

猪肌肉糖原酵解潜能及其组分与肉质、脂肪沉积和血液性状的相关性

段艳宇, 周利华, 袁 飞, 李 琳, 麻骏武^{*}

(江西农业大学 /省部共建动物生物技术国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330045)

摘要: 利用白色杜洛克 ×二花脸资源家系中测定的 F₂ 代个体表型数据, 分析肌肉糖原酵解潜能 (GP)及其组分与肉质、脂肪沉积和血液性状的相关性。结果表明: 背最长肌 GP与 pH_{24h}值 ($r = - 0.39, P < 0.001$)、 b^* 值 ($r = 0.36, P < 0.001$)和 L^* 值 ($r = 0.13, P < 0.001$)相关, 提示 GP越高, 则肉的终 pH 值趋向更低, 肉色更加苍白。乳酸含量与 pH_{45min} ($r = - 0.59, P < 0.001$)、T_{45min} ($r = 0.24, P < 0.001$)、 L^* 值 ($r = 0.34, P < 0.001$)和总色素含量 ($r = 0.32, P < 0.001$)相关, 提示宰时乳酸含量高, pH 值初始下降速度快, 肉温度偏高、肉色偏白。乳酸和 GP与脂肪沉积性状显著正相关, 而 GP及其组分与血液性状各组分相关系数普遍低或者不显著。这表明肌糖原含量及组分是影响肉质的重要因素, 并与脂肪沉积有一定相关, 但与血液指标无关。

关键词: 猪; 相关性; 糖原酵解潜能; 肉质性状; 脂肪沉积性状

中图分类号: S828.211 文献标志码: A 文章编号: 1000- 2286(2010)06- 1224- 06

Correlation of Muscle Glycolytic Potential and Its Components with Meat Quality Fat Deposition and Blood Indexes in Pigs

DUAN Yan-yu, ZHOU Lihua, YUAN Fei, LI Lin, MA Jun-wu^{*}

(Candidate of National Key Laboratory for Animal Biotechnology of China Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract The aim of the study is to analyze the correlation of muscle glycolytic potential (GP) and its components with meat quality fat deposition traits and blood indexes using the phenotypic data obtained from a large-scale White Duroc × Erhualian F₂ population. Significant correlations were found among some of these traits. GP of the Longissimus dorsi was correlated with pH_{24h} value ($r = - 0.39, P < 0.001$), Minolta b^* value ($r = 0.36, P < 0.001$) and L^* value ($r = 0.13, P < 0.001$), indicating GP affected ultimate pH and meat colour. Similarly, the correlation of lactic acid content in muscle with pH_{45min} value ($r = - 0.59, P < 0.001$), T_{45min} value ($r = 0.24, P < 0.001$), L^* value ($r = 0.34, P < 0.001$) and pigment content ($r = 0.32, P < 0.001$) indicated that lactic acid content was associated with faster decline of pH, higher initial temperature of meat and paler meat colour. In addition, GP and lactic acid contents were positively and significantly correlated with fat amount of subcutaneous and visceral adipose tissues. However, non-significant or slight correlations were observed between GP and blood indexes. Taken together, the results of this study suggested that GP and its components may affect meat quality and had a little effect on fat deposition traits.

收稿日期: 2010- 06- 10 修回日期: 2010- 10- 26

基金项目: 江西省自然科学基金项目 (0530055)和江西省教育厅基金项目 (GJJ09470)

作者简介: 段艳宇 (1981-), 女, 助教, 博士生, 主要从事猪肉质相关性状的遗传解析, E-mail: yanyudian@ hotmail

com, 段艳宇和周利华对本文贡献相同; * 通讯作者: 麻骏武, 博士。

Key words pig correlation glycolytic potential meat quality fat deposition trait

肌肉糖原酵解潜能 (Glycolytic potential, GP) 是衡量活体肌糖原含量或者个体死后肌肉中可转化为乳酸的所有糖类化合物含量高低的指标^[1]。由于 GP 强烈影响猪肉终 pH 值, 从而也影响肉色和系水力, 所以它也是肉质指标之一。肉样 pH 值是肉质鉴定的重要指标, 但是它受宰前应激等环境因子影响较大, 不容易稳定。GP 测定则是度量肉样具有的酸化潜力而不是既成事实, 这种潜力受遗传制约较大, 而受环境影响较小, 故 GP 测定对育种乃至饲养管理有更深层次的意义^[2]。例如, 在汉普夏猪肉中, 发现其过量 GP 是由于 PRKAG3 基因 (编码一磷酸腺苷激活蛋白激酶 γ 3 亚基; 俗称 RN⁻ 基因) 的 R200Q 突变引起的; 它导致了酸肉的形成, 并直接造成火腿生产加工过程中的巨大经济损失^[3]。

现有关 GP 与肉质性状、生长性状、胴体性状的相关性研究主要集中在含汉普夏血缘的群体中, 且检测的个体数量较少 (< 100 头)^[4-5]。鲜有在中外杂交猪中相关研究的报道。此外, 肌肉中糖的代谢与脂代谢、血液成分变化可能存在一定联系, 但是目前对它们之间的相关性并不太清楚。本实验的目的就是利用大规模的白色杜洛克 × 二花脸猪资源家系 F₂ 代个体 (> 700 头) 的表型数据来解析肌糖原含量与猪的肉质性状、脂肪沉积性状、血液代谢指标的关系。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲养

白色杜洛克 × 二花脸资源家系祖代为 2 头白色杜洛克公猪和 17 头二花脸母猪, 从 F₁ 代杂种中随机选取 9 头公猪和 59 头母猪, 分六个批次共产生 1 912 头 F₂ 代 (公: 967 头; 母: 945 头)。采用 Milan 等人^[3] 的基因检测方法检测了 F₀ 代个体的 PRKAG3 基因的 R200Q 突变 (RN⁻ 突变), 结果均为 RR 纯合子。全部 F₂ 代试验猪群在 46 日龄断奶后转入保育栏 (公猪在 90 日龄阉割), 120 日龄转入猪舍 (2 m² / 头), 自由采食饮水, 并按照统一标准饲养。120 日龄前, 饲喂含 210 g/kg 粗蛋白、3 300 kcal 消化能、125 g/kg 赖氨酸饲料, 120 日龄后饲喂肥育饲料 (160 g/kg 粗蛋白、3 100 kcal 消化能、7.8 g/kg 赖氨酸), 并根据猪的日龄添加维生素和矿物质。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 GR、糖原、乳酸 屠宰后 30 min 内, 取左侧胴体第 14/15 胸椎间背最长肌肉样约 20 g 去除表面的脂肪和肌膜, 并置于液氮中冷冻, 后转入 -80 °C 冰箱保存直至测定。按照 Passonneau 和 Lowry^[6] 的方法测定糖原、葡萄糖和六磷酸葡萄糖的含量。按照 Noll^[7] 的方法测定乳酸含量。依据公式 GP = 2 × (糖原 + 葡萄糖 + 六磷酸葡萄糖) + 乳酸, 计算出样品的 GP 值。

1.2.2 pH 值和温度 屠宰后, 取左侧胴体第 12/13 肋骨间背最长肌肉样和中段半膜肌肉样, 在 45 min、3 h、9 h 和 24 h 测定 pH 值; 在 45 min、3 h、9 h 和 15 h 测定肉样温度。用 Mettler Toledo Delta 320 pH 计 (装有肉样专用电极和温度自动补偿探针), 在肉样中部测定温度, 肉样两端测定 pH 值并取其平均值。pH 计在使用前用 pH 值 7.00 和 4.01 的电极标准缓冲液校正。宰后肉样在完成温度和 pH 值的首次测定后, 存放于 4 °C 冰箱。

1.2.3 其余肉质指标 宰后 24 h 分别测定左侧胴体背最长肌和半膜肌的肉色、大理石纹、总色素含量。取第 15 胸椎背最长肌和右侧半膜肌肉样, 立刻转入 4 °C 展示柜保存, 24 h 后评定肉色和大理石纹。通过比色板法、仪器测色法和化学测定法分别评定肉色。比色板 (NPPC) 有 6 个肌肉横切面肉色分值级别, 1 = 灰白色, 6 = 暗紫色^[8]; 色度仪 (Minolta CM-2600d/2500d) 测定 3 个参数: L* 值 (亮度)、a* 值 (红度)、b* 值 (黄度)。采用丙酮提取法测定总色素含量^[9]。大理石纹评分比色板 (NPPC) 有 10 个肌肉横切面分值级别, 1 = 微量, 10 = 极丰富。

1.2.4 脂肪沉积性状 板油、花油、腹脂、肩部膘厚、胸部膘厚、腰部膘厚和臀部膘厚。据陈润生方法进行测定^[10]。

1.2.5 血液性状 屠宰时采集血液, 制取血清, -80 °C 保存。后融解样品, 送样至全自动生化分析仪 (日立 7600 型全自动生化分析仪), 分别自动加取试剂进行分析: 血糖测定使用德国豪迈公司生产的试剂盒, 糖化血清蛋白测定使用四川迈克公司生产的试剂盒, 总胆固醇、甘油三酯、HDL-胆固醇、LDL-

胆固醇都使用日本协和公司生产的试剂盒,并读取数据。

1.3 统计分析

用 SAS 9.0 统计软件 (SAS Institute Inc., Cary NC, USA, 2002) 对 F₂ 表型测定数据进行简单统计分析 (表 1)。并用 CORR 过程分析性状间的相关性, 获得 Pearson 相关系数。

表 1 F₂ 群体肉质、脂肪沉积和血液性状简单统计

Tab 1 Simple statistical analysis of meat quality, fat deposition and blood indexes in F₂ population

性状 Traits	个体数 No.	平均值 Means	标准差 Stv	最小值 Min	最大值 Max
糖原酵解潜能及其组分 GP and its components					
糖原 / 葡萄糖 / (μmol · g ⁻¹) Glycogen / glucose	706	26.22	13.8	-0.99	81.15
六磷酸葡萄糖 / (μmol · g ⁻¹) Glucose-6-phosphate	706	0.19	0.39	-1.17	4.8
乳酸 / (μmol · g ⁻¹) Lactate	706	82.48	20.12	27.35	160.13
糖原酵解潜能 / (μmol · g ⁻¹) Glycolytic potential	706	135.4	29.31	27.84	262.94
背最长肌的肉质性状 Meat quality of LM					
T _{45 min}	750	34.2	1.83	26.3	39.5
T _{3 h}	744	19.96	4.07	8.6	32.2
T _{9 h}	659	8.86	4.08	0.4	24.7
T _{15 h}	635	5.56	3.18	0.1	18
pH _{45 min}	739	6.4	0.34	5.34	7.11
pH _{3 h}	735	6.26	0.44	5.27	7.13
pH _{9 h}	742	5.92	0.33	5.32	6.78
pH _{15 h}	745	5.75	0.23	5.31	6.66
pH _{24 h}	753	5.67	0.17	5.35	6.64
L*	760	47.21	3.13	36.75	59.14
a*	761	0.73	1.15	-2.57	5.67
b*	761	7.56	1.83	2.15	13.22
总色素含量 / (μg · g ⁻¹) Haematin content	759	46.84	17.51	4.76	132.27
肉色评分 Color scores (1~6)	762	2.68	0.72	1	5
大理石纹 Marbling scores (1~10)	762	1.92	0.73	1	10
脂肪沉积性状 Fat deposit traits					
板油重 / g Perirenal fat weight	1 028	2.081	1.096	70	6.055
花油重 / g Mesenteric fat weight	1 028	1.301	442.39	217.50	3.348
腹脂重 / g Abdominal fat weight	1 028	1.227	425.16	112.50	2.738
肩部膘厚 / cm Backfat thickness at 1st rib	1 031	3.92	0.95	1.34	7.30
胸部膘厚 / cm Backfat thickness at 6~7th rib	1 031	3.13	0.96	0.14	6.85
腰部膘厚 / cm Backfat thickness at 1st lumbar	1 031	2.34	0.86	0.21	6.93
臀部膘厚 / cm Backfat thickness at hip joint	1 031	2.55	1.02	0.24	7.01
血液指标 Blood index					
血糖 / (mmol · L ⁻¹) Blood glucose	759	5.31	2.13	0.20	14.30
糖化血清蛋白 / (mmol · L ⁻¹) Glycosylated serum protein	759	1.18	0.23	0.50	3.10
胆固醇 / (mmol · L ⁻¹) Total cholesterol	759	2.57	0.62	0.18	4.13
甘油三脂 / (mmol · L ⁻¹) Triglyceride	759	0.28	0.15	0.07	1.18
高密度脂蛋白 / (mmol · L ⁻¹) High-density lipoprotein	759	1.13	0.23	0.50	2.00
低密度脂蛋白 / (mmol · L ⁻¹) Low-density lipoprotein	759	1.30	0.27	0.60	2.47

T: 温度; LM: 背最长肌; T: temperature; LM: Longissimus muscle.

2 结果分析

2.1 GP 及其组分与其它肉质性状的相关性

由表 2 可知, 糖原、六磷酸葡萄糖含量与 $T_{45\text{min}}$ 相关系数为负值, 乳酸与 $T_{45\text{min}}$ 相关系数为正值。该结果提示宰时肌肉中贮存的糖原和糖原酵解速率对肌肉温度有影响, 酵解速率越快, 肌肉温度越高。

GP 与 $\text{pH}_{45\text{min}}$, $\text{pH}_{3\text{h}}$, $\text{pH}_{9\text{h}}$, $\text{pH}_{15\text{h}}$ 和 $\text{pH}_{24\text{h}}$ 负相关, 相关系数递减、显著性增强。但 GP 与 $\text{pH}_{24\text{h}}$ 的相关系数仅达 -0.39 ($P < 0.001$)。乳酸与上述 5 个时间点的 pH 值显著负相关, 相关系数递增。但乳酸含量与 $\text{pH}_{45\text{min}}$ 的相关系数也仅达 -0.59 ($P < 0.001$)。上述结果均提示肌肉 pH 值的影响因素不止肌肉乳酸和糖原含量。糖原和六磷酸葡萄糖与 pH 值的相关系数变化很大; 糖原与 $\text{pH}_{45\text{min}}$ 相关系数为 0.38 ($P < 0.001$), 与 $\text{pH}_{24\text{h}}$ 相关系数为 -0.20 ($P < 0.001$)。这个明显的变化验证了肌肉中贮存的糖原影响宰后 pH 值下降的幅度。

GP 与 L^* 值、 b^* 值呈极显著正相关, 表明 GP 增加可导致背最长肌肉色苍白 (高 L^* 值)、泛黄 (高 b^* 值)。乳酸与 L^* 值、 b^* 值和总色素含量显著相关。乳酸和 GP 与 L^* 值、总色素含量的相关系数差异明显; 其中, 总色素含量与乳酸、GP 的相关系数为 0.32 ($P < 0.001$) 和 0.06 ($P > 0.05$), L^* 值与乳酸、GP 的相关系数为 0.34 ($P < 0.001$) 和 0.13 ($P < 0.001$)。糖原与肉色评分、 b^* 值、总色素含量显著相关, 糖原含量增加可导致肉色变深。六磷酸葡萄糖与 Minolta L^* 值 ($r = -0.20$)、 a^* 值 ($r = -0.16$)、 b^* 值 ($r = 0.23$)、肉色评分 ($r = 0.11$) 极显著相关, 六磷酸葡萄糖对肉色的影响与糖原一致。

表 2 肌糖原酵解潜能的各成分与其它肉质性状的相关系数

Tab 2 Correlation coefficients between glycolytic potential and other meat quality traits

性状 Traits	糖原/葡萄糖 Glycogen/glucose	六磷酸葡萄糖 Glucose-6-phosphate	乳酸 Lactate	糖原酵解潜能 Glycolytic potential
$T_{45\text{min}}$	-0.27^{**}	-0.16^{***}	0.24^{***}	-0.10^*
$T_{3\text{h}}$	-0.05ns	-0.06ns	0.10°	0.01ns
$T_{9\text{h}}$	-0.10°	-0.02ns	0.14^{***}	0.00ns
$T_{15\text{h}}$	-0.08ns	0.01ns	0.07ns	-0.03ns
$\text{pH}_{45\text{min}}$	0.38^{**}	0.24^{***}	-0.59^{**}	-0.03ns
$\text{pH}_{3\text{h}}$	0.32^{**}	0.27^{***}	-0.56^{**}	-0.07ns
$\text{pH}_{9\text{h}}$	0.22^{**}	0.25^{***}	-0.48^{**}	-0.11^*
$\text{pH}_{15\text{h}}$	0.04ns	0.18^{***}	-0.41^{***}	-0.24^{**}
$\text{pH}_{24\text{h}}$	-0.20^{**}	-0.06ns	-0.30^{**}	-0.39^{**}
L^*	-0.10°	-0.20^{***}	0.34^{**}	0.13^{**}
a^*	0.07ns	-0.16^{***}	0.06ns	0.10^{**}
b^*	0.16^{**}	0.23^{***}	0.29^{**}	0.36^{**}
总色素含量 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) Haematin content	-0.17^{**}	-0.04ns	0.32^{**}	0.06ns
肉色评分 Colour scores (1~6)	0.14^{**}	0.11^{**}	-0.09°	0.07ns
大理石纹 Marbling scores (1~10)	-0.03ns	-0.06ns	-0.03ns	-0.05ns

ns 不显著; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

ns non-significant * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

2.2 GP 及其组分与脂肪沉积性状的相关性

由表 3 可知, 乳酸和 GP 与脂肪沉积性状显著正相关, 表明肌肉 GP、乳酸的增加与强的脂肪沉积能力相关; 而糖原/葡萄糖和六磷酸葡萄糖与脂肪沉积性状不相关。

表 3 肌糖原酵解潜能及其组分与脂肪性状的相关系数

Tab 3 Correlation coefficients between glycolytic potential and fat deposition traits

	糖原 / 葡萄糖 Glycogen / glucose	六磷酸葡萄糖 Glucose-6-phosphate	乳酸 Lactate	糖原酵解潜能 Glycolytic potential
板油重 /g Perirenal fat weight	- 0.06ns	- 0.01ns	0.25**	0.13***
花油重 /g Mesenteric fat weight	- 0.08ns	- 0.03ns	0.20**	0.07
腹脂重 /g Abdominal fat weight	- 0.03ns	- 0.01ns	0.20**	0.12***
肩部膘厚 /cm Back fat thickness at 1st rib	- 0.05ns	- 0.01ns	0.19**	0.09*
胸部膘厚 /cm Back fat thickness at 6~7th rib	- 0.05ns	- 0.02ns	0.15**	0.07
腰部膘厚 /cm Back fat thickness at 1st lumbar	- 0.03ns	0.01ns	0.18**	0.11***
臀部膘厚 /cm Back fat thickness at hip joint	0.05ns	0.04ns	0.10**	0.12***

ns不显著; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

ns non-significant * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

2.3 GP及其组分与血液性状的相关性

由表 4 可知, GP 及其组分与血液性状指标除乳酸与血糖、胆固醇和 GP 与低密度脂蛋白呈极显著负相关外, 其余各组分与血液指标相关系数都小于 0.1, 且仅少数呈显著相关。

表 4 肌糖原酵解潜能及其组分与血液性状的相关系数

Tab 4 Correlation coefficients between glycolytic potential and blood indexes

	糖原 / 葡萄糖 Glycogen / glucose	六磷酸葡萄糖 Glucose-6-phosphate	乳酸 Lactate	糖原酵解潜能 Glycolytic potential
血糖 Blood glucose	0.07ns	- 0.02ns	- 0.19***	- 0.07ns
糖化血清蛋白 Glycosylated serum protein	0.06ns	0.00ns	0.05ns	0.09*
胆固醇 Total cholesterol	0.03ns	0.09*	- 0.16***	- 0.09*
甘油三酯 Triglyceride	0.01ns	- 0.01ns	0.00ns	0.01ns
高密度脂蛋白 High-density lipoprotein	0.02ns	- 0.05ns	0.03ns	0.04ns
低密度脂蛋白 Low-density lipoprotein	- 0.08*	0.09*	- 0.06ns	- 0.12**

ns不显著; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

ns non-significant * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

3 讨论

3.1 GP及其组分与肉质的关系

屠宰时肌肉 GP 是影响最终 pH 值和肉质性状的重要因素之一。Hamilton 等^[4]研究发现 GP 与 L^* 、 b^* 值呈显著正相关, 表明 GP 可导致背最长肌肉色苍白(高 L^* 值)、泛黄(高 b^* 值), 这与本文结果一致。2003 年, Moeller 等^[11]报道了背最长肌 GP 与 L^* 值 ($r = 0.40$) 和 b^* 值 ($r = 0.43$) 相关。2002 年, Hamilton 等^[12]报道 GP 影响最终 pH 值, 但不影响肉色。本实验研究结果表明, GP 与 L^* 值的相关系数较乳酸与 L^* 值的相关系数更低, 这与 Lonergan 等^[13]研究西方商业群体时得出的结论相反。造成此差异的主要原因可能是饲养条件和品种的差异。Rosenfeld 等^[14]研究发现, 在宰前 24 h 禁食且无运输刺激下, 日粮营养差异对肌肉糖原含量影响较大。李梦云等^[15]比较长撒猪与汉普夏猪在肌糖原含量与 pH 值的相关性上存在明显差异。

除 GP 对 pH 值造成影响外, 我们还发现宰后肌肉糖原酵解产生的乳酸与 $T_{45\text{min}}$ 正相关, 该结果提示屠宰时肌肉储存的糖原和糖原酵解速率对肌肉温度有影响, 酵解速率越快, 温度越高。Briskey 等^[16]也

发现屠宰时肉中糖原酵解速率过快可使肌肉温度升高或降温速度缓。

3.2 GP 及其组分与脂肪沉积性状的关系

脂肪和肌糖原都是体内重要的能量储存形式。在某种病理状态下,可观察到糖代谢与脂代谢之间的密切关系。例如,糖尿病患者的糖代谢发生障碍,同时也常伴有不同程度的脂代谢紊乱。然而,猪中有关肌肉糖原含量与脂肪性状的研究却很少。2003 年 Hamilton 等^[4]报道肌肉 GP 与其脂肪含量负相关 ($r = -0.27, P < 0.05$)。李梦云等人^[15]的结果也表明肌肉糖原含量与背膘厚负相关,但未达到显著水平。本文对白色杜洛克 × 二花脸资源家系的研究却得出了不同的结论,即肌肉糖原含量与脂肪性状几乎无关,而 GP 与脂肪沉积性状呈弱正相关。这是否提示脂肪沉积能力与肌糖原的关系因群体不同而不同,有待进一步研究。

3.3 GP 及其组分与血液性状的关系

血液中各种脂蛋白、血糖和胆固醇的含量是动物体肥胖、心血管疾病、糖尿病的重要衡量指标。然而,血液中的糖化血清蛋白、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白都是脂质转运的重要载体,胆固醇、甘油三酯都是机体血脂的组成部分。肝脏、血液和肌肉三者之间存在一个乳酸循环^[17]。当肌肉收缩通过糖酵解生成大量乳酸时,肌肉一方面要将乳酸释放入血,另一方面又要从血液中吸收血糖,这可能是肌肉中乳酸含量与血糖呈显著负相关的原因,同时我们没有发现 GP 糖原、葡萄糖与血液性状有明显相关。由于血液性状受多种因素(外环境、激素、神经和各组织代谢状态等)影响,而且血糖等含量的变化受到机体严密的调控,可能使得肌肉中的 GP 或糖原含量与检测的血液指标无直接关系。

参考文献:

- [1] Monin G, Sellier P. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post-mortem period: the case of the Hampshire breed [J]. *Meat Sci* 1985, 13: 49-63.
- [2] 张伟力. 猪肉肉质与酸度测定方法 [J]. *养猪*, 2002(2): 33-34.
- [3] Milan D, Jeon JT, Looft C, et al. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle [J]. *Science*, 2000, 288(5469): 1248-1251.
- [4] Hamilton DN, Miller KD, Ellis M, et al. Relationships between longissimus glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits and pork quality [J]. *J Anim Sci* 2003, 80(3): 617-627.
- [5] Warriss P D, Bevis E A, Ekins P J. The relationships between glycogen stores and muscle ultimate pH in commercially slaughtered pigs [J]. *Br J Vet* 1989, 145(4): 378-383.
- [6] Passonneau J V, Lowry O H. *Enzymatic analysis - a practical guide* [M]. The Human Press Inc, New Jersey, USA, 1993: 9-10.
- [7] Noll F. *Methoden der enzymatischen Analyse (2nd)* [M]. Verlag Chemie GmbH, Weinheim, FRG, 1970: 1433.
- [8] NPPC. *Official Color and Marbling Standards* [M]. Natl Pork Prod Council, Des Moines, IA, 1999: 76-83.
- [9] Homsey H C. The color of cured-cooked pork - I Estimation of the nitric-oxide-haem pigments [J]. *J Sci Food Agric* 1956, 7(8): 734.
- [10] 陈润生. *猪生产学* [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 165-169.
- [11] Moeller S J, Baas T J, Leeds T D, et al. RendementNapole gene effects and a comparison of glycolytic potential and DNA genotyping for classification of RendementNapole status in Hampshire-sired pigs [J]. *J Anim Sci* 2003, 81(2): 402-410.
- [12] Hamilton DN, Ellis M, Hemann M D, et al. The impact of Longissimus glycolytic potential and short-term feeding of magnesium sulfate heptahydrate prior to slaughter on carcass characteristics and pork quality [J]. *J Anim Sci* 2002, 80(6): 1586-1592.
- [13] Huff-Lonergan E, Baas T J, Malek M, et al. Correlations among selected pork quality traits [J]. *J Anim Sci* 2002, 80(3): 617-627.
- [14] Rosenvold K, Petersen H N, Lerke S K, et al. muscle glycogen stores and meat quality as affected by strategic finishing feeding of slaughter pigs [J]. *J Anim Sci* 2001, 79(2): 382-391.
- [15] 李梦云, 陈代文, 张克英. 肌糖原含量与猪生产性能、胴体品质及肉质性状间的关系 [J]. *中国畜牧杂志*, 2008, 44(1): 25-29.
- [16] Briskey E J, Kastensmidt L, Forrest J C, et al. Biochemical Aspects of Post-Mortem Changes in Porcine Muscle [J]. *J Agric Food Chem*, 1966, 14(3): 201-203.
- [17] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. *生物化学* [M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2005: 157.