DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251231005
引用格式: 王杰, 石柳, 熊光权, 等. 8 个市售品牌预制烤鱼营养成分及品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(13): 238–249.
Wang Jie, Shi Liu, Xiong Guangquan, et al. Analysis of nutritional components and quality of 8 commercially available brands of ready-to-cook grilled fish [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(13): 238–249. (in Chinese with English abstract).

8 个市售品牌预制烤鱼营养成分及品质分析

王 杰[1,2], 石 柳[1], 熊光权[1], 汪 超[2], 闵 珩[3], 汪 兰[1*]

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/农业农村部冷链物流技术重点实验室, 特色农产品资源挖掘与高质利用湖北省重点实验室, 武汉 430064; 2. 湖北工业大学生命科学与健康工程学院, 武汉 430068; 3. 洪湖市万农水产食品科技有限公司, 荆州 433200)

摘 要: 目的 系统评价不同品牌市售预制烤鱼营养成分和品质特性。**方法** 采集 8 个品牌的预制烤鱼, 检测基本组成、氨基酸、脂肪酸、感官评价、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)、色度、剪切力、持水等指标的变化。**结果** 8 个品牌烤鱼的水分含量、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量存在显著差异(P<0.05)。烤鱼的氨基酸组成一致, 必需氨基酸(essential amino acids, EAA)/总氨基酸(total amino acids, TAA)为 0.45, EAA/非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)在 0.81~0.83 之间, 符合优质蛋白质标准。烤鱼中不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)占总脂肪酸的 78%, 其中油酸和亚油酸含量较高。品质特性方面, HY-1~HY-4 综合感官评分优于 HY-5~HY-8。3 个月样品 TVB-N (5~8 mg/100 g)、TBARs (<2.2 mg/kg)值均低于限值, 表明产品新鲜度良好且符合安全标准。不同品牌间烤鱼色度、剪切力及持水性等差异显著(P<0.05), 这与原料以及加工工艺参数相关。低场核磁结果显示不同品牌间不易流动水和自由水含量差别明显。烤鱼的氮氧化合物、甲基类、硫化物、醇类、醛酮类和有机硫化物的响应值较高, 并且主成分相似。**结论** 8 个品牌的预制烤鱼均保持较好营养价值、新鲜度与食用安全性, 但品牌间原料与加工工艺不同使得烤鱼存在显著差异。本研究旨在科学评价市售预制烤鱼的综合品质, 探明预制烤鱼的现状与挑战, 为推进预制烤鱼产业的高质量发展提供科学依据。

关键词: 市售品牌; 预制烤鱼; 营养成分; 品质特性
中图分类号: TS254.4 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)13–0238–12

Analysis of nutritional components and quality of 8 commercially available brands of ready-to-cook grilled fish products

WANG Jie[1,2], SHI Liu[1], XIONG Guang-Quan[1], WANG Chao[2], MIN Heng[3], WANG Lan[1*]

(1. *Institute of Agro-product Processing and Nuclear Agricultural Technology*, *Hubei Academy of Agricultural Sciences*/*Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*/*Hubei Key Laboratory of Characteristic Resources and Utilization*, *Wuhan* 430064, *China*; 2. *School of Life Science and Health*, *Hubei University of Technology*, *Wuhan* 430068, *China*; 3. *Honghu Wannong Aquatic Food Co.*, *Ltd.*, *Jingzhou* 433200, *China*)

收稿日期: 2025-12-31
基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2100904); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)
第一作者: 王杰(2000—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为淡水产品加工与贮藏。E-mail: 1551318476@qq.com
***通信作者:** 汪兰(1981—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品加工和天然产物化学。E-mail: 2005lily@gmail.com

ABSTRACT: Objective To systematically evaluate the nutritional composition and quality characteristics of different commercially available brands of ready-to-cook grilled fish. **Methods** Ready-to-cook grilled fish samples from 8 different brands were collected, and variations in indicators including basic composition, amino acids, fatty acids, sensory evaluation, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid reactive substances (TBARs), color, shear force and water-holding capacity were analyzed. **Results** There were significant differences in the moisture, crude protein, crude fat and ash content among the 8 brands of grilled fish (P<0.05). The amino acid composition of roasted fish was consistent, with essential amino acids (EAA)/total amino acids (TAA) at 0.45, and EAA/non-essential amino acids (NEAA) ranging from 0.81 to 0.83. This met the standard for high-quality protein. The ready-to-cook grilled fish contained unsaturated fatty acids (UFA) accounting for 78% of the total fatty acids, content of oleic acid and linoleic acid was relatively high. Regarding quality characteristics, the comprehensive sensory scores of HY-1 to HY-4 were superior to those of HY-5 to HY-8. The TVB-N (5–8 mg/100 g) and TBARs (<2.2 mg/kg) of the 3-month stored samples were all well below the established limits, indicating good freshness and compliance with safety standards. Significant differences in color, shear force and water-holding capacity were observed among the ready-to-cook grilled fish products from different brands (P<0.05), which could be attributed to variations in raw materials and processing parameters. The results of low-field nuclear magnetic resonance indicated that there were significant differences in the content of immobilized water and free water among different brands. The grilled fish samples exhibited pronounced signals for nitrogen oxides, methyl compounds, sulfides, alcohols, aldehydes/ketones and organosulfur compounds, along with analogous principal component profiles. **Conclusion** The 8 brands of ready-to-cook grilled fish maintain well-preserved nutritional value, freshness and edible safety, while variations in raw materials and processing techniques among different brands give rise to significant product differences. This study aims to scientifically evaluate the overall quality of commercially available ready-to-cook grilled fish, clarify the current situation and challenges of ready-to-cook grilled fish, and provide a scientific basis for promoting the high-quality development of the ready-to-cook grilled fish industry.

KEY WORDS: commercially available brands; ready-to-cook grilled fish; nutritional composition; quality characteristics

0　引　言

近年来, 随着生活节奏加快与消费需求升级, 预制菜迎来了快速发展的时机。艾媒咨询数据显示, 2024 年中国预制菜市场规模已达到 4850 亿元, 整体呈现上升趋势, 2026 年规模有望达到 7490 亿元[1]。水产品作为预制菜的原料之一, 其具有独特的风味, 已成为预制菜的热门选择[2]。在水产品预制菜市场的快速崛起期间, 全国水产加工企业和品牌正逐年上升, 涌现了包括国联水产小霸龙、有鱼妖和洪湖渔家等品牌。

预制烤鱼作为水产品预制菜的重要部分, 也是传统水产菜肴工业化升级的重要代表, 在规模化生产和拓展等方面展现出巨大的潜力[3]。但预制烤鱼因准入门槛低, 存在许多作坊式加工, 食品安全性难以保障。同时预制烤鱼的可复制性较强, 导致市面销售的产品同质化严重, 品牌鱼龙混杂, 消费者难以选择[4]。企业间为竞争市场份额, 存在“重利润、轻质量”的做法, 进而导致市面上销售的产品质量参差不齐, 这对预制烤鱼消费市场带来消极影响, 产生了诸多负面社会话题[5]。因此, 通过对市售烤鱼的营养价值和品质分析, 让消费者能够了解产品现状具有重要意义。

根据前期调研, 市面销售的预制烤鱼主要以鲴鱼、草鱼为原料, 加工工艺包括宰杀、腌制、油炸/烤制、包装和冻藏。但目前鲜少有系统分析预制烤鲴鱼的营养保留及品质控制的相关研究。因此, 本研究以市售 8 种预制烤鲴鱼为研究对象, 通过考察预制烤鱼的基本成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、感官评价、总挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)、色差和剪切力等指标, 分析不同品牌间烤鱼的营养价值和品质差异, 旨在为提高消费者对预制烤鱼产品安全性的认识, 推动预制烤鱼相关产业的健康发展。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

预制烤鱼均采用网购, 每条体质量(500±50) g, 并随机编码 HY-1~HY-8, 生产日期均在 2025 年 1 月—3 月。

盐酸、硼酸、乙酸、2-硫代巴比妥酸、硫酸、氯化钠(NaCl)、石蜡(分析纯)、甲醇、氯仿、正己烷(色谱纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

FB224 电子天平(精度 0.1 mg, 上海舜宇恒科学仪器有限公司); K9860 全自动凯氏定氮仪(山东海能科学仪器有限公司); DHG-9140A 电热鼓风干燥箱(上海精宏实验设备有限公司); UPY-111-103 实验室纯水仪(武汉优普仪器设备有限公司); CR-400 色差计(日本 Konica Milotia 公司); L5S 紫外-可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); CF16RXII 高速冷冻离心机(日本日立公司); LE427 pH 计(瑞士 Mettler Toledo 公司); PEN3 电子鼻(德国 AIRSENSE 公司); TA.XT plus 质构仪(英国 Stable Micro System 公司); LA8080 全自动氨基酸分析仪[日立高新技术(上海)国际贸易有限公司]; TRACE 1610 超高分辨静电场轨道阱气相色谱质谱联用仪(上海赛默飞世尔科技公司); HP-Innowax 石英毛细管柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦科技有限公司); VTMR20-010V-I 低场核磁共振弛豫分析仪(苏州纽迈分析仪器股份有限公司); BC/BD-300GHPC 海尔卧式冰箱(海尔集团公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

贮藏 90 d 预制烤鱼, 极大限度地保持了烤鱼的口感与风味, 同时 90 d 贮藏期能够满足消费者对预制烤鱼新鲜度的心理预期, 并且提供了足够食用时间。为确保预制烤鱼的贮藏期一致, 以 90 d 为期限, 通过计算 90 d 的贮藏期减去收货日期到生产日期间的天数得到收货后需要贮藏的天数, 预制烤鱼均放置–18 ℃下贮藏。

1.3.2 基本成分

如图 1 中①、②、③部位采样混合, 水分含量的测定依照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 采用直接干燥法; 蛋白质含量测定依据 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》, 采用凯氏定氮法测定; 脂肪含量测定依据 GB 5009.6—2025《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》, 采用索氏抽提法测定; 灰分含量根据 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》, 采用高温灼烧法。

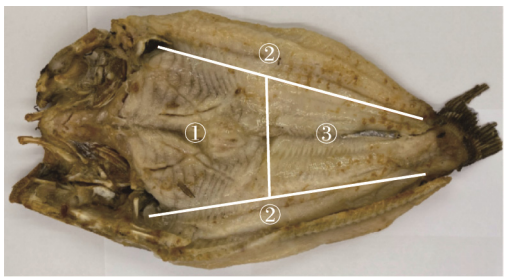


图 1 预制烤鱼取样部位

Fig.1 Sample collection site from the ready-to-cook grilled fish

1.3.3 氨基酸组成

氨基酸组成的分析依据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》, 使用氨基酸自动分析仪, 测定必需氨基酸(essential amino acids, EAA)与非必需氨基酸(non-essential amino acids, NEAA)共计 17 种, 如图 1 中①、②、③部位采样混合。

1.3.4 脂肪酸组成

参考 Zheng 等[6]的方法稍作修改, 如图 1 中①、②、③部位采样混合将其冻干。样品准备: 称取 0.1 g 冻干样(精确到 0.0001 g), 放入 15 mL 离心管中, 并加入 6 mL 甲醇-氯仿(甲醇:氯仿=1:2, *V*:*V*)溶液, 充氮气后涡旋, 4 ℃静置过夜。去蛋白: 向抽提后的样品中加入 1 mL 的 0.9% NaCl 溶液, 充分涡旋, 待溶液分层, 吸取下层有机溶液至 4 mL 色谱进样瓶, 放置在氮吹仪上吹干, 脂肪残留在色谱进样瓶中。酸水解-甲酯化: 向色谱进样瓶中加入 1 mL 5%硫酸甲醇溶液(*V*:*V*), 拧紧盖子, 70 ℃水浴 2 h, 让脂肪充分甲酯化。溶剂置换: 向酯化好的样品中加入 200 μL 的超纯水, 混匀。然后加入 400 μL 正己烷混匀, 吸取上层的有机相转移至新的色谱进样瓶中, 用正己烷萃取 2~3 次, 并用氮吹仪吹干, 随后加入 1 mL 的正己烷复溶, 把样品密封存放在–18 ℃冰箱中备用。上机条件: HP-Innowax 石英毛细管柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm), 柱初始温度 60 ℃。以 4 ℃/min 升温至 180 ℃, 1 ℃/min 升温至 240 ℃, 保持 10 min。汽化室温度 260 ℃, 载气为氦气, 柱流速 1.0 mL/min, 分流比 10:1, 进样量 1 μL。传输线温度 260 ℃, 电子电离(electron ionization, EI)源温度 230 ℃, 四极杆温度 150 ℃, 电子能量 70 eV; 电子倍增管电压 1.494 kV; 质量范围 40~500 amu; 溶剂延迟时间 4 min。每个样品重复测定 3 次。

1.3.5 感官评价

参考胡澳等[7]方法并稍作修改, 由 10 位受过专业训练的人员进行感官评定, 将样品放置于清洁的白色纸上, 评价包括形态、气味、色泽、味道和接受程度在内的 5 个方面。具体的评分标准请参考表 1。

1.3.6 TVB-N

如图 1 中①、②、③部位采样混合, TVB-N 测定依照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》第一法, 半微量定氮法。

1.3.7 TBARs

将 5 g 鱼肉切碎(如图 1 中①、②、③部位采样混合), 放入凯氏蒸馏瓶中, 随后加入 20 mL 水、2 mL 的 2 mol/L 盐酸和 2 mL 液体石蜡, 混匀后进行蒸馏处理。随后将 3 mL 蒸馏液与 3 mL 的 TBARs 醋酸溶液(0.2883 g 2-硫代巴比妥酸溶解于 100 mL 90%冰醋酸)混合, 沸水中加热 35 min, 迅速用流动水进行冷却, 在 535 nm 波长下测量其吸光度 A, 使用蒸馏水作为对照空白, 每个样品的测定重复进行 6 次。

1.3.8 色 度

参考 Gao 等[8]的方法稍作修改, 使用色差仪对烤制鱼肉(如图 1 中①、②、③部位混采方式)进行测定, 记录测定烤鱼的 L^*、a^*、b^*, 每组样品测 12 次, 取平均值。

表 1　感官评价表
Table 1　Table of sensory evaluation

分值/分	形态	气味	色泽	味道	接受程度
16~20	形态特别完整, 鱼肉富有弹性	烤鱼风味明显, 无腥味	鱼肉有光泽, 有良好焙烤色	咸淡合适, 肉质软硬适中	整体感觉很好, 无不悦感
11~15	形态完整, 鱼肉有弹性	烤鱼风味较明显, 略有腥味	鱼肉较有光泽和焙烤色	咸淡适中, 口感较粗糙	整体感觉较好, 不悦感较少
6~10	形态较完整, 鱼肉弹性较差	烤鱼风味不明显, 腥味较重	鱼肉暗淡微糊	味道较差, 口感十分粗糙	整体感觉一般, 有不悦感
0~5	形态不完整, 无弹性	无烤鱼风味, 腥味重	鱼肉无光泽, 烧焦	味道差, 口感很硬/软	整体感觉很差, 不悦感非常明显

1.3.9　剪切力

选择鱼肉穿刺模式, 对预制烤鱼(如图 1 中②部位混采方式)进行穿刺, 测定 3 次, 每组 12 个平行, 测前速度 5 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测试后速度 5 mm/s, 穿刺距离选择 5 mm, 触发力 10 g。

1.3.10　离心失水-失油率

参考应天昊等[9]的方法并加以修改: 准备长×宽(2 cm×2 cm)的纱布。取 2 g 左右的样品置于纱布上(如图 1 中①、②、③进行取样), 并称其质量, 使用 2 层滤纸包裹好样品后置于 50 mL 的离心管中, 4 ℃ 3500 r/min 离心 10 min 后记录离心后质量。计算公式(1)如下:

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

式中: H 表示样品的离心失水-失油率; m_1 为样品质量, g; m_2 为离心后样品质量, g。

1.3.11　水分分布

参考 Zhang 等[10]方法稍作修改, 使用低场核磁共振弛豫分析仪评估鱼肉中水分分布。将来自每部位的鱼块(如图 1 中①、②、③进行取样, 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm)包裹起来(1 式 3 份测试)并放入圆柱形探针中。参数如下: 磁体保持在 40 ℃, T_2 使用 Carr-Purcell-Meiboom-Gill 序列分析横向松弛曲线, 每个样品重复扫描 3 次。

1.3.12　电子鼻测定

参照 Zhang 等[11]的使用方法稍作修改, 使用电子鼻分析鱼肉样品的嗅觉特征。取 5 g 肌肉样品(如图 1 中①、②、③部位采样混合)与 2 mL 0.18 g/mL NaCl 溶液匀浆。将 5 mL 电子鼻采样瓶中的混合物在 50 ℃下孵育 60 min。实验参数: 清洗时间 120 s, 测定时间 150 s, 气体流量 150 mL/min, 选取最后 5 s 数据进行数据分析, 每组样品平行 3 次。

1.4　数据处理

用 Microsoft Excel 2021 软件统计所有实验数据, 采用 Origin 2024 软件进行作图。用 Jamovi 2.6 软件进行单因素方差分析与 Duncan 检验, 所有实验均为 3 次或 3 次以上, 结果以平均数±标准偏差表示。

2　结果与分析

2.1　营养成分分析

2.1.1　基本成分分析

由表 2 可知, 8 个品牌的烤鱼的水分、粗脂肪、灰分含量整体上差异显著(P<0.05), 但粗蛋白方面 HY-1 至 HY-5 与 HY-6 至 HY-8 产品差异显著(P<0.05)。表 2 中, 水分含量方面, 烤鱼的水分含量范围在 63%~73%之间, 平均水分含量为 67.79%, 其中 HY-4 的水分含量最低, HY-5 的最高。粗蛋白方面, 烤鱼的粗蛋白质含量范围在 16%~22%之间, 平均粗蛋白含量为 17.81%, HY-6 至 HY-8 的蛋白质含量高于 HY-1 至 HY-5。脂肪方面, 烤鱼的粗脂肪含量范围在 9%~16%之间, 平均粗脂肪含量为 12.32%, HY-6 脂肪含量低, HY-2 含量高。灰分方面, 烤鱼的灰分含量范围在 0.60%~1.50%之间, 平均灰分含量为 1.05%, 而灰分含量一定程度上可以反映该鱼肉中矿物质和微量元素的含量, 但灰分的含量较低。

2.1.2　氨基酸组成分析

氨基酸组成与蛋白质营养价值密切相关, 如表 3 所示, 8 个品牌的烤鱼均检测出 17 种氨基酸, 烤鱼的氨基酸组成一致。TAA、EAA、NEAA、EAA/TAA 和 EAA/NEAA 总体上差异明显。如表 3 所示, HY-4、HY-6 和 HY-8 的 TAA 含量较高, 而 HY-8 EAA 含量相对较低。所有烤鱼中谷氨酸的含量均最高, 表明鱼肉具有较好的鲜味, 这可能是受烤鱼制作中调味料的影响。EAA 中赖氨酸含量最高, 其次是亮氨酸。赖氨酸不仅能够弥补以谷物为主食人群赖氨酸摄入的不足, 还可以促进 Ca 的吸收[12]。亮氨酸在肌肉生长和代谢调节中具有促进蛋白质合成、调节血糖及支持免疫功能[13]。此外, 根据联合国粮食及农业组织与世界卫生组织推荐的蛋白质营养评价标准, 优质蛋白质的 EAA/TAA 约为 0.4, EAA/NEAA 不低于 0.6, 本研究 8 个品牌的烤鱼 EAA/TAA 为 0.45, EAA/NEAA 在 0.81~0.83 之间, 均符合标准, 表明这 8 个品牌的烤鱼均是优质蛋白质的良好来源。

表 2 不同品牌预制烤鱼的基本组分

Table 2 Proximate composition of ready-to-cook grilled fish from different brands

品牌	水分/%	蛋白质/%	脂肪/%	灰分/%
HY-1	69.96±0.89^{ab}	16.88±0.09^{c}	11.90±0.34^{cd}	1.31±0.13^{a}
HY-2	66.86±2.34^{bc}	16.65±0.29^{c}	15.41±1.42^{a}	0.80±0.03^{cd}
HY-3	70.89±0.80^{ab}	16.20±0.37^{c}	12.72±1.93^{bcd}	0.99±0.06^{bc}
HY-4	63.24±1.31^{d}	16.62±1.08^{c}	12.92±1.20^{bc}	1.09±0.19^{b}
HY-5	72.38±1.24^{a}	16.94±0.34^{c}	10.50±1.45^{cde}	1.49±0.08^{a}
HY-6	66.70±2.23^{bc}	18.20±0.46^{b}	9.27±0.85^{e}	1.01±0.13^{b}
HY-7	63.68±0.99^{d}	21.77±0.72^{a}	10.97±1.37^{cde}	0.61±0.07^{d}
HY-8	68.65±1.71^{b}	19.19±0.86^{b}	14.89±0.91^{ab}	1.06±0.06^{b}
平均值	67.79	17.81	12.32	1.05

注: 同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异(P<0.05)。

表 3 不同品牌预制烤鱼的氨基酸组成(湿基, mg/100 g)

Table 3 Amino acid composition of ready-to-cook grilled fish from different brands (wet basis, mg/100 g)

氨基酸	HY-1	HY-2	HY-3	HY-4	HY-5	HY-6	HY-7	HY-8
天冬氨酸	2160.38±6.12	1888.24±4.22	2613.64±1.08	1737.01±1.49	1878.07±2.51	2625.44±2.53	2011.92±17.04	2615.80±12.24
苏氨酸	1037.7±2.70	889.03±2.13	1281.08±0.58	819.77±0.69	878.87±1.63	1270.57±1.49	953.42±8.34	1237.68±6.69
丝氨酸	890.41±2.07	766.04±1.87	1092.48±0.31	697.43±0.77	759.46±1.90	1087.87±1.15	849.21±8.34	1079.72±6.44
谷氨酸	3033.02±6.93	2677.52±5.21	3726.7±2.27	2546.56±2.05	2650.59±5.38	3746.32±3.63	2903.53±19.81	3686.61±19.55
甘氨酸	976.31±2.70	840.15±1.73	1248.56±0.31	810.90±0.98	816.02±0.76	1295.58±1.35	987.15±12.50	1206.19±5.23
丙氨酸	1245.78±3.23	1067.13±2.54	1553.26±0.50	1002.67±0.79	1062.14±0.95	1555.91±2.23	1196.99±12.91	1513.30±7.24
半胱氨酸	227.07±1.53	224.74±0.81	343.28±0.82	241.30±0.65	245.84±0.75	356.73±0.81	269.38±1.54	352.74±1.55
缬氨酸	1096.62±3.29	923.44±2.14	1341.71±0.62	858.19±0.72	920.10±0.93	1325.21±1.44	1034.83±9.14	1307.79±5.50
甲硫氨酸	576.28±1.66	412.52±1.05	810.49±0.57	516.44±0.62	540.62±0.49	773.40±0.58	551.88±4.80	735.55±3.32
异亮氨酸	972.76±4.44	828.06±2.83	1216.3±0.43	763.49±0.77	823.59±0.59	1189.31±0.84	975.05±8.65	1173.53±5.65
亮氨酸	1702.93±6.56	1448.64±3.71	2132.92±0.87	1358.39±1.48	1453.91±1.32	2093.44±1.83	1659.19±13.45	2063.19±9.24
络氨酸	969.10±4.02	838.25±1.58	1198.42±0.61	760.89±0.84	840.98±0.71	1186.36±0.62	910.79±6.92	1183.72±5.68
苯丙氨酸	146.76±0.63	151.60±0.79	218.92±0.57	130.67±0.67	113.10±0.29	260.38±1.28	173.37±0.99	165.39±0.85
赖氨酸	2012.94±5.67	1734.11±3.36	2441.83±1.89	1631.09±1.11	1735.10±2.02	2447.04±2.01	1885.23±11.32	2423.64±10.11
组氨酸	513.17±1.60	423.68±1.35	642.48±0.41	393.71±3.05	364.36±100.64	624.23±0.70	498.58±3.37	623.50±2.78
精氨酸	1347.02±2.74	1148.94±2.01	1727.63±0.44	1103.24±1.16	1146.27±1.01	1714.20±1.88	1344.02±8.35	1637.83±7.04
脯氨酸	1030.89±3.29	858.42±1.32	1287.21±1.47	836.68±0.30	835.09±12.53	1304.56±2.24	1014.84±8.95	1178.28±4.84
TAA	19939.16±47.20	17120.52±37.22	16208.46±10.71	24876.92±9.82	17064.13±118.95	24856.57±21.01	19219.39±154.25	24184.45±111.64
EAA	9028.28±26.94	7649.33±18.04	7232.65±4.56	11284.16±4.68	7670.64±103.69	11169.95±6.43	8642.35±66.58	10913.97±49.66
NEAA	10910.88±21.14	9471.19±19.29	8975.8±6.36	13592.76±5.36	9393.49±22.93	13686.62±15.26	10577.04±88.03	13270.47±62.29
EAA/TAA	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00	0.45±0.00
EAA/NEAA	0.83±0.00	0.81±0.00	0.81±0.00	0.83±0.00	0.82±0.01	0.82±0.00	0.82±0.00	0.82±0.00

注: 总氨基酸(total amino acids, TAA)。

2.1.3　脂肪酸组成分析

脂肪酸是维持细胞的正常生理功能所不可或缺的营养物质。如表 4 所示, 8 个品牌的烤鱼检测出 30~36 种脂肪酸, 其中多数品牌的烤鱼 SFA 含量 22%左右, 主要由 C14:0、C16:0 和 C18:0 组成。C18:0 能在体内转化为对心血管系统具有保护作用的 MUFA 油酸[14]。C16:0 具有降低血脂、软化血管、降低血压、促进微循环的作用, 可预防和减少心血管病的发病率[15]。根据中国营养学会提出的 SFA:MUFA:PUFA 要满足 1:1:1。由表 4 可知, 8 个品牌的烤鱼中 MUFA 和 PUFA 总量较高。UFA 含量占 78%, 能够有效降低血液中低密度脂蛋白胆固醇水平, 抑制血小板黏附, 降低血栓形成风险, 从而预防心脑血管疾病的发生[16]。MUFA 的 C18:1n-9c 含量高, 其能调节能量稳态、缓解氧化应激以及抑制胆固醇吸收[17–19]。PUFA 的 C18:2n-6c 含量较高, C18:2n-6c 在 PUFA 中含量最高, 可转化为花生四烯酸, 参与免疫功能、炎症调节和神经递质合成等生理功能[20]。MUFA 具有预防动脉硬化的功效, PUFA 具有抗炎止痛、预防胆固醇过高、降低糖尿病风险及预防黄斑变性、保护视力等作用[21]。本研究中烤鱼的 SFA 含量小于 MUFA、PUFA 含量, 表明烤鱼具有较多 UFA, 其中 HY-6 的 UFA 含量最高, 远高于 SFA。综合发现, 烤鱼在 UFA 和部分功能性脂肪酸含量方面表现突出。

表 4　不同品牌预制烤鱼的脂肪酸组成(干样, mg/100 g)

Table 4　Fatty acid composition of ready-to-cook grilled fish from different brands (dry sample, mg/100 g)

	脂肪酸	HY-1	HY-2	HY-3	HY-4	HY-5	HY-6	HY-7	HY-8
SFA	丁酸(C4:0)	3.398±1.110	7.773±0.486	0.338±0.118	ND	5.887±2.004	2.251±0.665	1.706±0.292	1.359±0.370
	己酸(C6:0)	3.762±0.238	4.283±0.741	1.771±0.157	2.989±0.884	5.924±0.272	3.171±0.597	4.240±0.333	1.441±0.461
	辛酸(C8:0)	ND	0.194±0.022	ND	ND	ND	0.879±0.248	ND	ND
	十一酸(C11:0)	0.117±0.016	0.123±0.017	0.121±0.007	ND	0.024±0.002	0.044±0.012	ND	ND
	月桂酸(C12:0)	1.532±0.250	3.966±0.512	18.597±0.810	1.905±0.706	1.523±0.289	2.373±0.365	3.945±0.241	1.349±0.206
	十三酸(C13:0)	ND	0.504±0.052	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	肉豆蔻酸(C14:0)	66.284±3.228	117.379±3.132	104.034±6.407	30.192±8.106	80.401±3.814	109.491±11.060	395.541±33.562	54.893±5.766
	十五酸(C15:0)	8.982±0.542	19.743±0.827	12.791±0.844	2.365±0.451	12.260±0.527	15.260±1.503	15.143±0.813	7.097±0.800
	棕榈酸(C16:0)	1723.467±97.539	2637.558±98.872	2050.146±154.946	1349.836±307.018	1900.881±84.149	2374.727±207.589	3037.093±207.595	1362.940±119.530
	十七酸(C17:0)	15.884±0.787	37.613±1.756	19.200±1.757	10.850±2.486	17.936±0.896	19.826±1.698	14.083±0.773	11.363±1.058
	硬脂酸(C18:0)	457.959±29.606	821.313±75.004	506.190±50.395	419.554±88.374	508.666±6.285	590.625±48.371	799.193±27.355	422.622±35.576
	花生酸(C20:0)	21.993±2.486	34.793±3.283	31.772±3.806	22.048±4.117	24.525±0.744	38.774±3.336	18.207±1.238	18.014±1.252
	二十一酸(C21:0)	1.156±0.047	3.515±0.377	2.901±0.278	1.544±0.305	4.619±0.239	6.265±1.226	ND	5.599±0.688
	山嵛酸(C22:0)	14.620±2.187	19.212±1.861	21.149±3.147	19.703±4.695	11.982±1.126	20.438±0.554	11.441±1.250	11.300±1.530
	二十三酸(C23:0)	4.279±0.231	0.290±0.078	2.722±0.740	1.492±0.388	2.794±0.325	3.627±0.500	4.696±0.541	0.136±0.044
	二十四酸(C24:0)	9.344±0.513	12.621±1.176	8.718±1.275	10.819±2.615	6.281±0.531	12.715±1.098	22.984±0.237	6.879±0.765
MUFA	豆蔻油酸(C14:1)	0.640±0.100	0.937±0.095	0.744±0.051	0.412±0.071	0.190±0.017	0.746±0.105	1.247±0.116	0.575±0.150
	十五烯酸(C15:1)	2.449±0.280	4.277±0.120	4.350±0.421	3.002±0.353	ND	ND	ND	2.229±0.119
	棕榈油酸(C16:1)	213.036±6.090	312.055±7.226	206.629±8.738	58.249±4.289	247.281±6.555	331.168±29.765	81.116±5.884	178.683±21.397
	十七烯酸(C17:1)	22.648±2.919	20.880±1.905	34.067±5.877	10.781±3.203	35.017±2.129	37.264±1.099	11.878±0.333	41.332±4.128
	反式油酸(C18:1n9t)	44.438±0.633b	78.225±6.651	51.026±5.532	39.210±2.512	48.099±6.419	74.625±10.844	42.264±5.931	43.805±4.572

表 4(续)

	脂肪酸	HY-1	HY-2	HY-3	HY-4	HY-5	HY-6	HY-7	HY-8
MUFA	顺式油酸(C18:1n9c)	4303.715±184.673	7936.965±212.755	4751.145±308.220	2869.726±183.114	6163.391±164.057	7933.470±717.702	3754.372±224.425	3861.058±404.439
	二十碳一烯酸(C20:1)	107.473±3.785	222.552±7.360	152.342±12.801	47.708±11.652	148.731±2.564	250.088±25.355	122.274±5.481	115.962±12.353
	芥酸(C22:1n9)	12.611±0.186	25.404±1.860	69.506±9.612	9.610±2.063	20.502±2.007	111.036±9.085	8.102±0.817	14.045±0.632
	二十碳一烯酸(C24:1)	6.365±0.593	7.295±0.739	8.158±0.846	5.240±0.095	4.503±0.617	11.602±1.168	3.798±0.285	5.411±0.700
PUFA (*n*-6)	反式亚油酸(C18:2n6t)	0.812±0.027	2.282±0.208	1.280±0.142	1.687±0.338	0.563±0.078	0.883±0.082	ND	0.290±0.046
	顺式亚油酸(C18:2n6c)	2965.453±350.695	3527.532±227.526	3607.646±215.007	3210.322±816.959	2261.566±32.181	2763.032±266.591	1109.825±72.974	1518.729±156.155
	γ-亚麻酸(C18:3n6)	35.215±0.706	42.537±2.365	35.117±1.956	17.922±1.195	36.011±0.950	41.241±4.744	44.818±2.142	56.804±6.742
	二高-γ-亚麻酸(C20:3n6)	125.988±0.552	170.949±5.511	134.640±11.627	25.074±5.633	139.302±3.388	128.721±9.258	101.361±0.795	169.494±13.115
	花生四烯酸(C20:4n6)	87.699±3.807	136.218±4.824	92.098±5.911	63.258±9.468	85.477±0.516	70.177±4.485	112.822±1.148	133.225±5.525
PUFA (*n*-3)	α-亚麻酸(C18:3n3)	321.137±44.518	301.856±19.351	379.316±25.178	328.656±28.943	213.607±4.125	311.853±23.328	57.835±4.153	145.100±16.519
	二十碳三烯酸(C20:3n3)	11.787±2.088	18.665±1.246	20.103±2.210	3.659±0.528	12.877±0.492	25.577±2.327	3.642±0.264	5.967±0.332
	二十碳五烯酸(C20:5n3)	13.830±0.542	55.012±3.620	21.495±2.199	5.206±0.483	54.453±1.034	27.723±2.566	10.829±0.590	11.377±0.938
	二十二碳六烯酸(C22:6n3)	70.260±2.037	154.038±7.380	113.862±5.345	17.497±1.448	122.219±0.553	132.341±14.148	34.178±1.625	50.067±4.080
	DFA	0.827±0.002	0.830±0.002	0.821±0.007	0.835±0.013	0.833±0.004	0.835±0.001	0.645±0.010	0.824±0.001
	UFA	0.785±0.002	0.782±0.004	0.781±0.010	0.787±0.016	0.792±0.004	0.797±0.001	0.565±0.013	0.774±0.002
	SFA	0.215±0.002	0.218±0.004	0.219±0.010	0.213±0.016	0.208±0.004	0.203±0.001	0.435±0.013	0.226±0.002
	MUFA	0.434±0.011	0.505±0.010	0.416±0.012	0.353±0.049	0.538±0.002	0.554±0.004	0.405±0.010	0.505±0.004
	PUFA	0.351±0.013	0.277±0.008	0.364±0.022	0.434±0.033	0.254±0.003	0.243±0.004	0.160±0.003	0.270±0.003
	n-6/*n*-3	7.703±0.105	7.325±0.399	7.270±0.847	9.271±1.646	6.258±0.046	6.049±0.607	12.853±0.07	8.847±0.341
SFA:MUFA:PUFA		1:2.02:1.64	1:2.31:1.27	1:1.9:1.67	1:1.68:2.04	1:2.58:1.22	1:2.73:1.2	1:0.93:0.37	1: 2.24:1.19

注: ND 表示未检出; 饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA); 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA); 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA); 不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA); 不饱和脂肪酸+C18:0 (unsaturated fatty acids and C18:0, DFA)。

2.2 烤鱼品质分析

2.2.1 感官评价分析

感官评价是一种广泛应用于食品品质分析的方法, 主要反映消费者对食品的接受程度[22]。通过专业训练的人员对食品的形态、气味、色泽、味道以及接受程度这 5 个方面进行综合评分, 从而快速获知食物的整体品质。由图 2 可知, HY-6 在色泽、味道、形态和接受程度方面得分较高, 气味得分低于 HY-1、HY-2 和 HY-4。HY-4 在形态、味道和气味得分较高, 接受程度低于 HY-6, 但在色泽方面得分仅高于 HY-7。HY-7 的各项的感官评分均较低。HY-1~HY-8 综合得分分别为 78.25、77.00、71.00、79.75、76.50、82.50、62.50 、73.00, 其中 HY-1~HY-4 的烤鱼总评分优于 HY-5~HY-8, 可能 HY-1~HY-4 的熟制方式为油炸, 其能够使烤鱼的组织状态更紧密, 使烤鱼形态更好, 并且使烤鱼呈现金黄色泽[23]。

2.2.2 TVB-N 分析

TVB-N 是衡量鱼类等动物性食品新鲜度和腐败程度的重要指标, 食物中的蛋白质在微生物及内源酶的作用下分解产生的胺类、氨等挥发性含氮物质。TVB-N 含量高, 通常反映蛋白质降解程度高, 一定程度上影响鱼肉的营养价值和食用安全性[24]。根据 GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》, 预制动物性水产制品的 TVB-N ≤30 mg/100 g。由图 3 可知, 冻藏 3 个月的 HY-1~HY-8 品牌的烤鱼 TVB-N 在 5~8 mg/100 g 之间。8 个品牌的烤鱼中

HY-3 的 TVB-N 最低, HY-8 最高，但 TVB-N 均符合国标要求，这可能与原料和熟制工艺参数有关。有研究表明不同的熟制方式会影响鱼肉 TVB-N 的变化，进而影响鱼肉的新鲜度和品质[25]。同时不同熟制工艺参数也能够减少微生物对鱼肉在冻藏期间的污染而延长自身的货架期，造成了 TVB-N 差异[26]。

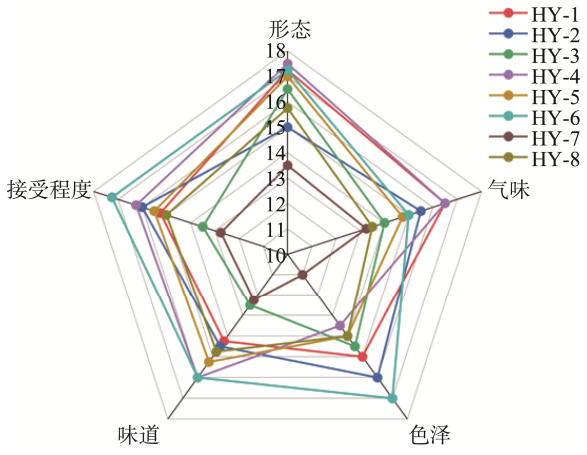
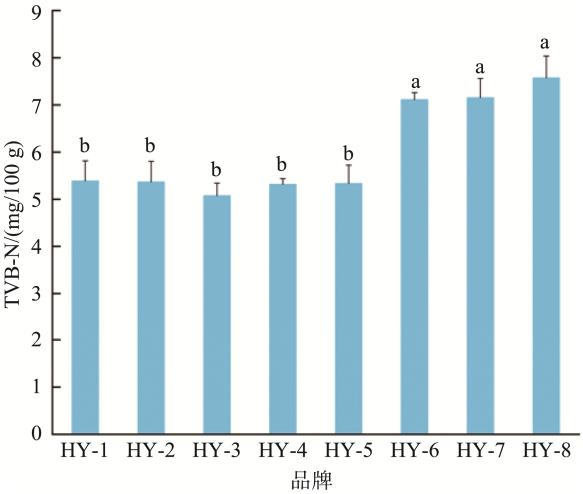


图 2　不同品牌预制烤鱼感官评价

Fig.2　Sensory evaluation of ready-to-cook grilled fish from different brands



注：不同小写字母表示同一指标差异显著(P<0.05)，图 4~7 同。

图 3　不同品牌预制烤鱼 TVB-N

Fig.3　TVB-N of ready-to-cook grilled fish from different brands

2.2.3　TBARs 分析

脂质氧化在鱼类腐败中起着重要的作用，会在外部条件下迅速分解或进一步氧化成小分子物质，如丙二醛(malondialdehyde, MDA)或酮类物质。TBARs 越高，样品腐败程度越大[27]。由图 4 可知，冻藏 3 个月后 8 个品牌烤鱼的 TBARs 差异显著(P<0.05)。相比 HY-1~HY-6 的烤鱼 TBARs 整体上低于 HY-7~HY-8，说明脂质氧化程度最小，其品质劣变速度慢，这可能是熟制时间短或者熟制的温度较低，从而减缓了脂质氧化[28]。不同的熟制工艺参数会导致加热过程中蛋白质变性和脂蛋白复合物分解程度以及脂质部分释放，这些物质更易受到促氧化化合物的氧化攻击[29]。同时，冻藏方式中脂质氢过氧化物的降解程度不同，并且鱼肉中一些 UFA 的氧化程度也会造成 TBARs 的差异[30]。有研究表明鱼肉中 MDA 含量不能超过 2.2 mg/kg，否则鱼肉自身会产生刺鼻的异味。同时 MDA 也是一种致癌物质，过量摄入会毒害人体的健康[31]。这 8 个品牌 MDA 含量均未达到这个限值，表明鱼肉的脂质氧化不会发展到危害人体健康的程度。

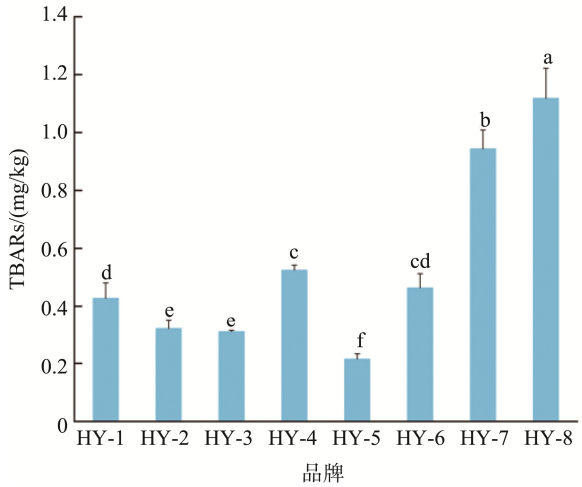


图 4　不同品牌预制烤鱼 TBARs

Fig.4　TBARs of ready-to-cook grilled fish from different brands

2.2.4　色度分析

色度是肉制品最直观的评价指标，能在一定程度上反映肉制品的新鲜程度和其内部凝胶网络结构的改变[32–33]。新鲜制作的烤鱼，整体表面呈现色泽金黄。由图 5 可知，冻藏 3 个月的烤鱼整体上 L^*存在显著差异(P<0.05)。烤鱼熟制过程中，鱼肉表面与热介质接触，长时间加热使鱼肉水分损失导致表面粗糙，影响了光的折射[34]，造成了不同品牌烤鱼的 L^*差异。a^*、b^*存在显著差异(P<0.05)，鱼肉的 a^*与肌红蛋白的含量和状态有关，a^*越高，表示肉品的新鲜度越好[35]。同时，鱼肉解冻后流失的汁液较多，因此使烤鱼的 a^*下降[36–37]，这与离心失水-失油相印证。鱼肉的 b^*的变化，与烤鱼熟制工艺有关，HY-1~HY-4 的 b^*显著高于 HY-5~HY-8，这可能是烤鱼经过油炸后，烤鱼表面颜色转变为黄色，被赋予焙烤的色泽所造成的。同时，鱼肉在冻藏过程中，色泽也会受到脂肪氧化的影响，随着劣变程度而逐渐加深，一定程度上会降低消费者的接受程度[38–40]。

2.2.5　剪切力分析

嫩度决定肉制品的食用口感，是消费者对肉制品评价的重要指标之一，肉制品的剪切力与肉的嫩度密切相关，嫩度可由剪切力进行表征[41]。有研究表明，肉制品的嫩度主要与肌原纤维和结缔组织结构相关，熟制工艺的不同会

造成肉制品的嫩度改变，同时在贮藏期间也会产生嫩度改变的现象，如冻藏期间的烤鱼，细胞内外形成冰晶，会造成肌肉组织完整性的破坏，促使微观结构发生劣变，这种变化在一定程度上可以改变肌肉嫩度[42–43]，使烤鱼的嫩化。由图 6 可知，冻藏 3 个月后 8 个品牌的烤鱼剪切力差异显著(P<0.05)，HY-1~HY-4 的烤鱼剪切力明显高于 HY-5~HY-8。研究表明，油炸制作的预制烤鱼，其表面会形成一层外壳，增大了剪切力[44]，同时工艺参数的不同也会使烤鱼剪切力存在差异。HY-3 的剪切力最大，HY-8 的最低，这可能是因为 HY-8 制作工艺为烤制，但烤制存在一定程度的受热不均匀，使得烤鱼内生外熟，同时，烤制的温度以及时间也会造成剪切力较低[45]。

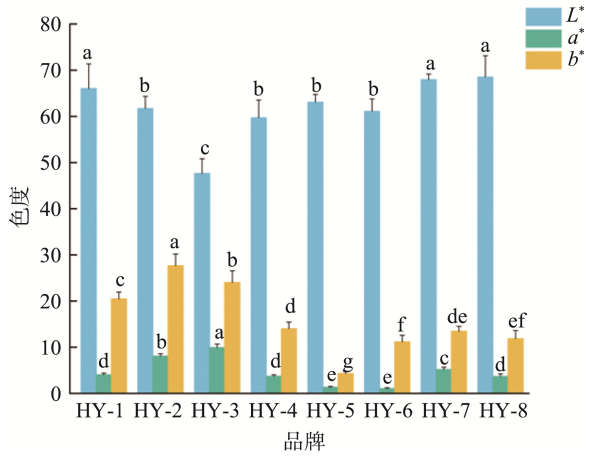


图 5 不同品牌预制烤鱼的色度

Fig.5 Color parameters of ready-to-cook grilled fish from different brands

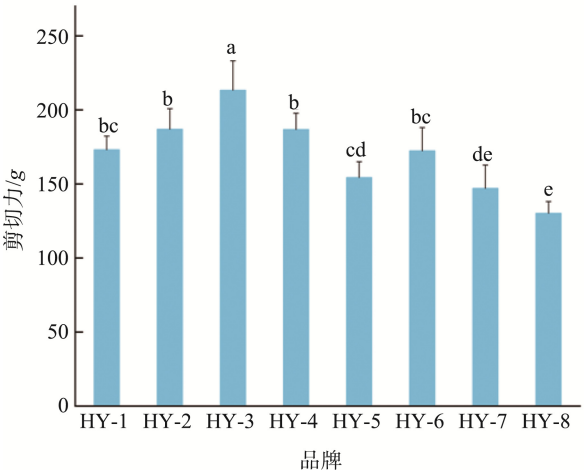


图 6 不同品牌预制烤鱼的剪切力

Fig.6 Shear force of ready-to-cook grilled fish from different brands

2.2.6 离心失水-失油率分析

持水力是指肉在受到外力作用时通过物理方式截留水分而阻止水渗出的能力，持水力是评价肉制品的重要指标之一[46]。烤鱼在热加工中鱼肉中的自由水被大量蒸发，肌肉蛋白中的三维网状结构被迫收缩，从而逐渐增强了持水力[47]。由图 7 可知，8 个品牌的烤鱼持水性总体上差异显著(P<0.05)，这是熟制工艺差异使鱼肉蛋白质变性程度不同，进而影响了鱼肉的水分含量。8 个品牌的烤鱼整体上的离心失水-失油率在 19%~29%，但 HY-1~HY-4 的离心失水-失油率相较于 HY-5~HY-7 较低，这可能是油炸使蛋白质快速变性，蛋白质相互聚集收缩形成一层较硬的外壳，阻挡了鱼肉内部的水分损失[48]。烤鱼油炸或烤制过程中肌动蛋白和肌凝蛋白会发生变性，破坏肌肉原有的保水结构，使得持水能力发生改变[49]，同时，肌肉组织内的可溶性物质与水分大量流失，使得食物内部形成多孔结构[50]。

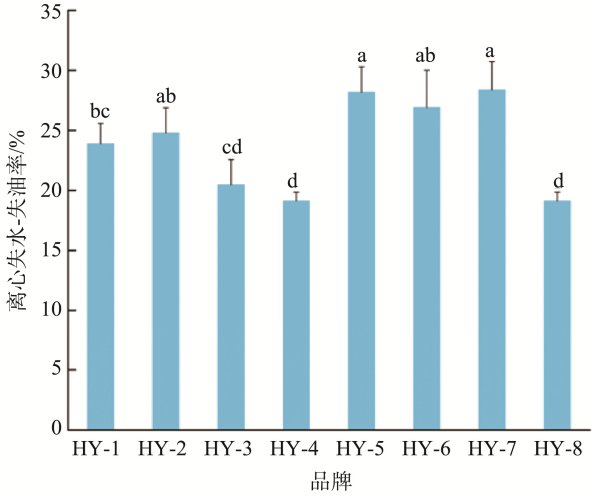


图 7 不同品牌预制烤鱼的离心失水-失油率

Fig.7 Water loss-oil loss rate after centrifugation of ready-to-cook grilled fish from different brands

2.2.7 水分分布分析

烤鱼中的水分分布和迁移可以运用低场核磁共振和核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)技术进行评估。图 8 中，峰面积占比 P_{21}、P_{22}、P_{23} 分别代表结合水、不易流动水、自由水 3 种水分状态的占比[51]。这可能是由于蛋白质结构被高温破坏后，其原本存在于肌丝、肌原纤维及膜间的不易流动水大量流失使含量呈现出明显变化趋势[52]。由图 8 可知，冻藏 3 个月后 8 个品牌烤鱼的结合水无明显差异，这是因为烤鱼中结合水与鱼肉中的蛋白质和其他大分子紧密结合，不易受外部条件的影响[53]。不易流动水、自由水差异明显，这可能是鱼肉的肌原纤维受到破坏，而使细胞破损严重，改变了烤鱼中水分状态变化[54]。利用 MRI 成像技术获得不同品牌质子密度加权像，这可以反映出样品中氢质子的分布情况，进而直观地观察水分分布状态。红色像素对应更高的氢质子密度，表明该区域内的水分含量较高。由图 9 可知，8 个品牌的烤鱼氢质子分布存在明显差异，这可能与烤鱼的熟制工艺有关，加热时间长以及温度过高会造成烤鱼的水分差异，这与离心失水-失油相印证。

2.2.8 电子鼻分析

如图 10 所示，不同品牌间烤鱼的香气轮廓存在差异，响应值差异较为明显的传感器为 W5S、W2W、W2S、W1W

和 W1S, 它们分别对氮氧化合物、甲基类、硫化物、醇类、醛酮类和有机硫化物有特定响应, 这些物质可能是烤鱼的主要风味来源。响应值的变化可能与美拉德反应、热处理过程中产生的脂肪氧化和蛋白质降解有关[55]。同时烤鱼制作过程的高温会促进美拉德反应和脂质氧化, 高温使鱼肉表面脱水, 为激烈的美拉德反应、斯特雷克降解、脂质氧化和热解创造了理想条件, 导致复杂多样的挥发物形成[56]。

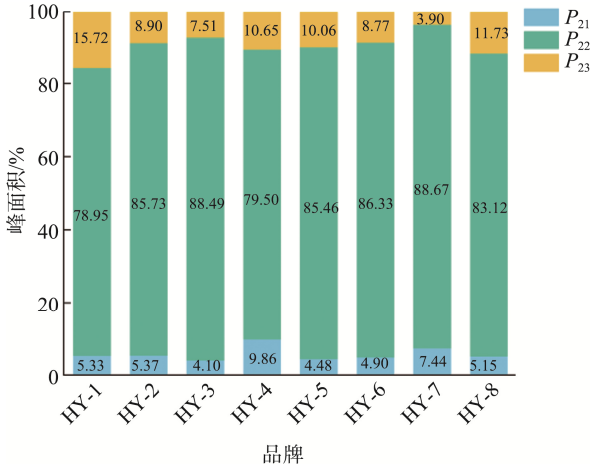


图 8　不同品牌预制烤鱼水分分布的变化

Fig.8　Water content distribution of ready-to-cook grilled fish from different brands

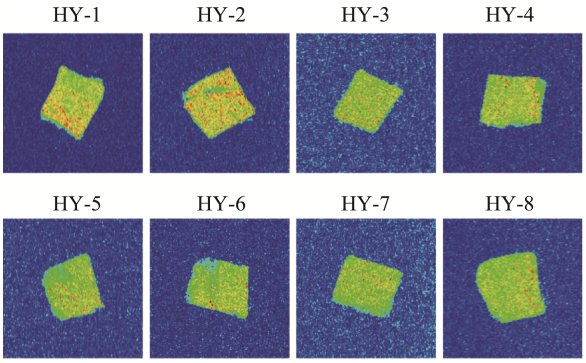


图 9　不同品牌预制烤鱼伪彩图

Fig.9　Pseudo-color images of ready-to-cook grilled fish from different brands

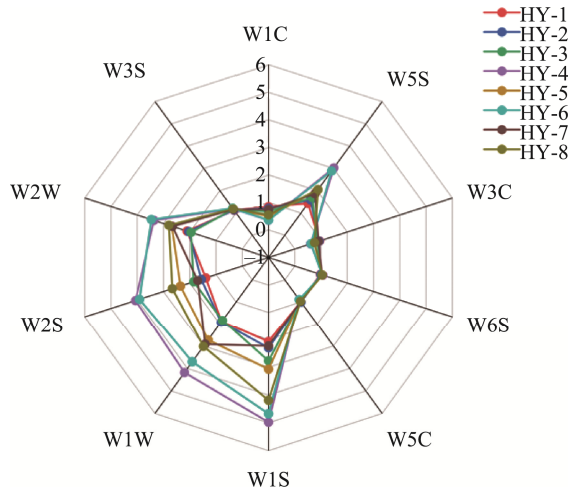


图 10　不同品牌预制烤鱼雷达图

Fig.10　Radar chart of ready-to-cook grilled fish from different brands

主成分分析(principal component analysis, PCA)是一种根据味道差异对样品进行分类的有效方法, 如图 11 所示, PC1 为 85.9%, PC2 为 5.7%, 其总贡献率为 91.6% (>85%), 说明所选样品在整体上能够代表样品风味。但是不同品牌之间有重叠, 说明不同品牌间的烤鱼的主成分相似。

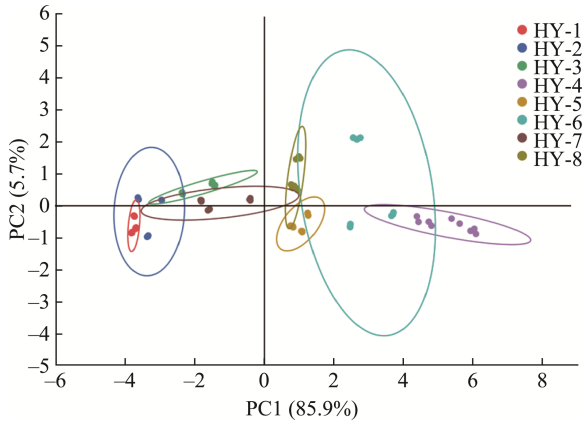


图 11　不同品牌预制烤鱼 PCA

Fig.11　PCA of ready-to-cook grilled fish from different brands

3　结　论

本研究对 8 个品牌预制烤鲴鱼的营养成分和品质特性进行科学评价。从营养方面看, 预制烤鲴鱼提供的 TAA 总量以及 EAA 含量较高, 是优质的蛋白质来源。预制烤鲴鱼的 UFA 比例较高(约 78%), 能够在一定程度上预防特殊疾病, 具有较高的营养价值。品质特性方面, HY-1~HY-4 整体感官评分优于 HY-5~HY-8, 油炸能够赋予烤鱼较好感官品质。冻藏 3 个月烤鱼 TVB-N 低于国家标准限值, TBARs 低于行业限值, 表明预制烤鲴鱼新鲜度和脂质氧化程度均可控范围内。色度、剪切力、离心失水-失油率、水分分布以及电子鼻受加工工艺影响存在显著差异(P<0.05)。综上所述, HY-1~HY-4 的营养成分和品质特性方面要优于 HY-5~HY-8, 这些差异主要归因于油炸/烤制参数的不同, 造成蛋白质、脂质和水分等方面存在差异, 进而影响了烤鱼产品的营养价值和品质特性。本研究旨在科学评价市售预制烤鲴鱼的综合品质, 探明预制烤鱼的现状与挑战, 推进预制烤鱼产业的高质量发展, 并且提高消费者对预制烤鱼产品营养价值和品质的认识。

参考文献

[1] 艾媒咨询. 2024—2025 年中国预制菜产业发展蓝皮书[EB/OL]. (2025-07-18) [2025-11-25]. https: //www. iimedia. cn/c400/106595. html
iiMedia Research. 2024—2025 blue book on the development of China's prefabricated vegetable industry [EB/OL]. (2025-07-18) [2025-11-25]. https: //www. iimedia. cn/c400/106595. html

[2] 王艺红, 林嘉铭, 许智海. 水产预制菜产业现状及发展措施[J]. 当代水产, 2023, 48(5): 77–78, 81.
Wang Yihong, Lin Jiaming, Xu Zhihai. Current status and development strategies of the aquatic pre-made food industry [J]. Current Fisheries, 2023, 48(5): 77–78, 81.

[3] 王静香, 张忠明, 李纪岳, 等. 我国预制菜产业发展特点与趋势预判[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 193–200.
Wang Jingxiang, Zhang zhongming, Li Jiyue, et al. Development characteristics and trend prediction of prefabricated vegetable industry in China [J]. Science and Technology of Cereals, Oils, and Foods, 2024, 32(1): 193–200.

[4] 王晓琦, 兰德平, 李玥晴, 等. 中国水产品预制菜行业发展现状及对策分析[J]. 河北渔业, 2024(11): 34–39.
Wang Xiaoqi, Lan Deping, Li Yueqing, et al. Development status and countermeasures analysis of China’s aquatic ready-to-cook food industry [J]. Hebei Fisheries, 2024(11): 34–39.

[5] 席润梓, 刘晓坤, 陈小钰, 等. 水产品预制菜产业发展分析[J]. 中国渔业质量与标准, 2024, 14(5): 53–59.
Xi Runzi, Liu Xiaokun, Chen Xiaoyu, et al. Analysis of the development of aquatic products prefabricated meal industry [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2024, 14(5): 53–59.

[6] Zheng Chen, Liu Haokun, Liu Cui, et al. Effects of different dietary selenium sources on the meat quality and antioxidant capacity of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2023, 2023: 7981183.

[7] 胡澳, 郭兵兵, 章蔚, 等. 预制乌鳢鱼片的微波熟化工艺[J]. 现代食品科技, 2024, 40(3): 182–190.
Hu Ao, Guo Bingbing, Zhang Wei, et al. Microwave curing technology for prefabricated channa argus fillets [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(3): 182–190.

[8] Gao Song, Li Dapeng, Hong Hui, et al. Comparison of quality and nutritional attributes of pond-cultured and container-cultured snakehead (*Channa argus argus*) fillets after being boiled, fried, and baked [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(12): 4249–4259.

[9] 应天昊, 朱芸杉, 王陈, 等. 普通渗透与真空渗透对龙虾尾冻融品质的影响[J]. 中国调味品, 2024, 49(4): 18–24.
Ying Tianhao, Zhu Yunshan, Wang Chen, et al. Effect of ordinary permeation and vacuum permeation on freeze-thaw quality of crayfish tails [J]. China Condiment, 2024, 49(4): 18–24.

[10] Zhang Junming, Gen Kaneko, Sun Jinhui, et al. Key factors affecting the flesh flavor quality and the nutritional value of grass carp in four culture modes [J]. Foods, 2021, 10(9): 2075–2075.

[11] Zhang Longteng, Zhang Yuqi, Jia Shiliang, et al. Stunning stress-induced textural softening in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets and underlying mechanisms [J]. Food Chemistry, 2019, 295: 520–529.

[12] Rasika G, Xiao Guan, Tao Feng, et al. *L*-lysine dietary supplementation for childhood and adolescent growth: Promises and precautions [J]. Journal of Advanced Research, 2024, 70: 571–586.

[13] 孙若鹏, 杨宾兰, 刘康, 等. 广西北部湾海域不同地区红树蚬营养成分分析与品质评价[J]. 广东海洋大学学报, 2024, 44(4): 63–70.
Sun Ruopeng, Yang Binlan, Liu Kang, et al. Nutritional composition analysis of geloina coaxans from various regions of the Beibu Gulf, Guangxi [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2024, 44(4): 63–70.

[14] 黄辉, 储忝江, 王宇希, 等. 钱塘江华鲿肌肉营养成分分析[J]. 渔业研究, 2024, 46(3): 271–278.
Huang Hui, Chu Tianjiang, Wang Yuxi, et al. Analysis of muscle nutritional composition in sarcocheilichthys sinensis from qiantang river [J]. Journal of Fisheries Research, 2024, 46(3): 271–278.

[15] 唐迪, 邹烨, 仰榴青. GC-MS 分析木瓜籽油中的脂肪酸组成[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 301–302.
Tang Di, Zou Ye, Yang Liuqing. Analysis of fatty acid constituents in papaya seed oil by GC-MS [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(10): 301–302.

[16] 陈峰, 李光略, 陈燕芸, 等. 斑鳠、大鳍鳠、越鳠肌肉的营养成分分析及品质评价[J]. 南方水产科学, 2025, 21(4): 207–216.
Chen Feng, Li Guanglue, Chen Yanyue, et al. Analysis of nutritional composition and quality evaluation of muscles in *Hemibagrus guttatus*, *H. macropterus* and *H. pluriradiatus* [J]. South China Fisheries Science, 2025, 21(4): 207–216.

[17] Elena P, Marica C, Stefania D S, et al. Role of oleic acid in the gut-liver axis: from diet to the regulation of its synthesis via stearoyl-coa desaturase 1 (SCD1) [J]. Nutrients, 2019, 11(10): 2283.

[18] Santa M C, Lopez E S, Montserratde L P S, et al. Update on anti-inflammatory molecular mechanisms induced by oleic acid [J]. Nutrients, 2023, 15(1): 224.

[19] Yang Zhihong, Nill K B, Takechi Haraya Y, et al. Differential effect of dietary supplementat ion with a soybean oil enriched in oleic acid versus linoleic acid on plasma lipids and atherosclerosis in LDLR-deficient mice [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(15): 8385.

[20] 黄和, 任波, 孙小曼. *ω*-3 多不饱和脂肪酸健康机制及应用研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(5): 1–12.
Huang He, Ren Bo, Sun Xiaoman. Research progress on health mechanism and application of omega-3 polyunsaturated fatty acids [J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(5): 1–12.

[21] 李艳, 杨涛, 汪龙, 等. 蛋黄不饱和脂肪酸的生理功能的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 367–370, 376.
Li Yan, Yang Tao, Wang Long, et al. Research advances on physiological function of egg yolk unsaturated fatty acids [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 367–370, 376.

[22] 姜金辉, 粟燕, 侯江霞, 等. 包冰衣熟制小龙虾虾尾冷冻贮藏期间品质变化规律[J]. 食品工业科技, 2026, 47(5): 399–406.
Jiang Jinhui, Su Yan, Hou Jiangxia, et al. The research on quality changes of crayfish tail with ice-coating during frozen storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(5): 399–406.

[23] 梁思靖, 张艳秋, 郑欧阳, 等. 炸制方式对卵形鲳鲹品质及风味的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2026, 46(1): 93–105.
Liang Sijing, Zhang Yanqiu, Zheng Ouyang, et al. Effects of different frying methods on quality and flavor of *Trachinotus ovatus* [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2026, 46(1): 93–105.

[24] Zhang Yiran, Xue Hongtu, Ma Qianyun, et al. Potential of two-dimensional correlation-based dual-band visible/near infrared spectroscopy to predict total volatile basic nitrogen content in meat [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 133: 106451.

[25] 马宇荷, 赵永强, 黄香兰, 等. 熟制方式对大黄鱼品质特性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(12): 70–80.
Ma Yuhe, Zhao Yongqiang, Huang Xianglan, et al. Effect of cooking methods on the quality characteristics of larger yellow croaker [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(12): 70–80.

[26] 徐艺, 白俞武, 赵钰莹, 等. 不同熟制程度的大黄鱼肉在冻藏-复热过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2025, 46(6): 138–146.
Xu Yi, Bai Yuwu, Zhao Yuying, et al. Quality changes of large yellow croaker meat with different cooked degrees during frozen storage and reheating process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(6): 138–146.

[27] Zhang Jianyou, Zhou Guangchen, Ji Shengqiang, et al. Effect of pulse light on the quality of refrigerated (4 ℃) large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. LWT, 2022, 167: 113855.

[28] Dominguez R, Gomez M, Fonseca S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat [J]. Meat Science, 2014, 97(2): 223–230.

[29] Abdel N H H S, Sallam K I, Zaki H M B A. Effect of different cooking methods of rabbit meat on topographical changes, physicochemical characteristics, fatty acids profile, microbial quality and sensory attributes

[J]. Meat Science, 2021, 181: 108612.
[30] 吴晓龙. 不同热加工方式对草鱼肉食用品质及冷藏稳定性的影响探究[D]. 南昌: 南昌大学, 2024: 32–34.
Wu Xiaolong. Study on the effects of different thermal processing methods on the edible quality and refrigerated stability of grass carp meat [D]. Nanchang: Nanchang University, 2024: 32–34.
[31] 刘奇. 鲟鱼腥味物质特征及其与脂肪酸氧化的关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 29–31.
Liu Qi. Study on the off-flavor compounds character of sturgeon and their relationship with lipid oxidation [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013: 29–31.
[32] 韦依依, 张涛, 李苗苗, 等. 即食鱼糜制品贮藏过程中的品质稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 285–290.
Wei Yinong, Zhang Tao, Li Miaomiao, et al. Study on quality stability of ready-to-eat surimi products during storage process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(16): 285–290.
[33] Li Wenrong, Wen Li, Xiong Shanbai, et al. Investigation of the effect of chemical composition of surimi and gelling temperature on the odor characteristics of surimi products based on gas chromatography-mass spectrometry/olfactometry [J]. Food Chemistry, 2023, 420: 135977.
[34] 黎梓杭, 何芊沂, 林捷, 等. 复热方式对冻藏鸡胸肉制品品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(18): 283–290.
Li Zihang, He Qianyi, Lin Jie, et al. Effect of reheating methods on the quality of frozen-stored chicken breast products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(18): 283–290.
[35] Tao Yingmei, Ma Lu, Li Dongdong, et al. Proteomics analysis to investigate the effect of oxidized protein on meat color and water holding capacity in tan mutton under low temperature storage [J]. LWT, 2021, 146: 111429.
[36] 牛力, 陈景宜, 黄明, 等. 不同冻结速率对鸡胸肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(10): 204–208.
Niu Li, Chen Jingyi, Huang Ming, et al. Effects of different freezing rate on the quality of chicken breast [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(10): 204–208.
[37] 常海军, 李雪, 许晶冰. 不同冻藏时间对重庆‘城口山地鸡’肉品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(3): 143–149.
Chang Haijun, Li Xue, Xu Jingbin. Effect of different frozen storage time on chicken quality of ‘Chengkou mountain chicken’ [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2018, 53(3): 143–149.
[38] 敖晓林, 傅宝尚, 祁立波, 等. 不同包装材料对烤制鱿鱼贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 279–285.
Ao Xiaolin, Fu Boshang, Qi Libo, et al. Effect of different packaging materials on quality changes of baked squid during storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 279–285.
[39] 王婧. 预包装烤鱼贮藏期间品质变化规律与保鲜剂研发[D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2024: 21–25.
Wang Jing. The quality change pattern of pre-packaged grilled fish during storage and the development of preservation agents academic translation [D]. Chongqing: Chongqing Three Gorges University, 2024: 21–25.
[40] 张毅, 周秀珍, 李思敏, 等. 不同浸渍冻结方式对大口黑鲈鱼片冻藏期间品质变化的影响[J]. 食品工业, 2025, 46(8): 15–21.
Zhang Yi, Zhou Xiuzhen, Li Simin, et al. Effect of freezing method on the quality changes during refrigeration period of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) fillets [J]. The Food Industry, 2025, 46(8): 15–21.
[41] 胡斌. 静磁场辅助微冻对猪肉贮藏保鲜效果及加工特性的影响[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2024: 21–22.
Hu Bin. Effect of static magnetic field assisted superchilling on the storage preservation and processing characteristics of pork [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2024: 21–22.
[42] 杜婷婷, 张莉, 徐泽权, 等. 不同成熟方式对哈萨克羊肉冻藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(10): 170–177.
Du Tingting, Zhang Li, Xu Zequan, et al. Effects of different aging methods on the quality of kazakh mutton during frozen storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(10): 170–177.
[43] 郑尧, 邱泽慧, 王锡昌. 冻藏肉及其制品中蛋白氧化的研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 331–341.
Zheng Yao, Qiu Zehui, Wang Xichang. Progress on protein oxidation in meat and meat products during frozen storage [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(6): 331–341.
[44] Asokapandian S, Swamy G J, Hajjul H. Deep fat frying of foods: a critical review on process and product parameters [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 60(20): 3400–3413.
[45] 刘威, 魏先领, 张远红, 等. 不同烹饪方法对鸽胸肉品质的影响[J]. 美食研究, 2025, 42(1): 57–62.
Liu Wei, Wei Xianling, Zhang Yuanhong, et al. Effect of different cooking methods on the quality of pigeon breast [J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2025, 42(1): 57–62.
[46] 孔金花, 温丽敏, 诸永志, 等. 不同加工方式对熟制克氏原螯虾冷藏期间品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 371–380.
Kong Jinhua, Wen Limin, Zhu Yongzhi, et al. Effects of different processing methods on the quality of cooked procambarusclarkii during refrigerated storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 371–380.
[47] Zhang Muhan, Wang Daoying, Xu Xinglian, et al. Comparative proteomic analysis of proteins associated with water holding capacity in goose muscles [J]. Food Research International, 2018, 116: 354–361.
[48] 王兆宏, 孙静, 刘芳. 动物性原料(里脊肉)油炸工艺的研究[J]. 食品科学, 1995(7): 59–63.
Wang Zhaohong, Sun Jing, Liu Fang. Research on deep-frying process of animal raw materials (loin meat) [J]. Food Science, 1995(7): 59–63.
[49] 阮珊艳, 姜金辉, 周志, 等. 即食陈皮鳝鱼加工工艺优化及货架期预测[J]. 食品工业科技, 2026, 47(7): 395–407.
Ruan Shanyan, Jiang Jinhui, Zhou Zhi, et al. Optimization of processing technology and shelf-life prediction for ready-to-eat tangerine peel-flavored eel [J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(7): 395–407.
[50] 刘梓意, 王玉婷, 鄂芊竹, 等. 荷包鲤鱼在不同温度油炸过程中品质的变化[J]. 食品工业科技, 2025, 46(14): 45–57.
Liu Ziyi, Wang Yuting, E Qianzhu, et al. Changes in quality of purse red carp during deep-frying at different temperatures [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(14): 45–57.
[51] Kelly L P, Katja R, Henrik J A, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—a review [J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111–124.
[52] 张欢, 董福家, 陈倩, 等. 面糊组分对预油炸微波复热鸡米花品质及水分分布特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 57–62.
Zhang Huan, Dong Fujia, Chen Qian, et al. Influence of different batter ingredients on the quality characteristics and water distribution of pre-fried microwave reheated popcorn chicken [J]. Food Science, 2018, 39(6): 57–62.
[53] 黄舒婷, 刘淑集, 陈晓婷, 等. 烤制大黄鱼鱼片贮藏过程中品质变化规律研究[J]. 渔业研究, 2026, 48(1): 96–107.
Huang Shuting, Liu Shuji, Chen Xiaoting, et al. Study on the quality change patterns of grilled large yellow croaker fillets during storage [J]. Journal of Fisheries Research, 2026, 48(1): 96–107.
[54] Ma Xingsheng, Yi Shumin, Yu Yongming, et al. Changes in gel properties and water properties of nemipterus virgatus surimi gel induced by high-pressure processing [J]. LWT, 2015, 61(2): 377–384.
[55] Wei Haocheng, Wei Yukun, Qiu Xujian, et al. Comparison of potent odorants in raw and cooked mildly salted large yellow croaker using odor-active value calculation and omission test: understanding the role of cooking method [J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134015.
[56] Fu Chenying, Weng Jingying, Luo Fujing, et al. Elucidating cooking-driven flavor dynamics of paddy field carp (*Cyprinus carpio*) using a combination of E-nose, E-tongue, GC-MS and GC-IMS [J]. Food Chemistry, 2025, 494: 146207.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)