



纯种猪与杂交猪肉质性状及营养价值比较研究

章 杰¹, 苏 军^{1,*}, 柴 捷², 娄鹏博²

(1. 西南大学荣昌校区动物科学系, 重庆 402460; 2. 四川农业大学动物科技学院, 四川 成都 611130)

摘 要: 为研究杂交对猪肌肉肉质、激素、脂肪酸、矿物元素含量和肉质相关基因表达水平的影响, 实验选取同一饲养条件下, 180 日龄的纯种长白猪、纯种约克夏猪及长白猪×约克夏猪二元杂交猪各6头, 屠宰后采集背最长肌。结果表明: 二元杂交猪与长白猪和约克夏猪相比, 其肌肉滴水损失、粗脂肪含量、胰岛素含量、多种矿物元素含量和肉质相关基因 (*RYR1*、*CAST*、*IGF2*、*PPKAG3*和*MC4R*) 表达水平显著升高 ($P<0.05$); 而其剪切力、水分含量和多不饱和脂肪酸含量显著降低 ($P<0.05$)。杂交对猪肉的肉质性状和营养成分含量影响显著, 但不能判断对其综合影响是否有益。

关键词: 猪; 杂交; 肉质性状; 营养价值

Comparison of Meat Quality and Nutritive Value of Purebred and Crossbred Pigs

ZHANG Jie¹, SU Jun^{1,*}, CHAI Jie², LOU Pengbo²

(1. Department of Animal Science, Southwest University (Rongchang), Chongqing 402460, China;
2. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: The objective of this study was to understand how hybridization affects the meat quality, hormone, fatty acid, mineral elements content and meat quality-related gene expression levels of porcine *longissimus dorsi* muscles. Landrace, Yorkshire and Landrace × Yorkshire pigs (six animals from each breed) aged 180 days under the same raising conditions were used in this study. The results showed that Landrace × Yorkshire pigs had significantly ($P < 0.05$) higher drip loss, IMF content, insulin level, mineral elements content and meat quality-related gene (*RYR1*, *CAST*, *IGF2*, *PPKAG3* and *MC4R*) expression levels and significantly ($P < 0.05$) lower shear force, moisture and polyunsaturated fatty acid contents in *longissimus dorsi* than Landrace and Yorkshire pigs, indicating that hybridization has a significant impact on meat quality traits and nutrient contents of a pig, but it is difficult to judge their combined effect is positive or negative. Therefore further research is needed.

Key words: pig; hybridization; meat quality; nutritive value

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2015) 10-0001-05

doi: 10.15922/j.cnki.rlyj.2015.10.001

根据美国农业部统计数据, 2011年全球猪肉产量及消费量为1.01 亿t, 并且保持逐年增长的稳定态势, 这完全归结于过去30 年世界各国对猪生长速度和增加瘦肉率等生长和胴体性状方面的遗传改良。但同时也出现了猪肉肉质性状急剧下降的现象, 比如PSE (pale-soft-exudative) 肉 (肉色灰白、肉质松软、有渗出物) 和DFD (dry-firm-dark) 肉 (肌肉干燥、质地粗硬、色泽深暗) 的出现。猪肉对消费者的吸引力主要取决于肉色、大理石纹和滴水损失等表型性状^[1]。目前, 消费者不仅追求食品安全和经济价值, 同时更希望得到稳定的、令人满足的风味, 这就对猪肉肉质提出了更高的要求。虽然猪

收稿日期: 2015-04-23

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (XDJK2015C125)

作者简介: 章杰 (1985—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: zhangjie813@163.com

*通信作者: 苏军 (1966—), 男, 高级实验师, 博士, 研究方向为动物营养。E-mail: 2254849908@qq.com

肉质受到许多因素的影响, 如环境、营养、运输和屠宰等, 但是品种对肉质性状的影响程度是最大的^[2]。目前, 世界上应用最广泛的商品猪主要是通过杂交育种产生的新品种, 因此, 比较纯种猪及其杂交产生的杂交猪肉的肉质性状是非常必要的。Franco等^[3]报道指出塞尔塔猪与长白猪和杜洛克猪的杂交后代比, 塞尔塔猪具有更快的生长速度和更好的胴体性状, 肉质方面前者的肌肉脂肪含量和剪切力要低于后者。Suzuki等^[4]研究表明巴克夏猪和杜洛克猪的杂交可影响脂肪沉积和脂肪品质性状。

长白猪原产于丹麦, 是世界著名的瘦肉型猪种, 其主要优点是产仔数多, 生长发育快, 省饲料, 胴体瘦肉

率高等,但抗逆性差,对饲料营养要求较高,在生产中常作为三元杂交猪(杜长大)的第一父本^[5]。约克夏猪原产于英国,是世界上分布最广的猪品种,其特点是繁殖力强、背膘薄、瘦肉多、肉质好、体格大和增重快^[6]。为了尽可能地发挥长白猪与约克夏猪的性能,育种学家将两猪种进行杂交得到了二元杂交猪,其具有生长快、饲料利用率高、瘦肉率高、抗逆性强等特点。目前,长白猪和约克夏猪及两者杂交后代是得到全世界公认并普遍应用的优良猪种,但是对其科学系统的研究还比较缺乏。因此,实验选取长白猪和约克夏猪及其杂交后代,对其肉质、激素、脂肪酸、矿物质元素和肉质相关基因表达水平进行比较分析,旨在为深入了解杂交猪的肉质性状、营养价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选用饲养于重庆地区养殖场同期、同舍饲养的肉猪18头,其中,纯种长白猪(L)、约克夏猪(Y)、L×Y二元杂交猪各6头,所选实验猪均为公猪。实验猪饲喂到180 d时屠宰,宰前24 h禁食、停止饮水,宰后立即采集倒数3~4肋骨间的背最长肌样品,将样品分为两部分,一部分新鲜样品用于测定肉质指标,另外一部分样品-80℃保存,用于测定激素、脂肪酸、矿物元素含量以及基因表达水平。

所用化学试剂均为分析纯 成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

PB303-N电子精密天平 瑞士Mettler-Toledo仪器公司; pH计 丹麦SFK公司; KJELTEC 2200凯氏定氮仪瑞典Foss公司; TA.XT Plus物性测试仪 英国Stable Micro System公司; ELx808吸收光酶标仪 美国Biotek公司; GC-14C气相色谱仪 日本Shimadzu公司; iCAP 6300 Radial电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES) 美国Thermo Fisher公司。

1.3 方法

1.3.1 肉质测定

参照Shen等^[7]的方法,测定猪肉的肉色、大理石纹、pH值、滴水损失、剪切力、水分、粗脂肪、粗蛋白、干物质和灰分含量。

1.3.2 胰岛素、胰高血糖素和肾上腺素含量测定

参照Shen等^[7]的方法测定,用酶标仪进行测定。

1.3.3 脂肪酸含量测定

参照GB/T 9695.2—2008《肉与肉制品脂肪酸测定》,用脂肪酸分析仪进行测定。

1.3.4 矿物元素含量测定

参照张玉玉等^[8]的方法,用ICP-OES进行测定。

1.3.5 基因表达水平测定

参照Zhang等^[9]的方法,用荧光定量聚合酶链式反应(quantitative polymerase chain reaction, Q-PCR)仪进行测定,引物序列见表1。

表1 Q-PCR引物序列
Table 1 Primer sequences used for Q-PCR

基因	引物序列(5'→3')	扩增长度/bp	Ensembl ID
<i>GAPDH</i> *	F: CTGGGCTACACTGAGCACC R: AAGTGGTCGTTGAGGGCAATG	101	ENSSSCG00000000694
<i>RYR1</i>	F: TGGCTCACCTATGCTGCTC R: GACAGTGCCTCGTCCATGT	101	ENSSSCG000000002961
<i>CAST</i>	F: CAAGCCGGGTGACAAGAAAA R: CCCGATGGTTTATCCGGTTTAG	81	ENSSSCG0000000014170
<i>IGF2</i>	F: GTGGCATCGTTGAGGAGTG R: CACGTCCCTCTCGGACTTG	92	ENSSSCG0000000024883
<i>MC4R</i>	F: CAGATACGGATGCACAGAGTTT R: GGATGCAAGCAAGGAGCTACA	80	ENSSSCG0000000004904
<i>PRKAG3</i>	F: CCTGGGAGTGTGAGCTAGAAG R: GTTTCGCGAGTTCGTCATCC	105	ENSSSCG0000000016200

注: *.内参基因。

1.4 数据处理

每个指标重复测定3次,用Excel整理试验数据,采用SPSS 19.0软件对两两之间的数据进行Student's *t*-test检验, $P < 0.05$ 表示差异显著,数据以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 纯种与杂交猪肉质性状比较

表2 长白猪、约克夏猪及其杂交后代的肉质性状
Table 2 Meat quality of Landrace pig, Yorkshire pig and Landrace × Yorkshire pig

指标	L	Y	L×Y
pH值	6.67±0.23 ^a	6.8±0.12 ^{ab}	6.85±0.09 ^b
亮度(L*)	42.57±2.1 ^a	40.68±1.23 ^b	42.93±1.46 ^a
红度(a*)	6.74±0.52 ^a	4.64±0.47 ^b	4.32±0.39 ^b
黄度(b*)	2.68±0.41 ^a	0.59±0.08 ^b	1.55±0.24 ^c
滴水损失/%	2.83±0.23 ^a	2.41±0.26 ^b	3.22±0.46 ^c
剪切力/kg	6.26±0.25 ^a	6.23±0.28 ^a	5.69±0.26 ^b
大理石纹	3.08±0.13 ^a	2.34±0.13 ^b	2.58±0.18 ^c
水分含量/%	74.46±0.27 ^a	75.18±2.37 ^a	72.46±0.52 ^b
粗脂肪含量/%	1.47±0.18 ^a	1.33±0.07 ^b	1.73±0.12 ^c
粗蛋白含量/%	21.65±2.24	19.13±2.54	21.58±3.22
干物质含量/%	24.94±1.35	25.47±1.12	24.27±1.58
灰分含量/%	3.93±0.09 ^a	3.08±0.09 ^b	3.35±0.11 ^c

注:同行字母不同,表示组间差异显著($P < 0.05$); L*、a*和b*分别表示亮度、红度和黄度。下同。

由表2可知, L×Y二元杂交猪的滴水损失和粗脂肪含量最高,显著高于长白猪和约克夏猪($P < 0.05$);

剪切力和水分含量最低，显著低于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)；肉色 b^* 、大理石纹和灰分含量介于长白猪和约克夏猪之间，显著低于长白猪而显著高于约克夏猪 ($P<0.05$)；肉色 L^* 最高，显著高于约克夏猪 ($P<0.05$)，与长白猪差异不显著 ($P>0.05$)；pH值最高，显著高于长白猪 ($P<0.05$)，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)；肉色 a^* 最低，显著低于长白猪 ($P<0.05$)，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)；粗蛋白和干物质含量间均差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 纯种与杂交猪激素含量比较

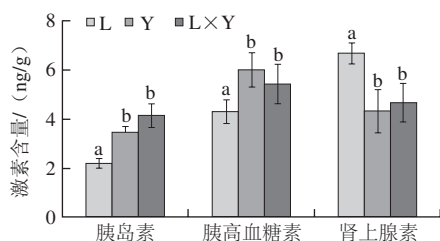


图1 长白猪、约克夏猪及其杂交后代背最长肌激素含量

Fig.1 Hormone content in longissimus dorsi of Landrace pig, Yorkshire pig and Landrace x Yorkshire pig

由图1可知，L×Y二元杂交猪的胰岛素、胰高血糖素含量显著高于长白猪 ($P<0.05$)，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)；L×Y二元杂交猪的肾上腺素显著低于长白猪 ($P<0.05$)，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 纯种与杂交猪脂肪酸含量比较

表3 长白猪、约克夏猪及其杂交后代背最长肌脂肪酸含量
Table 3 Fatty acid contents in longissimus dorsi of Landrace pig, Yorkshire pig and Landrace x Yorkshire pig

脂肪酸	L	Y	L×Y
癸酸 (C _{10:0})	0.11±0.01 ^a	0.08±0.00 ^b	0.11±0.01 ^a
月桂酸 (C _{12:0})	0.13±0.01	0.14±0.01	0.12±0.01
肉豆蔻酸 (C _{14:0})	2.42±0.18 ^a	1.92±0.08 ^b	2.33±0.10 ^a
棕榈酸 (C _{16:0})	22.78±5.56	26.57±3.99	25.73±3.45
十七烷酸 (C _{17:0})	0.13±0.02	0.15±0.01	0.17±0.02
硬脂酸 (C _{18:0})	22.68±0.78	21.44±1.03	21.69±1.29
花生酸 (C _{20:0})	0.39±0.02 ^a	0.34±0.05 ^{ab}	0.26±0.03 ^b
棕榈油酸 (C _{16:1})	0.66±0.07 ^a	0.43±0.04 ^b	0.61±0.04 ^a
油酸 (C _{18:1})	29.66±5.04	28.16±3.79	28.52±4.41
亚油酸 (C _{18:2})	19.57±1.14 ^a	19.16±1.64 ^b	18.21±1.27 ^c
饱和脂肪酸	68.65±5.01	70.64±3.83	70.41±4.44
单不饱和脂肪酸	30.32±4.98	28.59±3.83	29.13±4.43
多不饱和脂肪酸	21.03±0.76 ^a	20.77±1.01 ^b	20.45±1.34 ^c

由表3可知，L×Y二元杂交猪的花生酸和亚油酸含量最低，显著低于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)；癸酸、肉豆蔻酸和棕榈油酸含量介于长白猪和约克夏猪之间，但均显著高于约克夏猪 ($P<0.05$)，与长白猪差异

不显著 ($P>0.05$)；其他脂肪酸在3个品种之间差异均不显著 ($P>0.05$)。总体上来看，L×Y二元杂交猪的多不饱和脂肪酸含量最低，显著低于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)；饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量差异不显著 ($P>0.05$)。

2.4 纯种与杂交猪矿物质元素含量比较

表4 长白猪、约克夏猪及其杂交后代背最长肌矿物元素含量
Table 4 Mineral contents in longissimus dorsi of Landrace pig, Yorkshire pig and Landrace x Yorkshire pig

矿物质	L	Y	L×Y
钙 (Ca)	44.15±1.28 ^a	28.08±2.48 ^b	22.73±2.71 ^c
镉 (Cd)	0.02±0.00 ^a	0.01±0.00 ^b	0.09±0.00 ^c
铬 (Cr)	0.15±0.01 ^a	0.10±0.01 ^b	0.21±0.02 ^c
铜 (Cu)	3.63±0.70 ^a	0.61±0.08 ^b	0.83±0.03 ^b
铁 (Fe)	15.6±2.97 ^a	7.07±1.42 ^b	15.16±2.69 ^a
镁 (Mg)	115.01±12.16 ^a	68.02±5.61 ^b	109.95±7.85 ^a
锰 (Mn)	0.46±0.13 ^a	0.22±0.00 ^b	0.80±0.08 ^c
磷 (P)	1547.48±173.22 ^a	892.75±103.01 ^b	854.31±98.88 ^b
铅 (Pb)	0.71±0.18 ^a	0.29±0.03 ^b	0.34±0.11 ^b
硒 (Se)	0.03±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.06±0.00 ^b
硅 (Si)	16.46±2.31 ^a	15.52±0.90 ^a	9.50±0.97 ^b
锶 (Sr)	1.12±0.17 ^a	0.68±0.13 ^b	0.64±0.18 ^b
锌 (Zn)	23.38±1.73 ^a	12.43±1.24 ^b	45.20±5.47 ^c

由表4可知，Cd、Cr、Mn、Se和Zn元素在L×Y二元杂交猪肌肉中含量显著高于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)，Ca和Si元素在L×Y二元杂交猪肌肉中含量显著低于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)。Cu、Fe、Mg、P、Pb和Sr元素在L×Y二元杂交猪肌肉中含量则介于长白猪和约克夏猪，其中Cu、P、Pb和Sr元素显著低于长白猪 ($P<0.05$)，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)；Fe和Mg元素显著高于约克夏猪 ($P<0.05$)，与长白猪差异不显著 ($P>0.05$)。

2.5 纯种与杂交猪肉质相关基因表达水平比较

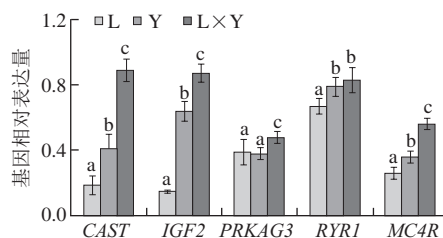


图2 长白猪、约克夏猪及其杂交后代背最长肌相关基因表达水平

Fig.2 Meat quality-related gene expression levels in longissimus dorsi of Landrace pig, Yorkshire pig and Landrace x Yorkshire pig

由图2可知，L×Y二元杂交猪肉质相关基因表达水平最高，基因CAST、IGF2、PPKAG3和MC4R的表达水平显著高于长白猪和约克夏猪 ($P<0.05$)；基因RYR1的表达水平显著高于长白猪，与约克夏猪差异不显著 ($P>0.05$)。

3 讨论

猪肌肉的滴水损失率是反映系水力的重要参数,系水力是指当肌肉受到外力作用时保持原有水分的能力,直接影响到肉的加工产量、适口性、营养价值和受消费者欢迎程度^[10-11]。本研究结果显示杂交提高了猪肌肉的滴水损失率,对肉的质地、滋味、香气、多汁性、营养成分和颜色等具有不良影响。赵改名等^[12]的研究表明滴水损失率与水分含量呈负相关关系,与本研究的結果一致($r=-0.63$),但也有其他研究结果显示水分含量与滴水损失率呈显著的正相关关系^[10,13],目前还没有相关研究对此现象做出合理的解释,故需要做进一步的研究。研究表明,肌肉系水力的下降会影响肉的嫩度,而剪切力则是反映嫩度高低的直观指标^[14],本研究结果显示杂交降低了剪切力,这与马俊鸽等^[15]的实验结果一致。肌内脂肪是影响肉质的重要因素,肌内脂肪含量的提高会改善肉的风味和多汁性^[16]。本实验结果显示杂交提高了猪肌内脂肪含量,但猪肌内脂肪的理想食用品质范围为2%~3%之间,从结果可以看出本实验所研究的2个猪品种和一个杂交组合猪均属于瘦肉型品种,其肌内脂肪含量均在2%以下,因此,杂交猪肌内脂肪含量的提高并没有显著改善肉质。

激素是许多生理生化过程的重要调节因子,对肉的嫩度、风味等肉质指标也具有重要的作用^[17]。胰岛素是一种多肽激素,通过刺激肌肉葡萄糖、氨基酸、糖原和蛋白质合成来调节血液葡萄糖水平^[18]。本实验结果显示杂交显著提高了胰岛素含量,说明杂交猪与纯种猪相比,具有较强的糖原利用和蛋白质合成能力,进而导致肌肉生长能力更强,这可能是杂交猪具有更好的生长性能及胴体性状的原因。

脂类是肉的主要风味前体物质,而脂肪酸则对肉的特殊风味具有重要的贡献^[19]。脂肪酸是人类和动物的主要燃料物质,从结构上可分为饱和、单不饱和与多不饱和脂肪酸,其中多不饱和脂肪酸的含量直接影响到肉的营养价值^[20]。本实验结果显示杂交对饱和与单不饱和脂肪酸含量没有影响,但显著降低了多不饱和脂肪酸含量,说明杂交对多不饱和脂肪酸具有不利的影响,导致肌肉营养价值下降。

矿物质元素对机体代谢具有非常重要的生理学功能,人体内大多数酶含有一个或多个矿物元素,有的矿物元素是酶反应中不可缺少的活化剂或抑制剂^[21]。矿物元素可参与激素的合成,如Zn维持胰岛素的结构和功能,I是合成甲状腺激素的原料之一,Cr、Mn、Cu、Zn等元素参与核酸的代谢。本实验结果显示杂交可显著提高肌肉中Cd、Cr、Mn、Se和Zn含量,降低Ca和Si含量,说明杂交能提高肌肉中大部分矿物元素含量。

肉质表型上的变化常常暗示着分子调控层面的差异,故本研究选取了5个已被鉴定为肉质相关的基因(*CAST*、*IGF2*、*PPKAG3*、*MC4R*和*RYR1*)进行表达水平的分析。前人的研究发现这5个基因的突变与肉质性状非常相关^[22],但很少有研究其表达水平对肉质的影响。本实验结果显示杂交均显著提高了这5个肉质相关基因的表达水平,说明基因的表达水平高低也可能会影响到肉质的优劣,但其影响机理还需进一步研究。众所周知,蛋白质是由基因转录翻译后得到的产物,因此,可以通过基因的表达水平推测出蛋白质的翻译水平,进而对肉质性质的生理功能进行调节。*CAST*基因编码的钙蛋白酶抑制剂是蛋白酶的內源抑制剂,对动物死后肉的嫩化程度和速率具有重要的调节作用^[23],研究证明,随着钙蛋白酶抑制剂活性的升高肉的嫩度逐渐下降^[24]。*IGF2*基因编码的胰岛素样生长因子2是松弛素的生长因子——胰岛素家族的一个成员,它是肌肉生长和发育的重要调节基因^[25],常被作为候选基因来评估农业动物的肉质和胴体性状。前人的研究指出,猪*IGF2*基因在非编码区的一个突变会影响基因的表达,从而影响肌肉和脂肪的沉积^[26]。*MC4R*基因编码的黑皮质素4受体是形成一个七跨膜G蛋白偶联受体的组成部分,它能够通过调节瘦素来影响体质量、食物摄入、生长发育、脂肪沉积、能量平衡和肌肉的脂质组成^[27]。活化*MC4R*基因的活性会导致食物摄入的抑制,而小鼠*MC4R*基因的靶向破坏则会导致肥胖的发生^[28]。*PRKAG3*基因编码肌肉特异性的 γ 亚基磷酸腺苷活化蛋白激酶在调节能力代谢中具有重要作用^[29]。研究表明,*PRKAG3*基因的突变会影响肉的品质,包括糖原含量^[30]、肉色^[31]、胴体组成^[32]和肌内脂肪含量^[33]。*RYR1*基因是目前最广泛已知的影响猪肉质的基因,编码兰尼碱受体蛋白,它的突变会引起动物死后pH值下降,进而导致猪应激综合症和白肌肉的发生^[34]。

4 结论

猪经过杂交改良后,虽然在生长速率和产肉率方面取得了一定的进展,但其肌肉的滴水损失率显著提高,剪切力和水分含量则显著降低,这可能是导致肉质下降的原因;从营养价值的角度来看,杂交显著降低了肌肉多不饱和脂肪酸含量,但其大部分矿物元素含量得到了显著提高,因此,不能判断杂交对猪肌肉营养价值的影响程度;另外,杂交可显著提高肉质相关基因的表达水平,但其作用机理还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] NGAPO T, MARTIN J F, DRANSFIELD E. International preferences for pork appearance: I. consumer choices[J]. Food Quality and Preference, 2007, 18(1): 26-36.



- [2] MÖRLEIN D, LINK G, WERNER C, et al. Suitability of three commercially produced pig breeds in Germany for a meat quality program with emphasis on drip loss and eating quality[J]. *Meat Science*, 2007, 77(4): 504-511.
- [3] FRANCO D, VAZQUEZ J A, LORENZO J M. Growth performance, carcass and meat quality of the Celta pig crossbred with Duroc and Landrace genotypes[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 195-202.
- [4] SUZUKI K, SHIBATA T, KADOWAKI H, et al. Meat quality comparison of Berkshire, Duroc and crossbred pigs sired by Berkshire and Duroc[J]. *Meat Science*, 2003, 64(1): 35-42.
- [5] VIDAL O, NOGUERA J L, AMILLS M, et al. Identification of carcass and meat quality quantitative trait loci in a Landrace pig population selected for growth and leanness[J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(2): 293-300.
- [6] REISH R G, ZUHAILI B, BERGMANN J, et al. Modulation of scarring in a liquid environment in the Yorkshire pig[J]. *Wound Repair and Regeneration*, 2009, 17(6): 806-816.
- [7] SHEN L Y, LEI H G, ZHANG S H, et al. The comparison of energy metabolism and meat quality among three pig breeds[J]. *Animal Science Journal*, 2014, 85(7): 770-779.
- [8] 张玉玉, 唐善虎, 胡子文. 应用微波消解/ICP-OES法测定牦牛肉中的微量元素[J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 526-528.
- [9] ZHANG J, ZHOU C W, MA J D, et al. Breed, sex and anatomical location-specific gene expression profiling of the porcine skeletal muscles[J]. *BMC Genetics*, 2013, 14: 53.
- [10] 周利华, 郭源梅, 段艳宇, 等. 在白色杜洛克×二花脸资源家系中定位影响猪肉滴水损失的QTL[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(10): 2131-2138.
- [11] 路文敏, 张建国, 刘萍. 滴水损失与汁液流失关系的研究[J]. *肉类工业*, 2010(7): 29-31.
- [12] 赵改名, 祝超智, 柳艳霞, 等. 壳聚糖对肌肉保水性的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(9): 78-81.
- [13] 鲁蒙, 巴吐尔·阿不力克木, 欧阳宇恒, 等. 冻藏时间及pH值对宰后不同部位羊肉保水性变化的影响[J]. *肉类研究*, 2013, 27(9): 26-30.
- [14] 李金平, 唐蓉. 反复冻融对肉制品品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2014(28): 9922.
- [15] 马俊鸽, 夏先林, 孙小松. 杂交对可乐猪屠宰性能和肉质性状的影响[J]. *贵州农业科学*, 2011, 39(5): 149-151.
- [16] 谭林, 姜海龙. 肌内脂肪含量与猪肉品质的相关性分析[J]. *饲料博览*, 2010(12): 11-13.
- [17] LEUNG F. Designing foods: animal product options in the marketplace[M]. Washington (DC): National Academies Press (US), 1988: 135-141.
- [18] SALTIEL A R, KAHN C R. Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism[J]. *Nature*, 2001, 414: 799-806.
- [19] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(4): 415-424.
- [20] 柏美娟, 孔祥峰, 徐海军, 等. 瘦肉型和脂肪型肥育猪胴体性状和肉质的比较研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2009(6): 178-181.
- [21] 荔霞, 齐志明, 刘永明, 等. Cu、Fe、Zn、Se复合制剂对小白鼠的毒性试验[J]. *中兽医医药杂志*, 2005, 24(1): 27-29.
- [22] DAVOLI R, BRAGLIA S. Molecular approaches in pig breeding to improve meat quality[J]. *Briefings in Functional Genomic and Proteomics*, 2007, 6(4): 313-321.
- [23] LI J, ZHANG L P, GAN Q F, et al. Association of *CAST* gene polymorphisms with carcass and meat quality traits in Chinese commercial cattle herds[J]. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 2010, 23(11): 1405-1411.
- [24] BAGATOLI A, GASPARINO E, SOARES M, et al. Expression of calpastatin and myostatin genes associated with lamb meat quality[J]. *Genetics and Molecular Research*, 2013, 12(4): 6168-6175.
- [25] FLORINI J R, EWTON D Z, COOLICAN S A. Growth hormone and the insulin-like growth factor system in myogenesis[J]. *Endocrine Reviews*, 1996, 17(5): 481-517.
- [26] van LAERE A S, NGUYEN M, BRAUNSCHWEIG M, et al. A regulatory mutation in *IGF2* causes a major QTL effect on muscle growth in the pig[J]. *Nature*, 2003, 425: 832-836.
- [27] LIU H Y, TIAN W Q, ZAN L S, et al. Association of *MC4R* gene variants with carcass and meat quality traits in Qinchuan cattle[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2009, 8(15): 3666-3671.
- [28] BUDIMIR K, DJURKIN KUŠEC I, BORIS L, et al. Possibilities of branding the pork in Croatia-review[J]. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 2014, 18: 115-121.
- [29] RYAN M T, HAMILL R M, O'HALLORAN A M, et al. SNP variation in the promoter of the *PRKAG3* gene and association with meat quality traits in pig[J]. *BMC Genetics*, 2012, 13(1): 1-17.
- [30] CIOBANU D, BASTIAANSEN J, MALEK M, et al. Evidence for new alleles in the protein kinase adenosine monophosphate-activated $\gamma(3)$ -subunit gene associated with low glycogen content in pig skeletal muscle and improved meat quality[J]. *Genetics*, 2001, 159(3): 1151-1162.
- [31] LINDAHL G, ENFÄLT A C, ANDERSEN H J, et al. Impact of *RN* genotype and ageing time on colour characteristics of the pork muscles *longissimus dorsi* and *semimembranosus*[J]. *Meat Science*, 2006, 74(4): 746-755.
- [32] ŠKRLEP M, KAVAR T, ČANDEK-POTOKAR M. Comparison of *PRKAG3* and *RYR1* gene effect on carcass traits and meat quality in Slovenian commercial pigs[J]. *Czech Journal of Animal Science*, 2010, 55(4): 149-159.
- [33] CHEN J F, DAI L H, PENG J. New evidence of alleles (V199I and G52S) at the *PRKAG3* (*RN*) locus affecting pork meat quality[J]. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 2008, 21(4): 471-477.
- [34] SELLIER P, MONIN G. Genetics of pig meat quality: a review[J]. *Journal of Muscle Foods*, 1994, 5: 187-219.