,而添加0.50%的苯甲酸显著降低了小肠绒毛高度;Giannenas等<sup>[44]</sup>研究表明,饲料中添加0.3%苯甲酸对火鸡肠道形态无显著影响;黄灵杰等<sup>[45]</sup>研究表明苯甲酸能够提高肉鸡空肠绒毛高度和V/

C值。结果不一致的原因可能与动物品种、动物的生理阶段、饲养管理、苯甲酸添加形态和苯甲酸添加的水平有关。本试验结果表明,与对照组相比,BA1组蛋鸡十二指肠绒毛高度显著提高,BA1组和BA2组蛋鸡空肠和回肠形态均无显著差异,但BA2组蛋鸡十二指肠绒毛高度却显著降低。这说明适量的苯甲酸有利于蛋鸡改善肠道形态,促进其对营养物质的吸收,但苯甲酸添加过量会对肠道造成负面影响。

通过小肠黏膜吸收的维生素D<sub>3</sub>和在皮肤合成的维生素D<sub>3</sub>都要进入血液,维生素D<sub>3</sub>在肝脏中转化成HyD也会进入血液。饲料添加HyD通过调节钙和磷的吸收参与机体免疫调节,影响血清中的钙磷水平和骨骼的生长发育,对家禽的生长和繁殖具有重要意义<sup>[5]</sup>。本试验结果表明,饲料添加HyD和植物精油显著提高蛋鸡血清促卵泡素和钙含量,而贾洪阁等<sup>[20]</sup>研究表明不同水平的HyD对血清钙、磷含量没有显著影响。研究结果不同可能与饲料中维生素D<sub>3</sub>和HyD的比例不同有关。另外,血清钙含量较高可能也是HyD提高蛋壳品质的原因。

## 4 结 论

本试验结果表明,饲料添加HyD及同时添加HyD和植物精油可以提高产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质和胫骨质量,并能改善蛋鸡肠道形态,而饲料添加苯甲酸、HyD及同时添加HyD和植物精油均可以降低破壳蛋率和暗斑蛋的发生率,但短时间(前4周)高剂量的苯甲酸则由于会降低蛋鸡的采食量,从而会导致蛋鸡的产蛋性能(蛋重)的降低。

## 参考文献:

- [1] 杨建国.养殖密度对蛋鸡生产性能及影响[J].现代农业研究,2017(7):29.
- [2] RATH N C, HUFF G R, HUFF W E, et al. Factors regulating bone maturity and strength in poultry[J]. Poultry Science, 2000, 79(7):1024-1032.
- [3] LIN H, JIAO H C, BUYSE J, et al. Strategies for preventing heat stress in poultry[J]. World's Poultry Science Journal, 2006, 62(1):71-86.
- [4] HOLICK M F, CHEN T C. Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2008, 87(4):

1080S-1086S.

- [ 5 ] 朱建军,袁建敏,田科雄,等.25-羟胆钙化醇与维生素 D<sub>3</sub> 对北京鸭生产性能和骨骼发育的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(3):30-35.
- [ 6 ] 韩进诚,姚军虎,郑永祥.25-羟基维生素 D<sub>3</sub> 在动物营养中的应用[J].饲料工业,2013,34(10):56-59.
- [ 7 ] 翁江来,马长伟.苯甲酸和苯甲酸钠在肉制品中应用的探讨[J].肉类研究,2005(5):48-50.
- [ 8 ] EVANS W C, FUCHS G. Anaerobic degradation of aromatic compounds[J]. Annual Review of Microbiology, 1988, 42: 289-317.
- [ 9 ] MROZ Z. Organic acids as potential Alternatives to antibiotic growth promoters for pigs [J]. Advances in Pork Production, 2005, 16: 169-182.
- [ 10 ] 张波,孙得发,袁磊,等.包被苯甲酸对肉鸡生长性能及器官发育的影响[J].中国家禽,2017,39(8):增页 2-增页 5.
- [ 11 ] GIANNENAS I A, PAPANEPHYTOU C P, TSA-LIE E, et al. The effects of benzoic acid and essential oil compounds in combination with protease on the performance of chickens [J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2014, 23(1): 73-81.
- [ 12 ] ABDEL-WARETH A A A, LOHAKARE J D. Effect of dietary supplementation of peppermint on performance, egg quality, and serum metabolic profile of Hy-Line Brown hens during the late laying period[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 197: 114-120.
- [ 13 ] ABDEL-WARETH A A A. Effect of dietary supplementation of thymol, synbiotic and their combination on performance, egg quality and serum metabolic profile of Hy-Line Brown hens [J]. British Poultry Science, 2016, 57(1): 114-122.
- [ 14 ] ALÇIÇEK A, BOZKURT M, CABUK M. The effect of a mixture of herbal essential oils, an organic acid or a probiotic on broiler performance [J]. South African Journal of Animal Science, 2004, 34(4): 217-222.
- [ 15 ] LEE K W, EVERTS H, KAPPERT H J, et al. Growth performance of broiler chickens fed a carboxymethyl cellulose containing diet with supplemental carvacrol and/or cinnamaldehyde [J]. International Journal of Poultry Science, 2004, 3(9): 619-622.
- [ 16 ] 袁萍,王国亮,龚复俊,等.3种植物精油对霉菌的抑制作用[J].武汉植物学研究,2001,19(6):521-523.
- [ 17 ] BOTSOGLOU N A, FLOROU-PANERI P, CHRISTAKI E, et al. Effect of dietary oregano essential oil on performance of chickens and on iron-induced lipid oxidation of breast, thigh and abdominal fat tissues [J]. British Poultry Science, 2002, 43(2): 223-230.
- [ 18 ] KESHAVARZ K. The effect of different levels of vitamin C and cholecalciferol with adequate or marginal levels of dietary calcium on performance and eggshell quality of laying hens [J]. Poultry Science, 1996, 75(10): 1227-1235.
- [ 19 ] KESHAVARZ K. A comparison between cholecalciferol and 25-OH-cholecalciferol on performance and eggshell quality of hens fed different levels of calcium and phosphorus [J]. Poultry Science, 2003, 82(9): 1415-1422.
- [ 20 ] 贾洪阁,魏时来,杨德志,等.日粮中 25-OH-D<sub>3</sub>、VD<sub>3</sub> 不同水平组合对肉仔鸡生长性能的影响[J].中国畜牧兽医,2007,34(8):10-13.
- [ 21 ] 梁彦明,王浩.饮水添加 25-OH-D<sub>3</sub> 对肉仔鸡生产性能的影响[J].饲料与畜牧,2009(1):48-50.
- [ 22 ] 王光富,梁赛赛,李雪媛,等.植物精油和有机酸对 21 至 35 周龄蛋鸡生产性能及蛋品质的影响[J].家畜生态学报,2018,39(4):22-26.
- [ 23 ] BÖLÜKBAŞI Ş C, ERHAN M K. Effect of dietary thyme (*Thymus vulgaris*) on laying hens performance and *Escherichia coli* (*E. coli*) concentration in feces [J]. International Journal of Natural & Engineering Sciences, 2007, 1(2): 55-58.
- [ 24 ] JÓZEFIAK D, KACZMAREK S, BOCHENEK M, et al. A note on effect of benzoic acid supplementation on the performance and microbiota population of broiler chickens [J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2007, 16(2): 252-256.
- [ 25 ] JÓZEFIAK D, KACZMAREK S, RUTKOWSKI A. The effects of benzoic acid supplementation on the performance of broiler chickens [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2010, 94(1): 29-34.
- [ 26 ] AMAECHI N, ANUEYIAGU C F. The effect of dietary benzoic acid supplementation on growth performance and intestinal wall morphology of broilers [J]. Online Journal of Animal and Feed Research, 2012, 1(5): 401-404.
- [ 27 ] 陈杰,沈一茹,张珊,等.酸化剂对蛋鸡产蛋性能、蛋品质和经济效益的影响[J].中国家禽,2015,37(8):58-60.
- [ 28 ] KIM E J, AHN B K, KANG C W. Dietary effects of varying levels of calcium and 25-hydroxycholecalciferol on hatching egg production and eggshell quality in

- aged egg-type breeder hens[J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2009, 51(4): 295-306.
- [29] MCLOUGHLIN C P, SOARES JR J H. A study of the effects of 25-hydroxycholecalciferol and calcium source on egg shell quality[J]. *Poultry Science*, 1976, 55(4): 1400-1410.
- [30] 赵守亮. 破骨细胞形成和骨吸收机理[J]. 牙体牙髓牙周病学杂志, 1996, 6(1): 53-55.
- [31] ŚWIATKIEWICZ S, KORELESKI J, KOPOWSKI J. Effect of phytase and 25-hydroxycholecalciferol on performance and bone quality in broiler chickens[J]. *Medycyna Weterynaryjna*, 2006, 62(1): 81-84.
- [32] 韩进诚, 王建国, 陈冠华, 等. 肉鸡日粮中  $1\alpha$ -羟基维生素  $D_3$  与 25-羟基维生素  $D_3$  生物学效价比较研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2015, 42(12): 3246-3252.
- [33] MORRIS A, SHANMUGASUNDARAM R, MCDONALD J, et al. Effect of *in vitro* and *in vivo* 25-hydroxyvitamin D treatment on macrophages, T cells, and layer chickens during a coccidia challenge[J]. *Journal of Animal Science*, 2015, 93(6): 2894-2903.
- [34] SAMIULLAH S, ROBERTS J R, CHOUSALKAR K. Eggshell color in brown-egg laying hens—a review[J]. *Poultry Science*, 2015, 94(10): 2566-2575.
- [35] BOZKURT M, KÜÇÜKYILMAZ K, PAMUKÇU M, et al. Long-term effects of dietary supplementation with an essential oil mixture on the growth and laying performance of two layer strains[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2012, 11(1): e5.
- [36] 张安, 王来娣, 彭艳, 等. 植物精油混合物对海兰褐蛋鸡生产性能、蛋品质、卵泡发育及血清生殖激素指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(4): 1489-1494.
- [37] 王文杰, 穆淑琴, 张敬, 等. 木醋酸对鸡产蛋性能及蛋品质影响研究[J]. *中国饲料*, 2004(9): 32-33.
- [38] 赵旭, 迟强伟, 沈一茹, 等. 饮水型酸化剂对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J]. *中国家禽*, 2018(12): 30-33.
- [39] ZHANG A W, LEE B D, LEE S K, et al. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks[J]. *Poultry Science*, 2005, 84(7): 1015-1021.
- [40] CHOU S H, CHUNG T K, YU B. Effects of supplemental 25-hydroxycholecalciferol on growth performance, small intestinal morphology, and immune response of broiler chickens[J]. *Poultry Science*, 2009, 88(11): 2333-2341.
- [41] JANG I S, KO Y H, KANG S Y, et al. Effect of a commercial essential oil on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal microflora population in broiler chickens[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2007, 134(3/4): 304-315.
- [42] YANG Y F, ZHAO L L, SHAO Y X, et al. Effects of dietary graded levels of cinnamon essential oil and its combination with bamboo leaf flavonoid on immune function, antioxidative ability and intestinal microbiota of broilers[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(9): 2123-2132.
- [43] 宋凡春. 包被苯甲酸和木聚糖酶对肉鸡生产性能和肠道健康的影响[D]. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [44] GIANNENAS I, PAPANEOPHYTOU C P, TSALIE E, et al. Dietary supplementation of benzoic acid and essential oil compounds affects buffering capacity of the feeds, performance of turkey poults and their antioxidant status, pH in the digestive tract, intestinal microbiota and morphology[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2014, 27(2): 225-236.
- [45] 黄灵杰, 张克英, 白世平, 等. 苯甲酸对 1~21 日龄肉鸡生长性能和肠道健康的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2816-2822.

# Effects of 25-Hydroxyvitamin D<sub>3</sub>, Plant Essential Oil and Benzoic Acid on Performance, Egg Quality and Intestinal Morphology of Laying Hens

GONG Haojie DING Xuemei BAI Shiping ZENG Qiufeng ZHANG Keying

SHEN Pan WANG Jianping\*

(Sichuan Key Laboratory of Animal Disease Resistance Nutrition, Key Laboratory of Animal Disease-Resistance Nutrition and Feed, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Animal Disease-Resistance Nutrition, Ministry of Education, Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to study the effects of 25-hydroxyvitamin D<sub>3</sub> (HyD), plant essential oil and benzoic acid on performance, egg quality and intestinal morphology of laying hens. Using a single-factor design, a total of 1 200 Lohmann Pink-eggshell layers during late-laying phase (45-week-old) were randomly allotted into 5 groups with 10 replicates for each group and 24 chickens for each replicate. Chicks in the control group were fed a corn-soybean meal basal diet, while those in the experimental groups were fed the basal diet supplemented with 0.069 mg/kg HyD (HYD group), 0.069 mg/kg HyD+150 mg/kg plant essential oil (PEO group), 1 000 mg/kg benzoic acid (BA1 group) and 2 000 mg/kg benzoic acid (BA2 group), respectively. The pre-trial period was 4 weeks and the trial period was 16 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the average daily feed intake of laying hens from 1 to 4 weeks in PEO group, BA1 group and BA2 group was significantly decreased ( $P<0.05$ ), and the feed-to-egg ratio was also significantly decreased ( $P<0.05$ ). The average egg weight of laying hens from 1 to 4 weeks and 13 to 16 weeks in BA2 group was significantly decreased ( $P<0.05$ ). 2) Compared with the control group, the egg shell thickness in PEO group was significantly increased at week 4 ( $P<0.05$ ), the egg shell thickness in the experimental groups was significantly increased at week 8 ( $P<0.05$ ), and the albumen height and Haugh unit in PEO group, BA1 group and BA2 group were significantly increased at week 16 ( $P<0.05$ ). 3) Compared with the control group, the breaking egg rate and the incidence of translucent eggs in the experimental groups were decreased. 4) Compared with the control group, the villus height in duodenum of layers in HYD group, PEO group and BA1 group was significantly increased ( $P<0.05$ ), the villus height to crypt depth ratio in duodenum of layers in PEO group was significantly increased ( $P<0.05$ ), and the villus height in jejunum of layers in PEO group was significantly increased ( $P<0.05$ ). 5) Compared with the control group, the tibia strength of layers in HYD group and PEO group was significantly improved ( $P<0.05$ ). 6) Compared with the control group, the serum contents of follicle-stimulating hormone and calcium of layers in HYD group and PEO group were significantly increased ( $P<0.05$ ). The results indicate that dietary HyD or dietary HyD and plant essential oil can improve the performance, egg and tibia quality and intestinal morphology of laying hens during late laying period, while dietary HyD, HyD+plant essential oil and low dose of benzoic acid can reduce the breaking egg rate and the incidence of translucent eggs, but the high dose of benzoic acid can reduce the feed intake of laying hens in the first 4 weeks, thus affecting the egg production performance. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(6):2638-2649]

**Key words:** laying hens; performance; egg quality; intestinal morphology; tibia quality; 25-hydroxyvitamin D<sub>3</sub>; benzoic acid