

直隶黑猪与杜长大三元猪肉质性状对比分析

彭汝艳, 孟宪华, 周彤, 成昕龙, 张璇, 赵文

Comparative Analysis of Meat Quality Traits between Zhili Black Pigs and DLY Pigs

PENG Ruyan, MENG Xianhua, ZHOU Tong, CHENG Xinlong, ZHANG Xuan, and ZHAO Wen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021120270>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

青海八眉猪与甘肃黑猪肉品质及营养成分比较

Comparison of Meat Quality and Nutritional Components between Qinghai Bamei Pork and Gansu Black Pork

食品工业科技. 2019, 40(21): 274-278,285

安福火腿游离脂肪酸、风味物质及氨基酸分析

Analysis of Free Fatty Acids, Flavor Substances and Amino Acids in Anfu Ham

食品工业科技. 2021, 42(16): 236-242

汉江上游野生与养殖翘嘴鲃营养成分的对比分析及评价

Analysis and Evaluation of Nutritional Components of Wild and Cultured *Siniperca chuatsi* in the Upper Stream of Hanjiang River

食品工业科技. 2019, 40(14): 296-301

不同生长阶段翘嘴肌肉营养成分的比较分析

Comparative Analysis on Muscle Nutrient Composition of *Culter alburnus* at Different Growth Stages

食品工业科技. 2021, 42(7): 342-348

精炼过程对茶籽油脂脂肪酸与挥发性物质的影响

Effect of refining process on the fatty acids and volatile flavor compounds from camellia seed oil

食品工业科技. 2018, 39(8): 34-38,43

柴达木野生黑果枸杞营养成分分析与比较

Analysis and Comparison of Nutritional Compositions in Wild *Lycium ruthenicum* from Qaidam

食品工业科技. 2019, 40(18): 273-281,288



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

彭汝艳, 孟宪华, 周彤, 等. 直隶黑猪与杜长大三元猪肉肉质性状对比分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 262–271. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120270

PENG Ruyan, MENG Xianhua, ZHOU Tong, et al. Comparative Analysis of Meat Quality Traits between Zhili Black Pigs and DLY Pigs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 262–271. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120270

· 分析检测 ·

直隶黑猪与杜长大三元猪肉肉质性状对比分析

彭汝艳¹, 孟宪华², 周彤¹, 成昕龙¹, 张璇¹, 赵文^{1,3,*}

(1. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000;

2. 河北省畜牧总站, 河北石家庄 050000;

3. 河北省农产品加工工程技术中心, 河北保定 071000)

摘要: 为了解直隶黑猪 (Zhili Black pigs, ZLB) 的肉质特性, 本试验以直隶黑猪、6 月龄杜长大三元猪 (Duroc×Landrace×Yorkshire pigs, DLY6) 与 10 月龄杜长大三元猪 (Duroc×Landrace×Yorkshire pigs, DLY10) 为研究对象, 对其背最长肌的肌肉品质、质构特性、营养成分、氨基酸含量、脂肪酸含量和挥发性风味物质进行比较分析。结果表明: 与两种 DLY 相比, ZLB 的 b^* 和大理石花纹评分极显著增加 ($P<0.01$), a^* 极显著降低 ($P<0.01$), 剪切力最小; 对于质构特性, ZLB 的硬度、粘附性、胶黏性均极显著优于两种 DLY ($P<0.01$); ZLB 肌肉脂肪含量是 DLY6 的 3.89 倍、DLY10 的 2.07 倍; 必需氨基酸、鲜味氨基酸、非必需氨基酸以及氨基酸总量无显著差异 ($P>0.05$), 必需氨基酸与总氨基酸的比值、必需氨基酸与非必需氨基酸的比值均接近 FAO/WHO 标准; 多不饱和脂肪酸尤其是亚油酸、花生四烯酸等必需脂肪酸含量均极显著高于两种 DLY ($P<0.01$); ZLB 的关键风味物质主要包括己醛、壬醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛、1-辛烯-3-醇, DLY6 的关键风味物质主要包括己醛、壬醛、庚醛、肉豆蔻醛、正辛醛、1-辛烯-3-醇与 2-正戊基呋喃, DLY10 的关键风味物质包括己醛、壬醛、癸醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛与 1-辛烯-3-醇, 三者有较大差异, 它们共同决定了不同猪肉的整体风味。由此说明, 直隶黑猪肌肉细嫩多汁, 脂肪含量高, 氨基酸组成合理, 多不饱和脂肪酸含量相对丰富, 风味良好, 具有高营养价值与开发价值。

关键词: 直隶黑猪, 杜长大三元猪, 猪肉品质, 氨基酸, 脂肪酸, 挥发性风味物质

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)18-0262-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120270



本文网刊:

Comparative Analysis of Meat Quality Traits between Zhili Black Pigs and DLY Pigs

PENG Ruyan¹, MENG Xianhua², ZHOU Tong¹, CHENG Xinlong¹, ZHANG Xuan¹, ZHAO Wen^{1,3,*}

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. Hebei Provincial Animal Husbandry Station, Shijiazhuang 050000, China;

3. Hebei Agricultural Products Processing Engineering Technology Center, Baoding 071000, China)

Abstract: In order to understand the meat quality characteristics of Zhili Black pigs (ZLB), the muscle quality, texture characteristics, nutritional components, amino acid content, fatty acid content and volatile flavor substances of longissimus dorsi muscle of Zhili Black pigs, the 6-month-old Duroc×Landrace×Yorkshire pigs (DLY6) and the 10-month-old Duroc×Landrace×Yorkshire pigs (DLY10) were compared and analyzed in this experiment. The results showed as follows. Compared with two kinds of DLYs, the b^* and marbling scores of ZLB were extremely significantly increased ($P<0.01$), while a^* was extremely significantly decreased ($P<0.01$), and shear force was the least. For texture characteristics, the hardness, adhesion and stickiness of ZLB were extremely significantly better than those of the two DLYs ($P<0.01$). The

收稿日期: 2021-12-27

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系生猪创新团队资助 (HBCT2018110205)。

作者简介: 彭汝艳 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品营养, E-mail: 748108746@qq.com。

* 通信作者: 赵文 (1964-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 食品营养, E-mail: zhaowen@hebau.edu.cn。

intramuscular fat content of ZLB was 3.89 times that of DLY6 and 2.07 times that of DLY10. There were no significant difference in the essential amino acids (EAA), flavor amino acids (FAA), nonessential amino acids (NEAA) and total amino acids (TAA) ($P>0.05$). EAA/TAA and EAA/NEAA were close to FAO/WHO standard. The content of polyunsaturated fatty acids, especially essential fatty acids such as linoleic acid and arachidonic acid, was extremely significantly higher than the two kinds of DLYs ($P<0.01$). The key flavor substances of ZLY mainly included hexanal, nonanal, octanal, (E)-2-octenal, (2E)-2-nonenal and 1-octen-3-ol. The key flavor substances of DLY6 mainly included hexanal, nonanal, heptanal, myristicin aldehyde, octanal, 1-octen-3-ol and 2-amylfuran. The key flavor substances of DLY10 mainly included hexanal, nonanal, decanal, octanal, (E)-2-octenal, (2E)-2-nonenal and 1-octen-3-ol, which were quite different from each other and together determined the overall flavor of different pork. In conclusion, ZLB had tender and juicy muscle, high fat content, reasonable amino acid composition, relatively rich polyunsaturated fatty acid content and pleasurable flavor, which had high nutritional and development value.

Key words: Zhili Black pigs; Duroc×Landrace×Yorkshire pigs (DLY pigs); pork quality; amino acid; fatty acid; volatile flavor substance

黑猪在我国有着近 5000 年的历史, 由于其特殊的品种特性, 以及地理环境与饲养条件, 使其具有独特的风味。近年来随着国外猪种的引进, 黑猪逐渐以繁殖产能低、饲养周期长的缺点被淘汰^[1]。现在, 随着生活水平的提高, 消费者对猪肉品质的要求越来越高, 猪肉的鲜美度、风味、口感等特性得到社会的广泛关注, 黑猪以其优良的肉质和鲜美的滋味又逐渐进入到大众的视野。

我国地方品种猪资源丰富, 猪肉品质受基因、性别、饲养条件、月龄、地理环境等因素的影响, 其中品种起到主要作用。许振英对中国 10 个地方猪种进行研究, 得出我国地方猪种具有肉色好、保水性强、大理石纹丰富、肌纤维直径小、肌内脂肪含量高优点^[2]。不同学者针对不同品种黑猪肉进行了系统性研究。周武选等^[3]发现滇南小耳猪水分含量较低, 蛋白、肌内脂肪含量、必需氨基酸、鲜味氨基酸较高; 李文通等^[4]发现江泉黑猪肌内脂肪含量、大理石纹、肉色、保水性等肉质指标明显优于杜长大三元猪; 陈小连等^[5]发现赣南藏香猪肉色偏红, 风味更佳, 更耐贮存。

直隶黑猪(ZLB)是河北特有的地方优质猪肉品牌, 其品种为北京黑猪, 北京黑猪是北京市畜牧行业仅有的自己培育且具有自主知识产权的品种之一, 1982 年经农业部鉴定验收, 2008 年被引入保定。直隶黑猪主要采用纯粮、果蔬喂养, 圈养和山地散养结合, 运动成长的养殖模式, 以耐粗饲、抗病能力强而著称, 肉质筋道, 细嫩多汁, 香味浓郁, 有较高的食用价值, 很受消费者青睐。但有关直隶黑猪肉品质分析方面还未见相关报道。对于杜长大三元猪, 养殖模式对其品质有显著影响, 与圈养相比, 散养不仅能够改善动物福利, 也有利于猪肉品质的提升; 并且随着月龄的增长, 一些影响猪肉品质与滋味的物质也会发生一定的变化。本研究以 6 月龄杜长大三元猪(DLY6)和 10 月龄杜长大三元猪(DLY10)作为对照(DLY10 数据来源于本课题组前期试验成果^[6]), 对比研究直隶黑猪肉与常见的市售白猪肉以及相同月龄、相同养殖模式的杜长大三元猪的肌肉剪切力、大理石花

纹、蒸煮损失、滴水损失以及质构特性、营养成分等的区别, 特别是氨基酸和脂肪酸的组成特点, 并对不同品种及养殖方式对猪肉品质的影响进行探讨, 旨在阐明直隶黑猪肉独特的品质特性, 同时明确养殖模式对猪肉品质的影响, 为直隶黑猪肉的进一步加工和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

直隶黑猪(纯粮、蔬果饲喂, 圈养和山地散养结合模式) 6 头, 10 月龄, 生长状况良好, 由河北保定唐县某养殖场提供; 杜长大三元猪(纯粮饲喂, 圈养模式) 6 头, 6 月龄, 生长状况良好, 由河北保定某大型屠宰场提供; 杜长大三元猪(纯粮、蔬果饲喂, 圈养和散养结合模式) 6 头, 10 月龄, 生长状况良好, 由河北辛集某养殖场提供; 氨基酸标准品、脂肪酸标准品(纯度>99.9%) 上海源叶生物科技有限公司; 十一烷酸甘油三酯标准品(纯度>99.9%) 上海安谱实验科技股份有限公司。

CR400 色差仪 日本 Konica 公司; Waters 1525-2489 高效液相色谱仪 美国 Waters 公司; 7890A 气相色谱仪、5977A-7890B 气相色谱-质谱联用仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 猪宰杀前禁食 24 h, 宰杀后于 0~4 °C 排酸 24 h, 排酸后进行胴体分割。取左侧背最长肌, 除去脂肪、筋膜与结缔组织, 将肉样裁切为较小的肉块, 装入自封袋中冷冻保存, 用于后续指标的测定。

1.2.2 肌肉品质测定

1.2.2.1 pH 参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》的方法, 对样品 pH 进行测定。

1.2.2.2 肉色 使用色差计对肉样颜色进行测定。将色差计镜头紧贴于肉样表面, 测定其 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值。

1.2.2.3 剪切力 参照《肉嫩度的测定 剪切力测定法》(NY/T 1180-2006)进行测定。在猪背最长肌切取长宽高不少于 6 cm×3 cm×3 cm 的肉样,蒸煮至肉样中心达到 70 ℃ 后冷却至室温,顺纤维方向切成 1 cm×1 cm×2 cm 的样品,在垂直肌纤维方向用剪切仪切断样品并测定剪切力值。参数设置如下:测试速度 60 mm/min,剪切距离 30 mm,起始力 2 N,最大破裂百分比 100%。

1.2.2.4 大理石纹 以美国 NPPC 大理石纹评分标准^[7]为依据,采用 10 分制标准图谱对肉样进行目测评分。

1.2.2.5 蒸煮损失 参照《肉的食用品质客观评价方法》(NY/T 2793-2015)进行测定。取规格 1 cm×2 cm×3 cm 的肉样(记为 m_1)放置于蒸煮袋中,在 80 ℃ 恒温水浴锅中加热至肉样中心温度为 70 ℃,冷却后吸干表面水分,再次称量(m_2)。计算公式如(1)所示:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.2.6 拿破率 参照张伟力等^[8]的方法,取 100 g 左右的背最长肌,于冰箱冷藏 24 h 后,切成 1 cm³ 大小的肉丁,称重(m_1),加入 20 mL 盐水,0~4 ℃ 腌制 24 h 后取出,放置于沸水中煮制 10 min,水浴后的样品于常温下放置 2.5 h 后称重(m_2)。计算公式如(2)所示:

$$\text{拿破率}(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.2.7 滴水损失 参照《肉的食用品质客观评价方法》(NY/T 2793-2015)进行测定。将肉样沿肌纤维走向切取 2 cm×3 cm×5 cm 的样本,称重(m_1),用细铁丝将其悬挂于自封袋中,并使其不接触自封袋。4 ℃ 悬挂保存 48 h 后去掉自封袋,再次称量(m_2)。计算公式如下所示:

$$\text{滴水损失}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

1.2.3 质构特性 参照参考文献[6]进行测定。取蒸煮后背最长肌,切成大小为 1 cm×1 cm×2 cm 的长条肉样,使用质构仪在 TPA 模式下测定,测定条件:力量感应量程 999 N,探头回升高度 30 mm,形变量 50%,测试速度 1 mm/s,起始力 0.5 N, P/36R 柱形探头。每组样品平行测定 7 次。

1.2.4 营养成分测定 参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,用直接干燥法测定水分含量;参考 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》,用灼烧法测定灰分含量;参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》,用凯氏定氮法测定蛋白质含量;参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》,用索氏抽提法测定脂肪含量。

1.2.5 氨基酸含量测定 样品中氨基酸含量参照参考文献[9]进行测定,具体操作过程如下。

1.2.5.1 色氨酸 样品前处理:称取 0.3 g 试样于水解管中,加入 10 mL 5 mol/L 氢氧化钠溶液,110 ℃ 烘箱中水解 24 h。取出至室温后,加入盐酸中和,用乙酸钠缓冲液定容至 50 mL 容量瓶,离心后取上清液过膜,进行 HPLC 测定。

色谱条件: C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),柱温: 40 ℃,紫外检测波长: 280 nm,进样量: 10 μL,流动相 A: 甲醇,流动相 B: pH 为 4.00 的乙酸-乙酸钠缓冲液,流动相流速: 1 mL/min,等度洗脱。

1.2.5.2 其它氨基酸 样品前处理:称取 1 g 试样于水解管中,加入 10 mL 6 mol/L 盐酸溶液,110 ℃ 烘箱中水解 24 h。取出至室温后,取上清液,减压蒸干,盐酸溶解,过膜,衍生,定容,混匀,过膜后进行 HPLC 测定。

色谱条件: C₁₈ 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),柱温: 40 ℃,检测波长: 360 nm,进样量: 10 μL,流动相 A: 乙腈,流动相 B: pH 为 5.25 的乙酸-乙酸钠缓冲液,流动相流速: 1 mL/min,梯度洗脱,循环时间 50 min。

1.2.6 脂肪酸含量 脂肪酸含量的测定方法参照 GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》,使用气相色谱仪进行测定。

色谱条件: 毛细管色谱柱(100 m×0.25 mm, 0.20 μm),进样口温度 270 ℃,载气为 He,分流比 100:1,柱温为 100 ℃,保持 13 min,然后以 10 ℃/min 升至 180 ℃ 保温 6 min,再以 1 ℃/min 升温至 200 ℃ 保持 20 min,以 4 ℃/min 升温至 230 ℃ 保持 10.5 min。

1.2.7 挥发性风味物质 样品处理方法:在 20 mL 顶空样品瓶中加入 5 g 粉碎肉样和 5 mL 饱和氯化钠溶液,加盖密封,充分振荡混匀后置于 60 ℃ 水浴锅中加热 15 min,将老化处理的萃取头插入样品瓶顶空吸附 40 min,使挥发性风味物质充分吸附在纤维头上,吸附后的萃取头取出后迅速插入 GC-MS 进样口,在 240 ℃ 条件下解析 7 min 后进行采集数据。

色谱条件:进样口温度 240 ℃,载气为 He,流速 1.0 mL/min,无分流比,升温程序采用两段式程序升温,初温 50 ℃ 保持 2 min,以 3 ℃/min 升温至 80 ℃,再以 5 ℃/min 升温至 230 ℃,保持 10 min。

质谱条件:电子能量 70 eV, EI 电离方式,离子源温度 230 ℃,四级杆温度 150 ℃,全扫描模式,质量扫描范围 33~450 m/z。

经 NIST14.L 谱库对挥发性化合物成分检索分析,采用峰面积归一化法计算其相对含量。使用 ROAV 法^[10]对猪肉各风味物质的贡献程度进行评价,把样品中对风味贡献最大的物质赋值为 100 (ROAV_{stan}=100),其余物质的风味贡献度按公式(4)计算。

$$ROAV_i = \frac{C\%_{0_i}}{C\%_{0_{stan}}} \times \frac{T_{stan}}{T_i} \times 100$$

式 (4)

式中: $C\%_{0_i}$ 为某组分的相对含量; $C\%_{0_{stan}}$ 为风味贡献度最大物质的相对含量; T_{stan} 为风味贡献度最大的物质感官阈值; T_i 为某组分的感官阈值。

1.3 数据处理

使用 Excel 2010 对数据进行初步整理, 选用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。 $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 肌肉品质分析

肌肉品质分析结果见表 1, 由表 1 可知, ZLB a^* 较 DLY 低且差异极显著 ($P<0.01$), 剪切力较 DLY6 低且差异极显著, 与 DLY10 无显著差异 ($P>0.05$), b^* 与大理石花纹较 DLY 增加且差异极显著 ($P<0.01$), 而其他品质性状方面 ZLB 与 DLY 之间无显著差异 ($P>0.05$)。

表 1 直隶黑猪与杜长大三元猪肌肉品质对比
Table 1 Comparison of muscle quality between Zhili Black pigs and DLY pigs

类别	直隶黑猪	杜长大三元猪 (6月龄)	杜长大三元猪 (10月龄) ^[6]
pH	5.76±0.17	5.61±0.23	5.86±0.11
L^*	54.03±2.69	51.41±1.71	54.06±3.40
a^*	6.41±0.71 ^{Aa}	8.50±0.75 ^{Bb}	10.30±0.77 ^{Cc}
b^*	3.42±0.43 ^{Aa}	1.22±0.34 ^{Bb}	1.42±0.24 ^{Bb}
剪切力(N)	38.31±3.76 ^{Aa}	60.10±5.84 ^{Bb}	42.71±2.88 ^{Aa}
大理石花纹(分)	4.59±0.94 ^{Aa}	3.01±0.78 ^{Bb}	3.51±0.21 ^{Bb}
蒸煮损失(%)	28.08±1.64	25.81±1.68	29.30±1.78
拿破率(%)	62.23±3.27	67.47±4.20	65.87±2.67
滴水损失(%)	3.13±0.47	2.94±0.68	3.07±0.62

注: 同行数据肩标小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$); 大写字母不同表示差异极显著 ($P<0.01$); 表中未肩标大小写字母的, 表示同行间差异不显著; 表2-表6同。

正常 pH 在 5.50~5.90 之间, 本试验结果表明, 三种猪肉 pH 均在正常范围内。猪肉的颜色是影响消费者的购买活动的重要因素, L^* 、 a^* 、 b^* 是评价肉色的指标, L^* 与 a^* 越大, 肉的光泽度越好, 肉质越好, b^* 对猪肉肉色的影响较小^[11]。ZLB 与 DLY 在 L^* 方面无显著性差异, ZLB 的 a^* 虽极显著小于 DLY, 但与其他地方品种猪如巴民黑猪、五指山猪等 a^* 大小基本一致^[12]。猪肉的嫩度是评价其食用品质的关键因素之一, 剪切力作为衡量肌肉嫩度的首要依据, 受肌纤维类型与密度等因素的影响^[13-14]。研究表明, 当肌肉剪切力超过 52.72 N 时, 肉较硬, 当剪切力小于 42.72 N 时, 肉较嫩^[15]。ZLB 的剪切力值为 38.31 N, 嫩度较好。同时, 猪肉的嫩度与肌内脂肪含量呈正相关, ZLB 肌内脂肪含量也远高于 DLY, 说明肌内脂肪可能是嫩度增强的关键原因。大理石纹表现为脂肪在动物骨骼肌肌束与肌纤维间的沉积, 反映了脂肪在肌肉中的分布程度, 与猪肉的嫩度、多汁性与风味

有关^[16-17]。大理石纹评分越高, 肌内脂肪含量就越高。因此, 与 DLY 相比, ZLB 具有鲜嫩多汁, 适口性强的特点。

2.2 质构特性分析

由表 2 可知, ZLB 的粘附性极显著高于 DLY, 硬度、胶黏性极显著低于 DLY ($P<0.01$), 回复性、内聚性、弹性与咀嚼性无显著差异 ($P>0.05$)。

表 2 直隶黑猪与杜长大三元猪质构特性对比
Table 2 Comparison of texture characteristics between Zhili Black pigs and DLY pigs

类别	直隶黑猪	杜长大三元猪 (6月龄)	杜长大三元猪 (10月龄) ^[6]
硬度(N)	43.84±4.74 ^{Aa}	51.53±4.23 ^{Bb}	51.50±5.37 ^{Bb}
回复性(Ratio)	0.24±0.02	0.26±0.02	0.23±0.04
粘附性(mJ)	1.07±0.10 ^{Aa}	0.47±0.10 ^{Bb}	0.36±0.09 ^{Bb}
内聚性(Ratio)	0.20±0.02	0.22±0.02	0.23±0.05
弹性(mm)	4.84±0.39	4.60±0.45	4.40±0.89
胶粘性(N)	7.71±0.87 ^{Aa}	10.12±1.46 ^{Bb}	12.36±1.86 ^{Cc}
咀嚼性(mJ)	48.12±4.92	52.82±4.58	49.23±4.63

质构可以通过模拟人口腔的咀嚼活动来描述肉质嫩度、紧密程度与结缔组织状况^[18-20]。对肉品质测定包括感官评定与质构测定两个方面。与感官评定相比, 质构测定具有更好的客观性与重复性。质构指标中的硬度、弹性、咀嚼性可反应猪肉的口感。硬度与咀嚼性越小, 弹性越大, 肌肉越嫩, 胶黏性越低, 说明食物更易吞咽。相关研究也表明, 质构剖面分析中的硬度、粘附性、弹性、胶黏性与感官评定中的弹性、多汁性、油脂性呈正相关关系^[21]。ZLB 硬度、胶黏性较低, 而粘附性较大, 说明 ZLB 具有良好的口感和咀嚼性。可能与 ZLB 的基因以及活动强度等因素有关。

2.3 营养成分分析

由表 3 可知, ZLB 的肌内脂肪含量极显著高于 DLY10 ($P<0.01$), DLY10 肌内脂肪含量极显著高于 DLY6 ($P<0.01$), 水分、灰分、蛋白质的含量在 ZLB 与 DLY 之间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 3 直隶黑猪与杜长大三元猪营养成分对比
Table 3 Comparison of nutrient composition between Zhili Black pigs and DLY pigs

类别	直隶黑猪	杜长大三元猪 (6月龄)	杜长大三元猪 (10月龄) ^[6]
水分(g/100 g)	70.83±2.13	71.10±2.51	72.54±0.62
灰分(g/100 g)	1.05±0.12	1.15±0.11	1.23±0.03
蛋白质(g/100 g)	22.61±1.03	24.05±1.61	24.24±2.27
肌内脂肪(g/100 g)	3.97±0.61 ^{Aa}	1.02±0.11 ^{Cc}	1.92±0.08 ^{Bb}

水分、灰分、蛋白与脂肪含量是猪肉基本营养价值的体现, 不仅反映了猪肉的品质, 还与其加工特性密切相关^[22]。肌内脂肪含量影响其大理石纹评分, 而大理石纹评分较高时, 猪肉的多汁性、嫩度与风味均更佳。因此, 肌内脂肪含量高的猪肉柔嫩多汁、口感

香醇。ZLB 肌内脂肪含量高的原因可能是遗传因素,或由于其生长时间较长,导致脂肪在体内沉积。

2.4 氨基酸含量分析

由表 4 可知,ZLB 与 DLY 肌肉中均检测出 18 种氨基酸,其中包括 8 种必需氨基酸。ZLB 甘氨酸含量较 DLY10 极显著降低,酪氨酸含量较 DLY10 极显著增加,脯氨酸含量较 DLY 极显著增加($P<0.01$),胱氨酸含量较 DLY 显著降低($P<0.05$)。ZLB 与 DLY 必需氨基酸、鲜味氨基酸与氨基酸总量方面差异不显著($P>0.05$)。DLY10 EAA/NEAA 较其他两种猪肉相比极显著增加($P<0.01$)。

氨基酸作为蛋白质的基本组分,在机体生长发育过程中起着不可替代的重要作用^[23]。根据 FAO/WHO 标准,理想蛋白质 EAA/TAA 在 40% 左右,EAA/NEAA 在 60% 以上^[24]。本试验测得的 ZLB、DLY6 与 DLY10 EAA/TAA 分别为 37.07%、38.49% 和 40.03%,接近 FAO/WHO 标准,EAA/NEAA 分别为 60.41%、62.57%和 66.96%,均满足 FAO/WHO 标准。说明氨基酸比例与构成符合人体需要,具有较高的营养价值。鲜味氨基酸是肉类鲜味的重要来源,一些氨基酸如谷氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、甘氨酸决定了猪肉的鲜美程度,与风味有直接关系^[2,25]。尤其谷氨酸在缓解酸、咸等味道以及形成鲜味等方面具有重要作用,是猪肉最主要的鲜味来源^[26]。本试验中,

三种猪肉均以谷氨酸含量最高,其次是天冬氨酸,ZLB、DLY6 与 DLY10 FAA/TAA 的值分别为 35.46%、34.68% 与 34.65%,鲜味氨基酸占比较高。

2.5 脂肪酸含量分析

ZLB 与 DLY 中的脂肪酸结果比较见表 5,由表 5 可知,ZLB 肌肉中检测出 14 种脂肪酸,DLY6 肌肉中检测出 17 种脂肪酸,DLY10 肌肉中检测出 13 种脂肪酸。

ZLB 背最长肌中肉豆蔻酸、花生烯酸含量极显著低于 DLY10,山嵛酸、二十三碳酸含量极显著低于 DLY6($P<0.01$),十七烷酸含量显著低于 DLY10 ($P<0.05$);ZLB 硬脂酸含量极显著高于 DLY6,亚油酸、花生四烯酸含量极显著高于 DLY($P<0.01$),亚麻酸含量显著高于 DLY10($P<0.05$);ZLB 多不饱和脂肪酸含量极显著高于 DLY($P<0.01$),其余脂肪酸在 ZLB 与 DLY 间不存在显著差别($P>0.05$)。

脂肪酸作为构成脂肪的重要化学物质,不仅能为人体提供所需要的营养物质,还能够作为风味前体,影响肌肉整体风味^[27]。脂肪酸中的多不饱和脂肪酸具有增加血小板功能、减少动脉血栓的形成以及抗癌的作用,同时,由于多不饱和脂肪酸含有丰富的双键,对猪肉风味也具有一定的影响^[28-29]。而多不饱和脂肪酸中的亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸为人体必需脂肪酸。在本试验中 ZLB 多不饱和脂肪酸及其中

表 4 直隶黑猪与杜长大三元猪氨基酸组成及含量对比(mg/g)

Table 4 Comparison of amino acids composition and content between Zhili Black pigs and DLY pigs (mg/g)

类别	直隶黑猪	杜长大三元猪(6月龄)	杜长大三元猪(10月龄) ^[6]
必需氨基酸	缬氨酸 Val	10.06±0.93	10.61±0.54
	甲硫氨酸 Met	5.04±0.27	5.14±0.54
	色氨酸 Trp	3.38±0.28	3.42±0.23
	赖氨酸 Lys	10.52±0.74	9.62±0.78
	异亮氨酸 Ile	8.91±0.85	9.90±0.65
	亮氨酸 Leu	15.99±1.4	15.87±0.97
	苯丙氨酸 Phe	6.59±0.88	7.53±0.75
	苏氨酸 Thr	9.60±1.22	9.36±0.51
	天冬氨酸 Asp	18.72±1.76	17.87±0.89
	谷氨酸 Glu	27.29±2.71	25.59±1.62
	组氨酸 His	11.32±1.15	11.22±0.07
	丝氨酸 Ser	8.35±0.97	8.27±0.40
	精氨酸 Arg	13.58±1.44	13.05±0.76
	甘氨酸 Gly	8.94±0.41 ^{Aa}	9.81±0.66 ^{ABab}
	脯氨酸 Pro	11.47±1.91 ^{Aa}	9.20±0.52 ^{Bb}
	丙氨酸 Ala	11.54±1.17	11.44±0.67
	胱氨酸 Cys	1.88±0.14 ^a	2.37±0.20 ^b
非必需氨基酸	酪氨酸 Tyr	6.05±0.80 ^{Aa}	6.34±2.02 ^{Aa}
	氨基酸总量 TAA	187.50±14.00	186.60±6.48
	必需氨基酸 EAA	70.61±3.91	71.82±3.39
	非必需氨基酸 NEAA	116.89±10.09	114.78±5.97
	鲜味氨基酸 FAA	66.49±6.05	64.71±3.84
	EAA/TAA(%)	37.07±1.49	38.49±1.28
	EAA/NEAA(%)	60.41±1.97 ^{Aa}	62.57±1.64 ^{Aa}
	FAA/TAA(%)	35.46±1.35	34.68±1.55

表 5 直隶黑猪与杜长大三元猪脂肪酸组成及相对含量(%)
Table 5 Composition and relative content of fatty acids in Zhili Black pigs and DLY pigs (%)

类别	直隶黑猪	杜长大三元猪(6月龄)	杜长大三元猪(10月龄) ^[6]
肉豆蔻酸 C14:0	0.36±0.05 ^{Aa}	0.38±0.09 ^{Aa}	1.12±0.24 ^{Bb}
棕榈酸 C16:0	22.41±2.09 ^{ABab}	20.90±1.79 ^{Aa}	24.35±2.76 ^{Bb}
棕榈油酸 C16:1	2.41±0.30	1.99±0.14	2.16±0.25
十七烷酸 C17:0	0.22±0.05 ^a	0.34±0.07 ^{ab}	0.45±0.13 ^b
硬脂酸 C18:0	11.36±0.65 ^{Aa}	9.99±0.29 ^{Bb}	11.71±1.69 ^{Aa}
油酸 C18:1	43.76±1.24	44.50±1.95	42.72±2.00
亚油酸 C18:2	11.75±0.14 ^{Aa}	8.91±2.26 ^{Cc}	10.68±0.49 ^{Bb}
花生酸 C20:0	0.92±0.10	0.63±0.15	0.74±0.10
花生烯酸 C20:1	0.47±0.07 ^{Aa}	0.55±0.16 ^{Aa}	0.79±0.06 ^{Bb}
亚麻酸 C18:3	2.09±0.17 ^a	1.80±0.70 ^a	1.42±0.64 ^b
二十一碳酸 C21:0	0.80±0.47 ^{ab}	1.08±0.43 ^a	0.50±0.09 ^b
山嵛酸 C22:0	1.35±0.21 ^{Aa}	3.64±0.88 ^{Bb}	2.15±0.84 ^{Aa}
二十二碳一烯酸 C22:1	—	0.55±0.12	—
花生四烯酸 C20:4	1.62±0.34 ^{Aa}	0.64±0.09 ^{Bb}	—
二十三碳酸 C23:0	0.86±0.31 ^{Aa}	2.37±0.48 ^{Bb}	1.21±0.13 ^{Aa}
二十二碳二烯酸 C22:2	—	1.29±0.23	—
二十四碳酸 C24:0	—	0.44±0.27	—
饱和脂肪酸 SFA	38.28±1.08	39.77±0.97	41.43±2.24
单不饱和脂肪酸 MUFA	46.64±1.21	47.59±2.38	44.91±1.71
多不饱和脂肪酸 PUFA	15.46±0.48 ^{Aa}	12.64±2.56 ^{Bb}	12.10±0.88 ^{Bb}

注: “—”表示未检测出。

的亚油酸、花生四烯酸含量极显著高于 DLY, 亚麻酸含量显著高于 DLY10($P<0.05$), 说明 ZLB 在营养价值与风味方面有一定的优势。

2.6 挥发性风味物质含量分析

由表 6~表 7 可知, 猪肉的挥发性物质中共鉴别出 42 种化合物, 其中 ZLB 检测出 24 种, DLY6 检测出 26 种, DLY10 检测出 28 种。ZLB 挥发性风味成分共包含醛类 7 种, 醇类 8 种, 酸类 1 种, 酮类 1 种, 烃类 3 种, 杂环类 1 种及其他类 3 种。DLY6 挥发性风味成分包括醛类 7 种, 醇类 8 种, 酸类 1 种, 酮类 1 种, 烃类 5 种, 杂环类 1 种及其他类 3 种。DLY10 挥发性风味成分包括醛类 7 种, 醇类 6 种, 酸类 2 种, 酮类 2 种, 烃类 6 种, 杂环类 1 种及其他类 4 种。

挥发性物质对猪肉整体风味的贡献是由其相对含量与阈值共同决定的^[31]。反式-2-壬醛在 ZLB 与 DLY10 中相对含量较高, 且阈值较低, 总体贡献最大, 因此在 ZLB 与 DLY10 中将反式-2-壬醛相对气味活度值(ROAV)定义为 100。壬醛在 DLY6 中相对含量较高, 且阈值较低, 总体贡献最大, 因此在 DLY6 中将壬醛 ROAV 值定义为 100。ROAV 越大的组分对样品总体风味的贡献度越大, $ROAV \geq 1$ 的物质被判定为猪肉的关键风味成分, $0.1 \leq ROAV < 1$ 的物质则对猪肉总体风味具有一定的修饰作用。由表 7 可知, ZLB 的关键风味物质包括己醛、壬醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛与 1-辛烯-3-醇, DLY6 的关键风味物质包括己醛、壬醛、庚醛、肉豆蔻醛、正辛醛、1-辛烯-3-醇与 2-正戊基呋喃,

DLY10 的关键风味物质包括己醛、壬醛、癸醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛与 1-辛烯-3-醇。

风味是评价猪肉整体感官品质的重要指标之一。生猪肉气味清淡且伴有少量血腥味, 而经高温处理后, 肉中的多种风味前体物质便可通过一系列化学变化转换为芳香物质^[32]。醛类物质主要来源于酸脂类化合物的降解, 对猪肉香气的形成起着重要作用^[33]。由表 6 可知, ZLB 肌肉中检测出 7 种醛类物质, 大多醛类阈值很低, 且己醛、壬醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛含量较高, 是猪肉中挥发性风味物质的主要成分($ROAV \geq 1$)。己醛是脂肪氧化后的一种风味成分, 有青草味, 壬醛有脂肪气味与清香气味, 正辛醛有脂肪与水果香味, 反-2-辛烯醛有肉香、脂肪香气, 反式-2-壬醛具有脂肪香气。醇类大多数来源于脂质的氧化分解^[34]。ZLB 肌肉中检出的醇类物质有 9 种, 其中 1-辛烯-3-醇含量较高。醇类阈值较高, 对猪肉风味的贡献不如醛类, 但在猪肉的香味中有加和作用。1-辛烯-3-醇具有蘑菇香气, 阈值较低, 是主要的呈味物质之一^[35]。酸类物质在猪肉中含量较低, 阈值较高, 对猪肉的香气贡献较小。酮类是羰基化合物的一种, 由多不饱和脂肪酸氧化形成, 有增强风味的作用。烃类主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂, 阈值较高, 对风味贡献不大, 但与其他物质共同作用能提高肉制品的整体风味^[36]。杂环类物质属于低阈值挥发性化合物, 是肉类特有香味的重要来源之一。这些物质均可赋予猪肉良好的风味。

3 结论

本文对比研究了直隶黑猪与两种杜长大三元猪

表 6 直隶黑猪与杜长大三元猪挥发性风味物质组成及相对含量(%)

Table 6 Composition and relative content of volatile flavor substances in Zhili Black pigs and DLY pigs (%)

类别	化合物名称	相对含量		
		直隶黑猪	杜长大三元猪(6月龄)	杜长大三元猪(10月龄) ^[6]
醛类	己醛	21.66±2.89	28.28±9.08	22.13±2.75
	壬醛	13.38±2.04	10.41±3.91	10.03±6.08
	庚醛	—	3.93±0.19	—
	癸醛	—	—	2.26±0.06
	正十五碳醛	—	1.30±0.43	—
	肉豆蔻醛	—	3.78±2.65	—
	苯甲醛	2.92±0.73	1.89±0.35	3.78±2.81
	正辛醛	2.86±0.15	2.39±0.99	2.76±0.34
	反-2-辛烯醛	1.44±0.27	—	1.96±0.35
	反式-2,4-癸二烯醛	1.87±0.19	—	—
	反式-2-壬醛	2.93±0.28	—	2.40±0.26
	2-辛烯-1-醇	—	0.88±0.13	—
	苯甲醇	2.11±0.25	1.84±0.13	0.98±0.95
醇类	正己醇	2.95±0.11	2.59±0.70	—
	庚醇	2.89±0.80	2.93±0.78	2.17±0.56
	1-辛醇	2.71±0.35	3.79±1.83	2.18±1.20
	1-戊醇	5.66±0.95	5.21±1.56	3.84±1.12
	异辛醇	4.04±0.65	3.57±0.27	2.74±0.69
	1-辛烯-3-醇	7.97±1.12	5.96±2.06	7.28±2.11
	3-甲基-2-丁烯-1-醇	0.58±0.06	—	—
酸类	己酸	2.01±0.64 ^a	2.08±0.12 ^a	5.02±1.79 ^b
	壬酸	—	—	3.51±0.40
	苯乙酮	—	—	1.01±0.37
酮类	3-羟基-2-丁酮	—	3.62±0.49	—
	2-甲基-3-辛酮	—	—	2.19±0.16
	2,3-辛二酮	3.12±0.53	—	—
	萘	—	5.28±0.79	—
烃类	柠檬烯	—	—	0.71±0.13
	正癸烯	—	1.97±0.62	2.44±0.57
	苯乙烯	1.52±0.72	0.91±0.68	2.21±1.87
	十二烷	3.02±0.04	—	—
	十四烷	1.81±0.25	—	1.39±0.10
	十五烷	—	1.51±0.13	1.60±0.58
	十七烷	—	1.80±0.39	2.28±1.07
杂环类	2-正戊基呋喃	1.66±0.56	1.05±0.11	1.24±0.25
	苯酚	—	1.21±0.44	2.61±2.18
	乙酸苄酯	—	—	0.99±0.95
其他	甲酸辛酯	1.46±0.10	—	—
	氯甲酸辛酯	1.88±0.13	—	—
	2,6-二叔丁基对甲苯酚	—	0.85±0.01	—
	2,4-二叔丁基苯酚	—	—	2.34±0.83
	茴香脑	1.95±0.08	1.18±0.10	2.41±1.39

注: “—”表示未检测出。

的肉质特性,结果表明,直隶黑猪剪切力小,大理石花纹丰富,肌内脂肪、多不饱和脂肪酸,特别是亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸含量高,说明其肉质细嫩,香味浓郁,脂肪营养价值高;硬度、胶黏性较低,而粘附性较大,说明直隶黑猪具有良好的口感。同时,直隶黑猪与两种杜长大三元猪有着合理的氨基酸组成与丰富的鲜味氨基酸。直隶黑猪的关键风味物质包括己醛、壬醛、正辛醛、反-2-辛烯醛、反式-2-壬醛与 1-辛

烯-3-醇,呈现出不同程度的脂肪香、肉香、清香与果香,可能与其以纯粮、果蔬等为日粮有关。综合来看,直隶黑猪肌肉肉质鲜美,营养全面,风味更佳,具有广阔的开发利用前景。

此外,从养殖模式进行分析,直隶黑猪与 10 月龄杜长大三元猪的肉质特性如剪切力、风味物质组成相似,可能与采用基本相同的养殖模式有关,而与 6 月龄杜长大三元猪有较大差异,说明纯粮、蔬果饲

表 7 直隶黑猪与杜长大三元猪挥发性风味物质的 ROAV 值
Table 7 ROAV value of volatile flavor substance of Zhili Black pigs and DLY pigs

类别	化合物名称	感官阈值(μg·kg ⁻¹)	ROAV			香气特征 ^[6,30]
			直隶黑猪	杜长大三元猪(6月龄)	杜长大三元猪(10月龄) ^[6]	
醛类	己醛	4.5	16.43	60.39	20.53	青草香
	壬醛	1	45.67	100	41.89	脂肪气味、清香
	庚醛	3	—	12.57	—	油脂味、果香
	癸醛	0.1	—	—	94.36	青草味、柑橘味
	肉豆蔻醛	14	—	2.59	—	—
	苯甲醛	350	0.03	0.05	0.05	—
	正辛醛	0.7	27.74	32.85	16.46	脂肪和水果香味
	反-2-辛烯醛	3	1.64	—	2.73	肉香、脂肪香
	反式-2-壬醛	0.1	100	—	100	脂肪香
	2-辛烯-1-醇	40	—	0.21	—	—
醇类	苯甲醇	620	0.01	0.03	0.01	—
	正己醇	250	0.04	0.10	—	果香、脂肪味
	庚醇	330	0.05	0.09	0.03	—
	1-辛醇	110	0.08	0.33	0.08	油脂味, 水果味
	1-戊醇	4000	0.01	0.01	<0.01	—
	异辛醇	270000	<0.01	<0.01	<0.01	—
	1-辛烯-3-醇	1	27.19	57.27	30.38	蘑菇香
酸类	己酸	3000	<0.01	0.01	0.01	—
	壬酸	3000	—	—	<0.01	—
酮类	苯乙酮	65	—	—	0.06	—
	3-羟基-2-丁酮	55	—	0.63	—	奶香味
烃类	萘	60	—	0.85	—	清香
	柠檬烯	10	—	—	0.29	柠檬香气
	苯乙烯	730	0.01	0.01	0.01	芳香气味
杂环类	2-正戊基呋喃	6	0.94	1.68	0.86	肉香味
其他	苯酚	5900	—	<0.01	<0.01	—
	茴香脑	15	0.44	0.76	0.67	清香

注: 此表中未列出无法查到阈值的物质; “—”表示未检出或无法查到香气特征的物质。

喂, 圈养和散养结合的养殖模式对猪肉品质改善有一定的积极作用; 10 月龄杜长大三元猪脂肪含量虽比 6 月龄杜长大三元猪高, 但仍不及直隶黑猪, 且多不饱和脂肪酸含量明显低于直隶黑猪, 说明遗传因素影响的肉品质很难通过养殖模式进行改善。

参考文献

[1] 古洁, 赵峰. 促进屯昌黑猪特色产业发展的对策分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(16): 25-29. [GU J, ZHAO F. Countermeasure analysis of promoting the development of characteristic industry of Tunchang black pigs[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(16): 25-29.]

[2] 许振英. 中国一些地方猪种质特性的研究[J]. 中国农业科学, 1985(2): 1-11, 97-98. [XU Z Y. Study on germplasm characteristics of some local pigs in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1985(2): 1-11, 97-98.]

[3] 周选武, 黄伟, 曹志勇, 等. 滇南小耳猪与 DLY 商品猪背最长肌营养成分比较分析[J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(7): 1743-1748. [ZHOU X W, HUANG W, CAO Z Y, et al. Nutrient composition comparison of longissimus dorsi between Diannan small-ear pigs and DLY commercial pigs[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2016, 43(7): 1743-1748.]

[4] 李文通, 刘颖, 周荣, 等. 江泉黑猪与杜长大三元杂交猪屠宰性能及肉质性状比较分析[J]. 中国畜牧兽医, 2017, 44(7): 2057-2064. [LI W T, LIU Y, ZHOU R, et al. A comparative study on the carcass and meat quality traits of Jiangquan black pig and DLY pig[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2017, 44(7): 2057-2064.]

[5] 陈小连, 周泉勇, 宋文静, 等. 赣南藏香猪与杜长大商品猪胴体性状和肉品质比较分析[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(2): 282-290. [CHEN X L, ZHOU Q Y, SONG W J, et al. Comparison of carcass traits and meat quality between Tibetan pig in south Jiangxi and DLY commercial pigs[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2020, 42(2): 282-290.]

[6] 贾金玉, 张慧芳, 孟宪华, 等. 宝蓄黑猪肉品质评价及关键风味物质分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(22): 50-54. [JIA J Y, ZHANG H F, MENG X H, et al. Quality evaluation and key flavor analysis of Baoxu black pork[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(22): 50-54.]

[7] NPPC. Procedures to evaluate marker hogs[M]. 3rd Ed. Des Moines, IA: National Pork Producers Council, 1991.

[8] 张伟力, 陶立, 王立克, 等. 猪肉拿破率的研究[J]. 肉类研究, 1995(3): 3-4. [ZHANG W L, TAO L, WANG L K, et al. Study

- on napole yield of pork[J]. *Meat Research*, 1995(3): 3-4.]
- [9] 尤晓蒙. 饲料中氨基酸的 HPLC 检测方法研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2015. [YOU X M. Study on determination of amion acids in feeds by high performance liquid chromatography[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015.]
- [10] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 370-374. [LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. “ROAV” method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham[J]. *Food Science*, 2008, 29(7): 370-374.]
- [11] 黄晶晶, 鄢嫣, 张福生, 等. 安徽品种猪肉低温贮藏期间的品质变化[J]. *肉类研究*, 2020, 34(4): 58-63. [HUANG J J, YAN Y, ZHANG F S, et al. Quality changes of longissimus dorsi muscles from native pig breeds in Anhui, China stored at low temperature [J]. *Meat Research*, 2020, 34(4): 58-63.]
- [12] 陈祉岐. 不同品种猪肉品质特性及瘦肉型商品猪肉质量分级研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020. [CHEN Z Q. Study on the quality characteristics of different varieties of pork and quality grading of lean meat pork[D]. Shenyang: Shenyang Ageicultural University, 2020.]
- [13] LI S J, MA R C, PAN J F, et al. Combined effects of aging and low temperature, long time heating on pork toughness[J]. *Meat Science*, 2019, 150: 33-39.
- [14] FRENCH P, RIORDAN E G O, MONAHAN F J, et al. The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates[J]. *Meat Science*, 2001, 57(4): 379-386.
- [15] 罗玉龙, 王柏辉, 赵丽华, 等. 苏尼特羊和小尾寒羊的屠宰性能、肉品质、脂肪酸和挥发性风味物质比较[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 103-107. [LUO Y L, WANG B H, ZHAO L H, et al. Slaughter performance, meat quality, fatty acids and volatile components of Sunit lambs and Small-Tailed Han lambs[J]. *Food Science*, 2018, 39(8): 103-107.]
- [16] 蔡绍倩, 王霞, 张伟力. 猪肉大理石纹遗传资源识别与选材利用[J]. *猪业科学*, 2007(7): 88-89. [CAI S Q, WANG X, ZHANG W L. Identification and utilization of marbling genetic resources in pork[J]. *Swine Industry Science*, 2007(7): 88-89.]
- [17] CANNATA S, ENGLE T, MOELLER S, et al. Intramuscular fat and sensory properties of pork loin[J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2010, 8(2): 483-485.
- [18] 郝婉名, 祝超智, 赵改名, 等. 西门塔尔杂交牛不同部位肉间的差异性[J]. *肉类研究*, 2019, 33(1): 14-18. [HAO W M, ZHU C Z, ZHAO G M, et al. Differences in meat quality among different parts of crossbred Simmental cattle[J]. *Meat Research*, 2019, 33(1): 14-18.]
- [19] JOHNSTON I A, ALDERSON R, SANDHAM C, et al. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L)[J]. *Aquaculture*, 2000, 189(3-4): 340-349.
- [20] 朱梦婷, 王晓路, 王永健, 等. 不同饲养方式对黄羽肉鸡肉品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(19): 179-182. [ZHU M T, WANG X L, WANG Y J, et al. Effects of different rearing methods on meat quality of Yellow-feather broiler chicken[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(19): 179-182.]
- [21] 刘兴余, 金邦荃, 詹巍, 等. 猪肉质地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(4): 245-248. [LIU X Y, JIN B Q, ZHAN W, et al. Relationship analysis between instruments determination and sensory evaluation of pork texture[J]. *Food Science*, 2007(4): 245-248.]
- [22] 夏陆阳, 刘肇龙, 熊国远, 等. 圩猪肉和程岭黑猪肉品质特性的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2019, 46(5): 791-795. [XIA L Y, LIU Z L, XIONG G Y, et al. Study on the quality characteristics of Weizhu pork and Chengling black pork[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2019, 46(5): 791-795.]
- [23] 李贵林, 宁椿游, 游路, 等. 甘孜州藏猪肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016(11): 127-130. [LI G L, NING C Y, YOU L, et al. Nutritional composition analysis and quality evaluation of Tibetan pig muscle in Ganzi prefecture[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2016(11): 127-130.]
- [24] FAO/WHO. Energy and protein requirements[M]. Rome: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973.
- [25] 范洪霞, 王鑫, 孙振梅, 等. 白洗猪与杜洛克猪杂交 F1 代猪肉品质特性研究[J]. *中国畜牧兽医*, 2017, 44(3): 761-766. [YUAN H X, WANG X, SUN Z M, et al. The meat quality and characteristics of Baixi pig×Turok Hybrid F1 generation[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2017, 44(3): 761-766.]
- [26] 张超龙, 曾素先, 王睿敏, 等. 德保黑猪与长白猪胴体品质及营养成分对比[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(23): 81-83. [ZHANG C L, ZENG S X, WANG R M, et al. Comparison of carcass quality and nutritional composition between Debao black pigs and landrace pigs[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(23): 81-83.]
- [27] BJORKLUND E A, HEINS B J, DICOSTANZO A, et al. Fatty acid profiles, meat quality, and sensory attributes of organic versus conventional dairy beef steers[J]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97(3): 1828-1834.
- [28] SALTER A M. Dietary fatty acids and cardiovascular disease[J]. *Animal*, 2011, 7(s1): 163-171.
- [29] FLEITH M, CLANDININ M T. Dietary PUFA for preterm and term infants: Review of clinical studies[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2005, 45(3): 205-229.
- [30] 张凯华, 臧明伍, 张哲奇, 等. 水浴复热时间对猪肉糜制品挥发性风味的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(2): 186-191. [ZHANG K H, ZANG M W, ZHANG Z Q, et al. Effects of water-bath reheating time on volatile compounds in cooked minced pork[J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 186-191.]
- [31] 徐薇薇, 姚瑞基, 袁维新, 等. 宁夏滩羊后腿肉营养评价及挥发性风味物质分析[J]. *肉类研究*, 2017, 31(10): 41-45. [XU W W, YAO R J, YUAN W X, et al. Nutritional assessment and flavor compounds of hind leg meat in Tan sheep[J]. *Meat Research*, 2017, 31(10): 41-45.]
- [32] 赵健, 王蒙, 谢建春, 等. 黑猪肉关键香气物质分析鉴定[J]. *食品科学*, 2018, 39(2): 203-209. [ZHAO J, WANG M, XIE J C, et al. Characterization of key aroma compounds in pork from black

pig[J]. *Food Science*, 2018, 39(2): 203–209.]

[33] RASINSKA E, RUTKOWSKA J, CZARNIECKA-SKUBI-NA E, et al. Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation and volatile compounds of rabbit meat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 110: 64–70.

[34] CHA Y J, CADWALLADER K R, BAEK H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(3): 525–530.

[35] 徐燕,董华发,王晓明,等. 鸡的品种和蒸煮次数对白切鸡卤

水的营养成分和风味影响研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(1): 279–287. [XU Y, DONG H F, WANG X M, et al. Effects of chicken kinds and stewing times on the nutritional ingredients and flavor of white-cut chicken brine[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(1): 279–287.]

[36] ZHANG Y Y, WU H Z, TANG J, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl on formation of volatile compounds in Jinhua ham during processing[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2016, 25(2): 379–391.