

黄华云,张耿铭,韩 威,等. *FBXW7* 在鸡组织及细胞中的表达规律[J]. 江苏农业科学,2025,53(16):41–46.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.16.006

FBXW7 在鸡组织及细胞中的表达规律

黄华云¹,张耿铭^{1,2},韩 威¹,赵振华¹,杨苗苗^{1,3},李春苗¹,王钱保¹,黄正洋¹,吴香君^{1,2}

(1. 江苏省家禽科学研究所,江苏扬州 225125; 2. 河北科技师范学院动物科技学院,河北秦皇岛 066600;

3. 佛山大学生命科学与工程学院/广东省动物分子设计与精准育种重点实验室,广东佛山 528225)

摘要:为初步阐明 *FBXW7*(含 F-box 和 WD 重复结构域 7)在鸡肌肉发育和脂肪沉积中的作用,以 S3 系、F 系和 H 系鸡在 0、2、5、10、15 周龄的腹脂、肝脏、皮脂、腿肌、胸肌组织为试验素材,采用荧光定量 PCR(Q-PCR)测定 *FBXW7* 的组织 and 细胞表达规律。结果表明,*FBXW7* 在不同周龄不同品系鸡的各组织中呈现显著差异性。在腹脂中,H 系在 2、5、10 周龄时极显著高于 S3 系和 F 系($P<0.01$),F 系在 2、5、15 周龄极显著高于 S3 系($P<0.01$);在肝脏中,H 系在 0、5、10、15 周龄显著高于其他 2 个品系($P<0.05$);在皮脂中,F 系在 0、2、5、10 周显著高于其他 2 个品系($P<0.05$);在腿肌中,S3 系在 2、5、10、15 周龄极显著高于 H 系和 F 系($P<0.01$);在胸肌中,S3 系在 5、10、15 周龄显著高于其他 2 个品系($P<0.05$);在成肌细胞和肌内脂肪细胞中,*FBXW7* 在增殖期 50% 的表达极显著高于分化期($P<0.01$)。综上所述,*FBXW7* 呈现明显的细胞和组织差异性,该基因参与了肌肉发育和脂肪沉积的调控过程,为进一步研究该基因的功能提供了理论参考。

关键词:鸡;*FBXW7*;腹脂;肝脏;肌肉;脂肪沉积;细胞;表达规律

中图分类号:S831.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)16-0041-05

家禽脂肪积累主要包括肌内脂肪、皮下脂肪、腹部脂肪。腹部是脂肪主要沉积部位,而腹部脂肪的过度沉积反而对于肉鸡的生长和经济效益起着负作用^[1]。肌肉(胸肌和腿肌)是机体动能的主要组织,胸肌作为稳定呼吸系统运动的主体,发挥着决定性作用^[2],具有高蛋白、低脂肪含量^[3-4]等特点,是日常主要的食用部位。腿肌作为支持体质量及各种活动的主要肌群,蛋白质含量高^[5]。因此,肌肉发育和脂肪沉积是家禽两大重要经济性状,挖掘影响这 2 类性状的候选基因具有重要的理论和实践意义。

FBXW7 是一种 SCF E3 泛素连接酶,在人体中涉及细胞存活^[6]、细胞增殖^[7]、肿瘤治疗^[8]、DNA 损伤修复^[9]、调节细胞衰老^[10]和癌症治疗^[11]等方面的影响。*FBXW7* 负调控小鼠肌纤维成肌细胞和卫星细胞的分化、增殖和迁移,同时调节成肌细胞分化和肌肉再生^[12]。Li 等提及与脂肪分化相关的蛋

白 *FBXW7* 可调节 PGC-1 α 稳定性和线粒体稳态^[13]。Lan 等发现,*FBXW7* 具有抑制癌蛋白的功能^[14]。付婉瑞等的研究表明,*FBXW7* 是治疗肌少症性肥胖(sarcopenic obesity, SO)的潜在靶点之一^[15]。Bengoechea 等发现,*FBXW7* 可以调节脂肪细胞的生成^[16-17]。Xia 等的研究表明,*FBXW7* 表达减弱是晚期非乙醇性脂肪性肝炎(NASH)的特征^[18]。在家禽上,对 *FBXW7* 研究尚未见相关报道。因此,本研究以不同品系鸡的腹脂、肝脏、皮脂、腿肌、胸肌、成肌细胞和肌内脂肪细胞为试验材料,利用 QPCR 检测 *FBXW7* 在不同组织和细胞中的表达变化,初步探讨 *FBXW7* 对肌肉发育和脂肪沉积的调控作用,为进一步研究 *FBXW7* 功能提供理论和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验动物

本试验采用江苏省家禽科学研究所自主培育的 S3 系、F 系和 H 系优质肉鸡为试验动物。S3 系为性连锁矮小鸡,其特点为黄羽、青胫、节粮等;F 系具有黄麻羽、高脚青胫、生长速度快等特点;H 系具有黄羽、黄脚、肉质佳等特点。

收稿日期:2024-09-13

基金项目:江苏省种业振兴揭榜挂帅项目[编号:JBGS(2021)109、JBGS(2021)029];现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-41-Z05)。

作者简介:黄华云(1983—),女,湖南永州人,博士,研究员,主要从事家禽遗传育种研究,E-mail:huanghuayun520@163.com。

1.2 试验方法

2023 年试验在江苏省扬州市的试验基地进行,试验鸡仅在环境、管理和日粮相同的情况下进行饲养,分别在 0、2、5、10、15 周龄进行样本采集,每个周龄样本随机选取 6 羽鸡屠宰,按照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》(NY/T 823—200420)^[19]分别采集肝脏、胸肌、腿肌、腹部脂肪、皮下脂肪组织。

1.3 细胞培养

原代成肌细胞和肌内脂肪细胞的分离和纯化参照张欣的方法^[20]进行。成肌细胞在融合至约 70% 时,采用 2% 马血清诱导其分化,全培养基组为增殖期细胞;肌内脂肪细胞在融合至 70% 左右,采用 0.1% 油酸诱导分化,未加油酸组为增殖期细胞。2 种细胞的诱导分化当天定义为分化 0 d,分别在增

殖期,分化的 1、3、5、7 d 进行细胞收集。

1.4 各组织和细胞的总 RNA 提取和反转录

各组织和细胞的总 RNA 提取参照采用诺唯赞 (Vazyme) RNA 提取试剂盒进行(南京诺唯赞生物科技股份有限公司)。

cDNA 的反转录参照 TaKaRa 的 PrimerScript™ RT Master Mix(Perfect Real Time)试剂盒进行(日本 TaKaRa 公司)。反转录终浓度为 50 μg/μL。

1.5 荧光定量 PCR

荧光定量 PCR 扩增仪(CFX96)来自美国 Applied Biosystems 公司,QPCR 试剂盒为 QIAGEN 公司的 QuantiNova SYBR Green PCR Kit 荧光定量 PCR 试剂盒[德国 QIAGEN(凯杰)公司]。

荧光定量 PCR 的引物(表 1)由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

表 1 荧光定量 PCR 引物序列

引物名称	引物位置	序列	退火温度 (℃)	产物长度 (bp)	基因登录号
GAPDH	F	5′-AGAAGGCTGGGGCTCATCT-3′	59.0	195	NM_204305.2
	R	5′-CAATGCCAAAGTTGTCATG-3′	49.3		
FBXW7	F	5′-TCTTGACACCTCCATCCGAGT-3′	55.8	135	XM_046915934.1
	R	5′-ACTGTAGAATCAGCGTTCCCA-3′	57.9		

注:F 为上游引物;R 为下游引物。

1.6 统计方法

所有的定量表达数据采用 SPSS 27 单因素方差和多重比较(Duncan's 法)。绘图采用 Graphpad Pism 9.5 软件。所有的数据均用“平均值±标准差”表示,差异显著性水平 α 取 0.05、0.01。

2 结果与分析

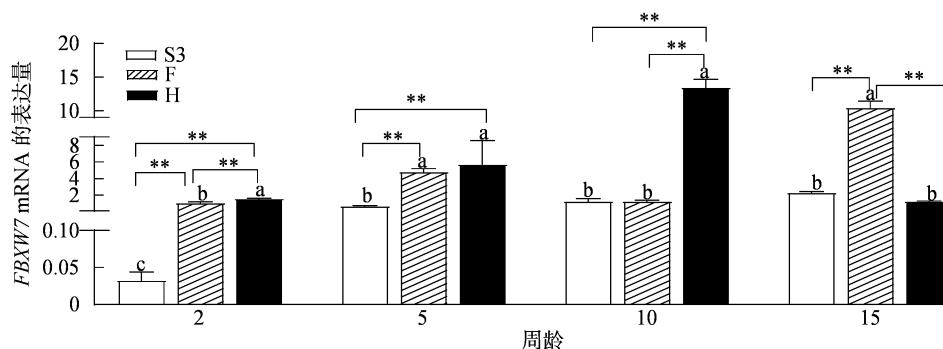
2.1 FBXW7 在不同组织中的表达

2.1.1 FBXW7 在腹脂组织中的表达 由图 1 可知,不同品系 FBXW7 在腹脂组织中的表达量存在显著差异。其中,S3 系和 F 系在 2、5、10 周龄时极显著低于 H 系($P<0.01$);F 系在 2、5、15 周龄极显著高于 S3 系($P<0.01$),在 15 周龄时极显著高于 H 系($P<0.01$)。在 S3 系中,FBXW7 表达量 15 周龄极显著高于 2、5、10 周龄($P<0.01$);在 F 系中,15 周龄间极显著高于 2、5、10 周龄($P<0.01$),5 周龄极显著高于 2、10 周龄($P<0.01$);在 H 系中,10 周龄极显著高于 2、5、15 周龄($P<0.01$),5 周龄极显著高于 2、15 周龄($P<0.01$)。

2.1.2 FBXW7 在肝脏组织中的表达 由图 2 可

知,FBXW7 在不同品系肝脏组织中的表达量存在显著差异。其中,S3 系在 0、5、10 周龄极显著低于 H 系($P<0.01$),在 2 周龄时显著低于 F 系($P<0.05$),在 5 周龄时极显著低于 F 系($P<0.01$);F 系在 0、10、15 周龄极显著低于 H 系($P<0.01$),在 5 周龄时显著低于 H 系($P<0.05$),F 系在 15 周龄极显著低于 S3 系($P<0.01$)。在 S3 系中,15 周龄表达量最高,且极显著高于其他周龄($P<0.01$);在 F 系中,5 周龄表达量最高,且极显著高于其他周龄($P<0.01$);在 H 系中,0 周龄表达量最高且极显著高于其他周龄($P<0.01$)。

2.1.3 FBXW7 在皮脂组织中的表达 FBXW7 在皮脂组织 0、2、5、10 周龄的基因表达量分析结果(图 3)表明,S3 系在 0 周龄极显著低于 H 系($P<0.01$),在 5 周龄时显著低于 F 系($P<0.05$);F 系在 0、2、10 周龄极显著高于其他两系($P<0.01$);H 系在 5 周龄时显著低于 F 系($P<0.05$)。在 S3 系中,FBXW7 在 2 周龄时极显著低于 0、5、10 周龄($P<0.01$);在 F 系中 10 周龄极显著高于 0、2、5 周龄($P<0.01$),5 周龄极显著高于 0、2 周龄($P<0.01$);



图中不同字母代表不同处理在同一周龄下差异显著($P < 0.05$), 相同字母代表差异不显著($P > 0.05$)。

*, ** 表示 2 组数据间差异显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。下同

图1 *FBXW7*在腹脂组织中的表达

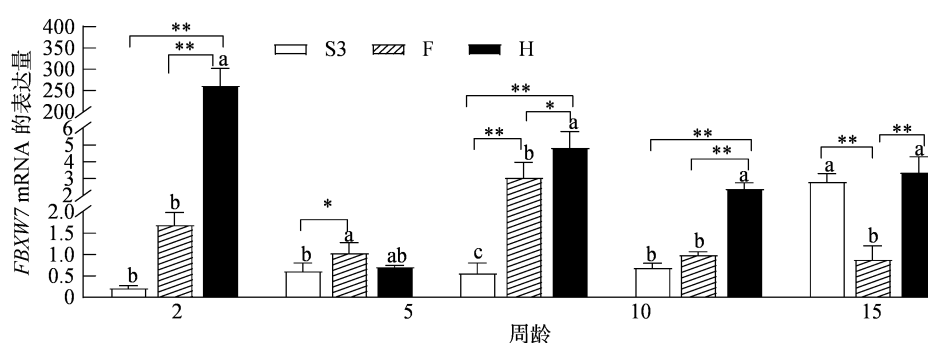


图2 *FBXW7*在肝脏组织中的表达

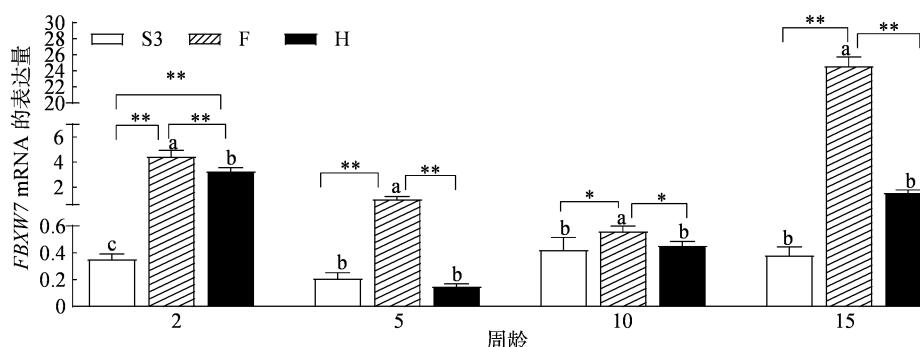


图3 *FBXW7*在皮脂组织中的表达

在 H 系中,0 周龄极显著高于 2、5、10 周龄($P < 0.01$), 10 周龄极显著高于 2、5 周龄($P < 0.01$)。

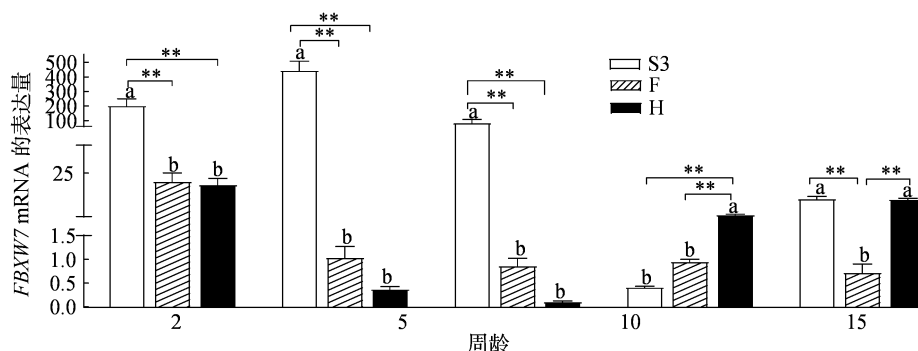
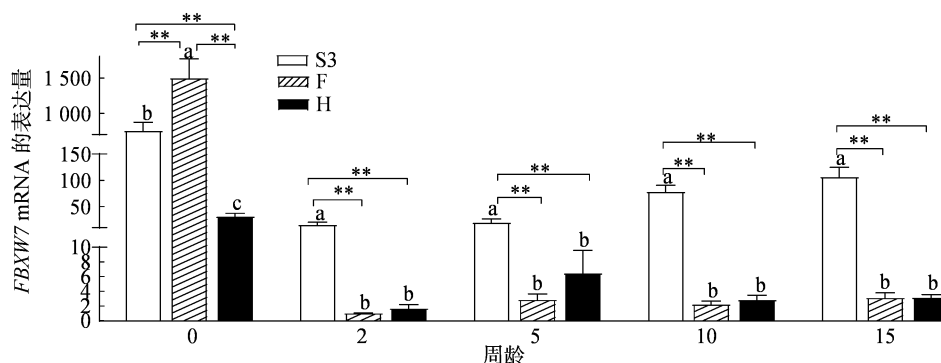
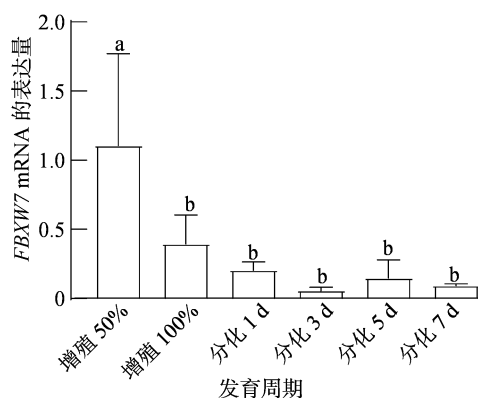
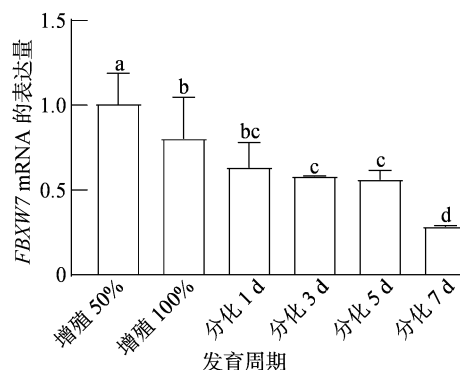
2.1.4 *FBXW7* 在腿肌组织中的表达 *FBXW7* 在腿肌 0、2、5、10、15 周龄的基因表达量分析结果(图 4)表明,S3 系在 0、2、5 周龄极显著高于 H 系($P < 0.01$),同时于 0、2、5、15 周龄极显著高于 F 系($P < 0.01$);H 系在 10 周龄时极显著高于 S3 系和 F 系($P < 0.01$)。在 S3 系中,2 周龄表达量极显著高于 0 周龄($P < 0.01$),且 0、2 周龄同时极显著高于 5、10、15 周龄($P < 0.01$),5 周龄显著高于 10、15 周龄($P < 0.05$);在 F 系中,0 周龄的表达量最高,且极显著高于其他周龄($P < 0.01$);在 H 系中,0 周龄表达量极显著高于 15 周龄($P < 0.01$),且 0、15 周龄

极显著高于 2、5、10 周龄($P < 0.01$)。

2.1.5 *FBXW7* 在胸肌组织中的表达 由图 5 可知,*FBXW7* 基因在不同品系肉鸡胸肌中有较大的差异。其中,S3 系的表达量在 2、5、10、15 周龄极显著高于 H 系和 F 系($P < 0.01$),在 0 周龄时极显著高于 H 系($P < 0.01$)。F 系在 0 周龄时极显著高于 S3 系和 H 系($P < 0.01$)。在 S3 系中,0 周龄表达量极显著高于其他周龄($P < 0.01$);在 F 系中,0 周龄极显著高于其他周龄($P < 0.01$);在 H 系中,0 周龄的表达量极显著高于其他周龄($P < 0.01$)。

2.2 *FBXW7* 在成肌细胞和肌内脂肪细胞中的表达

2.2.1 *FBXW7* 在成肌细胞中的表达 由图 6 可知,*FBXW7* 在成肌细胞增殖期的表达高于分化期,

图4 *FBXW7*在腿肌组织中的表达图5 *FBXW7*在胸肌中的表达图6 *FBXW7*在成肌细胞中的表达图7 *FBXW7*在肌内脂肪细胞中的表达

其中增殖期 50% 表达量最高,且显著高于增殖期 100% 和各分化期 ($P < 0.05$),整体呈下降趋势。

2.2.2 *FBXW7* 在肌内脂肪细胞中的表达 由图 7 可知,*FBXW7* 在肌内脂肪细胞增殖 50% 表达量最高且极显著高于分化期 ($P < 0.05$),并随着分化时间的延长表达量逐渐降低,分化 7 d 显著低于增殖期 100%,分化 1、3、5 d ($P < 0.05$)。

3 讨论

泛素介导的蛋白水解通路具有调控肌肉发育和脂肪沉积,参与细胞的分化和发育周期,同时参

与蛋白质的合成和降解的作用。Bogan 发现,泛素可促进脂肪酸氧化和产热,可以活跃细胞促进肌肉和脂肪细胞的发育^[21];Dave 等发现,泛素介导的蛋白水解对蛋白降解及其合成具有影响,可调控肌肉萎缩^[22];Pasiakos 等发现,泛素介导的蛋白水解上调会对肌肉和脂肪的质量有负面影响^[23];Rasool 等发现,泛素蛋白通路影响肌原纤维蛋白和骨骼肌的肌肉发育^[24];Ciechanover 等发现,泛素介导的蛋白水解对细胞分化、发育周期和蛋白降解起重要作用^[25]。*FBXW7* 是富集在泛素介导的蛋白水解通路上的基因,结合 *FBXW7* 在哺乳动物成肌细胞分化、肌肉再生、脂肪生成中的功能,推测 *FBXW7* 在鸡的

肌肉发育和脂肪沉积中发挥作用,研究 *FBXW7* 在鸡的肌肉组织和脂肪沉积相关组织中的表达,对进一步鉴定 *FBXW7* 的功能具有重要的参考意义。

本研究以 F、H、S3 系为试验材料,探讨 *FBXW7* 在不同品系不同组织中的表达变化。结果表明,在腹脂中,S3 系呈上升趋势,H 系 0~15 周龄呈先上升后降低的趋势,F 系在 2~10 周龄先上升后下降,然后在 10~15 周龄再次上升至最高;在肝脏中,H 系 0 周龄的表达量显著高于其他 2 个品系,H 系鸡的肝脏部位在早期发育阶段的生长发育速度和代谢可能较高其他两系。在皮脂组织中,F 系在 0、5 周龄表达量较低,但在 5~10 周龄时显著增高,且 10 周龄时极显著高于其他两系。在腿肌中,S3 系在 0~2 周龄上升,2~10 周龄下降,15 周龄时上升,而 F 系以 5 周龄为转折点呈先下降后上升趋势变化,H 系基因在 0 周龄时表达量最高,后呈下降趋势;在胸肌中,S3 系在 0~15 周龄呈先下降后上升的趋势,在 0 周龄时表达量最高,F 系和 H 系 0 周龄时表达量最高,随后逐渐下降。随着周龄的增加,其表达量逐渐降低,提示 *FBXW7* 在早期生长和发育过程中起重要作用。*FBXW7* 在不同品系不同组织中的变化,预示 *FBXW7* 在不同品系不同周龄不同组织间扮演着差异化的角色,这种变化表明 *FBXW7* 参与了鸡肌肉生长和脂肪积累的动态变化过程,为更好地分析该基因的功能提供线索。在成肌细胞中,增殖期 50% 表达量最高且极显著高于分化期,说明 *FBXW7* 负调控鸡成肌细胞的分化过程;在肌内脂肪细胞中,增殖 50% 表达量最高且极显著高于分化期,说明 *FBXW7* 可能抑制脂肪细胞在分化期的发育。

4 结论

FBXW7 在 3 个肉鸡品系腹脂、肝脏、皮脂、腿肌、胸肌组织、成肌细胞和肌内脂肪细胞增殖期与分化期中均呈现出显著的差异性,由此推测 *FBXW7* 参与了鸡的肌肉发育和脂肪沉积过程,且可将此基因作为肌肉发育和脂肪沉积的候选基因。

参考文献:

- [1] Wang D D, Qin P P, Zhang K, et al. Integrated LC/MS - based lipidomics and transcriptomics analyses revealed lipid composition heterogeneity between pectoralis intramuscular fat and abdominal fat and its regulatory mechanism in chicken[J]. Food Research International, 2023, 172: 113083.
- [2] Khabyuk J, Pröls F, Draga M, et al. Development of ribs and intercostal muscles in the chicken embryo[J]. Journal of Anatomy, 2022, 241(3): 831 - 845.
- [3] 刘树萍, 苏晓文, 方伟佳. 基于感官评价结合理化指标分析低温慢煮过程中鸡胸肉品质变化[J]. 中国调味品, 2021, 46(2): 40 - 45.
- [4] 徐娜, 石金明, 何伟俊, 等. 宰后成熟对鸡肉风味的影响研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(2): 727 - 732.
- [5] 徐自强, 刘金松, 刘玉兰, 等. 月桂酸替代金霉素对肉鸡腿肌肉品质和抗氧化功能的影响[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(6): 159 - 165.
- [6] Fan J Y, Bellon M, Ju M Y, et al. Clinical significance of *FBXW7* loss of function in human cancers[J]. Molecular Cancer, 2022, 21(1): 87.
- [7] O'Brien S, Kelso S, Steinhart Z, et al. SCF*FBXW7* regulates G2 - M progression through control of CCNL1 ubiquitination[J]. EMBO Reports, 2022, 23(12): e55044.
- [8] Yeh C H, Bellon M, Nicot C. *FBXW7*: a critical tumor suppressor of human cancers[J]. Molecular Cancer, 2018, 17(1): 115.
- [9] Lan H Y, Sun Y. Tumor suppressor *FBXW7* and its regulation of DNA damage response and repair[J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2021, 9: 751574.
- [10] Gong L Y, Cui D R, Liu D, et al. *FBXW7* inactivation induces cellular senescence via accumulation of p53[J]. Cell Death & Disease, 2022, 13(9): 788.
- [11] Sailo B L, Banik K, Girisa S, et al. *FBXW7* in cancer: what has been unraveled thus far? [J]. Cancers, 2019, 11(2): 246.
- [12] Shin K, Hwang S G, Choi I J, et al. *FBXW7* β , E3 ubiquitin ligase, negative regulation of primary myoblast differentiation, proliferation and migration[J]. Animal Science Journal, 2017, 88(4): 712 - 719.
- [13] Li S P, Deng J J, Sun D D, et al. *FBXW7* alleviates hyperglycemia - induced endothelial oxidative stress injury via ROS and PARP inhibition[J]. Redox Biology, 2022, 58: 102530.
- [14] Lan H Y, Tan M J, Zhang Q, et al. LSD1 destabilizes *FBXW7* and abrogates *FBXW7* functions independent of its demethylase activity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019, 116(25): 12311 - 12320.
- [15] 付婉瑞, 古再丽努尔·卡德尔, 何雅琦, 等. *FBXW7* 过表达对棕榈酸诱导 C2C12 细胞萎缩及焦亡的作用及机制研究[J]. 老年医学与保健, 2023, 29(2): 271 - 279.
- [16] Bengoechea - Alonso M T, Ericsson J. The ubiquitin ligase *FBXW7* controls adipocyte differentiation by targeting C/EBP α for degradation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2010, 107(26): 11817 - 11822.
- [17] Zhang C, Chen F, Feng L, et al. *FBXW7* suppresses HMGB1 - mediated innate immune signaling to attenuate hepatic inflammation and insulin resistance in a mouse model of nonalcoholic fatty liver disease[J]. Molecular Medicine, 2019, 25(1): 29.
- [18] Xia H, Dufour C R, Medkour Y, et al. Hepatocyte *FBXW7* - dependent activity of nutrient - sensing nuclear receptors controls systemic energy homeostasis and NASH progression in male mice[J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 6982.

王迎新,赵 鹤,刘美艳,等. 狗枣猕猴桃 *AkWRKY65* 基因生物信息学及表达特性分析[J]. 江苏农业科学,2025,53(16):46–51.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.16.007

狗枣猕猴桃 *AkWRKY65* 基因生物信息学 及表达特性分析

王迎新,赵 鹤,刘美艳,邹需怡,王 颖,李然红
(牡丹江师范学院生命科学与技术学院,黑龙江牡丹江 157011)

摘要:狗枣猕猴桃(*Actinidia kolomikta*)是耐寒猕猴桃之一,是良好抗寒育种资源。*WRKY* 转录因子在植物生命活动和响应非生物胁迫时发挥至关重要的作用,在 4 ℃ 低温胁迫下在狗枣猕猴桃转录组数据库中筛选到 1 条表达量显著上调的 *WRKY* 家族成员,经比对后命名为 *AkWRKY65*。*AkWRKY65* 生物信息学及表达特性的研究,有助于了解其结构与功能,为该基因功能的进一步研究提供参考。利用生物信息学和 RT-qPCR 技术对 *AkWRKY65* 序列及表达模式进行分析。结果表明,*AkWRKY65* 基因编码 250 个氨基酸,为疏水性不稳定蛋白,亚细胞定位于细胞核中,*AkWRKY65* 结构域由 1 个 *WRKYGQK* 七肽保守结构域和 1 个 C2H2 型锌指结构组成,锌指结构为 C—X₅—C—X₂₃—H—X₁—H,其二级结构主要由 α 螺旋和不规则卷曲构成;系统进化分析结果表明,狗枣猕猴桃与山梨猕猴桃的亲缘关系较近;启动子顺式作用元件预测结果表明,*AkWRKY65* 启动子区域含有多个激素诱导与逆境响应相关的顺式作用元件;*AkWRKY65* 在植物组织中的表达量依次为根>雄花>雌花>叶>果实>茎;*AkWRKY65* 对不同非生物胁迫均有响应,在低温、水淹及盐胁迫下,*AkWRKY65* 均呈先升后降的表达模式,在处理 24 h 时达到峰值,低温、水淹及盐胁迫处理 24 h 时分别为对照的 13.4、6.6、7.4 倍。*AkWRKY65* 积极响应非生物胁迫,可能在狗枣猕猴桃抗逆过程中发挥重要作用。

关键词:狗枣猕猴桃;*AkWRKY65*;转录因子;生物信息学;表达模式

中图分类号:S663.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)16-0046-06

狗枣猕猴桃(*Actinidia kolomikta*),别名狗枣子、深山木天蓼,为猕猴桃科(*Actinidiaceae* Engl. & Gilg)猕猴桃属(*Actinidia* Lindl.)多年生大型落叶藤

本植物,具有明显的耐寒特性,常生长于湿润的山地混交林或杂木林中,主要分布于我国的东北、华北以及西南和西北地区,美国、日本及朝鲜等地亦有分布,其浆果内含有丰富的维生素 C 及多种氨基酸,具有较高的营养价值和经济价值^[1-2]。

WRKY 是高等植物成员数量较多的转录因子家族之一,因具有高度保守的 *WRKY* 结构域而命名,*WRKY* 保守结构域的 N 端具有保守序列 *WRKYGQK*,C 端包含锌指基序(CX₇CX₂₃HXC 或 CX₄-5CX₂₂-23HXH),根据锌指基序的结构和 *WRKY* 结构域数量的不同,可将 *WRKY* 转录因子分为 3 组(I、II 和

收稿日期:2024-08-27

基金项目:黑龙江省省属本科高校优秀青年教师基础研究支持计划(编号:YQJH2023094);黑龙江省自然科学基金资助项目(编号:PL2024C023);牡丹江师范学院“十四五”双一流学科建设揭榜挂帅项目(编号:MSYSYL2022015)。

作者简介:王迎新(1999—),女,山东聊城人,硕士研究生,研究方向为植物遗传学。E-mail:swxwyx1@126.com。

通信作者:李然红,博士,教授,主要从事林木遗传育种研究。E-mail:swxlrh@126.com。

[19]江苏省家禽科学研究所,扬州大学畜牧兽医学院. 家禽生产性能名词术语和度量统计方法:NYT 823—2004[S].

[20]张 欣. VE 和电刺激通过 Nr2/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.

[21]Bogan J S. Ubiquitin-like processing of TUG proteins as a mechanism to regulate glucose uptake and energy metabolism in fat and muscle[J]. *Frontiers in Endocrinology*,2022,13:1019405.

[22]Dave S,Patel B M. Deliberation on debilitating condition of cancer Cachexia: skeletal muscle wasting[J]. *Fundamental & Clinical Pharmacology*,2023,37(6):1079-1091.

[23]Pasiakos S M, Berryman C E, Carrigan C T, et al. Muscle protein turnover and the molecular regulation of muscle mass during hypoxia[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*,2017,49(7):1340-1350.

[24]Rasool S, Geetha T, Broderick T L, et al. High fat with high sucrose diet leads to obesity and induces myodegeneration[J]. *Frontiers in Physiology*,2018,9:1054.

[25]Ciechanover A, Orian A, Schwartz A L. Ubiquitin-mediated proteolysis: biological regulation via destruction[J]. *BioEssays*,2000,22(5):442-451.