

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.09.019

基于 HS-SPME-GC-MS 与 OAV 对 5 种臭鳊鱼产品特征风味的分析

杨柳^{1,2}, 陈亚林^{1,2}, 徐宝才^{1,2}, 孙汉巨^{1,2}, 吴永祥³

(1. 合肥工业大学 食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601; 2. 合肥工业大学 农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230601; 3. 黄山学院 生命与环境科学学院, 安徽 黄山 245041)

摘要: 为了确定臭鳊鱼产品的特征风味, 文章对市场上的 5 种臭鳊鱼产品进行研究, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(head space-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对臭鳊鱼样本中挥发性风味化合物进行测定, 探究臭鳊鱼中的特征风味, 并通过电子鼻对臭鳊鱼中的气味进行扫描验证。结果表明: 5 种产品的质构并无明显差异, 风味有差别, 臭鳊鱼中的挥发性风味化合物种类比较复杂, 5 种臭鳊鱼产品中共检测到 86 种物质, 将其分成 8 类, 分别为醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、碳氢化合物、芳烃类以及其他类化合物(含硫、含氮类); 5 种产品中都包含的化合物有 13 种, 分别为 1-辛烯-3-醇、正丁醇、乙酸、肉豆蔻酸、丁酸、壬醛、苯乙烯、3,5,5-三甲基-2-己烯、十六烷、苯酚、吡啶、二甲基三硫化物和甲氧基苯酚。通过计算化合物的气味活度值(odor activity value, OAV), 在 13 种共有化合物中分析筛选出了 7 种 OAV 均大于等于 1 的化合物, 分别为 1-辛烯-3-醇、乙酸、丁酸、壬醛、苯乙烯、吡啶、二甲基三硫化物, 被认为是臭鳊鱼中关键的特征风味。

关键词: 臭鳊鱼; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(HS-SPME-GC-MS); 电子鼻; 气味活度值(OAV); 特征风味

中图分类号: TS254.5 文献标志码: A 文章编号: 1003-5060(2023)09-1278-06

Analysis of characteristic flavors of five stinky mandarin fish products based on HS-SPME-GC-MS and OAV

YANG Liu^{1,2}, CHEN Yalin^{1,2}, XU Baocai^{1,2}, SUN Hanju^{1,2}, WU Yongxiang³

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China; 2. Engineering Research Center of Bio-process of Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China; 3. College of Life and Environment Science, Huangshan University, Huangshan 245041, China)

Abstract: In order to determine the characteristic flavors of the stinky mandarin fish products, five products in the market were investigated, and volatile flavor compounds in the fish samples were determined by head space-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) to explore the characteristic flavors in the stinky mandarin fish, and the odors in the fish were scanned and verified by electronic nose. The results showed that there was no significant difference in the texture of the five products, but there would be differences in flavor. The types of volatile flavor compounds in stinky mandarin fish were complex, and a total of 86 compounds were detected in the five products, which were classified into eight categories, including alcohols, acids, esters, aldehydes, ketones, hydrocarbons, aromatic hydrocarbons, and other types of compounds (sulfur-containing and nitrogen-containing). There were 13 compounds contained in all five of these prod-

收稿日期: 2023-03-14; 修回日期: 2023-04-21

基金项目: 安徽省重点研究与开发计划资助项目(202104a06020013); 安徽省高校自然科学研究重点资助项目(KJ2021A1047)

作者简介: 杨柳(1975—), 女, 安徽淮北人, 博士, 合肥工业大学副教授, 硕士生导师;
徐宝才(1973—), 男, 安徽阜阳人, 博士, 合肥工业大学研究员, 博士生导师;
孙汉巨(1966—), 男, 安徽肥西人, 博士, 合肥工业大学教授, 博士生导师。

ucts, namely 1-octen-3-ol, 1-butanol, acetic acid, tetradecanoic acid, butanoic acid, nonanal, styrene, 3,5,5-trimethyl-2-hexene, hexadecane, phenol, indole, dimethyl trisulfide, and methoxy-phenyl-oxime. By calculating the odor activity value(OAV) of the compounds, seven compounds with OAV greater than 1 were analyzed and screened among the 13 shared compounds, which were considered to be the key characteristic flavors in stinky mandarin fish, namely 1-octen-3-ol, acetic acid, butanoic acid, nonanal, styrene, indole, and dimethyl trisulfide.

Key words: stinky mandarin fish; head space-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry(HS-SPME-GC-MS); electronic nose; odor activity value(OAV); characteristic flavor

鳊鱼隶属鲈形目鳍科鳊鱼属,又称翘嘴鳊。鳊鱼鱼膘肥体壮、生长速度快,而且鳊鱼的生长特性造成了鳊鱼的刺少、肉味鲜美、肥而不腻、营养丰富,鳊鱼的鱼肉中含有丰富的蛋白质、氨基酸、脂肪酸以及矿物质等营养物质^[1-2]。除此之外,中医还认为鳊鱼性味甘平,有补气血、益脾胃之功效,适合脾胃虚弱的老年人以及消化不好的幼儿及老年人食用,既容易消化也能够补气血,经济价值很高。

臭鳊鱼又称腌鲜鱼,是由新鲜鳊鱼通过发酵生产而成的,是有名的一道徽式传统菜,代表着徽州地方特色的美食^[3]。臭鳊鱼拥有两百多年的历史,在一次偶然中发现并一直传承下来,越来越深受广大消费者的喜爱。臭鳊鱼具有“闻起来臭,吃起来香”的特点,肉质滑嫩有弹性,口感好。

目前关于臭鳊鱼特征风味的研究较多,但是如何确定特征风味的研究甚少,臭鳊鱼中的挥发性风味物质成分较复杂,醇、醛、酮类化合物是臭鳊鱼中风味的重要组成成分^[4]。除此之外,臭鳊鱼中还有一些特殊的挥发性物质,例如含氮化合物和一些含硫化合物也是臭鳊鱼中的风味组成成分^[5]。气味活度值(odor activity value, OAV)对于食品香味的研究具有重要的作用,通过物质的质量浓度和阈值来评价风味在食品中的影响,根据 OAV 可以筛选关键风味物质^[6]。

本文针对安徽黄山本地的5种臭鳊鱼产品进行研究,通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪(head space-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)、电子鼻测定臭鳊鱼产品中的挥发性风味化合物并结合 OAV 来筛选特征风味。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

5种臭鳊鱼产品分别来源于桃花流水臭鳊鱼(产品1)、徽三臭鳊鱼(产品2)、徽字一号臭鳊鱼(产品3)、同庆楼臭鳊鱼(产品4)以及寻徽记臭鳊

鱼(产品5);2,4,6-三甲基吡啶(纯度 $\geq 99\%$)购于阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 仪器

TA-XTPLUS物性测试仪(英国 STABLE 公司);8890-7000D 气相色谱三重四级杆质谱联用仪(美国安捷伦科技公司);PEN3 电子鼻(苏州申贝科学仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼肉质构质地剖面分析

取每种产品背部鱼肉,将鱼肉切成 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的块状,利用 TA-XTPLUS 物性仪进行质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式测试,方法参考文献^[7]。探头选择 P/36R,测试条件为:测试前速度 2 mm/s ,测试速度 1 mm/s ,测试后速度 1 mm/s ,压缩弹性形变 50% 。每个产品取3块,每块测试3次,取平均值。

1.3.2 挥发性风味物质测定

每种产品取 5 g ,将产品搅碎置于 20 mL 顶空瓶中,并加入质量浓度为 $100\text{ }\mu\text{g/mL}$ 的内标物(2,4,6-三甲基吡啶) $10\text{ }\mu\text{L}$ 。将已经老化好的萃取头(DVB/CAR/PDMS)插入顶空瓶中,在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 水浴条件下萃取 40 min ,每个产品2个平行。

对5种产品进行挥发性风味化合物的测定,采用 HS-SPME-GC-MS,色谱柱采用 DB-WAX 毛细管色谱柱($30\text{ m} \times 0.20\text{ mm} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$),色谱柱条件以及质谱条件参考文献^[8]。

数据通过系统软件处理,挥发性风味化合物采用 NIST17. LIBRARY 数据库进行鉴定,筛选出匹配度大于80的化合物,根据添加的内标物质量浓度计算挥发性风味化合物的质量浓度。

$$\rho(\text{化合物}) = \frac{\text{化合物峰面积}}{\text{内标物峰面积}} \times \rho(\text{内标物})$$

1.3.3 气味活度值的计算

挥发性风味化合物的 OAV 通过风味物质的质量浓度与其阈值的比值计算得到^[9]。

1.3.4 电子鼻的测定

电子鼻方法参考文献^[10]并加以改动,具体

为:取鱼肉 5 g,搅碎置于 20 mL 顶空瓶中,在 60 °C 下孵育 30 min 后再富集 20~30 min,富集完成后通过电子鼻进行测定,电子鼻的清洗时间为 100 s,检测时间为 100 s,进样时间为 5 s,气体流量为 120 mL/min。每种产品 3 个平行,取平均值。电子鼻的阵列序号及识别物质传感器见表 1 所列。

表 1 电子鼻阵列序号及识别物质传感器

阵列序号	传感器名称	敏感物质
R1	W1C	芳香族类化合物
R2	W5S	氮氧化合物
R3	W3C	氨基、芳烃类化合物
R4	W6S	碳氢化合物
R5	W5C	短链烷烃及芳香成分化合物
R6	W1S	甲烷
R7	W1W	无机硫化物
R8	W2S	醇、醛酮类化合物
R9	W2W	芳香烃及有机硫化物
R10	W3S	长链烷烃,脂肪烃

1.3.5 感官评价

根据文献[11]基于模糊学对鳊鱼的感官评定标准来评价 5 种产品,其评分标准和评分指标见表 2 所列。

表 2 感官评分标准和指标

评价指标	评分标准	得分
组织状态	肉质整齐,骨肉分离、蒜瓣状明显	100~80
	肉质较整齐,骨肉分离、蒜瓣状较明显	79~50
色泽	肉质基本整齐,骨肉分离、蒜瓣状基本明显	49~20
	肉质不整齐,骨肉不分离、无蒜瓣状	19~0
	肉色呈白红色,带有光泽	100~80
	肉色呈白红色,光泽度一般	79~50
气味	肉质呈白色,有光泽	49~20
	肉色呈黄色,无光泽	19~0
	有发酵后的特殊臭味,无腐败及其他不良气味	100~80
	发酵后臭味稍浓或淡,无腐败及其他不良气味	79~50
口感	发酵后臭味稍浓或稍淡,有少许腐败不良气味	49~20
	无发酵后特殊臭味,有明显的腐败味	19~0
	口感细腻,紧致有弹性,滋味鲜美	100~80
	口感较细腻,紧致较有弹性,滋味较鲜美	79~50
	口感一般,紧致弹性一般,滋味一般	49~20
	口感较差,松散无弹性,少许滋味	19~0

评价小组由嗅觉正常、经验丰富的 10 个人(5 男 5 女)组成,由这 10 个人对 5 种产品进行打分,结果取均值。

1.3.6 数据处理

采用 Excel 和 SPSSv26.0 对数据进行处理分析,采用 GraphPad Prism 9、Origin 2021 对数据进行可视化处理。

2 结果与分析

2.1 不同产品鱼肉的质构分析

鱼肉的质构特性一般与其口感是直接相关的,若鱼肉的硬度、咀嚼性、弹性、黏附力和恢复力越高,则其口感会相对较好^[12]。不同发酵条件下臭鳊鱼的质构会有差异,TPA 主要是利用探头去模拟口腔的咀嚼运动,通过软件分析得出硬度(hardness)、弹性(springiness)、黏附力(adhesiveness)、咀嚼性(chewiness)和恢复力(Resilience)等。产品的质构分析结果如图 1 所示。

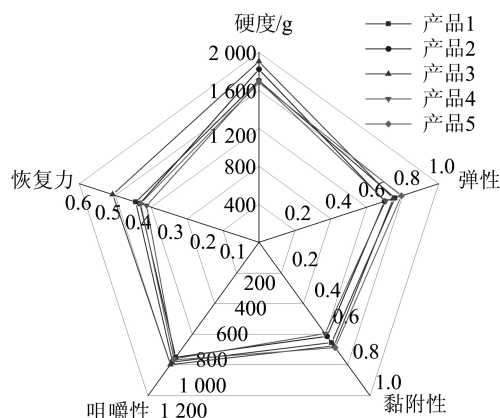


图 1 5 种臭鳊鱼产品质构分析雷达图

图 1 中,5 种产品鱼肉的硬度均在 1 600~2 000 g 以内,其中产品 2 和产品 3 的硬度略高,鱼肉的硬度与盐水的渗透有关,鱼肉中的水分会流出,导致鱼肉的硬度增加^[13]。几种产品的弹性、黏附力和咀嚼性差异不大,产品 3 的恢复力较其他产品高 0.1 左右,说明鱼肉在受压条件下快速恢复形变的能力较好,肉质相对更紧致。

不同发酵条件对发酵鱼肉的质构产生影响,TPA 分析可以反映不同产品鱼肉的质构特性,对臭鳊鱼的食用方面、品质评价及控制方面提供理论参考。

2.2 不同产品挥发性风味化合物的分析

2.2.1 挥发性风味化合物数量和种类的分析

臭鳊鱼中挥发性风味化合物种类繁多、成分复杂,可将化合物分为醇类、酸类、酯类、醛类、酮类等^[14-16]。本文利用 HS-SPME-GC-MS 从 5 种臭鳊鱼产品中共检测到 86 种挥发性化合物,将其分成醇类、酸类、酯类、醛类、酮类、碳氢化合物、芳烃化合物以及其他类(含氮、含硫化合物),5 种臭鳊鱼产品分别有 45、43、52、47、55 种挥发性化合物,如图 2 所示,5 种产品共有的化合物有 13 种,分别为 1 辛烯 3-醇、正丁醇、乙酸、肉豆蔻酸、丁

酸、壬醛、苯乙烯、3,5,5-三甲基 2-己烯、十六烷、苯酚、吡啶、二甲基三硫化物和甲氧基苯酚。

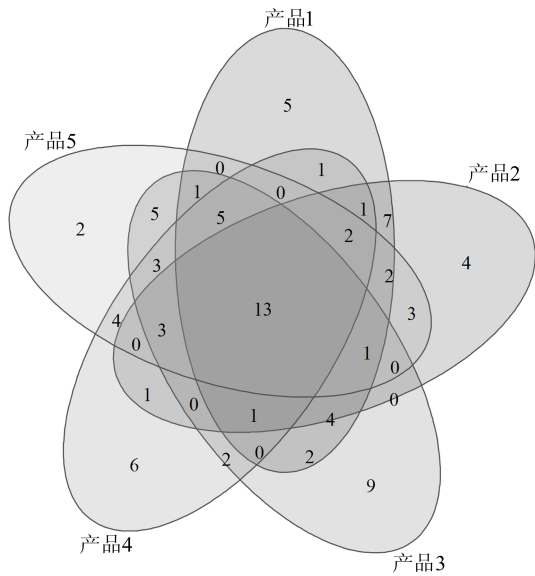


图 2 5 种臭鳊鱼产品化合物种类韦恩图

5 种产品挥发性风味化合物的柱状图如图 3 所示。

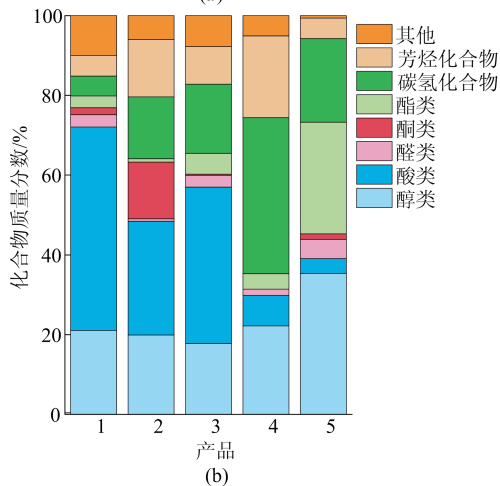
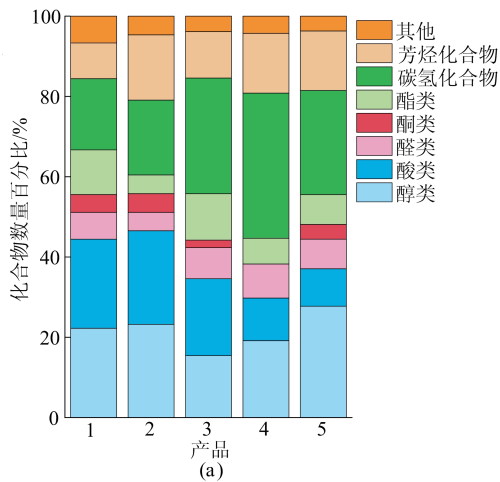


图 3 5 种产品挥发性风味化合物的柱状图

从图 3a 可以看出,在 5 种产品中数量上占优势的化合物为醇类、酸类、芳烃类以及碳氢化合物,醛酮类以及其他化合物在 5 种产品中的数量都较少;从图 3b 可以看出,在质量分数上占优势的化合物也是上述几种,其中产品 5 中酯类化合物的质量分数最多,产品 1~3 中质量分数最多的是酸类。正是由于各种化合物的存在及相互影响形成了臭鳊鱼的风味。

2.2.2 OAV 对臭鳊鱼特征风味的鉴定

由于臭鳊鱼中的挥发性风味化合物种类较多、成分较复杂,通过查阅文献[17]以及相关文献不同化合物的气味阈值,计算产品中检测的挥发性风味化合物的 OAV 来筛选出关键化合物。

当化合物 OAV 大于等于 1 时,被认为是关键物质,该物质对总体风味有贡献,对总体风味有显著影响;当 OAV 小于 1 时,化合物被认为对整体风味没有显著影响^[18-19]。一般阈值越高的化合物对产品整体风味的贡献值较小;相反,阈值较低的化合物对产品整体风味的贡献值较高,影响较大。所有产品中 OAV 大于等于 1 的化合物见表 3 所列。

由表 3 可知,根据 OAV 确定所有臭鳊鱼产品的关键化合物为 1-辛烯-3-醇、乙酸、丁酸、壬醛、苯乙烯、吡啶、二甲基三硫化物,在其他产品中还存在其他 OAV 较高的化合物,例如芳樟醇、4-甲基戊酸、乙酸乙酯、乙苯、二甲基二硫化物等,芳樟醇仅对产品 1、2、5 有贡献,4-甲基戊酸在产品 2 中没有出现,但在其他产品中 OAV 很高,乙酸乙酯对产品 5 的贡献较高。

挥发性风味化合物的形成是由于一些酶的存在分解了鱼肉的蛋白以及脂肪,产生了一些具有风味的小分子化合物,形成了鱼肉的特殊风味。酸类化合物是由于微生物酶和内源酶对脂肪的作用,导致脂肪分解产生乙酸和丁酸等酸类物质,酸类物质的阈值较低,也是臭鳊鱼中较为重要的化合物,其中乙酸具有醋香味,丁酸具有蛤蜊奶油味^[20]。醇类化合物一般在发酵前期含量较多,随着发酵的进行醇类化合物会进一步氧化成醛、酮等化合物,也可与酸类化合物发生酯化反应生成酯类物质。

研究发现,1-辛烯-3-醇是发酵制品中普遍存在的物质,具有蘑菇的香气^[21],芳樟醇一般是在香辛料中普遍存在的物质,臭鳊鱼中芳樟醇的存在也可能是由于在发酵过程中添加了少量香辛料而形成的。

对臭鳊鱼风味影响较大的硫化物和吡啶是在

发酵过程中由于微生物的作用代谢产生的,这些化合物的刺激性较高,对风味有不好的影响,但是研

究发现随着高温烹饪这类化合物会分解,烹饪好的臭鳊鱼并不会有任何不良的气味^[22]。

表 3 5 种臭鳊鱼产品按挥发性风味化合物的 OAV

化合物	气味阈值/ (10^{-2} $\mu\text{g/g}$)	OAV				
		产品 1	产品 2	产品 3	产品 4	产品 5
1-辛烯-3-醇	0.150	81.61	70.70	325.32	86.07	133.88
月桂醇	1.600	8.46	1.95	0	0.31	1.49
芳樟醇	0.250	95.60	328.90	0	0	58.39
2-辛烯-1-醇	4.000	0.67	0	3.32	0.34	1.05
乙酸	0.010	7 487.48	2 220.29	7 284.70	2 123.03	293.93
4-甲基戊酸	0.040	1 710.13	0	75.78	30.93	212.63
丁酸	0.020	4 425.88	1 008.89	3 278.85	874.47	368.38
丙酸	0.570	90.91	11.16	30.28	37.79	0
壬醛	0.110	64.32	24.01	127.65	84.43	171.16
己醛	0.450	0	0	16.52	0	12.34
肉豆蔻醛	5.000	7.48	0.65	0	0	0
辛醛	0.100	0	0	0	22.08	25.78
月桂醛	0.170	0	0	4.40	0	6.79
胡椒酮	68.000	0.39	1.91	0	0	0.11
乙酸乙酯	0.500	0	0	24.86	29.57	284.69
水杨酸甲酯	4.000	0	0	8.08	4.01	4.50
苯乙烯	73.000	0.18	1.24	0.74	2.53	0.70
水合桉烯	7.500	0.72	2.83	0	0	0
乙苯	0.200	0	0	85.50	82.27	8.95
萘	0.500	0	9.22	0	0	3.19
吡啶	0.001	32 791.93	53 499.02	77 867.94	121 231.52	1 353.22
二甲基二硫化物	0.110	123.19	0	0	0	0
二甲基三硫化物	0.001	8 992.58	2 498.17	13 216.18	31 384.32	2 187.50

2.3 不同产品鱼肉的电子鼻分析

电子鼻是一种仿生检测分析技术,是一种新型的快速检测食品的气味扫描仪,电子鼻拥有特定的传感器以及系统的识别模式对敏感气味进行识别,灵敏度高、响应速度快,广泛应用于挥发性气味分析^[23],结果如图 4 所示。

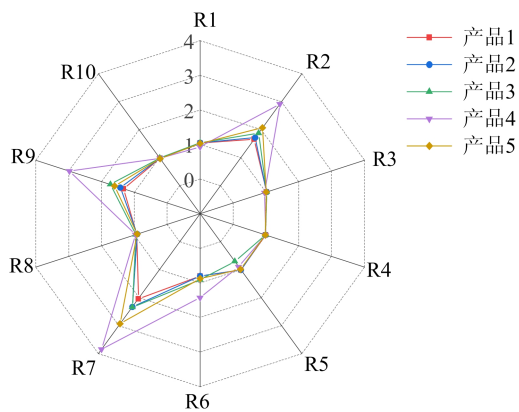


图 4 5 种臭鳊鱼产品的电子鼻雷达图

由图 4 可知:电子鼻的 10 种传感器对 5 种产品的风味均有响应值,其中响应值略高阵列序号

为 R2、R7、R9,分别对应氮氧化物、硫化物、芳烃类及有机硫化物;产品 4 的这 3 种传感器的响应值最高,从上述分析的结果来看产品 4 的硫化物以及含氮化合物(主要是吡啶)的 OAV 较其他几组高,电子鼻的测定也从侧面验证了关键化合物的存在。

2.4 感官评价分析

通过感官评价对上述 5 种臭鳊鱼产品进行分析,并验证化合物对风味的影响,评价结果见表 4 所列。从表 4 可以看出,分别从鱼肉的组织状态、色泽、气味和口感 4 个方面来评价鱼肉,其中感官评价结果较高的为产品 3,产品 4 的感官评价最低,这与上述的分析结果中产品 4 的硫化物以及含氮化合物 OAV 较高的结果相对应,由于产品 4 中鱼肉的含硫化合物和吡啶的影响较大,导致产品 4 鱼肉的感官评价较其他组差,只有 76.0 分,评分较高的产品可达 80.0 分,说明硫化物和吡啶的存在会影响臭鳊鱼鱼肉的口感及风味,但是最后几种臭鳊鱼产品的感官评价总分相差并不大,说明在蒸煮后的臭鳊鱼风味良好,并不会因硫化

物和叫噪的影响而对鱼肉口感造成太大影响。

表4 5种臭鳊鱼产品的感官评价结果

评价指标	产品1	产品2	产品3	产品4	产品5
组织状态	80.0	82.0	82.0	79.1	82.8
色泽	79.9	78.7	80.4	77.1	78.1
气味	77.8	76.2	77.9	71.0	74.5
口感	79.5	78.6	79.5	76.8	79.1
均分	79.3	78.9	80.0	76.0	78.5

3 结 论

随着臭鳊鱼产品越来越受到消费者的喜爱,对于臭鳊鱼的研究也越来越多。臭鳊鱼是一种发酵产品,在发酵过程中影响因素较多,这些影响因素会导致生产的不稳定性。5种市售臭鳊鱼产品的质构没有太明显的差异,基于HS-SPME-GC-MS和电子鼻分析不同品牌臭鳊鱼的风味,共检测到86种挥发性风味化合物,其中有13种物质在5种产品中都存在,通过计算AOV最终得到7种关键风味化合物,分别为1-辛烯-3-醇、乙酸、丁酸、壬醛、苯乙烯、吡啶、二甲基三硫化物,除了以上7种关键风味物质,其他物质例如芳樟醇、乙苯、4-甲基戊酸、乙酸乙酯等在个别产品中也是较为重要的物质。不同品牌臭鳊鱼的风味不同,但是也有共同的关键风味,这为其他研究臭鳊鱼发酵以及发酵终点的风味研究提供了基础。

[参 考 文 献]

- [1] 李迪,吴萍,何美凤,等. qRT-PCR分析鳊鱼内参基因的筛选[J]. 生命科学研究, 2016, 20(3): 214-217.
- [2] 沈颖莹,吴燕燕,李来好,等. 发酵鳊鱼营养成分和安全性评价[J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 103-112.
- [3] 宋愉. 地域饮食象征符号及其传承研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2022.
- [4] 吴永祥,俞昌浩,王婷婷,等. 传统发酵臭鳊鱼的研究概述[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(19): 299-306.
- [5] 杨召侠,刘洒洒,高宁,等. 臭鳊鱼发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 253-262.
- [6] 高露,赵镭,史波林,等. GC-MS结合气味活度值分析红花椒油的关键香气物质特征[J/OL]. 食品与发酵工业, 2023: 1-9. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034195.
- [7] 王伟. 臭鳊鱼的营养成分、理化性质、风味特征及菌相组成[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [8] 柯泽华,刘贵巧,陈佳悦,等. 基于电子鼻和气相色谱质谱法对市场上臭鳊鱼风味物质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9533-9540.
- [9] 黄宇杏,方炜聪,徐纯伟,等. GC-MS-O结合OAV鉴定花生油特征香气成分[J]. 现代食品科技, 2023(4): 278-288.
- [10] 屠大伟,陈小鸿,黄永强,等. 基于电子鼻、GC-MS结合感官评价分析丰都麻辣鸡调料风味特征[J/OL]. 食品与发酵工业, 2023: 1-11. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034240.
- [11] 宋亚琼,闫晓明,丁之恩,等. 基于模糊数学的臭鳊鱼的感官评定[J]. 中国酿造, 2015, 34(5): 123-126.
- [12] 葛一笑,邹昊博,夏邦华,等. 黑龙江水域5个群体翘嘴鲌肌肉质构及营养成分比较分析[J]. 大连海洋大学学报, 2022, 37(6): 977-984.
- [13] 陈磊,郭鹏飞,郑海波,等. 发酵时间对干盐腌制臭鳊鱼品质及蛋白构象的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(9): 100-106.
- [14] 杨培,周钱静,姜绍通,等. 臭鳊鱼的质构特性、特征气味及发酵微生物的分离鉴定[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 55-62.
- [15] 周迎芹,鄢嫣,殷俊峰,等. 发酵方式对黄山臭鳊鱼菌群组成及挥发性物质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(10): 36-43.
- [16] 李春萍,吴佳佳,李燕,等. 臭鳊鱼的风味物质及风味活性物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(7): 178-184.
- [17] 里奥·范海默特. 化合物嗅觉阈值汇编[M]. 李智宇,王凯,冒德寿,等,译. 北京: 科学出版社, 2015.
- [18] 陈芝飞,蔡莉莉,郝辉,等. 香气活力值在食品关键香气成分表征中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 329-335.
- [19] FAN S S, TANG K, XU Y, et al. Characterization of the potent odorants in Tibetan Qingke Jiu by sensory analysis, aroma extract dilution analysis, quantitative analysis and odor activity values [J]. Food Research International, 2020, 137: 109349.
- [20] 唐杰. 赤水晒醋曲品质、微生物多样性及制曲工艺的探究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [21] OLIVARES A, NAVARRO J L, FLORES M. Establishment of the contribution of volatile compounds to the aroma of fermented sausages at different stages of processing and storage [J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1464-1472.
- [22] 范光. 家乡的美食: 红烧臭鳊鱼[J]. 文化产业, 2021(16): 13-14.
- [23] 陈丽惠. 基于电子鼻技术的茶汤香气成分分析[J]. 长春师范大学学报, 2022, 41(12): 80-84.

(责任编辑 闫杏丽)