

孙海鑫, 陈智慧, 王盛美, 等. 发酵鱼中菌群组成及发酵特性研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 424–431. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030067

SUN Haixin, CHEN Zhihui, WANG Shengmei, et al. Research Progress on Microflora Composition and Fermentation Characteristics of Fermented Fish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(5): 424–431. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030067

· 专题综述 ·

发酵鱼中菌群组成及发酵特性研究进展

孙海鑫¹, 陈智慧², 王盛美³, 韩 军¹, 孙纪录^{1,*}

(1. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000;

2. 云南省曲靖农业学校生物技术学部, 云南曲靖 655000;

3. 河北农业大学现代科技学院, 河北保定 071000)

摘 要: 发酵是鱼类保藏和加工的重要手段。发酵赋予鱼肉独特的风味和质地, 微生物在发酵过程中扮演着重要的角色。本文介绍了发酵鱼中微生物组成和在抑制杂菌、物质降解、风味形成和生物胺积累中的作用, 以帮助了解优势微生物及其发酵特性, 制备工业发酵剂, 提高发酵鱼产量和品质。此外, 对发酵鱼深入研究进行了展望。

关键词: 发酵鱼, 菌群组成, 抑菌, 降解, 风味, 生物胺

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)05-0424-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021030067

本文网刊:



Research Progress on Microflora Composition and Fermentation Characteristics of Fermented Fish

SUN Haixin¹, CHEN Zhihui², WANG Shengmei³, HAN Jun¹, SUN Jilu^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;

2. Department of Biotechnology, Qujing Agricultural School of Yunnan, Qujing 655000, China;

3. College of Modern Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: Fermentation is an important means of fish preservation and processing. Fermentation gives fish unique flavor and texture, and microorganisms play an important role in the process of fermentation. This paper introduces the composition of microorganisms in fermented fish and its role in inhibiting miscellaneous bacteria, substance degradation, flavor formation and biogenic amine accumulation, in order to help understand the dominant microorganisms and their fermentation characteristics, prepare industrial starter and improve the yield and quality of fermented fish. In addition, the further study of fermented fish is prospected.

Key words: fermented fish; microflora composition; bacteriostasis; degradation; flavor; biogenic amines

鱼类食品被认为是人类食物资源中不可或缺的一部分, 不同鱼类的各种加工食用方式在悠久的历史中不断演化改进。发酵是鱼类产品加工手段中极其重要的加工方式^[1], 起初是作为鱼肉保鲜的手段出现的^[2]。随着鱼类产品的消费量不断增加, 发酵方法得以不断改进^[3]。世界各地的发酵鱼种类丰富多样, 历史悠久, 是一种传统的特色美食^[4]。发酵也从保藏手段逐渐变为加工手段。因地理位置差异, 世界各地的

发酵鱼有不同类型的加工制品(见图 1), 风味也因此迥异富有特色^[5-6]。例如, 在印度尼西亚地区的盐渍发酵鱼 Jambal roti 和 Budu^[7]; 瑞典地区的即食酸鲱鱼产品 Surströmming^[8]; 柬埔寨地区的发酵鱼制品 Prohok^[9]; 冰岛地区的腌制鲨鱼肉 Hákarl^[10]; 亚洲是发酵鱼的主要市场, 尤其是在中国, 发酵鱼类型有贵州和湖南地区的酸鱼、安徽地区的臭鳊鱼、广东地区的糟鱼、潮汕地区的鱼露、海南地区的鱼茶等各种发

收稿日期: 2021-03-08

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系淡水养殖创新团队建设项目(HBCT2018180206)。

作者简介: 孙海鑫(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 811196722@qq.com。

* 通信作者: 孙纪录(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: fm1311sun@163.com。

酵制品^[11]。发酵鱼具有营养价值高、地域风味强、制备条件简易等特点, 诸多研究均展出发酵鱼是人体蛋白质、矿物质、微量元素的重要来源, 其营养对人体健康和膳食均衡起到一定影响^[6]。例如, Siscovick 等^[12]的研究中发现鱼油对预防糖尿病、心脑血管疾病和中风的优势。Najafian 等^[13]从发酵鱼中分离出的抗氧化活性肽用作功能性食品成分和药物时可预防疾病, 增强人体体质。

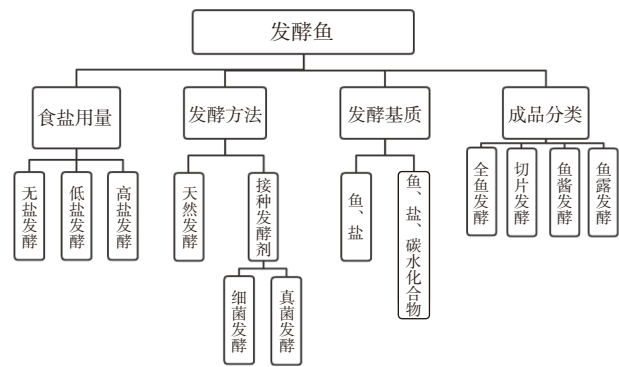


图 1 发酵鱼分类
Fig.1 Classification of fermented fish

鱼肉发酵的关键是微生物和酶, 对发酵鱼中的微生物菌群和功能性菌的研究有利于制备优良发酵剂提高发酵鱼产量和品质, 缩短发酵时间, 提高工业化生产的稳定性^[14-15]。在发酵过程中, 各种微生物相互作用将发酵原料中的各种大分子物质代谢分解成易被身体消化吸收的小分子活性物质^[16], 从而使得发酵成品的发酵时间、质地、风味、营养含量、香气成分等均发生显著变化^[17-20], 一些微生物的发酵产物还能起到调节免疫系统^[21]、预防某些疾病的作用^[13]。目前人们对很多类型发酵鱼产品中的微生物菌群组成尚未有太多了解, 因此对发酵鱼食品中的微生物菌群及其在发酵过程中的功能特性进行研究对发酵鱼产业发展和产品质量提高都具有重要意义。对发酵鱼食品微生物组成和发酵特性进行综述, 为发酵鱼领域发展提供理论资料。

1 发酵鱼中的微生物

发酵鱼的核心词是发酵, 发酵离不开微生物的代谢活动, 不同地区因环境和发酵原料的差异导致发酵鱼中的微生物有很大差异。不同的优势菌种因代谢差异导致了各种类型的发酵鱼之间风味、质地、色泽、安全性差异显著^[22]。发酵鱼中有两类主要的微

生物, 一部分是有益微生物, 包括乳酸菌、微球菌、酵母菌、葡萄球菌, 另一部分主要是有害微生物, 包括一些肠道菌、金黄色葡萄球菌、产胺菌等会产生对人体有害的代谢物质^[23-25]。自然发酵鱼肉制品中的微生物往往因粗放的加工方式导致发酵菌群更加复杂, 腐败微生物的生长也难以得到有效抑制。除了传统的发酵方式, 很多研究通过添加发酵剂和发酵辅料进行发酵鱼的制作, 添加发酵剂的方式(乳酸菌产生细菌素)能够有效控制腐败微生物的滋生^[26], 发酵香辛料也能起到抑制产胺菌等有害微生物生长的作用^[27], 从而保证发酵鱼在发酵质量上的可控性。

1.1 传统发酵鱼中的微生物

传统发酵鱼的工艺主要是自然发酵, 鱼本身的微生物和发酵过程中的控制水平使得传统发酵鱼中微生物组成较为复杂, 优劣菌并存于发酵制品中, 大大限制了发酵鱼制品的质量和食用安全性。见表 1。

1.1.1 乳酸菌 乳酸菌是通过发酵碳水化合物产生乳酸的一类厌氧或兼性厌氧的球状或杆状菌株。发酵鱼制品在发酵过程中产生了令人满意的变化, 乳酸菌在其中扮演了重要角色。乳酸菌主要有乳杆菌属、双歧杆菌属、链球菌属、明串珠菌、片球菌属等^[11]。乳酸菌形态多样, 但不具备孢子, 运动性能较差, 耐氧能力较强, 乳酸菌通过自身产生的乳酸降低发酵过程中的 pH 进而抑制腐败微生物的生长繁殖。不仅如此, 异型乳酸发酵菌产生的乙醇、乙醛、乙酸等香味物质, 促进了发酵制品风味的形成^[34]。

目前已有大量关于发酵鱼制品中乳酸菌的研究, 刘璐等^[35]在贵州黔东南地区的鱼酱酸中分离出 15 株典型的产 γ -氨基丁酸的乳酸菌, 包括 2 株食窦魏斯氏菌、1 株雄峰魏斯氏菌、11 株植物乳杆菌和 1 株戊糖乳杆菌, 其中植物乳杆菌 Y279 和 Y64 展现出良好的耐酸、耐盐、抑菌特点, 可作为工业化生产的优良菌株。Harnentis 等^[7]在印度尼西亚本地发酵鱼中分离得到了 10 株乳酸菌, 鉴定为乳杆菌属, 革兰氏阳性杆菌。Han 等^[36]在自发发酵的鱼茶中分离得到 3 株乳酸菌, 包括 2 株植物乳杆菌和 1 株乳酸乳球菌。胡锦涛等^[11]对发酵鱼中乳酸菌的重要地位进行概述, 阐明了乳酸菌在发酵鱼制品过程中的关键作用。林城杏^[37]通过研究传统高盐发酵酸鱼, 在 6 组样品中共分离到 42 株优良乳酸菌, 其中 24 株为植物乳杆菌, 占比高达 57.14%, 说明高盐发酵酸鱼的

表 1 常见的自然发酵鱼制品
Table 1 Common naturally fermented fish products

名称	原料	优势菌	主要产地	参考文献
酸鱼	鲤鱼、小米	植物乳杆菌、酵母菌、木糖葡萄球菌	贵州、湖南	[28-29]
臭鳊鱼	鳊鱼	乳酸菌、冷杆菌、肠球菌	安徽	[30]
鱼露	低值鱼、鱼内脏	乳酸菌、酵母菌、霉菌	潮汕	[31]
鱼辣酱	鲢鱼、辣椒	乳酸菌、酵母菌	中国西南地区	[32]
鱼茶	高山鱼、稻米	乳球菌、乳杆菌、酵母菌	海南	[24, 33]

第一优势菌株为植物乳杆菌。在其他发酵食品中也有相似结果^[38-39], 发酵过程中的优势菌多为乳酸菌, 特别是在发酵鱼制品中, 乳酸菌中的植物乳杆菌是发酵鱼制品的关键微生物。

1.1.2 葡萄球菌 葡萄球菌是一种发酵过程中的优势微生物, 很多葡萄球菌在发酵过程中都能分泌酶来促进水产品的色泽、质地和风味的形成^[40]。葡萄球菌的显著特点就是具有硝酸盐还原酶活性, 在发酵肉制品时能够将 NO_3^- 还原为 NO_2^- , 当发酵鱼类时因为较低的 pH, NO_2^- 自然分解为 NO, 此时 NO 与鱼肉中的肌红蛋白相结合产生亚硝基肌红蛋白而使肉质呈现出诱人的红色^[30]。目前, 东南亚地区及日本地区的传统发酵鱼研究中分离出较多的葡萄球菌。Majumdar 等^[41] 在印度传统发酵鱼 Sheedal 中分离到 7 株葡萄球菌, 即 *S. piscifermentans*、*S. condiment*、*S. arlettae*、*S. sciuri*、*S. warneri*、*S. nepalensis* 和 *S. hominis*, 这 7 株葡萄球菌均表现出蛋白质水解和脂解的活性特点。Kanjana 等^[42] 在泰国发酵鱼 Budu 中分离得到的葡萄球菌 PMRS35 在模拟胃肠道条件下, 存活率达 80% 以上。Ngari 是印度东北部的一种传统发酵鱼食品, Khusro 等^[43] 在 Ngari 中分离得到对病原体抑制活性较强的腐生葡萄球菌, 呈现出高耐酸性、疏水性和自聚集性的特点。

1.1.3 酵母菌 在鱼肉制品发酵中, 酵母菌对发酵也有积极的促进作用。发酵初期的酵母菌数量一般较少, 在发酵成熟到保藏期间酵母菌数量才有所增加^[30]。Zeng 等^[44] 在传统低盐(2%~3%)发酵酸鱼中共分离得到 110 株具有典型形态的酵母菌, 并通过 PCR 和生化方法鉴定为酿酒酵母(70.9%)和异常汉逊酵母(29.1%), 其中五株表现出较强的益生菌性状和理化性质, 该研究通过筛选耐逆性(pH、温度、盐浓度)和蛋白水解、脂解活性较好的酿酒酵母菌来制作发酵剂, 提高发酵质量。陈柔霖等^[45] 在鱼蛋白酶解液中分离得到 7 株酵母菌, 经产香试验筛选出一株最佳产香酵母 Y2, 鉴定为长孢洛德酵母。

1.1.4 霉菌 从目前研究来看, 霉菌在发酵鱼微生物区系中也是占有一定的数量。谢莉等^[46] 在传统发酵鱼露中分离到耐盐性霉菌, 分子生物学鉴定为橘青霉(*Penicillium citrinum*), 溶血性实验未出现溶血现象, 通过转录组技术研究高盐胁迫下的代谢作用, 该霉菌可缩短发酵时间。杨颖等^[47] 为克服速酿鱼露风味较

差的缺陷, 在鱼露中筛选出一株米曲霉作为后续实验的发酵剂, 以大米作为种曲并配合分段加盐工艺有效的缩短了鲢鱼鱼露的发酵周期。米曲霉在高盐和低酸环境下活性较低, 还有可能产生杂菌, 因此霉菌在发酵鱼制品中的使用还需要进一步研究。

霉菌在鱼肉制品的发酵中作为优势菌出现多依靠人工接种为主, 霉菌作为发酵剂进行肉制品发酵时会产生一定的风险, 在选择霉菌菌种接种时要进行严格的菌种筛查工作, 以此保证发酵的安全性。

1.2 人工接种发酵鱼中的微生物

由于自然发酵过程中微生物种类难以控制, 导致自然发酵食品的品质会受到极大的影响。自然发酵由于添加不同比例的发酵原料, 间接的也会影响到微生物菌群的变化。例如, 食盐添加量较高会使某些不耐盐微生物难以成为发酵优势菌。由于自然发酵的不稳定性, 接种发酵剂来增强发酵能力, 缩短发酵周期, 为工业化生产提供稳定的发酵方式提供了技术手段。与传统的自然发酵相比, 接种发酵剂的发酵方式优势更加明显。见表 2。例如, 使特定的功能性菌株成为优势菌株, 进而达到预期的发酵目标, 通过优势菌株来抑制杂菌污染, 提高发酵安全性; 获得清晰的发酵进程, 使发酵变得更容易控制, 大大缩短发酵周期, 降低了发酵的成本; 利用特定的菌种代谢物来抑制某些有害物质的形成^[49-50]。近年来, 为提高发酵质量、缩短发酵周期、抑制生物胺等有害产物, 应用复合发酵剂能够充分利用菌种间的协同作用加快发酵进程、提高产品质量。

石健喜等^[51] 在传统发酵鱼中分离出植物乳杆菌、木糖葡萄球菌和酿酒酵母制成复合发酵剂进行发酵发现乳酸菌逐渐成为鲢鱼发酵过程中的优势菌, 葡萄球菌在发酵 24 h 后增长速度变慢, 可能是由于逐渐降低的 pH 抑制了葡萄球菌的生长, 发酵 36 h 后, 假单胞菌、肠杆菌明显受到抑制, 可能是由于 pH 及抑菌物质的影响。Zhao 等^[52] 采用黑曲霉和米曲霉混合发酵的方法, 发现氨基酸、可溶性氮、游离氨基酸和谷氨酸的含量相较于只采用米曲霉发酵有不同程度的增加。试验结果均表明, 采用混合发酵剂发酵鱼肉制品, 氨态氮、游离氨基酸的含量得到提高, 香气增加明显。

Zang 等^[53] 利用高通量测序在研究有无接种发酵剂发酵酸鱼的微生物群落动态后发现, 无论是否包

表 2 优良发酵剂的发酵特点

Table 2 Fermentation characteristics of excellent starter

影响方面	发酵剂组成	影响结果
微生物及pH	乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌	大肠菌群数量急剧减少, pH较低 ^[14]
滋味物质	片球菌、葡萄球菌	蛋白质降解率高, TCA-溶解肽含量增加 ^[14]
挥发性风味	乳酸菌、葡萄球菌	酯类挥发性化合物含量明显增加 ^[14]
安全性	乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌	TVB-N含量显著减少, 生物胺含量明显降低, 亚硝酸盐含量较自然发酵明显降低 ^[14]
脂肪酸	植物乳杆菌、木糖葡萄球菌、酿酒酵母	游离脂肪酸含量有不同程度增加 ^[48]

含发酵剂培养物,乳酸菌、巨球菌、葡萄球菌都是整个发酵过程中的主要细菌。在接种发酵剂的样品中,酵母菌是发酵早期的主要菌类,到发酵后期主要菌类变为念珠菌和威克汉姆菌。与天然发酵的样品相比,接种发酵剂的样品对乳球菌、明串珠菌、肠球菌、弧菌、镰刀菌和孢圆酵母等均有抑制作用,对金黄色葡萄球菌的产生有显著的抑制作用^[53],该研究表明了混合发酵剂的接种抑制了许多导致食品变质微生物的生长。

Gelman 等^[54]利用分离到的乳酸菌作为发酵剂接种到鱼糜中,在 10 ℃ 培养 7 周后发现鱼糜中菌株特异性较强,在接种植物乳杆菌和肠膜明串珠菌的样品中对竞争菌群的抑制作用明显强于其他接种样品。Liao 等^[55]以植物乳杆菌、木糖葡萄球菌和酿酒酵母复合发酵剂接种样品,发现样品中的乳酸菌含量要明显高于接种了木糖葡萄球菌或酿酒酵母单一菌种样品中的乳酸菌数量。韩静^[33]研究不同温度下自然发酵鱼茶的菌群分布发现,各组中的优势菌株在发酵第 3 周后开始确立,发酵鱼茶在 15 ℃ 发酵条件下的优势菌株为沙克乳酸杆菌和植物乳杆菌,在 20 ℃ 和 25 ℃ 条件下的优势菌株是植物乳杆菌,30 ℃ 条件下的优势菌株是短乳杆菌。Zheng 等^[56]在研究中分离到一株嗜盐冷杆菌对 pH 和 NaCl 变化影响不明显,显著提高了嗜盐微生物的数量,进而加速了鱼露发酵进程。有研究表明,乳酸菌在发酵过程中快速产酸的同时,对腐败菌种和致病菌生长繁殖具有抑制作用^[57]。吴永祥等^[58]在研究臭鳊鱼发酵中指出传统的臭鳊鱼发酵得益于微生物菌群的系统发酵,实现臭鳊鱼的接种定向发酵需要筛选形成特殊风味的微生物,并了解微生物菌株的发酵机理、各种微生物间的协同作用及发酵环境条件。

2 发酵鱼中优势菌种的发酵特性

传统发酵鱼制品中的微生物是复杂多样的,微生物类型与发酵质量密切相关,了解优势菌种对提高

各种原有大分子物质的降解能力,减少有害物的产生和提高发酵鱼制品的品质具有重要意义,见图 2。对优势菌种的特定功能进行研究,将微生物的组成与代谢作用相结合,能更加清晰地了解到微生物与鱼肉中物质的作用机理^[59],从而筛选特定的优势菌种作为发酵剂,稳定发酵过程,达到提高发酵质量的目的,为工业化生产发酵鱼制品提供理论支持。

2.1 抑制腐败微生物生长

乳酸菌作为发酵鱼制品中的优势菌株,对食源性病原体和腐败菌均有抑制作用^[60]。乳酸菌能代谢合成各种抗菌性化合物,如有机酸、双乙酰、罗伊氏菌素、细菌素^[26]等。刘璐等^[35]在鱼酱酸中分离出的 15 株乳酸菌能够快速产酸,表现出较强的耐酸、耐胆盐性,抑菌实验中抑菌液有明显抑菌圈,研究表明植物乳杆菌 Y64 和 Y279 若作为发酵剂接种能快速产酸抑制不耐酸微生物的生长。童火艳^[61]利用大肠杆菌和枯草芽孢杆菌作为指示菌,对 5 株乳酸菌(乳酸片球菌、发酵乳杆菌、植物乳杆菌、短乳杆菌和干酪乳杆菌)抑菌能力进行测定,发现植物乳杆菌的抑菌能力最强。林城杏^[37]在发酵酸鱼中筛选出产细菌素乳酸菌对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有明显抑制效果,且菌株具有良好的耐盐、耐酸、耐热特性。根据以上研究发现,乳酸菌中植物乳杆菌抑菌能力更加突出,作为发酵剂可快速产酸,显著降低环境的 pH,抑制腐败微生物的生长繁殖。

2.2 促进大分子物质降解

发酵鱼肉中的脂肪降解程度对品质有着重要的影响。不同的微生物对脂肪降解效率有显著差异^[62]。Xu 等^[62]在酸鱼中接种植物乳杆菌 120、木糖葡萄球菌 135 和酿酒酵母 31,发现接种发酵剂样品中的游离脂肪酸含量有不同程度的增加,表明接种的发酵剂可以促进游离脂肪酸的脂解和释放,其中木糖葡萄球菌 135 具有更高的脂肪分解活性。有报道指出,利用植物乳杆菌、木糖葡萄球菌和酿酒酵母菌发酵酸

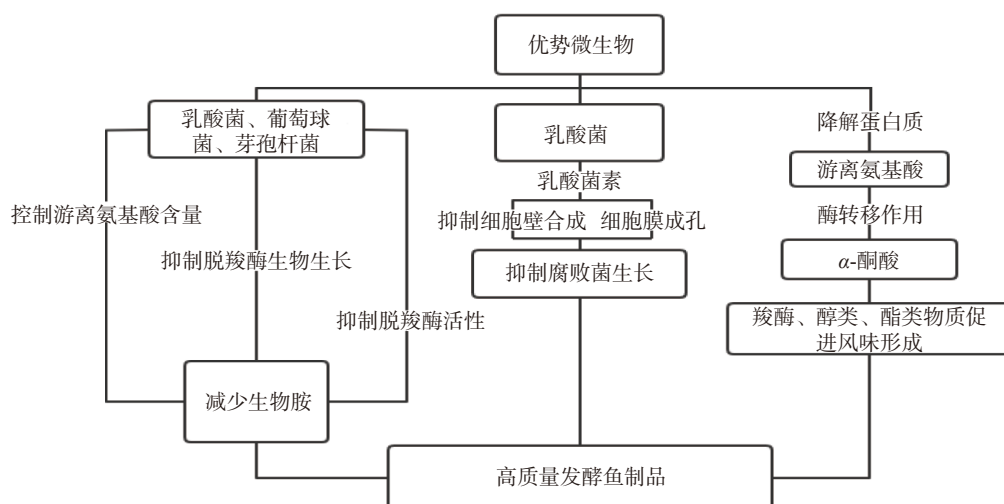


图 2 优势微生物发酵作用机理

Fig.2 Fermentation mechanism of dominant microorganisms

鱼后单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸含量均有大幅增加,进一步研究得出木糖葡萄球菌可促进脂质降解,延缓脂肪酶活力下降速率,酵母菌则可以抑制磷脂氧化,对不饱和脂肪酸的抗氧化能力较强^[48,63]。脂质降解是鱼肉发酵过程中重要的生化变化,目前研究指出酵母菌中的酿酒酵母和葡萄球菌中的木糖葡萄球菌对脂质降解起到关键作用。

蛋白质降解也是发酵过程中的重要生化反应,葡萄球菌在代谢过程中能分泌蛋白质降解酶,木糖葡萄球菌和肉葡萄球菌的混合发酵剂有助于发酵肉制品中蛋白质的降解^[14]。高继庆等^[64]接种木糖葡萄球菌发酵海鲈鱼发现游离氨基酸含量随发酵时间延长而增加,发酵60 h后,含量增加61.07%,并且木糖葡萄球菌在发酵过程中能利用氨基酸生长代谢。鱼肉中的蛋白质包括肌浆蛋白、肌原纤维蛋白和不溶性蛋白^[65],发酵过程中蛋白质降解引起氨基酸含量和TCA-溶解肽含量上升,表明木糖葡萄球菌对蛋白质中的肌浆蛋白和肌原纤维蛋白降解有重要影响。

2.3 提高发酵鱼品质

微生物在发酵鱼风味形成中扮演着重要角色,传统发酵鱼气味主要包括醛、醇、酮、酸、酯类、含氮、硫化物等成分,在接种发酵剂的鱼制品中醛和醇类为主要的挥发性气味物质^[66]。张洵等^[19]以乳酸菌和酵母菌为发酵剂接种到鱼糜中进行发酵,酵母菌可以分解碳水化合物中的醇并与乳酸菌产生的酸生成酯类,赋予鱼糜特殊的酯香。Zang等^[20]在鲤鱼中接种发酵剂,在发酵样品中共检测到17种游离氨基酸、22种游离脂肪酸和81种香气物质,其中乳酸菌参与了大部分风味物质的形成,葡萄球菌、肠球菌、酵母菌、念珠菌也对风味形成起到了积极作用。朱露露等^[67]将酵母菌作为发酵剂接种到鲟鱼中产生了乙酸乙酯、乙酸异戊酯和3-甲基丁醛等风味物质。李春生等^[68]在鱼制品发酵过程中检测到387种菌参与风味形成,在发酵后检测出54种挥发性气味化合物,其中嗜盐单胞菌与风味物质2-甲基丙醛呈正相关关系,表明嗜盐单胞菌可能会促进发酵过程中麦香味的形成,并对除三甲胺外的8种风味形成起到促进作用。发酵鱼肉制品香味的形成多归功于酵母菌^[19],其中酿酒酵母和毕赤酵母是发酵鱼制品中常见的酵母菌发酵剂。

生物胺是发酵鱼食品中常见的一类有害化合物,生物胺对人体有一定的积极作用,但是当积累量超过一定限度时,则会引起头疼、心悸、呕吐等毒性作用^[69]。由于发酵鱼食品中生物胺的存在,研究减少生物胺含量对提高发酵鱼发酵质量具有重要意义。一直以来,许多研究均报道了微生物在培养基、缓冲液和发酵食品中降解生物胺的能力。朱翠翠等^[70]在天然发酵的鱼露中分离出一株对组胺具有高效降解能力的毕赤酵母菌株,在组胺浓度为50 mg/L时降解率高达82.61%,进一步研究显示该菌株对组胺、

酪胺、尸胺、腐胺、色胺、 β -苯乙胺、亚精胺和精胺均有不同的降解能力。在发酵鱼产品中,鱼露的平均生物胺水平较高,接种发酵剂发酵鱼露可以减少或预防生物胺的形成^[71]。袁树坤^[72]在鱼露优势微生物与生物胺相关性研究中发现在整个鱼露发酵期间亚精胺和精胺是主要的生物胺,其含量与显性假单胞菌属、变形杆菌属、普罗威登菌属含量呈负相关,四联球菌属被认为是减少鱼露发酵过程中生物胺含量的主要微生物。刘忠义等^[73]在鱼糜中接种乳酸菌和酵母菌作为混合发酵剂进行发酵发现鱼糜中腐胺、组胺、酪胺、精胺和亚精胺的含量相较于未接种的发酵鱼糜明显降低。目前,有关发酵鱼中生物胺降解菌的研究集中在乳酸菌(乳杆菌)、葡萄球菌、酵母菌(酿酒酵母、毕赤酵母)、霉菌(红曲霉)几种微生物中^[74],因此选择合适的优势菌作为发酵剂是降低生物胺的关键生产步骤。

3 结论与展望

发酵是鱼制品加工的重要方式,鱼肉风味、质地、色泽、营养能够在发酵过程中得到增强。目前,大多数发酵鱼制品工业化程度较低,传统发酵鱼肉制品微生物区系复杂,发酵过程中往往会产生杂菌,导致发酵质量参差不齐;接种发酵剂培养优势菌发酵鱼肉能够获得良好的产品品质。微生物代谢活动在鱼肉发酵中扮演着重要的角色,特别是优势菌种在发酵过程中起到抑制杂菌生长、促进蛋白脂肪降解、抑制有害物产生、增加产品风味的作用。关于发酵鱼制品中微生物组成和品质特征的关系还需要不断地深入探索,将发酵剂发酵技术和代谢组学技术及高通量测序技术等相关领域学科知识结合起来应用,对发酵鱼制品品质和市场开发具有重大意义。

参考文献

- [1] 赵宁,孙爽,史晓杰,等.鱼类工业化生产加工技术研究进展[J]. *中国调味品*, 2020, 45(10): 163-166. [ZHAO N, SUN S, SHI X J, et al. Research progress of industrial production and processing technology of fish[J]. *China Condiment*, 2020, 45(10): 163-166.]
- [2] TANASUPAWAT S, VISESSANGUAN W. Fish Fermentation[J]. *Seafood Processing: Technology, Quality and Safety*, 2014, 8: 177-207.
- [3] YU D W, JOE M Regenstein, XIA W S. Bio-based edible coatings for the preservation of fishery products: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(15): 2481-2493.
- [4] 杨艳鹏,余牧阳,周寒蕾,等.发酵鱼及其现代工艺研究现状[J]. *科技视界*, 2017(27): 3-4. [YANG Y P, YU M Y, ZHOU H L, et al. Research status of fermented fish and its modern technology[J]. *Science & Technology Vision*, 2017(27): 3-4.]
- [5] WAISUNDARA V, JAYAWARDENA N, WATAWANA M. Safety of fermented fish products[J]. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*, 2016, 8: 149-168.
- [6] ZANG J H, XU Y S, XIA W S, et al. Quality, functionality, and microbiology of fermented fish: A review[J]. *Critical Reviews*

- in *Food Science and Nutrition*, 2020, 60(7): 1228–1242.
- [7] HARNENTIS H, MARLIDA Y, NUR Y S, et al. Novel probiotic lactic acid bacteria isolated from indigenous fermented foods from West Sumatera, Indonesia[J]. *Veterinary World*, 2020, 13(9): 1922–1927.
- [8] BELLEGGIA L, AQUILANTI L, FERROCINO I, et al. Discovering microbiota and volatile compounds of Surströmming, the traditional Swedish sour herring[J]. *Food Microbiology*, 2020, 91: 103503.
- [9] LEGRAND K, BORARIN B, YOUNG G M. Tradition and fermentation science of prohok, an ethnic fermented fish product of Cambodia[J]. *Journal of Ethnic Foods*, 2020, 7(2): 211–212.
- [10] OSIMANI A, FERROCINO I, AGNOLUCCI M, et al. Unveiling Hákarl: A study of the microbiota of the traditional icelandic fermented fish[J]. *Food Microbiology*, 2019, 82: 560–572.
- [11] 胡锦鹏, 吴曼铃, 时瑞, 等. 乳酸菌在发酵鱼制品加工中的应用研究概述[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(9): 285–289. [HU J P, WU M L, SHI R, et al. Research progress on lactic acid bacteria in production of fermented fish[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(9): 285–289.]
- [12] SISCOVICK DAVID S, BARRINGER THOMAS A, FRETTS AMANDA M, et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acid (fish oil) supplementation and the prevention of clinical cardiovascular disease: A science advisory from the american heart association[J]. *Circulation*, 2017, 135(15): e867–e884.
- [13] NAJAFIAN L, BABJI A S. Fractionation and identification of novel antioxidant peptides from fermented fish (*Pekasam*)[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(3): 2174–2183.
- [14] 华倩. 接种微生物发酵剂对鱼酱酸品质提升研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [HUA Q. Study on the improvement of fish-chili paste quality by inoculating starter cultures[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.]
- [15] 王艺欣, 张健, 井月欣, 等. 复合菌制剂设计及其在食品发酵中应用的研究进展[J/OL]. *食品工业科技*: 1–11 [2021-02-19]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090103>. [WANG Y X, ZHANG J, JING Y X, et al. Design and application of compound microbial inoculums in food fermentation[J/OL]. *Science and Technology of Food Industry*: 1–11 [2021-02-19]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090103>.]
- [16] TAMANG J P, DONG-HWA S, SU J J. et al. Functional properties of microorganisms in fermented foods[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 578.
- [17] YANG Z X, LIU S S, LV J, et al. Microbial succession and the changes of flavor and aroma in Chouguiyu, a traditional chinese fermented fish[J]. *Food Bioscience*, 2020; 37.
- [18] 何丽娜. 发酵工艺对鲤鱼质构及食用品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2019. [HE L N. Effects of fermentation conditions on texture and eating quality of carp[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]
- [19] 张洵. 发酵鱼糜的风味改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013. [ZHANG X. Study on the improvement of fermented surimi flavor[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.]
- [20] ZANG J H, XU Y S, XIA W S, et al. Correlations between microbiota succession and flavor formation during fermentation of chinese low-salt fermented common carp (*Cyprinus carpio* L.) inoculated with mixed starter cultures[J]. *Food Microbiology*, 2020: 90.
- [21] ADEKEMI T, ADESULU D, SAMUEL O D, et al. Synergistic microbial interactions between lactic acid bacteria and yeasts during production of nigerian indigenous fermented foods and beverages[J]. *Food Control*, 2020, 110: 106963.
- [22] HONG H, ZHOU Y D, WU H, et al. Lipid content and fatty acid profile of muscle, brain and eyes of seven freshwater fish: A comparative study[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2014, 91(5): 795–804.
- [23] 钱茜茜. 腌干鱼加工过程微生物群落多样性分析及产胺菌的控制技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016. [QIAN Q Q. The analysis of microbial community diversity in dried-salted fish during process and the control technology of biogenic amine-forming bacteria[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.]
- [24] 雷鸣. 海南鱼茶微生物多样分析及发酵菌株的分离鉴定[D]. 天津: 天津科技大学, 2019. [LEI M. Biodiversity analysis in Hainan Yucha and isolation and determination of fermentative bacteria[D]. Tianjin: Tianjin University of Science&Technology, 2019.]
- [25] GUAN L, CHO K H, LEE J H. Analysis of the cultivable bacterial community in Jeotgal, a Korean salted and fermented seafood, and identification of its dominant bacteria[J]. *Food Microbiology*, 2011, 28(1): 101–113.
- [26] ÖZOGUL F, HAMED I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 58(10): 1660–1670.
- [27] ZHOU X X, QIU M T, ZHAO D D, et al. Inhibitory effects of spices on biogenic amine accumulation during fish sauce fermentation[J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): M913–M920.
- [28] 李林. 微生物在发酵酸鱼中对脂质变化和风味组成的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2019. [LI L. The contribution of microorganisms on lipid changes and flavor formation in fermented fish[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]
- [29] 臧金红. 酸鱼发酵过程中特征风味形成与微生物的关系研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020. [ZANG J H. Study on the relationship between characteristic flavors formation and microorganisms in Suanyu fermentation[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.]
- [30] 李燕. 黄山臭鳊鱼发酵过程中微生物多样性的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014. [LI Y. Research on bio-diversity of microorganisms in Huangshan Stinky mandarin fish fermentation[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2014.]
- [31] 白妞妞, 白锴凯, 何建林, 等. 鱼露发酵技术及风味研究进展[J]. *中国调味品*, 2021, 46(2): 175–179. [BAI N N, BAI K K, HE J L, et al. Research progress on fermentation technology and flavor of fish sauce[J]. *China Condiment*, 2021, 46(2): 175–179.]
- [32] HUA Q, GAO P, XU Y S, et al. Effect of commercial starter cultures on the quality characteristics of fermented fish-chili paste[J]. *LWT*, 2020, 122: 109016.

- [33] 韩静. 鱼茶中乳酸菌发酵剂的筛选及其对产品品质的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2018. [HAN J. Screening of lactic acid bacteria starters from “Yucha” and evaluation of their application[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018.]
- [34] 李权威. 乳酸菌对发酵肉制品脂类代谢及品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020. [LI Q W. The effect of *Lactobacillus* on lipid metabolism and quality of fermented meat product[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.]
- [35] 刘璐, 吴江丽, 杨金桃, 等. 发酵鱼酱酸产 GABA 乳酸菌的分离筛选及发酵特性研究[J/OL]. 食品科学: 1–16 [2021-02-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201212.0814.014.html>. [LIU L, WU J L, YANG J T, et al. Isolation and fermentation characteristics of GABA-producing lactic acid bacteria from fermented Yujiang[J/OL]. Food Science: 1–16 [2021-02-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20201212.0814.014.html>.]
- [36] HAN J, ZHANG J B, LIN X P, et al. Effect of autochthonous lactic acid bacteria on fermented Yucha quality[J]. *LWT*, 2020, 123: 109060.
- [37] 林城杏. 传统高盐发酵酸鱼乳酸菌菌群结构及强化发酵作用研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019. [LIN C X. Lactic acid bacteria community struction of traditional high-salt fermented fish (Suan yu) and enhanced fermentation[D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.]
- [38] 郑晓吉. 新疆哈萨克族奶酪微生物菌群结构及特征风味解析[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [ZHENG X J. Microbial community flora in Kazak artisanal cheese and analysis on the formation of flavor compounds[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.]
- [39] QUIJADA N M, DE FILIPPIS F, SANZ J J, et al. High-throughput sequencing analysis reveals different *Lactobacillus* populations that dominate during “Chorizo de León” cured meat making[J]. *Food Microbiology*, 2017, 70: 94–102.
- [40] MOROT-BIZOT C S, LEROY S, TALON R. Staphylococcal community of a small unit manufacturing traditional dry fermented sausages[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 108(2): 210–217.
- [41] MAJUMDAR R K, GUPTA S. Isolation, identification and characterization of *Staphylococcus* sp. from Indian Ethnic fermented fish product[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2020, 71(4): 359–368.
- [42] KANJAN P, SAKPETCH P. Functional and safety assessment of *Staphylococcus simulans* PMRS35 with high lipase activity isolated from high salt-fermented fish (Budu) for starter development[J]. *LWT*, 2020, 124: 109183.
- [43] KHUSRO, AARTI, SALEM, et al. Techno-functional traits and safety aspects of coagulase-negative *Staphylococcus saprophyticus* isolated from traditional fermented food[J]. *Food Biotechnology*, 2020, 34(1): 77–99.
- [44] ZENG X F, FAN J, HE L P, et al. Technological properties and probiotic potential of yeasts isolated from traditional low-salt fermented Chinese fish Suan yu[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, 43(8): e12865.
- [45] 陈柔霖, 李梦杰, 冯淑莹, 等. 鱼蛋白酶解液中产香酵母的筛选及发酵产香特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 13–18. [CHEN R, LI M J, FENG S Y, et al. Screening of aroma-producing yeast strains from fish protein hydrolysate and research on their aroma-production and fermentation characteristics[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(1): 13–18.]
- [46] 谢莉. 高盐条件下橘青霉产蛋白酶作用机理及在鱼露发酵中应用[D]. 广州: 华南农业大学, 2016. [XIE L. Mechanism of protease-producing from *Penicillium citrinum* under high-salt conditions and its application in fish sauce fermentation[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.]
- [47] 杨颖, 陆胜民, 陈剑兵, 等. 鲢鱼鱼露的加曲、分段速酿工艺[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(11): 87–91. [YANG Y, LU S M, CHEN J B, et al. Curved and segmented speed brewing technology of anchovy sauce[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2009, 35(11): 87–91.]
- [48] 谢雅芸. 不同菌株对酸鱼加工过程中脂质变化的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2018. [XIE Y Y. Effects of different strains on lipid changes during processing of Suan yu[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.]
- [49] 张媛. 酸菜源寡发酵乳杆菌的筛选及发酵特性[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018. [ZHANG Y. Screening and fermentation characteristics of *Lactobacillus oligo* fermentans from Chinese sauerkraut[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018.]
- [50] 李晓博, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 自然发酵与人工接种发酵酸菜的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(3): 251–255. [LI X B, HU W Z, JIANG A L, et al. Research progress of natural fermentation and artificial inoculation fermentation of sauerkraut[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(3): 251–255.]
- [51] 石建喜, 许艳顺, 姜启兴, 等. 混合菌种和盐含量对发酵鲢鱼肉品质的影响研究[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(11): 1219–1224. [SHI J X, XU Y S, JIANG Q X, et al. Study on the fermented silver carp quality induced by mixed starter cultures and salt content[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2018, 37(11): 1219–1224.]
- [52] ZHAO J X, JIANG Q X, XU Y S, et al. Effect of mixed kojis on physiochemical and sensory properties of rapid-fermented fish sauce made with freshwater fish by-products[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(9): 2088–2096.
- [53] ZANG J H, XU Y S, XIA W S, et al. Dynamics and diversity of microbial community succession during fermentation of Suan yu, a Chinese traditional fermented fish, determined by high throughput sequencing[J]. *Food Research International (Ottawa, Ont)*, 2018, 111: 565–573.
- [54] GELMAN A, DRABKIN V, GLATMAN L. Evaluation of lactic acid bacteria, isolated from lightly preserved fish products, as starter cultures for new fish-based food products[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2000, 1(3): 219–226.
- [55] LIAO E, XU Y S, JIANG Q X, et al. Effects of inoculating autochthonous starter cultures on n-nitrosodimethylamine and its precursors formation during fermentation of Chinese traditional fermented fish[J]. *Food Chemistry*, 2019, 271: 174–181.
- [56] ZHENG B, LIU Y, HE X X, et al. Quality improvement on half-fin anchovy (*Setipinna taty*) fish sauce by *Psychrobacter* sp.

- SP-1 fermentation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(13): 4484–4493.
- [57] 冯美琴, 栗晓旭, 孙健. 3 株发酵香肠源乳酸菌体外功能特性的比较[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 39–45. [FENG M Q, LU-AN X X, SUN J. Comparative study on the *in vitro* functional characteristics of three strains of lactic acid bacteria isolated from fermented sausages[J]. *Food Science*, 2020, 41(24): 39–45.]
- [58] 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. [WU Y X, YU C H, WANG T T, et al. Research overview of traditional fermented smelly mandarin fish[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(19): 299–306.]
- [59] XU Y S, ZANG J H, REGENSTEIN JOE M, et al. Technological roles of microorganisms in fish fermentation: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020: 1–13.
- [60] GÁLVEZ A, ABRIQUEL H, BENOMAR N, et al. Microbial antagonists to food-borne pathogens and biocontrol[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2010, 21(2): 142–148.
- [61] 童火艳. 发酵乳酸菌的筛选及对鲢鱼肉香肠风味的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2019. [TONG H Y. Screening of fermented lactic acid bacteria and its influence on the flavor of carp meat sausage[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.]
- [62] XU Y S, XIE Y Y, XIA W S, et al. Lipid fraction and fatty acid profile changes in low-salt fermented fish as affected by processing stage and inoculation of autochthonous starter cultures[J]. *LWT*, 2018, 97: 289–294.
- [63] 高沛. 酸鱼发酵过程中微生物的产酯增香机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [GAO P. Study on mechanism of flavor esters formation by microorganisms during the fermentation of Suan yu[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]
- [64] 高继庆, 赵云平, 秦华伟, 等. 木糖葡萄球菌发酵对海鲈鱼鱼肉理化性质的影响[J]. *农产品加工*, 2018(12): 1–5. [GAO J G, ZHAO Y P, QIN H W, et al. Effects of *Staphylococcus xylose* fermentation on physicochemical properties of sea bass fish[J]. *Farm Products Processing*, 2018(12): 1–5.]
- [65] 孙颖璞, 许艳顺, 夏文水, 等. 发酵酸鱼贮藏过程中理化与感官品质变化研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 286–291. [SUN Y Y, XU Y S, XIA W S, et al. Changes in physicochemical and sensory quality of fermented fish during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 286–291.]
- [66] 雷乙, 陈竞豪, 涂金鑫, 等. 鱼肉加工过程特征气味物质变化研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(15): 201–210. [LEI Y, CHEN J H, TU J J, et al. Research progress on changes of characteristic odor substances in fish processing[J]. *Food Research*, 2020, 41(15): 201–210.]
- [67] 朱露露, 杨方, 高沛, 等. 发酵条件对酵母接种醉鲟鱼风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(12): 110–117. [ZHU L L, YANG F, GAO P, et al. Effect of fermentation conditions on flavor of yeast-fermented and wine-aroma sturgeon (*Acipenser dabryanus*) [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(12): 110–117.]
- [68] 李春生, 王悦齐, 李来好, 等. 传统鱼露发酵过程中细菌群落演替及其挥发性风味形成的影响分析[J]. *食品科学*, 2018, 39(24): 85–92. [LI C S, WANG Y Q, LI L H, et al. Bacterial community succession during fermentation of Chinese fish sauce and its effect on formation of volatile flavor components[J]. *Food Science*, 2018, 39(24): 85–92.]
- [69] PEGG ANTHONY E. Toxicity of polyamines and their metabolic products[J]. *Chemical Research in Toxicology*, 2013, 26(12): 1782–800.
- [70] 朱翠翠, 徐莹. 一株高效组胺降解菌的筛选、鉴定及降解特性研究[A]. 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十七届年会摘要集[C]. 中国食品科学技术学会: 中国食品科学技术学会, 2020: 2. [ZHU C C, XU Y. Screening and identification of a strain of histamine degrading bacteria and study on its degradation characteristics[A]. Chinese Society of Food Science and Technology. Summaries of the 17th Annual Meeting of the Chinese Society of Food Science and Technology[C]. Chinese Society of Food Science and Technology: Chinese Society of Food Science and Technology, 2020: 2.]
- [71] BHAGAVATHI B S, KESIKA P, CHAIYASUT C. A narrative review on biogenic amines in fermented fish and meat products[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020: 1–17.
- [72] 袁树昆. 不同盐度发酵鱼露风味及优势菌群与生物胺相关性研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2018. [YUAN S K. Study on the flavor of fermented anchovy sauce and relationship between biogenic amines and the dominant genera in different salt concentrations[D]. Ningbo: Ningbo University, 2018.]
- [73] 刘忠义, 杨菊, 吴小艳, 等. 纯培养菌种发酵对鱼糜微生物及部分嫌忌物质的抑制[J]. *北部湾大学学报*, 2020, 35(2): 29–34. [LIU Z Y, YANG J, WU X Y, et al. Inhibition of microorganism and some objectionable substances in surimi by fermentation of pure culture strains[J]. *Journal of Beibu Gulf University*, 2020, 35(2): 29–34.]
- [74] SIVAMARUTHI B, KESIKA P, CHAIYASUT C. A narrative review on biogenic amines in fermented fish and meat products[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 58(5): 1623–1639.