

基于固相微萃取 (SPME) 和同时蒸馏萃取 (SDE) 分析大麦苗粉对白鲢鱼糜制品的去腥作用

吴丹¹, 曾文浩¹, 熊善柏¹, 黄琪琳^{1*}, 祝方清^{2*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北武汉 430070)

(2. 湖北大学知行学院, 湖北武汉 430011)

摘要: 该研究采用感官评价、电子鼻及顶空固相微萃取 (headspace solid phase microextraction, HS-SPME) 和同时蒸馏萃取 (simultaneous distillation extraction, SDE) 结合气质联用 (gas chromatography - mass spectrometry, GC-MS) 探究大麦苗粉 (Barley green powder, BGP) 对白鲢鱼糜制品风味品质的影响。结果表明, BGP、鱼糜制品和添加 BGP 的鱼糜制品通过 SPME 法分别鉴定出 39、25 和 28 种挥发性成分, 通过 SDE 法鉴定出 29、45 和 56 种挥发性成分。BGP 通过 SPME 法吸附更多烃类化合物; 鱼糜制品通过 SDE 法萃取到更多醛、醇类化合物。将气味活度值 (Odor Activity Value, OAV) 大于 1 的 1-辛烯-3-醇、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、2,4-庚二烯醛、2-辛烯醛、2-癸烯醛和 2,4-癸二烯醛确定为白鲢鱼糜制品的主要挥发性成分; 苯乙醛、糠醛和乙酸香叶酯确定为 BGP 的主要挥发性成分。BGP 添加到白鲢鱼糜制品中, 对鱼腥味贡献较大的己醛、庚醛、1-辛烯-3-醇含量分别下降了 42.38%、35.06% 和 10.71%, 且另检测到了苯乙醛和糠醛等香气物质。结合 TBARS 值可知 BGP 能抑制鱼糜脂质氧化, 且其香气成分对白鲢鱼糜制品的腥味具有掩盖作用。因此 BGP 对白鲢鱼糜制品有良好的去腥效果, 1% 添加量可明显改善鱼糜制品风味品质。

关键词: 大麦苗粉; 白鲢鱼糜制品; 挥发性成分; 电子鼻; 顶空固相微萃取-气质联用法; 同时蒸馏萃取-气质联用法

文章编号: 1673-9078(2022)03-244-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.3.0690

Analysis of the Deodorization Effect of Barley Green Powder on Silver Carp Surimi Products by SPME and SDE

WU Dan¹, ZENG Wenhao¹, XIONG Shanbai¹, HUANG Qilin^{1*}, ZHU Fangqing^{2*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, Wuhan 430070, China)

(2. Zhixing College of Hubei University, Wuhan 430011, China)

Abstract: In this study, sensory evaluation, electronic nose, headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation extraction (SDE) combined with gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS) were used to investigate the effect of barley green powder (BGP) on the volatile compounds of silver carp surimi products. The results showed 39, 25 and 28 volatile compounds were identified in BGP, surimi products and surimi products added with BGP through SPME, 29, 45 and 56 volatile compounds were identified in BGP, surimi products and surimi products added with BGP through SDE, respectively. More hydrocarbon compounds in BGP were absorbed through SPME, and more aldehydes and alcohol compounds in surimi products were extracted through SDE. The 1-octen-3-ol, 2,4-decadienal,

引文格式:

吴丹, 曾文浩, 熊善柏, 等. 基于固相微萃取 (SPME) 和同时蒸馏萃取 (SDE) 分析大麦苗粉对白鲢鱼糜制品的去腥作用[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 244-256

WU Dan, ZENG Wenhao, XIONG Shanbai, et al. Analysis of the deodorization effect of barley green powder on silver carp surimi products by SPME and SDE [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 244-256

收稿日期: 2021-07-05

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0901003); 湖北省粮食科技创新成果转化项目 (2019)

作者简介: 吴丹 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品风味调控, E-mail: 2413099313@qq.com

通讯作者: 黄琪琳 (1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品大分子的结构和功能特性, 水产品加工与风味调控, E-mail: hqll@mail.hzau.edu.cn; 共同通讯

作者: 祝方清 (1965-), 女, 副教授, 研究方向: 食品营养及功能性食品, E-mail: 525990682@qq.com

hexanal, heptanal, octanal, nonanal, 2-octenal, 2-decenal and 2,4-heptadienal were determined as the main volatile compounds of silver carp surimi products; phenylacetaldehyde, furfural and geranyl acetate were determined as the main volatile compounds of BGP. The contents of hexanal, heptanal and 1-octen-3-ol decreased by 42.38%, 35.06% and 10.71%, respectively, and phenylacetaldehyde and furfural were increased significantly when BGP were added to the silver carp surimi products. Combined with TBARS value change, the oxidation of fat in surimi was inhibited by BGP and off-odor of surimi was masked by BGP. Therefore, there is a good deodorizing effect on silver carp surimi products with the addition of BGP, and the flavor quality of surimi products improved significantly when added 1% BGP.

Key words: barley green powder; silver carp surimi product; volatile compounds; electronic nose; headspace-solid phase micro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry; simultaneous distillation extraction-gas chromatography-mass spectrometry

白鲢是我国第二大产量的养殖淡水鱼^[1], 鱼肉富含必需氨基酸和多不饱和脂肪酸^[2], 具有很好的营养和食用价值^[3], 是当前重要的鱼糜加工原料之一。但由于环境因素、脂肪氧化、内源酶的降解以及微生物的作用, 导致白鲢鱼土霉味与鱼腥味严重且不易去除, 使得白鲢鱼糜产品不被一些消费者所接受, 严重制约了有关鱼糜制品的发展^[4]。研究表明脂肪在酶的作用下水解生成大量多不饱和脂肪酸, 并进一步降解生成醛、酮、不饱和醇等次级氧化产物^[5], 是鱼肉产生不良气味的主要原因。Zhou 等^[6]发现白鲢鱼肉中己醛、辛醛、庚醛、2,4-庚二烯醛、壬醛、1-辛烯-3-醇的 OAV 均大于 1, 对鱼肉的整体会味贡献较大; Mahmou 等^[7]发现 4-庚烯醛与其他脂肪氧化产物可能是鱼腥味的主要原因。

大麦苗粉 (BGP) 是一种由大麦嫩苗制成的天然食品原料, 具有良好的色泽和天然风味及丰富的营养价值^[8]。并含有大量的维生素 E、维生素 C^[9]、超氧化物歧化酶^[10]和黄酮类物质, 具有较好的抗氧化活性。Kamiyama 等^[11]研究发现, 大麦苗幼叶中的皂草苷可抑制脂质 (如亚油酸乙酯、亚油酸乙酯、花生四烯酸乙酯等) 氧化生成甲基丙烯酸, 从而抑制丙二醛的产生。大麦苗粉和鱼糜制品中挥发性成分种类和含量差异较大, 因此需要采用不同的挥发性成分提取方法。目前常用的提取方法各有其优缺点, 本研究采用的固相微萃取法 (SPME) 集采样、萃取、浓缩、进样于一体, 可较好的重现样品本身的气味特征^[12]; 同时蒸馏萃取提取时间长萃取率高, 可较大程度的提取样品中的挥发性成分^[13]。

目前, 国内关于大麦苗粉在鱼糜制品中的应用研究尚属空白, 为拓展大麦苗粉产品及其应用, 提升淡水鱼鱼糜制品的风味品质。本研究首次将大麦苗粉添加到白鲢鱼糜制品中, 通过感官评价确定大麦苗粉最佳添加量, 并采用电子鼻、顶空固相微萃取和同时蒸馏萃取结合气质联用法, 测定大麦苗粉特征挥发性成分及其对白鲢鱼糜制品风味成分的影响, 并从抑制脂肪氧化的角度初步探究大麦苗粉消减腥味的机制。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻白鲢鱼糜 (AAA 级), 洪湖市井力水产食品股份有限公司; 大麦苗粉 (100 目), 陕西锦泰生物科技有限公司; 氯化钠、无水硫酸钠、三氯乙酸、硫代巴比妥酸, 上海国药集团化学试剂公司; 二氯甲烷、正己烷 (色谱纯), 彼西络科技 (广州) 有限公司。

1.2 仪器与设备

BS-2012 分析天平, Sartorius Instruments Ltd; 3205 食品调理机, 德国博朗公司; PDMS/DVB/CAR 萃取头, 上海楚定分析仪器有限公司; DF-101S 恒温加热磁力搅拌器, 郑州长城工贸有限公司; UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津公司; FOX4000 电子鼻, 法国 Alpha M.O.S 公司; QP2010Ultra 气相色谱质谱联用仪, 日本岛津公司。

表 1 感官评分表

Table 1 Sensory score form

指标	评分标准	评分
气味 (嗅闻) 20%	闻起来基本无腥味	14~20
	闻起来稍有腥味	7~13
	闻起来腥味重	0~6
气味 (咀嚼) 20%	咀嚼后基本无腥味	14~20
	咀嚼后稍有腥味	7~13
	咀嚼后腥味重	0~6
滋味 20%	有鱼肉鲜味, 无异味	14~20
	鱼肉鲜味淡, 略有异味	7~13
	无鱼肉鲜味, 有异味	0~6
口感 20%	肉质细腻, 无沙粒感	14~20
	肉质较为细腻, 略有沙粒感	7~13
	口感粗糙, 沙粒感明显	0~6
可接受度 20%	接受	14~20
	一般	7~13
	不接受	0~6

1.3 试验方法

1.3.1 鱼糜凝胶的制备

取冷冻鱼糜于流水下解冻 1 h, 放入调理机中, 空斩 1 min, 再加鱼糜质量 1% 的食盐斩拌 3 min, 最后添加相应百分含量的大麦苗粉斩拌 3 min, 并以不加大麦苗粉鱼糜作空白对照, 斩拌前加水调节水分含量为 78%。后将斩拌好的鱼糜灌入肠衣, 两端卡扣密封。采用两段式加热法, 40 °C 加热 1 h, 90 °C 加热 30 min, 流水下冷却, 4 °C 冷藏过夜制得鱼糜制品^[14,15]。

1.3.2 感官评价

选择 6 名 (3 男 3 女) 前期经过培训的感官评定员, 对鱼糜制品的气味、滋味和口感等作出评价, 评分标准见表 1。

1.3.3 硫代巴比妥酸值的测定

采用 GB 5009.181-2016 《食品中丙二醛的测定》。

1.3.4 电子鼻分析

参考王当丰等^[16]的研究方法并稍做改动, 分别准确称取 0.02 g 大麦苗粉、2.00 g 鱼糜制品和 2.02 g 添加大麦苗粉鱼糜制品于 10 mL 电子鼻进样瓶待测, 每个样品进行 3 次平行试验。顶空产生参数: 测定时间 120 s, 顶空温度 50 °C, 震荡速度 500 r/min; 顶空注射参数: 注射体积 1.5 mL, 注射速度 1.5 mL/s, 进样针温度: 60 °C; 载气 (合成干燥空气) 流速 150 mL/min。

1.3.5 HS-SPME 法提取挥发性成分

分别称取 0.03 g 大麦苗粉、3.00 g 鱼糜制品和 3.03 g 添加大麦苗粉鱼糜制品于 20 mL 顶空瓶中, 加入 7 mL 的饱和食盐水和内标物邻二氯苯 (1 μg/mL, 300 μL), 放入磁力搅拌子, 置于磁力搅拌台上, 将萃取头插入样品瓶液面上方, 60 °C 下平衡 3 min, 萃取 50 min 后, 取出插入到 GC-MS 进样口解吸 5 min。

1.3.6 SDE 法提取挥发性成分

参考肖阳等^[17]的研究方法稍加改动, 分别称取 1.00 g 大麦苗粉、100.00 g 鱼糜制品和 101.00 g 添加大麦苗粉鱼糜制品于圆底烧瓶中, 加入 150 mL 去离子水和内标物邻二氯苯 (1 mg/mL, 10 μL), 置于装置的轻相端, 电热套加热使烧瓶内液体保持微沸; 另取 50 mL 重蒸二氯甲烷于 100 mL 平底烧瓶中, 置于装置的重相端, 水浴加热, 温度为 45±1 °C, 萃取时间为 3 h。待萃取液冷却至室温后, 加入适量无水硫酸钠去除水分, 后将其浓缩到 1 mL 左右, 使用正己烷进行溶剂替换, 得到鱼糜制品的气味浓缩液。

1.3.7 GC-MS 测鱼糜制品中挥发性成分

参考黄晶晶^[18]的研究方法。色谱条件: 进样口

温度 250 °C, 载气 (He) 流量 1 mL/min, 不分流; 色谱柱: HP-5; 柱箱升温程序: 柱初温 40 °C, 保持 3 min, 以 5 °C/min 升至 200 °C, 保持 2 min, 再以 50 °C/min 升至 250 °C, 保持 5 min。质谱条件: 传输线温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C; 电子能量 70 eV; 质谱扫描范围 m/z , 35~450; 扫描速率: 2.0 scans/s。

样品中挥发性成分通过标准谱库 (NIST 17-1、NIST 17-2、NIST 17s) 进行鉴定, 匹配度大于 80% 的结果予以列出。样品中挥发性成分的含量 c_n 按下式计算:

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

式中:

A_n —挥发性成分的峰面积;

A_i —内标物的峰面积;

W_i —内标物的质量, μg;

W —样品的质量, kg。

采用气味活度值 (Odor Activity Value, OAV) 评价不同挥发性成分对鱼糜制品气味的贡献^[18], 即挥发性成分的浓度 (C%) 与其感觉阈值 (T) 之比, 即:

$$OAV = \frac{C}{T} \quad (2)$$

OAV < 1 说明该物质对样品整体气味没有明显贡献; OAV ≥ 1 说明该物质可能对样品整体气味有较大作用; 且 OAV 值越大, 该物质对样品整体气味的贡献越大。

1.4 数据处理及分析

所有实验数据以 Excel 2010 和 Origin 8.5 进行处理, 采用 SPSS 22.0 软件进行 ANOVA 单因素方差分析及 Duncan 检验 ($p < 0.05$), 以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 大麦苗粉对鱼糜制品感官品质的影响

由表 2 可知, 鱼糜制品气味 (嗅闻和咀嚼) 和可接受度评分随大麦苗粉添加量的增加而增大, 添加 1% 大麦苗粉鱼糜制品与对照组相比具有显著性差异 ($p < 0.05$), 口感方面评分无显著性差异 ($p > 0.05$)。表明大麦苗粉能明显改善鱼糜制品的风味品质, 具有一定的脱腥效果, 但不会显著降低鱼糜制品的口感。综合考虑各指标得分情况和可接受度, 确定 1% 为大麦苗粉最适添加量。

表2 鱼糜制品感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results of surimi products

BGP 添加量/%	气味 (嗅闻)	气味 (咀嚼)	滋味	口感	可接受度
0	10.00±1.00 ^b	13.00±0.53 ^b	15.00±1.10 ^a	19.00±2.28 ^a	14.00±0.93 ^b
0.8	12.00±2.00 ^b	13.67±0.58 ^b	15.67±1.15 ^a	16.67±3.21 ^a	15.00±1.00 ^a
1	13.00±1.00 ^a	14.67±0.58 ^a	15.67±1.15 ^a	16.67±3.21 ^a	15.67±1.15 ^a

注: 同一列中不同小写字母表明具有显著性差异 ($p < 0.05$), 下同。

表3 硫代巴比妥酸值的变化

Table 3 Change of thiobarbituric acid reactive substances value

测定指标	未添加 BGP 鱼糜	添加 1% BGP 鱼糜
TBARS 值 (mg MDA/kg 鱼糜)	1.13±0.01 ^a	1.05±0.01 ^b

2.2 大麦苗粉对白鲢鱼糜 TBARS 值的影响

鱼肉中的多不饱和脂肪酸易被氧化成醛、酮和其他羰基化合物, 产生强烈的鱼腥味和油脂氧化等不良气味^[9], TBARS 值可反映以丙二醛为代表的次级氧化产物的含量, 代表了脂肪氧化的程度。由表 3 可知, 添加 1%BGP 鱼糜的 TBARS 值显著低于未添加的鱼糜 ($p < 0.05$), 可能是因为大麦苗粉的抗氧化成分^[7,8]抑制了鱼糜的脂质氧化, 进而阻碍了醛类等次级氧化产物的生成。

2.3 电子鼻判别大麦苗粉对白鲢鱼糜制品挥发性成分的影响

2.3.1 主成分分析 (PCA) 结果

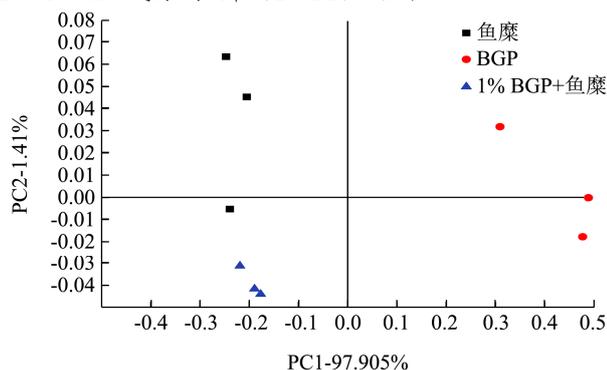


图1 添加大麦苗粉前后鱼糜制品 PCA 图

Fig. 1 PCA plot of surimi products with or without barley green powder

PCA 是一种常用的降维分析方法, 能够将不同样品按照主成分划分在不同的区域, 区域之间的距离表示不同样品之间的差异。由图 1 可知, 第一主成分贡献率为 97.905%, 第二主成分贡献率为 1.41%, 两者之和为 99.315%, 且判别指数达 83, 所以这两个主成分能够很好的反应样品的整体气味特征。从分布的区域看, 三个样品分别分布在坐标轴的不同区域内, 且

无重叠, 说明 PCA 能有效区分三种样品的整体气味。从分布的方向来看, 大麦苗粉组沿第一主成分轴的正方向分布, 而其余两组则沿负方向分布, 说明大麦苗粉与其他两组的气味特征存在很大差异; 鱼糜制品组与添加大麦苗粉鱼糜制品组在第一主成分轴沿相同方向分布, 但在第二主成分轴上的分布方向相反, 说明添加大麦苗粉的鱼糜制品依然以鱼糜的气味为主导; 但两者的气味特征差异较大, 与感官评价结果一致。

2.3.2 判别因子分析 (DFA) 结果

DFA 法是用少数几个因子来描述多个因素之间的联系与差异, 对样品间的差异较 PCA 有更好的区分度。由图 2 可知, DF1 和 DF2 的贡献率分别为 95.6% 和 4.4%, 总贡献率达到了 100%, 可代表样品的绝大部分的信息。对比 PCA 分析, 三组样品在坐标轴上的分布距离更远, 说明 DFA 进一步扩大了不同样品组之间气味变化差异的显著性, 能有效区分不同组间的气味特征差异。

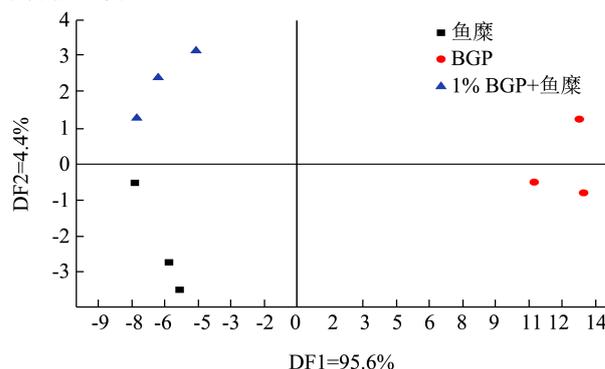


图2 添加大麦苗粉前后鱼糜制品 DFA 图

Fig.2 DFA plot of surimi products with or without barley green powder

2.3.3 电子鼻对不同样品响应值信号的雷达图谱

雷达图分析在电子鼻相关研究中应用广泛, 能揭示传感器阵列对不同样本响应强度的总体和个体差异。从图 3 可知, P、T 两类传感器对大麦苗粉具有较

高的响应值,与其他样品差异明显;LY型传感器对三组样品的响应值均较低。除传感器 LY2/gCTL、LY2/GH、LY2/G 和 T40/1 外,其余传感器对三组样品的响应值差异明显,表明多数传感器能有效地通过响应值变化区别不同样品。电子鼻传感器 P10/1、P30/1、P10/2 和 LY2/gCT 对烃类化合物敏感,传感器 P30/1、P30/2、TA/2、PA/2 和 LYG2/AA 对醇类物质敏感,传感器 T70/2 对芳香族化合物敏感,LY2/G 和 LY2/GH 对胺类化合物敏感,传感器 LY2/LG、LY2/gCTL 和 P40/2 对无机化合物敏感,传感器 T30/1 对极性有机化合物敏感。结合相应传感器对样品的响应值,可知 BGP 中烃类、醇类和芳香族化合物含量较高,无机化合物含量少,与 HS-SPME-GC-MS 结果吻合。

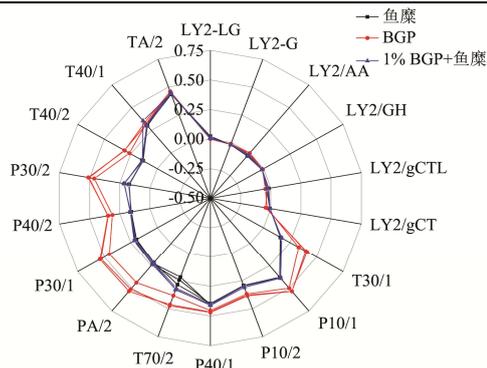


图3 添加大麦苗粉前后鱼糜制品电子鼻十八个传感器响应雷达图

Fig.3 Radar fingerprint chart of 18 sensors of electronic nose of surimi products with or without barley green powder

表4 HS-SPME-GC-MS 对各组挥发性物质的鉴定结果

Table 4 HS-SPME-GC-MS identification results of volatile compounds in each group

序号	类别	物质	保留时间 /min	BGP /($\mu\text{g/g}$)	OAV	鱼糜 /($\mu\text{g/kg}$)	OAV	鱼糜+BGP /($\mu\text{g/kg}$)	OAV	感官特征
1		己醛	5.39			14.56	3.23	8.39	1.86	鱼腥味, 青草味
2		庚醛	8.69			5.39	1.80	3.50	1.17	水果味
3		辛醛	12.15			2.17	1.94	1.32	2.26	油脂味, 辛辣味, 柑橘味
4		苯乙醛	13.56	0.25	60					蜜香, 玫瑰味
5		2,4-二羟基苯甲醛	15.85	0.05						-
6		壬醛	15.95			4.22	4.22	3.96	3.96	青味, 油脂味, 微辛辣味
7		(E)-2-壬烯醛	17.93	0.03						青香, 肥皂, 脂肪
8	醛类	4-乙基-苯甲醛	18.04							甜香
9		癸醛	18.37			1.73	0.86	1.37	0.68	柑橘香味, 柠檬味, 脂味
10		3,7-二甲基-6-壬醛	15.41			1.79		1.46		-
11		十二醛	26.58			0.31	0.16			百合, 脂肪, 柑橘
12		5-甲基-2-呋喃甲醛	29.92	0.21	0.04					焦糖香
13		十五醛	32.78	0.04		0.18				清新
14		十六醛	38.34			0.25				硬纸板
15		壬二醛	38.35	0.03						-
1		1-己醇	7.35					3.32		花香, 绿味
2		1-庚醇	10.91			0.44	0.15			绿味
3		1-辛烯-3-醇	11.20			16.42	10.95	14.66	9.77	蘑菇味
4		环辛醇	14.46			2.22		1.62		-
5		1-辛醇	14.68	0.21						金属
6	醇类	苯乙醇	16.16	0.04						蜂蜜, 香料, 玫瑰
7		1-壬醇	18.24	0.32		0.48		0.57		脂肪, 绿味
8		5-甲基-2-(1-甲基乙基)-环己醇	18.62	0.10				0.37		-
9		α -松油醇	19.24	0.08				0.70		油, 茴香, 薄荷
10		1-十二烷醇	34.72			1.90				脂肪, 蜡
11		1-十六醇	35.12			1.11				蜡, 花香

续表 4

序号	类别	物质	保留时间 /min	BGP /($\mu\text{g/g}$)	OAV	鱼糜 /($\mu\text{g/kg}$)	OAV	鱼糜+BGP /($\mu\text{g/kg}$)	OAV	感官特征
1	酮类	2-十二烷酮	22.65			0.28				-
2		3-十二烷酮	22.89					0.60		-
1	烃类	2,5,5-三甲基-2-己烯	11.04					5.54		-
2		顺式双环辛-2-烯	14.61					4.14		-
3		1,1-二甲基-2-壬基-环丙烷	17.13	0.03						-
4		3-甲基-5-丙基-壬烷	19.53	0.16		0.14		0.73		-
5		4-甲基-十二烷	20.28	0.02				0.26		-
6		2,6,10-三甲基十三烷	20.97	0.08				0.73		-
7		3,3,5-三甲基-庚烷	21.39	0.02						-
8		1-碘-癸烷	21.71	0.12						-
9		2,6,11-三甲基-十二烷	21.97	0.10						-
10		2,8,8-三甲基-癸烷	22.15	0.09				1.82		-
11		2,6,10-三甲基-十二烷	22.65	0.05		0.18				-
12		十七烷	26.35	0.37						-
13		4,6-二甲基-十二烷	26.35			0.29				-
14		长叶烯	26.61					1.25		-
15		1-甲基-3-(1-甲基乙基)-环戊烷	27.87	0.04						-
16		十八烷	28.02					0.48		-
17		金刚烷	29.11	0.10						-
18		2,6,10,15-四甲基-十七烷	29.48	0.23		1.46		0.78		-
19		二十烷	31.39	0.12		14.29		9.32		-
20		1-碘-十八烷	31.59	0.02						-
1	酯类	亚硫酸十二烷基-2-乙基己酯	19.98					0.56		-
2		亚硫酸 2-乙基十三烷基酯	19.98	0.06						-
3		碳酸 2-乙基己基壬酯	21.62	0.04						-
4		亚硫酸戊基十一烷基酯	22.45	0.03				0.33		-
5		(E)-己烯基-2-甲基丁-2-烯酸酯	24.47	0.02						-
6		2-甲基-3-羟基-2,2,4-三甲基丙酸戊酯	25.31	0.04						-
1	其他化合物	对甲基苯酚	14.73			2.78		3.40		药味, 酚, 烟味
2		4-乙基苯酚	18.11	0.04						酚, 香料
3		萘	18.77	0.04						-
4		2-甲氧基-5-甲基苯酚	19.98	0.05						-
5		4-乙基-2-甲氧基苯酚	22.00	0.05						香料, 丁香
6		N, N-二丁基甲酰胺	22.87			0.67		0.35		-
7		2-(1,1-二甲基乙基)-5-甲基苯酚	24.62	0.03						-
8		3,5-双甲基乙基-苯酚	29.55			0.14		0.27		-
9		2,5-双甲基乙基-苯酚	29.59	0.08						-
10		十二烷基壬基醚	31.03	0.02						-
11		雪松	32.65			0.31				-
12		4-十八烷基-吗啉	40.03	0.16						-

注: “-”表示该化合物感官特征未查到; 气味描述词主要来源于文献^[20-24]和网站 <http://www.flavornet.org/index.html>, 下同。

2.4 两种萃取方式结合 GC-MS 分析大麦苗粉

对白鲢鱼糜制品挥发性成分的影响

2.4.1 HS-SPME-GC-MS 鉴定结果

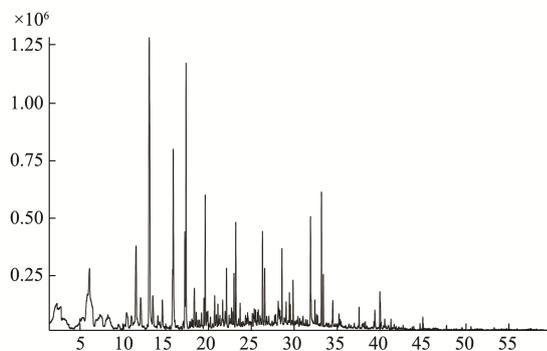


图4 大麦苗粉挥发性成分总离子流图 (SPME)

Fig.4 Total ion current diagram of volatile components in BGP (SPME)

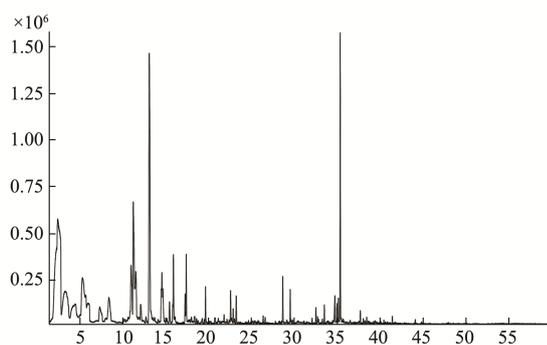


图5 鱼糜制品挥发性成分总离子流图 (SPME)

Fig.5 Total ion current diagram of volatile components in surimi product (SPME)

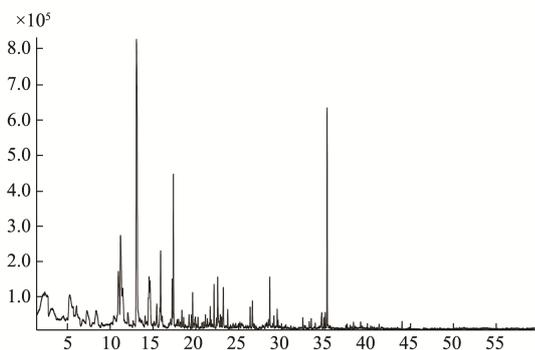


图6 添加大麦苗粉的鱼糜制品挥发性成分总离子流图 (SPME)

Fig.6 Total ion current diagram of volatile components in surimi product added with BGP (SPME)

图4~9为各样品经GC-MS分析分别得到的总离子流图。如表4所示,经NIST图库检索、网站及文献^[20-24]参考确认,BGP鉴定出39种挥发性成分,包括醛类6种、醇类5种、烃类15种、酯类5种和其他化合物8

种,其特征挥发性物质为苯乙醛(OAV>1)。鱼糜制品鉴定出25种挥发性成分,包括醛类9种、醇类6种、酮类1种、烃类5种和其他化合物4种;OAV>1的挥发性成分中,其含量从高到低排序依次为1-辛烯-3-醇、己醛、庚醛、壬醛和辛醛,确定为鱼糜制品的主要挥发性成分。添加BGP的鱼糜制品鉴定出28种挥发性成分,包括醛类6种、醇类6种、酮类1种、烃类10种、酯类2种和其他化合物3种,OAV>1的挥发性成分包括1-辛烯-3-醇、壬醛、辛醛、己醛和庚醛。

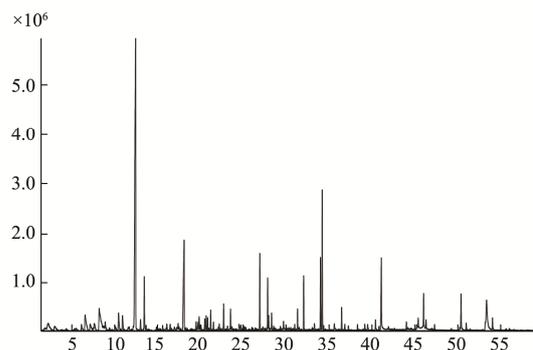


图7 大麦苗粉挥发性成分总离子流图 (SDE)

Fig.7 Total ion current diagram of volatile components in BGP (SDE)

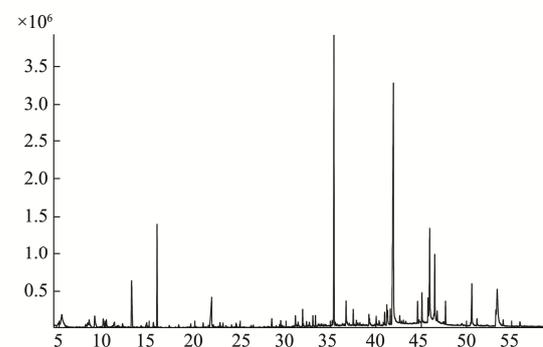


图8 鱼糜制品挥发性成分总离子流图 (SDE)

Fig.8 Total ion current diagram of volatile components in surimi product (SDE)

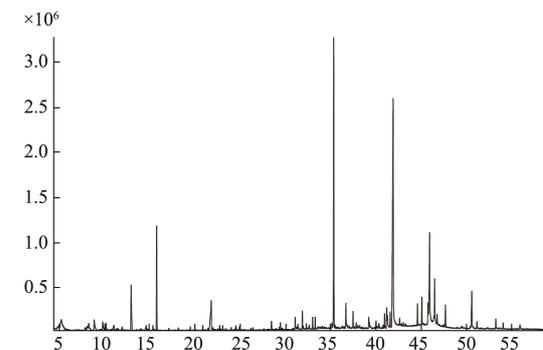


图9 添加大麦苗粉的鱼糜制品挥发性成分总离子流图 (SDE)

Fig.9 Total ion current diagram of volatile components in surimi product added with BGP (SDE)

表5 SDE-GC-MS 对各组挥发性物质的鉴定结果

Table 5 SDE-GC-MS identification results of volatile compounds in each test group

序号	类别	物质	保留时间 /min	BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜+BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	感官特征
1		己醛	5.13			189.12	42.03	138.19	30.71	鱼腥味, 青草味
2		糠醛	6.44	895.94	3.20			346.15	1.24	面包香, 焦糖香
3		(E)-4-庚烯醛	8.11			19.01				亚麻油香, 黄瓜味
4		(Z)-4-庚烯醛	8.12					25.44		蔬菜香, 类亚麻油香
5		庚醛	8.34			77.95	25.98	71.67	23.89	水果味
6		5-甲基-2-呋喃甲醛	10.07	142.67	0.02	19.97	<0.01	170.95	0.03	杏仁, 焦糖香
7		(E)-2-庚烯醛	10.15			3.14				蔬菜味, 烘烤味
8		苯甲醛	10.33			10.01	0.03			杏仁香, 坚果香, 水果香
9		辛醛	11.97			16.20	23.14	16.06	22.95	油脂味, 辛辣味, 柑橘味
10		(E,E)-2,4-庚二烯醛	12.30			33.04	2.15	31.50	2.05	刺激脂肪味, 辛辣味
11		苯乙醛	13.38	91.61	22.90			19.62	4.91	蜜香气, 玫瑰味
12		(E)-2-辛烯醛	13.96			23.11	7.70	19.62	6.54	果香, 脂肪香
13		壬醛	15.68			21.64	21.64	15.64	15.64	青味, 油脂味, 微辛辣味
14	醛类	(E,E)-2,4-辛二烯醛	15.84			16.15				青草味
15		(E,Z)-2,6-壬二烯醛	17.47			9.31		6.76		煎炸, 油漆氧化味
16		(E)-2-壬烯醛	17.68			5.60				脂肪味, 青香
17		4-乙基-苯甲醛	17.84			9.53		11.24		杏仁香
18		(E)-4-癸烯醛	18.92			4.40		4.16		牛肉, 鸡肉脂肪香
19		癸醛	19.41			1.75	0.87	1.43	0.72	柑橘香味, 柠檬味, 脂味
20		(E)-2-癸烯醛	21.35			1.97				水果味
21		(E,E)-2,4-癸二烯醛	23.33			6.82	97.41	5.13	73.29	青味, 油脂味, 辛辣味
22		十二醛	26.32					2.02	1.01	草香, 松叶香, 脂肪味
23		十三醛	29.10	1.84				3.40		花香, 甜香
24		(Z)-7-十六碳烯醛	30.30			2.70				-
25		十四醛	32.54			1.69		3.91		脂肪香, 奶油
26		十五醛	35.37			4.25		9.01		清新
27		十六醛	38.28			69.86		136.57		硬纸板
28		(Z)-9-辛醛	42.51					6.50		-

1	醇类	3-呋喃甲醇	5.77	3.08						-
2		2-呋喃甲醇	6.71					178.07	0.18	焦糖味, 芝麻香味
3		1-己醇	7.19			12.42		27.26		水果香
4		1-辛烯-3-醇	11.15			162.05	108.03	157.33	104.89	泥土味, 蘑菇味
5		4-乙基环己醇	13.56					7.40		肉香味
6		环辛醇	14.28			53.83		68.35		-
7		2,4-癸二烯-1-醇	14.64			10.59				-
8		1,2-环戊二醇	15.07			1.65				-
9		苯乙醇	15.95	7.70				18.86		蜂蜜味, 花香
10		12-十七烷-1-醇	18.27			11.42		4.92		-
11		3-环己烯-1-乙醇	19.10					13.97		-
12		2,7-辛二烯-1-醇	19.12			17.90				-
13		2-甲基-1-癸醇	22.74					2.33		-

续表 5

序号	类别	物质	保留时间 /min	BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜+BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	感官特征
14		植物醇	24.03			1.61				花香
15	醇类	1-十二烷醇	34.63			5.23				皂香, 腊香, 脂香
16		1-乙酸二十二烷醇	47.23	16.22		5.57		12.79		-
17		正十五醇	34.80					3.96		-
1		2-己酮	4.91					1.34		熟蔬菜
2		3,4-二甲基-2-己酮	6.85	344.61						-
3		5-甲基-2(3H)-呋喃酮	7.34	236.80						甜味、烟草味
4		2-庚酮	7.99			8.39		16.80		果香, 香料味, 草药味
5	酮类	(2-呋喃基)-1-乙酮	8.51					39.48		焦糖香, 焙烤香
6		5-甲基-2(5H)-呋喃酮	9.44	218.24				6.85		果香
7		2,3-二甲基-2-环戊烯-1-酮	11.55							焙烤香
8		1,4-环己二酮	12.75			1.54				-
9		呋喃基羟甲基酮	14.77	6.42						焦糖香
1		2-壬酮	15.12			1.95		3.94		清香, 甜味
2		L-葡萄糖酮	15.82	125.52						-
3		2-十三烷酮	18.83			2.99				-
4		3-壬烯-2-酮	23.95					1.62		果香
5		2,5,5-三甲基-2-己烯	10.93					104.98		-
6	烃类	十二烷	19.28					6.15		-
7		3,3,8-三甲基-癸烷	21.88					15.33		-
8		4,6-二甲基-十二烷	23.76	8.53		41.94				-
9		辛烷	31.11					1.69		-
10		十六烷	32.24	5.29				70.10		-
11		二十烷	40.28	5.42						-
1		乙酸香叶酯	6.93	16.17	1.80			4.28	0.48	玫瑰
2		3-(二甲基氨基)-2-丙酸甲酯	7.06					22.30		-
3		3-辛烯酸辛酯	14.63	1.07						-
4		3-氧代十六烷酸甲酯	18.86					5.61		-
5		亚硫酸十二烷基戊酯	23.83	6.08						-
6		丁酸丁酯	25.03					30.05	0.30	果香
7	酯类	亚硫酸戊基十一烷基酯	29.87					2.82		-
8		亚硫酸十五烷基戊酯	30.31	3.28						-
9		十六酸甲酯	40.83	1.84						-
10		14-甲基十五烷酸酯	40.84					4.49		-
11		十六酸乙酯	42.57	30.63	0.20					蜡
12		十八酸乙酯	47.08	0.90						-
13		乙酸二十烷基酯	51.65	45.41		1.75				-
1		3-甲基-1H-吡唑	10.45			11.45				-
2	其他	2-戊基呋喃	11.44	3.02		12.32		15.51		果香, 泥土, 金属味
3		反式-2-(2-戊烯基)呋喃	11.79			14.80		19.29		-
4		N-甲基-N-异丁基-2-呋喃甲酰胺	14.11					10.34		-
5		4-乙基苯酚	18.08	2.60	0.06					香料味

续表 5

序号	类别	物质	保留时间 /min	BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜 /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	鱼糜+BGP /($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV	感官特征
6		4,7-二甲基苯并咪唑	19.58	4.26						-
7	其他 化合 物	N, N-二丁基甲酰胺	22.64					31.73		-
8		3-烯丙基-6-甲氧基苯酚	24.43		4.12			11.70		-
9		丁基化羟基甲苯	29.23	15.40		6.95		15.12		-
10		肉豆蔻酸	36.31	23.15		1.56		3.63		奶油味, 脂肪味, 肥皂
11		N, N-二甲基-辛酰胺	48.31	8.24				3.46		-

2.4.2 SDE-GC-MS 鉴定结果

如表 5 所示, 大麦苗粉共鉴定出 29 种挥发性成分, 包括醛类 4 种、醇类 3 种、酮类 5 种、烃类 3 种、酯类 8 种、其他化合物 6 种, 主要挥发性成分 (OAV>1) 为苯乙醛、糠醛和乙酸香叶酯, 与 SPME 法相比多检出 2 种。鱼糜制品共鉴定出 45 种挥发性成分, 包括醛类 22 种、醇类 10 种、酮类 4 种、烃类 1 种、酯类 2 种、其他化合物 6 种, 确定 OAV>1 的 1-辛烯-3-醇、2,4-癸二烯醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、2-辛烯醛、2-癸烯醛和 2,4-庚二烯醛 9 种物质为白鲢鱼糜制品主要挥发性成分, 与 SPME 法相比多检出 5 种。添加大麦苗粉鱼糜制品鉴定出 57 种挥发性成分, 包括醛类 21 种、醇类 11 种、酮类 6 种、烃类 6 种、酯类 5 种、其他化合物 8 种。

2.4.3 两种萃取方式检出的挥发性成分的比较

由于挥发性成分富集原理不同, 不同的萃取方式对同一样品萃取得到的成分有所不同。由表 4 和表 5 可知, 在种类数上, BGP、鱼糜制品和添加 BGP 的鱼糜制品通过 SPME 法分别鉴定出 39、25 和 28 种挥发性成分, 通过 SDE 法鉴定出 29、45 和 56 种挥发性成分, 其中共有化合物分别有 7、13 和 11 种; 相同的主要挥发性物质分别是大麦苗粉中的苯乙醛和鱼糜制品中的 1-辛烯-3-醇、己醛、庚醛、壬醛和辛醛。大麦苗粉通过 SPME 法较 SDE 法多鉴定出 12 种挥发性成分, 其中多数是烃类物质; 鱼糜制品和添加 BGP 的鱼糜制品通过 SDE 法萃取出的化合物种类分别比 SPME 法多 19 种和 29 种, 其中主要是醛类和醇类物质, 与陈清婵等^[25]采用同时蒸馏萃取与顶空固相微萃取法分析豆豉挥发性成分得出的结论一致。且大麦苗粉和鱼糜制品主要挥发性成分均主要集中在 SDE 所萃取的部分。在含量上, 对于大麦苗粉, 通过 SPME 法检测出的烃类和酯类化合物含量大于 SDE 法; 对于鱼糜制品来说, 通过 SDE 法检测出的醛类和醇类含量较 SPME 法更高。

对于大麦苗粉, SPME 法和 SDE 法分别吸附 15 和 3 种烃类化合物, 对于添加大麦苗粉鱼糜制品,

两者可分别吸附 10 和 6 种烃类化合物。因为 SPME 法是利用萃取头直接吸附样品, 易于吸附烃类化合物和一些挥发性较强的物质^[26], 能够较大程度还原样品本身的成分, 但吸附的挥发性成分种类相对较少。对于鱼糜制品, 通过 SPME 法和 SDE 法可分别检测出 9 和 22 种醛类化合物, 6 和 8 种醇类化合物, 这是因为 SDE 法采用连续加热提取的方式, 萃取时间长萃取量更高, SDE 法易于萃取出样品中低沸点的醇类和高沸点低挥发性的醛类和酯类化合物^[27], 但萃取过程中的高温条件可能会导致新物质的生成, 存在一定的失真性。两者各具优势和不足, 因此宜将两者互补可得到更完整的气味特征信息。

2.4.4 大麦苗粉对白鲢鱼糜制品挥发性成分的影响

采用 SPME 和 SDE 法在鱼糜制品中共检测到 23 种醛类化合物和 25 种醇类化合物, 且含量相对较高, 其中己醛 (鱼腥味、青草味)、庚醛 (水果味)、辛醛 (油脂味、辛辣味)、壬醛 (青味、油脂味)、2-辛烯醛 (果香、脂肪味)、2-癸烯醛 (水果味)、2,4-庚二烯醛 (脂肪味、油腻辛辣味) 和 2,4-癸二烯醛 (青味、油脂味) 和 1-辛烯-3-醇 (泥土味、蘑菇味) OAV 值大于 1, 是白鲢鱼糜制品的主要挥发性成分。其中 1-辛烯-3-醇、(E,E)-2,4-癸二烯醛和己醛的 OAV 值较高, 分别达到了 104.89、73.29 和 30.71, 对鱼糜制品的气味贡献大。马海建等^[28]在漂洗前后的白鲢鱼糜中检测到了己醛、庚醛、壬醛、1-己醇和 1-辛烯-3-醇等挥发性物质; 张青等^[29]研究发现己醛、辛醛、壬醛和 1-辛烯-3-醇等挥发性物质是鲢鱼肉的气味特征物质; 杨姣等^[30]研究发现鱼糜凝胶挥发性成分主要以己醛、庚醛、辛醛、壬醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、癸醛、(E)-2-壬烯醛、1-辛烯-3-醇等挥发性物质为主, 本研究结果与之吻合。大麦苗粉中共检测到 9 种醛类化合物和 14 种酯类化合物, 其中苯乙醛 (蜜香味、玫瑰味)、糠醛 (面包香、焦糖香味) 和乙酸香叶酯 (玫瑰味) OAV 值大于 1, 是大麦苗粉的主要挥发性成分。Shibamoto 等^[31]使用液-液连续萃取法结合气相色谱/

质谱联用技术研究了大麦苗的挥发性成分,发现苯甲醛、糠醛和(E)- β -紫罗兰酮是其主要挥发性成分,本研究结果与之相似。

研究表明,脂肪氧化是造成鱼肉不良气味的主要原因。醛类化合物是脂质降解的产物,如 n-6 不饱和脂肪酸氧化降解产生具有鱼腥味和青草味的己醛,脂肪氧化酶(LOX)催化亚麻酸氧化降解产生(E,E)-2,4-庚二烯醛产生强烈的鱼腥味^[19],血红蛋白催化油酸氧化降解产生壬醛导致严重的油脂氧化味^[32],这些醛类化合物含量较高且阈值较低,是造成水产品产生鱼腥味的主要物质^[33]。不饱和醇类化合物是脂肪氧化的产物,其阈值相对较低,对鱼肉的总体风味形成和不良气味影响较大^[34],如花生四烯酸氧化降解生成具有鱼腥味的 1-辛烯-3-醇。

GC-MS 结果表明,添加大麦苗粉的鱼糜制品中己醛、庚醛、辛醛、壬醛、癸醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和 1-辛烯-3-醇等主要挥发性成分的含量与鱼糜制品相比均有不同程度的减少。SPME 法结果显示己醛、庚醛、辛醛、壬醛和 1-辛烯-3-醇的含量从 14.56、5.39、2.17 和 16.42 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 降至 8.39、3.50、1.32 和 14.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$,下降率分别为 42.38%、35.06%、39.17%和 10.71%;SDE 法结果显示己醛、壬醛、癸醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和 1-辛烯-3-醇的含量从 189.12、21.64、1.75、6.82 和 162.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 降至 138.19、15.64、1.43、5.13 和 157.33 $\mu\text{g}/\text{kg}$,下降率分别为 26.93%、27.73%、18.29%、24.78%和 2.91%。此外,添加大麦苗粉的鱼糜制品另检测出具有果香味的丁酸丁酯和玫瑰味的乙酸香叶酯及苯乙醛、糠醛和苯乙醇等香气成分,这些成分可能由大麦苗粉引入,其中酯类化合物可赋予食品香甜的气味^[35]。

鱼肉中的多不饱和脂肪酸氧化产生的氢过氧化物极不稳定,易分解成醛、酮等羰基化合物,TBARS 值可反映以丙二醛为代表的次级氧化产物的含量。由 2.2 中试验结果可知,添加大麦苗粉可以显著降低鱼糜的 TBARS 值。可能是因为大麦苗粉中的黄酮类化合物可以抑制紫外线引起的脂质氧化和丙二醛的产生;而酚类化合物可清除氢过氧化物裂解产生的烷氧基或羟基,进一步减少羰基化合物的产生。从而减少了脂肪氧化产生的己醛、壬醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛和 1-辛烯-3-醇等具有不良气味的主要挥发性物质,起到了去除腥味的效果。此外,大麦苗粉中的香气成分对鱼糜制品的不良气味具有一定的掩蔽效果,对鱼糜制品的风味具有改善作用。

3 结论

本研究利用不同的试验方法分析大麦苗粉对白鲢

鱼糜制品的去腥效果。感官评价结果表明添加大麦苗粉能明显改善鱼糜制品的风味品质,具有一定的脱腥效果。通过电子鼻可知添加大麦苗粉前后鱼糜制品的整体气味特征有明显差异。由 GC-MS 结果可知,SPME 法易于吸附大麦苗粉中的烃类化合物,而 SDE 法易于萃取鱼糜制品中的醛、醇类化合物,因此宜将两者结合得到更完整的风味特征信息;1-辛烯-3-醇、2,4-癸二烯醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、2-辛烯醛、2-癸烯醛和 2,4-庚二烯醛是白鲢鱼糜制品的主要挥发性成分,苯乙醛、糠醛和乙酸香叶酯是大麦苗粉的主要挥发性成分。添加大麦苗粉的白鲢鱼糜制品中己醛、庚醛、辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇等物质含量下降明显,另检测出具有乙酸香叶酯、苯乙醛、糠醛和苯乙醇等香气成分。证明大麦苗粉可抑制鱼糜脂质氧化,且其香气成分掩盖了鱼糜制品本身的部分腥味,从而使鱼糜制品腥味减弱,风味得到改善。

参考文献

- [1] 农业部渔业局.中国渔业统计年鉴 2019 [M].北京:中国农业出版社,2019:17
Fishery Bureau of the Ministry of Agriculture. China Fishery Statistics Yearbook 2019 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019: 17
- [2] Barrera A M, Ramírez J A, González-Cabiales J J, et al. Effect of pectins on the gelling properties of surimi from silver carp [J]. Food Hydrocolloids, 2002, 16(5): 441-447
- [3] Siddaiah D, Reddy G V S, Raju C V, et al. Changes in lipids, proteins and kamaboko forming ability of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) mince during frozen storage [J]. Food Research International, 2001, 34(1): 47-53
- [4] 周蓓蓓,胡王,陈小雷,等.鱼制品腥味物质检测分析及去除技术研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(14):185-192
Zhou Beibei, HU Wang, CHEN Xiaolei, et al. Research progress in detection, analysis and removal of fishy odours coming from fish products [J]. Food Research and Development, 2016, 37(14): 185-192
- [5] FU Xiangjin, XU Shiyang, WANG Zhang. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: the effect of lipoxygenase and hemoglobin [J]. Food Research International, 2008, 42(1): 85-90
- [6] ZHOU Xuxia, CHONG Yunqing, DING Yuting, et al. Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation [J]. Food Chemistry, 2016, 207(2): 205-213

- [7] Mahmoud M A A, Buettner A. Characterisation of aroma-active and off-odour compounds in German rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Part II: Case of fish meat and skin from earthen-ponds farming [J]. Food Chemistry, 2017, 232: 841-849
- [8] 卢伟,耿楠,陆宁.大麦苗粉营养成分及其制品研究进展[J].包装与食品机械,2018,36(1):63-67
LU Wei, GENG Nan, LU Ning. Research progress of nutritional components and products of barley leaf powder [J]. Packaging & Food Machinery, 2018, 36(1): 63-67
- [9] 段琼辉,李永,张龙,等.分光光度法测定大麦苗粉中维生素C的含量[J].黑龙江畜牧兽医,2014,9:211-213
DUAN Qionghui, LI Yong, ZHANG Long, et al. Determination of the content of vitamin C in barley seedling powder by spectrophotometry [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2014, 9: 211-213
- [10] 郑慧敏,王军,王梦竹.大麦苗的营养价值及应用[J].大麦与谷类科学,2017,34(2):20-22,27
ZHENG Huimin, WANG Jun, WANG Mengzhu. The nutritive value and use of barley grass [J]. Barley and Cereal Sciences, 2017, 34(2): 20-22, 27
- [11] Kamiyama M, Shibamoto T. Flavonoids with potent antioxidant activity found in young green barley leaves [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(25): 6260-6267
- [12] 王军喜,赵莹,白卫东,等.同时蒸馏与固相微萃取法对酱油香气成分提取的比较研究[J].中国酿造,2020,39(5):201-206
WANG Junxi, ZHAO Ying, BAI Weidong, et al. Comparison of extraction methods of aroma components from soy sauce by simultaneous distillation and solid-phase microextraction [J]. China Brewing, 2020, 39(5): 201-206
- [13] 周志,徐永霞,胡昊,等.顶空固相微萃取和同时蒸馏萃取应用于GC-MS分析野生刺梨汁挥发性成分的比较研究[J].食品科学,2011,32(16):286-289
ZHOU Zhi, XU Yongxia, HU Hao, et al. Comparative application of head space-solid phase micro-extraction and simultaneous distillation extraction for GC-MS analysis of volatile components in chestnut rose (*Rosa roxburghii* Tratt) juice [J]. Food Science, 2011, 32(16): 286-289
- [14] 米红波,王聪,苏情,等.变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响[J].中国食品学报,2021,21(1):72-80
MI Hongbo, WANG Cong, SU Qing, et al. Effect of modified starch on gel properties and protein conformation of surimi from silver carp [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(1): 72-80
- [15] 马瑶兰,熊善柏,尹涛,等.斩拌方式和氯化钠浓度对白鲢鱼糜品质特性的影响[J].现代食品科技,2017,33(8):182-187
MA Yaolan, XIONG Shanbai, YIN Tao, et al. Effect of chopping method and sodium chloride concentration on the quality characteristics of silver carp surimi [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(8): 182-187
- [16] 王当丰,李婷婷,刘楠,等.顶空固相微萃取-气质联用法结合电子鼻分析鱼精蛋白对草鱼片挥发性气味的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(10):163-170
WANG Dangfeng, LI Tingting, LIU Nan, et al. Analysis of effect of protamine on volatile compounds for grass carp slices by HS-SPME-GC-MS technology combined with electronic nose [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(10): 163-170
- [17] 肖阳,张玥琪,郭贝贝,等.两种方式加工鱼香肉丝的SDE-GC-MS挥发性风味成分对比[J].食品科学,2015,36(14):70-75
XIAO Yang, ZHANG Yueqi, GUO Beibei, et al. Comparison of volatile flavor compounds in Yu-Shiang shredded pork processed by two different methods by SDE-GC-MS [J]. Food Science, 2015, 36(14): 70-75
- [18] 黄晶晶,张慧敏,赵丽媛,等.酵母葡聚糖的前处理及其对白鲢鱼肉的去腥效果[J].食品科学,2020,41(20):54-60
HUANG Jingjing, ZHANG Huimin, ZHAO Liyuan, et al. Yeast glucan pretreatment and its deodorization effect for silver carp mince [J]. Food Science, 2020, 41(20): 54-60
- [19] Yampakdee S, Benjakul S, Kristinsson H G. Lipid oxidation and fishy odour in protein hydrolysate derived from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein isolate as influenced by haemoglobin [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2014, 94(2): 219-226
- [20] 王珏,林亚楠,马旭婷,等.鲑鱼干制过程中风味物质及风味活性物质分析[J].中国食品学报,2019,19(9):269-278
WNAG Yu, LIN Yanan, MA Xuting, et al. Analysis of volatile compounds and odor-active compounds in dried mackerel [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(9): 269-278
- [21] 王玉,王睿迪,薛勇,等.传统加工咸鲛鱼的挥发性风味成分[J].现代食品科技,2018,34(9):268-276
WANG Yu, WANG Ruidi, XUE Yong, et al. Analysis of volatile flavor compounds changes during traditional processing of salted Spanish mackerel [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(9): 268-276
- [22] 李金林,万亮,陈春艳,等. ω -3 LCPUFAs模拟热加工鱼肉脂肪氧化形成风味物质的研究[J].中国食品学报,2020,20(6):

- 95-105
- LI Jinlin, WAN Liang, CHEN Chunyan, et al. Studies on formation of flavor compounds in fish meat during heat process based on oxidation models of ω -3 LCPUFAs [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 95-105
- [23] 王雪峰. 低盐高水分草鱼的风味品质变化研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2015
- WANG Xuefeng. Study on flavor and quality variation during process of dried grass carp with low-salt and high-water content [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2015
- [24] 张同刚, 范玲. SPME-GC-MS 法测定小鳄鱼肉中关键风味化合物的响应面法优化[J]. 肉类研究, 2017, 8: 34-38
- ZHANG Tonggang, FAN Ling. Optimization of solid-phase microextraction conditions by response surface methodology for gas chromatography-mass spectrometry determination of key flavor compounds in *Chelydra serpentina* muscle [J]. Meat Research, 2017, 8: 34-38
- [25] 陈清婵, 徐永霞, 吴鹏. 同时蒸馏萃取与顶空固相微萃取法分析豆豉挥发性成分[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 327-330
- CHEN Qingchan, XU Yongxia, WU Peng, et al. Comparison between simultaneous distillation-extraction method and head space-solid phase micro-extraction method for GC-MS analysis of volatile components in douche [J]. Food Science, 2009, 30(20): 327-330
- [26] XU Changhua, CHEN Guosheng, XIONG Zhenhai, et al. Applications of solid-phase microextraction in food analysis [J]. Trends in Analytical Chemistry, 2016, 80: 12-29
- [27] 孟鸳, 乔宇, 康旭, 等. 同时蒸馏萃取、溶剂萃取和顶空固相微萃取与 GC-MS 联用分析甜面酱的挥发性成分[J]. 中国调味品, 2011, 36(1): 97-100
- MENG Yuan, QIAO Yu, KANG Xu, et al. Analysis of volatile components in sweet flour paste by SDE, solvent extraction and HS-SPME [J]. China Condiment, 2011, 36(1): 97-100
- [28] 马海建, 施文正, 付强, 等. 漂洗过程中白鲢鱼糜风味物质变化的分析[J]. 现代食品科技, 2015, 31(07): 354-360.
- MA Haijian, SHI Wenzheng, FU Qiang, et al. Changes in flavors of silver carp surimi during rinsing [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 354-360
- [29] 张青, 王锡昌, 刘源. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱-嗅觉测量联用初探鲢肉的挥发性风味物质[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 692-696
- ZHANG Qing, WANG Xichang, LIU Yuan. Preliminary study on volatile flavor compounds of silver carp meat by HS-SPME coupled with GC-MS and GC-O [J]. Journal of Fisheries China, 2009, 33(4): 692-696
- [30] 杨姣, 安玥琦, 陈雨欣, 等. 鱼糜制品加热过程中过熟味的特征风味成分解析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 265-280
- YANG Jiao, AN Yueqi, CHEN YUxin. Characterization of odorant components in surimi products with warmed-over flavor during the heating process [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 265-280
- [31] Shibamoto T, Horiuchi M, Umamo K. Composition of the young green barley and wheat leaves [J]. Journal of Essential Oil Research, 2007, 19(2): 134-137
- [32] FU Xiangjin, XU Shiyong, WANG Zhang. Kinetics of lipid oxidation and off-odor formation in silver carp mince: the effect of lipoxygenase and hemoglobin [J]. Food Research International, 2008, 42(1): 85-90
- [33] ZHANG Jian, PAN Daodong, ZHOU Guanghong, et al. The changes of the volatile compounds derived from lipid oxidation of boneless dry-cured hams during processing [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2019, 121(10): 1900135
- [34] Giri A, Osako K, Ohahima T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing [J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631
- [35] Frost D J, Adhikari K, Lewis D S. Effect of barley flour on the physical and sensory characteristics of chocolate chip cookies [J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(5): 569-576