

Limosilactobacillus fermentum FSCBAD033 控制带鱼加工下脚料发酵鱼露中生物胺含量研究

杨 洋^{1,2}, 杨 伟³, 邓尚贵², 郑 斌², 胡 艺⁴, 刘 宇^{1,2}, 姜 维^{1,2*}

[1. 浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心(创新应用研究院), 舟山 316022; 2. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022; 3. 日照市农产品质量安全检验检测中心, 日照 276800; 4. 浙江恒和食品有限公司, 舟山 316100]

摘 要: **目的** 控制带鱼加工下脚料低盐发酵鱼露中的生物胺含量。**方法** 以 *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 为功能发酵剂控制带鱼加工下脚料发酵鱼露中的生物胺含量, 并研究其对鱼露发酵过程中的 pH、NaCl 含量、总可溶性氮(total soluble nitrogen, TSN)含量、氨基酸态氮(amino acid nitrogen, AAN)含量、挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量以及发酵结束时感官风味的影响。**结果** 与空白组相比, 接种 *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 发酵剂对鱼露发酵过程中的 NaCl 含量影响不大($P>0.05$), 但可促进 pH 下降以及 TSN 和 AAN 含量上升, 并显著抑制 TVB-N 的产生($P<0.05$); 显著降低发酵结束时鱼露中 52.83%尸胺、40.21%组胺、45.44%酪胺、23.74%腐胺、52.67%苯乙胺和 43.26%总生物胺($P<0.05$), 对含量较低的色胺、精胺和亚精胺影响不大; 此外, 接种 *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 发酵剂可增强发酵结束时鱼露的鲜味和肉味, 减弱氨味、腥味和臭味, 整体上提升了鱼露感官风味。**结论** *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 可作为带鱼加工下脚料低盐发酵的功能发酵剂, 用于生产低盐、营养丰富、感官风味好且生物胺含量低的高品质鱼露产品。

关键词: *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033; 降解菌; 带鱼; 下脚料; 生物胺; 鱼露

Study on controlling biogenic amines content in fish sauce fermented from by-products of hairtail processing by *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033

YANG Yang^{1,2}, YANG Wei³, DENG Shang-Gui², ZHENG Bin², HU Yi⁴, LIU Yu^{1,2}, JIANG Wei^{1,2*}

(1. National Engineering Research Center for Marine Aquaculture, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 3. Rizhao Agricultural Products Quality and Safety Inspection and Testing Center, Rizhao 276800, China; 4. Zhejiang Henghe Food Co., Ltd., Zhoushan 316100, China)

ABSTRACT: Objective To control biogenic amines content in the low salt fermented fish sauce from hairtail processing by-products. **Methods** *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 was used as a functional starter

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0900901)、浙江省基础公益应用研究项目(LGN19C200017)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2020YFD0900901), and the Public Projects of Zhejiang Province (LGN19C200017)

*通信作者: 姜维, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全控制。E-mail: jiangwei_zjou@163.com

*Corresponding author: JIANG Wei, Ph.D, Associate Professor, Innovative and Application Institute, Zhejiang Ocean University, No.1, Haida South Road, Lincheng Changzhi Island, Zhoushan 316022, China. E-mail: jiangwei_zjou@163.com

culture to reduce biogenic amine contents in the fermented fish sauce of hairtail by-products. The pH, NaCl, total soluble nitrogen (TSN), amino acid nitrogen (AAN), and total volatile basic nitrogen (TVB-N) content were investigated during fermentation, and the sensory flavor was also analyzed at the end of fermentation. **Results** Compared with the control group, the incubation with *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 had little effects on NaCl content ($P>0.05$), but enhanced the decrease of pH and the increase of TSN and AAN content during fermentation. The formation of TVB-N was significantly inhibited ($P<0.05$). *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 significantly reduced 52.83% of cadaverine, 40.21% of histamine, 45.44% of tyramine, 23.74% of putrescine, 52.67% of phenylethylamine, and 43.26% of total biogenic amines in fish sauce at the end of fermentation ($P<0.05$). In contrast, it had little effects on tryptamine, spermine, and spermidine content. In addition, the inoculation with *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 enhanced the umami and meaty taste and reduced the ammonia, fishy, smelly taste of fish sauce at the end of fermentation. It overall improved the sensory flavor of fish sauce. **Conclusion** *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 can be regarded as a functional starter culture for low-salt fermentation of hairtail by-products. It can be used to produce a high-quality fish sauce with low salt content, rich nutrition, good sensory flavor, and low biogenic amine content.

KEY WORDS: *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033; degrading bacterium; hairtail; by-products; biogenic amine; fish sauce

0 引言

带鱼是我国重要的海洋经济鱼类之一, 2020 年捕捞量超过 90 万 t, 居我国单鱼种海洋捕捞产量之首, 主要捕捞省份为浙江、福建、广东和海南^[1]。带鱼蛋白含量高、肉质鲜美且营养价值高, 主要被加工成冷冻带鱼段或鱼糜, 加工过程中会产生占原料鱼重量 40%~55% 的鱼头、内脏、鱼骨及碎肉等下脚料, 如不加以有效利用, 不仅会浪费资源, 而且可能会导致环境污染^[2]。带鱼下脚料主要用于加工成饲料, 附加值较低, 寻找高附加值、易产业化推广的带鱼加工下脚料利用途径, 对带鱼加工产业增值增效具有重要意义。目前, 已经有关于带鱼下脚料酶解物制备和功能方面的研究^[3], 还鲜少见利用带鱼下脚料加工鱼露等调味品方面的研究报告。

鱼露是以海鱼和食盐以一定比例混合进行自然发酵或生物酶解而产生的调味料, 因其独特的风味和丰富的游离氨基酸, 深受东南亚消费者欢迎^[4-5]。传统鱼露通常是开放式发酵, 主要通过高盐环境抑制腐败微生物, 但复杂的菌群中仍可能存在产氨基酸脱羧酶的微生物, 可利用鱼露发酵过程中丰富的游离氨基酸, 产生大量的有害生物胺^[6]。鱼露中的高浓度生物胺已经引起国内外科研人员广泛关注, 研发生物胺控制技术势在必行^[7-8]。此外, 鱼露的高盐特性不符合“低盐膳食”的健康食品理念, 增加电渗析等脱盐处理工序, 可一定程度降低盐含量, 但会延长生产周期、增加加工成本, 并可能影响鱼露的风味和营养^[9-10]。近年来, 低盐发酵工艺成为鱼露研究领域的热点之一, 该工艺可以有效缩短生产周期, 降低产品盐含量, 但随之而来的生物

胺含量激增和风味下降限制了其推广应用^[11-14]。

生物胺是一类具有生物活性的含氮有机化合物的总称, 主要是氨基酸脱羧酶对游离氨基酸脱羧反应的产物^[15]。如果人体摄入过量生物胺, 会导致脸红、呕吐、呼吸加快、支气管痉挛、头痛以及高血压等中毒症状, 尸胺、腐胺、精胺和亚精胺等多胺还可与亚硝酸盐反应生成致癌物亚硝胺^[16-17]。生物胺在发酵食品中易于形成且性质稳定, 常规手段难以消除^[18]。生物胺降解菌是控制发酵食品中生物胺含量的重要手段之一, 但其实际控制效果及对发酵过程和终产品品质的影响存在较多不确定性^[19-22]。

本研究拟采用低盐工艺发酵带鱼加工下脚料制备鱼露, 通过课题组前期分离到的耐盐性高效生物胺降解菌 *Limosilactobacillus fermentum* FSCBAD033 (*L. fermentum* FSCBAD033) 控制鱼露中的生物胺含量^[23], 并评价其对鱼露发酵过程中理化指标以及发酵结束时感官风味的影响, 以期对带鱼加工下脚料提供高附加值的资源化利用途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

带鱼加工下脚料(浙江恒和食品有限公司); *L. fermentum* FSCBAD033(本实验室分离和保藏的生物胺降解菌)^[23], 该菌株最适生长温度、初始 pH 和 NaCl 含量分别为 40℃、6 和 3%, 在温度 15~45℃、初始 pH 为 3~9、NaCl 含量 0~18% 的范围内可降解腐胺、尸胺、组胺和酪胺; 海盐(山东海化股份有限公司羊口盐场)。

MRS 肉汤培养基(青岛海博生物技术有限公司); 组胺

二盐酸盐(纯度>99%)、腐胺二盐酸盐(纯度>98%)、精胺(纯度>97%)、亚精胺(纯度>97%)、酪胺(纯度>98%)、尸胺二盐酸盐(纯度>98%)、色胺(纯度>97%)、苯乙胺盐酸盐(纯度>98%)标准品、丹磺酰氯衍生剂(纯度>99%)(美国 Sigma-Aldrich 公司); 甲醇(色谱纯, 德国 Merck 公司); 超纯水(Milli-Q 超纯水系统制备); 盐酸、丙酮、正庚烷、氯化钠、脯氨酸、硫酸钾、五水硫酸铜、碳酸钾、甲醛、氢氧化钠、酚酞、乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

Milli-Q 超纯水系统制备(美国 Millipore 公司); YXQ-LS-75 立式压力灭菌锅(上海博迅实业有限公司); HC-3018R 冷冻离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司); DH600BII 电热恒温培养箱(天津泰斯特仪器有限公司); WFJ 2000 可见分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司]; Waters e2695 高效液相色谱仪(美国沃特世公司); IKA MS3 漩涡混合器(德国 IKA 公司); K9860 全自动凯氏定氮仪(济南海能仪器股份有限公司); PHS-3C 酸度计(上海仪电科学仪器股份有限公司); JXDC-20 氮吹仪(上海净信实业发展有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂的制备

接种环挑取斜面保存的 *L. fermentum* FSCBAD033, 接种至 MRS 肉汤培养基(NaCl 含量 3%), 37°C 活化 12 h。取活化的种子液以 2% 接种量接种至 MRS 肉汤培养基(NaCl 含量 3%), 37°C 下静置培养 24 h。4°C、6000×g 离心 10 min, 倒掉上清液, 沉淀用 3% NaCl 盐溶液洗涤两次, 再用 3% NaCl 盐溶液制成菌悬液, 调节菌浓度约为 7~8 log CFU/mL, 暂存于 4°C 冰箱, 当天使用。

1.3.2 带鱼下脚料发酵鱼露的制备

带鱼鱼糜加工下脚料(鱼头、内脏和碎肉鱼骨), 加入 12% (m:m) 海盐, 混合均匀。实验分组: (1) 空白组, 加入 15% (V:m, 下同) 的 3% NaCl 盐溶液; (2) *L. fermentum* FSCBAD033 组, 加入 15% (V:m) 的 1.3.1 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂, 每组 3 个平行。混合均匀后, 放入发酵容器中, 六层纱布封口, 35°C 下静置发酵 120 d, 发酵结束后, 50°C 下继续保持 10 d。在时间点 0、10、30、60、90、120 和 130 d 取样, 每次取样前充分混合, 样品经滤纸过滤后收集滤液用于测定指标, 感官评定分析 130 d 的样品。

1.3.3 pH 的测定

移液枪移取 1.0 mL 样品于 50 mL 离心管中, 加入 9.0 mL 煮沸后的蒸馏水, 混合均匀后使用酸度计测定 pH。

1.3.4 食盐含量测定

按照 GB/T 5009.39—2003《酱油卫生标准的分析方法》中食盐的测定方法分析, 食盐含量以 NaCl 计(单位 g/100 mL)。

1.3.5 总可溶性氮含量测定

移液枪移取 1.0 mL 样品于消化管, 加入 7 g 硫酸钾、1 g 五水硫酸铜和 12 mL 浓硫酸, 420°C 下消解 1 h, 冷却后加入 50 mL 蒸馏水, 全自动凯氏定氮仪测定总可溶性氮(total soluble nitrogen, TSN)含量(单位 g/100 mL)。

1.3.6 氨基酸态氮含量测定

按照 GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》中的酸度计法测定氨基酸态氮(amino acid nitrogen, AAN)含量(单位 g/100 mL)。

1.3.7 挥发性盐基氮含量测定

按照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的自动凯氏定氮法测定挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量(mg/100 mL)。

1.3.8 生物胺含量测定

采用丹磺酰氯柱前衍生-高效液相色谱法测定生物胺含量^[7]。

1.3.9 感官评价

采用定量描述分析(QDA-test)进行感官评定^[24]。评价组由 10 人组成(5 男 5 女, 年龄 20~26 岁), 正式评价前, 先对各风味描述进行一致性认定和培训。评价组独立对样品的 10 个风味特征(鲜味、氨味、腥味、咸味、肉味、炙烤味、臭味、奶酪味、酸味和酸败味)进行评分, 评分从 0 分到 10 分, 0 分代表完全没有该特征风味, 10 分代表有非常强烈的该特征风味。

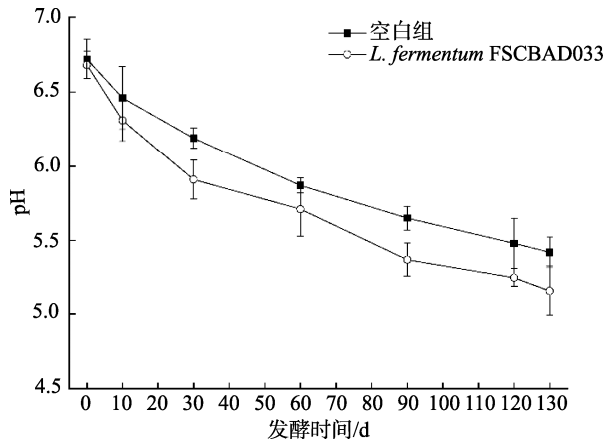
1.3.10 数据处理

实验结果以“平均值±标准偏差”的形式表示; 采用 IBM SPSS Statistics 25 软件分析数据, 采用 Student's *t* 检验法比较 *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组之间同一指标在同一时间的差异, $P < 0.05$ 表明统计学意义上的差异显著; 采用 OriginPro 2022 软件作图。

2 结果与分析

2.1 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露发酵过程 pH 的影响

鱼露发酵过程中 pH 变化如图 1 所示, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组的鱼露在发酵过程中均呈下降趋势, 与文献报道的罗非鱼下脚料发酵鱼露^[25]和鲢鱼发酵鱼露^[26]发酵过程的 pH 变化趋势相一致。鱼露发酵过程的 pH 下降与微生物发酵产酸密切相关^[27], *L. fermentum* FSCBAD033 组的 pH 下降更迅速, 整个发酵过程中 pH 均低于空白组, 主要归因于接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂的产酸作用。鱼露产品的 pH 普遍在 5.0~6.0 范围内, 能保持较好的风味和品质^[28], 本研究中 *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组的鱼露发酵结束时的 pH 分别为 5.16 和 5.42, 均处于该范围内。

图 1 鱼露发酵过程中 pH 的变化($n=3$)Fig.1 Changes of pH of fish sauce during fermentation ($n=3$)

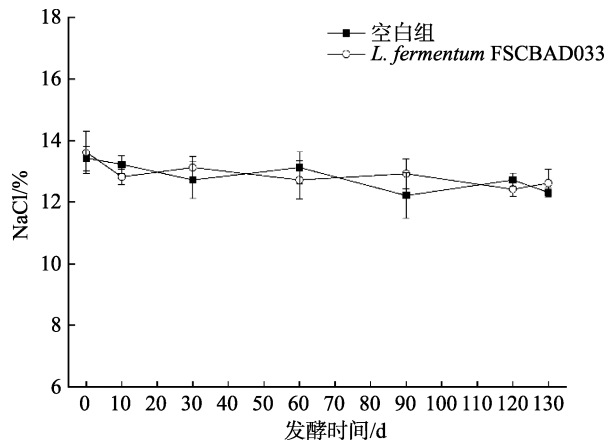
2.2 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露发酵过程 NaCl 含量的影响

NaCl 含量对 *L. fermentum* FSCBAD033 的生物胺降解活性具有较大影响^[23], 鱼露发酵过程中 NaCl 含量的变化如图 2 所示, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组的鱼露在发酵过程中 NaCl 含量变化不大, 两组鱼露之间无显著性差异 ($P>0.05$)。本研究添加 12% 的食盐进行低盐发酵, 鱼露发酵过程中的 NaCl 含量在 12.1%~13.6% 之间, 处于 *L. fermentum* FSCBAD033 发挥生物胺降解活性的范围内, 因此有望通过接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂生产高品质鱼露。

2.3 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露发酵过程 TSN 和 AAN 含量的影响

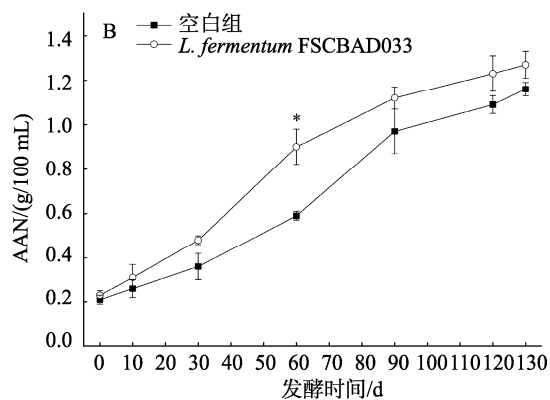
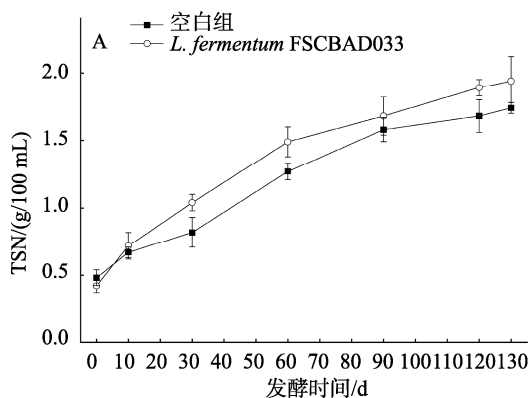
TSN 和 AAN 含量是评价鱼露营养品质的重要指标, 如图 3 所示, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组鱼露的 TSN 和 AAN 含量在发酵过程中均呈上升趋势, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组的 TSN 含量分别从 0.42 g/100 mL 和 0.48 g/100 mL 上升到 1.94 g/100 mL 和 1.74 g/100 mL, AAN 含量分别从 0.23 g/100 mL 和 0.21 g/100 mL 上升到 1.27 g/100 mL 和 1.16 g/100 mL。以往研究表明, 低盐发酵

会加速鱼肉组织中的蛋白质溶出和酶解, 从而实现 TSN 和 AAN 含量的快速上升^[29]。 *L. fermentum* FSCBAD033 组鱼露的 TSN 和 AAN 含量在发酵过程中均高于空白组, 说明接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂有助于鱼露营养品质的提升。

图 2 鱼露发酵过程中 NaCl 含量的变化($n=3$)Fig.2 Changes of NaCl content of fish sauce during fermentation ($n=3$)

2.4 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露发酵过程 TVB-N 含量的影响

TVB-N 是监测水产品和水产制品腐败变质的重要质控指标, 包括氨、三甲胺等含氮挥发性盐基化合物^[30]。如图 4 所示, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组鱼露的 TVB-N 含量在发酵过程中均呈上升趋势, 其中空白组的 TVB-N 含量在发酵过程中快速升高, 从初始的 18.26 mg/100 mL 上升到发酵结束的 224.14 mg/100 mL, 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂可减缓 TVB-N 含量的上升速度, *L. fermentum* FSCBAD033 组的 TVB-N 含量在整个发酵过程中均显著低于空白组 ($P<0.05$), 推测可能是 *L. fermentum* FSCBAD033 的营养竞争和产酸作用, 抑制发酵过程中产胺微生物的生长和产挥发性胺类。



注: 同一发酵时间, 与空白组相比, *表示有显著性差异, $P<0.05$, 下同。

图 3 鱼露发酵过程中 TSN (A) 和 AAN (B) 含量的变化($n=3$)Fig.3 Changes of TSN (A) and AAN (B) content of fish sauce during fermentation ($n=3$)

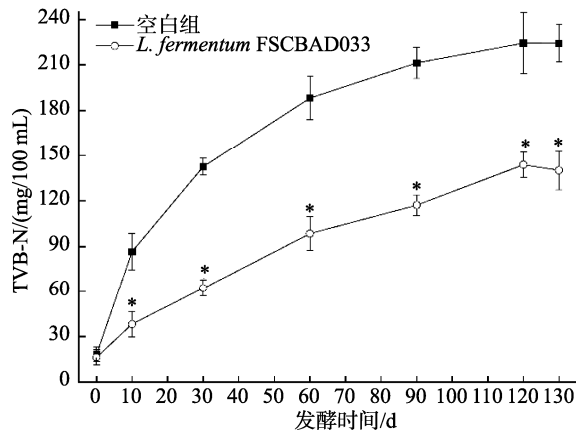


图 4 鱼露发酵过程中 TVB-N 含量的变化(n=3)
Fig.4 Changes of TVB-N content of fish sauce during fermentation (n=3)

2.5 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露发酵过程生物胺含量的影响

鱼露发酵过程中的生物胺含量变化趋势见图 5~7。发酵初始, 带鱼加工下脚料中检测到不高于 25 mg/kg 的尸胺、组胺、酪胺、腐胺和苯乙胺, 未检测到色胺、精胺和

亚精胺, 总生物胺含量不超过 70 mg/kg。发酵结束时, 空白组的尸胺、组胺、腐胺和酪胺含量均超过 100 mg/kg, 为鱼露中的高含量生物胺, 苯乙胺、色胺、精胺和亚精胺含量低于 65 mg/kg, 为鱼露中的低含量生物胺, 与文献报道相一致^[7,31]。

空白组鱼露中的尸胺和组胺含量在发酵前 60 d 急剧增加, 尸胺含量从发酵初始的 23.37 mg/kg 升高到发酵 60 d 的 297.26 mg/kg, 之后变化速度相对平缓, 发酵结束时达到 389.31 mg/kg, 组胺含量从发酵初始的 16.29 mg/kg 升高到发酵 60 d 的 168.32 mg/kg, 之后相对平缓地升高到发酵结束时的 207.71 mg/kg。接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂可以显著降低鱼露发酵过程中的尸胺和组胺含量($P < 0.05$), 发酵前 60 d, 鱼露中尸胺和组胺含量未超过 105 和 75 mg/kg, 发酵结束时, 尸胺和组胺含量分别为 183.64 和 124.19 mg/kg。

空白组鱼露中的腐胺和酪胺含量在整个发酵过程中持续增加(腐胺含量在 120~130 d 发酵过程中略微下降), 发酵初始, 原料中的腐胺和酪胺含量均未超过 20 mg/kg, 发酵结束时, 空白组鱼露中的腐胺和酪胺含量分别达到 113.13 和 297.30 mg/kg。接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发

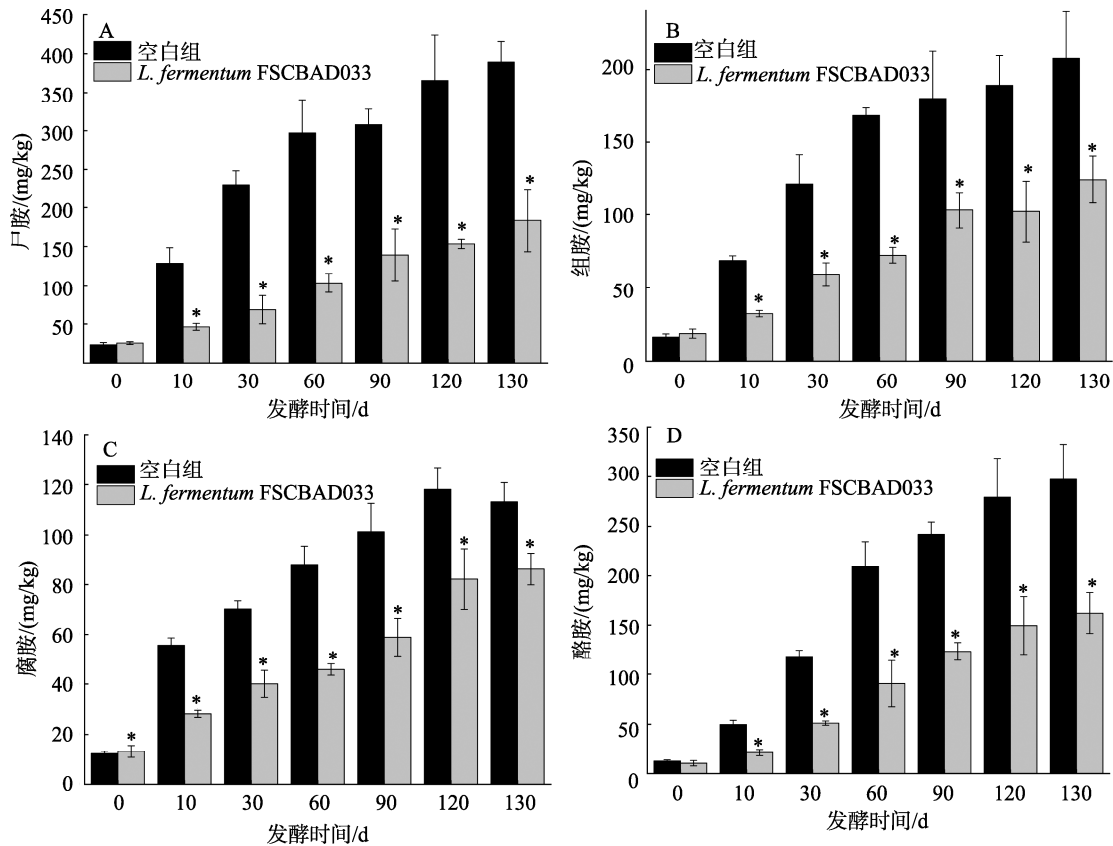


图 5 鱼露发酵过程中尸胺(A)、组胺(B)、腐胺(C)和酪胺(D)含量的变化(n=3)
Fig.5 Changes of cadaverine (A), histamine (B), putrescine (C) and tyramine (D) content of fish sauce during fermentation (n=3)

酵剂可以显著降低鱼露发酵过程中的腐胺和酪胺含量 ($P<0.05$), 发酵结束时, *L. fermentum* FSCBAD033 组尸胺和组胺含量分别为 86.27 和 162.20 mg/kg。

空白组鱼露中的苯乙胺含量在发酵过程中持续上升, 从发酵初始的 3.26 mg/kg 增加到发酵结束时的 62.27 mg/kg, 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂可以显著降低鱼露

发酵过程中的苯乙胺含量 ($P<0.05$), 发酵结束时的苯乙胺含量不及空白组的一半。空白组鱼露中的色胺、精胺和亚精胺含量在发酵过程中均未超过 20 mg/kg, 且发酵 10 d 才能检测到色胺和亚精胺, 发酵 30 d 才能检测到精胺, 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂未显著改变鱼露发酵过程中的色胺、精胺和亚精胺含量 ($P>0.05$)。

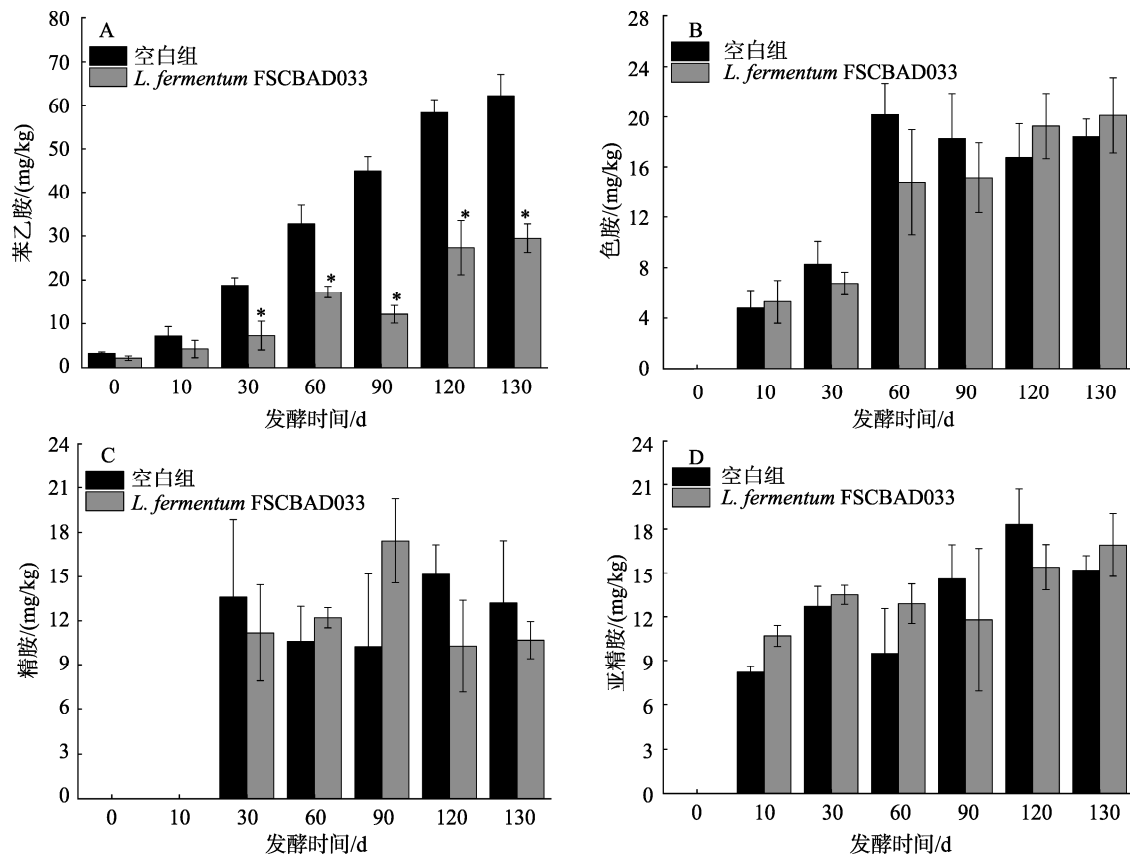


图 6 鱼露发酵过程中(A)苯乙胺、(B)色胺、(C)精胺和(D)亚精胺含量的变化($n=3$)

Fig.6 Changes of (A) phenylethylamine, (B) tryptamine, (C) spermine and (D) spermidine contents of fish sauce during fermentation ($n=3$)

食品中总生物胺含量超过 1000 mg/kg, 会对人体健康造成威胁^[32]。鱼露发酵过程中的总生物胺含量如图 7 所示, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组鱼露的总生物胺含量均呈上升趋势, 空白组鱼露在发酵 120 d 后超过 1000 mg/kg, 不在安全范围内^[33], 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂可以显著降低鱼露发酵过程中的总生物胺含量 ($P<0.05$), 发酵结束时为 633.47 mg/kg, 相比空白组下降了 43.26%, 在安全范围内。

综上, 与空白组相比, 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂可以显著降低发酵结束时鱼露中的 52.83% 尸胺、40.21% 组胺、45.44% 酪胺、23.74% 腐胺和 52.67% 苯乙胺, 对含量较低的色胺、精胺和亚精胺含量影响不大。因此, 接种 *L.*

fermentum FSCBAD033 发酵剂有助于提高鱼露的食用安全性。

2.6 *L. fermentum* FSCBAD033 对鱼露感官风味的影响

采用定量描述分析法对发酵结束后的鱼露进行感官分析, 结果如图 8 所示。基于 10 个定量评价指标, *L. fermentum* FSCBAD033 组和空白组鱼露均具有明显的鲜味和咸味, 且 *L. fermentum* FSCBAD033 组的鲜味明显强于空白组; 两组鱼露均未表现出明显的炙烤味、奶酪味、酸味和酸败味; 空白组鱼露具有一定程度的氨味、腥味、肉味和臭味, *L. fermentum* FSCBAD033 组的肉味强于空白组, 但氨味、腥味弱于空白组, 且无明显臭味。因此, 接种 *L. fermentum* FSCBAD033 发酵剂有助于改善鱼露的感官风味。

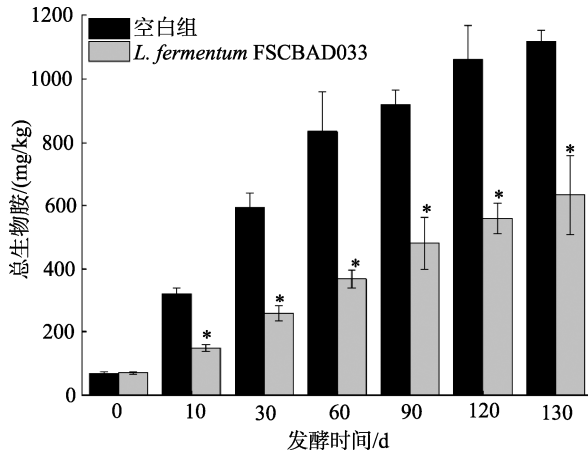


图 7 鱼露发酵过程中总生物胺含量的变化(n=3)
Fig.7 Changes of total biogenic amines content of fish sauce during fermentation (n=3)

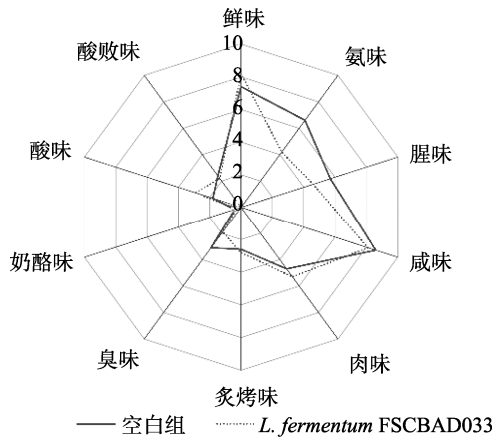


图 8 鱼露的感官分析(定量描述分析)(n=3)
Fig.8 Sensory analysis of fish sauce (quantitative descriptive analysis) (n=3)

3 结 论

鱼露发酵过程中添加高浓度的食盐, 可以抑制腐败微生物的生长, 减少有害物质的产生, 但过高的食盐含量会导致发酵周期过长, 且产品不符合低盐膳食的健康生活理念^[33]。低盐发酵可有效缩短鱼露生产周期, 降低产品中的盐含量, 但抑制腐败菌的效果下降, 有害物质如生物胺的产生风险提高。采用生物胺降解菌分解生物胺, 已成为控制发酵食品中生物胺含量的重要途径之一^[19]。生物胺降解菌的实际应用效果往往需要在食品基质中进行检验, 本研究将课题组前期分离到的耐盐性高效生物胺降解乳酸菌 *L. fermentum* FSCBAD033 接种到低盐发酵带鱼加工下脚料中, 可以增强发酵过程中 pH 的下降以及 TSN 和 AAN 含量的上升, 显著抑制 TVB-N 含量和生物胺含量的上升, 改善鱼露的感官风味。本研究结果, 对高值化利用带鱼加工下脚料生产低盐、营养丰富、风味好且安全性高的鱼露产品具有一定的参考意义。

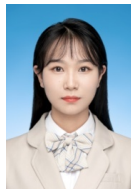
参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
Fisheries administration of the ministry of agriculture and rural affairs. 2021 China fisheries statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021.
- [2] WANG P, LIN Y, WU H, *et al.* Preparation of antioxidant peptides from hairtail surimi using hydrolysis and evaluation of its antioxidant stability [J]. Food Sci Tech-Brazil, 2020, 40(4): 945–955.
- [3] 董亚飞, 徐彤, 杨文鸽, 等. 响应面法优化带鱼下脚料酶解物螯合锌的制备工艺[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 541–547.
DONG YF, XU TY, YANG WG, *et al.* Optimization of chelation of hairtail off-cuts hydrolysates with zinc by response surface methodology [J]. J Nucl Agric Sci, 2016, 30(3): 541–547.
- [4] TEPKASIKUL P, SANTIYANONT P, BOONCHAROEN A, *et al.* The functional starter and its genomic insight for histamine degradation in fish sauce [J]. Food Microbiol, 2022, 104: 103988.
- [5] HAN J, KONG T, WANG Q, *et al.* Regulation of microbial metabolism on the formation of characteristic flavor and quality formation in the traditional fish sauce during fermentation: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2022. DOI: 10.1080/10408398.2022.2047884
- [6] MA X, BI J, LI X, *et al.* Contribution of microorganisms to biogenic amine accumulation during fish sauce fermentation and screening of novel starters [J]. Foods, 2021, 10(11): 2572.
- [7] JIANG W, XU Y, LI C, *et al.* Biogenic amines in commercially produced Yulu, a Chinese fermented fish sauce [J]. Food Addit Contam B, 2014, 7(1): 25–29.
- [8] TRAN QH, NGUYEN TT, PHAM KP. Development of the high sensitivity and selectivity method for the determination of histamine in fish and fish sauce from Vietnam by UPLC-MS/MS [J]. Int J Anal Chem, 2020. DOI: 10.1155/2020/2187646
- [9] LIU Y, XU Y, HE X, *et al.* Reduction of salt content of fish sauce by ethanol treatment [J]. J Food Sci Tech Mys, 2017, 54(9): 2956–2964.
- [10] JUNDEE J, DEVAHASTIN S, CHIEWCHAN N. Development and testing of a pilot-scale electro dialyser for desalination of fish sauce [J]. Procedia Eng, 2012, 32: 97–103.
- [11] GAO R, ZHOU J, LENG W, *et al.* Screening of a *Planococcus* bacterium producing a cold-adapted protease and its application in low-salt fish sauce fermentation [J]. J Food Process Pres, 2020, 44(8): e14625.
- [12] KHONGLA C, LAPSONGPHON N, RODTONG S, *et al.* Physicochemical and antioxidant properties of fish sauce prepared by *Virgibacillus* sp. starter cultures addition and reduced salt process [J]. J Aquat Food Prod Technol, 2021, 30(7): 835–846.
- [13] RUAN L, JU Y, ZHAN C, *et al.* Improved umami flavor of soy sauce by adding enzymatic hydrolysate of low-value fish in the natural brewing process [J]. LWT-Food Sci Technol, 2022, 155: 112911.
- [14] ZHOU Y, WU S, PENG Y, *et al.* Effect of lactic acid bacteria on mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) seasoning quality and flavor during fermentation [J]. Food Biosci, 2021, 41: 100971.
- [15] SCHIRONE M, ESPOSITO L, DONOFRIO F, *et al.* Biogenic amines in meat and meat products: A review of the science and future perspectives [J]. Foods, 2022, 11(6): 788.

- [16] LADERO V, CALLES-ENRIQUEZ M, FERNANDEZ M, *et al.* Toxicological effects of dietary biogenic amines [J]. *Curr Nutr Food Sci*, 2010, 6(2): 145–156.
- [17] OMER AK, MOHAMMED RR, AMEEN PSM, *et al.* Presence of biogenic amines in food and their public health implications: A review [J]. *J Food Protect*, 2021, 84(9): 1539–1548.
- [18] WOJCIK W, LUKASIEWICZ M, PUPPEL K. Biogenic amines: Formation, action and toxicity-A review [J]. *J Sci Food Agric*, 2021, 101(7): 2634–2640.
- [19] ALVAREZ MA, MORENO-ARRIBAS MV. The problem of biogenic amines in fermented foods and the use of potential biogenic amine-degrading microorganisms as a solution [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2014, 39(2): 146–155.
- [20] LEE J, JIN YH, PAWLUK AM, *et al.* reduction in biogenic amine content in Baechu (*Napa Cabbage*) kimchi by biogenic amine-degrading lactic acid bacteria [J]. *Microorganisms*, 2021, 9(12): 2570.
- [21] CHEN Y, WU C, XU W, *et al.* Evaluation of degradation capability of nitrite and biogenic amines of lactic acid bacteria isolated from pickles and potential in sausage fermentation [J]. *J Food Process Pres*, 2022, 46(1): e16141.
- [22] LI S, DU X, FENG L, *et al.* The microbial community, biogenic amines content of soybean paste, and the degradation of biogenic amines by *Lactobacillus plantarum* HM24 [J]. *Food Sci Nutr*, 2021, 9(12): 6458–6470.
- [23] 柳佳娜, 张宾, 刘宇, 等. 高效降解生物胺乳酸菌的筛选、鉴定及特性研究[J]. *中国酿造*, 2021, 40(7): 141–147.
LIU JN, ZHANG B, LIU Y, *et al.* Screening, identification and characteristics of a high efficient biogenic amines-degrading lactic acid bacteria [J]. *China Brew*, 2021, 40(7): 141–147.
- [24] JIANG JJ, ZENG QX, ZHU ZW, *et al.* Chemical and sensory changes associated Yu-lu fermentation process—A traditional Chinese fish sauce [J]. *Food Chem*, 2007, 104(4): 1629–1634.
- [25] 陈瑜珠, 陶红丽, 曾庆孝, 等. 利用罗非鱼加工下脚料发酵鱼露的研究[J]. *现代食品科技*, 2008, (5): 441–443, 423.
CHEN YZ, TAO HL, ZENG QX, *et al.* Study of fish sauce production via fermentation of processed tilapia by-products [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2008, (5): 441–443, 423.
- [26] DISSARAPHONG S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, *et al.* The influence of storage conditions of tuna viscera before fermentation on the chemical, physical and microbiological changes in fish sauce during fermentation [J]. *Bioresour Technol*, 2006, 97(16): 2032–2040.
- [27] NGUYEN AQ, SEKAR A, KIM M, *et al.* Fish sauce fermentation using *Marinococcus halotolerans* SPQ isolate as a starter culture [J]. *Food Sci Nutr*, 2021, 9(2): 651–661.
- [28] 姜维. 一株耐盐性高效生物胺降解新菌的筛选、分类鉴定及应用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
JIANG W. Study on the screening, taxonomic analysis and application of one novel, salt-tolerant and high efficient biogenic amines degrading bacterium [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [29] HWANG CC, LIN CM, KUNG HF, *et al.* Effect of salt concentrations and drying methods on the quality and formation of histamine in dried milkfish (*Chanos chanos*) [J]. *Food Chem*, 2012, 135(2): 839–844.
- [30] XU K, YI Y, DENG J, *et al.* Evaluation of the freshness of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets by the NIR, E-nose and SPME-GC-MS [J]. *RSC Adv*, 2022, 12(19): 11591–11603.
- [31] MA X, BI J, LI X, *et al.* Contribution of microorganisms to biogenic amine accumulation during fish sauce fermentation and screening of novel starters [J]. *Foods*, 2021, 10(11): 2572.
- [32] SANTOS MHS. Biogenic amines: Their importance in foods [J]. *Int J Food Microbiol*, 1996, 29(2–3): 213–231.
- [33] HUNTER RW, DHAUN N, BAILEY MA. The impact of excessive salt intake on human health [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2021, 18: 321–335.

(责任编辑: 韩晓红 张晓寒)

作者简介



杨 洋, 主要研究方向为食品质量与安全控制。

E-mail: 15754517881@163.com



姜 维, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量与安全控制。

E-mail: jiangwei_zjou@163.com