

饲料苏氨酸水平对 1~21 日龄黄羽肉鸡生长性能、胴体品质、脂肪代谢和免疫功能的影响

林厦菁 席鹏彬 王一冰 范秋丽 程忠刚 丁发源 郑春田 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: 本试验旨在通过研究饲料苏氨酸水平对 1~21 日龄黄羽肉鸡生长性能、胴体品质、脂肪代谢和免疫功能的影响, 以确定 1~21 日龄黄羽肉鸡适宜的苏氨酸需要量。试验选用 1 日龄快大型岭南黄羽肉鸡雏鸡 2 000 只, 按体重相同原则随机分为 5 组, 每组 8 个重复 (公母各占 1/2), 每个重复 50 只鸡。5 个组的试验鸡分别饲喂含 0.60% (基础饲料)、0.67%、0.74%、0.81% 和 0.88% 苏氨酸的饲料, 试验期为 21 d。结果表明: 1) 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡公鸡、母鸡的末重、平均日增重、平均日采食量和料重比 ($P < 0.05$)。0.88% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡母鸡平均日增重和平均日采食量最高, 0.74% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡公鸡平均日增重和平均日采食量最高。根据生长性能指标和回归分析结果, 确定黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.81%, 黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.79%。2) 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡公鸡、母鸡的全净膛率、半净膛率和腿肌率 ($P < 0.05$)。0.88% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡母鸡半净膛率和全净膛率最高, 0.74% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡母鸡腿肌率最高; 0.81% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡公鸡半净膛率最高, 0.74% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡公鸡全净膛率和腿肌率最高。根据胴体品质指标和回归分析结果, 确定黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.77%, 黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.88%。3) 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡公鸡、母鸡的胸腺指数 ($P < 0.05$), 其中 0.88% 苏氨酸水平组黄羽肉鸡公鸡和母鸡胸腺指数最高。4) 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡母鸡血清中甘油三酯 (TG)、免疫球蛋白 G (IgG)、白细胞介素-6 (IL-6) 和胰岛素 (INS) 含量有显著影响 ($P < 0.05$), 其中 0.88% 苏氨酸水平组血清中 TG 和 INS 含量最低, 0.88% 苏氨酸水平组血清中 IL-6 和 IgG 含量最高; 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡公鸡血清中低密度脂蛋白、INS、IL-6 和 IgG 含量有显著影响 ($P < 0.05$), 其中 0.88% 苏氨酸水平组血清中 LDL 和 INS 含量最低, 0.88% 苏氨酸水平组血清中 IL-6 和 IgG 含量最高。5) 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡血液中 T 淋巴细胞增殖率 ($P < 0.05$), 黄羽肉鸡母鸡和公鸡均是 0.81% 苏氨酸水平组血液中 T 淋巴细胞增殖率最高。由以上结果可以得出, 饲料中添加适宜水平苏氨酸可以提高黄羽肉鸡生长性能、胴体品质和增强免疫功能。以生长性能为主要判定指标, 确定 1~21 日龄黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.81%, 黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.79%。

关键词: 黄羽肉鸡; 苏氨酸; 生长性能; 胴体品质; 免疫功能; 营养需要

中图分类号: S831.5

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)04-2013-11

收稿日期: 2020-09-25

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0500600); 国家肉鸡产业技术体系项目 (CARS-41-G10); 国家自然科学基金青年基金项目 (31802104); 广东省科技计划项目 (2017B020202003); 广州市科技计划重点项目 (201804020091); 广东省农业科学院院长基金项目 (201805, 201807B, 201809B, 201908); 科技创新战略专项资金 (高水平农科院建设) (R2019PY-QF008)

作者简介: 林厦菁 (1988—), 女, 福建尤溪人, 助理研究员, 硕士, 从事黄羽肉鸡营养与饲料科学研究。E-mail: 93783419@qq.com

* 通信作者: 蒋守群, 研究员, 硕士生导师, E-mail: jsqun3100@sohu.com

近些年,优质蛋白质饲料匮乏日益严重,价格居高不下。为了节约蛋白质饲料资源、降低饲料成本、减少畜禽养殖业对环境的污染,合成氨基酸强化的低蛋白质饲料配制技术的研究及应用日益受到重视,特别是合成赖氨酸、蛋氨酸已普遍用于肉鸡配合饲料中,这使得苏氨酸作为肉鸡第三限制性氨基酸^[1],在饲料中的重要性更为突出。苏氨酸参与机体蛋白质的合成^[2]、免疫应答^[3],还具有提高动物生长性能^[4]、改善胴体品质的作用^[5]。当前,有关快大型黄羽肉鸡苏氨酸需要量的研究甚少,而近3年来快大型黄羽肉鸡的市场占有率接近50%。因此,本试验以快大型岭南黄羽肉鸡为研究对象,研究了饲料苏氨酸水平对1~21日龄黄羽肉鸡生长性能、胴体品质、脂肪代谢和免疫功能的影响,并确定不同性别黄羽肉鸡的苏氨酸需要量,为科学配制黄羽肉鸡饲料提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验动物和分组处理

选用2000只1日龄健康、发育良好的快大型岭南黄羽肉鸡雏鸡,采用单因素随机分组设计,根据体重一致原则将试验鸡分为5个组,每个组8个重复(公、母各4个重复),每个重复50只鸡。

1.2 试验饲料

试验采用玉米-花生粕基础饲料,营养水平参考《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)^[6]与本单位建立的黄羽肉鸡饲养标准,参照《中国饲料成分及营养价值表》(2018年第29版)^[7]和实测值设计饲料配方。除苏氨酸外,各组饲料营养水平均一致,试验各组饲料苏氨酸水平分别为0.60%(基础饲料)、0.67%、0.74%、0.81%和0.88%。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(饲喂基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (as-fed basis)

%

项目 Items	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%				
	0.60	0.67	0.74	0.81	0.88
原料 Ingredients					
玉米 Corn	65.340	65.340	65.340	65.340	65.340
花生粕 Peanut meal	25.300	25.300	25.300	25.300	25.300
鱼粉 Fish meal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
大豆油 Soybean oil	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
石粉 Limestone	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.450	1.450	1.450	1.450	1.450
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.570	0.570	0.570	0.570	0.570
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.190	0.190	0.190	0.190	0.190
异亮氨酸 Ile	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
缬氨酸 Val	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
苏氨酸 Thr		0.075	0.143	0.214	0.286
沸石粉 Zeolite power	0.300	0.225	0.157	0.086	0.014
预混料 Premix ¹⁾	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
食盐 NaCl	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
合计 Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.51	12.51	12.51	12.51	12.51
粗蛋白质 CP	21.03	21.03	21.03	21.03	21.03
钙 Ca	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
有效磷 AP	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
赖氨酸 Lys	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
蛋氨酸 Met	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
苏氨酸 Thr	0.60	0.67	0.74	0.81	0.88

续表 1

项目 Items	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%				
	0.60	0.67	0.74	0.81	0.88
色氨酸 Trp	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
异亮氨酸 Ile	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
缬氨酸 Val	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
精氨酸 Arg	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kilogram of diets: VA 15 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 10 IU, VK 6 mg, VB₁ 3 mg, VB₂ 9 mg, VB₆ 6 mg, VB₁₂ 0.03 mg, 烟酸 niacin 60 mg, D-泛酸钙 D-calcium pantothenate 18 mg, 叶酸 folic acid 1.5 mg, 生物素 biotin 0.06 mg, 胆碱 choline 1 200 mg, Fe 80 mg, Cu 6.4 mg, Mn 96 mg, Zn 80 mg, I 0.56 mg, Se 0.24 mg。

2) 粗蛋白质为实测值, 其他为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 饲养管理

饲养试验于广东省农业科学院动物科学研究所试验场雏鸡舍进行, 采用地面平养, 地面铺放干燥木屑, 每个重复试验鸡饲养于一栏 (长 3.8 m×宽 1.3 m), 栏间用不锈钢框架和塑料网分隔, 各组的饲养环境条件一致。试验鸡自由采食、饮水, 每栏用保温灯维持舍温在 32 ℃左右, 自然光照并适量限制通风。其他按常规饲养操作规程饲养, 并按常规免疫程序免疫。试验期为 21 d。

1.4 测定指标

1.4.1 生长性能

试验开始和结束前 1 天 22:00 断料供水, 次日 08:00, 以重复为单位准确称重, 统计耗料量, 计算平均日增重、平均日采食量和料重比, 试验过程中每日观察记录鸡只的健康状况、采食与排泄物情况。

1.4.2 胴体品质和免疫器官指数

试验结束当天, 每个重复选接近平均体重试验鸡 2 只, 称重。去羽毛、脚皮、趾壳、喙壳后称重, 得到屠体重。半净膛: 屠体重去气管、食道、嗦囊、肠、脾脏、胰脏、胆和生殖器官的重量。全净膛: 半净膛重去心脏、肝脏、腺胃、肌胃、脂肪及头、脚的重量。保留心脏、肝脏、肾脏、腺胃、肌胃 (去角质膜和内容物)、腹部脂肪、肌胃周围的脂肪和肺脏、肾脏的重量。然后再分割胸肌、腿肌和腹脂 (含肌胃周围脂肪), 并称量, 计算以屠体重为基础的胸肌率、腿肌率和腹脂率。计算以屠体重为基础的脾脏、胸腺和法氏囊的器官指数。

1.4.3 血清生化指标

试验结束时, 每个重复选取接近平均体重的

试验鸡 2 只, 使用不含抗凝剂的采血管翅静脉采血 2 mL, 3 000 r/min 离心 15 min, 分离血清。试验鸡血清中甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白 (LDL) 和尿酸 (UA) 含量均使用多功能酶标仪 (Spectra Max M-5, Molecular Devices 公司, 美国) 测定, 相关试剂盒由南京建成生物工程研究所提供; 血清中胰岛素 (INS)、生长激素 (GH)、三碘甲状腺原氨酸 (T₃)、甲状腺素 (T₄)、胰岛素样生长因子-1 (IGF-1) 含量测定采用 GC-2016γ 计数仪, 相关试剂盒由北京北方生物技术研究所提供; 血清中免疫球蛋白 G (IgG)、白细胞介素-6 (IL-6) 含量测定采用酶联免疫吸附试验 (ELISA) 法使用多功能酶标仪 (Spectra Max M-5, Molecular Devices 公司, 美国), 相关试剂盒由江苏麦莎实业有限公司提供。

1.4.4 血液细胞免疫指标

每个重复选取接近平均体重的试验鸡 2 只, 使用含有抗凝剂的采血管翅静脉采血 3 mL 常规分离淋巴细胞^[8], 按照试剂盒说明书加入 CD4⁺ 和 CD8⁺ 单克隆抗体 (Southern Biotechnology Associates, 美国) 采用流式细胞仪 (BD Accuri C6 Plus, Becton, Dickinson and Company 公司, 美国) 测定, 通过计算得到 CD4⁺/CD8⁺ 值。血液中 T 淋巴细胞增殖率采用四甲基偶氮苯唑盐 (MTT) 法^[9] 使用多功能酶标仪 (Spectra Max M-5, Molecular Devices 公司, 美国) 测定。

1.5 数据统计分析

试验数据采用 SAS V8.0 软件的 GLM 程序进行方差分析, 统计显著水平为 $P < 0.05$, 在差异显著的基础上采用 Duncan 氏法进行多重比较。对差

异显著的关键评价指标采用二次曲线模型^[10] [$Y = aX^2 + bX + c$, Y 代表对应指标测定值, X 代表饲料苏氨酸水平, a 和 b 分别为回归方程二次项和一次项的系数, c 为方程的常数项, $X_0 = -b/(2 \times a)$ 为饲料苏氨酸最适水平] 进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知, 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡公鸡、母鸡的末重、平均日增重、平均日采食量和料重比 ($P < 0.05$)。对于母鸡而言, 0.88% 苏氨酸水平组试验鸡平均日增重最高, 较 0.60%、0.67%、0.74% 和 0.81% 苏氨酸水平组分别提高了 41.09% ($P < 0.05$)、12.86% ($P < 0.05$)、2.98% ($P > 0.05$) 和 4.17% ($P > 0.05$); 0.88% 苏氨酸水平组试验鸡平均日采食量最高, 较 0.60%、0.67%、0.74% 和 0.81% 苏氨酸水平组分别提高了 22.50% ($P < 0.05$)、7.39% ($P < 0.05$)、2.76% ($P > 0.05$) 和 3.64%

($P > 0.05$)。对于公鸡而言, 0.74% 苏氨酸水平组试验鸡平均日增重最高, 较 0.60%、0.67%、0.81% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 58.05% ($P < 0.05$)、14.27% ($P < 0.05$)、4.69% ($P > 0.05$) 和 8.11% ($P > 0.05$); 0.74% 苏氨酸水平组试验鸡平均日采食量最高, 较 0.60%、0.67%、0.81% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 34.94% ($P < 0.05$)、5.83% ($P > 0.05$)、2.83% ($P > 0.05$) 和 3.56% ($P > 0.05$)。回归分析结果(表 3) 显示, 饲料苏氨酸水平与黄羽肉鸡母鸡和公鸡的平均日增重呈显著的二次相关 ($P < 0.05$), 根据平均日增重和平均日采食量回归方程计算得出黄羽肉鸡母鸡和公鸡饲料苏氨酸最适水平分别为 0.83% 和 0.79%, 根据料重比回归方程计算得出黄羽肉鸡母鸡和公鸡饲料苏氨酸最适水平分别为 0.81% 和 0.79%。因此, 根据生长性能指标, 确定黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.81%, 黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.79%。

表 2 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary threonine levels on growth performance of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%					SEM	P 值 P-value
		0.60	0.67	0.74	0.81	0.88		
始重	母鸡 Female	38.93	38.85	38.86	38.74	38.80	0.03	0.873 4
Initial weight/g	公鸡 Male	39.10	39.14	39.05	39.09	39.08	0.05	0.827 0
末重	母鸡 Female	280.60 ^a	340.95 ^b	370.00 ^{bc}	366.10 ^{bc}	379.70 ^c	9.72	0.000 1
Final weight/g	公鸡 Male	276.43 ^a	367.40 ^b	414.12 ^c	397.31 ^{bc}	385.99 ^{bc}	13.36	0.000 1
平均日增重	母鸡 Female	11.51 ^a	14.39 ^b	15.77 ^{bc}	15.59 ^{bc}	16.24 ^c	0.46	<0.000 1
ADG/g	公鸡 Male	11.30 ^a	15.63 ^b	17.86 ^c	17.06 ^{bc}	16.52 ^{bc}	0.64	0.000 1
平均日采食量	母鸡 Female	21.60 ^a	24.64 ^b	25.75 ^{bc}	25.53 ^{bc}	26.46 ^c	0.46	<0.000 1
ADFI/g	公鸡 Male	20.72 ^a	26.42 ^b	27.96 ^b	27.19 ^b	27.00 ^b	0.77	0.000 1
料重比	母鸡 Female	1.88 ^b	1.72 ^a	1.63 ^a	1.64 ^a	1.63 ^a	0.04	0.001 1
F/G	公鸡 Male	1.84 ^c	1.70 ^b	1.57 ^a	1.60 ^a	1.64 ^{ab}	0.03	0.000 5

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

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

表 3 饲料苏氨酸水平与黄羽肉鸡生长性能回归分析

Table 3 Regression analysis of dietary threonine levels and growth performance of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	回归方程 Regression equation	R^2	P 值 P-value
平均日增重	母鸡 Female	$Y = -87.755X^2 + 145.106X - 43.764$	0.957	0.043
ADG	公鸡 Male	$Y = -186.152X^2 + 292.462X - 96.987$	0.969	0.031
平均日采食量	母鸡 Female	$Y = -80.904X^2 + 134.895X - 29.930$	0.931	0.049
ADFI	公鸡 Male	$Y = -205.394X^2 + 323.025X - 98.694$	0.934	0.046
料重比	母鸡 Female	$Y = 5.831X^2 - 9.458X + 5.449$	0.976	0.024
F/G	公鸡 Male	$Y = 7.580X^2 - 11.933X + 6.275$	0.972	0.028

2.2 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡胴体品质的影响

由表 4 可知, 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽肉鸡公鸡、母鸡的全净膛率、半净膛率和腿肌率 ($P < 0.05$)。对于母鸡而言, 0.88% 苏氨酸水平组试验鸡半净膛率和全净膛率最高, 半净膛率较 0.60%、0.67%、0.74% 和 0.81% 苏氨酸水平组分别提高了 6.82%、3.77%、4.53% 和 3.69% ($P < 0.05$), 全净膛率较 0.60%、0.67%、0.74% 和 0.81% 苏氨酸水平组分别提高了 10.12%、5.43%、6.50% 和 5.63% ($P < 0.05$); 0.74% 苏氨酸水平组试验鸡腿肌率最高, 较 0.60%、0.67%、0.81% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 3.78% ($P > 0.05$)、3.88% ($P > 0.05$)、1.33% ($P > 0.05$) 和 8.25% ($P < 0.05$)。对于公鸡而言, 0.81% 苏氨酸水平组试验鸡半净膛率最高, 较 0.60%、0.67%、0.74% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 4.86% ($P < 0.05$)、1.97% ($P > 0.05$)、0.39% ($P > 0.05$) 和 2.64% ($P < 0.05$); 0.74% 苏氨酸

水平组试验鸡全净膛率最高, 较 0.60%、0.67%、0.71% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 7.77% ($P < 0.05$)、2.76% ($P > 0.05$)、0.72% ($P > 0.05$) 和 1.01% ($P > 0.05$); 0.74% 苏氨酸水平组试验鸡腿肌率最高, 较 0.60%、0.67%、0.71% 和 0.88% 苏氨酸水平组分别提高了 2.60% ($P > 0.05$)、2.65% ($P > 0.05$)、5.75% ($P < 0.05$) 和 4.28% ($P > 0.05$)。饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡母鸡和公鸡的屠宰率、腹脂率和胸肌率的影响无显著差异 ($P > 0.05$)。回归分析结果 (表 5) 显示, 饲料苏氨酸水平与公鸡的半净膛率、全净膛率呈显著的二次相关 ($P < 0.05$), 根据半净膛率、全净膛率回归方程计算得出公鸡饲料苏氨酸最适水平分别为 0.77% 和 0.79%, 饲料苏氨酸水平与母鸡胴体品质各项指标均无显著的二次相关 ($P > 0.05$)。因此, 根据胴体品质指标, 确定黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.77%, 黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.88%。

表 4 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡胴体品质的影响

Table 4 Effects of dietary threonine levels on carcass quality of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%					SEM	P 值 P-value
		0.60	0.67	0.74	0.81	0.88		
屠宰率	母鸡 Female	89.13	88.68	88.48	89.18	88.36	0.25	0.475 3
Dressing percentage	公鸡 Male	91.52	90.46	90.64	91.45	90.44	0.36	0.496 7
半净膛率	母鸡 Female	82.26 ^a	84.68 ^b	84.06 ^b	84.74 ^b	87.87 ^c	0.91	0.002 1
Half-eviscerated yield percentage	公鸡 Male	82.54 ^a	84.88 ^{bc}	86.21 ^c	86.55 ^c	84.32 ^b	0.62	0.001 6
全净膛率	母鸡 Female	63.35 ^a	66.17 ^b	65.50 ^{ab}	66.04 ^b	69.76 ^c	0.89	0.000 4
Eviscerated yield percentage	公鸡 Male	62.28 ^a	65.32 ^b	67.12 ^b	66.64 ^b	66.45 ^b	0.69	0.000 6
胸肌率	母鸡 Female	14.30	14.93	14.48	14.55	14.62	0.52	0.943 0
Breast muscle rate	公鸡 Male	14.28	14.53	14.71	14.11	14.55	0.64	0.802 1
腿肌率	母鸡 Female	19.86 ^{ab}	19.84 ^{ab}	20.61 ^b	20.34 ^b	19.04 ^a	0.40	0.040 8
Leg muscle rate	公鸡 Male	21.14 ^{ab}	21.13 ^{ab}	21.69 ^b	20.51 ^a	20.80 ^{ab}	0.38	0.033 2
腹脂率	母鸡 Female	2.20	1.60	1.74	2.09	2.01	0.34	0.384 4
Abdominal fat rate	公鸡 Male	1.59	1.49	1.64	1.98	1.49	0.28	0.537 4

表 5 饲料苏氨酸水平与黄羽肉鸡胴体品质回归分析

Table 5 Regression analysis of dietary threonine levels and carcass quality of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	回归方程 Regression equation	R ²	P 值 P-value
半净膛率	母鸡 Female	$Y = 39.650X^2 - 42.568X + 94.121$	0.807	0.193
Half-eviscerated yield percentage	公鸡 Male	$Y = -147.668X^2 + 226.020X - 0.045$	0.973	0.027
全净膛率	母鸡 Female	$Y = 43.878X^2 - 46.810X + 76.348$	0.783	0.214
Eviscerated yield percentage	公鸡 Male	$Y = -127.405X^2 + 202.360X - 13.169$	0.972	0.028

2.3 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡免疫器官指数的影响

由表 6 可知, 饲料苏氨酸水平显著影响黄羽

肉鸡公鸡、母鸡的胸腺指数 ($P < 0.05$), 对法氏囊指数和脾脏指数无显著影响 ($P > 0.05$), 其中 0.88% 苏氨酸水平组 (公鸡和母鸡) 胸腺指数最高。以免

疫器官指数为判定指标,确定黄羽肉鸡公鸡、母鸡 饲料苏氨酸最适水平均为 0.88%。

表 6 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡免疫器官指数的影响

Table 6 Effects of dietary threonine levels on immune organ indices of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%					SEM	P 值 P-value
		0.60	0.67	0.74	0.81	0.88		
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	母鸡 Female	0.31	0.27	0.30	0.27	0.33	0.03	0.584 1
	公鸡 Male	0.26	0.29	0.38	0.27	0.31	0.03	0.546 6
脾脏指数 Spleen index	母鸡 Female	0.13	0.11	0.10	0.12	0.11	0.01	0.505 5
	公鸡 Male	0.13	0.12	0.13	0.10	0.10	0.01	0.407 7
胸腺指数 Thymus index	母鸡 Female	0.31 ^a	0.44 ^b	0.44 ^b	0.40 ^{ab}	0.45 ^b	0.03	0.048 6
	公鸡 Male	0.40 ^a	0.43 ^{ab}	0.42 ^{ab}	0.42 ^{ab}	0.51 ^b	0.04	0.034 4

2.4 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

由表 7 可知,饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡血清中 UA、T₃、T₄ 和 IGF-1 含量均无显著影响 ($P > 0.05$),对黄羽肉鸡母鸡血清中 TG、IgG、IL-6 和 INS 含量有显著影响 ($P < 0.05$),其中 0.88% 苏氨酸水平组血清中 TG 和 INS 含量最低,0.88% 苏氨酸

水平组血清中 IL-6 和 IgG 含量最高;饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡公鸡血清中 LDL、INS、IL-6 和 IgG 含量有显著影响 ($P < 0.05$),其中 0.88% 苏氨酸水平组血清中 INS 和 LDL 含量最低,0.88% 苏氨酸水平组血清中 IL-6 和 IgG 含量最高。根据血清生化指标确定黄羽肉鸡公鸡、母鸡饲料苏氨酸最适水平均为 0.88%。

表 7 饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡血清生化指标的影响

Table 7 Effects of dietary threonine levels on serum biochemical indices of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	饲料苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%					SEM	P 值 P-value
		0.60	0.67	0.74	0.81	0.88		
尿酸 UA/(mg/L)	母鸡 Female	73.93	75.61	83.59	76.60	69.71	6.34	0.713 0
	公鸡 Male	76.04	88.21	87.25	72.78	89.84	7.13	0.365 2
甘油三酯 TG/(mg/L)	母鸡 Female	278.40 ^b	259.40 ^{ab}	285.32 ^b	266.79 ^b	217.90 ^a	15.91	0.043 2
	公鸡 Male	356.21	344.85	334.70	321.12	308.49	13.40	0.118 7
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	母鸡 Female	1.70	1.81	1.73	1.50	1.73	0.11	0.396 2
	公鸡 Male	1.63 ^{bc}	1.63 ^{bc}	1.79 ^c	1.50 ^{ab}	1.37 ^a	0.08	0.018 4
胰岛素 INS/(mIU/mL)	母鸡 Female	6.34 ^b	6.29 ^b	6.53 ^b	5.56 ^{ab}	5.04 ^a	0.21	0.000 1
	公鸡 Male	5.15 ^{ab}	5.35 ^b	5.34 ^b	5.37 ^b	4.12 ^a	0.35	0.015 3
三碘甲状腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL)	母鸡 Female	0.68	0.69	0.59	0.549	0.59	0.05	0.151 3
	公鸡 Male	0.69	0.72	0.60	0.61	0.80	0.06	0.090 7
甲状腺素 T ₄ /(μg/dL)	母鸡 Female	1.80	1.63	1.98	2.13	1.58	0.25	0.560 4
	公鸡 Male	2.27	1.79	2.44	2.35	1.94	0.31	0.540 9
胰岛素样生长因子-1 IGF-1/(ng/mL)	母鸡 Female	24.85	16.03	11.74	10.22	15.09	4.60	0.230 0
	公鸡 Male	18.51	7.43	11.38	13.19	6.13	3.65	0.110 0
白细胞介素-6 IL-6/(pg/mL)	母鸡 Female	75.06 ^{bc}	52.12 ^{ab}	68.66 ^b	100.99 ^c	115.27 ^c	9.04	0.001 3
	公鸡 Male	56.41 ^{ab}	33.76 ^a	55.47 ^{ab}	80.80 ^{bc}	91.32 ^c	10.21	0.030 2
免疫球蛋白 G IgG/(mg/mL)	母鸡 Female	69.71 ^a	75.61 ^a	73.93 ^a	76.60 ^a	83.59 ^b	4.34	0.038 7
	公鸡 Male	76.04 ^{ab}	72.78 ^a	87.25 ^b	88.21 ^b	89.84 ^b	4.13	0.041 1

2.5 饲粮苏氨酸水平对黄羽肉鸡血液淋巴细胞亚群比率和 T 淋巴细胞增殖率的影响

由表 8 可见, 饲粮苏氨酸水平对黄羽肉鸡外周血 T 淋巴细胞 CD4⁺、CD8⁺ 和 CD4⁺/CD8⁺ 无显著影响 ($P>0.05$), 但显著影响血液中 T 淋巴细胞

增殖率 ($P<0.05$), 且黄羽肉鸡母鸡和公鸡均是 0.81% 苏氨酸水平组血液中 T 淋巴细胞增殖率最高。因此, 以血液 T 淋巴细胞增殖率为判定指标, 确定黄羽肉鸡公鸡、母鸡饲粮苏氨酸最适水平均为 0.81%。

表 8 饲粮苏氨酸水平对黄羽肉鸡血液淋巴细胞亚群比率和 T 淋巴细胞增殖率的影响

Table 8 Effects of dietary threonine levels on blood lymphocyte subpopulation ratio and T lymphocyte proliferation rate of yellow-feathered broilers

项目 Items	性别 Gender	饲粮苏氨酸水平 Dietary threonine levels/%					SEM	P 值 P-value
		0.60	0.67	0.74	0.81	0.88		
CD4 ⁺ /%	母鸡 Female	37.40	38.17	39.49	40.63	40.13	1.34	0.513 0
	公鸡 Male	34.13	35.5	35.88	36.13	30.75	0.77	0.128 0
CD8 ⁺ /%	母鸡 Female	28.40	29.40	28.32	27.79	27.90	1.36	0.063 2
	公鸡 Male	26.13	22.88	20.50	21.25	22.13	1.15	0.059 4
CD4 ⁺ /CD8 ⁺	母鸡 Female	1.32	1.30	1.40	1.46	1.44	0.41	0.598 2
	公鸡 Male	1.33	1.61	1.80	1.73	1.43	0.38	0.060 2
T 淋巴细胞增殖率	母鸡 Female	0.395 ^a	0.415 ^{ab}	0.482 ^b	0.498 ^b	0.469 ^{ab}	0.052	0.037 0
T lymphocyte proliferation rate/%	公鸡 Male	0.366 ^a	0.471 ^b	0.574 ^c	0.634 ^c	0.600 ^c	0.030	0.000 1

3 讨论

3.1 饲粮苏氨酸水平对 1~21 日龄快大型黄羽肉鸡生长性能的影响

苏氨酸其代谢产物如丁酰辅酶 A、丝氨酸和甘氨酸等能够促进机体蛋白质的合成并有效沉积^[11]。国内外均有研究表明, 提高饲粮中苏氨酸水平可以显著提高 1~21 日龄肉仔鸡的平均日采食量和平均日增重, 并显著降低料重比^[12-15]。而当饲粮中的苏氨酸水平不足时会影响肉鸡的生长性能, 表现为平均日增重和饲料转化率降低^[16-17]。本试验的结果显示, 当苏氨酸水平低于国标 (0.76%) 20% 以上时, 会显著降低黄羽肉鸡公鸡和母鸡的生长性能, 而超过 0.76% 时, 黄羽肉鸡母鸡则表现为生长性能显著提高, 黄羽肉鸡公鸡则无显著影响。结合回归分析结果, 以生长性能为判定指标, 黄羽肉鸡母鸡饲粮苏氨酸最适水平为 0.81%, 黄羽肉鸡公鸡饲粮苏氨酸最适水平为 0.79%。研究表明, 苏氨酸可以影响血清中生长激素的合成和分泌从而影响动物的生长性能^[18-19]。本试验的血清生长激素的结果显示, 各组间无显著差异, 但是黄羽肉鸡公鸡和母鸡之前有较大差异, 可能是因为体内生长激素水平不同从而导致黄羽肉鸡公鸡和母鸡对于苏氨酸需求量不同。

3.2 饲粮苏氨酸水平对 1~21 日龄快大型黄羽肉鸡胴体品质的影响

一般认为半净膛率和全净膛率是衡量鸡只产肉性能的主要指标, 半净膛率和全净膛率越高则认为产肉性能越好^[20]。胸肌和腿肌是肉鸡食用的主要部位, 胸肌率和腿肌率高表明肉鸡胴体品质好^[21]。饲粮苏氨酸水平从 0.71% 升高至 0.84% 可以显著提高肉鸡的腿肌率^[15]。Çiftci 等^[22]研究表明, 饲粮中的苏氨酸水平与腿肌中的粗蛋白质含量呈线性正相关, 具有促进肉鸡肌肉生长的作用。Zhang 等^[23]研究表明, 当饲粮苏氨酸水平由 0.60% 升高至 0.95% 时, 可以显著提高 1~14 日龄北京鸭的胸肌率。本试验结果显示, 黄羽肉鸡母鸡的半净膛率和全净膛率均随着饲粮苏氨酸水平的升高呈线性升高, 且均是 0.88% 苏氨酸水平组为最大值, 但腿肌率是 0.74% 苏氨酸水平组为最大值。黄羽肉鸡公鸡的半净膛率和全净膛率呈显著的二次相关, 根据半净膛率、全净膛率回归方程计算出黄羽肉鸡公鸡饲粮苏氨酸最适水平为 0.77%~0.79%, 腿肌率的最大值与母鸡一致均为 0.74% 苏氨酸水平组。由此可见, 适宜的饲粮苏氨酸水平可以加快黄羽肉鸡机体蛋白质合成, 改善胴体品质, 黄羽肉鸡母鸡对于苏氨酸的需求量要高于公鸡。

3.3 饲料苏氨酸水平对 1~21 日龄快大型黄羽肉鸡免疫功能的影响

苏氨酸参与构成免疫系统,对机体免疫器官的发育有着极为密切的关系,并且苏氨酸还是肉鸡机体 IgG 的主要成分^[24]。王红梅等^[25]研究表明,饲料添加苏氨酸可以显著提高 1~21 日龄肉仔鸡免疫器官指数,并且免疫器官指数的最大值的苏氨酸需要量高于最佳生长性能的需要量。侯永清等^[26]研究表明,饲料添加不同水平苏氨酸能够显著影响断奶仔猪血清中 IgG 的含量。T 淋巴细胞增殖率是反映机体细胞免疫功能的重要指标,研究发现饲料中添加 0.54%~0.57% 的苏氨酸能够显著提高蛋鸡血液中 T 淋巴细胞增殖率^[27]。IL-6 由多种细胞合成,能够促进 B 淋巴细胞的增殖分化并产生抗体,也能刺激 T 淋巴细胞生产,与机体免疫密切相关^[28]。本试验结果显示,饲料苏氨酸水平对黄羽肉鸡的胸腺指数、血清中 IL-6 和 IgG 含量以及血液中 T 淋巴细胞增殖率有显著影响,母鸡和公鸡均是 0.88% 苏氨酸水平组胸腺指数和血清中 IL-6 和 IgG 含量最高;0.81% 苏氨酸水平组血液中 T 淋巴细胞增殖率最高。以上结果说明,苏氨酸对于 1~21 日龄黄羽肉鸡公鸡和母鸡的免疫功能有提高的作用,并且提高黄羽肉鸡公鸡的免疫功能的苏氨酸需要量要高于生长性能,这一点与前人研究结果吻合。

3.4 饲料苏氨酸水平对 1~21 日龄快大型黄羽肉鸡血清生化指标的影响

血清中 TG 和 LDL 等脂类物质是衡量机体脂肪代谢健康水平的重要指标^[29],TG 含量过高易导致脂肪肝和肥胖等相关并发症^[30],LDL 是血液中胆固醇的主要载体,能够调节胆固醇的合成,促进脂肪的沉积。INS 在机体糖脂代谢过程具有重要调节作用,机体 INS 含量提高有利于体脂的储存,降低体脂的分解^[31]。Kobayashi 等^[32]研究表明,给生长肥育猪饲喂低水平苏氨酸饲料会减少其背最长肌的形成以及肌肉脂肪的沉积。在低蛋白质饲料中添加苏氨酸能够降低北京鸭血浆中 TG 和 LDL 的含量^[33]。其他研究也发现,在饲料中添加苏氨酸可以显著降低动物血清中 TG 和 LDL 含量^[34-35]。本试验的研究结果显示,高水平的苏氨酸(0.81%~0.88%)能够显著降低黄羽肉鸡血清中 TG、LDL 和 INS 的含量,说明苏氨酸能够影响黄羽肉鸡脂肪代谢,主要表现为促进脂肪的分解,

但具体调节机理还有待进一步的研究。

4 结 论

① 在本试验条件下,饲料补充适宜水平的苏氨酸可提高 1~21 日龄快大型黄羽肉鸡公鸡和母鸡的生长性能、胴体品质和免疫功能,对机体的脂肪代谢有显著影响。

② 以生长性能为主要判定指标,确定 1~21 日龄黄羽肉鸡母鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.81%,黄羽肉鸡公鸡饲料苏氨酸最适水平为 0.79%。

参考文献:

- [1] QAISRANI S N, AHMED I, AZAM F, et al. Threonine in broiler diets: an updated review [J]. *Annals of Animal Science*, 2018, 18(3): 659-674.
- [2] DONG X Y, AZZAM M M M, ZOU X T. Effects of dietary threonine supplementation on intestinal barrier function and gut microbiota of laying hens [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(10): 3654-3663.
- [3] WILS-PLOTZ E L, JENKINS M C, DILGER R N. Modulation of the intestinal environment, innate immune response, and barrier function by dietary threonine and purified fiber during a coccidiosis challenge in broiler chicks [J]. *Poultry Science*, 2013, 92(3): 735-745.
- [4] MALINOVSKY A V. Why threonine is an essential amino acid in mammals and birds: studies at the enzyme level [J]. *Biochemistry (Moscow)*, 2018, 83(7): 795-799.
- [5] DEBNATH B C, BISWAS P, ROY B. The effects of supplemental threonine on performance, carcass characteristics, immune response and gut health of broilers in subtropics during pre-starter and starter period [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2019, 103(1): 29-40.
- [6] 中华人民共和国农业部. NY/T 33—2004 鸡饲养标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
Ministry of Agriculture of The People's Republic of China. NY/T 33—2004 Feeding standard of chicken [S]. Beijing: China Standards Press, 2004. (in Chinese)
- [7] 中国饲料数据库. 中国饲料成分及营养价值表 (2018 年第 29 版) [J]. *中国饲料*, 2018(21): 64-73.
Chinese Feed Database. Tables of feed composition and nutritive values in China (29th ed, 2018) [J].

- China Feed, 2018(21):64-73. (in Chinese)
- [8] 谢昆, 蒋成砚, 全舒舟, 等. 鸡外周血淋巴细胞的分离和体外培养[J]. 中国家禽, 2011, 33(11):57-58.
XIE K, JIANG C X, QUAN S Z, et al. Isolation and cultivation of chicken peripheral blood lymphocytes in vitro[J]. China Poultry, 2011, 33(11):57-58. (in Chinese)
- [9] 何昭阳, 胡桂学, 王春风. 动物免疫学实验技术[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2002:156-157.
HE Z Y, HU G X, WANG C F. Technique of animal immunology experiment[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2002:156-157. (in Chinese)
- [10] ROBBINS K R, SAXTON A M, SOUTHERN L L. Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis[J]. Journal of Animal Science, 2006, 84(Suppl.13):E155-E165.
- [11] DONG X, ZHOU Z, WANG L, et al. Increasing the availability of threonine, isoleucine, valine, and leucine relative to lysine while maintaining an ideal ratio of lysine; methionine alters mammary cellular metabolites, mammalian target of rapamycin signaling, and gene transcription[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(6):5502-5514.
- [12] RAO S V R, RAJU M V L N, PANDA A K, et al. Performance, carcass variables and immune responses in commercial broiler chicks fed graded concentrations of threonine in diet containing sub-optimal levels of protein[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 169(3/4):218-223.
- [13] MIN Y N, LIU S G, QU Z X, et al. Effects of dietary threonine levels on growth performance, serum biochemical indexes, antioxidant capacities, and gut morphology in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2017, 96(5):1290-1297.
- [14] DOZIER III W A, MELOCHE K J, TILLMAN P B, et al. Growth performance of male broilers fed diets varying in digestible threonine to lysine ratio from 1 to 14 days of age[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2015, 24:457-462.
- [15] ABBASI M A, MAHDAVI A H, SAMIE A H, et al. Effects of different levels of dietary crude protein and threonine on performance, humoral immune responses and intestinal morphology of broiler chicks[J]. Revista Brasileira De Ciéncia Avícola, 2014, 16(1):35-44.
- [16] 刘升国, 曲正祥, 蒙国华, 等. 日粮苏氨酸水平对肉鸡生产性能、机体抗氧化性能和免疫功能的影响[J]. 西北农业学报, 2017, 26(10):1429-1437.
LIU S G, QU Z X, MENG G H, et al. Effects of dietary threonine levels on growth performance, antioxidant capacities and immune function of broiler chickens[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2017, 26(10):1429-1437. (in Chinese)
- [17] 毕晔. 日粮苏氨酸水平对 0~21d 北京鸭生长性能、胴体品质以及免疫机能的影响[D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2017.
BI Y. Effects of dietary threonine on growth performance, carcass trait and immunity function of Peking ducks from hatch to 21 days[J]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017. (in Chinese)
- [18] TAKENAKA A, OKI N, TAKAHASHI S I, et al. Dietary restriction of single essential amino acids reduces plasma insulin-like growth factor-I (IGF-I) but does not affect plasma IGF-binding protein-1 in rats[J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(12):2910-2914.
- [19] KATSUMATA M, KAWAKAMI S, KAJI Y, et al. Circulating levels of insulin-like growth factor-I and associated binding proteins in plasma and mRNA expression in tissues of growing pigs on a low threonine diet[J]. Animal Science, 2016, 79(1):101-109.
- [20] 赵松, 韩瑞丽, 付亚伟, 等. 固始鸡三系配套组合生长性能及屠体品质测定[J]. 中国家禽, 2019, 41(9):58-62.
ZHAO S, HAN R L, FU Y W, et al. growth performance and carcass quality determination of three lines combination for *Gushi* chicken[J]. China Poultry, 2019, 41(9):58-62. (in Chinese)
- [21] 丁亦男, 王光野. 不同饲养方式对黄羽肉鸡生长性能、肉质和免疫器官指数的影响[J]. 中国饲料, 2019(24):33-36.
DING Y N, WANG G Y. Effects of different feeding systems on growth performance, meat quality and immune organ index of yellow-feather broilers[J]. China Feed, 2019(24):33-36. (in Chinese)
- [22] ÇİFTCI I, CEYLAN N. Effects of dietary threonine and crude protein on growth performance, carcass and meat composition of broiler chickens[J]. British Poultry Science, 2004, 45(2):280-289.
- [23] ZHANG Q, ZENG Q F, COTTER P, et al. Dietary threonine response of Pekin ducks from hatch to 14 d of age based on performance, serology, and intestinal mucin secretion[J]. Poultry Science, 2016, 95(6):1348-1355.
- [24] SANDBERG F B, EMMANS G C, KYRIAZAKIS I. The effects of pathogen challenges on the performance of naïve and immune animals: the problem of prediction[J]. Animal, 2007, 1(1):67-86.
- [25] 王红梅, 刘国华, 陈玉林, 等. 日粮苏氨酸水平对 0~3 周龄肉仔鸡生长性能、血清生化指标及免疫功能的影响[J]. 中国家禽, 2005, 27(20):12-15.
WANG H M, LIU G H, CHEN Y L, et al. Effect of dietary threonine levels on growth performance, serum

- biochemical parameters and immune function in broilers at 0–3 weeks [J]. *China Poultry*, 2005, 27 (20): 12–15. (in Chinese)
- [26] 侯永清, 吕民主, 冯于明, 等. 早期断奶仔猪日粮中蛋氨酸、苏氨酸水平对机体蛋白质代谢的影响 [J]. 饲料研究, 2001 (7): 7–8.
HONG Y Q, LYU M Z, GUO Y M, et al. Effects of different dietary levels of methionine and threonine on body protein metabolism of early-weaned piglets [J]. *Feed Research*, 2001 (7): 7–8. (in Chinese)
- [27] 聂伟, 杨鹰, 王忠, 等. 日粮苏氨酸水平对蛋鸡免疫机能的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47 (19): 31–35.
NIE W, YANG Y, WANG Z, et al. Effects of threonine on immune responses in laying hens [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2011, 47 (19): 31–35. (in Chinese)
- [28] LU H P, HAN M, YUAN X X, et al. Role of IL6-mediated expression of *NS5ATP9* in autophagy of liver cancer cells [J]. *Journal of Cellular Physiology*, 2018, 233 (12): 9312–9319.
- [29] 刘志友. 日粮添加壳聚糖对蛋种鸡脂质代谢的影响及其机理研究 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
LIU Z Y. Effects of chitosan on lipid metabolism in laying breeders and the underlying mechanism [D]. Ph.D. Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [30] 魏苏宁, 苏雪莹, 徐国恒. 肝细胞甘油三酯代谢途径异常与脂肪肝 [J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2016, 32 (2): 123–132.
WEI S N, SU X Y, XU G H. Anomaly of triglyceride metabolism in liver lead to NAFLD [J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 32 (2): 123–132. (in Chinese)
- [31] USSAR S, KAHN C R. Intestinal epithelial insulin signaling plays an important role in the regulation of whole body glucose and lipid homeostasis [J]. *Diabetes*, 2013, 62: A23.
- [32] KOBAYASHI H, ISHIDA A, ASHIHARA A, et al. Effects of dietary low level of threonine and lysine on the accumulation of intramuscular fat in porcine muscle [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2012, 76 (12): 2347–2350.
- [33] 江勇. 苏氨酸对北京鸭脂质代谢的影响及其调控机制 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2018.
JIANG Y. Effects of threonine on lipid metabolism in Pekin ducks and its regulatory mechanism [D]. Ph.D. Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [34] REZAEIPOUR V, GAZANI S. Effects of feed form and feed particle size with dietary *L*-threonine supplementation on performance, carcass characteristics and blood biochemical parameters of broiler chickens [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2014, 56: 20.
- [35] WESTERMEIER C, PAULICKS B R, KIRCHGESSNER M. Futteraufnahme und lebendmasseentwicklung von sauen und ferkeln während der laktation in abhängigkeit von der threoninversorgung der Sau. 1. mitteilung zum threoninbedarf laktierender sauen [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 1998, 79 (1/2/3/4/5): 33–45.

Effects of Dietary Threonine Levels on Growth Performance, Carcass Quality, Fat Metabolism and Immune Function of Yellow-Feathered Broilers from 1 to 21 Days of Age

LIN Xiajing XI Pengbin WANG Yibing FAN Qiuli CHENG Zhonggang DING Fayuan
ZHENG Chuntian JIANG Shouqun*

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

Abstract: The purpose of this study was to determine the appropriate threonine requirement for yellow-feathered broilers from 1 to 21 days of age by studying the effects of dietary threonine levels on growth performance, carcass quality, fat metabolism and immune function. A total of 2 000 *Lingnan* fast-growing yellow-

feathered broilers of 1-day-old were selected and randomly divided into 5 groups with 8 replicates (half male and half female) in each group and 50 chickens in each replicate. The experimental chickens in 5 groups were fed diets containing 0.60% (basal diet), 0.67%, 0.74%, 0.81% and 0.88% threonine for 21 days, respectively. The results showed as follows: 1) dietary threonine levels significantly affected the final body weight, the average daily gain (ADG), the average daily feed intake (ADFI) and the ratio of feed to gain ($P < 0.05$). The ADG and ADFI of yellow-feathered hens in 0.88% threonine level group were the highest, while the ADG and ADFI of yellow-feathered roosters in 0.74% threonine level group were the highest. According to the growth performance indices and regression analysis results, the optimal threonine level in the diet for yellow-feathered hens was 0.81%, and that for yellow-feathered roosters was 0.79%. 2) Dietary threonine levels significantly affected the half-eviscerated yield percentage, the eviscerated yield percentage and the leg muscle rate of yellow-feathered hens and roosters ($P < 0.05$). The half-eviscerated yield percentage and the eviscerated yield percentage of yellow-feathered hens in 0.88% threonine level group were the highest, and the leg muscle rate of yellow-feathered hens in 0.74% threonine level group was the highest; the half-eviscerated yield percentage of yellow-feathered roosters in 0.81% threonine level group was the highest, and the eviscerated yield percentage and the leg muscle rate of yellow-feathered roosters in 0.74% threonine level group were the highest. According to the carcass quality indices and regression analysis results, the optimal threonine level in the diet for yellow-feathered roosters was 0.77%, and that for yellow-feathered hens was 0.88%. 3) Dietary threonine levels significantly affected the thymus index of yellow-feathered hens and roosters ($P < 0.05$). The thymus index of yellow-feathered hens and roosters in 0.88% threonine level group was the highest. 4) Dietary threonine levels had significant effects on the contents of triglyceride (TG), immunoglobulin G (IgG), interleukin-6 (IL-6) and insulin (INS) in serum of yellow-feathered hens ($P < 0.05$), the serum contents of TG and INS in 0.88% threonine level group was the lowest, and the serum contents of IL-6 and IgG in 0.88% threonine level group was the highest. Dietary threonine levels had significant effects on the contents of low-density lipoprotein, INS, IL-6 and IgG in serum of yellow-feathered roosters ($P < 0.05$), the serum contents of LDL and INS in 0.88% threonine level group was the lowest, and the serum contents of IL-6 and IgG in 0.88% threonine level group was the highest. 5) Dietary threonine levels significantly affected T lymphocyte proliferation rate in blood of yellow-feathered broilers ($P < 0.05$). The T lymphocyte proliferation rate in blood of both male and female yellow-feathered broilers in 0.81% threonine level group was the highest. In conclusion, appropriate dietary threonine level can improve the growth performance, carcass quality and immune function of yellow-feathered broilers. According to the growth performance, the optimal threonine level in the diet for yellow-feathered female and male broilers from 1 to 21 days of age is 0.81% and 0.79%, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(4):2013-2023]

Key words: yellow-feathered broilers; threonine; growth performance; carcass quality; immune function; nutrient requirement