

张雄, 史开志, 杨齐心, 等. 糯谷猪 PRKAA1 基因表达与肉用性状关联研究 [J]. 畜牧与兽医, 2025, 57 (1): 7-10.

ZHANG X, SHI K Z, YANG Q X, et al. Correlation between PRKAA1 gene expression level and meat traits in Nuogu pigs [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2025, 57 (1): 7-10.

糯谷猪 PRKAA1 基因表达与肉用性状关联研究

张雄¹, 史开志^{1*}, 杨齐心², 周思旋¹, 吴琦彤¹, 李冬光¹, 赵春萍¹

(1. 贵州省农业科学院畜牧兽医研究所, 贵州 贵阳 550005;

2. 贵州省畜禽遗传资源管理站, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 旨在掌握贵州糯谷猪胴体和肉质性状表型差异, 分析单磷酸腺苷活化蛋白激酶 $\alpha 1$ 亚基 (PRKAA1) 基因 mRNA 表达量和肉用性状关联性。以糯谷猪为研究对象, 分别对 10 月龄的 9 头去势公猪和 10 头母猪进行屠宰测定, 采用实时荧光定量 PCR 检测糯谷猪背最长肌组织 PRKAA1 基因 mRNA 表达量, 并与测定性状进行相关性分析。结果: 去势公猪和母猪宰前活重分别为 (94.78 \pm 8.75) kg 和 (93.10 \pm 9.23) kg, 两者差异不显著 ($P>0.05$), 但母猪皮率和瘦肉率指标分别高于去势公猪 21.91% 和 8.74%, 且差异显著 ($P<0.05$), 肥肉率指标极显著低于去势公猪 ($P<0.01$); 关联分析发现, 糯谷猪母猪背最长肌组织 PRKAA1 基因 mRNA 表达水平与肩部最厚处背膘厚呈极显著负相关性 ($P<0.01$)。本研究分析了性别对糯谷猪肉用性状的影响, 发现 PRKAA1 可作为调控糯谷猪胴体性状的候选基因。

关键词: 糯谷猪; PRKAA1 基因; 胴体; 肉质

中图分类号: S828.8

文献标志码: A

文章编号: 0529-5130(2025)01-0007-04

Correlation between PRKAA1 gene expression level and meat traits in Nuogu pigs

ZHANG Xiong¹, SHI Kaizhi^{1*}, YANG Qixin², ZHOU Sixuan¹,

WU Yutong¹, LI Dongguang¹, ZHAO Chunping¹

(1. Institute of Guizhou Animal Husbandry and Veterinary Science, Guiyang 550005, China;

2. Guizhou Province Livestock and Poultry Genetic Resources Management Station, Guiyang 550004, China)

Abstract: This study was to understand the phenotypic differences in carcass and meat quality traits of Guizhou Nuogu pigs, and to analyze the correlation between PRKAA1 gene mRNA expression and meat quality traits. Nuogu pigs were selected as the research objects. The carcass and meat quality indexes of 9 castrated boars and 10 sows of Nuogu pigs were determined, and the mRNA expression level of the longissimus dorsi muscle tissue of the pigs was detected by real-time quantitative PCR (RT-qPCR), and the correlation between their PRKAA1 gene mRNA expression level and meat quality traits was analyzed. The results showed that there were no significant differences in pre-slaughter live weight between the castrated boars (94.78 \pm 8.75) kg and sows (93.10 \pm 9.23) kg. The indexes of skin percentage and lean meat percentage of the sows were significantly higher than those of the castrated boars by 21.91% and 8.74% ($P<0.05$), respectively; but their fat meat percentage was extreme significantly lower than that of the castrated boars ($P<0.01$). The correlation analysis showed that there was a significant negative correlation between the PRKAA1 gene mRNA expression level of the longissimus dorsalis muscle at the back and back-fat thickness at the thickest part of the shoulder of the sows ($P<0.01$). In summary, this study analyzed the effect of gender on the meat performance of Nuogu pigs and confirmed that PRKAA1 could be used as a candidate gene for regulating the carcass traits of Nuogu pigs.

Keywords: Nuogupig; PRKAA1 gene; carcass; meat

在高度集约化饲养条件下, 快速生长的瘦肉型猪

收稿日期: 2024-03-18; 修回日期: 2024-10-30

基金项目: 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2020] 1Y031 号, 黔科合支撑 [2022] 032 号, 黔科合支撑 [2023] 一般 154 号); 贵州省生猪产业技术体系建设专项 (GZSZCYJSTX); 贵州省农业计划项目 (黔财农 [2023] 82 号); 贵州省农业科学院青年基金项目 (黔农科院青年基金 [2023] 21 号)

第一作者: 张雄, 男, 硕士, 副研究员

* 通信作者: 史开志, 研究员, 主要从事生猪种质创新方面的研究, E-mail: nkyxms6462@163.com。

肉质风味已不能满足消费者要求。随着人们生活水平的不断提高, 猪肉消费已从满足“量”的需求向注重“质”的转变。以肉用性状为着力点, 经高效遗传改良技术培育而成的高品质地方猪, 可满足市场导向, 顺应消费市场需求。单磷酸腺苷活化蛋白激酶 (AMP-activated protein kinase, AMPK) 具有感受细胞能量代谢变化的功能, 是一种细胞能量传感器, 在真核细胞动物中, 单磷酸腺苷活化蛋白激酶 $\alpha 1$ (PRKAA1) 是 AMPK 家族基因一员^[1]。近年来, 研

究发现 PRKAA1 基因与动物疾病发生相关, 该基因可通过促进丝氨酸磷酸化介导巨噬细胞中的蛋白酶体降解, 降低糖酵解, 损害上皮细胞增殖, 加速高脂血症小鼠的动脉粥样硬化病变的形成^[2-3]。在生猪研究方面, 孙成娟等^[4]指出 PRKAA1 基因在从江香猪各组织中均有表达, 以脂肪组织表达较高, 同时在脂肪前体细胞中过表达 PRKAA1 可调控过氧化物酶体增殖物激活受体 (PPAR γ)、脂蛋白脂肪酶 (LPL) 和脂肪酸合成酶 (FASN) 等脂肪相关基因表达, 推测其在香猪脂肪沉积的过程中发挥重要调控作用。吴小敏等^[5]对 PRKAA1 相关的长链非编码 RNA (lncRNA) 进行筛选, 得到 ALNC1 和 ALNC2 两条候选 lncRNA, ALNC1 在从江香猪肝脏、脾脏、小肠、脂肪和背最长肌的表达量极显著高于约克夏, ALNC2 在肝脏、肾脏、背最长肌表达量极显著高于约克夏。

糯谷猪作为贵州省优良的地方猪种之一, 因其全身毛呈红棕色, 所以俗称“火毛”或“黄毛”, 是黔西北柯乐猪中一个独特的品系, 属于中国西南乌金猪类型^[6]。目前, 糯谷猪养殖产业发展相对滞后, 消费者反映该猪种背膘过厚、瘦肉率低, 如何在保持原有肉质风味的前提下, 改善其胴体性状成为一个亟待克服的瓶颈难题。故本试验以此为切入点, 阐明 PRKAA1 基因 mRNA 表达水平与肉质性状之间的关联性, 为后期揭示 PRKAA1 基因对糯谷猪胴体和肉质性状的分子调控作用机制、指导生产实践奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验动物及样品采集

选取纳雍县康泰达生态牧业有限公司糯谷猪养殖基地相同饲养条件下 19 头 10 月龄健康糯谷猪 (去势公猪 9 头, 母猪 10 头), 屠宰后取背最长肌组织样品, 作好标记, 置于液氮中带回实验室转 -80 °C 冻存, 用于总 RNA 提取。

1.2 肉质性状指标测定

参照文献 [7] 测定糯谷猪胴体和肉质性状指标。

胴体性状指标: 宰前活重、皮率、骨率、肥肉率、瘦肉率、6~7 肋处皮厚、肩部最厚处背膘厚、最后肋骨处背膘厚、腰荐结合处背膘厚和平均背膘厚。

肉质性状指标: 肉色包括红度 (a^* 值)、黄度 (b^* 值) 和亮度 (L^* 值), 滴水损失, 剪切力和肌内脂肪含量。

1.3 RNA 提取及逆转录

采用 Omega Bio-Tek 公司的试剂盒 (Total RNA Kit II R6934, 美国) 提取组织样总 RNA, 超微量紫

外分光光度计 (Thermo Fisher Ultraspec 2100 pro 型, 美国) 检测其浓度和 OD 值。用 Omega Bio-Tek 公司的逆转录试剂盒 (StarScript III RT Mix with gDNA Remover A234, 美国) 对所提的总 RNA 进行逆转录合成 cDNA。

1.4 引物设计合成

根据 GenBank 猪 PRKAA1 基因和 GAPDH 内参基因实时荧光引物参照文献 [4] 设计, 引物详情见表 1, 由生工生物工程 (上海) 股份有限公司合成。

表 1 引物信息

基因	引物序列 (5'→3')	退火温度/ °C	片段长度/ bp
PRKAA1	F: AGCCACCTGATCTTTTCTT	60	157
	R: GCCATTTTGCTTTCCTTACAC		
GAPDH	F: GGTGAAGGTCGGAGTGAACG	60	152
	R: CGTGGGTGGAATCATACTGGA		

1.5 实时荧光定量 PCR (RT-qPCR)

采用德国耶拿的荧光定量 PCR 仪 (qTOWER3G IVD) 和美国 Thermo Fisher 公司的 SYBR Select Master Mix 荧光染料进行 RT-qPCR 反应。采用 10 μ L 反应体系: SYBR Select Master Mix 荧光染料 5 μ L, ddH₂O 3 μ L, 上下游引物各 0.5 μ L, cDNA 1 μ L。反应程序: 94 °C 预变性 10 min; 94 °C 变性 15 s, 60 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 30 s, 40 个循环; 72 °C 终延伸 15 s。

1.6 数据统计与分析

采用 SPSS 18.0 软件中 t 检验分析糯谷猪胴体和肉质性状指标间差异性。RT-qPCR 获得的基因相对表达量采用 $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 法计算, 运用 SPSS 18.0 软件中双变量皮尔逊相关性分析对基因表达量与性状指标进行相关分析。结果均用“平均数 \pm 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 糯谷猪胴体性状分析

糯谷猪胴体性状测定结果见表 2, 去势公猪和母猪之间宰前活重差异不显著 ($P>0.05$), 分别为 (94.78 \pm 8.75) kg 和 (93.10 \pm 9.23) kg。母猪的皮率和瘦肉率指标高于去势公猪 21.91% 和 8.74%, 且差异显著 ($P<0.05$); 肥肉率指标极显著低于去势公猪 ($P<0.01$)。去势公猪平均背膘厚度高于母猪 11.93%, 但差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 糯谷猪肉质性状分析

糯谷猪肉质性状测定结果见表 3, 各项肉质指标均未达到显著水平 ($P>0.05$), 去势公猪肌内脂肪含量、剪切力和肉色 (a^* 、 b^* 和 L^* 值) 均高于母猪, 滴水损失数值低于母猪, 整体表现出糯谷猪去势公猪的肉品质优于母猪。

表 2 糯谷猪胴体性状指标

指标	去势公猪	母猪	P 值
宰前活重/kg	94.78±8.75	93.10±9.23	0.690
皮率/%	9.86±1.07 ^a	12.02±2.32 ^b	0.021
骨率/%	12.16±2.90	13.19±2.31	0.399
肥肉率/%	39.33±2.78 ^A	32.75±4.69 ^B	0.002
瘦肉率/%	38.66±2.52 ^a	42.04±4.26 ^b	0.049
6~7 肋处皮厚/mm	4.37±0.70	4.73±0.78	0.316
肩部最厚处背膘厚/mm	58.36±10.25	52.95±4.08	0.169
最后肋骨处背膘厚/mm	36.52±8.47	31.13±6.30	0.131
腰荐结合处背膘厚/mm	39.07±7.33	35.57±4.57	0.224
平均背膘厚/mm	44.65±8.36	39.89±3.63	0.119

注：同行比较，不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

表 3 糯谷猪肉质性状指标

指标	去势公猪	母猪	P 值
a* 值	14.64±1.79	14.28±1.97	0.681
肉色 b* 值	1.34±0.84	1.05±0.73	0.432
L* 值	42.35±3.94	38.88±4.05	0.076
滴水损失/%	1.02±0.53	1.26±0.86	0.485
剪切力/N	70.14±21.44	61.94±11.81	0.310
肌内脂肪/%	5.41±1.93	4.33±1.26	0.165

2.3 糯谷猪 PRKAA1 基因表达与肉用性状关联分析

由表 4 和表 5 可知，去势公猪和母猪肌肉组织中 PRKAA1 基因 mRNA 表达量与肉用性状相关性存在一定差异。其中，去势公猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达量与各项测定指标间差异不显著 ($P>0.05$)，而母猪 mRNA 表达量与肩部最厚处背膘厚呈极显著负相关 ($P<0.01$)，与其他性状间无显著相关 ($P>0.05$)。

表 4 糯谷猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达量与胴体性状相关性

指标	相关系数	
	去势公猪	母猪
宰前活重/kg	0.028	-0.218
皮率/%	0.262	-0.225
骨率/%	0.571	-0.502
肥肉率/%	-0.538	0.074
瘦肉率/%	-0.174	0.311
6~7 肋处皮厚/mm	0.270	-0.274
肩部最厚处背膘厚/mm	-0.241	-0.805**
最后肋骨处背膘厚/mm	-0.433	-0.227
腰荐结合处背膘厚/mm	-0.393	-0.232
平均背膘厚/mm	-0.359	-0.530

注：**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

表 5 糯谷猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达量与肉质性状相关性

指标	相关系数	
	去势公猪	母猪
a* 值	0.126	-0.037
肉色 b* 值	-0.097	-0.203
L* 值	-0.032	0.344
滴水损失/%	0.375	-0.318
剪切力/N	0.225	-0.335
肌内脂肪/%	-0.065	-0.201

3 讨论

对于养猪行业来说，性别效应对其经济价值有着重要影响。前人研究发现，去势公猪生长优势明显，但有关性别对猪胴体和肉质性能影响尚无一致结论^[8-9]。郭建凤等^[10]指出，除 pH 值外，莱芜黑猪公母猪间常规肉品质指标差异不显著。刘彬等^[11]以凉山猪、巴凉杂交猪、杜凉杂交猪、青峪猪和巴青杂交猪为研究对象，发现不同性别巴凉杂交猪、青峪猪和巴青杂交猪所有肉质性状都无显著差异，针对凉山猪，除滴水损失指标外，其他肉质性状均差异不显著。根据本试验结果，性别效应对糯谷猪的肉质性状不存在显著影响，该结论与相关报道^[10-11]相符。谢宝财等^[12]研究发现，性别效应对关中黑猪 PPAR γ 、脂肪甘油三酯脂酶 (ATGL) 和硬脂酰辅酶 A 去饱和酶 (SCD) 等脂肪代谢调控基因 mRNA 表达水平有显著影响，去势公猪的成脂基因相对表达量高于母猪。本研究发现，性别对糯谷猪的胴体性状有显著影响，母猪瘦肉率和皮率显著高于去势公猪，肥肉率显著低于去势公猪，该结果与有关安庆六白猪^[13]、关中黑猪^[12]的研究报道相一致，分析其原因，可能与激素分泌和基因表达水平有关。雄激素可促进脂肪分解，公猪去势使体内雄性激素分泌下调，从而抑制了脂肪分解，使得去势公猪背膘厚及脂肪率均高于母猪^[14]。

张军霞等^[15]利用 RT-qPCR 检测藏羊肌肉生长抑制素 (MSTN) 基因在肌肉组织中 mRNA 的表达量，并对 MSTN 基因表达量与产肉性状进行关联性分析，发现藏羊 MSTN 基因在背最长肌中的表达量与红度值呈显著正相关，与熟肉率呈极显著负相关，得出 MSTN 基因与藏羊肉质性状存在相关性。本课题组将这一研究思路应用于猪 PRKAA1 基因验证工作中，PRKAA1 基因作为 AMPK 家族中的一员，在真核生物细胞内作为一种重要的能量调节器广泛表达，能准确感受细胞内腺苷酸与三磷酸腺苷的比值 (AMP/ATP) 变化，调控下游与脂肪代谢相关基因，在细胞

增殖、脂肪形成和成骨细胞诱导等过程扮演重要角色^[16]。在高坡猪中 PRKAA1 基因的序列中发现 3 个 SNPs, g. 13152 A<G 位点在第 7 外显子区域, 属于错义突变位点, g. 13152 A<G 位点 AA 基因型个体眼肌面积显著高于 GG 和 AG 基因型个体^[17-18]。韩雪等^[19]报道指出, PRKAA1 基因 g. 13152 A<G 位点对香梅 F1 代猪瘦肉重具有调控作用。本试验通过分析糯谷猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达量与肉用性状关联性发现, 去势公猪和母猪存在一定差异, 但整体呈现出去势公猪和母猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达水平均与肩部最厚处背膘厚、最后肋骨处背膘厚、腰荐结合处背膘厚和平均背膘厚间存在负相关关系, 尤其在母猪中, 该结论与相关研究报道^[13-19]相符。一方面, 在高坡猪、从江香猪和香梅 F1 代猪中已证实 PRKAA1 基因中存在 SNP 位点可调控猪胴体性能; 另一方面, Yang 等^[20]指出短期慢性激活 PRKAA1 会促进脂肪基因胆固醇调节元件结合蛋白 2 (SREBP-2) 表达的补偿性增加, 长期慢性激活则降低胆固醇调节元件结合蛋白 1c (SREBP-1c) 及其靶标的表达基因, 导致脂肪沉积发生变化。综上所述, 糯谷猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达水平与肉用性状之间存在相关性, 下一步课题组计划在糯谷猪脂肪前体细胞中开展功能验证, 进一步挖掘分子调控机制, 为糯谷猪胴体性状改良以及种质资源开发利用提供科学依据。

4 结论

性别对糯谷猪的胴体性状指标影响较大, 母猪皮率和瘦肉率均显著高于去势公猪, 肥肉率指标显著低于去势公猪。母猪 PRKAA1 基因 mRNA 表达水平与肩部背膘厚呈极显著负相关性, 可将其作为调控糯谷猪胴体性状的候选基因。

参考文献:

[1] LEE S J, KANG B W, CHAE Y S, et al. Genetic variations in STK11, PRKAA1, and TSC1 associated with prognosis for patients with colorectal cancer [J]. *Annals of Surgical Oncology*, 2014, 21 (4): 634-639.

[2] YANG Q H, XU J A, MA Q, et al. PRKAA1/AMPK α 1-driven glycolysis in endothelial cells exposed to disturbed flow protects against atherosclerosis [J]. *Nature Communications*, 2018, 9 (1): 4667-4684.

[3] DAI X Y, DING Y, LIU Z Y, et al. Phosphorylation of C/EBP homologous protein (CHOP) by the AMP-activated protein kinase α 1 in macrophages promotes CHOP degradation and reduces injury-induced neointimal disruption *in vivo* [J]. *Circulation Research*, 2016, 119 (10): 1089-1100.

[4] 孙成娟. 猪肉性状相关基因 FoxO4、PRKAA1 的克隆表达及功能研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.

[5] 吴小敏, 倪轲, 朱晓锋, 等. 猪 PRKAA1 基因相关 LncRNAs 的筛选及其在组织中的表达分析 [J]. *农业生物技术学报*, 2020, 28 (2): 232-241.

[6] 徐倩. 6 个猪品种 7 个结构变异的多态性及其功能研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.

[7] 杨公社. 猪生产学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 54-58.

[8] 赵云翔, 高广雄, 李私丞, 等. 初生重、性别及屠宰体重对猪胴体性状和肉品质的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2020, 52 (11): 30-34.

[9] 田甜, 张剑搏, 王磊, 等. 性别对猪生产性能及肉质的影响 [J]. *猪业科学*, 2023, 40 (11): 108-110.

[10] 郭建凤, 孙延晓, 魏述东. 不同性别莱芜黑猪胴体性能及肉品质比较 [J]. *中国猪业*, 2023, 18 (4): 18-21.

[11] 刘彬, 陈映, 李强, 等. 品种和性别效应对猪肉性状的影响 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32 (9): 2222-2225.

[12] 谢宝财, 王召路, 卢军锋, 等. 性别对关中黑猪胴体性状、肉品质以及脂代谢相关基因表达的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57 (7): 130-135.

[13] 丁月云, 孟云, 周晓明, 等. 性别对安庆六白猪体尺性状、胴体性能及肉质性状的影响 [J]. *西南农业学报*, 2013, 26 (6): 2592-2595.

[14] 豆兴成. 性激素对脂肪组织代谢的影响及其作用机制 [J]. *兰州医学院学报*, 2003, 3 (4): 85-87.

[15] 张军霞, 雷秀存, 贺娜, 等. 藏羊 MSTN 基因表达及其与产肉性状的关联性分析 [J]. *农业生物技术学报*, 2022, 30 (5): 926-934.

[16] KRISHAN S, RICHARDSON D R, SAHNI S. AMP kinase (PRKAA1) [J]. *Journal of Clinical Pathology*, 2014, 67 (9): 758-763.

[17] 张蓉, 李辉, 赵忠海, 等. 高坡猪 PRKAA1 基因多态性检测及生物信息学分析 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2016, 35 (12): 3384-3388.

[18] 易恒洁, 李辉, 赵忠海, 等. 高坡猪 PRKAA1 基因多态性对肉质性状的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2018, 46 (11): 31-34.

[19] 韩雪, 陶宇航, 张雄, 等. 香梅 F1 代猪 PRKAA1 基因对肉品质和屠宰性能的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2019, 51 (10): 5-8.

[20] YANG J, MAIKA S, CRADDOCK L, et al. Chronic activation of amp-activated protein kinase- α 1 in liver leads to decreased adiposity in mice [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2008, 370 (2): 248-253.