DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260327001
引用格式: 刘伯河, 祝秀梅, 郭佳辰, 等. 甘南蕨麻猪和杜长大猪前腿肉的品质比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(14): 69–75.
Liu Bohe, Zhu Xiumei, Guo Jiachen, et al. Comparative study on the quality of foreleg meat of Gannan Juema pigs and Duroc-Landrace-Yorkshire pigs [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(14): 69–75. (in Chinese with English abstract).

甘南蕨麻猪和杜长大猪前腿肉的品质比较研究

刘伯河[1], 祝秀梅[2], 郭佳辰[3], 王 晗[3], 王敬宇[3], 张爱文[1*], 师希雄[3*]

(1. 甘肃省畜牧技术推广总站, 兰州 730030; 2. 甘肃省农产品质量安全检验检测中心, 兰州 730060;
3. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070)

摘 要: 目的 比较甘南蕨麻猪和杜长大猪前腿肉的品质。**方法** 对 8—10 月龄的甘南蕨麻猪和杜长大猪的前腿肉进行食用品质、营养品质和抗氧化功能分析。**结果** 甘南蕨麻猪肉的 a^*、剪切力、硬度、凝聚性、蛋白质含量、组氨酸、精氨酸、丙氨酸、脯氨酸与缬氨酸含量, 亚油酸、α-亚麻酸、二十碳烯酸、二十二碳一烯酸、花生四烯酸、二十二碳六烯酸、铁元素、铜元素以及锌元素含量显著高于杜长大猪肉(P<0.05); 而 L^*、b^*、脂肪含量、天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、苏氨酸、蛋氨酸、亮氨酸和赖氨酸等含量显著低于杜长大猪肉(P<0.05)。相较于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉色泽优良, 肉质紧实且富有韧性, 常规营养品质呈现高蛋白、低脂肪特点; 其氨基酸组成比例更贴近联合国粮农组织/世界卫生组织理想蛋白质模式。另外, 甘南蕨麻猪肉的饱和脂肪酸含量低, 多不饱和脂肪酸含量高, 矿物质元素富集, 抗氧化酶活性高。**结论** 甘南蕨麻猪肉具有优良的食用品质、营养品质与抗氧化功能, 契合消费者对健康优质肉类产品的需求, 具备良好的市场开发前景与推广价值。

关键词: 甘南蕨麻猪; 肉品质; 营养物质; 矿物质; 抗氧化酶
中图分类号: TS202.1 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)14–0069–08

Comparative study on the quality of foreleg meat of Gannan Juema pigs and Duroc-Landrace-Yorkshire pigs

LIU Bo-He[1], ZHU Xiu-Mei[2], GUO Jia-Chen[3], WANG Han[3], WANG Jing-Yu[3], ZHANG Ai-Wen[1*], SHI Xi-Xiong[3*]

(1. *Gansu Provincial Animal Husbandry Technology Popularization Station*, *Lanzhou* 730030, *China*; 2. *Gansu Provincial Agricultural Products Quality and Safety Inspection and Testing Center*, *Lanzhou* 730060, *China*; 3. *College of Food Science and Engineering*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou* 730070, *China*)

ABSTRACT: Objective To compare the foreleg meat quality between Gannan Juema pigs and

收稿日期: 2026-03-27
基金项目: 甘肃省特色优势农产品评价项目(2024ZZBA00099/HT-010); 甘肃省现代寒旱特色农业生猪产业技术体系项目产品加工岗位项目(GSARS-10-05); 甘味猪肉高值化加工利用项目(GNKJ-2024-46)

第一作者: 刘伯河(1982—), 男, 高级畜牧师, 主要开展畜牧技术推广工作。E-mail: 162244727@qq.com
***通信作者:** 张爱文(1972—), 男, 硕士, 正高级畜牧师, 主要研究方向为畜牧业经济及技术推广。E-mail: snhczaw@qq.com
师希雄(1977—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为畜产品加工与贮藏。E-mail: sxix77@163.com

Duroc-Landrace-Yorkshire pigs. **Methods** The edible qualities, nutritional quality and antioxidant capacity of the foreleg meat from 8 to 10 month-old of Gannan Juema pigs and Duroc-Landrace-Yorkshire pigs were analyzed. **Results** The a^*, shear force, hardness, cohesiveness, protein content, content of histidine, arginine, alanine, proline, valine, linoleic acid, α-linolenic acid, eicosenoic acid, docosenoic acid, arachidonic acid, docosahexaenoic acid, iron element, copper element and zinc element content were significantly higher compared with Duroc-Landrace-Yorkshire pork (P<0.05). Conversely, L^*, b^*, fat content, aspartic acid, glutamic acid, serine, threonine, methionine, leucine and lysine were significantly lower in Gannan Juema pork (P<0.05). Compared with Duroc-Landrace-Yorkshire pork, Gannan Juema pork exhibited superior color characteristics, compact and tough texture, along with high-protein and low-fat nutritional profiles. Its amino acid composition was closer to the ideal protein pattern recommended by Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. Moreover, Gannan Juema pork contained lower saturated fatty acids, higher polyunsaturated fatty acids, abundant mineral elements and high antioxidant enzyme activity. **Conclusion** Gannan Juema pork has excellent edible quality, nutritional quality and antioxidant capacity, which meets consumers' demand for healthy and high-quality meat products and has good market development prospects and promotion value.

KEY WORDS: Gannan Juema pigs; meat quality; nutrients; minerals; antioxidant enzymes

0 引 言

甘南蕨麻猪又称“藏香猪”, 主要分布于甘南藏族自治州的合作市、夏河县、碌曲县与迭部县等地, 现存栏量约为 6 万头。作为甘肃省的地理标志产品, 甘南蕨麻猪属于小型原始藏系猪种, 由野猪驯化而来, 归属于高原类型, 是当地藏族群众在海拔 3000 m 左右的严酷环境中以自然放牧方式选育出来的一个藏系猪种[1]。该猪体形较为矮小, 其四肢毛色纯黑, 具有耐寒耐湿、耐粗饲、抗病性强、遗传性状稳定等诸多优点[2]。蕨麻猪肉色深红, 纹理适中, 无腥味, 膘厚适中, 具有独特香味, 营养丰富, 味道鲜美, 高度契合当代人们追求绿色食品的理念[2−3]。杜长大猪是一类三元杂交猪种, 其产地主要集中在甘肃、四川、河南、湖南等地。目前国内畜禽繁育领域广泛推行杜洛克猪×长白猪×大白猪的繁育模式, 该杂交方式充分利用杂种优势, 所产的商品猪具备生长速度快、饲料转化率高、瘦肉率高及繁殖性能良好等综合优势, 能更好地契合市场需求, 显著提升农牧户的养殖效益[4−5]。杜长大猪是目前国内饲养量最大的生猪品种, 占我国生猪出栏量的 90%以上, 已成为当前市场猪肉供应的主要来源。

猪肉作为全球消费量最大的肉类, 约占肉类总消费量的 36.10%[6]。随着居民生活水平的不断提升, 消费者对猪肉的品质需求也愈发多元化。研究发现, 肉品质受多种因素的影响, 如动物基因与品种、饲养方式、饲料组成、肌肉部位、性别年龄以及屠宰方式等均会显著影响肉的品质[7−8]。其中, 品种是影响肉品质的重要因素。刘志宏等[9]报道, 大耳系蕨麻猪的熟肉率比小耳系蕨麻猪高 11.96%, 且大耳系蕨麻猪肉的大理石纹评分、必需氨基酸含量明显优于小耳系蕨麻猪, 具有较好的肉质性状。胡婷等[10]分析了金华猪和杜长大猪肉的营养品质和风味物质, 发现杜长大猪肉的单不饱和脂肪酸、饱和脂肪酸、赖氨酸、精氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸含量显著低于金华猪肉, 而多不饱和脂肪酸显著高于金华猪肉, 且金华猪猪肉的酯类和酸类化合物含量较高, 赋予了金华猪肉良好的风味。另外, 彭汝艳等[11]对比直隶黑猪与杜长大猪的肉质性状, 结果表明直隶黑猪肉的大理石花纹丰富, 剪切力显著低于杜长大猪肉, 且直隶黑猪肉肌内脂肪、多不饱和脂肪酸含量高, 氨基酸组成合理, 风味良好。综上所述, 现有研究虽已明确品种是影响猪肉品质的关键因素, 但针对甘南蕨麻猪与杜长大猪肉的品质特性对比研究, 目前尚未见报道。此外, 目前关于甘南蕨麻猪肉品质方面的研究也不系统。

因此, 本研究以甘南蕨麻猪前腿肉为研究对象, 与杜长大猪前腿肉开展对比分析, 旨在系统探究二者在食用品质、氨基酸、脂肪酸、矿物质含量与抗氧化酶活性方面的差异, 以期为青藏高原蕨麻猪肉的开发利用提供理论依据, 同时, 对于甘南蕨麻猪这一特色畜种的高质量发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本研究在甘肃省甘南藏族自治州和白银市景泰县甘肃品高食品有限公司分别采集同一批次 10 头健康无病, 8—10 月龄的去势甘南蕨麻公猪(40±5) kg 和去势杜长大公猪(110±10) kg, 每组样本有 10 个生物学重复。其中, 甘南蕨麻猪采用传统放牧结合舍饲的饲养模式, 日粮以当地天然牧草为主, 辅以青稞、苜蓿等精料; 杜长大猪采用全舍饲的饲养模式, 日粮为玉米-豆粕型商品全价配合饲料。为

了保证动物福利, 两组猪在屠宰前均禁食 12 h、自由饮水, 并于宰前静养 2 h。随后, 按照国家相关规定进行屠宰, 屠宰后, 立即取每头猪的前腿肉, 剔除表面脂肪和结缔组织, 测定 pH、色度、蒸煮损失率、剪切力和质构特性, 剩余样品置于液氮中保存, 用于后续分析。

1.2　仪器与设备

HP-200 型色差仪(上海汉谱光电科技有限公司); TA.XT Express 型质构仪(英国 SMS 公司); AL104 型电子天平[感量 0.1 mg, 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司]; C-LM3B 型肌肉嫩度仪(北京天翔飞域仪器设备有限公司); TGL-16M 型冷冻离心机(长沙湘仪离心机仪器有限公司); HH-S 型恒温水浴锅(河南巩义市予华仪器有限责任公司); pHS-3C 型 pH 计(上海雷磁仪器厂); Biochrom30+型全自动氨基酸分析仪(英国百康公司); TOPEX 型微波消解仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司); SX2-12-10 型马弗炉(常州杰博森仪器有限公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　pH 的测定

参考 Wang 等[12]的方法, 采用 pHS-3C 便携式 pH 计开展 pH 的测定, 测定前先以 pH 6.86 和 pH 4.01 的标准缓冲溶液对仪器完成校准。生猪屠宰放血后, 立即取 50 g 肉样, 用蒸馏水冲洗表面血渍, 并用滤纸吸干肉样表面残留水分。随后, 在每份肉样的不同位置随机选取 5 个检测点进行 pH 的测定。

1.3.2　色度的测定

肉色的测定参照 Shi 等[13]的方法, 将肉样切面在室温下静置暴露 20 min 后, 采用 HP-200 型色差仪分别记录肉样多个位点的亮度(L^*)、红度(a^*)和黄度(b^*)。每一样品测定前, 均使用标准白板对仪器进行校准。

1.3.3　蒸煮损失率的测定

参考 Jo 等[14]的方法将肉样称重(m_1), 单位 g, 后放入蒸煮袋中在 80 ℃下进行水浴加热, 当肉样品中心温度达到 75 ℃时, 取出样品并冷却至室温。随后, 用吸水纸吸干肉样表面的汁液并称重(m_2), 单位 g。最后, 按照以下公式(1)计算肉样的蒸煮损失率。

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

1.3.4　剪切力的测定

根据 Wang 等[15]的方法取测定完蒸煮损失率的肉样, 使用直径 1.27 cm 的柱状取样器沿肌纤维方向取样, 然后将肉柱垂直放置于嫩度仪的剪切刀架上进行剪切, 每份样品至少剪切 5 次, 并记录剪切力的读数。

1.3.5　质构特性分析

参照 Kim 等[16]的方法稍作修改, 取测定完蒸煮损失率的肉样使用 P50 柱形探头进行质构分析, 测前速度调整为 2.00 mm/s、测中速度调整为 1.00 mm/s、测后速度调整为 2.00 mm/s, 触发力调整为 5 g, 压缩量调整为 50%, 两次压缩间隔时间调整为 5 s, 每份样品至少测定 5 次。

1.3.6　基础营养成分的测定

参考中拉毛草等[17]的方法, 按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.5—2025《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.6—2025《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》与 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》分别测定肉样的水分、蛋白质、脂肪和灰分。

1.3.7　氨基酸含量的测定

参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》进行测定。

1.3.8　脂肪酸含量的测定

参考 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》进行测定。

1.3.9　矿物质含量的测定

参考 GB 5009.268—2025《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》进行测定。

1.3.10　抗氧化酶活性的测定

参考 Wang 等[15]的方法采用南京建成生物工程研究所提供的专用检测试剂盒, 检测超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性、过氧化氢酶(catalase, CAT)活性和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性。

1.4　数据处理

数据采用 Office Excel 2024 软件进行整理, 然后, 运用 SPSS 26 软件进行统计分析。首先, 对所有数据进行正态性与方差齐性检验, 满足检验前提后, 以 Duncan'多重比较法进行差异显著性检验, 结果以"平均值±标准偏差"表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

2　结果与分析

2.1　甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的肉质分析

剪切力是反映肉质嫩度的关键指标, 剪切力越低, 肉质嫩度越好[18]。色度则是评价肉品视觉品质的重要指标[19]。如表 1 所示, 甘南蕨麻猪肉的剪切力显著高于杜长大猪肉($P<0.05$), 这可能归因于甘南蕨麻猪长期放牧在高原地区, 运动量充足, 导致肉质嫩度较差[2]。另外, 甘南蕨麻猪肉的 a^* 显著高于杜长大猪肉, L^*、b^* 显著低于杜长大猪肉($P<0.05$), 这可能是因为甘南蕨麻猪长期栖息于高海拔、空气稀薄的高原环境, 使决定肉色的肌红蛋白和血红蛋白含量明显升高[17]。此外, 甘南蕨麻猪肉和杜长大猪肉的 pH 均接近于 5.90, 差异不显著, 蒸煮损失率差异也不显著。质构特性是肉品食用品质的核心评价指标之一, 直观反映了肉品的口感特征[16]。甘南蕨麻猪肉硬度和凝聚性显著高

于杜长大猪肉(P<0.05), 这表明甘南蕨麻猪肉质地紧实、口感更具韧性, 肉质饱满度更佳。黄济等[20]报道藏香杂野猪的滴水损失率和 L^*明显低于杜长大猪肉, 提示藏香杂野猪肉具有较好的持水力。另外, 徐丽娜等[21]发现西藏藏猪肉的剪切力与 a^*明显高于杜长大猪肉, 而 L^*与 b^*显著低于杜长大猪肉, 这与本研究发现相类似, 进一步证实了不同猪品种对肉品质可能具有显著影响。总之, 与杜长大猪肉相比, 甘南蕨麻猪肉在肉色红度方面表现更优, 视觉品质高, 且肉质紧实饱满, 具备较好的市场潜力。

表 1 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的肉质分析
Table 1 Analysis of foreleg meat quality characteristics between Gannan Juema pigs and Duroc-Landrace-Yorkshire pigs

项目		甘南蕨麻猪	杜长大猪
剪切力/kgf		5.23±0.05[a]	4.45±0.25[b]
蒸煮损失/%		27.00±2.29[a]	30.33±2.53[a]
pH		5.96±0.23[a]	5.80±0.23[a]
质构特性	硬度/g	7197.23±212.10[a]	3757.07±66.64[b]
	弹性/mm	0.38±0.03[a]	0.35±0.08[a]
	凝聚性/g.s	0.55±0.03[a]	0.41±0.01[b]
肉色	L^*	45.00±0.20[b]	49.29±0.32[a]
	a^*	18.38±0.14[a]	11.96±1.81[b]
	b^*	3.42±0.26[b]	4.81±0.37[a]

注: 同行不同小写字母表示组间具有显著性差异(P<0.05), 下同。

2.2 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的常规营养成分分析

水分、蛋白质和脂肪是决定猪肉品质的重要指标, 其中水分可能会影响肉的多汁性, 而蛋白质与脂肪含量则反映了猪肉的营养价值[22]。由表 2 可知, 甘南蕨麻猪肉的水分含量为 73.30 g/100 g, 显著高于杜长大猪肉(P<0.05), 表明相比于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉可能具有良好的多汁性。此外, 甘南蕨麻猪肉的脂肪含量为 3.38 g/100 g, 显著低于杜长大猪肉, 而蛋白质含量比杜长大猪肉高 2.82% (P<0.05), 这可能归因于甘南蕨麻猪长期放牧在高寒、高海拔地区, 需要消耗大量的脂肪以产热御寒, 同时, 蕨麻猪常年采食蕨麻、车前子、野苜蓿、青稞等天然牧草与高原药用植物, 使得蕨麻猪肉中积累了丰富的蛋白质[17,23]。杜长大猪肉的灰分比甘南蕨麻猪肉高 0.02 g/100 g, 但差异不显著。前人探究杜长大猪肉和西藏藏猪肉的基础营养品质, 发现杜长大猪肉的肌内脂肪含量显著高于西藏藏猪肉, 而蛋白质含量显著低于西藏藏猪肉, 这与本研究发现相似, 表明了藏系猪肉与商品猪肉之间的营养品质具有显著差异[21]。因此, 与杜长大猪肉相比, 甘南蕨麻猪肉具有水分含量丰富、高蛋白质与低脂肪的特点, 基本营养品质良好, 契合居民对健康绿色食品的追求。

表 2 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的常规营养成分含量(g/100 g)
Table 2 Nutritional composition content of foreleg meat of Gannan Juema pork and Duroc-Landrace-Yorkshire pork (g/100 g)

指标	甘南蕨麻猪	杜长大猪
水分	73.30±0.19[a]	71.64±0.11[b]
脂肪	3.38±0.31[b]	5.5±0.47[a]
灰分	1.26±0.09[a]	1.28±0.08[a]
蛋白质	21.92±0.16[a]	21.32±0.18[b]

2.3 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的氨基酸分析

氨基酸是生命活动的基础原料, 参与蛋白质合成、代谢调控与能量供给, 是决定肉品品质与营养价值的关键因素[24]。由表 3 可知, 甘南蕨麻猪肉与杜长大猪肉的氨基酸组成均较为全面, 涵盖了 Asp、Glu、His、Arg 等 16 种氨基酸, 且不同猪肉在氨基酸总量及各类氨基酸含量上呈现出一定差异。其中, 甘南蕨麻猪肉的 Asp、Glu、Ser、Thr、Met、Leu、Lys 与 Phe 含量显著低于杜长大猪肉, 而 His、Arg、Ala、Pro 与 Val 含量显著高于杜长大猪肉(P<0.05)。同时, 杜长大猪肉的 EAA 为 7.13 g/100 g, 比甘南蕨麻猪肉高 8.84%; NAA 含量为 10.29 g/100 g, 比甘南蕨麻猪肉高 9.24%; TAA 含量为 17.42 g/100 g, 比甘南蕨麻猪肉高 9.42%。依据联合国粮农组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)推荐的理想氨基酸模式谱要求, 发现甘南蕨麻猪肉的 EAA/TAA 和 EAA/NAA 分别为 40.83%与 68.90%, 相较于杜长大猪肉, 更接近于 FAO/WHO 标准(EAA/TAA≥40%, EAA/NAA≥60%), 说明甘南蕨麻猪肉的氨基酸组成比例更接近于理想蛋白质模式, 是营养价值优质的蛋白质来源, 但不能忽视其总量低于杜长大猪肉的事实。此外, 甘南蕨麻猪肉的 Pro 含量显著高于杜长大猪肉(P<0.05), 表明甘南蕨麻猪肉可能相较于杜长大猪肉具有良好的肉香味[25]。尹添柱等[26]报道, 西藏藏猪肉的 TAA、鲜味氨基酸、苦味氨基酸及甜味氨基酸含量均显著低于杜长大猪肉, 表明尽管西藏藏猪肉中鲜味物质与甜味物质的积累量不及杜长大猪肉, 但苦味氨基酸含量的显著降低, 使其苦味感知更为柔和, 这一特性显著提升了西藏藏猪肉的适口性, 构成其风味品质上的独特优势, 这与本研究发现相类似。综上所述, 甘南蕨麻猪肉相较于杜长大猪肉具有良好的氨基酸组成比例, 且苦味氨基酸含量低。

2.4 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的脂肪酸分析

脂肪酸是构成猪肉风味与营养品质的重要物质基础, 不仅作为关键前体物质参与肉类挥发性风味化合物的形成, 同时也是评价猪肉营养品质的重要指标[27]。由表 4 可知, 甘南蕨麻猪肉的饱和脂肪酸豆蔻酸、棕榈酸和硬脂酸的含量分别为 260.33、11027.03 和 3529.67 mg/kg, 显著低于杜长大猪肉(P<0.05), 表明甘南蕨麻猪肉的饱和脂肪酸含量

相对较低, 符合现代健康饮食对低饱和脂肪的需求。甘南蕨麻猪肉的不饱和脂肪酸棕榈油酸、油酸、二十碳二烯酸、二十碳三烯酸的含量显著低于杜长大猪肉, 而亚油酸、α-亚麻酸、二十碳烯酸、二十二碳一烯酸、花生四烯酸、DHA含量显著高于杜长大猪肉(P<0.05)。甘南蕨麻猪肉的多不饱和脂肪酸含量为 7161.46 mg/kg, 显著高于杜长大猪肉(P<0.05)。同时, 多不饱和脂肪酸具备调节血脂代谢、降低胆固醇水平、调控血压、抗炎、抗肿瘤及保护视觉功能等多种作用, 相比于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉中富含二十碳烯酸、亚油酸、α-亚麻酸、花生四烯酸等人体必需多不饱和脂肪酸, 可能在辅助软化血管、降低心血管疾病发生风险等方面具有潜在营养优势[28]。此外, 油酸、亚油酸、α-亚麻酸与花生四烯酸氧化降解后可能会生成大量的醛、酮、醇以及吡嗪类化合物, 会赋予甘南蕨麻猪肉浓郁的肉香、脂香和青草香气等[29]。另外, 甘南蕨麻猪肉的 DHA (C22:6n3)含量高达 54.29 mg/kg, 是杜长大猪肉的 3.14 倍, 可能在大脑发育和心血管保护方面具有潜在的营养保健优势[30–31]。徐海鹏发现油酸、棕榈酸、亚油酸、硬脂酸是 3 个品种藏猪肉中含量最为丰富的脂肪酸, 且 3 种藏猪肉的 DHA、EPA 含量均显著高于杜洛克猪等国外育肥猪种[32], 这与本研究发现相类似。总之, 相比于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉具有饱和脂肪酸含量低和多不饱和脂肪酸含量高的特点。

表 3　甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的氨基酸含量(g/100 g)
Table 3　Amino acid content of foreleg meat of Gannan Juema pork and Duroc-Landrace-Yorkshire pork (g/100 g)

种类	甘南蕨麻猪	杜长大猪
天冬氨酸(aspartic acid, Asp)	1.42±0.026^b	1.76±0.050^a
谷氨酸(glutamic acid, Glu)	2.0±0.044^b	2.96±0.103^a
丝氨酸(serine, Ser)	0.61±0.017^b	0.71±0.032^a
甘氨酸(glycine, Gly)	0.80±0.050^a	0.83±0.025^a
组氨酸(histidine, His)	0.79±0.019^a	0.71±0.010^b
精氨酸(arginine, Arg)	1.29±0.027^a	1.16±0.014^b
苏氨酸(threonine, Thr)#	0.64±0.011^b	0.83±0.019^a
丙氨酸(alanine, Ala)	1.11±0.015^a	1.04±0.023^b
脯氨酸(proline, Pro)	0.83±0.028^a	0.56±0.016^b
酪氨酸(tyrosine, Tyr)	0.57±0.004^a	0.58±0.025^a
缬氨酸(valine, Val)#	0.99±0.013^a	0.94±0.021^b
蛋氨酸(methionine, Met)#	0.37±0.043^b	0.46±0.015^a
异亮氨酸(isoleucine, Ile)#	0.89±0.029^a	0.87±0.017^a
亮氨酸(leucine, Leu)#	1.32±0.021^b	1.50±0.082^a
苯丙氨酸(phenylalanine, Phe)#	0.67±0.004^b	0.80±0.009^a
赖氨酸(lysine, Lys)#	1.62±0.026^b	1.73±0.031^a
总氨基酸(total amino acids, TAA)	15.92	17.42
必需氨基酸(essential amino acids, EAA)	6.50	7.13
非必需氨基酸(non-essential amino acids, NAA)	9.42	10.29
EAA/TAA/%	40.83	40.93
EAA/NAA/%	68.90	69.29
鲜味氨基酸	3.42	4.72
甜味氨基酸	2.52	2.58
苦味氨基酸	11.37	11.49

注: #表示必需氨基酸。Asp 与 Glu 为鲜味氨基酸; Gly、Ser 和 Ala 为甜味氨基酸; Val、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg 为苦味氨基酸。

表 4　甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的脂肪酸含量 (mg/kg)
Table 4　Fatty acid content of foreleg meat of Gannan Juema pork and Duroc-Landrace-Yorkshire pork (mg/kg)

种类	甘南蕨麻猪	杜长大猪
豆蔻酸(C14:0)	260.33±1.45^b	664.67±6.36^a
棕榈酸(C16:0)	11027.03±200.61^b	12533.33±218.58^a
棕榈油酸(C16:1)	1127.01±7.34^b	1454.35±4.18^a
硬脂酸(C18:0)	3529.67±93.11^b	6730.22±90.19^a
油酸(C18:1)	11580.33±58.95^b	17280.33±120.19^a
亚油酸(C18:2)	5610.47±80.60^a	3621.89±13.40^b
α-亚麻酸(C18:3)	330.02±5.87^a	133.65±9.22^b
二十碳烯酸(C20:1)	273.23±2.14^a	238.37±8.14^b
二十碳二烯酸(C20:2)	138.02±6.93^b	284.95±1.05^a
二十碳三烯酸(C20:3)	64.33±0.33^b	286.21±1.15^a
二十二碳一烯酸(C22:1)	71.33±0.67^a	58.23±0.67^b
花生四烯酸(C20:4)	964.33±5.24^a	848.67±11.22^b
DHA (C22: 6n3)	54.29±0.58^a	17.03±0.20^b
单不饱和脂肪酸	13051.90±59.45^b	19031.28±120.54^a
多不饱和脂肪酸	7161.46±81.28^a	5192.40±19.82^b
饱和脂肪酸	14817.03±221.17^b	19928.22±236.55^a

注: 二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)。

2.5　甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的矿物质分析

矿物元素人体自身并不能合成, 需要通过膳食摄入补给, 对维持机体的正常新陈代谢和生长发育发挥着重要作用[17]。甘南藏族自治州天然草甸资源广袤, 牧草中矿物质含量相对较高, 甘南蕨麻猪采食这些牧草会富集常量和微量元素如铁、锌等, 并影响肉的品质。由表 5 可知, 甘南蕨麻猪肉中铁元素和铜元素显著高于杜长大猪肉(P<0.05), 而钾元素含量在两种猪肉中的差异并不显著, 该矿物组成特征进一步凸显了甘南蕨麻猪肉的营养优势。此外, 锌元素是人体内多种酶的重要组成部分, 参与蛋白质合成、能量代谢以及碳水化合物分解等关键生理过程, 对维持人体正常健康机能具有重要作用[17]。同时, 锌元素

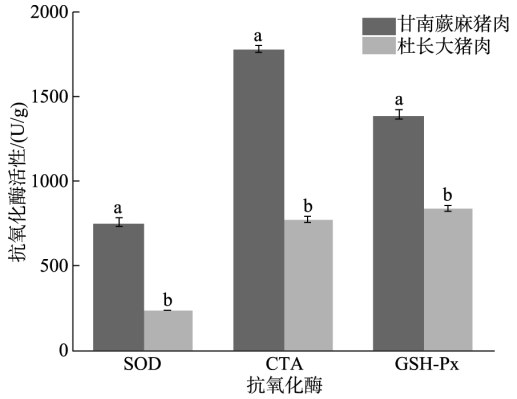
对于促进青少年智力发育与身体生长具有重要作用, 亦可保护视觉功能, 并在延缓认知衰退方面表现出积极的调控潜力[33]。甘南蕨麻猪肉中锌元素为 24.35 mg/kg, 显著高于杜长大猪肉, 是杜长大猪肉的 1.88 倍(P<0.05)。现有研究表明, 长期放牧饲养模式可显著提升畜禽肌肉组织中微量元素的富集水平, 该结论与本研究结果相似[34]。总之, 相较于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉的矿物质含量丰富。

表 5 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的矿物质含量(mg/kg)
Table 5 Mineral content of foreleg meat of Gannan Juema pork and Duroc-Landrace-Yorkshire pork (mg/kg)

项目	甘南蕨麻猪	杜长大猪
铁	24.38±3.77^{a}	9.08±2.29^{b}
铜	1.34±0.27^{a}	0.58±0.13^{b}
锌	24.35±3.29^{a}	12.79±3.60^{b}
钾	3.74×10^{3}±0.12^{a}	3.62×10^{3}±0.14^{a}

2.6 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的抗氧化酶活性分析

SOD、CAT 和 GSH-Px 是机体内源抗氧化体系的关键功能酶, 其活性水平可直观反映肌肉清除氧自由基、抵御脂质氧化与维持细胞膜完整性的能力, 与肉品质密切相关[35]。SOD、CAT 和 GSH-Px 的测定结果如图 1 所示, 甘南蕨麻猪肉的 SOD、CAT 和 GSH-Px 活性比杜长大猪肉分别高 216.35%、130.30%和 65.31% (P<0.05), 表明甘南蕨麻猪肉具备更强的内源抗氧化潜力。抗氧化酶能够有效清除宰后肌肉成熟过程中累积的 ROS, 减轻氧化应激对肌肉的损伤, 从而有助于降低汁液流失、稳定色泽并延缓脂肪氧化酸败[35]。同时, 甘南蕨麻猪长期放牧于高海拔、强紫外线环境, 机体易受氧化胁迫, 通过提高抗氧化酶活性, 形成适应性防御机制, 这也使得甘南蕨麻猪肉具有更好的品质稳定性[2]。李华等[36]报道地方猪种莱芜猪的 SOD 活性显著高于大约克夏猪, 且表明宰后猪肉中的 SOD 可能会抑制脂质氧化, 从而调控猪肉品质的形成, 这与本研究发现类似。总之, 甘南蕨麻猪肉的抗氧化酶活性显著高于杜长大猪肉。



注: 不同小写字母表示甘南蕨麻猪肉与杜长大猪肉指标之间的显著性差异(P<0.05)。

图 1 甘南蕨麻猪与杜长大猪前腿肉的抗氧化酶活性(U/g)

Fig.1 Antioxidant enzyme activity of foreleg meat of Gannan Juema pork and Duroc-Landrace-Yorkshire pork (U/g)

3 结 论

本研究发现甘南蕨麻猪肉的 a^{*}、剪切力、硬度、凝聚性、蛋白质含量、His、Arg、Ala、Pro 与 Val 含量, 亚油酸、α-亚麻酸、二十碳烯酸、二十二碳一烯酸、花生四烯酸、DHA 含量、铁元素、铜元素以及锌元素显著高于杜长大猪肉(P<0.05); 而 L^{*}、b^{*}、脂肪含量、Asp、Glu、Ser、Thr、Met、Leu 和 Lys 等含量显著低于杜长大猪肉(P<0.05)。结果表明, 相较于杜长大猪肉, 甘南蕨麻猪肉色泽优良, 肉质紧实且富有韧性, 常规营养品质呈现高蛋白、低脂肪特点; 其氨基酸组成比例更贴近 FAO/WHO 理想蛋白质模式, 但嫩度相对较差。另外, 甘南蕨麻猪肉的饱和脂肪酸含量低, 多不饱和脂肪酸含量高, 矿物质元素富集, 抗氧化酶活性高, 表现出一定的营养与品质优势; 但其优势形成机制及品质稳定性仍需通过更严格的控制变量和深入研究进一步验证。总之, 甘南蕨麻猪肉具有优良的食用品质、营养品质与抗氧化功能, 契合消费者对健康优质肉类产品的需求, 具备良好的市场开发前景与推广价值。同时, 该结果也为青藏高原蕨麻猪肉的开发利用提供理论依据, 对于甘南蕨麻猪这一特色畜种的高质量发展具有重要意义。

参考文献

[1] 蒋志勇, 薛瑞林. 甘南蕨麻猪的养殖现状及发展建议[J]. 猪业科学, 2023, 40(5): 120–123.
Jiang Zhiyong, Xue Ruilin. Breeding status and development suggestions of Gannan Juema pig [J]. Pig Industry Science, 2023, 40(5): 120–123.

[2] 张福娟. 甘南蕨麻猪肉用品质特性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007: 1-10.
Zhang Fujuan. Research on meat quality of GanNan JueMa swine [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007: 1-10.

[3] Yan Zunqiang, Song Kelin, Wang Pengfei, et al. Evaluation of the genetic diversity and population structure of four native pig populations in Gansu Province [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(24): 17154.

[4] Mykola P, Olekasndr M, Olekasndr K, et al. Effects of various pre-slaughter weights on the physico-chemical qualities of pig meat [J]. Journal of advanced veterinary and animal research, 2021, 8(3): 521–533.

[5] 王雅南, 魏立民, 王峰, 等. 基于代谢组学筛选五指山猪与杜长大猪脂肪沉积差异代谢物的比较研究[J]. 生物技术通报, 2026, 42(2): 304–316.
Wang Yanan, Wei Limin, Wang Feng, et al. A Comparative study of metabolomics-based screening of differential metabolites for fat deposition in Wuzhishan and DLY Pigs [J]. Biotechnology Bulletin, 2026, 42(2): 304–316.

[6] Liu Yang, Wang Jingyu, Zhang Aiwen, et al. Characterization of fish gelatin-Artemisia sphaerocephala Krasch gum films prepared by adding bamboo leaf flavonoids as an active substrate: application in chilled pork preservation [J]. LWT, 2025: 118367.

[7] Yang Chunyan, Li Yujiao, Liu Benshuai, et al. Comparative analysis of duck meat quality in different breeds and age [J]. Food Chemistry: X, 2025, 29: 102651.

[8] Zhao Xin, Xu Zhilong, Liu Yu, et al. Effects of different slaughtering methods on the energy metabolism, apoptosis process and quality of grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) during cold storage at 4 ℃ [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2025, 105(1): 661–670.

[9] 刘志宏, 相奥琪, 徐子清, 等. 大耳和小耳系蕨麻猪肥育性能及肉质性

状研究[J]. 家畜生态学报, 2016, 37(4): 22–26.
Liu Zhihong, Xiang Aoqi, Xu Ziqing, et al. Study on fattening performance and meat quality traits of Large-ear and Small-ear Juema Pigs [J]. Journal of Domestic Animal Ecology, 2016, 37(4): 22–26.

[10] 胡婷, 张志豪, 吴酬飞, 等. 金华猪与杜长大猪猪肉营养成分和挥发性风味物质比较分析[J]. 中国饲料, 2025(19): 127–137.
Hu Ting, Zhang Zhihao, Wu Choufei, et al. Comparative analysis of nutrient composition and volatile flavor compounds of Jinhua and DLY pork [J]. China Feed, 2025(19): 127–137.

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

[12] Wang Jingyu, Zhao Ruina, Liu Y, et al. The correlation between Smac, IAPs and mitochondrial apoptosis, muscle tenderness during postmortem aging of Oula Tibetan sheep meat [J]. Food Chemistry: X, 2024, 24: 101887.

[13] Shi Xixiong, Li Jie, Chen Jingjing, et al. Concentrations of HSP27 and *αβ*-crystallin in Oula Tibetan sheep meat and their relationship with meat quality during postmortem aging [J]. Journal of Food Science, 2021, 86(12): 5253–5261.

[14] Jo K, Lee S, Jeong H G, et al. Prediction of cooking loss of pork belly using quality properties of pork loin [J]. Meat science, 2022, 194: 108957.

[15] Wang Linlin, Yu Qunli, Han Ling, et al. Study on the effect of reactive oxygen species-mediated oxidative stress on the activation of mitochondrial apoptosis and the tenderness of yak meat [J]. Food Chemistry, 2018, 244: 394–402.

[16] Kim H, Hong G P. Comparison of superchilling and supercooling on extending the fresh quality of beef loin [J]. Foods, 2022, 11(18): 2729.

[17] 中拉毛草, 周佳, 江春德, 等. 甘南藏羊和海北藏羊肉品质比较研究[J]. 肉类研究, 2023, 37(9): 14–20.
ZongLamaocao, Zhou Jia, Jiang Chunde, et al. Comparison of meat quality between Tibetan sheep from Gannan and Haibei [J]. Meat Research, 2023, 37(9): 14–20.

[18] Wang Jingyu, Liu Yang, Hu Tieying, et al. Study on Smac promoting mitochondrial pathway apoptosis and muscle tenderization during postmortem aging of Tibetan sheep meat [J]. Food Chemistry, 2025: 147519.

[19] Tomasevic I, Djekic I, Fonti-Furnols M, et al. Recent advances in meat color research [J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 41: 81–87.

[20] 黄济, 涂尾龙, 王洪洋, 等. 藏香杂野猪与杜长大三元猪肉质特性比较[J]. 上海畜牧兽医通讯, 2023(3): 5–8.
Huang Ji, Tu Weilong, Wang Hongyang, et al. Comparison of meat quality traits between Tibetan wild boar hybrids and DLY crossbred pigs [J]. Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2023(3): 5–8.

[21] 徐丽娜, 黄峻榕, 赵莱昱, 等. 不同加工方式下藏猪肉和杜长大猪肉品质差异分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(6): 293–302.
Xu Lina, Huang Junru, Zhao Laiyu, et al. Analysis of quality differences between tibetan pork and Duroc×Landrace×Yorkshire pork under different thermal processing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(6): 293–302.

[22] 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]. 饲料业, 2024, 45(17): 37–41.
Yao Xueqiang, Li Jiang, Zhang Donghui, 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.

[23] 寇龙龙, 潘晓翔, 程旋, 等. 迭部县地方特色品种蕨麻猪的养殖现状及发展建议[J]. 寒旱农业科学, 2025, 4(8): 687–692.
Kou Longlong, Pan Xiaoxiang, Cheng Xuan, et al. Current status and development suggestions of local characteristic species Juema Pig in Diebu County [J]. Journal of Cold-Arid Agricultural Sciences, 2025, 4(8): 687–692.

[24] Xu Jianfeng, Liu Ting, Luo Ruirui, et al. Meat quality differences and protein molecular mechanisms affecting meat flavor in different breeds of Tibetan sheep analyzed by 4D label-free quantitative proteomics [J]. Food Chemistry, 2025, 480: 143977.

[25] 韩赛鹏, 潘俊毅, 陈家顺, 等. 氨基酸在肉类风味形成中的作用及其影响因素研究进展[J]. 动物营养学报, 2025, 37(11): 7377–7387.
Han Saipeng, Pan Junyi, Chen Jiashun, et al. Research progress on role of amino acids in meat flavor formation and its influencing factors [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(11): 7377–7387.

[26] 尹添柱, 商振达, 董冰. 藏猪肉风味特性及其形成途径研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(12): 49–55.
Yin Tianzhu, Shang Zhenda, Dong Bing. Research progress on flavor characteristics and formation pathways of Tibetan pork [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2023, 59(12): 49–55.

[27] Alonso V, Muela E, Tenas J, et al. Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage [J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(12): 2119–2127.

[28] 黄济, 涂尾龙, 王洪洋, 等. 岔路黑猪与杜长大三元猪肌肉中营养风味物质比较[J]. 国外畜牧学(猪与禽), 2023, 43(5): 27–29.
Huang Ji, Tu Weilong, Wang Hongyang, et al. Comparison of nutritional and flavor compounds in muscle between Chalu Black Pigs and DLY crossbred pigs [J]. Animal Science Abroad (Pigs and Poultry), 2023, 43(5): 27–29.

[29] 周佳, 徐瑾, 赵文俊, 等. 牦牛脂肪不同脱腥处理比较及其腥味物质分析[J]. 中国油脂, 2025, 50(4): 94–102.
Zhou Jia, Xu Jin, Zhao Wenjun, et al. Comparison of different deodorization methods for yak fat and its fishyodor substances analysis [J]. China Oils and Fats, 2025, 50(4): 94–102.

[30] Howe P R C, Downing J A, Grenyer B F S, et al. Tuna fishmeal as a source of DHA for n− 3 PUFA enrichment of pork, chicken, and eggs [J]. Lipids, 2002, 37(11): 1067–1076.

[31] 秦搏, 朱源, 张海燕, 等. 工厂化养殖条纹锯鲈肌肉营养成分与食用品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 202–210.
Qin Bo, Zhu Yuan, Zhang Haiyan, et al. Analysis of nutritional composition and edible quality of the muscle of factory-farmed Centropristis striata [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 202–210.

[32] 徐海鹏. 西藏藏猪胴体及肉质特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 23-31.
Xu Haipeng. Researches on carcass and meat quality of Tibetan pigs [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015: 23-31.

[33] Mrazkova M, Sumczynski D, Šenkarova L, et al. Dietary intakes and exposures to minerals and trace elements from cereal-based mixtures: potential health benefits and risks for adults [J]. Nutrients, 2025, 17(17): 2848.

[34] 任晓镂, 王群霞, 任少东, 等. 不同饲养方式对多浪羊肉矿物质、氨基酸含量及风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 25–32.
Ren Xiaopu, Wang Qunxia, Ren Shaodong, et al. Effects of different feeding systems on minerals, amino acids and flavor of Duolang sheep meat [J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 25–32.

[35] 王琳琳. Cyt-c 释放和介导宰后牦牛肉线粒体凋亡途径激活机制及对嫩度影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: 75-89.
Wang Linlin. Study on the effect of cytochrome c release and its mediation mechanism of mitochondrial apoptosis activation on yak meat tenderness during postmortem aging [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018: 75-89.

[36] 李华, 曾勇庆, 魏述东, 等. 猪宰后肌肉 SOD 与 MDA 的变化及其对肉质特性的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2010, 41(3): 257–261.
Li Hua, Zeng Yongqing, Wei Shudong, et al. Changes of superoxide dismutase activity and malondialdehyde level in postmortem muscle and their association with meat quality in pigs [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2010, 41(3): 257–261.

(责任编辑: 韩晓红　蔡世佳)