

传统固态发酵淡水鱼品质及安全性研究进展

王蔚新^{1,2}, 夏文水^{1*}, 许艳顺¹, 姜启兴¹

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 黄冈师范学院生命科学学院, 黄冈 438000)

摘要: 传统固态发酵鱼是以鲜鱼为原料, 经宰杀、盐腌、晒干后, 配以米粉、酒糟等辅料, 经密封发酵制成。因其营养丰富、发酵风味浓郁, 深受消费者喜爱, 在我国、日本及东南亚等地具有很大的需求市场。在我国大多以淡水鱼制作, 凭经验进行工艺控制, 产品品质不稳定, 并存在一定的安全隐患, 因此要发展传统固态发酵鱼工业化生产, 就需要对其加强应用基础研究。本文概述了传统固态发酵鱼制品理化及风味品质特征, 以及从中分离鉴定的优势微生物。同时从产品安全性为出发点, 除介绍了腐败菌及致病菌对产品安全性的影响外, 还着重对有毒物质生物胺及强致癌物 *N*-亚硝基化合物在产品中的危害、形成机制、检测方法以及预防措施进行了综述, 最后展望将改善和稳定传统固态发酵鱼品质以及提高产品安全性作为今后研究的主要内容。

关键词: 淡水鱼; 固态发酵; 品质; 安全性

Research progress on properties and safety of traditional solid-fermented fish

WANG Wei-Xin^{1,2}, XIA Wen-Shui^{1*}, XU Yan-Shun¹, JIANG Qi-Xing¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. College of Life Science, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, China)

ABSTRACT: Traditional solid-fermented fish products are prepared from salted-fish and rice powder or other materials under anaerobic conditions. For nutritious elements and rich flavor, they are well received by consumers in China, Japan and Southeast Asia. In China, these products are made of freshwater fish, and producing process depends only on experience of makers. However, the quantity is unstable, and there are inevitably some potential security problems. Therefore, it is necessary to reinforce basic research for application for the commercial process of traditional solid-fermented fish products. In this paper, physicochemical properties and favor attributes are introduced, as well as microbial flora is analyzed. Meanwhile, taking security of these products as a turning point, the influence of pathogenic and spoilage bacteria on products safety is introduced firstly. Then, the harmfulness, mechanism of formation, detection method and prevention control measure of biogenic amine and *N*-nitroso-compounds are summarized. Finally, we establish improvement and stabilization of flavor and safety as the developing direction.

KEY WORDS: freshwater fish; solid fermentation; quality; safety

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371823)、现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31371823) and the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-46)

*通讯作者: 夏文水, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为食品与水产品精深加工。E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

*Corresponding author: XIA Wen-Shui, Professor, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China. E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn

1 引言

中国传统固态发酵鱼是以鲜活淡水鱼(通常为草鱼和鲤鱼)为原料,经宰杀、盐腌、晒干后,配以米粉、酒糟等辅料,经密封发酵制成,具有营养丰富、发酵风味浓郁等特点,深受我国南方消费者喜爱。传统固态发酵鱼在不同省份名称有所不同,如酸鱼、鱼鲑、鲑鱼、糟鱼,但制作工艺大体相似,都是在腌鱼的基础上对鱼肉进行二次加工的产品。

根据使用的辅料大体可分为酸鱼和糟鱼两大类。酸鱼所用辅料多为米粉、玉米粉、米饭等,产品乳酸含量较高,并且具有特殊发酵酸味、肉质松散、易于消化吸收等特点,主要流行于我国湖南、广西、贵州、四川等地,是侗、苗等少数民族居民生活中的重要肉食产品。而糟鱼所用辅料多为酒糟,产品具有酒香味、米香味和腊香味,肉质紧密、富有弹性、有嚼劲,是湖北、江西和浙江等地居民普遍制作的水产加工品。国外相似产品还有日本的narezushi和nukazuke^[1],东南亚地区的plaa-som^[2-4]、Som-fug^[5,7]、Som-fak^[8]等。作为一种风味独特的传统发酵食品,固态发酵鱼不仅回味醇厚、酸香浓郁、贮藏期长、风味独特,还是一种高蛋白、低脂肪,富含多种游离氨基酸,营养丰富,易消化吸收的优质传统发酵制品,在我国、日本及东南亚等地具有很大的需求市场。日本学者研究还发现,长时间固态发酵鱼制品aji-no-susu含有高含量的 γ -氨基丁酸^[9],动物试验表明heshiko具有降压及促进胆固醇代谢作用^[10]。

我国是淡水渔业大国,拥有极为丰富的淡水鱼资源。据2012年《中国渔业统计年鉴》统计,2011年我国淡水鱼养殖总产量达到2185.4万吨,但目前淡水鱼的加工量还不足淡水鱼养殖量的15%。因此开发切实有效的加工途径,已成为我国淡水渔业持续健康发展的当务之急。与海水鱼相比,淡水鱼存在个体差异大,鱼刺难去除,原料利用率低,鱼腥味重,不易保存等缺陷,难以扩大其工业化利用程度。利用淡水鱼制备的中国传统固态发酵鱼,加工时原料利用率高,除去内脏后,整条鱼体均可作为原料,解决了我国当前淡水鱼加工原料利用率低的问题,能有效提高加工企业的经济效益。经过发酵,不仅延长了鱼肉的保藏期,而且改善了鱼肉口感风味,解决了我国当前淡水鱼加工中的鱼腥味难以脱除的问题。通过工业化扩大生产提高产量,同时又要保证产品的品

质及安全性,是传统发酵鱼制品工业化发展的重点和难点。因此研究了解和掌握传统固态发酵鱼制品的品质特征、安全性及其检测方法以及影响品质与安全性的因素,对于发展传统发酵鱼工业化,保证产品的品质及安全性具有重要意义。

本文就发酵鱼理化、风味品质及安全性等方面进行探讨,旨在为改善和稳定发酵鱼品质及安全性提供参考。

2 传统固态发酵鱼制品的理化及风味品质

2.1 固态发酵鱼制品的pH

固态发酵过程中,乳酸菌发酵碳水化合物产生乳酸,降低发酵鱼制品的pH值。低pH值能够抑制有害微生物的生长繁殖,一般来说,发酵食品中pH值低于4.6能有效抑制腐败菌和致病菌的生长,保障产品的安全卫生。但是由于原料鱼种类、加工过程中所选用的菌种、食盐用量及发酵工艺的不同等因素,使得发酵鱼制品的pH值差别很大。传统的淡水鱼发酵制品为了控制微生物的生长,往往添加了大量的食盐,Paludan-Müller等^[11]对泰国不同添加盐含量plaa-som的研究中,发现含9%~11%食盐的plaa-som中,其pH值在发酵12d后才降至5.0,而在含6%~7%食盐产品中,pH值在发酵3d后就已经降至4.8。aji-no-susu是一种典型的传统乳酸发酵鱼制品,乳酸含量非常高(57 mg/g样品),含盐量6%,水分活度0.9,pH 4.4或更低^[9]。

2.2 固态发酵鱼制品蛋白质与脂肪的降解

鱼类含有丰富的蛋白质,在鱼发酵过程中,蛋白质在鱼体自身蛋白酶或微生物蛋白酶作用下,会发生降解产生大量多肽、氨基酸等,接着部分氨基酸脱羧、脱氨或进一步代谢生成醛、酮等小分子风味物质。Xu等^[12]在研究发酵鲢鱼香肠时发现,其盐溶蛋白和水溶蛋白含量逐渐降低,而游离氨基酸和非蛋白氮含量随发酵时间的延长逐渐增加。Riebroy等^[7]在研究泰国传统鱼肠制品Som-fug发酵过程中蛋白变化时发现,肌球蛋白重链和肌动蛋白发生了剧烈地降解,其中重链蛋白降解更为明显,而TCA-可溶性肽及 α -氨基酸含量大幅增加。研究还表明,发酵肉制品中的葡萄球菌、微球菌、酵母菌和霉菌也具有适量的蛋白酶活性,能够降解肌原纤维蛋白和肌浆蛋白,它们与乳酸菌共同发酵分解鱼肉中的蛋白质生

成有机酸、氨基酸、肽等小分子化合物,使发酵鱼制品形成独特的风味。

脂肪水解与蛋白水解均被认为对产品风味的形成起着关键性作用。接种植物乳杆菌和戊糖片球菌发酵鲢鱼时发现,样品发酵前的单不饱和脂肪酸含量最大(50.22%),随着发酵时间的延长,多不饱和脂肪酸,尤其是具有功能性效果的 ω -3和 ω -6等多不饱和脂肪酸增加明显^[13]。研究已经表明,葡糖球菌、微球菌、霉菌及酵母菌具有分解脂肪的脂肪酶活性,通过降解脂肪,形成大量的醛、酮、醇、烯炔、烷烃等风味小分子物质,再通过这些物质调节产品挥发性风味化合物的组成,从而改善产品的风味。

2.3 固态发酵鱼制品的质构特征

发酵鱼制品中的乳酸菌可以降低产品的pH值至肌肉蛋白的等电点附近,引起肌肉失水形成凝胶网状结构,从而增加发酵产品的弹性、结着力、硬度等产品质构。然而,鱼制品在发酵过程中往往伴随着一系列复杂的生化变化,葡萄球菌和酵母菌的蛋白酶和脂肪酶活性以及鱼肉的自身酶活性能够将蛋白质和脂肪降解为小分子化合物,如肽、氨基酸和游离脂肪酸等,这些生化变化形成了产品独特的风味,也导致最终发酵鱼制品质构疏松,组织松软^[14]。Xu等^[15]在鲢鱼香肠中接种 *Pediococcus pentosaceus*, 发酵48 h, SDS-PAGE 蛋白电泳表明在二硫键和非二硫共价键的共同作用下,鱼糜形成了大分子凝胶聚集体,从而增强了鱼糜制品的质构。而 Østergaard等^[16]报道在泰国发酵鱼制品 Som-fug 中,在鱼体自身酶、盐、其他加工配料及微生物酶的共同作用下,可能导致了终产品的质构松软。

2.4 传统固态发酵鱼制品的风味物质

传统固态发酵鱼酸鲜可口,风味浓郁,深受我国南方及日本、东南亚等地消费者喜爱。但是对其风味形成途径及微生物对风味形成作用的研究还未见报道。目前,国内外对固态发酵鱼制品风味形成的研究主要集中在挥发性风味物质的提取分离与分析方面。

目前用来提取肉制品风味和芳香类物质的方法很多,常用方法主要有同时蒸馏萃取法(simultaneous distillation-extraction method, 简称 SDE)、吹扫捕集法(purge and trap method, 简称 PT) 或动态顶空技术(dynamic head space, 简称 DHS)、固相微萃取法(solid-phase microextraction, 简称 SPME)^[17,18]。常用

的分离方法有化学分离和色谱分离法,鉴定方法有质谱、红外光谱、核磁共振及紫外光谱等^[19]。由于气相色谱在所有的分离技术中能够提供最佳的整体性能,质谱技术是用于鉴别未知化合物的最有效手段之一,因此气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)便成为挥发性食品风味分析的优选技术,在风味分析领域占据统治地位。近年来,主要挥发性成分分析方法的研究又有了新的进展,常用的有气相色谱-嗅闻法(gas chromatography-olfactometry, GC-O)、风味强度法、主成分分析法、芳香萃取物稀释分析法(aroma extract dilution analysis, AEDA)以及人工嗅觉系统等^[20,21]。

李改燕^[22]对糟鱼发酵过程中的挥发性风味物质进行 GC-MS 检测分析,共检测出42种风味物质。其中原料中检出15种,发酵40 h检测出10种,发酵88 h检测出25种。发酵88 h时,糟鱼中挥发性风味物质主要是一些羧酸类、酮类和酯类物质,含量达到88.8%,对糟鱼风味具有重要作用。曾雪峰^[23]采用 GC-MS 技术比较了三种酸鱼(对照组、发酵剂组、香辛料组)发酵过程中挥发性风味物质的变化,结果显示,分别含有53、84、101种挥发性风味化合物。挥发性风味种类主要包括酸类、醛类、碳氢类、醇类、酮类、酯类、含氮化合物和呋喃类化合物,其中,碳氢类的萜类物质在香辛料组中含量最高,而乙醇和酯类物质在对照组中含量较低。发酵中形成的主要风味化合物为己醛、乙酸、乙醇、3-羟基-2-丁酮、2,3-丁二酮、3-甲基丁醛、乙酸乙酯、己酸乙酯、苯甲醛等挥发性物质。其中,乙醇和乙酸的含量最高,构成了发酵酸鱼独特的风味物质。

3 传统固态发酵鱼制品中的微生物

大量研究表明,发酵肉制品、乳制品等传统发酵食品中的微生物种类包括乳酸菌、微球菌、霉菌、酵母等,它们在发酵肉制品、乳制品等的风味形成和安全性中发挥了各自独特的作用。研究表明,在固态发酵鱼制品中,主要的微生物种类包括乳酸菌、葡萄球菌和酵母,而这些微生物对固态发酵鱼风味形成的作用机制还鲜少报道。目前的研究主要集中在以下方面。

3.1 发酵微生物的分离、鉴定

Kuda等^[9]研究了日本 Noto 半岛一种传统固态发酵鱼 *aji-no-susu* 的微生物组成。分离并鉴定了耐酸

乳酸菌(*Lactobacillus plantarum*), 能产 GABA 乳酸菌(*Lactobacillus sp.*), 及嗜盐或耐盐酵母菌(*Debaryomyces hansenii*)。Kosaka 等^[10]研究了 heshiko 加工过程中微生物及化学变化。通过 16SrRNA 基因序列分析发现超过 80% 的活菌为嗜盐四联球菌(*Tetragenococcus halophilus*)。An 等^[11]利用 PCR-DGGE 法研究日本传统固态发酵鱼 aji-narezushi 的微生物区系, 发现优势微生物为马里乳杆菌(*Lactobacillus acidipiscis*)和 *Lactobacillus versmoldensis*。Kanno 等^[24]研究了日本发酵鲭鱼 saba-narezushi 及其乳酸菌清除自由基的能力。卢晓莉^[25]从鱼鲞制品中分离得到乳酸菌。李改燕^[22]确定了糟鱼发酵过程中的优势微生物菌群为芽孢杆菌、葡萄球菌、乳酸细菌和酵母菌。芽孢杆菌是发酵前期和中期的优势菌群, 葡萄球菌和乳酸细菌是发酵后期的优势菌群, 酵母菌是整个发酵过程中的优势菌群。Zeng 等和曾雪峰等^[26,27]利用传统培养方法从湘西酸鱼中初步筛选了植物乳杆菌、戊糖片球菌、木糖葡萄球菌及酿酒酵母等菌株, 并对其菌种特性进行了研究。

3.2 接种发酵与自然发酵鱼制品品质的比较研究

卢晓莉^[25]利用从鱼鲞中分离出的戊糖片球菌与植物乳杆菌混合物为发酵剂, 比较研究了接种发酵与自然发酵制品在发酵过程中微生物、理化指标和感官指标的变化。研究发现, 发酵过程中, 两种方法所制得的鱼鲞制品在 pH 值、总酸含量以及水溶性蛋白质、水溶性固形物和游离氨基酸含量等方面存在明显差异。接种发酵鱼鲞产酸快, 成品中水溶性蛋白质、水溶性固形物和游离氨基酸的含量明显高于自然发酵鱼鲞。同时, 接种发酵的鱼鲞在感官上具有更明显的发酵风味, 肉质更加疏松、适口性更好。曾雪峰^[23]利用从酸鱼中分离的植物乳杆菌、戊糖片球菌、木糖葡萄球菌及酿酒酵母制备混合发酵剂, 比较研究了接种与自然发酵酸鱼发酵期间的品质变化。研究发现发酵剂能加快酸鱼蛋白质和脂肪的降解, 释放大分子肽、游离氨基酸及游离脂肪酸, 改善酸鱼的风味及提高营养价值。

4 传统固态发酵鱼制品的安全性

4.1 致病菌与腐败菌

水产品自身携带或环境污染的致病菌和腐败菌的数量极低, 不足以影响发酵水产品的安全性。发酵

水产品中适度的食盐含量、较低的水分活度及较低的 pH 值是抑制致病菌和腐败菌繁殖的主要因素。然而, 部分有机体, 如肉毒梭状芽孢杆菌 A 和 B 及单核李斯特氏菌具有对不良环境较强的耐受性。因而, 高盐、高酸、低温是抑制致病菌和腐败菌生长繁殖的有效加工方法, 但不是所有的发酵鱼制品都具有高盐、高酸的产品特性^[28]。Abdalla 等^[29]对埃及发酵鱼制品 fessiekh 的研究发现, 其 pH 值范围在 6.4~6.9 之间, 含盐量在 6%~7%, 肉毒梭状芽孢杆菌及其他一些具有蛋白酶活性的细菌对这一生长环境拥有良好的生存适应性, 对消费者的身体健康具有潜在的危害性。因此, 需要在生产过程中, 严格执行生产卫生操作规范, 以避免类似的危害。

鱼制品发酵过程中, 乳酸菌会产生一些抗菌物质, 主要包括肽类(抗生素)及乳酸。Østergaard 等^[16]在对泰国发酵鱼制品 pla som、som fak 及 hoi dorgn 的研究中指出, 大量从中分离的乳酸菌能够有效抑制 *L.monocytogenes*, *Vibrio cholera*, *V. parahaemolyticus* 及其他一些腐败菌(*Aeromonas spp.*), 并且大部分分离的乳酸菌(*Lactobacillus spp.*)不仅能耐受 6.5% 的食盐浓度, 还具有在室温(25~37 °C)良好生长及快速产酸的特性。

4.2 生物胺

生物胺(biogenic amine,简称 BA)是一种低分子量含氮化合物的总称, 包括组胺、尸胺、腐胺、酪胺、胍丁胺、精胺、亚精胺等, 存在于各种食品尤其是发酵食品当中。食品中的生物胺主要是由具有氨基酸脱羧酶活性的微生物经脱羧及醛、酮的转胺作用生成的。摄入过量的生物胺将导致食物中毒^[30], 在适宜条件下尸胺、腐胺、精胺、亚精胺等多胺可结合亚硝酸盐形成致癌物亚硝胺^[31]。

由于发酵鱼制品的加工满足形成生物胺的几个条件: 可利用的大量游离氨基酸; 存在具有氨基酸脱羧酶活性的微生物; 适合具有脱羧酶活性及脱羧酶合成的微生物的生长环境, 因而, 发酵鱼制品可能是高含量生物胺的食物来源之一。Tsai^[32]检测了台湾多种发酵鱼制品(包括鱼露、鱼酱、虾酱等)的组胺含量, 发现在鱼露、鱼酱、虾酱中组胺的平均含量分别为 394、263、382 mg/L, 远远高于 FDA 规定不高于 50 mg/L 的行业标准。Riebroy 等^[7]检测了泰国 7 种商业化发酵鱼肠 Som-fug 的生物胺组成及含量, 其中组

胺含量在 55.1~291 mg/kg。

目前,水产品中生物胺的检测方法有多种,如高效液相色谱法、毛细管电泳法、薄层层析法及电化学传感器法等。其中高效液相色谱法具有分析速度快、柱效高、检测灵敏度高及定量分析准确等特点,是目前水产品生物胺分析测定的主要手段。

发酵鱼制品的生物胺大多是由具有生物胺脱羧酶活性的微生物脱羧形成,因此,选用能降解生物胺或能抑制形成生物胺的微生物是当前许多研究者关注的热点之一。Mah 等对发酵凤尾鱼 Myeolchi-jeot 的研究表明, *Staphylococcus xylosus* 不仅能够大幅度地降解组胺,还具有良好的降解酪胺的能力^[33]。曾雪峰^[23]接种发酵酸鱼时发现,混合发酵剂能有效抑制酪胺、尸胺、腐胺、组胺在酸鱼发酵期间的累积,因而具有提高产品安全性和改善产品品质的作用。此外,高盐、低温、添加剂等能抑制生物胺的形成^[34]。根据相关报道,很多欧洲国家在低温条件下生产的发酵鱼制品在设定的贮藏期内,其生物胺含量远低于东南亚国家在常温条件下生产的发酵鱼制品,符合 FDA 有关发酵鱼制品生物胺的限量标准^[28]。Mah 等^[35]在发酵凤尾鱼 Myeolchi-jeot 制备过程中添加 5%大蒜提取物后其产品生物胺含量较对照组降低了 8.7%。进一步研究发现,产品添加甘氨酸后,其腐胺、尸胺、组胺、酪胺及亚精胺的含量分别降低了 32.6%、78.4%、93.2%、100.0%、100.0%^[36]。

4.3 N-亚硝基化合物

N-亚硝基化合物是一大类具有 N—N=O 结构的有机化合物。根据其分子结构不同,可分为 N-亚硝胺和 N-亚硝酰胺两大类。N-亚硝基化合物是一种很强的致癌物质,在已检测的亚硝胺类化合物中,已证实有 90%至少可诱导一种动物致癌。合成 N-亚硝基化合物的反应途径主要有两种,即胺类及酰胺类物质与亚硝酸盐类物质在一定条件下反应生成 N-亚硝胺和 N-亚硝酰胺。

一般新鲜水产品中仅含少量的胺类,但是进行腌制等加工处理或腐烂变质时,即可产生大量的胺类化合物,而腌制时所用粗盐中含有杂质亚硝酸盐,在适宜的条件下胺类与亚硝酸盐反应,导致腌制食品中含有较多的亚硝基类化合物,有时可高达 100 μg/kg。蔡一新等^[37]对多份腌制咸鱼和风干海产品样品进行检测,均检出 N-二甲基亚硝胺(NDMA),樊

丽琴等^[38]从金线鱼等 8 种咸鱼样品中均检测到了两种常见的挥发性 N-亚硝胺: NDMA 和 N-二乙基亚硝胺(NDEA)。

由于 N-亚硝基化合物具有强致癌物质,而且其中的 N-二甲基亚硝胺(NDMA)是具有毒性的挥发性 N-亚硝基化合物,因此许多国家都有 NDMA 的限量规定,其中我国国家标准 GB 2762-2012 对水产制品 N-二甲基亚硝胺残留的规定为 4.0 μg/kg^[39]。目前食品中 N-亚硝胺的测定方法有气相色谱-热能分析法^[40-44]和气相色谱-质谱法等^[40-44]。

对发酵鱼制品的 N-亚硝基化合物的控制主要可从原料和生产工艺两方面入手。首先,腌制使用的原料鱼应保持新鲜,防止微生物大量繁殖造成腐败变质。因为鱼类等水产品腐败时含量丰富的蛋白质会分解产生大量的胺类物质,作为 N-亚硝基化合物合成的前体物质,应尽量避免其产生,以减少亚硝基类化合物的形成。其次在腌制过程中应控制粗盐中硝酸盐及亚硝酸盐的量,或尽量用精盐腌制。再者,需控制加工条件,腌制过程会受很多因素的影响,如温度、盐度、pH、时间等。在不同条件下,硝酸盐、亚硝酸盐及亚硝胺的含量会有所变化。

5 展望

目前我国传统发酵鱼制品的生产,以家庭作坊式的传统制作工艺为主,规模较小,季节性加工、条件简陋,且工艺操作主要根据加工者的制作经验进行控制,导致生产加工出的产品品质不稳定的同时,还存在着一定的安全隐患;再者,传统发酵鱼主要是利用环境或自身携带的微生物在自然条件下发酵,产品生产周期长,易染杂菌,从而降低其食用安全性;另外,传统发酵鱼生产加工方法多样,原料不同,加工环境条件差异较大,故而风味品质不稳定。因此,通过工业化扩大生产提高产量,同时改善和稳定产品的理化及风味品质,提高产品安全性,是传统发酵鱼制品工业化发展的必由之路。因而,建立和完善原材料选择、加工过程的良好卫生规范和良好操作规范,注重生产过程中关键控制点,尽量避免易诱发形成生物胺的微生物的生长,同时选用优化菌种作为发酵剂,适当结合不利于生物胺及 N-亚硝基化合物等产生的工艺条件,进行发酵,才能达到既能提高产品安全性,同时又能强化风味的效果,即而促进整个产业迅猛发展。

参考文献

- [1] An C, Takahashi H, Kimura B, *et al.* Comparison of PCR-DGGE and PCR-SSCP analysis for bacterial flora of Japanese traditional fermented fish products, aji-narezushi and iwashi-nukazuke [J]. *J Sci Food Agric*, 2010, 90: 1796–1801.
- [2] Christine PM, Madsen M, Sophanodor P, *et al.* Fermentation and microflora of plaa-som, a Thai fermented fish product prepared with different salt concentrations [J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 73: 61–70.
- [3] Kopermsub P, Yunchalard S. Identification of lactic acid bacteria associated with the production of plaa-som, a traditional fermented fish product of Thailand [J]. *Int J Food Microbiol*, 2010, 138: 200–204.
- [4] Saithong P, Panthavee W, Boonyaratanakornkit M, *et al.* Use of a starter culture of lactic acid bacteria in plaa-som, a Thai fermented fish[J]. *J Biosci Bioeng*, 2010, 110(5): 553–557.
- [5] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Changes during fermentation and properties of Som-fug produced from different marine fish [J]. *J Food Process Pres*, 2007, 31: 751–770.
- [6] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W, *et al.* Physical properties and microstructure of commercial Som-fug, a fermented fish sausage [J]. *Eur Food Res Technol*, 2005, 220: 520–525.
- [7] Riebroy S, Benjakul S, Visessanguan W. Properties and acceptability of Som-fug, a Thai fermented fish mince, inoculated with lactic acid bacteria starters [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2008, 41: 569–580.
- [8] Bernbom N, Ng YY, Paludan-Müller C, *et al.* Survival and growth of *Salmonella* and *Vibrio* in som-fak, a Thai low-salt garlic containing fermented fish product[J]. *Int J Food Microbiol*, 2009, 134(3): 223–229.
- [9] Kuda T, Tanibe R, Mori M, *et al.* Microbial and chemical properties of aji-no-susu, a traditional fermented fish with rice product in the Noto Peninsula, Japan[J]. *Fish Sci*, 2009, 75: 1499–1506.
- [10] Kosaka Y, Ooizumi T. Effects of microbial growth inhibition by antibiotics on the production of taste-active components during the processing of heshiko, produced by aging salted mackerel with rice bran [J]. *Fish Sci*, 2012, 78 (3): 735–742.
- [11] Paludan-Müller C, Madsen M, Sophanodora P, *et al.* Fermentation and microflora of plaa-som, a Thai fermented fish product prepared with different salt concentrations [J]. *Int J Food Microbiol*, 2002, 73(1): 61–70.
- [12] Xu YSH, Xia W, Yang F, *et al.* Effect of fermentation temperature on the microbial and physicochemical properties of silver carp sausages inoculated with *Pediococcus pentosaceus* [J]. *Food Chem*, 2010, 118(3): 512–518.
- [13] 胡永金. 淡水鱼糜发酵及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [14] Hu YJ. Study on the Fermented Freshwater Fishes Surimi and Its Gel Formation Mechanism [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.
- [14] Schubring R, Oehlenschläger J. Comparison of the ripening process in salted Baltic and North Sea herring as measured by instrumental and sensory methods [J]. *Zebensm Unters Forsch A*, 1997, 205(2): 89–92.
- [15] Xu YSH, Xia W, Yang F, *et al.* Physical and chemical changes of silver carp sausages during fermentation with *Pediococcus pentosaceus* [J]. *Food Chem*, 2010, 122(3): 633–637.
- [16] Østergaard A, Embarek PKB, Wedell-Neergaard C, *et al.* Characterization of anti-listerial lactic acid bacteria isolated from Thai fermented fish products [J]. *Food Microbiol*, 1998, 15(2): 223–233.
- [17] 尹晓婷, 宋焕禄, 祖道海, 等. 采用同时蒸馏提取法分析不同加工时期金华火腿香味成分[J]. *食品与发酵工业*, 2004, (10): 122–128.
- Yin XT, Song HL, Zu DH, *et al.* Simultaneous Distillation Extraction(SDE) for the Analysis of Volatiles in Jinhua Ham of Different Fermentation Time[J]. *Food Ferment Ind*, 2004, (10): 122–128.
- [18] Andrés A I, Cava R, Ruiz J. Monitoring volatile compounds during dry-cured ham ripening by solid-phase microextraction coupled to a new direct-extraction device [J]. *J Chromatogr A*, 2002, 19: 83–88.
- [19] 党亚丽. 金华火腿和巴马火腿风味的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- Dang YL. Study on the flavor of Jinhua ham and Parma ham [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.
- [20] Machiel D, Saskia M, Maarten R, *et al.* Gas chromatography-olfactometry analysis of the volatile compounds of two commercial Irish beef meats [J]. *Talanta*, 2003, 60: 755–764.
- [21] Gracia M, Horrillo MC, Santo JSP. Artificial olfactory system for the classification of Iberian hams [J]. *Sensors Actuators B: Chem*, 2003, 96(3): 621–629.
- [22] 李改燕. 糟鱼发酵过程中微生物菌群和风味变化的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2009.
- Li GY. Study on the Microorganism Flora and Flavor Compounds from Vinasse Fish [D]. Ningbo: Ningbo University, 2009.
- [23] 曾雪峰. 淡水鱼发酵对酸鱼品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Zeng XF. Study on the Effect of Suan yu Property of Fermented Freshwater Fish [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [24] Kanno T, Kuda T, An C, *et al.* Radical scavenging capacities of saba-narezushi, Japanese fermented chub mackerel, and its lactic acid bacteria [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2012, 47 (1): 25–30.

- [25] 卢晓莉. 鱼鲞制品中乳酸菌的分离、筛选及应用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007
Lu XL. Isolation, Screening and Application of Lactic Acid Bacteria from Fermented Fish Products[D]. Wuhan: Huangzhong Agricultural University, 2007.
- [26] Zeng XF, Xia WS, Jiang QX, *et al.* Chemical and Microbial Properties of Chinese Traditional Low-Salt Fermented Whole Fish Product Suan Yu[J]. *Food Contr*, 2013, 30(2): 590–595.
- [27] 曾雪峰, 夏文水. 湘西传统酸鱼中乳酸菌的分离及特性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(12): 40–44.
Zeng XF, Xia WS. Characterization of Lactic Acid Bacteria Isolated from Xiangxi Traditional Low Salt Fermented Fish (Suan yu) [J]. *Food and fermentation industries*, 2012, 38 (12): 40–44.
- [28] Köse S, Üzen F, Tufan B, *et al.* Investigating some quality parameters of several traditional fish products in relation to food safety [C]. In Pacific Fisheries Technologists Conference, 2008.
- [29] Bakiet Hha, Khogalie F. Effect of different salt concentrations on chemical compositions of the fish *hydrocynus spp* [J]. *Online J Anim Feed Res*, 2011, 2(6): 461–464.
- [30] Rawles DD, Flick GJ, Martin RE. Biogenic amines in fish and shellfish [J]. *Adv Food Nutr Res*, 1996, 39: 329–365.
- [31] Bills DD, Hildrum KI, Scanlan RA, *et al.* Potential precursors of N-nitrosopyrrolidine in bacon and other fried foods [J]. *J Agric Food Chem*, 1973, 21(5), 876–877.
- [32] Tsai YT, Lin CY, Chien LT, *et al.* Histamine contents of fermented fish products in Taiwan and isolation of histamine-forming bacteria [J]. *Food Chem*, 98(1): 64–70.
- [33] Mah JH, Hwang HJ. Inhibition of biogenic amine formation in a salted and fermented anchovy by *Staphylococcus xylosus* as a protective culture [J]. *Food Contr*, 2009, 20(9): 796–801.
- [34] 于长青, 姚笛, 满永刚. 发酵肉制品中生物胺的危害及控制[J]. *肉类研究*, 2010, 1: 41–44.
Yu CHQ, Yao D, Man YG. Harm and Control on Biogenic Amines of Fermented Meat Products[J]. *Meat Res*, 2010, 1: 41–44.
- [35] Mah JH, Han HK, Kim MG, *et al.* Inhibitory effects of garlic and other spices on biogenic amine production in Myeolchi-jeot, Korean salted and fermented anchovy product [J]. *Food Contr*, 2009, 20(5): 449–454.
- [36] Mah JH, Hwang HJ. Effects of food additives on biogenic amine formation in Myeolchi-jeot, a salted and fermented anchovy (*Engraulis japonicus*) [J]. *Food Chem*, 2009, 114(1): 168–173.
- [37] 蔡一新, 林升清, 林生金. 福建省部分食品中 N-亚硝胺含量调查结果分析[J]. *中国卫生检验杂志*, 1997, 7(6): 356–358.
Cai YX, Lin SHQ, Lin SHJ. N-nitrosamine content analysis of the survey in part of the food from Fujian province [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 1997, 7(6): 356–358.
- [38] 樊丽琴. 咸鱼腌制过程中 N-亚硝胺及其前体物质的变化规律研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2009.
Fan LQ. Study on the changing regularity of N-nitrosamine and its precursor substance in pickling salted fish [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2009.
- [39] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
GB 2762-2012 National food safety standards in food contaminants[S].
- [40] 魏法山, 徐幸莲, 周光宏. 挥发性 N-亚硝基化合物的分析方法[J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 479–483.
Wei FSH, Xu XL, Zhou GH. Determination method of volatile N-nitroso compounds [J]. *Food Sci*, 2008, 29(7): 479–483.
- [41] 丁红梅, 陈彬, 杨兴龙, 等. 气质联用法测定生食水产品中挥发性 N-亚硝胺[J]. *食品与机械*, 2010, 26(6): 54–69.
Ding HM, Chen B, Yang XL, *et al.* Determination of volatile raw aquatic products of N-nitrosamines by gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Mach*, 2010, 26(6): 54–69.
- [42] 吴燕燕, 刘法佳, 李来好等. GC-MS 检测咸鱼中 N-亚硝胺的条件优化[J]. *南方水产科学*, 2012, 8(4): 16–22.
Wu Y, Liu FJ, Li LH. Determination and optimization of N-nitrosamines in salted fish by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *South China Fisheries Sci*, 2012, 8(4): 16–22.
- [43] 樊丽琴, 杨贤庆, 陈胜军, 等. 腌制水产品中 N-亚硝基化合物的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2009, 4: 360–363.
Fan LQ, Yang XQ, Chen SHJ. Research progress on Z-nitroso-compounds in salted aquatic products [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2009, 4: 360–363.
- [44] 王秀元. 腌制水产品中挥发性亚硝胺含量检测与控制技术研究 [D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2013
Wang XY. The research of detection and control technology for volatile N-nitrosocompounds in salted aquatic products [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2013.

(责任编辑: 邓伟)

作者简介



王蔚新, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为水产品加工。

E-mail: wangweixin1009@aliyun.com



夏文水, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为食品与水产品精深加工。

E-mail: xiaws@jiangnan.edu.cn