



窦宇昊, 陈玉飞, 强刚, 陈兴勇. 饲料能量水平对五华鸡产蛋期繁殖性能和生殖器官发育的影响[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(05): 156-168.
DOU Yuhao, CHEN Yufei, QIANG Gang, CHEN Xingyong. Effect of dietary energy levels on the reproductive performance and reproductive organ development of Wuhua chickens during the egg laying period[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(05): 156-168.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.05.13

饲料能量水平对五华鸡产蛋期繁殖性能和生殖器官发育的影响

窦宇昊¹ 陈玉飞¹ 强刚² 陈兴勇^{1*}

(1. 安徽农业大学 动物科技学院, 合肥 230036;

2. 繁昌区农业农村局, 安徽 芜湖 241000)

摘要 为探究饲料能量水平对五华鸡产蛋期生殖器官发育和繁殖性能的影响, 本研究选取500只五华鸡为试验对象, 平均分为5组。每天记录各组产蛋数、蛋重和采食量, 入孵后记录受精率、孵化率和健雏率, 35周龄每组选取15枚种蛋测定蛋品质, 40周龄每组选取5只鸡屠宰测定并取卵巢组织用于基因表达定量。结果表明: 1) 饲料11.59 MJ/kg能量组的平均产蛋率最高且料蛋比最低, 采食量在产蛋各期(26~40周龄)均随能量水平升高而降低, 平均蛋重在产蛋各期均随能量水平上升而升高; 10.34 MJ/kg组蛋壳厚度显著高于其他4组($P < 0.05$), 哈氏单位随饲料能量水平上升而下降, 蛋黄干物质含量在10.34、10.76和11.18 MJ/kg组显著低于11.59和12.01 MJ/kg组($P < 0.05$)。饲料能量水平升高伴随受精率和健雏率下降。2) 饲料能量水平对五华鸡输卵管重、输卵管指数、卵巢重、卵巢指数和卵巢中各级卵泡数量均无显著影响($P > 0.05$), 输卵管长度随饲料能量水平上升而下降。3) 卵巢中与卵泡发育相关的BMP15基因在11.18 MJ/kg能量组表达量显著高于其他各组($P < 0.05$), FOXL2基因在10.34 MJ/kg组表达显著高于其他各组($P < 0.05$)。综上, 开产期到产蛋高峰期饲料能量水平为11.59 MJ/kg时有利于五华鸡生殖器官发育和繁殖性能的提高, 产蛋高峰期后饲料能量水平为10.34 MJ/kg时有利于五华鸡维持高繁殖性能, 更好地满足五华鸡生产需要。

关键词 五华鸡; 饲料能量; 生长发育; 繁殖性能

中图分类号 S831.5

文章编号 1007-4333(2025)05-0156-13

文献标志码 A

Effect of dietary energy levels on the reproductive performance and reproductive organ development of Wuhua chickens during the egg laying period

DOU Yuhao¹, CHEN Yufei¹, QIANG Gang², CHEN Xingyong^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Fanchang District Agriculture and Rural Bureau, Wuhu 241000, China)

Abstract This study aimed to investigate the effects of dietary energy levels on the reproductive organ development and reproductive performance of Wuhua chickens during the laying period, 500 Wuhua chickens were selected as experimental subjects and evenly divided them into five groups. Daily records were kept of egg production, egg weight, and feed intake for each group. After incubation, fertilization rate, hatching rate, and healthy chick rate were recorded. At 35 weeks of age, 15 eggs were selected from each group to assess egg quality. At 40 weeks of age, five chickens from each group were slaughtered for measurement, and ovarian tissue was collected for gene expression quantification. The results indicated that: 1) The average egg production rate was highest and the feed to egg ratio was lowest in the feed group

收稿日期: 2024-09-08

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(2308085MC101)

第一作者: 窦宇昊(ORCID:0009-0000-5008-6023), 硕士研究生, E-mail: douyvhao@163.com

通讯作者: 陈兴勇(ORCID:0000-0003-3855-0473), 教授, 主要从事家禽遗传育种与生产、动物遗传资源保护等方面研究, E-mail: chenxingyong@ahau.edu.cn

with an energy of 11.59 MJ/kg. Feed intake decreased with increasing energy levels during all laying periods (26-40 weeks of age). The average egg weight increased with rising energy levels during all laying periods. The eggshell thickness in the 10.34 MJ/kg group was significantly higher than that in the other four groups ($P<0.05$). The Haugh unit decreased as dietary energy levels increased, and the dry matter content of egg yolks in the 10.34, 10.76, and 11.18 MJ/kg groups was significantly lower than that in the 11.59 and 12.01 MJ/kg groups ($P<0.05$). An increase in dietary energy levels was associated with a decrease in fertilization rate and healthy chick rate. 2) Dietary energy levels had no significant effect on the weight and index of the oviduct, the weight and index of the ovary, or the number of follicles at various stages in the ovaries of Wuhua chickens ($P>0.05$). The length of the oviduct decreased with increasing dietary energy levels. 3) The expression of the *BMP15* gene, related to follicle development in the ovary, was significantly higher in the 11.18 MJ/kg energy group than in the other groups ($P<0.05$). The expression of the *FOX L2* gene was significantly higher in the 10.34 MJ/kg group than in the other groups ($P<0.05$). In summary, a dietary energy level of 11.59 MJ/kg during the period from the onset of laying to peak laying is beneficial for the reproductive organ development and reproductive performance of Wuhua chickens. After the peak laying period, a dietary energy level of 10.34 MJ/kg is conducive to maintaining high reproductive performance and better meeting the production needs of Wuhua chickens.

Keywords Wuhua chicken; feed energy; growth and development; reproductive performance

饲料能量水平是影响种鸡产蛋等繁殖性能的关键因素。家禽产蛋行为是建立在能量充足的基础上,能量供给不足时,能量会优先供给维持需要,进而限制家禽的产蛋行为^[1];能量摄入过量时,会导致家禽体内的脂肪沉积增加,而过量的脂肪沉积会影响家禽卵泡的发育以及排卵行为^[2-3],饲料能量流失的同时也会造成产蛋率的下降,这对养殖业会造成极大的经济损失。

饲料营养是生物整个个体生长发育(包括生殖器官)的基础。家禽生殖器官的发育和健康决定了它们的繁殖性能,并直接影响鸡蛋质量。鞠科等^[4]研究发现,饲料能量水平对卵巢重和输卵管长度有显著影响,高能量水平饲料可以促进卵巢和输卵管的生长发育,低能量水平饲料会致使卵巢和输卵管生长发育缓慢。饲料能量水平还可以影响与卵巢发育相关基因的表达,在合适的饲料能量范围内可有效提高如促性腺激素 FSH 和促黄体素 LH 的 mRNA 表达量,从而促进卵泡的发育。李云雷等^[5]研究认为通过对脂肪沉积的控制可以有效影响北京油鸡的性成熟和开产日龄,提高母鸡的产蛋率,影响蛋品质,进而提高种鸡繁殖性能和利用率。有研究发现,*BMP15* 基因在哺乳动物中仅在卵巢中表达,在鸡中除输卵管外肝脏也有表达,卵巢中表达量最高^[6-7]。*MMP13* 基因在鸡卵巢的整个卵泡发育过程中对细胞外基质(ECM)的重塑和细胞功能的表达均有显著影响^[8-9]。

五华鸡,又名平铺麻鸡,因中心产区位于繁昌五华山脉的平铺镇而得名,具有鲜明的地域特色,属肉蛋兼用型地方品种。2010年6月通过国家遗传资源委员会的鉴定,并被列入国家级和省级畜禽遗传资源保护名录^[10]。作为兼用型的优质地方鸡种,五华鸡所具备的遗传多样性是地方鸡生产性能改良和环境适应提高的良好遗传素材。我国地方鸡普遍存在生长速度慢、繁殖性能较低的问题,主要表现为开产日龄晚、产蛋量低、孵化率低等问题,尤其表现为群体内个体间开产日龄差异大、产蛋量和孵化率等繁殖性能差异大。目前地方鸡种产蛋期饲料营养水平参考蛋种鸡,但受品种类型、生产水平和代谢差异等影响,蛋种鸡饲料营养水平不能完全适用于地方鸡种。有关地方鸡种产蛋期能量水平的研究报道较少。因此,本研究通过研究不同饲料能量水平对产蛋期五华鸡繁殖性能和生殖器官发育的影响来确定适宜的能量水平,为指导五华鸡产蛋期饲养管理提供理论依据,对更好地保护和开发利用这一品种具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

五华鸡饲养于芜湖市钟氏禽业有限公司,选取500只20周龄体重为(1417±119)g的五华鸡,随机分为5组,每组5个重复,每个重复20只鸡。试验采用玉米豆粕型饲料,参考NY/T33—2004鸡饲养标

准^[11],并结合企业生产实际确认中等能量水平为 11.18 MJ/kg,分别设计试验组为 A、B、C、D 和 E 组,分别为 10.34、10.76、11.18、11.59 和 12.01 MJ/kg 5 个能量饲料配方,其他营养水平在各组间维持基本一致。预饲 2 周后连续饲喂至 40 周龄。各组饲料配方和能量水平见表 1。

表 1 各能量水平组饲料组成及营养水平(干物质基础)
Table 1 Composition and nutritional level of diets in different energy level groups (DM basis)

组成 Item	组别 Group				
	A	B	C	D	E
原料组成					
玉米/% Corn	52.800 0	53.725 0	54.650 0	55.575 0	56.500 0
豆粕/% Soybean meal	23.400 0	24.150 0	24.900 0	25.650 0	26.400 0
小麦麸/% Wheat bran	11.000 0	8.250 0	5.500 0	2.750 0	0.000 0
油脂/% Lipa	0.760 0	1.820 0	2.880 0	3.940 0	5.000 0
蛋鸡预混料*/% Premix	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0	5.000 0
石粉/% Soybean meal	7.000 0	7.000 0	7.000 0	7.000 0	7.000 0
蛋氨酸/% Met	0.010 0	0.007 5	0.005 0	0.002 5	0
赖氨酸/% Lys	0.030 0	0.022 5	0.015 0	0.007 5	0
磷酸氢钙/% CaHPO ₄	0	0.025 0	0.050 0	0.075 0	0.100 0
合计	100.000 0	100.000 0	100.000 0	100.000 0	100.000 0
营养水平					
代谢/(MJ/kg)ME	10.340 0	10.760 0	11.180 0	11.590 0	12.010 0
粗蛋白/% CP	15.890 0	15.885 0	15.880 0	15.875 0	15.870 0
钙/% EE	2.610 0	2.615 0	2.620 0	2.625 0	2.630 0
有效磷/% P	0.100 0	0.097 5	0.095 0	0.092 5	0.090 0
赖氨酸/% Lys	0.840 0	0.840 0	0.840 0	0.840 0	0.840 0
含硫氨基酸/% Sulfur-containing amino acids	0.540 0	0.535 0	0.530 0	0.525 0	0.520 0
蛋氨酸/% Met	0.260 0	0.257 5	0.255 0	0.252 5	0.250 0

注:每千克预混料中主要维生素、微量元素含量:VA80~200 KIU、VD330~100 KIU、VE≥400 mg、VK340~100 mg、VB1≥30 mg、VB2≥100 mg、VB6≥70 mg、VB12≥0.5 mg、烟酸≥680 mg、叶酸≥15 mg、生物素≥12 mg、泛酸≥300 mg、铜 100~400 mg、铁 1 000~2 000 mg、锌 800~1 800 mg、锰 1 000~2 500 mg、硒 4~10 mg、碘 7~35 mg,除 ME 是计算值外,其余均为实测值。
Note: Main vitamins and trace elements content per kg premix: VA 80-200 KIU, VD3 30-100 KIU, VE≥400 mg, VK340-100 mg, VB1≥30 mg, VB2≥100 mg, VB6≥70 mg, VB12≥0.5 mg, Niacin≥680 mg, Folic acid≥15 mg, Biotin≥12 mg, Pantothenic acid≥300 mg, Cu 100-400 mg, Fe 1 000-2 000 mg, Zn 800-1 800 mg, Mn 1 000-2 500 mg, Se 4-10 mg, I 7-35 mg, nutritional level were measured except ME.

1.2 试验方法

1.2.1 生产性能测定

每次配制一周的试验饲料,每天准确称量喂料量,饲喂一次,如有剩余称量剩余饲料,计算平均采食量。试验中,记录每日每组的产蛋数和产蛋重。饲喂至 40 周龄时每组随机选取 5 只鸡,先注射戊巴比妥钠麻醉后颈静脉放血屠宰,取卵巢和输卵管。直尺测量输卵管长度。电子天平称量卵巢重、输卵管重。分离卵泡,对各级卵泡分类计数(直径>8 mm 以上分为等级卵

泡,4~8 mm 为小黄卵泡,2~4 mm 为大白卵泡)。

1.2.2 孵化方法

试验期每组种蛋标记,每周收集种蛋孵化一次。采用箱体式孵化机(蚌埠依爱电子科技有限责任公司 EIF9(C)DMS-19200)进行孵化。孵化程序为恒温孵化:设定温度为 37.8℃,每 2 h 翻蛋一次,第 1~18 天湿度设置为 50%~60%,第 19~21 天湿度设置为 65%~70%;在孵化后第 5 天第一次照蛋挑出无精蛋和死胚蛋,统计受精率;在第 18 天第 2 次

照蛋,统计死胚率;在 21~22 d 出壳,统计出雏率和健雏率。

1.2.3 蛋品质测量

试验鸡 35 周龄时,每组随机挑选 15 个蛋重相近的鸡蛋进行蛋品质测定。电子天平测定蛋重、蛋黄重量、蛋清重量和蛋壳重量;电子数显游标卡尺测量鸡蛋的长短径,计算蛋形指数;蛋壳强度检测仪检测蛋壳破碎瞬间蛋壳强度;蛋壳厚度测定仪测定蛋壳厚度,分别剔除钝端、中部、锐端内壳膜后,测量 3 个部位蛋壳厚度,求 3 个点的平均值;根据哈氏单位测量方法分别测量靠近蛋黄边缘的浓蛋白分别测定 3 个点,求出浓蛋白高度平均值,计算哈氏单位;粗蛋白含量采用凯氏定氮法检测,粗脂肪含量采用索式抽提法。

1.2.4 繁殖性能测定

试验期每组种蛋标记,每周收集种蛋孵化一次。在孵化后第 5 天第一次照蛋挑出无精蛋和死胚

蛋,统计受精率;在第 18 天实行第二次照蛋,统计死胚率;在 21~22 d 出壳,统计出雏率和健雏率。

1.2.5 卵巢样品的采集和基因表达的分析

卵巢样品根据 Zhao 等^[12]的方法提取样品 RNA,反转录步骤根据 Transcript cDNA Synthesis Kit 试剂盒进行。

根据 GenBank 设计荧光定量 PCR 引物。引物序列及目的片段长度见表 2。引物由擎科新业生物技术有限公司合成。荧光定量采用 Hieff® qPCR SYBR Green Master Mix 试剂盒(11202ESO8,上海翊圣生物科技有限公司)在 ABI-7500 仪器(Thermo Fisher 公司,USA)进行。qPT-PCR 反应体系(10 μL):5 μLHieff® qPCR SYBR Green Master Mix,上游和下游引物各 0.2 μL,0.6 μL cDNA,4 μL ddH₂O。反应程序:95 ℃变性 10 s,60 ℃退火 20 s,72 ℃延伸 20 s,重复 40 个循环。熔解曲线阶段按照仪器默认设置进行。采用 2^{-ΔΔC_t}法计算 mRNA 相对表达量。

表 2 基因定量表达引物信息
Table 2 Gene primer sequence information

基因 Gene	基因序列号 GenBank accession	引物序列(5'-3') Primer sequences(5'-3')	扩增长度/bp Product size	退火温度/℃ Annealing temperature
BMP15	NM_001006589.3	F:TTCCTCAATGACACCCGCAG R:GGGAGCGATGATCCAATGGT	186	60
GDF9	NM_206988.3	F:GAAAGCGCAAGTGGGTTGAG R:TGATAAGCTTGCTCGCTGGT	208	60
MMP13	NM_001293090.2	F:AATGCATAGAGGCAGCGAGG R:TGGTCGGTGTTACCAGATGC	176	60
FOXL2	NM_001012612.1	F:GCACTCCCGCATTGACATCT R:CAGACACACACAGACGGACT	171	60
β-actin	NM_001310421.1	F:ACACTGTGCCCATCTACGAA R:TCGAAATCCAGGGCGACATA	152	60

1.2.6 肝 HE 和油红 O 染色

肝标本固定(4% 多聚甲醛)后,脱水、石蜡包埋、切片、染色等处理。使用光学显微镜(IX73, Olympus, Japan)观察切片。Image J(V1.58, USA)用于测定切片中脂滴所占比例。

1.3 数据分析

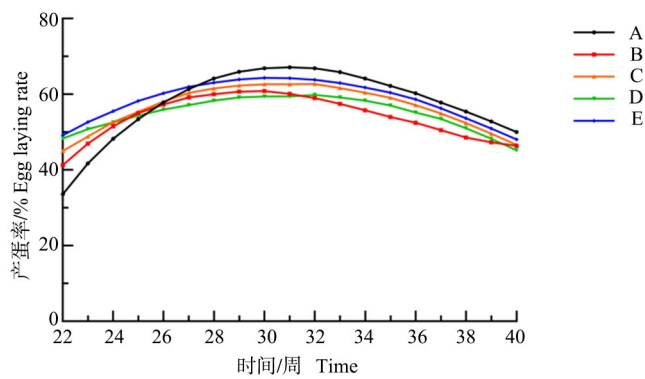
数据经正态分布检验,使用 SPSS26.0 软件统计软件一般线性模型 ANOVA 单因素方差、线性和二次项回归分析。各组试验数据均以平均值±标准差表示。*P*<0.05 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料能量水平对五华鸡产蛋期生产性能的影响

2.1.1 饲料能量水平对五华鸡产蛋期产蛋率的影响

试验期各组产蛋率为 30%~70%,试验前期(22~30 周龄)各能量组产蛋率逐渐升高,试验第 30~40 周龄各能量组产蛋率缓慢下降。能量 10.34 MJ/kg 组在 28 周龄后产蛋率一直比其他 4 组高(图 1)。



A 为 10.34 MJ/kg 能量组, B 为 10.76 MJ/kg 能量组, C 为 11.18 MJ/kg 能量组, D 为 11.59 MJ/kg 能量组, E 为 12.01 MJ/kg 能量组。
A is 10.34 MJ/kg energy group, B is 10.76 MJ/kg energy group, C is 11.18 MJ/kg energy group, D is 11.59 MJ/kg energy group, E is 12.01 MJ/kg energy group.

图1 五华鸡试验期各能量组产蛋率

Fig. 1 Egg production rate of each energy group in Wuhua chicken during the experimental period

饲料能量水平对五华鸡在 26~30 周龄、36~40 周龄和整个试验期(22~40 周龄)的产蛋率无显著影响($P>0.05$)(表 3)。22~25 周龄,饲料 11.18、11.59 和 12.01 MJ/kg 能量组的五华鸡产蛋率显著高于 10.34 MJ/kg 能量组($P<0.05$),产蛋率最大值为饲料 11.59 MJ/kg 能量,最小值为 10.34 MJ/kg 能量组,产蛋率随着能量水平的提高

而显著提高($P<0.05$),31~35 周龄,饲料 10.34 MJ/kg 能量组的产蛋率显著高于 10.76 和 12.01 MJ/kg 组($P<0.05$),饲料 11.59 MJ/kg 能量组显著高于 10.76 MJ/kg 能量组($P<0.05$)。饲料能量水平在 11.59 MJ/kg 时,五华鸡开产后各期产蛋量维持较高水平,且整个试验期平均产蛋率最高。

表3 饲料能量水平对五华鸡产蛋期产蛋率的影响

Table 3 Effect of dietary energy level on egg production rate of Wuhua chickens during laying period

时间/周 Time	饲料能量水平/(MJ/kg) Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10. 34	10. 76	11. 18	11. 59	12. 01		Anova	Linear	Quadratic
22~25	40. 96b	47. 24ab	51. 19a	53. 09a	50. 68a	6. 48	0. 013	<0. 01	0. 039
26~30	77. 10	72. 19	73. 12	75. 86	70. 14	6. 67	0. 51	0. 295	0. 986
31~35	77. 82a	64. 29c	71. 45abc	74. 24ab	69. 85bc	6. 75	0. 013	0. 428	0. 14
36~40	60. 50	54. 30	58. 15	58. 53	56. 01	5. 32	0. 423	0. 533	0. 667
22~40	64. 10	60. 35	63. 97	65. 43	61. 67	4. 47	0. 402	0. 971	0. 772

注:表中同行数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different letters of the peer data in the table indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.

2.1.2 饲料能量水平对五华鸡产蛋期采食量的影响

饲料能量水平显著影响五华鸡在 26~30 周龄、31~35 周龄、36~40 周龄和 22~40 周龄的采食量($P<0.05$,表 4),对 22~25 周龄没有显著影响($P>0.05$)。26~30 周龄、31~35 周龄、36~40 周

龄 10.34 MJ/kg 组的采食量均为最大值(95.96、106.33 和 104.87 g),12.01 MJ/kg 组均为最小值(83.57、910.34 和 92.13 g)。五华鸡在 26~30 周龄、31~35 周龄、36~40 周龄和 22~40 周龄的采食量均随饲料能量水平升高而降低($P<0.05$)。

表 4 饲料能量水平对五华鸡产蛋期采食量的影响

Table 4 Effect of dietary energy level on feed intake of Wuhua chickens during laying period

时间/周 Time	饲料能量水平/(MJ/kg) Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10. 34	10. 76	11. 18	11. 59	12. 01		Anova	Linear	Quadratic
22~25	77. 51	78. 48	79. 13	77. 61	77. 72	3. 86	0. 97	0. 94	0. 58
26~30	95. 96a	88. 66b	89. 17b	86. 27bc	83. 57c	5. 33	<0. 01	<0. 01	0. 35
31~35	106. 33a	97. 39b	97. 55b	96. 36b	91. 34b	5. 87	<0. 01	<0. 01	0. 20
36~40	104. 87a	98. 15b	96. 71bc	92. 95c	92. 13c	5. 56	<0. 01	<0. 01	0. 14
22~40	96. 17a	90. 67b	90. 64b	88. 30bc	86. 47c	3. 96	<0. 01	<0. 01	0. 24

2.1.3 饲料能量水平对五华鸡产蛋期蛋重的影响

试验期 22~40 周龄中蛋重缓慢上升(表 5),由 22 周龄的 35 g 上升到 40 周龄的 48 g 左右。22~25 周龄、26~30 周龄、31~35 周龄、36~40 周龄的平均蛋均随着饲料能量水平的升高而升高($P<0.05$),12.01 MJ/kg 饲料能量组的平均蛋重一直高于其他 4 组的平均蛋重。

22~25 周龄五华鸡平均蛋重在 12.01 MJ/kg 饲料能量组显著大于其他 4 组($P<0.05$,表 5),为 38.73 g,10.34 MJ/kg 饲料能量组平均蛋重最小,为 35.82 g,

相差 2.91 g。31~35 周龄五华鸡平均蛋重在 12.01 MJ/kg 饲料能量组显著大于 10.34、10.76 和 11.18 MJ/kg 饲料能量组($P<0.05$)。36~40 周龄五华鸡平均蛋重在 12.01 MJ/kg 饲料能量组显著大于其他 4 组($P<0.05$)。能量水平对 26~30 周龄的平均蛋重没有显著影响($P>0.05$)。五华鸡在整个饲养周龄期(22~40 周龄),饲料 12.01 MJ/kg 能量组的平均蛋重显著大于 10.34 MJ/kg 能量组,且饲料平均蛋重随着饲料能量水平的升高而增大($P<0.05$)。

表 5 饲料能量水平对五华鸡产蛋期平均蛋重的影响

Table 5 Effect of dietary energy level on average egg weight of Wuhua chickens during laying period

时间/周 Time	饲料能量水平/(MJ/kg) Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10. 34	10. 76	11. 18	11. 59	12. 01		Anova	Linear	Quadratic
22~25	35. 82c	36. 88bc	37. 07bc	37. 60b	38. 73a	1. 99	<0. 01	<0. 01	0. 73
26~30	41. 96	42. 00	41. 88	42. 21	42. 51	1. 00	0. 06	0. 01	0. 12
31~35	45. 48c	45. 64bc	45. 57bc	46. 26ab	46. 44a	1. 48	0. 01	<0. 01	0. 37
36~40	47. 83c	47. 74c	47. 93bc	48. 38b	49. 19a	1. 14	<0. 01	<0. 01	<0. 01
22~40	43. 17b	43. 40ab	43. 47ab	43. 95ab	44. 49a	0. 96	0. 03	0. 02	0. 51

2.1.4 饲料能量水平对五华鸡产蛋期料蛋比的影响

五华鸡在 22~25 周龄时,10.34 MJ/kg 饲料能量组料蛋比显著高于 11.18、11.59 和 12.01 MJ/kg 能量组($P<0.05$,表 6),且料蛋比呈显著线性下降趋势($P<0.05$)。五华鸡在 26~30 周龄、31~35 周龄和 36~40 周龄,5 个不同能量组料蛋比没有显著差异($P>0.05$)。五华鸡在整个试验饲养周期(22~40 周龄),饲料 10.34

和 10.76 MJ/kg 能量组的料蛋比显著大于 11.59 MJ/kg 能量组,且饲料料蛋比随着饲料能量水平的升高而降低($P<0.05$)。

2.1.5 饲料能量水平对五华鸡产蛋期蛋品质的影响

饲料能量水平对五华鸡蛋品质中的蛋重、蛋形指数、蛋壳强度、蛋黄重、蛋白重、蛋黄/蛋清、蛋清干物质、蛋黄粗脂肪含量、蛋清粗蛋白含量无显著影响

表6 饲粮能量水平对五华鸡产蛋期料蛋比的影响

Table 6 Effect of dietary energy level on feed egg ratio of Wuhua chickens during laying period

时间/周 Time	饲粮能量水平/(MJ/kg) Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10.34	10.76	11.18	11.59	12.01		Anova	Linear	Quadratic
22~25	5.39a	4.79ab	4.40b	4.03b	4.06b	0.74	<0.01	<0.01	0.21
26~30	3.78	3.83	3.64	3.31	3.58	0.46	0.45	0.18	0.70
31~35	3.67	4.01	3.65	3.45	3.55	0.35	0.11	0.09	0.54
36~40	3.94	4.09	3.79	3.57	3.67	0.39	0.23	0.06	0.99
22~40	4.19a	4.18a	3.87ab	3.59b	3.72ab	0.40	0.04	<0.01	0.60

($P>0.05$)(表7)。饲粮 10.34 MJ/kg 能量组蛋壳厚度显著大于其他 4 组($P<0.05$)；饲粮 10.34 MJ/kg 能量组哈氏单位显著大于 11.59 和 12.01 MJ/kg 饲粮能量组($P<0.05$)；饲粮在 11.59 和 12.01 MJ/kg 能量组蛋黄干物质含量显著大于其他 3 组($P<0.05$)。蛋壳厚度和哈氏单位随饲粮能量水平的升高而降低($P<0.05$)，蛋黄干物质含量随着饲粮能量的上升而上升($P<0.05$)。

表7 饲粮能量水平对五华鸡产蛋期蛋品质的影响

Table 7 Effect of dietary energy level on egg quality of Wuhua chickens during laying period

项目 Item	饲粮能量水平/(MJ/kg) Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10.34	10.76	11.18	11.59	12.01		Anova	Linear	Quadratic
蛋重/g Egg weight	47.84	48.29	48.46	47.45	50.21	4.13	0.42	0.25	0.39
蛋形指数 Egg shape index	1.31	1.28	1.32	1.33	1.29	0.07	0.25	0.92	0.57
蛋壳强度/(N/cm ²) Eggshell strength	41.33	42.60	46.87	46.61	46.53	6.44	0.54	0.61	0.69
蛋壳厚度/μm Eggshell thickness	414a	371b	375b	352b	378b	4.30	<0.01	<0.01	<0.01
蛋黄重/g Egg yolk weight	15.28	15.58	15.90	15.27	15.30	1.66	0.81	0.84	0.36
蛋清重/g Weight of egg white	25.72	25.85	25.75	25.48	27.82	3.89	0.46	0.23	0.26
蛋黄/蛋清/% Egg yolk/egg white	59.85	61.01	62.12	61.36	57.49	9.39	0.71	0.58	0.20
哈氏单位 Haugh unit	85.92a	84.20ab	81.59ab	80.83b	81.52b	5.14	0.04	<0.01	0.37
蛋黄干物质含量/% Dry matter content of egg yolk	42.60b	44.17b	42.42b	53.94a	51.85a	7.86	<0.01	<0.01	0.33
蛋清干物质含量/% Dry matter content of egg white	15.61	15.74	16.42	15.97	14.90	2.10	0.61	0.51	0.81
蛋黄粗脂肪含量/% Crude fat content of egg yolk	41.28	40.91	40.26	40.29	39.70	3.25	0.85	0.26	0.95
蛋清粗蛋白含量/% Crude protein content of egg white	85.46	86.62	86.08	85.33	86.45	1.50	0.46	0.72	0.90

2.1.6 饲料能量水平对五华鸡产蛋期孵化性能的影响

饲料能量水平对受精蛋孵化率无显著影响。对五华鸡受精率和健雏率有显著影响($P<0.05$)(表 8),受精率和健雏率随着饲料能量水平的升高而下降($P<0.05$),饲料 10.34 MJ/kg 能量组的种蛋受精率显著大于 10.76、11.59 和 12.01 MJ/kg 能量组($P<0.05$),

饲料 10.76 MJ/kg 能量组受精率显著大于 11.59 和 12.01 MJ/kg 组($P<0.05$),饲料 11.59 MJ/kg 能量组受精率显著大于 12.01 MJ/kg 组($P<0.05$);饲料 10.76 MJ/kg 能量组健雏率显著大于 11.59 和 12.01 MJ/kg 组($P<0.05$),饲料 11.59 MJ/kg 能量组健雏率显著大于 12.01 MJ/kg 组($P<0.05$),在 10.76 MJ/kg 能量组健雏率达到最大值 97.16%。

表 8 饲料能量水平对五华鸡产蛋期孵化性能的影响
Table 8 Effect of dietary energy level on incubation performance of Wuhua chickens during egg laying period

孵化指标 Item	饲料能量水平/（MJ/kg） Dietary energy level					SEM	P 值 P value		
	10.34	10.76	11.18	11.59	12.01		Anova	Linear	Quadratic
受精率/% Fertilization Rate	95.83a	92.06bc	93.73ab	88.20d	90.44c	2.90	<0.01	<0.01	0.09
受精蛋孵化率/% Hatchability of fertile eggs	95.86	95.24	96.23	95.21	94.85	1.22	0.70	0.41	0.61
健雏率/% Healthy chick rate	95.28ab	97.16a	95.57ab	94.85b	92.63c	1.81	0.01	<0.01	0.02

2.2 饲料能量水平对五华鸡产蛋期生殖器官的影响

饲料能量水平对 40 周龄五华鸡的输卵管重、输卵管指数、卵巢重、卵巢指数无显著影响($P>0.05$)(表 9)。饲料 10.76 MJ/kg 能量组的输卵管长度显

著大于 11.18 和 12.01 MJ/kg 饲料能量组($P<0.05$),且输卵管长随着饲料能量水平的提高而下降($P<0.05$),此外,饲料能量水平对 40 周龄五华鸡卵巢中的小白卵泡、大白卵泡、等级卵泡数量均无显著影响($P>0.05$)。

表 9 饲料能量水平对五华鸡产蛋期输卵管和卵巢的影响
Table 9 Effect of dietary energy level on fallopian tubes and ovaries of Wuhua chickens during laying period

项目 Item	饲料能量水平/(MJ/kg)					SEM	P 值		
	Dietary energy level						P value		
	10.34	10.76	11.18	11.59	12.01		Anova	Linear	Quadratic
输卵管重/g Oviduct weight	40.52	36.66	29.83	39.11	26.87	10.06	0.15	0.09	0.97
输卵管指数/(g/kg) Oviductindex	22.89	23.07	16.50	25.36	17.92	6.35	0.13	0.39	0.99
卵巢重/g Ovary weight	4.09	3.43	4.00	3.89	4.16	1.59	0.97	0.92	0.85
卵巢指数/(g/kg) Ovaryindex	2.43	2.16	2.23	10.34	2.72	0.86	0.87	0.87	0.97
输卵管长/cm Oviduct length	64.08ab	65.8a	51.24bc	55.58abc	49.28 c	11.19	0.05	0.01	0.87
小黄卵泡 SYF	8.00	10.00	11.20	5.40	10.20	4.36	0.24	0.97	0.84
大白卵泡 LWF	18.20	18.20	19.20	15.00	15.60	6.33	0.83	0.39	0.73
等级卵泡 Grade follicles	4.80	4.40	3.60	4.80	4.40	1.94	0.89	0.89	0.57

2.3 饲料能量水平对五华鸡产蛋期卵巢繁殖基因 mRNA 表达的影响

饲料 11.18 MJ/kg 能量组 *BMP15* 基因 mRNA 表达量显著高于其他能量组 ($P<0.05$) (图 2), 饲料

10.34 MJ/kg 能量组 *FOXL2* 基因 mRNA 表达量显著高于其他能量组 ($P<0.05$)。饲料能量水平对五华鸡 *GDF9* 和 *MMP13* 基因 mRNA 表达无显著影响 ($P>0.05$)。

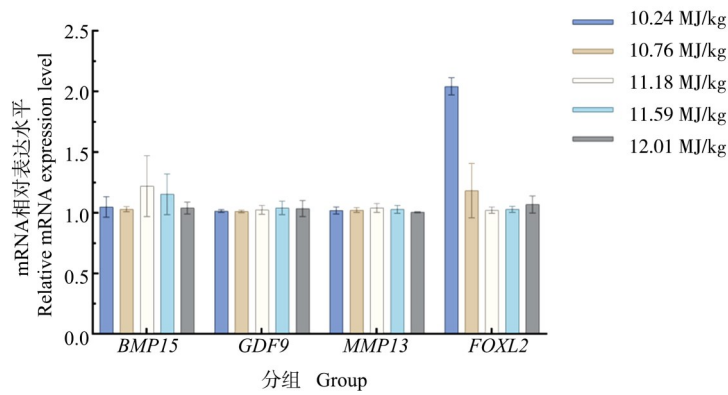


图 2 五华鸡试验期各能量组卵巢繁殖基因 mRNA 表达的影响

Fig. 2 Effect of different energy groups on ovarian reproductive gene mRNA expression in Wuhua chickens during the experimental period

3 讨论

3.1 不同能量水平对五华鸡繁殖性能的影响

3.1.1 较低能量水平饲料有助于维持五华鸡产蛋率

家禽产蛋性状是一个重要经济性状,对家禽业的经济发展尤为重要。家禽的产蛋行为是家禽营养物质富集和转移的过程即将机体能量转移到蛋中,研究表明,蛋品质营养与家禽繁殖性能存在着密切关联^[13]。在一定饲料能量范围内,蛋鸡的产蛋率随着饲料能量水平的提高而呈现升高的趋势^[14],但当饲料能量水平过高时蛋鸡的产蛋率会随之升高而呈下降趋势^[15]。黄保华等^[16]研究结果表明,饲料能量水平对家禽整个产蛋期都有显著影响,产蛋前期(19~30 周龄)对饲料能量水平需求量较大,产蛋后期对能量水平的需求逐渐降低。曹丙健^[17]研究指出在较低饲料能量水平范围内产蛋量和产蛋率随着饲料能量水平的增加而升高,在较高能量水平范围内产蛋量和产蛋率随着饲料能量水平的增加而降低。本研究发现,在产蛋前期(22~25 周龄)产蛋率随饲料能量水平增加先升高后降低,当饲料能量水平为 11.59 MJ/kg 产蛋率达到最大值,这与曹丙健^[17]报道趋势相一致,产蛋率呈现随能量水平的提高先升高后降低。26~30 周龄,产蛋率在各能

量水平中没有显著差异,在饲料 10.34 MJ/kg 能量组产蛋率达到最大值,可能由于前期的能量富集已达到母鸡的生产需要,从而对能量水平的需求量的逐渐降低,与黄保华等^[16]的研究结果一致。31~35 周龄,在饲料 10.34 MJ/kg 能量组产蛋率达到最大值,可能由于饲料低能组采食量的提高同时也提高了蛋白质及其他营养素的摄入量,从而提高了五华鸡的产蛋率。36~40 周龄,饲料 10.34 MJ/kg 能量组中产蛋率为最大值,与黄保华的研究结果相一致。从整个试验期(22~40 周龄)产蛋率在各饲料能量水平中没有显著差异,在饲料 11.59 MJ/kg 能量组产蛋率达到最大值,可能产蛋前期需要大量能量,而在整个饲养期限内(22~40 周龄)减少了前期的差异,与黄保华等^[16]的研究结果一致。本研究周龄期中,开产前期对饲料能量需求较大,到达产蛋高峰期后饲料 10.34 MJ/kg 能量组基本满足生产需要。

3.1.2 较低能量水平饲料有助于提高五华鸡采食量

饲料能量作为动物的第一营养要素,饲料能量水平的高低直接影响动物的生产性能。对鸡、鸭和鹅等的研究表明,饲料能量的高低决定家禽采食量的变化,进而影响家禽对其它营养物质的摄入量^[18-24]。Kim 等^[25]研究发现海兰褐蛋鸡产蛋中期

30~50周龄采食量随饲料能量水平的提高而降低,饲喂高能日粮的蛋鸡比饲喂低能日粮的母鸡具有更低的饲料摄入量、更好的饲料转化率和更大的体重增加,但产蛋量和蛋重不受影响^[26]。曹丙健^[17]研究发现家禽采食量与饲料能量水平呈反比,济宁百日鸡的采食量随着饲料能量水平的升高而降低,到达2.7 Mkal/kg时采食量趋于稳定。本研究发现五华鸡在26~30周龄、31~35周龄、36~40周龄以及整个试验周龄期(22~40周龄),采食量均随饲料能量水平的提高而降低,且饲料10.34 MJ/kg能量组的采食量显著大于12.01 MJ/kg能量组,结果与曹丙健^[17]、Kim等^[25]结果一致。

3.1.3 较低能量水平饲料平均蛋重增长缓慢,料蛋比变大

蛋重是家禽育种中极其重要的主选经济性状,随着母禽年龄的增长,蛋重呈连续增长趋势^[27],同时蛋重可能会随着饲料能量水平影响而变化。本研究发现,五华鸡的平均蛋重在22~25周龄、26~30周龄、31~35周龄、36~40周龄以及整个试验周龄期(22~40周龄)均随着饲料能量水平的提高而线性提高,与前人的研究报道相一致,随着饲料能量水平的提高,蛋重呈线性增加趋势^[28-30]。

饲料能量水平对家禽的料蛋比具有显著性影响,且高饲料能量显著提高家禽的料蛋比^[31]。刘佳等^[32]研究表明,饲料能量水平的提高可以降低25~51周龄尼克粉蛋鸡的料蛋比。本研究中,随着饲料能量水平的升高料蛋比在22~25周龄有下降的趋势,且10.34 MJ/kg能量组显著大于11.18、11.59和12.01 MJ/kg能量组,除10.34 MJ/kg能量组其他各组间的料蛋比无显著性差异,在26~30周龄、31~35周龄、36~40周龄在各能量组中料蛋比均无显著差异;而在整个饲养周龄期(22~40周龄),料蛋比随着饲料能量水平的升高而升高,与刘佳等^[32]的研究结果一致。

3.1.4 较低能量水平饲料蛋壳厚度和哈氏单位增加缓慢,有助于孵化

品种^[33]、饲养环境^[34]和饲料营养等诸多因素都会造成蛋品质的差异。孵化率的高低受蛋品质直接影响,蛋品质对种蛋的存储运输也会造成不同程度的影响。本研究结果显示,饲料能量水平显著影响蛋壳厚度、哈氏单位和蛋黄干物质含量,哈氏单位随着饲料能量水平的提高呈现线性下降的趋势,

蛋黄干物质含量随着饲料能量水平的提高呈现线性上升的趋势与曹丙健^[17]、于涛涛^[23]研究结果一致;而蛋壳厚度随着饲料能量水平的提高呈现线性下降的趋势,与曹丙健^[17]、于涛涛^[23]研究结果不一致。蛋壳中主要成分是钙和磷,可能由于饲料能量水平的提高影响饲料中钙、磷、维生素D₃等物质的吸收。

种蛋孵化直接影响家禽的繁殖性能,提高种蛋孵化率将有利于促进家禽产业的发展。适宜的能量有利于提高家禽的健康状态和抗应激能力,进而提高种蛋的受精率和孵化率。曹丙健等研究发现,饲料较低的能量水平有利于种蛋孵化,低能量水平的孵化率显著大于高能量水平,不利于种蛋孵化。李金锋等^[35]和罗艺等^[36]研究显示,在一定范围内饲料能量水平的高低对种蛋的孵化率和受精率均无显著影响。本研究结果显示,饲料能量水平的高低对受精蛋的孵化率无显著影响,受精率随着饲料能量水平的升高而降低,在较低的能量水平下有利于受精,结果与李金锋等^[35]、罗艺等^[36]研究发现一致。除此之外,本研究发现饲料能量水平会显著影响雏鸡的健雏率,健雏率随着饲料能量水平的升高而降低。可能由于蛋壳厚度随着饲料能量水平的提高而降低,从而降低了健雏率。

3.2 不同能量水平饲料对五华鸡产蛋期生殖器官发育的影响

杨玉等^[37]研究发现,不同饲料能量水平可以影响FSHR mRNA的表达进而影响卵巢卵泡的发育。于涛涛^[23]研究报道,不同能量水平对大白卵泡和小黄卵泡数量无显著性影响,能量水平对小白卵泡有显著影响。本研究研究发现,饲料能量水平对小黄卵泡、大黄卵泡和等级卵泡数量均无显著影响。小黄卵泡、大黄卵泡和等级卵泡数量无差异表明短期产蛋率无显著差异,与36~40周龄产蛋率结果相同。与前人的结果有所不同,可能是由于品种和饲养环境等多种因素影响。除此之外,本研究研究发现五华鸡输卵管长度随着饲料能量水平的提高,呈线性下降趋势,与于涛涛^[23]研究结果一致。

3.3 不同饲料能量水平对五华鸡卵泡发育基因表达量的影响

Huang等^[38]研究发现BMP15基因与鸡的产蛋量和开产日龄显著相关,并且认为BMP15基因型可以作为分子标记进行辅助选择,用于提高鸡的产

蛋量。杜文姬等^[39]研究表明,鸡高产组的 *FOXL2* 基因表达量显著高于低产蛋组的表达量,对卵巢功能的维持和提高产蛋量具有功能性作用。本研究结果显示,5个能量组中 *GDF9* 和 *MMP13* 基因 mRNA 表达无显著差异,而 *BMP15* 基因 mRNA 表达在 11.18 MJ/kg 显著大于其他 4 组, *FOXL2* 基因 mRNA 表达在 10.34 MJ/kg 显著大于其他 4 组,结合前面产蛋曲线来看, *FOXL2* 表达量的增加有助于维持五华鸡高产蛋率。

4 结 论

开产期到产蛋高峰期间饲料能量水平为 11.59 MJ/kg 时有利于五华鸡生殖器官发育和繁殖性能的提高,产蛋高峰期后饲料能量水平为 10.34 MJ/kg 时有利于五华鸡维持高繁殖性能,更好地满足五华鸡生产需要。

参考文献 References

- [1] Scappaticcio R, García J, Fondevila G, de Juan A F, Cámara L, Mateos G G. Influence of the energy and digestible lysine contents of the diet on performance and egg quality traits of brown-egg laying hens from 19 to 59 weeks of age[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(7): 101211
- [2] 吴磊. 皖南三黄鸡 S3 品系腹脂沉积对其繁殖性能的影响[D]. 合肥:安徽农业大学, 2022
Wu L. Effects of abdominal fat deposition on reproductive performance of Wannan three yellow chicken S3 strain[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2022 (in Chinese)
- [3] 李云雷, 薛夫光, 徐松山, 白皓, 刘一帆, 孙研研, 陈继兰. 产蛋后期母鸡脂肪沉积量与繁殖性能相关性研究[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(6): 1163-1168
Li Y L, Xue F G, Xu S S, Bai H, Liu Y F, Sun Y Y, Chen J L. Relationship between fat deposition and reproduction performance of beijing-you chickens during the late stage of reproductive period[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(6): 1163-1168 (in Chinese)
- [4] 鞠科, 韦海荣, 高小芳, 梁远东, 宁国贤, 苏惠键, 易方陆. 不同能量水平对广西三黄母鸡育成期体重及生殖器官的影响[J]. 广西畜牧兽医, 2010, 26(2): 74-76
Ju K, Wei H R, Gao X F, Liang Y D, Ning G X, Su H J, Yi F L. Effects of different energy levels on body weight and reproductive organs of Guangxi Sanhuang hens in growing period[J]. *Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2010, 26(2): 74-76 (in Chinese)
- [5] 李云雷. 北京油鸡不同阶段脂肪沉积与繁殖性能的相关性研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2016
Li Y L. Correlation analysis between fat deposition and reproductive performance in Beijing fatty Chicken at different stages [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016 (in Chinese)
- [6] Wolak D, Hrabia A. Tamoxifen-induced alterations in the expression of selected matrix metalloproteinases (MMP-2, -9, -10, and-13) and their tissue inhibitors (TIMP-2 and-3) in the chicken ovary[J]. *Theriogenology*, 2020, 148: 208-215
- [7] Wolak D, Hrabia A. Alternations in the expression of selected matrix metalloproteinases (MMP-2, -9, -10, and-13) and their tissue inhibitors (TIMP-2 and-3) and MMP-2 and-9 activity in the chicken ovary during pause in laying induced by fasting [J]. *Theriogenology*, 2021, 161: 176-186
- [8] 袁振杰. 鸡 MMP-13 基因的表达特征及遗传学效应研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016
Yuan Z J. Study on expression characteristics and genetic effect of MMP-13 gene in chicken [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016 (in Chinese)
- [9] Asem E K, Feng S, Stingley-Salazar S R, Turek J J, Peter A T, Robinson J P. Basal lamina of avian ovarian follicle: Influence on morphology of granulosa cells in-vitro [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Toxicology & Pharmacology: CBP*, 2000, 125(2): 189-201
- [10] 盛昌树. 五华鸡种质特性、提纯选育及羽速自别系建立的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012
Sheng C S. Study on germplasm characteristics, purification and breeding of Wuhua chicken and establishment of feather speed autologous line [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012 (in Chinese)
- [11] NY/T33—2004. 中华人民共和国农业行业标准: 鸡饲养标准[S]. 湖南饲料, 2006(4): 19-27
NY/T33—2004. Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China: Feeding standard of chicken[S]. *Hunan Feed*, 2006: 19-27 (in Chinese)
- [12] Zhao F, Wang X C, Li Y, Chen X Y, Geng Z Y, Zhang C. Effects of dietary supplementation with epigallocatechin gallate on meat quality and muscle antioxidant capacity of broilers subjected to acute heat stress[J]. *Animals*, 2021, 11(11): 3296
- [13] 李云雷, 孙研研, 陈继兰. 脂肪沉积对家禽繁殖性状影响的研究进展[J]. 中国家禽, 2016, 38(13): 36-41
Li Y L, Sun Y Y, Chen J L. Research progresses on effects of fat deposition on reproduction performance of poultry [J]. *China Poultry*, 2016, 38(13): 36-41 (in Chinese)
- [14] 潘杨溯. 不同能量水平日粮对产蛋后期蛋鸡生产性能和盲肠菌群多样性的影响[D]. 昆明: 云南农业大学, 2023
Pan Y S. Effects of diets with different energy levels on performance and cecal flora diversity of laying hens in the late stage of laying [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [15] 杨玉, 黄应祥, 李清宏, 宁官宝, 赫晓燕. 不同日粮能量水平对蛋鸡血液 FSH、LH、P4 和产蛋率的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2007, 38(11): 1195-1203
Yang Y, Huang Y X, Li Q H, Ning G B, He X Y. Effects of diet energy on FSH, LH, P4 in plasma and laying rates of layers [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2007, 38(11): 1195-1203 (in Chinese)
- [16] 黄保华, 张桂芝, 石天虹, 殷若新, 刘瑞亭, 高秀萍, 井庆川. 不同营养水平对蛋鸡 19~72 周龄生产性能的影响[J]. 山东家禽, 2000(1): 10-13
Huang B H, Zhang G Z, Shi T H, Yin R X, Liu R T, Gao X P, Jing Q C. Effects of different nutritional levels on performance of laying hens aged 19 - 72 weeks [J]. *Shandong Poultry*, 2000 (1): 10-13 (in Chinese)
- [17] 曹丙健. 不同饲料能量水平对济宁百日鸡生产性能、繁殖性能及其母体效应的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016
Cao B J. Effects of different feed energy levels on production performance,

- reproductive performance and maternal effect of Jining Hundred Days chicken [D] Taian: Shandong Agricultural University, 2016
- [18] 张晓怡, 马秋刚, 计成, 赵丽红, 张建业. 日粮代谢能水平对“京粉1号”蛋鸡产蛋高峰期生产性能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(7): 128-131
- Zhang X Y, Ma Q G, Ji C, Zhao L H, Zhang J Y. Effect of dietary metabolic energy level on production performance of “jingfen No. 1” laying hens at the peak laying period [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55(7): 128-131 (in Chinese)
- [19] 张利敏, 姚军虎, 董延. 产蛋鸡粗蛋白质与代谢需要量研究进展与应用[J]. 饲料工业, 2012, 33(3): 13-16
- Zhang L M, Yao J H, Dong Y. Research progress and application of coarse protein and metabolic energy requirement of laying hens[J]. *Feed Industry*, 2012, 33(3): 13-16(in Chinese)
- [20] Harms R H, Russell G B, Sloan D R. Energy utilization of four strains of commercial layers and influence on suggested dietary methionine level [J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2000, 18(1): 25-31
- [21] Koreleski J, Świątkiewicz S. Laying performance and nitrogen balance in hens fed organic diets with different energy and methionine levels [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2009, 18(2): 305-312
- [22] Kim C H, Kang H K, Kim H S. Effect of dietary energy levels on growth performance, blood parameter and intestinal morphology of Pekin ducks in low ambient temperature [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2019, 61(6): 305-312
- [23] 于涛涛. 饲料能量水平对扬州鹅产蛋后期繁殖性能的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2021
- Yu T T. Effects of dietary energy level on reproductive performance of Yangzhou goose in late laying period [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2021 (in Chinese)
- [24] 董娜, 方小文, 黄胜平, 等. 日粮能量水平对种用蓝孔雀产蛋和受精率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2003(3): 95-98
- Dong N, Fang X W, Huang S P, et al. Effects of dietary energy levels on egg production and fertility rate of blue peafowl breeder. [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2003(3): 95-98 (in Chinese)
- [25] Kim C H, Kang H K. Effects of energy and protein levels on laying performance, egg quality, blood parameters, blood biochemistry, and apparent total tract digestibility on laying hens in an aviary system [J]. *Animals*, 2022, 12(24): 3513
- [26] Guzmán P, Saldaña B, Bouali O, Cámara L, Mateos G G. Effect of level of fiber of the rearing phase diets on egg production, digestive tract traits, and body measurements of brown egg-laying hens fed diets differing in energy concentration [J]. *Poultry Science*, 2016, 95(8): 1836-1847
- [27] 严西萍. 鸭产蛋量和蛋重关键基因的筛选及其调控机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2023
- Yan X P. Screening of key genes for duck egg production and egg weight and their regulation mechanism [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [28] Wu G, Bryant M M, Gunawardana P, Sr Roland D A. Effect of nutrient density on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in eight commercial leghorn strains during phase one [J]. *Poultry Science*, 2007, 86(4): 691-697
- [29] Ribeiro P, Matos J B, Lara L, Araújo L F, Albuquerque R, Baião N C. Effect of dietary energy concentration on performance parameters and egg quality of white leghorn laying hens [J]. *Revista Brasileira De Ciência Avícola*, 2014, 16(4): 381-388
- [30] 孙永刚, 王志祥, 亢娟娟, 梁永, 徐宁, 杜思刚. 不同营养水平日粮对蛋鸡高峰期产蛋性能的影响[J]. 饲料研究, 2010(9): 20-24
- Sun Y G, Wang Z X, Kang J J, Liang Y, Xu N, Du S G. Effects of diets with different nutrition levels on laying performance of laying hens in peak period [J]. *Feed Research*, 2010(9): 20-24 (in Chinese)
- [31] 潘迎丽, 向荣, 李文斌, 王志强, 魏晓冉, 王国君. 饲料代谢能、蛋氨酸水平对蛋鸡产蛋中后期生产性能及羽毛覆盖率的影响[J]. 中国饲料, 2022(19): 30-34
- Pan Y L, Xiang R, Li W B, Wang Z Q, Wei X R, Wang G J. Effects of dietary metabolic energy and methionine levels on performance and feather coverage of middle and late laying stage laying hens [J] *China Feed*, 2022(19): 30-34 (in Chinese)
- [32] 刘佳, 张建, 杨丽娜, 龚月生. 日粮能量水平对产蛋高峰期蛋鸡生产性能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(1): 64-65
- Liu J, Zhang J, Yang L N, Gong Y S. The effect of dietary energy level on the production performance of laying hens during peak egg production period [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2013(1): 64-65 (in Chinese)
- [33] 王伟, 陈博雯, 仲黎, 吴允, 张莘, 刘本帅, 王统苗, 常国斌, 陈国宏. 不同品种与产蛋日龄对鸡蛋品质的影响分析[J]. 中国家禽, 2018, 40(17): 64-66
- Wang W, Chen B W, Zhong L, Wu Y, Zhang S, Liu B S, Wang T M, Chang G B, Chen G H. Analysis of the effects of different varieties and laying age on egg quality [J]. *China Poultry*, 2018, 40(17): 64-66 (in Chinese)
- [34] 龚争, 吴学壮, 李文超, 程郁昕, 顾有方. 不同饲养模式下产蛋前期海兰褐蛋鸡生产性能、蛋品质和免疫功能比较研究[J]. 畜牧与兽医, 2022, 54(7): 43-46
- Gong Z, Wu X Z, Li W C, Cheng Y X, Gu Y F. Effects of different feeding methods on performance, egg quality, immune function and serum biochemical indexes of Hy-Line brown hens in the early laying stage [J]. *Livestock and Veterinary Medicine*, 2022, 54(7): 43-46 (in Chinese)
- [35] 李金锋, 徐良梅, 张艳云, 姜丹, 张婧. 肉种鸡饲料能量水平对产蛋后期子代生产性能和脂类代谢的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(3): 39-43
- Li J F, Xu L M, Zhang Y Y, Jiang D, Zhang J. Effects of dietary energy level of broiler breeders on growth performance and fat metabolism of offspring during late laying period [J]. *Chinese Journal of Animal science*, 2014, 50(3): 39-43 (in Chinese)
- [36] 罗艺, 刘作兰, 王启贵, 彭祥伟, 王阳铭, 谢明, 侯水生, 兰云贤, 汪超. 饲料能量水平对初产期四川白鹅生产性能、蛋品质和孵化性能的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(2): 439-448
- Luo Y, Liu Z L, Wang Q G, Peng X W, Wang Y M, Xie M, Hou S S, Lan Y X, Wang C. Effects of dietary energy concentrations on growth performance, egg quality and hatching performance in primiparous laying Sichuan white geese [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2018, 49(2): 439-448 (in Chinese)
- [37] 杨玉, 黄应祥, 曹果青, 张桂贤, 杨文平. 能量对蛋鸡卵巢促卵泡素受体 mRNA 表达及产蛋率的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(4): 585-591
- Yang Y, Huang Y X, Cao G Q, Zhang G X, Yang W P. Effects of diet energy on expression of FSHR mRNA in ovary and laying rates of laying hens [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2009, 21(4): 585-591(in Chinese)
- [38] Huang H Y, Liang Z, Li S F, Li C M, Zhao Z H, Wang Q B. Polymorphism identification in BMP15 and GDF9 genes and their

association with egg production in chickens[J]. *British Poultry Science*, 2015, 56(3): 277-283

- [39] 杜文娅, 夏利, 孙甜甜, 邓继贤, 杨祝良, 唐燕飞, 李淑霞, 霍献强, 杨秀荣. 广西麻鸡 *FOXL2* 基因的克隆、序列分析及在高低产蛋量卵巢中的表达[J]. 基因组学与应用生物学, 2021, 40(3): 980-984

Du W Y, Xia L, Sun T T, Deng J X, Yang Z L, Tang Y F, Li S X, Huo

X Q, Yang X R. Cloning, sequence analysis, and expression levels of *FOXL2* gene in ovaries of high-yield and low-yield hens in Guangxi indigenous chicken[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2021, 40(3): 980-984 (in Chinese)

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 宴宇昊, 硕士研究生, 目前就读于安徽农业大学动物遗传育种与繁殖专业, 主要研究方向为家禽遗传育种与繁殖, 曾在 *Poultry science*、*Animals (Basel)* 期刊参与发表学术论文。



通讯作者简介: 陈兴勇, 博士, 教授, 安徽农业大学博士生导师, 任世界家禽学会会员、中国家禽学会会员、安徽省动物学会理事、安徽省畜牧兽医学学会监事、安徽省家禽协会专家组成员。主要从事家禽遗传育种与生产、动物遗传资源保护、分子遗传学的教学与研究工作。主持并完成国家科技支撑计划项目、国家自然科学基金项目; 安徽省自然科学基金面上项目、安徽省科技重大专项、安徽省优秀青年人才基金等10余项, 获安徽省科技成果一等奖1项、二等奖1项, 获“安徽省战略性新兴产业技术领军人才”称号, 2023年安徽省“最美科技工作者”获得者, 2022年首批国家神农英才青年人才等称号; 在国内外核心期刊发表论文30余篇, 其中第一作者发表SCI收录论文13篇。制定地方标准2项; 完成省科技成果鉴定5项; 参与国家水禽产业体系《养鹅配套技术手册》编写。