



畜牧兽医学报
Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica
ISSN 0366-6964, CN 11-1985/S

《畜牧兽医学报》网络首发论文

题目： 荣昌猪和三元杂交猪胴体性状、肉品质及风味物质差异研究
作者： 胡颖，周晓容，黄金秀，杨飞云，李敬，汤超华，赵青余，杨悠悠，张凯，张军民
收稿日期： 2022-10-24
网络首发日期： 2023-03-02
引用格式： 胡颖，周晓容，黄金秀，杨飞云，李敬，汤超华，赵青余，杨悠悠，张凯，张军民. 荣昌猪和三元杂交猪胴体性状、肉品质及风味物质差异研究[J/OL]. 畜牧兽医学报. <https://kns.cnki.net/kcms/detail//11.1985.S.20230301.1723.004.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

荣昌猪和三元杂交猪胴体性状、肉质及风味物质差异研究



胡颖^{1,2}, 周晓容³, 黄金秀³, 杨飞云³, 李敬⁴, 汤超华², 赵青余²,
杨悠悠², 张凯^{1*}, 张军民^{2*}

(1.青岛农业大学动物科技学院, 青岛 266109; 2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193; 3.重庆市畜牧科学院, 重庆 408599; 4.郑州大学农学院, 河南 450001)

摘要: 旨在探讨荣昌猪与三元杂交猪胴体性状、肉质及风味品质差异, 为进一步解释荣昌猪风味特征提供基础数据。本试验选取健康状况良好, 出栏期体重相近, 性别各半的三元杂交猪((117.75±7.19) kg) (n=8)和荣昌猪((112.40±8.78) kg) (n=10)作为研究对象, 屠宰后测定胴体性状、常规肉质等; 感官仿生评价技术测定猪肉的滋味轮廓、气味轮廓; 运用 SPME-GC-MS 技术测定猪肉中挥发性风味物质。结果表明: 1)与三元杂交猪相比, 荣昌猪胴体直长、胴体斜长、眼肌面积显著降低($P<0.05$), 平均背膘厚极显著增加($P<0.01$)。2)与三元杂交猪相比, 荣昌猪背最长肌 a^* _{45 min}、 a^* _{24 h}、内聚性显著升高($P<0.05$); L^* _{24 h}、滴水损失、剪切力和硬度显著降低($P<0.05$)。3)电子舌分析显示荣昌猪和三元杂交猪背最长肌的滋味轮廓存在明显差异, 荣昌猪的鲜味丰富度和咸味响应值显著升高($P<0.05$)。4)电子鼻分析显示荣昌猪和三元杂交猪背最长肌的气味轮廓存在明显差异, 主要对醇类、醛类和酮类响应的传感器 W2S 在荣昌猪中响应值极显著升高($P<0.01$)。5)基于 HS-SPME-GC-MS 技术在荣昌猪和三元杂交猪背最长肌中共鉴定到 76 种挥发性风味物质, 其中 16 种关键挥发性风味物质在荣昌猪中显著升高(VIP>1 且 $P<0.05$)。荣昌猪肉色鲜红, 肉质更嫩, 系水力较好, 己醛、戊醛、2,3-辛二酮、乙酸乙酯、丁酸烯丙酯、2-乙基呋喃等 16 种挥发性风味物质可能对荣昌猪和三元杂交猪的风味差异形成发挥重要作用, 为促进荣昌猪种质资源开发利用提供基础数据。

关键词: 荣昌猪; 三元杂交猪; 胴体性状; 肉质; 风味物质

中图分类号: S828.2

文献标志码: A

Research on the Differences of Carcass Traits, Meat Quality and Flavor Substances between Rongchang and Duroc×Landrace×Yorkshire Pigs

HU Ying^{1,2}, ZHOU Xiaorong³, HUANG Jinxiu³, YANG Feiyun³, LI Jing⁴,
TANG Chaohua², ZHAO Qingyu², YANG Youyou², ZHANG Kai^{1*}, ZHANG Junmin^{2*}

(1. College of Animal Science and Technology, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 2. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 408599, China; 4. School of Agricultural Sciences, Zhengzhou University, Henan 450001, China)

Abstract: The purpose of this experiment was to evaluate the differences in carcass traits, meat quality, and flavor quality between Rongchang (RC) pigs and Duroc×Landrace×Yorkshire (DLY) pigs, in order to provide basic data for further interpretation of the flavor characteristics of Rongchang pigs. DLY pigs (117.75±7.19 kg) (n=8) and RC pigs (112.40±8.78 kg) (n=10) in good health, with similar weights at slaughtering time were selected for the study; each group consisting of half female and male. The volatile flavor substances in pork were determined using SPME-GC-MS technique. The Results showed that: 1) Compared with the DLY pigs, the straight length, oblique length, and eye muscle area of RC pigs decreased significantly ($P<0.05$), while the average back fat thickness significantly

收稿日期: 2022-10-24

基金项目: 重庆荣昌农牧高新技术产业研发专项 (cstc2020ngzx0005); 中国农业科学院科技创新工程 (ASTIP-IAS-12)

作者简介: 胡颖(1997-), 女, 山东青岛人, 硕士生, 主要从事肉质评价研究, E-mail: YingHu0213@163.com

***通信作者:** 张凯, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: zhangkai@qau.edu.cn; 张军民, 主要从事动物营养与畜产品质量安全研究, E-mail: zhangjunmin@caas.cn

increased ($P<0.01$). 2) Compared with the DLY pigs, *longissimus dorsi muscle* $a^*_{45\text{ min}}$, $a^*_{24\text{ h}}$ cohesion of RC pigs significantly increased ($P<0.05$); whereas $L^*_{24\text{ h}}$ dripping loss, shear force and hardness significantly reduced ($P<0.05$). 3) Electronic tongue analysis showed that the taste profile of the *longissimus dorsi muscle* of RC pigs were significantly different from that of DLY pigs, and the taste richness and saltiness response value of RC pigs significantly increased ($P<0.05$). 4) Electronic nose analysis showed that the odor profile of the *longissimus dorsi muscle* of RC pigs were significantly different from that of DLY pigs. The response value of W2S sensor, which mainly responded to alcohols, aldehydes and ketones, was significantly increased in RC pigs as well ($P<0.01$). 5) Based on HS-SPME-GC-MS technology, 76 volatile flavor compounds were identified in the *longissimus dorsi muscle* of RC pigs and DLY pigs. Among them, 16 keys volatile flavor compounds were significantly increased in RC pigs (VIP>1 and $P<0.05$). RC pig has bright red color, and high quality of meat tenderness and water power. Sixteen volatile flavor substances, including hexanal, valeraldehyde, 2,3-octanedione, ethyl acetate, allyl butyrate, and 2-ethylfuran, may play an important role in the formation of flavor differences between RC pigs and DLY pigs. Overall, these findings provide basic data for promoting the development and utilization of RC pig germplasm resources.

Key words: Rongchang pigs; Duroc×Landrace×Yorkshire pigs; Carcass traits; Meat quality; Flavor substances

* **Corresponding authors:** ZHANG Kai, E-mail: zhangkai@qau.edu.cn; ZHANG Junmin, E-mail: zhangjunmin@caas.cn

猪肉是人类膳食中蛋白质、脂肪、必需氨基酸、矿物质、维生素以及其他营养物质的重要来源之一^[1-2]。目前我国市场上猪肉的主要品种为三元杂交猪，其饲料利用率高、生长速度快、眼肌面积大、瘦肉率高，通常在6月龄体重达120 kg时出栏。随着人们经济水平的提高和消费观念的转变，肉质鲜美、风味独特、优质绿色的地方品种猪肉逐渐受到消费者的喜爱。肉品质是包括食用、营养、技术、卫生、人文五大品质的一个复合性状和概念，其中食用品质是影响消费者产生购买决策的重要属性^[3-4]。肉品质受到品种、遗传、饲养管理环境和屠宰加工等因素影响，其中品种特性是影响肉品质的重要因素之一^[5]。

荣昌猪是我国优质地方品种猪，主要分布在我国重庆市荣昌县及四川省隆昌县的东部，具有适应性强、杂交配合力好、遗传性能稳定、肉质优良等优点^[6]，被《中国畜禽遗传资源志 猪志》、《国家畜禽遗传资源保护名录》和《世界家畜品种及名种辞典》^[7]收录。荣昌猪肉是川渝地区回锅肉、腌制腊肉、烤肉等传统菜肴的优质原料。章杰等^[8]研究表明，与杜洛克猪肉相比，荣昌猪肉肌内脂肪含量显著升高，剪切力降低，富含单不饱和脂肪酸。周晓容等^[9]发现，日粮营养水平对生长育肥期荣昌猪背最长肌的肌内脂肪、饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸和必须脂肪酸含量均无显著影响。李睿等^[10]研究发现蒸制、炒制、烤制、熏制肉和熏制香肠5种加工类型荣昌猪肉挥发性风味物质指纹图谱存在明显差异，3-甲基丁醛、戊醛是炒制、烤制荣昌猪的特征风味物质。王庭^[11]研究发现，磷脂对荣昌猪肉的特征性风味和肉香味作用明显。刘文宗和周勤飞^[12-13]研究发现，荣昌猪半腱肌和冈下肌的硬度值最大，腹壁肌黏着性最大。Lu等^[14]比较了三元杂交猪、荣昌猪、莱芜猪、大花白猪、蓝塘猪和通城猪背最长肌中挥发性风味物质，发现与三元杂交猪相比，5种地方品种猪共有23种挥发性风味物质的浓度发生显著改变。综上，国内外对荣昌猪肉品质研究主要集中于生长阶段、日粮营养水平、部位和加工方式等因素对肉品质的影响，但是关于荣昌猪肉与三元杂交猪肉滋味轮廓、气味轮廓和特征挥发性风味物质的研究相对较少。

为更好开发和利用重庆市优良地方品种荣昌猪，变资源优势为经济优势，满足生猪产业高质量发展的优质种猪需求以及多元化优质猪肉消费市场需求，本试验以纯种荣昌猪为研究对象，通过与消费市场上常见的三元杂交猪比较，对胴体性状、肉品质、滋味轮廓、气味轮廓及挥发性风味物质等指标进行检测，系统研究荣昌猪食用品质，为地方品种猪肉品质评价提供相对完整的基础数据，同时也为消费者挑选优质猪肉提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验设计

试验依托于重庆市畜牧科学院进行，在重庆市畜牧科学院试验基地进行样品采集。试验选取健康状况良好，出栏期体重相近，性别各半的三元杂交猪((117.75±7.19) kg) (n=8)和荣昌猪((112.40±8.78) kg) (n=10)，在环境可控条件下饲养，各自按照其营养需求进行饲喂，试验期内动物自由采食和饮水。试验期结束，所有动物宰前禁食 12 h，按标准化流程进行电击晕、放血、脱毛、去除内脏、劈半、清洗等，测定胴体性状。取左侧背最长肌，剔除皮下脂肪和结缔组织，于-20 ℃保存待测。

1.2 试验材料

HI99163 便携式 pH 计(意大利 Hanna)，CR-400 色差计(日本柯尼卡美能达)，TA.XT Plus 物性测试仪(英国 SMS)，BSA224S-CW 电子天平(德国赛多利斯)，SA402B 电子舌(日本 INSENT)，PEN3 电子鼻(德国 Aisense)，ST 255 Soxtec 索氏抽提仪(丹麦 FOSS)，TRACE1310 气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo)，DB-3AB 电加热板(上海力辰邦西)，甲醇、无水乙醇、无水乙醚(天津福晨)，氯化钾、氯化钠、氯化银(国药)，酒石酸(麦克林)，2-甲基-3-庚酮、正构烷烃(C7~C40)(Sigma-Aldrich)。

1.3 检测指标

1.3.1 胴体性状测定 参照我国农业行业标准 NY/T 825—2004 《瘦肉型猪胴体性状测定技术规范》^[15]屠宰分割，并进行胴体性状测定，测定指标包括宰前活重、胴体重、胴体直长、胴体斜长、平均背膘厚和眼肌面积，并计算屠宰率。其中胴体直长是由枕寰关节底部前缘(第一颈椎凹陷处)至耻骨联合前缘中线的距离；胴体斜长是由第一肋骨与胸骨结合处至耻骨联合中线的距离。

屠宰率(%)=(胴体重/宰前活重)×100。

1.3.2 常规肉品质指标测定 参照我国农业行业标准 NY/T 2793-2015 《肉的食用品质客观评价方法》^[16]测定 pH、肉色、滴水损失和蒸煮损失。剪切力和质构剖面分析参考 Li 等^[17]报道的方法测定。肌内脂肪采用以无水乙醚为溶剂的索氏抽提法 GB/T 5009.6-2016 《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[18]测定。肌内脂肪的含量以湿基计。

1.3.3 感官仿生评价(电子舌) 样品于 80 ℃水浴加热 60 min，冷却，液氮研磨成粉。称取 5 g 研磨样品于 50 mL 离心管中，加入 20 mL 预热超纯水(38 ℃)，涡旋 30 min，再加入 20 mL 预热超纯水(38 ℃)，37 ℃下超声 30 min，室温下 5 000 r·min⁻¹离心 10 min，将上清液倒入砂芯漏斗中抽滤，量取体积并于上机前稀释 2 倍。试验时酸味、咸味、鲜味、苦味、涩味循环测试 4 次，清洗时间 330 s，检测时间 30 s。SA-402B 电子舌传感器特点及性能见表 1。

表 1 SA-402B 电子舌传感器特点及性能

Table 1 Characteristics and performance of SA-402B electronic tongue sensor

传感器名称 Sensor name	基本味(相对滋味) Basic taste (relative taste)	回味 Aftertaste
酸味传感器 Acid taste sensor	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器 Bitter sensor	苦味(苦味物质引起的味道，在低浓度下被感知为丰富性)	苦味回味(啤酒、咖啡等一般食品的苦味)
涩味传感器 Astringency sensor	涩味(涩味物质引起的味道，低浓度下感知为刺激性味道)	涩味回味(茶、红酒等呈现的涩味)
鲜味传感器 Taste sensor	鲜味(氨基酸、核酸引起的鲜味)	无
咸味传感器 Salty taste	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无

sensor

1.3.4 感官仿生评价(电子鼻) 称取 1 g 研磨样品于 10 mL 顶空瓶中(尽量避免样品粘到顶空瓶内壁), 室温平衡 20 min, 60 °C 孵育 30 min, 放置室温平衡 20 min。样品进样速率为 400 mL·min⁻¹, 载气速率 400 mL·min⁻¹, 清洗时间 300s, 检测时间 400 s。PEN3 电子鼻性能特点和参数见表 2。

表 2 PEN3 电子鼻性能特点和参数

Table2 Sensor array and performance characteristics of PEN3 electronic nose

传感器名称	性能特点	参考物质及检测限
Sensor name	Performance characteristics	Reference material and detection limit
W1C	主要检测芳香族化合物	甲苯, 10×10 ⁻⁶
W5S	主要检测氮氧化合物	NO ₂ , 1×10 ⁻⁶
W3C	主要检测氨气及芳香族化合物	苯, 10×10 ⁻⁶
W6S	主要检测氢气	H ₂ , 100×10 ⁻⁶
W5C	主要检测烷烃类化合物、芳香族化合物以及弱极性化合物	丙烷, 1×10 ⁻⁶
W1S	响应物质范围广, 对环境中的甲烷敏感	CH ₄ , 100×10 ⁻⁶
W1W	对含硫有机物、萜烯类、吡嗪类化合物敏感	H ₂ S, 1×10 ⁻⁶
W2S	响应物质范围广, 主要检测醇类、醛类和酮类敏感	CO, 1×10 ⁻⁶
W2W	主要检测芳香族化合物以及含硫有机化合物	H ₂ S, 1×10 ⁻⁶
W3S	对长链烷烃芳香物质敏感	CH ₃ , 100×10 ⁻⁶

1.3.5 挥发性风味物质测定 称取 3 g 研磨样品于 20 mL 顶空瓶中, 加入 10 μL 0.05 μg·μL⁻¹ 2-甲基-3-庚酮-甲醇溶液, 拧紧 Silicon-PTFE 瓶盖, 55 °C 孵育 20 min, 然后采用 SPME (50/30 μm, DVB/CAR/PDMS, Supelco)充分萃取顶空中挥发性风味物质, 萃取温度 55 °C, 萃取时间 40 min, 解吸附温度 250 °C, 解吸附时间 3 min。挥发性风味物质经 VF-WAXms 气相色谱柱分离后进行质谱分析。气相条件: 色谱柱, VF-WAXms 毛细管柱 (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm, Agilent Technologies); 载气, 高纯度氦气; 载气流速, 1.0 mL·min⁻¹; 分流比 5:1。升温程序: 初始温度 40 °C, 以 4 °C·min⁻¹ 升至 230 °C, 保持 5 min。质谱条件: 电子轰击离子源, 电子能为 70 eV, 全扫描模式, 质量范围为 (40~400)m·z⁻¹, 分辨率为 60 000 FWHM (Full width half Maximum), 自动增益值为 1 × 10⁶; 离子源温度为 280 °C, 传输线温度为 250 °C, 所有样品均重复测定 3 次。

GC-Orbitrap-MS 数据采用 Thermo Scientific Trace Finder 进行解卷积, 并与 NIST 2017 数据库提供的谱图相匹配, 选取匹配度大于 750 的化合物来实现检索定性; 按照样品 GC-MS 升温程序测定正构烷烃 (C7~C40), 根据正构烷烃的保留时间计算挥发性风味物质的保留指数, 并与文献报道结果进行比对, 实现挥发风味物质定性鉴定。以 2-甲基-3-庚酮为内标, 根据内标法计算样品中挥发性风味物质浓度。

1.4 数据统计分析

试验数据以“平均值±标准差”表示, 使用 SPSS 20.0 软件进行统计分析, 采用 Student's 双尾 *t* 检验进行差异分析, *P*<0.05 表示差异显著, *P*<0.01 表示差异极显著。主成分分析 (PCA)使用在线分析软件 MetaboAnalyst 5.0 进行。Graphad Prism 8.0 软件制作柱状图。

2 结果

2.1 三元杂交猪和荣昌猪胴体性状差异分析

本试验对三元杂交猪和荣昌猪的胴体性状进行了统计与分析。由表 3 可知, 荣昌猪的宰前活重、胴体重、屠宰率均低于三元杂交猪, 但差异不显著 (*P*>0.05)。荣昌猪胴体直长、胴体斜长显著低于三元杂交猪 (*P*<0.05)。荣昌猪平均背膘厚极显著高于三元杂交猪 (*P*<0.01)。荣昌猪的眼肌面积极显著低于三元杂交猪

($P<0.01$)。

表 3 三元杂交猪(n=10)和荣昌猪(n=8)胴体性状差异分析

Table 3 Analysis of the differences in carcass traits between Duroc × (Landrace × Yorkshire) (DLY) pigs (n=10) and Rongchang (RC) pigs (n=8)

项目 Item	三元杂交猪 DLY	荣昌猪 RC	P 值 P-value
宰前活重/kg	117.75±7.19	112.40±8.78	0.184
Live weight before slaughter			
胴体重/kg	88.23±4.85	81.86±7.63	0.058
Carcass weight			
屠宰率/%	75.06±4.34	72.79±2.63	0.189
Slaughter rate			
胴体直长/cm	99.50±3.06	93.80±4.97	0.012
Straight length of carcass			
胴体斜长/cm	84.16±2.82	78.95±3.44	0.003
Skew length of carcass			
平均背膘厚/mm	26.74±3.97	55.29±4.54	0.000
Average backfat thickness			
眼肌面积/cm ²	46.24±6.02	19.87±2.96	0.000
Eye muscle area			

同一行 $P>0.05$ 表示两组不显著差异, $P<0.05$ 表示两组显著差异, $P<0.01$ 表示两组极显著差异, 下表同

In the same line, $P>0.05$ means no significant difference between the two groups, $P<0.05$ means significant difference between the two groups, and $P<0.01$ means extremely significant difference between the two groups. The following table is the same

2.2 三元杂交猪和荣昌猪常规肉品质差异分析

由表 4 可知, 荣昌猪和三元杂交猪肌肉 pH_{45min}、pH_{24h}、 L^*_{45min} 、 b^*_{45min} 、 b^*_{24h} 无显著差异 ($P>0.05$), 荣昌猪 L^*_{24h} 极显著低于三元杂交猪 ($P<0.01$), 荣昌猪 a^*_{45min} 、 a^*_{24h} 极显著高于三元杂交猪 ($P<0.01$)。荣昌猪滴水损失极显著低于三元杂交猪 ($P<0.01$), 荣昌猪和三元杂交猪蒸煮损失无显著差异 ($P>0.05$)。荣昌猪剪切力极显著低于三元杂交猪 ($P<0.01$)。就质构特性而言, 荣昌猪肌肉硬度显著低于三元杂交猪 ($P<0.05$), 荣昌猪肌肉内聚性显著高于三元杂交猪 ($P<0.05$), 荣昌猪和三元杂交猪肌肉弹性、胶黏性、咀嚼性、回复性均无显著差异 ($P>0.05$)。荣昌猪肉肌内脂肪 (3.04%) 高于三元杂交猪 (2.85%), 但差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 三元杂交猪(n=10)和荣昌猪(n=8)常规肉品质差异分析

Table 4 Analysis of the differences in meat traits between DLY pigs (n=10) and RC pigs (n=8)

项目 Item	三元杂交猪 DLY	荣昌猪 RC	P 值 P-value
pH _{45min}	6.08±0.14	6.07±0.22	0.902
pH _{24h}	5.45±0.13	5.46±0.06	0.912
肉色 _{45min} Color _{45min}			
L^*_{45min}	44.21±0.65	42.38±3.13	0.125
a^*_{45min}	3.08±1.27	5.95±1.72	0.001
b^*_{45min}	3.43±0.44	3.52±1.27	0.846
肉色 _{24h} Color _{24h}			
L^*_{24h}	52.90±4.08	47.70±2.85	0.006

a^*_{24h}	4.14±1.41	6.42±1.15	0.002
b^*_{24h}	4.17±1.07	4.00±0.82	0.711
滴水损失/% Drip loss	2.13±0.63	1.40±0.35	0.007
蒸煮损失/% Cooking loss	29.66±2.84	30.93±2.23	0.302
剪切力/N Shear force	91.45±11.22	72.50±12.99	0.005
质构剖面分析 Texture profile analysis			
硬度/g Hardness	11 383.28±910.16	10 464.07±711.62	0.028
弹性/% Springiness	52.07±4.35	53.94±6.81	0.510
内聚性/% Cohesiveness	50.44±4.77	55.28±3.58	0.025
胶黏性/g Gumminess	5 770.21±838.21	5 784.43±463.11	0.964
咀嚼性/g Chewiness	3 035.23±629.12	3 103.26±338.94	0.772
回复性/% Resilience	15.75±1.82	17.44±1.76	0.063
肌内脂肪/% Intramuscular fat content	2.85±0.65	3.04±0.76	0.587

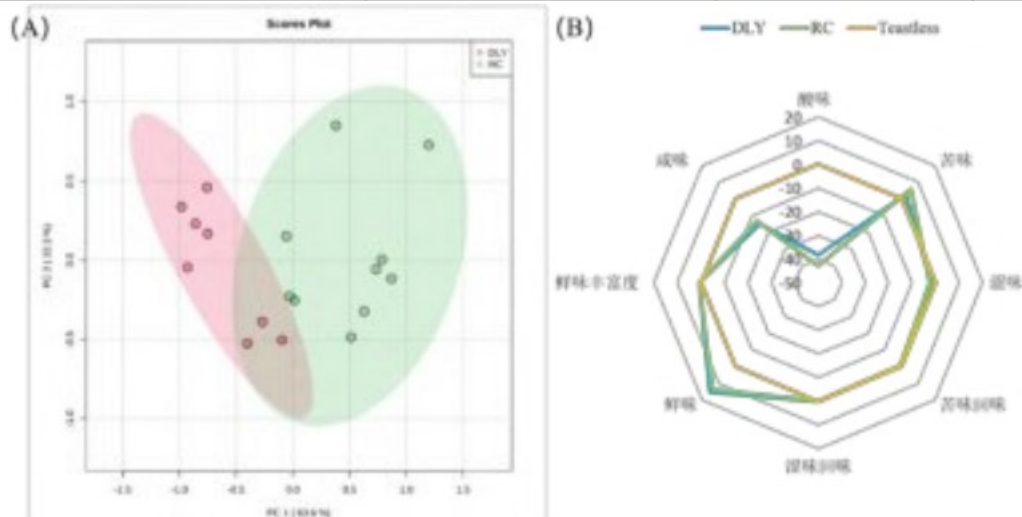
2.3 三元杂交猪和荣昌猪滋味轮廓差异分析

两品种猪肉鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味以及鲜味丰富度、苦味回味和涩味回味响应值见表 5，荣昌猪在咸味、鲜味丰富度以及苦味回味上响应值均显著高于三元杂交猪 ($P<0.05$)，荣昌猪在鲜味、酸味、涩味以及涩味回味上响应值均显著低于三元杂交猪 ($P<0.01$)。多元统计分析显示，PC1 和 PC2 的贡献率分别为 63.6%、22.3%，累计贡献率为 85.9%，表明两组之间滋味具有一定差异 (图 1A)。由图 1B 可知，鲜味和苦味的传感器响应值较其他传感器高，表明荣昌猪和三元杂交猪肉的鲜味和苦味较丰富。

表 5 三元杂交猪(n=10)和荣昌猪(n=8)背最长肌滋味响应值

Taste 5 Taste response value of *longissimus dorsi* muscle of DLY pigs (n=10) and RC pigs (n=8)

项目 Items	三元杂交猪 DLY	荣昌猪 RC	P 值 P-value
鲜味 Umami	15.21±1.42	13.63±1.16	0.001
咸味 Saltiness	-14.89±0.30	-13.21±1.03	0.000
酸味 Sourness	-38.28±1.60	-42.98±2.83	0.044
苦味 Bitterness	2.77±1.28	5.77±0.63	0.080
涩味 Astringency	-1.92±0.18	-2.41±0.61	0.000
鲜味丰富度 Richness	0.62±0.16	0.83±0.13	0.019
苦味回味 Aftertaste-B	-0.58±0.06	-0.50±0.11	0.005
涩味回味 Aftertaste-A	0.13±0.08	-0.13±0.09	0.000



(A) PCA 得分图; (B) 电子舌滋味响应值雷达图。

(A) PCA score plots; (B) Radar Chart of Electronic Tongue Taste Response Value.

图 1 三元杂交猪 (n=10)和荣昌猪 (n=8)背最长肌间滋味指纹图谱差异

Fig.1 Difference in taste profile among *longissimus dorsi* muscle of DLY (n=10) and RC groups (n=8)

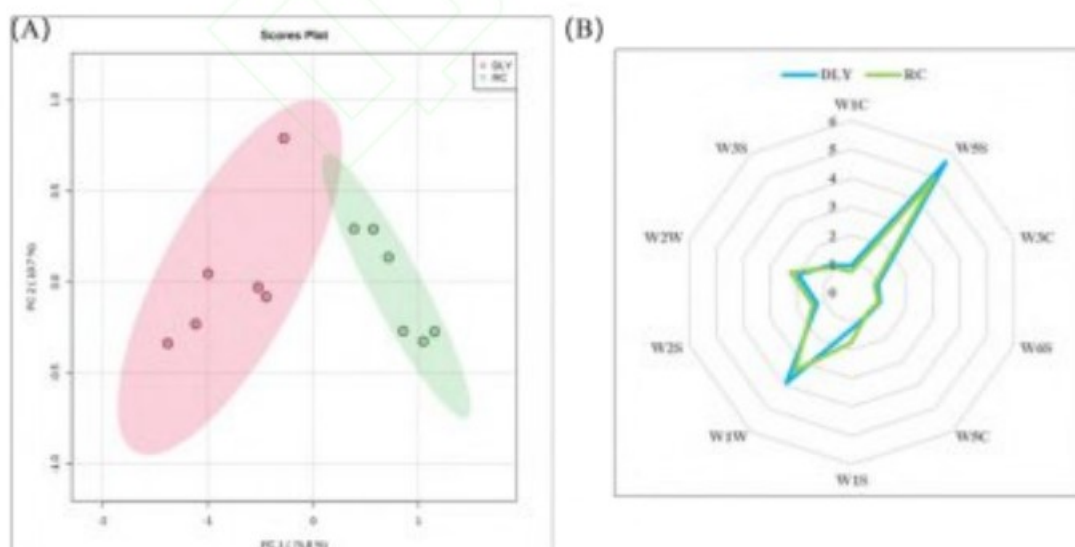
2.4 三元杂交猪和荣昌猪气味轮廓差异分析

由表 6 可知, 荣昌猪 W1S、W2S 传感器响应值明显高于三元杂交猪 ($P<0.01$), 表明荣昌猪中含有更多的醛类、醇类、酮类等, 荣昌猪 W1C、W3C、W6S、W5C、W3S 传感器响应值明显低于三元杂交猪 ($P<0.05$), 表明两品种间芳香族化合物、含硫化合物和萜烯类、吡嗪类化合物存在明显差异。对两品种猪 10 种传感器响应值进行主成分分析, 如图 2A 所示, 第一主成分的贡献率为 75.8%, 第二主成分的贡献率为 10.7%, 两者累积贡献率为 86.5%, 说明两个主成分能解释大部分变异, 荣昌猪和三元杂交猪香气轮廓存在一定差异。图 2B 可知, W2W、W1W、W5S 响应值较其他传感器高, 表明在荣昌猪和三元杂交猪肉中含硫化合物和氮氧化合物较多。

表 6 三元杂交猪和荣昌猪背最长肌气味响应值 (n=6)

Table 6 Odor response values of *longissimus dorsi* muscle of DLY pigs and RC pigs (n=6)

项目 Item	三元杂交猪 DLY	荣昌猪 RC	P 值 P-value
W1C	0.92±0.04	0.74±0.04	0.000
W5S	5.63±0.81	4.93±0.44	0.093
W3C	0.96±0.02	0.83±0.03	0.000
W6S	1.07±0.03	1.01±0.01	0.000
W5C	0.97±0.01	0.92±0.01	0.000
W1S	1.28±0.18	1.74±0.08	0.000
W1W	3.89±0.60	3.41±0.12	0.082
W2S	1.26±0.07	1.43±0.05	0.001
W2W	1.97±0.47	2.27±0.10	0.158
W3S	1.20±0.06	1.07±0.07	0.006



(A)PCA 得分图; (B)电子鼻气味响应值雷达图

(A) PCA score plots; (B) Spider plot for the electronic nose sensor response value

图 2 三元杂交猪和荣昌猪背最长肌间气味轮廓差异 (n=6)

Fig.2 Difference in flavor profile among *longissimus dorsi* muscle of DLY and RC groups (n=6)

2.5 三元杂交猪和荣昌猪挥发性风味物质差异分析

由表 7 可知, 荣昌猪和三元杂交猪背最长肌中共鉴定到 76 种挥发性风味物质。包括 11 种醇类、20 种醛类、10 种酮类、9 种酯类、2 种酸类、4 种呋喃类、11 种碳氢化合物和 9 种其他化合物。与三元杂交猪相比, 荣昌猪背最长肌中醛类和酮类化合物极显著升高 ($P<0.01$, 图 3A), 分别增加了 22.93%和 50.70%。PCA 分析显示两组间挥发性风味物质具有明显的分离趋势(图 3B)。荣昌猪背最长肌中有 16 种挥发性风味物质显著高于三元杂交猪 ($P<0.05$, 图 3C)。为了进一步筛选两品种间挥发性风味物质的潜在标记物, 结合 PLS-DA 计算两组间挥发性风味物质的 VIP 值, VIP 值>1 的挥发性化合物有 26 种(图 3D)。己醛、戊醛、2,3-辛二酮、乙酸乙酯、丁酸烯丙酯、2-乙基呋喃等 16 种挥发性化合物(VIP 值>1 且 $P<0.05$)可能是荣昌猪和三元杂交猪的关键差异风味物质。

表 7. 三元杂交猪和荣昌猪背最长肌中挥发性风味化合物 (n=6)

Table 7 Volatile flavor compounds in *longissimus dorsi* muscle of DLY pigs and RC pigs (n=6)

化合物 ^a Compound	线性保留指	线性保留指数	浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		P 值 P value
	数试验值 ^b	参考值 ^c	Concentration		
	Experimental LRI	Rwferenced LRI	三元杂交猪 DLY	荣昌猪 RC	
醇类 Alcohols					
1-戊醇 1-pentanol	1 241	1 253	164.28±55.84	213.26±64.01	0.188
3-甲基-1-戊醇 3-methyl-1-pentanol	1 297	1 325	15.47±9.33	20.79±4.71	0.241
1-己醇 1-hexanol	1 344	1 355	119.20±173.32	85.94±49.43	0.661
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1 441	1 451	504.17±122.40	614.73±95.41	0.112
3-甲基-1-己醇 3-methyl-1-hexanol	1 447	1 413	53.97±13.75	67.51±16.61	0.155
芳樟醇 linalool	1 539	1 547	4.86±1.68	4.18±0.96	0.410
(Z)-5-辛烯-1-醇 (Z)-5-octen-1-ol	1 607	1 615	40.83±16.67	53.23±15.14	0.207
(Z)-3-辛烯-1-醇 (Z)-3-octen-1-ol	1 608	1 563	20.66±17.31	23.31±24.57	0.833
癸醇 1-decanol	1 766	1 764	8.24±4.10	9.26±2.36	0.610
苯甲醇 benzenemethanol	1 874	1 890	2.96±0.62	4.15±1.33	0.074
月桂醇 1-dodecanol	1 959	1 966	1.86±0.88	2.04±0.42	0.675
醛类 Aldehydes					

丙醛	782	801	2.70±0.89	4.92±0.85	0.001
propanal					
丁醛	869	883	3.87±0.77	5.23±0.52	0.005
butanal					
戊醛	975	979	351.56±67.76	450.69±43.82	0.013
pentanal					
己醛	1 079	1 098	1	2 069.84±177.73	0.030
hexanal			642.66±373.22		
庚醛	1 183	1 192	110.40±16.28	144.56±16.19	0.005
heptanal					
辛醛	1 288	1 298	111.37±29.47	135.10±27.67	0.183
octanal					
(E)-2-庚烯醛	1 325	1 335	26.96±4.02	32.42 ±7.29	0.139
(E)-2-heptenal					
壬醛	1 393	1 402	323.71±124.40	351.94±73.17	0.642
nonanal					
2-辛烯醛	1 431	1 440	14.52±2.24	18.08±3.65	0.069
2-octanal					
癸醛	1 499	1 498	4.85±1.82	5.64±1.14	0.387
decanal					
苯甲醛	1 529	1 541	342.64±100.05	399.69±52.60	0.245
benzaldehyde					
(E)-2-壬烯醛	1 538	1 547	2.95±0.46	3.41±0.72	0.211
(E)-2-nonanal					
(E)-2-癸烯醛	1 646	1 659	2.01±0.66	2.41±0.82	0.371
(E)-2-decanal					
水杨醛	1 687	1 672	3.92±1.39	5.05±1.38	0.189
2-hydroxy-benzaldehyde					
4-乙基苯甲醛	1 715	1 721	8.79±3.93	11.58±3.86	0.242
4-ethyl-benzaldehyde					
(E)-2-十一烯醛	1 754	1 766	4.54±1.42	5.61±1.83	0.285
(E)-2-undecenal					
(E,Z)-2,4-癸二烯醛	1 767	1 754	13.97±3.47	18.82±5.23	0.087
(E,Z)-2,4-decadienal					
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1 814	1 823	58.92±18.16	73.42±17.97	0.195
(E,E)-2,4-decadienal					
4-正戊基苯甲醛	2 013	2 003	12.40±7.01	10.91±2.54	0.634
4-pentyl-benzaldehyde					
十六醛 hexadecanal	2 136	2 147	56.31±40.69	60.17±25.17	0.847
酮类 Ketones					
2-丁酮 2-butanone	900	907	13.99±7.32	16.08±2.42	0.522

2,3-戊二酮	1 054	1 065	0.81±0.75	1.03±0.56	0.582
2,3-pentanedione					
2-庚酮 2-heptanone	1 180	1 190	22.22±4.73	26.86±2.94	0.069
3-辛酮 3-octanone	1 253	1 264	5.60±0.45	5.28±0.41	0.222
乙偶姻 acetoin	1 284	1 284	12.66±6.37	21.85±8.02	0.053
1-辛烯-3-酮	1 300	1 310	3.18±0.77	4.04±388.25	0.181
1-octen-3-one					
2,3-辛二酮	1 321	1 335	2	3 172.15±310.86	0.003
2,3-octanedione			085.82±590.63		
3-辛烯-2-酮	1 407	1 417	12.37±3.54	11.95±2.58	0.820
3-octen-2-one					
(E,E)-辛-3,5-二烯-2-酮	1 520	1 522	8.10±3.45	11.75±2.49	0.062
(E,E)-3,5-octadien-2-one					
3-十一酮	1 623	1 573	8.09±5.08	7.37±2.47	0.763
3-undecanone					
酯类 Esters					
乙酸乙酯	881	896	11.66±4.96	20.77±7.56	0.033
ethyl acetate					
異丁酸烯丙酯	1 107	1 090	4.33±2.02	6.84±2.50	0.085
allyl isobutyrate					
己酸甲酯	1 183	1 184	2.49±1.11	2.45±0.71	0.937
methyl hexanoate					
2-甲基丙酸丁酯	1 196	1 197	41.91±16.44	41.36±9.32	0.945
2-methyl-propionate					
甲基丙烯酸丁酯	1 221	1 220	2.36±0.64	2.71±0.31	0.250
butyl methacrylate					
丁酸烯丙酯	1 224	1 192	11.29±1.64	15.14±2.72	0.014
allyl butyrate					
2-甲基丁酸丁酯	1 272	1 272	3.23±0.46	4.28±0.87	0.026
methyl-2-butyl-butyrate					
甲酸辛酯	1 549	1 553	37.41±12.37	42.76±11.98	0.464
octyl formate					
柳酸甲酯	1 784	1 796	1.57±1.40	0.78±1.37	0.346
methyl salicylate					
酸类 Acids					
乙酸	1 451	1 449	25.15±13.18	33.59±17.99	0.375
acetic acid					
己酸	1 840	1 864	28.72±7.57	31.84±5.20	0.424
hexanoic acid					

碳氢化合物 Hydrocarbons

2,4-二甲基-1-庚烯 2,4-dimethyl-1-heptene	791	797	2.92±0.92	2.53±0.32	0.348
辛烷 octane	801	800	9.86±2.76	12.21±2.12	0.129
壬烷 nonane	894	900	6.69±1.02	8.14±0.82	0.022
苯 benzene	937	949	6.95±1.24	9.97±0.91	0.001
癸烷 decane	1 000	1 000	6.65±0.88	8.60±1.05	0.006
甲苯 toluene	1 038	1 042	126.97±24.56	139.33±25.17	0.409
乙苯 ethylbenzene	1 126	1 129	58.25±43.26	76.20±47.18	0.509
对二甲苯 p-xylene	1 134	1 138	59.99±42.31	91.44±36.17	0.196
苯乙烯 styrene	1 258	1 270	74.59±76.75	126.96±71.97	0.251
4-异丙基甲苯 p-cymene	1 271	1 272	12.75±11.09	18.65±8.47	0.324
(Z, E)-1,3,5-十一烯 (Z, E)- undeca-1,3,5- triene	1 405	1 408	14.86±9.72	13.23±4.64	0.718

呋喃类 Oxoles

2-乙基呋喃 2-ethylfuran	948	960	8.50±2.86	12.43±3.17	0.047
2-丁基呋喃 2-butylfuran	1 130	1 123	6.45±2.41	7.09±0.83	0.548
2-戊基呋喃 2-pentylfuran	1 230	1 241	1 059.44±415.72	1 057.62±223.69	0.993
2-辛基呋喃 2-octylfuran	1 536	1 520	4.38±2.37	2.84±1.51	0.209

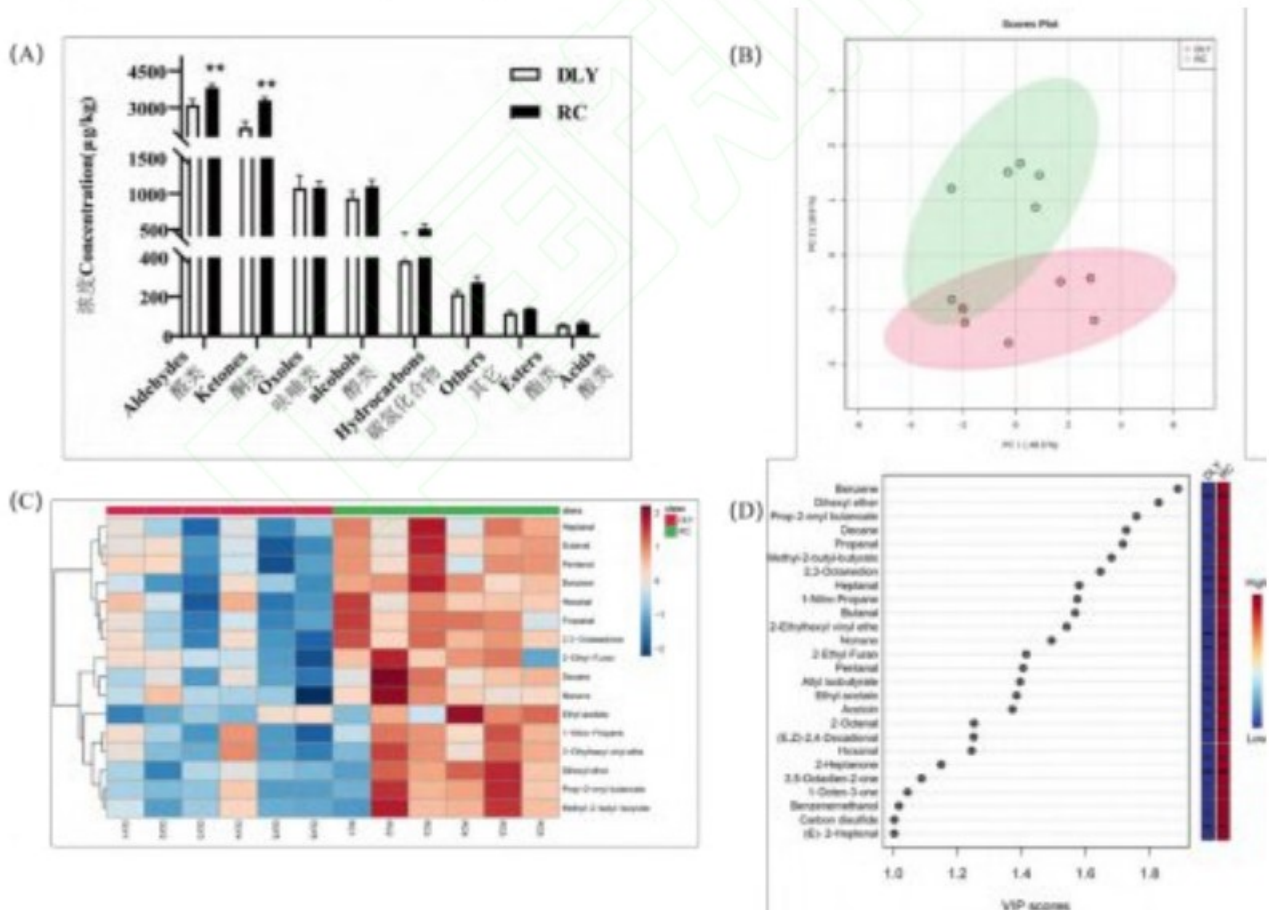
其他 Others

二硫化碳 carbon disulfide	720	730	131.64±42.92	175.54±68.83	0.214
2-乙基己基乙烯基醚 2-ethylhexyl vinyl ether	1 191	1 168	13.48±2.73	16.96±2.54	0.045
1,8-桉叶素 1,8-cineole	1 207	1 213	3.35±3.04	5.01±2.49	0.323

1-硝基丙烷	1 223	1 238	33.20±8.59	44.03±5.31	0.025
1-nitro-propane					
正己醚	1 360	1 367	3.20±0.49	4.67±1.04	0.011
dihexyl ether					
2-戊基噻吩	1 461	1 473	12.04±5.21	8.16±1.81	0.115
2- pentyl-thiophene					
2-戊基吡啶	1 574	1 578	11.87±4.73	12.00±3.57	0.955
2-pentyl-pyridine					
2-乙酰基噻唑	1 651	1 643	2.66±1.15	3.06±0.86	0.514
2-acetylthiazole					
百里酚	2 209	2 189	1.46±1.78	2.30±1.12	0.349
thymol					

^a猪肉中鉴定的挥发性风味物质。^b根据系列正构烷烃(C7~C40)保留时间计算的线性保留指数。^c参照 NIST 谱库的线性保留指数 (<https://www.nist.gov/>)

^aVolatile flavor compounds identified in pork.^bLinear retention index calculated based on a homologous series of n-alkanes (C7~C40).^cLinear retention index referring to NIST spectral library: <https://www.nist.gov/>



(A)挥发性化合物种类差异; (B)PCA 得分图; (C)挥发性化合物差异热图; (D)挥发性化合物 VIP 得分图
(A) Differences of volatile compounds; (B) PCA score plots; (C) Heat map of volatile compounds; (D) VIP score of volatile compounds

图 3 三元杂交猪和荣昌猪背最长肌间挥发性化合物差异分析 (n=6)

Fig.3 Analysis on the difference of volatile compounds between the *longissimus dorsi* muscle of DLY pigs and RC pigs (n=6)

3 讨论

3.1 三元杂交猪和荣昌猪胴体性状、常规肉品质差异分析

研究表明, 胴体直长、背膘厚和眼肌面积大小等属性与猪胴体产肉量有关, 背膘厚小、眼肌面积大的猪胴体通常具有较高屠宰率^[19]。本试验中与荣昌猪相比, 三元杂交猪的胴体直长、胴体斜长、眼肌面积显著增加, 平均背膘厚显著降低, 说明三元杂交猪的胴体性状优于荣昌猪。这与以往报道^[20-21]基本一致。

常规肉品质通常用 pH、肉色、滴水损失、蒸煮损失、嫩度、质构特性、肌内脂肪含量等理化指标进行评价。屠宰后肌肉的 pH 降低是由于宰后糖原经过糖酵解转化成乳酸, 乳酸大量积累造成 pH 下降, 肌肉初始糖原含量对肉 pH 值起决定作用^[22]。本试验两品种猪 pH 和肉色 L^* 、 a^* 、 b^* 均在合理变化范围之内。肌肉的颜色主要取决于肌肉中的肌红蛋白含量和形态, 氧合肌红蛋白越高, 肉色越鲜艳。与三元杂交猪相比, 荣昌猪具有较低的 L^*_{24h} 和较高的 a^*_{45min} 、 a^*_{24h} , L^* 亮度值越大表明肌肉色泽越白, a^* 红度值越大表明肌肉色泽越红, Zhang 等^[23]报道, 中国本土猪肉色的红度值比商品猪高。肌肉的保水能力主要通过滴水损失、蒸煮损失等指标进行量化, 可以反映出肉品质的多汁性^[24], 滴水损失率是衡量肌肉持水能力的重要指标^[25]。荣昌猪的滴水损失率为 1.4%, 显著低于三元杂交猪的 2.13%, 反映出荣昌猪的系水力和多汁性更好。嫩度是重要的客观食用品质, 用剪切力值来进行量化, 猪肌束中肌纤维数越多, 肌纤维密度越大, 直径越小, 系水力越好, 肉质就越嫩^[26]。本研究中荣昌猪剪切力值和硬度值显著低于三元杂交猪, 反映出荣昌猪肉质更嫩, 具有更好的质地和口感。Huang 等^[27]报道, 中国本土猪都是脂肪型的, 肌内脂肪含量在 3%-5%; Wood 等^[28]报道当肌内脂肪含量高于 2.5% 时, 猪肉的风味和多汁性得到改善^[29]。本试验结果显示两品种猪肌内脂肪无显著差异, 但荣昌猪肌内脂肪略高于三元杂交猪。以上结果表明荣昌猪具有较低的胴体性状和较好的肉质特性。

3.2 三元杂交猪和荣昌猪滋味轮廓差异分析

电子舌技术是基于模拟动物味觉感知系统对唾液的反应机制, 是从自动进样器、传感器阵列获得信号并分析结果的计算软件^[30]。使用非特异性、低选择性的传感器对液体进行识别, 将味道转化为数值形式。电子舌技术可以克服人们味觉的高变异性和主观性, 减少时间成本的消耗, 并通过化学成分预测肉滋味, 在实际应用中更有优势^[31]。郭金英等^[32]报道运用电子舌技术对蒸煮的藏香猪、三门峡黑猪和杜长大白猪进行分析, 结果表明不同品种鲜味物质差异大, 区分度良好。范文教等^[33]利用电子舌技术对掺假腐肉的香肠样品实现定量识别。本试验中电子舌的结果显示荣昌猪鲜味丰富度、咸味和苦味的回味较高, 酸味、涩味、鲜味较低, 这些差异来源于肌肉中风味前体物质以及其经过化学反应产生的滋味物质^[34]。

3.3 三元杂交猪和荣昌猪气味轮廓、风味物质差异分析

电子鼻技术是基于模拟动物嗅觉过程建立起来的检测体系, 是由气敏传感器阵列、模式识别和信息处理三大系统组成^[35]。其采用气体传感器建立响应曲线, 能快速、无损对样品中挥发性气味物质组成进行信息采集, 可测得样品中挥发气味物质的整体指纹信息, 结合统计学分析方法, 对指纹信息进行分析, 建立数据库, 实现对未知样品的定性、定量检测^[36]。电子鼻技术广泛应用于不同肉类, 如猪肉、牛肉、鸡肉、海鲜鱼类等^[37-38]新鲜度鉴定和掺假检测中^[39]。Giovannelli 等^[40]利用 PEN2 电子鼻可以有效区分 3 种意大利干腌火腿及其加工阶段, 表明电子鼻技术不仅可以用于肉类识别, 还可应用于火腿成熟过程的在线监测。田晓静等^[41]报道电子鼻技术能有效应用于肉品新鲜度检测、肉制品品质判定和掺假检测等方面。本研究通过电子鼻分析发现荣昌猪比三元杂交猪含有更为丰富的挥发性化合物, 如醛类、酮类等。

结合 GC-MS 测定的挥发性风味化合物, 我们可以更清楚地了解两组猪肉在香气成分上的差异。挥发性风味化合物是肉制品烹饪过程中风味前体物质经过一系列的化学反应如硫胺素降解、脂质氧化、美拉德反应, 脂质氧化产物与美拉德相互作用形成的, 这些产物具有不同的浓度和气味, 构成了猪肉香气特征^[42]。本研究中猪肉含量较高的化合物主要是醛类、酮类、呋喃类、酯类等, 这与熟猪肉中报道的香气

物质一致^[43]。

荣昌猪和三元杂交猪背最长肌中共检测到 76 种挥发性化合物, 其中己醛、戊醛、2,3-辛二酮、乙酸乙酯、丁酸烯丙酯、2-乙基呋喃等 16 种挥发性化合物存在显著差异。己醛主要是亚油酸的氧化降解产物, 因其特有的青草味对肉风味形成具有重要作用^[44]。荣昌猪肉中己醛 ($2\ 069\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、戊醛 ($450\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 含量显著高于三元杂交猪。酮类物质主要是来自于氨基酸降解和不饱和脂肪酸热氧化降解反应, 对肉香味的构成起到重要作用^[45], 1-辛烯-3-酮主要来源于亚油酸加热降解, 具有蘑菇味和水果味, 这对猪肉的风味贡献很大^[46]。本研究中荣昌猪背最长肌中 1-辛烯-3-酮含量高于三元杂交猪, 且 VIP 得分较高 (1.04), 是典型的肉香型化合物。2,3-辛二酮是亚油酸经脂氧合酶氧化的, 荣昌猪背最长肌中 2,3-辛二酮含量 ($3\ 172\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 显著高于三元杂交猪 ($2\ 085\ \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 具有甜奶油味和脂肪味^[47]。酯类化合物通常是由游离酸和脂质氧化所产生的醇相互作用生成的^[48]。本研究中呈典型甜果香味乙酸乙酯、丁酸烯丙酯在荣昌猪背最长肌中含量显著高于三元杂交猪, 且 VIP 值均大于 1, 酯类物质对荣昌猪香气轮廓具有一定的贡献作用。呋喃类化合物主要来自碳水化合物糖的烯醇化和脱水反应^[49]荣昌猪中 2-乙基呋喃具有较高的 VIP 值 (1.41), 也体现了呋喃类化合物对猪肉香气的重要贡献度, 有助于赋予猪肉甜味、果香味和青草味^[50]。因此, 己醛、戊醛、2,3-辛二酮、乙酸乙酯、丁酸烯丙酯这些化合物以及呋喃类化合物的浓度变化, 可能是导致两品种猪肉风味特征差异形成的原因。

4 结论

与三元杂交猪相比, 荣昌猪平均背膘厚显著增加, 胴体重和屠宰率有下降趋势。荣昌猪肉色鲜红、系水力较好。感官仿生评价结果显示荣昌猪肉中咸味、鲜味丰富度和苦味回味的响应值增加, 醛类、醇类和酮类化合物含量升高。风味组学结果显示荣昌猪和三元杂交猪背最长肌中己醛、戊醛、2,3-辛二酮、乙酸乙酯、丁酸烯丙酯、2-乙基呋喃等 16 种挥发性风味物质可能是品种间风味差异形成的重要风味物质。这些试验结果为更好了解荣昌猪风味品质特征提供基础数据, 为促进荣昌猪种质资源开发利用奠定基础。

参考文献(References):

- [1] POVOD M, MYKHALKO O, KYSELOV O, et al. Effects of various pre-slaughter weights on the physico-chemical qualities of pig meat[J]. *J Adv Vet Anim Res*, 2021, 8(3): 521-533.
- [2] MCAFEE A J, MCSORLEY E M, CUSKELLY G J, et al. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits[J]. *Meat Sci*, 2010, 84(1): 1-13.
- [3] AASLYNG M D, MEINERT L. Meat flavour in pork and beef - From animal to meal[J]. *Meat Sci*, 2017, 132: 112-117.
- [4] LI J, TANG C H, ZHAO Q Y, et al. Integrated lipidomics and targeted metabolomics analyses reveal changes in flavor precursors in psoas major muscle of castrated lambs[J]. *Food Chem*, 2020, 333: 127451.
- [5] 张润, 杨曼, 王立贤, 等. 畜禽肉中代谢物质对肉品质的影响及相关基因研究进展[J]. *畜牧兽医学报*, 2022, 53(8): 2444-2452.
- [6] ZHANG R, YANG M, WANG L X, et al. Research progress of effects of metabolic substances in meat of livestock and poultry on meat quality and the related genes[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2022, 53(8): 2444-2452. (in Chinese)
- [7] 吴平先, 陈力, 龙熙, 等. 荣昌猪初产繁殖性状的全基因组关联研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2023, 54(1): 103-112.
- [8] WU P X, CHEN L, LONG X, et al. Genome-wide association studies for reproductive traits at first farrowing in Rongchang pigs[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2023, 54(1): 103-112. (in Chinese)
- [9] 叶婷. 荣昌猪发展的现状及对策[J]. *甘肃农业*, 2009(12): 29-30.
- [10] YE T. Present situation and countermeasures of the development of Rongchang pig[J]. *Gansu Agriculture*, 2009(12): 29-30. (in Chinese)
- [11] 章杰, 罗宗刚, 陈磊, 等. 荣昌猪和杜洛克猪肉质及营养价值的比较分析[J]. *食品科学*, 2015, 36(24): 127-130.
- [12] ZHANG J, LUO Z G, CHEN L, et al. Comparative analysis of meat quality and nutritive value between Rongchang and Duroc pigs[J]. *Food Science*, 2015, 36(24): 127-130. (in Chinese)

- [9] 周晓容,杨飞云,黄萍,等.营养水平对荣昌猪肌内脂肪、脂肪酸含量的影响研究[J].饲料工业,2010,31(23):14-17.
ZHOU X R,YANG F Y,HUANG P,et al.Effects of dietary nutrient level on intramuscular fat content and its fatty acid composition of longissimus dorsi muscle in Rongchang growing-finishing pigs[J].*Feed Industry*,2010,31(23):14-17.(in Chinese)
- [10] 李睿,王海燕,李星,等.不同加工方式荣昌猪肉风味差异性评价[J].肉类研究,2021,35(11):31-37.
LI R,WANG H Y,LI X,et al.Evaluation of flavor differences among pork from Rongchang pigs processed by different cooking methods[J].*Meat Research*,2021,35(11):31-37.(in Chinese)
- [11] 王庭.脂质对荣昌猪肉风味的贡献研究[D].重庆:西南大学,2011.
WANG T.Study on the effect of lipid on the flavour in the pork of Rongchang[D].Chongqing:Southwest University,2011.(in Chinese)
- [12] 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.
LIU W Z,ZHOU Q F.Adhesiveness analysis of Rongchang pig meat[J].*Meat Research*,2012,26(9):23-25.(in Chinese)
- [13] 刘文宗,周勤飞.荣昌猪肉质的硬度分析研究[J].肉类工业,2012(11):30-33.
LIU W Z,ZHOU Q F.Analysis and study on meat hardness of Rong-chang pig meat[J].*Meat Industry*,2012(11):30-33.(in Chinese)
- [14] LU P,LI D F,YIN J D,et al.Flavour differences of cooked longissimus muscle from Chinese indigenous pig breeds and hybrid pig breed (Duroc×Landrace×Large White)[J].*Food Chem*,2008,107(4):1529-1537.
- [15] 中华人民共和国农业部.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.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.NY/T 825-2004 Technical regulation for testing of carcass traits in lean-type pig[S].Beijing:China Agriculture Press,2004.(in Chinese)
- [16] 中华人民共和国农业部.NY/T 2793-2015 肉的食用品质客观评价方法[S].北京:中国农业出版社,2015.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.NY/T 2793-2015 Objective methods for evaluating eating quality attributes of meat[S].Beijing:China Agriculture Press,2015.(in Chinese)
- [17] LI J,ZHANG J Q,YANG Y Y,et al.Comparative characterization of lipids and volatile compounds of Beijing Heiliu and Laiwu Chinese black pork as markers[J].*Food Res Int*,2021,146:110433.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.GB/T 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2017.
National Standards of the People's Republic of China.GB/T 5009.6-2016 National Food Safety Standard Determination of fat in food[S].Beijing:Standards Press of China,2017.(in Chinese)
- [19] 张宏博.宰前因素和宰后处理对商品猪生长发育、屠宰及胴体质量和猪肉品质影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
ZHANG H B.Effects of pre- and post-mortem factors on growth performance,slaughter and carcass characteristics and meat quality of pig[D].Hohhot:Inner Mongolia Agricultural University,2015.(in Chinese)
- [20] 杨杰,周李生,刘先先,等.莱芜猪与杜长大三元杂交猪肉质性状种质资源比较研究[J].畜牧兽医学报,2014,45(11):1752-1759.
YANG J,ZHOU L S,LIU X X,et al.A comparative study of meat quality traits between Laiwu and DLY pigs[J].*Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*,2014,45(11):1752-1759.(in Chinese)
- [21] LI J,YANG Y Y,ZHAN T F,et al.Effect of slaughter weight on carcass characteristics,meat quality,and lipidomics profiling in longissimus thoracis of finishing pigs[J].*LWT*,2021,140:110705.
- [22] WILLIAMSON J,RYLAND D,SUH M,et al.The effect of chilled conditioning at 4°C on selected water and lipid-soluble flavor precursors in Bison bison longissimus dorsi muscle and their impact on sensory characteristics[J].*Meat Sci*,2014, 96(1):136-146.
- [23] ZHANG R,YANG M,HOU X H,et al.Characterization and difference of lipids and metabolites from Jianhe White Xiang and Large White pork by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J].*Food Res Int*,2022,162:111946.
- [24] 杨媛媛,李敬,赵青余,等.猪肌肉糖原酵解潜力的影响因素及其营养调控研究进展[J].中国畜牧杂志,2019,55(11):8-15.

- YANG Y Y,LI J,ZHAO Q Y,et al.Factors affecting the glycolysis potential of pig muscle and its nutritional regulation[J]. *Chinese Journal of Animal Science*,2019,55(11):8-15.(in Chinese)
- [25] 岳胜楠.西门塔尔杂交牛和夏南牛的肉品质差异分析[D].郑州:河南农业大学,2022.
YUE S N.Analysis of meat quality between Simmental Hybrid Cattle and Xianan Cattle[D].Zhengzhou:Henan Agricultural University,2022.(in Chinese)
- [26] 欧秀琼,李睿,张晓春,等.猪肌纤维性状形成和肌内脂肪沉积的遗传机制[J].中国畜牧兽医,2021,48(3):925-931.
OU X Q,LI R,ZHANG X C,et al.Genetic mechanism of pig muscle fiber property formation and intramuscular fat deposition[J].*China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*,2021,48(3):925-931.(in Chinese)
- [27] HUANG Y Z,ZHOU L S,ZHANG J J,et al.A large-scale comparison of meat quality and intramuscular fatty acid composition among three Chinese indigenous pig breeds[J].*Meat Sci*,2020,168:108182.
- [28] WOOD J D,ENSER M,FISHER A V,et al.Fat deposition,fatty acid composition and meat quality:A review[J].*Meat Sci*,2008,78(4):343-358.
- [29] WOOD J D,RICHARDSON R I,NUTE G R,et al.Effects of fatty acids on meat quality:a review[J].*Meat Sci*,2004,66(1):21-32.
- [30] PODRAŽKA M,BAČZYŃSKA E,KUNDYS M,et al.Electronic tongue-a tool for all tastes?[J].*Biosensors (Basel)*,2017,8(1):3.
- [31] WU X,TAHARA Y,YATABE R,et al.Taste sensor:Electronic tongue with lipid membranes[J].*Anal Sci*,2020,36(2):147-159.
- [32] 郭金英,李杰,吴影,等.基于电子舌和色谱技术分析蒸煮猪肉滋味物质[J].食品与机械,2019,35(8):32-36.
GUO J Y,LI J,WU Y,et al.Analysis of taste substances of cooked pork based on electronic tongue and chromatographic techniques[J].*Food & Machinery*,2019,35(8):32-36.(in Chinese)
- [33] 范文教,易宇文,徐培,等.电子舌技术识别掺假腐肉香肠的研究[J].食品工业,2017,38(12):159-163.
FAN W J,YI Y W,XU P,et al.Study on identification of the spoiled pork adulteration of sausage by electronic tongue[J].*The Food Industry*,2017,38(12):159-163.(in Chinese)
- [34] 李敬,杨媛媛,赵青余,等.肉风味前体物质与风味品质的关系研究进展[J].中国畜牧杂志,2019,55(11):1-7.
LI J,YANG Y Y,ZHAO Q Y,et al.Research progress on the relationship between meat flavor precursors and flavor[J].*Chinese Journal of Animal Science*,2019,55(11):1-7.(in Chinese)
- [35] ZHANG H M,WANG J,TIAN X J,et al.Optimization of sensor array and detection of stored duration of wheat by electronic nose[J].*J Food Eng*,2007,82(4):403-408.
- [36] SHI H,ZHANG M,ADHIKARI B.Advances of electronic nose and its application in fresh foods:A review[J].*Crit Rev Food Sci Nutr*,2018,58(16):2700-2710.
- [37] 柴春祥,杜利农,范建伟,等.电子鼻检测猪肉新鲜度的研究[J].食品科学,2008,29(9):444-447.
CHAI C X,DU L N,FAN J W,et al.Identification of pork freshness by electronic nose[J].*Food Science*,2008,29(9):444-447.(in Chinese)
- [38] 张军,李小昱,王为,等.基于虚拟仪器的淡水鱼鲜度电子鼻测量系统[J].农业工程学报,2009,25(3):110-113.
ZHANG J,LI X Y,WANG W,et al.Electronic nose measurement system for freshness of freshwater fish based on LabVIEW[J].*Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,2009,25(3):110-113.(in Chinese)
- [39] LIPPOLIS V,FERRARA M,CERVELLIERI S,et al.Rapid prediction of ochratoxin A-producing strains of *Penicillium* on dry-cured meat by MOS-based electronic nose[J].*Int J Food Microbiol*,2016,218:71-77.
- [40] GIOVANELLI G,BURATTI S,LAUREATI M,et al.Evolution of physicochemical,morphological and aromatic characteristics of Italian PDO dry-cured hams during processing[J].*Eur Food Res Technol*,2016,242(7):1117-1127.
- [41] 田晓静,王俊.电子鼻技术在肉与肉制品检测中的应用进展[J].肉类研究,2012,26(6):42-45.
TIAN X J,WANG J.Research progress on application of electronic nose in meat and meat products[J].*Meat Research*,2012,26(6):42-45.(in Chinese)
- [42] YANG Y Y,LI J,JIA X T,et al.Characterization of the flavor precursors and flavor fingerprints in grazing lambs by foodomics[J].

Foods,2022,11(2):191.

- [43] CHEN G S,CAI Y,SU Y Y,et al.Study of meat quality and flavour in different cuts of Duroc-Bamei binary hybrid pigs[J].*Vet Med Sci*, 2021,7(3):724-734.
- [44] PANSERI S,SONCIN S,CHIESA L M,et al.A headspace solid-phase microextraction gas-chromatographic mass-spectrometric method (HS-SPME-GC/MS) to quantify hexanal in butter during storage as marker of lipid oxidation[J].*Food Chem*,2011, 127(2):886-889.
- [45] ZHAO J,WANG M,XIE J C,et al.Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig[J].*Food Chem*,2017,226:51-60.
- [46] LI J,YANG Y Y,TANG C H,et al.Changes in lipids and aroma compounds in intramuscular fat from Hu sheep[J].*Food Chem*, 2022,383:132611.
- [47] WU W D,ZHAN J L,TANG X Y,et al.Characterization and identification of pork flavor compounds and their precursors in Chinese indigenous pig breeds by volatile profiling and multivariate analysis[J].*Food Chem*,2022,385:132543.
- [48] 周慧敏,张顺亮,郝艳芳,等.HS-SPME-GC-MS-O 结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J].*食品科学*,2021,42(2):218-226.
- ZHOU H M,ZHANG S L,HAO Y F,et al.Analysis of major flavor components of Tuotuo pork,a traditional meat product in Liangshan,Southwest China's Sichuan,by HS-SPME-GC-MS-O combined with electronic nose[J].*Food Science*,2021,42(2): 218-226.(in Chinese)
- [49] SUNG W C.Volatile constituents detected in smoke condensates from the combination of the smoking ingredients sucrose,black tea leaves,and bread flour[J].*J Food Drug Anal*,2013,21(3):292-300.
- [50] 于亚辉,杨亚平,方 婷.肉香味物质研究进展[J].*中国调味品*,2019,44(10):173-177.
- YU Y H,YANG Y P,FANG T.Research progress of meat aroma substances[J].*China Condiment*,2019,44(10):173-177.(in Chinese)

(编辑 郭云雁)