



利用大口黑鲈加工上海熏鱼的工艺及风味特点

周瑜¹, 陈舜胜^{1,2*}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家淡水水产品加工技术研发中心, 上海 201306)

摘要: 为了弥补传统上海熏鱼的不足, 实验以大口黑鲈替代草鱼制作上海熏鱼, 采用单因素实验设计和正交实验设计改良上海熏鱼的加工工艺, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法 (SPME-GC-MS) 分别测定油爆后的上海熏鱼、用油爆后浸渍液 (仅由酱油、白砂糖和植物油组成) 处理的上海熏鱼、上海熏鱼成品 (油爆后浸渍液由酱油、白砂糖、植物油、食用盐和香辛料组成) 中的挥发性风味活性物质, 通过 GC-MS 的定性定量分析得出上海熏鱼的主要风味化合物, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 测定呈味核苷酸。结果显示, 优化工艺参数为油爆时间 6 min, 油爆后浸渍液中酱油/白砂糖=4:3。3 个样品中的挥发性化合物分别有 37、47 和 55 种, 其中醛酮类、醇类、烃类、芳香类和含氮含硫类物质是上海熏鱼的主要风味化合物。肌苷酸是主要鲜味核苷酸。研究表明, 高温油爆过程中发生的美拉德反应、热降解、脂肪酸氧化有助于去除鱼腥味, 形成上海熏鱼的特色风味。浸渍和油爆是提高鱼肉制品品质的优良加工工艺。

关键词: 大口黑鲈; 熏鱼; 感官评定; 风味; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法 (SPME-GC-MS); 高效液相色谱法 (HPLC)

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

上海熏鱼是一道色香味俱全、营养丰富的传统中式菜肴, 属沪菜系。传统上海熏鱼以青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 或草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 为原料, 通过一次浸渍、油爆、油爆后浸渍过程, 达到去除和掩盖淡水鱼土腥味的目的, 同时加热油爆过程发生的美拉德反应可以增加鱼肉的香气, 制作出色香味俱全、营养丰富的熟菜^[1]。由此可见, 上海熏鱼虽然带有“熏”字, 但并没有用到烟熏的加工工艺, 而是通过氨基酸和糖类物质发生的美拉德反应及高温条件下发生的脂肪酸氧化和热降解, 产生出多种风味活性物质, 从而改善淡水鱼的感官品质^[2]。青鱼是以水底层的软体动物为主要食物的肉食性鱼类, 其肉质紧实鲜

美、刺少, 享有“淡水鱼上品”的美誉, 过去常被用来制作上海熏鱼。据统计, 2019 年青鱼的养殖量为 67.96 万 t, 较 2018 年减少 1.69%, 草鱼养殖量高达 553.31 万 t, 远高于青鱼养殖量^[3], 所以草鱼逐渐成为上海熏鱼加工的原料。不足的是, 草鱼是典型的草食性鱼类, 土腥味较重, 且青鱼和草鱼均有肌间刺, 老人和小孩不方便食用。

大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 又名加州鲈, 属鲈形目 (Perciformes), 是以肉食为主的杂食性淡水鱼, 其肌肉中必需氨基酸占氨基酸总量的 4% 以上, 多不饱和和脂肪酸比例为 43.37%, 远高于草鱼, 可为人体提供优质蛋白^[4-6]。大口黑鲈不仅营养丰富, 土腥味较青鱼和草鱼轻, 且肉质细

收稿日期: 2021-05-14 修回日期: 2021-06-22

资助项目: 国家自然科学基金 (31471685); “上海市高校知识服务平台”项目 (ZF1206); “基于风味前体形成机制的特色风味稳定性调控方法研究”项目 (2017YFD0400105-02)

第一作者: 周瑜 (照片), 从事水产品加工研究, E-mail: 1226824526@qq.com

通信作者: 陈舜胜, 从事水产品加工研究, E-mail: sschen@shou.edu.cn



嫩、无肌间刺, 口感和风味均优于草鱼, 深受广大喜爱。2019年, 全国淡水养殖鲈类产量为 47.8 万 t, 较 2018 年增长 10.59%, 具有一定的市场占有率^[3]。大口黑鲈经过 40 年的引进养殖, 技术成熟, 产量逐年提高, 鱼价下行, 对养殖产业带来新的压力。大口黑鲈略带土腥味, 不适合清蒸, 随着养殖量的增长, 开发出适合大口黑鲈的加工方式, 制作出风味佳、老少咸宜的食品是一个值得研究的课题。目前, 以草鱼为原料制备传统上海熏鱼已有较多的研究^[7-10], 但用大口黑鲈制备创新型上海熏鱼未见报道。本实验在原有工艺的基础上, 选用更好的原料, 推陈出新, 开发出大口黑鲈加工新产品。

实验选取大口黑鲈, 参照传统上海熏鱼的加工过程, 通过原料和加工工艺两方面的改进, 确定优选用料和工序, 制作新型的上海熏鱼。挥发性气味活性物质和滋味物质是构成鱼肉风味的重要成分^[11], 为探究大口黑鲈在制作上海熏鱼的不同阶段中风味的变化, 本实验采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法 (SPME-GC-MS) 测定鱼肉的挥发性物质, 采用高效液相色谱法 (HPLC) 测定鱼肉的滋味物质, 并探讨其风味的形成机理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大口黑鲈 (每尾约 1.5 kg) 购自上海市浦东新区古棕路农贸市场, 充氧运回。香葱、老姜购自上海市浦东新区古棕路农工商超市; 精制料酒, 北京二商王致和食品有限公司; 白胡椒粉、香辛料制品, 泰州市好食惠调味品有限公司; 未加碘纯精岩盐, 中盐上海市盐业公司; 葵花籽油, 金龙鱼; 玉棠牌优级绵白糖, 上海市糖业烟酒 (集团) 有限公司; 海天酱油老抽王; 五香粉 (内含桂皮粉、八角粉、小茴香粉、芫荽粉、花椒粉、甘草粉), 上海味好美食品有限公司; 八角, 上海味好美食品有限公司; 饮用纯净水, 杭州娃哈哈集团有限公司; NaCl, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 超纯水。核苷酸及其关联物标准品: 腺嘌呤核苷三磷酸 (adenosine triphosphate, ATP) 标准品、二磷酸腺苷酸 (adenosine diphosphate, ADP) 标准品、肌苷酸 (inosine monophosphate, IMP) 标准品、次黄嘌呤 (hypoxanthine, Hx) 标准品, 美国 Sigma 公司; 一磷酸腺苷 (adenosine monophosphate, AMP) 标准品、次黄嘌呤核苷

(insoine, HxR) 标准品, 日本 TCI 公司; 磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、甲醇, 色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司, 高氯酸 (perchloric acid, PCA)、氢氧化钾、氢氧化钠, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

安捷伦 7890-5977a 气相色谱-质谱联用仪, 美国; 聚二甲基硅氧烷/二乙烯苯 (PDMS/DVB) 固相微萃取头 (涂层厚度 65 μm), 上海安谱实验科技股份有限公司; Waters 高效液相色谱仪 W2690/5, 美国; 岛津 NH_2 色谱柱 (25 $\text{cm} \times 4.6 \text{ mm}$, 5 μm), 日本; H2050R 型高速冷冻离心机, 长沙湘仪有限公司; 岛津 AUW320 型电子分析天平, 日本; AD200L-P 型高速分散均质机, 昂尼仪器; HY-81 型电热炸炉, 佛山市南海泊菲机电设备有限公司; C21-RT2120 型美的多功能电磁炉, 广州美的生活电器制造有限公司; DF101S 型集热式恒温加热磁力搅拌器, 巩义市予华仪器有限责任公司。

1.3 熏鱼加工工艺选择

上海熏鱼基本工艺流程 原料前处理→一次浸渍→沥干→油爆→沥干→油爆后浸渍→沥干→装盘。

原料的前处理 选用鲜活大口黑鲈, 用刀背重击头部, 致晕后去头、刮鳞、除内脏, 用自来水冲淋至鱼体不含血迹, 将鱼切成厚度约 1.5 cm 的鱼块, 称量鱼块的总重量。

一次浸渍过程 以下调味料用量均按鱼块总质量的百分含量计算。一次浸渍液的制备: 料酒 18%、食用盐 1%、白胡椒粉 1.5%、香葱 3%、老姜 1.5%。将一次浸渍液均匀淋在鱼块上, 翻转鱼块, 使浸渍液分布均匀, 浸渍 15 min 后再次翻转, 继续浸渍 15 min。

油爆过程 将食用油倒入电热炸炉中, 设定温度为 185 $^{\circ}\text{C}$, 此时升温指示灯亮起。当恒温指示灯亮起时将鱼块放入, 油爆一定时间 (待确定)。油爆过程中要防止鱼块黏连。

油爆后浸渍过程 油爆后浸渍液的制备: 老抽 (用量待确定)、白砂糖 (用量待确定)、食用盐 1%、五香粉 1%、八角茴香 0.8%、植物油 6%、10 倍体积的矿泉水, 将其混合加热至沸腾后熬制 8 min, 得到油爆后浸渍液。将油爆后的鱼块完全浸入油爆后浸渍液中一定时间, 得到上海熏鱼成品。不含香辛料的油爆后浸渍液制作中不添加食用盐、五香粉和八角茴香。

1.4 熏鱼品质的评价与工艺参数的优选

熏鱼的感官评价方法 感官评分：综合考虑后设计参考评分标准(表1)。为优选大口黑鲈制备上海熏鱼的加工工艺参数，实验人员将制作好的大口黑鲈上海熏鱼置于干净的一次性纸碗中，选择20位感官评价员进行感官评定，为了避免个体偏爱等因素对结果的影响，应保证每次感官评定实验由每位评价员坐在带隔板的小桌前单独进行，严禁互相交流。在评定每个样品前，评价员要用清水充分漱口，以排除上一个样品的残留味道对下一个样品产生的影响。

表1 大口黑鲈制作上海熏鱼的感官品质评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation criteria for Shanghai smoked fish

评分范围(权重) rate range (weight)	评分标准 scoring criteria	分值 score distribution
外观(20分) appearance	块形完好，无松散	20~15
	块形较完整，有些许断裂	15~10
	切片散碎	<10
口感(30分) taste	咸甜适中，软硬适中	30~20
	较咸或较甜，偏软或偏硬	20~10
	太咸或太甜，鱼块太硬或太软	<10
香气(25分) odour	无腥味，香气浓郁	25~15
	腥味淡，香味较浓郁	15~10
	腥味重，香味较淡	<10
色泽(25分) color	红褐色，有光泽	25~15
	稍深或稍浅	15~10
	焦黑，无光泽	<10

成对偏爱检验：为测定20个评价员对大口黑鲈上海熏鱼的偏爱是否超过草鱼上海熏鱼。按优选后的工艺参数分别制备大口黑鲈上海熏鱼和草鱼上海熏鱼，并进行成对偏爱检验。检验开始前，用清水漱口，按顺序从左至右品尝2个样品，圈上偏爱样品的号码。

熏鱼工艺参数的确定 **油爆时间的确定**：分别选取处理一次浸渍后4、6、8、10和12 min的鱼块，油爆后浸渍液酱油/白砂糖比例为1:1(即鱼块质量的20%:20%)，油爆后浸渍时间为10 min时，按表1的标准进行感官评定并记录结果，选择出最优的油爆时间。

酱油/白砂糖比例的确定：在确定油爆时间的基础上，改变油爆后浸渍液中酱油/白砂糖比例(3:4、4:5、1:1、5:4、4:3，即分别为鱼块质量的15%:20%、20%:25%、20%:20%、25%:

20%、20%:15%)，油爆后浸渍时间为10 min，按表1的标准进行感官评定并记录结果，选择出油爆后浸渍液最优的酱油/白砂糖配比。

油爆后浸渍时间的确定：采用上述油爆时间和酱油/白砂糖比例，分别选取5、10、15、20和25 min为油爆后浸渍时间，按表1的标准进行感官评定并记录结果。

油爆工艺的正交实验法：以不同油爆时间、油爆后浸渍液中不同的酱油/白砂糖的比例、油爆后不同的浸渍时间为主要考察因素，以上海熏鱼感官评定总分为主要考察指标，确定最佳加工条件。

熏鱼的挥发性成分分析 参考杨雪玲等^[12]的方法，略有改动。取各组样品鱼背部肌肉切碎，将5 g碎鱼肉与5 mL质量分数为18%的NaCl溶液混合，将混合物充分均质后置于20 mL顶空瓶中待测。选用65 μm的PDMS/DVB萃取头，设定恒温水浴锅温度为60 °C，萃取40 min，挥发性风味物质充分吸附在涂层上。每个样本3次平行，结果取平均值。

气相色谱条件：HP-5MS石英毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.5 μm)，解吸时间为5 min；选用两段式程序升温，共43 min：初始温度设定为40 °C，保持1 min，随后以4 °C/min的速率进行升温，升至160 °C后，再以10 °C/min的速率升至250 °C，保持3 min；载气(He)的流速为1.0 mL/min；进样模式：不分流。

质谱条件：电子能量70 eV，灯丝发射电流200 μA，离子源温度250 °C，四极杆温度150 °C，检测器温度250 °C，接口温度250 °C，检测器电压1.2 kV，质量扫描范围50~450 m/z。

熏鱼的滋味物质分析 分别称取5.00 g样品于50 mL离心管中，加入质量分数为10%的PCA溶液10 mL，匀浆后冷冻离心(10 000 r/min、15 min、4 °C)，取上清液，用5 mL 5%的PCA溶液洗涤沉淀，再次离心，重复以上操作2次，合并上清液，用10和1 mol/L的KOH溶液调节pH值至6.50，静置30 min，取上清液定容至50 mL，摇匀，过0.22 μm滤膜后待测。整个处理过程均在0~4 °C条件下操作。3组平行实验取平均值。

色谱条件：岛津ODS-3 C₁₈(4.6 mm×25 cm, 5 μm)色谱柱；流动相A为甲醇，流动相B为20 mmol/L的KH₂PO₄-K₂HPO₄(1:1)溶液，用磷酸调pH为6.50，洗脱程序为等度洗脱，流动相A/流动相B为3:97；流速为1.0 mL/min；柱温30 °C；进样量10 μL；检测波长254 nm。

1.5 数据分析

感官评分结果数据分析 分别用 SPSS 17.0 和 Microsoft Excel 2013 软件进行实验数据处理及表格绘制。利用 SPSS Statistics 23.0 软件进行单因素方差分析, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

SPME-GC-MS 联用实验数据处理 挥发性成分采用 NIST2011 和 Wiley 质谱数据库进行匹配定性, 且当正反匹配度均大于 800 的化合物才予以报道。

$$ROAV_i = 100 \times \frac{C_{ri}}{C_{stan}} \times \frac{T_{stan}}{T_i} \quad (1)$$

式中, C_{ri} 为各挥发性化合物的相对含量 (%); C_{stan} 为对样品整体风味贡献最大的化合物的相对含量 (%); T_i 为各挥发性化合物相应的感觉阈值; T_{stan} 为对样品整体风味贡献最大的化合物的感觉阈值; ROAV 为相对气味活度值; $ROAV_i$ 为某种物质 (i) 的相对气味活度值。

$0 < ROAV_i < 100$, 值越大说明该物质对整体风味的贡献越大, $ROAV \geq 1$ 表明该物质是关键风味化合物, $0.1 \leq ROAV < 1$ 表明该化合物对总体风味有重要修饰作用^[13]。

核苷酸化合物数据处理 采用 Microsoft Excel 2013 软件绘制标准曲线, 计算化合物含量。

2 结果

上海熏鱼的加工工艺分为一次浸渍、高温油爆和油爆后浸渍 3 步。一次浸渍有助于去腥, 高温油爆让鱼块变熟, 产生愉悦的风味, 油爆后浸渍的过程中, 调味品渗入酥脆的外壳, 进一步提升熏鱼的风味。根据外观、口感、香气和色泽 4 个指标, 确定了油爆时间和浸渍条件。

2.1 油爆时间的确定

在选定时间范围内对大口黑鲈鱼块进行油爆,

在外观方面, 得到的熏鱼制品均形态完好, 无松散, 外观的得分无显著差异 ($P < 0.05$), 其中, 油爆 4 和 6 min 时得分较高, 油爆超过 10 min 后外观指标得分开始下降。油爆 4 和 8 min 时的鱼块在口感指标的得分显著低于油爆 6 min 的鱼块 ($P < 0.05$)。油爆 4 min 的鱼块口感偏软, 鱼块表面尚未形成良好的酥脆表皮; 油爆 6 min 的鱼块外酥里嫩, 达到预期目标; 油爆 8 min 的鱼块软硬适中, 但不如油爆 6 min 的鱼块。自油爆 8 min 起, 随着油爆时间的延长, 鱼块硬度显著增加 ($P < 0.05$), 在口感上得分下降。实验组鱼块均无腥臭味, 香气浓郁, 在香气指标上的得分无显著差异 ($P < 0.05$)。油爆 4 和 6 min 的鱼块的色泽与油爆 8、10 和 12 min 的鱼块在色泽指标上的得分有显著差异 ($P < 0.05$), 油爆 8 min 后鱼块颜色稍深。油爆 12 min 鱼块的感官评定得分显著 ($P < 0.05$) 低于其他实验组, 油爆 6 min 得到的上海熏鱼感官评定得分最高, 确定熏鱼油爆时间为 6 min (表 2)。

2.2 浸渍条件的确定

上海熏鱼的油爆后浸渍是为了上色、提味和增鲜, 综合考虑外观、口感、香气和色泽 4 个指标, 确定了油爆后浸渍条件。

油爆后浸渍液酱油/白砂糖比例的确定

根据表 2 的感官评定结果, 确定油爆时间为 6 min, 改变油爆后浸渍液 (卤汁) 酱油/白砂糖的比例, 分别为 3 : 4、4 : 5、1 : 1、5 : 4、4 : 3, 选定油爆后浸渍时间为 10 min, 进行上海熏鱼的制作, 按表 1 的标准进行感官评定, 结果见表 3。

老抽是一种传统的大豆发酵制品, 具有提鲜和上色作用, 是中式菜肴中必不可少的调味品^[14]。改变油爆后浸渍液中酱油/白砂糖的比例, 上海熏鱼的甜度、咸度、鲜度及色泽会受到影响。酱油/白砂糖的比例为 3 : 4 时, 鱼块口感显著偏甜

表 2 油爆时间对上海熏鱼感官品质的影响

Tab. 2 Sensory evaluation for Shanghai smoked fish for different deep-fried times

油爆时间/min frying time	外观 appearance	口感 taste	香气 odour	色泽 color	总分 score
4	17.90±0.67 ^a	23.40±0.85 ^b	20.60±1.16 ^a	21.20±0.53 ^{bc}	83.10±2.33 ^a
6	18.40±0.45 ^a	29.10±0.31 ^c	22.80±1.02 ^a	23.10±0.99 ^c	93.40±1.25 ^a
8	15.80±1.25 ^a	23.50±1.05 ^b	22.70±1.00 ^a	18.00±1.80 ^{ab}	80.00±4.34 ^a
10	16.40±0.83 ^a	20.50±0.89 ^a	22.60±1.08 ^a	17.30±1.14 ^{ab}	76.80±2.36 ^a
12	15.70±0.59 ^a	18.50±0.63 ^a	23.20±0.85 ^a	15.70±1.19 ^a	73.10±1.37 ^b

注: 同列中不同字母表示存在显著差异, $P < 0.05$, 下同

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

表 3 油爆后浸渍液组成对上海熏鱼感官品质的影响

Tab. 3 Sensory evaluation for Shanghai smoked fish in different fried soakage formation

酱油/糖 soy sauce : white sugar	外观 appearance	口感 taste	香气 odour	色泽 color	总分 score
3 : 4	18.20±0.55 ^a	18.70±1.46 ^a	16.60±1.22 ^a	18.20±0.96 ^a	71.70±2.36 ^a
4 : 5	18.50±0.42 ^a	22.80±1.19 ^b	19.60±0.95 ^b	20.90±0.88 ^{ab}	81.80±2.18 ^b
1 : 1	18.40±0.45 ^a	29.10±0.31 ^c	22.80±1.02 ^c	23.10±0.99 ^b	93.40±1.25 ^c
5 : 4	18.30±0.36 ^a	29.10±0.27 ^c	23.90±0.50 ^c	23.70±0.51 ^b	95.00±0.98 ^c
4 : 3	18.10±0.54 ^a	29.60±0.22 ^c	24.60±0.30 ^c	23.00±0.96 ^b	95.30±1.30 ^c

注：酱油/糖为质量比，下同

Notes: soy sauce/white sugar means weight ratio, the same below

($P < 0.05$)。逐渐增加酱油的比例，上海熏鱼口感变得甜咸适中，该项指标得分增加，当酱油/白砂糖为 4 : 3 时，得分为 29.60，达到预期目标。香气指标方面，随着酱油/白砂糖比例增加，评定员打分变高，但当酱油/白砂糖高于 1 : 1 后，得分增加无显著差异 ($P > 0.05$)。经油爆后浸渍液处理 10 min 后的油爆鱼块均呈现红褐色，具有光泽。其中，酱油/白砂糖高于 1 : 1 时，着色度显著高于比例为 3 : 4 及 4 : 5 的实验组 ($P < 0.05$)。综合 4 个感官评定指标，确定酱油/白砂糖比例为 4 : 3。

油爆后浸渍时间的确定 确定油爆时间为 6 min，酱油/白砂糖为 4 : 3 后，分别选取 5、10、15、20 和 25 min 为油爆后浸渍时间，探究油爆后浸渍时间对上海熏鱼感官品质的影响，按表 1 的标准进行感官评定，结果见表 4。

油爆后浸渍时间为 10~20 min 时，上海熏鱼咸甜适中；油爆后浸渍时间为 5 min 时，鱼块入味程度不够，香气及色泽也显著差于其他组 ($P < 0.05$)；油爆后浸渍时间为 25 min 时，口感偏咸，感官评定得分下降。通过对感官评定总分的分析，确定熏鱼油爆后浸渍时间为 20 min。

2.3 上海熏鱼工艺参数的优选及确定

分别考虑油爆、油爆后浸渍的条件后，根据

单因素水平实验得出：油爆时间 6 min，油爆后浸渍液（卤汁）中酱油/白砂糖为 4 : 3，油爆后浸渍时间为 20 min 时，上海熏鱼品质较其他实验组得分高。通过分析单因素处理时感官评定总分的变化趋势，选定正交试验因素水平（表 5）。

按表 5 的正交因子水平设计 $L_9(3^4)$ 正交实验， K_1 、 K_2 、 K_3 分别表示每个因素各水平下的指标总和， k_1 、 k_2 、 k_3 分别表示每个因素各水平下指标的平均值， R 为极差值 ($R = \text{最大平均值} - \text{最小平均值}$)。从正交实验数据及结果分析可知， R 反映的因子影响顺序为 $A > C > B$ （表 6）。油爆时间对感官的影响最大，其次是油爆后浸渍时间，油爆后浸渍液的酱油/白砂糖的比例对感官的影响最小。对于 A 因素有 $k_2 > k_1 > k_3$ ，对于 B 因素有 $k_3 > k_2 > k_1$ ，对于 C 因素有 $k_2 > k_3 > k_1$ ，由此得出的最佳加工工艺组合为 $A_2B_3C_2$ ，即油爆时间为 6 min，油爆后浸渍液中酱油/白砂糖为 4 : 3，油爆后浸渍时间为 16 min 时，上海熏鱼的感官评定得分最高。

2.4 成对偏爱检测结果

20 位评价员中，有 19 位偏爱大口黑鲈制作的上海熏鱼。查阅“成对偏爱检验中各种概率水平下显著性必须符合判断的最小数（两重性）表”^[15]，对应 20 个实验数在 0.01 概率水平下最小数为 17，说

表 4 油爆后的浸渍对上海熏鱼感官品质的影响

Tab. 4 Sensory evaluation for Shanghai smoked fish for different fried soakage times

油爆后浸渍时间/min soaking time after frying	外观 appearance	口感 taste	香气 odour	色泽 color	总分 score
5	18.00±0.55 ^a	23.80±0.72 ^a	18.70±0.94 ^a	19.10±1.00 ^a	79.60±2.03 ^a
10	18.10±0.54 ^a	29.50±0.22 ^c	24.60±0.30 ^b	23.10±0.98 ^b	95.30±1.30 ^b
15	18.40±0.42 ^a	29.50±0.22 ^c	24.80±0.20 ^b	24.10±0.54 ^b	96.80±0.97 ^b
20	18.50±0.42 ^a	29.50±0.26 ^c	25.00±0.00 ^b	24.90±0.10 ^b	97.90±0.48 ^b
25	18.50±0.42 ^a	27.10±0.52 ^b	24.80±0.20 ^b	23.00±0.39 ^b	93.40±0.70 ^b

表 5 上海熏鱼工艺参数的正交试验设计水平表

Tab. 5 Sensory evaluation for Shanghai smoked fish of the $L_9(3^4)$ design

水平 level	A 油爆时间/min frying time	B 酱油/白砂糖 soy sauce : white sugar	C 油爆后浸渍时间/min soaking time after frying
1	5	1 : 1	10
2	6	5 : 4	16
3	7	4 : 3	22

明评价员极显著地偏爱大口黑鲈制作的上海熏鱼。

2.5 上海熏鱼加工过程中的气味物质变化

以经过工艺改良后的上海熏鱼,即以大口黑鲈为原料,油爆时间为 6 min,油爆后浸渍液中酱油/白砂糖为 4 : 3,油爆后浸渍时间为 16 min 制得的上海熏鱼为研究对象,采用 SPME-GC-MS,测定其在不同工艺参数下的各种挥发性化合物含量(表 7)。

油爆后的大口黑鲈鱼块中共检出 37 种挥发性化合物,其中醛类化合物 8 种、酮类化合物 2 种、醇类化合物 5 种、烃类化合物 10 种、芳香

族化合物 3 种、酯类化合物 2 种、酸类化合物 1 种、含氮含硫类化合物 5 种、呋喃类 1 种,相对含量较高的是醛类化合物 (23.78%) 和含氮含硫类化合物 (34.15%)。油爆后浸渍液仅由酱油、白砂糖和植物油组成的上海熏鱼中共检出 47 种挥发性化合物,其中醛类化合物 11 种、酮类化合物 1 种、醇类化合物 5 种、烃类化合物 12 种、芳香族化合物 6 种、酯类化合物 3 种、酸类化合物 4 种、含氮含硫类化合物 5 种、呋喃类 1 种,相对含量较高的是醛类化合物 (36.71%) 和烃类化合物 (32.06%)。上海熏鱼成品中共检测出 55 种挥发性化合物,其中醛类化合物 11 种、酮类化合物 4 种、醇类化合物 9 种、烃类化合物 15 种、芳香族化合物 7 种、酯类化合物 4 种、酸类化合物 3 种、含氮含硫类化合物 1 种、呋喃类 1 种,相对含量较高的是醛类化合物 (27.07%) 和芳香类化合物 (57.86%)。3 个样品中共检出 81 种挥发性化合物,其中醛类化合物 15 种、酮类化合物 5 种、醇类化合物 13 种、烃类化合物 19 种、芳香族化合物 8 种、酯类化合物 7 种、酸类化合物 5 种、含氮含硫类化合物 8 种、呋喃类 1 种(表 7)。

表 6 上海熏鱼工艺参数正交实验结果感官评分表

Tab. 6 Sensory evaluation for Shanghai smoked fish of the $L_9(3^4)$ design

编号/指标 sample/indicators	A	B	C	试验方案 test design	总分 score
	油爆时间/min frying time	酱油/白砂糖 soy sauce : white sugar	油爆后浸渍时间/min soaking time after frying		
1	1	1	1	A ₁ B ₁ C ₁	90.20
2	1	2	2	A ₁ B ₂ C ₂	93.90
3	1	3	3	A ₁ B ₃ C ₃	91.40
4	2	1	3	A ₂ B ₁ C ₃	94.70
5	2	2	1	A ₂ B ₂ C ₁	90.30
6	2	3	2	A ₂ B ₃ C ₂	97.90
7	3	1	2	A ₃ B ₁ C ₂	86.10
8	3	2	3	A ₃ B ₂ C ₃	90.40
9	3	3	1	A ₃ B ₃ C ₁	86.50
K_1	275.50	271.00	267.00		
K_2	282.90	274.60	282.20		
K_3	263.00	275.80	276.50		
k_1	91.83	90.33	89.00		
k_2	94.30	91.53	94.01		
k_3	87.67	91.93	92.10		
R	6.63	1.60	5.01		

注: K_1 、 K_2 、 K_3 表示每个因素各水平下的指标总和, k_1 、 k_2 、 k_3 表示每个因素各水平下的指标的平均值, R 为极差值

Notes: K_1 , K_2 , K_3 represent the sum of the indicators at each level of each factor, k_1 , k_2 , k_3 represent the average of the indicators at each level of each factor, R is the range value

表 7 上海熏鱼加工的工艺参数对挥发性物质相对含量的影响

Tab. 7 Relative content of volatile components of Shanghai smoked fish in different processing parameters

物质 compounds	相对含量/% relative amount		
	A ₁	B ₁	C ₁
醛类 aldehydes			
己醛 hexanal	1.51±0.36	1.33±0.35	0.08±0.00
2-甲基丁醛 2-methyl butanal-1	n.d.	0.41±0.08	n.d.
丁二醛 butanedial	n.d.	0.16±0.13	n.d.
4-(2,2-二甲基-6-亚甲基环己基)丁醛 4-(2,2-dimethyl-6-methylenecyclohexyl) butanal	n.d.	0.11±0.02	n.d.
庚醛 heptanal	1.31±0.35	0.38±0.26	0.02±0.00
壬醛 (天竺葵醛) nonanal	8.05±0.35	7.29±0.18	1.23±0.12
癸醛 decanal	0.66±0.03	0.73±0.02	0.16±0.01
2-癸醛 2-decenal	0.60±0.19	0.96±0.04	n.d.
(E,E)-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-	8.68±1.62	23.16±1.20	6.11±0.34
反-2-十一烯醛 2-undecenal	0.44±0.05	1.32±0.26	0.38±0.08
(Z)-7-十六碳烯醛 7-hexadecenal, (Z)-	n.d.	0.87±0.22	0.13±0.06
4-甲氧基苯甲醛 benzaldehyde, 4-methoxy-	n.d.	n.d.	16.75±1.10
5-甲基-2-呋喃甲醛 2-furancarboxaldehyde, 5-methyl-	n.d.	n.d.	0.36±0.21
苯乙醛 benzeneacetaldehyde	2.54±0.33	n.d.	0.56±0.02
肉桂醛 (E) cinnamaldehyde, (E)-	n.d.	n.d.	1.29±0.02
合计 total	23.78±0.32	36.71±0.58	27.07±0.47
酮类 ketones			
5-甲基-2-己酮 2-hexanone, 5-methyl-	0.23±0.16	n.d.	n.d.
2-(2-丁基)环己酮 cyclohexanone, 2-(2-butynyl)-	n.d.	n.d.	0.08±0.03
2-庚酮 2-heptanone	17.08±0.33	0.98±0.06	0.17±0.00
四环[3.3.1.0.1(3,9)]癸-10-酮 tetracyclo[3.3.1.0.1(3,9)]decan-10-one	n.d.	n.d.	0.09±0.00
马鞭草烯酮 D-verbeneone	n.d.	n.d.	0.10±0.01
合计 total	17.30±1.90	0.98±0.36	0.44±0.05
醇类 alcohols			
1-(4-甲氧基苯基)-2-丙醇 2-propanone, 1-(4-methoxyphenyl)-	n.d.	n.d.	0.58±0.16
2,4-二甲基环己醇 cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	n.d.	1.13±0.24	0.25±0.00
1-甲基-4-(1-甲基乙基)-乙酸环己醇 cyclohexanol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, acetate	2.75±0.20	n.d.	n.d.
4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇 3-cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-	n.d.	n.d.	0.41±0.01
1-辛醇 1-octanol	1.79±0.17	2.64±0.28	0.47±0.03
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1.93±0.33	2.09±0.31	0.26±0.02
5,7-十二烷基-1,12-二醇 5,7-dodecadiyn-1,12-diol	n.d.	n.d.	0.04±0.01
11-十六烷基-1-醇 11-hexadecyn-1-ol	n.d.	0.10±0.01	0.03±0.00
Z, E-2,13-十八二烯-1-醇 Z,E-2,13-octadecadien-1-ol	0.10±0.01	n.d.	n.d.
2-(2-氨基丙氧基)-3-甲基苯甲醇 benzenemethanol, 2-(2-aminopropoxy)-3-methyl-	0.32±0.18	n.d.	n.d.
异松醇 isopinocarveol	n.d.	0.55±0.07	n.d.
桉叶(油)醇 eucalyptol	n.d.	n.d.	0.74±0.06
蓝桉醇 globulol	n.d.	n.d.	0.04±0.02
合计 total	6.88±0.50	6.50±0.51	2.82±0.03
烃类 alkanes			
十四烷基环氧乙烷 oxirane, tetradecyl-	n.d.	n.d.	0.03±0.00
十一烷 undecane	3.35±0.73	6.38±0.41	2.32±0.38
十二烷 (月桂烷) dodecane	0.39±0.05	0.40±0.01	n.d.
十四烷 tetradecane	n.d.	0.57±0.04	n.d.
2,6,10-三甲基十四烷 tetradecane, 2,6,10-trimethyl-	0.46±0.08	0.65±0.05	0.17±0.11
十五烷 pentadecane	0.58±0.00	1.49±0.22	0.39±0.09
2,6,10,14-四甲基十五烷 pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	n.d.	n.d.	0.34±0.07
2,6,10-三甲基十六烷 hexadecane, 2,6,10-trimethyl-	0.41±0.01	n.d.	n.d.
十七烷 heptadecane	0.39±0.02	1.23±0.16	0.35±0.08
1,5,5-三甲基-6-亚甲基环己烯 1,5,5-trimethyl-6-methylene-cyclohexene	0.21±0.02	0.26±0.09	0.05±0.00

· 续表 7 ·

物质 compounds	相对含量/% relative amount		
	A ₁	B ₁	C ₁
8-十七碳烯 8-heptadecene	n.d.	0.29±0.03	n.d.
樟脑烯 camphene	n.d.	n.d.	0.05±0.01
3-葑烯 3-carene	n.d.	12.08±0.71	1.77±0.27
胡椒烯 copaene	n.d.	n.d.	0.96±0.00
反式-Z- π 环氧化红没药烯 trans-Z- π bisabolene epoxide	n.d.	n.d.	0.13±0.06
石竹烯(丁香烯) caryophyllen	2.29±0.64	7.22±0.13	1.05±0.30
π 石竹烯 π caryophyllene	0.27±0.00	0.87±0.16	0.19±0.09
氧化石竹烯(氧化丁香烯) caryophyllene oxide	n.d.	n.d.	0.03±0.00
7-十五碳炔 7-pentadecyne	0.14±0.10	0.62±0.07	0.18±0.00
合计 total	8.49±0.18	32.06±0.10	8.00±0.73
芳香族 aromatics			
1,3-二甲苯基(间二甲苯) benzene, 1,3-dimethyl-	n.d.	0.13±0.06	0.02±0.00
2,6-二叔丁基对甲酚(丁基羟基甲苯) butylated hydroxytoluene	0.91±0.02	1.94±0.10	0.45±0.09
1-甲基-2-(1-甲基乙基)苯 benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-	n.d.	1.97±0.16	0.32±0.01
1-甲基-3-(1-甲基乙基)苯 benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	1.26±0.46	n.d.±	n.d.
1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯(茴香脑) benzene, 1-methoxy-4-(1-propenyl)-	n.d.	n.d.±	54.44±2.74
丁基苯 benzene, butyl-	n.d.	0.68±0.00	0.12±0.01
萘 naphthalene	0.43±0.05	0.34±0.00	0.08±0.01
草蒿脑 estragole	n.d.	0.35±0.00	2.42±0.29
合计 total	2.69±0.36	5.40±0.00	57.86±1.93
酯类 esters			
10-十七烯-8-丙烯酸甲酯 10-heptadecen-8-ynoic acid, methyl ester, (E)	n.d.	0.31±0.10	n.d.
9-十八烷-12-烯酸甲酯 9-octadecen-12-ynoic acid, methyl ester	0.71±0.18	n.d.	0.11±0.10
5,8,11,14-二十碳五烯酸甲酯(all-z) 5,8,11,14-eicosatetraenoic acid, methyl ester	n.d.	0.10±0.03	n.d.
2,5-十八碳二烯酸甲酯 2,5-octadecadiynoic acid, methyl ester	n.d.	n.d.	0.06±0.02
十二酸异辛酯 dodecanoic acid, isoocetyl ester	0.06±0.01	n.d.	0.01±0.00
邻苯二甲酸异辛酯 phthalic acid, isobutyl octadecyl ester	n.d.	0.07±0.01	n.d.
异戊酸香叶酯 geranyl isovalerate	n.d.	n.d.	0.02±0.01
合计 total	0.76±0.20	0.49±0.07	0.20±0.13
酸类 acids			
酒石酸 tartaric acid	n.d.	n.d.	0.03±0.02
顺式丙酸 cis-vaccenic acid	n.d.	0.32±0.00	n.d.
十六烷酸(棕榈酸) n-hexadecanoic acid	0.21±0.03	0.08±0.01	0.01±0.00
顺式-13-二十碳烯酸 cis-13-eicosenoic acid	n.d.	0.22±0.10	n.d.
二十碳五烯酸 icosapent	n.d.	0.10±0.00	0.05±0.01
合计 total	0.21±0.03	0.71±0.12	0.09±0.03
含氮类含硫类 N, S-containing			
2,5-二甲基吡嗪 pyrazine, 2,5-dimethyl-	2.22±0.36	n.d.	n.d.
2,6-二甲基吡嗪 pyrazine, 2,6-dimethyl-	n.d.	0.11±0.07	n.d.
2-乙基-6-甲基吡嗪 pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	1.63±0.27	n.d.	n.d.
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪 pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	8.56±1.08	n.d.	n.d.
甲氧基苯基肟 oxime-, methoxy-phenyl-	21.66±0.19	7.85±0.09	2.20±0.25
5-羟基-2-甲基硫嘧啶 5-hydroxy-2-methylthiopyrimidine	0.08±0.00	n.d.	n.d.
2-异己基噻吩 thiophene, 2-isohexyl-	n.d.	0.23±0.02	n.d.
环己烯-1-碳腈 cyclohexen-1-carbonitrile	n.d.	1.64±0.47	n.d.
合计 total	34.15±0.10	9.83±0.47	2.20±0.25
呋喃类 furans			
2-戊基呋喃 furan, 2-pentyl-	4.34±0.39	7.32±0.46	1.33±0.08
合计 total	4.34±0.39	7.32±0.46	1.33±0.08

注: A₁为油爆后大口黑鲈; B₁为油爆后浸渍液仅由酱油、白砂糖和植物油组成的上海熏鱼; C₁为油爆后浸渍液由酱油、白砂糖、植物油、食用盐、香辛料(八角茴香、五香粉)组成的上海熏鱼,即上海熏鱼成品; n.d.表示该化合物在样品中未被检出,下同
Notes: A₁ refers to sea bass after frying; B₁ refers to Shanghai smoked fish soaked with soy sauce, sugar and plant oil only; C₁ is Shanghai smoked fish, soaking liquid is composed of soy sauce, white sugar, plant oil, salt, spices (star anise, five-spice powder) after frying; n.d. indicates that the compound is not detected in the sample, the same below

采用相对气味活度值法分析样品中的关键风味化合物^[16-20]。3个样品中,(E,E)-2,4-癸二烯醛的相对含量较高,分别为8.68%、23.16%和6.11%,且其感觉阈值只有0.07 μg/kg^[2],低于其他化合物,综合分析各化合物相对含量与感觉阈值,可判断(E,E)-2,4-癸二烯醛对样品整体风味贡献最大,设定其 $ROAV_{stan}=100$ 。油爆后大口黑鲈鱼块的关键风味化合物为壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇、2,5-二甲基吡嗪和3-乙基-2,5-二甲基吡嗪,己醛、庚醛、苯乙醛、2-庚酮和2-戊基呋喃起重要修饰作用;用不含香辛料的油爆后浸渍液处理后的鱼块,其关键风味化合物是壬醛和癸醛,2-甲基丁醛、1-辛烯-3-醇和2-戊基呋喃起重要修饰作用。上海熏鱼成品的关键风味化合物是壬醛和癸醛,苯乙醛、1-辛烯-3-醇和2-戊基呋喃起重要修饰作用。大口黑鲈熟肉中的关键风味化合物主要是醛类、醇类和吡嗪,酮类化合物和吡嗪对呈现整体风味起重要作用(表8)。

2.6 上海熏鱼加工过程中的核苷酸变化

IMP为鲜味核苷酸,在新鲜大口黑鲈和上海熏鱼中的含量分别为105.11和75.52 mg/100 g, TAV值均大于1,呈味效果显著。AMP含量较低,但其具有辅助增鲜作用。新鲜大口黑鲈烹饪过后,ATP和ADP含量显著降低,Hx和HxR无显著变化(表9)。

3 讨论

3.1 上海熏鱼中的醛类化合物

3个样品中所含醛类化合物的种类数量分别为8、11和11种,总的相对含量分别为23.78%、36.71%和27.07%。研究表明,由于醛类化合物在鱼类和贝类中普遍存在且感觉阈值低,其对鱼肉的体味的形成起重要作用^[21-22]。己醛、庚醛和壬醛都具有鱼腥味且感觉阈值均小于5 μg/kg,是产生腥味的主要化合物,其中,己醛是亚油酸自动氧化作用产生的氢过氧化物断裂后产生的物

表8 上海熏鱼加工的工艺参数对挥发性物质相对气味活度值的影响

Tab. 8 Relative odor activity of volatile components of Shanghai smoked fish in different processing parameters

化合物名称 compounds	阈值/(μg/kg) sensory threshold	气味特征 odour	相对气味活度值 ROAV		
			A ₁	B ₁	C ₁
己醛 hexanal	4.5	青草味、鱼腥味	0.27	0.09	0.02
2-甲基丁醛 butanal, 2-methyl-	1	焦糖味	n.d.	0.12	n.d.
庚醛 heptanal	2.8	鱼腥味、甜杏气息	0.38	0.04	<0.01
壬醛(天竺葵醛) nonanal	1	鱼腥味、脂肪香、青草香	6.55	2.22	1.41
癸醛 decanal	0.1	甜香、柑橘香	5.37	2.25	1.95
(E,E)-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-	0.07	油脂香、油味	100.00	100.00	100.00
苯乙醛 benzeneacetaldehyde	4	花香味	0.52	n.d.	0.16
2-庚酮 2-heptanone	141	清香、果香	0.52	<0.01	<0.01
1-辛醇 1-octanol	110	柠檬气味	0.01	<0.01	<0.01
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1	蘑菇香气、泥土味	1.57	0.64	0.30
十一烷 undecane	1 170	油脂香、油味	<0.01	<0.01	<0.01
十二烷(月桂烷) dodecane	2 040		<0.01	<0.01	n.d.
十四烷 tetradecane	100		n.d.	<0.01	n.d.
石竹烯(丁香烯) caryophyllen	64	辛香、木香、柑橘香、樟脑香	0.03	0.04	0.02
萘 naphthalene	60	香樟木气味	0.01	<0.01	<0.01
十六烷酸(棕榈酸) n-hexadecanoic acid	10 000	脂肪香	<0.01	<0.01	<0.01
2,5-二甲基吡嗪 pyrazine, 2,5-dimethyl-	1.8	烤香、肉香	1.00	n.d.	n.d.
2,6-二甲基吡嗪 pyrazine, 2,6-dimethyl-	9 000		n.d.	<0.01	n.d.
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪 pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	1		7.00	n.d.	n.d.
2-戊基呋喃 furan, 2-pentyl-	5.8	鱼腥味、青草味	0.61	0.38	0.26

表 9 上海熏鱼加工阶段的核苷酸含量

加工阶段 processing stages	肌苷酸 IMP	味道强度值 TAV	三磷酸腺苷 ATP	二磷酸腺苷 ADP	一磷酸腺苷 AMP	味道强度值 TAV	次黄嘌呤 Hx	次黄嘌呤核苷 HxR
新鲜大口黑鲈 fresh <i>M. salmoides</i>	105.11±4.17	4.20	77.46±8.84	24.16±2.57	3.38±0.32	0.07	1.63±0.29	6.54±0.13
上海熏鱼 Shanghai smoked fish	75.52±5.91	3.02	24.39±2.28	4.56±0.55	5.29±0.50	0.11	1.22±0.11	6.55±0.19

注: 味道强度值(TAV)>1, 呈味效果显著; TAV<1, 呈味效果不显著

Notes: taste activity value (TAV) >1, taste effect is significant; TAV <1, taste effect is not significant

质^[23]。刘昌华等^[24]测定新鲜鲈鱼中 3 种醛类的总相对含量为 9.33%, 高于经油爆处理后的鱼块, 醛类物质中的活性羰基可以通过羰氨交联作用与鱼肉中的蛋白质、调料中的氨基酸发生美拉德反应, 使醛类化合物含量下降, 说明一次浸渍和高温油爆对鱼肉去腥有一定作用^[25]。对比油爆后大口黑鲈和上海熏鱼成品, 己醛、庚醛和壬醛的相对含量分别从 1.15%、1.31%、8.05% 降至 0.08%、0.02%、1.23%, 说明油爆后浸渍可以进一步去除鱼块的腥味。浸渍液中含老姜、香葱、白胡椒粉、八角茴香和料酒等香辛料, 能有效掩盖或去除鱼腥味, 改良淡水鱼的感官品质^[26-27]。(E, E)-2, 4-癸二烯醛具有油脂香味, 是食物油炸过程中亚油酸或花生四烯酸的氧化裂解产物^[28], 在新鲜鲈鱼中未被检出^[24], 在 3 个样品中相对含量分别为 8.68%、23.16% 和 6.11%, 是关键风味物质。癸醛有甜香和柑橘香, 在 3 个样品中其相对气味活度值均大于 1, 对鱼块的风味产生重要的正面影响。2-甲基丁醛有焦糖味, 苯乙醛是芳香醛, 具有花香味, 肉桂醛只在第 3 个样品中被检出, 是因为第 3 个样品的油爆后浸渍液中加入了五香粉, 2-甲基丁醛、苯乙醛和肉桂醛对鱼块风味有一定的改善作用。

3.2 上海熏鱼中的酮类化合物

3 个样品中所含酮类化合物的种类数量分别为 2、1 和 4 种, 总相对含量分别为 17.30%、0.98% 和 0.44%。与相同分子式的醛类物质相比, 酮类化合物的感觉阈值更高, 可推测其对风味的影响小于醛类化合物。热降解、脂肪氧化、氨基酸降解和美拉德反应是形成酮类化合物的可能机制^[20, 29]。3 个样品中都被检出的酮类化合物只有 2-庚酮, 相对含量分别为 17.08%、0.98% 和 0.17%。2-庚酮是植物油中常见的挥发性成分^[30], 由亚油酸氧化产生^[24], 具有清香和果香, 在油爆大口黑鲈鱼块中其相对气味活度值为 0.52, 对整体风味有重要的修饰作用, 在其他 2 组样品中, 其对整

体风味基本不产生作用, 可能原因是油爆后浸渍过程调味料的气味弱化了其影响。2- (2-丁基) 环己酮、四环 [3.3.1.0.1 (3,9)] 癸-10-酮、马鞭草烯酮属于不饱和酮类化合物, 可增强鱼腥味^[31]。3 个样品中酮类化合物的相对含量依次减少, 说明油爆后浸渍可以减弱鱼腥味, 用加入了香辛料的油爆后浸渍液处理鱼块效果更好。

3.3 上海熏鱼中的醇类化合物

3 个样品中均被检出的醇类物质有 1-辛醇和 1-辛烯-3-醇, 1-辛醇的感觉阈值较高 (110 μg/kg), 1-辛烯-3-醇的感觉阈值较低 (1 μg/kg), 在相对含量接近的情况下, 1-辛醇对样品整体风味的形成贡献不大 (ROAV ≤ 0.01), 1-辛烯-3-醇对油爆后大口黑鲈鱼块的风味形成起重要作用 (ROAV = 1.57), 对油爆浸渍后大口黑鲈鱼块的风味形成起修饰作用 (ROAV 分别为 0.64 和 0.30)。研究发现, 1-辛烯-3-醇主要来源于脂氧合酶和氢过氧化物裂解酶参与的生化反应, 形成不受欢迎的泥土味, 在鱼肉冷冻贮藏期间含量增加^[32]。新鲜大口黑鲈中醇类物质相对含量为 17.50%^[24], 是油爆后大口黑鲈的 2 倍以上, 醇类物质减少的可能原因是高温油爆促进醇类化合物氧化成醛酮类化合物^[9]。

3.4 上海熏鱼中的烷烃类化合物

3 个样品中所含烷烃类化合物的种类数量分别为 10、12 和 15 种, 总相对含量分别为 8.49%、32.06% 和 8.00%。相比其他类型化合物, 烷烃类物质种类更加丰富。烷烃具有相对高的感觉阈值, 这意味着它们对风味的贡献很小^[20]。C11~C17 的正烷烃中, 十一烷的相对含量在每个样品中均最高, 它具有油脂气味, 是油爆工序的产物。第 3 组样品由含香辛料的卤汁浸渍而成, 与其他样品相比, 萜烯类物质较丰富。樟脑烯和 3-萜烯属于一萜烯, 胡椒烯和石竹烯属于倍半萜烯, 反式-Z-

π 环氧化红没药烯、 π 石竹烯和氧化石竹烯属于倍半萜烯的衍生物。3-萜烯和胡椒烯表现为辛辣味，石竹烯呈辛香、木香、柑橘香、樟脑香，主要存在于胡椒中^[33]。红没药烯是生姜中的挥发性化合物^[34-35]。调味料和油爆处理是烃类物质产生的重要原因。

3.5 上海熏鱼中的芳香类化合物

3个样品中所含芳香类化合物的种类数量分别为3、6和7种，总相对含量分别为2.69%、5.40%和57.86%。在第1和第2个样品中，芳香类化合物含量较低，且阈值不高，在此不做讨论。在第3个样品中，芳香类物质相对含量最高，最主要的化合物是茴香脑(54.44%)。茴香脑和草蒿脑是八角茴香的特征风味成分^[36]，为上海熏鱼提供浓郁的八角茴香气味，对鱼块的整体风味有改善作用。茶通过微生物降解植物原料生成，并作为环境污染物积聚在鱼体组织中，发出塑料味和泥土气息^[20]，对熏鱼风味产生不良影响。

3.6 上海熏鱼中的酯类化合物和酸类化合物

3个样品中所含酯类化合物的种类数量分别为2、3和4种，总的相对含量分别为0.76%、0.49%和0.20%，所含酸类化合物的种类数量分别为1、4和3种，总的相对含量分别为0.21%、0.71%和0.09%，种类少且相对含量较低，对样品风味的影响不大。酯类是醇与羧酸的酯化产物，羧酸通过微生物降解脂质形成^[20]。3个样品中检测出的酯类物质多为长链羧酸酯化后的产物，具有油脂味^[24]。十六烷酸广泛存在于动植物油脂中，具有油脂香味。

3.7 上海熏鱼中的吡嗪类化合物和呋喃类化合物

3个样品均经过油爆，从中检出的含氮杂环化合物主要有2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪和3-乙基-2,5-二甲基吡嗪，检测出的呋喃类化合物是2-戊基呋喃。高温通常会加速美拉德反应，加快色泽和风味的形成^[37]。吡嗪类化合物为制品提供诱人的烤香、肉香和坚果香，是美拉德反应的重要产物^[38]。呋喃也由美拉德反应产生^[39]，2-戊基呋喃是一种典型的油脂氧化产物，呈鱼腥味和青草味，对食物的香气产生积极还是消极贡献值得商榷^[40-41]。

3.8 上海熏鱼中的核苷酸类化合物

鱼死后，在酶的作用下，ATP的降解顺序为

ADP、AMP、IMP、HxR和Hx^[42]。上海熏鱼的ATP含量显著低于新鲜大口黑鲈的原因是高温油爆促进了ATP的降解。虽然上海熏鱼中AMP的含量不高，但是AMP是水产食品中的良好风味增强剂，可抑制苦味，产生令人愉悦的甜味和咸味^[43-44]。IMP在中性条件下较稳定，料酒的加入使鱼肉pH值降低，油爆过程进一步促进了IMP的降解^[45]。

用大口黑鲈替代草鱼制作上海熏鱼，调整油爆时间、油爆后浸渍液酱油和白砂糖的比例及油爆后浸渍时间能有效改良上海熏鱼制品，油爆时间为6 min，油爆后浸渍液中酱油/白砂糖比例为4:3，油爆后浸渍时间为16 min时，上海熏鱼的感官评定得分最高。

鱼肉中的气味活性成分主要有不被消费者接受的土腥味和消费者喜爱的香味。上海熏鱼中代表性的不良腥味成分有己醛、庚醛和壬醛，其在熏鱼加工过程中相对含量降低；代表性香气活性成分是具有烤香、肉香和坚果香的吡嗪及具有香辛气息的萜烯，在油爆和浸渍过程中相对含量增加。IMP是主要的鲜味核苷酸。高温油爆加速了热降解、脂肪酸氧化和美拉德反应，可有效去除鱼肉的腥味并产生消费者喜爱的香味，对上海熏鱼风味的形成起重要作用。此外，浸渍液中的辅料，尤其是香辛料能改善鱼腥味，并且丰富制品的风味。浸渍和油爆是提高鱼肉制品品质的优良加工工艺。

相较于草鱼，利用大口黑鲈加工上海熏鱼具有营养丰富、无肌间刺、土腥味淡的优势，同时也为大口黑鲈的加工提供了一种创新思路。上海熏鱼作为一道传统家庭菜肴往往凭借经验制作，而通过感官评定和理化检测二者结合，探究风味形成机理并确定具体工艺条件，为上海熏鱼工业化生产提供了可能性。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 戚繁. 美拉德反应在食品工业中的研究进展[J]. 现代食品, 2020, 10(19): 44-46.
Qi F. Research progress of Maillard Reaction in food industry[J]. Modern Food, 2020, 10(19): 44-46 (in Chinese).
- [2] 蒋晨毓, 邱伟强, 贡三月, 等. 草鱼油爆前后风味物质的变化分析[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 192-199.
Jiang C Y, Qiu W Q, Yun S Y, et al. Changes in flavor

- compounds during processing of deep-fried grass carp[J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 192-199 (in Chinese).
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 (2020 年)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- Fisheries Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Extension Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2020 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese).
- [4] 谢帝芝, 陈汉毅, 徐超, 等. 复合动植物蛋白质饲料对大口黑鲈生长性能、肌肉品质及氮、磷排放的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(5): 2836-2847.
- Xie D Z, Chen H Y, Xu C, *et al.* Effects of compounded animal and vegetable protein feeds on growth performance, muscle quality and nitrogen and phosphorus emissions of *Micropterus salmoides*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5): 2836-2847 (in Chinese).
- [5] 石琼, 范明君, 张勇. 中国经济鱼类志 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2015: 281-283.
- Shi Q, Fan M J, Zhang Y. Economically important fish in China[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2015: 281-283 (in Chinese).
- [6] 吴凌涛, 林晨, 王李平, 等. 十种淡水鱼脂肪酸组成及其营养价值分析[J]. 食品工业, 2017, 38(8): 269-271.
- Wu L T, Lin C, Wang L P, *et al.* Analysis of the fatty acid composition and nutritional value in ten species of freshwater fish[J]. *The Food Industry*, 2017, 38(8): 269-271 (in Chinese).
- [7] 王钰杰, 郭雪花, 林婷, 等. 上海熏鱼加工过程中脂质氧化、脂肪分解和挥发性风味成分的变化[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2020, 51(4): 639-645.
- Wang Y J, Guo X H, Lin T, *et al.* Changes of fatty acid oxidation, degradation and volatile flavor component during the processing of Shanghai smoked fish[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2020, 51(4): 639-645 (in Chinese).
- [8] 薛永霞, 卫赛超, 张菊, 等. 尼罗罗非鱼制作传统上海熏鱼过程中的风味变化[J]. 水产学报, 2019, 43(7): 1661-1677.
- Xue Y X, Wei S C, Zhang J, *et al.* Changes of flavor components of *Oreochromis niloticus* during the processing of traditional Shanghai smoked fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(7): 1661-1677 (in Chinese).
- [9] 薛永霞, 张作乾, 张洪才, 等. 不同加工阶段对上海熏鱼(草鱼)风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 160-168.
- Xue Y X, Zhang Z Q, Zhang H C, *et al.* Effect of different processing stages on flavor components of Shanghai smoked fish made from grass carp[J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 160-168 (in Chinese).
- [10] 王清, 陈舜胜. 油爆工艺对上海熏鱼风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(2): 171-179.
- Wang Q, Chen S S. Influence of deep-frying process on the flavor compounds of Shanghai smoked fish[J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 171-179 (in Chinese).
- [11] Shen Y Y, Wu Y Y, Wang Y Q, *et al.* Contribution of autochthonous microbiota succession to flavor formation during Chinese fermented mandarin fish (*Siniperca chuatsi*)[J]. *Food Chemistry*, 2021, 348: 129107.
- [12] 杨雪玲, 王彩霞, 白婵, 等. 加州鲈挥发性物质分析方法的建立与分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 237-244,297.
- Yang X L, Wang C X, Bai C, *et al.* Establishment of analysis method of volatile compounds and analysis of flavor components in *Micropterus salmoides*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(24): 237-244,297 (in Chinese).
- [13] 李晓朋, 曾欢, 林柳, 等. 不同煎炸用油制备河豚鱼汤挥发性风味成分的差异性[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(7): 251-259.
- Li X P, Zeng H, Lin L, *et al.* Volatile compounds of puffer fish soup prepared with different frying oils[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(7): 251-259 (in Chinese).
- [14] Liu X Y, Qian M, Shen Y X, *et al.* An high-throughput sequencing approach to the preliminary analysis of bacterial communities associated with changes in amino acid nitrogen, organic acid and reducing sugar contents during soy sauce fermentation[J]. *Food Chemistry*, 2021, 349: 129131.
- [15] 方忠祥. 食品感官评定 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 142-143.
- Fang Z X. Food sensory evaluation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 142-143 (in Chinese).
- [16] 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).
- [17] 唐静, 张迎阳, 吴海舟, 等. 顶空吹扫捕集-气相色谱-质谱法分离鉴定强化高温火腿中的挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2014, 35(8): 115-120.
Tang J, Zhang Y Y, Wu H Z, *et al.* Separation and identification of volatile flavors of high-temperature intensified ham by gas chromatography-Mass spectrometry coupled with head space purge and trap[J]. *Food Science*, 2014, 35(8): 115-120 (in Chinese).
- [18] 蔡瑞康, 吴佳佳, 朱建龙, 等. 大黄鱼糟制过程中风味物质及风味活性物质分析[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(2): 264-273.
Cai R K, Wu J J, Zhu J L, *et al.* Analysis of volatile compounds and odor-active compounds in fermented large yellow croaker[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(2): 264-273 (in Chinese).
- [19] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和SPME-GC-MS联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J]. *食品科学*, 2015, 36(10): 124-128.
Rong J H, Xiong S, Zhang L Z, *et al.* Analysis of volatile flavor components in crisp grass carp muscle by electronic nose and SPME-GC-MS[J]. *Food Science*, 2015, 36(10): 124-128 (in Chinese).
- [20] Tao N P, Wu R, Zhou P G, *et al.* Characterization of odor-active compounds in cooked meat of farmed obscure puffer (*Takifugu obscurus*) using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry[J]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2014, 22(4): 431-438.
- [21] 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.
- [22] 蔡丽, 魏泽宏, 唐涛, 等. 池塘内循环水“跑道”养殖与池塘传统养殖翘嘴鲌肌肉营养成分和挥发性风味物质的比较[J]. *水产学报*, 2021, 45(10): 1621-1633.
Cai L, Wei Z H, Tang T, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds in muscle of *Culter alburnus* cultivated in in-pond “raceway” aquaculture system and traditional pond[J]. *Food Research International*, 2021, 45(10): 1621-1633 (in Chinese).
- [23] 王琦, 岳大鹏, 王然然, 等. 风干金鲳鱼制品加工过程中脂质氧化和挥发性成分的变化[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 54-60.
Wang Q, Yue D P, Wang R R, *et al.* Changes of lipid oxidation and volatile compounds of air-dried golden pomfret during processing[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 54-60 (in Chinese).
- [24] 刘昌华, 王艳, 章建浩, 等. 固相微萃取-气质联用法测定鲈鱼风干成熟工艺过程中的挥发性化合物变化[J]. *食品科学*, 2013, 34(10): 250-254.
Liu C H, Wang Y, Zhang J H, *et al.* Changes in volatile compounds of perch during curing-drying/ripening process[J]. *Food Science*, 2013, 34(10): 250-254 (in Chinese).
- [25] Ramalingam V, Song Z, Hwang I. The potential role of secondary metabolites in modulating the flavor and taste of the meat[J]. *Food Research International*, 2019, 122: 174-182.
- [26] 伍瑞祥, 吴涛. 淡水鱼土腥味物质及脱腥技术研究进展[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2011, 8(10): 253-256.
Wu R X, Wu T. Research progress of earth-odor substances and deodorization technology of freshwater fish[J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2011, 8(10): 253-256 (in Chinese).
- [27] Chen Y P, Chung H Y. Antioxidant and flavor in spices used in the preparation of Chinese dishes[M]//Melton L, Shahidi F, Varelis P. *Encyclopedia of food chemistry*. Amsterdam: Elsevier, 2019: 1-9.
- [28] 万重, 王宸之, 苏赵, 等. 食物油炸过程中挥发性成分研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(12): 126-133.
Wan C, Wang C Z, Su Z, *et al.* Research progress on the changes in composition of volatile compounds formed during deep-fat frying process[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(12): 126-133 (in Chinese).
- [29] Arief I I, Afiyah D N, Wulandari Z, *et al.* Physicochemical properties, fatty acid profiles, and sensory characteristics of fermented beef sausage by probiotics *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 or *Lactobacillus acidophilus* IIA-2B4[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(11): M2761-M2769.
- [30] 袁桃静, 赵笑颖, 庞一扬, 等. 基于电子鼻、HS-GC-IMS和HS-SPME-GC-MS对5种食用植物油挥发性风味成分分析[J]. *中国油脂*, 2020, 45(9): 102-111.
Yuan T J, Zhao X Y, Pang Y Y, *et al.* Detection of volatile flavor compounds in five edible vegetable oils by electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(9): 102-111 (in Chinese).
- [31] 王霞, 黄健, 侯云丹, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联

- 用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- Wang X, Huang J, Hou Y D, *et al.* Analysis of volatile components in yellowfin tuna by electronic nose and GC-MS[J]. Food Science, 2012, 33(12): 268-272 (in Chinese).
- [32] Iglesias J, Medina I, Bianchi F, *et al.* Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1473-1478.
- [33] 吴桂苹, 谷风林, 房一明, 等. 白胡椒加工过程中的风味物质分析[J]. 农学学报, 2017, 7(11): 51-61.
- Wu G P, Gu F L, Fang Y M, *et al.* Analysis of flavour compounds of white pepper during processing[J]. Journal of Agriculture, 2017, 7(11): 51-61 (in Chinese).
- [34] 王强伟, 史先振, 王洪新, 等. 鲜姜、姜粉和姜汁饮料中挥发性风味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(4): 174-179.
- Wang Q W, Shi X Z, Wang H X, *et al.* Analysis of volatile compounds of fresh ginger, ginger powder and ginger beverage[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(4): 174-179 (in Chinese).
- [35] Alsherbiny M A, Abd-Elsalam W H, El Badawy S A, *et al.* Ameliorative and protective effects of ginger and its main constituents against natural, chemical and radiation-induced toxicities: a comprehensive review[J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 123: 72-97.
- [36] 黎强, 卢金清, 郭胜男, 等. SPME与SD提取八角茴香挥发性风味成分的GC-MS比较[J]. 中国调味品, 2014, 39(7): 107-109.
- Li Q, Lu J Q, Guo S N, *et al.* GC-MS Comparison of volatile constituents extracted from fructus anisi stellati by SPME and SD[J]. China Condiment, 2014, 39(7): 107-109 (in Chinese).
- [37] Nooshkam M, Varidi M, Verma D K. Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: a review[J]. Food Research International, 2020, 131: 109003.
- [38] Shi J, Nian Y Q, Da D D, *et al.* Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose[J]. LWT, 2020, 124: 109182.
- [39] Wang Z L, Cai R, Yang X D, *et al.* Changes in aroma components and potential Maillard reaction products during the stir-frying of pork slices[J]. Food Control, 2021, 123: 107855.
- [40] 张亮, 侯云丹, 黄健, 等. 加热温度对贻贝挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 227-233.
- Zhang L, Hou Y D, Huang J, *et al.* Effect of temperature on the volatile compounds of mussel[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(9): 227-233 (in Chinese).
- [41] 顾赛麒, 张晶晶, 王锡昌, 等. 不同产地熟制中华绒螯蟹肉挥发性成分分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 289-293,313.
- Gu S Q, Zhang J J, Wang X C, *et al.* Analysis of volatile components in meat of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) farmed in different regions[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(5): 289-293,313 (in Chinese).
- [42] Zhou Y, Chen S S, Wang X C, *et al.* Nonvolatile taste compounds of Shanghai smoked fish: a novel three stages control techniques[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(1): 87-98.
- [43] Qiu W Q, Chen S S, Xie J, *et al.* Analysis of 10 nucleotides and related compounds in *Litopenaeus vannamei* during chilled storage by HPLC-DAD[J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 67: 187-193.
- [44] 邱伟强, 杨雨微, 谢晶, 等. 超高压处理对凡纳滨对虾冷藏期间ATP降解途径及其关联产物蓄积的影响[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1162-1171.
- Qiu W Q, Yang Y W, Xie J, *et al.* Effects of ultra-high pressure treatment on ATP degradation pathway and accumulation of related compounds in *Litopenaeus vannamei* during chilled storage[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1162-1171 (in Chinese).
- [45] 王妍. 料酒的调味增香机理[J]. 中国调味品, 2005, 30(7): 32-34.
- Wang Y. The mechanism of cooking wine enhance the flavor of food[J]. China Condiment, 2005, 30(7): 32-34 (in Chinese).

Processing technology and flavor characteristics of Shanghai smoked fish (*Micropterus salmoides*)

ZHOU Yu¹, CHEN Shunsheng^{1,2*}

(1. College of Food Sciences & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National R & D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Shanghai smoked fish is a traditional Chinese dish with crispy crust, delicious taste and rich nutrition, belonging to Shanghai cuisine. Traditional Shanghai smoked fish uses *Mylopharyngodon piceus* or *Ctenopharyngodon idella* as raw materials. In recent years, the amount of *M. piceus* farmed has declined, *C. idella* is a typical herbivorous fish with a strong earthy smell, and both *M. piceus* and *C. idella* have intermuscular spines, which is not convenient for the elderly and children to eat. *Micropterus salmoides* with abundantly nutritional values is an omnivorous freshwater bass with meat as the main food. The earthy smell of *M. salmoides* is lighter than that of *M. piceus* and *C. idella*. The meat of *M. salmoides* is tender and has no intermuscular spines, also its mouthfeel and flavor are better than *C. idella*, which is popular among the public. In this experiment, on the basis of the original technology, better raw materials were selected to develop new processed products for *M. salmoides*. In order to overcome the shortcomings of processing Shanghai smoked fish by *M. piceus* and *C. idella*, *M. salmoides* was used to replace *C. idella* in processing Shanghai smoked fish. Single factor experimental design and orthogonal experimental design were used to improve the processing technology of Shanghai smoked fish. Headspace solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS) was used to analyze the changes of volatile flavor active substances in deep-fried Shanghai smoked fish, Shanghai smoked fish with no spices in the fried soaking liquor and Shanghai smoked fish (final product). Key volatile compounds were detected by qualitative and quantitative analysis of gas chromatography-mass spectrometry and high-performance liquid chromatography (HPLC) was used to determine flavor nucleotides. The result showed that, better processing method is to fry *M. salmoides* for 6 min and then to soak it in the soaking liquor of soy sauce / white sugar=4 : 3. The volatile compounds in three samples are 37, 47 and 55 kinds. Aldehydes, ketones, alcohols, hydrocarbons, aromatics and nitrogen, sulfur-containing substances are the main flavor compounds of Shanghai smoked fish. IMP is the main umami nucleotide. In conclusion, first soaking, deep-frying, and soaking after frying were the key processes for removing and concealing the earthy smell of freshwater fish. At the same time, the Maillard Reaction in the process of frying can increase the aroma of the fish and make cooked dishes with excellent aroma and rich nutrition. The Maillard Reaction, thermal degradation and fatty acid oxidation that happened in the deep-frying process help to reduce fishy smell and form the characteristic flavor of Shanghai smoked fish. Soaking and deep-frying are excellent processing methods to improve the quality of fish products.

Key words: *Micropterus salmoides*; smoked fish; sensory evaluation; flavor; headspace solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS); high-performance liquid chromatography (HPLC)

Corresponding author: CHEN Shunsheng. E-mail: sschen@shou.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (31471685); Knowledge Service Platform Project of Shanghai Universities (ZF1206); Research Project on the Control Method of Characteristic Flavor Stability Based on the Formation Mechanism of Flavor Precursors (2017YFD0400105-02)