

米曲霉发酵牡蛎调味基料的开发及其风味品质分析

杨志伟^{1,2}, 包琪¹, 杨锡洪^{1,3}, 徐永钦⁴, 解万翠^{1,2,3,4*}

(1. 青岛科技大学海洋科学与生物工程学院, 山东青岛 266042) (2. 青岛中信源食品科技有限公司, 山东青岛 266108) (3. 青岛科达未来生物科技有限公司, 山东青岛 266042) (4. 荣成市日鑫水产有限公司, 山东威海 264300)

摘要: 该研究以牡蛎肉为原料, 采用米曲霉为发酵菌种, 在 35 °C 下恒温发酵制备新型牡蛎调味基料, 并对其进行电子鼻分析、顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用分析和感官评价。结果表明, 牡蛎肉中挥发性成分以反-2-顺-6-壬二烯醛、1-戊烯-3-醇和 2-正戊基呋喃为主, 米曲霉发酵后, 反-2-顺-6-壬二烯醛的含量大幅升高, 1-戊烯-3-醇含量逐渐下降。感官评价结果表明添加 0.1% 米曲霉发酵 48 h 后的发酵基料风味最好, 此时顺-4-庚烯醛、反-2-顺-6-壬二烯醛等关键挥发性成分的含量最高, 其中反-2-顺-6-壬二烯醛的香气活度值达到最大值 (OAV=110), 是影响牡蛎发酵基料特征风味的关键成分。此外, 牡蛎发酵液在不同发酵时间的感官评价结果与反-2-顺-6-壬二烯醛的相对含量具有良好的线性关系, 表明发酵液中反-2-顺-6-壬二烯醛的相对含量与发酵液的感官评价结果的相关系数 $R^2=0.97$, 说明其具有成为新型牡蛎调味基料风味品质评价指标的潜力。

关键词: 牡蛎; 米曲霉; 发酵调味品; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2023)04-271-277

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.4.0554

Development of *Aspergillus oryzae* Fermented Oyster Seasoning Base and Its Flavor Quality Analysis

YANG Zhiwei^{1,2}, BAO Qi¹, YANG Xihong^{1,3}, XU Yongqin⁴, XIE Wancui^{1,2,3,4*}

(1. College of Marine Science and Biological Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, China) (2. Qingdao Citsource Food Science & Technology Co. Ltd., Qingdao 266108, China)

(3. Qingdao Keda Future Biotechnology Co. Ltd., Qingdao 266042, China)

(4. Rongcheng Rixin Aquatic Products Co. Ltd., Rongcheng 264300, China)

Abstract: In this study, a new oyster seasoning base was prepared via fermentation of the raw material, oyster meat, with *Aspergillus oryzae* at a constant temperature of 35 °C, and the based was subjected to electronic nose analysis, analysis by headspace solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and sensory evaluation. The results showed that the volatile components in oyster meat were dominated by (2E,6Z)-nonadienal, 1-penten-3-ol and 2-pentylfuran, and the content of (2E,6Z)-nonadienal increased significantly and the content of 1-penten-3-ol decreased gradually after the fermentation by *Aspergillus oryzae*. The sensory evaluation results showed that the flavor of the fermented base was the best after 48 h of fermentation with 0.1% *Aspergillus oryzae*, and the content of key volatile components such as cis-4-heptanol and (2E,6Z)-nonadienal reached the highest, among which (2E,6Z)-nonadienal had the highest odor activity value (OAV=110) and acted as the key component affecting the characteristic flavor of the oyster fermented base. In addition, the sensory evaluation revealed that the oyster fermentation broth yielded at different fermentation times showed a good linear relationship with the relative content of trans-2-cis-6-nonadienal, with a correlation coefficient R^2 of 0.97, indicating its potential as a new oyster seasoning base.

Key words: oyster; *Aspergillus oryzae*; fermented seasoning; volatile components

引文格式:

杨志伟,包琪,徐永钦,等.米曲霉发酵牡蛎调味基料的开发及其风味品质分析[J].现代食品科技,2023,39(4):271-277.

YANG Zhiwei, BAO Qi, XU Yongqin, et al. Development of *Aspergillus oryzae* fermented oyster seasoning base and its flavor quality analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 271-277.

收稿日期: 2022-05-03

基金项目: 山东省中央引导地方科技发展专项资金项目 (YDZX2022176); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2021TSGC1251)

作者简介: 杨志伟 (1986-), 男, 硕士, 研究方向: 海洋生物资源利用, E-mail: 180042442@qq.com

通讯作者: 解万翠 (1969-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品风味与安全, E-mail: xiewancui@163.com

水产调味品香气浓郁、滋味鲜美、营养丰富,在人类饮食结构中占据重要地位。研究表明,水产调味品按加工方法分为抽提型、分解型或反应型等^[1],发酵法是分解型水产品调味品的主要工艺。在发酵过程中,通过微生物代谢产生的复杂酶系将水产品中的蛋白质、脂质和碳水化合物等大分子物质分解为呈味肽、脂肪酸、核苷酸等呈香呈味前体成分,然后经过次生代谢途径进一步生成有机酸和呈味核苷酸等滋味物质以及醛类和酮类等挥发性香气成分^[2]。其中,鱼露、虾酱和蚝酱等作为发酵水产调味品,广泛流行于我国沿海地区。

牡蛎作为我国重要的养殖贝类之一,滋味鲜美,营养丰富。研究表明,牡蛎中蛋白含量达 51%~57%,碳水化合物含量达 17%~22%,同时富含 DHA、EPA 等活性脂质^[3]以及锌、牛磺酸、维生素 B2 和维生素 B12 等营养物质^[4]。蚝油以牡蛎为原料并被广泛使用的海鲜调味品,提鲜增味效果显著^[5]。研究发现,使用发酵法制备蚝汁,随着发酵时间延长,牡蛎中的脂质降解为各类脂肪酸,以及提高呈味氨基酸的含量,产品的风味品质优于传统方法制备的蚝油^[6]。可见,使用发酵法制备高品质牡蛎调味基料具备一定的可行性。而米曲霉^[7] (*Aspergillus oryzae*) 是调味品生产中较为常见的发酵菌种,具有强大的产酶能力,被广泛用于酱油、豆豉等传统调味料的生产以及米酒、粮食酒等酒曲的制作^[8]。Xu 等^[9]发现,在酱油发酵 60 d 后加入米曲霉菌丝体,能够增加酱油中挥发性风味成分的含量; Murthy 等^[10]使用咖啡浆中分离的米曲霉生产羧肽酶,能够增加咖啡中风味前体物质的含量; Han 等^[11]通过对比酒曲中米曲霉和芽孢杆菌的发酵能力,发现 2-甲基丁醛、异戊醛和麦芽酚等独特的风味成分均由米曲霉产生。可见,米曲霉发酵剂对食品的风味具有良好的优化作用,并具有作为新型高品质调味基料发酵菌种的潜力。

本文以牡蛎为原料,通过添加米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 发酵制备新型调味基料,使用感官品评法分析不同发酵时间的挥发性风味特征,通过固相微萃取-气相色谱质谱联用 (Solid-Phase Microextraction-Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, SPME-GC-MS) 技术结合气味活性值 (Odor Activity Values, OAV), 分析挥发性风味物质组成及关键香气化合物,建立米曲霉-牡蛎发酵液的感官属性与风味物质间的相关性,以期为发酵剂的开发及牡蛎新型调味品的产业化提供理论基础。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

去壳牡蛎肉, 购买于青岛市城阳海鲜批发市场, -20 °C 贮藏; 米曲霉孢子粉, 济宁祥园生物科技有限公司; 食盐、白砂糖、味精、小麦粉、燕麦麸皮, 市售; 大豆分离蛋白, 山东禹王集团; 酵母提取物 Y306, 广西一品鲜生物科技有限公司; 黄原胶, 食品级, 中轩生化有限公司; 2,4,6-三甲基吡啶、氢氧化钠, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 去离子水, 青岛世纪星化学试剂有限公司。

1.2 实验仪器

恒温发酵箱、高压灭菌锅、恒温气浴振荡仪、循环水式真空泵、电子 pH 计, 上海力辰仪器科技有限公司; 气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦科技公司; 砂芯漏斗, 青岛世纪星化学试剂有限公司; 固相微萃取手动进样手柄 57330-U 及萃取头 50/30 UM DVB/CAR/PDMS, 美国 Supelco 公司; PEN3 型电子鼻, 德国 Air sense 仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 米曲霉-牡蛎发酵液的制备工艺

取 50 g 牡蛎肉, 7.5 g 麸皮粉, 2.5 g 大豆分离蛋白, 10 g 去离子水, 7 g 食盐, 置于 250 mL 锥形瓶, 搅拌均匀 121 °C 灭菌 20 min; 称取 2.4 g 经 110 °C 高压灭菌 15 min 的小麦粉, 与 0.024 g 米曲霉孢子粉混合, 加入牡蛎混合液中, 使用封口膜封住瓶口, 置于 35 °C、200 r/min 恒温振荡仪中, 待瓶内半固态混合物至可流动状, 开始计算发酵时长。以上米曲霉-牡蛎发酵物平行制备 5 份, 发酵时间分别为 24、48、72、96、120 h。取出不同发酵时间的米曲霉-牡蛎发酵物, 加入 140 mL 去离子水, 经 121 °C 灭菌 60 min 后, 冷却抽滤, 保留滤液, 即为米曲霉-牡蛎发酵液。

1.3.2 电子鼻分析

牡蛎发酵前后的样品均通过 PEN-3 型电子鼻系统分析, 各金属氧化物传感器的响应信息如表 1 所示。

准确称量 (5.00±0.01) g 样品置于 20 mL 顶空瓶, 加盖密封待检, 电子鼻设置自动调零时间 10 s, 样品准备时间 5 s, 内部气体流量 400 mL/min, 进样流量 400 mL/min, 样品测试时间为 150 s, 电子鼻清洗时间 100~300 s, 每个样品重复 3 次。

表 1 电子鼻传感器信息

| 传感器名称 | 响应的挥发性物质 | 检测限/(mL m ⁻³) |
|-------|-------------|---------------------------|
| W1C | 芳香族化合物 | 10 |
| W5S | 氮氧化合物 | 1 |
| W3C | 氨 | 10 |
| W6S | 氢 | 100 |
| W5C | 芳香族, 非极性化合物 | 1 |
| W1S | 甲烷 | 100 |
| W1W | 无机硫化物 | 1 |
| W2S | 醇类、醛类、酮类 | 100 |
| W2W | 有机硫化物 | 1 |
| W3S | 高浓度烷烃 | 10 |

表 2 感官评价标准及其对应分值

| 评价项目 | 分值 | 评价标准 |
|------|--------|--------------------|
| 香气 | 0~20 | 明显伴有不快的腥臭味 |
| | 20~40 | 不及蚝油, 微有腥臭味 |
| | 40~60 | 与蚝油相似, 无差异不大 |
| | 60~80 | 优于蚝油, 具有自然的牡蛎香气 |
| | 80~100 | 明显优于蚝油, 海鲜风味浓郁 |
| 口感 | 0~20 | 口腔舒适感差 |
| | 20~40 | 不及蚝油, 余味不舒适 |
| | 40~60 | 与蚝油相似, 无差异不大 |
| | 60~80 | 优于蚝油, 口感舒适 |
| | 80~100 | 明显优于蚝油, 鲜味浓郁 |
| 整体 | 0~20 | 整体风味差, 极不协调 |
| | 20~40 | 不及蚝油, 有腥味, 不协调 |
| | 40~60 | 与蚝油相似, 无差异不大 |
| | 60~80 | 优于蚝油, 整体风味自然协调 |
| | 80~100 | 明显优于蚝油, 口感浓郁, 风味自然 |

1.3.3 顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用分析

称取 10 g 待测样品, 以 2,4,6-三甲吡啶 (质量分数为 10⁻⁶) 为内标, 搅拌均匀后置于 20 mL 顶空瓶中, 封盖后置于 40 °C 恒温水浴锅中恒温萃取 60 min 后进样分析, 每个样品重复进样 3 次。

GC 条件: 高纯度氦气 (He), 进样口加热器温度 250 °C, 分流比 50:1, 流量 1 mL/min, 升温条件: 起始温度 40 °C, 保持时间 5 min; 升温速率为 3 °C/min, 升温至 250 °C, 保持时间 10 min。MS 条件: EI 离子源, 离子源温度 230 °C, 四级杆温度 150 °C, 质量扫描范围 30~350, 溶剂延迟 1 min。

1.3.4 牡蛎调味汁的调配

取 5 g 酵母抽提物、5 g 葡萄糖、10 g 白砂糖、0.5 g 5'-呈味核苷酸二钠、50 g 去离子水, 置于 250 mL 三

口烧瓶, 搅拌均匀并加热至 95 °C 恒温 30 min, 加入 5 g 食盐、5 g 味精、1 g 变性淀粉、0.2 g 葡萄糖、5 g 牡蛎发酵液、13.3 g 去离子水, 升温至 90 °C 恒温 10 min。

1.3.5 感官评价方法

选 10 名具备描述和识别风味特征能力的感官小组成员, 以市售蚝油作为对照, 使用对不同调味汁进行感官评价, 同一样品间隔 15 min 后重新打分, 重复 3 次, 并统计平均得分。评分标准如表 2, 其中香气权重 30%, 口感权重 20%, 整体权重 50%, 三者相加, 最终所得分数取 10 人评分的平均值。

1.3.6 数据分析

使用 SPSS、Excel 对实验结果进行主成分分析和误差分析, 使用 Origin 2018 进行绘图和线性拟合, 分析各实验结果之间的相关性。

2 结果与讨论

2.1 发酵前后的分子感官分析

采用电子鼻对样品的总体香气特点进行分析, 如图 1a 所示。

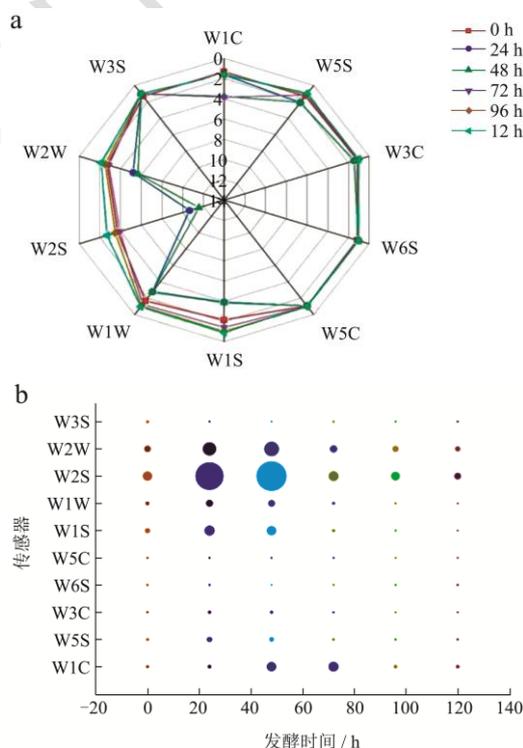


图 1 不同发酵时间下米曲霉牡蛎发酵液香气属性雷达图 (a) 与响应值热点图 (b)

Fig.1 (a) Aroma radar plot and (b) Hot plot of sensor response of E-nose of *Aspergillus oryzae* fermentation at different fermentation times

牡蛎经发酵后, W2S、W1W、W1S、W3C 和 W2W 传感器的响应值明显高于未经发酵的。据表 1

中的对应关系,表明发酵过程中伴有醇类、醛类、酮类、芳香族、烃类等多种挥发性物质生成。据图 1b 所示,牡蛎经米曲霉发酵 24 h 或 48 h 后, W2S 传感器的响应值明显增大,即醇类、醛类、酮类等化合物为此阶段的主要挥发性成分。曲霉属在发酵早期脂肪酶活性较高,脂质在脂肪酶作用下能够产生大量醛、酮等羰基化合物^[12],而 W2S 传感器对羰基化合物最为敏感,说明在此阶段下挥发性成分主要为醇类、醛类和酮类化合物。

2.2 发酵前后的 HS-SPME-GC-MS 挥发性成分分析

电子鼻结果表明,牡蛎发酵调味品在不同发酵时间的挥发性成分差异较大,但是电子鼻只能分析挥发性物质的总体特征。为了深入研究牡蛎在发酵过程中因其风味差异的挥发性成分和关键香气物质,采用 HS-SPME-GC-MS 法结合 OAV 分析不同发酵时间的米曲霉牡蛎-发酵液的挥发性成分。

发酵前后各类化合物的相对含量变化趋势如图 2 所示,未经发酵的牡蛎挥发性成分中,羰基类化合物、烃类化合物、羧基化合物均处于较低水平。羟基化合物以及羰基类化合物的相对含量在发酵初期快速上升,为主要的挥发性成分,并于 48 h 相对含量达到最大值,与电子鼻 W2S 传感器在发酵 48 h 响应值最大的分析结果一致,说明此时醇类、醛类以及酮类化合物的生成量达到最大值,并在挥发性成分中占主体地位。

由于化合物的相对含量并不等同于物质对香气的贡献程度^[13],为确定关键的风味成分,将测得挥发性

成分的相对含量转化为气味活性值 OAV,将其定义为挥发性成分的相对含量与阈值的比值。OAV 值大于 1 的化合物对产品的气味起主要作用^[14],挥发性化合物的 OAV 值越大对香气的贡献越大。相对含量为以 2,4,6-三甲基吡啶为内标所测得挥发性成分的相对百分含量,阈值据 Van Gemert 等汇编资料^[15]中查得。

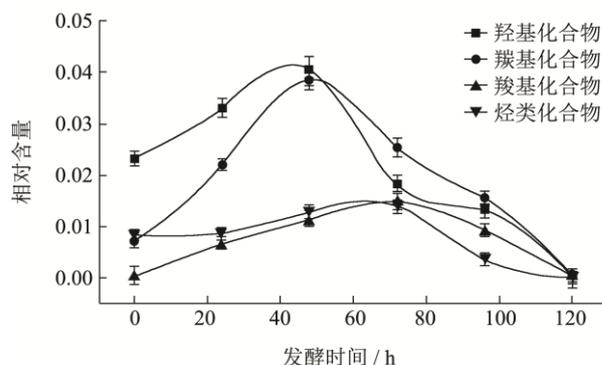


图 2 不同发酵时间的各类化合物变化趋势图

Fig.2 Tendency of volatile components in different stage of fermentation

表 3 中列出了不同发酵时间 OAV 值大于 1 的挥发性成分。未经发酵时,牡蛎的风味关键性成分为反-2-顺-6-壬二烯醛、1-戊烯-3-醇和 2-正戊基呋喃,研究表明,1-戊烯-3-醇被认为有鱼腥气息^[16],反-2-顺-6-壬二烯醛具有黄瓜样香气^[17],研究表明,2-戊基呋喃被认为具有水煮小麦样香气^[18]。当发酵至 24 h 时,反-2-顺-6-壬二烯醛的含量大幅升高,顺-4-庚烯醛、顺-4-己烯-1-醇等开始生成,前者被认为是鱼油中鱼腥味的来源^[19],后者被认为是武夷岩茶中青涩味的来源^[20];1-戊烯-3-醇相对含量降为 0,不再影响风味。

表 3 不同阶段下米曲霉-牡蛎发酵液的关键挥发性成分分析 (OAV 值>1)

Table 3 Analysis of key volatile components (OAV>1) of fermented oyster condiments by *Aspergillus oryzae* in different stage

| 化合物名称 | 阈值/ (mg/kg) | 发酵时间/h | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 未经发酵 | | 24 | | 48 | | 72 | | 96 | | 120 | |
| | | 含量/% | OAV | 含量/% | OAV | 含量/% | OAV | 含量/% | OAV | 含量/% | OAV | 含量/% | OAV |
| 1-戊烯-3-醇 | 0.002 | 0.34 | 1.71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 异戊醇 | 0.005 | 0 | 0 | 0.40 | 0.8 | 1.51 | 3.02 | 0.24 | 0.49 | 0.20 | 0.41 | 0 | 0 |
| 顺-4-己烯-1-醇 | 0.0008 | 0 | 0 | 0.11 | 1.4 | 0.13 | 1.61 | 0.07 | 0.89 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 正己醛 | 0.006 | 0.03 | 0.05 | 0.56 | 0.9 | 1.25 | 2.09 | 0.29 | 0.48 | 0.20 | 0.33 | 0 | 0 |
| 2-己烯醛 | 0.0002 | 0.02 | 0.2 | 0.10 | 1.2 | 0.01 | 0.09 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 顺-4-庚烯醛 | 0.00004 | 0 | 0 | 0.16 | 4 | 0.26 | 6.54 | 0.23 | 5.87 | 0.20 | 4.98 | 0.10 | 3.05 |
| E,Z-2,6-壬二烯醛 | 0.00002 | 0.09 | 54.6 | 0.20 | 105 | 0.22 | 110 | 0.15 | 61.9 | 0.12 | 60.3 | 0.11 | 57.5 |
| 异戊酸 | 0.0001 | 0 | 0.16 | 0.01 | 0.5 | 0.16 | 5.28 | 0.01 | 0.47 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-戊基呋喃 | 0.001 | 0.73 | 1.53 | 0.73 | 1.5 | 1.29 | 2.68 | 1.12 | 2.33 | 0.36 | 0.75 | 0.01 | 0.01 |

当发酵至 48 h 时,除 2-己烯醛开始下降外,所有大于 OAV>1 的风味成分均达到最大值,按对风味影响程度的大小依次为反-2-顺-6-壬二烯醛、顺-4-庚烯醛、异戊酸、异戊醇、2-戊基呋喃、正己醛,其中异戊酸被认为是葡萄酒发酵风味的来源^[21],异戊醇是芝麻香白酒风味的重要组成部分^[22],正己醛被认为是鱼糜腐败后异味的来源^[23]。可见,这三种物质的产生均与发酵有关,其中异戊醇和正己醛两者更是发酵食品风味的重要影响因素。发酵超过 72 h 后,所有风味物

质含量均快速下降,发酵至 120 h 后,对风味仍有较大影响的挥发性成分为反-2-顺-6-壬二烯醛和顺-4-庚烯醛。综上所述,在米曲霉作用下,发酵 48 h 时的牡蛎发酵液挥发性风味成分最丰富。反-2-顺-6-壬二烯醛是牡蛎的主要风味成分,其含量随着发酵过程而变化,使用米曲霉发酵牡蛎,有利于关键风味物质的形成,提高产品的风味品质。

2.3 牡蛎调味汁的感官评价

表 4 感官评价得分表

Table 4 Sensory scores of sauce with fermented material

| 评价结果 | A | B | C | D | E | F |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均值 | 65.7 | 80.2 | 82.1 | 70.3 | 69.9 | 68.1 |
| 标准偏差 | 2.5 | 2.44 | 2.58 | 2.91 | 3 | 1.73 |
| 相对标准偏差 | 4.28% | 3.20% | 3.07% | 4.04% | 4.29% | 2.54% |

表 4 中样品编号 A、B、C、D、E、F 分别对应使用未经发酵的牡蛎液和发酵时间为 24 h、48 h、72 h、96 h 与 120 h 的牡蛎发酵物调配的牡蛎调味汁。感官评价结果的相对标准偏差小于 4.5%,相对偏差较小^[24]。结果表明,使用米曲霉-牡蛎发酵液制备的牡蛎调味汁具有良好的牡蛎风味。6 组样品的总得分均大于 60,其中发酵 24 h、48 h 的样品得分最高,平均分达 80.2,说明风味优化效果较为明显;发酵 72 h、96 h、120 h 的样品得分较低,优化效果不明显。结合 HS-SPME-GC-MS 分析结果可知,感官结果的差异可能是由顺-4-庚烯醛、反-2-顺-6-壬二烯醛等关键性风味成分含量变化导致的。此感官评价结果与电子鼻分析结果、GC-MS 分析结果具有一致性。

(>0.95),说明感官评价结果与电子鼻分析结果具有一定的相关性,其中对醇、醛、酮类敏感的 W2S 传感器相关系数最大。W2S 传感器的响应值变化趋势与 GC-MS 结果中羟基及醚类化合物以及羧基类化合物的相对含量变化趋势一致。说明电子鼻分析结果、GC-MS 挥发性风味分析结果与感官结果之间具有良好的相关性。

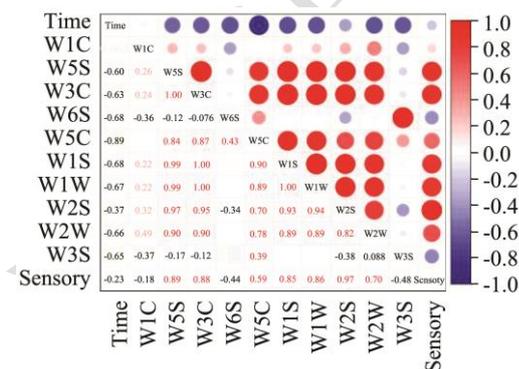


图 3 电子鼻分析结果与感官评价得分的相关性分析 ($\alpha=0.05$)

Fig.3 The correlation between the result of E-nose and sensory scores ($\alpha=0.05$)

对电子鼻分析结果与感官评价结果进行相关性分析,如图 3 所示,感官评价结果与电子鼻传感器响应值变化呈现正相关的共有 7 个成分,包含电子鼻分析结果中响应值变化最为明显 W2S、W1W、W1S、W3C 和 W2W 传感器,其中 W2S 相关系数更达 0.97

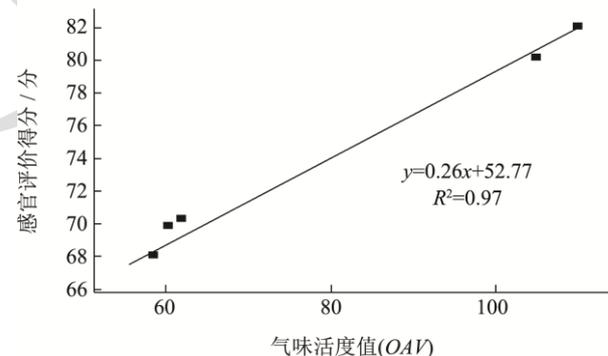


图 4 反-2-顺-6-壬二烯醛的 OAV 值与感官评价得分的线性关系 ($\alpha=0.05$)

Fig.4 The linear relationship between OAV of (2E,6Z)-nonadienal and sensory scores ($\alpha=0.05$)

Riad 等^[25]认为,反-2-顺-6-壬二烯醛为深海水产品的重要香气成分,由 DHA 等活性不饱和脂质分解产生。据 Zhu 等^[26]的研究,牡蛎中 DHA 的含量占牡蛎中总脂质含量的 18.53%~21.16%。Miranti 等^[27]研究发现,底物经米曲霉发酵能生成 DHA。由此可知,反-2-顺-6-壬二烯醛的生成受到发酵微生物的影响,并影响感官评价结果。为此对感官评价结果与反-2-顺-6-壬二烯醛的相对含量变化进行线性拟合。如图 4 所示,反-2-顺-6-壬二烯醛在不同发酵时间下的气味活度值 OAV 与感官评价结果具有良好的线性关系,相关系数

$R^2=0.97>0.95$, 二者具有一定的相关性。由此认为,反-2-顺-6-壬二烯醛是影响牡蛎发酵液风味的重要因素,其含量与发酵时间具有相关性,具有作为牡蛎发酵液风味品质评价指标的潜力。

3 结论

牡蛎经米曲霉发酵后的关键性风味成分发生明显变化,发酵前影响最大的风味成分为反-2-顺-6-壬二烯醛、1-戊烯-3-醇和2-正戊基呋喃,发酵后转变为反-2-顺-6-壬二烯醛、顺-4-庚烯醛、异戊酸、异戊醇、2-戊基呋喃、正己醛、顺-4-己烯-1-醇及2-己烯醛。

使用电子鼻分析、GC-MS分析以及感官评价三种方法评估发酵过程中挥发性风味成分与感官品质的变化,结果具有良好的相关性。电子鼻分析结果显示,发酵过程中变化最大的风味成分为醇、醛、酮类化合物;结合GC-MS结果及气味活度值法,反-2-顺-6-壬二烯醛是影响牡蛎发酵液风味的主要挥发性成分,其含量随着发酵过程变化,发酵48 h达最大值。感官评价结果表明,反-2-顺-6-壬二烯醛相对含量的变化对发酵液风味品质具有一定的影响,其相关含量与感官评价结果具有良好的线性关系,相关系数 $R^2=0.97>0.95$,说明二者具有一定的相关性。因此,反-2-顺-6-壬二烯醛的相对含量具有作为评价牡蛎发酵液风味品质指标的潜力。

参考文献

- [1] 黄晓婷.发酵型海鲜调味品的研究[J].轻工科技,2020,2:9-10.
- [2] 陈倩,李永杰,扈莹莹,等.传统发酵食品中微生物多样性与风味形成之间关系及机制的研究进展[J].食品工业科技,2021,42(9):412-419.
- [3] Shen Liu, Li Li, Wei Wang, et al. Characterization, fluctuation and tissue differences in nutrient content in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Qingdao, northern China [J]. Aquaculture Research, 2020, 51(4): 1353-1364.
- [4] Masahiro Y, Koji K, Ayaka E, et al. Characterization of taste and micronutrient content of rock oysters (*Crassostrea nippona*) and Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in Japan [J]. International Journal of Gastronomy & Food Science, 2018, 13: 52-57.
- [5] 陈金秋.蚝油加工技术[J].食品工业科技,1999,20(3):58-59.
- [6] 许凌志.基于模糊数学集模型构建的发酵蚝油品质组分评定研究[J].中国调味品,2020,45(5):149-151.
- [7] He Bin, Tu Yayi, Jiang Chunmiao, et al. Functional Genomics of *Aspergillus oryzae*: Strategies and progress [J]. Microorganisms, 2019, 7(4): 103.
- [8] Daba G M, Elkhateeb W A, Mostafa F A. The ancient koji mold (*Aspergillus oryzae*) as a modern biotechnological tool [J]. Bioresources and Bioprocessing, 2021, 8(50): 1-17.
- [9] XU Ning, LIU Yaqi, HU Yong, et al. Autolysis of *Aspergillus oryzae* mycelium and effect on volatile flavor compounds of soy sauce [J]. Journal of Food Science, 2016, 81(7-9): 1883-1890.
- [10] Murthy P S, Sneha H P, Basavaraj K, et al. Modulation of coffee flavor precursors by *Aspergillus oryzae* serine carboxypeptidases [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 113: 108312.
- [11] Seo H S, Lee S, Singh D, et al. Evaluating the headspace volatolome, primary metabolites, and aroma characteristics of koji fermented with *Bacillus amyloliquefaciens* and *Aspergillus oryzae* [J]. Journal of Microbiology & Biotechnology, 2018, 28(8): 1260-1269.
- [12] Kim Y S, Kum S J, Yang S O, et al. Effects of *Aspergillus* species inoculation and their enzymatic activities on the formation of volatile components in fermented soybean paste (doenjang) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(5): 1401-1418.
- [13] ZHU Jiancai, CHEN Feng, WANG Lingying, et al. Characterization of the key aroma volatile compounds in cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) using gas chromatography-olfactometry (GC-O) and odor activity value (OAV) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(24): 4990-4999.
- [14] Xiao Zuobing, Chen Linian, Niu Yunwei, et al. Evaluation of the interaction between esters and sulfur compounds in pineapple using feller's additive model, OAV, and odor activity coefficient [J]. Food Analytical Methods, 2021: 1-16.
- [15] L J Van Gemert. Compilations of Odour Threshold Values in Air, Water, and other Media [M]. Science Press, 2015: 10-365.
- [16] Aaslyng M D, Schafer A. The effect of free fatty acids on the odor of pork investigated by sensory profiling and GC-O-MS [J]. European Food Research & Technology, 2008, 226(5): 937-948.
- [17] Buescher R H, Buescher R W. Production and stability of (E, Z)-2, 6-nonadienal, the major flavor volatile of cucumbers [J]. Journal of Food Science, 2010, 66(2): 357-361.
- [18] XI Jinzhong, XU Dan, WU Fengfeng, et al. The aroma compounds of Chinese steamed bread fermented with sourdough and instant dry yeast [J]. Food Bioscience, 2020,

- 38: 100775.
- [19] Hartvigsen K, Lund P, Hansen L F, et al. Dynamic headspace gas chromatography-mass spectrometry characterization of volatiles produced in fish oil enriched mayonnaise during storage [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(10): 4858-4867.
- [20] YANG Ping, SONG Huanlu, LIN Yanping, et al. Differences of characteristic aroma compounds in Rougui tea leaves with different roasting temperatures analyzed by switchable GC-O-MS and GC×GC-O-MS and sensory evaluation [J]. *Food & Function*, 2021, 12(11): 4797-4807.
- [21] LAN Yibin, GUO Jingxian, QIAN Xu, et al. Characterization of key odor active compounds in sweet petit manseng (*Vitis vinifera L.*) wine by gas chromatography-olfactometry, aroma reconstitution, and omission tests [J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(4): 1258-1272.
- [22] SUN Jingyuan, LI Qinya, LUO Siqi, et al. Characterization of key aroma compounds in Meilanchun sesame flavor style baijiu by application of aroma extract dilution analysis, quantitative measurements, aroma recombination, and omission/addition experiments [J]. *RSC Advances*, 2018, 8(42): 23757-23767.
- [23] ZHANG Huilin, WU Dan, HUANG Qilin, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of yeast β -glucan for off-odor compounds in silver carp mince - Science Direct [J]. *Food Chemistry*, 2020, 319: 126232.
- [24] ZOU Jian, SHI Chenyi, XU Jingyi, et al. Application of solid phase extraction (SPE) coupled to dispersive liquid-liquid micro-extraction (DLLME) and sensory evaluation technique for the study of taste and odor active compounds in water [J]. *Water Supply*, 2020, 20(7): 2737-2746.
- [25] Riad N, Zahi M R, Bouzidi N, et al. Occurrence of marine ingredients in fragrance: update on the state of knowledge [J]. *Chemistry*, 2021, 3(4): 1437-1463.
- [26] ZHU Yijing, LI Qi, YU Hong, et al. Biochemical composition and nutritional value of different shell color strains of pacific oyster *Crassostrea gigas* [J]. *Journal of Ocean University of China*: 2018, 17(4): 897-904.
- [27] Miranti A, Arbianti R, Utami T S. Effect of pH, temperature and medium agitation rate in production of AA, DHA, EPA from *Aspergillus oryzae* with submerged fermentation [C]// IOP Conference Series Earth and Environmental Science. Bali, Indonesia: Iop Publishing Ltd, 2018, 105(1): 012113.