

叉头转录因子 1 (FoxO1) 与肌球蛋白重链基因 (MyHC) 的相关性及其对肉品质的影响

王乐, 郭月英, 程海星, 张利霞, 靳焱*

(内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特, 010018)

摘 要 肉品质作为一个综合性状,从本质上,基因水平的遗传调控对肉质产生关键影响。随着肉品质研究的深入,多种肉质标记基因被不断发掘,基因之间的相互调控作用为进一步研究提供新的视野。FoxO1 作为 FoxO (叉头框转录因子)家族的重要成员,是多种细胞通路中关键的信号分子,参与骨骼肌的生长发育、脂肪沉积,并与多种肉质基因具有密切相关性。肌球蛋白重链(MyHC)基因,通过基因表达对肌纤维类型产生直接调控,对肉质产生重要影响;文中对 FoxO1、MyHC 基因的功能及其对肉品质的影响进行介绍,同时综述了 FoxO1 对 MyHC 的调控作用与肉质的相关性,并对其调控机理进行了探讨。

关键词 FoxO1; MyHC; 肉质; 相关性研究

近些年,随着分子生物学与食品学科、动物育种学科的交叉领域不断扩大,畜牧科研人员逐渐认识到基因对畜禽遗传育种及其食用品质存在关键调控作用。在人们生活水平日益增长的同时,对于畜禽肉类,尤其是价位略高的羊肉,已不仅仅停留于量的需求,而是跨越到“质”的追求。所以,在满足人们对羊肉数量需求的基础上,不断改善其食用肉质,使羊肉实现更高的营养价值及口味需求,是现代肉羊生产中值得关注、研究的方向。

在畜禽肉品质的研究中,越来越多的肉质相关基因被挖掘并研究,如 MyHC (肌球蛋白重链)、FoxO1 (叉头框转录因子 1)、CAST 基因(钙蛋白酶抑制蛋白基因)、CAPN (钙蛋白酶基因家族)、MSTN (肌肉抑制生长素)、Leptin (瘦素)及 MRFs (生肌调节因子),包括 MyoD (生肌决定因子)、MyoG (肌细胞生成素)、Myf5、Myf6。这些基因的独立表达及调控都会对肉质的某些性状产生影响,如 CAST 和 CAPN 基因的表达及多态性不仅与肉的剪切力具有显著相关性,影响肉的嫩度,还可能是影响鸡屠宰性能的关键基因^[1-2]; MSTN 被证实与肌肉发育畸形、骨骼肌发育肥大、体重及瘦肉率有密切相关性^[3-5]; MRFs 基因家族参与肌细胞分化及肌纤维形成的整个阶段,不同阶段由不同的家族成员表达调控,是一个与肌肉生长发育及肉

品质极其相关的基因家族^[6-7]。但是,随着新功能基因的不断被发现,独立研究某个基因已不能满足科研的需要,多种肉质基因之间的相互调控极其机制成为新形势下的研究热点,大量研究表明, FoxO1 对 MyHC 各亚型的表达存在调控作用,影响肌纤维类型转化,从而对肉质产生重要影响。肉质本就是一个综合性状,它的形成本质上就是多个基因相互作用,共同调控的结果。所以,探讨和研究两类基因及多类基因表达的相关性及其调节机制,对肉质基因的研究具有重要意义。

1 FoxO1 基因对肉品质的影响

1.1 FoxO1 转录因子简介

1989 年, WEIGEL 等在果蝇中发现了第 1 个 Forkhead 基因^[8]。FoxO 转录因子是 Forkhead 家族中研究最深入的 O 亚家族, FoxO1、FoxO3、FoxO4 和 FoxO6 是 FoxO 基因家族的 4 个成员,现已确定 FoxO 蛋白及其各种结合物之间存在着物理的交互作用。FoxO1 是 FoxO 所有的亚型中最主要的调控因子,它在骨骼肌、白色脂肪和棕色脂肪以及下丘脑中表达极其显著,并参与这些组织调控进而影响能量代谢^[9]。FoxO1 是哺乳动物体内信号传导通路最下游的靶细胞,如 IGF (胰岛素生长因子)、PI3K (磷脂酰肌醇三激酶),并且在成脂细胞、细胞周期及能量代谢过程中发挥重要作用^[10]。

Fox 蛋白都有高度保守的 DNA 结合结构域,这些 Fox DNA 结合结构域的三维结构高度保守,十分

第一作者:硕士研究生(靳焱教授为通讯作者, E-mail: jinyeyc@sohu.com)。

基金项目:国家自然科学基金资助(31360393)

收稿日期:2015-09-09, 改回日期:2015-10-19

像蝴蝶的形状,含有螺旋-环-螺旋(helix-loop-helix)结构,与两侧中环共同形成“翼状螺旋(winged-helix)”结构域^[11]。FoxO蛋白的氨基酸序列具有3个蛋白激酶B(PKB)磷酸化位点的高度保守区,分别位于起始密码子后、Forkhead区和Forkhead区后,分别对应于FoxO1的Thr24、Ser256和Ser319^[12]。蛋白包含4个结构域:依次为N端的Forkhead区域、核定位信号肽、核输出序列和C端富含脯氨酸和丝/氨酸的转录激活域^[13]。

FoxO1基因调控与MyHC(肌球蛋白重链基因)、MRFs(生肌调节因子家族)及MSTN(肌肉抑制生长素)的基因及蛋白表达存在密切联系,进而对嫩度、色泽、系水力及肌纤维特性等主要肉质指标产生重要影响^[14-16]。虽然调控机理尚未明确,但是可以认定,FoxO1基因是关键的肉质候选基因。

1.2 FoxO1转录活性调节及对肉质的影响

近几年,关于FoxO1的研究大多集中在肿瘤及免疫等医学方面,随着研究的深入,发现FoxO1参与调控骨骼肌的生长发育,在肌肉干细胞分化过程中起重要的调控作用,FoxO1可能是决定肌纤维类型的重要调控因子,而肌纤维类型则直接影响肌肉色泽、嫩度和肌肉脂肪含量,直接对畜禽肉品质产生影响^[17]。FoxO1作为FoxO基因家族的一员,其主要转录活性调控包括磷酸化/去磷酸化,可逆乙酰化和泛素化等。FoxO1的乙酰化可加强FoxO1的磷酸化,从而降低其转录活性,由此表明,FoxO1的翻译后修饰可调节FoxO1自身的功能^[18]。

研究表明,FoxO1蛋白的表达直接影响骨骼肌的生长发育,还间接调控其他肌肉发育相关基因的表达,从而调节骨骼肌的正常发育模式。Kousteni的研究中发现,FoxO1抑制成肌细胞的分化,但是在肌肉能量供应不足时,会通过分解肌肉蛋白来提供能量,从而导致肌肉萎缩^[19]。Kamei等人研究发现,骨骼肌FoxO1转基因小鼠表现为肌肉萎缩,质量减轻,体重减轻,骨骼肌体积与对照组比较缩小,肌肉颜色苍白、干燥^[20]。在哺乳动物的非肌细胞中,FoxO1活化间接激活单磷酸腺苷活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK),研究发现AMPK活性与肌糖原、己糖激酶、乳酸、肉的色泽、剪切力和熟肉率具有相关性,进而影响肉羊宰后肌肉品质^[21-22]。

此外,在对猪、鼠、人及牛的研究中发现,FoxO1在成脂细胞分化及脂肪沉积过程中发挥重要作用。Liu发现FoxO1表达水平存在组织特异性,并且受到

体重影响,而且FoxO1的表达水平与脂肪沉积速率存在显著正相关^[23]。但是,张野在对不同月龄猪的研究中发现,FoxO1的基因表达与PPAR γ (过氧化物酶受体)、CEBP/ α (增强子结合蛋白 α)的表达呈现相反趋势,PPAR γ 、CEBP/ α 是调控脂肪沉积的重要基因,因此推断FoxO1的表达会抑制脂肪沉积^[24]。此结果与之前史新娥的研究结果一致^[25]。但是,Liu对不同月龄牛的不同前体脂肪细胞分化过程中FoxO1及PPAR γ 的mRNA表达水平进行分析时,未发现两者存在线性关系^[26]。郝军等人研究发现,磷酸化FoxO1在糖尿病大鼠肾小管上皮细胞表达升高,可能和细胞内脂质沉积相关^[27],而朱琳等在探究磷酸化FoxO1对高糖刺激的人肾小管上皮细胞脂质沉积的影响中,也有类似的结论^[28]。FoxO1可能是成脂细胞分化和脂肪沉积过程中的重要调控因子,而且,在肉品质的研究中,动物组织的脂肪含量,尤其是肌肉脂肪是评价肉品质的重要指标。因此,FoxO1可作为一个潜在的调控脂肪含量的关键基因。

近年来,国内外有大量关于FoxO1对猪、鼠和牛骨骼肌生长调控的研究,为后续研究FoxO1如何调控肉羊骨骼肌生长发育及改善羊肉肉质奠定理论基础。

2 MyHC基因对肉品质的影响

2.1 MyHC基因家族简介

MyHC基因家族又称肌球蛋白重链基因家族,是肌肉收缩的主要功能蛋白,它的基因表达已经成为肌肉纤维类型划分的主要分子标记^[29]。肌肉所含肌球蛋白的亚型不同,即表现出不同的收缩能力和AT-Pase活性,并且首先在人和啮齿类动物上确定了特定的肌纤维类型与四种肌纤维肌球蛋白重链(myosin heavy chain, MyHC)异构体中的某一种类型的对应关系^[30]。之后确定MyHC家族的I、IIa、IIx和IIb型基因分别对应I型(慢速氧化型)、IIa型(快速氧化型)、IIx型(中间型)和IIb型(快速酵解型)4种肌纤维类型^[31]。肌纤维是构成肌肉组织的基本单位,纤维直径、纤维数目与纤维类型是反映肌肉纤维特性的3个指标,前两者是决定肌肉产量的主要因素,纤维类型与肉质性状的品种差异、劣质肉品形成密切相关,不同类型肌纤维的生长具有特异性,对肉品质有重要的影响^[32]。

2.2 MyHC对肉质的影响

肌纤维类型及比例与肉色、系水力、肌肉脂肪含

量、pH 及嫩度等各类肉质关键指标密切相关^[33]。氧化型肌纤维 MyHC-I、MyHC-II a 肌红蛋白含量较高,当它们占比例高时,肉色鲜红,反之,MyHC-II b 型肌纤维含较低肌红蛋白,此类型肌纤维所占比例高会导致肉色苍白,感官评分较低^[34]。张琪等人在研究猪骨骼肌中 MyHC-II b 基因上调的机制中发现,转录起始点的启动子区域有 3 个 E-box 序列,对这 3 个序列分别进行突变都会导致 MyHC-II b 基因的表达量显著下降^[35]。在对肉质优良的金华猪和肉质略差的长白猪研究中发现,金华猪背最长肌中含有更多的氧化型肌纤维特别是 MyHC I 型肌纤维,而酵解型肌纤维特别是 MyHC II b 型肌纤维含量极显著的低于长白猪^[36]。在对牛的遗传育种工作中,国外研究人员通过选择含较高 I 型纤维比例的肉牛品种来改善牛肉品质^[37]。因此,认定 MyHC 基因家族通过调控不同类型肌纤维的生成及比例对肉品质产生影响,是调控肉品质的关键基因。目前,对于肌球蛋白重链基因的研究涉及到猪、牛、鱼等,而在肉羊方面研究才刚刚起步,张静等人为了研究 MyHC 基因表达量与巴美肉羊肉品质的相关性,对 MyHC 的 Real-time PCR 方法进行摸索并优化,确定了合理科学的最佳实验条件,为后续试验提供依据^[38]。辛雪等人在对不同体重巴美肉羊 MyHC 基因表达规律的研究中发现,巴美肉羊背最长肌、股二头肌和臂三头肌中的 4 种亚型的 MyHC 基因的表达量随着体重的增加,基本呈先下降后上升的趋势^[39]。因此,在羊肉质相关基因的研究中,MyHC 基因对羊肉肉质的影响有待进一步研究。

3 FoxO 与 MyHC 相关性研究

KITAMURA 的研究发现,敲除骨骼肌 FoxO1 基因会导致 MyoD(生肌决定因子)的表达上升,同时肌纤维组成发生变化^[40]。王玲等对牛的 FoxO 基因表达量与性状相关性分析显示:FoxO1 基因与肌纤维面积呈显著负相关^[41],由此推断 FoxO1 通过调控肌纤维性状对肉品质产生影响。袁媛等人在对 FoxO1 调控肌纤维类型及其转化机制的研究中发现,FoxO1 能够推迟猪成肌细胞的分化时间并抑制分化,还可能通过抑制 MyoD 的表达控制骨骼肌纤维类型的终末分化。后续研究发现,FoxO1 在快肌中表达较高,并且与肌纤维类型与 FoxO1 基因表达量显著相关;当分化正常的 C2C12 肌管转染 FoxO1 后,MyHCIIx 表达量上调,同时 MyHCI,MyHC IIa 和 MyHC IIb 表达减少^[42-43]。MyHCI 基因控制表达的慢速氧化型肌纤

维有助于增加肌肉的嫩度和多汁性,史新娥等成功构建了猪 FoxO1 基因 shRNA 干扰慢病毒载体,结果显示沉默 FoxO1 促进猪成肌细胞中 MyHCImRNA 的表达,即 FoxO1 负调控骨骼肌的量和 I 型肌纤维基因的表达^[44]。研究还发现,FoxO1 磷酸化蛋白与 MyHCI 正相关,与 MyHC IIx 和 MyHC IIb 负相关。当用渥曼青霉素使 FoxO1 去磷酸化后,发现 MyHCI 和 MyHCI-Ia 比例降低,MyHCIIb 比例提高,而未影响 MyHCIIx 的表达量^[45]。SHI 等人为研究猪骨骼肌中肌球蛋白重链亚型与 FoxO1 的相关性,采用比目鱼肌和趾长伸肌肌肉,实验时荧光定量及 westernblot 的方法,结果 FoxO1 的表达与 MyHCI 的表达呈负相关,与 MyHC IIx 和 MyHC IIb 正相关,揭示了 FoxO1 转录因子与肌纤维类型转化具有相关性^[46]。LEVINE 发现,磷酸化 FoxO1 与 MyHC 表达水平存在一定的联系^[47]。还有研究人员在对 HMB(β -Hydroxy β -Methylbutyrate)影响大鼠肌肉萎缩的试验中发现,这种它可通过抑制 FoxO1 的转录,从而抑制 MyHC 的蛋白质水解,显示 FoxO1 与 MyHC 存在内在联系^[48]。

虽然已有研究表明,FoxO1 基因对 MyHC 家族的表达存在显著影响,但由于肌细胞生长及肌纤维形成过程存在错综复杂的细胞通路调控,涉及多个通路基因家族相互作用,因此,调控机理还未有统一的结论。据上述研究,有些研究证实 FoxO1 通过抑制 CaN/NFAT(nuclear factor of activated T cell)或者 CaN/MEF2(myocyte enhancer factor-2)信号通路调控肌纤维类型,然而对于 CaN 是否促进慢速型纤维形成还存在争议;有人认为 PI3K/PKB(磷脂酰肌醇 3 激酶-蛋白激酶 B)及 MAPK/ERK(丝裂原活化蛋白激酶)通路通过抑制 FoxO1 而使慢速型纤维增加;还有人推断 FoxO1 通过参与 IGF-I(胰岛素样生长因子)信号通路影响 MyHC 各亚型的表达,而 IGF-I 可能在慢速肌纤维向快速糖酵解型肌纤维(MyHC IIb 肌纤维)的转化中起关键调控作用^[49]。同时,FoxO1 存在多种转录后修饰,如磷酸化,乙酰化及泛素化,均会对 FoxO1 活性产生影响,而最新有研究发现磷酸化的 FoxO1 蛋白与 MyHC 各亚型的表达呈现显著相关,但 FoxO1 蛋白的其他修饰是否会对肌纤维类型产生显著影响,目前相关研究还甚少。

4 展望

现阶段,对于 FoxO1 的研究已涉及细胞,分子及蛋白水平,研究领域也涉及到人类疾病及畜禽生长发

育,并存在部分交叉研究。但是 FoxO1 基因通过何种信号通路、何种转录活性调控 MyHC 各亚型的表达,以及其如何调控肌肉脂肪沉积从而影响肉质,现在尚未有统一明确的结论,并且现有研究大多集中在猪、牛及鼠,对于羊的研究几乎空白。内蒙古天然草场辽阔,培育有多种优良肉羊品种,是羊肉生产加工的重要地区。羊肉细嫩,脂肪含量较低,营养价值较高。在羊肉数量满足消费者的基础上,不断超越人们对传统羊肉品质的追求,对羊肉肉质的进一步改善提高进行研究探讨,具有重要的意义。所以,利用现代生物分子技术、细胞水平调控及蛋白免疫学技术,在研究 FoxO1 基因表达、蛋白表达与肌球蛋白重链各亚型表达的相关性的基础上,探究 FoxO1 转录调控的机制和途径,对间接调控肌纤维类型的表达,获取对肉质有利的肌纤维类型,改善羊肉肉质及资源保护具有极其重要的意义。

参 考 文 献

- [1] 郭月英. 内蒙古两个绵羊品种肉质候选基因的组织表达, SNPs 检测及其与肉质的相关性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [2] 张增荣. 鸡 CAPN1, CAPN2, CAPN3 和 CAST 基因的克隆, 表达及其在肉质中的遗传效应分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [3] 唐永凯, 李建林, 俞菊华, 等. 吉富罗非鱼 MSTN 基因结构及其多态性与生长性状的相关性[J]. 中国水产科学, 2010, 16(1): 44-51.
- [4] 王宝维, 刘腾, 葛文华, 等. 填饲期肉肥肝鹅 A-FABP 与 MSTN 基因同步表达规律与相关性[J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 586-593.
- [5] 刘晓琴, 马喜山, 唐中林, 等. 猪 MSTN 基因的多态性和生长性状关联分析[J]. 畜牧兽医学报, 2013, 44(7): 1 063-1 069.
- [6] 贾伟德. 牛 MyoD 基因家族多态性及其与肉质性状的关联性分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [7] 王琼, 朱庆. MyoD, MyoG 基因的多态性及其与鸡屠宰性状和肉质性状的相关性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [8] WEIGEL D, JÜRGENS G, KÜTTNER F, et al. The homeotic gene fork head encodes a nuclear protein and is expressed in the terminal regions of the Drosophila embryo[J]. Cell, 1989, 57(4): 645-658.
- [9] 朱宇旌, 于治姣, 张勇, 等. FoxO 转录因子的活性调控及其对骨骼肌生长发育的调节[J]. 动物营养学报, 2013, 25(4): 677-684.
- [10] 王志刚, 谭盛葵. FoxO 基因肿瘤抑制作用研究进展[J]. 中华疾病控制杂志 ISTIC, 2013, 17(9): 21.
- [11] 尹杰, 易玉吟, 傅鑫, 等. Forkhead 转录因子调控干细胞的命运决定[J]. 中国细胞生物学学报, 2012(12): 3.
- [12] ACCILI D, ARDEN K C. FoxOs at the crossroads of cellular metabolism, differentiation, and transformation[J]. Cell, 2004, 117(4): 421-426.
- [13] OBSIL T, OBSILOVA V. Structure/function relationships underlying regulation of FOXO transcription factors[J]. Oncogene, 2008, 27(16): 2 263-2 275.
- [14] 史新娥. FoxO1 调控猪骨骼肌纤维类型分化的作用及分子机理[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [15] 王乐, 郭月英, 程海星, 等. FoxO 基因转录活性调控及其对肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(13): 393-396.
- [16] 高飞. 猪 Myostatin 基因敲除及转录调控的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [17] 林亚秋, 刘茂琪, 郑玉才. 九龙牦牛肌纤维类型标记基因的初步研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011(1): 139-140.
- [18] 钟茜, 邓宇斌. FoxO1 转录因子及其翻译后修饰的生物学意义[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2010, 26: 203-208.
- [19] KOUSTENI S. FoxO1, the transcriptional chief of staff of energy metabolism[J]. Bone, 2012, 50(2): 437-443.
- [20] KAMEI Y, MIURA S, SUZUKI M, et al. Skeletal muscle FoxO1 (FKHR) transgenic mice have less skeletal muscle mass, down-regulated type I (slow twitch/red muscle) fiber genes, and impaired glycemic control[J]. Journal of Biological Chemistry, 2004, 279(39): 41 114-41 123.
- [21] CHEN C C, JEON S M, BHASKAR P T, et al. FoxOs inhibit mTORC1 and activate Akt by inducing the expression of Sestrin3 and Rictor[J]. Developmental cell, 2010, 18(4): 592-604.
- [22] 宋晓彬, 袁倩, 刘树军, 等. 不同月龄和部位羊肉中一磷酸腺苷激活蛋白激酶活性与肉品质的关系[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 4.
- [23] LIU Y, WANG Y, SHAN T, et al. The tissue-specific and developmental expression patterns of the forkhead transcription factor FoxO1 gene in pigs[J]. Journal of Animal and Feed Sciences, 2008, 17(2): 182.
- [24] 张野, 崔世泉, 狄生伟, 等. 叉头框转录因子 O 亚族 1 基因对猪肾周脂肪沉积代谢的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(2): 117-120.
- [25] 史新娥, 宋子仪, 杨浩, 等. 叉头框转录因子 O 亚族 1 (FoxO1) 去磷酸化抑制猪前体脂肪细胞分化[J]. 农业生物技术学报, 2011, 19(5): 837-842.
- [26] LIU X, LIU G, TAN X, et al. Gene expression profiling of SIRT1, FoxO1, and PPAR γ in backfat tissues and subcutaneous adipocytes of Lulu bulls[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 704-711.
- [27] 郝军, 朱琳, 李凡, 等. Foxo1 在糖尿病大鼠肾小管上皮细胞的表达研究[J]. 中国药理学通报, 2013, 29(11): 1 519-1 523.
- [28] 朱琳, 刘青娟, 徐宁, 等. 磷酸化 FOXO1 对高糖刺激

- 的人肾小管上皮细胞脂质沉积的影响[J]. 中国病理生理杂志, 2013, 29(11): 2 001 - 2 005.
- [29] 门小明. 肌肉纤维类型组成对猪肉品质的影响极其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [30] WEISS A, LEINWAND L A. The mammalian myosin heavy chain gene family[J]. Annual Reviews Cell & Development Biology, 1996, 12(1): 417 - 439.
- [31] 刘志军, 董佩佩, 贾俊静, 等. 肌球蛋白重链 MyHC 基因与肉品质的关系[J]. 兽药与饲料添加剂, 2009, 14(6): 28 - 31.
- [32] 门小明, 邓波, 徐子伟, 等. 猪肌肉纤维类型组成差异相关的能量代谢, 蛋白质组与基因表达谱分析[C]. 长沙: 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十一次全国动物营养学术研讨会, 2012.
- [33] 王静. 猪肉品质的品种差异与营养调控及其机制研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
- [34] 任列娇, 赵素梅, 胡洪, 等. 肌纤维类型及其对猪肉品质影响的研究进展[J]. 云南农业大学学报: 自然科学版, 2010 (1): 124 - 131.
- [35] 张琪. 猪骨骼肌 MyHC IIb 基因上调表达的分子机制[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [36] GUO J, SHAN T, WU T, et al. Comparisons of different muscle metabolic enzymes and muscle fiber types in Jinhua and Landrace pigs[J]. Journal of animal science, 2011, 89(1): 185 - 191.
- [37] LINCOLN. Fiber-type composition of muscles of the beef chuck and round[J]. Anim Sci, 2002, 80: 2 872 - 2 878.
- [38] 张静, 郭月英, 任霆, 等. 巴美肉羊 MyHC 荧光定量检测方法的优化[J]. 食品工业科技, 2015(6): 019.
- [39] 辛雪, 苏琳, 赵雅娟, 等. 巴美肉羊肌球蛋白重链基因表达规律的研究[J]. 食品科技, 2014(10): 030.
- [40] KITAMURA T, KITAMURA Y I, FUNAHASHI Y, et al. A FoxO/Notch pathway controls myogenic differentiation and fiber type specification[J]. The Journal of Clinical Investigation, 2007, 117(9): 2 477 - 2 485.
- [41] 王玲. 普通牛 FoxO1, FoxO3, FoxO4 基因的克隆, 表达及其对肉质性状的遗传效应分析[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [42] 袁媛. FoxO1 调控骨骼肌纤维类型及其转型机制的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [43] 袁媛, 史新娥, 刘月光, 等. 高表达 FoxO1 抑制猪骨骼肌成肌细胞的分化[J]. 生物工程学报, 2010, 26(12): 1 668 - 1 673.
- [44] 史新娥, 郑雪莉, 刘月光, 等. 慢病毒介导 shRNA 干扰 FoxO1 促进猪成肌细胞中 MyHC I 的表达[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2011, 27(6): 582 - 588.
- [45] 史新娥, 吴国芳, 路宏朝, 等. 猪骨骼肌中 FoxO1 与 MyHCs 的相关性研究[C]. 郑州: 中国畜牧兽医学会养猪学分会学术研讨会, 2013.
- [46] SHI X E, SONG Z Y, YANG Q M, et al. Correlation of forkhead box transcription factor O1 and myosin heavy chain isoforms in porcine skeletal muscle[J]. Genetics and Molecular Research: GMR, 2013, 13(4): 10 231 - 10 240.
- [47] LEVINE S, BISWAS C, DIEROV J, et al. Increased proteolysis, myosin depletion, and atrophic AKT-FOXO signaling in human diaphragm disuse[J]. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2011, 183(4): 483 - 490.
- [48] NOH K K, CHUNG K W, CHOI Y J, et al. β -Hydroxy β -methylbutyrate improves dexamethasone-induced muscle atrophy by modulating the muscle degradation pathway in SD rat[J]. Plos One, 2014, 9(7): 1 - 7.
- [49] 李媛. C2C12 细胞中 FHL3 对不同肌纤维类型 MyHC 基因表达的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.

Correlation study of FoxO1 and MyHC and their affection to meat quality

WANG Le, GUO Yue-ying, CHENG Hai-xing, ZHANG Li-xia, JIN Ye *

(College of Food Science of Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

ABSTRACT Meat quality, as a comprehensive trait, was effected critically by genetic regulation on genetic levels. With the further research on meat quality, many marker genes have been explored and new horizons were opened up by regulation effect between the genes. FoxO1, as a crucial member of FoxO, is a key signal molecule in various cell signaling pathways, which participates in the process of skeletal muscle development, fat deposition and closely relates to genes affecting meat quality. Meat quality was significantly affected by Myosin heavy chain (MyHC), whose gene expression directly regulates muscle fiber types. In this paper, the function of FoxO1, MyHC and their effect on meat quality were introduced. The correlation between meat quality and the regulation to MyHC of FoxO1 was summarized and the regulating mechanism was discussed with the purpose of offering theoretic reference for improvement of meat quality and further study of the genes relating to meat quality trait.

Key words FoxO1; MyHC; meat quality; correlation study