

脱腥方式对白鲢鱼鳞冻风味特性的影响

黄泽南, 孙若文, 熊善柏, 尹涛*, 尤娟, 胡杨

(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070)

摘要: 为改善鱼鳞冻的风味品质, 将白鲢鱼鳞经脱腥(臭氧、醋、淀粉、超声、酵母)制成鱼鳞冻, 采用感官评价、电子鼻分析、顶空固相微萃取(Headspace Solid-Phase Microextraction, HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)研究不同脱腥方式对鱼鳞冻风味特性的影响。经超声、酵母、醋、臭氧和淀粉处理后, 鱼鳞冻的感官腥味值分别为2.60、1.80、3.00、4.10、1.40。对鱼鳞冻的电子鼻检测数据进行判别因子分析, 发现经不同脱腥处理的样品有显著性差异, 其中超声组、酵母处理组跟清水组相距最远, 脱腥效果较好。通过气相色谱-质谱定性定量分析, 各处理组共检测出132种风味物质, 其中淀粉、超声、酵母、醋、臭氧处理分别鉴定出28、24、32、51和36种挥发性化合物, 均低于清水对照组的64种。检测出的挥发性物质中, 对腥味贡献值较大的有(E,E)-2,4-庚二烯醛、己醛、(E)-2-己烯醛、辛醛等。酵母处理可以脱除全部胺类物质, 并且对其他几种腥味物质的脱除最明显; 综合比较, 酵母法是鱼鳞冻腥味脱除最适宜的方式。

关键词: 白鲢; 鱼鳞冻; 脱腥; 电子鼻; 顶空固相微萃取-气质联用法

文章编号: 1673-9078(2023)02-45-54

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0668

Effects of Deodorization Methods on the Flavor Characteristics of Silver Carp Fish Scale Jelly

HUANG Zenan, SUN Ruowen, XIONG Shanbai, YIN Tao*, YOU Juan, HU Yang

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To improve the flavor and quality of fish scale jelly, silver carp fish scales were subjected to deodorization (ozone, vinegar, starch, ultrasound, and yeast) and used to prepare fish scale jelly. The effects of different deodorization methods on the flavor characteristics of the fish scale jelly were studied through sensory evaluation, electronic nose test, and headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Following treatment with ultrasound, yeast, vinegar, ozone, and starch, the sensory values of the fishy odor of fish scale jelly were 2.60, 1.80, 3.00, 4.10, and 1.40 respectively. Discriminant factor analysis on electronic nose test results of fish scale jelly revealed significant differences among samples subjected to different deodorization treatments. Among these, the ultrasonic group, yeast treatment group, and clear water group were the farthest apart, indicating a better deodorization effect. Through qualitative and quantitative analysis with GC-MS, 132 flavor compounds were detected in each treatment group, of which respectively 28, 24, 32, 51, and 36 volatile compounds were identified in the starch, ultrasonic, yeast, vinegar, and ozone treatment groups. All these numbers were lower than the number of volatile compounds in the clear water control group (64). Among the detected volatile substances, those with a larger contribution to the fishy odor included (E,E)-2,4-heptadienal, hexanal, (E)-2-hexenal, and octanal. Yeast treatment removed all amine substances, and the removal of several other fishy substances was the most obvious. In comprehensive comparison, yeast treatment was the most suitable method to remove the fishy odor from fish scales.

Key words: silver carp; fish scale jelly; deodorization; electronic nose; headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry

引文格式:

黄泽南,孙若文,熊善柏,等.脱腥方式对白鲢鱼鳞冻风味特性的影响[J].现代食品科技,2023,39(2):45-54

HUANG Zenan, SUN Ruowen, XIONG Shanbai, et al. Effects of deodorization methods on the flavor characteristics of silver carp fish scale jelly [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 45-54

收稿日期: 2022-05-25

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2020BBA048); 国家现代农业产业技术体系专项项目(CARS-45-28)

作者简介: 黄泽南(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程, E-mail: huangzenan@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 尹涛(1986-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工及贮藏工程, E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn

白鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 是我国淡水养殖的“四大家鱼”之一, 2020 年全国淡水养殖产量为 381.3 万 t, 在四大家鱼中仅次于草鱼; 湖北省产量为 57.1 万 t, 位居各省区之首^[1]。鱼鳞作为下脚料之一一年产量巨大, 我国每年在加工过程中约产生 30 万 t 鱼鳞^[2]。通常情况下, 鱼鳞被直接丢弃, 造成环境污染和渔业资源浪费; 或者被加工为饲料, 经济价值低; 还可能被加工为胶原蛋白等明胶类产品, 但具有工序繁琐、产品多样性有限和污染环境等问题。鱼鳞中富含胶原蛋白和人体必需的营养素^[3], 如磷质蛋白、磷脂质等; 将鱼鳞加工成鱼鳞冻, 不仅可以较好地保留鱼鳞中的营养物质, 同时具有美容抗衰老的功效。

鱼鳞冻是对鱼鳞中提取出的明胶进行静置、冷凝, 制成的凝胶状产品, 富含可溶性胶原。把鱼鳞加工成鱼鳞冻, 工序简便、原料充足、成本不高, 既能充分使用鱼鳞副产物, 减少污染且节约资源, 同时又为鱼鳞的增值创造新途径, 提高白鲢鱼产品的附加值, 促进水产品行业发展。顾杨娟^[4]研究草鱼鱼鳞冻的制备优化工艺, 通过研究冻力、质构等指标, 得出酸处理、酶处理、热处理的最佳工艺条件。朱兆娜^[5]采用超高压技术, 把草鱼鱼糜制成的鱼冻鲜嫩且商业无菌, 建立超高压加工鱼冻的新工艺, 确定贮藏条件、建议食用方法。然而, 鱼鳞冻的腥味较重, 一些消费者难以接受, 这对白鲢鱼鳞冻加工产业的发展造成了一定的阻碍。因此, 探究如何高效去除腥味物质是目前白鲢鱼鳞冻产业发展的迫切需要。

鱼腥味主要是由于腥味物质在水环境中积累^[6]、鱼类体内脂类氧化或酶促反应形成^[7]。辛醛、癸醛和 2,4-癸二烯醛等羰基化合物是造成鱼体腥味的重要原因。(Z)-4-庚烯醛、己醛、醇、酮、硫醚、萜和呋喃类物质等都对腥味有贡献^[8]。目前鱼类的脱腥方法主要分为物理、化学及生物方法^[9]。物理方法包括流水暂养法^[10]、吸附法^[11]、感官掩蔽法^[12]、包埋法等, 化学方法包括盐溶法、酸碱盐处理法、抗氧化剂法、美拉德反应法^[13,14]、臭氧脱腥法^[15], 生物方法包括摄食法、酵母法、微生物(酶)法、饲料法等。欧阳伟虹等^[16]将电子鼻与感官评价相结合, 比较了酵母抽提物与其他脱腥剂对小黄鱼体内腥味物质的脱除作用, 研究发现酵母抽提物脱腥效果较好; 沈艳奇^[17]先将小黄鱼进行湿法脱腥处理, 结果表明 2% 的葱姜、大蒜, 1% 的料酒对鱼腥味的去除效果最好, 并赋予小黄鱼特有的香味。然而, 目前适用于鱼鳞冻加工的鱼鳞脱腥方法方面的报道较为少见。张芷芸等^[18]主要研究高凝胶强度鱼鳞冻的制备工艺, 比较不同食用胶配比对鱼鳞冻凝胶强度的影响; 认为食用胶能增加鱼鳞冻凝胶的强

度, 调味料能改善鱼鳞冻的腥味, 得出食用胶、调味料各自的最佳配方。

因此, 本实验拟采用感官评定、电子鼻分析、HS-SPME-GC-MS 分析三种实验方法, 探究物理法(包括醋浸泡法、超声清洗法)、化学法(臭氧漂洗法、淀粉清洗法)及生物法(酵母发酵法)对鱼鳞冻腥味物质脱除的效果, 确定最佳脱腥方法, 以期鱼鳞冻品质提升和白鲢鱼鳞深加工产业发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白鲢鱼鳞, 购于洪湖市井力水产食品股份有限公司, 清水漂洗干净后备用。

卡拉胶, 滕州市香凝生物工程有限责任公司; 陈醋, 山西紫林醋业股份有限公司; 马铃薯淀粉, 武汉市太阳行食品有限责任公司; 活性干酵母, 安琪酵母股份有限公司。

1.2 主要仪器设备

HH-4 数显恒温水浴锅, 上海力辰邦西仪器科技有限公司; YP 30002 电子天平, 上海衡际科学仪器有限公司; P3 超声波清洗机, 广东固特超声(GT Sonic)股份有限公司; GCQJ-1-3 电解式高浓度臭氧气机, 武汉威蒙环保科技有限公司; Fox 4000 电子鼻, 法国 Alpha MOS 公司; 7890A-5975C GC-MS 联用仪, 美国 Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 白鲢鱼鳞冻的制作工艺

工艺流程:

鱼鳞清洗→不同方式的脱腥处理→热水提胶→过滤→凝结→冷藏

鱼鳞清洗后, 除去表面的黏液和血迹, 经过不同方式的脱腥处理后, 用清水漂洗干净沥干备用。将脱腥处理后的鱼鳞置于烧杯中, 加入 1:4 比例的水和 0.8% 的卡拉胶, 用保鲜膜覆盖防止水分蒸发, 在 90 °C 水浴锅中熬煮 90 min 后, 过滤滤液, 冷却后包装置于 4 °C 环境中冷藏。

以清水漂洗为对照, 采用的 5 种脱腥处理方法如下:

(1) 醋脱腥: 参考邢贵鹏等^[19]的方法, 添加 5% 的醋, 置于室温下处理 45 min;

(2) 酵母脱腥: 参考苏怡等^[20]的方法, 添加 0.2% 的酵母, 控制 30 °C 的反应温度, 处理 40 min;

(3) 超声清洗: 将鱼鳞添加适量水, 控制功率为

30 W, 在超声波清洗机中反应 30 min;

(4) 臭氧处理: 参考王燕等^[15]的方法, 控制臭氧浓度为 8 mg/L, 取适量臭氧水浸泡 20 min;

(5) 淀粉清洗: 参考雷镇欧等^[21]的方法, 添加 14% 的淀粉, 于室温条件下静置 30 min。

1.3.2 感官评价

感官评定小组由 10 名经过培训、有感官评定经验的同学组成, 根据表 1 中的感官评分表在室温下对鱼鳞冻样品进行评分, 以两种处理的样品腥味值为参考进行打分, 清水漂洗后制成的鱼鳞冻分值为 5 分, 腥味值最重, 清水和卡拉胶熬煮得到的样品腥味值为 0 分, 腥味值最低。将评分取平均值, 结果根据实际情况保留小数点后两位, 根据评分结果判断脱腥效果。

表 1 感官评分标准表^[20]

Table 1 Sensory scoring criteria table		
指标	评价标准	评分/分
气味	腥味很重	5
	腥味较重	4
	腥味一般	3
	腥味较轻	2
	腥味很轻	1
	无腥味	0

1.3.3 电子鼻

表 2 电子鼻传感器性能描述

Table 2 Sensor properties of PEN3 electronic nose		
序号	传感器名称	敏感物质名称
1	LY2/LG	氯、氟、氮氧化合物、硫化物
2	LY2/G	氨、胺类化合物、氮氧化合物
3	LY2/AA	乙醇、丙酮、氨
4	LY2/Gh	氨、胺类化合物
5	LY2/gCTI	硫化物
6	LY2/gCT	丙烷、丁烷
7	T30/1	极性化合物、氯化氢
8	P10/1	非极性; 碳氢化合物、氨、氯
9	P10/2	非极性; 甲烷、乙烷
10	P40/1	氟、氯
11	T70/2	甲苯、二甲苯、一氧化碳
12	PA/2	乙醇、氨水、胺类化合物
13	P30/1	碳氢化合物、氨、乙醇
14	P40/2	氯、硫化氢、氟化物
15	T40/2	氯
16	T40/1	氟
17	TA/2	乙醇

参照陈东清等^[22]的方法进行电子鼻分析。样品制备: 准确称取 3.00 g 鱼鳞冻样品于 10 mL 电子鼻进样

瓶中, 加盖密封放入冰箱冷藏, 待用。每个样品进行三次平行实验。参数设置: 顶空产生温度为 50 ℃; 产生时间 120 s; 振荡速度 500 r/min; 总获取时间 120 s; 获取间隔时间 1 s; 获取延滞时间 300 s; 注射体积 1.5 mL; 注射速度 1.5 mL/s; 进样针温度 60 ℃; 载气: 合成干燥空气; 流速: 150 mL/min。

1.3.4 HS-SPME-GC-MS 检测

HS-SPME 法提取挥发性风味组分, 参考张慧敏^[23]的方法, 作部分修改。取 10.0 g 斩碎的鱼鳞冻放入 20 mL 顶空气相瓶中, 加入 1 μL 内标物环己酮(1 g/L), 再加入 10 mL 饱和氯化钠溶液混合均质后, 放入微型磁力搅拌转子, 用聚四氟乙烯隔热垫密封。将完成活化的 DVB/CAR/PDMS 50/30 μm 萃取头插入顶空瓶中, 并置于振荡加热搅拌器中, 60 ℃ 下平衡 3 min 后顶空吸附 50 min; 再将萃取头插入 GC 进样口, 解吸 5 min。

参考吴丹等^[24]的方法, 设置色谱条件为: 进样口温度 250 ℃, 载气 (He) 流量 1 mL/min, 不分流; 色谱柱: HP-5; 柱箱升温程序: 柱初始温度 40 ℃, 保持 3 min, 以 3 ℃/5 min 升高至 200 ℃, 保持 2 min, 再以 50 ℃/min 升至 250 ℃, 保持 5 min。质谱条件: 传输线温度 280 ℃, 离子源温度 230 ℃, 四极杆温度 150 ℃; 电子能量 70 eV; 质谱扫描范围 m/z , 35~450; 扫描速率: 2.0 scans/s。结果采用 NIST11 和 Willey 7 进行检索分析, 参考各化合物的保留时间和质谱图分析确定每种化合物的名称。利用峰面积归一法计算各种挥发性组分的相对含量。

样品中挥发性成分的含量按下式计算:

$$c_n = \frac{A_n W_i}{A_i W} \quad (1)$$

式中:

c_n ——样品中挥发性成分的含量;

A_n ——挥发性成分的峰面积;

A_i ——内标物的峰面积;

W_i ——内标物的质量, μg;

W ——样品的质量, kg。

1.3.5 数据分析

采用 SPSS 26.0 软件对相关数据进行 ANOVA 单因素方差分析, 结果以平均值±标准差表示; 采用 Origin 2019b 进行整理数据及绘制图表。

2 结果与讨论

2.1 感官评价结果

由表 3 可知, 经超声清洗后的鱼鳞冻腥味值为 2.60, 酵母处理后的样品腥味值为 1.80, 醋浸泡后的

样品为 3.00, 臭氧组腥味值为 4.10, 淀粉组为 1.40。结果表明, 这 5 组处理方式均有脱腥效果。使用超声脱腥时可能是由于超声波的空化作用, 使腥味物质膨胀破碎, 脱除腥味物质^[25]。使用酵母发酵的机理可能是由于酵母中的酶可以把腥味物质转化为无臭物质, 也可能是由于酵母本身可以吸附腥味物质^[26]。使用醋脱腥是由于醋本身的味道可以遮掩鱼鳞冻的腥味, 且鱼鳞冻中碱性挥发性成分和醋酸发生中和反应^[27]。作为强氧化剂, 臭氧能够与有腥味有机物, 如醛类、胺类、吡啶等发生反应, 将其分解为无腥味物质或者腥味阈值高的物质^[28]。超声、酵母处理的脱腥效果较好, 其次为淀粉, 较差的为臭氧和醋。苏怡等^[20]以鲟鱼肉为原料, 分析了盐溶法、酵母法等方法脱腥效果, 发现酵母法脱腥效果最好, 与本实验结果相似。

表 3 感官评价结果

Table 3 Sensory evaluation results		
编号	脱腥方式	评分/分
1	超声处理	2.60±1.43 ^{bc}
2	酵母处理	1.80±0.98 ^{bc}
3	醋处理	3.00±1.34 ^{ab}
4	臭氧处理	4.10±0.83 ^a
5	淀粉处理	1.40±0.66 ^c
6	清水对照组	5.00

注: 同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$)。

2.2 电子鼻分析结果

雷达图分析在电子鼻相关研究中应用广泛, 能揭示传感器阵列对不同样本响应强度的总体和个体差异。不同脱腥处理得到的鱼鳞冻对传感器的响应值雷达图如图 1 所示, P、T 两类传感器对鱼鳞冻具有较高的响应值, 包括乙醇、氨水、胺类物质等; LY 型传感器对样品的响应值均较低, 如氯、氟、氮氧化合物等。

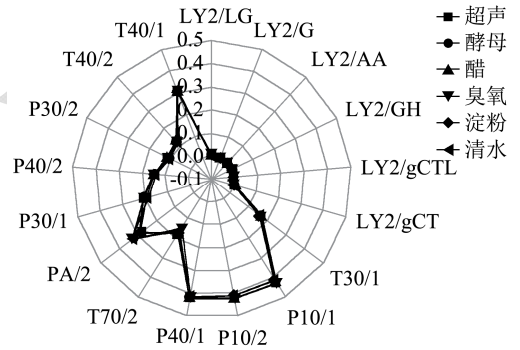


图 1 不同脱腥处理后鱼鳞冻的电子鼻雷达图

Fig.1 Electronic nose radar image of fish scale jelly after different deodorization treatments

经过酵母、超声脱腥处理的鱼鳞冻和清水漂洗的

样品风味轮廓之间存在显著差异, 响应值变化较明显的传感器分别是 PA2、T30/1、T70/2 和 P30/1, 这说明这两种脱腥方法可显著降低鱼鳞冻中的胺类化合物、乙醇、氨等物质。即脱腥处理对鱼鳞冻腥味的脱除有一定的作用, 其中酵母的效果更明显。王浩田等^[29]采用酵母粉发酵法、 β -CD 包埋法、水漂洗法、活性炭吸附法四种方法分析比较鲟鱼肉的腥味值, 以酵母粉发酵脱腥为最佳脱腥方法, 与本实验结果相似。

DFA 法使用较少的因子数描述多个因素的联系与差异, 对样品间的差异较 PCA 有更好的区分度^[24]。对鱼鳞冻的电子鼻检测数据进行 DFA, 结果见图 2。鱼鳞冻 DF1 贡献率达到了 95.28%, 大于 90%, 说明 DF1 包含足够多的信息, 可以全面反映样本的信息。处理组间没有重叠部分, 说明不同脱腥处理后制得的鱼鳞冻挥发性气味差异明显。由图 2 可知, 对比不同脱腥处理的鱼鳞冻样品与对照组之间的距离, 超声处理组和酵母处理组与对照组距离最远, 其次为醋处理组和臭氧处理组, 淀粉处理组最近, 说明超声和酵母组脱腥效果较好。醋和臭氧组较差。电子鼻结果与感官结果大致相同, 存在部分误差可能是与实验人员感官存在主观性、产品批次不一样有关。

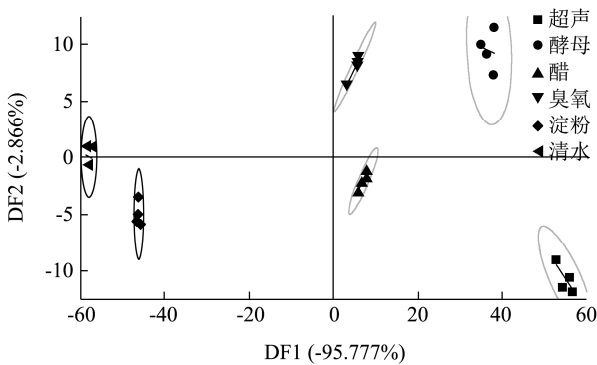


图 2 不同处理后鱼鳞冻判别因子分析二维图

Fig.2 Two-dimensional analysis of discriminant factor analysis of fish scale jelly after different treatments

2.3 HS-SPME-GC-MS 检测结果

图 3 为各样品经 HS-SPME-GC-MS 分析得到的总离子流图。表 4 为对照组以及五种脱腥处理后鱼鳞冻的挥发性风味成分。如表 4 所示, 不同脱腥处理后的鱼鳞冻共鉴定出 132 种挥发性成分, 其中醛类和酯类均为 14 种, 醇类 27 种, 酮类物质 19 种, 酸类 4 种, 烯烃和烷烃类物质分别为 16、13 种, 胺类物质 19 种, 其他物质 6 种。经过不同脱腥处理后, 淀粉组、超声组、酵母组、醋处理组、臭氧组分别鉴定出 28、24、32、51 和 36 种挥发性化合物, 均低于清水对照组 (64 种), 说明采取的脱腥方式均能不同程度地脱去鱼鳞冻中的

挥发性物质。酵母组中消除的主要风味物质包括醇类、胺类、醛类 3 类，超声除去的主要是酯类、醛类、酸类

3 类；其中酵母处理消除的物质与吴建中等^[30]、曾文浩等^[31]、欧阳伟虹等^[16]的结果均存在一定程度的相似。

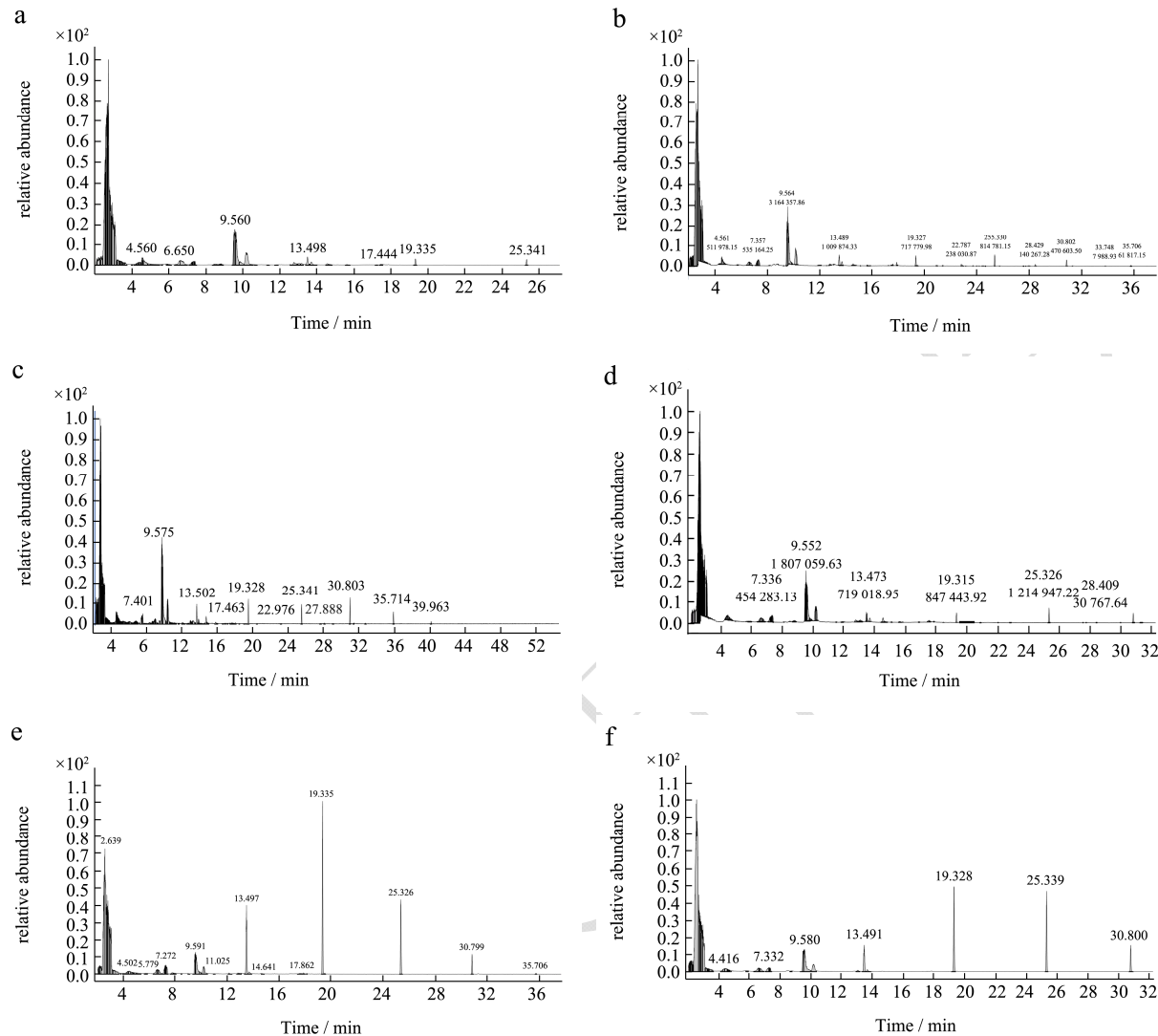


图 3 不同脱腥处理后鱼鳞冻挥发性成分的总离子图

Fig.3 Total ion diagram of volatile components in fish scale jellyafter different deodorization treatments

注：a：清水处理；b：淀粉处理；c：超声处理；d：酵母处理；e：醋处理；f：臭氧处理。

表 4 不同处理样品的 HS-SPME-GC-MS 分析结果

Table 4 HS-SPME-GC-MS analysis results of samples with different treatments

序号	类别	物质名	保留时间/min	清水(对照组)/%	淀粉/%	超声/%	酵母/%	醋/%	臭氧/%
1	醛类	2-壬烯醛	3.34	1.26					
2		(E,E)-2,4-庚二烯醛	3.54	1.53				3.22	0.89
3		3-环己烯-1-甲醛	3.76	1.26					
4		(E)-2-己烯醛	4.61	0.96					
5		S-氧化物丙炔醛	5.66					3.14	1.40
6		S-氧化丙硫醛	5.73	0.96		0.68			
7		α -(甲氧基亚甲基)-4-硝基-苯乙醛	7.24	1.30					
8		糠醛	7.78					1.42	
9		5-甲基-2H-四唑-2-乙醛	8.98	0.86	0.18	1.51	1.54	1.20	1.01

续表 4

序号	类别	物质名	保留时间/min	清水(对照组)/%	淀粉/%	超声/%	酵母/%	醋/%	臭氧/%
10		己醛	9.57	2.17					
11		辛醛	14.57	1.33					
12		庚醛	15.17					0.89	
13		苯乙醛	15.70	1.75					
14		十四烷醛	26.66	0.69					
1		α -(1-氨基乙基)-苯甲醇	2.24	1.59				13.30	7.46
2		环丁醇	2.27						10.99
3		N-氧化-2-(二乙氨基)-乙醇	4.28	0.62				0.90	
4		1,1-二氧化四氢-噻吩-3-醇	4.40	0.97					
5		3-己炔-2-醇	4.74					2.02	
6		2-胍乙醇	5.33						2.07
7		4-甲基-2,3-己二烯-1-醇	10.20	0.62	22.03	15.60	2.82	2.27	
8		3,3-二甲基-4,5-庚二烯-2-醇	10.25		10.15				
9		1-己烯-3-醇	12.76				3.20		
10		(Z)-2-戊烯-1-醇	12.77		2.41	1.55			
11		3-甲基-4-戊烯-1-醇	13.08		0.52	4.91	2.26	0.78	2.05
12		2,2-二甲基-3,4-戊二烯-1-醇	13.21			8.99	1.41	1.09	0.66
13		5-甲基-1,5-己二烯-3-醇	13.96					0.88	
14	醇类	2-己烯-1-醇	14.52						1.03
15		1-庚炔-3-醇	14.59	1.36					
16		3-环己烯-1-醇	14.77	0.81					
17		(Z)-3-庚烯-2-醇	14.78		0.07				
18		2-(2,3-丁二烯氧基)-乙醇	15.31		0.99	0.67		0.91	0.63
19		2,3-二烯-5-醇	15.50	0.54	0.15	0.22	0.11	1.55	1.55
20		6-庚烯-1-醇	15.85				0.06		
21		2-亚甲基环己醇	16.18	1.42					
22		3-甲基-1,5-戊二醇	17.32		0.10			0.94	
23		2-壬烯-1-醇	19.48	0.66					
24		2-壬炔-1-醇	19.58	0.75					
25		2-癸烯-1-醇	21.10	2.33					
26		环癸醇	23.15	0.68					
27		2-十二碳烯-1-醇	24.34	1.58					
1		4,5-二氮杂三环[4.3.0.0(3,7)]壬-4-烯-2-酮	2.10			5.87			
2		环壬-4-炔酮	2.18				2.86		
3		N,N'-二(2-甲基-2-亚硝基丁烷-3-酮)	3.39	1.16					
4		5-(1,2-丙二烯氧基)-2-戊酮	3.52				21.02	1.03	1.29
5	酮类	5-氨基-6-亚硝基-嘧啶-2,4(1H,3H)-二酮	3.65			16.78			0.82
6		1-四唑-2-乙酮	4.25			13.90		0.81	0.75
7		1,2,3-三唑并-4,5-苯并三唑-4,8(4H,8H)-二酮	4.27	0.77					
8		4-甲基-2-氧杂环丁酮	4.88						0.62
9		6-[4,4-二(甲硫基)-1,2,3-丁三烯基]-2H-吡喃-2-酮	7.26	1.77	0.86	0.61	1.59		1.47
10		3-氨基-苯并-1,2,3-三嗪-4(3H)-酮	8.76	0.96		1.07	2.44		1.38

续表 4

序号	类别	物质名	保留时间/min	清水(对照组)/%	淀粉/%	超声/%	酵母/%	醋/%	臭氧/%
11		4-重氮金刚烷酮	8.84					0.63	
12		2-甲基-1-戊烯-1-酮	9.52		27.12				
13		环庚酮	10.18	1.00					
14		4,4-二甲基-氮杂环丁酮	13.03				0.86		
15		1-戊-3,4-二烯基-2,5-吡咯烷二酮	13.70	3.70	5.04	8.19			
16		2-(5-硝基四唑-2-基)-1-苯基-乙酮	14.11	1.25	0.12				
17		1-(2,2-二甲基环戊基)-乙酮	17.20	0.77					
18		(R)-4-甲基-环庚酮	17.85					2.42	
19		2,5-二甲基-4-硝基-3-己酮	19.06	0.80					
1	酯类	甲酸乙烯酯	2.13						8.42
2		氨基甲基甲酰亚胺乙酯	3.23					4.65	
3		(1,2,3-噁二唑-4-yl)氨基甲酸苄酯	5.77					1.94	0.91
4		二磷酸-二异辛基酯	6.75	0.64	3.17			1.54	
5		甲酸香叶酯	8.36	0.60			6.01		
6		3-氧化物-苯并三唑-1-羧酸-乙酯	8.80					3.22	
7		甲基磷酸二环己酯	9.61				10.37		
8		二环己基-乙基磷酸酯	10.20				1.12		
9		4-乙基苯甲酸-戊酯	10.27	15.34					
10		苯甲酸-4-甲基-3-甲基-2-丁酯	10.63	0.73					
11		亚硝酸戊酯	11.78					0.93	
12		1-氯-2-甲基丙基氯甲酸酯	15.64					1.36	
13		四氢甲酸香叶酯	20.85	1.02					
14		碳酸, 2-乙基己基十一烷基酯	36.48	1.71					
1	酸类	2-(N-甲基-N-膦酸基甲基)氨基-乙酸	4.78					0.72	
2		6-甲氧基-3-甲基-2-苯并咪唑羧酸	7.20				2.88		
3		4-(1H-1,2,3,4-四唑-1-基)-苯乙酸	11.72	0.53					
1	烯烃	1,2-环壬二烯	3.04	0.65			2.85		
2		1,2,5-己三烯	3.81					1.70	1.83
3		3,4-癸二烯	4.14				0.08		1.03
4		3-甲氧基-1,3,4-己三烯	4.22		0.77	0.47	0.66	0.73	0.83
5		4,4-二甲基-1,2-戊二烯	4.42	0.69				1.85	
6		4,4-二甲基-1,2-戊二烯	4.42	1.33	0.12		3.20		
7		1,2,6-环壬三烯	5.42		4.72		0.40		
8		5-甲基-1,2-己二烯	5.50	2.16	0.82	0.35	3.87	1.88	1.44
9		7,7-二甲基-3,4-辛二烯	8.80	1.72			0.80		
10		7-甲基-2,3-辛二烯	13.14					0.80	
11		(Z)-3-辛烯	13.70					9.83	
12		1,2-庚二烯	15.27		0.11		0.12	0.63	
13		1,2-壬二烯	17.26	0.66	1.94		0.56	1.36	1.14
14		3,4-辛二烯	18.91	0.66					
15		2,2-二甲基-3,4-辛二烯	27.62	0.84					
16		2-甲基-4,5-壬二烯	29.45	0.64					

续表 4

序号	类别	物质名	保留时间/min	清水(对照组)/%	淀粉/%	超声/%	酵母/%	醋/%	臭氧/%
1	烷烃	亚乙烯基-环己烷	2.31	0.81	4.35		16.61		
2		2-氯-2-硝基-丙烷	5.05	11.09				5.51	
3		(1-甲基-1,2-丙二烯基)-环丙烷	5.85	0.59			0.84	0.98	1.38
4		2-氯-2,3-二甲基-丁烷	6.17	0.65					
5		1,2-丙二烯基-环己烷	8.04	0.99			5.55		
6		2,3-二甲基-丁烷	8.12		0.20	0.50	0.10		
7		2,2,3-三甲基-己烷	12.75	2.52					2.93
8		1-甲基-2,3-二氧杂双环[2.2.1]庚烷	13.22					1.00	
9		亚己基-环丙烷	15.70				0.14		
10		1-甲基-3-(2-甲基-2-丙烯基)-环戊烷	16.46					0.99	
11		1-(1,1-二甲基乙基)-4-甲基-环己烷	17.57					0.78	
12		1-十一烷	18.50					0.83	
1	其他物质	环十二碳炔	2.33				3.18		
2		1,5-庚二烯-3-炔	5.76		0.31				
3		环辛炔	5.91		5.98	15.00	0.46	1.13	
4		1-甲基-2-苯基-1H-吡啶	7.35						5.31
5		(Z)-1-环辛烯-5-炔	8.81	0.69	0.30	1.23			3.73
6		1,1'-(1,2-丙二烯亚基)二-苯	31.23		0.15	1.25			
1	胺类	3-羟基-N-甲基苯乙胺	2.12					4.37	
2		α -甲基-1-金刚烷甲胺	2.35		6.46				9.99
3		5H-四唑-5-胺	3.25	0.95					
4		N-甲硫基甲酰胺	3.26						12.56
5		N-亚磺酰基-1-丁胺	6.66					0.66	1.02
6		2-(4-甲基-1H-1,2,3-三唑-1-基)乙烷-1-胺	9.63	2.52					
7		1H-1,2,3,4-四唑-5-基甲胺	9.87					3.13	1.28
8		N-氧化物-N-(2-羟基亚丙基)-环己胺	10.19					2.44	5.74
9		N-苯基-1H-苯并三唑-1-甲胺	10.39	0.80					1.87
10		环丁胺	11.40			0.28		0.85	
11		N-(1H-四唑-5-基)苯甲酰胺	12.11	0.60				1.41	1.06
12		2-(1H-1,2,3,4-四唑-5-基)苯胺	12.31					0.65	
13		1H-四唑-1,5-二胺	12.55					2.72	
14		N-亚甲基-N-氧化-环己胺	14.09	1.24	0.85				1.47
15		二甲基胺	29.98			0.17			
16		乙烯亚胺	30.28			0.17			
17		N-亚甲基-N-十八烷基胺	35.09	6.46					

醛类：由表 5 可见，经淀粉处理、超声清洗、酵母处理、醋处理及臭氧漂洗后的鱼鳞冻中醛类化合物相对含量为 0.18%、1.86%、1.54%、9.65%、3.30%，比清水对照组分别降低了 13.34%、11.66%、11.98%、3.87%、10.22%，其中下降较多的是淀粉、酵母和超声法，与杜国伟等的结果相似^[32]。清水对照组中己醛含量较高，己醛具有青草味和鱼腥味，是导致鱼体腥

味的物质之一^[33]，且己醛可以和易挥发性物质发生反应，对鱼鳞冻的不良性风味起到协同增效作用^[34]。经不同方式进行脱腥处理后，淀粉、超声清洗、酵母、醋、臭氧漂洗后的鱼鳞冻中均检测不到己醛。辛醛具有塑料味^[35]，由表 4 可知，不同脱腥方式均能脱除鱼鳞冻中的辛醛。庚醛具有水果味、干鱼味^[36]，使用醋脱腥处理后，其相对含量有略微的增加。

表 5 不同脱腥处理后鱼鳞冻中各类化合物的相对百分含量

Table 5 Relative percentages of various compounds in fish scale jelly after different deodorization treatments

处理	醛类/%	醇类/%	酮类/%	酯类/%	酸类/%	烯烃/%	烷烃/%	其他烃类/%	胺类/%
清水	13.52	13.41	11.71	19.30	0.51	9.02	16.04	0.66	15.15
淀粉	0.18	36.42	33.14	3.17	0	8.48	4.55	6.74	7.31
超声	1.86	27.07	39.34	0	0	0.70	0.42	14.81	15.82
酵母	1.54	9.86	28.77	17.50	2.88	12.54	23.24	3.64	0
醋	9.65	24.11	4.79	13.35	1.63	18.37	11.08	1.11	15.89
臭氧	3.30	26.44	6.33	9.33	0	6.27	4.31	9.04	34.99

醇类：脂肪发生氧化反应生成醇类^[37]，醇类分为饱和醇、不饱和醇两类，不饱和醇阈值较低，其蘑菇味对产品的风味具有较大贡献^[38]。由表 5 可知，除酵母处理外，其他四种处理方式后的鱼鳞冻中的醇类物质含量都有不同程度升高。N-氧化-2-(二乙胺基)-乙醇具有氨味，经处理后，其他四种处理方式均能完全脱除该物质，超声处理中该物质含量略微增加。

酮类：大部分酮类化合物有花香、水果香气^[39]。酮类主要由脂类发生热氧化降解或者氨基酸降解反应生成^[40]，从表 5 可以看出，经酵母、超声、淀粉处理后，样品中的酮类物质增加，而醋和臭氧处理组降低，可能是由于酵母、淀粉等的挥发性成分中含有酮类物质^[31]，使得鱼鳞冻中的酮类物质增多。环庚酮具有胡椒薄荷气味，经不同处理后被完全除去，五组样品中均未检测到，与崔方超等^[41]的结果相似。

酯类：酯类物质由酸和醇发生酯化反应产生^[42]，大部分具有果香味。有研究表明酯类即使在很低的浓度下也对食品的香味起着非常重要的作用^[43]。由表 4 和表 5 可知，经处理后的鱼鳞冻样品的酯类均降低，在处理组中，酵母和醋处理组生成的酯类物质较多。可能是由于醋含有醋酸等酸类物质，因此处理后鱼鳞冻中酯类物质较多。甲酸香叶酯具有清新叶子和玫瑰味，经酵母处理后，相较对照组增加了 5.43%，香气值增加。

烃类化合物主要分为烯烃、烷烃、芳香烃等，芳香阈值一般较高，对风味的贡献较小。但是烃类化合物在特定条件下可生成醛和酮，增强风味，是产生鱼腥味的潜在因素^[44]。烃类物质无规律变化。

蛋白质分解后产生胺类物质，会加强鱼鳞冻的腥味。经淀粉处理、超声清洗、酵母处理、醋处理及臭氧漂洗后的鱼鳞冻中胺类化合物相对含量为 7.13%、15.82%、0、15.89%、34.99%，酵母、淀粉组的胺类物质显著降低，超声组相较对照组无显著变化，而醋和臭氧组的胺类物质增加。

3 结论

本实验从脱腥工艺方面改善了白鲢鱼鳞冻的风味

品质。实验表明，超声、臭氧、醋、淀粉、酵母处理均有脱腥效果。感官评价的结果为淀粉处理、酵母处理较好，电子鼻分析的结果为超声处理、酵母处理较好，顶空固相微萃取-气质联用的结果为酵母处理最好。综上所述，酵母发酵法的效果最好，酵母对腥味的脱除可能主要是与降低己醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、(E)-2-己烯醛、辛醛、苯乙醛、N-亚甲基-N-氧化-环己胺、N-苯基-1H-苯并三唑-1-甲胺等醛类、胺类物质含量有关。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局.2021 中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2021:25,30
- [2] 刘文涛,李国英,缪煜清,等.鱼鳞的研究现状及应用前景[J].水利渔业,2006,26(1):20-23
- [3] 许青,徐昕,公丽艳,等.响应面法优化草鱼鳞胶原蛋白钙结合肽的制备[J].食品工业,2021,42(3):1-4
- [4] 顾杨娟.草鱼鱼鳞冻的制备及其性质研究[D].上海:上海海洋大学,2013
- [5] 朱兆娜.超高压鱼冻生产工艺及贮藏特性研究[D].合肥:合肥工业大学,2012
- [6] Wang R, Li D, Jin C X, et al. Seasonal occurrence and species specificity of fishy and musty odor in Huajiang Reservoir in winter, China [J]. Water Resources and Industry, 2015, 11: 13-26
- [7] Zhang Z P, Niu L H, Sun L, et al. Effects of powdered activated carbon, diatomaceous earth and beta-cyclodextrin treatments on the clarity and volatile compounds of tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin gelatin [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2017, 11(2): 894-901
- [8] Varlet V, Knockaert C, Prost C, et al. Comparison of odor-active volatile compounds of fresh and smoked salmon [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(9): 3391-3401
- [9] 胡苑,施文正,卢瑛.鱼类腥味脱除技术研究进展[J].食品与发酵工业,2021,47(5):282-287
- [10] 阮秋凤,安玥琦,陈周,等.短时间微流水处理对草鱼鱼肉风

- 味品质的影响[J].食品科学技术学报,2021,39(3):30-42,51
- [11] 刘丽娜,付湘晋,许时婴.斑点叉尾鮰鱼皮明胶的风味成分及其脱腥的研究[J].食品与发酵工业,2007,33(12):94-98
- [12] 段振华,汪菊兰,王志国,等.水产品加工过程中的脱腥技术[J].渔业现代化,2005,5:48-49
- [13] Varlet V, Prost C, Serot T. New procedure for the study of odour representativeness of aromatic extracts from smoked salmon [J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 820-829
- [14] Varlet V, Prost C, Serot T. Volatile aldehydes in smoked fish: Analysis methods, occurrence and mechanisms of formation [J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 1536-1556
- [15] 王燕,刘亮,刘闪,等.臭氧对鲢鱼鱼糜脱腥工艺及其凝胶强度的影响[J].武汉工业学院学报,2013,32(1):15-19
- [16] 欧阳伟虹,胡伟,周旭静,等.酵母抽提物对小黄鱼边角料腥味脱除研究[J].食品与生物技术学报,2020,39(6):76-83
- [17] 沈艳奇.低温真空油炸小黄鱼调理食品的研制[D].锦州:渤海大学,2019
- [18] 张芷芸,冯若男,李姝琦,等.高凝胶强度鱼鳞胶冻的开发[J].食品工业,2020,41(6):193-197
- [19] 邢贵鹏,黄卉,李来好,等.罗非鱼加工副产物脱腥工艺及其腥味物质分析[J].食品工业科技,2019,40(20):140-145
- [20] 苏怡,姜启兴,夏文水.不同脱腥方法对鲟鱼肉脱腥效果的比较研究[J].食品科技,2019,44(10):138-146
- [21] 雷镇欧,王鑫.猪肝的脱腥及其在肉松中的应用[J].中国调味品,2019,44(9):119-123
- [22] 陈东清,汪兰,熊光权,等.电子束辐照对蒸煮小龙虾品质及货架期的影响[J].辐射研究与辐射工艺学报,2019,37(3):39-45
- [23] 张慧敏.酵母葡聚糖对白鲢鱼肉中特征腥味物质吸附行为的研究[D].武汉:华中农业大学,2019
- [24] 吴丹,曾文浩,熊善柏,等.基于固相微萃取(SPME)和同时蒸馏萃取(SDE)分析大麦苗粉对白鲢鱼糜制品的去腥作用[J].现代食品科技,2022,38(3):244-256
- [25] 郑淳坚,郑虹君,林锐淇,等.小球藻食品破壁去腥及稳定性工艺的研究进展[J].中国食品添加剂,2021,32(7):132-137
- [26] 付湘晋,许时婴,KIM J.酸碱法提取鲢鱼蛋白脱腥及酵母脱腥机理[J].食品与生物技术学报,2009,28(1):57-62
- [27] 陈奇,张安,何新益.淡水鲢鱼脱腥效果的比较研究[J].食品工业科技,2007,28(2):146-148
- [28] 洪伟,周春霞,洪鹏志,等.水产品腥味物质的形成及脱腥技术的研究进展[J].食品工业科技,2013,34(8):386-389,399
- [29] 王浩田,马俪珍,付翠萍.鲢鱼肉的脱腥工艺研究[J].安徽农业科学,2011,39(10):6063-6066
- [30] 吴建中,王倩倩,廖顺,等.安琪酵母发酵对秋刀鱼汤的脱腥作用原因分析[J].食品与发酵工业,2019,45(7):213-220
- [31] 曾文浩,熊怡婷,熊善柏,等.酵母葡聚糖对鲢鱼肉挥发性成分的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(3):94-104
- [32] 杜国伟,夏文水.鲢鱼糜脱腥前后及贮藏过程中挥发性成分的变化[J].食品工业科技,2007,28(9):76-80
- [33] 张问,杨文鸽,陈霞霞,等.不同盐溶液漂洗对带鱼鱼糜凝胶强度及其挥发性风味的影响[J].现代食品科技,2016,32(5):219-226,218
- [34] Zhou Y Q, Wang Z J. Extraction and analysis on fishy odor-causing compounds in the different part of carp [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2006, 34(9): S165-S167
- [35] 卢祺.冷冻美国鲢鱼气味识别及其特征性关键气味物质研究[D].上海:上海海洋大学,2020
- [36] Giri A, Osako K, Ohshima T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631
- [37] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor [J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80
- [38] 郭淑.鲫鱼和黄翅鱼腥味关联成分分析及热处理对其影响研究[D].厦门:集美大学,2021
- [39] 金燕,杨荣华,周凌霄,等.蟹肉挥发性成分的研究[J].中国食品学报,2011,11(1):233-238
- [40] Xie J C, Sun B G, Zheng F P, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig [J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514
- [41] 崔方超,李婷婷,杨兵,等.电子鼻结合 GC-MS 分析草鱼脱腥前后风味变化[J].食品科学,2014,35(20):126-130
- [42] CHEN D W, ZHANG M. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2006, 14(3): 297-303
- [43] Careri M, Mangia A, Barbieri G, et al. Sensory property relationships to chemical-data of Italian-type dry-cured ham [J]. Journal of Food Science, 1993, 58(5): 968-972
- [44] 刘安军,褚兰玲,郑婕,等.鲤鱼土腥味成分的检测与去除[J].现代食品科技,2011,27(2):219-223