

荣昌猪不同生长阶段 肌肉营养品质的变化规律

布丽君^{1,2,3}, 解华东^{1,*}, 钟正泽¹, 张晓春¹, 李 星¹, 景绍红¹, 欧秀琼¹

(1. 重庆市畜牧科学院食品加工研究所, 重庆 402460;

2. 农业部养猪科学重点实验室, 重庆 402460; 3. 养猪科学重庆市市级重点实验室, 重庆 402460)

摘要:为探索荣昌猪不同生长阶段肌肉营养品质的变化规律,本研究分别选取了1(初生时)、25、50、90、150、240、300日龄等7个生长阶段的荣昌猪各15头进行肌肉水分、粗蛋白、鲜味氨基酸(天门冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、精氨酸)、粗脂肪、必需脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)等主要营养成分的分析。结果表明,荣昌猪肌肉水分、粗蛋白、鲜味氨基酸、粗脂肪、必需脂肪酸等重要营养物质含量均随日龄增长呈现出一定规律性的变化。初生至50日龄是荣昌猪肌肉蛋白显著增长($p < 0.05$)的阶段,也是鲜味氨基酸维持较高水平的时期,同时也是荣昌猪乳猪粗脂肪和必需脂肪酸含量维持较高水平的一个重要时期;50~150日龄阶段粗脂肪和必需脂肪酸含量处于较低水平;150~240日龄是荣昌猪肌粗脂肪、必需脂肪酸增长的另一个重要阶段,是荣昌猪特征香味形成的关键时期。

关键词:荣昌猪, 营养品质, 水分, 鲜味氨基酸, 必需脂肪酸

Nutritional quality variation of Rongchang pigs at different growth period

BU Li-jun^{1,2,3}, XIE Hua-dong^{1,*}, ZHONG Zheng-ze¹, ZHANG Xiao-chun¹,
LI Xing¹, JING Shao-hong¹, OU Xiu-qiong¹

(1. Institute of Food Science and Technology of Chongqing Academy of Animal Science, Chongqing 402460, China;

2. Key Laboratory of Pig Industry Sciences, Ministry of Agriculture, Chongqing 402460, China;

(3. Chongqing Key Laboratory of Pig Industry Sciences, Chongqing 402460, China)

Abstract: To analyze the nutritional quality variation of RongChang pigs at different growth period (newly born pigs and 25, 50, 90, 150, 240, 300 days old). 15 pigs at every periods were selected and contents of moisture, crude protein, delicious amino acids (aspartic acid, glutamic acid, alanine, glycine, arginine), crude fat, essential fatty acids (linoleic and linolenic) were measured and analyzed. The results showed that, change trend of moisture, crude protein, delicious amino acids, crude fat, essential fatty acids were regularity with the days increasing. The stage from birth to 50 days was the important stage in which crude protein was increased significantly ($p < 0.05$), and delicious amino acids, crude fat, essential fatty acids were also at the high level. The stage at 50~150 days was the stage in which crude fat and essential fatty acids were at lower level. The period from 150 to 240 days old were the other critical period of the increasing of crude fat, essential fatty acids and the formation of characteristic flavor of RongChang pigs.

Key words: Rongchang pig; nutritional quality; water content; delicious amino acids; essential fatty acids

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)07-0075-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.07.007

我国是一个猪肉生产和消费大国^[1],国家统计局最新统计数据显示,2014年我国生猪存栏4.66亿头,出栏7.35亿头,猪肉产量5671.39万t^[2]。养猪业在我国的畜牧经济总量中占有很大比重,已成为农业和农村经济的支柱产业。随着世界各国养猪业的发展,单纯提高产量和瘦肉率已远远不能满足日益增

长的消费需求,人们越来越注重肉的品质特性。我国地方猪种因肉品质优良、产子性能高等特点一直深受国内外育种专家的重视。曾有不少地方品种猪被引入到意大利、英国、美国等地,在古罗马猪、巴克夏猪及波中猪的育种中做出重要贡献。荣昌猪是我国著名三大地方良种猪之一,也是国际公认的宝贵

收稿日期: 2015-08-04

作者简介: 布丽君(1979-),女,硕士研究生,助理研究员,主要从事肉食品加工及安全控制技术研究工作, E-mail: bulijun1979@163.com。

* 通讯作者: 解华东(1980-),男,博士,副研究员,主要从事畜产品加工及安全控制相关技术研究工作, E-mail: xiehudong2004@163.com。

基金项目: 重庆市农发资金项目(13419);重庆市基本科研业务费项目(15440)。

猪种资源,已被农业部列入国家级畜禽品种资源保护名录^[3]。荣昌猪肉质鲜美,在世界范围内均属一流,受到国内外食客的普遍青睐,具有极高的商品价值^[4-6]。近年来荣昌猪产业得到了迅速发展,荣昌县(荣昌猪原产地)常年存栏荣昌猪母猪14余万头左右、常年外销仔猪150余万头、种猪40余万头,出栏商品肉猪100余万头^[7]。对荣昌猪的研究也日益深入,荣昌猪繁殖性状^[8]、荣昌猪肌内脂肪及脂肪酸含量与营养成分之间的关系^[9]、营养水平对荣昌猪生产性能的影响^[10]、渝荣Ⅰ号猪配套系^[11]等研究成果较为系统地阐述了荣昌猪的繁殖性能、生活习性、肥育性能等种质资源特性,这些研究为荣昌猪的繁育和饲养提供了重要的参考。但是,到目前为止对荣昌猪猪肉生长发育规律的研究仍然缺乏系统性。孟令军^[12]开展了荣昌乳猪理化特性及主体风味物质的研究,对荣昌乳猪的肉质理化特性做了深入系统研究,但研究仅限于乳猪,对荣昌猪整个生产阶段的指导意义不大。王庭^[13]开展脂质对荣昌猪肉风味的影响研究,从脂质与肉风味之间的关系入手研究了脂质对荣昌猪肉风味形成的影响;刘文宗等^[14-15]开展了荣昌猪肉质黏着性、硬度的研究;这些研究注重某一因素对肉的某些品质特性影响,结论可以从一个侧面反映出荣昌猪的某种肉质特性,但是研究仍缺乏系统性。开展荣昌猪不同生长阶段肌肉营养成分和风味前体物质的变化规律研究对荣昌猪产业提高管理水平、节约生产成本、提升猪肉品质、提高猪肉产品的可接受程度等都具有重要意义。

本研究拟系统分析荣昌猪不同生长发育阶段猪肉水分、粗蛋白、鲜味氨基酸、粗脂肪、必需脂肪酸等营养物质和风味前体物质随生长日龄增加的变化规律,以期对荣昌猪饲养管理水平的提高和猪肉品质的提升提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荣昌猪 荣昌猪国家资源保种场(重庆荣昌),不同生长阶段(1、25、50、90、150、240、300日龄)各15头。

Kjeltec 8100 全自动凯氏定氮仪 丹麦福斯公司; Soxtec 2055 全自动索氏抽提仪 瑞典福斯公司; Waters 2695 气相色谱 美国沃特斯公司; 日立-L8900 全自动氨基酸分析仪 日本日立公司。

1.2 实验方法

1.2.1 取样方法 1、25、50、90日龄荣昌猪的取样方法:心脏致死以后直接用手术刀进行解剖取样(背最长肌和腿肌),迅速放入取样袋,编号送检;150、240、300日龄荣昌猪取样方法^[16]:心脏致死以后褪毛、分割胴体、取样(背最长肌和腿肌),迅速放入取样袋,编号送检。

1.2.2 测定方法 冻干水分含量测定:失重法;干物质粗蛋白含量测定:全自动凯氏定氮法;粗脂肪含量测定:索氏抽提法^[17];亚油酸和亚麻酸含量测定:气相色谱法^[18-19];鲜味氨基酸(天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸)含量测定:全自动氨基酸分析仪法^[20]。

1.3 数据处理与统计分析

取每个生长阶段的荣昌猪各15头,每头猪的每个测定部位取3个平行样品进行测定,每个样品测定重复3次取平均值,营养成分结果为15头猪的平均值;最后结果使用 Excel 2007 (Microsoft Corporation)进行折线图的绘制,折线图中的数据均以平均值 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)形式表示。采用 SAS V8 系统进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 荣昌猪不同生长阶段肌肉的冻干水分含量变化

荣昌猪不同生长阶段的背最长肌和腿肌肌肉冻干水分含量随日龄增长的变化趋势见图1。由图1可以看出,荣昌猪出生以后背最长肌冻干水分含量随时间的延长逐渐降低,至25日龄时背最长肌的冻干水分含量降至观测时间段的最低值,这可能与乳猪出生前后所处的环境有关,在出生前,胎儿存在于母体的羊水中,其背最长肌冻干水分含量相对较高,出生后生长环境发生了剧烈的变化,从而导致其在25日龄内背最长肌冻干水分含量比初生时显著($p < 0.05$)降低;25日龄后逐渐适应了新的生长环境,50日龄时其背最长肌的冻干水分含量逐渐恢复到出生时的水平,50日龄以后各个阶段的背最长肌冻干水分含量均不存在显著差异($p > 0.05$)。

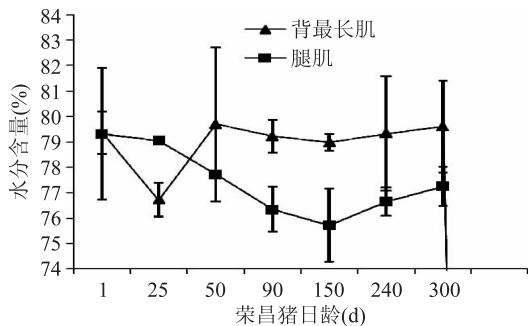


图1 背最长肌和腿肌冻干水分含量随日龄增长的变化

Fig.1 Trend of longissimus and thigh muscle moisture content with age

腿肌冻干水分含量随日龄的增长呈逐渐降低趋势。原因可能是乳猪在出生后进行大量的运动刺激肌纤维迅速生长发育,使腿肌变得紧实,并因生理需要降低了水分的持有量,从而造成冻干水分含量降低,至150日龄时降至最低。后期虽然随着肌肉组织发育的成熟,肌肉持水量有所增加,但其冻干水分含量始终低于初生时的腿肌冻干水分含量。

2.2 荣昌猪不同生长阶段肌肉的干物质粗蛋白含量变化趋势

荣昌猪不同生长阶段背最长肌和腿肌干物质粗蛋白含量随日龄增长的变化趋势见图2。由图2可以看出,背最长肌与腿肌肌肉干物质粗蛋白含量变化趋势基本一致,均随日龄的增长呈现增加趋势,50日龄前,其干物质粗蛋白含量增加最为显著,50至150日龄,肌肉干物质粗蛋白含量增加速度减缓,150日龄后,肌肉干物质粗蛋白含量基本稳定。以上分析结果表明,50日龄前是荣昌猪肌肉蛋白质快速生长的关键时期。

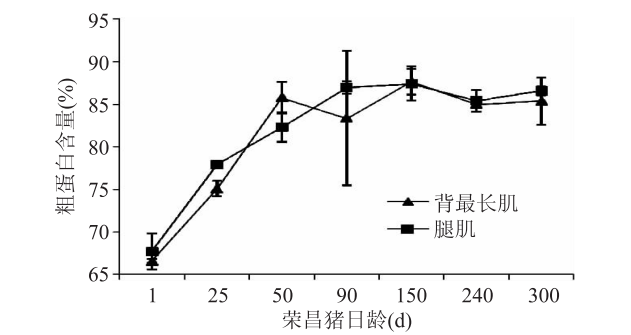


图2 背最长肌和腿肌干物质粗蛋白含量随日龄增长的变化趋势

Fig.2 Trend of longissimus and thigh muscle crude protein content(DM) with age

2.3 荣昌猪不同生长阶段猪肉的鲜味氨基酸含量变化

鲜味氨基酸含量随日龄的变化趋势见图3(a~e)。天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、精氨酸等氨基酸是肉中重要的鲜味(前体)物质,与5'-肌酐酸、5'-鸟苷酸等鲜味物质一起被称为鲜味氨基酸。

天门冬氨酸(图3a)、谷氨酸图(3b)、精氨酸(图3e)三种鲜味氨基酸含量在初生至50日龄阶段增加显著($p < 0.05$),50日龄时达到最高水平,50~150日龄维持在最高水平,150日龄之后含量逐渐降低。腿

肌和背最长肌天门冬氨酸、谷氨酸、精氨酸含量在25日龄前和240日龄后均存在显著($p < 0.05$)差异(腿肌含量显著高于背最长肌),在50~150日龄差异不显著($p > 0.05$);

背最长肌甘氨酸(图3c)含量随时间增加变化的规律性不强,但含量总体呈降低趋势,至240日龄时背最长肌甘氨酸含量显著低于($p < 0.05$)初生时的含量;腿肌甘氨酸含量从初生到50日龄呈显著增加($p < 0.05$)趋势,50日龄达到观测阶段的最大值,50日龄后呈阶梯式降低趋势,具体表现为50~90日龄显著降低($p < 0.05$),90~150日龄变化不显著($p > 0.05$),150~240日龄又出现显著降低($p < 0.05$),240~300日龄变化不显著($p > 0.05$)。

背最长肌丙氨酸(图3d)出生至50日龄含量显著增加($p < 0.05$),至50日龄时达到观测时段最大值,随后含量显著降低($p < 0.05$),至150日龄降至最低值,150日龄后又显著升高($p < 0.05$),240日龄后趋于稳定;而腿肌丙氨酸在出生至50日龄含量显著增加($p < 0.05$),至50日龄时达到观测时段最大值,随后含量逐渐降低($p > 0.05$),至240日龄降至最低值,240日龄后又缓慢升高($p > 0.05$)。

2.4 荣昌猪不同生长阶段肌肉的粗脂肪含量变化

荣昌猪不同生长阶段背最长肌和腿肌粗脂肪含量随日龄增长的变化趋势见图4。由图4可以看出,

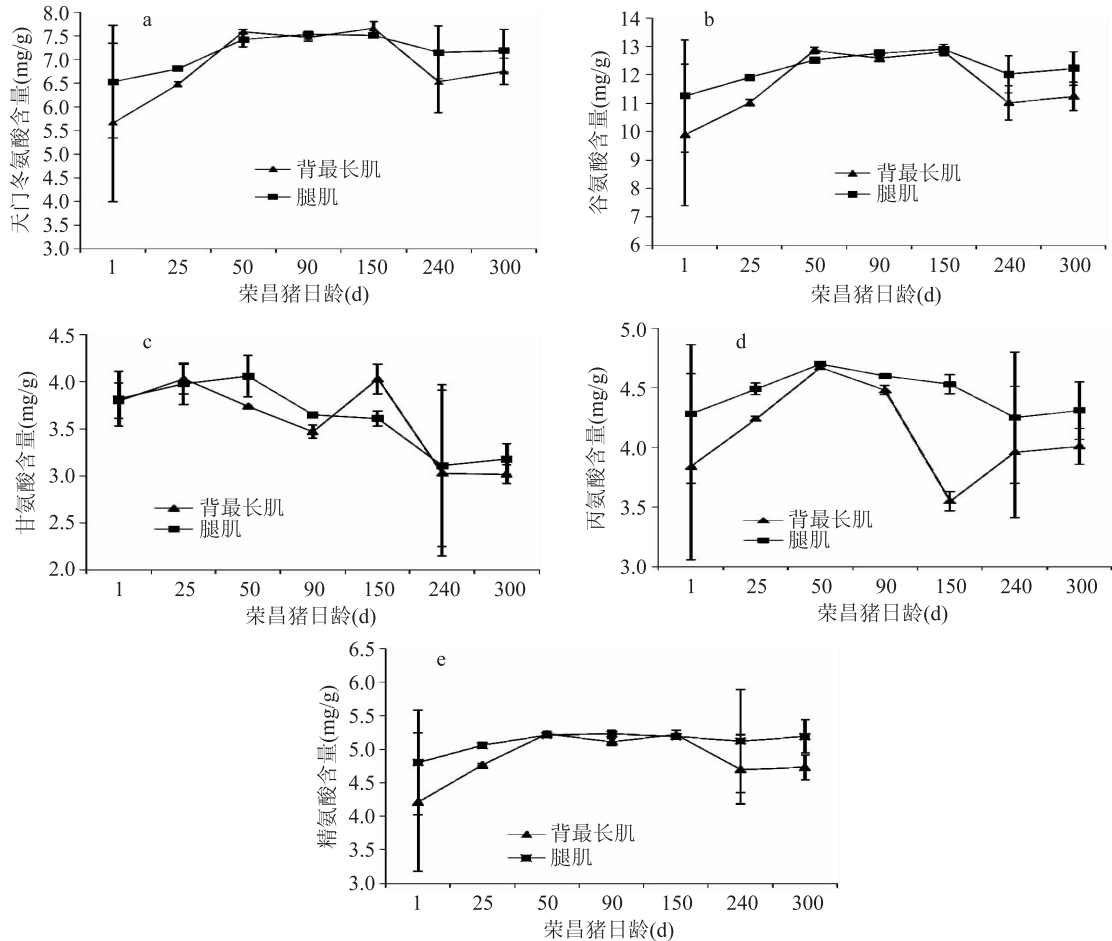


图3 荣昌猪背最长肌和腿肌鲜味氨基酸含量随日龄的变化

Fig.3 Trend of longissimus and thigh muscle delicious amino acids with age

初生乳猪背最长肌与腿肌肌肉粗脂肪含量接近,初生至 25 日龄粗脂肪含量显著增高($p < 0.05$),25 日龄时两部位粗脂肪含量均达到观测阶段的最大值,且背最长肌含量显著高于($p < 0.05$)腿肌;25~50 日龄两部位粗脂肪含量均显著降低($p < 0.05$),50 日龄后背最长肌粗脂肪含量一直低于($p > 0.05$)腿肌,二者的变化趋势始终保持一致,且差异不显著($p > 0.05$);50~150 日龄两部位粗脂肪含量降至观测阶段的最低水平,150~240 日龄两部位的粗脂肪含量均显著增高($p < 0.05$),240 日龄后两部位粗脂肪含量变化均不显著($p > 0.05$)。

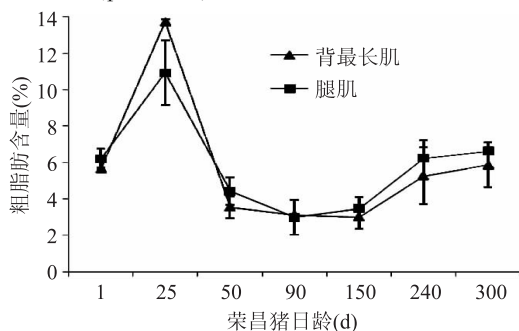


图4 背最长肌和腿肌肌肉粗脂肪含量随日龄增长的变化

Fig.4 Trend of longissimus and thigh muscle crude fat with age

2.5 荣昌猪不同生长阶段肌肉的亚油酸和亚麻酸含量变化

荣昌猪不同生长阶段肌肉亚油酸和亚麻酸含量随日龄的变化趋势见图5和图6。由图5可以看出,在观测范围内背最长肌亚油酸含量在25日龄时达到最高水平,而腿肌的亚油酸含量在50日龄时达到最高水平,之后均显著($p < 0.05$)降低,至90日龄降至最低水平,150日龄后缓慢增加($p > 0.05$),240日龄后含量变化均不显著($p > 0.05$)。由图6可以看出,背最长肌和腿肌亚麻酸变化趋势与亚油酸变化趋势基本一致,区别在于亚麻酸含量在150~240日龄的增加趋势较亚油酸显著($p < 0.05$)。

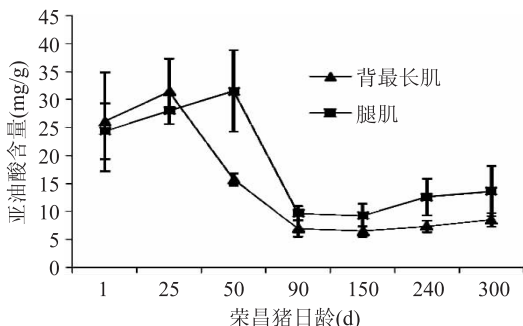


图5 亚油酸含量随日龄的变化

Fig.5 Trend of linoleic acid with age

3 讨论

3.1 肌肉水分含量的变化趋势

水分是猪肉中含量最高的营养成分,对猪肉食用品质的形成和加工性能保持有重要作用。研究发现,随着日龄的增长,荣昌猪腿肌水分含量总体呈下降趋势,300日龄肌肉水分含量显著低于($p < 0.05$)

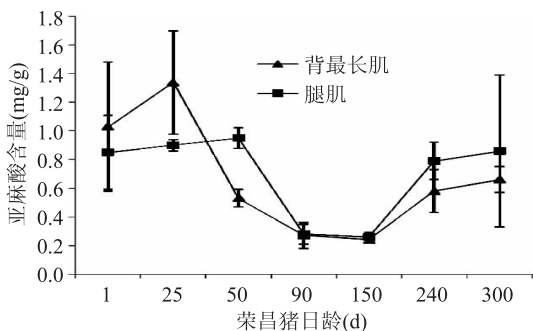


图6 亚麻酸含量随日龄的变化

Fig.6 Trend of linolenic acid with age

初生时肌肉水分含量。这与陈代文等^[21]对生长育肥猪肉肉质性状发育规律的研究结果及张家富^[22]对陆川猪肌肉水分含量发育的研究结果一致,该趋势符合动物机体组织成分生长发育的一般规律^[23]。背最长肌水分含量至300日龄时与出生时差异不显著。腿肌和背最长肌的水分含量结果均比包海生^[24]的测定结果略高,这可能与水分含量的测定方法不同有关,本文采用真空冷冻干燥法测定肉的水分含量,肉样处理的粒度更细,样品干燥的更彻底,导致结果偏大。

3.2 肌肉粗蛋白和鲜味氨基酸的变化趋势

猪肉中的蛋白质含量仅次于水分含量,是肉的重要组成部分,也是人类膳食中不可或缺的营养组分^[25]。实验结果显示,荣昌猪由初生至50日龄阶段肌肉粗蛋白含量、鲜味氨基酸含量均显著增加($p < 0.05$),该阶段是肌肉粗蛋白含量、鲜味氨基酸含量快速增长的关键时期;50日龄荣昌猪背最长肌和腿肌粗蛋白干物质含量达到了85%左右,谷氨酸干物质含量达到12.5%左右,天门冬氨酸干物质含量达到7.5%左右,粗蛋白和鲜味氨基酸的快速增加为荣昌猪猪肉肉质的改善和乳猪最终风味的形成奠定了物质基础。这与孟令军^[12]对荣昌猪乳猪理化特性及主体风味的研究结论具有一致性。同时也与郭辽朴^[26]对荣昌乳猪与PIC乳猪不同部位肌肉理化特性及主体风味物质研究所得结论相吻合。这一结论为荣昌猪烤乳猪的屠宰时间确定提供了理论依据,在饲养过程中对乳猪饲料粗蛋白的强化和乳猪饲养效率的提高均具有重要的指导意义。

3.3 肌肉粗脂肪和必需脂肪酸的变化趋势

肌肉粗脂肪和必需脂肪酸是体现猪肉香味的重要物质,是猪肉品质的重要影响因素。本研究结果表明,150~240日龄阶段是荣昌猪肌肉粗脂肪、必需脂肪酸含量快速增长的时期,至240日龄基本达到荣昌猪育肥阶段的最大值。结果提示150~240日龄阶段可能是荣昌猪特征香味形成的重要时期。而肌肉粗脂肪、必需脂肪酸含量的变化在一定程度上可以为荣昌猪的屠宰时间提供重要参考。

4 结论

荣昌猪肌肉水分、粗蛋白、鲜味氨基酸、粗脂肪、必需脂肪酸等重要营养物质含量均随日龄增长呈现出一定规律性的变化。初生至50日龄是荣昌猪肌

肉蛋白质显著增长($p < 0.05$)的阶段,也是鲜味氨基酸维持较高水平的时期,同时也是荣昌猪乳猪粗脂肪和必需脂肪酸含量维持较高水平的一个重要时期;50~150 日龄阶段粗脂肪和必需脂肪酸含量处于较低水平;150~240 日龄是荣昌猪肌肉水分、粗脂肪、必需脂肪酸增长的另一个重要阶段,是荣昌猪猪肉特征香味形成的关键时期。

参考文献

- [1] 李晓,赵颖文,陈春燕.我国猪肉消费市场特征及发展趋势分析[J].软科学,2011,25(3):88-94.
- [2] 中华人民共和国国家统计局 2014 年统计数据[DB/OL], <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>, 2015-10-12.
- [3] 中华人民共和国农业部公告第 662 号[EB/OL], http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/gg/200606/t20060609_626418.htm, 2006-06-07.
- [4] Ling Gan, Liwei Xie, Fuyuan Zuo, et al. Transcriptomic analysis of Rongchang pig brains and livers[J].Gene, 2015, 560, 96-105.
- [5] Ling Liu, Jingdong Yin, Wei Li, et al. Construction of a bacterial artificial chromosome library for the Rongchang pig breed and its use for the identification of genes involved in intramuscular [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications. 2010, 391, 1280-1284.
- [6] Zhen Zeng, Bing Yu, Xiangbing Mao, et al. Effects of dietary digestible energy concentration on growth, meat quality, and PPAR γ gene expression in muscle and adipose tissues of Rongchang pig lets[J].Meat Science, 2012, 90, 66-70.
- [7] 赵敏,张庭科,郝静,等.荣昌猪的品种特性与发展现状[J].中国畜牧通讯,2009,22:32-34.
- [8] 张毅,向钊,朱丹,等.荣昌猪繁殖性状的研究[J].中国畜牧杂,2004,40(5):52-54.
- [9] 周晓容,杨飞云,黄萍,等.营养水平对荣昌猪肌肉脂肪、脂肪酸含量的影响研究[J].饲料工业,2010,31(23):14-17.
- [10] 岳涛,尹靖东,李凤娜,等.日粮赖氨酸和消化能水平对荣昌猪生产性能和胴体品质的影响[J].单胃动物营养,2007, 43(9):18-21.
- [11] 渝荣 I 号猪配套系"通过国家畜禽遗传资源委员会猪专业委员会审定[J].畜禽业,2007(3):14.

- [12] 孟令军.荣昌乳猪理化特性及主体风味物质的研究[D].北碚:西南大学,2008.
- [13] 王庭.脂质对荣昌猪肉风味的贡献研究[D].北碚:西南大学,2011.
- [14] 刘文宗,周勤飞.荣昌猪肉质的黏着性分析研究[J].肉类研究,2012,26(9):23-25.
- [15] 刘文宗,周勤飞.荣昌猪肉质的硬度分析研究[J].肉类研究,2012,26(8):26-29.
- [16] Cheng Zhang, Junqiu Luo, Bing Yu, et al. Dietary resveratrol supplementation improves meat quality of finishing pigs through changing muscle fiber characteristics and antioxidative status[J]. Meat Science, 2015, 102, 15-21.
- [17] 黄启超.猪肉脂肪概念及其测定方法研究[J].食品科技, 2006, 31(8):134-138.
- [18] Paolo Polidori, Stefania Pucciarelli, Ambra Ariani, et al. A comparison of the carcass and meat quality of Martina Franca donkey foals aged 8 or 12 months[J].Meat Science, 2015, 106, 6-10.
- [19] Kaja Tikk, Meelis Tikk, Margit D. Aaslyng, et al. Significance of fat supplemented diets on pork quality-Connections between specific fatty acids and sensory attributes of pork [J]. Meat Science, 2007, 77, 275-286.
- [20] Mohamed A. Rabie, Cidalia Peres, F. Xavier Malcata. Evolution of amino acids and biogenic amines throughout storage in sausages made of horse, beef and turkey meats [J]. Meat Science, 2014, 96, 82-87.
- [21] 陈代文,张克英,胡祖禹,等.营养水平及性别对生长育肥猪肉质性状发育规律的影响[J].四川农业大学学报,2002, 20(1):1-5.
- [22] 张家富.陆川猪若干种质特性基础研究[D].南宁:广西大学,2012,6.
- [23] Lawrie R A. Meat Science[M]. 5th edition. Oxford: Pergamon Press, 1991.
- [24] 包海生.荣昌猪与长荣猪肉质变化规律研究[D].北碚:西南大学,2007.
- [25] 孙玉民,罗明.畜禽肉品学[M].济南:山东科学技术出版社,1993.
- [26] 郭辽朴.荣昌乳猪与 PIC 乳猪不同部位肌肉理化特性及主体风味物质研究[D].北碚:西南大学,2009.

(上接第 74 页)

- extractions and structural characterization of lignin with ethanol and alkali from bamboo (*Neosinocalamus affinis*) [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 37(5):51-60.
- [23] D Manns, A L Deuschle, B Saake, et al. Methodology for quantitative determination of the carbohydrate composition of brown seaweeds (Laminariaceae) [J]. RSC Advances, 2014, 49(4):736-746.
 - [24] Ling Yan Meng, Su Min Kang, Xue Ming Zhang, et al. Fractional pretreatment of hybrid poplar for accelerated enzymatic hydrolysis: Characterization of cellulose-enriched fraction [J]. Bioresource Technology, 2012, 110:308-313.
 - [25] 王晟,张乔会,王建中,等.木瓜蛋白酶制备山杏源降糖

- 肽工艺优化研究[J].食品工业科技,2014,35(9):169-173.
- [26] Chen Dan jun, Fan Jun ting, Wang Peng, et al. Isolation identification and antioxidative capacity of water-soluble phenylpropanoid compounds from *Rhodiola crenulata* [J]. Food Chemistry, 2012, 134(4):2126-2133.
- [27] 黎云龙,于震宇,邹海燕,等.骏枣多糖提取工艺优化及其抗氧化活性[J].食品科学,2015,36(4):45-49.
- [28] 高英,叶小利,李学刚,等.黄精多糖的提取及其对 α -葡萄糖苷酶抑制作用[J].中成药,2010,32(12):2133-2137.
- [29] 张淑鹏,李琳琳,木合布力·阿布力孜,等.昆仑雪菊提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用[J].现代生物医学进展, 2011, 11(6):1055-1058.