

传统发酵鱼制品品质及安全性研究进展

卜永士¹, 许惠雅², 施文正^{2,*}

(1.美乐家(中国)日用品有限公司, 上海 200072; 2.上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 发酵鱼制品不仅提高了淡水鱼的利用率, 而且赋予鱼肉较高的营养价值和良好的风味。但传统发酵鱼制品制作工艺仅依靠工人经验进行操作, 导致产品质量不稳定, 安全性得不到保障。本文介绍传统发酵鱼制品工艺制作过程, 分析影响发酵鱼制品品质的主要因素、产品品质变化过程 and 安全性, 旨在为发酵鱼制品的加工工艺提供新思路, 以期发酵鱼制品产业化、标准化生产提供指导。

关键词: 发酵; 鱼制品; 微生物; 品质; 安全

Progress in Research on the Quality and Safety of Traditional Fermented Fish Products

BU Yongshi¹, XU Huiya², SHI Wenzheng^{2,*}

(1.Melaleuca Wellness Products Co. Ltd., Shanghai 200072, China;

2.Food College, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The production of fermented fish products not only improves the utilization rate of freshwater fish, but also endows fish meat with high nutritional value and good flavor. However, the manufacturing process of traditional fermented fish products simply relies on the workers' experience, leading to instable product quality and poor safety. This article introduces readers to the production process of traditional fermented fish products, and analyzes the main factors affecting the quality of fermented fish products, the evolutionary process of product quality and product safety. The purpose is to provide new ideas for improving the processing technology of fermented fish products, and to provide guidance for the industrialization and standardized production of fermented fish products.

Keywords: fermentation; fish products; microorganism; quality; safety

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-140

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2021)06-0069-07

引文格式:

卜永士, 许惠雅, 施文正, 等. 传统发酵鱼制品品质及安全性研究进展[J]. 肉类研究, 2021, 35(6): 69-75. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-140. <http://www.rlyj.net.cn>

BU Yongshi, XU Huiya, SHI Wenzheng, et al. Progress in research on the quality and safety of traditional fermented fish products[J]. Meat Research, 2021, 35(6): 69-75. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20210517-140. <http://www.rlyj.net.cn>

我国水产资源丰富, 其中鱼类在水产动物原料中占了很大比重, 2019年我国鱼类总产量高达3 529.88 万t, 占水产品总产量的56.36%, 其中养殖产量为2 708.61 万t, 捕捞产量为821.27 万t^[1]。在渔业捕捞季节, 鱼类产量大且鱼肉具有水分含量高、营养丰富、内源酶活性高等特点, 使新鲜鱼肉较其他肉类更易迅速发生腐败变质, 降低其利用率。因此, 对鱼类采取有效的贮藏措施十分必要。

发酵技术是加工和保藏食品的重要工艺之一, 利用发酵技术处理鱼制品可以有效提高淡水鱼的利用率和附加值。发酵鱼制品通常是鱼肉经过腌制, 添加酒、酒糟、米粉等配料后密封发酵, 使鱼肉pH值降低, 同时伴随微生物对蛋白质和脂肪的适度分解, 使产品具有保藏性并具有特殊风味的一种鱼类加工方法。在发酵后, 鱼制品的口感、风味能更好得到改善, 其营养价值和安全性也可以得到提高^[2-4]。

收稿日期: 2021-05-17

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2019YFD0902003)

第一作者简介: 卜永士(1978—)(ORCID: 0000-0001-5830-4814), 男, 博士, 研究方向为食品研究与开发。

E-mail: shysbu@hotmail.com

*通信作者简介: 施文正(1975—)(ORCID: 0000-0002-9394-5745), 男, 教授, 博士, 研究方向为水产品加工。

E-mail: wzshi@shou.edu.cn

目前, 学者们对发酵鱼制品的研究已经涉及添加发酵剂、工艺优化以及蛋白质、脂肪等物质的变化过程, 但由于发酵鱼的制作工艺、制作原料有差异, 导致结论有所不同。本文对传统发酵鱼制品的工艺制作过程、影响品质的主要因素、产品品质 and 安全性评价方面的研究进行综述, 全面概括发酵鱼制品的研究现状, 为将其制作技术扩大为工业化、保证品质和确保安全性等研究提供参考。

1 发酵鱼制品概述

发酵鱼的制作一般分为2个过程: 腌制和发酵。腌制的主要目的是通过一定浓度的食盐渗透抑制大部分腐败菌的生长, 从而防止鱼肉腐败变质。其次, 在腌制的基础上, 利用鱼体内各种酶和环境微生物的作用, 通过微生物形成细菌素等抑菌性代谢物, 降低水分活度、防止鱼肉制品的腐败变质。其制作过程可总结为以下步骤: 1) 新鲜的鱼预处理, 洗净; 2) 鱼体内外均匀洒满食盐并揉搓; 3) 在通风环境下晒干; 4) 在鱼体内部加入不同的辅料; 5) 鱼肉相互堆叠放入发酵坛, 密封条件下发酵7~30 d^[5]。

国内外不同地区发酵鱼制品的添加材料和制备方式差异较大(表1)。根据添加辅料的不同可分为酶香鱼、糟制品、鱼鲞制品和醋渍品等。酶香鱼是典型的自然发酵制品, 糟制品、鱼鲞制品、醋渍品是分别通过酒类、米饭、米醋等其他辅助材料促进发酵而制得的。根据最终发酵鱼制品形态的不同, 可将其划分为3种: 尽可能保留其形态的整鱼或鱼片、发酵成糊状产品的鱼膏、发酵成液态的鱼酱^[6]。

表1 国内外常见发酵鱼制品
Table 1 Common fermented fish products in China and abroad

发酵鱼制品名称	产地	主要原料	参考文献
糟鱼	中国江浙地区	淡水鱼、盐、酒糟、白酒	[7]
臭鳊鱼	中国安徽徽州地区	鳊鱼、香辛料、盐	[8]
酸鱼	中国贵州东南地区	鲤鱼、盐、小米、香辛料	[9]
鱼鲞	中国湖南祁阳地区	草鱼、盐、黑米	[10]
鱼露	中国广东潮汕地区	蓝圆鲹、盐	[11]
Aji-narezushi	日本	竹夹鱼、熟制大米、盐	[12]
Shidal	印度	恒河黄鲫、香蕉叶	[13]
Pla-som	泰国	鱼片、熟制大米、盐、蒜	[14]
Mam trey	柬埔寨	淡水鱼、棕榈糖、盐	[15]
Rakfisk	挪威	鲑鱼、盐、糖	[16]
Surstömming	瑞典	海鲱鱼、盐	[17]
Momoni	加纳	非洲鲷鱼、盐、红辣椒粉、番茄、洋葱	[18]

传统发酵鱼制品制作工艺简单, 在普通家庭条件下可以完成, 其工艺多以自然发酵和手工操作为主, 因此家庭作坊较多。家庭式作坊有积极性高、协调性高等优势, 但也存在一定的缺点: 自然发酵存在局限性,

其过程受许多自然条件的影响, 例如, 季节、温度、阳光、湿度等, 在不同条件下生产的发酵鱼制品存在差异性; 再者, 产品在生产各个环节没有严格规定, 通常依靠工人经验支撑, 产品品质参差不齐; 另外, 工作环境差、操作技术不规范等都会影响最终成品的品质。

2 影响发酵鱼制品产品品质的因素

影响发酵鱼制品产品品质的因素有很多, 包括原料、辅料及环境因素等, 目前对最佳发酵工艺条件的研究较多, 主要探讨腌制的盐含量、发酵菌种、温度、时间和辅助添加物对发酵鱼制品的影响。

2.1 盐含量

在发酵鱼制品制备过程中, 食盐可以发挥抑制微生物生长、改善风味、促进蛋白溶解等作用。顾赛麒等^[19]研究不同食盐添加量(3%、6%、9%、12%)对腌制草鱼菌落总数的影响, 结果表明, 随着食盐添加量的增加, 菌落总数呈逐渐下降趋势, 微生物生长受到抑制可能是因为较高的盐含量增加了溶液渗透压, 破坏微生物细胞结构, 导致胞内酶活性受到抑制。雷跃磊等^[20]利用盐溶法对发酵鳊鱼进行脱腥, 结果表明, 添加含2.5 g/100 mL食盐和2.5 g/100 mL生姜汁混合物作为脱腥剂后发酵鳊鱼的腥味和腥气加权求和评分最低, 即腥程度最低。何丽娜^[21]研究氯化钠含量对发酵鱼肉品质的影响, 发现高含量的氯化钠在一定程度上加强了蛋白间的作用力, 使其变性程度增加, 不溶性蛋白含量增加, 而较低的氯化钠添加量可增加蛋白质在水中的溶解度, 并且结合感官指标分析表明, 3%加盐量发酵鱼肉口感最为柔嫩。

2.2 发酵菌种

传统自然发酵鱼制品离不开微生物及其酶系的相互作用, 在发酵体系中可将微生物菌群划分为有益菌、致病菌和腐败菌。当优势菌群是有益菌时, 能够抑制杂菌生长繁殖, 可促使产品产生良好的风味和品质; 当环境条件更适合杂菌生长时, 产品易于腐败变质, 失去原有的优良特性。随着发酵体系中微生物发生演替, 逐渐形成相对稳定的菌群结构体系, 从而使发酵产品有了更长的贮藏时间^[22]。

传统自然发酵鱼制品制作周期长、品质不稳定, 为确保稳定的产品品质, 微生物类型发酵剂的添加逐渐成为趋势。目前, 常用作发酵剂的微生物有乳酸菌、葡萄球菌、酵母菌等(表2)。乳酸菌是最常见的发酵剂, 主要产酸和抗菌代谢物, 起到酸化和保护作用。凝固酶阴性葡萄球菌主要通过分解蛋白质和脂肪对发酵鱼制品的特色风味产生积极影响。酵母菌赋予发酵肉制品一种特征性的酵母味, 但其在发酵肉制品中的数量较细



菌少，常与其他微生物结合使用^[23]。近年来，由于鱼糜和腐乳的营养成分相似，也有学者在鱼糜中接种毛霉进行发酵^[24]。

表2 不同微生物对发酵鱼制品的影响

Table 2 Effects of different microorganisms on fermented fish products

微生物	主要作用	参考文献
乳酸菌 (<i>Lactobacillus</i>)	产生有机酸，降低pH值，抑制部分腐败菌的生长	[25-26]
凝固酶阴性葡萄球菌 (coagulase negative <i>Staphylococci</i>)	提高脂肪和肌肉蛋白氧化分解能力	[27-28]
酵母菌 (<i>Saccharomyce</i>)	产生醇类，与酸类作用生成酯类物质， 产生风味物质	[29-30]
毛霉 (<i>Mucor</i>)	酶活性高，分解营养物质，改善感官特性	[24,31]

研究表明，多菌种混合发酵优于单一菌株发酵。朱雯娟等^[32]研究一种盐渍自然发酵制品梅香鱼发现，3株菌（嗜盐四联球菌、木糖葡萄球菌及腐生葡萄球菌）制得的混合发酵剂与单菌株发酵的梅香鱼相比，感官总体可接受程度更高，咀嚼性和弹性也更高。Zeng Xuefeng等^[33]研究中国传统发酵淡水鱼酸鱼发现，接种混合发酵剂后，其理化性质、感官评价等各方面品质均高于接种纯发酵剂的样品，且与未接种发酵剂酸鱼相比，添加混合发酵剂后挥发性化合物数量显著增加，产生高含量的醇类、酯类和酮类化合物，赋予酸鱼独特的绿草味和酒味。张潇等^[34]对比接种混合发酵剂（植物乳杆菌、木糖葡萄球菌和酿酒酵母）和自然发酵鲑鱼的有害微生物和感官品质，发现前者对大肠杆菌、假单胞菌等腐败菌的抑制效果显著高于后者，且4项感官指标（色泽、香气、滋味和质地）均优于相同发酵条件下的自然鲑鱼，具有明显优势。不同混合菌种的接种比和添加量对发酵鱼制品的品质也有一定影响。方炎鹏^[35]以基本营养成分变化和挥发性盐基氮含量等为指标，发现混合菌株植物乳杆菌、乳酸片球菌和木糖葡萄球菌的接种体积比为10:10:1、菌株接种量为 10^6 CFU/g时发酵腌鱼品质最好。郑志颖^[36]以氨基酸态氮含量和感官评定为指标，确定添加到发酵鱼酱中的4株中度嗜盐菌接种体积比为1:1:1:1，混合菌株接种量为 10^6 CFU/g，此条件下发酵鱼酱的品质最佳。综上所述，多菌混合发酵的研究对于提高发酵制品的品质具有一定的积极意义。

2.3 温度

温度是影响微生物新陈代谢的重要因素之一。不同微生物对应不同的最适生长温度，植物乳杆菌是一种乳酸菌，最适生长温度为30~35℃，酵母菌繁殖的最适温度为20~30℃，而清酒乳杆菌和弯曲乳杆菌即使在很低的温度条件下也能够生长。通过控制发酵温度改变有益或有害菌株的生长状况，可一定程度上改善发酵产品的品质。然而，较高的温度可在一定程度上缩短发酵周期，但温度过高可能会导致微生物活性降低、蛋白质变性等后果，因此，探寻合适的温度对发酵鱼制品

制作有一定意义。江铭福^[37]研究接种乳酸菌的发酵鲍鱼时，通过单因素试验及响应面回归分析发酵温度对产品品质的影响，设置发酵温度为15~40℃，以氨基酸态氮含量和亚硝酸盐含量为评定指标，得出最佳发酵温度为34.5℃。在发酵制品成熟阶段，所需温度与发酵前期条件相反，低温成熟能够更好地保持产品品质。孙颖瑛等^[38]对比研究不同温度贮藏条件对发酵酸鱼风味和品质的影响，发现与25、35℃贮藏条件相比，发酵酸鱼在4℃条件下能保持较好的形态、风味和口感，这是由于冷藏能够抑制酸鱼中水分流失、质构变化和蛋白质的降解。

2.4 时间

发酵时间是影响发酵鱼制品最终成品品质的重要因素。在发酵过程中，微生物生长及发挥作用需要一定时间，而尽量缩短发酵时间可以有效提高生产效率和生产者的利益。且有研究表明，发酵时间过长可能产生不良气味，导致产品品质下降。张大为等^[39]研究发酵时间（5~25 d）对发酵酸鱼的影响，结果表明，随着发酵时间的延长，感官评分呈现先升高后降低的趋势，在发酵20 d时，金鲳鱼鱼肉发酵程度高，香气浓郁，感官评分最高。郑志颖^[36]研究鲢鱼鱼酱发酵过程（1~20 d）发现，发酵时间越长，鱼酱蛋白质水解程度越大，但发酵15 d时感官品质最佳。

2.5 其他辅助添加物

除氯化钠以外，发酵鱼制品在发酵过程中通常还会加入一些辅助添加物，如米粉、辣椒和酶等，达到增添风味、抗菌防腐、缩短发酵周期的目的。张大为等^[39]以金鲳鱼为原料制作自然固态发酵酸鱼，通过添加玉米粉为微生物提供充足的碳源，结果表明，添加55%玉米粉，鱼的发酵状况较好，色泽红润，发酵香气浓郁，酸味明显，肉质较紧密，此时总酸含量和感官评分都达到最高。夏秀东等^[40]发现，在酸鱼制作中添加辣椒有抑菌效果，并且能减少挥发性盐基氮的产生，有利于提高产品的安全性。刘鹏飞^[41]使用双酶法制备鱼露时，在不同时间段分别添加质量分数2.5%的中性蛋白酶、2.0%风味蛋白酶，加速发酵进程，为缩短风味鱼露发酵时间提供了新的思路。

3 发酵鱼制品发酵过程中的品质变化

3.1 风味品质

发酵鱼制品的风味主要来自蛋白质降解、脂质水解、碳水化合物的发酵及配料的调味，通过一系列生化反应和风味物质间相互作用给发酵产品带来独特、浓郁的滋味和气味。

发酵鱼制品因发酵方式、发酵辅料、发酵时间等因素的不同，产生的挥发性化合物也不尽相同。李林^[9]

利用气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 分析自然发酵酸鱼中的挥发性成分, 结果表明: 发酵前鱼肉中检测到29种挥发性化合物, 发酵3周后检测到56种挥发性化合物; 酯类含量最多, 占总含量的42.9%, 尤其是乙酸乙酯 (占酯类总含量的89.0%); 醇类是含量第2丰富的种类, 占总含量的23.1%, 乙醇和1-辛烯-3-醇是2种主要的醇, 分别产生葡萄酒和类似蘑菇的香气。朱露露等^[42]利用GC-MS和气味活度值 (odor activity value, OAV) 法分析并确定酵母发酵醉鲟鱼的主体风味成分, 结果表明: 发酵结束检测到37种挥发性化合物, 包括醇类7种、酯类10种、醛类4种、酸类3种、酮类2种和其他类 (烷烃类、烯烃类、芳香烃类、呋喃类、酸酐类和含氮化合物) 11种; OAV>1的挥发性物质共有13种, 其中气味贡献率较大的有3-甲基丁醛 (气味贡献率35.12%)、乙酸乙酯 (23.03%)、壬醛 (13.49%)、苯甲醛 (9.75%) 和1-辛烯-3-醇 (6.43%) 等。

3.1.1 蛋白质降解

鱼肉富含蛋白质, 一般含有16%~24%的粗蛋白。鱼肉发酵过程中, 在蛋白酶的作用下, 蛋白质会被逐渐降解形成多肽、氨基酸等风味前体物质, 在一系列的化学反应后, 如降解反应、脱羧反应等, 会产生醛、醇、有机酸和芳香族类等小分子风味物质。Wang Weixin等^[43]研究中国传统发酵鱼酸鱼蛋白质水解发现, 大部分氨基酸含量均增加, 尤其是贮藏6周时谷氨酸 (6.02 mg/g)、亮氨酸 (4.10 mg/g)、天冬氨酸 (4.06 mg/g)、缬氨酸 (2.46 mg/g)、苯丙氨酸 (2.13 mg/g)、异亮氨酸 (1.78 mg/g) 和甲硫氨酸 (1.70 mg/g) 等含量比初始值增加5倍以上, 其中, 谷氨酸和天冬氨酸作为典型的鲜味氨基酸, 赋予酸鱼独特的鲜味; 此外, 亮氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸和甲硫氨酸是发酵鱼肉中许多重要香气化合物的主要前体物质。赵振新等^[44]研究侗族腌鱼发酵过程发现, 发酵前30 d氨基酸总含量呈上升趋势, 在发酵30 d后呈小幅下降趋势, 可能是由于微生物利用氨基酸产生风味物质; 同时, 发酵各个阶段谷氨酸和天冬氨酸的含量均最高, 且均高于鲜鱼中的含量, 发酵50 d时含量分别为2.92、1.88 mg/g, 说明经过微生物及内源酶的作用腌鱼的鲜味得到了很大提升。

3.1.2 脂质氧化

脂质氧化主要是不饱和脂肪酸进行氧化反应生成羰基化合物, 同时产生醇类、醛类、酮类化合物, 进而赋予发酵制品独特风味^[31]。过度的脂质氧化会降低发酵鱼肉的品质, 甚至导致产品变质, 但是适度的脂质降解和多不饱和脂肪酸氧化对发酵肉类香气形成有重要贡献。李林^[9]发现, 酸鱼发酵过程中酯类、醛类、酮类、醇类和呋喃类等挥发性风味物质的形成与

脂肪酸氧化密切相关, 尤其是经过3周的发酵, 酯类成为含量最高的挥发性物质, 占总含量的42.9%, 此类物质多来源于短链脂肪酸与醇的酯化。Zhu Lulu等^[45]测得经过发酵的酒香鲟鱼硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substances, TBARs) 值为1.42 mg/kg, 显著高于未经发酵的鲟鱼, 轻度的脂质氧化 (TBARs值低于5 mg/kg) 可以丰富鱼肉的风味。

3.1.3 碳水化合物发酵

碳水化合物在乳酸菌的发酵作用下, 经糖酵解途径生成丙酮酸, 进一步脱氧还原生成乳酸。乳酸的酸味温和适中、口感清爽, 独特的酸味对改善食品滋味有一定作用。李春萍^[46]发现, 在臭鳊鱼发酵过程中, 乳酸含量随时间延长而上升, 与发酵时间呈正相关, 是重要的滋味活性物质。边昊等^[47]研究罗非鱼副产品快速发酵鱼露时发现, 乳酸含量在发酵初期缓慢增加, 从第5周开始迅速增加, 在发酵结束时达初始值的1.94倍, 与其他酸共同赋予速酿鱼露酸味、鲜味和发酵香味。

在发酵鱼制作过程中, 由于微生物作用的发酵体系变化较为复杂, 鱼肉中各组分 (蛋白质、脂质、碳水化合物) 的降解过程多变, 微生物影响鱼肉风味变化的相关作用机制尚未完全明确。因此, 有必要针对微生物作用下发酵鱼肉相关风味品质变化机制进一步深入探究。此外, 明晰微生物作用下发酵鱼肉单一组分变化规律, 对探究鱼肉宏观风味品质的变化机制也具有重要意义。

3.2 营养品质

鲜鱼含有丰富的营养物质, 如蛋白质、脂肪、无机盐等。在发酵过程中, 营养成分也随之变化, 使营养物质更有利于人体的吸收和利用。

人体对蛋白质的需要实际上是对氨基酸的需要, 蛋白质被分解为氨基酸能够更好地被机体利用, 进行新陈代谢活动。赵振新等^[44]发现, 侗族腌鱼发酵结束时, 粗蛋白含量下降, 氨基酸总量增加, 在发酵的各个阶段必需氨基酸/总氨基酸含量比值均高于联合国粮农组织/世界卫生组织标准 (35.38%), 必需氨基酸/非必需氨基酸含量比值也均高于参考蛋白模式标准 (60%), 说明发酵腌鱼可以提高鱼肉的营养价值。

在发酵肉制品的成熟阶段, 脂质通过脂肪酶和磷脂酶催化发生水解, 产生大量的游离脂肪酸, 尤其是释放大量饱和脂肪酸。研究表明, 多不饱和脂肪酸 (如 α -亚麻酸、二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸) 含量增加, 对人体健康有一定的促进作用^[48]。李春萍^[46]发现, 在发酵过程中, 臭鳊鱼的粗脂肪含量逐渐降低, 而游离脂肪酸含量增加, 且饱和脂肪酸含量始终远高于饱和脂肪酸含量, 其中含量最高的亚油酸含量与发酵时间呈正相关, 二十二碳二烯酸、亚麻酸含量较稳定, 脂肪酸的营养品质在发酵过程中能较好保留。



发酵鱼制品含有人体正常生长发育所必需的矿物质, 如钠、钾、钙、磷、铁、锌等^[49]。Udomthawee等^[50]研究结果表明, 尽管发酵鱼的蛋白质含量比鲜鱼有所降低, 但钙和磷的含量却明显高于鲜鱼, 其中, 泰国的发酵鱼Pla-ra钙含量为837.61 mg/100 g, 是相应鲜鱼钙含量的6.26倍, 而成人平均每天所需钙量为800 mg, 因此, 发酵鱼可作为一种钙源替代品, 能够在一定程度上代替牛乳的补钙作用。

3.3 质构特性

在发酵过程中, 微生物能显著影响鱼肉的质构特性。在微生物作用下, 鱼肉pH值下降, 可能导致蛋白质的结构变化, 如蛋白变性和聚集, 从而影响发酵产品的弹性、凝聚性和硬度等质构特性^[51]。张洵^[52]研究不同微生物对发酵鱼糜质构特性影响, 发现接种乳酸菌的鱼糜能形成较好的凝胶, 产品间凝聚性增加, 因此具有较好的硬度, 而接种酵母菌对鱼糜的咀嚼性和弹性影响更显著。此外, 由于微生物作用导致的鱼肉pH值下降会影响发酵鱼内源酶和微生物酶的活性, 从而导致鱼肉的质构特性改变。张大为等^[39]对发酵酸鱼进行研究, 发现发酵前后酸鱼的质构特性变化不仅与蛋白凝胶有关, 而且与蛋白质和脂肪被酶分解有关, 其生成的小分子肽和游离氨基酸、脂肪酸等化合物, 会导致鱼肉质地下降、组织松软。

4 发酵鱼制品的安全性评价

4.1 致病菌和腐败菌

在发酵过程中, 鱼类本身带有或环境中的微生物对发酵鱼安全性的影响不大。大多数致病菌、腐败菌在水分活度低、盐浓度高、pH值低的发酵体系中, 生长发育受到一定的抑制。杨菊^[53]研究混合菌种发酵发现, 鱼糜中接种乳酸菌、酵母菌后, 其菌落总数、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌数量明显较未接种对照组降低, 说明益生菌对鱼糜中的有害菌有抑制作用, 可以提高其安全性。发酵本身是一个多菌竞争的过程, 随着发酵体系中菌落发生演替, 益生菌逐渐成为优势菌株。

部分致病菌、腐败菌的耐受性较强, 需要在高盐、低pH值、低温条件下才能受到有效控制。但并非所有发酵鱼制品发酵都在此条件下进行, 因此存在潜在危害的可能性。挪威的发酵鱼产品Rakfisk食用前无需任何热处理, 产品中可能有大量单核增生李斯特菌(低温情况下, 该菌仍能正常生长繁殖)。在发酵过程中通过采取一定措施降低发酵鱼杂菌数量是值得探究的方案。Axelsson等^[54]探究温度对Rakfisk发酵过程中单核增生李斯特菌生长的影响, 发现在7℃条件下该菌快速生长, 在成熟期其数量仍保持在约10⁶ CFU/mL, 但在4℃条件下发酵体系中该菌数量较低, 约为10⁴ CFU/mL。

4.2 亚硝酸盐

鱼肉腌制发酵制品中常添加亚硝酸盐或由于微生物代谢作用产生亚硝酸盐, 其有利于发酵制品颜色的形成, 能防止脂肪氧化、抑制有害微生物的生长, 一定程度延长发酵鱼类制品的货架期; 然而, 亚硝酸盐在胃酸等酸性环境中可转化生成具有致癌性的N-亚硝基化合物, 引起食管癌、胃癌、大肠癌等疾病, 不利于人体健康^[55-56]。

我国GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定, 肉制品中的亚硝酸盐添加量≤0.15 g/kg, 最终残留量≤30 mg/kg。目前, 通过筛选有效的发酵菌种消减发酵制品中的亚硝酸盐含量是国内外学者们的研究热点。研究发现, 许多微生物都具有消减亚硝酸盐的作用, 常见的如乳酸菌属、葡萄球菌属和微球菌属等, 另外有一些较少见的生物, 如胃瘤细菌^[57]、芽孢杆菌^[58]和假单胞菌^[59]等。消减亚硝酸盐的微生物主要分为2类: 一类可以利用亚硝酸盐作为氮源进行代谢活动, 如溶藻弧菌^[60]; 另一类也是应用最广泛的一类, 通过产酶和产酸对亚硝酸盐进行消减。目前工业生产中具有消减亚硝酸盐作用的微生物发酵剂主要包括以下几类: 微球菌、乳酸杆菌、乳酸片球菌和部分肠球菌、放线菌, 以及过氧化氢酶阳性葡萄球菌^[61]。

4.3 生物胺

生物胺是发酵过程中产生的一类生物活性有机物, 主要通过氨基酸脱羧酶发生脱羧作用而生成。适宜摄入量的生物胺有利于调节机体内的新陈代谢活动, 而摄入高含量的生物胺会使机体产生严重的生理和毒理效应, 导致出现头疼、呕吐、呼吸紊乱、心悸、血压变化等症状。目前, 在发酵鱼肉中发现的生物胺主要包括色胺、β-苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺和亚精胺。其中, 食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)规定的生物胺总量≤1 000 mg/kg, 组胺含量≤50 mg/kg, 酪胺含量≤100 mg/kg。有研究表明, 色胺、腐胺、尸胺和酪胺是鱼肉发酵过程中形成的主要生物胺^[62], 其中腐胺和尸胺可与亚硝酸盐反应生成致癌物亚硝胺^[63]; 而组胺、酪胺、β-苯乙胺和色胺对神经系统和血管系统可能有一定的影响^[64], 且由于尸胺、腐胺、酪胺等生物胺的存在使组胺的毒性增强^[65]。

在鱼肉发酵过程中, 鱼体内含有大量的氨基酸及微生物中含有的氨基酸脱羧酶, 为生物胺的形成带来有利条件。因此, 发酵鱼制品中含有生物胺不可避免。Wang Yueqi等^[66]研究发现, 鱼露中生物胺主要为组胺、酪胺、尸胺和腐胺, 在发酵初期总生物胺含量增加55.33%, 在发酵3个月时达到最大值, 而在发酵12个月时比初始时下降28.60%, 说明在发酵后期发酵体系可能不适合产生生物胺细菌的生长, 降解生物胺的细菌生长占

优势。Xu Yanshun等^[67]研究低盐发酵鱼,发现在高温下控制好发酵时间,即在25℃条件下进行7~10 d的初始发酵,然后在30℃条件下进行18~21 d的发酵能有效减少生物胺的产生,在28 d发酵结束时总生物胺含量下降至60~70 mg/kg。因此,发酵时间和温度等会影响发酵鱼制品中生物胺的形成。

随着公众对食品安全重视程度的提高,水产发酵制品产生的生物胺需要进行人为干预控制。如今,为了防止生物胺的产生和累积,研究人员尝试使用不同方法进行控制,如添加特定的发酵剂、改性气调包装、辐射加工、高静水压以及添加食品添加剂和防腐剂等^[68-69]。

5 结 语

实现工业化、规模化的生产模式是发酵鱼制品的发展趋势。通过对工业生产各环节的实时调控,优化原辅料的调配工艺,创造机械化生产的发酵条件,进而才能保证在同一生产条件下产品产量和品质的稳定。此外,在微生物方面的研究,首先,筛选出有益于人体健康的微生物进行接种发酵,如具有降胆固醇、降亚硝酸盐等优良性能的菌株,并进一步研究发酵过程中各种微生物之间的相互作用关系,将有助于微生物群落功能的定向调控,有助于了解功能微生物的强化作用;其次,确定接种优势菌群发酵剂及混合菌种最佳比例,提升产品风味品质,缩短发酵周期,控制生物胺等有害物质的形成,保证产品质量安全。在包装销售方面,对发酵鱼制品包装形式进行合适设计,使其便于运输、销售,易于携带、食用。这不仅能发挥发酵工艺的优势,而且可以将新时代的理念和技术融入传统工艺中,有利于美味且健康的发酵鱼制品的推广。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [2] KASANKALA L M, XIONG Youling L., CHEN Jie. Enzymatic activity and flavor compound production in fermented silver carp fish paste inoculated with douchi starter culture[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(1): 226-233. DOI:10.1021/jf203887x.
- [3] MELINI F, MELINI V, LUZIATELLI F, et al. Health-promoting components in fermented foods: an up-to-date systematic review[J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1189-1212. DOI:10.3390/nu11051189.
- [4] ANAL A K. Quality ingredients and safety concerns for traditional fermented foods and beverages from Asia: a review[J]. *Fermentation*, 2019, 5(1): 8. DOI:10.3390/fermentation5010008.
- [5] 周蓓蓓, 杨松, 闫晓明, 等. 我国传统发酵鱼制品的研究进展[J]. *农产品加工(学刊)*, 2013(8): 54-57; 73.
- [6] ZANG Jinhong, XU Yanshun, XIA Wenshui, et al. Quality, functionality, and microbiology of fermented fish: a review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(7): 1228-1242. DOI: 10.1080/10408398.2019.1565491.
- [7] 罗联钰, 钟机, 陈丽娇. 保鲜糟鱼关键工艺研究[J]. *科学养鱼*, 2015(12): 75-77. DOI:10.14184/j.cnki.issn1004-843x.2015.12.046.
- [8] 吴永祥, 俞昌浩, 王婷婷, 等. 传统发酵臭鳃鱼的研究概述[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(19): 299-306. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021280.
- [9] 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: 8-22.
- [10] 何小猛. 祁阳民间鱼鲜肴[J]. *四川烹饪*, 2004(9): 23-33.
- [11] 张豪, 章超桦, 曹文红, 等. 传统鱼露发酵液中优势乳酸菌的分离、纯化与初步鉴定[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(24): 186-188; 94. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.24.064.
- [12] KIYOHARA M, KOYANAGI T, MATSUI H, et al. Changes in microbiota population during fermentation of narezushi as revealed by pyrosequencing analysis[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2012, 76(1): 48-52. DOI:10.1271/bbb.110424.
- [13] MAJUMDAR R K, ROY D, BEJJANKI S, et al. Chemical and microbial properties of shidal, a traditional fermented fish of Northeast India[J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2016, 53(1): 401-410. DOI:10.1007/s13197-015-1944-7.
- [14] KOPERMSUB P, YUNCHALARD S. Identification of lactic acid bacteria associated with the production of plaasom, a traditional fermented fish product of Thailand[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 138(3): 200-204. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2010.01.024.
- [15] LY D, MAYRHOFFER S, YOGESWARA I B A, et al. Identification, classification and screening for γ -amino-butyric acid production in lactic acid bacteria from Cambodian fermented foods[J]. *Biomolecules*, 2019, 9(12): 768-773. DOI:10.3390/biom9120768.
- [16] BJERKE G A, RUDI K, AVERSHINA E, et al. Exploring the brine microbiota of a Traditional Norwegian fermented fish product (rakfisk) from six different producers during two consecutive seasonal productions[J]. *Foods*, 2019, 8(2): 72-90. DOI:10.3390/foods8020072.
- [17] SKARA T, AXELSSON L, STEFANSSON G, et al. Fermented and ripened fish products in the northern European countries[J]. *Journal of Ethnic Foods*, 2015, 2(1): 18-24. DOI:10.1016/j.jef.2015.02.004.
- [18] SANNI A I, ASIEDU M, AYERNOR G S. Microflora and chemical composition of Momoni, a Ghanaian fermented fish condiment[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2002, 15(5): 577-583. DOI:10.1006/jfca.2002.1063.
- [19] 顾赛麒, 郑皓铭, 戴王力, 等. 不同食盐添加量对腌制草鱼品质和风味的影响[J]. *浙江工业大学学报*, 2020, 48(4): 455-465.
- [20] 雷跃磊, 卢素芳, 张光华, 等. 湖北风味发酵鳊鱼加工关键工艺[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(16): 155-160. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.16.028.
- [21] 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: 21-28.
- [22] 姚尚杰, 金垚, 周荣清, 等. 传统发酵食品中微生物间相互作用及应用[J]. *生物产业技术*, 2019(4): 48-54. DOI:10.3969/j.issn.1674-0319.2019.04.007.
- [23] 杨洁, 赵丽华. 不同发酵剂对发酵肉制品风味物质的影响[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 235-238.
- [24] ZHOU Xuxia, ZHAO Dandan, LIU Jianhua, et al. Physical, chemical and microbiological characteristics of fermented surimi with *Actinomyces elegans*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 59(1): 335-341. DOI:10.1016/j.lwt.2014.05.045.
- [25] 林胜利, 张琦琳, 聂小华. 发酵鱼制品中乳酸菌的筛选鉴定及其初步应用[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(2): 61-65.
- [26] 胡锦鹏, 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. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023347.
- [27] 高继庆, 赵云平, 秦华伟, 等. 木糖葡萄糖菌发酵对海鲈鱼肉理化性质的影响[J]. *农产品加工*, 2018(6): 1-5. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2018.06.033.
- [28] 陈亚杰, 张香美, 卢涵, 等. 有益葡萄糖菌对发酵肉制品品质影响[J]. *肉类工业*, 2019(2): 40-43.



- [29] 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.
- [30] 吴建中, 王倩倩, 廖顺, 等. 安琪酵母发酵对秋刀鱼汤的脱腥作用原因分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(7): 217-224. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.017306.
- [31] 谭雅, 黄晴, 曹熙, 等. 发酵肉制品中常见有益微生物及其功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 388-392. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.21.067.
- [32] 朱雯娟, 安俊莹, 张雪梅, 等. 梅香鱼发酵菌株的筛选及对品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 162-166. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201523030.
- [33] ZENG Xuefeng, ZHANG Wei, ZHU Qiuji. Effect of starter cultures on the quality of Suanyu, a Chinese traditional fermented freshwater fish[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2016, 51(8): 1774-1786. DOI:10.1111/ijfs.13140.
- [34] 张潇, 唐静, 龚吉军, 等. 自然发酵与接种发酵对鲈鱼品质的影响[J]. 农产品加工, 2015(23): 1-5. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2015.12.001.
- [35] 方炎鹏. 腊鱼发酵剂的研制及其应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 32-36.
- [36] 郑志颖. 混合发酵剂和外源赖氨酸对发酵鲢鱼酱品质影响的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2019: 27-32.
- [37] 江铭福. 响应面法优化鲍鱼发酵工艺条件[J]. 福建农业科技, 2019(8): 6-12. DOI:10.13651/j.cnki.fjnykj.2019.08.002.
- [38] 孙颖瑛, 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. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2020.17.048.
- [39] 张大为, 张洁, 田永航. 发酵酸鱼工艺条件的优化及品质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 139-147. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.020.
- [40] 夏秀东, 单成俊, 刘小莉, 等. 添加辣椒对酸鱼发酵进程和理化指标的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(8): 84-89. DOI:10.19386/j.cnki.jxnyxb.2018.08.18.
- [41] 刘鹏飞. 三步法快速制备鲢鱼露工艺研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2019: 9-14.
- [42] 朱露露, 杨方, 高沛, 等. 发酵条件对酵母接种醉鲢鱼风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(12): 114-121. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.018030.
- [43] WANG Weixin, XIA Wenshui, GAO Pei, et al. Proteolysis during fermentation of Suanyu as a traditional fermented fish product of China[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(1): S166-S176. DOI:10.1080/10942912.2017.1293089.
- [44] 赵振新, 李小义, 曾诗雨, 等. 侗族腌鱼发酵过程营养成分分析与评价[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(6): 117-121. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2019.06.027.
- [45] ZHU Lulu, YANG Fang, GAO Pei, et al. Comparative study on quality characteristics of pickled and fermented sturgeon (*Acipenser sinensis*) meat in retort cooking[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54(8): 2553-2562. DOI:10.1111/ijfs.14166.
- [46] 李春萍. 臭鳊鱼发酵中营养和风味变化的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2014: 14-37.
- [47] 边昊, 陈柏宇, 杜金晶, 等. 罗非鱼加工副产物速酿鱼露发酵过程中呈味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 255-261. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024053.
- [48] SAINI R K, KEUM Y S. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance: a review[J]. Life Sciences, 2018, 203: 255-267. DOI:10.1016/j.lfs.2018.04.049.
- [49] 周晓琴, 石庆楠, 陈中爱. 凯里特色鱼酱酸品质特性研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(3): 87-91.
- [50] UDOMTHAWEE K, CHUNKAO K, PHANURAT A, et al. Protein, calcium and phosphorus composition of fermented fish in the Lower Mekong Basin[J]. Chiang Mai Journal of Science, 2012, 39(2): 327-335.
- [51] 王蔚新, 夏文水, 许艳顺, 等. 传统固态发酵淡水鱼品质及安全性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(4): 1093-1099. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2014.04.022.
- [52] 张洵. 发酵鱼糜的风味改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 19-21.
- [53] 杨菊. 益生菌发酵鱼糜制品的安全品质的研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2017: 11-14.
- [54] AXELSSON L, BJERKE G A, MCLEOD A, et al. Growth behavior of *Listeria monocytogenes* in a traditional Norwegian fermented fish product (rakfisk), and its inhibition through bacteriophage addition[J]. Foods, 2020, 9(2): 119. DOI:10.3390/foods9020119.
- [55] 王文勇, 张英慧, 赖长生. 肉及肉制品中亚硝酸盐的研究进展[J]. 肉类工业, 2017(4): 49-53. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2017.04.013.
- [56] 高蕾蕾, 李迎秋. 亚硝酸盐在肉制品加工中的应用研究[J]. 江苏调味副食品, 2017(3): 34-37.
- [57] CHENG K J, PHILLIPPE R C, MAJAK W. Identification of rumen bacteria that anaerobically degrade nitrite[J]. Canadian Journal of Microbiology, 1988, 34(9): 1099-1102. DOI:10.1139/m88-193.
- [58] 梁晓华, 杨莺莺, 李卓佳, 等. 芽孢杆菌K1消减亚硝酸盐的特性研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 228-230. DOI:10.3969/j.issn.1007-6336.2008.03.008.
- [59] FOURNIER D, HAWARI J, STREGER S H, et al. Biotransformation of *N*-nitrosodimethylamine by *Pseudomonas mendocina* KR1[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(10): 6693-6698. DOI:10.1128/AEM.01535-06.
- [60] SHAN Hongwei, BAO Weiyang, MA Shen, et al. Ammonia and nitrite nitrogen removal in shrimp culture by *Vibrio alginolyticus* VZ5 immobilized in SA beads[J]. Aquaculture international, 2016, 24(1): 357-372. DOI:10.1007/s10499-015-9930-7.
- [61] HUGAS M, MONFORT J M. Bacterial starter cultures for meat fermentation[J]. Food Chemistry, 1997, 59(4): 547-554. DOI:10.1016/S0308-8146(97)00005-8.
- [62] ZHANG Qilin, LIN Shenglin, NIE Xiaohua. Reduction of biogenic amine accumulation in silver carp sausage by an amine-negative *Lactobacillus plantarum*[J]. Food Control, 2013, 32(2): 496-500. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.01.029.
- [63] KONGKIATTIKAJORN J. Potential of starter culture to reduce biogenic amines accumulation in som-fug, a Thai traditional fermented fish sausage[J]. Journal of Ethnic Foods, 2015, 2(4): 186-194. DOI:10.1016/j.jef.2015.11.005.
- [64] PAPAVERGOU E J, SAVVAIDIS I N, AMBROSIADIS I A. Levels of biogenic amines in retail market fermented meat products[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2750-2755. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.07.049.
- [65] SHALABY A R. Significance of biogenic amines to food safety and human health[J]. Food Research International, 1996, 29(7): 675-690. DOI:10.1016/S0963-9969(96)00066-X.
- [66] WANG Yueqi, LI Chunsheng, LI Laihao, et al. Effect of bacterial community and free amino acids on the content of biogenic amines during fermentation of Yu-Lu, a Chinese fermented fish sauce[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2018, 27(4): 496-507. DOI:10.1080/10498850.2018.1450573.
- [67] XU Yanshun, HE Lina, XIA Wenshui, et al. The impact of fermentation at elevated temperature on quality attributes and biogenic amines formation of low-salt fermented fish[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2019, 54(3): 723-733. DOI:10.1111/ijfs.13986.
- [68] 赵婉, 王艳峰, 史振平, 等. 水产发酵制品中生物胺的研究进展[J]. 食品工业, 2019, 40(7): 293-297.
- [69] XU Yanshun, ZANG Jinhong, REGENSTEIN J M, et al. Technological roles of microorganisms in fish fermentation: a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 61(6): 1000-1012. DOI:10.1080/10408398.2020.1750342.