

罗非鱼脱腥方法研究

姜鹏飞¹, 陈瑶¹, 金文刚², 张玉莹¹, 黄一珍¹, 朱凯悦¹, 董秀萍^{1*}

(¹国家海洋食品工程技术研究中心 大连工业大学食品学院 辽宁大连 116034

²陕西理工大学生物科学与工程学院 陕西省资源生物重点实验室 陕西汉中 723001)

摘要 目的:通过对比不同处理方法对罗非鱼肉的脱腥效果,确定其最佳脱腥工艺。方法:采用排序的感官评价方式,结合电子鼻和气相色谱离子迁移谱(GC-IMS)数据选择最佳的罗非鱼脱腥方法。结果:料酒复合法处理的罗非鱼肉脱腥感官效果最佳;电子鼻分析掩蔽法、料酒复合法、包埋法脱腥处理后鱼肉中甲基类、无机硫化物类化合物变化显著。采用 GC-IMS 分析鉴定出 42 种挥发性化合物,经番茄复合法、发酵法、掩蔽法、料酒复合法处理的鱼肉在指纹图谱上均形成其特征风味区域,包埋法和空白组的鱼肉具有相似的指纹图谱。番茄复合法和发酵法处理的样品中,引起腥味的醛类、相对腥味增强作用的酮类和醇类物质相对含量较高。掩蔽法和料酒复合法脱腥处理后罗非鱼肉中低分子碳链的醛类物质含量最少,脱腥效果最佳。结论:用料酒白醋姜汁复合处理的罗非鱼肉中,因姜汁和料酒对风味物质的带入以及白醋降低腥味物质的吸附,故样品中醛类物质含量减少,脱腥效果最佳。

关键词 罗非鱼;脱腥;感官评价;电子鼻;气相色谱离子迁移谱(GC-IMS)

文章编号 1009-7848(2023)02-0202-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.02.020

罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)俗称非洲鲫鱼,属鲈形目丽鲷科罗非鱼属,是我国主要养殖的水产品,养殖地区主要集中在南方温度较高的地区,如:广西、广东、海南等^[1]。受养殖条件和水质的影响,罗非鱼、草鱼、鲢鱼等淡水鱼类具有土腥味、泥土味等^[2],这些腥味是制约消费者接受程度的关键因素^[3]。目前,脱腥方法主要有 3 大类,其中化学脱腥法主要包括溶剂萃取、酸碱处理和美拉德反应,通过改变蛋白质的溶解特性将腥味物质去除,常用的脱腥剂有乙醚和乙醇、醋和柠檬酸等^[4-5];物理脱腥法主要通过掩蔽、吸附和包埋等与腥味物质进行物理结合,常用的脱腥剂有具有特殊风味的香辛料、笼型结构的 β -环状糊精、活性炭和大孔树脂等^[6-8];微生物脱腥法是利用微生物发酵技术除去腥味成分和异味,研究较多的菌种为酵母和乳酸菌,这是一种绿色、具有发展前景的脱腥方法^[9-12]。

本研究采用 β -环状糊精包埋法、葱姜蒜料酒

掩蔽法、酵母发酵法、料酒白醋姜汁复合法和番茄浓缩汁复合法对罗非鱼肉进行脱腥处理,采用排序的感官评价方式,结合电子鼻和气相色谱离子迁移谱(Gas chromatography imperative spectroscopy, GC-IMS)数据以减少主观误差,确定最佳的脱腥工艺。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼购自翔泰渔业股份有限公司。料酒(海天古味料酒)、白醋(海天米醋)、葱、姜、蒜、安琪高活性干酵母购于大连市甘井子区仟和市场。番茄浓缩汁购自新疆和硕县国忠食品开发有限责任公司。 β -环状糊精(食品级)购自河南万邦实业有限公司。

超声波清洗仪,宁波新芝生物股份有限公司;SCC-WE101 型万能蒸烤箱,德国 Rational 公司;PEN3 便携式电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;FlavourSpec[®] 风味分析仪,德国 G.A.S 公司;AB204-N 电子分析天平,常熟市双杰测试仪器厂。

1.2 罗非鱼脱腥样品的制备

冷冻罗非鱼肉于 4℃缓化 12 h,切成 1 cm×1 cm 小块,经过不同条件脱腥处理后,熟制(温度 90

收稿日期:2022-02-17

基金项目:国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2019YFD0902000);辽宁省农业重大专项(2020JH1/10200001)

第一作者:姜鹏飞,男,硕士,高级工程师

通信作者:董秀萍 E-mail: dxiuping@163.com

℃、25 min、湿度 100%)。

β -环状糊精包埋法(简称包埋法):称取 100 g 鱼肉加入 5 g β -环状糊精和 270 g 水于室温下浸渍 1.5 h^[10]。

葱姜蒜料酒掩蔽法(简称掩蔽法):生姜、白皮洋葱、大蒜各 50 g,混合磨碎匀浆,加 500 mL 料酒,40 ℃以下、200 W、40 Hz 超声提取 30 min,4 ℃过滤保存^[11];取鱼肉 100 g,按照 $m_{\text{鱼肉}}:V_{\text{脱腥液}}=1:3$,室温下浸泡 30 min。

酵母发酵法(简称发酵法):取 100 g 鱼肉,按照 $m_{\text{鱼肉}}:V_{2\% \text{活性干酵母溶液}}=1:2$ 于 35 ℃水浴 1.5 h^[12]。

料酒白醋姜汁复合法(简称料酒复合法):取 100 g 鱼肉,加入 6 g 料酒、3 g 白醋、4 g 姜汁(鲜姜和水按料液比 1:1 配置)于室温下腌制 1 h^[5]。

番茄浓缩汁复合法(简称番茄复合法):鱼肉 100 g、番茄浓缩汁 14 g、43 g 水^[8],于室温下腌制 1.5 h。

空白法:未处理鱼肉 100 g 于室温放置 1.5 h。

1.3 罗非鱼脱腥感官方案

1.3.1 感官评价人员筛选 参考 GB/T 16291.1-2012《感官分析选拔、培训、管理评价员一般导则》^[13]、

史波林等^[14]的感官评价方法为相关研究提供参考,确定感官评价员 12 人,对不同脱腥方法处理后罗非鱼肉的腥味程度进行排序。

1.3.2 感官品评方法 参考《感官分析 方法学 排序法》^[15],对脱腥后的罗非鱼肉进行随机排序,每份样品 10 g,感官评价员根据样品编号顺序观察、闻、品尝样品,按脱腥效果从强到弱进行排序。重复试验 2 次。

1.3.3 秩和检验法 参考吴吉玲等^[3]的方法,对评价员排序后的样品进行编秩以得到每个样品的秩和;利用 Friedman 检验法对排序结果进行统计分析,用最小显著性差异值(Least significant difference, LSD)进行多重比较。

1.3.4 R-index 法 参考黄一珍等^[16]的方法,进行数据分析。

1.4 电子鼻评价方案

参考 Sun 等^[17]的方法,准确称取 5 g 样品于 20 mL 顶空采样瓶中,于 25 ℃条件下水浴 30 min 后进行测定。数据采集时间 100 s,清洗时间 60 s,每个样品平行测定 3 次。电子鼻传感器性能如表 1 所示。

表 1 PEN3 电子鼻传感器阵列性能描述

Table 1 Performance description of PEN3 electronic nose sensor array

序号	传感器	性能描述	对应基团阈值/mL·m ⁻³
1	W1C	对芳香成分、苯类敏感	10(C ₇ H ₈)
2	W5S	灵敏度大,对芳香成分敏感	1(NO ₂)
3	W3C	对氨类、芳香成分敏感	10(C ₆ H ₆)
4	W6S	主要对氢化物有选择性	100(H ₂)
5	W5C	对短链烷烃芳香成分灵敏	1(C ₃ H ₈)
6	W1S	对甲基类敏感	100(CH ₄)
7	W1W	对无机硫化物灵敏	1(H ₂ S)
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏	100(CO)
9	W2W	对有机硫化物灵敏	1(H ₂ S)
10	W3S	对长链烷烃灵敏	10(CH ₄)

1.5 GC-IMS 测试方法

准确称取样品 3 g,参考金文刚等^[18]的方法。

1.6 数据收集与分析

参考吴吉玲等^[3]和金文刚等^[18]的分析方法,采用在线感官系统 Sensewhisper 进行感官数据收集

和计算;采用 Winmuster 和 Origin2019 对电子鼻数据进行收集和和处理;在 FlavourSpec 用 LAV (Laboratory Analytical Viewer)和 Reporter、Gallery Plot、Dynamic PCA 进行数据分析,通过 Library Search NIST 数据库和 IMS 数据库进行定性分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价分析

2.1.1 秩和检验法结果分析 由表2和表3可知,不同处理条件下的样品脱腥效果评分具有显著性差异。料酒复合的脱腥后感官效果最佳,料酒复合后的活性物质、香辛料和姜汁中的成分产生了特殊的风味,掩盖了鱼腥味,同时白醋中的酸性物质与碱性胺化物结合生成中性盐达到去腥目的^[19],最终使样品的腥味减弱,得到较高的评价得分。其次,为掩蔽法,主要是葱姜蒜的芳香结合料酒的芳香通过感官掩蔽的方式降低了罗非鱼的腥

味^[9],然而大蒜和洋葱中的硫化物生姜中的萜烯类对感官产生刺激,影响得分。发酵法的脱腥效果较好,主要是由于酵母中含有多种酶,将异味物质分解,异味脱去的同时产生了如甜香的特殊风味^[20]。番茄复合法脱腥的感官效果较差。番茄浓缩汁脱腥是依靠番茄具有的顺-3-己烯醛^[21]等风味物质的掩盖以及含有的柠檬酸等^[22]有机酸类对碱性腥味物质的中和来实现的。包埋法脱腥效果最差,主要是由于呈腥蛋白分子较大 β -环状糊精脱腥效果受到限制^[23]。

表2 罗非鱼脱腥效果LSD分析结果

Table 2 Tilapia deodorant effect LSD analysis results

样品	包埋法	番茄复合法	掩蔽法	发酵法	料酒复合法	空白法
包埋	N	N	Y	N	Y	N
番茄复合	N	N	N	N	Y	Y
掩蔽	Y	N	N	N	N	Y
发酵	N	N	N	N	Y	Y
料酒复合	Y	Y	N	Y	N	Y
空白	N	Y	Y	Y	Y	N

注:N表示样品间不存在显著性差异,Y表示样品间存在显著性差异($\alpha=0.05$)。

表3 罗非鱼脱腥效果筛选排序结果

Table 3 Tilapia deodorizing effect filtering and sorting results

秩和均值	样品					
	包埋	番茄复合	掩蔽	发酵	料酒复合	空白
腥味秩和均值	2.786 ^e	3.286 ^d	4.429 ^b	3.571 ^c	5.143 ^a	1.786 ^f

注:同一行小写字母代表LSD显著检验结果,相同的字母表示样品间没有显著性差异,不同的字母表示样品间的秩和均值存在显著性差异($P<0.05$)。

2.1.2 R-index结果分析 R-index是信号理论中用于计算受试者感受曲线面积的方法,利用配对样品间鉴别概率来定义之间的差异程度^[24]。由表4可知,通过R-index法计算发现脱腥效果最好的是料酒复合组。通过比较R-index法所获得

的R-value可知, β -环状糊精组和番茄组间差异不显著,发酵组与番茄组间差异不显著,其余样品间均存在显著性差异。该方法与秩和检验法得到的结果一致,说明料酒复合法处理的样品脱腥效果与其它方法具有显著差异。

表4 罗非鱼脱腥效果R-index结果

Table 4 R-index results of tilapia deodorization effect

样品	包埋	番茄复合	掩蔽	发酵	料酒复合	空白
不选包埋	0.00	0.41	0.22	0.35	0.09	0.71
不选番茄复合	0.59	0.00	0.30	0.46	0.17	0.77
不选掩蔽	0.78	0.70	0.00	0.68	0.38	0.89
不选发酵	0.65	0.54	0.32	0.00	0.18	0.88
不选料酒复合	0.91	0.83	0.62	0.82	0.00	0.97
不选空白	0.29	0.23	0.11	0.12	0.03	0.00

注:数值越接近1,表示样本间选择差异越大;数值越接近0.5,表示样本间选择随机。

2.2 电子鼻检测结果分析

电子鼻是利用气体传感器阵列的响应图谱识别气味的电子系统,利用化学计量系统对样品的整体特征信号进行识别和定量定性分析的一种检测技术^[15,25]。掩蔽法、料酒复合法、包埋法雷达图的响应值和其它 3 组差异较大,说明掩蔽法、料酒复合法、包埋法脱腥效果更明显,而变化较明显的是 W1W 和 W1S,这说明经过这 3 种脱腥方法处理后鱼肉中无机硫化物和甲基类化合物差异显著。有研究指出硫化物主要来源葱属植物和肉类加工过程中的美拉德反应^[26]。电子鼻结果可以初步确定相比发酵法和番茄复合法而言,掩蔽法、料酒复合法、包埋法脱腥处理后挥发性成分差异显著。

主成分分析方法(PCA 方法)是对简化后的初始数据通过线性组合突出元素之间的关系^[27],通过对 PEN3 电子鼻 10 个传感器的响应值数据进行分析。不同脱腥条件下样品 PCA 分析如图所示,第 1 主成分和第 2 主成分的累积贡献率之和为 99.69%,能较好地反映样品整体的风味。掩蔽法、料酒复合法、包埋法处理的鱼肉与未处理鱼肉所处区域差异明显,而发酵法、番茄浓缩汁复合处理的鱼肉与未处理的鱼肉有相交部分,区分度不好,说明掩蔽、料酒复合、包埋脱腥效果优于其它两种方法。

2.3 GC-IMS 检测结果分析

2.3.1 不同脱腥处理后鱼肉中挥发性成分指纹图谱分析

利用 GC-IMS 分析不同脱腥方法处理的罗非鱼肉中挥发性风味物质的变化,得到的风味指纹图谱如图 3 所示,通过颜色深、浅判断各种气味物质的含量差异,红色越深,表示相对浓度越高。由图可见,指纹图谱中代表挥发性物质的点亮度发生明显变化,说明不同脱腥处理条件下罗非鱼肉中挥发性风味物质的含量及组成存在明显的差异。掩蔽法处理的罗非鱼样品中挥发性风味物质的含量显著高于空白组,主要包括醇类、酮类、烯烃类、醚类以及硫化物等挥发性成分,导致其醛类化合物的含量显著降低,主要是由于其中的活性物质如黄酮类及萜烯类化合物及硫化物等化合物含量增加而起到异味掩蔽作用^[28-29];料酒复合法处理的样品与掩蔽法处理的样品有相似的指纹图谱,主要是由 2 种方法中使用的料酒和姜汁中含

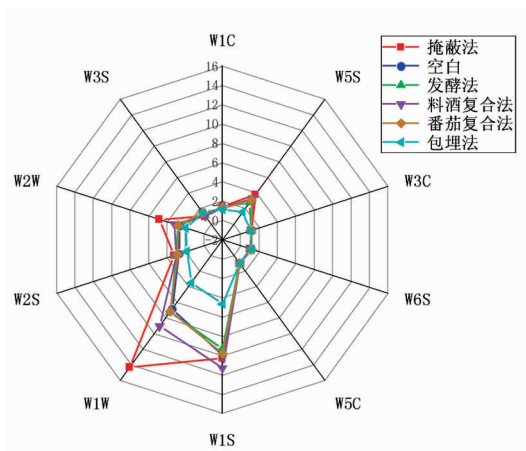


图 1 电子鼻传感器对 6 种脱腥处理后罗非鱼样品响应值的雷达图

Fig.1 The radar chart of the response value of the electronic nose sensor to 6 kinds of tilapia samples after deodorization

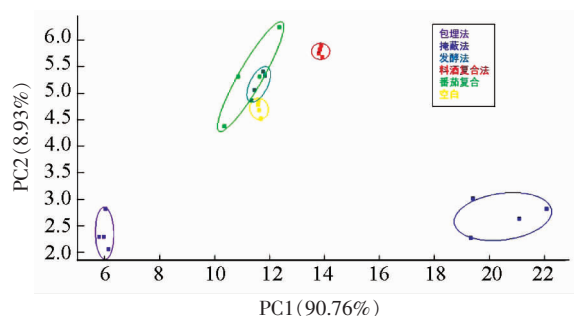


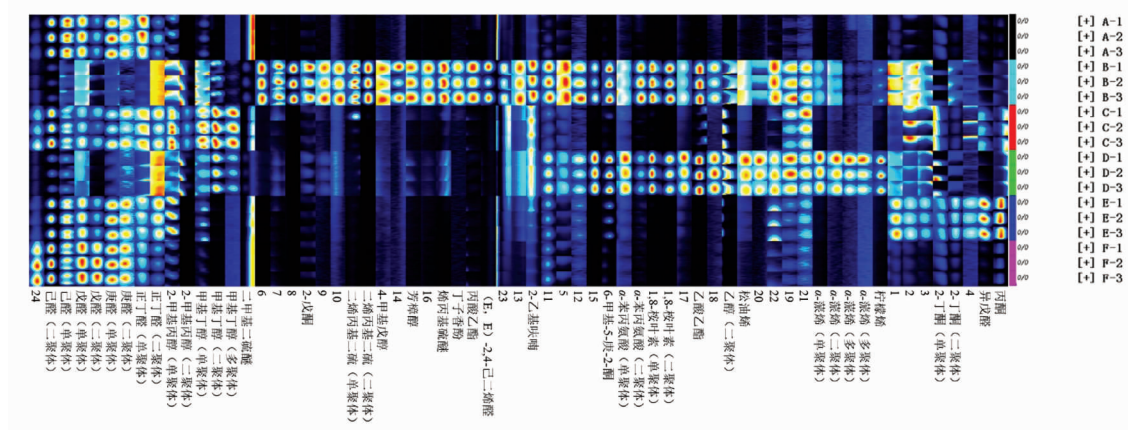
图 2 6 种脱腥处理后罗非鱼样品电子鼻响应值的 PCA 分析

Fig.2 PCA analysis of electronic nose response values of 6 kinds of tilapia samples after deodorization

有的萜烯类、姜辣素等风味物质对罗非鱼肉共同作用的结果,然而其含硫化物等的含量显著低于掩蔽组,其醛类化合物含量明显低于空白组且与掩蔽组相似,主要源于白醋作为一种有机酸,对腥物质有溶解与萃取作用。有报道证明在酸性条件下,白鲢鱼肌肉蛋白降低对己醛(Hexanal)、2,4-庚二烯醛等呈腥味的醛类物质的吸附率,将腥物质从白鲢鱼肌肉蛋白上解析,以达到脱腥目的^[30];发酵法处理的样品中醇类物质含量较空白组变化显著,这与杨超等^[31]的研究结果相似,主要为 3-甲基丁醇(单体、二聚体、多聚体)、2-甲基丙醇(单体、二聚体)和二甲基二硫醚,可作为酵母发酵脱腥处理后罗非鱼肉的特征风味物质区域;

番茄复合法处理的鱼肉中2-丁酮、3-甲基丁醛和丙酮等含量远大于空白组样品中的, 主要是为番

茄浓缩汁的风味物质^[32]; 而包埋法处理的鱼肉样品中风味物质的含量与空白组相比最为相似。



注:A. 包埋法;B. 掩蔽法;C. 发酵法;D. 料酒复合法;E. 番茄复合法;F. 空白。

图3 6种脱腥处理罗非鱼样品挥发性成分指纹图谱

Fig.3 Gallery plot of volatile components in tilapia samples with 6 kinds of deodorization treatments

2.3.2 不同脱腥处理后鱼肉中挥发性成分分析

为了进一步分析不同脱腥处理后鱼肉挥发性风味物质的变化,以外标 C4~C9 的正酮类为参考计算每种挥发性物质的保留指数,通过与 GC-IMS 数据库进行匹配,完成对不同处理后鱼肉中挥发性物质的定性分析^[33],结果如表 5 所示。

未处理的罗非鱼肉中醇类物质的相对含量为 12.36%,包埋法、掩蔽法、发酵法、料酒复合法和番茄复合法鱼肉样品中醇类物质的相对含量均有增加,分别为 18.17%,25.25%,41.33%,33.96%,15.66%。醇类物质可由脂氧合酶途径产生,还可来源于糖代谢和氨基酸 Ehrlich 机制的代谢^[34],C1~C11 范围的醇类物质香气阈值较低,会有类似轻快香气、麻醉性的气味、芳香气味、金属和泥土的气味,对鱼肉风味贡献度较大。经 β -环状糊精处理后乙醇(单体)相对含量增加较大,掩蔽处理后乙醇(二聚体)、1,8-桉叶素(单体和二聚体)相对含量增加明显,发酵处理后 2-甲基丙醇(单体和二聚体)、甲基丁醇(单体和二聚体)、乙醇(单体和二聚体)相对含量增加明显,料酒复合处理后乙醇(二聚体)、1,8-桉叶素(单体和二聚体)相对含量增加明显,番茄复合处理后 2-甲基丙醇(单体和二聚体)的相对含量明显增加。有报道指出,乙醇

呈现酒香味,芳樟醇呈现百合花香味,1,8-桉叶素呈现樟脑气息和清凉的草药味道。

羰基化和物包括醛类和酮类,在水产品气味特征中起重要作用,冯倩倩^[35]研究发现低分子碳链的醛类具有较低的嗅觉阈值在,在较低浓度下就会被人感知,对罗非鱼肉腥味有较大贡献,其可能来源于不饱和脂肪酸氧化后形成的过氧化物的裂解。由表 5 可知,经不同脱腥处理后罗非鱼肉中己醛(单体和二聚体)、戊醛(单体和二聚体)、6-甲基-5-庚-2-酮和丙酮的相对含量变化显著。己醛是导致鱼体产生腥味的主要物质之一,与其它挥发性化合物对鱼肉香味起协同作用,呈现出鱼腥味和青草味;戊醛呈现刺激性恶臭味。酮类物质阈值较高具有特殊的香气,对鱼肉气味的贡献相对较小^[36],然而酮类对腥味具有增强作用。6-甲基-5-庚-2-酮呈现水果香气和新鲜清香香气,丙酮呈现出辛辣甜味。掩蔽法和料酒复合法脱腥效果最好,羰基类物质的相对含量显著降低,分别为 17.28% 和 22.35%。

酯类在掩蔽法、酵母发酵和料酒姜汁白醋复合脱腥后相对含量明显增加,通常酯类化合物能够赋予食品特殊的果味和甜味(如乙酸乙酯具有好闻的芳香味),脱腥后由 0.71%增加为 12.46%,

6.14%,15.27%,对罗非鱼腥味的改善可能有重要的贡献。

二烯丙基二硫(单体、二聚体)是一种含硫有机物,仪淑敏等^[37]曾在洋葱、大蒜中检测到较高含量,该物质具有强烈的蒜臭味,稀释时有青草香韵。2-乙基呋喃属环氧杂环类化合物,海带的气味活性物质之一,呈辛辣的橡胶味^[38]。丁子香酚呈现浓郁的石竹麝香气味。烯烃类和酸类化合物一定条件下可形成醛和酮,其气味阈值低,具有青草香、花香,由于其相对含量较低,对鱼肉风味贡献度较小。

综上所述,掩蔽法处理的样品由于其醇类及含硫化合物的相对含量较多风味贡献度最大,处理后的鱼肉主要呈现出酒香味、樟脑气息和清凉的草药味道及刺激性蒜臭味;料酒复合处理的样

品其醇类、酮类、醚类和酯类相对含量较大,使鱼肉整体呈现酒香味、果味、甜味、芳香味;发酵法处理的样品其醇类和醛类相对含量较多,样品主要呈现酒香味、樟脑味和草药味道、鱼腥味、辛辣甜味及新鲜清香香气;包埋法处理的样品醛类和醚类含量较多,呈现鱼腥味、刺激性恶臭味,与空白组样品风味相似;番茄复合处理样品中醛类和酮类挥发性物质相对含量较高,主要呈现鱼腥味、刺激性恶臭味及清新果香味及辛辣味。

本研究通过 GC-IMS 只分析鉴定出 42 种挥发性化合物,还有 24 种挥发性化合物由于风味成分信息库信息不完善,今后仍需其它文献报导及 GC-IMS 技术定性,这也是其在食品挥发性成分分析领域中存在的局限性^[39]。

表 5 不同脱腥处理罗非鱼样品挥发性成分汇总分析

Table 5 Summary analysis of volatile components in tilapia samples under different defishiness treatments

分类	化合物	RI 值	相对含量/%						
			包埋	掩蔽	发酵	料酒复合	番茄复合	空白	
醇类	2-甲基丙醇(二聚体)	623.60	0.15	2.10	5.60	1.98	0.28	0.16	
	2-甲基丙醇(单体)	620.40	3.70	2.01	5.08	1.72	5.58	2.94	
	甲基丁醇(二聚体)	732.60	0.69	1.65	10.30	3.97	0.47	0.53	
	甲基丁醇(单体)	737.00	1.84	1.06	5.23	1.27	2.04	1.04	
	甲基丁醇(多聚体)	732.60	0.20	0.06	0.83	0.22	0.15	0.17	
	4-甲基戊醇	848.60	0.07	0.17	0.05	0.05	0.06	0.10	
	乙醇(二聚体)	517.50	0.96	7.24	7.30	11.32	2.07	1.10	
	乙醇(单体)	520.50	9.23	0.63	6.14	1.42	4.07	5.00	
	1,8-桉叶素(二聚体)	1 035.60	0.45	3.35	0.21	4.04	0.30	0.51	
	1,8-桉叶素(单体)	1 036.60	0.76	6.53	0.52	7.86	0.57	0.71	
	芳樟醇	1 090.50	0.10	0.45	0.07	0.10	0.08	0.10	
	小计			18.17	25.25	41.33	33.96	15.66	12.36
	醛类	(E,E)-2,4-己二烯醛	911.80	0.53	0.76	0.10	0.10	0.28	0.37
甲基丁醛		645.20	0.28	0.10	0.95	0.08	2.50	0.25	
正丁醛(二聚体)		590.80	0.30	0.03	0.22	0.08	0.39	0.24	
正丁醛(单体)		597.60	1.82	0.03	0.67	0.1	0.80	1.04	
庚醛(二聚体)		897.20	0.18	0.01	0.07	0.03	0.12	0.17	
庚醛(单体)		897.70	1.34	0.04	0.47	0.11	0.90	1.38	
己醛(二聚体)		788.70	13.83	0.70	8.40	1.53	8.80	17.69	
己醛(单体)		789.30	7.95	0.43	2.37	0.78	4.37	6.19	
戊醛(二聚体)		689.50	0.89	0.09	0.51	0.04	0.64	2.01	
戊醛(单体)		690.40	3.71	0.22	1.23	0.25	2.29	4.33	
小计				30.83	2.40	15.07	3.14	21.07	33.67

(续表 5)

分类	化合物	RI 值	相对含量/%					
			包埋	掩蔽	发酵	料酒复合	番茄复合	空白
酮类	丁酮(二聚体)	583.20	0.38	0.56	0.40	0.53	2.21	0.71
	丁酮(单体)	582.50	2.00	0.17	2.46	0.71	2.73	2.15
	戊酮	681.40	0.52	1.27	0.38	0.46	0.38	0.68
	6-甲基-5-庚-2-酮	990.40	3.14	12.33	2.57	15.27	10.82	4.82
	丙酮	516.00	2.00	0.56	7.89	2.24	16.60	5.04
	小计		8.04	14.88	13.70	19.21	32.74	13.40
酸类	α -苯丙氨酸(二聚体)	989.80	0.60	1.39	0.25	1.00	0.47	0.52
	α -苯丙氨酸(单体)	989.80	0.26	0.24	0.23	0.54	0.28	0.30
	小计		0.86	1.63	0.48	1.55	0.75	0.82
酯类	乙酸乙酯	601.10	0.86	12.02	6.08	15.23	0.72	0.60
	丙酸乙酯	699.70	0.13	0.44	0.06	0.04	0.09	0.10
	小计		0.99	12.46	6.14	15.27	0.80	0.71
烯烃类	α -蒎烯(二聚体)	926.40	0.11	0.10	0.06	0.26	0.08	0.11
	α -蒎烯(单体)	925.70	0.24	0.43	0.19	1.25	0.23	0.24
	α -蒎烯(多聚体)	925.70	0.19	0.04	0.08	0.26	0.09	0.13
	α -蒎烯(多聚体)	926.80	0.10	0.02	0.04	0.10	0.06	0.09
	α -松油烯	1 004.40	0.13	0.15	0.10	0.32	0.14	0.13
	柠檬烯	1 030.40	0.66	0.73	0.45	2.32	0.53	0.58
	小计		1.43	1.47	0.93	4.51	1.13	1.29
醚类	烯丙基硫醚	848.40	0.28	5.49	1.44	2.94	0.42	0.28
	二甲基二硫醚	716.60	26.26	0.74	6.42	1.51	12.75	20.93
	小计		26.54	6.23	7.86	4.45	13.17	21.22
其它	2-乙基呋喃	691.80	1.54	0.91	2.02	1.11	1.49	1.21
	丁子香酚	1 336.90	0.38	0.84	0.25	0.14	0.32	0.37
	二烯丙基二硫(二聚体)	1 079.70	0.55	7.76	0.41	0.16	0.42	0.49
	二烯丙基二硫(单体)	1 079.20	0.97	3.42	1.50	0.35	0.63	0.90
	小计		3.44	12.94	4.18	1.74	2.86	2.97

3 结论

1) 感官排序方法中利用秩和检验法和 R-index 法统计分析得到料酒白醋姜汁复合处理的罗非鱼肉脱腥效果最好。

2) 电子鼻结合 PCA 分析方法可以很好的区分不同脱腥方法处理后的罗非鱼鱼肉。

3) 采用 GC-IMS 对 6 种脱腥处理的罗非鱼样品挥发性风味物质进行分析,共分析鉴定了 42 种挥发性有机化合物,包括一些物质的二聚体,其中包括 11 种醇类、10 种醛类、6 种烯烃类、5 种酮类、2 种硫化物、2 种酯类、2 种酸类、2 种醚类、1 种酚类和 1 种呋喃类。不同脱腥处理后鱼肉的风

味物质组成及含量存在明显差异。经分析掩蔽法与料酒复合法处理的鱼肉中醛类物质相对含量显著降低,掩蔽组主要通过葱姜蒜料酒带入的风味物质降低醛类物质的相对含量,然而其含硫化合物相对含量较高,使样品呈现刺激性的蒜臭味;料酒复合通过姜汁料酒带入风味物质与白醋对呈腥物质的去除共同作用降低醛类物质含量。番茄复合法及发酵法处理的鱼肉均形成了其特征风味区域,然而其样品中醛类和酮类物质相对含量较高;酵母发酵组中醇类、醛类相对含量较高; β -环状糊精包埋和空白组中醛类、醚类相对含量较高。由于低分子碳链的醛类是导致罗非鱼腥味的主要物

质,因此掩蔽法和料酒复合法脱腥效果最好。

4) 产品脱腥工艺优化以脱腥效果和消费者喜好度为指标,通过感官评价并结合电子鼻与 GC-IMS 分析,本试验筛选出罗非鱼脱腥效果最好的工艺为料酒复合法,使用该方法脱腥,罗非鱼腥味值最小且最受消费者欢迎。

参 考 文 献

- [1] 许元佳,张媛媛,滕晓焕,等.罗非鱼鱼松的加工工艺研究[J].商丘职业技术学院学报,2019,18(2):78-82.
XU Y J, ZHANG Y Y, TENG X H, et al. Study on processing technique for oreochromis niloticus fish floss[J]. Journal of Shangqiu Vocational and Technical College, 2019, 18(2): 78-82.
- [2] 王国超,李来好,郝淑贤,等.罗非鱼肉中土臭素和 2-甲基异茨醇的测定[J].食品科学,2011,32(12):188-191.
WANG G C, LI L H, HAO S X, et al. Determination of geosmin and 2-methylisoborneol in tilapia meat[J]. Food Science, 2011, 32(12): 188-191.
- [3] 吴吉玲,黄一珍,姜鹏飞,等.排序法在大西洋鲭鱼脱腥工艺筛选中的应用[J].食品研究与开发,2020,23(22):73-79.
WU J L, HUANG Y Z, JIANG P F, et al. Application of ranking test in screening of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) deodorization process[J]. Food Research and Development, 2020, 23(22): 73-79.
- [4] 李亚会,周伟,李积华,等.罗非鱼酶解液酵母发酵脱腥工艺及其挥发性成分的研究[J].食品研究与开发,2021,42(2):66-71.
LI Y H, ZHOU W, LI J H, et al. Study on deodorization process of tilapia enzymatic hydrolysate by yeast fermentation and its volatile components[J]. Food Research and Development, 2021, 42(2): 66-71.
- [5] 毕继才,林泽原,杨依琳,等.草鱼鱼滑加工及去腥工艺研究[J].河南科技学院学报(自然科学版),2019,47(5):22-27.
BI J C, LIN Z Y, YANG Y L, et al. Study on silp-processing and fish-removing technology of grass carp[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2019, 47(5): 22-27.
- [6] 刘艳,段振华,蔡彦,等.牡蛎酶解液的脱腥工艺研究[J].食品研究与开发,2015,36(21):95-99.
LIU Y, DUAN Z H, CAI Y, et al. Study on the deodorization process of oyster enzymatic hydrolysate[J]. Food Research and Development, 2015, 36(21): 95-99.
- [7] 段振华,易美华,汪菊兰,等.罗非鱼碎鱼肉酶解液的脱腥技术及其机理探讨[J].食品工业科技,2007,28(2):65-67.
DUAN Z H, YI M H, WANG J L, et al. Study on defishiness technology and mechanism of enzymatic hydrolysate of crushed tilapia[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(2): 65-67.
- [8] 叶丹,王传明,刘鹏,等.分子感官科学技术在调味品上的应用研究进展[J].中国调味品,2021,46(5):198-200.
YE D, WANG C M, LIU P, et al. Research progress on application of molecular sensory science and technology in condiments[J]. China Condiment, 2021, 46(5): 198-200.
- [9] JACOBO I, ISABEL M. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1192(1): 9-16.
- [10] 张含昆.鲟鱼肉冻融稳定性的研究及其调理食品的开发[D].大连:大连工业大学,2019.
ZHANG H K. The freezing-thawing stability of sturgeon and its frozen prepared product development[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2019.
- [11] 吴涛,茅林春.天然复合脱腥保鲜液对草鱼的脱腥保鲜效果[J].湖北农业科学,2009,48(10):2543-2547.
WU T, MAO L C. Application of natural deodorant and preservative in the preservation of fresh grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(10): 2543-2547.
- [12] 徐锦,李明元.鲢鱼蛋白酶解及脱腥脱苦工艺研究[J].食品工业,2012,33(5):1-3.
XU J, LI M Y. Technology of enzyme solution to silver carp protein and debittering and deodorization effects of active dry yeast[J]. The Food Industry, 2012, 33(5): 1-3.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.感官分析 选拔、培训和管理评价员一般导则:GB/T 16291.2-2010[S].北京:中国

- 标准出版社, 2010: 1.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. General guidelines for selection, training and management of evaluators for sensory analysis: GB/T 16291.2-2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 1.
- [14] 史波林, 赵镭, 免畅, 等. 感官评价小组及成员排序能力评估的一般导则[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 346-350.
- SHI B L, ZHAO L, HUAN C, et al. General guidance for performance evaluation of sensory ranking panels and panelists[J]. Food Science, 2014, 35(17): 346-350.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 感官分析方法学排序法: GB/T 12315-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 12.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. Ranking method of sensory analysis methodology: GB/T 12315-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 12.
- [16] 黄一珍, 陈历水, 俞伟祖, 等. GC-O 风味分析及 R-index 法在发酵肉制品排序中的应用[J]. 食品工业科技, 2014, 35(11): 302-305.
- HUANG Y Z, CHEN L S, YU W Z, et al. Analysis and the application of R-index and GC-O method in fermented meat products ranking test[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(11): 302-305.
- [17] SUN F C, WU Z X, CHEN Y H, et al. Analysis of odors from thermally modified bamboo assessed by an electronic nose[J]. Building and Environment, 2018, 144: 386-391.
- [18] 金文刚, 赵萍, 金晶, 等. 基于气相-离子迁移色谱分析大鲵不同可食部位挥发性成分指纹差异[J]. 食品科学, 2022, 43(2): 303-309.
- JIN W G, ZHAO P, JIN J, et al. Differences in volatile fingerprints of different edible parts of giant salamander (*Andrias davidianus*) analyzed by gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. Food Science, 2022, 43(2): 303-309.
- [19] 杨璐璐. 泥鳅罐头的工艺研究及其营养品质评价[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- YANG L L. The technology research and the nutritional quality evaluation of canned loach[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2017.
- [20] 王红丽, 梁璋成, 何志刚, 等. 生物发酵脱腥海带的挥发性风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2020, 20(6): 295-303.
- WANG H L, LIANG Z C, HE Z G, et al. Analysis of volatile flavor compounds from microbial fermented deodorization kelp[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 295-303.
- [21] BUTTERY R G, SEIFERT R M, GUADAGNI D G, et al. Characterization of additional volatile components of tomato [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1971, 19(3): 524-529.
- [22] 王同林, 叶红霞, 郑积荣, 等. 番茄果实中主要风味物质研究进展[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(8): 1513-1522.
- WANG T L, YE H X, ZHENG J R, et al. Research progress of main flavor compounds in tomato fruits [J]. Zhejiang Agricultural Journal, 2020, 32(8): 1513-1522.
- [23] 孔繁东, 徐冰, 祖国仁, 等. 裙带菜提取液脱腥工艺的研究[J]. 食品工业, 2011, 32(2): 39-41.
- KONG F D, XU B, ZU G R, et al. Study on deodorization process of extract fluid of the undaria pinnatifida suringar[J]. The Food Industry, 2011, 32(2): 39-41.
- [24] 冯倩倩, 胡飞, 李平凡. SPME-GC-MS 分析罗非鱼体中挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 67-70.
- FENG Q Q, HU F, LI P F. Analysis of volatile compounds of tilapia by solid phase microextraction and GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(6): 67-70.
- [25] 朱丹实, 吴晓菲, 王立娜, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术分析冷藏真鲷挥发性风味物质变化[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 227-234.
- ZHU D S, WU X F, WANG L N, et al. Studies on volatile compounds of red sea bream at cold storage by electronic nose coupled with and HS-SPME/GC-MS [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(12): 227-234.
- [26] 朱照华. 含硫风味化合物及其形成原理[J]. 江苏调味品, 2016(3): 4-8.
- ZHU Z H. Sulfur-containing flavor compounds and

- its formation principle [J]. *Jiangsu Condiment and Subsidiary Food*, 2016(3): 4–8.
- [27] PERIS M, ESCUDER G L. A 21st century technique for food control: Electronic noses[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2009, 638(1): 1–15.
- [28] 王德振, 李佳, 张玲玲, 等. 大蒜、洋葱、生姜和辣椒四种香辛料风味成分研究进展[J]. *中国调味品*, 2019, 44(1): 179–185.
- WANG D Z, LI J, ZHANG L L, et al. Research progress on flavor components of four spices of garlic, onion, ginger and chili[J]. *China Condiment*, 2019, 44(1): 179–185.
- [29] YARNPAKDEE S, BENJAKUL S, NALINANON S, et al. Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(4): 1781–1788.
- [30] 付湘晋. 白鲢鱼脱腥及其低盐鱼糜制备的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- FU X J. Removing the off-flavor of silver carp and the preparation of low salt surimi[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [31] 杨超, 梁璋成, 林晓姿, 等. 龙须菜生物脱腥工艺优化及其挥发性风味物质分析[J]. *福建农业学报*, 2021, 36(4): 490–500.
- YANG C, LIANG Z C, LIN X Z, et al. Optimization of biological deodorization process and analysis of volatile flavor in *Gracilaria lemaneiformis*[J]. *Fujian Agricultural Journal*, 2021, 36(4): 490–500.
- [32] SELLI S, KELEBEK H, AYSELI M T, et al. Characterization of the most aroma-active compounds in cherry tomato by application of the aroma extract dilution analysis [J]. *Food Chemistry*, 2014, 165: 540–546.
- [33] LV W S, LIN T, REN Z Y, et al. Rapid discrimination of *Citrus reticulata* ‘Chachi’ by headspace–gas chromatography–ion mobility spectrometry fingerprints combined with principal component analysis[J]. *Food Research International*, 2020, 131: 108985.
- [34] 余远江, 庞一扬, 袁桃静, 等. 基于电子鼻、HS–GC–IMS 和 HS–SPME–GC–MS 分析五种水产原料的风味特征[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 106–117.
- YU Y J, PANG Y Y, YUAN T J, et al. Analysis of flavor characteristics of five aquatic raw materials based on electronic nose, HS–GC–IMS and HS–SPME–GC–MS[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 106–117.
- [35] 冯倩倩. 罗非鱼腥味形成机理及脱除技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- FENG Q Q. Mechanisms for the formation of fishy odor in tilapia and research on deodorization technology [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [36] 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.
- [37] 仪淑敏, 倪雪, 李强, 等. 洋葱、生姜和大蒜对鲢鱼鱼丸挥发性风味成分的影响[J]. *渤海大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(3): 193–201.
- YI S M, NI X, LI Q, et al. Effect of onion, ginger and garlic on volatile flavor components of silver carp fish–ball[J]. *Journal of Bohai University (Natural Science Edition)*, 2020, 41(3): 193–201.
- [38] 顾赛麒, 唐文燕, 周洪鑫, 等. 响应面法优化海带脱腥工艺及其色泽品质评价[J]. *食品科学*, 2018, 39(18): 217–226.
- GU S Q, TANG W Y, ZHOU H X, et al. Optimization of deodorization process for *Laminaria japonica* by response surface methodology and evaluation of its color quality[J]. *Food Science*, 2018, 39(18): 217–226.
- [39] JIA S L, LI Y, ZHUANG S, et al. Biochemical changes induced by dominant bacteria in chill–stored silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and GC–IMS identification of volatile organic compounds[J]. *Food Microbiology*, 2019, 84: 103248.

Studies on the Deodorization Method of Tilapia

Jiang Pengfei¹, Chen Yao¹, Jin Wengang², Zhang Yuying¹, Huang Yizhen¹, Zhu Kaiyue¹, Dong Xiuping^{*}

(¹National Engineering Research Center of Seafood, School of Food Science and Technology,

Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning

²School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Key Laboratory of Bio-resources of Shaanxi Province, Hanzhong 723001, Shaanxi)

Abstract Purpose: To determine the best deodorization process by comparing the deodorization effects of different treatment methods on tilapia meat. Methods: The sensory evaluation method of sorting was adopted, combined with the electronic nose and gas chromatography ion mobility spectroscopy (GC-IMS) data to select the best tilapia deodorization method. Results: The sensory analysis of tilapia meat treated with cooking wine compound method had the best sensory effect. Electronic nose analysis masking method, cooking wine compound method, and embedding method had significant changes in methyl and inorganic sulfide compounds in fish meat after deodorizing treatment. GC-IMS analysis identified 42 kinds of volatile compounds. Fish meat processed by the tomato compound method, fermentation method, masking method, and cooking wine compound method all formed their characteristic flavor regions on the fingerprint. The fish meat of the embedding method and the blank group had similar fingerprints. In the samples treated by tomato compound method and fermentation method, the relative contents of aldehydes that cause fishy smell, ketones and alcohols that enhance fishy smell were relatively high. The content of low molecular carbon chain aldehydes in tilapia meat after deodorization by masking method and cooking and wine complex method was the least, and the deodorization effect was the best. The results showed that in the tilapia meat treated with cooking wine, white vinegar and ginger juice, the relative content of aldehydes in the sample was reduced due to the introduction of flavor substances by ginger juice and cooking wine and the absorption of white vinegar to reduce fishy substances, and the best deodorizing effect.

Keywords tilapia; deodorization; sensory-evaluation; electronic-nose; gas chromatography imperative spectroscopy (GC-IMS)