张佳杰, 王洪洋, 刁玉段, 等. 枫泾猪及其二元杂交 F_1 代的营养价值评价 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(3): 331−341. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020115

ZHANG Jiajie, WANG Hongyang, DIAO Yuduan, et al. Nutritional Value Evaluation of Fengjing Pig and Its F_1 Hybrid Generation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(3): 331−341. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020115

· 分析检测 ·

枫泾猪及其二元杂交 F_1 代的营养价值评价

张佳杰[1], 王洪洋[2,3], 刁玉段[2,3], 吴昊旻[4], 雷胜辉[5], 薛　云[4], 孙　杰[6], 宋　欣[6], 谈永松[2,3,*], 张莺莺[2,3,*]

（1.上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;
2.上海市农业科学院畜牧兽医研究所, 农业农村部畜禽资源（猪）评价利用重点实验室, 上海 201106;
3.上海种猪工程技术研究中心, 上海 201106;
4.上海市动物疫病预防控制中心, 上海 202154;
5.上海市松江区动物疫病预防控制中心上海种猪测定中心, 上海 201699;
6.上海沁侬牧业科技有限公司, 上海 202178）

摘　要: 为探究枫泾猪（FJ）及其二元杂交 F_1 代的营养价值，以 FJ、杜（美）枫猪（DAF）、杜（挪）枫猪（DNF）、皮枫猪（PF）及杜长大猪（DLY）为研究对象，分析其氨基酸和脂肪酸的营养价值指标，并结合主成分分析综合评价其营养价值。结果表明，FJ 及其杂交组合的总 n-3 多不饱和脂肪酸（Σ_{n-3}PUFA）含量显著高于 DLY，且其必需氨基酸指数（EAAI）较高（86.32~90.66）。FJ 的肌内脂肪含量（4.77%）、总多不饱和脂肪酸（ΣPUFA）含量（17.05%）和健康脂肪指数（1.83）均为最高，且具有较高的特征氨基酸含量。在不同杂交组合中，DNF 的特征氨基酸含量最高；DAF 的动脉粥样硬化指数（0.54）和血栓形成指数（1.31）最低；PF 的 EAAI（90.66）、营养指数（20.63）和生物价（87.12）最高，但其特征氨基酸含量最低。五组猪肉样本的第一限制氨基酸均为缬氨酸。营养价值综合评分为 PF>DNF>FJ>DAF>DLY。综上所述，FJ 及其杂交组合是摄取 PUFA 的优质食材，脂肪酸和蛋白质营养价值较高；PF 为综合评价营养价值最高的杂交组合。

关键词: 枫泾猪, 杂交 F_1 代, 脂肪酸, 氨基酸, 营养评价

中图分类号: S828.9+1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)03−0331−11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020115

本文网刊:

Nutritional Value Evaluation of Fengjing Pig and Its F_1 Hybrid Generation

ZHANG Jiajie[1], WANG Hongyang[2,3], DIAO Yuduan[2,3], WU Haomin[4], LEI Shenghui[5], XUE Yun[4], SUN Jie[6], SONG Xin[6], TAN Yongsong[2,3,*], ZHANG Yingying[2,3,*]

（1.College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2.Key Laboratory of Livestock and Poultry Resources (Pig) Evaluation and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Animal Husbandry & Veterinary Science, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China;
3.Shanghai Engineering Research Center of Breeding Pig, Shanghai 201106, China;
4.Shanghai Animal Disease Prevention and Control Center, Shanghai 202154, China;
5.Shanghai Songjiang District Animal Disease Prevention and Control Center, Shanghai Breeding Pig Testing Center, Shanghai 201699, China;
6.Shanghai Qinnong Animal Husbandry Technology Co., Ltd., Shanghai 202178, China）

Abstract: To evaluate the nutritional value of Fengjing pigs (FJ) and their F_1 hybrid generation, FJ, Duroc (American)×

收稿日期: 2025−02−17

基金项目: 上海市科技兴农“农业种质创新与新品种选育”项目（沪农科创字（2022）第 1-1 号）。

作者简介: 张佳杰（2000−）, 男, 硕士研究生, 研究方向: 动物生产和畜产品加工, E-mail: JarJ_Zzz@163.com。

*** 通信作者:** 谈永松（1970−）, 男, 博士, 研究员, 研究方向: 动物遗传育种与畜产品加工, E-mail: typine@163.com。

张莺莺（1978−）, 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 动物遗传育种与畜产品加工, E-mail: zyy686868@163.com。

Fengjing pigs (DAF), Duroc (Norwegian)×Fengjing pigs (DNF), Pietrain×Fengjing pigs (PF) and Duroc×Landrace×Yorkshire pigs (DLY) were studied. After analyzing the amino acid and fatty acid nutritional indices, their nutritional values were thoroughly evaluated using principal component analysis. The results showed that the Σ_{n-3}polyunsaturated fatty acids were significantly higher in FJ and its hybrid combinations than in DLY, and the essential amino acid index (EAAI) was relatively high (86.32~90.66). Containing abundant characteristic amino acids, FJ exhibited the highest intramuscular fat content (4.77%), ΣPUFA (17.05%), and healthy fatty index (1.83). Among the different hybrid combinations, DNF had the highest characteristic amino acids content whereas DAF had the lowest atherogenic index (0.54) and thrombogenic index (1.31). PF exhibited the highest EAAI (90.66), nutritional index (20.63), and biological value (87.12), despite containing the least characteristic amino acids. Valine was identified as the first limiting amino acid of all five groups of pork samples. The order of comprehensive nutritional value score was: PF>DNF>FJ>DAF>DLY. In conclusion, FJ and its hybrid combinations are high-quality ingredients for PUFA intake, containing nutritious fatty acids and proteins, whereas PF is the hybrid combination with the highest comprehensive nutritional value.

Key words: Fengjing pigs; F_1 hybrid generation; fatty acids; amino acids; nutritional evaluation

我国是全球最大的猪肉消费国，猪肉深受中国民众喜爱。随着消费升级，消费者对猪肉的品质、安全性和营养健康的关注度不断攀升。瘦肉型商品猪在口感风味上难以满足消费者日益多样化的需求，促使市场上的猪肉产品结构逐渐向多元化方向发展。地方品种猪肉凭借其独特的地域特色，具备鲜美口感、独特风味以及丰富的营养，作为中、高端食材正迅速崛起。然而，猪肉的营养价值受品种、部位及饲养方式等多种因素影响，消费者难以仅通过外观判断其营养价值高低。因此，科学评价地方品种猪肉的营养价值，对培育和拓展地方猪肉消费市场、推动地方猪肉品牌建设以及提升地方猪种在生猪产业中的价值具有重要意义。

利用国外瘦肉型猪种与地方品种杂交，生产含有 50% 地方猪种血统的二元杂交商品猪，既能显著提升 F_1 代的产肉性能，又能保留地方猪种肉质优良、风味独特的特性。这种生产模式下的地方品种猪肉，不仅提高了地方猪产业的经济效益，还满足了消费者对优质猪肉的追求。国内外多项研究报道了五莲黑猪[1]、中舟黑猪[2] 和壹号土猪[3] 等不同地方猪种猪肉的营养组成情况。这些研究表明，不同猪品种及其杂交组合会显著影响猪肉产品的营养成分和价值。枫泾猪(FJ)原产于上海市金山区，属于珍贵的黑毛猪种。作为国家农产品地理标志，FJ 以繁殖力强、耐粗饲和肉质佳而著称，是黑猪新品种培育和特色高端产业发展的优质地方猪种资源[4]。但迄今国内关于地方猪种及其不同杂交组合猪肉的氨基酸、脂肪酸组成及营养评价等研究还相对较少。

本研究以 FJ 及其 3 个二元杂交组合杜(美)枫(美系杜洛克猪♂×FJ♀，DAF)、杜(挪)枫(挪威杜洛克猪♂×FJ♀，DNF)和皮枫(皮特兰猪♂×FJ♀，PF) F_1 代为研究对象，利用生化分析手段检测了基本营养成分、氨基酸和脂肪酸组成，并进行了营养价值评价。同时，将 FJ 及其 3 个二元杂交 F_1 代与杜长大猪(杜洛克♂×长白猪♂×大白猪♀，DLY)进行了比较。该研究旨在为利用 FJ 培育黑猪新品种及开发优质黑猪肉产业提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

FJ、DAF、DNF、PF 的 F_1 代去势公猪各 10 头　由上海沁依牧业科技有限公司育种场提供；DLY 去势公猪 10 头　由上海五丰上食食品有限公司提供；异辛烷、正庚烷、甲醇　色谱纯，上海国药集团有限公司；盐酸、硫酸、硼酸、氨水、苯酚、硫酸铜、硫酸钾、氯化钠、氢氧化钠、氢氧化钾、硫酸氢钠、柠檬酸钠、无水乙醇、无水乙醚、无水硫酸钠、石油醚(30~60 ℃)、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂、甲基红指示剂等　分析纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

DHG-9070AS 恒温干燥箱　宁波江南仪器厂；KDN-103F 自动凯氏定氮仪　上海纤检仪器有限公司；ANKOM XT15i 型全自动脂肪分析仪　北京安科博瑞科技有限公司；TRACE 130 气相色谱仪　Thermo 公司；JM50 真空浓缩仪全套系统　北京吉艾姆仪器有限公司；GC/MS-QP2010Plus-GC201 气相色谱-质谱联用仪　日本岛津；ACQUITY XEVO-TO-Smicro LC-MS/MS 高效液相色谱-串联质谱联用仪　美国沃特世科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理　FJ、DAF、DNF 和 PF 均在相同的饲养管理条件下生长，体重达 20~25 kg 时被送到上海种猪测定中心。按照 NY/T 822-2019《种猪生产性能测定规程》的标准，所有试验猪从 2023 年 3 月至 2024 年 1 月开展生长性能测定试验。根据上海种猪测定中心的饲养管理要求，所有试验猪进行统一标准饲养，保证自由采食和饮水，并统一免疫；FJ 预饲至初始体重约 30 kg 时开始测定，持续至目标体重约 80 kg 时结束，3 个二元杂交 F_1 代预饲至初始体重约 35 kg 时测定开始，持续至目标体重约 90 kg 时结束。所有猪宰前禁食 24 h，禁水 2 h，按标准商业流程屠宰处理后，采集倒数第 3~4 胸椎向后至胸腰椎结合处背最长肌(Longissimus thoracis, LT)样本，4 ℃贮存用于营养品质分析。选取来自同一来源、批次的 10 头 DLY 的新鲜 LT 样本，贮存于 4 ℃，用于后

续分析和评价。

1.2.2 营养成分测定　参照标准 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》第一法测定水分含量；参照标准 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定蛋白质含量；参照标准 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定脂肪含量；参照标准 GB 5009.128-2016《食品中胆固醇的测定》HPLC 法测定胆固醇含量。

1.2.3 脂肪酸含量与组成测定　脂肪酸测定参照标准 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》。

1.2.4 氨基酸含量与组成测定　氨基酸测定参照标准 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。

1.2.5 脂肪酸营养评价方法　参照 Zhang 等[3] 的方法，采用动脉粥样硬化指数（Atherogenic Index, AI）、血栓形成指数（Thrombogenic Index, TI）、健康脂肪指数（Healthy Fatty Index, HFI）、营养价值（Nutritional Value, NV）和降胆固醇脂肪酸/升胆固醇脂肪酸比值（Hypocholesterolemic/Hypercholesterolemic, H/H）评估脂肪酸营养价值。计算公式见（1）~（5）。

$$AI = \frac{C_{12:0}+4\times C_{14:0}+C_{16:0}}{\sum MUFA+\sum_{n-6}PUFA+\sum_{n-3}PUFA} \quad 式（1）$$

$$TI = \frac{C_{14:0}+C_{16:0}+C_{18:0}}{0.5\times\sum MUFA+0.5\times\sum_{n-6}PUFA+3\times\sum_{n-3}PUFA+\frac{\sum_{n-3}PUFA}{\sum_{n-6}PUFA}} \quad 式（2）$$

$$HFI = \frac{(\sum MUFA\times 2)+(\sum_{n-6}PUFA\times 4)+(\sum_{n-3}PUFA\times 8)+\frac{\sum_{n-3}PUFA}{\sum_{n-6}PUFA}}{\sum SFA+(\sum MUFA\times 0.5)+(\sum_{n-6}PUFA\times 0.25)+(\sum_{n-3}PUFA\times 0.125)+\frac{\sum_{n-6}PUFA}{\sum_{n-3}PUFA}} \quad 式（3）$$

$$NV = \frac{C_{12:0}+C_{14:0}+C_{16:0}}{C_{18:1n\text{-}9t}+C_{18:2n\text{-}6}} \quad 式（4）$$

$$\frac{H}{H} = \frac{C_{18:1}+C_{18:2n\text{-}6}+C_{18:3n\text{-}3}+C_{20:3n\text{-}6}+C_{20:4n\text{-}6}}{C_{14:0}+C_{16:0}} \quad 式（5）$$

式中：$C_{12:0}$，月桂酸含量，%；$C_{14:0}$，肉豆蔻酸含量，%；$C_{16:0}$，棕榈酸含量，%；$C_{18:0}$，硬脂酸含量，%；$C_{18:1}$，油酸含量，%；$C_{18:1\ n\text{-}9t}$，反-9-十八碳一烯酸含量，%；$C_{18:2\ n\text{-}6}$，亚油酸含量，%；$C_{18:3\ n\text{-}3}$，α-亚麻酸含量，%；$C_{20:3\ n\text{-}6}$，二高-γ-亚麻酸含量，%；$C_{20:4\ n\text{-}6}$，花生四烯酸含量，%；ΣSFA，总饱和脂肪酸（Saturated Fatty Acids, SFA）含量；ΣMUFA，总单不饱和脂肪酸（Monounsaturated Fatty Acids, MUFA）含量；ΣPUFA，总多不饱和脂肪酸（Polyunsaturated Fatty Acid, PUFA）含量；Σ_{n-6}PUFA，总 n-6 多不饱和脂肪酸含量，%；Σ_{n-3}PUFA，总 n-3 多不饱和脂肪酸含量，%。

1.2.6 氨基酸营养评价方法　根据联合国粮农组织/世界卫生组织（FAO/WHO）推荐的人体必需氨基酸标准模式和鸡蛋蛋白质评分标准模式[5]。分别计算氨基酸化学评分（Chemical Score, CS）、必需氨基酸指数（Essential Amino Acid Index, EAAI）、氨基酸比值系数（Ratio Coefficient of Amino Acid, RC）、必需氨基酸比值（Ratio of Amino Acid, RAA）、营养指数（Nutrient Index, NI）、生物价（Biological Value, BV）和支链氨基酸/芳香族氨基酸（F）。计算公式见（6）~（12）。

$$CS = \frac{\text{待测样品中某EAA相对含量(\%)}}{\text{标准鸡蛋模式中对应EAA相对含量(\%)}} \quad 式（6）$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100C_A}{C_{AE}}\times\frac{100C_B}{C_{BE}}\times\frac{100C_C}{C_{CE}}\times\cdots\times\frac{100C_I}{C_{IE}}} \quad 式（7）$$

$$RAA = \frac{\text{待测样品中某EAA相对含量(\%)}}{\text{FAO/WHO模式中对应EAA相对含量(\%)}} \quad 式（8）$$

$$RC = \frac{\text{某EAA的RAA}}{\text{RAA均值}} \quad 式（9）$$

$$NI = \frac{EAAI\times Q_p}{100} \quad 式（10）$$

$$BV = 1.09\times EAAI - 11.7 \quad 式（11）$$

$$F = \frac{\text{支链氨基酸}}{\text{芳香族氨基酸}} \quad 式（12）$$

式中，n 为比较氨基酸个数，C_A、C_B、C_C、…、C_I 为待测样品中某 EAA（Essential Amino Acid，必需氨基酸）相对含量，%，C_{AE}、C_{BE}、C_{CE}、…、C_{IE} 为标准鸡蛋模式中对应 EAA 相对含量，%；Q_p，待测样品中蛋白质含量，%。支链氨基酸：缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸；芳香族氨基酸：酪氨酸、苯丙氨酸。

1.3 数据处理

本研究利用 Excel 2021 和 Origin 2024 软件处理数据和绘图。使用 SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA）。实验结果表示为“平均值±标准误（Means±SME）”。其中，$P>0.05$ 表示差异不显著，$P<0.05$ 表示差异显著，$P<0.01$ 表示差异极显著。采用 Origin 2024 软件进行 Pearson 相关性分析和主成分分析（PCA）。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分比较分析

肉类中的脂肪、蛋白质等成分及其含量是衡量肌肉营养价值的重要指标[6]。5 组猪肉样品的基本营养成分含量见表 1。PF 和 DAF 的水分含量显著高于 DLY（$P<0.05$）；DNF 和 PF 的蛋白质含量显著高于 FJ（$P<0.05$）。5 组猪肉样品的蛋白质含量高于长白♂×豫南黑猪♀、大约克夏猪♂×豫南黑猪♀（20.27%、21.24%）[7]，低于圩猪与引进品种猪的杂交后代（23.1%~25.5%）[8]，与杜洛克♂×豫南黑猪♀（22.79%）相近[9]，不同研究中不同杂交组合的猪肉蛋白含量存在差异，可能与品种和杂交组合、饲养方式和日粮营养水平等因素不同有关。IMF 含量是猪肉品质的关键决定因素，中国地方猪肌内脂肪

表 1 FJ 及其杂交组合肌肉营养成分含量

Table 1 Content of muscle nutrients in FJ and its hybrid combinations

指标	FJ	DAF	DNF	PF	DLY
水分(%)	72.99±0.42^{Aab}	73.63±0.26^{Aa}	73.43±0.30^{Aab}	73.77±0.44^{Aa}	72.41±0.30^{Ab}
蛋白质(%)	22.04±0.31^{Ab}	22.34±0.29^{Aab}	22.96±0.14^{Aa}	22.76±0.21^{Aa}	22.41±0.08^{Aab}
肌内脂肪(%)	4.77±0.58^{Aa}	3.38±0.23^{Aab}	4.17±0.56^{Aab}	4.48±0.65^{Aab}	3.11±0.33^{Ab}
胆固醇(mg/100 g)	54.70±0.78^{Aa}	52.57±0.58^{Aa}	53.53±0.35^{Aa}	51.33±2.14^{Aa}	51.20±0.17^{Aa}

注: 同行不同小写字母表示差异显著(P<0.05), 不同大写字母表示差异极显著(P<0.01), 相同字母表示差异不显著(P>0.05); 表2~表4同。

(Intramuscular Fat, IMF)含量大多数为 3%~5%, 莱芜猪的 IMF 平均高达 10%, 远高于外来品种; 有研究表明, 地方猪种 *ADIPOQ*、*ELOVL6* 等脂肪沉积通路相关基因表达量显著高于外来猪种[10], 地方猪种特有的品种特性是其 IMF 含量高的重要决定因素。本研究结果中, FJ 的 IMF 含量最高(4.77%), 显著高于 DLY(P<0.05)。DNF 和 PF 的 IMF 含量分别为 4.17% 和 4.48%, 高于 DLY(3.11%)、杜洛克♂×民猪♀(3.42%)[11]、陆川猪♂×杜洛克猪♀(4.01%)[12], 低于巴克夏♂×民猪♀(4.63%)[13]。以上结果说明外来猪种与地方猪种杂交后能明显提高猪肉的 IMF 含量[14]。此外, PF 的胆固醇含量最低, 且低于大约克夏猪♂×枫泾猪♀[15]。从基本营养成分含量来看, PF 的猪肉呈现低胆固醇、高蛋白和 IMF 含量较高的特点, 是三个杂交组合中比较理想的组合。

2.2 脂肪酸组成、含量和营养价值评价

FJ 及杂交组合中鉴定到 19~20 种脂肪酸(表 2), 包括 8 种 SFA、11~12 种不饱和脂肪酸(Unsaturated

表 2 FJ 及其杂交组合肌肉脂肪酸组成及含量

Table 2 Composition and content of muscle fatty acids in FJ and its hybrid combinations

	脂肪酸	FJ	DAF	DNF	PF	DLY
SFA(%)	辛酸$C_{8:0}$	–	–	–	–	0.01±0.00
	癸酸$C_{10:0}$	0.08±0.01^{Aa}	0.09±0.00^{Aa}	0.08±0.01^{Aa}	0.09±0.01^{Aa}	0.09±0.00^{Aa}
	月桂酸$C_{12:0}$	0.07±0.00^{Aa}	0.08±0.00^{Aa}	0.09±0.00^{Aa}	0.08±0.00^{Aa}	0.08±0.01^{Aa}
	豆蔻酸$C_{14:0}$	1.37±0.03^{Ab}	1.34±0.00^{Ab}	1.51±0.01^{Aa}	1.36±0.03^{Ab}	1.31±0.09^{Ab}
	十五碳酸$C_{15:0}$	0.03±0.00^{Aa}	0.02±0.01^{Aab}	0.01±0.01^{Ab}	0.03±0.00^{Aab}	0.02±0.00^{Aab}
	棕榈酸$C_{16:0}$	26.07±0.59^{Aab}	25.57±0.13^{Aab}	27.00±0.12^{Aa}	26.23±0.58^{Aab}	25.07±0.61^{Ab}
	十七烷酸$C_{17:0}$	0.20±0.01^{Aa}	0.17±0.01^{Ab}	0.16±0.01^{Ab}	0.18±0.01^{Aab}	0.17±0.01^{Ab}
	硬脂酸$C_{18:0}$	15.17±0.24^{Aab}	13.97±0.53^{Aab}	15.30±0.74^{Aab}	15.83±0.73^{Aa}	13.63±0.74^{Ab}
	花生酸$C_{20:0}$	0.24±0.02^{Aa}	0.24±0.01^{Aa}	0.22±0.02^{Aa}	0.23±0.03^{Aa}	0.21±0.01^{Aa}
UFA(%)	豆蔻油酸$C_{14:1}$	–	0.01±0.00^{Aa}	–	0.01±0.01^{Aa}	0.02±0.00^{Aa}
	棕榈油酸$C_{16:1}$	2.11±0.13^{Aa}	2.33±0.10^{Aa}	2.24±0.26^{Aa}	2.05±0.22^{Aa}	2.70±0.38^{Aa}
	油酸$C_{18:1}$	36.87±1.19^{Bc}	40.90±0.80^{ABb}	37.23±0.92^{Bbc}	39.07±1.67^{Bbc}	44.70±0.90^{Aa}
	反-9-十八碳一烯酸$C_{18:1\ n\text{-}9t}$	0.08±0.01^{Bb}	0.08±0.01^{Bb}	0.07±0.01^{Bb}	0.07±0.01^{Bb}	0.13±0.01^{Aa}
	花生一烯酸$C_{20:1}$	0.64±0.05^{ABb}	0.78±0.04^{Aa}	0.52±0.03^{Bc}	0.64±0.00^{ABb}	0.73±0.04^{Aab}
	亚油酸$C_{18:2\ n\text{-}6}$	14.80±0.91^{Aa}	12.63±0.17^{ABab}	13.67±0.67^{Aab}	12.33±0.82^{ABb}	9.97±0.72^{Bc}
	γ-亚麻酸$C_{18:3\ n\text{-}6}$	0.04±0.00^{Aa}	–	0.02±0.01^{ABb}	0.02±0.00^{Aab}	0.03±0.00^{Aa}
	α-亚麻酸$C_{18:3\ n\text{-}3}$	1.07±0.05^{Aa}	0.91±0.00^{Ab}	1.06±0.05^{Aa}	0.91±0.06^{Ab}	0.32±0.02^{Bc}
	花生二烯酸$C_{20:2\ n\text{-}6}$	0.57±0.02^{Aa}	0.57±0.02^{Aa}	0.48±0.04^{Aab}	0.47±0.02^{Aab}	0.44±0.05^{Ab}
	二高-γ-亚麻酸$C_{20:3\ n\text{-}6}$	0.13±0.02^{Aa}	0.09±0.00^{Bb}	0.08±0.00^{Bb}	0.08±0.00^{Bb}	0.07±0.01^{Bb}
	顺-11,14,17-二十碳三烯酸$C_{20:3\ n\text{-}3}$	0.13±0.00^{Aab}	0.13±0.01^{Aa}	0.11±0.02^{Aab}	0.11±0.00^{Ab}	0.04±0.00^{Bc}
	花生四烯酸$C_{20:4\ n\text{-}6}$	0.31±0.04^{Aa}	0.17±0.00^{Bb}	0.18±0.01^{Bb}	0.19±0.00^{Bb}	0.23±0.01^{ABb}
	ΣSFA(%)	43.23±0.38^{ABab}	41.47±0.70^{ABbc}	44.36±0.70^{Aa}	44.03±1.09^{Aa}	40.58±0.15^{Bc}
	ΣMUFA(%)	39.70±1.17^{Bc}	44.10±0.86^{ABb}	40.06±1.19^{Bc}	41.84±1.72^{Bbc}	48.28±0.91^{Aa}
	ΣPUFA(%)	17.05±0.92^{Aa}	14.50±0.20^{ABb}	15.59±0.79^{Aab}	14.11±0.89^{ABb}	11.11±0.80^{Bc}
	ΣUFA(%)	56.75±0.39^{ABbc}	58.59±0.66^{ABab}	55.65±0.70^{Bc}	55.95±1.10^{Bc}	59.39±0.12^{Aa}
	$\Sigma_{n\text{-}3}$PUFA(%)	1.07±0.05^{Aa}	0.91±0.00^{Ab}	1.06±0.05^{Aa}	0.91±0.06^{Ab}	0.32±0.02^{Bc}
	$\Sigma_{n\text{-}6}$PUFA(%)	15.15±0.87^{Aa}	12.80±0.17^{Ab}	13.87±0.69^{Aab}	12.55±0.82^{ABb}	10.24±0.73^{Bc}
	ΣFA(g/100 g)	22.17±2.21^{Aab}	19.13±2.93^{Ab}	20.9±0.92^{Aab}	25.93±2.10^{Aa}	18.47±0.35^{Ab}
	ΣSFA/ΣMUFA/ΣPUFA	1∶0.92∶0.39^{Ab}	1∶1.06∶0.35^{Ab}	1∶0.9∶0.35^{Aab}	1∶0.95∶0.32^{Aa}	1∶1.19∶0.27^{Aab}
	ΣSFA/ΣUFA	0.76±0.01^{ABab}	0.71±0.02^{ABbc}	0.80±0.02^{Aa}	0.79±0.04^{Aa}	0.68±0.00^{Bc}
	ΣPUFA/ΣSFA	0.39±0.02^{Aa}	0.35±0.00^{ABab}	0.35±0.02^{ABab}	0.32±0.02^{ABbc}	0.27±0.02^{Bc}
	$\Sigma_{n\text{-}6}$PUFA/$\Sigma_{n\text{-}3}$PUFA	14.21±0.18^{Bb}	14.14±0.15^{Bbc}	13.10±0.03^{Bc}	13.83±0.08^{Bbc}	32.31±0.68^{Aa}

注: –表示未检出。

Fatty Acids, UFA)；DLY 检测出 21 种脂肪酸，包括 9 种 SFA、5 种 MUFA、7 种 PUFA。PF 的脂肪酸(25.93 g/100 g)总含量最高，显著高于 DAF(19.13 g/100 g)和 DLY(18.47 g/100 g)(P<0.05)。5 组猪肉的 ΣUFA 为 55.65%~59.39%，是 ΣSFA(40.58%~44.36%)的 1.3~1.5 倍。DNF 的 ΣSFA(44.36%)最高，极显著高于 DLY(P<0.01)，而 DLY 的 ΣUFA(59.39%)最高，极显著高于 DNF 和 PF(P<0.01)。FJ 及二元杂交组合的 ΣPUFA、Σ_{n-3}PUFA 和 Σ_{n-6}PUFA 显著高于 DLY(P<0.05)，但 ΣMUFA、Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 显著低于 DLY(P<0.05)。

油酸 $C_{18:1}$ 是 MUFA 中含量最高的脂肪酸，具有调节血脂、保护心血管等功能[16]。本研究发现，FJ 的油酸 $C_{18:1}$ 含量显著低于 DAF 和 DLY(P<0.05)，说明 FJ 与外来猪种杂交在一定程度上提高了猪肉的 MUFA 的营养价值，这种趋势在高黎贡山猪、撒坝猪等与引进品种猪杂交后代上也有体现[17]。PUFA 是人体必需的脂肪酸营养物质，具有降血压血脂和降低心血管疾病发生率等功能[18]。研究结果表明，FJ 的 ΣPUFA 含量最高(17.05%)，显著高于 DAF 和 PF(P<0.05)，FJ 及二元杂交组合的 ΣPUFA 含量(14.11%~17.05%)均显著高于 DLY(11.11%)(P<0.05)、杜洛克♂×关中黑猪♀(10.14%)[2]、杜洛克♂×太湖猪♀(12.65%)[2]，表明 FJ 及二元杂交组合猪肉中 PUFA 含量丰富。其中，FJ 及杂交组合猪肉的 α-亚麻酸 $C_{18:3\ n-3}$(0.91%~1.07%)含量极显著高于 DLY(0.32%)(P<0.01)，高于杜洛克猪♂×藏猪♀(0.49%)[19]，亚油酸 $C_{18:2\ n-6}$(12.33%~14.80%)含量显著高于 DLY(9.97%)(P<0.05)，远高于皮特兰♂×民猪♀(5.94%)[20]，略高于巴克夏猪♂×藏猪♀(11.14%)[21]。亚油酸 $C_{18:2\ n-6}$ 和 α-亚麻酸 $C_{18:3\ n-3}$ 是必须从食物中摄取的 PUFA，适量摄入有助于降低血清胆固醇水平、保护心脑血管以及预防心梗和动脉粥样硬化[16]，以上结果说明，FJ 及其二元杂交组合猪肉的油脂品质高，是人体补充 PUFA 较好的膳食来源。

Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 和 ΣPUFA/ΣSFA 是评价脂肪酸营养价值的重要指标。本研究中，DNF 的 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA、ΣSFA/ΣMUFA/ΣPUFA 和 ΣPUFA/ΣSFA 分别为 13.10、1∶0.9∶0.35 和 0.35，是最接近 FAO/WHO 三项指标推荐范围(3∶1~10∶1、1∶1∶1 和 0.4~0.6)[22] 的一组猪肉样本。薛云等[15] 报道了大约克夏猪♂×FJ♀猪肉中 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 为 12.52，与本研究中 FJ 杂交组合的结果相似，而 ΣPUFA/ΣSFA 为 0.22，远低于本研究结果(0.32~0.39)。由此可见，FJ 及其二元杂交 F_1 代的 Σ_{n-6}PUFA、Σ_{n-3}PUFA、ΣPUFA 和 ΣSFA 组成比例均优于 DLY，但距离理想的平衡比例仍有一定的差距，日常摄入可以搭配乳制品(3.80~13.36、1.99∶1∶0.38、1.5~8.5)[23] 等食物加以平衡；此外，在生产上可通过加强日粮营养进一步精调控猪肉的脂肪酸组成和比例[24]，以生产更符合人体健康需求的猪肉。综合来看，FJ 的 ΣPUFA 含量最高，DNF 是 ΣPUFA 和 Σ_{n-3}PUFA 含量较高、脂肪酸比例较好的二元杂交组合。

AI 表示 SFA 与 UFA 之间的关系，TI 反映促血栓形成脂肪酸与抗血栓形成脂肪酸之间的关系，而 HFI 是直接反映脂肪酸组成营养特征的指数[25]。AI 值和 TI 值越低，HFI 值越高，膳食越适合人体摄入，更有益于心脑血管健康。由表 3 可知，5 组猪肉样品中，DLY 的 AI 值极显著低于 DNF(P<0.01)，TI 值显著低于 DAF 和 PF(P<0.05)；杂交组合中，DAF 的 AI、TI 值最低，HFI 值最高。5 组猪肉样品的 AI、TI 值低于牛乳(3.48、4.42)[23]、羊肉(1.00、1.58)[26]，与牛肉(0.72、1.06)[26] 相当。FJ 及杂交组合的 HFI 均极显著优于 DLY(P<0.01)，低于牛肉(2.87~2.94)和鸡肉(2.80~3.76)[25]。说明 FJ 及杂交组合猪肉的脂肪酸营养价值较高，但 UFA 与 SFA 的比例平衡性方面不及杜长大猪。多棱角螺[26] 的 AI、TI 值为 0.42、0.44，鲢鱼、鳙鱼[27] 分别为 0.532 和 0.047、0.394 和 0.045，低于本研究结果。因此，日常饮食中适量摄入猪肉外，还应该搭配贝类、鱼类等食物。

NV 可以评估短链脂肪酸、中链脂肪酸与长链脂肪酸的比例。本研究结果中，FJ 及杂交组合的 NV 在 0.50~0.56，其中 DNF(0.56)最高，极显著高于 DLY(0.48)(P<0.01)，由于中短链脂肪酸碳链长度短、无需胆汁乳化，FJ 及二元杂交组合该类脂肪酸含量高，更有利于人体迅速吸收代谢，不易在肝脏内蓄积[28]。H/H 表示降胆固醇脂肪酸与升胆固醇脂肪酸之间的关系，反映了脂肪酸组成对心血管疾病的影响[29]。本研究结果表明，FJ 及其二元杂交 F_1 代的 H/H 值(0.51~0.62)均显著高于 DLY(0.42)(P<0.05)，低于黄鳍金枪鱼(2.62~2.75)[30]，说明 FJ 及杂交组合猪肉的脂肪酸营养优于 DLY，特别是 FJ 和 DAF 猪肉营养价值高，降胆固醇脂肪酸和中短链脂肪酸比例较

表 3　FJ 及其杂交组合肌肉脂肪酸评价

Table 3　Evaluation of muscle fatty acids in FJ and its hybrid combinations

指数	FJ	DAF	DNF	PF	DLY
AI	0.56 ± 0.01^{ABabc}	0.54 ± 0.01^{ABbc}	0.60 ± 0.01^{Aa}	0.58 ± 0.02^{ABab}	0.52 ± 0.01^{Bc}
TI	1.39 ± 0.02^{Aab}	1.31 ± 0.03^{Ab}	1.45 ± 0.04^{Aa}	1.45 ± 0.06^{Aa}	1.32 ± 0.01^{Ab}
HFI	1.83 ± 0.02^{Aa}	1.81 ± 0.02^{Aa}	1.78 ± 0.03^{Aab}	1.72 ± 0.04^{Ab}	1.40 ± 0.01^{Bc}
NV	0.53 ± 0.01^{ABab}	0.50 ± 0.01^{ABbc}	0.56 ± 0.01^{Aa}	0.54 ± 0.02^{ABab}	0.48 ± 0.01^{Bc}
H/H	0.62 ± 0.03^{Aa}	0.54 ± 0.00^{ABab}	0.55 ± 0.03^{ABab}	0.51 ± 0.02^{ABb}	0.42 ± 0.03^{Bc}

高，易消化吸收，作为膳食对心血管疾病健康的影响相对较小，但 UFA 与 SFA 的比例平衡性有待优化，日常膳食中需要搭配贝类、鱼类、牛肉等食物。

2.3 氨基酸组成、含量和营养价值评价

蛋白质是机体生长发育所必需的营养物质，猪肉富含丰富的氨基酸，是优质蛋白质的重要来源[6]。由表 4 可见，5 组猪肉样品中共检测到 19 种氨基酸，其中 Glu 含量最高（2.31~3.69 g/100 g），其次为 Asp（1.71~2.39 g/100 g），与薛云等[15]、黎琪等[16] 研究结果一致，两种氨基酸是重要的鲜味氨基酸，还具有调节代谢、保护心血管健康的作用[31]。FJ 及杂交组合中，FJ 的总氨基酸（Total Amino Acid, TAA）、EAA、非必需氨基酸（Non-essential Amino Acid, NEAA）含量显著高于 DAF 和 PF（P<0.05）；5 组猪肉样本均高于理想模式中 EAA/TAA、EAA/NEAA（40%、60%）的比例；其中 PF 的 EAA/TAA 最高（47.02%），极显著高于 FJ（45.23%）（P<0.01），DAF 的 EAA/NEAA 最高（86.94%），显著高于 FJ（81.60%）和 DLY（83.10%）（P<0.05）；PF（47.02%, 86.77%）和 DAF（46.94%, 86.94%）的 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 高于杜洛克猪♂×沙乌头猪♀（40.13%、67.05%）[32]、杜洛克猪♂×藏香猪♀（22.96%、29.80%）[33]，与杜洛克♂×太湖猪♀（46%、86%）[2] 相近。以上结果表明，FJ 及其二元杂交 F_1 代猪肉的蛋白质质量较好，是优质蛋白质，其中最为突出的杂交组合是 DAF 和 PF。

氨基酸在食品风味的形成中扮演着重要的角色。基于氨基酸的味觉特性，氨基酸可分为鲜味氨基酸（Lys、Glu、Asp）、甜味氨基酸（Gly、Ala、Ser、Thr、Pro、His）、苦味氨基酸（Val、Leu、Ile、Met、Trp、Arg）和芳香味氨基酸（Phe、Tyr、Cys）。味觉氨基酸结果如图 1 所示，各组猪肉样本味觉氨基酸含量占比依次为：鲜味氨基酸（32.06%~33.41%）、甜味氨基酸（27.74%~29.51%）、苦味氨基酸（27.16%~28.19%）和芳香味氨基酸（9.57%~10.32%），PF 的 4 类味觉氨基酸含量最低，其中鲜味、苦味和甜味氨基酸极显著低于 FJ 和 DLY（P<0.01），芳香味氨基酸极显著低于 DLY（P<0.01）。研究表明，不同肌纤维类型显著影响肌肉中呈味氨基酸的沉积，当肌肉中含有较多的 IIb 型肌纤维时，动物表现为生长速度较快，但呈味氨基酸的合成和积累则相对不足[34]。因此，本文推测 PF 猪肉样本可能含有较高比例的Ⅱb型肌纤维，但后续研究中还需深入验证。FJ 及杂交组合中，FJ 的味觉氨基酸含量最高，杂交组合表现最佳的为 DNF，鲜味、苦味、甜味和芳香味氨基酸含量较高，味道鲜美，回味香甜，适宜作为高端优质食材。

氨基酸在食品中的养生保健和药用价值不可忽视。药效氨基酸（Glu、Leu、Gly、Met、Ile、Asp 和 Phe）含量，可作为评估食品养生保健功效的参考依据；支链、芳香族氨基酸具有促进机体代谢、改善肝功能和预防心血管疾病发生的作用[35]。如图 2 所

表 4 FJ 及其杂交组合肌肉氨基酸组成及含量比较

Table 4 Comparison of muscle amino acid composition and content of FJ and its hybrid combinations

氨基酸		FJ	DAF	DNF	PF	DLY
EAA（g/100 g）	色氨酸 Trp	0.26±0.02^{ABa}	0.21±0.01^{BCb}	0.26±0.01^{ABa}	0.18±0.02^{Cb}	0.29±0.00^{Aa}
	苏氨酸 Thr	1.17±0.11^{ABa}	0.88±0.03^{BCbc}	1.07±0.02^{ABCab}	0.80±0.08^{Cc}	1.21±0.05^{Aa}
	缬氨酸 Val	1.03±0.10^{ABab}	0.86±0.02^{ABbc}	1.00±0.03^{ABab}	0.80±0.05^{Bc}	1.11±0.05^{Aa}
	蛋氨酸 Met	0.72±0.10^{ABab}	0.56±0.02^{ABbc}	0.66±0.02^{ABabc}	0.50±0.06^{Bc}	0.78±0.04^{Aa}
	赖氨酸 Lys	2.15±0.01^{ABa}	1.65±0.02^{BCbc}	2.00±0.00^{ABCab}	1.49±0.02^{Cc}	2.26±0.06^{Aa}
	亮氨酸 Leu	2.04±0.21^{Aa}	1.58±0.06^{ABbc}	1.86±0.03^{ABab}	1.41±0.15^{Bc}	2.11±0.10^{Aa}
	组氨酸 His	0.90±0.08^{ABab}	0.89±0.08^{ABab}	1.09±0.01^{Aa}	0.68±0.09^{Bb}	1.11±0.07^{Aa}
	异亮氨酸 Ile	1.00±0.10^{ABab}	0.83±0.01^{ABbc}	0.95±0.02^{ABab}	0.76±0.04^{Bc}	1.04±0.05^{Aa}
	苯丙氨酸 Phe	1.21±0.12^{ABab}	1.03±0.06^{ABbc}	1.23±0.02^{Aab}	0.86±0.09^{Bc}	1.34±0.07^{Aa}
NEAA（g/100 g）	半胱氨酸 Cys	0.15±0.01^{Aa}	0.17±0.02^{Aa}	0.17±0.00^{Aa}	0.20±0.02^{Aa}	0.17±0.06^{Aa}
	丝氨酸 Ser	1.00±0.09^{Aa}	0.76±0.04^{ABbc}	0.91±0.02^{ABab}	0.66±0.07^{Bc}	1.03±0.03^{Aa}
	脯氨酸 Pro	0.95±0.08^{ABa}	0.74±0.01^{Bb}	1.00±0.05^{Aa}	0.71±0.04^{Bb}	1.02±0.06^{Aa}
	甘氨酸 Gly	1.05±0.10^{ABab}	0.85±0.03^{ABbc}	1.15±0.07^{Aa}	0.78±0.08^{Bc}	1.20±0.08^{Aa}
	丙氨酸 Ala	1.44±0.15^{Aa}	1.10±0.06^{ABbc}	1.37±0.04^{ABab}	0.97±0.11^{Bc}	1.53±0.07^{Aa}
	酪氨酸 Tyr	0.89±0.09^{ABa}	0.70±0.03^{ABb}	0.80±0.01^{ABab}	0.63±0.07^{Bb}	0.91±0.04^{Aa}
	精氨酸 Arg	1.70±0.17^{Aa}	1.27±0.06^{ABbc}	1.61±0.04^{ABab}	1.13±0.12^{Bc}	1.77±0.08^{Aa}
	谷氨酸 Glu	3.56±0.40^{Aa}	2.67±0.17^{ABb}	3.12±0.07^{ABab}	2.31±0.32^{Bb}	3.69±0.16^{Aa}
	天冬氨酸Asp	2.25±0.23^{Aa}	1.71±0.10^{ABbc}	2.05±0.04^{ABab}	1.49±0.20^{Bc}	2.39±0.09^{Aa}
	羟脯氨酸 Hyd	0.04±0.02^{ABa}	0.00±0.00^{Bb}	0.06±0.02^{Aa}	0.00±0.00^{Bb}	0.02±0.00^{ABab}
	TAA	23.5±1.04^{Aa}	18.47±0.33^{ABbc}	22.36±0.14^{ABab}	16.36±0.73^{Bc}	24.96±0.55A^{a}
	EAA	10.62±1.29^{ABab}	8.67±0.47^{ABbc}	10.28±0.31^{ABab}	7.67±1.01^{Bc}	11.41±0.61^{Aa}
	NEAA	13.02±1.09^{Aa}	9.98±0.43^{ABbc}	12.25±0.23^{ABab}	8.88±0.86^{Bc}	13.72±0.47^{Aa}
	EAA/TAA(%)	45.23±0.09^{Bb}	46.94±0.34^{Aa}	45.99±0.30^{ABab}	47.02±0.57^{Aa}	45.69±0.31^{ABb}
	EAA/NEAA(%)	81.60±0.14^{Ab}	86.94±0.94^{Aa}	83.97±0.99^{Aab}	86.77±1.91^{Aa}	83.10±0.74^{Ab}

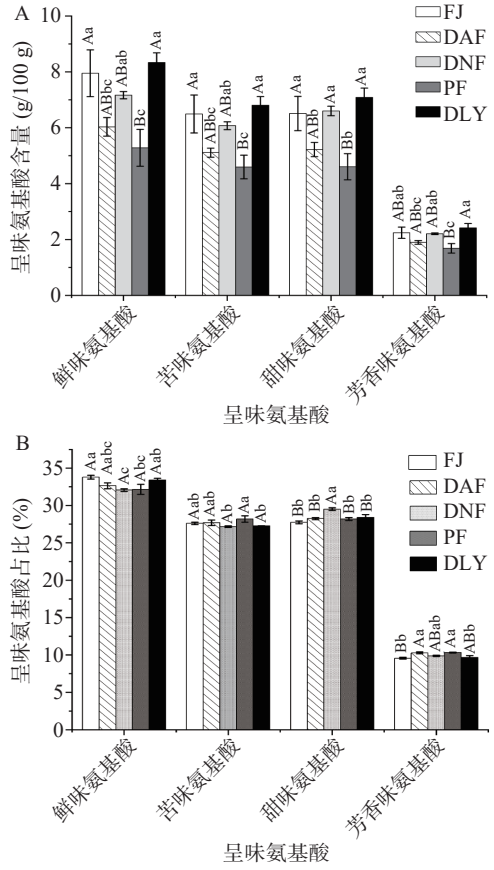


图 1　FJ 及其杂交组合肌肉味觉氨基酸含量(A)及占比(B)

Fig.1　Taste-related muscle amino acid content (A) and its proportion (B) of FJ and its hybrid combinations

注：不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)，相同字母表示差异不显著(P>0.05)，图 2 同。

示，PF 的特征氨基酸含量显著低于 FJ、DNF 和 DLY(P<0.05)，二元杂交组合中 DNF 表现最优。DNF 的 F 值最低，为 1.66，PF 的 F 值最高，为 1.78，5 组猪肉样品 F 值均高于人体肝脏功能异常时的水平(1.0~1.5)，但低于鲢鱼和鳙鱼(2.57、2.56)[27]、三穗鸭(2.41、2.37)[36] 等食物。从药效功能和保健价值来看，对于肝病患者，FJ 及其二元杂交 F_1 代的猪肉具有一定的保健功能，可以搭配鱼肉、鸭肉等其他肉类进行肝功能的调理。

根据 5 组猪肉样本的氨基酸含量、FAO/WHO

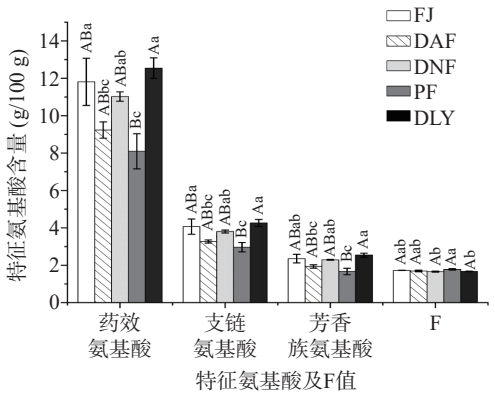


图 2　FJ 及其杂交组合肌肉特征氨基酸比较

Fig.2　Comparison of muscle characteristic amino acid contents in FJ and its hybrid combinations

模式和标准鸡蛋模式，计算了各组样本的 EAA/TAA 比值(表 5)、RC、CS、EAAI、NI 和 BV(表 6)。EAA 组成越接近 FAO/WHO 模式谱或标准鸡蛋模式谱，蛋白质越优质。除 Val 以外，5 组猪肉样本的 Tyr、Thr、Lys、Leu、Ile、Met+Cys 和 Phe+Tyr 的 EAA/TAA 均高于 FAO/WHO 模式的标准值。5 组猪肉样本的 Lys 的 EAA/TAA 比值最高，范围为 8.93~9.14，明显高于 FAO/WHO 模式和标准鸡蛋模式的标准值，其中 FJ 最高(9.14)，其次为 PF(9.11)。除了 Lys 和 Leu 外，FJ 及杂交组合、DLY 组的其他 EAA 组成都未达到鸡蛋模式值的标准水平。根据蛋白质互补原则，建议日常膳食中应合理搭配 Tyr、Thr、Ile 等 EAA 含量丰富的蘑菇[37]、核桃[6] 等食物，机体合理摄入蛋白质。

RC 用于衡量食物中氨基酸组成的含量与理想模式氨基酸之间的偏离程度。当 RC>1 时，表示 EAA 相对过剩，反之 EAA 的含量相对不足。其中，RC 值最低的即为第一限制氨基酸。CS 则是用于评价食物蛋白质营养价值的方法，CS 值越接近 1，表示食物蛋白质的组成越符合人体的需求，营养价值也就越高[6]。根据 RC 和 CS 结果(表 6)，5 组猪肉样品的第一限制性氨基酸为 Val，第二限制性氨基酸为 Ile。与本研究的结果不同，吉神黑猪和太湖黑猪[16] 的第一限制性氨基酸为苯丙氨酸＋酪氨酸、藏猪[38] 为甲硫氨酸+半胱氨酸。这可能是品种、饲料和饲养

表 5　FJ 及其杂交组合肌肉中必需氨基酸占总氨基酸的质量分数与模式谱比较

Table 5　Comparison of the mass fraction of essential amino acids in the muscles of FJ and its hybrid combination with the pattern spectrum

氨基酸	FJ	DAF	DNF	PF	DLY	FAO/WHO模式	标准鸡蛋模式
酪氨酸 Tyr	1.11	1.14	1.15	1.13	1.18	1.00	1.62
苏氨酸 Thr	5.00	4.77	4.79	4.90	4.84	4.00	5.39
缬氨酸 Val	4.40	4.68	4.46	4.91	4.44	5.00	5.76
赖氨酸 Lys	9.14	8.95	8.93	9.11	9.04	5.50	6.49
亮氨酸 Leu	8.66	8.58	8.33	8.64	8.47	7.00	8.41
异亮氨酸 Ile	4.24	4.49	4.23	4.68	4.18	4.00	5.24
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	3.72	3.98	3.71	4.26	3.77	3.50	6.18
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	8.91	9.34	9.11	9.09	9.01	6.00	9.55

表 6 FJ 及其杂交组合肌肉 EAA 营养价值评价

Table 6 Evaluation of the nutritional value of muscle EAA in FJ and its hybrid combinations

氨基酸	RC					CS				
	FJ	DAF	DNF	PF	DLY	FJ	DAF	DNF	PF	DLY
色氨酸	0.91	0.92	0.95	0.89	0.97	0.69	0.70	0.71	0.70	0.73
苏氨酸	1.03	0.96	0.99	0.97	0.99	0.93	0.88	0.89	0.91	0.90
缬氨酸	0.72⬧	0.76⬧	0.73⬧	0.78⬧	0.73⬧	0.76	0.81	0.77	0.85	0.77
赖氨酸	1.37	1.31	1.34	1.31	1.35	1.41	1.38	1.38	1.40	1.39
亮氨酸	1.02	0.99	0.98	0.97	0.99	1.03	1.02	0.99	1.03	1.01
异亮氨酸	0.87⬧⬧	0.90⬧⬧	0.87⬧⬧	0.92⬧⬧	0.86⬧⬧	0.81	0.86	0.81	0.89	0.80
蛋氨酸+半胱氨酸	0.87	0.92	0.87	0.96	0.88	0.60	0.64	0.60	0.69	0.61
酪氨酸+苯丙氨酸	1.22	1.26	1.25	1.20	1.23	0.93	0.98	0.95	0.95	0.94
EAAI	–	–	–	–	–	86.73	88.72	86.32	90.66	86.88
NI	–	–	–	–	–	19.11	19.82	19.82	20.63	19.47
BV	–	–	–	–	–	82.83	85.00	82.39	87.12	83.00

注:⬧为第一限制性氨基酸,⬧⬧为第二限制性氨基酸。

环境差异造成的。EAAI 可用于评估猪肉蛋白质的营养价值,高营养价值蛋白源:EAAI≥90,中等营养价值蛋白源:90>EAAI≥70,低营养价值蛋白源:70>EAAI≥0[39]。本研究中,5 组猪肉样本的 EAAI 值均接近 90,并且高于八眉猪(85.04、86.40)[40]、五指山猪(85.69)[41],略低于藏猪(91.7)[38]。此外,5 组样品中 Val 含量不足。因此,膳食中应搭配缬氨酸含量丰富的谷物、豆类和牛肉等食物。NI 用于评估食物蛋白质的质量,综合考量食物中蛋白质的含量以及氨基酸组成;BV 衡量蛋白质转化为人体可用营养的效率。本研究中,PF 的 NI、BV 分别为 20.63 和 87.12,高于 FJ(19.11、82.83)、DAF(19.82、85.00)、DNF(19.82、82.39)和 DLY(19.47、83.00)。说明 PF 猪肉蛋白的利用率较优。

2.4 营养指标相关性分析

对 23 个营养指标进行相关性分析并绘制热图(图 3)。结果显示,基本营养成分中,水分与特征氨基酸、TAA 呈极显著负相关(P<0.01),与 IMF、

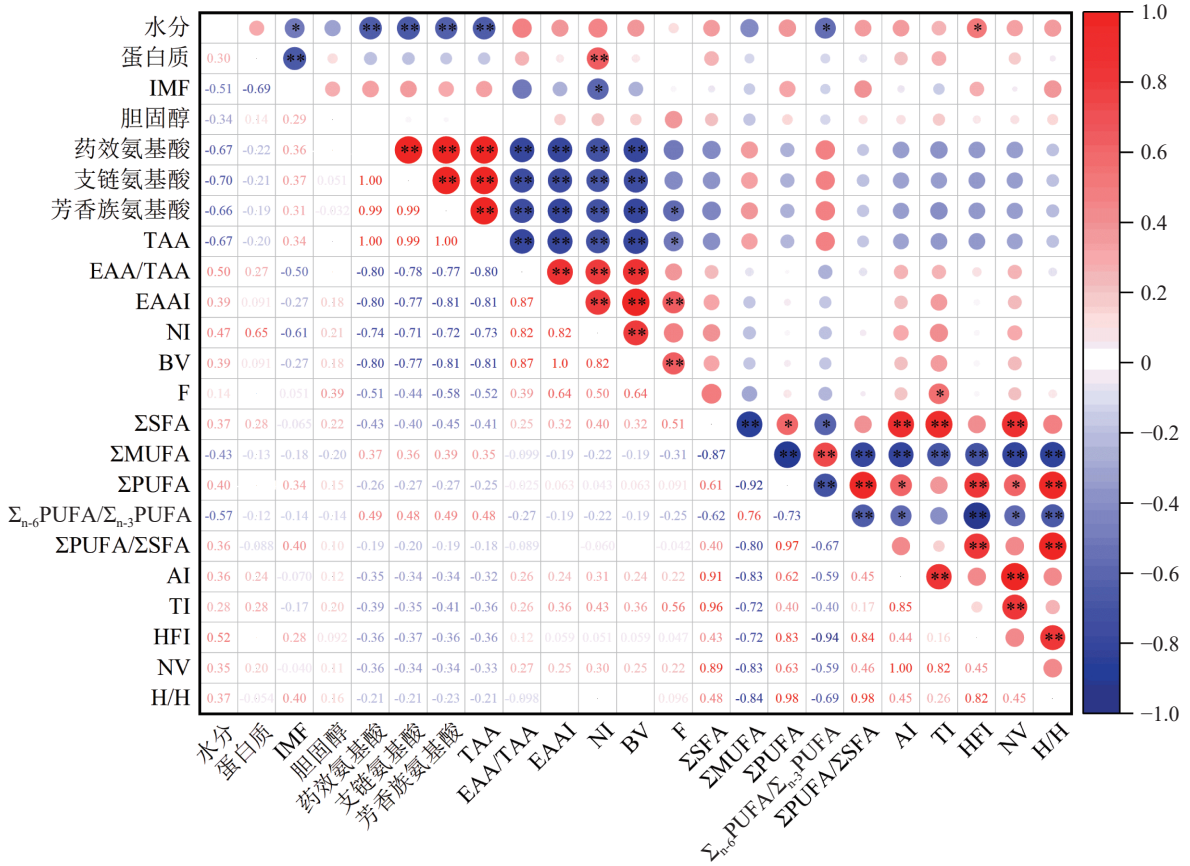


图 3 FJ 及其二元杂交 F_1 代的相关性分析

Fig.3 Correlation analysis of FJ and its hybrid combinations

注:“**”表示具有极显著相关性(P<0.01),“*”表示具有显著相关性(P<0.05);红色代表具有正相关性,蓝色代表具有负相关性。

Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 呈显著负相关（P<0.05），而与 HFI 呈显著正相关（P<0.05），说明本研究中猪肉的水分含量高低显著影响 IMF 和氨基酸含量；蛋白质与 IMF 呈极显著负相关，与 NI 呈极显著正相关（P<0.01）。氨基酸指标中，药效、支链、芳香族氨基酸和 TAA 之间呈极显著正相关（P<0.01）；特征氨基酸、TAA 与 EAA/TAA、EAAI、NI 和 BV 呈极显著负相关（P<0.01）；芳香族氨基酸、TAA 与 F 呈显著负相关（P<0.05）；EAA/TAA 与 EAAI、NI 和 BV 呈极显著正相关（P<0.01），相关系数为 0.87、0.82、0.87；EAAI 与 NI、BV 和 F，NI 与 BV，BV 与 F 对比之间呈极显著正相关（P<0.01）。脂肪酸相关指标中，ΣSFA 与 AI、TI 和 NV 呈极显著正相关（P<0.01），与 ΣPUFA 呈显著正相关（P<0.05），而与 ΣMUFA 呈极显著负相关（P<0.01），与 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 呈显著负相关（P<0.05），说明猪肉饱和脂肪酸含量高，会对心血管疾病健康产生不利影响；ΣMUFA 与 ΣPUFA、ΣPUFA/ΣSFA、AI、TI、HFI、NV 和 H/H 呈极显著负相关，而与 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 呈极显著正相关（P<0.01）；ΣPUFA 与 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 呈显著极负相关（P<0.01），而与 ΣPUFA/ΣSFA、HFI 和 H/H 极显著正相关（P<0.01），与 AI、NV 显著正相关（P<0.05）；Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 与 ΣPUFA/ΣSFA、HFI 和 H/H 呈极显著负相关（P<0.01），与 AI、NV 呈显著负相关（P<0.05）；ΣPUFA/ΣSFA 与 HFI、H/H，AI 与 TI、NV，TI 与 NV，HFI 与 H/H 各对比之间呈极显著正相关（P<0.01）。由此可见，不同营养指标之间存在一定关联性，可通过 PCA 进一步分析、评价 FJ 及其杂交组合营养价值，提高评价准确性。

2.5　营养指标主成分分析

本研究对 5 组猪肉样品的 23 个营养指标进行 PCA 分析。根据主成分的特征值大于 1、累计方差贡献率超过 85% 的原则[6]，由表 7 可知，PCA 分析共提取到 5 个主成分，累计贡献率达 91.93%，由此可以对 5 组猪肉样品的营养指标进行综合评价，并且选取荷载值的绝对值代表该营养指标对主成分的影响程度。PCA1 的特征值为 10.20，方差贡献率为 44.36%，综合了药效氨基酸、支链氨基酸、芳香族氨基酸、TAA、ΣSFA 和 ΣMUFA 的信息；PCA2 的特征值和方差贡献率分别为 5.45 和 23.68%，代表了肌内脂肪、ΣMUFA、ΣPUFA、ΣPUFA/ΣSFA 和 H/H 的信息；PCA3 的特征值是 2.35，方差贡献率是 10.21%，主要反映了 SFA、AI、TI、HFI 和 NV；PCA4 的特征值和方差贡献率为 2.00 和 8.69%，在水分、蛋白质、IMF、胆固醇和 F 有较大的荷载值。PCA5 的特征值和方差贡献率分别为 1.15 和 4.99%，主要代表了蛋白质、胆固醇、NI 和 NV 的信息。

以 5 个主成分所对应的方差贡献率为权重，构建营养指标的综合评价模型，即 $F=0.444F_1+0.237F_2+0.102F_3+0.087F_4+0.050F_5$。由表 8 可知，第一主成分得分最高的是 PF；FJ 是第二、四主成分得分最高的组别；第三主成分得分最高的是 DNF；DAF 是第五主成分得分最高的组别。综合得分越高，说明该组猪肉的综合评价越好，5 组猪肉样品综合评分是 PF>DNF>FJ>DAF>DLY，PF 远高于其他组别，证明猪肉综合营养价值高，表明 PF 作为一种杂交组合，更适宜作为培育开发品种。由此看出，FJ 及其二元杂交组合猪肉具有综合质量好、营养价值高的特点。

表 7　主成分荷载矩阵、特征值、方差贡献率及累计贡献率

Table 7　Principal component loading matrix, eigenvalue, variance contribution rate and cumulative contribution rate

指标	主成分				
	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5
水分	0.22	−0.03	−0.20	−0.36	−0.07
蛋白质	0.09	−0.10	0.26	−0.39	0.56
IMF	−0.07	0.27	−0.14	0.47	−0.09
胆固醇	0.05	0.05	0.20	0.43	0.59
药效氨基酸	−0.27	0.16	0.16	−0.01	0.05
支链氨基酸	−0.26	0.16	0.19	0.03	0.07
芳香族氨基酸	−0.27	0.16	0.16	−0.05	0.06
TAA	−0.27	0.17	0.18	−0.02	0.05
EAA/TAA	0.21	−0.26	−0.06	−0.01	−0.01
EAAI	0.22	−0.24	−0.04	0.23	−0.03
NI	0.22	−0.24	0.12	−0.04	0.31
BV	0.22	−0.24	−0.04	0.23	−0.03
F	0.17	−0.10	0.14	0.42	−0.01
ΣSFA	0.24	0.14	0.33	0.01	−0.12
ΣMUFA	−0.24	−0.27	−0.10	0.00	0.02
ΣPUFA	0.19	0.32	−0.10	−0.01	0.08
Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA	−0.23	−0.20	0.13	0.06	−0.09
ΣPUFA/ΣSFA	0.15	0.32	−0.22	−0.01	0.12
AI	0.22	0.17	0.31	−0.10	−0.20
TI	0.21	0.06	0.43	0.03	−0.20
HFI	0.18	0.26	−0.27	−0.07	0.15
NV	0.22	0.17	0.29	−0.08	−0.22
H/H	0.16	0.32	−0.18	0.03	0.15
特征值	10.20	5.45	2.35	2.00	1.15
方差贡献率(%)	44.36	23.68	10.21	8.69	4.99
累计贡献率(%)	44.36	68.04	78.25	86.94	91.93

表 8　FJ 及其二元杂交 F_1 代主成分得分及综合评价

Table 8　Principal component scores and comprehensive evaluation of FJ and its hybrid combinations

样品	主成分得分					F	排序
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5		
FJ	−0.308	3.343	−0.425	1.251	−0.139	0.714	3
DAF	0.686	−0.899	−2.001	−0.007	0.398	−0.094	4
DNF	0.843	1.653	1.492	−1.514	0.281	0.800	2
PF	3.339	−2.018	0.248	0.134	−0.329	1.024	1
DLY	−4.560	−2.080	0.686	0.137	−0.211	−2.444	5

注：F_1、F_2、F_3、F_4、F_5分别为PCA1、PCA2、PCA3、PCA4和PCA5的得分；F为综合得分。

3　结论

FJ 及其二元杂交组合的蛋白质、氨基酸和脂肪酸营养价值较高，营养价值综合排序结果为 PF>

DNF>FJ>DAF>DLY, PF 为最优杂交组合。与 DLY 相比, FJ 及其二元杂交 F_1 代 IMF 含量高(3.38%~4.77%)、脂肪酸含量丰富(19.13~25.93 g/100 g), NV 值为 0.50~0.56, 风味好、营养价值高; H/H 值为 0.51~0.62, 降胆固醇脂肪酸比例略高, 人体易消化吸收; EAA/TAA(45.23%~47.02%)、EAA/NEAA(81.60%~86.94%)完全符合 FAO/WHO 提出的理想蛋白的要求, 蛋白质质量好。此外, 第一、二限制氨基酸分别为缬氨酸、异亮氨酸。其中, FJ 的 IMF、ΣPUFA、Σ_{n-3}PUFA、Σ_{n-6}PUFA、ΣPUFA/ΣSFA、HFI 和 H/H 最高, TAA、EAA、味觉、药效、支链和芳香族氨基酸含量丰富, 是理想的蛋白质来源, 也是摄取 PUFA 的优质食材。二元杂交组合中, DAF 的 AI 和 TI 最低, ΣUFA/ΣSFA 的平衡性较好, 但氨基酸、脂肪酸含量较低; DNF 的 ΣPUFA、Σ_{n-3}PUFA 和 Σ_{n-6}PUFA 含量较高, 但 Σ_{n-6}PUFA/Σ_{n-3}PUFA 最低; PF 的 IMF 和 ΣFA 含量、EAA/TAA、EAAI、NI、BV 和 F 比值最高, 蛋白质、ΣMUFA、Σ_{n-3}PUFA 和 Lys 含量较高、胆固醇含量低, 具有较高的 NV 值, 是蛋白质和脂肪酸营养价值较高的杂交组合。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] 王海洲, 王加众, 王春平, 等. 五莲黑猪与杜长大猪的胴体品质及营养成分比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(2): 65−68,74. [WANG H Z, WANG J Z, WANG C P, et al. Comparative analysis of carcass quality and nutritional components of Wulian black pig and Duroc×Landrace×Yorkshire pig[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(2): 65−68,74.]

[2] 姚学强, 李江, 张东辉, 等. 甘肃 4 种地方杂交黑猪肉品质与营养成分比较[J]. 饲料工业, 2024, 45(17): 37−41. [YAO X Q, LI J, ZHANG D H, et al. Quality and nutritional composition of four breeds of local hybrid black pork in Gansu Province[J]. Feed Industry, 2024, 45(17): 37−41.]

[3] ZHANG Y, ZHANG Y J, LI H, et al. Comparison of nutrition and flavor characteristics of five breeds of pork in China[J]. Foods, 2022, 11(17): 2704.

[4] YANG J B, WU J S, DING W, et al. The complete mitochondrial genome of the Fengjing pig[J]. Mitochondrial DNA Part B, 2019, 4(1): 443−445.

[5] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价—氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, 10(2): 187−190. [ZHU S T, WU K. Nutritional evaluation of protein—Ratio coefficient of amino acid[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1988, 10(2): 187−190.]

[6] 郝苑汝, 陈芮蝶, 翟梅枝. 不同品种核桃氨基酸组成及营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2025, 46(16): 281−290. [HAO Y R, CHEN R D, ZHAI M Z. Evaluation on amino acid compositionand nutritional value from different walnut varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(16): 281−290.]

[7] 任广志, 李新建, 李孝法, 等. 豫南黑猪及其杂种肥育猪生长性能和肉质性状的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2008, 37(21): 4−6. [REN G Z, LI X J, LI X F, et al. Study of growth and meat quality of Yunan black pigs and crossbred pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2008, 37(21): 4−6.]

[8] 李庆岗, 杨家军, 吴义景. 5 个引进猪种与圩猪杂交后代的屠宰性能及肉质性状比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(6): 47−51. [LI Q G, YANG J J, WU Y J. Comparative analysis of slaughter and meat quality traits of the hybrid pigs from five introduced pigs and Wei pig[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2018, 54(6): 47−51.]

[9] 李新建, 乔瑞敏, 李孝法, 等. 豫南黑猪及其杂交后代肉质性状及营养成分特性研究[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(3): 20−26. [LI X J, QIAO R M, LI X F, et al. The genetic characteristics of meat quality and nutritional components of Yunan black pig and its hybrid pigs[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2016, 37(3): 20−26.]

[10] 蔡嘉睿. 基于转录组整合策略筛选我国地方猪脂肪沉积的关键候选基因及功能验证[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023. [CAI J R. The identification and functional validation of crucial genes for fat deposition of Chinese local pigs using transcriptome integration strategy[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2023.]

[11] 陈信彰. 民猪及其杂交猪肌肉组织学特性与肉质性状关系的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015. [CHEN X Z. Study on the relationships between the muscle tissue charecteristics and meat quality traits of Min pig and its hybirds[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015.]

[12] 杨芳, 龙开旭, 方程, 等. 陆川猪与杜洛克猪正反交 F1 代 UCP3 基因表达差异研究[J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43(3): 798−804. [YANG F, LONG K X, FANG C, et al. Study on differences of UCP3 gene expression of reciprocal crosses Fl with Luchuan pig and Duroc pig[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2016, 43(3): 798−804.]

[13] 李忠秋, 何鑫森, 王文涛, 等. 巴民和松巴民杂交猪生长性能、胴体和肉质性状的比较研究[J]. 家畜生态学报, 2024, 45(9): 34−38. [LI Z Q, HE X M, WANG W T, et al. Comparison of growth, carcass and meat quality traits between Bamin and Songbamin pigs[J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2024, 45(9): 34−38.]

[14] TAN Z D, JIANG H L. Molecular and cellular mechanisms of intramuscular fat development and growth in cattle[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(5): 2520.

[15] 薛云, 吴昊旻, 张文刚, 等. 枫泾猪及大枫杂交肉猪生长、胴体和肉质性能的比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(8): 270−275. [XUE Y, WU M H, ZHANG W G, et al. Comparison of growth, carcass and meat quality of Fengjing pigs and Yorkshire×Fengjing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(8): 270−275.]

[16] 黎琪, 檀馨悦, 王晴, 等. 市售黑猪和白猪营养成分分析及评价[J]. 肉类研究, 2022, 36(12): 22−27. [LI Q, TAN X Y, WANG Q, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition of commercial black and white pig meat[J]. Meat Research, 2022, 36(12): 22−27.]

[17] 吴玲想, 孟昕彤, 曹勇杰, 等. 巴×高撒与杜×高撒杂交猪生产性能的比较分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(12): 169−173. [WU L X, MENG X T, CAO Y J, et al. Comparative analysis of production performance of Berkshire×Gaoli Gongshan×Saiba pigs and Duroc×Gaoli Gongshan×Saiba pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(12): 169−173.]

[18] 崔茜, 王伟, 谢益韬, 等. 不同养殖模式金刚虾(斑节对虾)肌肉营养成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 276−281. [CUI X, WANG W, XIE Y T, et al. Comparative analysis of nutri-

ent composition in the muscle of *Penaeus monodon* in different culture models[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 276−281.]
[19] 刘庆雨, 于永生, 张琪, 等. 藏猪及杜藏杂交猪胴体性能及肉质品质对比研究[J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61(5): 153−156. [LIU Q Y, YU Y S, ZHANG Q, et al. Comparative study of carcass performance and meat quality of Tibetan pig and Duroc×Tibetan pig [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2025, 61(5): 153−156.]
[20] 吴赛辉. 皮特兰×民猪杂交猪与民猪的肉质比较研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013. [WU S H. Meat quality comparative study of hybrid Pietrain and Min pig with Min pig[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.]
[21] 鹿富俊, 郝桐, 刘庆雨, 等. 巴克夏猪、藏猪和巴藏杂交猪的胴体性能及肉品质分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(1): 240−243, 392. [LU F J, HAO T, LIU Q Y, et al. Carcass performance and meat quality analysis of Berkshire pigs, Tibetan pigs and hybrid pigs[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(1): 240−243, 392.]
[22] YANG L G, YANG C, SONG Z X, et al. Different n-6/n-3 polyunsaturated fatty acid ratios affect postprandial metabolism in normal and hypertriglyceridemic rats[J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(4): 1157−1166.
[23] 安晶晶, 秦迎旭, 李文婧, 等. 银川市售乳及乳制品脂肪酸成分分析及营养评价[J]. 卫生研究, 2023, 52(4): 900−906. [AN J J, QIN Y X, LI W J, et al. Fatty acid composition analysis and nutrition evaluation of milk and dairy products sold in Yinchuan city[J]. Journal of Hygiene Research, 2023, 52(4): 900−906.]
[24] MINELLI G, D'AMBRA K, MACCHIONI P, et al. Effects of pig dietary n-6/n-3 polyunsaturated fatty acids ratio and gender on carcass traits, fatty acid profiles, nutritional indices of lipid depots and oxidative stability of meat in medium–heavy pigs[J]. Foods, 2023, 12(22): 4106.
[25] BISCO A D, CAVALLO M, MENCHETTI L, et al. The healthy fatty index allows for deeper insights into the lipid composition of foods of animal origin when compared with the atherogenic and thrombogenicity indexes[J]. Foods, 2024, 13(10): 1568.
[26] 张圣杰, 周康奇, 潘贤辉, 等. 多棱角螺腹足和内脏团营养成分及风味物质分析[J]. 淡水渔业, 2024, 54(6): 87−95. [ZHANG S J, ZHOU K Q, PAN X H, et al. Analysis of nutrient constituents and flavor substances in gastropod and visceral mass of *Angulyagra polyzonata*[J]. Freshwater Fisheries, 2024, 54(6): 87−95.]
[27] 王鑫鑫, 杜辉, 张志华, 等. 大黄堡湿地主要经济鱼类营养成分分析与评价[J]. 饲料研究, 2024, 47(13): 99−104. [WANG X X, DU H, ZHANG Z H, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of principal economic fish in Dahuangpu wetland[J]. Feed Research, 2024, 47(13): 99−104.]
[28] TAO Z P, WANG Y. The health benefits of dietary short-chain fatty acids in metabolic diseases[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(1): 1−14.
[29] CHEN J P, LIU H B. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(16): 5695.
[30] 刘龙龙, 罗鸣, 刘洪涛, 等. 不同规格野生黄鳍金枪鱼肌肉营养分析与评价[J]. 渔业科学进展, 2024, 45(3): 258−267. [LIU L L, LUO M, LIU H T, et al. Analysis and evaluation of the muscle nutrition of different sizes of wild Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(3): 258−267.]
[31] 李崇瑜, 党斌, 张发林, 等. 青稞分级粉的营养及活性成分比较[J]. 食品工业科技, 2025, 46(16): 335−343. [LI C Y, DANG B, ZHANG F L, et al. Comparison of nutritional and bioactive component in graded highland carley flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(16): 335−343.]
[32] 薛云, 陆雪林, 吴昊旻, 等. 沙乌头猪二元杂种猪胴体与肉质性能的比较分析[J]. 养猪, 2020, 35(6): 45−50. [XUE Y, LU X L, WU H M, et al. Comparison of carcass characteristics and meat quality of Shawutou two-way crossbred pigs[J]. Swine Production, 2020, 35(6): 45−50.]
[33] 李贞明, 余苗, 马现永, 等. 两种杂交组合猪肉品质比较[J]. 广东农业科学, 2020, 47(5): 80−86. [LI Z M, YU M, MA X Y, et al. Comparison of pork quality between two hybrid combinations [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(5): 80−86.]
[34] CHOI Y M, KIM B C. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality[J]. Livestock Science, 2008, 122(2): 105−118.
[35] NEMET I, LI X S, HAGHIKIA A, et al. Atlas of gut microbe-derived products from aromatic amino acids and risk of cardiovascular morbidity and mortality[J]. European Heart Journal, 2023, 44(32): 3085−3096.
[36] 杨丽平, 王修俊, 刘林新, 等. 两种养殖方式的贵州三穗鸭肌肉营养成分分析及评价[J]. 现代食品科技, 2021, 37(2): 275−282, 237. [YANG L P, WANG X J, LIU L X, et al. Analysis and evaluation of nutritional contents in muscle of Guizhou Sansui duck cultured with different methods[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(2): 275−282,237.]
[37] 梁倩倩, 单玉虹, 王霞, 等. 絮缘蘑菇子实体营养成分分析及蛋白质营养价值评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 393−399. [LIANG Q Q, SHAN Y H, WANG X, et al. Niutritional component analysis and nutrition value evaluation of *Agaricus subfloccosus* fruiting bodies[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 393−399.]
[38] 辜雪冬, 杨林, 池福敏, 等. 西藏藏猪肉营养成分的分析及评价[J]. 营养学报, 2019, 41(5): 513−515. [GU X D, YANG L, CHI F M, et al. Nutritional composition analysis and evaluation of tibetan swine pork[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2019, 41(5): 513−515.]
[39] 云金虎, 江皓, 韩文学, 等. 不同品种海棠叶茶游离氨基酸组成分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 237−243. [YUN J H, JIANG H, HAN W X, et al. Analysis and evaluation of free amino acid in different cultivars of crabapple leaf tea[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(19): 237−243.]
[40] 杨晓玲, 席斌, 李维红, 等. 八眉猪不同部位肌肉氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 232−236,291. [YANG X L, XI B M, LI W H, et al. Nutritional evaluation and composition analysis of amino acid in different parts of muscle of Bamei pig[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 232−236,291.]
[41] 郑婷婷, 翁欣, 陈宗忠, 等. 海南五指山五脚猪肉一般营养成分分析及评价[J]. 农产品加工, 2020, 19(01): 50−52, 55. [ZHENG T T, WENG X, CHEN Z Z, et al. Analysis and evaluation of general nutritional components of Wujiao pork in Wuzhishan of Hainan [J]. Farm Products Processing, 2020, 19(01): 50−52, 55.]