

# 中国美利奴羊 *H-FABP* 基因多态性及其与部分肉质性状的相关性

罗燕 谷新利\* 赵宗胜\* 邵永斌 李志远

石河子大学动物科技学院 新疆 石河子 832003

**摘要:** 利用聚合酶链式反应-单链构象多态(PCR-SSCP)技术检测中国美利奴羊(*Ovis aries* var. *Merino*)心型脂肪酸结合蛋白基因(*H-FABP*)外显子2的单核苷酸多态性(SNPs)和遗传多态性,分析其与肌内脂肪(IMF)含量、肌纤维直径和肌纤维密度的相互关系,为该品种绵羊的分子标记辅助选择提供理论依据。结果显示,*H-FABP*基因外显子2有AA、AB和BB3种基因型,AA型和BB型在778位均发生了C缺失,939位均发生了A→G转换,BB型还在789位发生了T→C转换,该突变导致所编码氨基酸发生了缬氨酸→丙氨酸的替换;BB型为IMF的优势基因型,与AB型相比差异显著( $P < 0.05$ ),与AA型相比差异极显著( $P < 0.01$ );BB型对肌纤维直径存在负相关。结果提示,中国美利奴羊*H-FABP*基因外显子2具有多态性,该基因可能是中国美利奴羊肉质性状的主效基因,或者与控制肉质性状的主效基因相连锁。

**关键词:** 中国美利奴羊;心型脂肪酸结合蛋白基因;单核苷酸多态性;肉质性状

中图分类号:Q786 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2013)04-964-07

## Single Nucleotide Polymorphism of *H-FABP* Gene and Its Correlation with Meat Quality Traits in Merino Sheep

LUO Yan GU Xin-Li\* ZHAO Zong-Sheng\* SHAO Yong-Bin LI Zhi-Yuan

College of Animal Science and Technology, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China

**Abstract:** In order to analyze the single nucleotide polymorphisms (SNPs) in the exon 2 of heart fatty acid binding protein gene (*H-FABP*) and its relationship with some meat quality traits in Merino Sheep (*Ovis aries* var. *Merino*), and to provide a theoretical foundation for the marker-assisted selection, we measured intramuscular fat (IMF) content, muscle fiber diameter and muscle fiber density of 150 Merino sheep, and used polymerase chain reaction-single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP) technique to analyze the SNPs at the exon 2 of the *H-FABP* gene. It was shown that the exon 2 of *H-FABP* gene displayed AA, AB and BB genotypes. There were mutation of 939 (A/G) and deletion of C in both AA and BB genotypes, and 789 (T/C) in BB genotype, which led to valine conversion to alanine. The BB genotype was advantageous genotype of IMF and there were significant difference between BB and AB ( $P < 0.05$ ), and extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) between BB and AA. The correlation of BB genotype and muscle fiber diameter was negative. These results indicate that the exon 2 of *H-FABP* gene of Merino Sheep shows polymorphism and that

**基金项目** 科技部国际科技合作项目(No. DF2007DFB30420),新疆生产建设兵团青年科技创新资金专项(No. 2011CB017);

\* 通讯作者, E-mail: guxinlitougao@163.com, zhaozongshen2012@163.com;

**第一作者介绍** 罗燕,女,副教授;研究方向:中药药理及动物遗传育种;E-mail: luoyantougao@163.com.

收稿日期:2012-12-21,修回日期:2013-04-23

*H-FABP* gene may be a major gene or a major gene-linked gene for meat quality of Merino Sheep.

**Key words:** Merino Sheep (*Ovis aries* var. *Merino*); Heart fatty acid binding protein gene (*H-FABP*); Single nucleotide polymorphism; Meat quality traits

脂肪酸结合蛋白 (fatty acid-binding proteins, FABPs) 家族是细胞质内的脂肪酸结合蛋白, 有 11 种以上结构不同的类型, 各种类型的 *FABPs* 基因均由 4 个外显子和 3 个内含子组成, 并在不同组织、细胞中表达 (Niewold et al. 2004)。哺乳动物细胞内 FABPs 的表达很丰富, 并且能够特异性地结合脂肪酸, 被认为是参与细胞内脂肪酸运输的重要蛋白, 能够调节细胞内脂肪酸的浓度, 促进细胞中甘油三酯的沉积, 从而提高肌肉脂肪 (intramuscular fat content, IMF) 含量 (Ockner et al. 1972, Kaikaus et al. 1990, Cameron et al. 1991, Veerkamp et al. 1995)。其中, 有 2 种 *FABPs* 基因被认为是哺乳动物肉质性状的候选基因 (文力正等 2008), 即心型脂肪酸结合蛋白基因 (heart fatty acid binding protein gene, *H-FABP*) 和脂肪细胞型脂肪酸结合蛋白基因 (adipocyte fatty acid binding protein gene, *A-FABP*)。乔海云等 (2009) 以 5 个绵羊 (*Ovis aries*) 品种为实验材料, 利用聚合酶链式反应-单链构象多态 (polymerase chain reaction-single strand conformation polymorphism, PCR-SSCP) 技术对 *H-FABP* 基因外显子 2 和内含子 2 部分序列进行了单核苷酸多态性 (single nucleotide polymorphism, SNP) 检测及遗传多态性分析, 结果表明, 这 2 个位点存在多个突变位点, 可以进一步作为候选基因来分析其与肌肉脂肪含量性状的关联性, 对于牛 (*Bos taurus*) (王卓等 2008)、猪 (*Sus scrofa domestica*) (张陈华等 2011) 和鸡 (*Gallus gallus domesticus*) (王彦等 2007) 的研究均有类似结果。

中国美利奴羊 (*O. aries* var. *Merino*) 是我国自主培育的绵羊品种, 近年来对其研究主要集中于多胎 (杨华等 2010) 和毛用性状 (荣恩光等 2012), 而对肉质性状研究较少。本实验采用 PCR-SSCP 方法研究中国美利奴羊的 *H-*

*FABP* 基因外显子 2 部分序列的多态性, 分析其与肉质性状的相关性, 选择对肉质性状有影响的优势基因型作为遗传标记, 为该品种绵羊的遗传选育提供理论基础。

## 1 材料与方法

**1.1 实验时间、地点** 本实验于 2011 ~ 2012 年在石河子大学动物科技学院动物遗传育种实验室进行。

### 1.2 实验材料

**1.2.1 实验样本** 150 只 2 ~ 3 岁左右中国美利奴羊 (公羊 96 只, 母羊 54 只), 分 3 批次采自本市活畜屠宰场 (分别来自 3 个饲养环境基本一致的绵羊养殖场)。每只羊采集抗凝血 5 ml 以及背最长肌 20 g, -20℃ 冻存。

**1.2.2 主要试剂** 蛋白酶 K、Tris 饱和酚、丙烯酰胺、N-N' 亚甲基双丙烯酰胺、TEMED 购自南京基天生物技术有限责任公司; *Taq* Plus DNA Polymerase (2.5 U/μl)、dNTP Mixture (2.5 mmol/L each)、DNA Marker I、普通琼脂糖凝胶 DNA 回收试剂盒、pGM-T 克隆试剂盒均购自北京天根生化科技有限公司; 琼脂糖 (西班牙 Biowest); 氨苄青霉素钠盐 (上海索莱宝生物科技有限公司); IPTG (德国 Merck); X-gal (德国 Merck); 胰蛋白胨 (英国 Oxoid); 酵母提取物 (英国 Oxoid); 琼脂粉 (Japan); 氯仿、异丙醇、乙醇、氯化钠等均为分析纯试剂, 由实验室统一购置。

**1.2.3 主要仪器** 大容量高速冷冻离心机 (Z36HK, 德国 Hermle); 制冰机 (AF100, 上海 SCOTSMAN 制冰系统有限公司); 双人垂直超净工作台 (YJ-VS-2, 无锡一净净化设备有限公司); 电热恒温振荡水槽 (DKZ-2, 上海精宏实验设备有限公司); 稳压稳流电泳仪 (DYU-4, 北京六一仪器厂); PCR 仪 (Tprofessional, 德国 Biometra); 核酸蛋白检测仪 (DN-1000, 美国

Nanodrop); Multispectral Imaging System (BioSpectrum Chemi HR 410, 美国 UVP)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 PCR-SSCP

**1.3.1.1 基因组 DNA 提取** 采用常规苯酚-氯仿抽提法(萨姆布鲁克等 2002)从全血中提取基因组 DNA, 0.8% 琼脂糖凝胶电泳检测提取效果, 核酸蛋白检测仪测其纯度和浓度, 稀释至 50 ng/ $\mu$ l 备用。

**1.3.1.2 引物设计与合成** 根据 GenBank 提供的绵羊 *H-FABP* 基因序列(登录号: AY157617.1), 使用 Primer Premier 5 软件设计外显子 2(扩增区域为 754~968)的引物序列, 上游引物: 5'-AGC TCA TGC TCA TAC CCT T-3', 下游引物: 5'-CAA CTC ACC TTG ACC TTC C-3', 由北京六合华大基因科技股份有限公司合成, 产物片段大小 215 bp, 退火温度为 53℃。

**1.3.1.3 目的片段的 PCR 扩增** 采用 25  $\mu$ l PCR 反应体系: 10  $\times$  *Taq* Plus Buffer 2.5  $\mu$ l, dNTP Mixture(2.5 mmol/L) 2.0  $\mu$ l, 上、下游引物(10  $\mu$ mol/L) 各 0.5  $\mu$ l, DNA 模板 1  $\mu$ l, *Taq* Plus DNA Polymerase(2.5 U/ $\mu$ l) 0.5  $\mu$ l, 加灭菌 ddH<sub>2</sub>O 至 25  $\mu$ l。PCR 扩增条件: 94℃ 预变性 5 min; 94℃ 变性 30 s, 53℃ 退火 30 s, 72℃ 延伸 30 s, 共 35 个循环; 72℃ 延伸 10 min。扩增产物经 2% 琼脂糖凝胶电泳检测其特异性, -20℃ 冷冻保存。

**1.3.1.4 SSCP 分析** 取 3  $\mu$ l PCR 产物加 7  $\mu$ l 上样缓冲液[98% 甲酰胺, 0.025% 溴酚蓝, 0.025% 二甲苯青, 10 mmol/L EDTA (pH 8.0), 2% 甘油]混合, 98℃ 变性 10 min, 迅速冰浴 10 min, 上样于 12% 非变性聚丙烯酰胺凝胶(丙烯酰胺: 甲叉双丙烯酰胺 = 29:1)中电泳。电泳条件为 300 V 预电泳 5 min, 使样品快速入胶, 后室温恒压 70 V 电泳 12~16 h。电泳结束后用硝酸银染色, 显色后, 去离子水洗 2 遍, 拍照保存。

**1.3.1.5 纯合子的克隆鉴定与测序** 根据丙烯酰胺凝胶电泳结果, 对具单链构象多态性的个体选取纯合基因型片段, 其 PCR 扩增产物经

DNA 纯化回收试剂盒纯化, 连接 pMD19-T 载体, 转化 DH5 $\alpha$  感受态细胞, 筛选、PCR 鉴定为阳性克隆, 最后送北京六合华大基因科技股份有限公司测序。

#### 1.3.2 肉品质测定

**1.3.2.1 肌内脂肪含量测定** 采用索氏抽提法测定肌内脂肪含量, 参考《肉与肉制品 游离脂肪含量的测定》(GB/T 9695.1-2008), 使用乙醚抽提单块肌肉待测样脂肪。每个样品测定 3 次, 以平均值作为样品的肌内脂肪含量。根据公式  $IMF = [(提取脂肪前的样品总重 - 提取脂肪后的样品总重) / 提取脂肪前样品干物质总重] \times 100\%$ , 计算干物质中 IMF 含量。

**1.3.2.2 肌纤维组织特性测定** 取 12~13 胸肋背最长肌, 顺肌纤维方向切成 3 cm  $\times$  2 cm  $\times$  1 cm 的组织块, 4% 甲醛溶液固定, 经脱水、透明、浸蜡、包埋、常规切片(厚度 16  $\mu$ m)、贴片、H.E 染色、封固, 每个样品制 3 片标本备用, 于数码显微镜下观察并测定以下指标。

**肌纤维密度:** 在 10  $\times$  10 倍显微镜下, 对每个样品作 20 个视野大方格内肌纤维根数的测定(大方格面积约为 0.25 mm<sup>2</sup>), 换算后得到每平方毫米纤维根数。**肌纤维面积:** 在 10  $\times$  40 倍显微镜下, 采用不规则多边形对每个样本进行 100 根肌纤维横断面积的描画, 统计出所有的横截面积, 取其平均值。**肌纤维直径:** 根据肌纤维面积计算, 假设肌纤维呈圆柱形, 由圆面积公式求得肌纤维直径。

**1.4 数据统计分析** 计算中国美利奴羊 *H-FABP* 基因外显子 2 位点的等位基因频率、基因型频率、多态信息含量 (polymorphism information content, PIC)、位点杂合度 (heterozygosity) 和有效等位基因数 (effective number of alleles,  $N_e$ )。同时用卡方适合性分析检验群体在该位点是否处于 Hardy-Weinberg 平衡。建立线性固定模型, 用 SPSS 13.0 分析不同基因型对肉质性状效应:  $y_{ijkl} = \mu + H_i + S_j + G_k + e_{ijkl}$ , 其中,  $y_{ijkl}$  为性状观察值,  $\mu$  为肉质性状的最小二乘均值,  $H_i$  为组别效应,  $S_j$  为性别效应,  $G_k$  为基因型效应,  $e_{ijkl}$  为残差效应。

## 2 结果与分析

**2.1 基因组 DNA 的浓度和纯度** 基因组 DNA 经核酸蛋白检测仪测其  $A_{260}/A_{280}$  值位于 1.6~1.8 之间,符合实验要求。

**2.2 PCR 扩增结果** 以各实验绵羊基因组 DNA 为模板,扩增 *H-FABP* 基因外显子 2 部分序列(扩增区域为 754~968),产物经 2% 琼脂糖凝胶电泳检测,获得与预期片段大小一致的产物(215 bp),条带清晰无杂带(图 1),稳定性和特异性好,可进行 SSCP 分析。

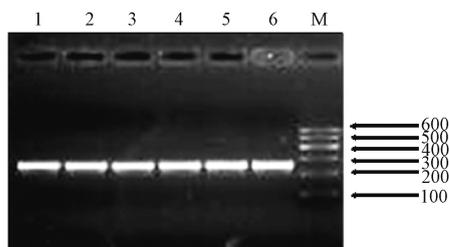


图 1 中国美利奴羊 *H-FABP* 基因第 2 外显子 PCR 扩增结果

Fig. 1 PCR amplification products of *H-FABP* gene exon 2 in Merino sheep

1~6. 不同个体的 *H-FABP* 基因

第 2 外显子扩增产物; M. DNA 分子量标准 I。

1-6. *H-FABP* gene exon 2 amplification products of different sample individuals; M. DNA marker I.

### 2.3 SSCP 结果分析

**2.3.1 基因型的判定** 绵羊 *H-FABP* 基因外显子 2 扩增片段存在多态性位点,出现了 3 种基因型,其中 2 种纯合型分别定义为 AA 型和 BB 型,1 种杂合型定义为 AB 型(图 2)。

**2.3.2 纯合子测序结果分析** 测序结果经与 NCBI 登录号为 AY157617.1 的序列进行比对,发现 AA 型在 778 位发生了 C 缺失,939 位发生了 A→G 转换(图 3);BB 型(反向互补测序)在 778 位发生了 C 缺失,789 位发生了 T→C 转换,939 位发生了 A→G 转换(图 4)。与 AA 型相比,BB 型的 789 位发生了 T→C 转换(图 5),该突变导致编码氨基酸发生了缬氨酸→丙氨酸的替换(图 6)。

**2.3.3 中国美利奴羊 *H-FABP* 基因外显子 2**

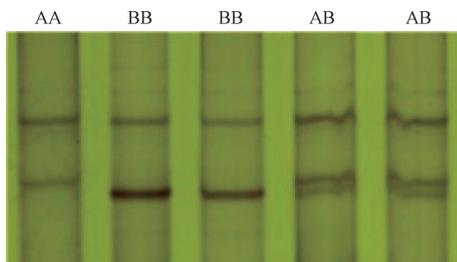


图 2 中国美利奴羊 *H-FABP* 基因外显子 2 PCR-SSCP 检测结果

Fig. 2 PCR-SSCP genotype results of *H-FABP* gene exon 2 in Merino sheep

AA, BB 和 AB 分别代表 *H-FABP* 基因外显子 2 的 AA, BB 和 AB 基因型。

AA, BB and AB are genotypes of AA, BB and AB, respectively.

**位点的遗传多态性分析** 本实验中中国美利奴羊样本共计 150 只,基因型频率分别为 AA 型 0.146 7 ( $n=22$ ), AB 型 0.593 3 ( $n=89$ ), BB 型 0.260 0 ( $n=39$ ); A、B 等位基因频率分别为 0.443 3 和 0.556 7;经计算,卡方值为 9.08,小于  $\chi^2_{(0.01)}=9.210$ ,而大于  $\chi^2_{(0.05)}=5.991$ ,表明该群体处于 Hardy-Weinberg 非平衡状态,这可能是由于样本量较小,或新疆本地绵羊经过长期选育的结果。

**对 *H-FABP* 基因外显子 2 的遗传多样性指标进行分析**,位点纯合度(homozygosity)为 0.506,位点杂合度(heterozygosity)为 0.494,有效等位基因数( $N_e$ )为 1.975,多态信息含量(PIC)为 0.372 ( $0.25 < PIC < 0.50$ ),为中度多态。

**2.4 *H-FABP* 基因外显子 2 位点基因型与肉质性状的相关分析** 应用 SPSS 13.0 软件,对 AA、AB 和 BB 3 种基因型与肌内脂肪含量、肌纤维直径、肌纤维密度之间的相关性进行统计分析,分析结果见表 1。

由表 1 可知,BB 型为肌内脂肪含量的优势基因型,与 AB 型相比差异显著( $P < 0.05$ ),与 AA 型相比差异极显著( $P < 0.01$ );AA 型和 AB 型之间差异不显著( $P > 0.05$ );3 种基因型的肌内脂肪含量平均值大小依次  $BB > AB > AA$ 。BB 型对肌纤维直径存在负相关,与 AA 型相比

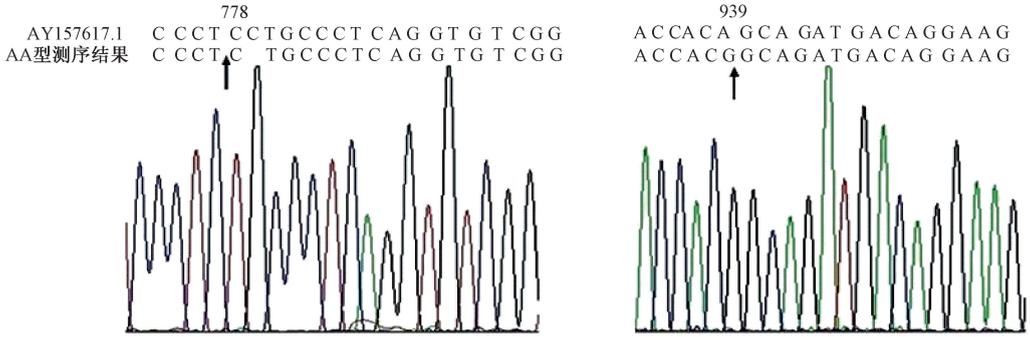


图3 AA 基因型序列分析

Fig.3 Sequence analysis of AA genotype

与 AY157617.1 序列比对, AA 型在 778 位发生了 C 缺失, 939 位发生了 A→G 转换。

Compared to AY157617.1, there were deletion of C(778) and mutation of A/G (939) in AA genotype.

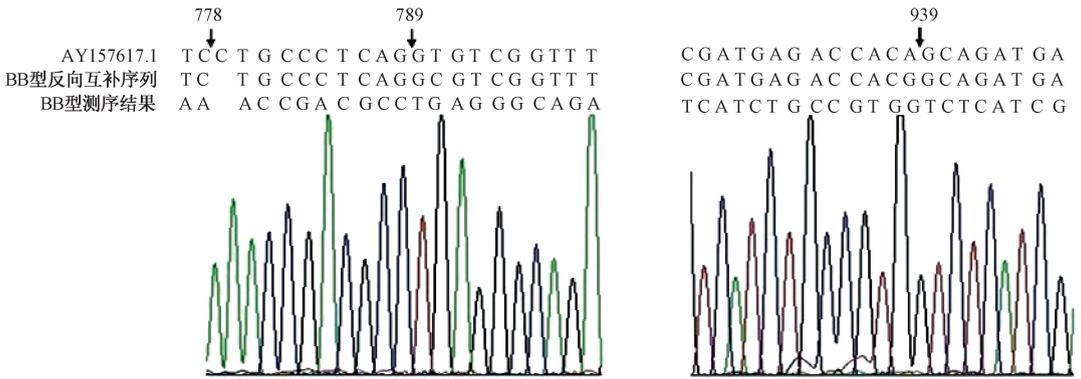


图4 BB 基因型序列分析

Fig.4 Sequence analysis of BB genotype

与 AY157617.1 序列比对, BB 型(反向互补测序)778 位发生了 C 缺失, 789 位发生了 T→C 转换, 939 位发生了 A→G 转换。

Compared to AY157617.1, there were deletion of C(778) and mutation of T/C(789) and A/G (939) in BB genotype.

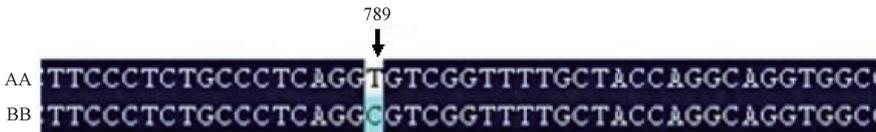


图5 AA 与 BB 基因型 DNA 序列比对

Fig.5 DNA sequence alignment between AA and BB genotypes

与 AA 型相比, BB 型的 789 位发生了 T→C 转换。Compared with AA genotype, there was mutation of T/C (789) in BB genotype.

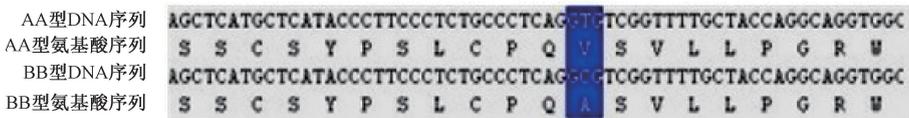


图6 AA 型与 BB 型的氨基酸序列比对

Fig.6 Amino acid sequence alignment between AA and BB genotypes

AA 型与 BB 型之间 789 位 T→C 的转换导致编码氨基酸发生了缬氨酸→丙氨酸的替换。

The mutation of T/C (789) between AA and BB genotypes led to valine conversion to alanine.

表 1 *H-FABP* 外显子 2 基因型与肉质性状间的最小二乘分析

Table 1 Least square means and standard errors between genotypes and meat quality traits

性状 Meat quality traits	基因型 Genotype	样本数 Number	最小二乘均值 ± 标准误 Least squares Mean ± SE
肌内脂肪含量 (%) Intramuscular fat content	AA	22	3.941 ± 0.135 <sup>a</sup>
	AB	89	4.214 ± 0.070 <sup>aA</sup>
	BB	39	4.417 ± 0.100 <sup>bA</sup>
肌纤维直径 (μm) Muscle fiber diameter	AA	22	32.829 ± 0.436 <sup>a</sup>
	AB	89	32.158 ± 0.225 <sup>ac</sup>
	BB	39	31.878 ± 0.322 <sup>bc</sup>
肌纤维密度 (根/mm <sup>2</sup> ) Muscle fiber density	AA	22	677.652 ± 0.172
	AB	89	677.304 ± 0.166
	BB	39	676.585 ± 0.138

数据上标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 ( $P < 0.01$ )。

Different lower case superscripts indicated significant difference ( $P < 0.05$ ), and different capital superscripts showed extremely significant difference ( $P < 0.01$ )

差异显著, 与 AB 型相比差异不显著; AA 型与 AB 型之间无显著性差异; 3 种基因型的肌纤维直径平均值大小依次 AA > AB > BB。在肌纤维密度性状上, 各基因型间无显著性差异。

### 3 讨论

#### 3.1 *H-FABP* 基因多态性与肉质性状相关研究

有关 *H-FABP* 基因多态性及其与动物肉质性状之间关系的研究已有大量报道。杨文平等 (2006) 成功扩增出猪 *H-FABP* 基因内含子 3 的全序列, 并对部分序列进行了 PCR-SSCP 分析, 检测到 2 个等位基因 A、B 和 3 种基因型 AA、AB、BB, 序列测定结果表明该位点的变异是由碱基 A→G 的替换造成的。对于猪 *H-FABP* 基因 5'-上游区和第二内含子等区的遗传变异及其对 IMF 含量的遗传效应研究也有报道 (庞卫军等 2005, 额尔敦达古拉等 2008, 高妍等 2008)。文力正等 (2008) 对牛 *H-FABP* 基因 5'-调控区进行研究, 发现 136 位点有 T 碱基的插入突变, 142 位点发生了 G-A 转换, 相关分析结果表明, 其多态位点的剪切力在 AA 和 AB、BB 基因型间差异极显著, B 基因对剪切力有正效

应, A 基因对其存在负效应, 说明 *H-FABP* 基因对肉质嫩度有显著影响。邓龙华等 (2010) 研究表明, *H-FABP* 基因 G + 926A 位点多态性与鸡胸肌粗脂肪含量呈极显著相关, 14 bp 插入缺失位点与 70 日龄和 84 日龄体重等生长性状的相关性达到极显著相关水平, C + 2851T 位点与腿肌粗脂肪含量显著相关, 表明 *H-FABP* 基因可以做为 IMF 等肉质性状的候选基因。余刚等 (2007) 参照绵羊 *H-FABP* 基因序列 (登录号: AY157617), 利用 PCR-SSCP 技术分析了 262 头周岁陕北白绒山羊 (*Capra hircus*) *H-FABP* 基因外显子 2 的多态性及其与生长和胴体性状的关系, 结果发现存在 AA、AB 和 BB 3 种基因型, 外显子 2 的第 22 位存在 G→C 突变, 此 SNPs 导致甘氨酸 (G) 突变为精氨酸 (R), 认为这可能是造成 3 种基因型陕北白绒山羊在部分生长及胴体性状上存在差异的原因。通过各研究证实, 不同动物品种 *H-FABP* 基因在多区域存在丰富的多态性位点, 且与肉质性状存在显著的相关性。

**3.2 本实验结果** 本实验通过对中国美利奴羊 *H-FABP* 基因外显子 2 的部分序列进行单核苷酸多态性分析, 发现扩增片段存在多态性位点, 其中 AA 型和 BB 型的 778 位均发生了 C 缺失, 这在 GenBank 中未见有相同结果; 另 AA 型和 BB 型的 939 位均发生了 A→G 的单碱基突变, 这与 GenBank 上已登陆的结果相符; 与 AA 型相比, BB 型的 789 位还发生了 T→C 的单碱基突变, 且该突变导致编码氨基酸发生了缬氨酸→丙氨酸的替换; 有关绵羊或山羊 *H-FABP* 基因外显子 2 多态性的研究少有报道, 虽也发现了突变位点 (余刚等 2007, 乔海云等 2009), 但因品种或扩增区域不同而突变不同, 本实验在中国美利奴羊中发现的变异位点亦未见有其他文献报道, 后续实验将进一步验证并研究其是否引起蛋白功能的改变。

**3.3 IMF 含量与肉品质研究** 羊肉品质不仅取决于胴体肌肉的数量和颜色, 且与肌肉的脂肪含量、分布及肌肉的嫩度、多汁性、风味等因素有关。研究结果表明, IMF 是形成肌肉风味

的主要前体物质,与肉品质和口感呈正相关,特别是与肉的多汁性密切相关。虽然明确了 IMF 的含量影响着肉质的嫩度、风味和多汁性,但由于 IMF 含量在活体中的测定有一定的难度。因此,充分利用 DNA 标记辅助选择去寻找控制 IMF 的基因,并对其进行选择,从而达到提高 IMF 含量和改善肉品质的目标是当前育种过程中的重要研究内容。本实验通过对 *H-FABP* 基因外显子 2 位点基因型与肉质性状进行相关性分析,发现 BB 型为肌肉脂肪含量的优势基因型,对肌纤维直径存在负相关,提示其可调控肌肉的嫩度和多汁性。

**3.4 实验结论** 本研究表明,*H-FABP* 基因对于中国美利奴羊肉质性状有一定影响,可以作为影响中国美利奴羊肌肉脂肪含量的一个主效基因或肉质性状的数量性状基因(quantitative trait locus, QTL),外显子 2 区 BB 基因型对于中国美利奴羊的选种选育具有一定意义。

## 参 考 文 献

- Cameron N D, Enger M B. 1991. Fatty acid composition of lipid in *Longissimus dorsi* muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. *Meat Science*, 29(4): 295-307.
- Kaikaus R M, Bass N M, Ockner N M. 1990. Functions of fatty acid binding proteins. *Experientia*, 46(6): 617-630.
- Niewold T A, Meinen M, Vander M J. 2004. Plasma intestinal fatty acid binding protein (I-FABP) concentrations increase following intestinal ischemia in pigs. *Research Veterinary Science*, 77(1): 89-91.
- Ockner R K, Manning J A, Poppenhausen R B, et al. 1972. A binding protein for fatty acids in cytosol of intestinal mucosa, liver, myocardium, and other tissues. *Science*, 177(4043): 56-58.
- Veerkamp J H, Maatman R. 1995. Cytoplasmic fatty acid binding proteins: their structure and genes. *Progression Lipid Research*, 34(1): 17-25.
- 邓龙华,谢亮,罗成龙,等. 2010. 鸡心脏型脂肪酸结合蛋白(*H-FABP*)基因多态性对肉质性状和组织表达的影响. *农业生物技术学报*, 18(3): 545-555.
- 额尔敦达古拉,张龙超,王立贤,等. 2008. 猪 *H-FABP* 基因启动子区一个新 SNP 及其在几个猪种中的分布. *中国畜牧兽医*, 35(10): 47-50.
- 高妍,张永宏,姜宁,等. 2008. 猪 *H-FABP* 基因遗传多态性及与肌肉脂肪含量的相关分析. *中国兽医学报*, 28(5): 599-603.
- 庞卫军,孙世铎,李影,等. 2005. 西部地区主要猪种和野猪 *H-FABP* 基因分子标记与 IMF 含量关系. *遗传*, 27(3): 351-356.
- 乔海云,赵倩君,姚娜,等. 2009. 绵羊 *H-FABP* 基因单核苷酸多态性的研究. *遗传*, 31(7): 725-731.
- 荣思光,王志鹏,张志威,等. 2012. 中国美利奴羊 *DLX3* 基因 3'UTR 的多态性及其与羊毛品质性状的关联分析. *畜牧兽医学报*, 43(3): 358-367.
- 萨姆布鲁克 J,拉塞尔 D W. 2002. 分子克隆实验指南. 3 版. 北京:科学出版社,484-485.
- 王彦,宋庆,舒鼎铭,等. 2007. 鸡 *H-FABP* 基因多态性及其与肌肉脂肪含量的相关研究. *中国畜牧杂志*, 43(11): 1-5.
- 王卓,咎林森. 2008. 秦川牛 *H-FABP* 基因第 1 外显子 SNP 及其与部分肉用性状相关性的研究. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 36(11): 11-15.
- 文力正,赵玉民,张国梁,等. 2008. 草原红牛 *H-FABP* 基因单核苷酸多态性及其对肉质的影响. *中国农学通报*, 24(5): 17-21.
- 杨华,杨永林,冯静,等. 2010. *BMP4* 基因作为中国美利奴羊(军垦型)多胎性能候选基因的研究. *家畜生态学报*, 31(4): 10-13.
- 杨文平,薛尚军,曹果清,等. 2006. 猪 *H-FABP* 基因第三内含子的遗传变异. *生物技术通报*, (5): 109-112.
- 余刚,罗军,韩雪峰,等. 2007. 陕北白绒山羊 *H-FABP* 基因 SNPs 及其与生长、胴体性状的相关研究. *畜牧兽医学报*, 38(11): 1154-1159.
- 张陈华,王阳,丁月云,等. 2011. 圩猪 *H-FABP* 基因多态性分析及其与 IMF 含量的相关性. *中国农业科学*, 44(5): 1063-1070.