

# 山猪优质肉表观性状的遗传与影响因素研究

周鑫<sup>1</sup>, 金邦荃<sup>1</sup>, 章熙霞<sup>2</sup>, 李亚东<sup>1</sup>, 袁永刚<sup>2</sup>, 龚兰<sup>1</sup>, 朱云<sup>1</sup>

(1. 南京师范大学食品科学与营养系, 江苏 南京 210097)

(2. 南京市畜牧家禽科技研究所, 江苏 南京 210036)

**[摘要]** 山猪为我国优良地方猪种, 具有优质肉遗传性状, 是当前优质肉商品猪培育的重要母本之一。本文试图将山猪与瘦肉型杜洛克或巴克夏进行杂交, 通过肉品性状分析, 选出配合力最优的组合加以利用。研究表明, 通过杂交可显著提高杂交猪的产肉性状, 尤其是杜×山 ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。山猪具有优良的肉色和大理石纹评分, 横交后可将性状较好地固定, 结果表明杜×山和杜山×山更理想; 对剪切力的分析表明, 6组猪背最长肌处于同一水平 ( $P>0.05$ )。由此可见, 杜×山杂交组合是传承山猪优质肉性状的理想组合。进一步分析影响肉色的主要因素并建立回归方程,  $Y_{\text{肉色}} = 0.205X_{a^*} - 0.067X_{b^*} - 0.128X_L + 7.738$  ( $R = 0.67$ ,  $P = 0.000$ ),  $Y_{\text{肉色}} = 1.423X_{\text{pH}_1} - 0.625X_{\text{pH}_{24}} - 2.691$  ( $R = 0.56$ ,  $P = 0.000$ ) 和  $Y_{\text{肉色}} = -0.209X_{\text{滴水}} - 0.011X_{\text{失水}} + 4.205$  ( $R = 0.49$ ,  $P = 0.003$ ), 认为  $a^*$  值(红度)、 $b^*$  值(黄度)、 $L$  值(亮度)、pH 值、滴水损失和失水率均影响猪肉呈色; 其中  $a^*$  值和  $L$  值综合反映理想肉色, 如鲜红色, 影响度极高; 其次关联因素为  $\text{pH}_1$  和滴水损失等。

**[关键词]** 优质肉性状, 表观遗传, 影响因素, 杂交组合, 山猪

**[中图分类号]** S828.8 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)01-0078-08

## Study on Epigenetics and Effects of Meat Quality in Shanzhu Swine

Zhou Xin<sup>1</sup>, Jin Bangquan<sup>1</sup>, Zhang Xixia<sup>2</sup>, Li Yadong<sup>1</sup>, Yuan Yonggang<sup>2</sup>, Gong Lan<sup>1</sup>, Zhu Yun<sup>1</sup>

(1. Department of Food Science and Nutrition, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. Institute of Animal Husbandry and Poultry Science of Nanjing, Nanjing 210036, China)

**Abstract:** Shanzhu is a local swine with good meat quality in China, so that it is known as one of the most important female parents for new crossbreds nowadays. For this reason, Shanzhu swine (S) is used to cross with Duroc (D) or Berkshire (B) swine (Both are famous lean swine in the world). In our research, the aim is to select the best crossbreds through meat quality test. Results show that because of crossbreds, meat productivity can be raised significantly, especially in D×S crossbreds ( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ). S appears good meat quality such as reasonable meat color and marbling. These good meat qualities can be transferred to offsprings stably, they are better in D×S and DS×S crossbreds. Analyzing data, the share force of *M. longissimus dorsi* (LD) is at the same lever between 6 groups. As above, D×S crossbreds is the reasonable combining for inheriting good meat quality from S. Analyzing major factors on meat color and building up regression equations, they are  $Y_{\text{meat color}} = 0.205X_{a^*} - 0.067X_{b^*} - 0.128X_L + 7.738$  ( $R = 0.67$ ,  $P = 0.000$ ),  $Y_{\text{meat color}} = 1.423X_{\text{pH}_1} - 0.625X_{\text{pH}_{24}} - 2.691$  ( $R = 0.56$ ,  $P = 0.000$ ) and  $Y_{\text{meat color}} = -0.209X_{\text{drip loss}} - 0.011X_{\text{water loss}} + 4.205$  ( $R = 0.49$ ,  $P = 0.003$ ), respectively. As we know, meat color is influenced by many factors, such as  $a^*$ ,  $b^*$  as well as  $L$  values, pH value, drip loss, water loss rate and so on. Fresh meat also appeared reddish, which is related with  $a^*$  and  $L$  values highly. The second relative effects are  $\text{pH}_1$  value and drip loss.

**Key words:** meat quality, epigenetics, effects, crossbred, Shanzhu swine

猪肉品质受到品系、年龄、性别、部位等多因素的影响, 而品种是决定猪肉品质的关键因素<sup>[1]</sup>。我国过去大量利用外来瘦肉型猪种和地方高繁殖性猪种进行杂交改良, 主要为了提高生长速度和增加胴体瘦肉率, 而对肉质的研究没有足够重视, 肉品品质呈下降趋势, 从而引起广泛关注<sup>[2]</sup>。“十五”以来, 我国开展优质肉猪种的选育和地方猪种的开发利用。山猪作为江苏地区的特色品种, 具有耐粗饲和肉质好等优点, 是当前优质肉猪培养的优良地方品种之一<sup>[3-5]</sup>。

收稿日期: 2014-12-16。

基金项目: 江苏省农业科技创新基金 (CX(11)1301)、江苏省普通高校研究生科研创新项目 (CX1X13\_395)

通讯联系人: 金邦荃, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学。E-mail: jinbangquan@njnu.edu.cn

猪肉品质一般采用肉色、pH、嫩度、蒸煮损失和持水力等指标进行评定<sup>[6]</sup>。我国多数地方猪种具有肉色鲜红,肉质细嫩,肌肉脂肪适中和持水力较高,且繁殖率高等优点<sup>[2]</sup>。1990年起,江苏省“山猪育种科研协作组”开展山猪优质肉杂交利用的研究,已取得阶段性成果。研究从 MYF5、CAST、PPAR $\gamma$ 2 和 VDR 等影响肉质的主效基因入手,发现山猪骨骼肌 PPAR $\gamma$ 2 受体基因较其他外来猪种或杂交猪高表达,从而肌肉脂肪(Intramuscular fat, IMF)含量丰富<sup>[7]</sup>;研究还注意到肌细胞 VDR 基因表达与肌纤维发育相关,山猪背最长肌 VDR 基因表达低于外来猪种及杂交猪,其肌肉嫩度相对较好<sup>[8]</sup>;MYF5 和 CAST 等是肌细胞增生前导基因,利用该基因的分子辅助选育,可培育出高瘦肉率商品猪<sup>[9,10]</sup>。

山猪优质肉性状的杂交利用鲜有报道。本文以瘦肉型猪杜洛克(Duroc)或巴克夏(Berkshire)为父本与山猪(母本)杂交,试图在肉品品质上研究它们之间的配合力,以选择出优良的杂交组合,为优质肉商品猪培育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 分组与采样

选择同龄同胞或半同胞仔猪,剔除瘦弱及体重过重者,46头分为6组,公母各半/组(如表1所示)。相同条件下饲养,同龄宰杀,并取左胴体第10~13胸椎间背最长肌(*M. longissimus dorsi*, LD)为样品,进行肉品分析。

表1 试验分组  
Table 1 Groups

组合	山猪 100%	杜山×山 75%	巴山×山 75%	杜×山 50%	巴×山 50%	杜×巴山 25%
头数 <i>n</i>	8	8	8	8	8	6
体重/kg	79.7±7.7 <sup>e</sup>	90.4±11.0 <sup>bc</sup>	78.9±5.8 <sup>c</sup>	97.3±15.0 <sup>b</sup>	107.4±11.4 <sup>a</sup>	106.8±12.2 <sup>a</sup>
屠宰率/%	78.9±2.4 <sup>b</sup>	75.1±6.1 <sup>c</sup>	75.0±2.7 <sup>c</sup>	78.8±1.9 <sup>b</sup>	85.1±2.8 <sup>a</sup>	75.2±1.9 <sup>c</sup>

注:肩标字母相同或不标示,表示组间无差异;字母不同则表示组间差异显著或极显著,并以  $P<0.05$  或  $P<0.01$  表示。

### 1.2 仪器

C-LM3 嫩度计(东北农业大学工程学院)、CR-400 色度计(Konica Minolta, Japan)、KP-80N 数字求积仪(长春第一光学仪器厂)、PY-1 允许膨胀压缩仪(南京电力自动化设备厂)、AUY220 电子分析天平(SHIMADZU, Japan)、PHB-4 便携式 pH 计(上海精密科学仪器有限公司)、肉色和大理石纹评分板(NPPC, US 标准比色板)。

### 1.3 胴体和肉品参数

#### 1.3.1 产肉性状

体重(kg)为宰前空腹 24h 称重<sup>[11]</sup>;

胴体重为宰后去除头、蹄、尾及内脏(保留板油和肾脏)的重量<sup>[11]</sup>;

屠宰率/% =  $\frac{\text{胴体重}}{\text{宰前体重}} \times 100$ <sup>[11]</sup>;

瘦肉率/% =  $\frac{\text{瘦肉重}}{\text{皮重} + \text{骨重} + \text{肥肉重} + \text{瘦肉重}} \times 100$ <sup>[11]</sup>, 去除左胴体皮、骨及脂肪后,所得瘦肉量;

熟肉率/% =  $\frac{\text{熟后肉样重}}{\text{煮前肉样重}} \times 100$ , 取 2.5 cm 厚约 100 g 背最长肌放入自封袋中密封,置于热水至肌肉中

心温 75 °C 并持续 10 min 后,冷却称重<sup>[11]</sup>;

眼肌重/g 采用重量法测量<sup>[11]</sup>;

眼肌面积(cm<sup>2</sup>)采用求积仪积分法测量:眼肌面积=求积仪读数×比例系数<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.2 肉色相关性状

肉色和大理石纹评分采用美国 NPPC 标准比色<sup>[12,13]</sup>;肉色 *L*(亮度)、*a*<sup>\*</sup>(红度)和 *b*<sup>\*</sup>(黄度)值采用色度计法<sup>[14]</sup>;肉 pH<sub>1</sub> 和 pH<sub>24</sub> 分别在宰后 1 和 24 h 测量背最长肌酸度<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.3 嫩度相关性状

生鲜肉剪切力 =  $\frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} - X_0$ <sup>[16]</sup>, 式中,  $X_{1 \dots n}$  为有效重复肉样的剪切力值,  $X_0$  为空载运行最大

剪切力值,  $n$  为有效重复肉样数,  $n \geq 6$ ;

$$\text{滴水损失}/\% = \frac{\text{肉样挂前重} - \text{肉样挂后重}}{\text{肉样挂前重}} \times 100^{[11]};$$

$$\text{失水率}/\% = \frac{\text{肉样压前重} - \text{肉样压后重}}{\text{肉样压前重}} \times 100^{[11]}, \text{沿肌纤维方向切 } 1 \text{ cm}^3 \text{ 肉样并称重, 将肉样至于滤纸}$$

中央, 上下各垫 15 层滤纸, 加压至 35 kg, 维持 5 min, 称量施压后肉样重, 计算失水率. 其他参数同 1.3.2.

#### 1.4 数据处理与统计学分析

Excel2013 整理试验数据, 全文用平均值 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm SD$ )表示; 采用 SPSS13.0 (ISBN7-980009-06-1) 进行单因素方差分析 (One-way Analysis of variance, ANOVA), 如组间差异显著, 进一步采用 Duncan 显著性检验; Pearson 法分析参数间相关性, 并建立回归方程, 图表中参数肩标字母相同或不标示, 表示组间无差异; 字母不同则表示组间差异显著或极显著, 并以  $P < 0.05$  或  $P < 0.01$  表示<sup>[17]</sup>.

## 2 结果与分析

6 组试验猪平均屠宰率在  $(74.98 \pm 2.68)\% \sim (85.05 \pm 2.79)\%$  间, 其中山猪(S)为  $(78.92 \pm 2.40)\%$ . 二元杂交后, 杜 $\times$ 山(D $\times$ S)与之接近, 而巴 $\times$ 山(B $\times$ S)显著增加 6.2% ( $P < 0.05$ ), 提示 B $\times$ S 杂交组合可有效提高屠宰率. 当进一步三元杂交的杜 $\times$ 巴山(D $\times$ BS)或回交后杜/巴山 $\times$ 山(D/BS $\times$ S), 其屠宰率则低于原种山猪(S)3.7%~3.9%, 并达到显著性水平 ( $P < 0.05$ ). 本研究初步探明, 山猪是具有较高屠宰率的我国优良地方猪种. 但在杂交利用上, 需要选择合适的组合, 其中 B $\times$ S 二元杂交组合的屠宰率较高(见表 1).

### 2.1 产肉性状比较

#### 2.1.1 瘦肉率和熟肉率

本试验平均瘦肉率和熟肉率分别在  $(42.09 \pm 1.41)\% \sim (55.65 \pm 2.92)\%$  和  $(56.97 \pm 14.26)\% \sim (63.92 \pm 2.60)\%$  范围内, 其中山猪分别达到  $(42.09 \pm 13.08)\%$  和  $(57.87 \pm 1.41)\%$ , 是我国地方品种中产肉率较高的优良猪种. 杂交后, D $\times$ S 瘦肉率最高, 增加了 32.2% ( $P < 0.05$ ), 其次为 B $\times$ S, 但三元杂交后的 D $\times$ BS 反而降低. 6 组平均熟肉率在 60% 左右, 其中 D $\times$ S、DS $\times$ S、BS $\times$ S 和 D $\times$ BS 等 4 组合熟肉率处于相同等级, 显著高于山猪和 B $\times$ S ( $P < 0.05$ , 见图 1(a)).

本研究分别将山猪与杜洛克和巴克夏进行杂交, 比较其间产肉性状的配合力, 发现 D $\times$ S 杂交组合不但维持较高的屠宰率 ( $78.8 \pm 1.9\%$ , 见表 1), 而且瘦肉率和熟肉率均在 6 组之冠; 当 D $\times$ S 和 B $\times$ S 与山猪回交, DS $\times$ S 和 BS $\times$ S 的瘦肉率虽然与山猪处于同一水平, 但已略有提高, 同时维持高水平的熟肉率. 三元杂交组合 D $\times$ BS 熟肉率较高, 但瘦肉率未得到明显改进. 综合二组数据分析, 推断 D $\times$ S 杂交能够更好地改善杂交后代的产肉性状; 且依据 DS $\times$ S 和 BS $\times$ S 的二组数据, 表明山猪横交固定可以保持高熟肉率性状.

#### 2.1.2 背最长肌发育

LD 又称眼肌, 是研究产肉量和肉品品质的模式组织. 研究发现, 尽管山猪屠宰体重偏小, 但 LD 的质量(LDA)和面积(LDW)分别达到  $(667.5 \pm 254.79) \text{ g}$  和  $(29.93 \pm 6.24) \text{ cm}^2$ , 仅次于 D $\times$ BS, 位居 6 组第二, 显著高于 DS $\times$ S、BS $\times$ S、D $\times$ S 和 B $\times$ S ( $P < 0.05$ ). 表明山猪 LD 的发育较理想, 能够提供更多的优质瘦肉. 研究还发现, B $\times$ S 和 BS $\times$ SLD 质量和面积均在 6 组中处于低水平 ( $P < 0.05$ , 见图 1(b)), 推测巴克夏与山猪杂

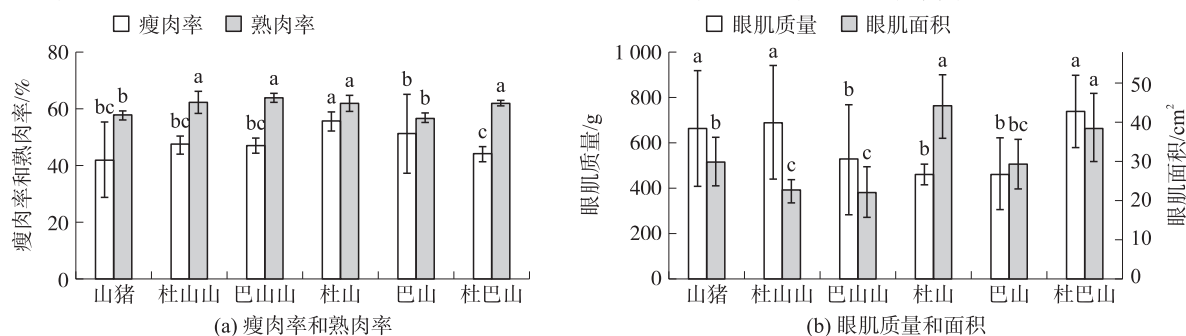


图 1 产肉性状

Fig.1 Meat production

交,其产肉性状的配合力不尽人意;杂交后的骨骼肌增长反而减弱。

## 2.2 肉色性状比较

### 2.2.1 组间肉色和大理石纹比较

本研究采用美国 NPPC 标准比色板分别对 6 组猪左胴体第 13 肋处 LD 肉色和大理石纹二肉品感官参数进行评分。结果表明,6 组猪 LD 肉色评分在  $2.06 \pm 0.50 \sim 3.67 \pm 0.52$  之间,大理石纹评分在  $2.17 \pm 0.41 \sim 3.83 \pm 0.35$  之间;本研究中 B×S 杂交组合平均肉色偏淡,低于 2.5 理想肉色的基本要求;D×BS 大理石纹评分最低,低于 2.5,也不理想;而其他 5 组二肉品感官评定参数均为正常,无劣质肉(见图 2(a)和 2(b))。

肉色和大理石纹综合评定,山猪 LD 感官指标最佳,分别为  $3.19 \pm 0.26$  和  $3.83 \pm 0.35$ ;其次为 D×S、DS×S 和 BS×S,其感官指标与山猪接近;而 B×S 肉色和大理石纹均位于 6 组之末( $P < 0.05$ );D×BS 尽管肉色红润,但大理石纹最为稀少( $P < 0.05$ )。由此可见,巴克夏组合对山猪优质肉性状的传递与表达不如杜洛克组合。

### 2.2.2 组间 $L$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值比较

进一步采用专用色度计测量每头猪 LD 的  $L$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值并做组间比较,同时对肉色和大理石纹感官评定进行解析。研究发现,各组  $a^*$  值与肉色呈现相似趋势,B×SLD  $a^*$  值显著低于其他 5 组( $P < 0.05$ ),肉色偏淡; $b^*$  值分析发现,D×S 和 D×BS 最高,BS×S 其次,其他 3 组均显著低于 D×S 和 D×BS( $P < 0.05$ ), $b^*$  值与大理石纹评分并不一致<sup>[18]</sup>;  $L$  值代表亮度,能比较客观反映猪肉的新鲜程度,分析发现除 D×BS 外( $P < 0.05$ ),其他 5 组均处于同等水平,这可能是由于本测试均在宰后 24 h 内完成,猪肉新鲜(如图 2(a)、2(b)和 2(c)所示)。

### 2.2.3 组间 $pH_1$ 和 $pH_{24}$ 比较

肉的酸度与肉色密切相关,宰后由于糖原的酵解,pH 值逐渐下降,因此  $pH_{24}$  一般低于  $pH_1$ <sup>[19]</sup>。6 组猪 LD  $pH_1$  分别在 6.04~6.72 之间,且山猪和 D×BS 最高( $P < 0.05$ ),基本符合上述肉色评分规律; $pH_{24}$  分别下降 0.18~0.92,依然处于 5.54~5.89 正常区间(见图 2(d))。将  $pH_1$  与肉色、滴水损失、失水率和剪切力等 4 参数进行拟合,得到多元回归的相关性达到 0.60( $P < 0.01$ );反之以肉色为应变量, $pH_1$  和  $pH_{24}$  均极显著影响( $P < 0.01$ ),其中  $pH_1$  对肉色的贡献率明显大于  $pH_{24}$ 。

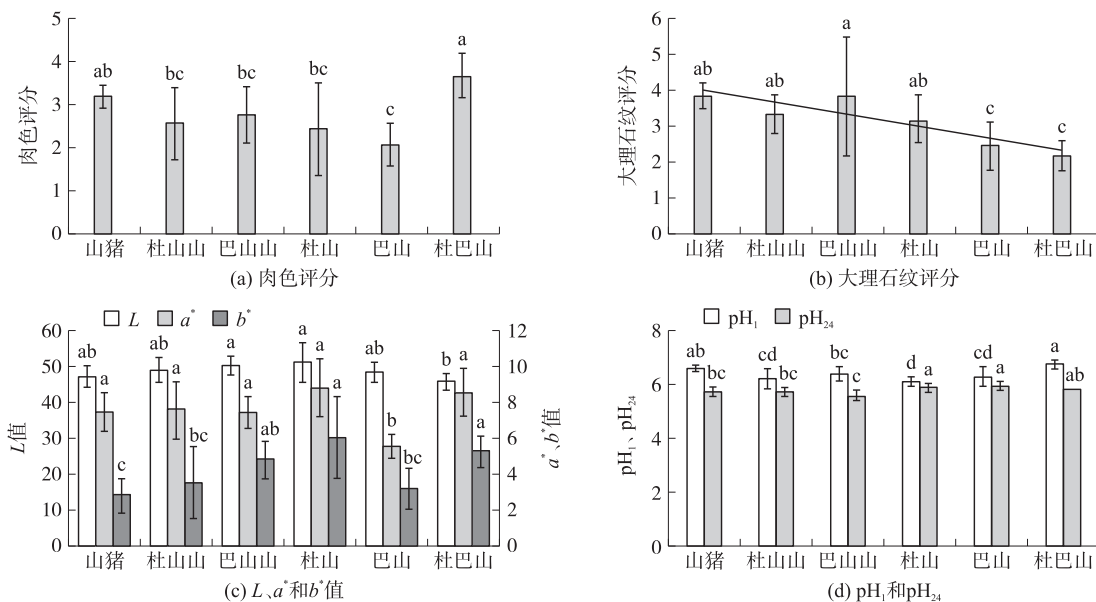


图 2 肉色性状  
Fig.2 Meat colour

## 2.3 嫩度性状比较

### 2.3.1 组间剪切力的比较

24 h 内生鲜猪肉的剪切力可以直接反映肉的嫩度,一般以牛顿时(N)和千克力( $kg \cdot f$ )表示<sup>[16]</sup>,同时嫩度也是肉品质最具代表性的指标之一。

研究发现,6 组试验猪 LD 剪切力在  $(1.62 \pm 0.37) \sim (1.99 \pm 0.57)$  kg·f 之间,且无组间差异,但 DS×S 和 BS×S 呈降低趋势. 6 组猪滴水损失从  $(3.17 \pm 1.61)\%$  至  $(5.40 \pm 2.00)\%$ ,其中 D×S 和 D×BS 低于其他 4 组,并显著低于 BS×S ( $P < 0.05$ );失水率的表现趋势与滴水损失近似(见图 3(a)、3(b)). 二者与剪切力拟合后的相关性较低,  $R = 0.28$ ,不足以影响剪切力.

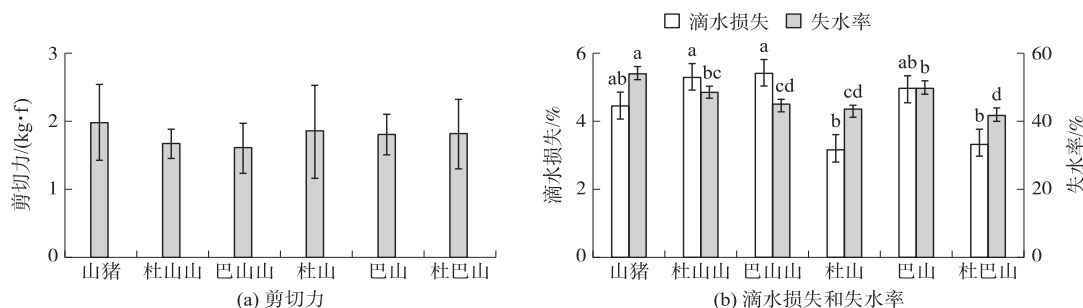


图 3 嫩度性状

Fig.3 Meat tenderness

### 2.3.2 pH 对剪切力的影响

前人研究还认为,肌肉 pH 过低会导致滴水损失或失水率的增加,从而间接影响肌肉的剪切力或嫩度<sup>[20,21]</sup>. 为此,本研究采用多个多元回归方程进行相关性拟合,在本次试验猪范围内,由于 LD 均未出现 pH 异常现象,即无极端 pH 出现,二者相关性达  $R = 0.13$ ;且  $pH_1$  的影响力大于  $pH_{24}$ (见图 2(d)).

由此可见,以山猪为母本进行杂交利用,可减少劣质肉的出现概率;尤其当山猪与杜洛克配合,其肉质品质更佳.

## 3 讨论

### 3.1 影响产肉量的因素解析

研究同时注意到,当屠宰体重在 80~100 kg 范围内时,瘦肉率随屠宰体重的增加而逐渐增大;当体重超过 100kg 后,瘦肉产出率反而降低(见表 1). 建立三因素与瘦肉率的多元回归方程:  $Y_{\text{瘦肉率}} = 0.173X_{LD} - 13.236X_{LDW} - 0.018X_{\text{体重}} + 52.788$ ,相关性达到极显著水平 ( $R = 0.54, P = 0.002$ ),其中与 LD 面积和质量均呈极显著相关 ( $R = 0.29$  和  $P = 0.001, R = -0.41$  和  $P = 0.009$ ),而体重对瘦肉产出率的直接影响较小. 同时注意到,一般情况下屠宰体重大,往往 LD 面积大<sup>[22]</sup>,二者呈现极显著正相关 ( $R = 0.46, P = 0.01$ ). 由此推测,LD 面积是瘦肉产出量最重要的指征性指标,其次为 LD 质量,体重影响甚微<sup>[23]</sup>.

在 1980~1990 年代,我国科学家普遍认为,中国地方猪种耐粗饲且繁殖性能高,但一般生长速度慢且产肉率低,故大力引进外来瘦肉型猪,以提高产肉性状<sup>[2]</sup>. 近年来对山猪有了新的认识,尽管它体型逊色于外来瘦肉型猪种,但它的瘦肉率、熟肉率和 LD 发育均位于我国其他猪种前列<sup>[3]</sup>,尤其当其杜洛克杂交后,产肉性状均得到改进,特别是 LD 面积显著增大(见图 1(a)).

### 3.2 影响肉色的因素解析

#### 3.2.1 $L$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值的影响

肉色的表现性状最初来自于肉色和大理石纹评分,随着研究的深入,人们将肉色解析成  $L$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值,并解析三者与肉色和大理石纹的对应关系<sup>[13]</sup>. 本文以肉色和大理石纹评分为应变量,分别得到与三自变量的多元回归方程:  $Y_{\text{肉色}} = 0.205X_{a^*} - 0.067X_{b^*} - 0.128X_L + 7.738$  ( $R = 0.67, P = 0.000$ ) 和  $Y_{\text{大理石纹}} = 0.289X_{a^*} - 0.361X_{b^*} + 0.130X_L - 3.858$  ( $R = 0.36, P = 0.109$ ).

与大多数学者的观点基本一致的是,三色度与肉色评分关系密切<sup>[24,25]</sup>, $a^*$  值代表红度,与肉色呈显著正相关 ( $P = 0.038$ ); $L$  值代表亮度或白度,与其呈极显著负相关 ( $P = 0.002$ );而  $b^*$  值虽与之负相关,但影响力较小. 由此表明, $a^*$  值主要影响肉色的红度,而  $L$  值主要贡献于亮度,并从另一个侧面反映了肉品的新鲜度<sup>[26]</sup>.

进一步分析三色度对大理石纹评分的影响,虽然上述三元回归方程相关系数无显著性. 但一对一分析后发现, $L$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值对大理石纹的影响度均达到显著性水平 ( $P = 0.028, 0.046$  和  $0.025$ ),三者在同一水

平影响大理石纹评分,其中, $a^*$ 和 $L$ 值为正向影响,而 $b^*$ 值为负向影响且影响度最大。

### 3.2.2 pH与持水力的影响

分别建立  $pH_1$ 、 $pH_{24}$  与肉色或大理石纹评分的二元回归方程:  $Y_{\text{肉色}} = 1.423X_{pH_1} - 0.625X_{pH_{24}} - 2.691$  ( $R=0.56, P=0.000$ ),  $Y_{\text{大理石纹}} = 0.488X_{pH_1} - 1.298X_{pH_{24}} + 7.443$  ( $R=0.27, P=0.191$ )。可以看出,  $pH_1$  对二感官指标的影响度均大于  $pH_{24}$ , 其中  $pH_1$  对肉色影响达到极显著水平 ( $P=0.000$ ), 符合宰后 1 h 内的肌肉 pH 值与肉色的相关规律<sup>[27]</sup>。

本文以滴水损失和失水率为自变量, 建立与肉色或大理石纹评分的二元回归方程:  $Y_{\text{肉色}} = -0.209X_{\text{滴水}} - 0.011X_{\text{失水}} + 4.205$  ( $R=0.49, P=0.003$ ),  $Y_{\text{大理石纹}} = 0.032X_{\text{滴水}} - 0.121X_{\text{失水}} + 2.109$  ( $R=0.28, P=0.184$ )。二参数与肉色关系极为密切, 而与大理石纹评分相关性较弱。进一步解析各自对应关系, 滴水损失在上述二元方程中是影响肉色的首要因素 ( $P=0.001$ ), 而失水率与之关系较弱。因此, 滴水损失和失水率越大, 肉色越淡, 互为负相关<sup>[28]</sup>; 尽管滴水损失和失水率对大理石纹的影响较小, 但滴水损失增加使得大理石纹呈减少趋势, 推测较丰富的大理石纹或肌内脂肪可改善肌肉的持水力, 从而使滴水损失变小<sup>[29]</sup>。

综合上述四影响因素而建立的四元回归方程:  $Y_{\text{肉色}} = 1.348X_{pH_1} - 1.076X_{pH_{24}} - 0.181X_{\text{滴水}} - 0.026X_{\text{失水}} + 2.438$  ( $R=0.73, P=0.000$ ) 和  $Y_{\text{大理石纹}} = 0.273X_{pH_1} - 1.559X_{pH_{24}} - 0.151X_{\text{滴水}} + 0.029X_{\text{失水}} + 9.592$  ( $R=0.40, P=0.114$ )。四因素对肉色的影响度依次为  $pH_1$  ( $P=0.000$ )、滴水损失 ( $P=0.001$ )、 $pH_{24}$  ( $P=0.033$ ) 与失水率; 对大理石纹的影响度依次为  $pH_{24}$  ( $P=0.046$ )、滴水损失、失水率和  $pH_1$ 。

### 3.2.3 优良肉色性状解析

本文以山猪为基准, 并比较 6 组猪肉色和大理石纹的变化。研究注意到, 山猪 LD 肉色 (D×BS 除外) 和大理石纹评分均位于各组之首,  $L$  和  $a^*$  值居于高水平表达, 呈现优质肉的肉色和大理石纹。当山猪与杜洛克、巴克夏杂交或 D×S、B×S (除外) 回交成 DS×S 和 BS×S, 其中 3 组的肉色和大理石纹乃至色度均接近山猪, 良好的传承了山猪优良肉色性状; 三元杂交后, D×BS 的肉色虽然理想, 但大理石纹评分最低。

山猪具备了优质肉的遗传基因, 能与杜洛克形成良好的配合, 传递其原本优质肉性状; 而山猪与巴克夏杂交或进一步三元杂交, 由于巴克夏基因的存在, 其 LD 肉色性状均逊色于原种山猪和 D×S。

## 3.3 影响嫩度的因素解析

肉品品质性状之一嫩度 (剪切力) 受多因素影响, 如 pH 值、滴水损失、失水率或肉色等性状<sup>[30]</sup>。本文分别以 pH、持水力或肉色与剪切力进行拟合, 得到四元回归方程:  $Y_{\text{剪切力}} = 0.021X_{\text{失水率}} - 0.033X_{\text{滴水损失}} + 0.089X_{pH_1} - 0.129X_{pH_{24}} + 1.141$  ( $R=0.29, P=0.452$ )。四因素叠加影响力均较弱, 影响度依次为失水率、滴水损失、 $pH_1$  和  $pH_{24}$ 。由于本次试验 6 组肌肉  $pH_1$  偏差不大 (6.04~6.72), 肌肉持水力也较接近, 故组间肌肉剪切力均处于同等水平 ( $P>0.05$ )。

肉色和色度对剪切力影响的研究表明, 其  $R$  值在 0.13~0.30 之间, 为弱相关。有文献认为, 当出现劣质肉时, 如苍白水样肉 (PSE) 的  $pH_1$  往往低于 6, 肉色评分 2.5 以下时, 剪切力明显降低; 当深色硬肉 (DFD) 出现时,  $pH_1$  高且肉色评分高于 3.5, 同时剪切力明显增加<sup>[31]</sup>。而本文中选用山猪进行杂交利用, 其优良肉质性状能够有效传承, 从而保证了理想的肉色、持水力和 pH 值, 故本文中 6 组猪肌肉剪切力适中, 嫩度理想。由于山猪遗传基因的导入, 山猪杂交后代的肉质性状得到改善。

## 4 结语

山猪是我国优良的瘦肉型地方猪种之一, 不但产肉性状好, 且瘦肉率较高; 同时各参数证实其为优质肉地方猪品种, 肉色和嫩度理想; 当将其为母本与杜洛克或巴克夏杂交, D×S 组合能够最大限度传承山猪的优良肉质性状; 进一步将二元组合与山猪回交并分析其肉品品质, 其肉品性状的配合力稳定, 为今后山猪的商业化杂交利用提供了理论依据。

## [参考文献] (References)

[1] 陈艳珍. 猪肉品质的评定及影响因素[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(7): 155-158.

Chen Yanzhen. The evaluation of pork quality and its influencing factors[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,

- 2012,39(7):155-158.(in Chinese)
- [2] 王林云. 优质猪肉生产和地方猪种利用[J]. 畜牧与兽医,2001,33(5):18.  
Wang Linyun. Production of high-quality pork using native pig breeds[J]. Animal Husbandry and Veterinary,2001,33(5):18.(in Chinese)
- [3] 郝正林,章熙霞,陆方善. 南京市山猪资源现状与保护利用对策[J]. 中国猪业,2007,2(3):24-26.  
Xi Zhenglin,Zhang Xixia,Lu Fangshan. The current status and protective measures on Nanjing Shanzhu[J]. China Swine Industry,2007,2(3):24-26.(in Chinese)
- [4] 王薇,薛雷,赵丹璐,等. 山猪与杜洛克猪 7 个肉质相关基因的比较分析[J]. 中国畜牧杂志,2013,49(17):15-18.  
Wang Wei,Xue Lei,Zhao Danlu,et al. Comparative analysis of 7 meat quality-related genes in Shanzhu and Duroc[J]. Chinese Journal of Animal Science,2013,49(17):15-18.(in Chinese)
- [5] 伍革民,许晓风,章熙霞,等. 利用微卫星 PCR 技术分析山猪的遗传结构[J]. 云南农业大学学报,2008,23(1):79-82.  
Wu Gemin,Xu Xiaofeng,Zhang Xixia,et al. Analysis of the genetic structure of Shan Pig by microsatellite PCR[J]. Journal of Yunnan Agriuehural University,2008,23(1):79-82.(in Chinese)
- [6] Joseph K,John K,David L. Meat Processing:Improving Quality[M]. Cambridge:Woodhead Publishing Limited,2002.
- [7] 朱云,金邦荃,龚兰,等. 猪背最长肌 PPAR $\gamma$ 2 基因 Bsr1 位点多态性与肉质关系的研究[J]. 南京师大学报:自然科学版,2013,36(3):81-86.  
Zhu Yun,Jin Bangquan,Gong Lan,et al. Association of PPAR $\gamma$ 2 Bsr1 locus polymorphism in *longissimus dorsi* with meat quality traits in swine[J]. Journal of Nanjing Normal University:Natural Science Edition,2013,36(3):81-86.(in Chinese)
- [8] 朱云,金邦荃,龚兰,等. 猪背最长肌维生素 D 受体基因 Fok1 位点多态性及其与肉嫩度的关系研究[J]. 中国畜牧杂志,2013,49(11):14-17.  
Zhu Yun,Jin Bangquan,Gong Lan,et al. Relationship of pig LD muscle VDR gene Fok1 polymorphism and the tenderness of meet[J]. Chinese Journal of Animal Science,2013,49(11):14-17.(in Chinese)
- [9] 赵丹璐,卢珊,张静,等. 山猪 MYF5 基因 SNPs 及其形成的单倍型对部分肉质性状的影响[J]. 中国畜牧杂志,2014,50(15):19-23.  
Zhao Danlu,Lu Shan,Zhang Jing,et al. Effect of MYF5 gene SNPs and haplotypes on some meat quality traits in Shanzhu[J]. Chinese Journal of Animal Science,2014,50(15):19-23.(in Chinese)
- [10] 伍革民,许晓风,章熙霞,等. 山猪群体钙调蛋白酶抑制蛋白基因遗传变异研究[J]. 生物技术通讯,2008,19(2):244-246.  
Wu Gemin,Xu Xiaofeng,Zhang Xixia,et al. Study on the genetic variation of calpastatin gene in Shan Pig population[J]. Letters in Biotechnology,2008,19(2):244-246.(in Chinese)
- [11] 彭国良,刘小红,蔡更元. NY/T 825—2004 瘦肉型猪胴体性状测定技术规范[S]. 北京:中国农业出版社,2004.  
Peng Guoliang,Liu Xiaohong,Cai Gengyuan. NY/T 825—2004 Technical regulation for testing of carcass traits in learn-type pig[S]. Beijing:China Agriculture Press,2004.(in Chinese)
- [12] 倪德斌,熊远著,邓昌彦,等. NY/T 821—2004 猪肌肉品质测定技术规范[S]. 北京:中国农业出版社,2004.  
Ni Debin,Xiong Yuanzhu,Deng Changyan,et al. NY/T821—2004 Technical regulation for determination of pork quality[S]. Beijing:China Agriculture Press,2004.(in Chinese)
- [13] Berg E P.Pork composition and quality assessment procedures[S]. Des Moines,IA:National Pork Board,2000.
- [14] Antonio Girolami,Fabio Napolitano,Daniela Faraone,et al. Measurement of meat color using a computer vision system[J]. Meat Science,2013,93(1):111-118.
- [15] 郭新东,罗海英,候向昶,等. GB/T 9695.5—2008 肉与肉制品 pH 测定[S]. 北京:中国标准出版社,2008.  
Guo Xindong,Luo Haiying,Hou Xiangchang,et al. GB/T 9695.5—2008 Meat and meat products-Measurement of pH[S]. Beijing:Standard Press of China,2008.(in Chinese)
- [16] 刘兴余,金邦荃,詹巍,等. 猪肉质构的仪器测定与感官评定之间的相关性分析[J]. 食品科学,2007,28(4):245-248.  
Liu Xingyu,Jin Bangquan,Zhan Wei,et al. Relationship analysis between instruments determination and sensory evaluation of pork texture[J]. Food Science,2007,28(4):245-248.(in Chinese)
- [17] 王周伟. SPSS 统计分析与综合应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,2012.  
Wang Zhouwei. SPSS Statistical Analysis and Comprehensive Application[M]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University Press,2012.(in Chinese)
- [18] Newcom D W,Baas T J,Schwab C R,et al. Genetic and phenotypic relationships between individual subcutaneous backfat layers

- and percentage of longissimus intramuscular fat in Duroc swine[J]. *Journal of Animal Science*,2005,83(2):316-323.
- [19] Hamilton D N,Miller K D,Ellis M,et al. Relationships between longissimus glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits,and pork quality[J]. *Journal of Animal Science*,2003,81(9):2 206-2 212.
- [20] Brunner R M,Srikanchai T,Murani E,et al. Genes with expression levels correlating to drip loss prove association of their polymorphism with water holding capacity of pork[J]. *Molecular Biology Reports*,2012,39(1):97-107.
- [21] Mustafa K,Cemalettin S,Mustafa T Y. The effect of various types of poultry pre- and post-rigor meats on emulsification capacity, water-holding capacity and cooking loss[J]. *European Food Research and Technology*,2005,220(3/4):283-286.
- [22] 郭建凤,王诚,王继英,等. 不同屠宰体重商品猪胴体性能、肉质性状及相关关系分析[J]. *养猪*,2011(5):57-60.  
Guo Jianfeng,Wang Cheng,Wang Jiying,et al. Studies on carcass performance, meat quality and correlation of different slaughter weights in finishing pigs[J]. *Swine Production*,2011(5):57-60.(in Chinese)
- [23] 欧秀琼,刘作华,杨飞云,等. 不同类型猪胴体及肉质性状发育规律的研究[J]. *中国畜牧杂志*,2012,48(5):18-22.  
Ou Xiuqiong,Liu Zuohua,Yang Feiyun,et al. Study on the development of carcass and meat quality among different pigs[J]. *Chinese Journal of Animal Science*,2012,48(5):18-22.(in Chinese)
- [24] 张伟力. 猪肉肉色与酸度测定方法[J]. *养猪*,2002(2):33-34.  
Zhang Weili. Determination of pork color and acidity[J]. *Swine Production*,2002(2):33-34.(in Chinese)
- [25] Bianchi M,Fletcher D L. Effects of broiler breast meat thickness and background on color measurements[J]. *Poultry Science*,2002,81:1766-1769.
- [26] Marta C,Mirosław S,Krzysztof D. Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat[J]. *Meat Science*,2011,88(3):566-570.
- [27] Purslow P P,Mandell I B,Widowski T M,et al. Modelling quality variations in commercial Ontario pork production[J]. *Meat Science*,2008,80(1):123-131.
- [28] Hughes J M,Oiseth S K,Purslow P P,et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. *Meat Science*,2014,98(3):520-532.
- [29] Jesper B,Lars M,Poul H,et al. Prediction of water-holding capacity and composition of porcine meat by comparative spectroscopy[J]. *Meat Science*,2000,55(2):177-185.
- [30] 刘兴余,金邦荃. 影响肉嫩度的因素及其作用机理[J]. *食品研究与开发*,2005,26(5):177-180.  
Liu Xingyu,Jin Bangquan. Effects on meat tenderness and its mechanism[J]. *Food Research and Development*,2005,26(5):177-180.(in Chinese)
- [31] Kelly L P,Katja R,Henrik J A,et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—A review[J]. *Meat Science*,2011,89(2):111-124.

[责任编辑:严海琳]