

王星果, 王克华, 胡玉萍, 等. 苏禽6号蛋鸡产蛋期血清脂质代谢规律研究 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (7): 20-27.

WANG X G, WANG K H, HU Y P, et al. Metabolism of serum lipid in Suqin No. 6 layer at laying stage [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (7): 20-27.

## 苏禽6号蛋鸡产蛋期血清脂质代谢规律研究

王星果, 王克华, 胡玉萍, 窦套存, 郭军, 李永峰, 曲亮\*

(江苏省家禽科学研究所/江苏省家禽遗传育种重点实验室, 江苏 扬州 225125)

**摘要:** 旨在研究苏禽6号蛋鸡产蛋期血脂代谢情况, 为该配套系的产蛋期饲养管理和营养调控提供理论依据。以苏禽6号蛋鸡19周龄商品代鸡为试验组, 海兰褐蛋鸡为对照组, 饲养至60周龄, 产蛋前期(19~28周)每周采血, 产蛋高峰期(29~40周)间隔2周采血, 产蛋后期(41~60周)间隔4周采血, 测量血清中脂质代谢相关生化指标, 并进行差异分析和相关性分析。结果: 随着周龄增长, 苏禽6号蛋鸡血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白(LDL)含量维持至产蛋高峰期28周龄后明显下降( $P<0.05$ ), 高峰期后TG和LDL含量无明显变化( $P>0.05$ ); 高密度脂蛋白(HDL)含量整体呈下降趋势, 其中30、38周龄极显著降低( $P<0.01$ )。与海兰褐蛋鸡相比, 苏禽6号蛋鸡血清游离脂肪酸(FFA)含量28周龄前明显较低( $P<0.05$ ), 之后无显著差异( $P>0.05$ ), TC和LDL含量则30周龄前无明显差异( $P>0.05$ ), 之后明显降低( $P<0.05$ )。产蛋前期、高峰期与后期比较显示, 苏禽6号蛋鸡在产蛋高峰期其脂代谢指标中TG、FFA和LDL含量显著高于前期和后期( $P<0.05$ ), HDL和卵黄蛋白原(VTG)均是前期显著高于高峰期和后期( $P<0.05$ )。苏禽6号蛋鸡血清各脂代谢指标间存在较多显著正相关( $P<0.05$ ), 如TG、TC与FFA三者间( $P<0.01$ ), TC、HDL与VTG三者间( $P<0.01$ ), LDL、VTG与腹脂率三者间( $P<0.05$ ), 仅FFA与极低密度脂蛋白 $\gamma$ (VLDL $\gamma$ )呈极显著负相关( $P<0.01$ )。综合分析表明, 苏禽6号蛋鸡产蛋期血脂代谢稳定, 与高产蛋鸡海兰褐蛋鸡相比产蛋前期一致, 产蛋后期下降较快。

**关键词:** 苏禽6号蛋鸡; 产蛋期; 血清; 脂代谢指标

中图分类号: S831 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2024)07-0020-08

### Metabolism of serum lipid in Suqin No. 6 layer at laying stage

WANG Xingguo, WANG Kehua, HU Yuping, DOU Taocun, GUO Jun, LI Yongfeng, QU Liang\*

(Jiangsu Institute of Poultry Science/Jiangsu Key Lab of Poultry Genetics and Breeding, Yangzhou 225125, China)

**Abstract:** In the current study, the metabolism of serum lipid in Suqin No. 6 layers at the laying stage was determined to provide a theoretical basis for the feeding and management of the layers at laying stage and the nutrient regulation of this crossbreeding system. The Suqin No. 6 layers at 19 weeks of age were raised till 60 weeks of age. The Hy-line brown layers were used as control. Blood samples were collected every week in 19-28 weeks of age, every 2 weeks in 29-40 weeks of age, and every 4 weeks in 41-60 weeks of age. Then, the metabolic indices of the serum lipid were measured, and the variance and correlation were analyzed. The results showed that, from 19 to 60 weeks of age, the TG (triglyceride), TC (total cholesterol) and LDL (low-density lipoprotein) levels of the serum remained unchanged before decreasing obviously at 28 weeks of age at the peak stage ( $P<0.05$ ), and then the TG and LDL levels continued to remain unchanged ( $P>0.05$ ). The HDL (high-density lipoprotein) level decreased overall, with highly significant decrease at 30 and 38 weeks of age ( $P<0.01$ ). Compared with those of the Hy-line brown layers, the serum FFA levels of the Suqin No. 6 layers were significantly lower before 28 weeks of age ( $P<0.05$ ), then showing no significant difference ( $P>0.05$ ). The TC and LDL levels had no significant differences before 30 weeks of age ( $P>0.05$ ), and then, they were significantly lower ( $P<0.05$ ). The comparative analysis of early, peak and late stages showed that, in the lipid metabolic indices, TG, FFA and LDL at the peak stage were significantly higher than those at early and late stages in the Suqin No. 6 layers ( $P<0.05$ ). HDL and VTG were significantly higher at the early stage than those at peak and late stages ( $P<0.05$ ). There were many significantly positive correlations among the serum lipid metabolic indices of the Suqin No. 6 layers, such as, among the TG, TC and FFA levels ( $P<0.01$ ), the TC, HDL and VTG levels ( $P<0.01$ ), the LDL, VTG and percentage of abdominal fat ( $P<0.05$ ). Only the FFA was sig-

收稿日期: 2023-08-07; 修回日期: 2024-04-13

基金项目: 江苏省种业振兴揭榜挂帅项目 (JBGS [2021] 104); 江苏省重点研发计划 (现代农业) 专项 (BE2021380); 现代农业产业技术体系建设专项资金 (CARS-40-K01)

第一作者: 王星果, 男, 博士

\* 通信作者: 曲亮, 博士, 研究员, 研究方向为蛋鸡育种, E-mail: 676542516@qq.com.

nificantly negatively correlated with the VLDL<sub>y</sub> level ( $P < 0.01$ ). The present results indicated that the serum lipids of the Suqin No. 6 layers metabolized well at the laying stage, and their serum lipids were the same with that of the high yielding Hy-line brown layers at the early laying stage and then quickly decreased.

**Keywords:** Suqin No. 6 layer; laying stage; serum; lipid metabolic indices

我国产粉壳蛋的品种为地方特色蛋鸡，蛋肉兼用，蛋重较小，蛋形较长，蛋黄比率大，淘汰母鸡体重适中、羽色具有地方鸡特点，符合城乡居民传统消费需求，是满足人民群众高品质蛋品需求的重要农产品<sup>[1-2]</sup>。但现有地方特色蛋鸡产蛋性能偏低，限制了产业发展速度<sup>[3-4]</sup>。

蛋鸡饲料以粮食为主要原料，但国内无法满足，每年需要大量进口，蛋鸡饲养成本逐年增加，因此节约饲料、提高生产效率显得尤为重要。目前市场上的节粮型蛋鸡品种，高产的不优质，优质的不高产<sup>[5-7]</sup>，需要结合两者优点，培育产蛋量多、蛋品质优、竞争力强的高产节粮地方特色蛋鸡新品种，满足市场对高品质蛋品的需求。江苏省家禽科学研究所借助蛋鸡育种平台，经过多年培育，育成苏禽6号蛋鸡配套系，该配套系体型矮小（含有 dw 矮小基因<sup>[8]</sup>），耗料少，产粉壳蛋，产蛋数多，蛋品质高，饲养价值高，可促进地方特色蛋鸡产业持续健康发展。

脂质代谢在一定程度上反映动物机体摄入的营养水平和健康状况<sup>[9-12]</sup>。脂质代谢不仅反映鸡摄入的营养水平和健康状况，同时还与鸡的生长发育和繁殖相关。日粮中能量水平升高则鸡的腹脂增多，而蛋白质水平升高则腹脂减少；血浆中极低密度脂蛋白（VLDL）含量随着日粮能量水平升高而降低，而总脂和胆固醇含量则随着日粮能量、蛋白质水平的升高而降低<sup>[13]</sup>。对产蛋期肉种鸡限饲能提高鸡胚血清中甘油三酯（TG）和总胆固醇（TC）含量，降低低密度脂蛋白（LDL）含量<sup>[14]</sup>。鸡长期的脂肪代谢障碍会引发脂肪肝，导致过度肥胖，并使产蛋率下降，严重的甚至引起肝组织坏死导致死亡<sup>[15]</sup>。患有脂肪肝

综合症的鸡与正常鸡相比，体重明显增大，腹脂率升高，血清 TG、TC 和 LDL 含量升高，而高密度脂蛋白（HDL）含量降低<sup>[16]</sup>。通过饲料中添加稀土壳聚糖，四川山地乌骨鸡腹脂率、肝脂率以及血清 TG、TC 和 VLDL 含量都明显降低，而日增重则明显提高<sup>[17]</sup>。日粮中添加适量亚麻籽油可降低产蛋期太行鸡的血液 TG、TC 和 LDL 含量，增加 HDL 含量，同时提高产蛋率、蛋重和蛋黄比率，降低料蛋比<sup>[18]</sup>。肉鸡的脂肪沉积与体重呈显著正相关，适当的脂肪沉积有利于肉鸡开产和产蛋，但脂肪沉积过度则会降低产蛋数和蛋重<sup>[19]</sup>。因此对鸡的脂质代谢进行研究对生产具有指导意义。本研究采集苏禽6号蛋鸡产蛋期血清，对脂质、脂蛋白、卵黄前体蛋白等脂代谢指标进行检测和分析，为维持该配套系的机体健康和生产性能提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物与管理

选取江苏省家禽科学研究所培育的315只苏禽6号蛋鸡作为试验组，该所引自宁夏晓明农牧股份有限公司的315只海兰褐蛋鸡作为对照组，2020年4月饲养于江苏省家禽科学研究所邵伯基地。采用密闭鸡舍两段式笼养，标准饲料饲喂，饲料来自江苏盐城源耀饲料有限公司，营养水平见表1。自由饮水、采食，常规光照、免疫。饲养至18周龄育成期结束，19周龄开始为产蛋期。各组随机选取健康母鸡8只，产蛋前期（19~28周）每周、产蛋高峰期（29~40周）间隔2周、产蛋后期（41~60周）间隔4周空腹12h后采血，分离血清，-20℃冻存备用。

表1 饲料营养水平

周龄	料号	粗蛋白质	粗纤维	粗灰分	钙	总磷	氯化钠	赖氨酸	蛋氨酸+胱氨酸	水分
0~5	806	19.0~22.0	≤6.50	≤10.00	0.50~1.50	≥0.30	0.20~0.90	≥1.10	≥0.80	≤13.5
6~8	816	17.0~20.0	≤6.50	≤12.00	0.80~1.50	≥0.30	0.20~0.90	≥0.90	≥0.60	≤13.5
9~18	828	15.0~17.0	≤6.00	≤9.00	0.80~1.20	0.45~1.00	0.30~0.80	≥0.66	≥0.55	≤13.5
19~60	868	14.0~16.0	≤6.00	≤15.00	2.50~4.20	≥0.45	0.30~0.80	≥0.60	≥0.50	≤13.5

### 1.2 测定项目及方法

#### 1.2.1 血清脂代谢指标

采血5 mL，静置20 min后3 000 r/min离心

5 min，吸取上清液，使用 Angle Gene 公司生产的生化试剂盒进行脂代谢指标测定。

TG、TC 含量测定：2.5 μL 血清加入 250 μL 工

作液，混匀，37 ℃ 孵育 10 min，使用酶标仪测定波长 510 nm 的吸光度  $OD$  值。设置空白（蒸馏水）和校准品， $TG$ 、 $TC$  含量 = (血清  $OD$  值 - 空白  $OD$  值) / (校准  $OD$  值 - 空白  $OD$  值) × 校准品浓度。

游离脂肪酸 (FFA) 测定：4  $\mu$ L 血清加入 200  $\mu$ L 试剂 1，混匀，37 ℃ 孵育 5 min，使用酶标仪测定波长 546 nm 的吸光度  $A_1$ ，再加入 50  $\mu$ L 试剂 2，混匀，37 ℃ 孵育 5 min，测定波长 546 nm 的吸光度  $A_2$ ，计算  $\Delta A = A_2 - A_1$ 。设置空白（蒸馏水）和校准品， $FFA$  含量 = (血清  $\Delta A$  - 空白  $\Delta A$ ) / (校准  $\Delta A$  - 空白  $\Delta A$ ) × 校准品浓度。

HDL、LDL 含量测定：2.5  $\mu$ L 血清加入 180  $\mu$ L R1，混匀，37 ℃ 孵育 5 min，使用酶标仪测定波长 546 nm 的吸光度  $A_1$ ，再加入 60  $\mu$ L R2，混匀，37 ℃ 孵育 5 min，测定波长 546 nm 的吸光度  $A_2$ ，计算  $\Delta A = A_2 - A_1$ 。设置空白（蒸馏水）和校准品， $HDL$ 、 $LDL$  含量 = (血清  $\Delta A$  - 空白  $\Delta A$ ) / (校准  $\Delta A$  - 空白  $\Delta A$ ) × 校准品浓度。

极低密度脂蛋白  $y$  (VLDL $y$ )、卵黄蛋白原 (VTG) 含量测定：10  $\mu$ L 血清加入 40  $\mu$ L 稀释液中，然后加入 50  $\mu$ L 酶标试剂，37 ℃ 孵育 30 min，弃去并用干液体，加入洗涤液后静置 30 s，弃去并用干，重复 5 次，先后加入显色液 A 和 B 各 50  $\mu$ L，震荡混匀，37 ℃ 避光显色 10 min，加 50  $\mu$ L 终止液终止反应，使用酶标仪测定波长 450 nm 的吸光度  $OD$  值。设置空白（蒸馏水）和标准品，绘制标准曲线后算出各血清样品 VLDL $y$ 、VTG 含量。

### 1.2.2 腹脂率、肝脏指数测定

根据 NY/T 823—2020《家禽生产性能名词术语

和度量计算方法》进行测定和记录。每次选取的 8 只鸡采血后称体重，随即进行屠宰，称取腹脂重、肝重和全净膛重，并计算腹脂率、肝脏指数。腹脂率% = 腹脂重 / (腹脂重 + 全净膛重) × 1 000，肝脏指数% = 肝重 / 体重 × 1 000。

### 1.3 数据统计和分析

数据用“平均值 ± 标准差”表示。使用 SPSS 26 软件中的独立样本  $t$  检验和单因素方差分析进行差异显著性检验；并使用双变量相关中的 Pearson 相关进行相关性分析。 $P < 0.05$  表示差异显著或显著相关， $P < 0.01$  表示差异极显著或极显著相关。

## 2 结果与分析

### 2.1 血清脂质指标

由表 2 可见，苏禽 6 号蛋鸡随着周龄增长， $TG$  和  $TC$  含量 28 周龄前无显著变化，在 30 周龄时显著降低 ( $P < 0.05$ )；30 周龄后  $TG$  无显著变化， $TC$  波动变化，其中 44、56 周龄显著降低 ( $P < 0.05$ )，60 周龄显著升高 ( $P < 0.05$ )。 $FFA$  含量在产蛋期上下波动明显，除 21、24、25 和 28 周龄外，其他时间均呈显著或极显著变化。

与海兰褐蛋鸡比较，苏禽 6 号蛋鸡  $TG$  含量 27 周龄显著 ( $P < 0.05$ )、56 周龄极显著降低 ( $P < 0.01$ )，其他周龄差异不显著 ( $P > 0.05$ )； $TC$  含量 28 周龄前与海兰褐无显著差异 ( $P > 0.05$ )，其他周龄显著或极显著降低 ( $P < 0.01$ )； $FFA$  含量 27 周龄前多数时间差异显著 ( $P < 0.05$ )，27 周龄后只在 38 周龄和 48 周龄表现出极显著差异 ( $P < 0.01$ )。

表 2 不同周龄和品种间血清脂质指标比较

mmol/L

周龄	苏禽 6 号蛋鸡			海兰褐蛋鸡		
	TG	TC	FFA	TG	TC	FFA
19	3.59±6.20	3.27±0.54	0.95±0.04 <sup>##</sup>	1.93±1.82	3.53±0.86	1.08±0.09
20	5.10±5.67	3.64±1.05	1.10±0.05 <sup>**</sup>	3.00±3.69	3.91±1.22	1.09±0.05
21	8.41±5.44	2.96±0.88	1.09±0.05 <sup>##</sup>	6.74±1.48	3.12±0.29	1.23±0.07
22	12.64±9.60	3.19±1.61	1.17±0.05 <sup>**##</sup>	6.70±3.38	3.07±0.99	1.29±0.06
23	11.13±9.31	3.78±1.82	1.27±0.04 <sup>**##</sup>	8.06±2.77	2.92±0.57	1.31±0.02
24	15.55±10.13	3.27±1.40	1.32±0.06 <sup>##</sup>	12.18±5.85	3.41±0.69	1.42±0.04
25	10.03±6.37	3.03±2.74	1.29±0.17	10.18±5.96	2.90±0.97	1.33±0.35
26	13.94±8.75	2.76±1.15	1.43±0.04 <sup>**##</sup>	10.81±6.48	3.06±0.98	1.48±0.03
27	13.21±8.34 <sup>#</sup>	3.08±1.79	1.36±0.06 <sup>**</sup>	4.96±0.91	2.11±0.24	1.41±0.04
28	15.68±10.65	3.36±2.02	1.27±0.31	8.10±9.17	2.68±1.43	1.45±0.43
30	5.48±2.00 <sup>*</sup>	1.19±0.43 <sup>**##</sup>	0.61±0.06 <sup>**</sup>	5.78±1.64	1.78±0.37	0.58±0.03
32	4.61±0.85	1.00±0.43 <sup>##</sup>	1.12±0.02 <sup>**</sup>	5.61±1.39	1.78±0.39	1.13±0.01

续表 2

mmol/L

周龄	苏禽 6 号蛋鸡			海兰褐蛋鸡		
	TG	TC	FFA	TG	TC	FFA
34	4.64±0.88	1.32±0.39 <sup>##</sup>	1.02±0.02 <sup>**</sup>	5.64±2.79	1.93±0.41	1.00±0.05
36	4.78±2.65	1.49±0.46	0.73±0.03 <sup>**</sup>	6.19±2.80	1.68±0.43	0.72±0.03
38	5.64±2.11	1.36±0.97	0.66±0.01 <sup>**##</sup>	6.28±1.74	2.08±0.37	0.64±0.02
40	5.81±1.85	1.18±0.40 <sup>##</sup>	0.50±0.01 <sup>**</sup>	7.33±3.11	2.21±0.51	0.51±0.02
44	4.86±3.05	0.79±0.27 <sup>**##</sup>	0.81±0.02 <sup>**</sup>	5.50±1.53	1.74±0.20	0.84±0.03
48	5.08±1.28	0.92±0.34 <sup>##</sup>	0.94±0.03 <sup>**##</sup>	7.86±4.82	2.00±0.74	0.99±0.02
52	7.05±3.70	1.33±0.74	0.87±0.04 <sup>**</sup>	7.09±2.92	1.71±0.54	0.89±0.03
56	4.16±1.60 <sup>##</sup>	0.68±0.40 <sup>**##</sup>	0.92±0.03 <sup>*</sup>	8.84±3.55	2.19±0.47	0.94±0.05
60	8.64±6.83	1.43±0.86 <sup>*#</sup>	0.58±0.02 <sup>**</sup>	7.58±1.86	2.21±0.27	0.58±0.02

注：苏禽 6 号蛋鸡相同指标每次测定值与上一个测定值间比较，\*表示差异显著 ( $P<0.05$ )，\*\*表示差异极显著 ( $P<0.01$ )；两蛋鸡品种相同周龄相同指标间比较，#表示差异显著 ( $P<0.05$ )，##表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。下同。

## 2.2 血清脂蛋白指标

由表 3 可见，苏禽 6 号蛋鸡随着周龄增长，HDL 含量整体呈下降趋势，其中 30、38 周龄极显著降低 ( $P<0.01$ )；而 LDL 含量则在 30、44 周龄显著降低 ( $P<0.05$ )，60 周龄显著升高 ( $P<0.05$ )，其余周龄无显著变化 ( $P>0.05$ )。

苏禽 6 号蛋鸡与海兰褐蛋鸡比较，HDL 含量 24 周龄前 (除 22 周龄) 无显著差异 ( $P>0.05$ )，其他时间段表现出显著或极显著差异 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )；LDL 含量 28 周龄前无显著差异 ( $P>0.05$ )，30 周龄后波动明显 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。

表 3 不同周龄和品种间血清脂蛋白指标比较

mmol/L

周龄	苏禽 6 号蛋鸡		海兰褐蛋鸡	
	HDL	LDL	HDL	LDL
19	1.84±0.81	0.74±0.27	1.57±0.55	1.31±0.79
20	1.69±0.79	1.07±0.56	1.60±0.68	1.53±0.91
21	0.96±0.57	1.10±0.42	0.86±0.12	1.26±0.18
22	0.59±0.10 <sup>#</sup>	1.25±0.62	0.79±0.20	1.36±0.79
23	0.99±0.58	1.54±0.90	0.78±0.13	1.15±0.31
24	0.60±0.18	1.24±0.62	0.74±0.10	1.45±0.42
25	0.54±0.14 <sup>#</sup>	1.02±0.78	0.67±0.11	1.24±0.51
26	0.53±0.11 <sup>#</sup>	1.17±0.56	0.68±0.10	1.27±0.49
27	0.52±0.14 <sup>#</sup>	1.33±0.85	0.69±0.08	0.72±0.11
28	0.46±0.10 <sup>##</sup>	1.53±0.75	0.69±0.14	0.97±0.77
30	0.26±0.07 <sup>**##</sup>	0.69±0.26 <sup>*#</sup>	0.39±0.05	1.06±0.30
32	0.25±0.07 <sup>##</sup>	0.60±0.31 <sup>##</sup>	0.38±0.09	1.07±0.26
34	0.32±0.08 <sup>#</sup>	0.73±0.19 <sup>#</sup>	0.41±0.06	1.03±0.24
36	0.41±0.20	0.73±0.27	0.37±0.10	0.83±0.23
38	0.19±0.04 <sup>**##</sup>	0.62±0.39 <sup>##</sup>	0.48±0.14	1.35±0.52
40	0.25±0.09 <sup>##</sup>	0.67±0.20 <sup>##</sup>	0.47±0.09	1.24±0.35
44	0.23±0.06 <sup>##</sup>	0.44±0.14 <sup>*##</sup>	0.41±0.07	0.91±0.16
48	0.23±0.06 <sup>##</sup>	0.49±0.20 <sup>##</sup>	0.36±0.08	1.08±0.49
52	0.24±0.09 <sup>##</sup>	0.71±0.39	0.37±0.06	0.92±0.31
56	0.19±0.08 <sup>##</sup>	0.38±0.22 <sup>##</sup>	0.47±0.08	1.12±0.28
60	0.25±0.09 <sup>##</sup>	0.82±0.53 <sup>*</sup>	0.48±0.09	1.23±0.22

### 2.3 血清卵黄前体蛋白指标

由表 4 可见, 随着周龄增长, 苏禽 6 号蛋鸡 VLDL<sub>y</sub> 含量在 25、30 周龄极显著升高 ( $P<0.01$ ), 32 周龄显著降低 ( $P<0.05$ ), 其余周龄无显著变化 ( $P>0.05$ ); 而 VTG 含量上下波动变化明显, 其中 21、24、28、32、44、48 周龄时显著或极显著降低

( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 25、34、36、40、60 周龄显著或极显著升高 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。

苏禽 6 号蛋鸡与海兰褐蛋鸡相比, VLDL<sub>y</sub> 含量除 36 周龄显著提高 ( $P<0.05$ ), 其余周龄无显著差异 ( $P>0.05$ ); 而 VTG 含量除 19 和 28 周龄极显著降低 ( $P<0.01$ ), 其余周龄无显著差异 ( $P>0.05$ )。

表 4 不同周龄和品种间血清卵黄前体蛋白指标比较

ng/mL

周龄	苏禽 6 号蛋鸡		海兰褐蛋鸡	
	VLDL <sub>y</sub>	VTG	VLDL <sub>y</sub>	VTG
19	353.37±40.08	70.39±6.95 <sup>##</sup>	363.60±33.21	82.44±6.51
20	371.93±33.90	79.51±10.86	356.24±47.27	88.69±8.47
21	342.56±32.03	65.77±9.24 <sup>*</sup>	335.31±36.61	69.79±9.62
22	320.24±34.26	66.67±9.81	327.74±32.40	72.38±8.19
23	342.31±33.78	74.68±5.31	354.00±58.64	80.53±9.49
24	332.90±28.51	59.09±7.92 <sup>**</sup>	338.82±48.00	62.69±7.19
25	390.13±30.22 <sup>**</sup>	74.12±15.35 <sup>*</sup>	377.36±54.08	78.70±10.36
26	349.95±45.32	67.09±8.16	345.23±47.88	72.57±4.57
27	324.68±51.55	66.47±7.11	341.30±44.94	68.49±7.75
28	308.12±38.15	53.18±9.00 <sup>***</sup>	335.47±30.48	64.21±5.45
30	399.80±62.41 <sup>**</sup>	55.80±4.64	392.23±57.91	58.51±5.50
32	306.54±35.49 <sup>*</sup>	36.44±4.98 <sup>**</sup>	306.82±41.50	37.20±6.93
34	344.94±53.39	42.63±6.47 <sup>*</sup>	349.99±64.64	41.66±8.58
36	385.31±38.28 <sup>#</sup>	54.14±5.38 <sup>**</sup>	340.22±41.07	53.29±4.46
38	410.55±23.42	56.43±6.30	376.64±54.15	58.12±5.85
40	395.48±79.85	62.69±5.02 <sup>*</sup>	431.11±81.29	67.33±5.27
44	337.29±58.63	48.63±5.94 <sup>**</sup>	346.20±28.43	49.10±4.55
48	338.23±62.98	41.23±7.52 <sup>*</sup>	326.93±30.77	44.07±5.45
52	344.52±53.93	47.28±7.68	334.31±49.48	48.18±6.65
56	370.90±69.99	44.24±7.16	340.57±65.06	47.13±6.05
60	402.80±37.62	63.75±7.82 <sup>**</sup>	390.82±34.01	61.43±5.14

### 2.4 腹脂率和肝脏指数

由表 5 可见, 随着周龄增长, 苏禽 6 号蛋鸡肝脏指数 36 周龄前无显著变化 ( $P>0.05$ ), 36、38 周龄显著升高 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 40 周龄极显著降低 ( $P<0.01$ ), 之后无显著变化 ( $P>0.05$ )。

苏禽 6 号蛋鸡与海兰褐蛋鸡相比, 腹脂率除 21、25 周龄外, 26 周龄前均显著或极显著提高 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 27 周龄后无显著差异 ( $P>0.05$ ); 肝脏指数 22、23、38、56 周龄显著或极显著提高 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ), 其余周龄无显著差异 ( $P>0.05$ )。

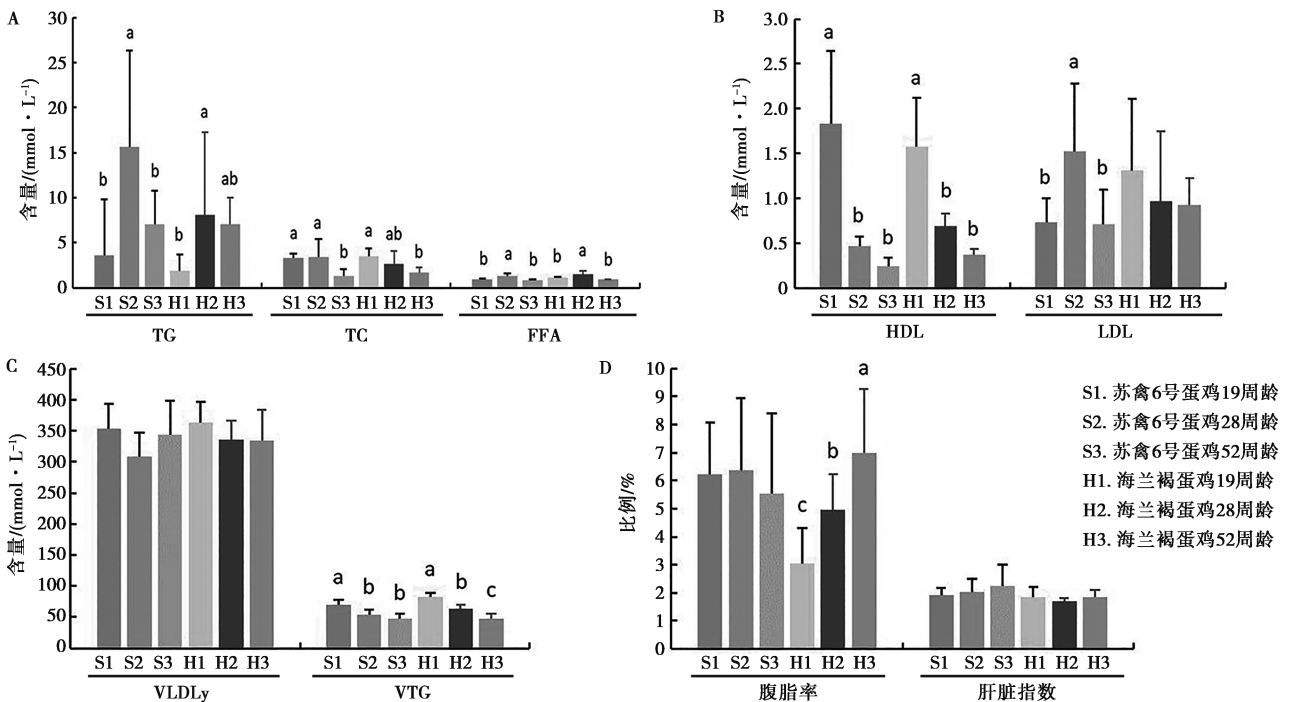
### 2.5 产蛋重要时期各指标比较

比较产蛋前期 (19 周龄)、高峰期 (28 周龄) 与后期 (52 周龄) 血清中各脂质代谢指标及腹脂率、肝脏指数, 由图 1 可知, 各脂代谢指标中, TG、FFA 和 LDL 在苏禽 6 号蛋鸡产蛋高峰期显著高于前期和后期, 而海兰褐蛋鸡仅 FFA 在产蛋高峰期显著高于前期和后期 ( $P<0.05$ ); HDL 和 VTG 在苏禽 6 号蛋鸡和海兰褐蛋鸡中均是前期显著高于高峰期和后期 ( $P<0.05$ ), 而腹脂率仅在海兰褐蛋鸡各时期有显著差异 ( $P<0.05$ ); VLDL<sub>y</sub> 和肝脏指数在两品种鸡中均无显著差异 ( $P>0.05$ )。

表5 不同周龄和品种间腹脂率、肝脏指数比较

%

周龄	苏禽6号蛋鸡		海兰褐蛋鸡	
	腹脂率	肝脏指数	腹脂率	肝脏指数
19	62.09±18.71 <sup>##</sup>	19.11±2.72	30.58±12.52	18.44±3.69
20	65.25±22.44 <sup>##</sup>	21.16±5.23	38.74±10.04	17.30±2.01
21	60.51±19.22	21.32±5.47	48.16±8.84	19.12±1.63
22	63.20±7.51 <sup>##</sup>	20.99±4.57 <sup>#</sup>	41.14±11.78	16.67±2.45
23	75.71±20.41 <sup>##</sup>	24.63±6.61 <sup>#</sup>	46.19±15.13	17.62±1.38
24	71.55±12.41 <sup>#</sup>	21.23±5.03	50.02±17.09	19.17±1.35
25	67.39±19.70	19.38±2.06	51.74±15.22	17.76±2.11
26	73.16±17.94 <sup>#</sup>	20.51±4.20	53.77±16.90	17.83±0.86
27	51.77±26.02	19.66±3.32	58.45±13.85	17.05±1.48
28	63.54±25.78	20.19±4.77	49.55±12.79	16.91±1.29
30	61.33±18.56	19.38±1.50	51.08±6.55	17.90±2.42
32	48.17±17.06	19.81±3.43	48.48±6.21	17.53±2.98
34	56.88±9.20	19.23±2.47	64.93±14.80	16.95±3.73
36	57.83±14.50	16.59±1.66 <sup>*</sup>	53.54±11.28	15.34±1.57
38	48.01±21.41	24.22±4.88 <sup>**###</sup>	51.76±14.86	17.73±2.07
40	57.34±15.25	17.56±2.95 <sup>**</sup>	59.97±15.95	18.43±2.54
44	63.79±19.36	18.25±1.99	68.89±19.91	16.52±3.54
48	62.50±27.04	18.59±2.77	71.97±25.39	17.26±2.17
52	55.28±28.60	22.56±7.46	69.78±22.95	18.53±2.51
56	60.70±26.89	24.85±7.00 <sup>#</sup>	65.54±15.05	17.22±1.90
60	63.80±10.80	20.22±4.67	64.42±26.11	17.36±3.78



注：相同品种相同指标间比较，不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)，字母相同或未标字母表示差异不显著 (P>0.05)。

图1 苏禽6号蛋鸡19、28与52周龄时各指标差异分析

## 2.6 脂代谢指标与腹脂率、肝脏指数间相关性分析

苏禽 6 号蛋鸡血清各脂代谢指标与腹脂率、肝脏指数间的相关性分析见表 6。TG、TC 与 FFA 三者间呈极显著正相关 ( $P<0.01$ )；TC、HDL 与 VTG 三者间也呈极显著正相关 ( $P<0.01$ )；LDL、VTG 与腹脂

率三者间呈显著正相关 ( $P<0.05$ )；LDL 和腹脂率均与 TG、TC 和 FFA 呈极显著正相关 ( $P<0.01$ )；而唯一的极显著负相关是在 FFA 与 VLDL<sub>y</sub> 之间 ( $P<0.01$ )；肝脏指数与其他各指标均无显著相关 ( $P>0.05$ )。

表 6 血清脂代谢指标与腹脂率、肝脏指数相关性分析

项目	TG	TC	FFA	HDL	LDL	VLDL <sub>y</sub>	VTG	腹脂率	肝脏指数
TG	1	0.653**	0.683**	0.001	0.854**	-0.408	0.370	0.569**	0.166
TC		1	0.708**	0.727**	0.888**	-0.304	0.785**	0.644**	0.180
FFA			1	0.325	0.709**	-0.670**	0.283	0.699**	0.197
HDL				1	0.382	-0.100	0.682**	0.366	0.061
LDL					1	-0.386	0.616**	0.600**	0.194
VLDL <sub>y</sub>						1	0.248	-0.269	0.005
VTG							1	0.486*	0.111
腹脂率								1	0.243
肝脏指数									1

注：\* 表示显著相关 ( $P<0.05$ )，\*\* 表示极显著相关 ( $P<0.01$ )。

## 3 讨论

苏禽 6 号蛋鸡是新型高产节粮蛋鸡配套系，性能优秀，市场前景十分广阔。对苏禽 6 号蛋鸡脂质代谢进行系统研究，可以对其饲养期间的生长发育和繁殖状况提供间接数据支撑，指导生产。本研究中，产蛋期苏禽 6 号蛋鸡血清 FFA 含量前期低于海兰褐蛋鸡，后期与其相当，因此苏禽 6 号蛋鸡脂质裂解能力可能前期比高产蛋鸡弱，后期与其相当。农大 3 号矮小蛋鸡 TG 和 TC 含量与高产蛋鸡无显著差异<sup>[20]</sup>，而苏禽 6 号蛋鸡血清中虽然 TG 含量与海兰褐蛋鸡相当，但 TC、HDL 和 LDL 含量后期较低，提示不同品种矮小蛋鸡产蛋期血脂略有差异。因为高水平 HDL 会促进肝外组织胆固醇向肝内流动，降低动脉粥样硬化风险<sup>[21]</sup>，而高水平 LDL 会促进肝脏胆固醇向肝外组织流动，增加动脉粥样硬化风险<sup>[22]</sup>，同样高水平 TC 也会增加动脉粥样硬化风险<sup>[23]</sup>，提示苏禽 6 号蛋鸡产蛋期血清胆固醇代谢机制较复杂。VLDL<sub>y</sub> 和 VTG 是形成卵黄的重要前体蛋白，富含脂质，血清中 VLDL<sub>y</sub> 和 VTG 水平与蛋鸡繁殖性能密切相关<sup>[24-25]</sup>。产蛋期苏禽 6 号蛋鸡血清 VTG 含量一直波动变化，说明其在产蛋期卵黄生成并不稳定，而 VLDL<sub>y</sub> 和 VTG 含量与海兰褐蛋鸡基本相当，说明苏禽 6 号蛋鸡与海兰褐蛋鸡繁殖性能基本相当。产蛋期苏禽 6 号蛋鸡腹脂率前期高于海兰褐蛋鸡，后期与其相当，说明苏禽 6 号蛋鸡产蛋期脂肪沉积前期较快，后期减慢；而肝脏指数略高于海兰褐蛋鸡，提示苏禽 6 号蛋

鸡产蛋期肝脏负荷较重。

从产蛋前期、高峰期与后期的指标比较可以看出哪些指标对产蛋较重要，本研究中不管是苏禽 6 号蛋鸡还是海兰褐蛋鸡，血清脂代谢指标中 FFA 含量均是高峰期显著高于前期和后期，提示 FFA 含量对维持 2 个鸡种的产蛋均很重要，而 TG 和 LDL 仅在苏禽 6 号蛋鸡高峰期显著高于其他时期，提示 TG 和 LDL 对苏禽 6 号蛋鸡产蛋更重要。HDL 和 VTG 均是前期显著高于高峰期和后期，提示 HDL 和 VTG 对开产更重要。腹脂率在海兰褐蛋鸡中与 HDL 和 VTG 相反，后期显著高于前期，而在苏禽 6 号蛋鸡中一直较高，3 个时期无显著变化，结合苏禽 6 号蛋鸡产蛋弱于海兰褐蛋鸡，提示腹脂沉积影响产蛋，而控制早期腹脂率可能会提高苏禽 6 号蛋鸡产蛋量。

相关性可以为性状间的关系提供一个直观描述，为育种中特定性状的选育提供一个较为合适的选择指标。东乡绿壳蛋鸡血清 TC 含量与 TG 显著正相关，与 HDL 负相关<sup>[26]</sup>，而本研究中苏禽 6 号蛋鸡产蛋期血清 TC 与 TG、HDL 均显著正相关，说明不同品种鸡血脂各指标间相关性有所差异。Dong 等<sup>[27]</sup>根据腹脂量进行双向选择，并检测 16~18 代高低脂系鸡群血清脂质代谢指标，发现高脂系血清 HDL 含量显著低于低脂系，而 LDL 和 FFA 含量则显著高于低脂系，说明 FFA、HDL 和 LDL 含量与腹脂量关系最密切，并确定 HDL 为低脂系选种的一个潜在标记。本研究中苏禽 6 号蛋鸡产蛋期血清 TG、TC 等 5 个脂代谢指标与腹脂率显著正相关，提示苏禽 6 号蛋鸡产蛋期适

合根据血脂指标判断腹脂沉积情况。分析血脂代谢指标与其他性状指标的相关性也能为脂代谢性状或其他性状的选育提供理论指导,如成年萧山鸡血浆 TC 含量与屠体重、半净膛重、全净膛重均呈显著正相关,提示可通过血浆 TC 含量的选择进而选择萧山鸡产肉性能<sup>[28]</sup>。限饲的肉鸡脂肪组织中 MYC 基因(参与细胞增殖)表达量与血清 TG 含量呈显著负相关,提示可通过 MYC 基因表达量的选择进而选择脂质代谢性能<sup>[29]</sup>。因此,对苏禽 6 号蛋鸡血清脂质代谢指标与其他性状指标的相关性分析,有望为各性状的选择提供新思路,值得进一步研究。

患有脂肪肝出血综合征的鸡血清中 TG、TC 和 LDL 含量显著高于正常鸡,而 HDL 含量则显著低于正常鸡,说明 TG、TC 和 LDL 含量的升高和 HDL 含量的降低会导致鸡肝脏脂肪病变,并造成脂质代谢紊乱,降低生产性能<sup>[16]</sup>。因此,对鸡脂质代谢进行调控可以改善或提高生产性能。苏禽 6 号蛋鸡产蛋期血清脂代谢指标反映了其脂代谢水平,间接反映其营养和健康情况,为进一步研究苏禽 6 号蛋鸡脂质代谢打下基础。另外,有研究报道,脂质代谢还影响鸡雄性生殖细胞分化,使用脂质代谢中视黄醇代谢通路的终产物视黄酸诱导胚胎干细胞,可以使其向精原干细胞分化,而在诱导过程中使用视黄醇代谢通路抑制剂则会减少精原干细胞产生<sup>[30]</sup>,提示苏禽 6 号蛋鸡公鸡的繁殖性能可能也受脂质代谢影响,值得进一步研究。

## 参考文献:

- 肖聪,李淑霞,邹乐勤,等.广西 6 个地方鸡品种蛋重、蛋形指数和孵化成绩分析[J].畜牧与兽医,2021,53(8):13-17.
- 张学余,苏一军,李国辉,等.11 个鸡品种产蛋性能与产区生态的聚类分析[J].家畜生态学报,2012,33(2):50-54.
- 李健,赵桂苹,郑麦青,等.北京油鸡与白莱航蛋鸡产蛋规律差异研究[J].中国家禽,2008,30(11):9-10.
- 杨宁,孙从佼.蛋鸡种业的昨天、今天和明天[J].中国畜牧业,2021,30(16):22-24.
- 宁中华,吴常信,杨宁,等.节粮小型蛋鸡——农大 3 号的培育[J].农业生物技术学报,2013,21(6):753-758.
- 孙研研,江琳琳,石雷,等.北京油鸡及相关品系和配套系鸡蛋的蛋品质比较[J].中国家禽,2019,41(22):57-60.
- 李鸿飞,宋亚伊,田亚东,等.“豫粉 1 号”配套系商品代蛋鸡产蛋率曲线拟合及蛋品质分析[J].中国畜牧兽医,2017,44(6):1680-1687.
- 张华杰,张芳毓,赵中利,等.鸡性连锁矮小基因的研究进展及应用现状[J].黑龙江畜牧兽医,2017,60(7):104-106.
- 李英奇,梁雅旭,高霄霄,等.高能饲料对湖羊肝脏能量与脂代谢相关基因表达的影响[J].南京农业大学学报,2022,45(3):562-569.
- 罗兴.高脂饲料中添加含硫氨基酸和溶血卵磷脂对大菱鲆幼鱼生长及脂代谢的影响[D].大连:大连海洋大学,2022.
- 戴智芳.成人糖尿病体形指数与血糖血脂代谢指标之间的关系研究进展[J].黑龙江中医药,2021,50(5):97-98.
- 王帅,程光辉,薛超杰,等.白藜芦醇对动脉粥样硬化大鼠脂代谢及抗氧化作用的研究[J].中医临床研究,2022,14(7):11-14.
- 陈金文,杨山,莫棣华,等.日粮能量和蛋白水平对肉鸡腹脂和血脂的影响[J].动物营养学报,1998,10(1):20-28.
- 徐良梅,牛树鹏,张慧,等.肉种鸡能量限饲对胚胎期血清脂代谢相关指标影响[J].东北农业大学学报,2013,44(6):32-37.
- 李永峰,邵丹,童海兵.蛋鸡脂肪肝综合征的研究进展[J].中国家禽,2022,44(4):101-107.
- 姜锦鹏,顾有方,吕锦芳,等.鸡脂肪肝出血综合征发生过程中脂质代谢与血清甲状腺激素水平变化[J].中国兽医学报,2013,33(11):1733-1737.
- 张义.稀土壳聚糖对四川山地乌骨鸡脂类代谢及促生长作用的影响[D].成都:四川农业大学,2008.
- 吴斯诺,臧素敏,郭欣,等.亚麻籽油对太行鸡产蛋期生产性能、蛋品质及血脂指标的影响[J].中国家禽,2019,41(11):22-26.
- 龚道清,李辉.肉鸡腹脂沉积与重要经济性状关系的研究进展[J].当代畜牧,2000,18(3):28-30.
- 曾丹,乔红光,宁中华.矮小型褐壳蛋鸡与普通蛋鸡血液生理生化指标比较分析[J].中国家禽,2010,32(6):12-14.
- 张海岳,关经纬,王族,等.高密度脂蛋白对缺血性脑卒中急性期患者外周血中免疫细胞分布的影响[J].实用临床医药杂志,2021,25(17):37-42.
- 米春芳,刘庆平.血浆低密度脂蛋白和高密度脂蛋白亚组分的临床意义及检测研究进展[J].中国动脉硬化杂志,2017,25(10):1054-1060.
- 胡闽闽,秦虹.芝麻木脂素调节脂代谢作用机制的研究进展[J].卫生研究,2021,50(5):859-863.
- SCHNEIDER W J. Lipoprotein receptors in oocyte growth [J]. Clinical Investigation, 1992, 70(5): 385-390.
- 王晓利.荧光蛋白标记的 t-PA EGF 缺失基因在鸡体内定位表达及靶向转运[D].洛阳:河南科技大学,2011.
- 徐彩丽,冯培勇.东乡绿壳蛋鸡和东乡褐壳蛋鸡血清指标、蛋黄总胆固醇含量、蛋黄比例的比较[J].黑龙江畜牧兽医,2015,58(19):137-139.
- DONG J Q, ZHANG H, JIANG X F, et al. Comparison of serum biochemical parameters between two broiler chicken lines divergently selected for abdominal fat content [J]. Journal of Animal Science, 2015, 93(7): 3278-3286.
- 徐琪,张学余,谢恺舟,等.萧山鸡血浆胆固醇含量及其与屠宰性能相关性分析[J].四川畜牧兽医,2003,31(4):18-19.
- KIM J W, FLETCHER D L, CAMPION D R, et al. Effect of dietary manipulation on c-myc RNA expression in adipose tissue, muscle and liver of broiler chickens [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1991, 180(1): 1-7.
- 左其生,张蕾,连超,等.脂代谢通路对鸡雄性生殖细胞分化的调控机制[J].中国农业科学,2015,48(22):4539-4550.