



1~21日龄湘佳黄鸡代谢能需要量的研究

赵昀杰^{1,2,3,4,5}, 杨新拓^{1,2,3,4,5}, 段萍君^{1,2,3,4,5}, 陈彭羿^{1,2,3,4,5}, 张梓熹^{1,2,3,4,5}, 彭欢^{1,2,3,4,5},
陈宇光^{1,2,3,4,5}, 张海涵^{1,2,3,4,5}, 贺喜^{1,2,3,4,5}, 宋泽和^{1,2,3,4,5*}

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128; 2. 饲料安全与高效利用教育部工程研究中心, 长沙 410128; 3. 湖南家禽安全生产工程技术研究中心, 长沙 410128; 4. 优质畜禽产品生产省部共建协同创新中心, 长沙 410128; 5. 岳麓山实验室, 长沙 410128)

摘要: 旨在研究1~21日龄快速型黄羽肉鸡代谢能需要量。选取体重相近、健康的1日龄湘佳黄鸡公雏和母雏各450只, 分别按体重将公雏随机分为5组, 母雏随机分为5组(每组6个重复, 每重复15只), 采用单因素完全随机设计, 分别饲喂不同代谢能水平日粮(公雏: 11.51、11.92、12.34、12.76、13.18 MJ·kg⁻¹; 母雏: 11.30、11.72、12.13、12.55、12.97 MJ·kg⁻¹), 试验期21 d。结果表明: 1) 生长性能方面, 1~21日龄公雏体重(BW)、平均日增重(ADG)随着代谢能水平的提高呈二次变化($P < 0.01$), 母雏体重、平均日增重与代谢能水平呈极显著正相关($P < 0.01$); 平均日采食量、耗料增重比随着代谢能水平的提高极显著线性减少($P < 0.01$); 2) 屠宰性能方面, 公雏屠宰率、净膛率、腹脂率随着代谢能水平的提高线性增加($P < 0.05$), 母雏腹脂沉积受代谢能的影响更为敏感, 腹脂率呈极显著增加($P < 0.01$); 3) 血清生化方面, 公雏尿酸含量随代谢能水平提高显著增加再降低的二次曲线特征($P < 0.05$)。综上, 通过代谢能摄入量/平均日增重与代谢体重/平均日增重之间的线性关系进行拟合和变式, 得到预测方程如下: 公雏: 代谢能需要量(MER) = $1.653 \cdot 8BW^{0.75} (g) + 12.489ADG (g)$; 母雏: $3.360 \cdot 5BW^{0.75} (g) + 7.736 \cdot 4ADG (g)$ 。对应MER公雏为 $379.32 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$; 母雏为 $351.66 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1}$, 相应饲料代谢能水平公雏为 $12.50 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 母雏为 $12.47 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

关键词: 快速型黄羽肉鸡; 生长性能; 代谢能摄入量; 代谢能需要量; 预测方程

中图分类号: S831.41

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2026)02-0907-15

Study on Metabolic Energy Requirements of Xiangjia Yellow-feathered Chickens Aged 1 to 21 Days

ZHAO Yunjie^{1,2,3,4,5}, YANG Xintuo^{1,2,3,4,5}, DUAN Pingjun^{1,2,3,4,5}, CHEN Pengyi^{1,2,3,4,5},
ZHANG Zixi^{1,2,3,4,5}, PENG Huan^{1,2,3,4,5}, CHEN Yuguang^{1,2,3,4,5}, ZHANG Haihan^{1,2,3,4,5},
HE Xi^{1,2,3,4,5}, SONG Zehe^{1,2,3,4,5*}

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. Ministry of Education Engineering Research Center of Feed Safety and Efficient Use, Changsha 410128, China;
3. Hunan Engineering Research Center of Poultry Production Safety, Changsha 410128, China;
4. Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha 410128, China;
5. Yuelushan Laboratory, Changsha 410128, China)

Abstract: The purpose of this experiment is to investigate the metabolic energy requirements of

收稿日期: 2025-02-06

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1300404); 国家现代农业产业技术体系(CARS-41-Z08); 湖南省家禽产业技术体系(HARS-06)

作者简介: 赵昀杰, 硕士生, 主要从事家禽营养需要研究, E-mail: 1850482009@qq.com

* 通信作者: 宋泽和, 主要从事家禽营养调控研究, E-mail: zehesong111@163.com

1-21-day-old rapid yellow feathered broiler chickens. A total of 900 healthy 1-day-old Xiangjia Yellow Chicken chicks (450 male and 450 female chicks) with similar body weights were randomly allocated into 5 groups for each gender, each consisting of 6 replicates with 15 birds per replicate. A single-factor completely randomized design was employed to feed different levels of metabolic energy diets over an experimental period of 21 days (Male: 11.51、11.92、12.34、12.76、13.18 MJ·kg⁻¹; Female: 11.30、11.72、12.13、12.55、12.97 MJ·kg⁻¹). The results demonstrated that: 1) Growth performance analysis revealed quadratic patterns ($P<0.01$) in body weight (BW) and average daily gain (ADG) of male chicks with increasing dietary metabolizable energy (ME) levels during 1-21 days, while females exhibited significant positive linear relationships ($P<0.01$). Both gender demonstrated linearly decreasing trends ($P<0.01$) in average daily feed intake (ADFI) and feed conversion ratio (FCR) as ME levels elevated. 2) Regarding carcass characteristics, dressing percentage, eviscerated yield, and abdominal fat rate in males increased linearly with ME supplementation ($P<0.05$). Notably, females demonstrated greater sensitivity to ME stimulation in abdominal fat deposition, the abdominal fat percentage significantly increased ($P<0.01$). 3) Serum biochemical profiling identified a unique quadratic fluctuation ($P<0.05$) in uric acid concentration of male chicks. Based on the relationship between metabolic energy intake and average daily weight gain, the metabolic energy prediction equation for rapid yellow feathered broiler chickens at this developmental stage can be established, which is: Male: Metabolic Energy Requirements (MEr)= $1.653\ 8BW^{0.75}(\text{g})+12.489\text{ADG}(\text{g})$; Female: MEr= $3.360\ 5BW^{0.75}(\text{g})+7.736\ 4\text{ADG}(\text{g})$. The corresponding metabolic energy requirement for male chicks is 379.32 kJ·d⁻¹, while for female chicks, it is 351.66 kJ·d⁻¹, corresponding to feed metabolic energy levels of 12.50 MJ·kg⁻¹ for male chicks and 12.47 MJ·kg⁻¹ for female chicks.

Keywords: rapid yellow feathered broiler chicken; growth performance; metabolic energy intake; metabolic energy requirements; prediction equation

* **Corresponding author:** SONG Zehe, E-mail: zehesong111@163.com

黄羽肉鸡是以我国地方品种鸡为血缘培育的肉鸡统称^[1],营养丰富、口感鲜嫩。近几十年以来,随着中国肉鸡生产与消费飞速发展,黄羽肉鸡育种进程和标准化规模养殖稳步提升。黄羽肉鸡按照生长速度和出栏时间可分为快速型、中速型和慢速型三大类^[2-4]。快速型黄羽肉鸡一般60 d以内即可出栏,体重达1.8~2 kg,耗料增重比达1.9~2.2:1^[5-6]。代谢能是家禽日粮配制的重要指标,能量水平不仅会影响肉鸡的采食量,也对机体蛋白质等养分的沉积起重要作用^[7]。然而,黄羽肉鸡因其独特的遗传背景和生长模式,代谢能需求与白羽肉鸡存在显著差异。Zhao等^[8]研究发现,相同代谢能水平下,黄羽肉鸡的日增重和饲料转化率均低于白羽肉鸡且随着能量水平的提高。2020年,广东省农科院通过搜集整理近20年期间有关黄羽肉鸡研究文献,制定了第一版《黄羽肉鸡营养需要量》(NY/T 3645—2020)。

而为适应不同地区黄羽肉鸡的消费需求,我国目前育有多个快速型黄羽肉鸡配套系,且各配套系肉鸡在生长速度和营养需求方面可能与标准推荐值存在一定差异^[9]。湘佳黄鸡是湖南湘佳牧业股份有限公司自主培育的快速型黄羽肉鸡配套系,课题组前期对湘佳黄鸡生长性能、能量、蛋白沉积量的研究发现,其与行业标准中的数据存在一定差距^[10]。因此本研究旨在通过评估1~21日龄快速型黄羽肉鸡公雏及母雏的代谢能需求,完善我国黄羽肉鸡代谢能需要量数据库,并构建基于代谢体重和日增重的代谢能预测模型,从而为精准调控快速型黄羽肉鸡的营养供给提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2024年4月至2024年5月在湖南农业

大学开慧镇锡福科技小院开展,试验动物为湖南省常德市石门县湘佳牧业股份有限公司提供的湘佳黄鸡快速型黄羽肉鸡。选择同批次出雏、健康、体重相近的1日龄湘佳黄鸡公母各450只,各随机分为5组,试验采用单因素完全随机设计,公雏分别饲喂11.51、11.92、12.34、12.76、13.18 MJ·kg⁻¹(M I~M V组)代谢能水平的饲料;母雏分别饲喂11.30、11.72、12.13、12.55、12.97 MJ·kg⁻¹(F I~F V组)代谢能水平的饲料,每组6个重复,每重复15只鸡。试验期间自由采食及饮水。日粮类型为玉米-豆粕型饲料,参照《黄羽肉鸡营养需要量》(NY/T3645—2020)进行配制,日粮组成和营养水平见表1和表2。

1.2 饲养管理

采用笼养方式,试验期间肉鸡自由采食与饮水,保持24 h光照,并按常规程序进行消毒和免疫。鸡舍采用生物质锅炉水暖供暖,第一周温度控制在33℃,第二周控制温度在28℃~31℃,之后逐步下降并最终保持在24℃~26℃。试验各项操作均经过湖南农业大学生物医学研究伦理委员会的审查与审批(HAU ACC 2024DK JQ015)。

1.3 样品采集

1.3.1 生长性能 试验期间每日手动给料,使其自由采食和饮水,准确记录饲料饲喂量、剩余量和淘汰及死亡鸡数。各重复于20日龄20:00断料,第二日08:00每组每重复空腹称重,记录鸡数。计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重量(ADG)、耗料增重比(F/G)。

1.3.2 代谢试验 各组以每笼为单位,选用全收粪法,在第11日龄早上9点对整笼试验鸡进行代谢试验,分别收集排泄物和脱落的羽毛,每天收集两次,每次用镊子将脱落的羽毛收集起来,再收集排泄物,收集至14日龄早上9点结束,记录采食量,排泄量。粪便需要及时保存和处理,每日收集粪样后称重,置于-20℃冰箱保存,将4天所收集的粪样混合均匀,取样,120℃灭酶15 min,65℃烘箱烘干至恒重,回潮,粉碎过40目筛制成风干样品,以备分析。参考张赛等^[11]的计算公式,相关指标计算公式如下:

总摄入量=饲料总重×饲料采食量;

总排泄量=粪样总重×粪重;

饲料表观代谢能(AME)=(总摄入量-总排泄量)/饲料采食量;

平均日表观代谢能摄入量(MEi)=饲料表观代谢能×平均日采食量。

1.3.3 血清样品制备 于20日龄20:00后禁食12小时后进行,每重复取2只接近平均体重的雏鸡,进行颈静脉采血,使用普通血清管采两管5 mL静脉血,倾斜静置1 h后,离心机3 000 r·min⁻¹离心15 min分离出血清,分装至1.5 mL离心管,置于-20℃冰箱保存待测。

1.3.4 屠宰性能 使用21日龄取血后雏鸡,参照《肉鸡屠宰质量管理规范》(NY/T 1174—2006)放血、拔毛并解剖,依次称量屠体、半净膛、全净膛、胸肌、腿肌、腹脂的重量,使用吸水纸擦净胴体表面水分。并计算相应的屠宰率、半净膛率、全净膛率、胸肌率、腿肌率、腹脂率。计算公式如下:

屠宰率(%)=(屠体重/活体重)×100;

半净膛率(%)=(半净膛重/活体重)×100;

全净膛率(%)=(全净膛重/活体重)×100;

胸肌率(%)=(两侧胸肌重/全净膛重)×100;

腿肌率(%)=(两侧腿肌重/全净膛重)×100;

腹脂率(%)=[腹脂重/(全净膛重+腹脂重)]×100。

1.3.5 体成分 于1日龄公雏和母雏分别取5只接近平均体重的雏鸡使用CO₂窒息致死。21日龄从各重复中分别各另取1只接近平均体重且不采血的雏鸡称活体重,使用CO₂窒息致死。干拔法分离胴体和羽毛,剖开腹腔,清除消化道内容物,冲洗肠道后,沥干,称空体重。空体冷冻处理,冻干机冻干后使用粉碎机粉碎;收集全部羽毛样品,使用剪刀将羽毛剪成约1 cm片段后,65℃烘干恒重,使用高速粉碎机粉碎,密封保存于干燥器备用。

1.3.6 常规营养成分的测定 测定饲料、粪便、空体和羽毛样品的DM(GB/T 6435—2014)、CP(GB/T 6432—2018)、GE(通过SDACM-3100量热仪测定),测定饲料EE(GB/T 6433—2006)、Ash含量(GB/T 6438—2007)、NDF(GB/T 20806—2022)、ADF(NY/T1459—2007)含量,NDF、ADF依据国家标准结合F1600半自动纤维测定仪(济南阿尔瓦仪器有限公司)测定。

1.3.7 血清生化指标的测定 将血清在-4℃解冻后,测定血清中尿酸(UA)、胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)含量,使用南京建成生物工程研究所试剂盒,使用酶标仪检测。

表 1 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡公雏试验日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Experimental diet composition and nutrient levels of 1 to 21 days rapid yellow feathered broiler chickens (air-dry basis)

项目 Item	组别 Group				
	M I	M II	M III	M VI	M V
日粮组成 Ingredient					
玉米 Corn	53.68	53.30	52.73	52.35	51.00
豆粕 Soybean meal	31.36	31.72	31.40	31.74	29.52
豆油 Soybean oil	0.00	1.50	3.00	4.50	6.00
玉米蛋白粉 Corn protein	4.80	4.80	4.85	4.85	6.60
鱼粉 Fish meal	0.88	1.12	1.73	1.97	2.36
小麦麸 Wheat bran	4.64	2.93	1.78	0.09	0.07
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.29	0.28	0.27	0.26	0.30
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14
苏氨酸 Thr	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.52	1.59	1.55	1.60	1.56
石粉 Limestone	1.71	1.66	1.58	1.53	1.49
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix ¹⁾	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
干物质 DM	88.18	88.14	88.24	88.22	88.86
表观代谢能/(MJ·kg ⁻¹) AME	11.54	12.17	12.69	12.82	13.34
粗蛋白质 CP	21.48	21.40	21.76	21.12	21.35
粗脂肪 EE	3.02	5.37	5.92	6.77	8.89
粗灰分 Ash	6.84	7.18	6.46	7.30	7.36
中性洗涤纤维 NDF	9.27	14.97	9.08	8.60	8.36
酸性洗涤纤维 ADF	3.57	4.20	3.32	3.34	3.21
赖氨酸 Lys	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
蛋氨酸 Met	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
苏氨酸 Thr	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
色氨酸 Trp	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
钙 Ca	0.98	0.99	0.98	1.00	1.01
总磷 TP	0.72	0.72	0.74	0.74	0.71
非植酸磷 NPP	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供: VA 12 000 IU, VD₃ 600 IU, VE 45 IU, VK 2.5 mg, VB₁ 2.4 mg, VB₂ 5 mg, VB₆ 2.8 mg, VB₁₂ 0.016 mg, 烟酸 42 mg, D-泛酸 12 mg, 叶酸 1 mg, 生物素 0.12 mg, 胆碱 1 000 mg, Fe(以硫酸亚铁形式)80 mg, Cu(以硫酸铜形式)7 mg, Zn(以硫酸锌形式)85 mg, Mn(以硫酸锰形式)80 mg, I(以碘化钾形式)0.7 mg, Se(以亚硒酸钠形式)0.15 mg, 抗氧化剂 100 mg。表 2 同。²⁾ 营养水平除氨基酸和非植酸磷外均为实测值。表 2 同

¹⁾ The premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU, VD₃ 600 IU, VE 45 IU, VK 2.5 mg, VB₁ 2.4 mg, VB₂ 5 mg, VB₆ 2.8 mg, VB₁₂ 0.016 mg, nicotinic acid 42 mg, D-pantothenic acid 12 mg, folic acid 1 mg, biotin 0.12 mg, choline 1 000 mg, Fe (as ferrous sulfate) 80 mg, Cu (as copper sulfate) 7 mg, Zn (as zinc sulfate) 85 mg, Mn (as manganese sulfate) 80 mg, I (as potassium iodide) 0.7 mg, Se (as sodium selenite) 0.15 mg, antioxidant 100 mg. The same as Table 2.

²⁾ Nutrient specifications were determined by analytical assays except for amino acids and non-phytate phosphorus (NPP) that were formulated values. The same as Table 2

表2 1~21日龄快速型黄羽肉鸡母雏试验日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Experimental diet composition and nutrient levels of 1 to 21 days rapid yellow feathered hens (air-dry basis) %

项目 Item	组别 Group				
	F I	F II	F III	F VI	F V
日粮组成 Ingredient					
玉米 Corn	52.83	54.32	54.37	52.51	49.87
豆粕 Soybean meal	36.55	36.60	34.85	33.98	33.76
豆油 Soybean oil	0.00	1.00	2.25	4.00	6.00
玉米蛋白粉 Corn protein	1.00	1.40	1.60	2.60	3.20
鱼粉 Fish meal	0.24	0.52	2.01	2.10	2.01
小麦麸 Wheat bran	4.73	1.47	0.60	0.44	0.74
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys·HCl	0.19	0.19	0.18	0.20	0.21
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.19	0.19	0.18	0.17	0.17
苏氨酸 Thr	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.55	1.66	1.50	1.54	1.57
石粉 Limestone	1.76	1.70	1.52	1.51	1.52
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix ¹⁾	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
干物质 DM	88.06	88.09	87.90	88.27	88.63
表观代谢能/(MJ·kg ⁻¹) AME	11.87	12.21	12.58	12.78	12.93
粗蛋白质 CP	21.14	21.06	21.89	21.16	21.27
粗脂肪 EE	3.54	3.49	4.24	6.47	8.23
粗灰分 Ash	8.82	8.00	7.67	7.53	7.40
中性洗涤纤维 NDF	9.44	9.03	7.95	9.05	9.59
酸性洗涤纤维 ADF	4.16	3.11	3.13	3.45	3.65
赖氨酸 Lys	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
蛋氨酸 Met	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
苏氨酸 Thr	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
色氨酸 Trp	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
钙 Ca	0.97	0.99	1.00	0.99	0.98
总磷 TP	0.74	0.73	0.72	0.71	0.72
非植酸磷 NPP	0.40	0.40	0.44	0.44	0.43

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2016 软件对数据进行初步整理,应用 SPSS 26.0 统计软件对基本统计量进行分析,以单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 氏多重比较模块进行均值比较;采用 Correlate 模块对部分指标进行相关性分析。以非线性回归过程进行模型拟合,折线图采用 GraphPad Prism 9.0 软件绘制;结果以“平均数±标准差”表示,统计显著水平以 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

代谢能需要模型建立:由于 1~21 日龄受孵化后残余卵黄的影响不成规律性^[12],所以 1~21 日龄代谢能需要量预测方程参考杨在宾^[13]等的方法,根据动物营养学原理,在一定范围内,生长速度(ADG)与代谢能摄入量(MEI)呈线性关系,即 $MEI=a+b \text{ ADG}$ 。根据回归方程,当 $ADG=0$ 时, $MEI=a$, a 即为维持代谢能需要量,其中 b 即为每千克活体增重生产代谢能需要量。由此,结合试验条件和生产条件下阶段代谢体重构建 a 与 $BW^{0.75}$ 的关系,建立 1~21 日龄代谢能需要量析因模型。

2 结 果

2.1 试验饲料代谢能水平

根据代谢试验结果表3,得到公雏5个组饲料的表观代谢能分别为11.54、12.17、12.69、12.82、13.34 MJ·kg⁻¹;母雏5个组饲料的表观代谢能分别为11.87、12.21、12.58、12.78、12.93 MJ·kg⁻¹。

2.2 饲料代谢能水平对1~21日龄快速型黄羽肉鸡生长性能和代谢能摄入量的影响

表4和图1显示,1~21日龄公雏体重和平均日增重随着代谢能水平的提高,先增加后减小($P<0.001$);平均日采食量随着代谢能水平的提高显著减少($P<0.001$);耗料增重比随着代谢能水平的

提高先减小后增加($P<0.001$);平均日代谢能摄入量是随代谢能水平增加而显著增加的($P<0.001$)。因此,以生长性能为判定依据,1~21日龄快速型黄羽肉鸡公雏适宜饲料代谢能水平为12.69 MJ·kg⁻¹。

表5和图1显示,1~21日龄母雏体重和平均日增重随着代谢能水平的提高而增加($P<0.001$);平均日采食量随着代谢能水平的提高,先增加后减少($P<0.001$);耗料增重比随着代谢能水平的提高而减小($P<0.001$);平均日代谢能摄入量是随代谢能水平增加,先增加后减少($P<0.001$)。因此,以生长性能为判定依据,1~21日龄快速型黄羽肉鸡母雏适宜饲料代谢能水平为12.93 MJ·kg⁻¹。

表3 雏鸡试验饲料的表观代谢能(风干基础)

Table 3 Apparent metabolizable energy (AME) of experimental diets for chicks (air-dry basis)

项目 Item	公雏 Male Broiler Chicks					母雏 Female Broiler Chicks				
	M I	M II	M III	M VI	M V	F I	F II	F III	F VI	F V
ADFI/(g·(d·只) ⁻¹)	29.81	29.87	28.17	27.81	28.42	29.66	29.11	29.43	29.13	28.43
饲料总能/(MJ·kg ⁻¹)	15.68	16.22	16.79	16.91	17.35	15.92	16.16	16.53	16.79	17.00
Gross energy										
粪尿排泄量/(g·(d·只) ⁻¹)	8.40	8.09	7.41	7.47	7.35	8.49	8.13	8.02	7.85	7.53
Excreta output										
排泄物总能/(MJ·kg ⁻¹)	14.68	14.96	15.56	15.22	15.50	14.13	14.15	14.49	14.88	15.37
Gross energy in excreta										
AME/(MJ·kg ⁻¹)	11.54	12.17	12.69	12.82	13.34	11.87	12.21	12.58	12.78	12.93

2.3 饲料代谢能水平对21日龄快速型黄羽肉鸡胴体品质的影响

表6结果显示,21日龄公雏屠宰率、净膛率随着代谢能水平的提高线性升高;半净膛率随着代谢能水平的提高显著增加($P<0.05$);腹脂率随着代谢能水平的提高线性升高($P<0.001$);胸肌率腿肌率不存在显著差异($P>0.05$)。

表7结果显示,21日龄母雏屠宰率、净膛率、腿肌率随着代谢能水平的提高不存在显著差异($P>0.05$);腹脂率随着代谢能水平的提高线性升高($P<0.001$);胸肌率随着代谢能水平的提高有线性降低的趋势($P<0.1$)。

2.4 饲料代谢能水平对21日龄快速型黄羽肉鸡血清生化指标的影响

表8结果显示,21日龄公雏尿酸水平随着代谢能水平的提高先增加后减少($P<0.05$);总胆固醇含量不存在显著差异($P>0.05$);甘油三酯含量随着代谢能水平的提高线性增加($P<0.01$);1~21日

龄母雏尿酸、总胆固醇、甘油三酯含量随着代谢能水平的提高不存在显著差异($P>0.05$)。

2.5 饲料代谢能水平对1~21日龄快速型黄羽肉鸡空体成分沉积的影响

表9结果显示,1~21日龄公雏总能摄入量、能量沉积量、能量沉积率、粗蛋白沉积率随着代谢能水平的提高显著增加($P<0.05$);粗蛋白摄入量随着代谢能水平的提高极显著减少($P<0.01$);粗蛋白沉积量没有显著变化。

表10结果显示,1~21日龄母雏总能摄入量、能量沉积量、能量沉积率、粗蛋白沉积量、粗蛋白沉积率均随着代谢能水平的提高显著增加($P<0.05$);粗蛋白摄入量随着代谢能水平的提高极显著减少($P<0.01$)。

2.6 黄羽肉鸡代谢能需要模型的建立

根据生长性能结果,以ADG为自变量,MEi为因变量进行一元线性回归分析得到回归方程如下:

公雏:MEi=102.89+12.489ADG;(R²=0.4494;

表 4 不同代谢能水平对 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡公雏生长性能的影响

Table 4 Effects of dietary AME levels on growth performance of male fast yellow-feathered chicks aged 1 to 21 days

分组	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	MI 组	MII 组	MIII 组	MVI 组	MV 组			
初体重/g Initial Body Weight	40.98±0.13	40.95±0.14	40.97±0.05	40.97±0.10	40.93±0.10	0.947	0.563	0.922
末体重/g Final Body Weight	490.62±8.64 ^c	495.22±5.86 ^c	519.48±5.22 ^a	509.63±6.41 ^b	513.68±6.64 ^{ab}	≤0.001	≤0.001	0.002
ADG/(g·d ⁻¹)	21.41±0.42 ^c	21.63±0.27 ^c	22.79±0.25 ^a	22.32±0.31 ^b	22.51±0.31 ^{ab}	≤0.001	≤0.001	0.002
ADFI/(g·d ⁻¹)	31.57±0.30 ^a	30.76±0.32 ^b	29.96±0.30 ^c	29.91±0.26 ^c	29.53±0.51 ^c	≤0.001	≤0.001	0.005
耗料增重比 F/G	1.48±0.03 ^a	1.42±0.02 ^b	1.32±0.03 ^c	1.34±0.01 ^c	1.31±0.03 ^c	≤0.001	≤0.001	≤0.001
MEI/(kJ·d ⁻¹)	360.27±2.58 ^d	370.82±4.89 ^c	375.92±2.64 ^{bc}	379.02±6.66 ^b	389.85±8.91 ^a	≤0.001	≤0.001	0.871

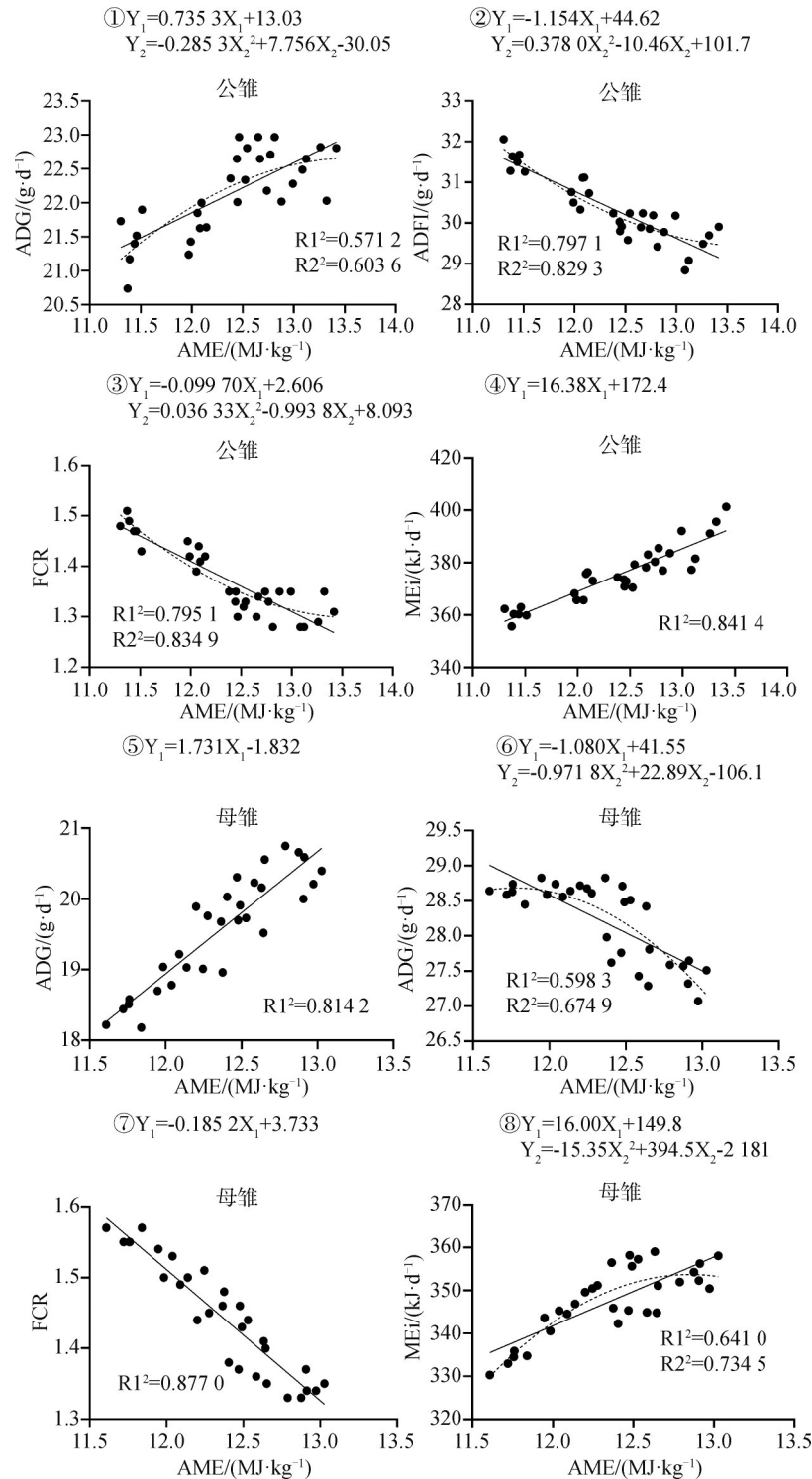
同列数据肩标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 相同字母或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 下表同

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

表 5 不同代谢能水平对 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡母雏生长性能的影响

Table 5 Effects of dietary AME levels on growth performance of female fast yellow-feathered chicks aged 1 to 21 days

分组	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	F I 组	F II 组	F III 组	F VI 组	F V 组			
初体重/g Initial Body Weight	40.42±0.16	40.45±0.08	40.35±0.08	40.33±0.16	40.33±0.10	0.372	0.089	0.931
末体重/g Final Body Weight	428.83±6.52 ^d	441.67±8.89 ^c	456.62±3.82 ^b	457.33±11.08 ^b	471.12±4.39 ^a	≤0.001	≤0.001	0.289
ADG/(g·d ⁻¹)	18.50±0.31 ^c	19.11±0.43 ^c	19.82±0.18 ^b	19.86±0.53 ^b	20.51±0.21 ^a	≤0.001	≤0.001	0.288
ADFI/(g·d ⁻¹)	28.61±0.09 ^a	28.70±0.09 ^a	28.59±0.15 ^a	27.53±0.25 ^b	27.58±0.26 ^b	≤0.001	≤0.001	0.001
耗料增重比	1.55±0.03 ^a	1.50±0.04 ^b	1.44±0.02 ^c	1.39±0.05 ^d	1.34±0.02 ^c	≤0.001	≤0.001	0.861
F/G								
MEI/(kJ·d ⁻¹)	336.94±3.39 ^c	347.5±2.80 ^b	356.33±2.76 ^a	348.37±5.95 ^b	352.36±3.74 ^{ab}	≤0.001	≤0.001	≤0.001



方程为下方 AME 与生长性能各指标的线性和二次关系拟合方程, Y 代表生长性能指标, X 代表表观代谢能

图 1 饲料表观代谢能与生长性能之间的关系

Fig. 1 Relationship between dietary apparent metabolizable energy and growth performance

$P < 0.001$)

母雏: $MEI = 200.23 + 7.7364ADG$; ($R^2 = 0.6030$;

$P < 0.001$)

结合系数 a 与 $BW^{0.75}$ 的关系, 即可建立黄羽肉

鸡 MEr 模型:

公雏: $MEr = 1.6538BW^{0.75}(g) + 12.489ADG(g)$;

母雏: $MEr = 3.3605BW^{0.75}(g) + 7.7364ADG(g)$ 。

根据生长性能数据可以得到 1~21 日龄快速型

表 6 不同代谢能水平对 21 日龄快速型黄羽肉鸡公雏屠宰性能的影响

Table 6 Effects of dietary AME levels on slaughter performance of male fast yellow-feathered chicks aged 21 days %

项目 Item	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	M I	M II	M III	M VI	M V			
屠宰率 Dressing Percentage	85.44±3.06	86.31±2.28	86.60±2.14	87.10±2.09	87.73±2.51	0.219	0.020	0.918
半净膛率 Eviscerated Yield	76.61±2.19 ^b	76.68±1.55 ^b	77.43±1.57 ^{ab}	78.11±1.58 ^{ab}	78.90±2.08 ^a	0.016	0.001	0.489
全净膛率 Eviscerated Yield (without giblets)	59.80±2.05	59.96±2.29	60.31±2.13	61.29±1.65	61.75±2.26	0.109	0.009	0.591
胸肌率 Breast Yield	16.58±1.60	16.02±1.28	16.38±1.53	16.03±1.25	15.89±0.98	0.705	0.277	0.932
腿肌率 Leg Yield	19.53±2.57	19.00±2.74	20.15±3.38	19.82±3.38	19.80±3.60	0.932	0.643	0.890
腹脂率 Abdominal Fat Pad Yield	0.74±0.38 ^c	1.00±0.43 ^{bc}	1.62±0.78 ^a	1.30±0.53 ^{ab}	1.76±0.57 ^a	≤0.001	≤0.001	0.373

表 7 不同代谢能水平对 21 日龄快速型黄羽肉鸡母雏屠宰性能的影响

Table 7 Effects of dietary AME levels on slaughter performance of female fast yellow-feathered chicks aged 21 days %

项目 Item	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	F I	F II	F III	F VI	F V			
屠宰率 Dressing Percentage	85.63±2.08	85.19±2.20	85.97±2.05	86.08±1.75	85.85±1.93	0.829	0.473	0.910
半净膛率 Eviscerated Yield	75.99±1.98	75.78±2.49	76.61±2.08	76.88±1.26	76.28±2.37	0.698	0.380	0.553
全净膛率 Eviscerated Yield (without giblets)	59.07±2.54	59.75±2.24	61.04±2.84	60.39±1.20	60.51±1.53	0.218	0.078	0.196
胸肌率 Breast Yield	18.29±2.58	17.93±1.35	17.07±1.60	16.38±1.08	17.53±1.53	0.072	0.054	0.09
腿肌率 Leg Yield	18.11±1.94	19.60±2.51	18.12±1.61	18.65±2.86	18.56±2.76	0.550	0.977	0.659
腹脂率 Abdominal Fat Pad Yield	1.00±0.54 ^c	1.27±0.61 ^{bc}	1.23±0.37 ^{bc}	1.67±0.71 ^{ab}	1.79±0.43 ^a	0.004	≤0.001	0.772

表 8 不同代谢能水平对 21 日龄快速型黄羽肉鸡血清生化指标的影响

Table 8 Effects of dietary AME levels on serum biochemical parameters of fast yellow-feathered chicks aged 21 days

组别 Group	尿酸/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) Uric Acid	胆固醇/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Cholesterol	甘油三酯/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Triglyceride	组别 Group	尿酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) Uric Acid	胆固醇/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Cholesterol	甘油三酯/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) Triglyceride
M I	349.41±35.69 ^a	3.75±0.14	0.26±0.08 ^{ab}	F I	353.47±81.71	3.77±0.68	0.3±0.16
M II	344.12±79.81 ^a	3.76±0.29	0.22±0.12 ^b	F II	363.63±96.71	3.81±0.29	0.26±0.08
M III	350.22±54.13 ^a	3.91±0.42	0.35±0.12 ^a	F III	318.12±63.02	3.37±0.39	0.27±0.08
M VI	392.88±71.96 ^a	3.91±0.18	0.35±0.1 ^{ab}	F VI	306.34±49.98	3.53±0.52	0.29±0.09
M V	251.9±32.47 ^b	4.01±0.48	0.33±0.09 ^a	F V	305.53±46.3	3.51±0.55	0.2±0.06
P_{Anova}	0.005	0.597	0.097	P_{Anova}	0.475	0.537	0.491
P_{linear}	0.062	0.121	0.037	P_{linear}	0.103	0.236	0.213
$P_{quadratic}$	0.014	0.938	0.523	$P_{quadratic}$	0.913	0.547	0.620

表 9 不同代谢能水平对 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡公雏空体成分沉积的影响

Table 9 Effects of dietary AME levels on empty body composition deposition of male fast yellow-feathered chicks aged 1 to 21 days

项目 Item	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	M I	M II	M III	M VI	M V			
总能摄入量/MJ Gross Energy Intake	10.39 ^c	10.48 ^{bc}	10.56 ^b	10.62 ^{ab}	10.76 ^a	≤0.001	≤0.001	0.687
能量沉积量/MJ Energy Retention	3.80 ^b	3.77 ^b	4.19 ^a	4.10 ^a	4.17 ^a	0.007	0.002	0.396
能量沉积率/% Energy Retention Rate	36.59 ^b	36.02 ^b	39.65 ^a	38.63 ^{ab}	38.75 ^{ab}	0.037	0.021	0.337
粗蛋白摄入量/g Crude Protein Intake	142.40 ^a	138.22 ^b	136.90 ^b	132.64 ^c	132.38 ^c	≤0.001	≤0.001	0.050
粗蛋白沉积量/g Protein Retention	90	91.07	92.12	90.98	89.95	0.855	0.969	0.283
粗蛋白沉积率/% Protein Retention Rate	63.20 ^b	65.92 ^{ab}	67.29 ^a	68.59 ^a	68.02 ^a	0.051	0.006	0.183

表 10 不同代谢能水平对 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡母雏空体成分沉积的影响

Table 10 Effects of dietary AME levels on empty body composition deposition of female fast yellow-feathered chicks aged 1 to 21 days

项目 Item	组别 Group					P_{Anova}	P_{linear}	$P_{quadratic}$
	F I	F II	F III	F VI	F V			
总能摄入量/MJ Gross Energy Intake	9.56 ^d	9.74 ^c	9.93 ^a	9.71 ^c	9.84 ^b	≤0.001	≤0.001	≤0.001
能量沉积量/MJ Energy Retention	3.37 ^d	3.56 ^{cd}	3.88 ^{ab}	3.69 ^{bc}	3.94 ^a	0.001	0.001	0.217
能量沉积率/% Energy Retention Rate	35.24 ^c	36.53 ^{bc}	39.11 ^a	38.00 ^{ab}	40.06 ^a	0.003	0.001	0.491
粗蛋白摄入量/g Crude Protein Intake	127.02 ^b	126.91 ^b	131.45 ^a	122.34 ^c	123.17 ^c	≤0.001	≤0.001	≤0.001
粗蛋白沉积量/g Protein Retention	77.14 ^b	80.41 ^{ab}	85.08 ^a	82.32 ^a	84.34 ^a	0.006	0.002	0.084
粗蛋白沉积率/% Protein Retention Rate	60.74 ^d	63.30 ^{cd}	64.73 ^{bc}	67.31 ^{ab}	68.47 ^a	0.001	0.001	0.716

黄羽肉鸡公雏的饲粮 ME_r 为 379.32 kJ·d⁻¹;母雏为 351.66 kJ·d⁻¹,相应饲粮代谢能水平公雏为 12.50 MJ·kg⁻¹,母雏为 12.47 MJ·kg⁻¹。

表 11、12 可以看出,雏鸡表现代谢能、ME_i 与日增重呈极显著正相关 ($P < 0.01$),根据代谢能摄入量、代谢体重、日增重之间的关系进行非线性回归方程拟合,如图 2 所示。

3 讨 论

3.1 饲粮代谢能水平对 1~21 日龄快速型黄羽肉鸡生长性能和屠宰性能的影响

生长性能和屠宰性能是衡量试验饲粮效果的重要指标。Parsons 等^[14]研究表明,在适宜范围内,适当提高饲粮能量水平可提高肉鸡的生长速度和降低耗料增重比。本试验结果显示,母雏平均日增重随着能量水平的增加线性增加,耗料增重比线性降低;而公雏在 11.41~12.55 MJ·kg⁻¹ 代谢能水平时显著增加了平均日增重,12.55~13.20 MJ·kg⁻¹ 代谢能水平时平均日增重降低。而耗料增重比在 11.41~13.20 MJ·kg⁻¹ 时线性降低。杨秀娟等^[15]和

刘杰等^[15-16]的研究也同样表明,随着能量水平的提高,肉鸡 ADG 呈二次变化。这与动物生长规律一致,胴体生长是能量驱动蛋白质的合成代谢,从体成分结果来看公雏能量和蛋白沉积量随着能量水平的提高先增加后减少,而母雏能量沉积量线性升高,这也能佐证生长性能的结果。雏鸡采食量随着能量水平的提高线性降低,这与 Toghyani 等^[17]和 Lamot 等^[18]研究结果相同。表明随着饲粮能量水平的提高,肉鸡会通过采食量限制能量摄入来保持相对平衡^[19]。采食量受 AMP 依赖的蛋白激酶的调控,高能饲粮会下调肉鸡 AMP 蛋白激酶活性,导致采食量的降低^[20]。所以部分研究显示能量水平对摄入量没有显著影响^[21]。但本研究显示代谢能摄入量随着饲粮能量水平的提高极显著线性提高,这也与李建明^[22]等在岭南黄鸡上的研究结果相同。可能是因为虽然采食量能够调控能量的摄入,但是饲粮营养作用并不是孤立的,代谢能摄入量可能还受到了其他因素的影响。

屠宰性能是另一个能直观反映出生产性能的重要指标,能反映出能量水平对胴体组成的影响。

表 11 1~21 日龄公雏生产性能与表观代谢能、代谢能摄入量相关系数

Table 11 Correlation coefficient between production performance and apparent metabolic energy and metabolic energy intake of 1 to 21 days male chicks

项目 Item	日粮表观 代谢能 AME	平均 日增重 ADG	平均 日采食 ADFI	耗料 增重比 F/G	平均日 代谢能 摄入量 MEi	半净膛率 Eviscerated Yield	腹脂率 Abdominal Fat Pad Yield	尿酸 Uric Acid	甘油三酯 Triglyceride
日粮表观代谢能 AME	1.00								
平均日增重 ADG	0.76**	1.00							
平均日采食 ADFI	-0.89**	-0.72**	1.00						
耗料增重比 F/G	-0.90**	-0.92**	0.93**	1.00					
平均日代谢能摄入量 MEi	0.92**	0.67**	-0.65**	-0.71**	1.00				
半净膛率 Eviscerated Yield	0.47**	0.23	-0.59**	-0.44*	0.28	1.00			
腹脂率 Abdominal Fat Pad Yield	0.67**	0.52**	-0.66**	-0.64**	0.56**	0.19	1.00		
尿酸 Uric Acid	-0.29	-0.14	0.24	0.21	-0.28	-0.07	-0.12	1.00	
甘油三酯 Triglyceride	0.42*	0.44*	-0.44*	-0.46**	0.31	0.46*	0.49**	0.03	1.00

“*”表示差异显著($P<0.05$),“**”表示差异极显著($P<0.01$)。下表同

“*” indicates significant difference ($P<0.05$), “* *” indicates extremely significant difference ($P<0.01$). The same as below

表 12 1~21 日龄母雏生产性能与表观代谢能、代谢能摄入量相关系数

Table 12 Correlation coefficient between production performance and apparent metabolic energy and metabolic energy intake of 1~21 days female chicks

项目	日粮表观 代谢能 AME	平均 日增重 ADG	平均 日采食 ADFI	耗料 增重比 F/G	平均日 代谢能 摄入量 MEi	半净膛率 Eviscerated Yield	腹脂 Abdominal Fat Pad Yield	尿酸 Uric Acid	甘油三酯 Triglyceride
日粮表观代谢能 AME	1.00								
平均日增重 ADG	0.90**	1.00							
平均日采食 ADFI	-0.78**	-0.66**	1.00						
耗料增重比 F/G	-0.94**	-0.97**	0.82**	1.00					
平均日代谢能摄入量 MEi	0.81**	0.78**	-0.27	-0.68*	1.00				
半净膛率 Eviscerated Yield	0.25	0.13	-0.21	-0.18	0.18	1.00			
腹脂率 Abdominal Fat Pad Yield	0.46**	0.49**	-0.56**	-0.55*	0.20	0.04	1.00		
尿酸 Uric Acid	-0.31	-0.27	0.23	0.29	-0.26	-0.19	-0.01	1.00	
甘油三酯 Triglyceride	-0.19	-0.14	0.14	0.15	-0.17	0.10	0.21	0.01	1.00

蒋守群等^[23]研究报道,能量水平对肉仔鸡胸肌率、腿肌率、腹脂率均无显著影响。熊忙利和邢蕾^[24]也得到了能量水平对肉仔鸡全净膛率、胸肌腿肌率影响差异不显著的结论,但腹脂率显著提高。这与本试验结果不完全一致,本试验结果显示随着能量水平的提高,母雏净膛率及胸肌腿肌率差异不显著,但是全净膛率有增长的趋势,胸肌率有下降的趋势;而公雏净膛率线性提高,胸肌腿肌率差异不显

著,但同样胸肌率有所下降,这与 Wu 等^[25]的发现相近,北京鸭胸肌率和腿肌率随饲料代谢能水平的升高而降低。推测可能是由于物种、饲养环境和能量水平差异等原因导致。而对于雏鸡腹脂率,均随代谢能水平提高线性提高,证明日粮能量水平对该阶段雏鸡腹脂沉积具有显著影响,而就腹脂量来说,低、中能量水平对雏鸡影响较弱,说明雏鸡早期以肌肉生长为主,过剩的能量导致了腹脂的堆积^[26]。

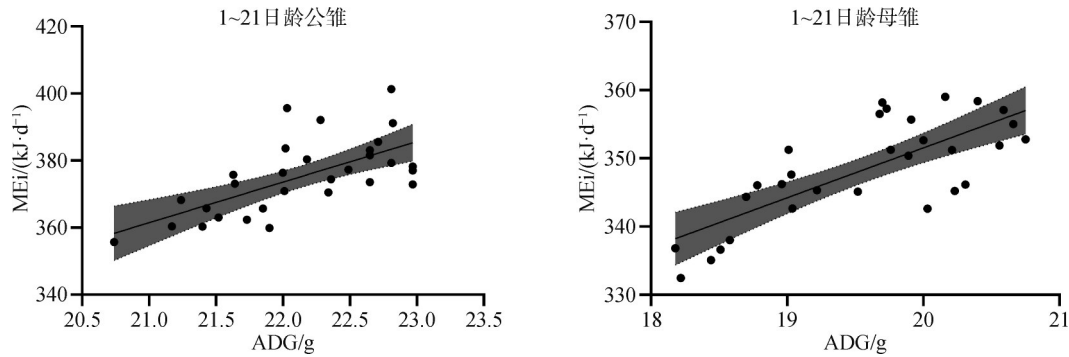


图2 1~21日龄代谢能摄入量与日增重拟合线性方程

Fig. 2 Linear Regression Modeling of MEi and ADG in 1- to 21-Day-Old

3.2 饲粮代谢能水平对1~21日龄快速型黄羽肉鸡血清生化指标和体成分沉积的影响

禽类蛋白质分解的主要产物是尿酸(UA),血清中UA的浓度,能够直接反映出机体对能量的利用情况,而血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)对机体血脂代谢有重要的参考依据。耿光瑞等^[27]报道塞北乌骨鸡公鸡中TG含量随着日粮能量水平的升高而降低,母鸡血清TG含量随着日粮能量水平的升高而极显著升高,而TC随着能量水平的增加而增加。这与本试验结果不一致,本试验血清TC、TG含量均不因能量水平的升高而存在显著差异,这与徐晨等^[28]的研究结果一致。推测可能是因为在该蛋白水平下,该能量水平梯度未能显著影响血清中的能量和脂肪代谢,更多的是受蛋白质水平的调控^[28]。

胴体能量沉积可以通过比较屠宰法前后总能差值计算沉积量。杨德凤等^[29]研究表明,饲粮能量水平显著影响鸡体的能量沉积,随着饲粮能量水平的升高,代谢能摄入量、沉积量及沉积率均先升高后降低,与本试验公雏结果一致,但母雏能量沉积量和沉积率在最高能量水平组反而最高。本试验蛋白沉积量和沉积量随着能量水平的提高显著提高,与杨德凤等^[29]的研究不完全一致。推测是因为肉鸡品种及环境温度造成的差异,且母鸡相较于公鸡更易堆积脂肪,所以母雏的能量沉积率更高。

3.3 1~21日龄快速型黄羽肉鸡代谢能需要量数学模型的研究

数学模型已经广泛应用于禽类营养物质需要量的计算^[30],毕慧娟^[19]通过梯度饲养试验得到817肉鸡预测方程为 $YME=215.55W^{0.75}(\text{kg})+14.52\Delta W(\text{g})$ 。高英和李建国^[31]通过梯度饲养试验得到的1~4周龄AA肉鸡代谢能预测方程为

$MEr(\text{MJ})=0.538W^{0.75}+10.46\Delta W$ 。徐小静^[32]通过比较屠宰试验和梯度饲养试验相结合得到文昌鸡1~30日龄能量预测方程为 $MEr(\text{kJ}\cdot\text{d}^{-1})=389.63\times BW^{0.75}+16.73\times ADG$ 。然而,通过数学模型计算快速黄羽肉鸡营养需要量却鲜有发表。此外,大多数试验采用公母各半的饲养方式,通过数学计算禽类的营养需要量。这将导致公雏未达到最大生长潜力,母雏过量吸收造成浪费。本试验针对公雏、母雏分别建立以 $BW^{0.75}/ADG$ 为自变量,MEi/ADG为因变量的线性回归方程,进一步建立代谢能需要量的回归方程。为快速估测快速型黄羽肉鸡的代谢能需要量提供参考。

本试验条件下,综合生长性能、屠宰性能、血清生化指标、体成分等指标可以得到1~21日龄快速型黄羽肉鸡的饲粮MEr为 $379.32\text{ kJ}\cdot\text{d}^{-1}$;母雏为 $351.66\text{ kJ}\cdot\text{d}^{-1}$,相应饲粮代谢能水平公雏为 $12.50\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,母雏为 $12.47\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。目前快速型黄羽肉鸡代谢能需要量的研究较少,田亚东^[33]的研究表明快大型固始鸡前期0~4周龄适宜代谢能需要量为 $12.39\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,其粗蛋白水平为20.13%,蛋能比为 $16.25\text{ g}\cdot\text{MJ}^{-1}$,研究结果略低于本试验,但本试验蛋能比高于田亚东试验结果。李建明等^[22]认为,前期快速型岭南黄鸡适宜代谢能水平为 $12.5\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,与本试验相近。在本试验条件下21日龄快速型黄羽肉鸡最大体重519.48 g和471.12 g,高于勾丹等^[34]试验中21日龄湘佳黄鸡最大体重的4%和2%,基本一致。曹顶国等^[35]指出0~5周龄鲁禽3号麻鸡日粮代谢能适宜量为 $11.30\sim 11.72\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,低于本试验结果,可能是由于地方培育鸡种生长性能低于本试验鸡种,说明生长性能是影响代谢能需要量的因素之一。而毕慧娟^[19]的研究指出817肉鸡1~21日龄饲粮代谢能为 $12.12\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,粗蛋白为

21%时具有较好的生长性能。

尽管本研究通过系统试验明确了1~21日龄快速型黄羽肉鸡公雏与母雏的代谢能需要量及其预测模型,但仍存在以下局限性:代谢能梯度范围的设置主要基于行业标准与预试验结果,未能覆盖更宽泛的能量需求区间,可能限制拐点值的精确识别;其次,试验设计基于单因素完全随机设计,但实际生产中能量与蛋白质、氨基酸等营养素的互作效应显著^[36],可能影响模型的适用性,后续研究仍需进一步探究。

4 结 论

综合生长性能、屠宰性能、血清生化指标、体成分等指标可以得到1~21日龄快速型黄羽肉鸡公雏的饲料适宜代谢能梯度为12.69~12.82 MJ·kg⁻¹,母雏为12.78~12.93 MJ·kg⁻¹。

得到快速型黄羽肉鸡公雏代谢能预测方程为: $MEr = 1.6538 BW^{0.75}(g) + 12.489ADG(g)$; 母雏: $MEr = 3.3605 BW^{0.75}(g) + 7.7364ADG$ 。对应MEr公雏为379.32 kJ·d⁻¹;母雏为351.66 kJ·d⁻¹,相应饲料代谢能水平公雏为12.50 MJ·kg⁻¹,母雏为12.47 MJ·kg⁻¹。

参考文献 (References):

- [1] 蒋守群. 黄羽肉鸡营养需要与无抗饲料配制技术研究进展[J]. 养禽与禽病防治, 2023(2): 40-46.
JIANG S Q. Research progress on nutritional requirements and formulation technology of antibiotic free feed for Huangyu broiler chickens [J] *Poultry Husbandry and Disease Control*, 2023 (2): 40-46. (in Chinese)
- [2] 蒋守群, 苟钟勇, 李 龙, 等. 国家农业行业标准《黄羽肉鸡营养需要量》技术解析[J]. 饲料工业, 2022, 43(16): 59-64.
JIANG S Q, GOU Z Y, LI L, et al. Technique introduction of national agricultural industry standard "nutrient requirements of yellow chicken" [J]. *Feed Industry*, 2022, 43(16): 59-64. (in Chinese)
- [3] 苟钟勇, 王一冰, 林厦菁, 等. 黄羽肉鸡营养与饲料研究进展[J]. 广东农业科学, 2020, 47(11): 125-134.
GOU Z Y, WANG Y B, LIN X J, et al. Research progress in nutrition and feed of yellow-feathered broiler chickens [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020, 47(11): 125-134. (in Chinese)
- [4] 阮 栋, 周桂莲, 陈 芳, 等. 1~63日龄快速型黄羽肉鸡硫胺素需要量研究[J]. 动物营养学报, 2021, 33(12): 6757-6770.
RUAN D, ZHOU G L, CHEN F, et al. Study on the thiamine requirement of rapid yellow feathered broiler chickens aged 1 to 63 days [J] *Chinese Journal Of Animal Nutrition*, 2021, 33 (12): 6757-6770. (in Chinese)
- [5] 赵桂平. "三黄鸡"实用饲养技术[J]. 致富天地, 1999(1): 28.
ZHAO G P. Practical Breeding Techniques for "Three Yellow Chickens" [J]. *Fortune World*, 1999 (1): 28. (in Chinese)
- [6] 樊宝良, 谢建国, 李 剑, 等. 我国黄羽肉鸡产业现状及未来发展趋势[J]. 北方牧业, 2022, (11): 17-19.
FAN B L, XIE J G, LI J, et al. Industry status and future development trend of yellow-feathered broiler in China [J]. *BeiFang MuYe*, 2022, (11): 17-19. (in Chinese)
- [7] LIU S Y, NARANJO V D, CHRYSTAL P V, et al. Box-Behnken optimisation of growth performance, plasma metabolites and carcass traits as influenced by dietary energy, amino acid and starch to lipid ratios in broiler chickens [J]. *PLoS One*, 2019, 14 (3): e0213875.
- [8] ZHAO J P, CHEN J L, ZHAO G P, et al. Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens [J]. *Poult Sci*, 2009, 88(12): 2575-2584.
- [9] LIU X B, LI L J, BAN Z B, et al. Determination of metabolisable and net energy contents of corn fed to Arbor Acres broilers and Beijing You chickens [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2023, 107(2): 671-679.
- [10] 肖鸾珣, 赵昀杰, 杨新拓, 等. 快速型黄羽肉鸡玉米代谢能值及氨基酸标准回肠消化率评定[J]. 动物营养学报, 2024, 36(9): 5669-5681.
XIAO Q X, ZHAO Y J, YANG X T, et al. Evaluation of corn metabolic energy value and amino acid standard ileal digestibility in fast yellow feathered broiler chickens [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, 36 (9): 5669-5681. (in Chinese)
- [11] 张 赛, 苟钟勇, 蒋守群. 80日龄慢速型黄羽肉鸡常规蛋白饲料原料代谢能评定[J]. 饲料研究, 2021, 44(15): 55-58.
ZHANG S, GOU Z Y, JIANG S Q. Evaluation of metabolizable energy of conventional protein feed

- ingredients in slow-growing yellow-feathered broilers at 80 days of age[J]. *Feed Research*, 2021, 44(15): 55-58. (in Chinese)
- [12] 熊太第. 中速型黄羽肉鸡净能需要量及预测模型研究[D]. 佛山: 佛山科学技术学院, 2024.
- XIONG T D. Study on net energy requirements and prediction models for medium-speed yellow-feathered broilers [D]. Foshan: Foshan University, 2024. (in Chinese)
- [13] 杨在宾, 杨维仁, 姜淑贞, 等. 芦花鸡生长期营养需要量标准和析因模型研究进展[J]. 饲料工业, 2023, 44(23): 1-8.
- YANG Z B, YANG W R, JIANG S Z, et al. Research progress on nutritional requirements standards and factorial models for Barred Plymouth Rock chickens during the growing period. *Feed Industry*, 2023, 44(23): 1-8. (in Chinese)
- [14] PARSONS C M, ZHANG Y, ARABA M. Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content [J]. *Poult Sci*, 2000, 79(8): 1127-1131.
- [15] 杨秀娟, 邓 斌, 陈玉芹, 等. 不同能量营养水平日粮对 0~6 周龄武定鸡生长性能的影响[J]. 饲料研究, 2015(4): 53-55, 62.
- YANG X J, DENG B, CHEN Y Q, et al. The effect of different energy and nutrient levels of diet on the growth performance of 0-6-week-old Wuding chickens [J]. *Feed Research*, 2015(4): 53-55, 62. (in Chinese)
- [16] 刘 杰, 郭 荣, 张 娟, 等. 能量与蛋白质水平对静原鸡生长性能、屠宰性能、血液生化指标及代谢组的影响[J]. 西南农业学报, 2024, 37(3): 664-677.
- LIU J, GUO R, ZHANG J, et al. The effects of energy and protein levels on the growth performance, slaughter performance, blood biochemical indicators, and metabolome of Jingyuan chickens [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2024, 37(3): 664-677. (in Chinese)
- [17] TOGHYANI M, MACELLINE S, SELLE P H, et al. Interactive effects of dietary energy levels with amino acid density on growth performance and optimal digestible Lys to energy ratio of male broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2024, 103(12): 104361.
- [18] LAMOT DM, SAPKOTA D, WIJTEN PJA, et al. Diet density during the first week of life: Effects on growth performance, digestive organ weight, and nutrient digestion of broiler chickens [J]. *Poult Sci*, 2019, 98(2): 789-795.
- [19] 毕慧娟. “817”肉鸡主要营养参数需要量[D]. 青岛: 青岛农业大学. 2013.
- BI H J. The main nutritional parameter requirements for “817” broiler chickens [D]. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [20] HU X, WANG Y, SHEIKHAHMADI A, et al. Effects of dietary energy level on appetite and central adenosine monophosphate-activated protein kinase (AMPK) in broilers [J]. *J Anim Sci*, 2019, 97(11): 4488-4495.
- [21] MASSUQUETTO A, PANISSON JC, SCHRAMM VG, et al. Effects of feed form and energy levels on growth performance, carcass yield and nutrient digestibility in broilers [J]. *Animal*, 2020, 14(6): 1139-1146.
- [22] 李建民, 陈国胜, 王玉海, 等. 岭南黄肉鸡前期日粮适宜蛋白质和能量水平的研究[J]. 甘肃畜牧兽医, 2002(5): 17-20.
- LI J M, CHEN G S, WANG Y H, et al. Study on the suitable protein and energy levels of early stage diets for Lingnan Yellow Broiler Chickens [J]. *Gansu Animal and Veterinary Sciences*, 2002(5): 17-20. (in Chinese)
- [23] 蒋守群, 王薇薇, 阮 栋, 等. 1~28 日龄慢速型黄羽肉公鸡饲料代谢能需要量研究[J]. 动物营养学报, 2019, 31(3): 1103-1110.
- JIANG S Q, WANG W W, RUAN D, et al. Study on the metabolic energy requirements of feed for slow paced yellow feathered broiler chickens aged 1-28 days [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(3): 1103-1110. (in Chinese)
- [24] 熊忙利, 邢 蕾. 不同日粮能量水平对肉仔鸡生产性能和屠宰性能的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(4): 52-53.
- XIONG M L, XING L. The effect of different dietary energy levels on the production and slaughter performance of broiler chickens [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020(4): 52-53. (in Chinese)
- [25] WU Y B, TANG J, XIE M, et al. Effects of dietary energy and methionine on growth performance and carcass traits of growing Pekin ducks from 15 to 42 days of age [J]. *Poult Sci*, 2019, 98(11): 5870-5875.
- [26] 张淑森. 黄羽肉鸡养殖中对能量和蛋白质的需要量[J]. 中国动物保健, 2022, 24(1): 100, 102.
- ZHANG S S. Energy and protein requirements in yellow-feathered broiler farming [J]. *China Animal Health*, 2022, 24(1): 100, 102. (in Chinese)
- [27] 耿光瑞, 刘海斌, 张立永, 等. 日粮能量水平对塞北乌

- 骨鸡血清生化指标的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013 (3):139-141.
- GENG G R, LIU H B, ZHANG L Y, et al. The effect of dietary energy level on serum biochemical indicators of Saibei Wugu chicken [J] *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2013(3): 139-141. (in Chinese)
- [28] 徐 晨, 杨 芷, 杨海明, 等. 饲料能量和蛋白质水平对21~56日龄青铜火鸡生长性能和血清生化指标的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2022, 49(1):92-97.
- XU C, YANG Z, YANG H M, et al. The effects of dietary energy and protein levels on growth performance and serum biochemical indicators of 21-56 day old bronze turkeys [J] *Journal of Anhui Agricultural University*, 2022, 49 (1): 92-97. (in Chinese)
- [29] 杨德凤, 施晓丽, 李 维, 等. 0~6周龄贵州黄鸡能量需要的研究[J]. 动物营养学报, 2022, 34(4):2374-2382.
- YANG D F, SHI X L, LI W, et al. Study on energy requirements of Guizhou Yellow Chickens aged 0-6 weeks[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34 (4):2374-2382. (in Chinese)
- [30] 李 龙. 清远麻鸡生长规律与能量需要模型研究[D]. 广州:华南农业大学, 2020.
- LI L. Research on the growth pattern and energy requirement model of Qingyuan Ma Chicken [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [31] 高 英, 李建国. 肉仔鸡能量营养研究进展[J]. 中国饲料, 2003(21):14-15.
- GAO Y, LI J G. Research progress on energy nutrition of broiler chickens[J]. *China Feed*, 2003, (21):14-15. (in Chinese)
- [32] 徐小静. 文昌鸡母鸡的生长规律及能量需要模型研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2023.
- XU X J. Study on the growth law and energy requirement model of Wenchang chicken hens [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2023. (in Chinese)
- [33] 田亚东. 固始鸡能量和蛋白质营养需要量的研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2002.
- TIAN Y D. Study on the Energy and Protein Nutrient Requirements of Gushi Chicken [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2002. (in Chinese)
- [34] 勾 丹, 赵昀杰, 常 棋, 等. 快速型黄羽肉鸡生长模型及营养沉积规律的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55(10):4500-4516.
- GOU D, ZHAO Y J, CHANG Q, et al. Research on the growth model and nutrient deposition pattern of rapid yellow feathered broiler[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2024, 55 (10): 4500-4516. (in Chinese)
- [35] 曹顶国, 逯 岩, 韩海霞, 等. 鲁禽3号麻鸡能量需要研究[J]. 动物营养学报, 2006(4):228-232.
- CAO D G, LU Y, HAN H X, et al. Study on energy requirements of Luqin No. 3 Ma Chicken[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2006 (4): 228-232. (in Chinese)
- [36] BAREKATAIN R, ROMERO L F, SORBARA J O B, et al. Balanced nutrient density for broiler chickens using a range of digestible lysine-to-metabolizable energy ratios and nutrient density: Growth performance, nutrient utilisation and apparent metabolizable energy [J]. *Anim Nutr*, 2021, 7(2):430-439.

(编辑 范子娟)