

饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能、蛋品质、血清生化指标及胫骨指标的影响

黄璇^{1,2,3} 李闯^{1,2,3} 张旭^{1,2,3} 蒋桂韬^{1,2,3} 胡艳¹ 周望平¹ 戴求仲^{1,2,3*}

(1.湖南省畜牧兽医研究所动物营养与饲养技术研究室,长沙 410131;2.中国农业科学院麻类研究所,长沙 410205;

3.湖南家禽安全生产工程技术研究中心,长沙 410128)

摘要: 本试验旨在研究饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能、蛋品质、血清生化指标及胫骨指标的影响。试验选取 29 周龄、体重相近的临武鸭 200 羽,随机分为 5 个组,每组 5 个重复,每个重复 8 羽。I 组、II 组、III 组、IV 组和 V 组分别饲喂含 100%粉状、25%颗粒+75%粉状、50%颗粒+50%粉状、75%颗粒+25%粉状和 100%颗粒石粉的饲料(各组钙水平均为 3.52%)。试验期 63 d。结果表明:1) III 组和 IV 组合格蛋率显著高于 I 组($P<0.05$)。2) III 组和 IV 组蛋壳强度显著高于 I 组和 II 组($P<0.05$), V 组蛋壳强度显著高于 I 组($P<0.05$)。3) IV 组血清钙含量显著高于 I 组和 II 组($P<0.05$), III 组、IV 组和 V 组血清碱性磷酸酶(AKP)活性显著低于 I 组和 II 组($P<0.05$)。4) 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭胫骨各指标均无显著影响($P>0.05$)。由此可见,饲料中颗粒与粉状石粉比例可改变蛋鸭的合格蛋率和蛋壳强度,进而影响血清钙含量以及 AKP 活性。综合考虑各项指标,在保证饲料钙水平一致的情况下,产蛋高峰期笼养蛋鸭饲料中以 75%颗粒+25%粉状形式添加石粉为宜。

关键词: 颗粒石粉;笼养蛋鸭;产蛋性能;蛋品质;胫骨质量

中图分类号:S834

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)11-5039-07

蛋壳品质好坏是影响产蛋性能的主要经济指标,而矿物质中钙源、钙水平和钙颗粒大小对蛋壳质量调控和蛋禽骨质疏松预防起到重要作用^[1]。有研究表明,相比小颗粒石粉(<0.10 mm),大颗粒石粉(0.85~2.00 mm)可提高蛋鸭产蛋性能和蛋品质,改善蛋壳和胫骨质量^[2],并在一定程度上促进卵泡发育^[3],大颗粒石粉在蛋禽饲料中应用效果优于小颗粒石粉。但也有学者提出,蛋禽以大小颗粒石粉混合作为钙源,其蛋壳质量优于以单一粉状石粉的钙源^[4-6]。另外, Scheideler^[7] 和 Ahmad 等^[8] 研究证实了用 50%颗粒石粉或 75%贝壳粉替换粉状石粉后,蛋鸡蛋壳重量显著提高。上述报道主要比较了石粉颗粒大小以及颗粒与粉

状石粉不同比例混合使用对蛋鸡产蛋性能和蛋品质影响,然而有关笼养蛋鸭饲料中不同颗粒与粉状石粉比例是否影响蛋壳品质和胫骨质量等尚未见报道。因此,本研究在保证各组钙水平一致情况下,研究饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能、蛋品质、血清生化指标及胫骨指标的影响,筛选出产蛋高峰期临武鸭饲料中适宜颗粒与粉状石粉比例。

1 材料与方法

1.1 试验材料

颗粒石粉大小为 0.96~2.00 mm,粉状石粉大小为 <0.10 mm,2 种石粉钙含量均为 35.00%。

收稿日期:2019-04-15

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-42-21);湖南省重点研发计划(2017NK2163);中国农业科学院农业科学与技术创新工程专项资金(ASTIP-IBFC02);湖南家禽安全生产工程技术中心专项资金(CICAPS)

作者简介:黄璇(1986—),女,湖南浏阳人,助理研究员,硕士,从事家禽营养与饲料科学研究。E-mail: 409097385@qq.com

* 通信作者:戴求仲,研究员,博士生导师,E-mail: daiqiuzhong@gmail.com

1.2 试验设计与试验饲粮

选取健康且体重相近的29周龄临武鸭200羽,随机分成5个组,每组5个重复,每个重复8羽,进行为期63 d的试验。I组、II组、III组、IV组和V组在基础饲粮中分别以100%粉状、25%颗粒+75%粉状、50%颗粒+50%粉状、75%颗粒+

25%粉状和100%颗粒形式添加石粉,各组钙水平均为3.52%。基础饲粮中粗蛋白质、氨基酸、钙和磷等营养参数均参照《临武鸭营养需要标准》DB/T 898—2014^[9]配制,基础饲粮组成及营养水平见表1。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	48.55	代谢能 ME/(MJ/kg)	10.89
豆粕 Soybean meal	26.32	粗蛋白质 CP	18.00
菜籽粕 Rapeseed meal	2.00	钙 Ca	3.52
次粉 Wheat middling	11.70	总磷 TP	0.63
石粉 Limestone	8.90	有效磷 AP	0.35
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl (78.5%)	0.10	赖氨酸 Lys	0.90
DL-蛋氨酸 DL-Met (98.5%)	0.13	蛋氨酸 Met	0.42
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.00	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.74
食盐 NaCl	0.30		
预混料 Premix ¹⁾	1.00		
合计 Total	100.00		

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 5 000 IU, VB₁ 2 mg, VB₂ 15 mg, VB₆ 4 mg, VB₁₂ 0.02 mg, VD₃ 800 IU, VE 20 IU, VK₃ 0.5 mg, 生物素 biotin 0.2 mg, 叶酸 folic acid 0.6 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 60 mg, 烟酸 nicotinic acid 60 mg, 胆碱 choline 1 500 mg, 抗氧化剂 antioxidant 100 mg, Cu (as copper sulfate) 8 mg, Fe (as ferrous sulfate) 80 mg, Mn (as manganese sulfate) 50 mg, Zn (as zinc sulfate) 60 mg, I (as potassium iodide) 0.40 mg, Se (as sodium selenite) 0.20 mg。

²⁾ 钙为实测值,其他营养水平为计算值。Ca was a measured value, while the others nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

饲养试验地点为湖南省畜牧兽医研究所试验鸭场,临武鸭均采用双层包塑金属笼立体笼单笼饲养。每日09:00和15:00各饲喂1次,自由采食和饮水,产蛋期按常规饲养和免疫程序免疫接种。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 产蛋性能

试验期间每天准确记录每个重复日采食量,试验结束后统计出每只鸭平均日采食量。每天按重复记录产蛋数量、总蛋重和不合格蛋数(包括软壳蛋、破壳蛋、畸形蛋和沙壳蛋),试验结束统计出各组产蛋率、平均蛋重、日产蛋重、合格蛋率和料蛋比。

1.4.2 蛋品质

试验结束时从每个重复中采集接近平均蛋重鸭蛋4枚,用于测定其蛋黄比率、蛋白比率、蛋壳厚度(蛋壳厚度测定仪)、壳重比例、蛋形指数(游标卡尺)、蛋壳强度(蛋壳强度测定仪)、蛋黄色泽

及蛋白高度(全自动蛋品分析仪 EA-01),并计算哈氏单位(HU),计算公式为:

$$\text{哈氏单位} = 100 \times \log(H - 1.7W^{0.37} + 7.57)$$

式中:H为蛋白高度(mm);W为蛋重(g)。

1.4.3 血清生化指标

试验结束当天,每重复选出接近平均体重的试验鸭2只,翅静脉采血5 mL,静置2 h,3 000 r/min,离心10 min,制备血清备用。血清钙、血含量以及碱性磷酸酶(AKP)活性均使用全自动生化分析仪(URIT-8000,优利特,美国)进行检测,试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4.4 胫骨指标

试验结束时,每重复选出接近平均体重的试验鸭2只,称活体重,颈部静脉放血致死,取两侧胫骨,剔除肌肉筋膜等组织并记录绝对鲜重,并计算相对鲜重,计算公式为:

$$\text{相对鲜重} = (\text{绝对鲜重} / \text{活体重}) \times 100$$

左侧胫骨样品采用万能材料测试机(HD-

B604-S, 海达) 测定胫骨折断力。右侧胫骨样品根据 AOAC(1995)^[10] 方法脱脂并记录绝对脱脂重, 并计算相对脱脂重, 计算公式为:

相对脱脂重 = (绝对脱脂重/活体重) × 100。

经脱脂后胫骨在 550 °C 高温炉中灼烧 24 h, 制得灰分, 并采用高锰酸钾滴定法测定灰分钙含量, 采用钼黄比色法测定灰分磷含量。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 差异显著者再进行 Duncan 氏法多重比较。结果均用平均值 ± 标准差

(mean ± SD) 表示, $P < 0.05$ 为差异显著性标准。

2 结果与分析

2.1 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能的影响

由表 2 可知, 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭平均日采食量、产蛋率、平均蛋重、日产蛋重和料蛋比均无显著影响 ($P > 0.05$)。Ⅲ组和Ⅳ组的合格蛋率显著高于Ⅰ组 ($P < 0.05$)。由此可见, 饲料以 50% 颗粒 + 50% 粉状和 75% 颗粒 + 25% 粉状形式添加石粉可显著提高合格蛋率。

表 2 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能的影响

Table 2 Effects of dietary particulate to ground limestone ratio on laying performance of cage-rearing laying ducks

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
平均日采食量 ADFI/(g/d)	149.32±1.70	151.04±1.97	150.81±0.88	149.55±0.56	150.99±1.59	0.197
产蛋率 Laying rate/%	80.40±1.15	81.31±0.66	80.47±1.27	80.89±1.27	81.09±1.50	0.715
平均蛋重 Average egg weight/g	68.11±1.22	68.22±0.65	69.67±1.06	68.71±2.68	69.20±0.44	0.409
日产蛋量 Daily egg yield/(g/d)	54.75±0.88	55.47±0.48	56.05±0.29	55.55±1.46	56.11±1.13	0.196
料蛋比 Feed/egg	2.73±0.04	2.72±0.04	2.69±0.03	2.69±0.07	2.69±0.05	0.596
合格蛋率 Qualified egg rate/%	97.40±0.75 ^a	97.74±0.45 ^{ab}	98.59±0.52 ^b	98.57±0.57 ^b	98.14±0.78 ^{ab}	0.028

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭蛋品质的影响

由表 3 可知, 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭蛋形指数、蛋壳厚度、蛋黄色泽、蛋白高度、蛋黄比例、壳重比例、蛋白比例和哈氏单位均无显著影响 ($P > 0.05$)。Ⅲ组和Ⅳ组的蛋壳强度显

著高于Ⅰ组和Ⅱ组 ($P < 0.05$), V 组的蛋壳强度显著高于Ⅰ组 ($P < 0.05$), 但与Ⅱ组、Ⅲ组和Ⅳ组差异不显著 ($P > 0.05$)。由此可见, 饲料以 50% 颗粒 + 50% 粉状、75% 颗粒 + 25% 粉状和 100% 颗粒形式添加石粉均可显著提高蛋壳强度。

表 3 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭蛋品质的影响

Table 3 Effects of dietary particulate to ground limestone ratio on egg quality of cage-rearing laying ducks

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
蛋形指数 Egg shape index	1.33±0.05	1.32±0.02	1.31±0.03	1.35±0.05	1.33±0.03	0.561
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	0.37±0.04	0.39±0.04	0.37±0.04	0.39±0.04	0.38±0.04	0.680
蛋黄色泽 Yolk color	6.40±0.55	6.70±0.45	6.80±0.84	6.60±0.55	6.20±0.84	0.628
蛋白高度 Albumen height/mm	8.46±0.22	8.42±0.24	8.42±0.15	8.53±0.19	8.44±0.16	0.873
蛋黄比例 Yolk ratio/%	30.81±2.25	31.50±0.84	30.59±1.68	29.95±2.33	30.15±1.05	0.656
壳重比例 Percentage of eggshell/%	12.06±0.83	12.04±0.82	11.56±0.91	11.89±0.74	11.82±0.85	0.875
蛋白比例 Albumen ratio/%	57.13±1.98	56.47±0.70	57.85±2.03	58.16±1.65	58.03±1.74	0.487
哈氏单位 Haugh unit	89.31±1.55	88.99±1.39	88.46±0.82	89.36±1.61	89.05±0.77	0.814
蛋壳强度 Eggshell strength/kgf	4.28±0.69 ^a	4.45±0.47 ^{ab}	5.17±0.75 ^c	5.28±0.33 ^c	5.08±0.44 ^{bc}	0.012

2.3 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭血清生化指标的影响

由表4可知,饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭血清磷含量无显著影响($P>0.05$)。与I组和II组相比,III组、IV组和V组的血清AKP活性显著降低($P<0.05$)。IV组的血清钙含量最高,

且显著高于I组和II组($P<0.05$)。由此可见,饲料中以50%颗粒+50%粉状、75%颗粒+25%粉状和100%颗粒形式添加石粉均可显著降低血清AKP活性;饲料中以75%颗粒+25%粉状形式添加石粉可显著提高血清钙含量。

表4 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭血清生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary particulate to ground limestone ratio on serum biochemical indices of cage-rearing laying ducks

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	290.80±56.80 ^b	290.40±53.79 ^b	219.00±50.02 ^a	168.60±46.99 ^a	202.20±47.17 ^a	0.030
钙 Calcium/(mmol/L)	5.75±0.30 ^a	5.92±0.39 ^a	6.00±0.29 ^{ab}	6.38±0.34 ^b	6.05±0.11 ^{ab}	0.049
磷 Phosphorus/(mmol/L)	2.41±1.08	2.73±0.82	2.31±0.56	3.07±0.82	2.67±0.67	0.621

2.4 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭胫骨指标的影响

由表5可知,饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭胫骨各指标均无显著影响($P>0.05$)。

作为单一钙源^[7-8]。Skřivan 等^[13]报道,在产蛋初期和后期蛋鸡饲料中添加粒度为0.8~2.0 mm 颗粒石粉,可改善其产蛋性能和蛋壳质量。强制换羽后蛋鸡饲料中贝壳粉(0.5~2.0 mm)与粉状石粉比为1:2时,可显著提高其蛋壳强度^[14]。Scheideler^[7]报道,为保证蛋鸡第1和第3产蛋期蛋壳质量,建议颗粒石粉在石粉中添加比例不低于25%。然而 Safaa 等^[15]研究表明,用牡蛎壳替代40%粉状石粉对褐壳蛋鸡蛋壳质量未见显著影响。本试验结果表明,饲料钙水平(3.52%)保持一致情况下,以50%颗粒+50%粉状和75%颗粒+25%粉状形式添加石粉对笼养蛋鸭合格蛋率和蛋壳强度均有显著影响,分析其原因可能在于蛋鸭饲料中钙粒度提高,在嗦囊中停留时间延长,延缓了钙的释放过程,从而增加夜间蛋壳形成过程中Ca²⁺转运与沉积;而粉状石粉在嗦囊中停留时间短,消化利用率低。

3 讨论

3.1 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭产蛋性能和蛋品质的影响

蛋壳是由碳酸钙和基质蛋白以一定比例、结构堆积而成^[11]。在生产上,改善蛋壳品质主要从碳酸钙角度入手,旨在提高蛋壳腺中钙离子(Ca²⁺)和碳酸氢根(HCO₃⁻)浓度,故不少研究把重心放在钙源和钙粒度上。王爽等^[12]研究表明,大粒石粉(0.8~2.0 mm)可以提高福建龙岩麻鸭蛋壳致密性,增加蛋壳中磷含量,提高蛋壳质量。然而也有营养学者研究认为,以颗粒石粉和粉状石粉混合作为蛋鸡钙源其蛋壳质量优于以粉状石粉

表5 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭胫骨指标的影响

Table 5 Effects of dietary particulate to ground limestone ratio on tibia indices of cage-rearing laying ducks

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
绝对鲜重 Absolute fresh weight/g	15.06±0.55	14.57±1.19	14.35±1.77	14.93±1.29	14.40±1.17	0.888
相对鲜重 Relative fresh weight/%	0.86±0.02	0.83±0.08	0.81±0.07	0.78±0.06	0.77±0.10	0.265
折断力 Broking strength/N	213.00±35.97	216.40±18.61	211.40±38.70	225.00±32.87	199.60±24.13	0.779
绝对脱脂重 Absolute defatted weight/g	4.56±0.50	4.44±0.38	4.44±0.56	4.45±0.60	4.37±0.51	0.986
相对脱脂重 Relative defatted weight/%	0.26±0.01	0.25±0.03	0.25±0.01	0.23±0.03	0.23±0.04	0.345

续表 5

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	I	II	III	IV	V	
绝对灰分重 Absolute ash weight/g	2.75±0.39	2.57±0.25	2.68±0.39	2.71±0.34	2.58±0.41	0.910
灰分含量 Ash content/%	60.22±2.44	57.91±2.97	60.36±2.19	60.92±2.38	58.88±3.60	0.434
灰分钙含量 Calcium content in ash/%	33.85±0.40	33.27±0.58	33.67±0.23	33.71±0.46	33.52±0.39	0.284
灰分磷含量 Phosphorus content in ash/%	16.56±0.85	17.58±1.26	17.70±1.23	17.55±0.74	17.11±1.60	0.539

3.2 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭血清生化指标和胫骨质量的影响

血清中钙、磷含量变化能在一定程度上反映机体钙、磷的营养代谢状况^[16]; 血清中 50% 的 AKP 来自骨组织, 一般认为钙、磷缺乏或不平衡时, AKP 活性升高影响骨骼矿化^[17]。Gongruttananun^[18] 研究认为, 与全部使用粉状石粉相比, 使用 50% 或 100% 蛋壳粉替代粉状石粉对试验蛋鸡血清中钙、磷含量均无显著影响。然而 Skřivan 等^[13] 报道, 青年和老龄蛋鸡饲喂大颗粒石粉 (0.8 ~ 2.0 mm) 饲料, 可显著提高血清中钙含量。本试验结果显示, 饲料颗粒与粉状石粉比例对血清中钙含量和 AKP 活性有显著影响, 血清中钙含量和 AKP 活性能敏感反映笼养蛋鸭体内钙营养状况。随着饲料颗粒石粉含量增加, 颗粒与粉状石粉比例升高, 石粉在嗉囊中停留时间延长, 血清中钙含量升高。这一研究结果与 Gongruttananun^[18] 的报道存在差异, 分析其原因可能在于品种、石粉添加形式和来源等的不同。上述试验结果结合蛋壳强度和合格蛋率可以看出, 饲料中以 75% 颗粒+25% 粉状形式添加石粉, 笼养蛋鸭体内钙营养状况更优, 有益于蛋壳中钙沉积。饲料中以 50% 颗粒+50% 粉状形式添加石粉, 血清中 AKP 活性显著降低, 且 100% 颗粒石粉组血清中 AKP 活性显著低于 100% 粉状石粉组, 说明颗粒石粉调控骨骼矿化效果优于粉状石粉, 然而具体机理还有待进一步研究。

在钙摄入量不足、钙磷比例不平衡时, 蛋禽机体则动员储存的骨髓钙来满足蛋壳形成所需的钙, 从而导致胫骨性能下降^[19]。因此良好的胫骨性能是评价蛋禽机体钙、磷营养状况的重要指标。Saunders-Blades 等^[20] 研究表明, 饲料中贝壳粉与

粉状石粉比为 2:1 时, 可显著提高胫骨重量、密度和折断力。然而在本试验中, 各组饲料钙水平保持一致, 饲料中颗粒与粉状石粉比例对笼养蛋鸭胫骨各指标均无显著影响, 与 Guinotte 等^[21] 和 Wang 等^[2] 的研究结果基本相似, 这些研究结果均表明在饲料钙水平一致情况下, 不同钙粒度和钙源对蛋禽胫骨性能均无显著影响。此外, Safaa 等^[15] 报道, 用牡蛎壳代替 40% 的石灰石对褐壳蛋鸡胫骨性能未见改善。由于不同品种动物对不同来源的钙消化吸收能力强弱有别, 这也可能是不同研究者结果存在差异的原因所在。

4 结 论

饲料中颗粒与粉状石粉比例差异可改变笼养蛋鸭的合格蛋率和蛋壳强度, 进而影响血清钙含量以及 AKP 活性。综合考虑各项指标, 在保证饲料钙水平一致的情况下, 30 ~ 38 周龄笼养临武鸭饲料中以 75% 颗粒+25% 粉状石粉比例混合使用为宜。

参考文献:

- [1] LICHOVNIKOVA M. The effect of dietary calcium source, concentration and particle size on calcium retention, eggshell quality and overall calcium requirement in laying hens[J]. British Poultry Science, 2007, 48(1): 71-75.
- [2] WANG S, CHEN W, ZHANG H X, et al. Influence of particle size and calcium source on production performance, egg quality, and bone parameters in laying ducks[J]. Poultry Science, 2014, 93(10): 2560-2566.
- [3] 陈伟, 王爽, 张罕星, 等. 大颗粒与小颗粒石粉对蛋鸭产蛋性能及血液激素动态变化的影响[C]//中国畜

- 牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会论文集.长沙:中国畜牧兽医学动物营养学分会,2012.
- [4] RICHTER G, KIEBLING G, OCHRIMENKO W I, et al. Influence of particle size and calcium source on limestone solubility *in vitro*, performance and eggshell quality in laying hens [J]. *Archiv für Geflügelkunde*, 1999, 63: 208–213.
- [5] ZLATICA P, DUŠKO V, MILOŠ L, et al. Improving eggshell quality by replacement of pulverised limestone by granular limestone in the hen diet [J]. *Acta Veterinaria*, 2003, 53(1): 35–40.
- [6] KORELESKI J, ŚWIATKIEWICZ S. Calcium from limestone meal and grit in laying hen diets-effect on performance, eggshell and bone quality [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2004, 13(4): 635–645.
- [7] SCHEIDELER S E. Eggshell calcium effects on egg quality and Ca digestibility in first-or third-cycle laying hens [J]. *The Journal of Applied Poultry Research*, 1998, 7(1): 69–74.
- [8] AHMAD H A, BALANDER R J. Alternative feeding regimen of calcium source and phosphorus level for better eggshell quality in commercial layers [J]. *The Journal of Applied Poultry Research*, 2003, 12(4): 509–514.
- [9] 湖南省质量技术监督局.DB43/T 898—2014 临武鸭营养需要 [S]. [s.l.]: [s.n.], 2014.
- [10] AOAC. Official methods of analysis of AOAC International [S]. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- [11] 张亚男, 武书庚, 张海军, 等. 蛋壳品质营养调控的研究进展 [J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(21): 79–83.
- [12] 王爽, 张罕星, 陈伟, 等. 不同钙源及粒度对龙岩麻鸭产蛋性能、蛋品质及蛋壳超微结构的影响 [C] // 全国动物生理生化第十二次学术交流会论文摘要汇编. 南京: 中国畜牧兽医学动物生理生化分会, 2012.
- [13] SK ŘIVAN M, MAROUNEK M, BUBANCOVÁ I, et al. Influence of limestone particle size on performance and egg quality in laying hens aged 24–36 weeks and 56–68 weeks [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 158(1/2): 110–114.
- [14] ŚWIATKIEWICZ S, ARCZEWSKA-WLOSEK A, KRAWCZYK J, et al. Effects on performance and eggshell quality of particle size of calcium sources in laying hens' diets with different Ca concentrations [J]. *Archiv für Tierzucht*, 2015, 58(2): 301–307.
- [15] SAFAA H M, SERRANO M P, VALENCIA D G, et al. Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet [J]. *Poultry Science*, 2008, 87(10): 2043–2051.
- [16] BEDFORD M, ROUSSEAU X. Recent findings regarding calcium and phytase in poultry nutrition [J]. *Animal Production Science*, 2017, 57(11): 2311–2316.
- [17] 黄璇, 李闯, 蒋桂韬, 等. 临武鸭产蛋初期钙需要量的研究 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28(11): 3437–3444.
- [18] GONGRUTTANANUN N. Effects of eggshell calcium on productive performance, plasma calcium, bone mineralization, and gonadal characteristics in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2011, 90(2): 524–529.
- [19] ZHANG B F, CALDAS J V, COON C N. Effect of dietary calcium intake and limestone solubility on egg shell quality and bone parameters for aged laying hens [J]. *Poultry Science*, 2017, 16(4): 132–138.
- [20] SAUNDERS-BLADES J L, MACISAAC J L, KORVER D R, et al. The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens [J]. *Poultry Science*, 2009, 88(2): 338–353.
- [21] GUINOTTE F, NYS Y. Effects of particle size and origin of calcium sources on eggshell quality and bone mineralization in egg laying hens [J]. *Poultry Science*, 1991, 70(3): 583–592.

Effects of Dietary Particulate to Ground Limestone Ratio on Laying Performance, Egg Quality, Serum Biochemical Indices and Tibia Indices of Cage-Rearing Laying Ducks

HUANG Xuan^{1,2,3} LI Chuang^{1,2,3} ZHANG Xu^{1,2,3} JIANG Guitao^{1,2,3} HU Yan¹
ZHOU Wangping¹ DAI Qiuzhong^{1,2,3*}

(1. Hunan Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Changsha 410131, China; 2. Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410205, China; 3. Hunan Engineering Research Center of Poultry Production Safety, Changsha 410128, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary particulate to ground limestone ratio on laying performance, egg quality, serum biochemical indices and tibia indices of cage-rearing laying ducks. A total of 200 *Linwu* ducks with similar body weight at 29 weeks of age were randomly allocated to 5 groups with 5 replicates in each group and 8 ducks in each replicate. Ducks in groups I, II, III, IV and V were fed experimental diets which contained 100% ground limestone, 25% particulate limestone+75% ground limestone, 50% particulate limestone+50% ground limestone, 75% particulate limestone+25% ground limestone and 100% particulate limestone (calcium level was 3.52% in each group), respectively. The experiment lasted for 63 days. The results showed as follows: 1) the qualified egg rate of groups III and IV was significantly higher than that of group I ($P<0.05$). 2) The eggshell strength of groups III and IV was significantly higher than that of groups I and II ($P<0.05$), and the eggshell strength of group V was significantly higher than that of group I ($P<0.05$). 3) The serum calcium content of group IV was significantly higher than that of groups I and II ($P<0.05$), and the serum alkaline phosphatase (AKP) activity of groups III, IV and V was significantly lower than that of groups I and II ($P<0.05$). 4) Dietary particulate to ground limestone ratio had no significant effects on tibia indices of cage-rearing laying ducks ($P>0.05$). In conclusion, dietary particulate to ground limestone ratio can change the qualified egg rate and eggshell strength of laying ducks, thereby affecting the calcium content and AKP activity in serum. Synthesize these indicators, the suitable dietary limestone supplemental form of cage-rearing laying ducks in peak laying period is 75% particulate limestone+25% ground limestone under the condition of ensuring consistent dietary calcium level. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(11):5039-5045]

Key words: ground limestone; cage-rearing laying ducks; laying performance; egg quality; tibia quality