



黄华云, 杨苗苗, 向海, 李瑞瑞, 赵振华, 李春苗, 王钱保, 黄正洋, 张耿铭, 吴香君, 梁忠. mTOR通路相关基因在不同品系鸡不同组织、细胞的表达规律及相关性分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(03): 141-152.

HUANG Huayun, YANG Miaomiao, XIANG Hai, LI Ruirui, ZHAO Zhenhua, LI Chunmiao, WANG Qianbao, HUANG Zhengyang, ZHANG Gengming, WU Xiangjun, LIANG Zhong. Expression pattern and correlation analysis of mTOR pathway related genes in different tissues and cells of different strains of chickens[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(03): 141-152.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.03.13

mTOR通路相关基因在不同品系鸡不同组织、细胞的表达规律 及相关性分析

黄华云¹ 杨苗苗^{1,2} 向海² 李瑞瑞^{1,2} 赵振华¹ 李春苗¹ 王钱保¹ 黄正洋¹
张耿铭^{1,3} 吴香君^{1,3} 梁忠¹

(1. 江苏省家禽科学研究所, 江苏 扬州 225125;

2. 佛山大学 动物科技学院/广东省动物分子设计与精准育种重点实验室, 广东 佛山 528225;

3. 河北科技师范学院 动物科技学院/河北省特色动物物种资源挖掘与创新重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

摘要 为探究富集在mTOR通路上*GRB10*、*ULK2*和*PIK3R1*基因在鸡脂肪沉积和肌肉发育中的调控作用,本研究以S3、F和H系为试验素材,分析其屠宰性能、胸肌和血清中甘油三酯(TG)、磷脂(PL)、胆固醇(CHO)含量差异,再利用荧光定量PCR技术检测3个基因在不同组织及细胞中的表达变化,并做相关性分析。结果表明:1)1)F系在体重、全净膛重、胸肌重、腿肌重、腹脂重显著最高($P<0.05$),H系腹脂率显著最低($P<0.05$)。2)不同发育时期胸肌和血清中的脂质含量均呈波浪型变化规律。胸肌中TG含量在2和15周龄时S3系显著最高($P<0.05$),CHO在2和5周龄时H系显著最低($P<0.05$);血清中TG含量在5周龄时F系最高($P<0.05$),LDL-C(低密度脂蛋白)在2、5和15周龄时F系显著最高($P<0.05$)。3)H系肌纤维直径/密度显著低于/高于其它品系($P<0.05$),肌纤维的横截面积则相反,S3系脂肪细胞的体积显著最大($P<0.05$)。4)3个基因在不同品系鸡不同周龄的肝脏、腹脂、胸肌、腿肌、皮脂组织、成肌细胞和肌内脂肪细胞中均有表达,呈现出显著的品系和组织差异性($P<0.05$)。5)*GRB10*、*ULK2*和*PIK3R1*表达与胸肌重(率)、腿肌重(率)呈显著正相关($P<0.05$),*ULK2*与腹脂重(率)显著正相关($P<0.05$)。综上,不同品种的鸡在成长发育过程中,胸肌和血清中的脂质水平波动明显;3个基因在多个组织中表达丰富,且在品种和组织间有显著差异,并与胸肌重(率)、腿肌重(率)、腹脂重(率)呈显著相关,是研究鸡肌肉发育和脂肪沉积的潜在靶点。本研究为深入分析*GRB10*、*ULK2*和*PIK3R1*的功能和机制提供了坚实的理论基础和数据支撑。

关键词 鸡; *CGRB10*; *ULK2*; *PIK3R1*; 肌肉发育; 脂肪沉积

中图分类号 S831

文章编号 1007-4333(2025)03-0141-12

文献标志码 A

Expression pattern and correlation analysis of mTOR pathway related genes in different tissues and cells of different strains of chickens

HUANG Huayun¹, YANG Miaomiao^{1,2}, XIANG Hai², LI Ruirui^{1,2}, ZHAO Zhenhua¹,
LI Chunmiao¹, WANG Qianbao¹, HUANG Zhengyang¹, ZHANG Gengming^{1,3},
WU Xiangjun^{1,3}, LIANG Zhong¹

(1. Institute of Poultry Science, Yangzhou 225125, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Animal Molecular Design and Precise Breeding/ School of Animal Science and Technology, FOSHAN University, Foshan 528225, China;

3. Hebei Key Laboratory of Specialty Animal Germplasm Resources Exploration and Innovation/College of Animal Science and Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066004, China)

收稿日期: 2024-05-29

基金项目: “国家重点研发计划农业生物物种资源挖掘与创新利用”重点专项资助(2021YFD1200803);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-41-Z05);江苏省种业振兴揭榜挂帅项目(JBGS(2021)109;JBGS(2021)029))

第一作者: 黄华云(ORCID:0000-0002-1192-3674),研究员,主要从事家禽遗传育种研究,E-mail:huanghuayun520@163.com

Abstract In order to investigate the regulatory role of *GRB10*, *ULK2* and *PIK3R1* genes enriched in the mTOR pathway in chicken fat deposition and muscle development, the present study was conducted to analyse the differences in slaughter performance, pectoral muscle and serum levels of triglycerides (TG), phospholipids (PL), and cholesterol (CHO) using the S3, F, and H lines, and then to detect the expression changes of the three genes using fluorescence qPCR in expression changes in different tissues and cells, and do correlation analysis. The results showed that: 1) The F line had the significantly highest ($P<0.05$) in body weight, full net chamber weight, pectoral muscle weight, leg muscle weight and abdominal fat weight, and the H line had the significantly lowest ($P<0.05$) in abdominal fat rate. 2) Lipid contents in pectoral muscle and serum showed a wave pattern of change in different developmental periods. The TG content in the pectoral muscle was significantly ($P<0.05$) highest in the S3 line at 2 and 15 weeks of age, and CHO was significantly ($P<0.05$) lowest in the H line at 2 and 5 weeks of age; the TG content in the serum was significantly ($P<0.05$) highest in the F line at 5 weeks of age, and the LDL-C was significantly ($P<0.05$) highest in the F line at 2, 5, and 15 weeks of age. 3) The diameter/density of muscle fibres in the H line was significantly lower/ higher than that of the other lines. density was significantly lower/higher than that of other lines ($P<0.05$), while the cross-sectional area of myofibrils was the opposite, with adipocytes in line S3 having the significantly largest volume ($P<0.05$). 4) The three genes were expressed in liver, abdominal lipids, pectoral muscles, leg muscles, sebaceous tissues, adult and intramuscular myofibroblasts in chickens of different lines at different weekly ages, showing significant line and tissue variability ($P<0.05$). 5) *GRB10*, *ULK2* and *PIK3R1* expression showed significant positive correlation with pectoral muscle weight (rate) and leg muscle weight (rate) ($P<0.05$), and *ULK2* was significantly positively correlated with abdominal fat weight (rate) ($P<0.05$). In conclusion, the lipid levels in breast muscle and serum fluctuated significantly during growth and development of different breeds of chickens; the three genes were abundantly expressed in multiple tissues with significant differences among breeds and tissues, and were significantly correlated with breast muscle weight (rate), leg muscle weight (rate), and abdominal fat weight (rate), making them potential targets for the study of muscle development and lipid deposition in chickens. This study provides a solid theoretical foundation and data support for the in-depth study of the functions and mechanisms of *GRB10*, *ULK2* and *PIK3R1*.

Keywords chicken; *GRB10*; *ULK2*; *PIK3R1*; muscle development; fat deposition

家禽骨骼肌(主要是胸肌和腿肌)不仅是主要的运动器官,也是重要的动物蛋白,约占鸡肉产量的40%^[1]。因此,肌肉生长发育对家禽产肉量起到决定性的作用。我国地方优质鸡的骨骼肌产肉量远低于国内、外快大型肉鸡,使得饲养成本偏高,无法适应分割品市场,饲养规模日益萎缩^[2]。目前,地方鸡的优质风味被普遍认为具有极强竞争力,但持续的、基础的、系统的相关育种指标体系和基因功能研究数据库仍在量变构建阶段,尚无法从质变的层次带来突破。脂肪是组成动物机体不可或缺的重要成分,也是动物能量代谢过程中的重要物质,其主要作用是储存能量^[3]。肌内脂肪细胞是指存在肌肉组织中的脂肪细胞,存在肌肉纤维之间,是肌肉能量储备的一部分,肌内脂肪含量对鸡肉的质地、口感和风味有显著影响。研究表明,肌内脂肪含量较高的鸡肉口感更加嫩滑,风味也更为丰富^[4]。

因此筛选出影响肌肉发育和脂肪沉积的重要候选基因具有重要的理论和实践意义。

生长因子受体结合蛋白10(Growth factor receptor bound protein 10, *GRB10*)、unc-51样自噬激活激酶2(Unc-51 like autophagy activating kinase 2, *ULK2*)和磷酸肌醇-3-激酶调节亚基1(Phosphoinositide-3-Kinase regulatory subunit 1, *PIK3R1*)是富集在mTOR信号通路上的3个基因。mTOR信号通路是细胞内一个关键的调控系统,影响细胞生长、自噬和死亡。它在多种疾病如癌症、关节炎和糖尿病中起作用。mTOR信号通路在肿瘤中经常被激活,它不仅调节基因转录和蛋白质合成以调节细胞增殖和免疫细胞分化,而且在肿瘤代谢中起着重要作用,因此,mTOR信号通路在细胞生理和疾病中的多面性作用是目前的研究热点^[5]。而有研究报道,3个基因在众多生理过程中均发挥着重要作用。*GRB10*是一种众所周知的Src同源2

结构域连接蛋白,在多种器官中过表达,包括胰腺、脑和脂肪组织^[6-7],可负调控胰岛素/IGF信号传导^[8-9]; *GRB10*在肌肉中的特异性消融会影响小鼠的肌肉大小和葡萄糖代谢^[10];沉默的*GRB10*可以通过急性内质网应激被重新激活,在肝脂肪变性的早期发展中起着重要作用^[11]。*ULK2*是丝氨酸/苏氨酸激酶家族的一员,在哺乳动物细胞自噬的启动中起重要作用,它还参与许多其他生物学过程,包括细胞命运决定、代谢、转录控制和肿瘤发生^[12]; *ULK2*缺乏还会导致肌肉力量受损,并导致肌纤维萎缩和变性,且它对于骨骼肌中泛素化蛋白质聚集体的降解和稳态至关重要^[13];癌基因 *YBX1*促进 *ULK2*作为转录因子的转录和表达,从而增强自噬和脂肪生成^[14]。*PIK3R1*是磷酸肌肽3激酶的调控亚基^[15],具有肿瘤抑制潜能。miR-F4-C12通过靶向 *PIK3R1*调节去势公猪皮下脂肪组织的积累^[16]。综上,目前对 *GRB10*、*ULK2*和 *PIK3R1*的研究主要集中在对哺乳动物肌肉大小及葡萄糖代谢、肌纤维萎缩和变性、脂肪生成、自噬及人类疾病调控等研究。在家禽上, *GRB10*、*ULK2*和 *PIK3R1*在肌肉发育和脂肪沉积中的作用尚未有相关研究。

本研究使用了专门化品系 S3、F 和 H 系作为试验素材,系统分析了这 3 个品系鸡的屠宰性状、脂肪代谢和肌纤维特性的差异。通过对 *GRB10*、*ULK2*和 *PIK3R1*在不同品系的肝脏、胸肌、腿肌、皮脂和腹脂组织、脂肪细胞以及成肌细胞增殖与分化期的表达变化进行研究,初步揭示了这些品系肌肉发育和脂肪沉积的规律。此外,研究结果为后期配套系组合的筛选提供了科学依据,有助于进一步深入研究这些基因在脂肪沉积和肌肉发育过程中的具体作用机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究 S3 系、F 系和 H 系母鸡为江苏省家禽科学研究所自主培育的专门化品系。S3 系为性连锁矮小鸡,中速型,具有黄羽、青胫、节粮等特点;F 系为中、快速型肉鸡品系,具有黄麻羽、高脚青胫、生长速度高等特点;H 系为慢速型肉鸡品系,具有黄羽、黄脚、肉质佳等特点。

1.2 屠宰指标的测定

试验鸡群在相同环境与管理条件下饲养,分别在鸡的 0、2、5、10 和 15 周龄时每个品系各取 6 只母

鸡,采集肝脏、胸肌、腿肌、腹部脂肪和皮下脂肪组织, -80℃ 保存,用于后续基因荧光定量分析。在 10 和 15 周龄各品系屠宰 30 只母鸡,测定胸、腿肌重、腹脂重、全净膛重和半净膛重,计算腹脂率、胸肌率和腿肌率。

1.3 脂质指标测定

准确称取胸肌,按重量(g):体积(mL)的比例,加入 9 倍体积的无水乙醇,冰浴条件下匀浆 10 min,后离心取上层清液待测,而血清则是在鸡的翅静脉采血,室温静置沉淀后离心,分离血清待测,测定方法按照甘油三酯(TG)、总胆固醇(T-CHO)、磷脂(PL)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量等参照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书进行。

1.4 肌纤维与脂肪细胞的测定

取 15 周龄中每个品系的胸肌和腹脂,每个品系各取 3 个样品,胸肌石蜡组织切片制作和测定参照杨朝永等^[17]的方法进行,而脂肪切片制作和测定参照杨焯城^[18]的方法进行。

1.5 细胞培养和诱导分化

选择 19 胚龄的鸡胚胸肌组织提取肌内脂肪细胞,提取方法参考张欣^[19]的方法进行,并使用含有 10% 胎牛血清(BI,以色列)和 1% 青霉素溶液(Gibco,美国)的 DME/F12 培养基(HyClone,美国)进行培养;成肌细胞则选择 13 胚龄鸡胚胸肌组织,提取方法参考张欣^[19]的方法进行,使用含有 20% 胎牛血清和 1% 青霉素溶液的 DMEM/HIGHGLUCOSE 培养基(HyClone,美国)进行培养。肌内脂肪细胞用 0.1% 油酸(Sigma,美国)诱导分化,成肌细胞用 2% 马血清(普诺赛,中国)诱导分化。

1.6 总 RNA 提取及反转录

总 RNA 的提取参照试剂盒说明书进行(南京诺唯赞,中国),用 PrimerScript™ RT Master Mix (Perfect Real Time)试剂盒(Takara,日本)进行 cDNA 的反转录。

1.7 引物设计和荧光定量

实时荧光定量 PCR(Real-time fluorescent quantitative PCR, RT-qPCR)的引物使用 Oligo7 软件进行设计,引物见表 1。引物合成由生工生物工程(上海)股份有限公司完成, *GAPDH* 作为内参基因。RT-qPCR 程序按照试剂盒说明书进行(QIAGEN, 德国)。

表1 荧光定量PCR引物序列
Table 1 Quantitative PCR primer sequences

基因 Gene	序列 Sequence	退火温度/℃ Annealing temperature	产物长度/bp Product length	登录号 Accession number
GRB10	F:5'GGCTATTTCTTCTCCGGGACA3'	55.1	107	XM_040684209.2
	R:5'ATCATCCTCACACGGCAAG3'	56.8		
ULK2	F:5'CAGATCAGCCAACTAAGCAA3'	52.3	125	XM_040687342.2
	R:5'TTCAGTTTCCCCAATTTGACC3'	52.8		
PIK3R1	F:5'TACCGGAATGAATCTCTAGCTC3'	53.3	175	XM_046936454.1
	R:5'GTCTGTCATATTCTCGGCTT3'	51.5		

1.8 基因的生物信息学分析

通过 PathCards 数据库 (<https://pathcards.genecards.org/>)对3个基因共有的通路进行检索,将富集在同一通路上的所有基因用 STRING 数据库 (<https://cn.string-db.org/>)进行蛋白互作分析,采用 MOCOE 算法,分析 *GRB10*、*ULK2*、*PIK3R1* 和其他基因的互作关系。

1.9 数据分析

应用 SPSS 软件进行单因素方差分析、多重比较 (Duncan 法)和相关性分析, $P>0.05$ 表示差异不显著, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同品系不同日龄对脂质指标的影响

由表2得知,血清中 TG、CHO、LDL-C 和 HDL-C 含量在 2、5、10 和 15 周龄存在显著的品系差异。在 2 周龄时, F 系的血清 LDL-C 含量显著高于 S3 系和 H 系 ($P<0.05$)。5 周龄时 S3 系的血清 TG 含量显著低于 F 系和 H 系 ($P<0.05$); 与 S3 系和 H 系相比, 血清中的 LDL-C 的 F 系含量显著较高 ($P<0.05$)。10 周龄时 LDL-C 含量 F 系显著低于 H 系 ($P<0.05$), S3 系与 F 系和 H 系的差异不显著 ($P>0.05$)。在 15 周龄时,

表2 不同品系不同日龄鸡血清脂质指标的分析
Table2 Differential analysis of serum lipid indexes in chickens of different strains and ages mmol/L

日龄/周 Age	品系 Strain	TG	CHO	LDL-C	HDL-C
2	S3	0.42±0.07	5.77±0.61	2.16±0.30b	1.87±0.28
	F	0.53±0.05	5.42±0.31	3.80±0.27a	2.01±0.26
	H	0.54±0.30	4.53±0.22	2.27±0.05b	1.76±0.20
5	S3	0.31±0.06b	3.89±0.44	3.14±0.18b	1.67±0.20
	F	1.06±0.06a	4.09±0.22	3.86±0.18a	1.69±0.12
	H	1.01±0.16a	3.83±0.16	2.63±0.38b	1.58±0.25
10	S3	1.20±0.20	3.52±0.25	1.65±0.25ab	1.12±0.18
	F	1.40±0.06	4.27±0.41	1.60±0.08b	0.99±0.12
	H	1.34±0.19	4.09±0.36	2.06±0.31a	0.97±0.07
15	S3	6.94±1.55a	3.13±0.23	1.85±0.19a	0.69±0.16b
	F	5.26±1.04a	2.78±0.28	2.35±0.07a	1.05±0.13a
	H	1.63±0.26b	3.44±0.42	1.12±0.16b	0.72±0.06b

注:相同字母表示不显著($P>0.05$),不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: The same letter indicates non-significant differences($P>0.05$), different letters indicate significant differences($P<0.05$). The same below.

血清中的 TG 和 LDL-C 的含量在 H 系显著低于 S3 系和 F 系($P<0.05$);HDL-C 含量 F 系显著高于 S3 系和 H 系($P<0.05$)。

由表 3 中得知,胸肌组织中 TG、CHO 和 PL 含量在 2、5、10 和 15 周龄存在显著的品系差异。2 周龄时 S3 系胸肌组织中的 TG 和 CHO 含量均显著高于 H 和 F 系($P<0.05$);5 周龄时胸肌组织中 CHO 含量 F 系显著高于 S3 系和 H 系($P<0.05$)。10 周龄时胸肌组织中 CHO 与 PL 含量均为 S3 系显著低于 H 系($P<0.05$),F 系与 S3 系和 H 系差异不显著($P>0.05$)。15 周龄时胸肌组织中 TG 含量均为 S3 系显著高于 F 系和 H 系($P<0.05$)。

表 3 不同品系不同日龄鸡胸肌脂质指标的分析

Table 3 Differential analysis of lipid indexes of breast muscle in chickens of different strains and ages

mmol/g

日龄/周 Age	品系 Strain	TG	CHO	PL
2	S3	1.56±0.39a	1.56±0.22a	11.66±1.37
	F	0.35±0.17b	1.13±0.17b	10.64±0.39
	H	0.25±0.08b	0.98±0.18b	12.77±0.66
5	S3	0.88±0.22	2.00±0.47b	10.37±0.46
	F	1.22±0.22	5.05±0.76a	10.91±0.29
	H	0.54±0.23	1.95±0.60b	10.92±0.45
10	S3	0.82±0.10	0.84±0.14b	10.24±0.39b
	F	0.67±0.14	1.05±0.26ab	10.98±0.75ab
	H	0.79±0.37	1.36±0.11a	12.44±0.62a
15	S3	11.7±1.17a	2.51±0.94	0.83±0.41
	F	9.03±0.36b	2.35±0.23	1.45±0.46
	H	8.40±0.66b	1.14±0.21	0.84±0.14

2.2 10 和 15 周龄不同品系对屠体性状的影响

由表 4 可知,10 周龄时 F 系在体重、全净膛重、腿肌重、腹脂重和腹脂率均显著高于 S3 系和 H 系($P<0.05$),而全净膛率 S3 系显著高于 H 系和 F 系($P<0.05$),胸肌重和胸肌率中 S3 系显著高于 H 系,腿肌率中 F 系和 H 系显著高于 S3 系($P<0.05$)。15 周龄时 F 系在体重、全净膛重、胸肌重和腿肌重均显著高于 S3 系和 H 系($P<0.05$),其中全净膛率 S3 系显著高于 H 系和 F 系($P<0.05$),腿肌率中 F 系和 H 系显著高于 S3 系($P<0.05$);腹脂重和腹脂

表 4 不同品系鸡屠体性状的差异性分析

Table 4 Differential analysis of butchery traits in different strains of chickens

指标 Indicator	10 周			15 周		
	S3	F	H	S3	F	H
体重/g	857.32±51.75b	1096.55±142.9a	707.22±78.05c	1133.07±41.21b	1482.5±200.86a	1046±127.38b
全净膛重/g	612.5±41.44b	728.56±101.35a	472.44±56.74c	620.86±54.8b	761.54±120.27a	541.25±94.21c
全净膛率/%	71.44±1.92a	66.38±1.20b	66.85±4.66b	54.86±4.49a	51.32±3.01b	51.54±4.61b
胸肌重/g	101.29±13.24a	108.52±21.28a	65.28±6.37b	133.49±39.12b	166.37±22.72a	110.17±38.08b
胸肌率/%	16.49±1.24a	14.83±1.60ab	13.91±1.42b	21.63±6.40	22.23±3.75	21.02±7.06
腿肌重/g	106.95±7.57b	150.61±21.86a	99.28±13.21b	132.75±40.59b	208.11±33.28a	151.22±53.41b
腿肌率/%	17.46±0.61b	20.73±1.59a	21.02±1.23a	21.6±7.07b	27.92±5.59a	28.56±8.98a
腹脂重/g	10.89±3.85b	25.3±6.92a	0±0c	23.98±8.30a	25.7±15.55a	8.72±6.37b
腹脂率/%	1.77±0.6b	3.23±0.78a	0±0c	3.64±1.70a	3.32±1.77a	1.51±1.15b

率中S3系和F系显著高于H系($P<0.05$)。

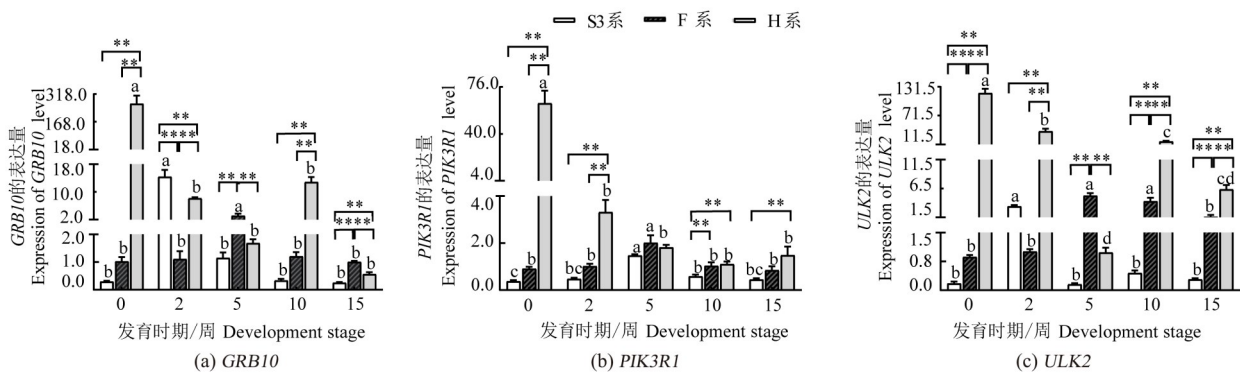
2.3 不同品系胸肌组织肌纤维组织学特性及腹脂组织脂肪细胞体积变化

不同品系肌纤维组织学特性及脂肪细胞体积统计结果如表5所示。3个品系母鸡15周龄胸肌和腹脂的石蜡切片中,H系肌纤维直径显著低于F系和S3系($P<0.05$),而肌纤维密度显著高于S3系和F系($P<0.05$),S3系和F系在肌纤维直径和密度上差异不显著($P>0.05$),肌纤维横截面积中H系显著低于S3系和F系($P<0.05$);脂肪细胞的体积中,S3系显著高于F系和H系($P<0.05$),F系和H系差异不显著($P>0.05$)。

表5 不同品系母鸡肌纤维直径和密度以及脂肪细胞的体积差异性分析

Table 5 Differential analysis of muscle fibre diameter and density and adipocyte volume in different strains of hens

品系 Strain	肌纤维直径/ μm Muscle fibre diameter	肌纤维密度/ (根/ mm^2) Myofibre density	肌纤维横截面积/ μm^2 Muscle fibre cross-sectional	脂肪细胞体积 ($10^3 \mu\text{m}^3$) Adipocyte volume
S3	$49.78 \pm 7.62\text{a}$	$617.52 \pm 50.08\text{b}$	$1987.96 \pm 636.8\text{a}$	$213119.25 \pm 79590.22\text{a}$
F	$49.16 \pm 7.02\text{a}$	$648.02 \pm 61.57\text{b}$	$1932.77 \pm 607.11\text{a}$	$8247.45 \pm 2111.23\text{b}$
H	$40.53 \pm 2.94\text{b}$	$816.99 \pm 59.22\text{a}$	$1295.97 \pm 188.63\text{b}$	$14093.08 \pm 3427.18\text{b}$



同一品系不同周龄间的差异用字母表示,有不同字母者表示差异显著($P<0.05$);**表示同一周龄不同品系间差异显著($P<0.05$)。下同。

Differences between different weekly ages of the same strain are indicated by letters, and those with different letters indicate significant differences ($P<0.05$);**indicates that differences between different strains of the same weekly age are significant ($P<0.05$). The same below.

图1 不同基因在肝脏组织中的表达

Fig. 1 Expression of different genes in liver

2.4 基因在不同品系不同组织中的表达

2.4.1 不同基因在肝脏组织中的表达

采用RT-qPCR检测 *GRB10*、*ULK2*和*PIK3R1*在0、2、5、10和15周龄时肝脏组织的表达。结果表明 *GRB10*在0和10周龄时,H系表达显著高于S3和F系($P<0.05$)(图1);5和15周龄时,F系表达显著高于S3系和H系($P<0.05$);2周龄时,S3系显著高于F系和H系($P<0.05$)。 *PIK3R1*在0和2周龄时H系显著高于S3系和F系($P<0.05$);10和15周龄时H系显著高于S3系($P<0.05$)。 *ULK2*在0、2、10和15周龄中,H系的表达量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$);5周龄时,F系表达量最高,

显著高于S3系和H系($P<0.05$)。

2.4.2 不同基因在胸肌组织中的表达

图2结果表明, *GRB10*和*PIK3R1*在各个周龄上,S3系的表达量显著高于F系和H系($P<0.05$)。 *ULK2*在F系0周龄时的表达最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$);2、5、10和15周龄时,S3系的表达量是最高的,显著高于其他2个品系($P<0.05$)。

2.4.3 不同基因在腿肌组织中的表达

由图3得知, *GRB10*在0、5和15周龄中,S3系鸡腿肌组织中的表达显著高于其他2个品系($P<0.05$);在2和15周龄中,F系的表达显著高于S3系和H系($P<0.05$)。 *PIK3R1*在0、2和5周龄

时,S3系的表达显著高于其他2个品系($P<0.05$);在10和15周龄时,H系的表达显著高于S3系和F系($P<0.05$)。ULK2在0周龄F系的表达量最高,

并随着周龄的增长表达逐渐下降。ULK2在2、5、10和15周龄时,S3系的表达量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$)。

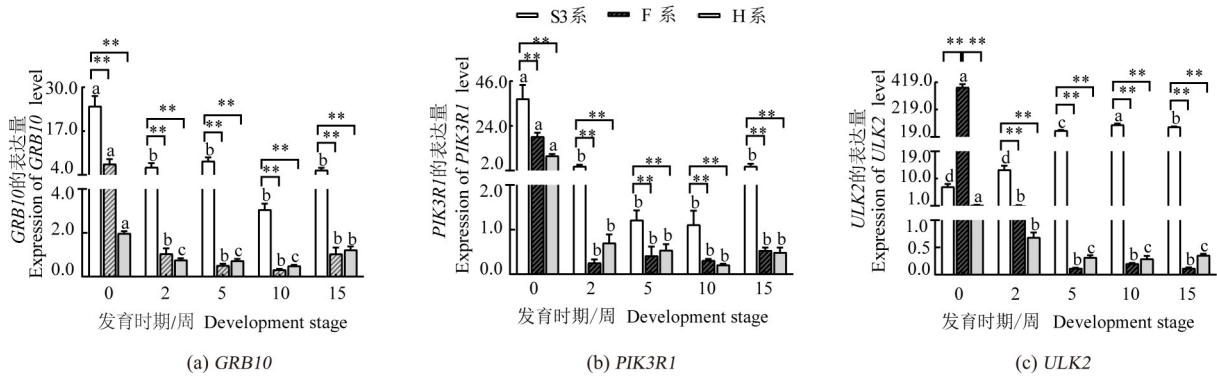


图2 不同基因在胸肌组织中的表达

Fig. 2 Expression of different genes in pectoral muscle

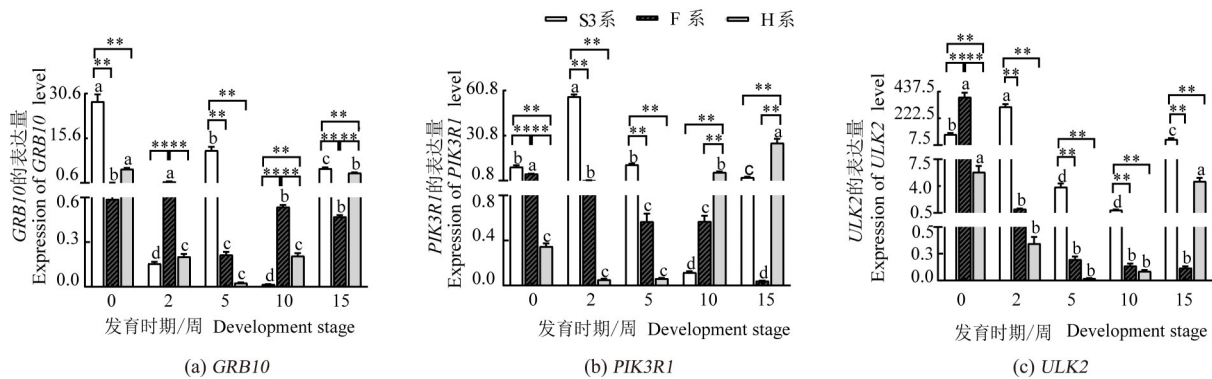


图3 不同基因在腿肌组织中的表达

Fig. 3 Expression of different genes in leg muscles

2.4.4 不同基因在皮脂组织中的表达

由图4可知,GRB10在0、2和10周龄时,F系皮脂中的表达量最高,在2和10周龄时显著高于S3系和H系($P<0.05$);在5周龄时,S3系的表达量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$)。PIK3R1在0和10周龄H系的表达量最高,显著高于S3系和F系($P<0.05$);在2周龄时,S3系的表达量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$);在5周龄时,F系的表达量最高,显著高于S3系和H系($P<0.05$)。ULK2在0、2、5和10周龄中,F系的表达量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$)。

2.4.5 不同基因在腹脂组织中的表达

由图5可知,GRB10在各个周龄中,F系的表达量最高,S3系的表达量最低,F系显著高于S3系($P<0.05$);PIK3R1在2和10周龄时,H系的表达

量最高,显著高于其他2个品系($P<0.05$),5和15周龄时F系的表达量最高,5周龄时F系显著高于其他2个品系($P<0.05$);ULK2在2和10周龄时,F系的表达量最高,其中2周龄时F系显著高于S3系($P<0.05$);在5和15周龄时,H系的表达量最高,15周龄时H系显著高于F系($P<0.05$)。

2.5 3个基因在不同类型细胞中的表达

2.5.1 不同基因在成肌细胞上的表达

由图6可知,GRB10在成肌细胞增殖期显著高于分化期($P<0.05$);PIK3R1在成肌细胞的表达如杨苗苗等^[20]的结果所示,PIK3R1在增殖期显著高于其他分化期($P<0.05$)。ULK2在增殖期表达量显著高于分化期($P<0.05$)。

2.5.2 不同基因在肌内脂肪细胞上的表达

由图7得知,GRB10在肌内脂肪细胞增殖期50%

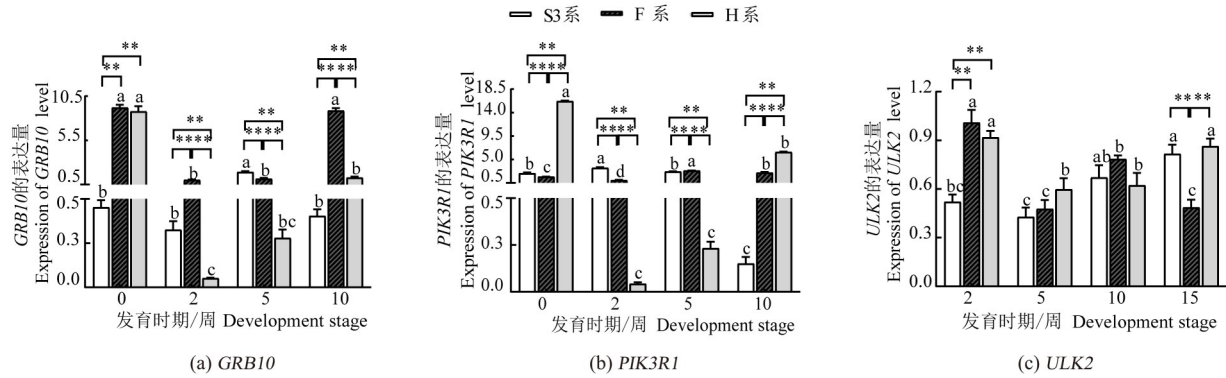


图4 不同基因在皮脂组织中的表达
Fig. 4 Expression of different genes in sebum

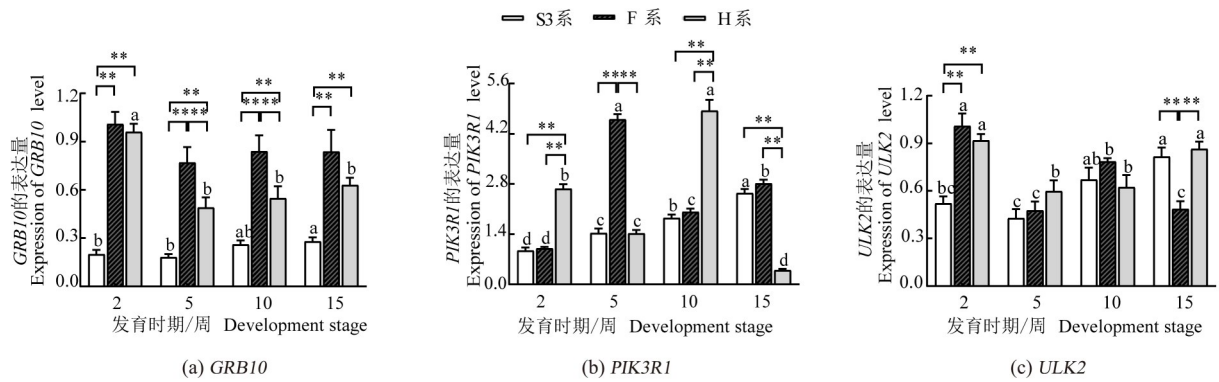


图5 不同基因在腹脂中的表达
Fig. 5 Expression of different genes in ventral fat

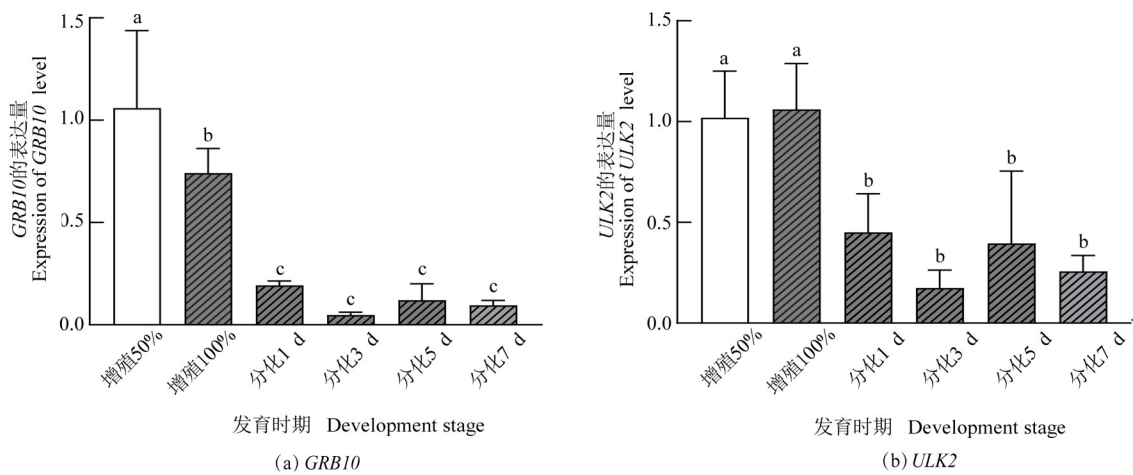


图6 不同基因在成肌细胞上的表达
Fig. 6 Expression of different genes on myogenic cells

表达量显著高于其他时期($P<0.05$)。*PIK3R1*增殖期100%显著高于增殖期50%和分化3、5和7 d ($P<0.05$)。*ULK2*的表达量分化1 d显著低于增殖期($P<0.05$)。

2.6 3个基因的KEGG通路分析

由表6得知,*GRB10*富集在了mTOR信号通路;*PIK3R1*主要富集到了磷脂酰肌醇信号系统、mTOR信号通路、胰岛素信号通路和肌动蛋白细胞骨架调节

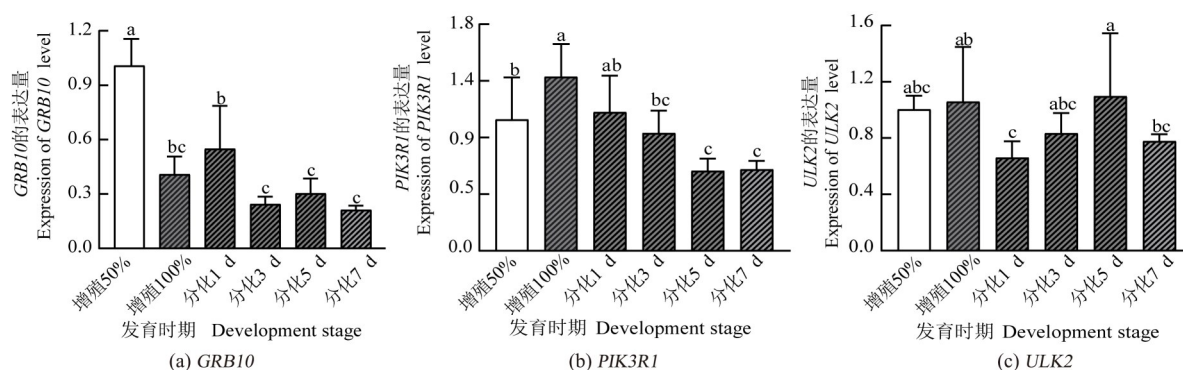


图7 不同基因在肌内脂肪细胞上的表达

Fig. 7 Expression of different genes on intramuscular adipocytes

等信号通路;*ULK2*富集到了自噬-动物和mTOR信号通路等信号通路,这3个基因共同富集在mTOR信号通路(表6)。将富集在mTOR信号通路的全部基因,提交到STRING数据库,分析基因之间编码蛋白质的

相互作用。聚类显示,*PIK3R1*为MOCOE算法的第四簇,与INS(胰岛素),INSR(胰岛素受体)及IGFIR(胰岛素样生长因子1受体)形成互作关系环。*ULK2*和*PIK3R1*没有与通路上的基因形成互作关系。

表6 不同基因的KEGG通路

Table 6 KEGG pathway of different genes

基因 Gene	KEGG 通路 KEGG Pathway
<i>GRB10</i>	mTOR signaling pathway
	Focal adhesion
	Influenza A
	Phosphatidylinositol signaling system
	mTOR signaling pathway
	Toll-like receptor signaling pathway
	Autophagy - animal
<i>PIK3R1</i>	Herpes simplex virus 1 infection
	Regulation of actin cytoskeleton
	ErbB signaling pathway
	VEGF signaling pathway
	C-type lectin receptor signaling pathway
	Apoptosis
	Insulin signaling pathway
<i>ULK2</i>	FoxO signaling pathway
	Progesterone-mediated oocyte maturation
	Cellular senescence
	Autophagy - other
	Autophagy - animal
	mTOR signaling pathway

2.7 不同基因与屠宰性状的相关性分析

将候选基因表达量与10和15周龄的屠宰性状进行相关性分析(表7),结果表明,*GRB10*表达与S3系鸡的腿肌率呈显著正相关($r=0.74, P<0.05$);*ULK2*表达与S3系鸡的腿肌重($r=0.74$)、腿肌率($r=0.81$)、腹脂重($r=0.71$)、腹脂率($r=$

0.74)呈显著正相关($P<0.05$),与H系鸡的腹脂重呈显著正相关($r=1.00, P<0.05$);*PIK3R1*表达与S3系鸡的腿肌重($r=0.75$)、腿肌率($r=0.89$),与F系鸡的胸肌重($r=0.85$)、胸肌率($r=0.84$),H系鸡的胸肌率($r=0.70$)呈显著正相关($P<0.05$)。

表7 基因表达与屠宰性状的相关性分析
Table 7 Correlation analysis between gene expression and slaughter traits

项目 Item	<i>GRB10</i>	<i>ULK2</i>	<i>PIK3R1</i>	项目 Item	<i>GRB10</i>	<i>ULK2</i>	<i>PIK3R1</i>	项目 Item	<i>GRB10</i>	<i>ULK2</i>	<i>PIK3R1</i>	
S3系	胸肌重	0.00	−0.50	0.56	胸肌重	0.22	0.28	−0.77*	胸肌重	0.31	−0.26	0.85*
	胸肌率	−0.01	−0.74	0.48	胸肌率	0.08	0.43	0.70*	胸肌率	0.32	−0.55	0.84*
	腿肌重	0.67	0.74*	0.70*	腿肌重	0.09	0.14	0.26	腿肌重	−0.21	−0.03	−0.02
	腿肌率	0.74*	0.81*	0.89*	腿肌率	0.49	0.43	0.40	腿肌率	−0.41	−0.26	−0.34
	腹脂重	0.20	0.71*	0.62	腹脂重	0.82	1.00*	0.72	腹脂重	−0.22	0.32	−0.40
	腹脂率	0.16	0.74*	0.67	腹脂率	0.88	0.95	0.56	腹脂率	−0.22	0.22	−0.33

注:*表示显著相关($P<0.05$)。
Note: *indicates significant correlation ($P<0.05$).

3 讨论

脂类在血液中存在和运输的形式有TG、TC、HDL-C和LDL-C,其含量的高低在一定程度上是机体脂肪代谢的水平直接反映^[21]。家禽的身体是通过其TG的浓度来判断其对脂肪的摄取和代谢情况。一般而言,家禽机体TG含量水平越低,表示其脂代谢水平越高;反之,则越低。在血液中,LDL-C是一种重要的生物活性物质,它可以把肝脏产生的内源性胆固醇运输给机体的各个组织和细胞,用于代谢和利用,HDL-L的核心作用在于协助胆固醇从其周边组织转移至肝脏,以便于其再次被利用或排出体外^[22]。血液中高密度脂蛋白的浓度能够反映出动物体内胆固醇逆向转运的能力,高密度脂蛋白在血液中的浓度愈高,机体逆转胆固醇转运的功能也愈强。本研究结果表明TG、CHO、PL含量在不同品系鸡的不同发育时期胸肌组织中呈现动态变化规律,TG、TC、LDL-C和HDL-C含量在不同品系鸡的不同发育时期血清中也呈现出动态变化规律,胸肌中TG含量在2和15周龄时S3系显著最高,CHO在2和5周龄时H系显著最低,

10周龄时CHO和PL的含量则是H系显著最高;血清中TG含量在5周龄时F系显著最高,15周龄时F系显著高于H系,LDL-C在2、5和15周龄时F系显著最高,HDL-C含量在15周龄时F系显著最高,本结果提示不同品系在不同发育时期表现出不同的脂肪沉积能力,从而影响各品系最终的脂肪沉积量。

有研究表明肌纤维是肌肉组织的重要组成部分,肌纤维的直径和密度与肉质的嫩度有重要相关,即肌纤维直径越小,密度越大,肉质越细嫩^[23]。H系的肌纤维直径最小,肌纤维密度最大,S系肌纤维直径最大,肌纤维密度最小,F系的肌纤维直径和肌纤维密度与S3接近,无显著差异。屠宰试验结果表明F系在体重、全净膛重、胸肌重、腿肌重、腹脂重均显著高于S3系和H系,全净膛率S3系显著高于H系和F系,本结果将为后期配套系组合中母系母鸡或父系母鸡的筛选提供数据参考。

对*GRB10*、*ULK2*和*PIK3R1*富集的KEGG通路查询得知,这3个基因共同富集在mTOR信号通路。研究表明五味子B通过AMPK/mTOR通路激活自噬来抑制肝脂肪变性并促进脂肪酸氧化^[24];极

低蛋白饮食通过部分依赖于下丘脑 mTOR 信号传导的机制诱导小鼠的食物摄入量和体重减少^[25];哺乳动物雷帕霉素靶标(mTOR)信号通路在调节蛋白质合成中起关键作用,以维持肌肉蛋白质周转和营养作用^[26];鱼蛋白通过 Akt/mTOR 信号通路促进骨骼肌肥大^[27],揭示 mTOR 通路在动物脂肪调控和肌肉发育过程中起重要的作用。本研究选择富集在 mTOR 通路上的 *GRB10*、*ULK2* 和 *PIK3R1* 基因,研究 3 个基因在不同品系脂肪组织、肌肉组织、脂肪细胞和成肌细胞上的表达差异,对进一步丰富 mTOR 通路在脂肪沉积和肌肉发育中的功能具有重要的意义。本研究结果表明 *GRB10*、*ULK2* 和 *PIK3R1* 在不同品系鸡肝脏、腹脂、胸肌、腿肌和皮脂组织均有表达,并呈现明显的品系和组织差异性。在肌内脂肪细胞中 *GRB10* 在增殖期 50% 的表达量显著高于其他时期,*PIK3R1* 在增殖期 100% 表达量显著高于其他时期,*ULK2* 在分化 1 d 时显著低于增殖期;在成肌细胞中 *GRB10* 和 *ULK2* 在增殖期也表现出显著高于分化期的趋势,*PIK3R1* 增殖期的表达量也高于分化期,*GRB10* 表达与 S3 系鸡的腿肌率呈显著正相关;*ULK2* 表达与 S3 系鸡的腿肌重、腿肌率显著正相关,*ULK2* 表达与 S3 系鸡腹脂重、腹脂率呈显著正相关,与 H 系鸡的腹脂重呈显著正相关;*PIK3R1* 表达与 S3 系鸡的腿肌重、腿肌率与 F 系和 H 系鸡的胸肌率呈显著正相关,以上结果提示,*GRB10*、*ULK2* 和 *PIK3R1* 不同程度地参与了鸡的肌肉发育和脂代谢过程,可作为鸡脂肪沉积和肌肉发育新的候选功能基因,后期将会通过功能基因敲减/过表达在脂肪细胞和成肌细胞上对 3 个基因的功能进行进一步地验证。

4 结 论

不同品系鸡在不同发育时期胸肌组织和血清中脂质指标呈现波浪式的变化规律;*GRB10*、*ULK2* 和 *PIK3R1* 基因在肝脏、腹脂、胸肌、腿肌、皮脂组织、脂肪细胞和成肌细胞中均有较高的表达,并呈现显著地品系和组织差异性;*GRB10*、*ULK2* 和 *PIK3R1* 表达均与胸肌和腿肌性状呈不同程度的显著相关,*ULK2* 的表达与腹部脂肪性状显著相关,表明这 3 个基因可能在不同的发育时期不同程度地参与了肌肉发育和肌内脂肪沉积的调控,可作为鸡肌肉发育和肌内脂肪沉积新的候选基因。

参考文献 References

- [1] 聂庆华,徐海平,张敏. 非编码 RNAs 调控家禽骨骼肌生长发育的表现遗传机制研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 111-118
Nie Q H, Xu H P, Zhang M. Research progress of epigenetic mechanism of noncoding RNAs regulating avian skeletal muscle development [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, 40(5): 111-118 (in Chinese)
- [2] 欧阳儒彬. 中国肉鸡产业供给侧结构性改革经济学研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019
Ouyang R B. Research on supply-side structural reform economics of broiler industry in china [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019 (in Chinese)
- [3] Guiu-Jurado E, Unthan M, Böhler N, Kern M, Landgraf K, Dietrich A, Schleinitz D, Ruschke K, Klötting N, Faßhauer M, Tönjes A, Stumvoll M, Körner A, Kovacs P, Blüher M. Bone morphogenetic protein 2 (BMP2) may contribute to partition of energy storage into visceral and subcutaneous fat depots[J]. *Obesity*, 2016, 24(10): 2092-2100
- [4] 鲁明鹤,高淑红,杨静,邵旭文,鲁馨檀. 动物肌内脂肪沉积的影响因素[J]. 吉林畜牧兽医, 2023, 44(11): 135-136
Lu M H, Gao S H, Yang J, Shao X W, Lu X T. Influencing factors of intramuscular fat deposition in animals[J]. *Jilin Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2023, 44(11): 135-136 (in Chinese)
- [5] Zou Z L, Tao T, Li H M, Zhu X. mTOR signaling pathway and mTOR inhibitors in cancer: Progress and challenges [J]. *Cell & Bioscience*, 2020, 10: 31
- [6] Zhang J J, Zhang N, Liu M L, Li X L, Zhou L J, Huang W, Xu Z P, Liu J, Musi N, DeFronzo R A, Cunningham J M, Zhou Z G, Lu X Y, Liu F. Disruption of growth factor receptor-binding protein 10 in the pancreas enhances β -cell proliferation and protects mice from streptozotocin-induced β -cell apoptosis[J]. *Diabetes*, 2012, 61(12): 3189-3198
- [7] Khan M I, Al Johani A, Hamid A, Ateeq B, Manzar N, Adhami V M, Lall R K, Rath S, Sechi M, Siddiqui I A, Choudhry H, Zamzami M A, Havighurst T C, Huang W, Ntambi J M, Mukhtar H. Proliferative function of adaptor protein GRB10 in prostate carcinoma [J]. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 2019, 33(3): 3198-3211
- [8] Lim M A, Riedel H, Liu F. Grb10: More than a simple adaptor protein [J]. *Frontiers in Bioscience: a Journal and Virtual Library*, 2004, 9: 387-403
- [9] Holt L J, Siddle K. Grb10 and Grb14: Enigmatic regulators of insulin action: And more [J]. *The Biochemical Journal*, 2005, 388 (Pt 2): 393-406
- [10] Holt L J, Brandon A E, Small L, Suryana E, Preston E, Wilks D, Mokbel N, Coles C A, White J D, Turner N, Daly R J, Cooney G J. Ablation of Grb10 specifically in muscle impacts muscle size and glucose metabolism in mice[J]. *Endocrinology*, 2018, 159(3): 1339-1351
- [11] Luo L P, Jiang W X, Liu H, Bu J C, Tang P, Du C, Xu Z P, Luo H R, Liu B L, Xiao B, Zhou Z G, Liu F. De-silencing *Grb10* contributes to acute ER stress-induced steatosis in mouse liver [J]. *Journal of Molecular Endocrinology*, 2018, 60(4): 285-297
- [12] Motoo I, Nanjo S, Ando T, Yamashita S, Ushijima T, Yasuda I. Methylation silencing of ULK2 via epithelial-mesenchymal transition causes transformation to poorly differentiated gastric cancers [J]. *Gastric Cancer: Official Journal of the International Gastric Cancer Association and the Japanese Gastric Cancer Association*, 2022, 25(2): 325-335
- [13] Fuqua J D, Mere C P, Kronemberger A, Blomme J, Bae D, Turner K D, Harris M P, Scudese E, Edwards M, Ebert S M, de Sousa L G O, Bodine S C, Yang L, Adams C M, Lira V A. ULK2 is essential for

- degradation of ubiquitinated protein aggregates and homeostasis in skeletal muscle[J]. *FASEB Journal*, 2019, 33(11): 11735-11745
- [14] Wu R F, Feng S C, Li F, Shu G, Wang L N, Gao P, Zhu X T, Zhu C J, Wang S B, Jiang Q Y. Transcriptional and post-transcriptional control of autophagy and adipogenesis by YBX1[J]. *Cell Death & Disease*, 2023, 14(1): 29
- [15] Liu Y E, Wang D, Li Z J, Li X W, Jin M D, Jia N N, Cui X Y, Hu G Y, Tang T Y, Yu Q. Pan-cancer analysis on the role of PIK3R1 and PIK3R2 in human tumors[J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 5924
- [16] Xu Q, Chen J, Liu X M, Luo Y B, Wang T Z, Fang M Y. MiR-F4-C12 functions on the regulation of adipose accumulation by targeting PIK3R1 in castrated male pigs [J]. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*, 2021, 11(11): 3053
- [17] 杨朝永, 张若彤, 陈若楠, 孙楠桢, 孙杰. 鸡胚胎期肌纤维的发育特征及相关基因表达研究[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(9): 171-176
- Yang C Y, Zhang R T, Chen R N, Sun N Z, Sun J. Developmental characteristics of chicken embryonic muscle fibres and related gene expression studies[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(9): 171-176 (in Chinese)
- [18] 杨烨城. 甘肃藏猪背部脂肪与肠周脂肪的脂肪特征与代谢组学分析[D]. 佛山:佛山科学技术学院, 2022
- Yang Y C. Characteristics and metabolomic analysis of the back subcutaneous fat and peri-intestinal fat in Gansu Tibetan pigs [D]. Foshan:Foshan University, 2022 (in Chinese)
- [19] 张欣. VE和电刺激通过Nrf2/ARE信号通路调控肉鸡成肌细胞抗氧化能力的机制研究[D]. 扬州:扬州大学, 2021
- Zhang X. Study on the mechanism of antioxidant capacity regulation through Nrf2/ARE signal pathway after VE addition and electrical stimulation in broiler myoblasts [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021 (in Chinese)
- [20] 杨苗苗, 向海, 李瑞瑞, 赵振华, 王钱保, 黄正洋, 李春苗, 梁忠, 吴兆林, 黄华云. gga-miR-17-5p在鸡骨骼肌和脂肪沉积相关组织及细胞中的表达差异及其关键靶基因的筛选[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(7): 23-33
- Yang M M, Xiang H, Li R R, Zhao Z H, Wang Q B, Huang Z Y, Li C M, Liang Z, Wu Z L, Huang H Y. Differential expression of gga-miR-17-5p in chicken adipose and skeletal muscle tissues and cells and screening of its key target genes [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(7): 23-33 (in Chinese)
- [21] 胡毅, 陈云飞, 张德洪, 陈团, 刘波, 高启平. 不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规格草鱼生长、肠道消化酶及血清指标的影响[J]. 水产学报, 2018, 42(5): 777-786
- Hu Y, Chen Y F, Zhang D H, Chen T, Liu B, Gao Q P. Effects of different dietary carbohydrate and protein levels on growth, intestinal digestive enzymes and serum indexes in large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(5): 777-786 (in Chinese)
- [22] 梁舒渝, 窦维华, 杨俊威, 蒋颖, 谭庆晶, 林浩海, 韦宝平, 张雪. 高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇与缺血性中风的相关性及中医药干预的研究进展[J]. 现代医药卫生, 2024, 40(7): 1219-1223
- Liang S Y, Dou W H, Yang J W, Jiang Y, Tan Q J, Lin H H, Wei B P, Zhang X. Research progression the correlation betweenHDL-C, LDL-candischemic strokeand the intervention of traditional Chinese medicine [J]. *Journal of Modern Medicine & Health*, 2024, 40(7): 1219-1223 (in Chinese)
- [23] Listrat A, Lebreton B, Louveau I, Astruc T, Bonnet M, Lefaucheur L, Picard B, Bugeon J. How muscle structure and composition influence meat and flesh quality[J]. *The Scientific World Journal*, 2016, 2016(1): 3182746
- [24] Yan L S, Zhang S F, Luo G, Cheng B C Y, Zhang C, Wang Y W, Qiu X Y, Zhou X H, Wang Q G, Song X L, Pan S Y, Zhang Y. Schisandrin B mitigates hepatic steatosis and promotes fatty acid oxidation by inducing autophagy through AMPK/mTOR signaling pathway [J]. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 2022, 131: 155200
- [25] Wu Y G, Li B G, Li L, Mitchell S E, Green C L, D'Agostino G, Wang G L, Wang L, Li M, Li J B, Niu C Q, Jin Z G, Wang A, Zheng Y, Douglas A, Speakman J R. Very-low-protein diets lead to reduced food intake and weight loss, linked to inhibition of hypothalamic mTOR signaling, in mice[J]. *Cell Metabolism*, 2021, 33(5): 888-904
- [26] Ilha J, do Espírito-Santo C C, de Freitas G R. mTOR signaling pathway and protein synthesis: From training to aging and muscle autophagy[J]. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2018, 1088: 139-151
- [27] Morisasa M, Yoshida E, Fujitani M, Kimura K, Uchida K, Kishida T, Mori T, Goto-Inoue N. Fish protein promotes skeletal muscle hypertrophy via the akt/mTOR signaling pathways [J]. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 2022, 68(1): 23-31

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 黄华云, 博士, 研究员, 江苏省家禽科学研究所肉鸡育种与生产科室副主任。主要从事家禽遗传育种与生产技术研究。中国畜牧兽医学会家禽学分会理事、江苏省第五期、第六期“333高层次人才培养工程”第三层次培养对象。主持农业生物育种重大项目子课题、江苏省自然科学基金面上基金项目、江苏省农业自主创新、扬州市现代农业等项目7项; 荣获江苏省科学技术奖二等奖、全国农牧渔业丰收奖二等奖、江苏省科学技术奖三等奖; 在JIA等期刊发表SCI论文7篇, 中文核心期刊十余篇; 参与授权发明专利20余项。