

H-FABP 基因的多态性和营养因素对猪肉质的影响

李长龙^{1,2}, 萨晓婴², 孟和¹, 潘玉春^{1*}

1 上海交通大学农业与生物学院动物科学系, 上海 201101;

2 浙江省医学科学院, 浙江省实验动物中心, 杭州 310013

摘要: 遗传和营养因素都能影响猪肉的品质。但是, 到目前为止同时研究遗传和营养因素对肉质影响的报道很少。在本研究中, 136 头 PIC5 系杂交猪, 体重 65 kg, 被随机分成 4 组, 各组分别给予不同日粮。在饲养 35 d、体重大约 90 kg 时统一屠宰并且进行肉质测定、*H-FABP* 基因分型及其与肉质性状的关联分析。结果表明: (1) 所采用的 3 种日粮对肉色、屠宰后 24 h 的 pH、肌内脂肪和肌肉蛋白含量有极显著的影响; (2) *H-FABP* 基因型对肌内脂肪和肌肉蛋白含量存在极显著的影响; (3) *H-FABP* 和营养因素的交互作用对 pH 和肌内脂肪含量均有显著的影响, 对照组的 AA 基因型具有最高 pH 值, 高维生素 E 组 AA 基因型具有最高肌内脂肪值。实验结果提示在关于猪肉质的育种和生产过程中应该同时考虑营养因素和遗传因素。

关键词: *H-FABP*; 营养因子; 猪肉品质; PCR-RFLP

Effects of *H-FABP* gene polymorphisms and nutritional factors on pork quality

LI Chang-Long^{1,2}, SA Xiao-Ying², MENG He¹, PAN Yun-Chun¹

1. Department of Animal Science, School of Agriculture & Biology, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 201101, China;

2. Zhejiang Academy of Medical Science & Zhejiang Center of Laboratory Animals, Hangzhou, 310013, China

Abstract: Pork quality is affected by both genetic and nutritional factors. However, few researches focused simultaneously on the effects of these two kinds of factors. In order to study the co-effects of these two kinds of factors simultaneously, we implemented this experiment, 136 PIC hybrid pigs with about 65 kg body weight were randomly divided into 4 groups; each group was fed with a different kind of rations. After 35 days of feeding, the pigs were slaughtered at about 95 kg body weight and the pork quality was evaluated. Then the polymorphism of *H-FABP*

收稿日期: 2008-11-14; 修回日期: 2009-05-04

基金项目: 上海市科技兴农重点攻关项目(编号: 沪农科攻字(2003)第 1-1 号)和国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号: 2006CB102102, 2004CB117502)

作者简介: 李长龙(1976-), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向: 动物遗传学。Tel: 0571-88215497; E-mail: li-changlong@126.com

通讯作者: 潘玉春(1963-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 统计基因组学与生物信息学。E-mail: panyc@sjtu.edu.cn

gene was analyzed and an association analysis was conducted. The results are as follows: (1) feed ingredient has very significant effect on meat color (MC), pH₂₄, intramuscular fat (IMF, %), and intramuscular protein (IMP, %); (2) *H-FABP* gene polymorphism has very significant effect on IMF (%) and IMP (%); (3) the interaction between gene and feed ingredient has significant effect on pH and IMF (%), and pH and IMF (%) were the highest for AA genotype in group 0 and group 1, respectively. These results suggest that both genetic and nutritional factors should be concerned in the improvement of pork quality.

Keywords: H-FABP; nutritional factors; pork quality; PCR-RFLP

猪肉在人类的膳食中发挥着重要的作用。除了营养价值外,猪肉的感官等方面也成为养猪业关心的指标。对于食用品质有较大影响的指标包括:肉色、风味、嫩度等。国内外研究结果显示,猪肉的品质受到遗传和营养因素的共同调控。目前,很少研究将关注的焦点集中在遗传和营养因素对肉质的共同作用上来。

心脏脂肪酸结合蛋白(Heart fatty acid binding protein, H-FABP)基因是一个肉质性状的候选基因。H-FABP是一个小分子蛋白质(约15 kDa),能够将脂肪酸从细胞膜转移到磷脂或甘油三酯合成的位点^[1]。H-FABP还能够启动细胞吸收脂肪酸^[2]。Claffey等^[3]报道, H-FABP主要在心肌细胞和肌肉细胞表达。Peeter 等^[4]报道在心肌细胞和肌肉细胞中表达的FABP拥有相同的序列,其基因位于1号染色体上。猪的*H-FABP*基因位于6号染色体上,该基因拥有1.6 kb的上游调控序列和0.2 kb的3'非转录区。*H-FABP*基因含有4个外显子,分别转录产生含有24、58、17和17个氨基酸的多肽片段^[5]。

在猪*H-FABP*基因上已发现存在*Msp* I、*Hae* III和*Hinf* I 3个多态位点,这些多态与肌肉脂肪含量存在相关性^[1,5,6]。Lin等^[7]研究了10个品种猪的*H-FABP*基因多态性,结果在6个本地猪种中发现没有*Msp* I 和 *Hae*III 多态性位点。

维生素E(VE)、铁、铜、锌、硒等也被认为与猪肉肉质存在相关。在饲料中添加维生素E能够降低猪肉的失水率并维持肉色的稳定^[8,9]。Dirinck等^[11]报道维生素E能够改善嫩度、多汁性、新鲜度等指标^[10]。维生素E也能够通过降低保水能力而使猪肉过多失水。铁、铜、锌等通过参与抗氧化过程提高肉的品质^[12-14]。这些微量元素能够与其他物质通过螯合形式形成螯合物,进而提高微量元素的生物利用率并降低对环境的污染^[15]。

硒是谷胱甘肽过氧化物酶的成份之一,一种主要的生物抗氧化剂^[16]。有机硒能够增加谷胱甘肽过氧化物酶的活性^[17]。Mahan等^[18]报道称硒能一定程度上降低滴水损失。

总之,遗传和营养因素都是影响猪肉质的主要因素,然而很少研究同时关注遗传和营养因素对肉质的影响。本研究选择*H-FABP*基因的多态性和3个饲料共同研究对肉质的影响。

1 材料和方法

1.1 动物

随机将 136 头 PIC 杂种商品猪(L402×Cambrough, 上海农工商集团公司)分为 4 组,

每组有 34 头，体重大约 65 kg，组内雌雄各半并分圈饲养，自由采食。0 组为对照组，饲喂基础日粮（消化能 13.4 MJ/kg、蛋白质 16%、蛋氨酸+胱氨酸 0.58%、赖氨酸 0.9%、维生素 E 30 mg/kg、Fe 90 mg/kg、Cu 15 mg/kg、Zn 110 mg/kg、Mn 45 mg/kg、Se 0.3 mg/kg），其中微量元素均为无机物；1 组为高维生素 E 组，在基础日粮的基础上将 VE 增加到 200 mg/kg；2 组为微量元素氨基酸螯合物组，基础日粮中无机微量元素由等量微量元素氨基酸螯合物（蛋氨酸铁螯合物、赖氨酸铜螯合物和赖氨酸锌螯合物，购自哈尔滨市德邦饲料有限公司）替代；3 组为有机硒组，基础日粮中无机硒由等量有机硒（酵母硒）替代。在饲养 35 d 后集中屠宰，取右侧肋骨间背最长肌做为肉质测定和基因分析。

1.2 肉质评价方法

为使胴体尽量少受破坏，肉样采集位置为个体的最后肋骨和最后腰椎间单侧背最长肌（带有皮和背膘），采集量为 800 g/个体左右。在肉质的分析中选择肉色（Meat color, MC）、pH 值（屠宰后 24 h, pH24）、滴水损失（Drip loss, DL）、肌肉脂肪含量（Intramuscular fat, IMF）、肌肉蛋白质含量（Intramuscular protein, IMP）、背膘厚（Backfat thickness, BF）等指标。各指标的测定参照孙立彬等^[19]和李长龙等^[20]所述方法进行。

1.3 基因扩增和基因型分析

按照常规方法从猪耳组织中分离基因组 DNA^[21]。引物合成参照 Gerbens 等^[1]序列。PCR 扩增体系的总体积均为 25 μ L，其中基因组 DNA 20~40 ng，10 \times PCR 缓冲液 2.5 μ L (2.5 mmol/L)，dNTP 混合液 2.0 μ L，rTaq 1 U，0.2 μ mol/L 引物。引物 1 反应程序为：95 $^{\circ}$ C 预变性 5 min，95 $^{\circ}$ C 1 min，60 $^{\circ}$ C 1 min，72 $^{\circ}$ C 1 min 50 s，35 个循环；72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min。引物 2 反应条件除复性温度为 58.5 $^{\circ}$ C 外，其余条件与引物 1 相同。酶切反应体系 20 μ L，在 5 μ L 产物中加入 4 U 的限制性内切酶 *Msp* I、*Hinf* I 和 *Hae* III (上海华美生物公司)，37 $^{\circ}$ C 水浴 4 h。2% 琼脂糖凝胶电泳检测酶切结果，凝胶成像系统观察并记录。

1.4 统计分析

采用最小二乘法进行关联分析，模型如下：

$$y_{ijk} = \mu + s_i + f_j + g_k + (fg)_{jk} + e_{ijk}$$

式中， y_{ijk} 为观测值， μ 为群体均数， s_i 为性别效应， f_j 为饲料效应， g_k 为基因型效应，

$(fg)_{jk}$ 为遗传和饲料的交互效应， e_{ijk} 为随机误差，多重比较采用邓肯法。

2 结果与分析

2.1 多态性检测

引物1产生的PCR产物经过限制性内切酶*Msp* I 和*Hinf* I 消化后, 经过电泳分析发现没有多态性。引物2产生的PCR产物经过限制性内切酶*Hae*III消化后, 经过电泳发现存在多态性。其中AA基因型有683 bp和117 bp片段; BB基因型有405 bp、278 bp和117bp的片段; AB基因型有683 bp、405 bp、278 bp和117 bp片段。3种基因型的16 bp片段因过小无法分辨但不影响3种基因型的区分(图1)。

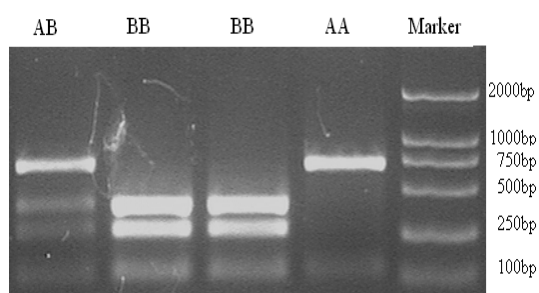


图 1 PCR-RFLP 法检测 *H-FABP* 多态性

2.1 统计分析

在4个饲料组中*H-FABP*的基因型分布如表1所示。总的方差分析结果如表2所示。多重比较结果如表3~5所示。由表可见, 不同基因型对肌肉脂肪和肌肉蛋白的含量有显著影响($P < 0.01$), 其中AA基因型有最高的肌肉脂肪和肌肉蛋白; 不同的饲料对肉色、pH值、肌肉脂肪和肌肉蛋白的影响存在明显的差异($P < 0.01$), 多重比较结果显示组1有最高的肌肉脂肪、组0有最高的肌肉蛋白含量、组3有最低的肉色、组2的pH最低; *H-FABP*的多态性和3种日粮的交互作用在肌肉脂肪和pH值上存在显著的差异, 多重比较结果显示在组1中BB基因型具有最低的pH值、在组1中AA基因型的肌肉脂肪含量最高。

表 1 不同饲料组中各基因型个体数

饲料组	基因型			累计
	AA	AB	BB	
0	12	15	7	34
1	4	18	12	34
2	6	16	12	34
3	9	15	10	34
累计	31	64	41	136

表 2 方差分析结果

效应	肉色	pH 值	滴水损失 (%)	肌内脂肪 (%)	肌肉蛋白 (%)	背膘 (cm)
基因型	0.42	1.31	1.2	5.10**	5.07**	0.49
饲料	7.22**	6.71**	0.95	4.49**	4.39**	0.11
互作	0.46	2.41*	0.87	2.23*	1.06	0.69

注：* 表示 $P < 0.05$ ；** 表示 $P < 0.01$ 。

表 3 不同基因型间 IMF 和 IMP 的差异分析

基因型	肌内脂肪(%)	肌肉蛋白(%)
AA	3.1±0.27a	22.70±0.15a
AB	2.0±0.22b	22.08±0.18b
BB	2.5±0.32ab	22.15±0.13b

注：肩标相同的小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，不同的小写字母表示差异显著 ($P > 0.05$)。

表 4 不同营养因子对肉质影响

饲料组	肉色	肌肉蛋白(%)	pH 值	肌内脂肪(%)
组 0	3.76±0.11a	22.70±0.15a	6.04±0.03 a	1.54±0.30c
组 1	3.16±0.15bc	22.08±0.18b	5.75±0.06 c	3.12±0.38a
组 2	3.44±0.11b	22.15±0.13b	5.92±0.03b	2.69±0.26b
组 3	3.03±0.13c	22.11±0.15b	6.00±0.04 ab	2.72±0.26b

注：肩标相同的小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，不同的小写字母表示差异显著 ($P > 0.05$)。

表 5 不同饲料与基因型对 pH 和 IMF 的互作效应分析

饲料组	基因型	pH 值	饲料组	基因型	肌内脂肪 (%)
组 0	AA	6.07±0.06 ^{ab}	组 0	AA	1.66±0.38 ^{cd}
组 0	AB	6.04±0.06 ^{ab}	组 0	AB	1.66±0.44 ^{cd}
组 0	BB	6.01±0.06 ^{ab}	组 0	BB	1.28±0.34 ^d
组 1	AA	5.86±0.06 ^{bc}	组 1	AA	3.71±0.52 ^a
组 1	AB	5.86±0.05 ^{bc}	组 1	AB	2.08±0.43 ^c
组 1	BB	5.53±0.15 ^c	组 1	BB	3.54±0.54 ^a
组 2	AA	5.98±0.06 ^{ab}	组 2	AA	2.94±0.49 ^b
组 2	AB	5.96±0.04 ^b	组 2	AB	2.40±0.37 ^{bc}

组 2	<i>BB</i>	5.80±0.06 ^c	组 2	<i>BB</i>	2.72±0.37 ^b
组 3	<i>AA</i>	5.91±0.07 ^{bc}	组 3	<i>AA</i>	3.10±0.44 ^{ab}
组 3	<i>AB</i>	5.95±0.05 ^{bc}	组 3	<i>AB</i>	1.84±0.38 ^c
组 3	<i>BB</i>	6.13±0.07 ^a	组 3	<i>BB</i>	2.26±0.47 ^{bc}

注：肩标相同的小写字母表示差异不显著（ $P>0.05$ ），不同的小写字母表示差异显著（ $P>0.05$ ）。

3 讨 论

3.1 多态性分布

在本研究中我们研究了PIC商品群中*H-FABP*基因的 3 个多态位点，但是只发现了一个*Hae*III多态位点，*Msp* I 和*Hinf* I 多态没有发现，该结果与黄大鹏等^[23]结果一致，与高研等^[22]结果不同，其原因可能是由于PIC商品猪群的特殊遗传背景。*Hae*III多态位点在上述 3 篇文献中均有报道。对于*Hae*III多态位点，报道中 3 种基因型的 16 bp片段均没有发现，原因是琼脂糖凝胶电泳中不能分析小片段DNA。其他片段分析结果与报道相同，高研等^[22]和黄大鹏等^[23]国内近年来均采用琼脂糖凝胶电泳法，因此可以肯定结果与Gerbens等^[5]报道一致。

3.2 多态性对肉质性状的影响

*H-FABP*是FABP家族的成员。FABP家族是一类小的溶质蛋白，能够转运脂肪酸^[24]。*H-FABP*主要分布在心肌和骨骼肌细胞中。已有*H-FABP*基因的多态性与猪肉肉质性状相关^[1,5,6]的报道。然而*H-FABP*基因的多态性与猪肉肉质性状相关的分子机理还不清楚。本研究结果显示，*AA*基因型与高肌内脂肪相连锁，与Gerbens等^[5]一致。但是，*H-FABP*基因多态对松辽黑猪肌内脂肪含量的影响则相反^[22]。推测其原因可能是我国地方猪种在肉质方面与国外猪种有不同。在本研究中，不同基因型间IMF差值与Gerbens等^[5]和庞卫军等^[25]等报道有较大差别。其原因可能由于上述两个报道均采用纯种种猪为研究对象，本研究采用杂交商品群体，遗传背景不同。

3.3 饲料对肉质性状的影响

日粮 1、2、3 均能够增加IMF并降低MC和IMP。4 种微量元素具有抗氧化效应并能够增加酸化的速度。但是微量元素与IMP含量的关联的机制还不十分明确。硒能够增加IMF，这与已有的研究结果相似^[18,26]。维生素E升高IMF，该结果与Hoving-Bolink等^[27]研究结果不同，维生素E与IMF的关系需要进一步的深入研究。一些抗氧化物质，如：共轭亚油酸（CLA）能够影响IMF^[28]。Wiegand等^[29]报道，在饲料中添加 0.12%~1.0%的CLA，可显著减少皮下脂肪沉积，提高IMF，改善腹脂硬度，原因可能是由于其改变细胞内氧化还原水平并调节某些基因表达所致。在已有的研究中，VE对于滴水损失有不同的影响，但是在本研究结果中未发现滴水损失有显著的变化。

3.4 不同营养条件下肉质性状相关基因功能的分析

遗传和营养的交互作用对于pH和IMF有显著的影响。在以前的大量研究中遗传和营养是相互独立研究的,研究者很少同时关注遗传和营养对于同个性状的影响。遗传和营养对于肉质均有显著的影响,因此在提高肉质的研究时应同时考虑遗传和营养效应。在本研究中首先确认了饲料和*H-FABP*多态性对于猪肉质的影响,进一步研究了不同营养条件下*H-FABP*多态性对于肉质的影响。结果显示在不同营养条件下*H-FABP*多态性与猪肉质的相关性。同时,结果显示饲料和*H-FABP*基因多态性的交互作用对肉质性状有显著的影响。研究发现,低蛋白和低能量的饲料可提高*H-FABP*基因表达,提高IMF含量,增加肉的嫩度^[30];说明营养物质可以影响DNA的复制或者改变染色体的结构,从而影响基因的表达和相关表型。本研究结果暗示,4种微量元素有可能影响*H-FABP*基因表达。该结果说明提高肉质的研究中有必要同时研究遗传和营养效应。

3.5 关于实验分组

由表1可见,由饲料与基因型所组成的各次级组样本含量不等,但采用最小二乘法可克服由此带来的参数估计问题。不过,个别次级组样本含量相对较低(如饲料组1中只有4个个体为AA基因型)将影响饲料与基因型互作效应分析的可靠性。这提示在实验时,最好先检测基因型再分组。

本研究可以得到如下结论:(1)营养因素对MC、pH、IMF(%)和IMP(%)有显著的影响;(2)*H-FABP*的多态性对IMF(%)和IMP(%)有显著的影响;(3)遗传和营养的交互作用对于pH和IMF(%)有显著的影响,并且在提高肉质研究中遗传和营养因素应同时考虑。

参考文献(References):

- [1] Gerbens F, Koning DJ, Harders FL, Meuwissen TH, Janss LL. The effect of adipocyte and heart fatty-acid-binding-protein genes on intramuscular fat and backfat content in *Meishan* crossbred. *J Anim Sci*, 2000, 78(3): 552-559.
- [2] Schaap FG, van der Vusse GJ, Glatz JF. Fatty acid-binding protein in the heart. *Mol Cell Biochem*, 1998, 180(1-2): 43-51.
- [3] Claffey KP, Herrera VL, Brecher P, Ruiz-Opazo N. Cloning and tissue distribution of rat heart fatty acid binding protein mRNA. *Biochemistry*, 1987, 26(24): 7900-7904.
- [4] Peeters RA, Veerkamp JH., Geurts van Kessel A, Kanda T, Ono T. Cloning of the cDNA encoding human skeletal-muscle fatty acid binding protein, its peptide sequence and chromosomal localization. *Biochem J*, 1991, 276(Pt1): 203-207.
- [5] Gerbens F, van Erp AJ, Harders FL, Verburg FJ, Meuwissen TH, Veerkamp JH, te Pas MF. Effect of genetic variants of the heart fatty acid binding protein gene on intramuscular fat and performance traits in pigs. *J Anim Sci*, 1999, 77(4): 846-852.

- [6] Gerbens F, Rettenberger G, Lenstra JA, Veerkamp JH, te Pas MF. Characterization, chromosomal localization, and genetic variation of the porcine heart fatty acid-binding protein gene, *Mamm Genome*, 1997, 8(5): 328-332
- [7] 林万华, 黄路生, 任军, 邓素华, 王文君, 刘宝生, 周利华, 陈从英. 中外十个猪种H-FABP基因遗传变异的研究, *遗传学报*, 2002, 29(1):12-15.
- [8] Asghar A, Gray JI, Booren AM, Gomaa EA, Abouzied MM, Miller ER, Buckley DJ. Effect of supranutritional dietary vitamin E levels on subcellular deposition of tocopherol in the muscle and on pork quality. *J Sci Food Agric*, 1991, 57(3): 31-41.
- [9] Cheah KS, Cheah AM., Krausgrill DI. Effect of dietary supplementation of vitamin E on pig meat quality. *Meat Sci*, 1995, 39(22): 255-264.
- [10] Dirinck P, De Winne A, Casteels M, Frigg M. Studies on Vitamin E and meat quality. Effect of feeding high Vitamin E levels on time-related pork quality. *J Agric Food Chem*, 1996, 44(11): 65-68.
- [11] Rosenfold K, Læke HN, Jensen SK, Karlsson AH, Lundström K, Andersen HJ. Manipulation of critical quality indicators and attributes in pork through vitamin E supplementation, muscle glycogen reducing finishing feeding and pre-slaughter stress. *Meat Sci*, 2002, 62(4): 485-496.
- [12] 孙永凤, 李立勇, 武明宇. 维生素E营养研究进展. *现代农业科技*, 2007, 23:209-210.
- [13] Pethick DW, Warner RD, D'Souza DN, Dunshea FD. Nutritional manipulation of meat quality. In: Cranwell PD, ed. *Manipulating Pig Production VI*. Australasian Pig Sci. Assoc, Roseworthy, SA, Australia, 1997.
- [14] Morrissey PA, Sheehy P JA, Galvin K, Kerry JP, Buckley DJ. Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci*, 1998, 49: S73-S86.
- [15] Ammerman CB, Henry PR, Miles RD. Supplemental organically-bound mineral compounds in livestock nutrition. In: Garnsworthy PC, Wiseman J, ed. *Recent Advances in Animal Nutrition*, Nottingham University Press, Nottingham, 1998.
- [16] 徐春兰, 汪以真. 半定量RT-PCR法分析猪肌肉组织细胞谷胱甘肽过氧化物酶mRNA表达水平. *中国兽药杂志*, 2005, 39(8): 3-6.
- [17] Ortman K, Andersson R, Holst H. The influence of supplements of selenite, selenate and selenium yeast on the selenium status of dairy heifers. *Acta Vet Scand*, 1999, 40(1): 23-34.
- [18] Mahan DC, Cline TR, Richert B. Effects of dietary level of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources, fed to growing-finishing pigs on performance characteristics, and loin quality. *J Anim Sci*, 1999, 77(8): 2172-2179.
- [19] 孙立彬, 孟和, 李婧, 李长龙, 白春燕, 潘玉春. 梅山猪等 5 个群体中钙蛋白酶抑制蛋白基因的多态性及其与肉质和背膘厚的关系. *农业生物技术学报*, 2006, 14(2):156-161.
- [20] 李长龙, 潘玉春, 孟和, 王子林, 黄雪根. H-FABP、MC4 R、ADD1基因多态性在3个猪群中分布及其与肌肉脂肪和背膘的相关研究. *遗传*, 2006, 28(2):159-164.
- [21] Sambrook J, Fritsch EF, Maniatis T. *Molecular cloning: A laboratory manual*. 2nd ed. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY, 1989.
- [22] 高妍, 张永宏, 姜宁, 袁宝, 肖书奇, 赵中利, 张树敏, 赵志辉, 张嘉保. 猪 H-FABP 基因遗传多态性及

- 与肌内脂肪含量的相关分析.中国兽医学报, 2008,28(5): 599-603.
- [23] 黄大鹏,黄玉兰,陈建华. 三江白猪心脏脂肪酸结合蛋白(H-FABP)基因多态性及多态片段的序列分析. 中国兽医学报, 2008,28(3): 336-339.
- [24] Veerkamp JH, Maatman RG. Cytoplasmic fatty acid binding proteins: Their structure and genes. *Prog Lipid Res*, 1995, 34:17-52.
- [25] 庞卫军, 孙世铎, 李影, 陈国柱, 杨公社. 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, 2005, 27 (3):351-356.
- [26] Binas B, Danneberg H, McWhir J, Mullins L, Clark AJ. Requirement for the heart-type fatty acid binding protein in cardiac fatty acid utilization. *FASEB J*, 1999,13(8): 805-812.
- [27] Hoving-Bolink AH, Eikelenboom C, van Diepen J, Th M, Jongbloed AW, Houbenb JH. Effect of Dietary Vitamin E Supplementation on Pork Quality. *Meat Sci*, 1998, 49(2): 205-212.
- [28] Wiegand BR. Duration of feeding conjugated linoleic acid influences growth performance, carcass traits, and meat quality of finishing barrows. *J Anim Sci*, 2002,80:3637-3643.
- [29] Pariza, M. W. Perspective on the safety and effectiveness of conjugated linoleic acid. *Am J Clin Nutr*, 2004, 79(Suppl):1132-1136.
- [30] 罗献梅, 陈代文, 余冰, 张克英. 营养水平对 DLY 杂交猪肉质性状及 H-FABP 基因表达的影响. 中国畜牧杂志, 2008,44(19):26-32.