

莱芜猪和杜洛克猪背最长肌肌球蛋白重链组成

呼红梅, 朱荣生, 张 印, 王怀中, 武 英

(山东省农业科学院畜牧兽医研究所, 济南 250100)

摘要: 【目的】比较莱芜猪和杜洛克猪背最长肌肌球蛋白重链(MyHC) I、II a、II x、II b的组成差异, 探讨莱芜猪肉质优良的机理。【方法】选择体重100 kg的莱芜猪10头和杜洛克猪7头, 测定肉质性状, 并用实时荧光定量RT-PCR方法检测背最长肌4种MyHC亚型mRNA的表达量, 分析品种间差异。【结果】莱芜猪肌肉大理石纹评分和肌内脂肪含量显著高于杜洛克猪, 肌肉失水率、剪切值和肌纤维直径显著低于杜洛克猪($P < 0.01$); 莱芜猪背最长肌MyHC II a、II x mRNA表达量显著高于杜洛克猪, MyHC II b mRNA表达量则显著低于杜洛克猪, 而MyHC I mRNA表达量无明显变化。【结论】莱芜猪背最长肌氧化型肌纤维比例高于杜洛克猪, 酵解型肌纤维比例低于杜洛克猪。表明莱芜猪背最长肌利用脂肪转化为能量的能力较高, 即莱芜猪背最长肌氧化代谢功能高于杜洛克猪, 这可能与其肌内脂肪含量较高、肉质细嫩多汁相关, 这一结果可为通过肌纤维类型的选育提高肉品质的研究工作提供思路。

关键词: 莱芜猪; 肌球蛋白重链(MyHC); 实时RT-PCR; 肉质

Myosin Heavy Chain Composition in Longissimus Muscle of Laiwu Pigs and Duroc

HU Hong-mei, ZHU Rong-sheng, ZHANG Yin, WANG Huai-zhong, WU Ying

(Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100)

Abstract: 【Objective】 An experiment was conducted to compare myosin heavy chains (MyHC) composition at mRNA in longissimus muscle (LM) between Laiwu pigs and Duroc, and to discuss the mechanism of high meat quality in Laiwu pigs. 【Method】 Ten Laiwu pigs and seven Duroc weighing approximately 100 kg were chosen for the experiment. Meat characters were measured. Expression of MyHC I, II a, II x, II b at mRNA in LM of Laiwu pigs and Duroc were measured by real time fluorescence RT-PCR, the difference between breeds was analyzed. 【Result】 The result indicated that marbling grade and intramuscular fat content in LM of Laiwu pigs were remarkably higher than that of Duroc ($P < 0.01$), water-losing percentage, shear value and fibre diameter in LM were evidently slower than that of Duroc ($P < 0.01$). Compared with Duroc, the expression level of MyHC II a, II x at mRNA in LM of Laiwu pigs significantly increased, expression level of MyHC II b at mRNA dramatically decreased, but expression level of MyHC I at mRNA were not influenced by breeds. 【Conclusion】 The proportion of oxidative fiber in LM of Laiwu pigs was higher than that of Duroc, but the proportion of glycolytic fiber was lower, which suggested that LM of Laiwu pigs exhibited a less glycolytic and more oxidative metabolism than Duroc's, potentially using more lipids as an energetic substrate, consisting with higher intramuscular fat content, tenderness, water-holding capability. In the future, meat quality can be improved by selecting muscular fiber types.

Key words: Laiwu pig; Myosin heavy chains; MyHC; Real time RT-PCR; Meat quality

0 引言

【研究意义】近年来, 中国猪育种主要以降低背膘厚、提高生长速度和瘦肉率为选育目标, 解决了猪

肉产品的供应不足, 但猪肉质及其风味大大降低。随着消费者对猪肉品质要求的提高, 亟需改善肉质, 培育优质肉猪。肌纤维类型与肉质性状密切相关, 而且肌纤维类型具有中等偏高的遗传力, 可通过肌纤维类

收稿日期: 2007-10-24; 接受日期: 2008-02-23

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD02A08-10)和山东省农业科学院青年基金(2005YQ041)

作者简介: 呼红梅(1976-), 女, 山东冠县人, 助理研究员, 研究方向为动物营养。Tel: 0531-88611680; E-mail: huhongmeipatty@163.com。通讯作者武 英(1954-), 女, 山东肥城人, 研究员, 研究方向为猪遗传育种与营养。Tel: 0531-83179419; E-mail: wusaas@163.com

型选育提高肉质。【前人研究进展】肌纤维是构成肌肉的基本单位, 肌纤维的特性直接影响猪肉品质, 肌纤维类型的组成影响肌肉颜色、pH、肌内脂肪含量、嫩度、失水率等指标。氧化型肌纤维(MyHC I、IIa)肌红蛋白、磷脂含量较高, 糖原含量和 ATPase 活性较低, 肌纤维直径较细, 有氧代谢能力强; 而酵解型肌纤维(MyHC IIb)则相反; MyHC IIx 的代谢活性和收缩特性则介于氧化型肌纤维和酵解型肌纤维之间。因此, 氧化型肌纤维比例高时, 肌肉的肉色、大理石纹评分和肌内脂肪含量较高, 肌肉细嫩、肌纤维直径较细, 肌肉的保水性高^[1~3]。目前大多数研究采用组织酶学染色的方法定义肌纤维类型, 这种方法无法确切定义肌纤维类型, 而且不同的染色方法, 得出的结论不同^[4~9]。近年来在生长猪骨骼肌中发现了与肌纤维类型相对应的 4 种 MyHC, 分别为慢速氧化型(I 型)、快速氧化型(IIa 型)、快速酵解型(IIb 型)和中间型(IIx 型)^[10~14]。Tanabe 等^[15]和杨晓静等^[16]使用典型 RT-PCR 方法比较了不同品种猪(梅山猪、二花脸猪、长白、杜洛克、大约克)背最长肌 MyHC I、IIa、IIx、IIb 的表达差异, 这一检测技术不能准确测定 PCR 扩增产物。Lefaucheur 等^[12,17]用实时 RT-PCR 方法、原位杂交和免疫细胞学方法比较了大白猪和梅山猪背最长肌和菱形肌 4 种 MyHC 在 mRNA 表达和蛋白水平的差异, 发现梅山猪肌肉中氧化型肌纤维比例显著高于大约克, 认为这与梅山猪肉质优良有关。【本研究切入点】莱芜猪作为中国优良地方品种, 具有肉质细嫩多汁、香味浓郁等优良特性, 目前主要集中于肉质常规指标的测定, 对其肉质形成的分子机理未见研究报道。【拟解决的关键问题】本研究以肉质优良的莱芜猪为研究对象, 以肉质欠佳的杜洛克猪为对照, 分析评价肉质, 利用实时荧光定量 RT-PCR 方法测定 4 种 MyHC 亚型 mRNA 表达量。比较莱芜猪与杜洛克猪背最长肌 4 种亚型 MyHC mRNA 表达差异, 探讨莱芜猪肉质性状与肌纤维类型组成的关系。

1 材料与方法

1.1 试验猪的选择、屠宰和取样

选择日龄和胎次相近, 体重为 100 kg 的莱芜猪 10 头(274 d), 杜洛克猪 7 头(170 d), 按“瘦肉型猪胴体性状测定技术规范(NY/T 825-2004)”进行屠宰。屠宰后 30 min 内用无菌剪刀取样, 迅速放入液氮中速冻, 用于测定肌球蛋白重链 mRNA 表达量。从倒数 3~4 胸椎向后取背最长肌 20~30 cm, 测定肉品质。

1.2 肉品质测定指标

按“猪肌肉品质测定技术规范(NY/T821-2004)”对肌肉颜色(5 分制比色板评分)和大理石纹(5 分制比色板评分)进行评分, 测定肌肉 pH、失水率和肌内脂肪含量。取腰段背最长肌测定肌肉剪切值^[18]。

肌纤维直径的测定: 猪屠宰后 2 h 内取左胴体倒数 2~4 肋骨处背最长肌, 然后沿肌纤维走向取 0.2 cm×0.5 cm×3 cm 样品, 固定于硬纸片上。置于 20% 硝酸中固定 24 h 后取出制片。10×40 倍显微镜下用测微尺量取 100 根肌纤维直径, 再乘相应的系数(本试验的相应系数为 2.73, 即测微尺的一个小格为 2.73 μm)即为该样品的肌纤维直径^[19]。

1.3 实时 RT-PCR

1.3.1 总 RNA 的提取和纯化 用 TaKaRa RNAiso Reagent 提取肌肉中的总 RNA, 紫外分光光度计(Ultrospec 3100 pro, Biochro Ltd)测定总 RNA 浓度和纯度, -80℃保存备用。

1.3.2 引物设计 根据 GenBank 公布的猪 MyHC I、IIa、IIx、IIb 的 mRNA 基因序列(编号分别为 U75316、AB025260、AB025262、AB025261), 利用 Primer5.0 引物设计软件设计引物。引物由上海生工生物工程技术服务有限公司合成。

MyHC I F: 5'-AGCCTCTTTCTTCTCCAGG GACATTC-3', 扩增片段长度: 384 bp;

MyHC IIa F: 5'-CACTTGCTAAGAGGGACCTC TGAGTTCA-3', 扩增片段长度: 375 bp;

MyHC IIx F: 5'-CTTTCCTCATAAAGCTTCAA GTTCTGCC-3', 扩增片段长度: 398 bp;

MyHC IIb F: 5'-CATCTGGTAACATAAGAGG TACATCTAG-3', 扩增片段长度: 429 bp;

下游引物 R: 5'-ATCCAGGCTGCGTAACGCT CTTTGAGTTGTA-3'。

1.3.3 标准曲线的制作 背最长肌 RNA RT-PCR 结束后, PCR 产物经 2% 琼脂糖凝胶电泳, 割胶后按照 E.Z.N.A Gel Extraction Kit 操作说明, 纯化回收 PCR 扩增片段, 连接于 pMD20-T 载体。取连接产物转化 DH5α 感受态细胞, 涂 LB 培养基(含氨苄青霉素、IPTG 和 X-Gal), 利用 AMP 抗性及蓝白斑筛选阳性克隆, 阳性单菌落震荡过夜培养, 用 Plasmid Mini Kit 提取质粒, 并对重组质粒 DNA 进行 PCR 鉴定。Sma I 内切酶线性化质粒, SP6 RNA 逆转录酶体外转录, DNase I 消化质粒模板, 苯酚、氯仿/异戊醇抽提, 用紫外分光光度计测定 RNA 标准品的纯度和浓度, 并将质量单

位转换为分子数。用 Easy dilution 将体外转录 RNA 标准品 10 倍倍比稀释, 作为荧光定量 RT-PCR 检测 MyHC 亚型的阳性标准模板。利用 SYBR PrimeScript™ RT-PCR Kit 进行二步法实时荧光定量 PCR 检测, 每个样品 3 个重复, 根据 Ct 值、标准品分子数制作标准曲线。

1.3.4 背最长肌 MyHC mRNA 表达量检测 使用荧光 PCR 仪 (ABI Prism 7000), 利用 SYBR PrimeScript™ RT-PCR Kit 二步法检测背最长肌 4 种 MyHC 亚型 mRNA 表达量, 每个样品 3 个重复, 根据待测样品浓度、扩增产物 Ct 值和标准曲线计算每种亚型 MyHC mRNA 表达量。

逆转录反应, 反应体系为 10 μ l: 5 \times PrimeScript Buffer 2.0 μ l, PrimeScript RT Enzyme Mix I 0.5 μ l, Random 6 mers (100 μ mol \cdot L⁻¹) 0.5 μ l, 总 RNA 2 μ l, RNase Free dH₂O 5 μ l。逆转录反应条件: 42 $^{\circ}$ C 反转录 10 min, 95 $^{\circ}$ C 1 min。

实时荧光定量 PCR, 反应体系为 20 μ l: 反转录产物 1.5 μ l, 依次加入 SYBR Rremix Ex Taq (2 \times) 10.0 μ l, PCR Forward Primer (10 μ mol \cdot L⁻¹) 0.4 μ l, PCR Reverse Primer (10 μ mol \cdot L⁻¹) 0.4 μ l, ROX Reference Dye (50 \times) 0.4 μ l, dH₂O 7.3 μ l。反应条件: 94 $^{\circ}$ C 10 s, 94 $^{\circ}$ C 5 s, 60 $^{\circ}$ C 40 s, 40 个循环。

1.4 数据统计分析

试验数据均采用 SPSS 13.0 软件进行单因素方差分析, 用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 莱芜猪与杜洛克猪肉肉质性状比较

由表 1 可知, 莱芜猪和杜洛克猪的肌肉肉色评分、

表 1 莱芜猪与杜洛克猪肉肉质比较

Table 1 Comparison of meat quality of Laiwu pigs and Duroc

	杜洛克猪 Duroc	莱芜猪 Laiwu pig
肉色(评分) Meat color (grade)	3.14 \pm 0.1	3.35 \pm 0.1
大理石纹(评分) Marbling (grade)	2.95 \pm 0.2B	4.28 \pm 0.1A
pH	6.14 \pm 0.1	6.17 \pm 0.1
剪切值 Shear value(kg-f)	30.11 \pm 2.6A	21.58 \pm 2.3B
失水率 Water-losing rate (%)	22.74 \pm 4.6A	8.05 \pm 0.4B
肌纤维直径 Fibre diameter (μ m)	63.66 \pm 2.9A	54.33 \pm 1.0B
肌内脂肪 IMF (%)	1.82 \pm 0.1B	7.70 \pm 0.6A

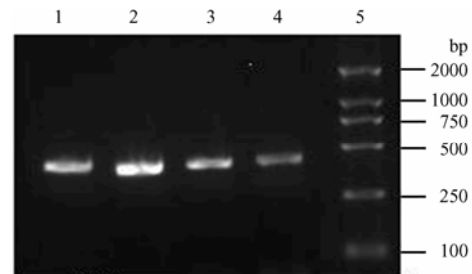
同一行标大写字母不同者, 差异极显著 ($P<0.01$)

The different capital letter in the same line, significant at $P<0.01$

pH 无显著差异 ($P>0.05$), 但莱芜猪肌肉肉色评分略有增加。与杜洛克猪相比, 莱芜猪大理石纹评分和肌内脂肪含量显著增加 45.08%~49.13% ($P<0.01$), 肌肉失水率、剪切值和肌纤维直径显著降低 ($P<0.01$), 即莱芜猪肌肉系水力和嫩度显著高于杜洛克猪。

2.2 莱芜猪与杜洛克猪肌球蛋白重链 mRNA 表达量比较

2.2.1 莱芜猪和杜洛克猪肌肉肌球蛋白重链 RNA 提取和目的片段扩增 用异硫氰酸胍-酚-氯仿一步法提取背最长肌总 RNA, RNA OD₂₆₀/OD₂₈₀ 比值介于 1.8~2.0, 表明提取的 RNA 无污染, 而且完整性好。取 2 μ l RNA 进行 RT-PCR 扩增, PCR 产物用 2% 琼脂糖凝胶电泳检测, MyHC I、II a、II x、II b 分别获得 384、375、398 和 429 bp 的条带 (图 1)。



1~4 分别为 MyHC I, II a, II b, II x, 5 为 Marker

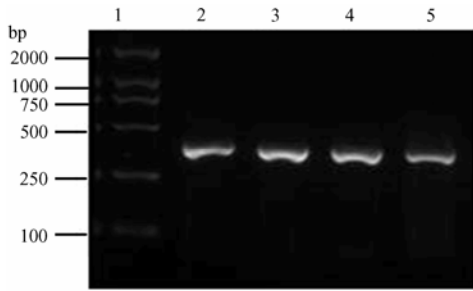
1-4: identification of MyHC I, II a, II b, II x productions; 5: DNA marker

图 1 MyHC RT-PCR 扩增片段

Fig. 1 MyHC amplification product by RT-PCR

2.2.2 肌球蛋白重链 (MyHC) 亚型阳性质粒 PCR 鉴定 RT-PCR 扩增产物用 2% 琼脂糖凝胶电泳鉴定后, 回收目的片段, 连接 pMD20-T 载体, 转化 DH5 α 感受态大肠杆菌。通过蓝白斑筛选阳性菌落, 过夜培养, 提取质粒进行 PCR 鉴定, MyHC I、II a、II x、II b 均得到特异性条带 (图 2), 与其基因 RT-PCR 得到的扩增条带一致。

2.2.3 肌球蛋白重链 (MyHC) 标准曲线的制备 Sma I 酶切肌球蛋白重链 (MyHC) 阳性质粒, 通过 SP6 RNA 聚合酶进行体外转录获得 RNA 标准品, RNA 标准品 OD₂₆₀/OD₂₈₀ 比值介于 1.8~2.0。MyHC I、II a、II x、II b RNA 标准品的全长分别为 469、460、514、483 bp, 浓度分别为 384、318、276、328.5 μ g \cdot ml⁻¹,



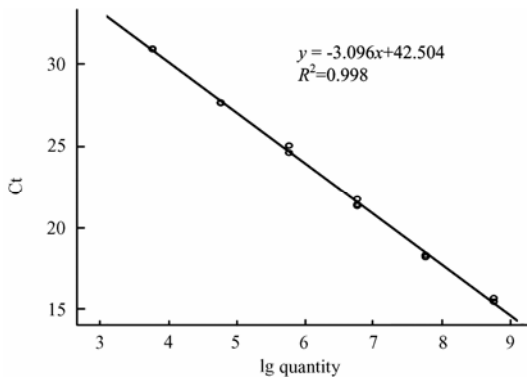
1: Maker; 2~5 分别为 MyHC I, IIa, IIb, IIx
1: DNA marker; 2-5: Identification of MyHC I, IIa, IIb, IIx recombinant plasmid of RT-PCR

图 2 重组质粒 PCR 扩增片段

Fig. 2 Recombinant plasmid of MyHC by PCR

换算得到标准品的拷贝数分别为 1.45×10^{15} 、 1.22×10^{15} 、 0.95×10^{15} 、 1.20×10^{15} 个/ml。

取倍比稀释好的 MyHC I、IIa、IIx、IIb RNA 标准品 2 μ l，进行荧光定量 RT-PCR，制作标准曲线。由图 3~6 可见，MyHC I、IIa、IIx、IIb RNA 标准品倍比稀释制作的标准曲线线性关系良好，相关系数均大于 0.99。



标准曲线方程的 y 表示 Ct 值，即达到指数增长期时的循环数，x 表示模板拷贝数的常用对数值
y of standard curve equation denoted Ct value, namely cycles reaching exponential increase, x denoted common logarithm of RNA standard copies

图 3 MyHC I RT-PCR 标准曲线

Fig. 3 Standard curve of MyHC I by RT-PCR

2.2.4 莱芜猪与杜洛克猪 4 种 MyHC 亚型 mRNA 表达量比较 由表 2 可看出，与杜洛克猪相比，莱芜猪背最长肌 MyHC IIb mRNA 的表达量显著降低 97.09% ($P < 0.01$)，MyHC IIx 和 IIa 的表达量显著增加 55.56%~84.34% ($P < 0.05$)，而 MyHC I 和 MyHC (I + IIa + IIx + IIb) 的表达量无明显变化 ($P > 0.05$)。莱芜猪背最长肌 MyHC IIx 的表达量最多，占 87.13%，MyHC IIb 的表达量最少，占 1.04%；杜洛克猪背最长

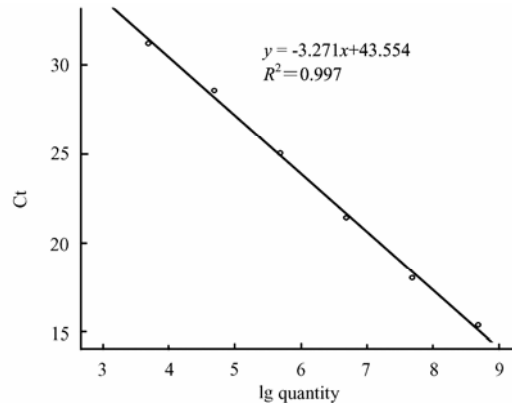


图 4 MyHC IIa RT-PCR 标准曲线

Fig. 4 Standard curve of MyHC IIa by RT-PCR

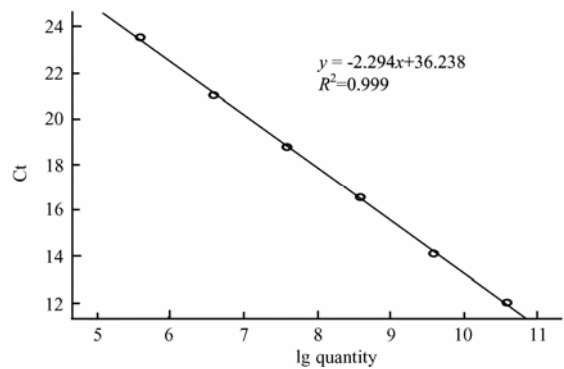


图 5 MyHC IIx RT-PCR 标准曲线

Fig. 5 Standard curve of MyHC IIx by RT-PCR

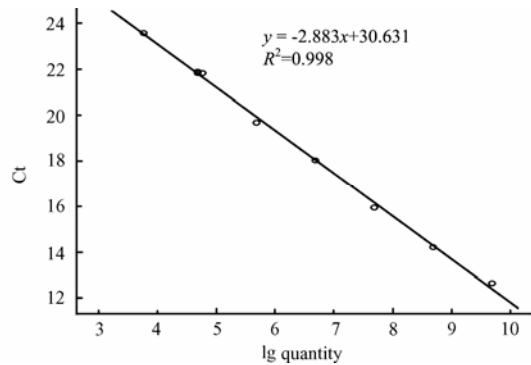


图 6 MyHC IIb RT-PCR 标准曲线

Fig. 6 Standard curve of MyHC IIb by RT-PCR

肌 MyHC IIx 的表达量略高于 MyHC IIb，二者的表达量占优势，占总表达量的 92.41%。莱芜猪背最长肌 MyHC IIb: IIx 比值显著低于杜洛克猪 ($P < 0.01$)。

3 讨论

本试验制备的 4 种 MyHC 亚型 RNA 标准品的扩

表 2 莱芜猪与杜洛克猪背最长肌 MyHC mRNA 表达量(单位: 10^5 copies/mg)

Table 2 Real time PCR determination of MyHC isoforms of longissimus muscle in Laiwu pigs and Duroc (unit: 10^5 copies/mg)

MyHC 类型	杜洛克猪	莱芜猪
MyHC isoforms	Duroc	Laiwu pig
MyHC I	2.10±0.19	2.08±0.24
MyHC II a	4.47±0.58b	8.24±0.79a
MyHC II x	48.85±7.78b	75.99±10.55a
MyHC II b	31.24±6.84B	0.91±0.00A
MyHC(I + II a)	6.57±0.85b	10.32±0.71a
总和 Total	86.67±12.41	87.21±11.20
MyHC II b: II x	0.64±0.01A	2.63e-5±0.00B

同行小写字母不同者, 差异显著 ($P < 0.05$); 同行大写字母不同者, 差异极显著 ($P < 0.01$)

The different small letter in the same line, significant at $P < 0.05$; the different capital letter in the same line, significant at $P < 0.01$

增曲线呈典型的“S”型, 扩增平台期几乎重合, 而且标准品 RT-PCR 扩增产物溶解曲线在 85~90℃ 出现一明显的峰, 在其它位置未出现明显的峰, 这表明标准品的重复性及其扩增产物特异性良好, 即荧光曲线能够准确反映目的产物的扩增, 由标准曲线计算得到的样本 mRNA 表达量准确性高。

Lefaucheur 等^[12,17]研究表明, 梅山猪背最长肌 MyHC II b mRNA 表达量显著低于大约克, 而 MyHC II x、II a mRNA 表达量显著增加, MyHC I 和 MyHC (I + II a + II x + II b) 的表达量则无明显变化。这可能是因为梅山猪背最长肌 MyHC II b 转化为 II x, 有一小部分 MyHC II b 转化为 II a。本试验的研究结果与其一致, 莱芜猪背最长肌氧化型肌纤维 MyHC II a 表达量显著高于杜洛克猪, 酵解型肌纤维 MyHC II b 显著低于杜洛克猪, 品种不影响 MyHC I 和 MyHC (I + II a + II x + II b) mRNA 的表达量。这表明莱芜猪肌肉磷脂、肌红蛋白和糖原含量较高, 肌纤维较细。这一结论与魏述东等^[20]对莱芜猪肌肉肉质性状的测定结果吻合。由此可见, MyHC I、II a、II x、II b 的组成影响肉质性状。莱芜猪背最长肌 MyHC 亚型间的转化可能与梅山猪一样, MyHC II b 可转化为 II a 和 II x。这表明一种 MyHC 亚型的表达量减少, 必将会使其它一种或几种 MyHC 的亚型表达量增加, 即转化为其它一种或几种 MyHC 的亚型。Tanabe 等^[15]对杜洛克、长白和梅山猪的研究表明, MyHC II b、II x 的表达量占 MyHC 4 种亚型总表达量的 90% 以上。这与本试验研究结果基本一致, 杜洛克猪背最长肌 MyHC II x、II b 表达量占 92.41%, 莱芜猪背最长肌

MyHC II x、II b 的表达量占 88.18%。

莱芜猪背最长肌 MyHC II b: II x 表达量的比率显著低于杜洛克猪 ($P < 0.01$), 这与 Lefaucheur 等^[17]和 Tanabe 等^[15]的报道一致, 他们认为梅山猪背最长肌 MyHC II b: II x 的比率显著低于大约克、杜洛克猪和长白猪。这表明 MyHC II b、II x mRNA 表达调控肌肉生长和肉质起重要作用, 但调控机制有待于进一步研究。Lefaucheur 等^[17]研究结果显示, 梅山猪背最长肌 MyHC I 的表达量高于大约克, 但是差异不显著。本试验结果显示, 莱芜猪背最长肌 MyHC I 的表达量与杜洛克猪相比虽然无显著差异, 但是略有降低 ($P > 0.05$), 这可能是因为莱芜猪屠宰时的日龄相对于杜洛克猪较大, 而梅山猪和大约克屠宰时的日龄相近, 分别为 131 d 和 142 d。因此, 屠宰日龄影响 MyHC 亚型的组成。

对地方品种(梅山猪、二花脸猪)和瘦肉型品种(大约克、杜洛克、长白猪)的研究表明^[15-17,21], 加强对瘦肉生长的选择可导致酵解型肌纤维增加, 氧化型肌纤维减少, 使得猪肌肉糖分解代谢能力提高, 氧化代谢能力减弱, 这与猪瘦肉率、饲料转化率和生长速度增加相关。本试验研究结果与此一致, 莱芜猪背最长肌 MyHC II a 和 II x 的表达量显著增加, 而 MyHC II b 的表达量显著减少, 即莱芜猪肌肉的氧化型肌纤维增加, 酵解型肌纤维减少, 而瘦肉型品种杜洛克猪肌肉的酵解型肌纤维显著增加, 这与莱芜猪生长速度慢、饲料利用率低和瘦肉率低相吻合, 这也表明莱芜猪肌肉利用脂肪转化为能量的能力较高。但大约克猪瘦肉率与其背最长肌酵解型肌纤维的比例呈遗传性负相关^[3]。因此, MyHC 多态性, 尤其是 MyHC II x: II b 比率与猪生长性能和胴体品质间关系有待于进一步研究。

4 结论

莱芜猪背最长肌 MyHC 的 4 种亚型组成与杜洛克猪不同, 其中 MyHC II a、II x、II b 的表达量差异显著, 莱芜猪背最长肌氧化型肌纤维表达量显著增加, 酵解型肌纤维显著减少。这表明莱芜猪背最长肌利用脂肪转化为能量的能力较高, 即莱芜猪背最长肌氧化代谢功能高于杜洛克猪, 这可能与其肌肉脂肪含量较高、肉质细嫩多汁有关, 该结果可为通过肌纤维类型的选育提高肉质研究提供思路。

References

- [1] Immonen K, Ruusunen M, Hissa K, Puolanne E. Bovine muscle

- glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 2000, 55: 25-31.
- [2] Maltin C A, Warkup C C, Mattewa K R, Grant C M, Porter A D, Delday M I. Pig muscle fibre characteristics as source of variation in eating quality. *Meat Science*, 1997, 47: 237-248.
- [3] Larzul C, Lefaucheur L, Ecolan P, Gogue J, Talmant A, Sellier P, Roy P L, Monin G. Phenotypic and genetic parameters for longissimus muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in Large White pigs. *Journal of Animal Science*, 1997, 75: 3126-3137.
- [4] Chang K C, Costaa N D, Black I R, Southwood O, Evans G, Plastow G, Wood J D, Richardson R I. Relationship of myosin heavy chain fibers types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat Science*, 2003, 64: 93-103.
- [5] Eggert J M, Depreux F F S, Schinckel A P, Grant A L, Gerrard D E. Myosin heavy chain isoforms account for variation in pork quality. *Meat Science*, 2002, 61: 117-126.
- [6] Chikuni K, Tanabe R, Muroya S, Nakajima I. Difference in molecular structure among the porcine myosin in heavy chain-2a,2x and-2b isoforms. *Meat Science*, 2001, 57: 311-317.
- [7] 胡来根, 潘锡桂, 蒋达明. 猪肌纤维类型转化规律的研究. 河南农业科学, 1990, (3): 28-31.
Hu L G, Pan X G, Jiang D M. Study of translation orderliness in fiber types of pigs. *Henan Agricultural Science*, 1990, (3): 28-31. (in Chinese)
- [8] 刘艳芬, 刘 钊. 生长猪肌纤维类型的转化规律. 西北农业学报, 1990, 5(4): 41-44.
Liu Y F, Liu Y. Study on myofiber types in muscle of growing pig. *Acta Agricultural Boreali-accidentalis Sinica*, 1990, 5(4): 41-44. (in Chinese)
- [9] 曾勇庆, 孙玉民. 莱芜猪肌肉肌纤维类型的组成与肉质关系的研究. 中国畜牧杂志, 1990, 26(4): 5-9.
Zeng Y Q, Sun Y M. The relationship between the muscle fiber type of composition and the meat quality of Laiwu pig. *Chinese Journal of Animal Science*, 1990, 26(4): 5-9. (in Chinese)
- [10] Schiaffino S, Reggiani C. Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews*, 1996, 76: 371-423.
- [11] Davoli R, Fontanesi L, Zambonelli P, Bigi D, Gellin J, Yerle M, Milc J, Braglia S, Cenci V, Cagnazzo M, Russo V. Isolation of porcine expressed sequence tags for the construction of a first genomic transcript map of the skeletal muscle in pig. *Animal Genetics*, 2002, 33: 3-18.
- [12] Lefaucheur L, Ecolan P, Plantard L, Gueguen N. New insights into muscle fiber types in the pig. *The Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 2002, 50: 719-730.
- [13] Weiss A D, Mcdonough B, Wertman L, Acakpo-Satchivi L, Montgomery K, Kucherlapati R, Leinwand L, Krauter K. Organization of human and mouse skeletal myosin heavy chain gene clusters is highly conserved. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96: 2958-2963.
- [14] Shrager J B, Desjardins P R, Burkman J M, Konig S, Stewart D, Su L, Shah M, Brjcklin E, Tewari M, Hoffman R, Rickels M R, Jllian E, Rubinstein N A, Stedman H H. Human skeletalmyosinheavychaingenes are tightly linked in the order embryonic-IIa-IId/x-IIb-perinatal-extraocular. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 2000, 21: 345-355.
- [15] Tanabe R, Murakami T, Kawahara T, Yamashiro R, Mitsumoto M, Muroya S, Nakajima I, Chikuni K. Composition of myosin heavy chain isoforms in relation to meat texture in Duroc, Landrace and Meishan pigs. *Journal of Animal Science*, 2001, 72(3): 230-237.
- [16] 杨晓静, 赵茹茜, 陈 杰, 胥清富, 韦习会. 猪背最长肌肌纤维类型的发育性变化及其品种和性别特点. 中国兽医学报, 2005, 25(1): 89-94.
Yang X J, Zhao R Q, Chen J, Xu Q F, Wei X H. The developmental changes of myofibre types in LD muscle of Erhualian and Large White pigs. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 2005, 25(1): 89-94. (in Chinese)
- [17] Lefaucheur L, Milan D, Ecolan P, Callenne C Le. Myosin heavy chain composition of different skeletal muscles in Large White and Meishan pigs. *Journal of Animal Science*, 2004, 82: 1931-1941.
- [18] 张伟力. 猪肉品质改进与评定方法进展. 养猪, 2001, (3): 31-33.
Zhang W L. Improvement and assessment of meat quality. *Swine Production*, 2001, (3): 31-33. (in Chinese)
- [19] 王鹤云, 严达伟, 鲁绍雄, 连林生. 撒坝猪及其杂交组合的肉质研究. 养猪, 1997, (3): 29-31.
Wang H Y, Yan D W, Lu S X, Lian L S. Study of meat quality in Saba pigs and its crossbreed. *Swine Production*, 1997, (3): 29-31. (in Chinese)
- [20] 魏述东, 曹洪防, 徐云华, 石景胜, 侯继增. 莱芜猪的选育. 中国畜牧杂志, 2001, 37(6): 30-31.
Wei S D, Cao H F, Xu Y H, Shi J S, Hou J Z. Breeding of Laiwu pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2001, 37(6): 30-31. (in Chinese)
- [21] Muller E, Rutten M, Moser G, Reiner G, Bartenschlager H, Geldermann H. Fibre structure and metabolites in M. longissimus dorsi of Wild Boar, Pietrain and Meishan pigs as well as their crossbred generations. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 2002, 119: 125-137.

(责任编辑 高 雨, 林鉴非)