

不同解冻方式下加州鲈的食用品质变化

陈心怡, 王宏*, 黄炳旗, 唐宇聪, 钱敏, 赵文红, 白卫东*
(仲恺农业工程学院广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 农业农村部岭南特色食品绿色加工与智能制造重点实验室, 轻工食品学院, 广东广州 510225)

摘要: 为了探究不同解冻方式对加州鲈食用品质的影响, 筛选较佳解冻方式, 本研究通过检测保水性、质构特性等基础理化指标以及风味鉴定, 比较了不同解冻方式下的鱼肉与新鲜鱼肉的食用品质变化。结果表明, 水浴解冻后的鱼肉保水性最佳, 持水性达 81.10%, 盐水解冻组的解冻损失率最高 ($P<0.05$), 达 13.83%; 水浴解冻组的鱼肉水分迁移情况与鲜鱼组接近。各解冻组间 pH 值无显著差异 ($P>0.05$)。盐水解冻组的质构特性与鲜鱼组更为接近, 其次是水浴解冻组; 水浴解冻组和超声解冻组的感官评分较高, 分别为 40.70 分和 39.85 分, 而盐水解冻组的感官评分最差 (37.85 分)。水浴解冻组总氨基酸含量、鲜味氨基酸和甜味氨基酸含量最高, 分别为 251.79、162.44、56.43 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 5'-肌苷酸含量 (20.70 $\text{mg}/100\text{g}$) 在各解冻组中也较为突出。各解冻组有机酸含量较鲜鱼组均显著降低 ($P<0.05$)。综上所述, 在保证食用品质的情况下, 水浴解冻更适用于加州鲈的解冻。

关键词: 加州鲈; 解冻方式; 保水性; 质构; 风味

文章编号: 1673-9078(2026)04-141-149 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.4.0155

Changes in the Edible Quality of *Micropterus salmoides* Subjected to Different Thawing Methods

CHEN Xinyi, WANG Hong*, HUANG Bingqi, TANG Yucong, QIAN Min, ZHAO Wenhong, BAI Weidong*
(Guangdong Provincial Key Laboratory of Lingnan Specialty Food Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, China, Key Laboratory of Green Processing and Intelligent Manufacturing of Lingnan Specialty Food, Ministry of Agriculture, College of Light Industry and Food Technology, Guangzhou 510225, China)

Abstract: To evaluate the effects of different thawing methods on the edible quality of *Micropterus salmoides* and select the optimal thawing method, changes in the edible quality of fish meat thawed by different methods and that of fresh fish meat were compared by measuring basic physicochemical indexes such as water-holding capacity and texture properties and by evaluating flavor. The results showed that the fish meat thawed by water bath had the best water-retention capacity, with the water-retention rate reaching 81.10%, and the brine-thawing group had the highest thawing loss rate ($P<0.05$), reaching 13.83%. The water migration of fish meat in the water-bath thawing group was close to that of the fresh fish group. No significant difference was observed in pH values among the different thawing groups ($P>0.05$). In terms of textural properties, the brine-thawing group was closer to the fresh

引文格式:

陈心怡,王宏,黄炳旗,等.不同解冻方式下加州鲈的食用品质变化[J].现代食品科技,2026,42(4):141-149.

CHEN Xinyi, WANG Hong, HUANG Bingqi, et al. Changes in the edible quality of *Micropterus salmoides* subjected to different thawing methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(4): 141-149.

收稿日期: 2025-02-10; 修回日期: 2025-04-29; 接受日期: 2025-05-01
基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFD2100201); 广东省重点建设学科科研能力提升项 (2022ZDJS022); 广东茂名滨海新区海洋渔业产业园项目 (0835-220FA8102621); 广东省研究生教育创新计划项目 (2023SFKC_057)
作者简介: 陈心怡 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 1422974056@qq.com
通讯作者: 王宏 (1988-), 女, 博士, 特聘副教授, 研究方向: 食品活性成分与功能评价, E-mail: whongaq@163.com; 共同通讯作者: 白卫东 (1967-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物化学, E-mail: whitebai2001@163.com

fish group, followed by the water-bath thawing group. The sensory scores of the water-bath thawing group and ultrasonic thawing group were higher (40.70 and 39.85, respectively), whereas the brine-thawing group exhibited the lowest sensory score (37.85). The contents of total amino acids, umami amino acids, and sweet amino acids in the fish meat of the water-bath thawing group were the highest (251.79, 162.44, and 56.43 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively), and this group also exhibited higher contents of 5'-inosinic acid (20.70 mg/100 g) than the other thawing groups. The organic acid contents were significantly lower in all thawing groups than in the fresh fish group ($P<0.05$). In conclusion, under the premise of ensuring edible quality, water-bath thawing is more suitable for thawing *Micropterus salmoides*.

Key words: *Micropterus salmoides*; thawing methods; water retention; texture; flavor

加州鲈鱼 (*Micropterus salmoides*) 又称大口黑鲈鱼, 其肉质鲜美, 营养价值高^[1], 是我国主要淡水鱼养殖品种之一, 近年来产业规模持续扩张。数据显示, 2023 年全国淡水养殖鲈鱼产量达 88.803 0 万 t, 较 2022 年增长了 10.66%^[2], 其中加州鲈占比最大。加州鲈多以鲜食为主, 但由于鲜活鲈鱼在不同季节、不同地区的供应稳定性存在差异, 为确保供应的连贯性, 部分餐饮会采用快速冷冻的方法将加州鲈鱼进行短暂的运输和储藏。但冷冻和解冻过程通常会对鱼肉的食用品质造成一定的影响, 如蛋白质的氧化变性、风味的损失、颜色和质地发生变化以及过长的冷冻或解冻过程也会使微生物繁殖导致鱼肉腐败等^[3]。

虽然解冻后的鱼肉品质发生变化无可避免, 但选择合适的解冻方式能够减少这种损失。现代食品领域已存在较多的解冻技术, 如高压解冻、真空解冻、射频解冻、高压静电场解冻和低压静电场等技术能有效提高解冻速度, 可减少解冻损失和改善肌肉食品的品质^[4], 但这些解冻方法需要特定的设备和装置, 且成本高昂, 不适合大规模生产。目前空气解冻、低温解冻、水浴解冻、微波解冻和静水解冻等是食品生产加工中较为常用的方法, 如刘蒙佳等^[5]采用空气解冻 (室温 $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)、冰箱解冻 ($0\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)、静水解冻 (水温 $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) 及微波解冻等四种解冻方式对冷冻海鲈鱼鱼片进行解冻处理, 发现相较于其他解冻方式, 微波解冻和冰箱解冻后的鱼片品质较好, 汁液流失率和蒸煮损失率较低等。马翼飞等^[6]将小黄鱼鱼肉分成静水解冻组、流水解冻组、微波解冻组、低温空气解冻组和超声波解冻组进行解冻处理, 结果表明鱼肉经超声波解冻处理后能够较好地维持鱼肉的质构, 在色泽、pH 值、蛋白质和脂质氧化以及水分迁移变化等指标上保持较高品质。

目前有关加州鲈解冻的研究主要聚焦于解冻技术对其理化性质的影响, 而针对滋味方面的研究相对较少。此外, 研究解冻对鱼肉食用品质影响的相关报道相对较少, 主要以禽畜肉为主。因此, 本文结合以上

常见解冻方式 (低温解冻、超声解冻和微波解冻), 并添加水浴解冻和盐水解冻, 研究不同解冻方式对加州鲈基本理化指标的影响和对加州鲈风味的影响规律, 选出对加州鲈食用品质保持效果较佳的解冻方式, 以期解冻加州鲈的高品质加工提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

加州鲈鱼, 由广东勇记水产有限公司提供; 蒸馏水、食盐, 市售; 磷酸二氢钾、高氯酸、磷酸, 分析纯; 甲醇、乙腈, 色谱纯, 购于上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

HH-6 同步搅拌水浴锅, 上海赫田科学仪器有限公司; P901 酸度计, 上海佑科仪器仪表有限公司; TMS-PRO 质构仪, 北京盈盛恒泰科技有限责任公司; Eppendorf 5810 高速冷冻离心机, 德国艾本德公司; 1260 高效液相色谱仪, 美国 Agilent 科技有限公司; XO-SM100 微波超声联用工作站, 南京先欧仪器制造有限公司; FA25 均质机, 上海弗鲁克科技发展有限公司; LA8080 氨基酸分析仪, 日立科学仪器 (北京) 有限公司; MesoMR23-060H-1 低场核磁共振成像分析仪, 苏州纽迈仪器分析股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 解冻方式

将大小均一的加州鲈鱼片样品从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱取出后, 参考表 1 方式解冻, 当鱼肉中心温度达到 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时即为解冻终点。

1.3.2 解冻损失率

参照曹珠等^[8]的方法并稍做修改。称量 1~2 g 未解冻的鱼肉的质量, 解冻后再次称量鱼肉的质量, 平行测定 3 次后, 按下述公式进行计算:

表 1 不同的5种解冻方式

Table 1 Five different thawing methods

解冻方式	操作方法	参考文献
水浴解冻	将装入密封袋的冷冻鱼肉于（38±1）℃水浴锅中解冻 10 min	[7]
低温解冻	将冷冻的鱼肉放入密封袋中，于 4℃的冰箱中解冻 4 h	[7]
盐水解冻	将冷冻的鱼肉放入密封袋中，加入质量分数为 40 g·L ⁻¹ 的盐水，并于（38±1）℃水浴锅中解冻 8 min	[8]
超声解冻	将装入密封袋的冷冻鱼肉于微波超声联用工作站中解冻 6 min，水温为（38±1）℃，超声功率为 200 W	[9]
微波解冻	将装入密封袋的冷冻鱼肉于微波超声联用工作站中解冻 3 min，水温为（38±1）℃，微波功率为 150 W	[9]

表 2 鱼肉的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria of *Micropterus salmoides*

感官描述	很差（0~3）	较差（4~6）	较好（7~8）	好（9~10）
色泽（10 分）	暗黄色	淡黄色	白色	光亮白色
外观（10 分）	无光泽，干耗大	表面无油感	表面有油感	有光泽，无干耗
气味（10 分）	腐败气味	腥臭味	无异味	鲜味、鱼香味
滋味（10 分）	酸败味	轻微酸味	无异味	鲜味、鱼香味
口感（10 分）	咀嚼性差，松软无弹性	咀嚼性一般，松软感	咀嚼性一般，无弹性，无松软感	有弹性，有嚼劲

$$K=\frac{m_1-m_2}{m_1}\times100\%$$

(1)

$$W_1$$
——蒸煮前鱼肉的质量；
$$W_2$$
——蒸煮后鱼肉的质量。

式中：
 K ——解冻损失率，%；
 m_1 ——解冻前鱼肉的质量；
 m_2 ——解冻后鱼肉的质量。

1.3.3 持水力

参照 Jin 等^[10]的方法，并做一定的修改。称取 1~2 g 解冻后的鱼肉，用滤纸裹好后放入离心管中，离心机温度设置为 4℃，转速为 5 000 r·min⁻¹，鱼肉离心 10 min 后，去除滤纸，并再次称量鱼肉质量。平行测定 3 次后，按照下列公式计算：

$$R=\frac{M_2}{M_1}\times100\%$$

(2)

式中：
 R ——持水力，%；
 M_1 ——离心前鱼肉的质量；
 M_2 ——离心后鱼肉的质量。

1.3.4 蒸煮损失率

参照黄莉等^[11]的方法并稍作修改。称量冷冻的鱼肉样品质量，记为 W_1 ，将其放入密封袋中，于 85℃ 的水浴锅中加热 15 min，冷却至室温后用吸水纸吸干鱼肉表面的水分，再次称量其质量，记为 W_2 。重复 3 次后，按以下公式计算：

$$A=\frac{W_1-W_2}{W_1}\times100\%$$

(3)

式中：
 A ——蒸煮损失率，%；

1.3.5 pH值

将解冻后的鱼肉和蒸馏水按照 3:27（g:mL）的比例混合，并进行机械匀浆，匀浆时间为 3 min。均质完成后，在 3 000 r·min⁻¹ 条件下离心 10 min，取上清液用酸度计测定其 pH 值。

1.3.6 低场核磁共振分析

参照葛智勤等^[12]的方法并加以改进，取 2 g 解冻鱼肉样品置于直径 25 mm 的核磁管中。测定参数设置如下：共振频率为 21.2 MHz，测量温度为 32℃，选择 Color-Purcell-Meiboom-Gill（CPMG）作为测试序列，回波时间为 0.4 ms，回波数为 8 000，迭代次数为 1×10⁶，扫描次数为 4 次。

1.3.7 质构分析

将鱼片切成 1 cm×2 cm×2 cm 的大小后于质构分析仪上检测，选取直径为 38.1 mm 的圆柱型挤压检测探头并采用 TPA 模式。检测时，探头垂直下压，样品肌纤维方向垂直于探头下压方向，检测参数设置如下：触发力 250 N，形变百分比为 30%，检测速度 30 mm·min⁻¹，探头暂停时间 1 s，回升高度 25 mm。

1.3.8 感官评定

参考邱泽慧等^[13]的方法并稍作修改。锅中加入适量清水，水开后放入解冻后的鱼肉煮 5 min，邀请 10 名具有食品专业知识的人员组成评定小组，对解冻后烹煮的鱼肉的色泽、外观、气味、滋味和口感依据表 2 进行评分。

1.3.9 氨基酸组成分析

将解冻好的鱼肉按照 1:5 (g:mL) 的比例, 加入蒸馏水均质 3 min, 匀浆后于 $8\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下离心 10 min, 取上清液过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 水膜, 备用。将氨基酸标品稀释一定的倍数后过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 水膜, 备用。采用 Agilent 自动在线衍生的方法, 用高效液相色谱仪分析。

1.3.10 核苷酸类化合物测定

参照 Pei 等^[14]的提取方法并加以改进, 称取 5 g 样品进行前处理, 加入 15 mL 体积分数为 5% 的高氯酸溶液匀质 3 次, 每次 1 min, 于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 15 min, 取上清液, 沉淀物再用 10 mL 相同体积分数的高氯酸溶液重复以上步骤, 合并两次上清液, 用 $5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KOH 调 pH 值至 6.5 并用超纯水定容至 35 mL, 静置 30 min, 然后过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 水系滤膜, 进 HPLC 分析。

色谱柱采用 ZIC®-HILIC ($250\times 4.6\text{ mm}$, $5\text{ }\mu\text{m}$), 流动相 A 为摩尔浓度 $5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸二氢钾 (pH 值 5.13), 流动相 B 为乙腈溶液; 洗脱程序为 20% A 和 80% B 等度洗脱, 流量为 $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 进样量 $10\text{ }\mu\text{L}$, 柱温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 波长 254 nm 。

1.3.11 有机酸测定

根据林恒宗等^[15]的样品处理方法, 称取 5 g 样品, 加入 10 mL 超纯水匀浆 3 min, 在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $8\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 条件下离心 15 min, 取上清液, 加入蒸馏水定容至 50 mL 后摇匀, 样液通过 $0.22\text{ }\mu\text{m}$ 水系滤膜进液相分析。

色谱柱条件设置为 ZORBAX SB-Aq ($250\text{ mm}\times 4.6\text{ mm}$, $5\text{ }\mu\text{m}$), 流动相 A 为摩尔浓度 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、pH 值为 2.83 的磷酸二氢钾溶液; 流动相 B 为纯甲醇; 流动相的比例为 97:3; 流量 $0.8\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 进样量 $10\text{ }\mu\text{L}$; 柱温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 检测波长为 214 nm 。

1.4 数据分析

用 JMP Pro 17 统计软件数据对数据进行分析, Origin 2021 软件制图。实验数据以均数 $\pm$ 标准差表示, 采用单因素方差分析, 多组间的比较采用 LSD-t 法和 Dunnett-t 法进行多重比较, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果与分析

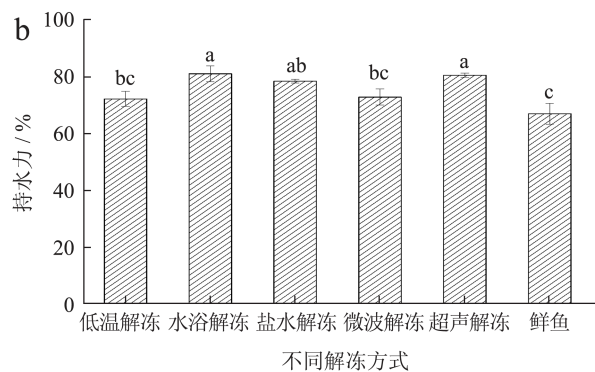
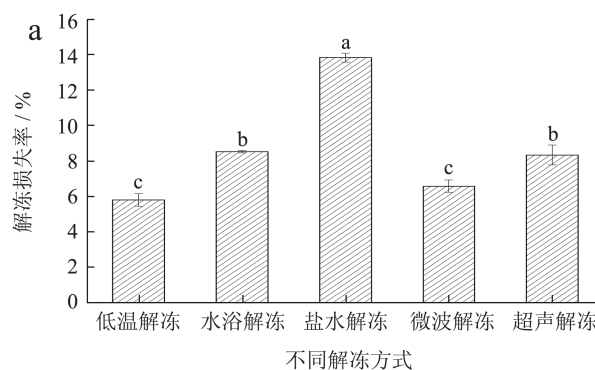
2.1 理化指标分析

2.1.1 保水性

由图 1a 和图 1c 可以看出, 除鲜鱼外, 盐水解冻的解冻损失率和蒸煮损失率显著高于其他解冻组 ($P<0.05$), 可能是因为解冻过程中, 鱼肉直接与盐水接触, 导致水溶性物质不断渗出, 造成营养物质

流失, 且微观结构也受到较大的影响, 全潇洋等^[16]发现经盐水解冻后, 金枪鱼的微观结构中存在大量的孔洞, 肌肉损伤程度较大。低温解冻组的鱼肉解冻损失率最小, 其值为 5.80%, 王晋等^[17]通过对 3 种鱿鱼进行解冻处理也发现低温解冻组的解冻损失率最小, 万海伦等^[18]苏木精-伊红 (HE) 染色法观察发现低温解冻后的生食鱼片肌原纤维排列比其他解冻方式更紧密, 且间隙更小, 说明低温解冻可以较好地保持鱼肉中的水分, 这是由于低温解冻温度低且过程较温和, 对肌肉纤维的损伤较小, 肌肉组织间隙中冰晶融化成的水可以重新吸收到细胞中。其次是微波解冻组的解冻损失率, 为 6.58%, 与低温解冻组之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 优于其他 2 种解冻方式 ($P<0.05$), 而蒸煮损失率除鲜鱼和盐水解冻组外, 其他解冻组之间没有显著性差异 ($P>0.05$), 但微波解冻组和低温解冻组较低, 分别为 4.34% 和 4.86%。

解冻是通过吸收热量将冷冻过程中产生的冰晶融化成水, 然后被肌肉纤维重新吸收的过程^[19]。微波解冻的解冻损失率和蒸煮损失率较低可能是因为解冻时间较短, 缩短了通过最大冰晶带的时间, 减少冰晶对肌肉组织的损伤。图 1b 显示了不同解冻方式下鱼肉的持水力变化。在解冻组中, 水浴解冻的鱼肉持水力最高, 达 81.10%, 其次是超声解冻, 可能是因为水浴解冻的鱼肉肌纤维排列较规则^[18]。各解冻组持水性高于鲜鱼组可能是因为冷冻的鱼肉几乎能抑制糖酵解和钙激活酶的活性, 避免了肌原纤维蛋白的分解, 而鲜鱼可能由于经历自溶, 肌原纤维蛋白可能已部分降解, 导致持水力下降。



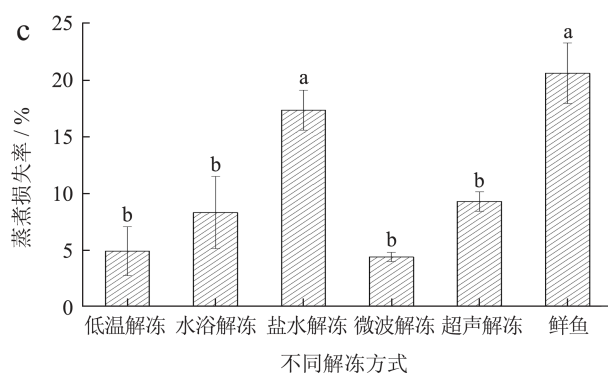


图1 解冻方式对加州鲈鱼肉保水性的影响

Fig.1 Effects of thawing methods on the water retention of *Micropterus salmoides*注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下图同。

2.1.2 pH值

由图2可知, 和新鲜鱼肉相比, 所有解冻处理后的样品的pH值均显著下降, 有研究表明, 肉中pH值的变化会影响肉类的颜色及持水能力, 并呈正相关^[20], 所以pH值可作为判断鱼肉新鲜程度以及品质好坏的指标之一, 所有经解冻后的鱼肉pH值发生显著变化说明品质受到了较大的影响, 可能是因为在冷冻和解冻过程中, 鱼体内的无机磷酸和乳酸的积累以及三磷酸腺苷降解产生磷酸等酸性物质^[21]。但各解冻组之间没有显著性差异 ($P \geq 0.05$), 褚筱然等^[22]通过自然空气、低温、流水、超声波及微波5种方法对冷冻驴肉进行解冻时也发现各解冻组之间的pH值没有显著性差异, 说明解冻的方式对pH值的影响不大, 但冷冻和解冻对鱼肉pH值的影响较大。

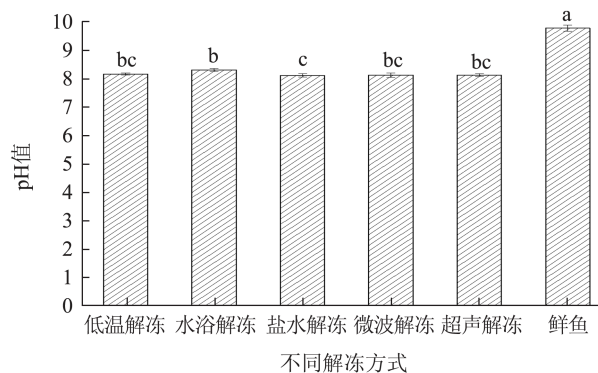


图2 不同解冻方式对加州鲈鱼肉pH值的影响

Fig.2 Effects of different thawing methods on pH of *Micropterus salmoides*

2.2 低场核磁共振成像分析

图3a不同解冻方式组和鲜鱼组鱼肉的横向弛豫时间 T_2 图谱, 每组均出现4个峰, 其中 T_{2b} (0.1~1 ms) 和 T_{21} (1~10 ms) 代表结合水, T_{22} (10~100 ms) 代表不

易流动水, T_{23} (100~1 000 ms) 代表自由水^[23]。目前广泛应用低场核磁共振技术 (LF-NMR) 检测食品中的含水状态^[24], 且在食物的干燥、冷冻、解冻等过程中也可应用此技术进行监测其水分含量变化^[25], 可以根据水分在肉中的不同活动状态, 将水分分为结合水、不易流动水和自由水, 其中, 不易流动水的占比最高, 通常决定了肌肉的系水能力。不同解冻方式下3种水分形式的相对含量如图3b所示, 盐水解冻组的鱼肉自由水 (T_{23}) 含量最高, 为9.62%, 可能是该解冻方式下鱼肉的肌原纤维蛋白结构破坏较为严重, 使不易流动水最容易迁出, 转化为自由水。鱼片经超声解冻后的水分迁移情况和鲜鱼最接近, 可能是因为解冻时间较短, 水分流失不严重。其次低温解冻和水浴解冻的水分迁移状况相似, 结合水与不易流动水含量较高, 转为自由水的较少, 鱼片能够保持较好的品质。

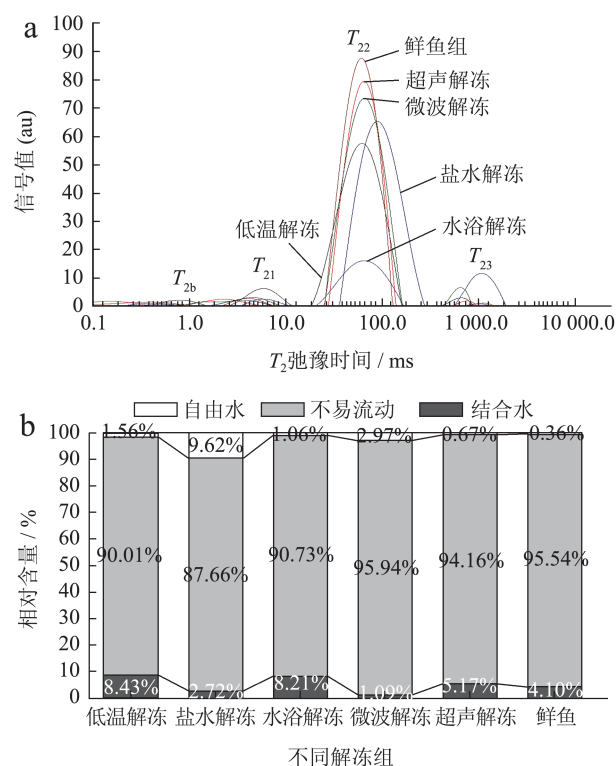


图3 不同解冻方式对加州鲈鱼肉水分分布的影响

Fig.3 Influence of different thawing methods on water distribution of *Micropterus salmoides*

注: a 水分迁移情况; b 不同类型水占比情况。

2.3 质构分析

不同解冻方式组的加州鲈鱼质构测定结果见表3。由表可知, 经解冻后的鱼肉在内聚性、弹性、胶粘性和咀嚼性上均呈上升趋势, 而解冻对弹性、胶粘性和咀嚼性的影响更为显著。弹性和胶粘性的乘积在数值上代表的是咀嚼性的结果^[26], 鱼肉经冷冻后再解冻,

冰晶的生长和融化会导致细胞破裂,影响鱼肉样品的咀嚼性^[27]。除盐水解冻组外,其余解冻组的咀嚼性与胶粘性均与鲜鱼组有显著性差异 ($P<0.05$),在内聚性方面,除了微波解冻组,其余解冻组均与鲜鱼组有显著性差异 ($P<0.05$),说明冷冻和解冻对鱼肉样品的质构有着较大的影响。在盐水解冻组中,质构特性与鲜鱼组更为接近,可能是因为盐溶液较高的导热系数,缩短了解冻的时间,从而一定程度上减少了冰晶的损伤^[18],其次是水浴解冻组。

表 3 不同解冻方式对加州鲈鱼质构特性的影响
Table 3 Effects of different thawing methods on the textural properties of *Micropterus salmoides*

解冻方式	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
低温解冻	0.44 ± 0.02 ^{ab}	0.40 ± 0.06 ^b	1.75 ± 0.09 ^{bc}	0.70 ± 0.08 ^{bc}
水浴解冻	0.44 ± 0.07 ^{ab}	0.43 ± 0.07 ^{ab}	1.47 ± 0.35 ^{cd}	0.61 ± 0.08 ^{cd}
盐水解冻	0.40 ± 0.04 ^{ab}	0.42 ± 0.02 ^{ab}	1.10 ± 0.05 ^{de}	0.46 ± 0.03 ^{de}
微波解冻	0.36 ± 0.04 ^{bc}	0.41 ± 0.05 ^b	2.14 ± 0.08 ^{ab}	0.87 ± 0.11 ^b
超声解冻	0.46 ± 0.07 ^a	0.52 ± 0.11 ^a	2.59 ± 0.53 ^a	1.31 ± 0.14 ^a
鲜鱼	0.30 ± 0.01 ^c	0.37 ± 0.00 ^b	0.77 ± 0.51 ^c	0.29 ± 0.18 ^c

注:不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 不同解冻方式对感官评定结果的影响

图 4 为五种解冻方式对鲈鱼鱼肉色泽、外观、气味、滋味和口感等指标上与新鲜鱼肉的对比评价结果,其中在色泽、外观、气味和滋味评分上,水浴解冻均获得最高的评分,且综合得分最接近鲜鱼 (40.70 分)。由图 4 可知,在色泽评分上,解冻组中评分最高的是水浴解冻 (8.10 分),超声解冻和微波解冻的评分最低 (7.40 分和 7.10 分),且显著低于其他解冻组 ($P<0.05$),两者无显著性差异 ($P>0.05$)。外观评分和气味评分最高的是水浴解冻 (8.10 分和 7.80 分),但各解冻组间无显著性差异 ($P>0.05$)。在滋味方面,除盐水解冻外,其他解冻方式评分和鲜鱼无显著性差异 ($P>0.05$),水浴解冻组滋味评分最高 (8.70 分),其次是低温解冻和超声解冻、微波解冻,盐水解冻评分最低,且显著低于其他解冻组 ($P<0.05$)。超声解冻在口感指标中得分最高 (8.40 分),但各解冻组间与鲜鱼无显著性差异,均保留了较好的口感,尚佳宇等^[28]在研究不同解冻方式 (低温解冻、室温解冻、流水解冻、超声解冻和脉冲磁场辅助解冻) 对炆蟹的感官影响中也发现,超声解冻的口感评分最高。综合感官评分表明,水浴解冻和超声解冻的鱼肉具有更好的色泽、外观、气味、滋味和口感,更接近鲜鱼的

品质,而盐水解冻和微波解冻对鱼肉感官品质有较大影响。

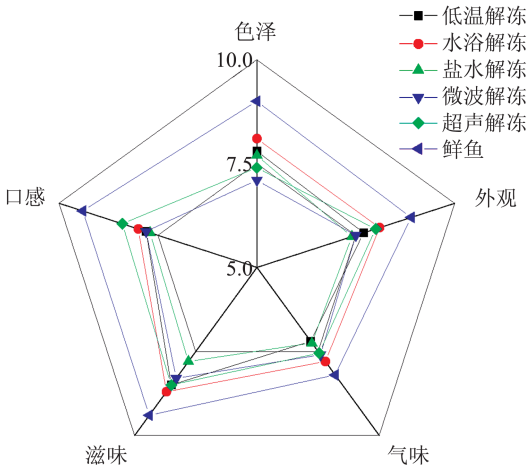


图 4 不同解冻方式对加州鲈鱼肉感官评价结果
Fig.4 Sensory evaluation results of *Micropterus salmoides* by different thawing methods

2.5 氨基酸组成分析

如表 4 所示,鱼肉中共检测出 17 种氨基酸,鱼肉经低温解冻、水浴解冻、盐水解冻、微波解冻和超声解冻后游离氨基酸总量分别为 185.52、251.79、120.43、177.97、150.64 和 471.09 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。游离氨基酸通常由多肽和蛋白质水解产生,在新鲜鱼肉中含量较低,但其是重要的风味活性物质,是作为食品滋味的重要组成部分^[29]。相较于鲜鱼组,各解冻组的游离氨基酸总量均显著性降低 ($P<0.05$),且各解冻组之间无显著性差异 ($P>0.05$),但水浴解冻组的游离氨基酸总量最高,说明相较于其他解冻组,水浴解冻的鱼肉能较好地保留其营养物质。

游离氨基酸通常呈现鲜味、苦味和甜味,其中谷氨酸和天冬氨酸属于鲜味氨基酸。由表中可得知,各解冻组的天冬氨酸含量和鲜鱼组无显著性差异 ($P>0.05$),但谷氨酸含量显著低于鲜鱼组 ($P<0.05$),其中水浴解冻组的天冬氨酸和谷氨酸含量均高于其他解冻组,最接近鲜鱼组。

鱼肉经水浴解冻后鲜味和甜味氨基酸含量均最高,最接近鲜鱼组,盐水解冻后鱼肉的总氨基酸含量和鲜味、甜味氨基酸含量均最低,可能是因为鱼肉浸泡在盐水中,加快了营养物质的流失。低温解冻、微波解冻及超声解冻后鱼肉各种呈味氨基酸差异不显著 ($P>0.05$)。结果表明鲈鱼经水浴解冻后能较好地保留滋味物质,与感官评价的滋味评分结果呼应。

表 4 不同解冻方式加州鲈鱼肉的氨基酸含量

Table 4 Amino acid content of <i>Micropterus salmoides</i> with different thawing methods							
氨基酸/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	低温解冻	水浴解冻	盐水解冻	微波解冻	超声解冻	鲜鱼	呈味
Asp	1.03 ± 0.09 ^c	2.39 ± 0.14 ^b	1.38 ± 0.33 ^c	1.31 ± 0.21 ^c	1.43 ± 0.11 ^c	3.16 ± 0.00 ^a	鲜味
Glu	142.40 ± 5.96 ^c	171.32 ± 0.08 ^b	99.48 ± 0.87 ^c	123.02 ± 0.85 ^d	136.54 ± 4.82 ^c	309.25 ± 3.24 ^a	鲜味
Ser	2.03 ± 0.24 ^b	0.58 ± 0.42 ^c	0.53 ± 0.07 ^c	2.56 ± 0.02 ^b	0.69 ± 0.11 ^c	6.26 ± 0.17 ^a	甜味
Ala	7.21 ± 0.34 ^b	7.49 ± 0.70 ^b	5.65 ± 0.35 ^c	6.60 ± 0.05 ^{bc}	5.68 ± 0.45 ^c	13.61 ± 0.21 ^a	甜味
Thr	3.53 ± 0.34 ^b	2.20 ± 0.84 ^c	1.70 ± 0.02 ^c	4.01 ± 0.06 ^b	2.26 ± 0.19 ^c	11.70 ± 0.26 ^a	甜味
Gly	9.13 ± 0.65 ^b	9.54 ± 0.16 ^b	6.00 ± 0.19 ^d	7.74 ± 0.01 ^c	6.80 ± 0.35 ^{cd}	31.07 ± 0.84 ^a	甜味
Cys	0.12 ± 0.03 ^{cd}	0.10 ± 0.05 ^d	0.20 ± 0.02 ^b	0.19 ± 0.03 ^{bc}	0.21 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.01 ^a	甜味
Pro	2.24 ± 0.57 ^c	0.23 ± 0.03 ^d	0.14 ± 0.09 ^d	2.99 ± 0.05 ^b	0.30 ± 0.03 ^d	8.56 ± 0.11 ^a	甜味
Val	2.44 ± 0.17 ^{bc}	3.39 ± 1.07 ^{ab}	1.43 ± 0.12 ^c	2.44 ± 0.15 ^{bc}	1.94 ± 0.35 ^c	4.67 ± 0.07 ^a	苦味
Met	0.96 ± 0.11 ^{bc}	1.20 ± 0.45 ^b	0.72 ± 0.16 ^{bc}	0.97 ± 0.03 ^{bc}	0.46 ± 0.10 ^c	3.22 ± 0.08 ^a	苦味
Ile	2.36 ± 0.14 ^b	1.33 ± 0.05 ^c	1.09 ± 0.04 ^c	2.08 ± 0.05 ^b	0.90 ± 0.35 ^c	3.02 ± 0.08 ^a	苦味
Leu	4.25 ± 0.21 ^b	3.03 ± 0.24 ^{cd}	2.61 ± 0.05 ^d	3.66 ± 0.19 ^{bc}	2.35 ± 0.55 ^d	5.26 ± 0.29 ^a	苦味
Tyr	1.63 ± 0.08 ^a	4.61 ± 3.34 ^a	1.11 ± 0.05 ^a	1.71 ± 0.01 ^a	1.07 ± 0.26 ^a	3.08 ± 0.35 ^a	苦味
Phe	1.41 ± 0.13 ^b	0.35 ± 0.14 ^{cd}	0.51 ± 0.00 ^c	1.50 ± 0.03 ^b	0.27 ± 0.04 ^d	2.46 ± 0.06 ^a	苦味
Lys	5.20 ± 0.03 ^c	5.82 ± 0.52 ^{bc}	4.15 ± 0.13 ^d	6.08 ± 0.09 ^b	5.30 ± 0.29 ^{bc}	28.28 ± 0.32 ^a	苦味
His	8.14 ± 0.07 ^c	1.26 ± 1.18 ^d	0.23 ± 0.14 ^d	10.69 ± 0.29 ^b	0.28 ± 0.08 ^d	39.34 ± 0.18 ^a	苦味
Arg	—	—	—	—	—	0.27 ± 0.02	苦味
总氨基酸含量	194.08 ± 9.16 ^c	214.84 ± 9.41 ^b	126.93 ± 2.63 ^c	177.55 ± 2.12 ^d	166.48 ± 8.09 ^d	473.90 ± 6.29 ^a	
鲜味氨基酸含量	143.43 ± 6.00 ^c	173.71 ± 0.19 ^b	100.86 ± 0.76 ^c	124.33 ± 0.70 ^d	137.98 ± 4.76 ^c	312.42 ± 3.24 ^a	
甜味氨基酸含量	24.26 ± 2.17 ^b	20.14 ± 2.20 ^c	14.22 ± 0.74 ^d	24.09 ± 0.22 ^b	15.94 ± 1.14 ^d	71.89 ± 1.60 ^a	
苦味氨基酸含量	26.39 ± 0.94 ^{bc}	20.99 ± 6.99 ^c	11.85 ± 0.69 ^d	29.13 ± 0.84 ^b	12.57 ± 2.02 ^d	89.60 ± 1.45 ^a	

注：不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ），“—”表示未检测出。

表 5 不同解冻方式加州鲈鱼肉的呈味核苷酸含量

Table 5 Flavor nucleotide content of <i>Micropterus salmoides</i> with different thawing methods							
核苷酸/(mg/100 g)	低温解冻	水浴解冻	盐水解冻	微波解冻	超声解冻	鲜鱼	呈味
Hx 次黄嘌呤	9.69 ± 0.98 ^c	15.52 ± 1.60 ^a	13.63 ± 2.94 ^{abc}	14.58 ± 0.72 ^{ab}	16.12 ± 2.02 ^a	10.22 ± 0.19 ^{bc}	苦味（-）
HxR 肌苷	106.60 ± 17.79 ^c	160.85 ± 7.05 ^{bc}	130.52 ± 2.50 ^d	172.45 ± 11.33 ^{ab}	190.76 ± 11.24 ^a	146.18 ± 2.75 ^{cd}	苦味（-）
5'-腺苷酸 5-AMP	8.95 ± 1.26 ^a	11.27 ± 1.77 ^a	10.27 ± 1.07 ^a	10.58 ± 0.65 ^a	10.99 ± 0.83 ^a	9.48 ± 0.10 ^a	甜味（+）
5'-肌苷酸 5-IMP	62.29 ± 0.35 ^a	20.70 ± 3.04 ^b	18.85 ± 2.32 ^b	19.27 ± 4.29 ^b	17.05 ± 5.27 ^{bc}	9.84 ± 0.28 ^c	鲜味（+）

注：同一行上标不同小写字母者表示差异显著（ $P<0.05$ ）；滋味贡献：（+）表示正效应，（-）表示负效应。

2.6 呈味核苷酸分析

由表 5 可知，除了盐水解冻以外，其他解冻组的核苷酸总量都比鲜鱼样品高，可能是因为冷冻过程中产生了冰晶，对细胞的结构造成了一定的破坏，在解冻的过程中释放出了更多原本结合在其他大分子上的核苷酸。作为海产品中重要的鲜味物质，核苷酸可以与谷氨酸协同增效^[30]，显著增强海产品的鲜味，使海产品的口感更加丰富和醇厚。有研究显示，5'-肌苷酸（5-IMP）是许多鱼类和贝类中风味贡献最大的核苷酸^[31,32]，可以提供独特的鲜味^[33]和甜味^[34]，在各解冻组中，低温解冻组的 5-IMP 含量最高，达 62.29 mg/100 g，Wang 等^[35]也发现经低温解冻后的罗非鱼的 5-IMP 含量高于其它解

冻组。5'-腺苷酸（5-AMP）可以结合 5-IMP 提高食品的整体鲜味，且可以抑制苦味，赋予食品较好的咸味和甜味，水浴解冻组的鱼片 5-AMP 含量最高，且 5-IMP 含量仅次于低温解冻组，在氨基酸含量上，水浴解冻组的鲜味氨基酸含量在解冻组中最高，与 5-AMP 和 5-IMP 结合，能提升鱼肉中的鲜甜味。但随着腺苷三磷酸（ATP）的降解，次黄嘌呤（Hx）和肌苷（HxR）会得到释放并积累，Hx 的积累会使肉的味道得到增强^[36]，但两者含量过高会使鱼片新鲜度下降，感官品质劣化。表 5 中显示，低温解冻组的 Hx 和 HxR 含量均最低，说明低温解冻可以使加州鲈鱼保持较好的新鲜度，而水浴解冻组的鱼肉会有良好的鲜甜味。

表 6 不同解冻方式加州鲈鱼肉的有机酸含量

Table 6 Organic acid content of <i>Micropterus salmoides</i> with different thawing methods						
有机酸/(mg/100 g)	低温解冻	水浴解冻	盐水解冻	微波解冻	超声解冻	鲜鱼
草酸	17.63 ± 3.80 ^{bc}	17.20 ± 1.22 ^{bc}	10.86 ± 0.63 ^c	23.96 ± 3.03 ^b	23.12 ± 5.64 ^b	67.99 ± 7.36 ^a
酒石酸	260.71 ± 2.57 ^b	279.32 ± 10.58 ^b	263.35 ± 17.65 ^b	318.29 ± 15.72 ^a	273.94 ± 15.40 ^b	316.66 ± 5.78 ^a
丙酮酸	85.66 ± 5.36 ^a	104.39 ± 12.34 ^a	36.40 ± 0.62 ^b	104.98 ± 16.08 ^a	97.80 ± 11.53 ^a	91.35 ± 10.60 ^a
乳酸	45.81 ± 4.19 ^c	34.44 ± 9.07 ^c	36.63 ± 0.55 ^c	74.25 ± 12.00 ^b	79.24 ± 3.54 ^b	128.08 ± 20.23 ^a
琥珀酸	122.23 ± 78.82 ^a	57.81 ± 32.71 ^{ab}	44.01 ± 2.09 ^b	67.80 ± 27.61 ^{ab}	46.09 ± 8.96 ^b	26.28 ± 5.06 ^b
总含量	532.04 ± 94.74 ^{bc}	493.16 ± 65.92 ^{bc}	391.25 ± 21.54 ^c	589.28 ± 74.44 ^b	520.19 ± 45.07 ^b	630.36 ± 49.03 ^a

注：同一行上标不同小写字母者表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.7 有机酸分析

如表 6 所示，不同解冻方式的鱼肉样品中共检测出草酸、酒石酸、丙酮酸、乳酸和琥珀酸等五种有机酸，其中乳酸和琥珀酸是海产品中主要的味觉有机酸，在海产品中主要呈现特殊的酸味和鲜味^[37]。从总含量上看，所有解冻组的有机酸含量都显著低于鲜鱼组，微波解冻组最接近鲜鱼组，盐水解冻组最低，但所有解冻组之间没有显著差异，说明冷冻与解冻都会对鱼肉中有机酸含量产生较大影响，但与解冻方式没有较大关系。在鲜鱼样品中，乳酸含量显著高于解冻组，其中水浴解冻组的鱼肉乳酸含量最低，有研究发现，经过热处理后的牡蛎中乳酸的含量会显著降低（ $P<0.05$ ）^[38]，可以减少鱼肉中因乳酸积累过多导致的酸涩感。低温解冻组的琥珀酸含量最高，为 122.23 mg/100 g，与微波解冻组和水浴解冻组之间无显著差异。

3 结论

本研究比较分析了低温、水浴、盐水、微波和超声五种解冻方式下加州鲈食用品质的变化。结果表明，盐水解冻对加州鲈理化性质和风味的影响较大，感官评分低，保水性差，鲜味物质流失较多；低温解冻的加州鲈鱼解冻损失率最小，水分分布情况与鲜鱼较为接近，5'-肌苷酸含量和琥珀酸含量最高，但解冻时间较长，在即食性解冻上有一定的局限性；超声解冻和微波解冻的解冻时间较短，两者的保水性在解冻组中处于中间水平，超声解冻组的水分分布情况与鲜鱼组最接近，但感官评价中色泽评分最低，且通常需要特定的仪器，不适合大规模的解冻；水浴解冻后的鱼肉持水率最高，pH 最接近鲜鱼，且感官评价总分最高，总氨基酸含量也高于其他解冻组，其中最重要的鲜味、甜味氨基酸含量也最高，5'-肌苷酸与 5'-腺苷酸的协同增效作用会赋予其更好的鲜甜味，具有最高的鲜味品质，且操作简单、快速，适宜作为加州鲈的解冻方

式，但仍存在一定的问题，如解冻温度较高、时间相对较久等。未来研究中可继续探索对于不同的解冻方式的解冻效率，针对本研究中解冻效果较好的水浴解冻，可继续研究不同的水浴温度和时间对加州鲈食用品质的影响，探索出更好的解冻工艺。

参考文献

[1] 孙光全,冯耀泽,朱明,等.面向长途冷链下不同冷冻方式对大口黑鲈品质的影响[J].农业工程学报,2023,39(24):316-326.

[2] 中国水产学会农业农村部渔业渔政管理局全国水产技术推广总站.2024中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2024.

[3] 张昕.不同解冻工艺对鸡胸肉品质的影响[D].南京:南京农业大学,2017.

[4] ZHANG Y L, IU G S, XIE Q W, et al. A comprehensive review of the principles, key factors, application, and assessment of thawing technologies for muscle foods [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2023, 22(1): 107-134.

[5] 刘蒙佳,周强,戴玉梅,等.不同解冻方法及添加抗冻剂处理对冷冻海鲈鱼片解冻品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(8): 210-218.

[6] 马翼飞,刘欢,单钱艺,等.不同解冻方式对小黄鱼品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(1):222-228.

[7] 郭恒,钱怡,李颖杰,等.解冻温度对冷冻鲈鱼品质、质构及超微结构的影响[J].中国食品学报,2014,14(12):49-56.

[8] 曹珠,沈鑫杰,施文正.不同解冻方式对金枪鱼肉品质的影响[J].包装工程,2023,44(21):169-175.

[9] SUN Y, LUO W W, HE M G, et al. Effects of different thawing methods on the physicochemical properties and myofibrillar protein characteristics of *Litopenaeus vannamei* [J]. LWT, 2024, 192: 115668.

[10] JIN H B, CHEN J H, ZHANG L S, et al. Impact of phosphates on heat-induced egg white gel properties: Texture, water state, micro-rheology and microstructure [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 110: 106200.

[11] 黄莉,胡颜寓,任中阳,等.腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质和烤制品品质的影响[J].中国食品学报,2024,24(1):209-219.

[12] 葛智勤,陈哲,余达威,等.油炸预制鱼冷冻复热过程中的品质变化[J].食品工业科技,2024,45(4):267-272.

[13] 邱泽慧,郑尧,王锡昌.解冻方式对养殖暗纹东方鲀持水性及质构特性的影响[J].食品科学,2022,43(17):56-63.

- [14] PEI F, SHI Y, GAO X Y, et al. Changes in Non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during different stages of freeze drying and freeze drying combined with microwave vacuum drying [J]. Food Chemistry, 2014, 165: 547-554.
- [15] 林恒宗,梁志源,秦小明,等.基于GC-MS鉴别活体太平洋牡蛎不同流通阶段气味特征变化[J].食品科学,2023,44(2):279-287.
- [16] 全满洋,张怡,刘宝林,等.不同解冻方式对金枪鱼品质特性的影响[J].上海海洋大学学报,2024,33(5):1283-1291.
- [17] 王晋,高学慧,陈云云,等.解冻方式对船载超低温鲑鱼肌肉保水性及品质的影响[J].食品与机械,2022,38(9):159-164,197.
- [18] 万海伦,应晓国,赵波,等.不同解冻方式对生食鱼片解冻品质的影响[J].食品科学,2022,43(15):227-235.
- [19] SUN Y, LUO W W, HE M G, et al. Effects of different thawing methods on the physicochemical properties and myofibrillar protein characteristics of *Litopenaeus vannamei* [J]. LWT, 2024, 192: 115668.
- [20] R A MANCINI, M C Hunt. Current research in meat color [J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121.
- [21] SUN Q X, ZHAO X X, ZHANG C, et al. Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels [J]. LWT, 2019, 108: 106-112.
- [22] 褚筱然,王海洁,杜鹏飞,等.不同解冻方式对驴肉品质特性的影响[J].山东农业科学,2024,56(2):131-137.
- [23] 刁华玉,林松毅,梁瑞,等.南极磷虾肉冻融循环过程水分的迁移及微观结构变化[J].中国食品学报,2022,22(6):242-250.
- [24] L P KELLY, R KATJA, J A HENRIK, et al. Water distribution and mmobility 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.
- [25] CHEN Y N, LI M, DHARMASIRI S K, et al. Novel ultrasonic-assisted vacuum drying technique for dehydrating garlic slices and predicting the quality properties by low field nuclear magnetic resonance [J]. Food Chemistry, 2020, 306: 125625.
- [26] 朱文政,槐雪,赵赵,等.不同解冻方式的狮子头调理食品品质比较[J].现代食品科技,2024,40(12):281-288.
- [27] YANG F, JING D T, YU D W, et al. Differential roles of ice crystal,endogenous proteolytic activities and oxidation in softening of obscure pufferfish (*Takifugu obscurus*) fillets during frozen storage [J]. Food Chemistry, 2018, 278: 452-459.
- [28] 尚佳宇,徐祥,徐大伦,等.解冻方式对炆蟹食用品质的影响[J].食品科学,2024,45(6):192-198.
- [29] MÓNICA ARMENTEROS, MARÍA-CONCEPCIÓN ARISTOY, JOSÉ MANUEL BARAT, et al. Biochemical and sensory changes in dry-cured ham salted with partial replacements of NaCl by other chloride salts [J]. Meat Science, 2011, 90(2): 361-367.
- [30] WANG L H, QIAO K N, DING Q, et al. Effects of two cooking methods on the taste components of sanhuang chicken and black-bone silky fowl meat [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(11): e13772.
- [31] DUAN Z L, ZHOU Y G, LIU W J, et al. Variations in flavor according to fish size in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2020, 526: 735398.
- [32] LIU C S, GU Z F, LIN X X, et al. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) and storage temperature on bacterial counts, color change, fatty acids and non-volatile taste active compounds of oysters (*Crassostrea ariakensis*)[J]. Food Chemistry, 2022, 372: 131247.
- [33] LI B, BENARD MUINDE KIMATU, PEI F, et al. Non-volatile flavour components in lentinus edodes after hot water blanching and microwave blanching [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 20(sup3): S2532-S2542.
- [34] YUN S, CHEN G S, CAO Z J, et al. comparison of biochemical composition and non-volatile taste active compounds of back and abdominal muscles in three marine perciform fishes, *Chromileptes altivelis*, *Epinephelus akaara* and *Acanthopagrus schlegelii* [J]. Molecules, 2022, 27(14): 4480.
- [35] WANG H, WANG Y, XU K, et al. Changes in water-soluble taste compounds of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets subjected to different thawing methods during long-term frozen storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2024, 104(12): 7204-7213.
- [36] YANG L, DAI B, CHARFEDINNE AYED, et al. Comparing the metabolic profiles of raw and cooked pufferfish (*Takifugu flavidus*) meat by NMR assessment [J]. Food Chemistry, 2019, 290: 107-113.
- [37] ZHANG Y, MA X, DAI Z. Comparison of nonvolatile and volatile compounds in raw,cooked,and canned yellowfin tuna (*Thunnus albacores*) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(10): 14111.
- [38] 王晓谦.超高压加工牡蛎产品工艺技术研究[D].湛江:广东海洋大学,2015.