

传统发酵和接种发酵霉鱼的品质比较分析

尹红梅, 陈浩然, 尹紫冉, 唐桢懿, 曾金秀, 施晓丹, 张露, 涂宗财

Comparison of Volatile Flavor Compounds and Qualities between Traditional Fermented and Inoculated Fermented of Mei yu

YIN Hongmei, CHEN Haoran, YIN Ziran, TANG Zhenyi, ZENG Jinxiu, SHI Xiaodan, ZHANG Lu, and TU Zongcai

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070267>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

自然发酵与人工接种发酵法发酵泡菜的品质比较

Quality Comparison of Pickled Cabbage Fermented by Natural Fermentation and Artificial Inoculation

食品工业科技. 2019, 40(18): 368-372 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.18.058>

罗伊氏乳杆菌对发酵鱼糜挥发性风味物质的影响

Effect of *Lactobacillus reuteri* on Volatile Flavor Compounds of Fermented Surimi

食品工业科技. 2021, 42(12): 240-245 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070234>

传统发酵与接种发酵酸肉安全品质特性的分析

Analysis of Safe Quality Characteristics of Traditional Fermentation and Inoculation Fermented Sour Meat

食品工业科技. 2022, 43(15): 257-264 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021100085>

不同接种量的清酒乳杆菌对低钠盐风干肠品质的改善作用研究

Study on Different Inoculation Levels of *Lactobacillus sakei* on the Improvement of Quality Characteristics of Low-sodium Dry Sausages

食品工业科技. 2023, 44(7): 133-142 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022060041>

植物乳杆菌与酿酒酵母混合发酵对红枣酒挥发性风味物质的影响

Effects of Mixed Fermentation of *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* on Volatile Flavor Compounds of Jujube Wine

食品工业科技. 2023, 44(8): 170-179 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070043>

益生菌发酵猕猴桃果渣饮料及其营养品质与风味分析

Probiotic Fermented Beverage Based on Kiwifruit Residue and Analysis of Its Nutritional Quality and Flavor

食品工业科技. 2022, 43(20): 252-262 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022020166>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

尹红梅, 陈浩然, 尹紫冉, 等. 传统发酵和接种发酵霉鱼的品质比较分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(15): 56–65. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070267

YIN Hongmei, CHEN Haoran, YIN Ziran, et al. Comparison of Volatile Flavor Compounds and Qualities between Traditional Fermented and Inoculated Fermented of Mei yu[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(15): 56–65. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070267

· 研究与探讨 ·

传统发酵和接种发酵霉鱼的品质比较分析

尹红梅¹, 陈浩然^{2,+}, 尹紫冉¹, 唐桢懿², 曾金秀², 施晓丹^{1,*}, 张露^{2,3}, 涂宗财^{3,4,*}

(1. 江西师范大学健康学院, 江西南昌 330022;

2. 江西师范大学生命科学学院, 江西南昌 330022;

3. 国家淡水鱼加工技术研发专业中心, 江西南昌 330022;

4. 南昌大学食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 江西南昌 330047)

摘要:目的: 本研究考察清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵对中国传统发酵霉鱼品质的影响, 为接种发酵霉鱼的工艺开发提供理论依据和基础研究数据。方法: 通过感官评价、电子鼻、质构仪、固相微萃取结合气相色谱-质谱联用等技术比较不同盐浓度的传统发酵和接种发酵霉鱼在发酵过程中的感官评价得分、色泽、质构及挥发性风味组分。结果: 2% 盐浓度、发酵 3 d 的接种发酵霉鱼具有较好的色泽、质构和较高的感官评分。相比传统发酵霉鱼, 接种发酵霉鱼对硫化物和甲基类化合物的响应值较低; 两种发酵霉鱼的主要风味组分和关键风味成分总体相似, 然而, 相比接种发酵霉鱼, 传统发酵霉鱼中检测出对霉鱼风味具有修饰作用的异戊醇(酸臭味)和 2-乙酰基吡咯(霉味)化合物。结论: 相比传统发酵, 接种发酵能降低腐败程度, 改善霉鱼的感官品质, 清酒乳杆菌 JXNU1-3 可作为良好的发酵剂应用于接种发酵霉鱼的工艺开发。

关键词: 霉鱼, 清酒乳杆菌 JXNU1-3, 接种发酵, 感官品质, 风味

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)15-0056-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070267



本文网刊:

Comparison of Volatile Flavor Compounds and Qualities between Traditional Fermented and Inoculated Fermented of Mei yu

YIN Hongmei¹, CHEN Haoran^{2,+}, YIN Ziran¹, TANG Zhenyi², ZENG Jinxiu²,
SHI Xiaodan^{1,*}, ZHANG Lu^{2,3}, TU Zongcai^{3,4,*}

(1. School of Health, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

2. College of Life Science, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

3. National R & D Center for Freshwater Fish Processing, Nanchang 330022, China;

4. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: Objective: To provide theoretical basis and basic research data for the technological development of inoculated Chinese traditional fermented fish, Mei yu, the effects of inoculated fermentation with *Lactobacillus sakei* JXNU1-3 on the quality of Mei yu were investigated. Methods: The sensory evaluation, color, texture and composition of volatile flavor compounds of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with *Lactobacillus sakei* JXNU1-3 with different salt concentration during fermentation were compared by sensory evaluation, electronic nose, texture analyzer and solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry (SPEM/GC-MS). Result: It was showed that inoculated fermented Mei yu with a salt concentration of 2% and fermentation time of 3 days had better color, texture, and higher sensory score. The inoculated fermented Mei yu had lower response values to sulfides and methylated compounds

收稿日期: 2023-08-01 +并列第一作者

基金项目: 国家重点研发计划课题(2022YFD2100902); 国家现代农业产业技术体系资助(CARS-45)。

作者简介: 尹红梅(1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品功能组分及活性, E-mail: yinhongmei556@126.com。

陈浩然(2002-), 男, 大学本科, 研究方向: 食品生物化学, E-mail: chenhaoran021220@163.com。

* 通信作者: 涂宗财(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品精深加工和高值化综合利用, E-mail: tuzc_mail@aliyun.com。

施晓丹(1990-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品生物活性分子的开发利用, E-mail: xdshi0906@163.com。

compared with the traditional fermented Mei yu. Further, the main flavor substances and key flavor components of these two fermented fish samples were similar. However, compared with inoculated fermented Mei yu, isoamyl alcohol (sour odor) and 2-acetylpyrrole (musty odor) compounds were only detected in traditional fermented Mei yu. Conclusions: Compared with traditional fermentation, inoculated fermentation could reduce the corruption degree and improve the sensory quality of Mei yu, which indicated that *Lactobacillus sakei* JXNU1-3 could be used as a good starter culture for the development of inoculated fermentation technology of Mei yu.

Key words: Mei yu; *Lactobacillus sakei* JXNU1-3; inoculated fermentation; sensory quality; flavor

霉鱼是江西省吉安市永丰县的一道特色佳肴,是地方代表性美食。霉鱼的主要原料是鳊鱼块、辣椒粉和盐,经过晾干、腌制和发酵工艺制得,形成典型的霉鱼香味^[1]。发酵的方法分为传统发酵和接种发酵。然而,霉鱼现多由作坊通过传统发酵的方式加工生产,尚无完整的企业标准,产品品质和质量不稳定;其次,在发酵保存期间,容易滋生腐败菌,导致食品安全和营养得不到保证^[2]。随着经济不断发展,人们物质水平提高,食品安全和营养问题已成为公众关注的焦点,因此,亟需对霉鱼制作工艺过程进行标准化技术调控,以保证食品安全和质量,突破霉鱼产业的发展瓶颈。

接种发酵工艺的研究既能满足人们对传统发酵食品的需求,也能消除传统发酵带来的食品安全顾虑^[3]。其中,乳酸菌发酵作为最古老、最经济、最有价值的生物技术方法之一,它能保持和改善农产品的营养、感官、安全性和保质期^[4]。研究人员将发酵性能优良的乳酸菌接种到鱼肉制品中,既能提高鱼肉制品的食品安全性,缩短加工时间,又能提升其感官价值^[5]。Benjakul 等^[6]将乳酸菌应用于接种发酵 Som-fug(一种泰国发酵鱼制品),显著缩短了产品发酵时间,发酵鱼制品的硬度和胶粘性均显著增加。张潇等^[7]研究发现接种发酵可抑制鲑鱼中有害菌的生长和生物胺的积累,其效果显著优于传统发酵。周长艳等^[8]从传统腊鱼中分离出优势菌,并将其应用于接种发酵腌制鱼制品,结果表明接种发酵可以有效保留发酵鱼制品的香腊味,并显著降低了发酵鱼制品的咸度、过氧化值以及挥发性盐基氮。因此,接种发酵可以有效地改善鱼制品的感官品质、风味、贮藏性,缩短发酵周期,在促进发酵鱼制品的商业化、产业化方面具有研究应用潜力。

前期研究从江西省吉安市永丰县传统发酵霉鱼中筛选出了一株耐盐、耐酸、生长性能较好的清酒乳杆菌 JXNU1-3^[9]。在此基础上,本研究应用清酒乳杆菌 JXNU1-3 进行接种发酵,综合评价不同盐浓度、不同发酵时间的接种发酵对发酵霉鱼的色泽、质构、挥发性风味物质组成和感官评价的影响,确定接种发酵霉鱼的最佳工艺,并分析其可行性,以期对接种发酵霉鱼的工艺开发提供理论依据和基础研究数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜鳊鱼(*Aristichthys nobilis*)规格为 2.5~3.0 kg/

尾 南昌市长胜菜市场;食用盐、辣椒面等调料 南昌市长胜菜市场;清酒乳杆菌 JXNU1-3 由本实验室筛选、鉴定并保藏于中国典型培养物保藏中心(保藏编号为 CCTCC NO: M 20231834);MRS 液体培养基 Solarbio 公司。

BSC-1300 双人单面净化工作台 苏州安洋科技发展有限公司;YFN-100T 立式压力蒸汽灭菌锅 上海云泰仪器仪表有限公司;SPH-211B 恒温振荡培养箱 上海智城分析仪器制造有限公司;JCS-21002C 电子天平 上海然浩电子有限公司;5430R 高速冷冻离心机 德国 Eppendorf 公司;TA.XT Plus 质构仪 美国伯腾仪器有限公司;CM-26DG 测色色差仪 柯盛行(杭州)仪器有限公司;PEN3 电子鼻 德国 Airsense 公司;DVB/CAR/PDMS 萃取头 美国 Supelco 公司;7890A/5975 气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 霉鱼的制备 传统发酵霉鱼制作流程:a. 新鲜鳊鱼,祛除鱼体表面鱼鳞,剖腹宰杀,祛除内脏、鱼头和鱼尾,鱼身用流水清洗干净,切成均匀大小的鱼块(3.0 cm×3.0 cm×3.0 cm);b. 加入食用盐(1%、2%、4%)拌匀,自然晾干水分(6 h),备用;c. 按照 10%(w/w)的比例加入辣椒粉并拌匀,放入已灭菌的陶瓷罐中,密封,25 ℃,发酵 7 d。

接种发酵霉鱼制作流程:参考传统发酵霉鱼制作流程准备鱼块备用,步骤 c 改为:按照 10%(w/w)的比例加入辣椒粉并拌匀,并在超净工作台中,按每 1.00 kg 鱼添加 1.25 g 清酒乳杆菌湿菌体(10⁶ CFU/mL),均匀涂抹在鱼块的表面,放入已灭菌的陶瓷罐中,密封,25 ℃,发酵 7 d。分别于发酵后 1、3、5、7 d 取接种发酵、传统发酵霉鱼样品,于-80 ℃保存,备用。

1.2.2 色度 参照 Manat 等^[10]的方法把鱼肉切成 1 cm 厚的块状样品,采用手持色差仪测定鱼肉的亮度(L*)、红度(a*)和黄度(b*),每个样品测试 10 个切面,以平均值作为各参数测定值。样品白度按照公式(1)计算。

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

1.2.3 质构 参照唐贤华等^[11]的方法,将鱼肉样品切成小立方块(1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm),用 TA.XTplus 型质构仪测定鱼肉包括硬度、黏附性、弹性、内聚

表1 感官指标评分标准
Table 1 Sensory evaluation standard

分值 (分)	指标				
	色泽	气味	组织状态	滋味	口感
20~17	颜色亮白, 色泽均匀	具有发酵特殊香味, 发酵香味浓厚, 无不良气味	组织结构紧密, 无明显气孔, 切面平整	滋味较为鲜美, 咸度适中, 有回香	口感弹脆, 细腻, 不黏牙
16~13	颜色亮白, 色泽轻微不匀	具有发酵特殊香味, 发酵香味较淡, 无不良气味	组织结构紧密, 有少数细小气孔, 切面平整	滋味较为鲜美, 咸度适中, 有少许回香	口感适中, 稍有颗粒感, 稍微黏牙
12~9	颜色部分亮白, 轻微发黄, 色泽不匀	发酵香味较淡, 无不良气味	组织结构较为紧密, 有些许气孔, 切面平整边缘有裂痕	滋味较为淡, 咸度适中, 没有回香	咀嚼性差, 有粗糙颗粒, 黏牙
8~5	颜色灰白, 部分发黄, 色泽不匀	发酵香味较淡, 味道平淡, 有轻微异味	组织结构稍微松散, 有气孔, 切面不平整, 边缘有裂痕和软化	滋味较为淡, 没有回香, 适口性差	口感无弹性, 很粗糙
4~1	颜色发黄, 色泽暗淡	没有明显的发酵香味, 有异味	组织结构松散, 有较多气孔, 切面不平整, 边缘软化严重	滋味不好, 没有回香, 适口性差	口感粘糯, 非常黏牙

注: 共计五项指标, 每项指标满分20分, 感官评价总分共计100分。

性、胶黏性、咀嚼性和回复性质构参数。选用P36R探头, 设定压缩比为50%, 测前速度为2 mm/s, 测试速度为1 mm/s, 测后的速度5 mm/s, 所得平均值为各参数测定值。

1.2.4 感官评价 参照刘玉等^[12]方法进行霉鱼产品感官评价, 小组由5名男性和6名女性(23~30岁)组成, 提前接受两个多月培训, 从色泽、气味、组织状态、滋味、口感五个方面对霉鱼进行评分。每项感官参数的分数在0到20分之间, 感官评价总分为100分。其中分数0表示未察觉的属性强度, 分数20表示非常强的属性强度, 评分标准如表1所示。

1.2.4.1 气味感官评价 取0.5 g霉鱼样品与30 mL蒸馏水与进样瓶中混合, 60 °C水浴孵育30 min后进行气味感官评价; 气味评价采用嗅闻, 每次嗅闻后, 与新鲜空气进行20 s的间隔以恢复嗅觉疲劳。

1.2.4.2 色泽和组织状态评价 样品进行竖切, 观察切面的颜色及组织状态, 并打分。

1.2.4.3 滋味和口感评价 霉鱼煎炸4 min至成熟, 小组成员对煎炸之后的鱼肉进行品尝, 对其滋味和口感进行测评。

1.2.5 电子鼻检测 称取5.00 g霉鱼样品, 经料理机粉碎1 min, 装入15 mL离心管中, 用保鲜膜封口,

60 °C水浴30 min, 插入电子鼻探头进行测定。电子鼻检测参数设置为清洗时间100 s, 检测时间100 s, 载气速度为300 mL/min, 进样流量为300 mL/min。电子鼻的10个标准传感器信息见表2。

1.2.6 挥发性风味物质检测与鉴定 采用固相微萃取结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术, 参照张权等^[13]的方法对霉鱼挥发性风味物质进行测定与鉴定。称取5.00 g霉鱼于20 mL样品瓶中, 密封瓶口, 于60 °C水浴加热平衡30 min后, 插入老化好的萃取头顶空吸附30 min, 后取出插入气相色谱进样口中, 于250 °C下解析10 min。气相条件: 进样口温度250 °C, DB-Wax毛细管柱, 载气He, 流速1.0 mL/min, 采用不分流模式; 升温程序为40 °C(3 min)→5 °C/min→240 °C(15 min)。质谱条件为EI电离源, 电离电压70 eV, 离子源温度230 °C, 四极杆温度150 °C。未知化合物经NIST 14质谱库检索, 匹配度和纯度大于800的化合物保留下来, 并给出化合物名称。通过相对峰面积求出霉鱼中挥发性物质的相对含量。

1.2.7 关键风味物质分析 采用刘登勇等^[14]的相对气味活度值(ROAV)法对传统发酵和接种发酵霉鱼中关键风味化合物进行分析。样品A的相对气味活度值按照公式(2)计算。

$$ROAV_A \approx 100 \times \frac{C\%_A}{C\%_{stan}} \times \frac{T_{stan}}{T_A} \quad \text{式(2)}$$

式中, $C\%_A$ 表示样品A嗅感物质相对百分含量, T_A 表示其感觉阈值; $C\%_{stan}$ 表示对样品总体风味贡献最大的组分物质的绝对浓度, T_{stan} 表示其感觉阈值。

1.3 数据处理

实验数据采用均值±标准偏差(M±SD)方式表示; 采用SPSS 19.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)进行统计分析, 组间采用one-way ANOVA进行检验分析, 两组样品间比较采用配对样本T检验, 通过LSD检验和5%置信水平。统计显著性分别采用 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 表示显著差异和极显著差异。

表2 PEN3型电子鼻的标准传感器信息

Table 2 Standard sensor information of PEN3 electronic nose

序号	传感器名称	功能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢化物灵敏
5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对乙醇灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对烷烃类物质灵敏

2 结果与分析

2.1 色度参数的变化

不同食盐浓度的接种发酵与传统发酵霉鱼横切面展示和白度变化结果如图 1 所示。随着发酵时间的延长,不同食盐浓度的传统发酵霉鱼和接种发酵霉鱼的白度整体有下降的趋势;特别是 1% 食盐浓度的两种发酵霉鱼的白度呈现线性下降趋势,可能是由于低盐添加导致鱼肉随时间延长产生了腐败现象,从而引起其白度显著降低^[15]。相较而言,盐浓度的增加,有助于霉鱼白度的维持。在提倡“三减”健康生活方式的背景下,研究发现:2% 食盐浓度的接种发酵霉鱼的白度在发酵过程中趋于稳定,且在 7 d 时其白度有所升高。这可能与水溶性蛋白、盐溶性蛋白和色素蛋白水解有关^[16]。相比于传统发酵组,2% 食盐浓度的接种发酵霉鱼的白度参数在发酵期间更加稳定。

2.2 质构参数的变化

传统发酵和接种发酵霉鱼的 TPA 测定结果见表 3。总体而言,随着发酵时间的延长,不同盐浓度的传统发酵霉鱼的硬度、胶黏性、咀嚼性和回复性指标呈降低趋势,1% 盐浓度的传统发酵霉鱼的硬度、胶黏性、咀嚼性和回复性随着发酵时间显著降低 ($P<0.05$);然而,不同盐浓度的接种发酵霉鱼的硬度 ($P<0.05$)和胶黏性 ($P<0.05$)呈现先下降后升高的趋势,其咀嚼性呈上升趋势,回复性指标无显著变化 ($P>0.05$)。由于硬度、胶黏性、咀嚼性和回复性主要与水分、脂肪含量有关,水分的流失以及脂肪的降解会导致以上四个指标值的增加^[17]。另外,发酵过程产生的有机酸,可增加鱼肉的硬度和胶黏性^[18-20]。文献报道采用发酵剂发酵可增加“扎鱼”^[21]和泰国发酵鱼制品 Som-fug^[6]的硬度,该结果与本论文中接种发酵霉鱼的硬度增加结果一致。内聚性作为一个重要的

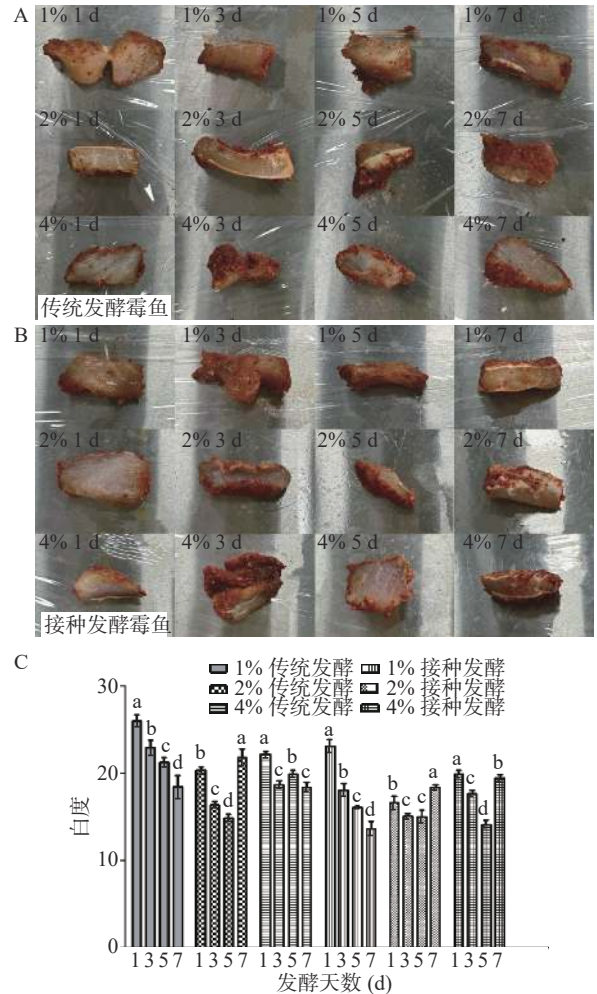


图 1 不同盐浓度的传统发酵和接种发酵霉鱼横切面展示 (A、B)、白度(C)变化

Fig.1 Cross section display (A and B) and whiteness (C) of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with different salt concentrations

注:图 C 中同一组不同小写字母表示为差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 不同盐浓度的传统发酵和接种发酵霉鱼质构参数的比较

Table 3 Comparison of texture parameters of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with different salt concentrations

质构参数	发酵天数(d)	不同盐浓度处理					
		1%(传统发酵)	2%(传统发酵)	4%(传统发酵)	1%(接种发酵)	2%(接种发酵)	4%(接种发酵)
硬度(N)	1	4794.00±45.56 ^a	367.45±102.40 ^c	3751.65±228.74 ^a	1191.18±312.68 ^c	1245.56±325.96 ^{ab}	2519.38±237.13 ^b
	3	4464.91±292.34 ^a	3835.08±1185.36 ^a	2284.93±280.86 ^b	1843.92±168.76 ^b	1257.76±511.86 ^{ab}	2415.97±435.53 ^b
	5	1069.47±65.99 ^b	1534.64±234.32 ^b	2036.29±13.22 ^b	1498.18±164.58 ^{bc}	1019.43±176.17 ^b	1606.91±315.94 ^c
	7	785.34±258.42 ^b	834.61±145.26 ^{bc}	1301.05±418.24 ^c	3767.43±362.79 ^a	1938.32±277.27 ^a	3389.53±166.37 ^a
黏附性	1	16.07±1.32 ^a	29.25±5.14 ^a	21.52±3.21 ^a	29.15±7.98 ^{ab}	84.22±36.08 ^b	55.98±7.10 ^b
	3	39.13±13.30 ^b	54.36±4.21 ^b	39.21±14.55 ^a	68.35±37.01 ^b	32.38±6.82 ^a	40.86±12.77 ^{ab}
	5	34.78±6.82 ^{ab}	24.79±4.19 ^a	50.98±10.73 ^a	27.35±9.68 ^a	60.59±10.81 ^{ab}	52.66±3.76 ^{ab}
	7	20.49±12.84 ^{ab}	31.38±10.92 ^a	36.88±23.95 ^a	31.77±6.56 ^{ab}	42.45±7.26 ^{ab}	35.80±0.27 ^a
弹性	1	0.42±0.02 ^a	0.42±0.03 ^b	0.47±0.03 ^a	0.40±0.01 ^a	0.50±0.05 ^a	0.56±0.11 ^a
	3	0.46±0.01 ^a	0.53±0.04 ^a	0.47±0.10 ^a	0.42±0.02 ^a	0.54±0.03 ^a	0.51±0.05 ^a
	5	0.46±0.01 ^a	0.42±0.06 ^b	0.50±0.02 ^a	0.44±0.07 ^a	0.45±0.01 ^a	0.48±0.02 ^a
	7	0.41±0.05 ^a	0.46±0.05 ^{ab}	0.46±0.07 ^a	0.45±0.10 ^a	0.49±0.07 ^a	0.48±0.01 ^a
内聚性	1	0.53±0.03 ^a	0.56±0.01 ^a	0.62±0.01 ^a	0.48±0.06 ^a	0.48±0.10 ^a	0.58±0.02 ^a
	3	0.47±0.02 ^b	0.54±0.09 ^a	0.57±0.01 ^{ab}	0.52±0.03 ^a	0.57±0.04 ^a	0.52±0.09 ^a
	5	0.56±0.03 ^a	0.51±0.04 ^a	0.45±0.03 ^c	0.47±0.01 ^a	0.54±0.06 ^a	0.60±0.16 ^a
	7	0.53±0.01 ^a	0.48±0.04 ^a	0.52±0.04 ^b	0.46±0.04 ^a	0.49±0.03 ^a	0.49±0.04 ^a

续表 3

质构参数	发酵天数(d)	不同盐浓度处理					
		1%(传统发酵)	2%(传统发酵)	4%(传统发酵)	1%(接种发酵)	2%(接种发酵)	4%(接种发酵)
胶黏性	1	2525.60±110.76 ^a	205.40±54.42 ^c	2310.71±130.60 ^a	569.11±179.14 ^c	572.53±29.08 ^b	1458.30±181.41 ^{ab}
	3	2100.02±250.00 ^b	2010.09±298.49 ^a	1297.53±179.61 ^b	964.65±142.01 ^b	718.89±289.48 ^{ab}	1246.37±183.34 ^{bc}
	5	592.99±5.71 ^c	784.20±103.05 ^b	913.61±70.12 ^{bc}	708.83±66.24 ^{bc}	540.13±28.34 ^b	938.59±117.94 ^c
	7	413.03±130.62 ^c	402.51±58.07 ^c	673.87±244.19 ^c	1709.23±13.07 ^a	956.55±160.61 ^a	1653.60±223.95 ^a
咀嚼性	1	1064.00±35.06 ^a	86.27±21.67 ^c	1097.82±122.48 ^a	230.99±79.12 ^b	283.92±12.91 ^a	801.83±60.48 ^c
	3	957.66±135.83 ^a	1063.28±235.34 ^a	614.10±146.80 ^b	401.20±38.84 ^b	392.97±168.39 ^a	632.84±46.89 ^b
	5	275.40±5.34 ^b	334.09±77.46 ^b	458.57±54.81 ^{bc}	309.04±22.34 ^b	242.201±7.44 ^a	451.22±50.31 ^c
	7	173.00±70.74 ^b	183.89±22.34 ^{bc}	312.75±150.82 ^c	762.17±176.32 ^a	477.05±138.61 ^a	787.83±131.24 ^a
回复性	1	0.38±0.04 ^a	0.25±0.01 ^b	0.40±0.02 ^a	0.26±0.04 ^a	0.25±0.05 ^a	0.31±0.03 ^a
	3	0.31±0.01 ^b	0.29±0.05 ^a	0.31±0.01 ^b	0.27±0.01 ^a	0.29±0.02 ^a	0.28±0.05 ^a
	5	0.23±0.02 ^c	0.26±0.02 ^{ab}	0.23±0.02 ^c	0.21±0.01 ^a	0.24±0.01 ^a	0.29±0.09 ^a
	7	0.24±0.03 ^c	0.22±0.01 ^b	0.24±0.01 ^c	0.25±0.03 ^a	0.25±0.01 ^a	0.27±0.03 ^a

注: 同一列不同小写字母表示为差异显著($P < 0.05$)。

感官参数, 是咀嚼时鱼肉抵抗受损并紧密连接使其保持完整的性质, 数值越大, 内聚性越强^[22]。接种发酵霉鱼的弹性、内聚性和黏附性趋于稳定, 无显著变化 ($P > 0.05$); 相反, 2% 盐浓度传统发酵霉鱼的弹性指标于发酵 3 d 后显著降低 ($P < 0.05$), 4% 盐浓度传统发酵霉鱼的内聚性指标于发酵 3 d 后显著降低 ($P < 0.05$), 说明传统发酵霉鱼质构维持不稳定, 易松散。因此, 接种发酵可改善霉鱼的质构。

咀嚼度是综合反映硬度、弹性和胶黏性的质构特性指标, 将固体食品咀嚼到可吞咽时需要做功的大小。咀嚼性表现为将样品咀嚼至吞咽所需的能量, 当

食品咀嚼至吞咽状态所需的能量超出了消费者所能接受的范围, 这个食品基本上是不会被接受的^[23]。张婷等^[24]报道咸鱼总体感官评分与咀嚼性呈显著负相关, 说明咀嚼性越大, 感官评分越低。相比 1% 和 4% 盐浓度, 2% 盐浓度接种发酵霉鱼的硬度和咀嚼性较低。综上, 2% 盐浓度、清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵霉鱼的质构较好。

2.3 感官评价

基于色泽、气味、组织状态、滋味、口感五个指标, 对传统发酵霉鱼和接种发酵霉鱼随进行感官评价, 其结果如图 2 所示。随着发酵天数的增加, 鱼肉

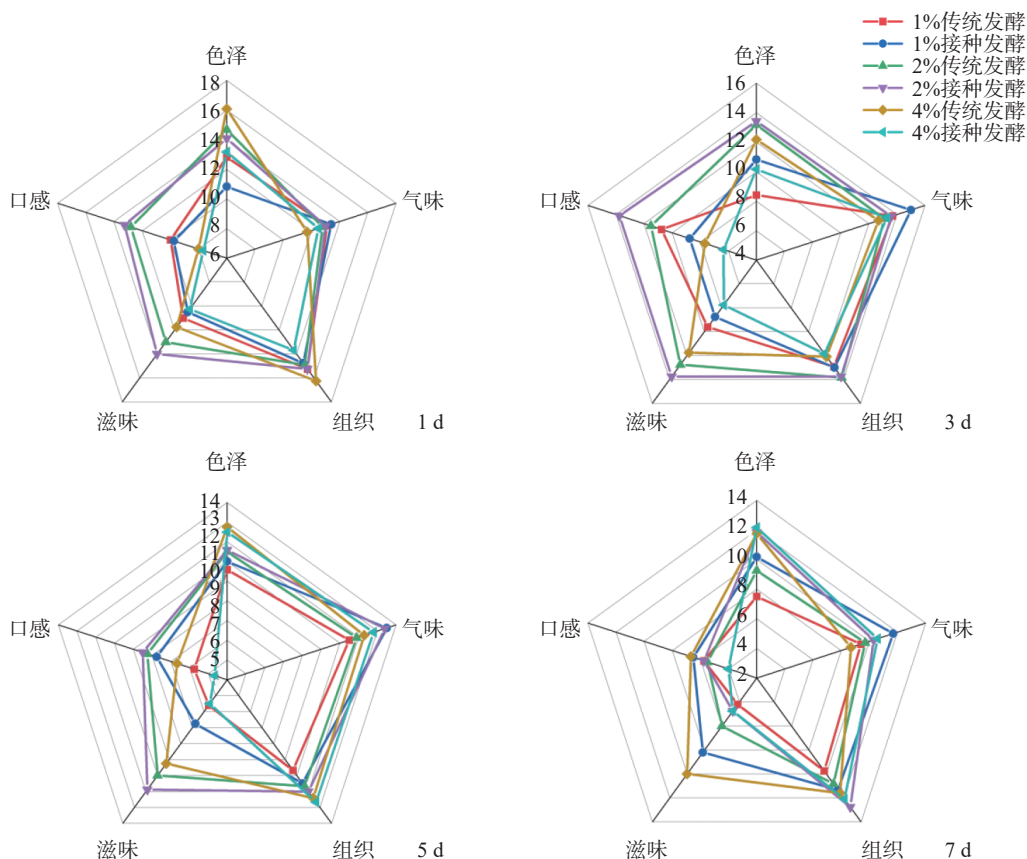


图 2 不同盐浓度的传统发酵霉鱼和接种发酵霉鱼的感官评价

Fig.2 Sensory evaluation of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with different salt concentrations

的发酵气味、口感和滋味逐渐变好,但从第 5 d 开始,各指标评分降低,说明发酵 3 d 的霉鱼具有更好的感官。发酵 3 d 后,随着盐浓度的升高,两种发酵方式制备的霉鱼滋味和口感评分降低,其原因是加入的食盐太多使人口感不适。低盐发酵鱼制品具有较好的接受度^[24],2% 盐浓度的发酵霉鱼口感最佳。相比传统发酵霉鱼,发酵 3 d、2% 盐浓度的接种发酵霉鱼的口感、滋味、色泽、组织状态指标均较高。综上,2% 盐浓度、发酵 3 d 的接种发酵霉鱼的感官评分最高,揭示清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵可改善霉鱼的感官品质。

2.4 电子鼻检验

为了进一步探明接种发酵工艺对霉鱼风味的影响,对 2% 盐浓度、发酵 3 d 的传统发酵和接种发酵霉鱼进行电子鼻检测,传感器灵敏度结果如图 3 所示。传统发酵霉鱼和接种发酵霉鱼均在 W1S(对甲基类敏感)、W1W(对硫化物敏感)、W2S(对乙醇灵敏)和 W2W(芳香成分、有机硫化物灵敏)传感器的响应值较高,该结果与梁钻好等^[25]报道的采用电子鼻检测混合乳酸菌发酵臭鳃鱼的结果一致,说明两种发酵方式的霉鱼均产生了独特的霉鱼风味(醇类和芳香类)。相比接种发酵霉鱼,传统发酵霉鱼在传感器 W1S(对甲基类敏感)和 W1W(对硫化物敏感)的响

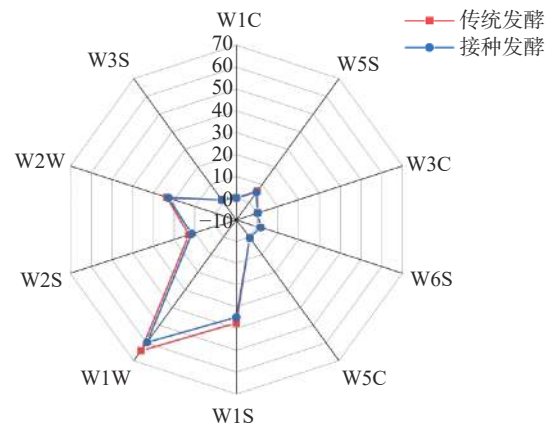


图 3 2% 盐浓度、发酵 3 d 的传统发酵和接种发酵霉鱼的电子鼻传感器的响应雷达图

Fig.3 Response radar chart of electronic nose sensor of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with 2% salt concentrations after 3 days

应值略高,可能反映了霉鱼变质的程度更高^[26]。综上,清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵霉鱼保持了霉鱼的特有香气成分,同时可维持鱼肉的品质。

2.5 霉鱼挥发性风味物质分析

采用顶空进样 GC-MS 联用技术分析 2% 盐浓度、发酵 3 d 传统发酵和接种发酵霉鱼的挥发性风味物质组成(表 4)。两种霉鱼制品中共检测出 53 种

表 4 2% 盐浓度、发酵 3 d 的传统发酵和接种发酵霉鱼挥发性物质组成及相对含量

Table 4 Composition and relative contents of volatile substances of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with 2% salt concentrations after 3 days' fermentation

序号	化合物名称	分子式	CAS	RT(min)	感官阈值 ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ^[1-2]	相对含量(%)	
						传统发酵	接种发酵
烃类							
1	右旋萘二烯	C ₁₀ H ₁₆	5989-27-5	8.28	-	-	0.16±0.13*
2	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	629-59-4	14.97	-	0.93±0.22	0.50±0.35
3	十五烷	C ₁₅ H ₃₂	629-62-9	17.56	-	0.95±0.02	0.65±0.17
4	1-石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	87-44-5	19.82	64	0.91±0.13	0.75±0.41
5	环庚烯	C ₁₅ H ₂₄	80923-88-2	20.89	-	2.86±0.65	1.64±1.02
6	(4R,4aS,6S)-4,4a-Dimethyl-6-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphthalene	C ₁₅ H ₂₄	823810-22-6	22.26	-	-	0.33±0.16*
7	十七烷	C ₁₇ H ₃₆	629-78-7	22.41	-	19.96±4.46	24.82±5.76
8	α -丁烯	C ₁₅ H ₂₄	29621-78-1	22.48	-	1.14±0.55*	-
9	香树烯	C ₁₅ H ₂₄	25246-27-9	22.71	-	-	5.57±3.54*
10	十八烷	C ₁₈ H ₃₈	593-45-3	24.61	-	0.68±0.12*	-
	合计					27.44±4.05	34.42±6.81
醇类							
11	桉叶油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	470-82-6	8.86	-	-	0.25±0.22*
12	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	123-51-3	9.39	250	2.96±0.76*	-
13	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	111-27-3	13.70	2500	0.97±0.28	0.90±0.49
14	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	3391-86-4	16.33	1	0.33±0.06	0.42±0.32
15	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	18.77	6	1.62±0.44	0.92±0.65
16	1-壬醇	C ₁₀ H ₁₈ O	143-08-8	21.49	50	0.11±0.01*	-
17	苜醇	C ₇ H ₈ O	100-51-6	26.13	-	1.80±0.53	1.72±0.28
18	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	60-12-8	26.87	750	7.62±0.39	8.94±6.67
19	对异丙基苯甲醇	C ₁₀ H ₁₄ O	536-60-7	30.68	-	0.45±0.06*	-
20	1-十五醇	C ₁₅ H ₃₂ O	629-76-5	34.00	-	-	0.30±0.12*
	合计					15.86±1.12	13.46±6.44

续表 4

序号	化合物名称	分子式	CAS	RT(min)	感官阈值 ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ^[1-2]	相对含量(%)	
						传统发酵	接种发酵
醛类							
21	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	100-52-7	17.90	3	0.91±0.15	0.66±0.06
22	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	C ₁₀ H ₁₆ O	432-25-7	20.36	5	0.45±0.08	0.35±0.16
23	E-14-十六烷烯醛	C ₁₆ H ₃₀ O	330207-53-9	23.45	—	—	1.15±0.36*
24	十三醛	C ₁₃ H ₂₆ O	10486-19-8	24.91	—	1.56±0.54*	—
25	肉豆蔻醛	C ₁₄ H ₂₈ O	124-25-4	27.16	14	2.23±1.01*	—
26	(9Z)-十八碳-9,17-二烯醛	C ₁₈ H ₃₂ O	56554-35-9	36.08	—	1.96±2.42	5.22±2.42*
合计						7.12±0.77	7.38±1.86
酮类							
27	α -紫罗酮	C ₁₃ H ₂₀ O	127-41-3	25.58	—	0.11±0.02*	—
28	β -紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	14901-07-6	27.43	—	1.38±0.38*	—
29	对甲氧基苯基丙酮	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	122-84-9	31.60	—	0.11±0.01*	—
30	2-羟基-4,6-二甲氧基苯乙酮	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	90-24-4	39.39	—	0.06±0.04	0.03±0.02
合计						1.66±0.40*	0.03±0.02
酯类							
31	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	123-66-0	10.41	1	1.19±1.00	1.49±1.78
32	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	106-32-1	15.88	1000	0.37±0.20	0.36±0.32
33	十一酸乙酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	627-90-7	23.30	—	0.36±0.13	0.28±0.01
34	水杨酸甲酯	C ₈ H ₈ O ₃	119-36-8	23.97	60	0.24±0.02	0.17±0.13
35	月桂酸乙酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	106-33-2	25.55	—	0.39±0.14	0.25±0.05
36	十四酸甲酯	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	124-10-7	28.97	—	0.15±0.07*	—
37	十四酸乙酯	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	124-06-1	29.75	—	0.66±0.28	0.44±0.12
38	棕榈酸甲酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	112-39-0	32.92	4 000	0.63±0.31	0.30±0.10
39	棕榈酸乙酯	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	628-97-7	33.61	2 000	1.88±0.74	1.32±0.56
40	二氢猕猴桃内酯	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	17092-92-1	34.89	500	—	1.57±0.22*
41	反油酸乙酯	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	6114-18-7	37.48	—	0.10±0.08*	—
合计						5.97±1.10	6.18±1.90
芳香类							
42	草蒿脑	C ₁₀ H ₁₂ O	140-67-0	21.55	100	1.78±0.42*	—
43	茴香脑	C ₁₀ H ₁₂ O	104-46-1	25.05	—	34.36±1.83	28.27±3.51
44	愈创木酚	C ₇ H ₈ O ₂	90-05-1	25.76	10	2.85±0.90	2.94±0.72
45	苯酚	C ₆ H ₆ O	108-95-2	28.76	5 900	—	0.71±0.28*
46	丁香酚	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	97-53-0	31.88	—	—	2.92±0.31*
47	4-乙基苯酚	C ₈ H ₁₀ O	123-07-9	32.05	—	0.04±0.01*	—
48	4-乙烯基-2-甲氧基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	7786-61-0	32.42	3	2.34±0.83	1.63±0.15
49	吡啶	C ₈ H ₇ N	120-72-9	36.70	500	—	0.05±0.01*
合计						41.37±2.37	36.53±4.00
其他							
50	N-甲基吡咯	C ₅ H ₇ N	96-54-8	6.70	—	0.08±0.07	0.12±0.09
51	2,3,5,6-四甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂	1124-11-4	16.86	1 000	0.39±0.12	0.31±0.03
52	2-乙酰基吡咯	C ₆ H ₇ NO	1072-83-9	28.05	100	0.19±0.02*	—
53	2,3-二氢苯并呋喃	C ₈ H ₈ O	496-16-2	35.88	—	—	0.84±0.18*
合计						0.58±0.21	1.27±0.25*

注:—为未检出或检索到该物质,*表示显著性差异($P<0.05$)。

挥发性风味化合物,共计7类:10种烃类化合物,10种醇类化合物,6种醛类化合物,4种酮类化合物,11种脂类化合物,8种芳香类化合物和4种其他化合物。其中,传统发酵霉鱼中共检测出42种化合物,高于接种发酵霉鱼检测出的39种化合物,两样品均以芳香类化合物含量最高,分别为41.37%±2.37%和36.53%±4.00%,其次为烃类、醇类、醛类、脂类、其他类和酮类化合物。相比接种发酵霉鱼,传

统发酵霉鱼的酮类显著增加($P<0.05$),其他类化合物显著降低($P<0.05$)。

烷烃类化合物分子量大且阈值高,气味强度低^[27],对发酵霉鱼的风味贡献较小。两种发酵方式霉鱼中主要烃类化合物均为十七烷,分别为19.96%±4.46%和24.82%±5.76%;接种发酵霉鱼中检测出特有的风味成分——香树烯。

醇类物质是脂肪氧化分解或由羰基化合物还原

产生的^[28],两种发酵霉鱼中醇类物质的相对含量和种类都较高,传统发酵霉鱼中占 15.86%±1.12%,接种发酵霉鱼中占 13.46%±6.44%,对霉鱼风味具有较强的贡献作用。

醛类物质主要来源于不饱和脂肪酸的氧化和美拉德反应^[29],该类化合物的阈值一般较低,对发酵霉鱼的风味有较大影响,两种霉鱼样品中醛类化合物的相对含量相当(约 7%),无显著差异($P>0.05$)。其中,肉豆蔻醛、苯甲醛、十三醛等醛类,赋予霉鱼果香、脂香以及甜香等多种香气。

酮类物质在两组霉鱼样品中相对含量较低,其中 β -紫罗兰酮、 α -紫罗兰酮和对甲氧基苯基丙酮仅在传统发酵霉鱼样品中检出,其中 β -紫罗兰酮和 α -紫罗兰酮可以赋予霉鱼一定的果香味,而对甲氧基苯基丙酮为中等毒性物质,揭示传统发酵霉鱼可能存在食品安全隐患。

酯类物质在两种霉鱼中的相对含量较低,无显著差异($P>0.05$),接种发酵霉鱼中酯类物质种数为 9 种,相对总含量为 6.18%±1.90%。

芳香类化合物在霉鱼风味中发挥了重要作用。在传统发酵霉鱼中检测出了 5 种芳香化合物,相对总含量为 41.37%±2.37%;在接种发酵霉鱼中检测出了 6 种芳香化合物,相对总含量为 36.53%±4.00%。在两组样品中,共同检测出了茴香脑、愈创木酚和 4-乙炔基-2-甲氧基苯酚;其中茴香脑在所有化合物的相对含量最高,传统发酵霉鱼中的相对含量为 34.36%±1.83%,接种发酵霉鱼中的相对含量为 28.27%±3.51%。值得注意的是:仅在接种发酵霉鱼中检测出丁香酚,它不仅可以提供食品一种独特的烟熏香味,而且具有良好的抑菌防腐功效及较强的保鲜作用^[30]。

除以上种类化合物外,两种发酵霉鱼中还含有吡嗪、吡啶、呋喃等杂环类化合物,因其感官阈值高,对霉鱼制品的风味影响不大。

综上,在挥发性物质组成上,接种发酵霉鱼明显区分于传统发酵霉鱼。主要表现为芳香类物质种类更丰富,产生了特有的风味物质香树烯、丁香酚,后者具有抑菌防腐的作用^[30]。接种发酵方式可维持发酵霉鱼的传统风味,同时产生了一些特有的抑菌防腐作用的香气成分,有助于降低传统发酵食品在食品安全方面存在的隐患^[31]。

2.6 霉鱼关键风味成分分析

参考刘登勇等^[14]的研究方法,对 2% 盐浓度、发酵 3 d 的传统发酵和接种发酵霉鱼关键风味成分进行对比分析,结果如表 5 所示。ROAV 值越大,该组分对样品总体风味的贡献也越大,当 $ROAV \geq 1$,该组分为所分析样品的关键风味化合物,当 $0.1 \leq ROAV < 1$,该组分对样品的总体风味具有重要的修饰作用。通过分析,传统发酵和接种发酵霉鱼中分别得到 10 种(1-石竹烯、正己醇、芳樟醇、苯甲醛、2,6,6-

表 5 基于 ROAV 的 2% 盐浓度、发酵 3 d 传统发酵和接种发酵霉鱼挥发性风味化合物的分析结果

Table 5 Analysis results of volatile flavor compounds based on ROAV of Mei yu prepared by traditional fermentation and inoculated fermentation with 2% salt concentrations after 3 days' fermentation

化合物名称	ROAV		气味特征描述
	传统发酵	接种发酵	
1-石竹烯	1.19	0.79	甜香,木香,丁香味
异戊醇	0.99	-	酸臭味
正己醇	27.73	28.19	醇香,果香,甜香
芳樟醇	22.69	10.29	甜香,木香
1-壬醇	0.18	-	花香,柑橘香,油脂味
苯乙醇	0.85	0.80	花香,甜香,面包香
苯甲醛	25.49	14.77	辛辣味,甜香,杏仁味,樱桃香
2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	7.56	4.70	香草味,玫瑰花香,烟草香,果香
肉豆蔻醛	13.39	-	油脂味,烟熏味,柑橘香,麝香
正己酸乙酯	100.00	100.00	甜香,果香
水杨酸甲酯	0.34	0.19	冬青味,薄荷香
二氢猕猴桃内酯	-	0.21	香豆素味
草蒿脑	1.50	-	甜香,药草味
愈创木酚	23.95	19.73	木香,熏肉香,烟熏味
4-乙炔基-2-甲氧基苯酚	65.55	36.47	木香,熏肉香
2-乙酰基吡咯	0.16	-	坚果香,霉味,甘草香

注: - 为未检出或检索到该物质无法计算 ROAV; 气味描述来源于 <http://www.perflavory.com/index.html>。

三甲基-1-环己烯-1-羧醛、肉豆蔻醛、正己酸乙酯、草蒿脑、愈创木酚、4-乙炔基-2-甲氧基苯酚)、7 种(正己醇、芳樟醇、苯甲醛、2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛、正己酸乙酯、愈创木酚、4-乙炔基-2-甲氧基苯酚)关键风味成分。传统发酵和接种发酵的霉鱼关键风味成分总体相似,但也存在一定差异性。

正己酸乙酯 ROAV 值均为 100,对霉鱼的整体风味贡献最大,贡献了甜香和果香;其他酯类如水杨酸甲酯和二氢猕猴桃内酯($0.1 \leq ROAV < 1$),对霉鱼风味有修饰作用,分别贡献冬青味、薄荷香和香豆素味。芳香类化合物中,愈创木酚和 4-乙炔基-2-甲氧基苯酚的 ROAV 值分别为 23.95、19.73 和 65.55、36.47,均为传统发酵和接种发酵霉鱼的关键风味化合物,共同赋予霉鱼木香、熏肉香。醇类化合物中,正己醇的 ROAV 值分别为 27.73 和 28.19;芳樟醇的 ROAV 值分别为 22.69 和 10.29,两种醇类均对霉鱼的甜香和果香风味起了较大的贡献作用;然而,异戊醇仅在传统发酵霉鱼中被检测到,其 ROAV 值为 0.99,贡献了酸臭味。本实验结果与周迎芹等^[29]报道的一致,研究发现清酒乳杆菌接种发酵臭鳊鱼的挥发性风味物质较传统发酵组变化更明显,产恶臭味的甲硫醇含量明显减少。在醛类化合物中,传统发酵霉鱼的苯甲醛和 2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛的 ROAV 值分别为 25.49 和 7.56,接种发酵霉鱼中 ROAV 值依次为 14.77 和 4.70,贡献了辛辣味、甜

香、果香、烟草味等丰富的风味。此外,传统发酵霉鱼中检出肉豆蔻醛和 2-乙酰基吡咯。肉豆蔻醛作为其关键风味化合物,为传统霉鱼提供了油脂味、烟熏味、柑橘香、麝香;然而,2-乙酰基吡咯的 ROAV 值为 0.16,贡献了霉味。因此,传统发酵霉鱼具有更多种类的关键化合物,风味丰富;然而,同时也检测到不良的风味(如酸臭味、霉味),影响了其最终风味的感官评分。相反,清酒乳杆菌 JXNU1-3 作为发酵菌剂,可以在一定程度上抑制杂菌^[32],如沙雷氏菌、金黄色葡萄球菌和嗜麦芽窄食单孢菌^[9],抑制了酸臭味、霉味等不良风味物质的产生。综上,清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵霉鱼与传统发酵的霉鱼在总体风味上具有相似性,另外,可能通过抑制杂菌有效地降低不良风味物质的形成。

3 结论

2% 盐浓度、发酵 3 d 的接种发酵霉鱼的色泽、质构较好,感官评分较高,揭示接种发酵可应用低盐腌制,获得较好的色泽、质构和感官评分,产品更加符合现在减盐的政策。相比传统发酵霉鱼,接种发酵的霉鱼对硫化物和甲基类的响应值较低;两种发酵方式制备的霉鱼芳香类化合物相对含量均最高,接种发酵维持了传统发酵霉鱼的主要风味物质组成,并且产生了特有的风味组分:如香树烯、丁香酚;然而,在传统发酵霉鱼中检测出具有酸臭味的异戊醇和霉味的 2-乙酰基吡咯化合物,揭示接种发酵霉鱼具有较好的风味组分和感官评分。因此,相比传统发酵霉鱼,清酒乳杆菌 JXNU1-3 接种发酵霉鱼具有更好的商业性和安全性。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 刘晓毅. 腊月正好腌霉鱼[J]. 四川烹饪, 2002(2): 20. [LIU X Y. December is just the season for pickled mould fish[J]. Sichuan Cuisine, 2002(2): 20.]
- [2] 周迎芹, 杨明柳, 殷俊峰, 等. 臭鳊鱼低温发酵过程中品质及挥发性物质的变化[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4): 179-186. [ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Changes of quality and volatile compounds in stinky mandarin fish during low-temperature fermentation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(4): 179-186.]
- [3] WANG X H, ZHANG Y L, SUN J S, et al. Effects of starter culture inoculation on microbial community diversity and food safety of Chinese cantonese sausages by high-throughput sequencing[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58: 931-939.
- [4] YIN H M, ZHONG Y D, XIA S K, et al. Effects of fermentation with *Lactobacillus plantarum* NCU137 on nutritional, sensory and stability properties of *Coix* (*Coix lachryma-jobi* L.) seed[J]. *Food Chemistry*, 2020, 314: 126037.
- [5] 胡锦鹏. 乳酸菌发酵半干大黄鱼制备及其品质研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2022. [HU J P. Preparation and qualities of intermediate moisture large yellow croaker fermented by lactic acid bacteria [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2022.]
- [6] BENJUKAL S, VISESSANGUAN W, THONGKAEW C, et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage[J]. *Food Research International*, 2003, 36: 787-795.
- [7] 张潇, 龚吉军, 唐静, 等. 不同发酵剂与发酵条件对鲈鱼生物安全性的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 205-210. [ZHANG X, GONG J J, TANG J, et al. Effect of different mixed starter cultures and fermentation conditions on biological safety of 'Zha fish'[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(4): 205-210.]
- [8] 周长艳, 黄泽元, 田国军. 乳杆菌在腌制腊鱼制品中的应用[J]. 食品科学, 2012, 33(1): 215-218. [ZHOU C Y, HUANG Z Y, TIAN G J. Application of *Lactobacilli* in cured fish[J]. *Food Science*, 2012, 33(1): 215-218.]
- [9] 曾金秀, 尹红梅, 张权, 等. 霉鱼源清酒乳杆菌的分离筛选及其在霉鱼发酵中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 56-64. [ZENG J X, YIN H M, ZHANG Q, et al. Isolation, identification of *Lactobacillus sakei* of traditional fermented bighead carp and its application in inoculated fermentation [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(6): 56-64.]
- [10] MANAT C, WORAWAN P, SOOTTAWAT B. Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(1): 85-92.
- [11] 唐贤华, 赵东, 杨官荣, 等. TA.XTplus 物性测试仪在传统白酒生产中应用的探索(三)—五粮浓香型白酒发酵糟醅质特性的相关性分析[J]. 酿酒科技, 2014(11): 48-51. [TANG X H, ZHAO D, YANG G R, et al. Exploration on the application of TA.XTplus physical property tester in the production of traditional Baijiu (liquor) (III)-correlation analysis of the textural properties of fermented grains of Nongxiang Baijiu (liquor) produced by five kinds of grains[J]. *Liquor-Making Science & Technology*, 2014(11): 48-51.]
- [12] 刘玉, 陈晓婷, 吴靖娜, 等. 基于模糊数学感官评价的发酵河鲢鱼肠工艺优化[J]. 水产学报, 2023, 47(9): 184-192. [LIU Y, CHEN X T, WU J N, et al. Optimization of fermentation technology of puffer fish sausage based on fuzzy mathematics sensory evaluation method[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(9): 184-192.]
- [13] 张权, 吴思纷, 宁舒娴, 等. 3种淡水鱼内脏粗鱼油品质及挥发性风味成分分析比较[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 342-351. [ZHANG Q, WU S F, NING S X, et al. Analysis and comparison on the quality and volatile flavor components of crude fish oil from the viscera of three freshwater fishes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(2): 342-351.]
- [14] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: "ROAV"法[J]. 食品科学, 2008(7): 370-374. [LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. "ROAV" method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham[J]. *Food Science*, 2008(7): 370-374.]
- [15] LI H, ZHAO Q, LIU W, et al. Changes in the microbiota of a vacuum-packed cooked bass product and the effects of cobalt irradiation on its quality during storage[J]. *LWT*, 2022, 172: 114199.
- [16] 许惠雅. 乳酸菌和风味蛋白酶联合对发酵草鱼品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022. [XU H Y. Effects of lactic acid bacteria and flavourzyme on the quality of fermented grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.]

- [17] 汤海青, 欧昌荣, 宋玉玲, 等. 清酒乳杆菌固态发酵鲮鱼过程中的品质变化[J]. *核农学报*, 2017, 31(10): 1938-1945. [TANG H Q, OU C R, SONG Y L, et al. Quality changes of solid-state fermented Chinese herring by inoculating *Lactobacillus sakei*[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2017, 31(10): 1938-1945.]
- [18] BENITO M J, RODRIGUEZ M, CORDOBA M G, et al. Effect of the fungal protease EPg222 on proteolysis and texture in the dry fermented sausage 'salchichón'[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(2): 273-280.
- [19] ZENG X F, XIA W S, JIANG Q X, et al. Effect of autochthonous starter cultures on microbiological and physico-chemical characteristics of Suan yu, a traditional Chinese low salt fermented fish[J]. *Food Control*, 2013, 33: 344-351.
- [20] RIEBROY S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of iced storage of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of Som-fug, a fermented Thai fish mince[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102: 270-280.
- [21] AN Y, CAI X, CONG L, et al. Quality improvement of Zhayu, a fermented fish product in China: Effects of inoculated fermentation with three kinds of lactic acid bacteria[J]. *Foods*, 2022, 11(18): 2756.
- [22] 孙颖琪. 发酵酸鱼贮藏过程中品质变化及控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [SUN Y Y. Study on quality changes and control of fermented fish during storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.]
- [23] MITHCHELL J. Food texture and viscosity: Concept and measurement[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2003, 38(7): 839-840.
- [24] 张婷, 吴燕燕, 李来好, 等. 咸鱼品质的质构与感官相关性分析[J]. *水产学报*, 2013, 37(2): 303-310. [ZHANG T, WU Y Y, LI L H, et al. Correlation analysis of sensory with instrumental texture measurement of salted fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(2): 303-310.]
- [25] 梁钻好, 黄宁, 马晓飞, 等. 混合乳酸菌发酵对臭鳊鱼风味特征的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(8): 226-233. [LIANG Z H, HUANG N, MA X F, et al. Effect of mixed lactic acid bacteria fermentation on the flavor characteristics of stinky mandarin fish[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, 50(8): 226-233.]
- [26] 赵莹鑫, 张德权, 葛岳, 等. 包装方式和宰后不同时间包装对羊肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 199-208. [ZHAO Y X, ZHANG D Q, GE Y, et al. Effects of packaging methods and packaging at different postmortem times on the quality of lamb meat[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 199-208.]
- [27] 杜勃峰, 丁筑红, 李达, 等. 基于 SPME-GC-MS 结合 ROAV 分析评价不同加工方式下皱椒辣椒粉风味品质[J]. *中国调味品*, 2019, 44(8): 76-80. [DU B F, DIN Z H, LI D. Analysis of flavor quality of *Capsicum annum* paprika with different processing methods based on SPME-GC-MS combined with ROAV[J]. *China Condiment*, 2019, 44(8): 76-80.]
- [28] ZHENG X Y, ZHENG L L, YANG Y, et al. Analysis of the volatile organic components of *Camellia oleifera* Abel. oil from China using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(9): e15670.
- [29] 周迎芹, 杨明柳, 殷俊峰, 等. 清酒乳杆菌对臭鳊鱼食用品质及挥发性风味物质的影响[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(9): 160-168. [ZHOU Y Q, YANG M L, YIN J F, et al. Effect of *Lactobacillus sakei* on edible quality and volatile flavor of stinky mandarin fish[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(9): 160-168.]
- [30] TOLOSA J, RODRIGUEZ-CARRASCO Y, RUIZ M J, et al. Multi-mycotoxin occurrence in feed, metabolism and carry-over to animal-derived food products: A review[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2021, 158: 112661.
- [31] 范昊安, 沙如意, 杜柠, 等. 苹果梨酵素发酵过程中香气成分的变化[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 177-184. [FAN H A, SHA R Y, DU N, et al. Changes in aroma components during fermentation of 'Pingguoli' pear Jiaosu (fermented fruit juice)[J]. *Food Science*, 2021, 42(2): 177-184.]
- [32] PANG X, SONG X, CHEN M, et al. Combating biofilms of foodborne pathogens with bacteriocins by lactic acid bacteria in the food industry[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2022, 21(2): 1657-1676.