

# 紫苏精油和姜汁对烤武昌鱼的风味影响

黄丽琪<sup>1,2</sup>, 胡传峰<sup>2,3</sup>, 鲁怡婷<sup>1,2</sup>, 刘焯<sup>2,3</sup>, 魏凌云<sup>1\*</sup>, 乔宇<sup>2\*</sup>, 汪兰<sup>2</sup>, 吴文锦<sup>2</sup>, 石柳<sup>2</sup>

(1. 武汉工程大学环境生态与生物工程学院, 湖北武汉 430205) (2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064) (3. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 为探究紫苏和姜汁作为去腥剂对烤武昌鱼的风味影响, 该实验选用紫苏精油和姜汁腌制武昌鱼后经烤箱加工制成样品, 通过电子鼻、电子舌等仪器以及对挥发性风味成分、游离氨基酸、呈味核苷酸的检测对其风味物质进行了研究分析。结果表明紫苏精油和姜汁的腌制可以使烤武昌鱼在色泽、气味和滋味上均呈现较大差异。与对照组相比, 紫苏精油和姜汁可以减少腥味物质的形成, 并产生掩盖腥味的物质, 其中 1-辛烯-3-醇含量减少为 0.74 ng/g,  $\alpha$ -松油醇、芳樟醇、苧烯、 $\beta$ -蒎烯等香料物质的增加, 从而使得武昌鱼的风味更丰富。紫苏 & 姜汁组的烤武昌鱼的鲜味物质 GMP 的含量高达 87.75 mg/g, 苦味物质 HxR 的含量低至为 4.49 mg/g, 且苦味氨基酸含量远低于其他组, 同时其 EUC (味精当量) 含量最高为 224.83 g MSG/100 g。综上所述, 紫苏精油和姜汁可以改善烤武昌鱼的风味和滋味。

**关键词:** 武昌鱼; 紫苏精油; 姜汁; 风味; 滋味

文章编号: 1673-9078(2024)07-193-202

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0718

## Effect of Perilla Essential Oil and Ginger Juice on the Flavor of Grilled Wuchang Fish

HUANG Liqi<sup>1,2</sup>, HU Chuanfeng<sup>2,3</sup>, LU Yiting<sup>1,2</sup>, LIU Xuan<sup>2,3</sup>, WEI Lingyun<sup>1\*</sup>, QIAO Yu<sup>2\*</sup>, WANG Lan<sup>2</sup>, WU Wenjing<sup>2</sup>, SHI Liu<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Ecology and Biological Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China) (2. Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China) (3. College of Bioengineering and Food, Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of perilla and ginger juice as defishy agents on the flavor of grilled Wuchang fish, in this experiment, perilla essential oil and ginger juice were used to marinate Wuchang fish before being processed into samples with oven. The flavor substances were studied and analyzed through the examinations by instruments like electronic nose and electronic tongue, as well as the determination of volatile flavor components, free amino acids and flavor-active nucleotides. The results showed that the marinating with perilla essential oil and ginger juice could make the color, smell and

引文格式:

黄丽琪, 胡传峰, 鲁怡婷, 等. 紫苏精油和姜汁对烤武昌鱼的风味影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 193-202.

HUANG Liqi, HU Chuanfeng, LU Yiting, et al. Effect of perilla essential oil and ginger juice on the flavor of grilled wuchang fish [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 193-202.

收稿日期: 2023-06-13

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFD2100904); 武汉工程大学研究生教育创新基金项目资助 (CX2022559); 湖北省农业科技创新中心 2020 年重大科技研发专项 (2020-620-000-002-03)

作者简介: 黄丽琪 (1995-), 女, 硕士, 研究方向: 食品工艺, E-mail: 974976642@qq.com

通讯作者: 魏凌云 (1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品工艺, E-mail: weilingyun@foxmail.com; 共同通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: qiaoyu412@sina.com

taste of the grilled Wuchang fish showing great differences. Compared with the control group, perilla essential oil and ginger juice could reduce the formation of fishy odor substances and produce substances that could mask the fishy flavor, among which, the content of 1-octen-3-ol was reduced to 0.74 ng/g, and the contents of  $\alpha$ -terpineol, linalool, camphene,  $\beta$ -pinene and other spice substances increased, thereby making the flavor of the grilled Wuchang fish richer. The perilla & ginger juice grilled fish group had a content of the umami substance, GMP, as high as 87.75 mg/g, and a content of the bitter substance, HxR, as low as 4.49 mg/g, with its content of bitter amino acids being much lower than that of the other groups, and its EUC (monosodium glutamate equivalent) content being the highest (224.83 g-MSG/100 g). In summary, perilla essential oil and ginger juice can improve the flavor and taste of grilled Wuchang fish.

**Key words:** wuchang fish; perilla essential oil; ginger; flavor; taste

武昌鱼 (*Megalobrama amblycephala*), 也称为团头鲂, 多产自湖北省鄂州市梁子湖, 是我国著名的淡水鱼品种。因为其生长快、肉质细嫩、抗病性强, 营养价值较高<sup>[1]</sup>, 且符合现代社会推崇的健康营养生活理念, 已成为重要的养殖鱼类之一。

水产制品由于其自身风味特性, 在烹饪过程中常会辅配葱、姜、料酒等香辛料来优化水产菜肴的风味<sup>[2]</sup>。日常烹饪中常会用到生姜作为水产品的去腥剂, 但是利用紫苏精油作为抑制鱼腥味的相关研究较少, 目前对紫苏的研究主要集中在抗炎、抗氧化以及挥发性物质分离与鉴定等作用上<sup>[3]</sup>。鱼腥味是由低阈值的挥发性化合物组成的混合物, 其来源主要是由于外界环境中的土腥味物质、鱼体内的脂肪氧化和微生物腐败这三点原因。控制腥味产生方法有化学法、生物法、物理法以及多种方法复合调控<sup>[4]</sup>。李露等<sup>[5]</sup>研究表明生姜中的姜酚类物质能与含有腥味的肉类食品相互作用, 在腌制和加工过程中可以作为调味剂, 祛除肉类中的异味。陈奇等<sup>[6]</sup>研究结果表明用紫苏液腌制的脱腥效果最好, 显著改善了鲢鱼的风味; 周伟等<sup>[7]</sup>研究发现紫苏中含有多种生物活成分, 因其独特香味也可用来增香去腥, 用于烹饪水产品可增加香气和滋味。

本研究通过添加不同去腥调料组(对照组、紫苏组、姜汁组、紫苏 & 姜汁组)筛选得出最佳腌制方式, 探讨其色泽、挥发性风味成分、游离氨基酸以及呈味核苷酸等风味变化, 旨在为武昌鱼精加工及食用品质控制方面提供一定的理论基础, 对研发品质优良、健康的武昌鱼相关产品提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

碘盐、酵母提取物、磷酸盐、麦芽酚、紫苏精油、

姜汁均为食品级, 购于湖北省武汉市武昌量贩超市; 实验所用甲醇、硫酸、硫酸钾、硫酸酮、硼酸、高氯酸、盐酸、石油醚(沸程: 30~60 °C)、氢氧化钠等试剂都为分析纯, 于国药集团化学试剂有限公司购买; 仲辛醇为色谱纯, 购于 TCI, 上海化成工业发展有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

K9840 自动凯氏定氮仪, 海能未来技术集团股份有限公司; PEN3 电子鼻, 德国 Airsense 公司; CR-400 色差仪, 柯尼卡美能达株式会社; 7890A-5975C GC-MS 气相色谱质谱联用仪, 美国 Agilent Technologies 公司; UltiMate3000 高效液相色谱仪, 美国赛默飞世尔科技公司; TS-500z 电子舌, 日本 Inset 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品制备

购入质量(500±5)g 的新鲜武昌鱼, 进行宰杀, 除去鱼鳞, 鱼鳃和内脏, 流水清洗, 切花刀后用厨房纸将表面水分擦拭干净, 将调料混合搅拌均匀, 涂抹在鱼的全身, 放置在 4 °C 冰箱中腌制 2 h。调料包括腌制液(1 wt.% 盐、0.05 wt.% 麦芽酚、0.1 wt.% 酵母提取物、0.05 wt.% 磷酸盐)和去腥剂(0.05% (V/m) 紫苏精油和 2% (V/m) 姜汁), 再加入适量纯净水达到料液比为 1:1。将腌制后的武昌鱼表面水分用厨房纸擦干后置于烤箱中, 烤箱温度和时间分别为 200 °C 和 25 min, 烤制结束后取出, 待测。其中对照组: 仅加腌制液腌制并烤制的鱼; 紫苏组: 加腌制液和 0.05% 紫苏精油腌制并烤制的鱼; 姜汁组: 加腌制液和 2% 姜汁腌制并烤制的鱼; 紫苏 & 姜汁组: 加腌制液和去腥剂腌制并烤制的鱼。

### 1.3.2 感官评定

由 10 名经过严格培训的评价员组成评定小组, 感官评定的总分通过加权统计计算, 评价员分别从颜色、腥味可接受度、烤鱼香味、香料味、滋味这五个指标进行评分, 各指标分别设置权重为 20%、30%、20%、10%、20%, 所得结果求出平均值, 表 1 为感官评定的参考标准。

表 1 感官评分表  
Table 1 Sensory scale

分值	颜色 (20%)	腥味可 接受度 (30%)	烤鱼香味 (20%)	香料味 (10%)	滋味 (20%)
10	色泽鲜亮 金黄	无腥味	正常的烤 鱼香味	正常香 料香味	鲜味明 显, 无任 何苦味
7~9	颜色金黄 有些许 焦糊	有较淡 腥味	较淡的烤 鱼香味	较淡香 料香味	鲜味较明 显, 有些 许苦味
4~6	淡黄色	有较浓 腥味	无烤鱼香味 且无异味	无香 料味	鲜味较 少, 苦味 较多
1~3	白色	特别浓 烈腥味	有异味	浓烈的 香料味	无鲜味, 有很大的 苦味

### 1.3.3 色泽的测定

鱼肉表面的色泽采用色差仪测定, 在测定前采用标准白板对色差仪进行校正, 通过武昌鱼白度值来反映不同腌制条件下颜色的变化, 按下式 (1) 计算白度  $W$  :

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

式中:

$L^*$ ——亮度值;

$a^*$ ——红度值;

$b^*$ ——黄度值。

### 1.3.4 电子鼻的测定

参考姚晓波等<sup>[8]</sup>的方法并稍做修改, 取 2.0 g 鱼肉搅碎放入 20 mL 进样瓶里, 在温度为 40 °C 的水浴锅中平衡 30 min 后进行测定。PEN3 电子鼻检测的参数: 清洗时间 100 s, 测试时间 120 s, 气体流量 150 mL/min, 每组三个平行, 特征值提取时间点 115~116 s。采用 Winmuster 软件进行数据的采集与处理, PCA 为主要分析方法<sup>[9]</sup>。

### 1.3.5 挥发性风味成分的测定

参考陈方雪等<sup>[10]</sup>的方法并稍做修改, 取 2.0 g

搅碎鱼肉于 20 mL 顶空瓶中, 放入磁力搅拌器在 40 °C 下平衡 15 min, 然后将型号为 70  $\mu\text{m}$  Carboxen/PDMS 的 SPME 针管插入顶空瓶中吸附 40 min 后插入 GC-MS 进样口解吸 5 min。在 DB-WAX 色谱柱 (60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ , 安捷伦科技公司) 上进行分离。

定量分析: 将 50  $\mu\text{L}$  内标物仲辛醇 (质量浓度为  $0.8 \times 10^{-6}$  g/mL) 加入到上述样品中, 各挥发性化合物的含量是通过待测挥发物与仲辛醇峰面积的比值得出。

仪器参数: 在 5975C 质谱仪的 Agilent 7890A 气相色谱仪上进行分析, DB-WAX 色谱柱 (60 mm $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ) 上进行分离。载气氮气的恒定流量为 1.0 mL/min, 进样器温度为 250 °C, 离子源温度为 230 °C。温度程序如下: 烘箱温度保持在 40 °C, 以 2 °C/min 的速度升至 100 °C, 然后以 5 °C/min 的速度升至 180 °C, 最后在 8 °C 升至 250 °C/min, 保持 5 min。涂层纤维在进样口 250 °C 下解吸 5 min。MS 扫描在 30~400 u 的范围内进行, 并且全扫描模式, 不分流。

### 1.3.6 气味活性值计算

表明风味化合物贡献大小的物理量可以通过气味活性值 (Odor Activity Value, OAV) 呈现, 也可表示挥发性物质对整体风味的贡献值, 对气味有较大贡献的挥发性物质 OAV 值大于 1, 并且 OAV 值越大表明该组对总体气味贡献就越大。OAV 计算公式 (2) 如下:

$$B = \frac{C_i}{O_i} \quad (2)$$

式中:

$B$ ——气味活性值 (OAV);

$C_i$ ——被测挥发性化合物的质量浓度, ng/g;

$O_i$ ——被测香气化合物在水中的气味阈值 ( $OT_i$ ), ng/g。

### 1.3.7 电子舌的测定

参考周纷等<sup>[11]</sup>的方法做适当修改, 分别准确称取 10.0 g (精确到 0.001 g) 冻干样品加入 200 mL 纯水使得料液比为 1:20, 浸泡 2 h 后用滤纸过滤 5~6 h 后将 60 mL 滤液移至电子舌专用烧杯进行测定。

### 1.3.8 游离氨基酸的测定

样品前处理参照袁灿等<sup>[12]</sup>方法并作适当修改, 称取 0.50 g 鱼肉放入 10 mL 的离心管中, 加入 0.02 mol/L 盐酸进行溶解定容, 再加 0.1 mL 净化液后在 60 °C 真空干燥箱干燥 2 h, 干燥后衍生,

最后用 UltiMate3000 高效液相色谱仪进行分析。色谱分析条件：色谱柱为 UG120 C18 (4.6 mm×250 mm×5 μm)，进样量为 10 μL，检测波长为 254 nm，柱温为 40 °C。

### 1.3.9 呈味核苷酸的测定

参照 Zhu 等<sup>[13]</sup>的方法并稍作修改，称取 2.0 g 鱼肉放入 50 mL 离心管中，加入 20 mL 高氯酸溶液（浓度为 10%），均质后离心（8 000 r/min，10 min，4 °C），取出上清液，再加入 20 mL 高氯酸溶液（浓度为 5%），涡旋振荡后再次离心。重复操作一次，合并上清液。用 10 mol/L 和 1 mol/L 氢氧化钠溶液调整 pH 值至 6.0~6.4，转移至 100 mL 容量瓶，用纯水定容后过 0.22 μm 微孔滤膜后放入高效液相色谱仪进行分析。色谱分析条件：色谱柱为 C<sub>18</sub> 柱，250 mm×4.6 mm (i.d)，流速为 1.0 mL/min，柱温为 35 °C，检测波长为 254 nm，进样量为 20 μL。

### 1.3.10 味精当量 (EUC) 的计算

味精当量 (Equivalent Umami Concentration, EUC)<sup>[14]</sup>是与两类鲜味物质混合物协同作用产生同样的鲜味强度相当于味精 (MSG) 的量<sup>[15]</sup>，按式 (3) 计算：

$$D = \sum a_i b_i + 12.18 (\sum a_i b_i) \times (\sum a_j b_j) \quad (3)$$

式中：

D——味精当量 (EUC)；

a<sub>i</sub>——鲜味氨基酸 (天冬氨酸、谷氨酸) 的含量, mg/g；

b<sub>i</sub>——鲜味氨基酸相对于 MSG 的相对鲜度系数 (谷氨酸: 1; 天冬氨酸: 0.077)；

a<sub>j</sub>——呈味核苷酸 (5'-IMP、5'-GMP、5'-AMP) 的含量, mg/g；

b<sub>j</sub>——呈味核苷酸相对于 IMP 的相对鲜度系数 (5'-IMP 为 1; 5'-GMP 为 2.3; 5'-AMP 为 0.18)；

12.18——协同作用常数。

## 1.4 数据处理

本研究的所有实验均重复测定 3 次，取三个平行的平均值；采用 SPSS 27.0 进行数据处理，Origin 2022 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价结果

由图 1 可知，同时加入紫苏精油与姜汁处理可使武昌鱼在烤制后的颜色、腥味、烤鱼香味、香料味、

滋味评价指标分数均高于其他处理组，感官评分最高，为 8.72 分。单独加入姜汁或紫苏精油腌制也可使武昌鱼在各指标分数高于对照组，说明紫苏精油与姜汁的添加可以明显改善武昌鱼的风味指标。

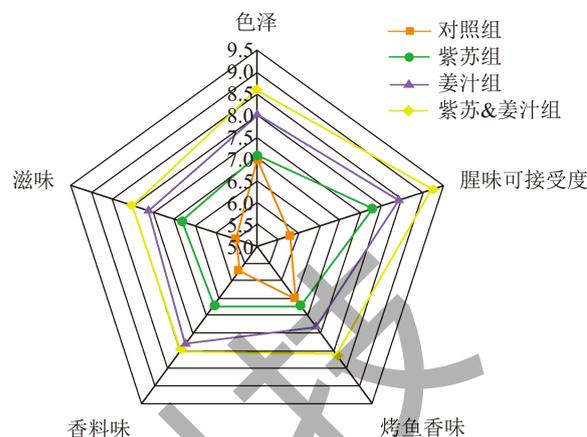


图 1 不同腌制工艺的武昌鱼感官评定雷达图

Fig.1 The radar chart of sensory evaluation of Wuchang fish with different marinating processes

### 2.2 不同腌制工艺对武昌鱼色泽的影响

表 2 不同腌制工艺的色泽变化

Table 2 Color changes of different curing processes

	对照组	紫苏组	姜汁组	紫苏 & 姜汁组
<i>W</i>	62.77 ± 0.44 <sup>a</sup>	63.35 ± 0.29 <sup>a</sup>	57.38 ± 0.34 <sup>b</sup>	56.95 ± 0.58 <sup>b</sup>
<i>L</i> *	68.8 ± 0.26 <sup>a</sup>	68.13 ± 0.15 <sup>a</sup>	62.5 ± 0.56 <sup>b</sup>	62.87 ± 0.90 <sup>b</sup>
<i>a</i> *	5.67 ± 0.25 <sup>a</sup>	3.73 ± 0.12 <sup>c</sup>	4.5 ± 0.10 <sup>b</sup>	4.8 ± 0.26 <sup>b</sup>
<i>b</i> *	19.5 ± 0.98 <sup>b</sup>	17.7 ± 0.85 <sup>c</sup>	19.73 ± 0.42 <sup>b</sup>	21.23 ± 0.71 <sup>a</sup>

注：不同小写字母表示不同处理方式之间差异显著 ( $P < 0.05$ )，显著性差异为各处理组间对比，下同。

*L*\* 值、*a*\* 值和 *b*\* 值能反映样品色度的变化，*L*\* 值越大表示越接近白色，越小表示越接近黑色；*a*\* 值越大，表示越接近红色，越小则表示越接近绿色；*b*\* 值越大，表示越接近黄色，越小则表示越接近蓝色。不同腌制组对烤制武昌鱼色泽影响如表 2 所示，加入姜汁腌制后烤制会使 *L*\* 值和 *W* 值显著降低，*L*\* 值降低为 62.5，*W* 值降低为 57.38。且同时加姜汁和紫苏精油腌制会明显加大烤鱼 *b*\* 值，使得值达到 21.23，使得烤鱼的黄色增大，金黄颜色会显得越发诱人。这可能与姜汁本身呈现黄色有关，且武昌鱼在烤制的过程中会发生美拉德反应，使得颜色更深，这与感官评价结果一致。色泽是评估鱼肉品质的重要指标之一，反映了鱼肉的光学特性，且可以通过色泽直观判断肉质的外在变化。由于姜汁和紫苏精油本身的色泽，在腌制武昌鱼的过程中使

得其颜色增加, 经过烤制的美拉德反应使得颜色更受大众所喜爱。

### 2.3 电子鼻结果

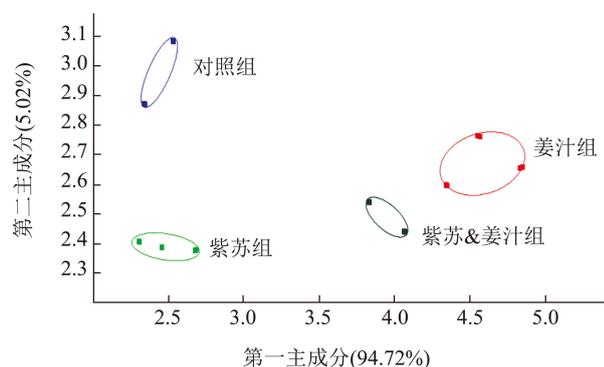


图2 不同腌制工艺的武昌鱼电子鼻 PCA 图

Fig.2 Electronic nose PCA of Wuchang fish with different curing techniques

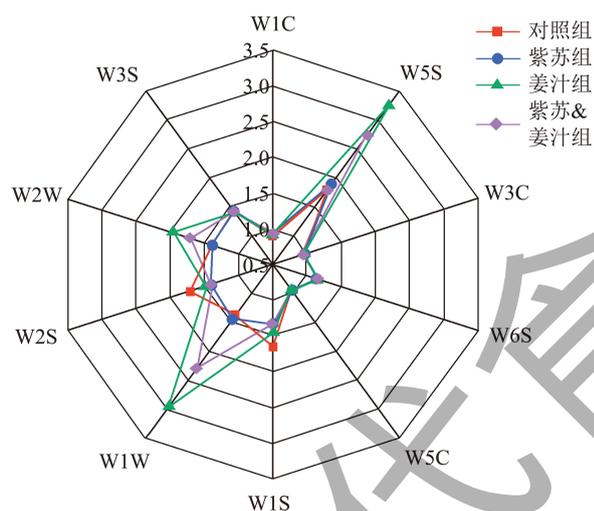


图3 不同腌制工艺的武昌鱼气味雷达图

Fig.3 Smell radar map of Wuchang fish with different curing techniques

PCA 是对原来具有信息重叠的多个指标进行线形组合, 这样使得这些指标之间既互不相关, 又能反映之前多指标的信息<sup>[16,17]</sup>。图2是采用PCA方法分析不同腌制调料对烤武昌鱼的电子鼻响应值结果, 第1主成分和第2主成分的贡献率分别为94.72%和5.02%, 总贡献率为99.74%, 这说明两个主成分可以用来代表武昌鱼的整体信息。从图2中可以看出, 不同处理组的挥发性气味有较大区别, 且不同响应值没有重叠区域, 区分度较好。图3为添加了不同腌料组武昌鱼样品的气味雷达图, 由图3可以看出, 添加姜汁对烤武昌鱼气味轮

廓有较大改变, 且响应值高的主要是W1W(硫化物)、W2W(芳香成分和有机硫化物)以及W5S(氮氧化物)这3个传感器。由PCA和雷达图的结果可以表明添加不同腌料组的烤武昌鱼风味具有明显差异, 为进一步探究样品具体风味物质的变化, 需要采用GC-MS进行分析检测和鉴定<sup>[18]</sup>。

### 2.4 不同腌制工艺对武昌鱼风味的影响

#### 2.4.1 不同腌制工艺对武昌鱼挥发性风味成分的影响

根据质谱库相似度检索、特征离子碎片和保留指数对比分析<sup>[19]</sup>, 定量结果如表3所示。在不同腌制工艺的武昌鱼样品中共鉴定出23种主要挥发性化合物, 包括醛类物质3种, 醇类物质11种, 酮类物质5种, 其他香料物质4种。其中对照组样品中主要挥发性化合物14种, 紫苏处理组主要挥发性化合物14种, 姜汁处理组主要挥发性化合物18种, 紫苏&姜汁组主要挥发性化合物21种。有相关研究表明新鲜武昌鱼的挥发性成分主要是挥发性羰基化合物和醇类化合物, 本研究结果与相关研究表明武昌鱼产品含有丰富的醇类具有一定相似性<sup>[20]</sup>。醛类物质能在脂质氧化过程中快速形成且感觉阈值较低, 对烤武昌鱼风味有重大贡献<sup>[21]</sup>, 如表3所示, 由于姜汁本身含有醛类物质, 这使得最终测得的结果醛类含量高于对照组, 但1-辛烯-3-醇含量紫苏&姜汁组最低, 仅为0.74 ng/g。除此之外加入紫苏精油和姜汁使得鱼肉产生丰富香气, 主要表现在 $\alpha$ -松油醇、芳樟醇、苧烯、 $\beta$ -蒎烯等香料物质的增加, 其中 $\alpha$ -松油醇具有清新、芳香的桉树味; 芳樟醇的香气柔和, 在香料中属于“头香香料”, 具有清甜的木青气息; 苧烯则具有淡淡的芳香和柠檬味;  $\beta$ -蒎烯具有特有的松节油香气, 干燥木材和松脂气味<sup>[22,23]</sup>。

#### 2.4.2 不同腌制工艺对武昌鱼气味活性值(OAV)的影响

OAV值可评估各组分对总体风味的贡献程度, 对总体风味起主要作用的称为关键化合物<sup>[24]</sup>。当挥发性化合物的OAV>1时, 表明该化合物影响了整体气味, 并被认为是特征香气成分<sup>[25]</sup>。通过查询挥发性组分在水中的阈值, 与挥发物浓度经过计算得出OAV值, 从而确定关键风味化合物, 各组分OAV值的大小与其香气贡献程度成正相关。

表 3 不同腌制工艺武昌鱼的主要气味成分及含量

Table 3 Main odor components and contents of Wuchang fish with different curing techniques

化合物类别	序号	中文名	保留时间/min	含量/(ng/g)			
				对照组	紫苏组	姜汁组	紫苏 & 姜汁组
醛类	1	正辛醛	16.17	1.45	0.70	1.98	1.48
	2	壬醛	20.03	3.94	2.84	7.72	5.24
	3	己醛; 正己醛	10.21	7.37	3.33	43.63	28.23
醇类	1	1- 己醇	18.42	0.48	0.38	1.15	0.95
	2	1- 辛烯 -3- 醇	22.26	2.22	2.36	4.77	0.74
	3	2- 乙基己醇	24.06	1.70	1.28	—	0.75
	4	3- 辛醇	19.93	0.98	0.72	—	3.30
	5	4- 萜烯醇	29.56	—	—	1.31	3.98
	6	$\alpha$ - 松油醇	34.28	—	—	4.67	5.20
	7	桉叶醇	13.81	0.84	0.61	34.01	13.10
	8	八乙二醇	46.64	0.27	0.16	0.27	0.24
	9	二环[2.2.1]庚醇 - 2- 醇	34.61	—	—	16.30	11.09
	10	芳樟醇	26.63	—	28.94	3.30	31.14
	11	甲基环戊烯醇酮	39.19	0.65	1.28	0.50	0.50
酮类	1	2- 甲基 -3- 戊酮	5.19	8.33	5.74	4.82	3.67
	2	3- 辛酮	15.05	0.43	—	0.57	5.32
	3	2- 辛酮	16.06	2.62	0.59	—	2.54
	4	甲基环戊烯醇酮	39.19	0.65	—	0.50	0.91
	5	2- 茨酮	25.78	—	—	2.04	3.70
其他	1	1- 石竹烯	29.41	—	10.52	—	—
	2	(1R)-(+)- $\alpha$ 蒎烯	8.92	—	—	14.51	—
	3	蒎烯	9.90	—	—	40.48	19.81
	4	$\beta$ - 蒎烯	10.21	—	—	—	23.95

表 4 不同腌制工艺武昌鱼的香气阈值和OAV值

Table 4 Aroma threshold and OAV value of Wuchang fish with different curing techniques

中文名	气味特征	香气阈值/(ng/g)	OAV			
			对照组	紫苏组	姜汁组	紫苏 & 姜汁组
正辛醛	油脂	2.5	0.58	0.28	0.79	0.59
壬醛	花香味	1.1	3.58	2.58	7.02	4.77
己醛	蜡烛味	4.5	1.64	0.74	9.70	6.27
1- 辛烯 -3- 醇	水果味	1	2.22	2.36	4.77	0.74
4- 萜烯醇	柑橘味	4.4	—	—	0.30	0.91
$\alpha$ - 松油醇	松树味	2	—	—	2.34	2.60
桉叶醇	桉树味	59.7	0.01	0.01	0.57	0.22
芳樟醇	芳香味	0.4	—	72.36	8.24	77.85
$\alpha$ - 蒎烯	松柏味	4	—	—	3.63	—
蒎烯	芳香和柠檬味	0.5	—	—	80.97	39.62
$\beta$ - 蒎烯	松柏味	4.5	—	—	—	5.32

由表4可知,对照组中有3种物质OAV>1,由高到低分别是壬醛(OAV=3.58)、1-辛烯-3-醇(OAV=2.22)、己醛(OAV=1.64);紫苏组有3种物质OAV>1,由高到低分别为芳樟醇(OAV=72.36)、壬醛(OAV=2.58)、1-辛烯-3-醇(OAV=2.36);姜汁组有7种物质OAV>1,由高到低分别为茨烯(OAV=80.97)、己醛(OAV=9.70)、芳樟醇(OAV=8.24)、壬醛(OAV=7.02)、1-辛烯-3-醇(OAV=4.77)、 $\alpha$ -蒎烯(OAV=3.63)、松油醇(OAV=2.34);紫苏&姜汁组有6种物质OAV>1,由高到低分别为芳樟醇(OAV=77.85)、茨烯(OAV=39.62)、己醛(OAV=6.27)、 $\beta$ -蒎烯(OAV=5.32)、壬醛(OAV=4.77)、松油醇(OAV=2.60)。其中OAV较大的为芳樟醇,对风味起主要作用,其主要存在于芳樟油、芫荽子油、香柠檬油、橙花和橙叶油中<sup>[26]</sup>,随着紫苏精油的加入并结合生姜中的香料物质,从而具有了铃兰香、柑橘香和玫瑰香<sup>[27]</sup>,这与吴天乐<sup>[28]</sup>对紫苏的研究结果一致,因此经紫苏精油和姜汁的腌制使得武昌鱼风味更加丰富,进而掩盖了腥味。

## 2.5 电子舌的结果

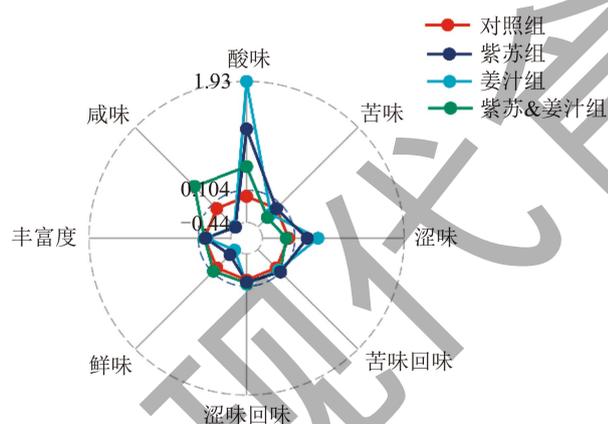


图4 不同腌制工艺武昌鱼的电子舌雷达图

Fig.4 Electronic tongue radar map of Wuchang fish with different curing techniques

电子舌是通过味觉传感器对样品的感官属性进行分析,通过提取各传感器的响应值建立了四种不同腌制处理的滋味雷达图,结果如图4所示。如图可知,电子舌的分析结果表明,酸味、涩味、咸味和鲜味的响应值较高,是影响烤武昌鱼滋味的主要味觉指标,其中姜汁组的酸味和涩味最明显,其次是紫苏组、紫苏&姜汁组,鲜味和咸味则是紫苏&姜汁组最大。咸味主要是由一些中性盐离子产生的

滋味,可在一定程度上增强鲜味的感知<sup>[29]</sup>。这可能是因为姜汁和紫苏精油在腌制过程中会发生一定的化学反应,其中蛋白质的降解以及小肽、游离氨基酸和核苷酸等呈味物质的溶出<sup>[30]</sup>,从而提升了烤武昌鱼的风味品质。

## 2.6 游离氨基酸对烤武昌鱼滋味的影响

游离氨基酸大量存在于水产品中,是重要的滋味贡献者<sup>[31]</sup>。各种氨基酸能在不同程度上影响食物的滋味,并且其与核苷酸类物质产生风味协同作用<sup>[32]</sup>。由表5可知,烤武昌鱼中共检测出17种游离氨基酸,其中谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸和天冬氨酸是重要的风味氨基酸,特别是作为鲜味氨基酸的天冬氨酸和谷氨酸<sup>[33]</sup>,对烤武昌鱼鲜美滋味的形成具有重要作用。加入紫苏精油或姜汁处理后鱼肉中游离氨基酸总含量要相对降低,但鲜味氨基酸总含量差异不明显,在加入姜汁处理的组别中甜味氨基酸含量7.35 mg/g要明显高于其他组别,加入紫苏精油或姜汁处理后组别与对照组相比苦味氨基酸含量要显著降低,特别是同时加入紫苏精油和姜汁处理,使得苦味氨基酸含量24.95 mg/g远低于其他组。这可能是因为紫苏精油和姜汁中含有丰富的芳香化合物,这些化合物可以促进美拉德反应,赖氨酸、精氨酸等苦味氨基酸更易与其反应而减少,使得苦味氨基酸含量降低<sup>[34]</sup>。

## 2.7 呈味核苷酸对武昌鱼滋味的影响

烤武昌鱼味道不仅和鱼肉中游离的呈味氨基酸有关,还与呈味核苷酸密切相关,核苷酸及其关联化合物是形成鱼鲜味的重要组成成分<sup>[35]</sup>。由表6可知,在烤武昌鱼中共检测出5'-GMP、5'-IMP和5'-AMP 3种呈味核苷酸,其中水产品中的IMP和AMP可以赋予肉质强烈的鲜味<sup>[36]</sup>,单独加入紫苏精油腌制会使鱼肉中GMP和AMP含量降低,单独加入姜汁处理会使GMP升高AMP下降,而同时加入紫苏精油和姜汁腌制的武昌鱼鱼肉中鲜味物质GMP、AMP和IMP都要明显高于对照组,这可能是由于紫苏精油和姜汁在腌制和烤制过程中物质之间会发生美拉德反应所导致的<sup>[34]</sup>。IMP降解产生的HxR和Hx是武昌鱼中的嘌呤类物质,呈苦味<sup>[37]</sup>,对整体风味有不良影响。对照组中,IMP降解产生的HxR和Hx含量分别是6.75和0.39 mg/g,加入姜汁腌制后的武昌鱼中苦味物质HxR和Hx含量分

别为 3.89 和 0.54 mg/g, 以及加入姜汁和紫苏精油腌制后的武昌鱼中苦味物质 HxR 和 Hx 含量分别为 4.49 mg/g 和 0.45 mg/g, HxR 和 Hx 含量两者之和

要明显低于对照组。综上所述, 同时加入姜汁与紫苏精油能使得鱼肉在鲜味显著性增大的同时苦味明显降低。

表 5 不同腌制工艺武昌鱼的游离氨基酸含量

Table 5 Content of free amino acids in Wuchang fish by different curing techniques

游离氨基酸	呈味特性	含量/(mg/g)			
		对照组	紫苏组	姜汁组	紫苏 & 姜汁
天冬氨酸	鲜/酸(+)	1.53 ± 0.07 <sup>ab</sup>	1.42 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.73 ± 0.20 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.00 <sup>ab</sup>
谷氨酸	鲜/酸(+)	0.91 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.68 ± 0.00 <sup>c</sup>
鲜味/酸味氨基酸含量		2.44 ± 0.11	2.24 ± 0.15	2.35 ± 0.27	2.26 ± 0.00
丝氨酸	甜(+)	0.75 ± 0.036 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.70 ± 0.00 <sup>ab</sup>
甘氨酸	甜(+)	3.52 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.91 ± 0.19 <sup>c</sup>	4.24 ± 0.48 <sup>a</sup>	4.12 ± 0.01 <sup>a</sup>
苏氨酸	甜(+)	0.72 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.68 ± 0.08 <sup>ab</sup>	0.67 ± 0.00 <sup>ab</sup>
丙氨酸	甜(+)	1.15 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.90 ± 0.06 <sup>d</sup>	1.64 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.00 <sup>b</sup>
脯氨酸	甜(+)	0.19 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>c</sup>
甜味氨基酸含量		6.32 ± 0.30	5.18 ± 0.34	7.35 ± 0.83	7.02 ± 0.02
酪氨酸	苦(-)	0.60 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.10 <sup>bc</sup>	0.29 ± 0.00 <sup>c</sup>
异亮氨酸	苦(-)	0.76 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.28 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.28 ± 0.00 <sup>c</sup>
亮氨酸	苦(-)	1.25 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.03 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.07 <sup>c</sup>	0.52 ± 0.00 <sup>c</sup>
苯丙氨酸	苦(-)	0.47 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.35 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>b</sup>
组氨酸	苦(-)	1.45 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.21 ± 0.08 <sup>b</sup>	3.68 ± 0.42 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.00 <sup>a</sup>
赖氨酸	甜/苦(-)	1.38 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.17 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.08 ± 0.09 <sup>bc</sup>	0.99 ± 0.00 <sup>c</sup>
缬氨酸	甜/苦(-)	0.47 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>ab</sup>	0.43 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.00 <sup>b</sup>
蛋氨酸	苦/甜/硫(-)	1.14 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.51 ± 0.00 <sup>c</sup>
半胱氨酸	苦/甜/硫(-)	0.54 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.20 ± 0.00 <sup>c</sup>
精氨酸	苦/甜(+)	23.33 ± 0.50 <sup>a</sup>	22.09 ± 1.44 <sup>a</sup>	18.24 ± 2.06 <sup>b</sup>	17.80 ± 0.041 <sup>b</sup>
苦味氨基酸含量		31.39 ± 0.90	28.79 ± 1.85	25.64 ± 2.88	24.95 ± 0.07
总计		40.15 ± 1.32	35.59 ± 2.69	35.34 ± 3.99	34.23 ± 0.09

表 6 不同腌制工艺武昌鱼的核苷酸含量

Table 6 Nucleotide content of Wuchang fish by different curing techniques

核苷酸	味道	含量/(mg/g)			
		对照组	紫苏组	姜汁组	紫苏 & 姜汁
IMP		0.52 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.6 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.52 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.01 <sup>ab</sup>
GMP	鲜味(+)	80.46 ± 1.86 <sup>c</sup>	74.11 ± 2.04 <sup>d</sup>	83.74 ± 1.14 <sup>b</sup>	87.75 ± 1.07 <sup>a</sup>
AMP		4.02 ± 0.20 <sup>b</sup>	3.68 ± 0.24 <sup>c</sup>	3.88 ± 0.09 <sup>bc</sup>	4.47 ± 0.10 <sup>a</sup>
HxR	苦味(-)	6.75 ± 0.15 <sup>b</sup>	7.19 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.27 <sup>d</sup>	4.49 ± 0.11 <sup>c</sup>
Hx		0.39 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.14 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.13 <sup>ab</sup>	0.45 ± 0.06 <sup>b</sup>

注: (+) 表示滋味贡献正效应; (-) 表示滋味贡献负效应。

表7 不同腌制工艺武昌鱼的EUC值

Table 7 EUC values of Wuchang fish with different curing techniques

组别	EUC 值 (g MSG/100 g)	氨基酸	$a_i$ (mg/g)	$b_i$	$a_i b_i$	核苷酸	$a_j$ (mg/g)	$b_j$	$a_j b_j$
对照组	207.39	天冬氨酸	1.53	1	1.53	IMP	0.52	1	0.52
		谷氨酸	0.91	0.077	0.07	GMP	80.46	2.30	185.06
						AMP	4.02	0.18	0.72
紫苏组	191.25	天冬氨酸	1.42	1	1.42	IMP	0.60	1	0.60
		谷氨酸	0.81	0.077	0.06	GMP	74.11	2.3	170.45
						AMP	3.68	0.18	0.66
姜汁组	217.25	天冬氨酸	1.73	1	1.73	IMP	0.52	1	0.52
		谷氨酸	0.62	0.077	0.05	GMP	83.74	2.30	192.60
						AMP	3.88	0.18	0.70
紫苏 & 姜汁组	224.83	天冬氨酸	1.59	1	1.59	IMP	0.55	1	0.55
		谷氨酸	0.68	0.077	0.05	GMP	87.75	2.30	201.83
						AMP	4.47	0.18	0.80

## 2.8 味精当量 (EUC) 的结果

鲜味核苷酸 GMP、AMP、IMP 与鲜味游离氨基酸天冬氨酸和谷氨酸的协同作用在水产品的味道中发挥着重要作用,因此可以用 EUC 来衡量这种协同关系指标<sup>[38-41]</sup>。如表 7 可知,四种不同腌制方式 EUC 含量分别为 207.39、191.25、217.25、224.83 g MSG/100 g。有相关研究表明,EUC 值范围在 100~1 000 g MSG/g 表示鲜味强烈<sup>[42]</sup>,由此可得对照组和实验组的鲜味都较大,且紫苏 & 姜汁组的 EUC 值最高,即 100 g 物质产生的鲜味强度相当于 224.83 g 味精所产生的鲜味强度。

## 3 结论

本实验探究了紫苏精油和姜汁对烤武昌鱼风味的影响,结果发现同时添加紫苏精油和姜汁腌制能在色泽、气味和滋味上呈现较大变化,在最大程度上减少腥味物质且产生掩盖腥味的物质,并使得鱼肉中鲜味物质增加。除此之外还显著降低了苦味物质 HxR 的含量,使得苦味氨基酸含量 24.95 mg/g 远低于其他组,并且其 100 g 产生的鲜味强度相当于 224.83 g 味精所产生的鲜味强度。因此添加紫苏精油和姜汁复合去腥调料,可以使得武昌鱼风味和滋味最佳,可以制成一款风味丰富、滋味鲜美的烤武昌鱼产品。

## 参考文献

- [1] ZHANG CN, RAHIMNEJAD S, KANGLE L, et al. Molecular characterization of p38 MAPK from blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) and its expression after ammonia stress, and lipopolysaccharide and bacterial challenge [J]. *Fish and Shellfish Immunology*, 2019, 84: 848-856.
- [2] 王清政,徐燕如,刘敏,等.葱、姜和紫苏的添加对预制细点圆趾蟹挥发性化合物和ATP及关联产物变化的影响[J].*食品科学*,2023,44(18):268-276.
- [3] 秦红英,周光明,彭贵龙,等.高效液相色谱法测定紫苏中5种有机酸和黄酮的含量[J].*食品科学*,2014,35(14):102-105.
- [4] 吴静,黄卉,李来好,等.鱼制品腥味产生机制及调控措施研究进展[J].*食品与发酵工业*,2019,45(24):254-261.
- [5] 李露,周评平,董玲,等.姜葱蒜中生物活性物质及加工产品研究进展[J].*四川农业科技*,2021,405(6):63-65.
- [6] 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*,2007,2:146-148.
- [7] 周伟,羊欢欢,黄苏红,等.紫苏提取物对鲤鱼鱼柳的抗菌和抗脂质氧化作用研究[J].*食品安全质量检测学报*, 2017,8(1):41-49.
- [8] 姚晓波,熊光权,乔宇,等.酵母提取物和迷迭香提取物对鲈鱼风味的影响[J].*食品科技*,2020,45(2):144-150.
- [9] 赵梦醒,丁晓敏,曹荣,等.基于电子鼻技术的鲈鱼新鲜度评价[J].*食品科学*,2013,34(6):143-147.
- [10] 陈方雪,邓祎,谌玲薇,等.预制冷风风干武昌鱼干制过程中的品质变化及香气形成[J].*现代食品科技*,2023,39(2): 9-17.

- [11] 周纷,张艳霞,张龙,等.冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析[J].食品科学,2019,40(16):193-199.
- [12] 袁灿,何莲,胡金祥,等.基于电子舌和电子鼻结合氨基酸分析鱼香肉丝调料风味的差异[J].食品工业科技,2022,43(9):48-55.
- [13] ZHU W, HE W, WANG W, et al. Effects of thermo ultrasonic treatment on characteristics of micro-nano particles and flavor in Greenland halibut bone soup [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 79: 1-9.
- [14] CHEN D, ZHANG M, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [15] PHAT C, MOON B, LEE C. Evaluation of umami taste in mushroom extracts by chemical analysis, sensory evaluation, and an electronic tongue system [J]. Food Chemistry, 2016, 192:1068-1077.
- [16] DUTTA R, KASHWAN K R, BHUYAN M, et al. Electronic nose based tea quality standardization [J]. Neural Networks, 2003, 16(5/6): 847-853.
- [17] LABRECHE S, BAZZO S, CADE S, et al. Shelf life determination by electronic nose: application to milk [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 106(1): 199-206.
- [18] 江津津,严静,郑玉玺,等.不同产地传统鱼露风味特征差异分析[J].食品科学,2021,42(12):206-214.
- [19] 蒋青香,李慧雪,李利君,等.基于感官检验和气相色谱-质谱联用对白芽奇兰茶叶香气分级[J].食品科学,2021,42(20):98-106.
- [20] 李阳,汪超,胡建中,等.武昌鱼中挥发性成分的HS-SPME和GC-MS分析[J].湖北农业科学,2014,53(4):907-912.
- [21] 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.
- [22] 吴继忠,帖金鑫,李石头,等.基于分子感官科学的香紫苏精油特征香气成分分析[J].中国调味品,2022,47(11):168-172.
- [23] 葛怡青,全涛.新鲜葱姜蒜混合物与炒制后的葱姜蒜油挥发性风味物质的对比研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(17):5443-5451.
- [24] 王伯华,王美焱,王晨曦,等.臭氧处理对洞庭青鲫鱼挥发性成分的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(15):288-295.
- [25] ZHANG X, GAO P, XIA W, et al. Characterization of key aroma compounds in low-salt fermented sour fish by gas chromatography-mass spectrometry, odor activity values, aroma recombination and omission experiments [J]. Food Chemistry, 2022, 397(15): 133773.
- [26] 周慧敏,张顺亮,郝艳芳,等. HS-SPME-GC-MS-O结合电子鼻对坨坨猪肉主体风味评价分析[J].食品科学,2021,42(2):218-226.
- [27] 周晓,周劲松,刘特元,等.基于HS-SPME-GC-MS分析循环熬制卤水对风味熟制小鱼干风味的影响[J].食品工业科技,2023,44(19):320-328.
- [28] 吴天乐,詹萍,王鹏.基于GC-O-MS结合化学计量学探究紫苏对鱼腥味的抑制作用[J].食品研究与开发,2022,43(18):9-18.
- [29] KAROVICOVA J, KOHAJDOVAZ Z, HYBENOVA E, et al. Using of multivariate analysis for evaluation of lactic acid fermented cabbage juices [J]. Chemistry Papers, 2002, 56(4): 267-274.
- [30] LEKJIN S, K VENKATACHALAM, WANGBENMAD C. Biochemical evaluation of novel seabass (*Lates calcarifer*) fish essence soup prepared by prolonged boiling process [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2021, 14: 1-16.
- [31] CHEN G, LI J, SUN Z, et al. Rapid and sensitive ultrasonic-assisted derivatisation microextraction (UDME) technique for bitter taste-free amino acids (FAA) study by HPLC-FLD [J]. Food Chemistry, 2014, 143: 97-105.
- [32] KOMATA Y. Umami taste of seafoods [J]. Food Reviews International, 1990, 6(4): 457-487.
- [33] 朱秀清,张宾洋,孙冰玉,等.大豆蛋白素肉风味影响研究进展[J].食品科学,2023,44(5):18-28.
- [34] 罗佳峰,孙震,何俊,等.腌制及烤制时间对蜜汁烤鸭腿风味物质的影响[J].食品科学,2021,42(18):191-198.
- [35] 徐永霞,曲诗瑶,白旭婷,等.菌菇狭鳕鱼汤加工工艺优化及核苷酸含量的变化[J].中国食品学报,2021,21(8):200-207.
- [36] 刘源,崔智勇,周雪珂,等.水产品滋味研究进展[J].食品科学技术学报,2022,40(1):22-29.
- [37] LAWAL A T, ADELOJU S B. Mediated xanthine oxidase potentiometric biosensors for hypoxanthine based on ferrocene carboxylic acid modified electrode [J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2982-2987.
- [38] CHEN D, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [39] CHEN L, ZENG W, RONG Y, et al. Characterisation of taste-active compositions, umami attributes and aroma compounds in Chinese shrimp [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(12): 6311-6321.
- [40] LIU T T, XIA N, WANG Q Z, et al. Identification of the non-volatile taste-active components in crab sauce [J]. Foods, 2019, 8(8): 112-118.
- [41] MAU J L. The umami taste of edible and medicinal mushrooms [J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2005, 7(1): 119-126.
- [42] 王源渊,尚珊,丁若松,等.不同复热方式对预制烤鱼品质的影响[J].食品与发酵工业,2024,50(1):248-255.