



快大型黄羽肉种鸡 VD_3 需要量研究

王一冰, 陈芳, 苟钟勇, 李龙, 林厦菁, 张盛, 蒋守群[✉]

广东省农业科学院动物科学研究所/畜禽育种国家重点实验室/农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室/广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广州 510640

摘要:【目的】通过研究饲料中添加不同水平维生素 D_3 (VD_3) 对快大型黄羽肉种鸡及其子代肉鸡生产性能、胫骨指标与钙磷代谢的影响, 确立黄羽肉种鸡 VD_3 需要量, 为黄羽肉种鸡营养需要量的制定提供科学依据。【方法】试验采用单因素随机分组设计, 选用 720 只 48 周龄快大型岭南黄羽肉种母鸡, 根据体重和产蛋率一致原则分为 6 个处理组, 每组 6 个重复, 每重复 20 只, 各处理分别饲喂添加 0 (对照组)、800、1 600、2 400、3 200、4 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 的试验饲料, 试验期 8 周。种鸡饲养试验结束后选取种蛋孵化, 子代肉鸡按照种鸡的组别进行分组分栏饲喂(基础饲料中含 1 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3), 试验期 63d。【结果】(1) 与对照组相比, 添加 800 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 显著提高平均蛋重 ($P < 0.05$); 添加 1 600 与 3 200 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 显著增加种蛋的蛋壳强度 ($P < 0.05$); 添加 1 600 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 增加蛋壳厚度 ($P < 0.05$); 添加 4 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 显著提高种鸡脱脂胫骨比例与骨密度 ($P < 0.05$), 添加 VD_3 可不同程度地提高种鸡胫骨折断力 ($P > 0.05$); 添加 VD_3 可提高种鸡血浆中钙、磷含量, 降低 AKP 活性 ($P < 0.05$)。 (2) 种鸡饲料添加 VD_3 对子代肉鸡生长性能指标无显著影响 ($P > 0.05$); 但与对照组相比, 添加 4 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 显著提高子代肉鸡胫骨折断力 ($P < 0.05$), 添加 800、1 600 或 4 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 显著增加子代肉鸡胫骨密度 ($P < 0.05$), 添加 1 600—4 000 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 可不同程度地提高子代肉鸡脱脂胫骨比例 ($P > 0.05$); 添加 VD_3 提高了子代肉鸡 1 日龄血浆中钙、磷含量, 降低 AKP 活性 ($P < 0.05$), 但对 21、63 日龄子代肉鸡无显著影响 ($P > 0.05$)。【结论】饲料中添加 VD_3 显著影响黄羽肉种鸡产蛋性能、种蛋蛋壳品质、肉种鸡及其子代肉鸡胫骨指标与钙磷代谢。综合试验观测与回归模型来估测黄羽肉种鸡 VD_3 需要量, 饲料添加 800 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 即可获得最优产蛋性能, 1 650—1 828 $IU \cdot kg^{-1}$ VD_3 获得最优蛋品质, 而获得种鸡和子代肉鸡最优胫骨性状均需要较高的种鸡饲料 VD_3 水平 (4 000 $IU \cdot kg^{-1}$)。

关键词: 维生素 D_3 ; 黄羽肉种鸡; 需要量; 子代肉鸡; 产蛋性能; 胫骨

Requirement of Vitamin D_3 on Fast-Growing Yellow-Feathered Breeder Hens

WANG YiBing, CHEN Fang, GOU ZhongYong, LI Long, LIN XiaJing, ZHANG Sheng, JIANG ShouQun[✉]

Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding/Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640

Abstract: 【Objective】This experiment was conducted to investigate the effects of vitamin D_3 (VD_3) supplementation on

收稿日期: 2020-06-29; 接受日期: 2020-09-27

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-41)、广东省重点领域研发计划 (2020B0202090004)、国家自然科学基金青年基金 (31802104)、广东省自然科学基金 (2021A1515012412、2021A1515010830)、广东省农业科学院科技计划 (202106TD、R2019PY-QF008、R2018QD-076)

联系方式: 王一冰, E-mail: wangyibing77@163.com. 通信作者蒋守群, E-mail: jsqun3100@sohu.com

performance, tibial characteristics and metabolism of calcium and phosphorus of fast-growing yellow-feathered breeder hens and the progeny, so as to establish requirement of vitamin D₃ on breeder hens. 【Method】Seven hundred and twenty breeder hens at 48 weeks of age were fed up with basal diets supplemented with 0, 800, 1 600, 2 400, 3 200 and 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ for eight weeks with six replicates per group and 20 hens per replicate, then the progeny hatched from each of the 6 maternal groups were fed a basal diet supplemented with 1 000 IU·kg⁻¹ VD₃ for 63 days. 【Result】Compared with the control group, supplemental 800 IU·kg⁻¹ VD₃ enhanced average egg weight ($P<0.05$); the dietary supplementation with 1 600 and 3 200 IU·kg⁻¹ VD₃ increased ($P<0.05$) egg shell strength and 1 600 IU·kg⁻¹ VD₃ increased ($P<0.05$) egg shell thickness; 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ supplementation increased dehydrated and degreased tibial weight/BW and bone density of yellow-feathered breeder hens ($P<0.05$); 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ supplementation also increased content of calcium and phosphorus, and decreased activity of AKP activity in plasma ($P<0.05$); supplementation of VD₃ increased broking strength of tibia of breeder hens ($P>0.05$). There was no significant effect of maternal VD₃ on growth performance of the progeny ($P>0.05$). However compared with the control group, the broking strength of tibia in the progeny was increased ($P<0.05$) when 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ was added to maternal diet, and tibial density was increased when 800, 1 600, or 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ was added; supplementation of 1 600 to 4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ increased dehydrated and degreased tibial weight/BW of the progeny ($P>0.05$). Addition of VD₃ significantly increased content of calcium and phosphorus, and decreased activity of AKP in plasma of hens and their progeny aged 1 day ($P<0.05$), however, it had no significant effect on those of progeny at 21 or 63 days of age ($P>0.05$). 【Conclusion】Under the condition of this experiment, the dietary supplementation of VD₃ improved productive performance of yellow-feathered breeder hens, tibial characteristics and metabolism of calcium and phosphorus of breeder hens and progeny. The VD₃ requirement of yellow-feathered breeders was estimated by considering the experimental data and quadratic regressions comprehensively. For yellow-feathered breeder hens, the best productive performance was obtained when supplemented with 800 IU·kg⁻¹ VD₃, and the best egg quality was obtained when supplemented with 1 650 to 1 828 IU·kg⁻¹ VD₃. The best tibial characteristics of the hens and progeny were obtained when supplemented with high level of VD₃ (4 000 IU·kg⁻¹).

Key words: vitamin D₃; yellow-feathered breeder hens; requirement; progeny; laying performance; tibia

0 引言

【研究意义】维生素 D₃ (VD₃) 是家禽不可或缺的营养素, 其最基本的功能是促进肠道对钙、磷的吸收代谢, 从而促进骨骼正常发育, 防止佝偻病、软骨病^[1-3]。【前人研究进展】有研究表明, 饲料添加 VD₃ 及其衍生物可提高肉鸡生产性能^[4-5], 还可在一定程度促进肉鸡免疫器官发育、增强免疫功能^[6-7], 并改善鸡肉肉质^[8]。在实际生产中, 通常通过向饲料或饮水中添加 VD₃ 来满足肉鸡需要。然而, 当 VD₃ 摄入过多时, 也会引发中毒症状、导致骨质疏松等, 从而影响动物生产^[9-10]。因此确定 VD₃ 的需要量对生产具有指导意义。维生素 D₃ 的需要量受鸡的品种、日龄、饲养条件等因素影响。例如, ATENCIO 等^[11]预测产蛋高峰期和高峰后的 Ross 肉种鸡最适 VD₃ 水平分别为 1 424、2 804 IU·kg⁻¹, 43—63 日龄黄羽肉鸡饲料 VD₃ 添加水平为 400—500 IU·kg⁻¹ 可以达到较优胫骨性状与肉品质^[8]; 罗曼粉壳蛋鸡产蛋高峰期饲料中 VD₃ 的适宜添加量为 900—2 700 IU·kg⁻¹^[12], 而 25—32 周龄修水黄羽乌鸡 VD₃ 推荐量为 3 600 IU·kg⁻¹^[13]。【本研究切入点】黄羽肉鸡是以我国地方品种鸡为血缘培育的优质

肉鸡, 其产业发展迅速。但目前为止, 关于 VD₃ 在黄羽肉种鸡上的研究报道尚属空白, NRC (1994) 中也未单独列出肉种母鸡 VD₃ 的需要量。【拟解决的关键问题】因此, 本研究旨在通过研究 VD₃ 对黄羽肉种鸡及其子代肉鸡生产性能、胫骨指标与钙磷代谢的影响, 并确定黄羽肉种鸡上 VD₃ 适宜添加水平, 为黄羽肉种鸡营养标准的制定和实际生产饲料配制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验饲料

试验采用单因子随机分组设计。选用 720 只 46 周龄快大型岭南黄羽肉种母鸡作为试验鸡, 饲喂未添加 VD₃ 的基础饲料 2 周, 进行耗竭试验。根据体重和产蛋率一致原则分为 6 个处理组, 每处理 6 个重复, 每重复 20 只鸡, 各处理分别饲喂添加 0 (对照组)、800、1 600、2 400、3 200、4 000 IU·kg⁻¹ VD₃ 的试验饲料, 试验期 8 周。基础饲料营养成分参考 NY/T33-2004 《鸡饲养标准》^[14] 与本单位建立的黄羽肉种鸡饲养标准, 参照《中国饲料成分及营养价值表》(第 26 版)^[15] 和实测值设计饲料配方。基础饲料组成及营养水平见表 1。

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 (%)	营养水平 Nutrient Levels ²⁾	
原料 Ingredients			
玉米 Corn	64.25	代谢能 ME ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$)	11.47
豆粕 Soybean meal	24.50	粗蛋白质 CP	16.00
豆油 Soybean oil	1.00	钙 Ca	3.12
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.25	总磷 TP	0.62
石粉 Limestone	7.02	有效磷 AP	0.41
磷酸氢钙 CaHPO_4	1.68	赖氨酸 Lys	0.80
食盐 NaCl	0.30	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.80
维生素微量元素预混料 Premix ¹⁾	1.00		
合计 Total	100.00		

¹⁾预混料可为每千克饲料提供 VA 15 000 IU, VE 47 IU, VK 6 mg, VB₁ 3 mg, VB₂ 9 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 0.03 mg, 烟酸 60 mg, D-泛酸 16 mg, 叶酸 1.5 mg, 生物素 0.06 mg, 胆碱 900 mg, Fe 247mg, Zn 210 mg, I 1.46 mg, Se 0.06 mg。²⁾钙、磷含量为实测值, 其余营养水平均为计算值
¹⁾ The premix provided the following per kg of diets: VA 15 000 IU, VE 47 IU, VK 6 mg, VB₁ 3 mg, VB₂ 9 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 0.03 mg, niacin 60 mg, D-pantothenic acid 16 mg, folic acid 1.5 mg, biotin 0.06 mg, choline 900 mg, Fe (as ferric sulfate) 247mg, Zn (as zinc sulfate) 210 mg, I (as calcium iodide) 1.46 mg, Se (as sodium selenite) 0.06 mg。²⁾ The content of calcium and phosphorus were measured value, and the other nutrition levels were calculated values

1.2 饲养管理

本试验于夏季（7 月 17 日至 9 月 10 日）在广东省农业科学院动物科学研究所动物营养研究室试验场进行。试验种鸡在开放式种鸡舍内三层阶梯式笼养，每笼 2 只。试验鸡每天上午 8：00 定量饲喂一次，试验期间每天限量饲喂 120g/只，乳头式饮水器供试验鸡自由饮水，每天 15：00 捡蛋一次，每周结束时称料一次，每天光照恒定 16 h，自然通风，保持栏舍清洁卫生，常规防疫与免疫。

1.3 种蛋的孵化与子代肉鸡的饲养

在试验的最后 2 周,给各组试验鸡进行人工授精,输精时间为 16：00,输精量为 30 μL /只,每 3d 输精一次,种公鸡与种母鸡的比例为 1：20。连续收集试验最后 6 d 的种蛋,剔除畸形蛋、过大过小蛋及沙壳蛋等不合格蛋,每个重复收取 60 枚,每组 360 枚。每重复选取 4 只种蛋进行蛋品质指标测定,其余种蛋按照种鸡分组情况分成 6 组进行孵化。出雏后的子代根据体重均一原则每组选取 120 只进行育雏,每组 6 个重复,每重复 20 只。试验鸡饲养于封闭式鸡舍,地面平养,地面铺木削,各栏以塑料网隔开。公母混养,自由采食和饮水。参考 NY/T33-2004《鸡饲养标准》^[14],子代肉鸡饲料中 VD_3 添加量为 1 000 $\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$,其基础饲料组成及营养水平见表 2。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 种鸡产蛋性能 种鸡试验开始和结束前 1 天

20：00 对试验鸡断料、供水,次日 8：00 以重复为单位称重。

试验期间,每天记录各重复试验鸡的产蛋数、日产蛋重、破损蛋数、不合格蛋数和重量(破损蛋、蛋过小,双黄蛋,形状不规则,蛋壳异常;软壳蛋、螺旋纹、麻壳、砂壳等),并计算产蛋率、平均蛋重、平均日产蛋重、料蛋比、破蛋率与不合格蛋率。产蛋性能的计算公式如下:

产蛋率 (%) = (平均日产蛋数/试验鸡只存栏数) × 100%;

平均蛋重 (g/枚) = 总产蛋重 (g) /总产蛋枚数 (枚);

平均日产蛋重 (g) = 产蛋率 (%) × 平均蛋重 (g);

料蛋比 = 试验期总采食量 (g) /试验期产蛋总重 (g);

破蛋率 (%) = (破损蛋总数 (枚) /产蛋总数 (枚)) × 100%;

不合格蛋率 (%) = (不合格蛋总数 (枚) /产蛋总数 (枚)) × 100%。

1.4.2 子代肉鸡生长性能 饲养期间以重复为单位,记录每天的采食量。每日观察鸡只健康状况、精神状态;记录死亡数,及时对死亡鸡及其所在栏剩料量称重。在阶段试验结束(63 日龄)前一天 20：00 断料供水,于次日清晨以重复为单位称鸡空腹重、结料,用于计算全期平均日增重、平均日采食量和料重比。

表 2 黄羽肉种鸡子代肉鸡基础饲粮组成及营养水平

Table 2 Composition and nutrient levels of the basal diet for progeny from broiler breeder hens

项目 Items	含量 Content (%)			营养水平 Nutrient levels			
	1-21 日龄 (d)	22-42 日龄 (d)	43-63 日龄(d)		1-21 日龄 (d)	22-42 日龄 (d)	43-63 日龄(d)
原料 Ingredients				代谢能 ME (MJ·kg ⁻¹)	12.13	12.55	12.98
玉米 Corn	55.7	59.45	65.03	粗蛋白质 CP	21.00	19.00	17.00
豆粕 Soybean meal	35.85	33.42	27.16	钙 Ca	1.00	0.90	0.80
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	2.00	0.00	0.00	有效磷 AP	0.45	0.40	0.35
豆油 Soybean oil	2.00	3.00	4.00	赖氨酸 Lys	1.15	1.03	0.88
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.10	0.12	0.11	蛋氨酸 Met	0.45	0.40	0.37
石粉 Limestone	1.27	1.16	1.10	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.80	0.71	0.64
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.78	1.55	1.30				
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30				
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00				
合计 Total	100.00	100.00	100.00				

¹⁾1-21 日龄阶段通过预混料向每 kg 饲粮中提供: VA 15 000 IU、VD₃ 1 000 IU、VE 20 IU、VK₃ 6 mg、VB₁ 1.8 mg、VB₂ 9 mg、VB₆ 3.5 mg、VB₁₂ 0.01 mg、氯化胆碱 500 mg、烟酸 60 mg、泛酸 16 mg、叶酸 0.55 mg、生物素 0.15 mg、Fe 80 mg、Cu 8 mg、Mn 80 mg、Zn 60 mg、I 0.35 mg、Se 0.3 mg; 22-42 日龄阶段通过预混料向每 kg 饲粮中提供: VA 15 000 IU、VD₃ 1 000 IU、VE 20 IU、VK₃ 6 mg、VB₁ 3.0 mg、VB₂ 9.0 mg、VB₆ 6.0 mg、VB₁₂ 0.03 mg、氯化胆碱 1 000 mg、烟酸 60 mg、泛酸 18 mg、叶酸 0.75 mg、生物素 0.10 mg、Fe 80 mg、Cu 12 mg、Mn 100 mg、Zn 75 mg、I 0.35 mg、Se 0.15 mg; 43-63 日龄阶段通过预混料向每 kg 饲粮中提供: VA 10 000 IU、VD₃ 1 000 IU、VE 20 IU、VK₃ 4 mg、VB₁ 1.8 mg、VB₂ 8 mg、VB₆ 3.5 mg、VB₁₂ 0.01 mg、氯化胆碱 500 mg、烟酸 44 mg、泛酸 10 mg、叶酸 0.55 mg、生物素 0.15 mg、Fe 80 mg、Cu 8 mg、Mn 80 mg、Zn 60 mg、I 0.35 mg、Se 0.15 mg

¹⁾ The premix provided the following per kg of diets during 1 to 21 days of age: VA 15 000 IU, VD₃ 1 000 IU, VE 20 IU, VK₃ 6 mg, VB₁ 1.8 mg, VB₂ 9 mg, VB₆ 3.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, choline 500 mg, niacin 60 mg, pantothenic acid 16 mg, folic acid 0.55 mg, biotin 0.15 mg, Fe 80 mg, Cu 8 mg, Mn 80 mg, Zn 60 mg, I 0.35 mg, Se 0.3 mg; The premix provided the following per kg of diets during 22 to 42 days of age: VA 15 000 IU, VD₃ 1 000 IU, VE 20 IU, VK₃ 6 mg, VB₁ 3.0 mg, VB₂ 9.0 mg, VB₆ 6.0 mg, VB₁₂ 0.03 mg, choline 1 000 mg, niacin 60 mg, pantothenic acid 18 mg, folic acid 0.75 mg, biotin 0.10 mg, Fe 80 mg, Cu 12 mg, Mn 100 mg, Zn 75 mg, I 0.35 mg, Se 0.15 mg; The premix provided the following per kg of diets during 43 to 63 days of age: VA 10 000 IU, VD₃ 1 000 IU, VE 20 IU, VK₃ 4 mg, VB₁ 1.8 mg, VB₂ 8 mg, VB₆ 3.5 mg, VB₁₂ 0.01 mg, choline 500 mg, niacin 44 mg, pantothenic acid 10 mg, folic acid 0.55 mg, biotin 0.15 mg, Fe 80 mg, Cu 8 mg, Mn 80 mg, Zn 60 mg, I 0.35 mg, Se 0.15 mg

1.4.3 种蛋品质 试验第 8 周,从每个重复中随机选取蛋样 4 枚,进行蛋品质检测。用蛋壳强度测定仪 (FGV-10XY,以色列 ORKA 公司)测定蛋壳强度。蛋壳厚度采用千分尺测量,去壳膜后的蛋壳钝端、中端和尖端 3 个点厚度,取其平均值。蛋黄色泽、蛋白高度和哈氏单位采用全自动蛋品分析仪 (EMT-5200,日本 Robotmation 公司)测定。剖离鸡蛋内容物,用吸水纸拭去蛋壳上黏附的蛋清,对蛋壳进行烘干、回潮、恒重后称重。蛋形指数与蛋壳相对重计算如下:

蛋形指数 = 长径 (mm) /短径 (mm)

蛋壳比例 (%) = (蛋壳重 (g) /蛋重 (g)) ×100%

1.4.4 胫骨指标 种鸡饲养结束时,试鸡称重后,每重复选取 2 只接近平均体重的试鸡,进行屠宰取样。取两侧胫骨,右侧胫骨使用 Lunar Prodigy 型骨密度仪 (GE Medical Systems, Madison, WI) 测定胫骨密度。左侧胫骨经高温蒸煮 6 min,剥离所有软组织,105℃烘干 24 h 进行脱水,使用纯度 99.5%的乙醚浸泡 96 h,65℃烘干 4 h 至恒重,称重得到脱脂胫骨干重,计算

脱脂胫骨比例 (脱脂胫骨干重/活重)。子代肉鸡饲养结束后,取左侧胫骨,采用剪切仪 (INSTRON-441 型, Instron 公司,美国)测定折断力。

1.4.5 血浆生化指标 种鸡试验结束时,每重复选取 2 只接近平均体重的试鸡,使用加了抗凝剂 (肝素钠)的采血管翅静脉采血 5 mL, 3 000r/min 离心 15 min,分离血浆。使用多功能酶标仪 (Spectra Max M-5, Molecular Devices 公司,美国)与南京建成生物工程研究所试剂盒测定血浆钙、磷含量和碱性磷酸酶 (AKP) 活性。子代肉鸡 1 日龄、21 日龄、63 日龄时按照平均重,每重复选取 2 只采血,分离制备血浆,同样采用以上方法测定其中钙、磷含量和 AKP 活性。

1.5 数据统计分析

试验数据均 SPSS17.0 统计软件进行单因素方差分析,进行 Duncan 氏多重比较,并使用多项式拟合回归分析来评价饲粮中 VD₃添加水平的线性和二次效应。统计显著性水平为 P<0.05。试验数据以组平均值与标准误 (mean, SEM) 表示。

2 结果

2.1 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡产蛋性能的影响

由表 3 可知, 饲料 VD_3 添加水平显著影响黄羽肉种鸡产蛋的平均蛋重 ($P<0.05$), 与对照组相比, 饲

料添加 $800 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1} \text{VD}_3$ 可显著提高平均蛋重 ($P<0.05$)。饲料 VD_3 水平对黄羽肉种鸡产蛋的产蛋率、日均产蛋重和料蛋比的影响均不显著 ($P>0.05$), 但饲料添加 VD_3 有提高黄羽肉种鸡产蛋率的趋势 ($P=0.071$), 各添加组产蛋率高于对照组 ($P>0.05$)。

表 3 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡产蛋性能的影响

Table 3 Effects of dietary VD_3 supplemental level on performance of yellow-feathered breeder hens

项目 Items	VD ₃ 添加水平 VD ₃ supplemental level (IU·kg ⁻¹)						SEM	P			
	0	800	1600	2400	3200	4000		ANOVA	线性 Linear	二次 Quadratic	
产蛋率 Laying rate (%)	53.77	58.02	56.77	56.75	56.55	57.46	0.94	0.071	0.059	0.111	
平均蛋重 Average egg weight (g)	61.70b	63.28a	62.73ab	61.98ab	62.31ab	62.53ab	0.29	0.024	0.840	0.855	
日均产蛋重 Average egg mass (g)	33.85	36.71	35.52	35.51	35.04	36.42	0.70	0.201	0.257	0.505	
料蛋比 Feed/Egg mass	3.61	3.32	3.47	3.44	3.48	3.36	0.07	0.160	0.322	0.394	
破蛋率 Broken egg rate(%)	2.30	1.75	1.71	1.50	1.81	2.06	0.19	0.150	0.433	0.014	
不合格蛋率 Unqualified egg rate(%)	1.52	0.78	1.38	0.57	0.90	1.36	0.31	0.125	0.171	0.395	
存活率 Survival rate(%)	99.17	100.00	98.33	100.00	100.00	100.00	0.57	0.186	0.772	0.530	

同行数据标有相同小写字母或者未标注表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同
Within a row, values with no letter or the same small letter mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter mean significant difference ($P<0.05$). The same as below

2.2 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡蛋品质的影响

由表 4 可知, 饲料添加 VD_3 可显著影响黄羽肉种鸡种蛋的蛋壳强度与厚度 ($P<0.05$), 其中, 与对照组相比, 饲料添加 $1\,600$ 与 $3\,200 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1} \text{VD}_3$ 可显著提高种蛋蛋壳强度 ($P<0.05$), 添加 $1\,600 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1} \text{VD}_3$

可显著提高种蛋蛋壳厚度 ($P<0.05$)。饲料添加 VD_3 对黄羽肉种鸡种蛋的蛋形指数、蛋壳比例、蛋黄色泽、蛋白高度与哈氏单位无显著影响 ($P>0.05$)。回归分析显示, 饲料 VD_3 水平与黄羽肉种鸡种蛋蛋壳强度与厚度皆呈显著的二次线性相关 ($P<0.05$)。

表 4 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡蛋品质的影响

Table 4 Effects of dietary VD_3 supplemental level on egg quality of yellow-feathered breeder hens

项目 Items	VD ₃ 添加水平 VD ₃ supplemental level (IU·kg ⁻¹)						SEM	P			
	0	800	1600	2400	3200	4000		ANOVA	线性 Linear	二次 Quadratic	
蛋形指数 Egg shape index	1.33	1.32	1.33	1.34	1.33	1.34	0.01	0.695	0.377	0.672	
蛋壳强度 Shell strength, kgf	3.48b	3.69ab	3.88a	3.59ab	3.89a	3.46b	0.08	0.012	0.147	0.035	
蛋壳厚度 Shell thickness (μm)	0.306b	0.320ab	0.322a	0.320ab	0.319ab	0.317ab	0.01	0.049	0.162	0.008	
蛋壳比例 Shell rate (%)	8.51	8.63	8.54	8.65	8.54	8.59	0.08	0.920	0.765	0.959	
蛋黄色泽 Yolk color	7.46	7.21	7.17	7.28	6.92	6.85	0.33	0.112	0.048	0.122	
蛋白高度 Albumen height (mm)	3.82	3.43	3.85	4.08	4.10	4.15	0.23	0.569	0.697	0.910	
哈氏单位 Haugh unit	53.85	57.23	53.40	56.83	56.14	58.00	2.22	0.637	0.415	0.712	

2.3 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡胫骨指标的影响

由表 5 可知, 饲料添加 VD_3 可显著影响黄羽肉种鸡脱脂胫骨比例与骨密度 ($P<0.05$)。与对照组相比, 饲料添加 $4\,000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1} \text{VD}_3$ 可显著提高脱脂胫骨比例

与胫骨骨密度 ($P<0.05$), 同时, 其他各组的此二项指标与对照组相比均有不同程度的提高, 但影响未达显著 ($P>0.05$)。饲料添加不同水平的 VD_3 均可不同程度地提高黄羽肉种鸡胫骨折断力 ($P>0.05$)。回

归分析显示, 饲料 VD_3 水平与黄羽肉种鸡胫骨密度呈显著的线性相关 ($P<0.05$), 饲料 VD_3 水平越高, 其胫骨密度越高。

2.4 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡血浆生化指标的影响

由表 6 可知, 饲料添加 VD_3 可显著影响黄羽肉种鸡血浆中钙、磷含量与 AKP 活性 ($P<0.05$)。与对照组相比, 饲料添加 $800\text{—}3\,200\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 可显著提高种鸡血浆中钙含量 ($P<0.05$), 添加 $800\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 可显著提高血浆磷含量 ($P<0.05$), 添加 $1\,600\text{—}4\,000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 可显著降低血浆中 AKP 酶活 ($P<0.05$)。回归分析显示, 饲料 VD_3 水平与黄羽肉种鸡血浆磷含量与 AKP 酶活均呈显著的线性 ($P<0.05$) 与二次 ($P<0.05$) 相关。

2.5 粮 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡子代肉鸡生长与胫骨指标的影响

由表 7 知, 黄羽肉种鸡饲料添加 VD_3 对子代肉鸡存活率、生长末重、日增重、料重比等无显著影响 ($P>0.05$)。如表 8 所示, 种鸡饲料添加 VD_3 可显著影响黄羽肉种鸡子代肉鸡胫骨折断力 (线性, $P<0.05$) 与骨密度 ($P<0.05$), 与对照组相比, 种鸡饲料添加 $4\,000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 时子代肉鸡胫骨折断力显著增强 ($P<0.05$), 其他各组中该项指标有不同程度的提高, 但影响未达显著 ($P>0.05$); 饲料添加 800 、 $1\,600$ 或 $4\,000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 时子代肉鸡胫骨密度显著增加 ($P<0.05$)。饲料添加 $1\,600\text{—}4\,000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}\text{VD}_3$ 均可不同程度地提高子代鸡脱脂胫骨比例, 但影响未达显著 ($P>0.05$)。

表 5 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡胫骨指标的影响										
Table 5 Effects of dietary VD_3 supplemental level on tibial characteristics of yellow-feathered breeder hens										
项目 Items	VD_3 添加水平 VD_3 supplemental level ($\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)						SEM	P		
	0	800	1600	2400	3200	4000		VD_3	线性 Linear	二次 Quadratic
脱脂胫骨比例 Dehydrated and degreased weight/BW (%)	0.33b	0.34ab	0.35ab	0.35ab	0.36ab	0.38a	0.01	0.041	0.012	0.053
骨密度 Bone density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	0.22b	0.26ab	0.26ab	0.26ab	0.26ab	0.33a	0.01	0.003	0.047	0.125
胫骨折断力 Broking strength of tibia (N)	250.41	266.71	255.94	259.56	259.96	288.10	17.83	0.761	0.261	0.434

表 6 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡血浆生化指标的影响										
Table 6 Effects of dietary VD_3 supplemental level on biochemical variables in plasma of yellow-feathered breeder hens										
项目 Items	VD_3 添加水平 VD_3 supplemental level ($\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)						SEM	P		
	0	800	1600	2400	3200	4000		VD_3	线性 Linear	二次 Quadratic
钙含量 Calcium content ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	2.18b	2.31a	2.30a	2.32a	2.34a	2.25ab	0.03	<0.001	0.414	0.711
磷含量 Phosphorus content ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.93b	2.08a	2.02ab	1.96ab	1.91b	1.88b	0.03	<0.001	0.012	0.001
碱性磷酸酶活性 AKP activity ($\text{U}/100\text{ mL}$)	77.25a	74.81ab	44.51c	53.47bc	54.72bc	45.94c	7.00	0.005	0.002	0.002

表 7 饲料 VD_3 添加水平对子代肉鸡生长性能与胫骨指标的影响										
Table 7 Effects of dietary VD_3 supplemental level on growth performance of yellow-feathered broiler progeny										
项目 Items	VD_3 添加水平 VD_3 supplemental level ($\text{IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)						SEM	P		
	0	800	1600	2400	3200	4000		VD_3	线性 Linear	二次 Quadratic
存活率 Survival rate (%)	91.67	94.17	90.83	91.67	93.33	93.33	0.83	0.133	0.444	0.551
体重 BW (g)	2429.64	2465.42	2463.23	2432.72	2466.74	2536.31	16.53	0.860	0.112	0.291
日均增重 ADG (g)	38.57	39.21	39.05	38.57	39.21	40.32	0.42	0.712	0.145	0.252
料重比 Feed/weight	2.62	2.58	2.59	2.62	2.58	2.52	0.04	0.525	0.311	0.239

表 8 饲料 VD_3 添加水平对子代肉鸡胫骨指标的影响

Table 8 Effects of dietary VD_3 supplemental level on tibial characteristics of yellow-feathered broiler progeny

项目 Items	VD ₃ 添加水平 VD ₃ supplemental level (IU·kg ⁻¹)						SEM	P		
	0	800	1600	2400	3200	4000		VD ₃	线性 Linear	二次 Quadratic
脱脂胫骨比例 Dehydrated and degreased weight/BW (%)	0.31	0.31	0.35	0.34	0.35	0.34	0.02	0.706	0.213	0.305
骨密度 Bone density (g·cm ⁻³)	0.13b	0.15a	0.14a	0.13b	0.13ab	0.14a	0.01	0.044	0.958	0.741
胫骨折断力 Broking strength of tibia (N)	205.04b	223.66ab	247.94ab	219.34ab	242.63ab	269.99a	11.48	0.010	0.002	0.143

2.6 饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡子代肉鸡血浆生化指标的影响

由表 9 可知，对于 1 日龄子代肉鸡，饲料添加 VD_3 可显著影响其血浆钙、磷含量与 AKP 活性 ($P<0.05$)，与对照组相比，饲料添加 2 400—4 000IU·kg⁻¹ VD_3 可显著提高 1 日龄子代肉鸡血浆钙含量 ($P<0.05$)，添加 800—4 000IU·kg⁻¹ VD_3 可显著提高血

浆磷含量 ($P<0.05$)，添加 1 600 IU·kg⁻¹ VD_3 可显著降低血浆中 AKP 酶活 ($P<0.05$)。饲料添加 VD_3 对 21、63 日龄子代肉鸡的血浆钙、磷含量与 AKP 活性无显著影响 ($P>0.05$)。回归分析显示，饲料 VD_3 水平与 1 日龄子代肉鸡血浆钙、磷含量与 AKP 酶活均呈显著的线性 ($P<0.05$) 与二次 ($P<0.05$) 相关。

表 9 种鸡饲料 VD_3 添加水平对黄羽肉种鸡子代肉鸡血浆生化指标的影响

Table 9 Effects of dietary VD_3 supplemental level on biochemical variables in plasma of yellow-feathered broiler progeny

日龄 Days of age	项目 Items	VD ₃ 添加水平 VD ₃ supplemental level (IU·kg ⁻¹)						SEM	P		
		0	800	1600	2400	3200	4000		VD ₃	线性 Linear	二次 Quadratic
1	钙含量 Calcium content, (mmol·L ⁻¹)	2.33b	2.38ab	2.43ab	2.46a	2.44a	2.48a	0.03	0.002	<0.001	<0.001
	磷含量 Phosphorus content (mmol·L ⁻¹)	1.41b	1.64a	1.73a	1.65a	1.60a	1.65a	0.06	<0.001	0.038	0.001
	碱性磷酸酶活性 AKP activity (U/100 mL)	148.23ab	178.67a	96.72c	110.16bc	111.73bc	109.95bc	20.22	0.003	0.008	0.016
	钙含量 Calcium content, (mmol·L ⁻¹)	2.19	2.15	2.13	2.11	2.07	2.02	0.05	0.069	0.001	0.005
	磷含量 Phosphorus content (mmol·L ⁻¹)	1.78	1.74	1.75	1.82	1.69	1.71	0.04	0.164	0.288	0.539
21	碱性磷酸酶活性 AKP activity (U/100 mL)	158.89	124.49	141.38	109.29	177.92	142.84	20.96	0.211	0.643	0.690
	钙含量 Calcium content (mmol·L ⁻¹)	2.22	2.12	2.14	2.28	2.21	2.17	0.05	0.056	0.712	0.928
	磷含量 Phosphorus content (mmol·L ⁻¹)	1.84	1.88	1.84	1.82	1.74	1.86	0.05	0.282	0.233	0.470
	碱性磷酸酶活性 AKP activity (U/100 mL)	27.30	36.32	42.96	41.66	24.82	29.14	6.51	0.105	0.797	0.108
	钙含量 Calcium content (mmol·L ⁻¹)	2.22	2.12	2.14	2.28	2.21	2.17	0.05	0.056	0.712	0.928
63	磷含量 Phosphorus content (mmol·L ⁻¹)	1.84	1.88	1.84	1.82	1.74	1.86	0.05	0.282	0.233	0.470
	碱性磷酸酶活性 AKP activity (U/100 mL)	27.30	36.32	42.96	41.66	24.82	29.14	6.51	0.105	0.797	0.108
	钙含量 Calcium content (mmol·L ⁻¹)	2.22	2.12	2.14	2.28	2.21	2.17	0.05	0.056	0.712	0.928
	磷含量 Phosphorus content (mmol·L ⁻¹)	1.84	1.88	1.84	1.82	1.74	1.86	0.05	0.282	0.233	0.470
	碱性磷酸酶活性 AKP activity (U/100 mL)	27.30	36.32	42.96	41.66	24.82	29.14	6.51	0.105	0.797	0.108

2.7 使用回归模型中的二次曲线拟合分析估计饲料 VD_3 最适添加水平

分别以蛋壳强度、厚度、种鸡血浆中磷含量与 AKP 活性、1 日龄子代肉鸡血浆钙磷含量与 AKP 活性作为评价指标，根据 VD_3 添加量变化做二次曲线拟合分析，结果如表 10 所示。以蛋壳强度、蛋壳厚度为评

价指标，黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 1 650、1 828 IU·kg⁻¹。以种鸡血浆磷含量与 AKP 活性为评价指标，黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 1 442、3 123 IU·kg⁻¹。以 1 日龄子代肉鸡血浆钙、磷含量与 AKP 活性为评价指标，黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 3 768、2 407 和 3 489 IU·kg⁻¹。

表 10 基于二次曲线回归分析的最适饲料 VD₃ 添加水平估计
Table 10 Estimations of the optimal level of supplemental VD₃ based on quadratic regressions

	变量 Variable	回归曲线 Regression equation	R^2	P	VD ₃ 需要量 VD ₃ requirement (IU·kg ⁻¹)
种鸡 Breeder hens	蛋壳强度 Shell strength (kgf)	Y = 3.39 - 0.0000000468X ² + 0.000155X	0.172	0.035	1650
	蛋壳厚度 Shell thickness (mm)	Y = 0.308 - 0.00000000346X ² + 0.0000126X	0.105	0.014	1828
	血浆磷含量 Phosphorus content in plasma (mmol·L ⁻¹)	Y = 76.36 - 0.0000000242X ² + 0.0000697X	0.417	0.001	1442
	血浆碱性磷酸酶活性 AKP activity in plasma (U/100 mL)	Y = 76.36 + 0.00000292X ² - 0.0182X	0.349	0.002	3123
1 日龄子代鸡 1-d progeny	血浆钙含量 Calcium content in plasma (mmol·L ⁻¹)	Y = 2.34 - 0.00000000947X ² + 0.0000713X	0.475	<0.001	3768
broilers	血浆磷含量 Phosphorus content in plasma (mmol·L ⁻¹)	Y = 1.46 - 0.000000042X ² + 0.000202X	0.298	0.001	2407
	血浆碱性磷酸酶活性 AKP activity in plasma (U/100 mL)	Y = 164.45 + 0.00000468X ² - 0.0326X	0.185	0.016	3489
X 为饲料 VD ₃ 水平, Y 为因变量。Y is the dependent variable and X are the dietary VD ₃ supplemental levels (IU·kg ⁻¹)					

3 讨论

3.1 对黄羽肉种鸡产蛋性能的影响

VD₃ 可以促进肠道对钙、磷的吸收和代谢, 保持骨骼正常发育, 也有报道表明其可促进肉鸡生长发育、提高生产性能^[4-5], 但其对种鸡产蛋性能的研究较少。本试验表明饲料添加 VD₃ 均可不同程度的提高产蛋率、日均产蛋重, 降低料重比、破蛋率与不合格蛋率, 其中添加 800 IU·kg⁻¹ VD₃ 显著提高了种鸡产蛋率、日均产蛋重, 降低料重比。ATENCIO 等^[11]发现在第 31 周龄时, Ross 508 肉种鸡的每日产蛋百分率对日粮 VD₃ 水平呈显著线性反应, 并预测其产蛋高峰期和高峰后获得最大日产蛋量时相对应 VD₃ 水平分别为 1 424 和 2 804 IU·kg⁻¹。对于尼克粉蛋鸡, 饲料 VD₃ 水平对产蛋率、日产蛋量、平均蛋重和料蛋比均无显著影响, 但对软破蛋率有极显著影响, 300—2 700 IU·kg⁻¹ 的饲料 VD₃ 水平均可显著降低软破蛋率^[9]。刘旭^[13]提出饲料 800—5 000 IU·kg⁻¹ VD₃ 水平对产蛋前期秀水黄羽乌鸡产蛋率和软破壳蛋率无显著影响, 但添加 2 200 或 3 600 IU·kg⁻¹ VD₃ 时, 产蛋率上升、软破壳下降。推测造成以上研究中产蛋性能差异的原因为品种及周龄的差别, 尤其是蛋鸡与肉种鸡品种差别较大, 肉种鸡上关于 VD₃ 水平的研究仍然十分匮乏, 需要继续深入探索。

3.2 对黄羽肉种鸡蛋壳品质的影响

较早便有研究指出 VD₃ 对改善蛋壳品质的作

用^[16-17]。钙是蛋壳形成的必需原料, VD₃ 可促进钙在肠黏膜细胞中形成钙结合蛋白, 从而促进钙的主动吸收及其钙在蛋壳中的沉积^[17], 在钙或者 VD₃ 缺乏时, 蛋壳外层(角质层和海绵层)减少或消失, 蛋壳厚度和强度降低, 造成薄壳和软壳^[18]。康乐等^[12]发现, 添加 VD₃ (2 500、5 000 IU·kg⁻¹) 可显著提高 60 周龄罗曼粉壳蛋鸡的蛋壳强度与蛋壳比重, 王秀娟等^[19]发现, 饲料中添加 VA 与 VD₃ 对 47 周龄罗曼粉壳蛋鸡的蛋壳厚度有提高趋势, 杨涛等^[9]的研究表明, 随着饲料 VD₃ 水平的升高, 尼克粉蛋鸡蛋壳厚度和蛋壳强度有先升高后降低的趋势。本研究表明饲料添加 VD₃ 可显著影响黄羽肉种鸡种蛋的蛋壳强度与蛋壳厚度, 且呈显著二次线性相关, 根据蛋壳强度与厚度的回归曲线推荐饲料 VD₃ 水平分别为 1 650、1 828 IU·kg⁻¹, 证实了 VD₃ 与蛋壳品质存在密切联系。

3.3 对黄羽肉种鸡胫骨指标的影响

VD₃ 促进肠道对钙、磷的吸收和在骨骼中的沉积, 从而保持骨骼正常发育。DRIVER 等^[1]发现, 种鸡长期饲喂 2 000 IU·kg⁻¹ VD₃ 能有效降低其腿病发生率。试验中通常选用粗灰分、折断力、骨重和骨密度等骨骼矿化的指标来反映骨骼发育状况^[20], 研究表明, VD₃ 水平对蛋鸡胫骨强度、干重有极显著影响, 300—2 700 IU·kg⁻¹ VD₃ 可显著提高胫骨干重, 且随着 VD₃ 水平升高胫骨强度有升高的趋势^[9]。杨宽民等^[8]的研究表明, 对于 43—63 日龄黄羽肉鸡, 饲料添加 100—400 IU·kg⁻¹ VD₃ 可提高胫骨长度; 添

加 $300\text{—}700\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可提高胫骨折断力, 以 $600\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 组最高 (提高 19.11%); 添加 $100\text{—}700\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可提高胫骨磷含量, 以 $500\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 组最高 (提高 8.90%)。饲料添加 1α -羟基 VD_3 等 VD_3 衍生物可显著提高 22—42 日龄 AA 肉鸡胫骨灰分含量、增加胫骨强度^[21]; 改善 Ross 肉鸡胫骨质量^[22]。本试验中, 饲料添加 VD_3 可提高黄羽肉种鸡胫骨脱水脱脂重与骨密度, 添加量为 $4\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 种鸡胫骨脱水脱脂重与骨密度极显著提高。

3.4 对黄羽肉种鸡子代肉鸡生长与胫骨指标的影响

部分研究表明饲料 VD_3 促进肉鸡生长发育、提高生产性能, 杨宽民等^[4]的研究也表明 VD_3 可以提高黄羽肉鸡的生长性能。但是黄羽肉种鸡饲料中的 VD_3 是否会持续对子代肉鸡产生作用尚无探究。在本试验条件下, 黄羽肉种鸡饲料添加 VD_3 对子代肉鸡生长性能指标无显著影响; 种鸡饲料添加 VD_3 可显著影响胫骨折断力, 与对照组相比, 种鸡饲料添加高浓度 ($4\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$) VD_3 时子代肉鸡胫骨折断力显著增强。MATTILA 等^[23]证明提高饲料 VD_3 水平可以提高蛋黄中 VD_3 含量, DRIVER 等发现^[1]饲喂高浓度 VD_3 ($2\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$) 母鸡可能能够在蛋中沉积足够数量的 VD_3 , 降低 Ca 缺乏饲料诱导的胫骨软骨发育不良。ATENCIO 等^[24]发现, 饲喂高水平 VD_3 的 Ross 肉种鸡的子代雏鸡体重增长最快 ($2\ 000$ 、 $4\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)、胫骨灰分最高 ($3\ 200\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)。以上试验表明, 母源饲料获得的 VD_3 可以通过种蛋沉积在一定程度上影响子代生长性能与胫骨相关指标。但种鸡饲料 VD_3 含量、种蛋中 VD_3 沉积量以及子代肉鸡生长和骨骼发育之间的关系值得进一步深入探讨。

3.5 对黄羽肉种鸡及其子代肉鸡血浆生化指标的影响

饲料中添加 VD_3 及其衍生物可以改善动物肠道对钙和磷的吸收, 从而促进动物生长和骨骼发育。本研究表明, 饲料添加 VD_3 可显著提高黄羽肉种鸡血浆中钙、磷含量, 添加 $800\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 黄羽肉种鸡血浆钙、磷水平相较于对照组, 即可显著提升。与本研究结果相同, 康乐等^[12]的研究表明, 添加 VD_3 的蛋鸡血浆钙和磷含量极显著升高; 饲料 $2,5$ -二羟基 VD_3 水平由 $50\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提高到 $600\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, Ross 肉仔鸡的血浆钙含量显著提高^[25]; JIANG 等^[26]对黄羽肉鸡的研究表明饲料添加 VD_3 显著提高血清钙、磷水平, 对 VD_3 调控肉鸡钙磷代谢的相关机制深入探讨, 发现 VD_3 调节骨钙素、降钙素和甲状旁腺激

素的合成与分泌来维持机体钙的平衡, 通过影响成纤维细胞生长因子 23 和 Klotho 蛋白的代谢来调控磷的代谢^[3,27]。碱性磷酸酶主要来自于骨骼, 是反映骨骼代谢的一项重要指标, 而血浆 AKP 活性常用来诊断因 VD_3 和钙、磷失调引起的骨骼疾病^[28]。在本研究中, 饲料添加 VD_3 可显著降低黄羽肉种鸡血浆 AKP 活性, 康乐等^[12]也证明添加 VD_3 的蛋鸡血浆 AKP 活性极显著降低, 可能是因为 VD_3 增加了血液中钙离子含量, 促使成骨细胞活动增强, 骨骼钙化和矿化作用增强, 所以血浆 AKP 活性降低^[28]。除了调节钙磷代谢外, VD_3 还有着广泛的生物学效应。 VD_3 能够调控细胞周期^[29], 抑制多种类型细胞的增殖, 诱导细胞的凋亡和分化^[30], 从而抑制肿瘤等疾病的发生^[31]; 还可通过调节胰岛素样生长因子活性与激素水平^[32], 调节 T 淋巴细胞、巨噬细胞增殖及活化^[33], 发挥免疫调节功能。关于 VD_3 在黄羽肉鸡上是否发挥以上生物学效应以及其作用机制还需要后续深入研究。

对于 1 日龄子代肉鸡, 饲料添加 $800\text{—}4\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可不同程度地提高血浆钙、磷含量, 降低 AKP 活性, 而对 21、63 日龄子代肉鸡此类指标无显著影响, 说明母源饲料获得的 VD_3 可以通过种蛋沉积影响子代钙磷调控, 但随着日龄增加, 肉鸡可从饲料中获得 VD_3 以维持钙磷代谢平衡, 这提示我们需从母源与饲料 VD_3 水平两方面来进行营养调控。

3.6 黄羽肉种鸡 VD_3 营养需要量

在本试验条件下, 以产蛋性能为评价指标, 黄羽肉种鸡饲料 VD_3 添加水平的最佳观测值为 $800\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$, 该值低于白羽肉种鸡, 如 ATENCIO 等^[11]预测 Ross 肉种鸡产蛋高峰期和高峰后获得最大日产蛋量时相对应 VD_3 水平分别为 $1\ 424$ 和 $2\ 804\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。饲料添加 $1\ 600$ 与 $3\ 200\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可提高黄羽肉种鸡种蛋蛋壳强度, 添加 $3\ 200\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 提高蛋壳厚度, 分别以此二者为评价指标, 计算得出黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 $1\ 650$ 、 $1\ 828\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$, 该需要量也低于某些产蛋鸡, 如研究表明添加 $2\ 500$ 、 $5\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 提高 60 周龄罗曼粉壳蛋鸡的蛋壳强度与蛋壳比重^[12], 当维生素 D_3 水平为 $3\ 600\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 修水黄羽乌鸡有较高的哈氏单位^[13]。本试验中, 饲料添加 $4\ 000\text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 时获得最大黄羽肉种鸡脱水脱脂胫骨比例、骨密度与子代肉鸡胫骨折断力, 表明无论对种鸡还是子代肉鸡, 获得最优

胫骨性状均需要较高的种鸡饲料 VD_3 水平。添加 $800 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可显著提高种鸡血浆磷含量, 添加 $1\ 600$ — $4\ 000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可显著降低种鸡血浆中 AKP 酶活, 以此二者为评价指标, 计算得出黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 $1\ 442$ 、 $3\ 123 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$, 也低于黄羽乌鸡, 研究表明修水黄羽乌鸡饲料 VD_3 为 $5000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$, 血浆甲状旁腺激素、降钙素与钙结合蛋白等钙磷代谢相关物质的含量最高^[13]。对于 1 日龄子代肉鸡, 当种鸡饲料添加 $2\ 400$ — $4\ 000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 可提高血浆钙含量, 800 — $4\ 000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 提高血浆磷含量, $1\ 600 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 降低血浆中 AKP 酶活, 以 1 日龄子代肉鸡血浆指标为评价指标, 估算出黄羽肉种鸡最适饲料 VD_3 添加水平分别为 $3\ 768$ 、 $2\ 407$ 和 $3\ 489 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

鸡只获得最佳生产性能、蛋品质或胫骨强度等指标时所需的 VD_3 存在差异^[8,13]。 VD_3 主要作用为促进钙、磷的吸收代谢, 从而促进骨骼正常发育与蛋壳形成, 因此在建立肉鸡 VD_3 需要量时, 通常考虑其生长性能与胫骨发育指标^[4,8]; 在建立蛋鸡 VD_3 需要量时, 重点考虑其生产性能与蛋品质^[12-13]。对于肉种鸡来说, 需综合种鸡与子代鸡的生产性能^[11,24]、种蛋品质、胫骨发育^[24]等进行判定。

4 结论

综合来看, 黄羽肉种鸡饲料添加 $800 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 即可获得最优产蛋性能, $1\ 650$ — $1\ 828 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 获得最优蛋品质, 而获得种鸡和子代肉鸡最优胫骨性状均需要较高的种鸡饲料 VD_3 水平 ($4\ 000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$)。种鸡饲料添加 800 — $4\ 000 \text{ IU}\cdot\text{kg}^{-1}$ VD_3 均可不同程度的调节黄羽肉种鸡与子代肉鸡钙磷代谢。

参考文献 References

- [1] DRIVER J P, ATENCIO A, PESTI G M, EDWARDS H M, BAKALLI R I. The effect of maternal dietary vitamin D3 supplementation on performance and tibial dyschondroplasia of broiler chicks. *Poultry Science*, 2006, 85(1): 39-47.
- [2] EDWARDS H M. Effect of vitamin C, environmental temperature, chlortetracycline, and vitamin D3 on the development of tibial dyschondroplasia in chickens. *Poultry Science*, 1989, 68(11): 1527-1534.
- [3] 邢冠中. 饲料钙、磷缺乏对肉仔鸡骨骼钙、磷代谢利用和佝偻病发病率的影响[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2019.
XING G Z. Effect of dietary calcium and phosphorus deficiency on metabolic utilization of bone calcium and phosphorus and incidence of rickets in broilers[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2019.
- [4] 杨宽民, 蒋宗勇, 周桂莲, 林映才, 蒋守群, 陈芳, 郑春田, 马现永. 黄羽肉鸡维生素 D_3 需要量研究[C]// 第六次全国饲料营养学术研讨会论文集. 2010.
YANG K M, JIANG Z Y, ZHOU G L, LIN Y C, JIANG S Q, CHEN F, ZHENG C T, MA X Y. Vitamin D_3 requirement for Yellow-feathered chickens[C]. // 6th National Symposium on Feed nutrition. 2010. (in Chinese)
- [5] SHI C X, QU H X, HAN J C, GENG H X, LIU Z Y, ZHENG Y X, DONG X S. Effects of 1α -hydroxycholecalciferol on growth performance and mineral utilization in broilers. *China Poultry*, 2013.
- [6] 雷荣苹. 饲料中添加 VD_3 对四川山地乌骨鸡生长性能和免疫功能的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
LEI R P. Effect of added VD_3 in diet on growth performance and immune function in Sichuan black-bone chickens[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [7] 张海琴. 维生素 A、D 对肉鸡生长、免疫、钙磷代谢的影响及其交互作用的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
ZHANG H Q. Effect of interaction between vitamin A and vitamin D on growth performance, immune functions and metabolism of calcium and phosphorous in broilers[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2006. (in Chinese)
- [8] 杨宽民, 蒋宗勇, 林映才, 周桂莲, 蒋守群, 陈芳. 饲料添加不同水平维生素 D_3 对 43~63 日龄黄羽肉鸡生长性能、胫骨发育和肉品质的影响[C]// 全国家禽科学学术讨论会. 2009: 906-911.
YANG K M, JIANG Z Y, LIN Y C, ZHOU G L, JIANG S Q, CHEN F. Effects of dietary supplementation with different levels of vitamin D_3 on growth performance, tibia development and meat quality in yellow-feathered broilers aged from 43 ~ 63 days[C]// National Poultry Science Symposium. 2009: 906-911. (in Chinese)
- [9] 杨涛. 不同来源和水平的维生素 D_3 对蛋鸡生产性能、蛋品质和胫骨质量影响的研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
YANG T. Effect of source and level of vitamin D_3 on performance, eggshell quality and tibial quality in laying hens. Yangling: Northwest A & F University, 2014. (in Chinese)
- [10] LOFTON J T, SOARES J H J. The effects of vitamin D_3 on leg abnormalities in broilers. *Poultry Science*, 1986, 65(4): 749-756.
- [11] ATENCIO A, EDWARDS H M, PESTI G M, WARE G O. The vitamin D_3 requirement of broiler breeders. *Poultry Science*, 2006, 85(4): 674-692.

- [12] 康乐, 穆雅东, 张克英, 王建萍, 白世平, 曾秋凤, 彭焕伟, 宿卓薇, 玄玥, 丁雪梅. 不同钙水平饲料添加维生素 D₃ 对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢的影响. 动物营养学报, 2018(10): 3889-3898.
- KANG L, MU Y D, ZHANG K Y, WANG J P, BAI S P, ZENG Q F, PENG H W, SU Z W, XUAN Y, DING X M. Effects of different calcium level diets supplemented with vitamin D₃ on performance, egg quality, *Tibia* quality and plasma calcium and phosphorus metabolism of laying hens in late laying period. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018(10): 3889-3898.(in Chinese)
- [13] 刘旭. 日粮钙和维生素 D₃ 水平对修水黄羽乌鸡产蛋性能、蛋品质和钙代谢的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2017.
- LIU X. Effects of dietary calcium and vitamin D₃ levels on laying performance, egg quality and calcium metabolism in Xiushui yellow black bone chicken during the laying stage[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准: 鸡饲养标准(NY/T33-2004). 2006.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Agricultural industry standard of the People's Republic of China. Feeding standard of chicken (NY/T33-2004). 2006.(in Chinese)
- [15] 熊本海, 罗清尧, 周正奎, 赵峰. 中国饲料成分及营养价值表(2017年第 28 版)制订说明. 中国饲料, 2017(21): 31-41.
- XIONG B H, LUO Q Y, ZHOU Z K, ZHAO F. Tables of feed composition and nutritive values in China (28th edition, 2017). China Feed, 2017(21): 31-41. (in Chinese)
- [16] 刘国玉, 王永. 不同水平的维生素 D₃ 和钙磷比对蛋重及蛋壳品质的影响. 西南民族学院学报(畜牧兽医版), 1989(2): 29-32.
- LIU G Y, WANG Y. Effects of different levels of vitamin D₃ and calcium to phosphorus ratio on egg weight and shell quality. Journal of Southwest Minzu University(Natural Science Edition), 1989(2): 29-32.(in Chinese)
- [17] NAVICKIS R J, KATZENELLENBOGEN B S, NALBANDOV A V. Effects of the sex steroid hormones and vitamin D₃ on calcium-binding proteins in the chick shell gland. Biology of Reproduction, 1979, 21(5): 1153-1162.
- [18] NARBAITZ R, TSANG C P, GRUNDER A A, SOARES J H. Scanning electron microscopy of thin and soft shells induced by feeding calcium-deficient or vitamin D-deficient diets to laying hens. Poultry Science, 1987, 66(2): 341-347.
- [19] 汪秀娟. 日粮中添加维生素 A 和维生素 D₃ 对蛋鸡产蛋性能及蛋壳品质的影响. 现代农业科技, 2008(4):175-175,178.
- WANG X J. Effects of dietary vitamin A and Vitamin D₃ on laying performance and shell quality of laying hens. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2008(4):175-175,178.(in Chinese)
- [20] ONYANGO E M, HESTER P Y, STROSHINE R, ADEOLA O. Bone densitometry as an indicator of percentage *Tibia* ash in broiler chicks fed varying dietary calcium and phosphorus levels. Poultry Science, 2003, 82(11): 1787-1791.
- [21] ZHANG L H, HE T F, LI M A, HU J X, PIAO X S. Effects of dietary calcium and phosphorus levels and supplementation of 25-hydroxycholecalciferol on performance and bone properties of broiler starters. Archives of Animal Nutrition, 2019, 73(6): 445-456.
- [22] 韩进诚, 瞿红侠, 王家庆, 姚军虎, 张春梅, 杨广礼, 郑永祥, 董先顺. 1 α -羟基维生素 D₃ 和维生素 D₃ 对肉鸡生长性能与骨骼质量的影响//中国畜牧兽医学会 2013 年学术年会. 2013: 119.
- HAN J C, QU H X, WANG J Q, YAO J H, ZHANG C M, YANG G L, ZHENG Y X, DONG X S. Effects of 1-hydroxyl vitamin D₃ and vitamin D₃ on growth performance and bone mass of broilers// 2013 Academic Annual Meeting of Chinese Association of Animal Science and Veterinary Medicine. 2013: 119. (in Chinese)
- [23] MATTILA P, LEHIKONEN K, KIISKINEN T, PIIRONEN V. Cholecalciferol and 25-hydroxycholecalciferol content of chicken egg yolk as affected by the cholecalciferol content of feed. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(10): 4089-4092.
- [24] ATENCIO A, EDWARDS H M, PESTI G. Effects of vitamin D₃ dietary supplementation of broiler breeder hens on the performance and bone abnormalities of the progeny. Poultry Science, 2005, 84(7): 1058-1068.
- [25] 陈冠华, 张金龙, 王建国, 张宁, 瞿红侠, 王志祥, 闫永峰, 韩进诚. 肉仔鸡对 25-羟基维生素 D₃ 的需要量. 动物营养学报, 2017(7): 2335-2347.
- CHEN G H, ZHANG J L, WANG J G, ZHANG N, QU H X, WANG Z X, YAN Y F, HAN J C. Requirement of 25-hydroxycholecalciferol for broilers. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017(7): 2335-2347. (in Chinese)
- [26] JIANG S Q, JIANG Z Y, YANG K M, CHEN F, ZHENG C T, WANG L. Dietary vitamin D₃ requirement of Chinese yellow-feathered broilers. Poultry Science, 2015, 94(9): 2210-2220.
- [27] 杨宽民, 蒋宗勇, 周桂莲, 陈芳, 蒋守群, 林映才. 维生素 D₃ 对黄羽肉鸡钙磷代谢的影响//全国动物生理生化第十一次学术交流

- 会论文摘要汇编. 2010: 103.
- YANG K M, JIANG Z Y, ZHOU G L, CHEN F, JIANG S Q, LIN Y C. Effects of vitamin D₃ on calcium and phosphorus metabolism in Yellow-feathered broilers// Summary of the 11th National Conference on Animal Physiology and Biochemistry. 2010: 103. (in Chinese)
- [28] 田晓晓. VD₃ 对仔鹅生长性能、屠宰性能、钙磷代谢和免疫性能的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- TIAN X X. Effects of vitamin D₃ on growth performance, slaughter performance, calcium-phosphorus metabolism and immune function in goslings[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013. (in Chinese)
- [29] 秦阳, 郭克建. 维生素 D 衍生物 EB1089 对胰腺癌细胞系 BxPC-3 生长的抑制作用. 胰腺病学, 2003, 3(3): 136-139.
- QIN Y, GUO K J. Inhibitory effects of vitamin D analogues EB1089 on growth of human pancreatic cancer cell line BxPC-3. Chinese Journal of Pancreatology, 2003, 3(3): 136-139. (in Chinese)
- [30] PARK W H, SEOL J G, KIM E S, HYUN J M, JUNG C W, LEE C C, BINDERUP L, KOEFFLER H P, KIM B K, LEE Y Y. Induction of apoptosis by vitamin D₃ analogue EB1089 in NCI-H929 myeloma cells via activation of caspase 3 and p38 MAP kinase. British Journal of Haematology, 2000, 109(3): 576-583.
- [31] TUOHIMAA P. Vitamin D, aging, and cancer. Nutrition Reviews, 2008, 66(10 Suppl. 2): S147-S152.
- [32] ZINSER G M, MCE LENEY K, WELSH J. Characterization of mammary tumor cell lines from wild type and vitamin D3 receptor knockout mice. Molecular and Cellular Endocrinology, 2003, 200 (1-2): 67-80.
- [33] 刘海英, 贾志海. 维生素 D 的免疫功能. 中国饲料, 2006(12): 18-20.
- LIU H Y, JIA Z H. Immune functions of vitamin D. China Feed, 2006(12): 18-20.(in Chinese)

(责任编辑 林鉴非)