



腌制方式对卵形鲳鲹理化指标及其挥发性风味成分的影响

张进伟^{1,2}, 胡晓^{2,3}, 陈胜军^{2,3*}, 吴燕燕^{2,3},
王悦齐^{2,3}, 潘创^{2,3}, 黄卉^{2,3}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室,
国家水产品加工技术研发中心, 广东广州 510300;

3. 三亚热带水产研究院, 海南三亚 572000)

摘要: 为了探究干腌、湿腌、超声波辅助腌制对卵形鲳鲹的理化特性及挥发性风味成分的影响, 实验对腌制加工后鱼肉的基本营养成分、盐含量、pH、硫代巴比妥酸(TBA)值、脂肪酸组成及挥发性风味成分等指标进行测定分析。结果显示, 在腌制加工后, 卵形鲳鲹粗蛋白和粗脂肪含量升高、而水分含量下降, 其中干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉中水分含量分别为 $53.71\% \pm 0.97\%$ 、 $61.45\% \pm 0.72\%$ 和 $59.29\% \pm 1.41\%$ 。与卵形鲳鲹原料相比, 干腌、超声波辅助腌制、湿腌鱼肉中盐含量增加, 依次为 (3.29 ± 0.15) 、 (2.64 ± 0.02) 和 (2.15 ± 0.11) g/100 g, 而在腌制加工后鱼肉的 pH 值下降。在腌制加工后, 卵形鲳鲹的脂质发生氧化反应, TBA 值增加, 干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉的 TBA 值分别为 (0.80 ± 0.07) 、 (0.55 ± 0.09) 和 (0.73 ± 0.08) mg MDA/kg, 饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量增加, 而多不饱和脂肪酸含量减少。冻藏保鲜、干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉中分别检测出 54、56、62 和 57 种挥发性风味物质, 主要为醛类、醇类和酮类, 对风味形成有重要贡献作用。研究表明, 卵形鲳鲹经 3 种不同腌制方式加工后, 干腌鱼肉水分含量最低, 而盐含量和 TBA 值最高; 超声波辅助腌制鱼肉的挥发性风味物质中醛类、醇类相对含量最高, 而 pH 值最低。本研究可为腌制加工及生产工艺优化提供理论参考。

关键词: 卵形鲳鲹; 腌制方式; 理化指标; 挥发性风味成分

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*) 又名金鲳、黄腊鲳、鲳鲹等, 其味道鲜美, 富含蛋白质、脂肪、多不饱和脂肪酸等多种营养物质, 具有食用、保健及综合开发利用价值^[1]。作为养殖海洋经济鱼种, 主要分布在我国南方沿海, 2019 年我国卵形鲳鲹养殖产量达 16.8 万 t, 其中广东省的养殖产量占全国的 50%。但卵形鲳鲹在国内主

要以冷冻或冰鲜销售, 存在货架期短、经济效益低等问题。卵形鲳鲹没有肌间刺, 适合通过腌制、风干等技术加工, 延长产品的货架期, 提高产品的附加值^[2-3]。腌制是指食盐渗透进入鱼体内, 鱼体内水分析出, 最终形成动态平衡的过程。传统腌制方法主要有干腌法、湿腌法、混合腌制法。郭雅等^[4]研究干腌、湿腌、混合腌

收稿日期: 2021-04-04 修回日期: 2021-04-23

资助项目: 三亚崖州湾科技城管理局 2020 年度科技计划项目 (SKJC-2020-02-013); 现代农业产业技术体系专项 (CARS-47); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项 (2021KJ151); 中国水产科学研究院基本科研业务费专项 (2020TD69)

第一作者: 张进伟 (照片), 从事水产品加工与质量安全控制研究, E-mail: 18335463971@qq.com

通信作者: 陈胜军, E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn



制对鳊 (*Parabramis pekinensis*) 的影响, 发现干腌法相较于其他两种方法腌制速率快, 产品风味好。近年来, 研究者探究超声波辅助腌制、超高压腌制等方法对猪肉^[5]、羊肉^[6]等畜禽类肉质的影响, 发现新型腌制方式可以显著加快腌制速率, 提高产品品质。王逸鑫等^[7]研究发现, 超声波辅助腌制可以加快腌制速率, 促进蛋白质分解, 产生鲜味氨基酸。

目前国内外关于卵形鲳鲹的研究主要为保鲜贮藏、鱼糜制品加工、副产物利用等, 鲜有研究者对卵形鲳鲹腌制加工技术进行报道。本研究以卵形鲳鲹为原料, 比较干腌、湿腌、超声波辅助腌制3种不同腌制方式对鱼肉理化指标及挥发性风味成分的影响, 旨在为腌制加工提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

卵形鲳鲹全长 (30.40±1.00) cm, 体质量 (542.72±44.61) g, 于2020年9月购于广州市新港西路华润万家超市, 装入含有冰块的塑料袋运回实验室, 置于-20℃冰箱中保存, 以备后续实验使用。

食盐购于广州市新港西路华润万家超市; 硫酸、硼酸、硫酸铜、硫酸钾、丙二醛 (MDA)、石油醚、氯仿和甲醇均为分析纯, 广州化学试剂厂; 硫代巴比妥酸 (TBA), 上海源叶生物科技有限公司; 三氯乙酸, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 14% 三氯化硼-甲醇溶液、硝酸银滴定溶液标准物质 (AgNO₃=0.1 mol/L), 上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

DKN612C 干燥箱, 日本雅马拓公司; T50 均质机, 德国 IKA 公司; 809 Titrand 自动电位滴定仪, 瑞士万通公司; Kjeltac™ 2300 全自动凯式定氮仪、Soxtec™ 2050 脂肪自动分析仪, 丹麦福斯分析仪器公司; Sunrise 吸光酶标仪, 瑞士 TECAN 公司; JW-1044R 低速冷冻离心机, 安徽嘉文仪器装备有限公司; GCMS-QP2010 Plus 气相色谱-质谱联用仪, 日本岛津公司。

1.3 实验方法

样品制备 冷冻卵形鲳鲹流水解冻后,

剖开鱼腹, 除去鱼鳃、内脏、黑膜等, 并用流动水清洗鱼体内残血等, 室温下沥干水分, 以备后续腌制使用。

参考叶路漫^[3]和赵志霞等^[8]腌制工艺参数并基于预实验进行修改。采用不同的腌制方法对卵形鲳鲹整条鱼进行加工, 所有腌制工艺均在室温下进行, 且每12h将鱼体翻动。干腌法: 将鱼体质量10%的食盐均匀涂抹在鱼体表面及内部, 并将其整齐地堆放于容器中腌制48h。湿腌法: 将鱼置于10%的盐水中, 料液比为1:3 (质量比), 腌制48h。超声波辅助腌制: 将鱼置于含有10%盐水容器中, 料液比1:3, 并置于超声波清洗机中, 超声波功率为180W, 超声波频率40kHz, 腌制1h后取出, 置于室温条件下腌制至48h。取样: 腌制结束后, 除去鱼皮, 取鱼背部肌肉搅碎置于塑封袋中, 放置在-20℃冰箱保存, 以备后续实验使用。

营养成分的测定 水分、粗脂肪和粗蛋白含量分别参照 GB 5009.3—2016^[9]、GB 5009.6—2016^[10] 和 GB 5009.5—2016^[11] 进行测定。

氯化钠的测定 氯化钠含量参照 GB 5009.44—2016^[12] 中的电位滴定法测定。

pH值的测定 按照 GB 5009.237—2016^[13] 测定。

硫代巴比妥酸 (TBA) 值的测定 参照李娜^[14] 的方法并稍作修改。称取 5.0 g 碎鱼肉, 加入 25 mL 质量分数为 7.5% 的三氯乙酸 (含 0.1% EDTA-Na₂), 均质, 振荡提取 30 min 后, 双层滤纸过滤, 取上清液 5 mL 于具塞比色管中, 加入 5 mL 物质的量浓度为 0.02 mol/L 的 TBA 溶液, 置于沸水浴中加热 40 min, 待溶液变成粉红色, 流水冷却至室温, 再加入 5 mL 氯仿振荡萃取 (除去油脂), 静置, 待溶液分层后, 吸取上层液体, 于 532 nm 处测定吸光度 A_x 。空白: 使用 5 mL 提取液代替样品液反应。标准 0.5 μg/mL 丙二醛: 用移液枪移取 250 μL 丙二醛 (10 μg/mL)、4.75 mL 提取液、5 mL TBA 溶液于具塞比色管中, 沸水浴中加热 40 min, 待溶液变粉红, 流水冷却至室温, 加入氯仿振荡萃取, 静置分层后, 于 532 nm 测定上清液吸光度 A_s 。

$$\text{TBA}(\text{mg}/\text{kg}) = \frac{A_x \times 0.5 \times 5}{A_s \times m}$$

式中, A_x 为测定的样品吸光度, A_s 为标准 0.5 μg/mL 丙二醛测定吸光度, m 为样品质量 (g)。

脂肪酸的测定 脂肪提取：参照 Folch 等^[15]的方法并略作修改。称取 2.0 g 碎鱼肉于离心管中，加入 15 mL 氯仿-甲醇(2:1, V/V, 体积分数)溶液(0.01% BHT)，冰浴条件下均质 2 次(10 000 r/min、2×15 s、间隔 30 s)，再加入氯仿-甲醇定容至 30 mL，静置 1 h 后过滤以除去蛋白和结缔组织，加入 0.2 倍体积的 0.85% 生理盐水，在 3 000 r/min 的条件下离心 15 min，除去上层水与甲醇溶液，下层脂质溶液经氮吹得到浓缩脂质。

脂肪甲酯化：将浓缩脂质中加入 2 mL 14% 的三氟化硼-甲醇溶液，60 °C 水浴条件下反应 30 min 后，冷却至室温，分别加入 1 mL 的蒸馏水和正己烷，振荡 1 min，静置分层后吸取上层有机溶液，经 0.22 μm 的有机滤膜过滤后置于进样瓶中，进行 GC-MS 检测。

气相色谱条件^[16]：HP-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；升温程序：初始温度 110 °C 保持 4 min；以 10 °C/min 升温至 160 °C，保持 1 min；再以 4 °C/min 升温至 210 °C，保持 3 min；再以 4 °C/min 升温至 240 °C，保持 8 min。载气为氦气，流量为 1.52 mL/min，进样量为 1 μL，分流比为 1:50(体积分数)，进样口温度为 250 °C。

质谱条件：离子源温度 200 °C，电子能量 70 eV，溶剂延迟时间 3 min。

挥发性风味物质的测定 参考熊添等^[17]的方法，称取 2.0 g 碎鱼肉于 15 mL 顶空瓶中，向其中加入 5 mL 饱和氯化钠溶液，放入磁转子，置于 65 °C 的磁力搅拌器上加热平衡 10 min，用活化好的固相微萃取装置[萃取头(PDMS/DVB, 65 μm)]顶空吸附 40 min，吸附完成后，将萃取头插入 GC-MS 的进样口解吸 10 min。

气相色谱条件：采用 Rtx[®]-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)；升温程序：初始温度 40 °C，保持 2 min；以 6 °C/min 升温到 200 °C，保持 3 min；再以 10 °C/min 升温到 250 °C，保持 3 min。载气为氦气，流速 1 mL/min，分流比为 1:20(体积分数)；进样口温度 250 °C。

质谱条件：离子源温度为 230 °C，电子能量为 70 eV；质量扫描范围 m/z 为 35~350。

风味成分评价 参考刘登勇等^[18]的评价方法，并参考相关文献挥发性风味成分的阈值，计算 ROVA(relative odor activity value)值。挥发性风味成分 ROVA 值越大，对总体风味的贡献也越大。0.1≤ROVA<1 的组分对样品总体风味具

有重要修饰作用，ROVA≥1 的组分为关键风味物质。对样品风味贡献最大的组分 ROVA_{stan}=100，其他组分的 ROVA 计算公式：

$$ROVA = 100 \times \frac{C_i}{C_{stan}} \times \frac{T_{stan}}{T_i}$$

式中， C_i 、 T_i 分别为各挥发性风味成分的相对含量(%)和相对应的感觉阈值(μg/kg)； C_{stan} 、 T_{stan} 分别为对总体风味贡献最大组分的相对含量(%)和相对应的感觉阈值(mg/kg)。

1.4 数据分析

脂肪酸数据处理：通过计算机 NIST0.5 谱库数据库检索，并比较 MS 图库中标准谱图以确定脂肪酸甲酯成分，采用峰面积归一化法确定脂肪酸的相对含量。挥发性风味物质数据处理：通过计算机标准谱图库 NIST 中的数据进行比较，选择匹配度大于 80 以上为确认化合物，采用峰面积归一化法计算各挥发性风味成分的相对含量。各指标均平行测量 3 次，实验数据以平均值±标准差表示，采用 Excel 软件进行数据整理及作图，采用 SPSS Statistics 23.0 软件进行统计分析，Duncan 氏法进行显著性分析， $P<0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 基本营养成分

卵形鲳鲹鱼肉中水分含量为 67.64%±0.40%，干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉中水分含量分别为 53.71%±0.97%、61.45%±0.72%、59.29%±1.41%，差异显著($P<0.05$)(表 1)。卵形鲳鲹中粗蛋白和粗脂肪含量分别为 16.39%±0.54% 和 8.65%±0.27%，与戴梓茹等^[1]的研究结果相近，表明卵形鲳鲹是一种高蛋白多脂鱼，营养价值高。腌制加工后，鱼肉中粗蛋白含量显著增加($P<0.05$)，但湿腌与超声波辅助腌制鱼肉中粗蛋白含量差异不显著($P>0.05$)。卵形鲳鲹经腌制加工后粗脂肪含量增加，不同腌制方式加工的鱼肉中，粗脂肪含量差异不显著($P>0.05$)。

2.2 盐含量

卵形鲳鲹鱼肉中盐含量为(0.23±0.03) g/100 g，腌制加工后鱼肉中盐含量显著增加($P<0.05$)，其中干腌鱼肉中盐含量最高，为(3.29±0.15) g/100 g，

表 1 不同腌制方法对卵形鲳鲆基本营养成分的影响
Tab. 1 Effect of different curing methods on the basic nutrients of *T. ovatus*

腌制方式 curing method	原料 raw material	干腌法 dry salting	湿腌法 wet salting	超声波辅助腌制 ultrasonic assisted curing
水分 moisture	67.64±0.40 ^a	53.71±0.97 ^d	61.45±0.72 ^b	59.29±1.41 ^c
粗蛋白 crude protein	16.39±0.54 ^c	22.62±0.49 ^a	20.06±0.23 ^b	20.41±1.72 ^b
粗脂肪 crude lipid	8.65±0.27 ^b	10.44±0.48 ^a	9.69±0.47 ^a	9.95±0.15 ^a

注: 同行不同字母表示差异显著, $P<0.05$ 。下同

Notes: different letters in the same row indicate significant differences, $P<0.05$. The same below

超声波辅助腌制鱼肉中盐含量次之, 为 (2.39±0.02) g/100 g, 湿腌法鱼肉中盐含量最低, 为 (2.15±0.11) g/100 g, 且不同腌制方法加工后, 鱼肉中盐含量差异显著 ($P<0.05$)(图 1)。

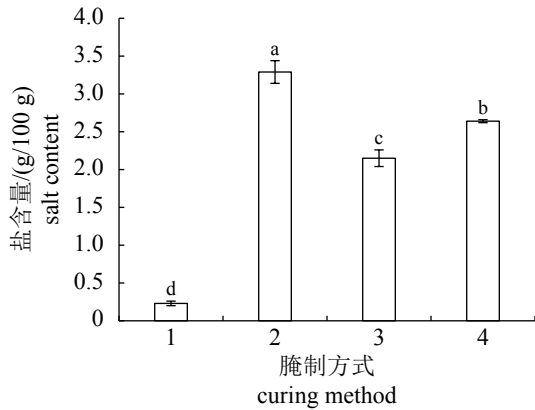


图 1 不同腌制方式对卵形鲳鲆盐含量的影响

1.原料, 2.干腌法, 3.湿腌法, 4.超声波辅助腌制法, 图中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同

Fig. 1 Effect of different curing methods on the salt content of *T. ovatus*

1. raw material, 2. dry salting, 3. wet salting, 4. ultrasonic assisted curing, different letters indicated significant differences ($P<0.05$), the same below

2.3 pH 值

卵形鲳鲆鱼肉 pH 值为 6.65, 相较于叶路漫^[3]的测定结果略低, 可能是由于地域、季节和活动水平等因素造成 (图 2)。腌制加工后鱼肉的 pH 值显著下降 ($P<0.05$), 由高到低依次为干腌、湿腌和超声波辅助腌制。

2.4 TBA 值

TBA 值能够反映脂肪次级氧化产物 MDA 含量, 一般 TBA 值越高, 脂肪氧化降解生成的小分子产物越多。卵形鲳鲆鱼肉 TBA 值为 (0.14±0.05) mg MDA/kg, 经腌制加工后, 鱼肉 TBA 值显著升高 ($P<0.05$), 干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉的

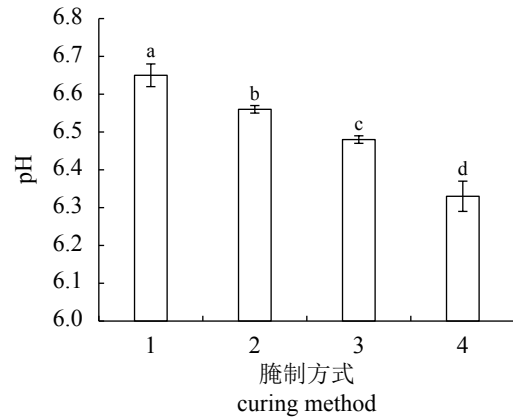


图 2 不同腌制方式对卵形鲳鲆 pH 值的影响

Fig. 2 Effects of different curing methods on pH value of *T. ovatus*

TBA 值分别为 (0.80±0.07)、(0.55±0.09) 和 (0.73±0.08) mg MDA/kg, 且不同腌制方法处理的鱼肉, 其 TBA 值存在显著差异 ($P<0.05$)(图 3)。

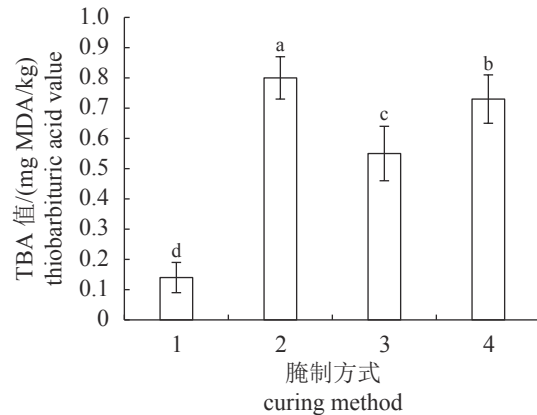


图 3 不同腌制方式对卵形鲳鲆 TBA 值的影响

Fig. 3 Effect of different curing methods on TBA of *T. ovatus*

2.5 脂肪酸组成及相对含量

卵形鲳鲆鱼肉中总脂肪酸由 35.19% 的饱和脂肪酸 (SFA)、32.01% 的单不饱和脂肪酸 (MUFA)

和 32.79% 的多不饱和脂肪酸 (PUFA) 组成, 其中含量较高的脂肪酸分别为棕榈酸 (C16:0)、油酸 (C18:1)、亚油酸 (C18:2)(表 2), 与杨欣怡等^[19] 研

究结果相近。在腌制加工后, 鱼肉中 SFA 含量增加, 但差异不显著 ($P>0.05$), MUFA 含量显著增加 ($P<0.05$), PUFA 含量显著减少 ($P<0.05$)。

表 2 不同腌制方式对卵形鲳鲹脂肪酸组成及相对百分含量的影响

脂肪酸 fatty acid	原料 raw material	干腌法 dry salting	湿腌法 wet salting	超声波辅助腌制 ultrasonic assisted curing	%
C14:0	0.57±0.10 ^c	0.85±0.13 ^b	1.56±0.05 ^a	1.46±0.11 ^a	
C15:0	0.18±0.03 ^b	0.17±0.02 ^b	0.20±0.02 ^b	0.27±0.05 ^a	
C16:0	20.19±1.40 ^c	23.28±0.33 ^b	25.12±0.38 ^a	23.41±0.37 ^b	
C18:0	12.70±0.54 ^a	10.98±0.23 ^b	8.11±0.38 ^c	10.54±0.23 ^b	
C20:0	1.55±0.04 ^a	—	1.03±0.03 ^b	0.29±0.03 ^c	
ΣSFA	35.19±0.92 ^a	35.30±0.30 ^a	36.04±0.09 ^a	35.98±0.50 ^a	
C16:1	1.92±0.21 ^c	2.37±0.02 ^b	2.76±0.12 ^a	2.42±0.10 ^b	
C18:1	30.08±0.31 ^d	31.09±0.12 ^c	31.69±0.09 ^b	32.34±0.15 ^a	
ΣMUFA	32.01±0.52 ^c	33.46±0.13 ^b	34.46±0.05 ^a	34.76±0.23 ^a	
C18:2	19.99±0.16 ^c	21.85±0.57 ^a	21.18±0.10 ^{ab}	20.99±0.47 ^b	
C20:2	2.65±0.51 ^a	2.40±0.45 ^a	2.10±0.09 ^a	2.03±0.11 ^a	
C20:4	2.56±0.25 ^a	0.87±0.01 ^b	—	1.10±0.03 ^b	
C22:6	7.57±0.33 ^a	6.11±0.13 ^b	6.21±0.08 ^b	5.12±0.09 ^c	
ΣPUFA	32.79±0.86 ^a	31.23±0.21 ^b	29.49±0.11 ^c	29.26±0.63 ^c	

注: “—”表示未检出, 下同

Notes: — means not detected, the same below

2.6 挥发性风味物质

冻藏保鲜及干腌、湿腌、超声波辅助腌制卵形鲳鲹鱼肉中共检测出 113 种挥发性风味物质 (表 3)。卵形鲳鲹鱼肉中共含有 54 种挥发性风味物质, 包括醛类 18 种、醇类 13 种、酮类 4 种、酚类 1 种、烃类 12 种及其他风味物质 6 种。干腌、湿腌、超声波辅助腌制鱼肉中分别检测出 56、62 和 57 种挥发性风味物质, 主要为醛类、醇类和烃类。

2.7 挥发性风味成分的 ROVA 分析

依据挥发性风味物质的相对含量及感觉阈值 (表 3), 确定冻藏保鲜、干腌、湿腌和超声波辅助腌制卵形鲳鲹鱼肉中感觉阈值较低, 相对含量较高的物质分别为癸醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、

(E,Z)-2,6-壬二烯醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛, 将它们 ROVA 值设定为 100, 并计算其他风味物质的相对 ROVA 值。冻藏保鲜、干腌、湿腌和超声波辅助腌制卵形鲳鲹鱼肉中分别含有 9、11、10 和 16 种关键风味成分, 其中醛类分别为 8、8、8 和 11 种, 因而醛类物质为主要风味成分, 且 (E,Z)-2,6-壬二烯醛为 3 种腌制鱼肉中最大气味活度物质 (表 4)。

3 讨论

3.1 不同腌制方式对卵形鲳鲹基本营养成分的影响

卵形鲳鲹经不同腌制方法加工后, 鱼肉中水分含量显著降低 ($P<0.05$), 其中干腌鱼肉中水

表3 不同腌制方式对卵形鲳鲹挥发性风味成分的影响

Tab. 3 Effects of different curing methods on volatile flavor compounds of *T. ovatus*

挥发性风味物质 volatile flavor compounds	原料/% raw material	干腌法/% dry salting	湿腌法/% wet salting	超声波辅助腌制/% ultrasonic assisted curing	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) threshold values
醇类 alcohols					
1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	1.52	3.06	2.45	2.86	358.1 ^[20]
异戊醇 3-methyl-1-butanol	—	—	—	1.4	4.75 ^[21]
1-戊醇 1-pentanol	1.34	2.11	1.27	1.4	150.2 ^[20]
β -萜品醇 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-cyclohexanol	—	0.40	—	—	—
2-十四烷醇 2-tetradecanol	—	—	0.09	—	—
环戊醇 cyclopentanol	—	0.18	0.18	—	—
4-乙基-1-辛炔-3-醇 4-ethyl-1-hexyn-3-ol	—	—	—	3.46	—
(Z)-2-戊烯-1-醇 (Z)-2-penten-1-ol	0.50	—	—	0.94	—
(E)-2-壬烯-1-醇 (E)-2-nonen-1-ol	0.11	—	—	—	—
1-己醇 1-hexanol	0.67	0.77	1.35	2.61	250 ^[20]
(Z)-3-己烯-1-醇 (Z)-3-hexen-1-ol	—	—	0.09	—	0.2 ^[21]
2-辛醇 2-octanol	0.42	0.36	0.24	—	—
(E)-2-十三碳烯-1-醇 (E)-2-tridecen-1-ol	0.33	—	—	—	—
(E)-2-十二烯-1-醇 (E)-2-dodecen-1-ol	—	—	—	0.16	—
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	3.60	5.62	5.59	6.84	1.5 ^[20]
1-庚醇 1-heptanol	1.17	0.92	1.03	0.94	5.4 ^[20]
2,4-二甲基环己醇 2,4-dimethyl-cyclohexanol	0.40	—	0.11	0.47	—
正辛醇 1-octanol	2.82	0.47	0.85	0.94	—
(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	0.33	1.00	0.98	0.81	40 ^[22]
1-壬烯-4-醇 1-nonen-4-ol	—	—	0.08	—	—
2,4-十一烷二烯醇 2,4-undecadien-1-ol	0.12	—	—	0.2	—
(E)-2-十三碳烯-1-醇 (E)-2-tridecen-1-ol	—	—	—	0.18	—
醛类 aldehydes					
3-甲基丁醛 3-methyl-butanal	—	—	—	2.15	1.1 ^[20]
戊醛 pentanal	0.91	0.84	0.62	0.77	9 ^[20]
己醛 hexanal	23.83	25.58	25.59	28.37	5 ^[20]
庚醛 heptanal	4.97	—	—	3.34	2.8 ^[20]
(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	0.35	—	0.22	—	17 ^[22]
(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	0.16	—	0.61	0.39	0.8 ^[22]
辛醛 octanal	5.00	1.38	2.07	2.21	0.587 ^[20]
壬醛 nonanal	18.79	2.58	5.91	7.35	1.1 ^[20]
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	0.41	0.58	0.66	0.51	3 ^[20]
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-heptadienal	3.17	2.93	2.92	3.33	10 ^[22]
癸醛 decanal	2.97	—	—	1.7	0.1 ^[22]
(Z)-(3,3-二甲基环己亚基)-乙醛 (Z)-(3,3-dimethylcyclohexylidene)-acetaldehyde	—	—	—	0.13	—
苯甲醛 benzaldehyde	1.51	1.97	—	—	41.7 ^[20]
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	0.45	0.15	0.47	0.25	0.08 ^[20]
(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	—	0.17	0.21	0.19	0.01 ^[22]

· 续表 3 ·

挥发性风味物质 volatile flavor compounds	原料/% raw material	干腌法/% dry salting	湿腌法/% wet salting	超声波辅助腌制/% ultrasonic assisted curing	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) threshold values
十一醛 undecanal	0.21	—	0.18	—	5 ^[21]
(E)-2-癸烯醛 (E)-2-decenal	—	—	—	0.37	0.3 ^[22]
2-十一烯醛 2-undecenal	—	0.17	—	—	—
(E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-nonadienal	0.14	0.25	0.28	0.38	—
4-乙基苯甲醛 4-ethyl-benzaldehyde	0.27	0.13	0.1	—	—
3-乙基苯甲醛 3-ethyl-benzaldehyde	—	—	—	0.22	—
丁香醛 lilac aldehyde	—	0.32	0.22	0.27	—
(E,E)-2,4-十二碳二烯醛 (E,E)-2,4-dodecadienal	—	—	0.23	—	—
(E,E)-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-decadienal	—	0.55	0.3	0.39	—
十四醛 tetradecanal	0.15	0.17	—	0.16	0.06 ^[21]
十六醛 hexadecanal	0.14	—	0.12	—	—
十七醛 heptadecanal	0.24	—	—	—	—
十八醛 octadecanal	—	—	—	0.31	—
酮类 ketones					
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	—	0.95	0.67	1.02	5.13 ^[22]
3-羟基-2-丁酮 acetoin	—	—	—	0.23	—
1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	0.20	—	—	—	0.03 ^[21]
2-甲基-3-辛酮 2-methyl-3-octanone	—	—	4.08	—	—
(Z)-6-辛烯-2-酮 (Z)-6-octen-2-one	—	—	—	0.14	—
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.46	0.28	0.39	0.24	68 ^[20]
3-辛烯-2-酮 3-octen-2-one	—	0.45	0.46	0.25	—
4,6-二甲氧基-2,3-二甲基苯乙酮 4,6-dimethoxy-2,3-dimethylacetophenone	—	—	0.23	—	—
3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	0.27	2.80	4.28	4.32	150 ^[20]
6,7-十二烷二酮 6,7-dodecanedione	—	—	0.46	—	—
醋酸甲地孕酮 megestrol acetate	—	0.33	—	—	—
6,10,14-三甲基-十五烷-2-酮 6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone	0.26	—	—	—	—
酚类 phenols					
2,6-二叔丁基对甲基苯酚 butylated hydroxytoluene	2.75	0.44	3.26	0.17	—
酯类 esters					
正己酸乙烯基酯 n-caproic acid vinyl ester	—	6.18	—	0.7	—
烃类 hydrocarbons					
十一烷 undecane	—	12.66	7.64	—	—
乙苯 ethylbenzene	0.16	—	—	—	2205.25 ^[20]
对二甲苯 p-xylene	0.64	—	—	0.17	1000 ^[20]
邻二甲苯 o-xylene	—	0.18	—	—	450.23 ^[20]
2,4,4,6-四甲基-2-庚烯 2,4,4,6-tetramethyl-hept-2-ene	0.14	—	—	—	—
十二烷 dodecane	3.71	0.63	0.34	—	—
苯并环丁烯 bicyclo[4.2.0]octa-1,3,5-triene	—	—	—	0.4	—
苯乙烯 styrene	0.86	—	—	—	—
1,2,4-三甲基苯 1,2,4-trimethyl-benzene	—	0.17	—	—	500 ^[20]
十三烷 tridecane	—	—	0.52	—	—

· 续表 3 ·

挥发性风味物质 volatile flavor compounds		原料/% raw material	干腌法/% dry salting	湿腌法/% wet salting	超声波辅助腌制/% ultrasonic assisted curing	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$) threshold values
3,5-二甲基十二烷	3,5-dimethyldodecane	—	0.40	—	—	—
2,4-二甲基-1-癸烯	2,4-dimethyl-1-decene	2.17	—	—	—	—
5-甲基-5-丙基壬烷	5-methyl-5-propyl-nonane	—	0.13	—	—	—
4-乙基邻二甲苯	4-ethyl-1,2-dimethyl-benzene	—	0.19	—	—	—
正十六烷	hexadecane	—	3.20	0.73	—	—
(E)-1-乙基-3-甲基环戊烷	(E)-1-ethyl-3-methyl-cyclopentane	—	0.17	0.19	—	—
3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	3-ethyl-2-methyl-1,3-hexadiene	0.16	—	0.24	0.2	—
2,6,10-三甲基十二烷	2,6,10-trimethyl-dodecane	—	—	0.22	—	—
(E)-9-二十碳烯	(E)-9-eicosene	—	0.2	—	—	—
1-二十二烯	1-docosene	—	—	0.24	—	—
3,5,5-三甲基-2-己烯	3,5,5-trimethyl-2-hexene	1.00	4.03	3.26	3.22	—
(E)-9-十八碳烯	(E)-9-octadecene	—	0.43	0.8	—	—
β -石竹烯	caryophyllene	0.11	0.29	0.39	—	—
2,6,10,14-四甲基十五烷	2,6,10,14-tetramethyl-pentadecane	—	1.10	1.51	—	—
(Z)-5-十四烯-3-炔	(Z)-5-tetradecen-3-yne	—	—	0.09	—	—
1,5,9,13-十四烷四烯	1,5,9,13-tetradecatetraene	—	—	0.33	—	—
1-十二烯-3-炔	1-dodecen-3-yne	0.91	2.69	2.85	2.49	—
十七烷	heptadecane	0.22	0.90	5.74	0.19	—
萘	naphthalene	0.11	—	—	—	60 ^[20]
3-十二炔	3-dodecyne	—	0.29	0.28	0.28	—
1-亚丁烯基环己烷	1-butenylidene-cyclohexane	—	0.34	0.43	0.63	—
1,11-十二二炔	1,11-dodecadiyne	—	—	0.27	—	—
其他 others						
N-甲基乙胺	N-methylethanamine	—	—	—	4.37	—
三甲胺	N,N-dimethylmethanamine	—	—	—	1.27	1.4 ^[23]
L-丙氨酸乙酰胺	L-alanine ethylamide	—	—	—	0.19	—
1,2-环氧庚烷	pentyloxirane	0.15	—	—	—	—
二硝基甲基吡啶	pyridinium, dinitromethylide	—	—	3.98	—	—
吡啶硼烷	trihydro(pyridine)boron	—	3.82	—	—	—
吡啶	Pyridine	4.37	—	—	1.66	2 000 ^[20]
2-戊基呋喃	2-pentylfuran	0.19	0.24	—	—	—
1,2-环氧基环庚烷	8-oxabicyclo[5.1.0]octane	—	0.62	—	—	—
(E)-2-(2-戊烯基)-呋喃	trans-2-(2-pentenyl)furan	0.19	—	—	—	—
5-苯基-7-氯-1,3-二氢-2H-1,4-苯并二氮杂-2-酮	7-chloro-1,3-dihydro-5-phenyl-1-(trimethylsilyl)-2H-1,4-benzodiazepin-2-one	0.27	0.81	—	—	—
1-十八烷基磺酰氯	1-octadecanesulphonyl chloride	—	—	0.12	—	—
2,4,6-三甲基吡啶	2,4,6-trimethylpyridine	—	—	0.09	—	—
1-氯代二十二碳烷	behenyl chloride	—	0.26	—	—	—
1,2-环氧十二烷	decyl-oxirane	—	—	—	0.3	—
甲氧基苯肼	methoxy-phenyl-oxime	2.82	0.87	0.51	1.23	—
N,N-二丁基甲酰胺	N,N-dibutylformamide	—	—	0.18	0.16	—

表 4 腌制卵形鲳鲹挥发性风味成分相对气味活度 (ROVA) 值

Tab. 4 Relative odor activity value of volatile flavor components in salted *T. ovatus*

原料 raw material		干腌 dry salting		湿腌 wet salting		超声波辅助腌制 ultrasonic assisted curing	
化合物名称 compound	ROVA	化合物名称 compound	ROVA	化合物名称 compound	ROVA	化合物名称 compound	ROVA
癸醛 decanal	100.00	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	100.00	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	100.00	(E,Z)-2,6-壬二烯醛 (E,Z)-2,6-nonadienal	100.00
壬醛 nonanal	57.51	己醛 hexanal	30.09	(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	27.98	癸醛 decanal	89.47
辛醛 octanal	28.68	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	22.04	壬醛 nonanal	25.58	壬醛 nonanal	35.17
1-辛烯-3-酮 1-octen-3-one	22.45	十四醛 tetradecanal	16.67	己醛 hexanal	24.37	己醛 hexanal	29.86
(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	18.94	辛醛 octanal	13.83	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	17.75	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	24.00
己醛 hexanal	16.05	壬醛 nonanal	13.80	辛醛 octanal	16.79	辛醛 octanal	19.82
十四醛 tetradecanal	8.42	(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	11.03	(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	3.63	(E)-2-壬烯醛 (E)-2-nonenal	16.45
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	8.08	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-nonadienal	1.72	3-己烯-1-醇 (Z)-3-hexen-1-ol	2.14	十四醛 tetradecanal	14.04
庚醛 heptanal	5.98	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	1.14	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-heptadienal	1.39	3-甲基丁醛 3-methyl-butanal	10.29
(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-heptadienal	1.07	2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	1.09	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	1.05	(E)-2-癸烯醛 (E)-2-decenal	6.49
1-庚醇 1-heptanol	0.73	1-庚醇 1-heptanol	1.00	1-庚醇 1-heptanol	0.91	庚醛 heptanal	6.28
(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	0.67	戊醛 pentanal	0.55	2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	0.62	三甲胺 N,N-dimethylmethanamine	4.77
(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	0.46	苯甲醛 benzaldehyde	0.28	戊醛 pentanal	0.33	(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	2.57
戊醛 pentanal	0.34	(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	0.15	十一醛 undecanal	0.17	(E,E)-2,4-庚二烯醛 (E,E)-2,4-heptadienal	1.75
十一醛 undecanal	0.14	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	0.11	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	0.14	异戊醇 3-methyl-1-butanol	1.55
苯甲醛 benzaldehyde	0.12	1-戊醇 1-pentanol	0.08	(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	0.12	2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	1.05
(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	0.07	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	0.05	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	0.06	1-庚醇 1-heptanol	0.92
1-戊醇 1-pentanol	0.03	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.02	1-戊醇 1-pentanol	0.04	(E)-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	0.89
(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	0.03	1-己醇 1-hexanol	0.02	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	0.03	戊醛 pentanal	0.45
6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.02	邻二甲苯 o-xylene	<0.01	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.03	3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	0.15
1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	0.01	1,2,4-三甲基苯 1,2,4-trimethylbenzene	<0.01	1-己醇 1-hexanol	0.03	(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octen-1-ol	0.11
1-己醇 1-hexanol	0.01					1-己醇 1-hexanol	0.05
吡啶 pyridine	0.01					1-戊醇 1-pentanol	0.05
萘 naphthalene	0.01					1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	0.04
3,5-辛二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	0.01					6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-hepten-2-one	0.02
对二甲苯 p-xylene	<0.01					吡啶 pyridine	<0.01
乙苯 ethylbenzene	<0.01					对二甲苯 p-xylene	<0.01

分含量最低, 湿腌鱼肉中水分含量最高, 且存在显著差异 ($P < 0.05$), 与高凯日等^[24] 研究结果基本一致。腌制加工时鱼体内外形成渗透压差, 盐分会渗透进入鱼体, 而鱼体内部水分析出, 导致水分含量减少。相较于其他两种方法, 干腌法将食盐涂抹在鱼体表面, 形成高渗透压差, 水分含量减少速率较快^[25], 因此干腌鱼肉中水分含量最低, 而超声波处理破坏了鱼肉组织结构, 持水力下降, 相较于湿腌鱼肉中水分含量更低, 且差异显著 ($P < 0.05$)。在腌制加工后, 鱼肉中粗蛋白和粗脂肪含量显著增加 ($P < 0.05$)。腌制过程中由于水分减少、盐分增加, 蛋白质、脂肪发生氧化降解, 产生多肽、游离氨基酸和脂肪酸等, 但腌制加工后鱼肉粗蛋白和粗脂肪含量增加, 可能是由于水分含量减少, 粗蛋白和粗脂肪相对含量增加导致。

3.2 不同腌制方式对卵形鲳鲆盐含量和 pH 值的影响

食盐是常用的食品添加剂, 能够显著影响产品的风味和质地^[26]。腌制是食盐向鱼肉中渗透, 同时鱼肉中水分向外渗透的过程。在腌制过程中, 盐浓度越高, 其渗透速率越快, 干腌鱼肉中, 盐含量显著高于其他两种腌制方式 ($P < 0.05$)。超声波辅助腌制鱼肉中的盐含量显著高于湿腌法 ($P < 0.05$), 造成这一现象的原因是超声波可以加快腌制速率, 改善肉的组织质地^[19]。研究表明超声波辅助腌制可以提高氯化钠渗透速率, 促进鲜味氨基酸的产生^[7]。

鱼肉在腌制加工后 pH 值下降, 其中干腌鱼肉 pH 值最高, 而超声波辅助腌制鱼肉 pH 值最低。刑云霞等^[27] 发现干腌草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 后, 鱼肉 pH 值下降, 与本研究结果一致。鱼肉 pH 值下降的原因可能是鱼肉中脂肪、碳水化合物等水解, 脂肪酸、乳酸和磷酸积累造成, 也有可能是由于乳酸菌迅速繁殖, 抑制其他微生物生长, 并产生基本代谢产物造成^[28]。超声波辅助腌制鱼肉 pH 值显著低于湿腌鱼肉 ($P < 0.05$), 原因可能是超声波可以促进脂肪和蛋白质分解, 从而使脂肪酸等积累, 造成 pH 值下降。

3.3 不同腌制方式对卵形鲳鲆 TBA 值和脂肪酸的影响

腌制加工后鱼肉 TBA 值显著升高, 表明鱼肉产生剧烈的氧化反应。研究发现, 氯化钠能

够促进脂肪氧化^[29], TBA 值是否与盐含量有一定的相关性, 有待进一步研究。曹松敏等^[30] 研究发现, 蓝圆鲂 (*Decapterus maruadsi*) 在腌制加工过程中 TBA 值增加, 腌干产品 TBA 值为 0.7 mg MDA/kg。郭雅等^[4] 研究发现, 干腌鱼肉 TBA 值显著高于湿腌法, 表明干腌鱼肉脂肪氧化程度高, 与本实验结果相近。超声波辅助腌制相比湿腌鱼肉 TBA 值显著增加, 造成该现象的原因可能是超声波因其空化作用产生局部高温高压, 同时超声过程中产生反应性自由基, 加快脂肪氧化^[31]。

鱼肉脂肪在酶等作用下分解产生游离脂肪酸, 其是挥发性风味物质的前体物质。在腌制加工后, 鱼肉中 PUFA 不饱和双键较多, 易被氧化降解, 故 PUFA 含量减少。游离脂肪酸既是脂质降解产物, 又是脂质氧化的前体物质, MUFA 可能是由于其降解速率小于生成速率, 因而含量增加^[32]。二十二碳六烯酸 (DHA) 等 ω -3 多烯酸具有降血压、降血脂、抗癌等作用, 是人体必需营养物质^[33]。经不同腌制加工后, 鱼肉中 DHA 的含量均降低, 超声辅助腌制鱼肉中 DHA 含量显著低于其他两种方法 ($P < 0.05$)。

3.4 不同腌制方式对卵形鲳鲆挥发性风味物质的影响

卵形鲳鲆在腌制加工后, 挥发性风味物质的含量和种类发生变化, 醛、酮、醇类为主要挥发性风味物质。醛类物质相对含量最高, 己醛、辛醛、壬醛、(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛和 (E,Z)-2,6-壬二烯醛在腌制加工后的鱼肉中均检出, 与吴燕燕等^[34] 的研究结果相近, 且这 6 种醛类物质均为关键风味成分。己醛主要源自 n-6 不饱和脂肪酸的氧化降解 (如亚油酸和花生四烯酸), 具有青草香味 (低浓度) 及鱼腥味 (高浓度)^[35]。卵形鲳鲆在腌制加工后脂肪氧化, 烷氧自由基分解, 己醛相对含量升高。超声波辅助腌制鱼肉中己醛相对含量高于其他腌制方法, 表明超声波可能会加快不饱和脂肪酸的降解。辛醛、(E)-2-壬烯醛呈现柑橘味、清香味, 而壬醛、(E)-2-辛烯醛呈现油脂味、鱼腥味, 其中烯醛主要由亚麻酸酯及其氢过氧化物降解产生^[20]。(E,Z)-2,6-壬二烯醛具有青香味, 在 3 种腌制加工鱼肉中均检出, 相对含量较低, 但阈值极低, 因而其对腌制鱼肉贡献最大。

醇类化合物相较于醛类, 风味阈值较高, 对风味的影响较小, 但不饱和醇类化合物阈值低, 如1-辛烯-3-醇。卵形鲳鲹经腌制加工后, 1-己醇、1-戊烯-3-醇、1-辛烯-3-醇、(E)-2-辛烯-1-醇的相对含量均升高, 而1-庚醇、1-辛醇的相对含量降低。1-辛烯-3-醇为关键风味物质, 主要源自花生四烯酸的氧化降解, 具有鱼腥味、蘑菇香味, 与脂肪氧化程度高低有关^[36]。丁丽丽等^[37]研究发现, 1-己醇、1-戊烯-3-醇、1-辛烯-3-醇在带鱼 (*Trichiurus haumela*) 腌制后含量升高且为特征性风味成分。而在本研究中, 1-己醇、1-戊烯-3-醇不是特征风味成分, 可能因为鱼品种不同所致。(E)-2-辛烯-1-醇具有肉汤味, 在腌制加工后 ROVA 值>0.1, 对腌制鱼肉总体风味具有修饰作用。

酮类化合物主要来自于脂肪酸的降解及醇类物质的氧化, 其阈值较高, 对腌制鱼肉风味贡献较小。卵形鲳鲹鱼肉中未检出 2,3-戊二酮、3-辛烯-2-酮, 经腌制加工后, 两种酮类化合物均被检出。2,3-戊二酮具有奶油、酸奶味, 其在干腌和超声波辅助腌制鱼肉中为关键风味成分, 而对湿腌鱼肉总体风味具有修饰作用。腌制加工后, 鱼肉中 3,5-辛二烯-2-酮相对含量增加, 其具有动物油脂味, 挥发性强, 是腌制鱼肉风味的重要成分^[38]。三甲胺是由氧化三甲胺在微生物和酶的作用下降解生成, 具有鱼腥味。超声波辅助腌制鱼肉中检测出三甲胺, 会影响产品总体风味, 而在其他腌制处理的鱼肉中未检出, 原因可能是超声波破坏鱼肉组织结构, 有利于微生物和酶的作用, 从而产生三甲胺。

4 结论

卵形鲳鲹经 3 种不同腌制方式加工后, 其理化特性及挥发性风味物质产生变化。鱼肉的水分含量和 pH 值降低, 而粗蛋白和粗脂肪含量增加, 其中干腌鱼肉水分含量最低, 湿腌鱼肉中水分含量最高。在腌制加工后, 鱼肉中盐含量显著增加 ($P<0.05$), 干腌鱼肉中盐含量显著高于其他两种腌制方式。鱼肉脂肪在腌制加工后发生氧化反应, 硫代巴比妥酸值显著增加, 其大到小依次为干腌、超声波辅助腌制、湿腌。卵形鲳鲹经不同腌制方法处理后, 饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量增加, 而多不饱和脂肪酸含量减少。本研究从原料及 3 种不同腌制加工

的卵形鲳鲹中共检测出 113 种挥发性风味物质, 主要为醛类、醇类及酮类, 对风味形成有重要作用。

参考文献 (References):

- [1] 戴梓茹, 钟秋平, 林美芳, 等. 金鲳鱼营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 347-350.
Dai Z R, Zhong Q P, Lin M F, *et al.* Nutritional component analysis and quality evaluation of golden pompano[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(1): 347-350(in Chinese).
- [2] 罗辉, 周明瑞, 敬庭森, 等. 雌、雄卵形鲳鲹肌肉品质评价[J]. 南方水产科学, 2020, 16(6): 115-123.
Luo H, Zhou M R, Jing T S, *et al.* Evaluation of muscle quality of male and female *Trachinotus ovatus*[J]. South China Fisheries Science, 2020, 16(6): 115-123(in Chinese).
- [3] 叶路漫. 加工工艺对风干金鲳鱼制品品质作用的研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
Ye L M. Study on the effect of processing technology on the quality of air-dried gold pomfret products[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019 (in Chinese).
- [4] 郭雅, 卞欢, 江芸, 等. 不同腌制方式对风干鳊鱼理化指标的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 272-276.
Guo Y, Bian H, Jiang Y, *et al.* Effects of different pickled methods on physicochemical indexes of air-drying *Parabramis pekinensis*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(14): 272-276(in Chinese).
- [5] Faria G Y Y, Souza M M, Oliveira J R M, *et al.* Effect of ultrasound-assisted cold plasma pretreatment to obtain sea asparagus extract and its application in Italian salami[J]. Food Research International, 2020, 137: 109435.
- [6] 王旭. 超高压腌制对羊腿肉品质影响及传质动力学研究 [D]. 宁夏: 宁夏大学, 2016.
Wang X. Study of quality and mass transfer on ultra-high pressure brining leg of lamb[D]. Ningxia: Ningxia University, 2016 (in Chinese).
- [7] 王逸鑫, 吴涵, 黄海源, 等. 超声波辅助腌制对青鱼腌制品质影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(22): 142-146, 160.
Wang Y X, Wu H, Huang H Y, *et al.* Effect of ultrasonic-assisted pickling on the quality of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) pickled products[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(22): 142-146, 160(in Chinese).
- [8] 赵志霞, 吴燕燕, 李来好, 等. 低盐罗非鱼片快速腌制

- 的工艺研究[J]. *南方水产科学*, 2017, 13(6): 105-114.
- Zhao Z X, Wu Y Y, Li L H, *et al.* Study on fast brining technology for low-salinity tilapia fillets[J]. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(6): 105-114(in Chinese).
- [9] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China. National food safety standard GB 5009.3—2016 Determination of moisture in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [10] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards GB 5009.6—2016 Determination of fat in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [11] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards GB 5009.5—2016 Determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [12] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.44—2016 食品安全国家标准 食品中氯化物的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of China. National food safety standard GB 5009.44—2016 Determination of chloride in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.237-2016 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission. National food safety standard GB 5009.237-2016 Determination of pH value in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [14] 李娜. 罗非鱼新鲜度指示蛋白的筛选、特性及在品质评价中的应用研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- Li N. The screening of protein indicators for Nile tilapia freshness, properties study and application in the quality assessment research[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016 (in Chinese).
- [15] Folch J, Lees M, Stanley G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-509.
- [16] 韩迎雪, 林婉玲, 杨少玲, 等. 5种鲈形目淡水鱼肌肉脂肪酸及磷脂组成的研究[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(1): 85-92.
- Han Y X, Lin W L, Yang S L, *et al.* Composition of fatty acids and phospholipids in five Perciformes freshwater fish muscle[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(1): 85-92(in Chinese).
- [17] 熊添, 吴燕燕, 李来好, 等. 卵形鲳鲹肌肉原料特性及食用品质的分析与评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 104-112.
- Xiong T, Wu Y Y, Li L H, *et al.* Material characteristics and eating quality of *Trachinotus ovatus* muscle[J]. *Food Science*, 2019, 40(17): 104-112(in Chinese).
- [18] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 370-374.
- Liu D Y, Zhou G H, Xu X L. “ROAV” method: a new method for determining key odor compounds of Rugao Ham[J]. *Food Science*, 2008, 29(7): 370-374(in Chinese).
- [19] 杨欣怡, 张凤枰, 赵鑫, 等. 网箱海养卵形鲳鲹饲料与肌肉品质评价[J]. *食品科学*, 2015, 36(21): 243-248.
- Yang X Y, Zhang F P, Zhao X, *et al.* Evaluation of nutritional composition and quality of feed and muscle of sea cage cultured *Trachinotus ovatu*[J]. *Food Science*, 2015, 36(21): 243-248(in Chinese).
- [20] 顾赛麒, 唐锦晶, 周绪霞, 等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 36-44.
- Gu S Q, Tang J J, Zhou X X, *et al.* Quality change and aroma formation in cured fish during traditional sun drying processing[J]. *Food Science*, 2019, 40(17): 36-44(in Chinese).
- [21] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编 [M]. 刘强, 冒德寿, 汤峨, 译. 北京: 科学出版社, 2015: 1-228.
- Gemert L J V. Compilations of flavour threshold values in water and other media (second enlarged and revised edition)[M]. Liu Q, Mao D S, Tang E, trans. Beijing: Science press, 2015: 1-228 (in Chinese).
- [22] 丁浩宸, 李栋芳, 张燕平, 等. 南极磷虾肉糜对海水鱼糜制品挥发性风味成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(2): 53-62.
- Ding H C, Li D F, Zhang Y P, *et al.* Effects of Antarctic

- krill* paste on volatile flavor components of marine surimi seafood[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(2): 53-62(in Chinese).
- [23] 吕梁玉, 官爱艳, 张单阳, 等. 电子束辐照对带鱼鱼糜及其热诱导凝胶挥发性风味成分的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(18): 77-83.
Lü L Y, Guan A Y, Zhang D Y, *et al.* Effects of electron beam irradiation on the volatile flavor components of hairtail surimi and its thermally induced gel[J]. *Food Science*, 2016, 37(18): 77-83(in Chinese).
- [24] 高凯日, 林琳, 陆剑锋, 等. 不同腌制处理对草鱼肉质理化性质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(18): 21-28.
Gao K R, Lin L, Lu J F, *et al.* Effects of different curing treatments on physical and chemical properties of grass carp meat[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(18): 21-28(in Chinese).
- [25] Boudhrioua N, Djendoubi N, Bellagha S, *et al.* Study of moisture and salt transfers during salting of sardine filets[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 94(1): 83-89.
- [26] Inguglia E S, Zhang Z H, Tiwari B K, *et al.* Salt reduction strategies in processed meat products—a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 59: 70-78.
- [27] 邢云霞, 马敏杰, 巴吐尔·阿不力克木. 食盐添加量对草鱼腌制效果的影响[J]. *肉类研究*, 2018, 32(10): 26-31.
Xing Y X, Ma M J, Batuer A. Effect of salt addition on the quality of marinated grass carp[J]. *Meat Research*, 2018, 32(10): 26-31(in Chinese).
- [28] Yang W X, Shi W Z, Qu Y H, *et al.* Research on the quality changes of grass carp during brine salting[J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(6): 2968-2983.
- [29] Czerner M, Tomás M C, Yeannes M I. Ripening of salted anchovy (*Engraulis anchoita*): development of lipid oxidation, colour and other sensorial characteristics[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(4): 609-615.
- [30] 曹松敏, 吴燕燕, 李来好, 等. 蓝圆鲹传统腌干过程中内源脂肪酶和脂质降解氧化的变化分析[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 36-42.
Cao S M, Wu Y Y, Li L H, *et al.* Evolution of endogenous lipase activity, lipolysis and lipid oxidation during the processing of traditional dry-salted *Decapterus maruadsi*[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 36-42(in Chinese).
- [31] 王腾. 超声波辅助盐渍对盐渍鲢鱼和鲢鱼干理化性质及品质的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
Wang T. Effects of salting assisted by ultrasound on physicochemical properties and quality of salted grass carp and salted-dried grass carp[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018 (in Chinese).
- [32] 刘昌华, 章建浩, 王艳. 鲈鱼风干成熟过程中脂质分解氧化规律[J]. *食品科学*, 2012, 33(5): 13-18.
Liu C H, Zhang J H, Wang Y. Lipolysis and lipid oxidation in perch during curing and air drying ripening[J]. *Food Science*, 2012, 33(5): 13-18(in Chinese).
- [33] 蔡瑞康, 吴佳佳, 马旭婷, 等. 糟鱼腌制过程中的营养成分分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(2): 172-177.
Cai R K, Wu J J, Ma X T, *et al.* Analysis and quality evaluation of nutritional components in fermented large yellow croaker fish[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(2): 172-177(in Chinese).
- [34] 吴燕燕, 游刚, 李来好, 等. 低盐乳酸菌法与传统法腌干鱼制品的风味比较[J]. *水产学报*, 2014, 38(4): 600-611.
Wu Y Y, You G, Li L H, *et al.* Comparison of flavor components between low-salt lactic acid fermented fish and traditional salted fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 600-611(in Chinese).
- [35] Marušić N, Vidaček S, Jančić T, *et al.* Determination of volatile compounds and quality parameters of traditional Istrian dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2014, 96(4): 1409-1416.
- [36] Iglesias J, Medina I. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle[J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1192(1): 9-16.
- [37] 丁丽丽, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸带鱼加工过程挥发性风味成分的变化[J]. *食品科学*, 2011, 32(24): 208-212.
Ding L L, Wu Y Y, Li L H, *et al.* Changes of volatile flavor compounds during salted hairtail (*Trichiurus haumela*) processing[J]. *Food Science*, 2011, 32(24): 208-212(in Chinese).
- [38] 梁晶晶, 曹长春, 王蒙, 等. 采用SDE结合SAFE分析炖煮鸡胸肉产生的风味物质[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 57-67.
Liang J J, Cao C C, Wang M, *et al.* Analysis of stewing chicken breast flavor using the extraction of SDE combined with SAFE[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(4): 57-67(in Chinese).

Effects of different curing methods on physicochemical parameters and volatile flavor components of *Trachinotus ovatus*

ZHANG Jinwei^{1,2}, HU Xiao^{2,3}, CHEN Shengjun^{2,3*}, WU Yanyan^{2,3},
WANG Yueqi^{2,3}, PAN Chuang^{2,3}, HUANG Hui^{2,3}

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,

Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

National Research and Development Center for Aquatic Product Processing, Guangzhou 510300, China;

3. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572000, China)

Abstract: *Trachinotus ovatus* is a marine commercial fish because of high nutritional value and special flavour, which is widely cultured in Guangdong, Fujian and other southern coastal areas in China. In recent years, as the production of *T. ovatus* increases, *T. ovatus* in the domestic market is mainly sold live or chilled, causing many problems such as short shelf life, low economic benefits and so on. Salting is one of traditional ways to preserve or to process fish. Salting is based on the penetration of salt into the fish muscles as a direct consequence of its ability not only to reduce water activity of fish muscles and inhibit the growth of microorganisms, but also improve the quality and flavour of the product. Because *T. ovatus* has no muscle spines, it is suitable to extend the shelf life of products and improve the added value of products by salting, air drying and other techniques. Traditional curing methods include dry salting, wet salting and mixed-salting and they have some shortcomings such as slow curing speed and uneven curing. With the development of technology, ultrasonic assisted curing and ultra-high pressure assisted curing have been developed, which has the advantages of fast curing speed and good product quality. At present, there are few reports on the comparison between the new curing methods and the traditional curing methods. In order to explore the effects of dry salting, wet salting and ultrasonic assisted curing on the physicochemical parameters and volatile flavor components of *T. ovatus*, the basic nutritional components, salt content, pH, thiobarbituric acid (TBA) value, fatty acid composition and volatile flavor compounds of salted fish were determined and analyzed. The results showed that after different curing processes the protein and fat content of *T. ovatus* increased, but the moisture content of *T. ovatus* decreased. The moisture contents of dry salted, wet salted and ultrasonic assisted salted fish were $53.71\% \pm 0.97\%$, $61.45\% \pm 0.72\%$, $59.29\% \pm 1.41\%$, respectively. Compared with fresh *T. ovatus*, the salt content of dry salted, ultrasonic assisted salted and wet salted fish increased, which were (3.29 ± 0.15) , (2.64 ± 0.02) and (2.15 ± 0.11) g/100 g, respectively. However, the pH value of *T. ovatus* decreased after different curing processes. After curing processing, the lipids of fish meat underwent oxidation reaction, the TBA value increased. The TBA values of dry salted, wet salted and ultrasonic assisted cured fish were (0.80 ± 0.07) , (0.55 ± 0.09) and (0.73 ± 0.08) mg MDA/kg. The fatty acid composition changed after curing processes with increase of saturated fatty acids and monounsaturated fatty acids and decrease of poly-unsaturated fatty acids. In this study, 54, 56, 62 and 57 volatile flavor compounds were detected from *T. ovatus*, dry salted, wet salted and ultrasonic assisted salted fish respectively. The volatile flavor compounds were mainly aldehydes, alcohols and ketones, which played an important role in flavor formation. The results showed that compared with the other two methods, the water content of dry salted fish was the lowest, but both the salt content and TBA value was the highest. The relative content of aldehydes and alcohols in the volatile flavor compounds of fish cured by ultrasonic assisted was the highest, and the pH value was the lowest. This study can provide technical and theoretical reference for curing processing and production process optimization.

Key words: *Trachinotus ovatus*; curing method; physicochemical parameters; volatile flavor compounds

Corresponding author: CHEN Shengjun. E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

Funding projects: 2020 Research Program of Sanya Yazhou Bay Science and Technology City (SKJC-2020-02-013); China Agriculture Research System (CARS-47); Guangdong Provincial Special Fund For Modern Agriculture Industry Technology Innovation Teams (2021KJ151); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD69)