

水产原料腥味物质的形成及脱腥技术研究进展

邓 静, 杨 荭, 朱佳倩, 丁炳文, 余 松, 李沛隆, 饶承冬, 叶 浪, 李树红, 李美良*

(四川农业大学食品学院, 雅安 625014)

摘 要: 水产品营养丰富均衡, 味道鲜美, 在广大消费者饮食列表中意义重大。但由于水产原料中含有种类繁多的挥发性物质, 如醛类、醇类、酮类、烃类、萜烯衍生物和少量的硫醚、呋喃、萘类等, 多种挥发性成分相互之间共同作用导致强烈的腥味产生, 这种不良风味影响食用口感与市场销售, 产业化发展受到严重阻碍。大量研究表明腥味物质主要来源于氧化三甲胺的分解、脂质的自动氧化及外界环境次生代谢物的作用。如今消费者对食品风味的要求越来越高, 腥味物质的形成以及如何有效控制成为越来越多研究者的重点研究方向。本文重点介绍了水产原料中腥味物质的形成机制和脱腥技术的研究进展, 分析其今后的发展并做出展望, 以期对水产原料脱腥技术的应用和发展提供参考。

关键词: 水产原料; 腥味物质; 形成机制; 脱腥技术

Research progress in the formation and deodorization technology of fishy odor for aquatic raw material

DENG Jing, YANG Hong, ZHU Jia-Qian, DING Bing-Wen, YU Song, LI Pei-Long,
RAO Cheng-Dong, YE Lang, LI Shu-Hong, LI Mei-Liang*

(Food College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

ABSTRACT: Aquatic products are of great significance in the consumer lists because of their rich nutrition and delicate flavor. But the various volatile substances contained in the aquatic product raw materials will interact with each other and produce fishy odor. These volatile substances mainly include aldehyde, alcohol, ketone, hydrocarbon, terpene derivative and small amount of thioether, furan and naphthalene. The fishy odor negatively impacts the mouthfeel and market circulation and impedes the development of aquatic products industry. There have been many researches indicate that the fishy odor substance is mainly derived from the decomposition of trimethylamine N-oxide, the oxidation of lipid and the effect of secondary metabolite in external environment. Nowadays, consumers have higher requirement on food flavor. Methods to control the formation of fishy odor substance are paid more attention to by more and more researchers. This paper mainly introduced the formation mechanism of fishy substances in aquatic raw materials and the research progress of fishy removal technology, and analyzed its future development and makes a prospect, in order to provide references for the application and development of fishy removal technology in aquatic raw materials.

KEY WORDS: aquatic products raw materials; fishy odor; formation mechanism; deodorization technology

基金项目: 四川农业大学学科建设双支计划项目(03571652)

Fund: Supported by Sichuan Agricultural University Disciplinary Construction Double Support Program (03571652)

*通讯作者: 李美良, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产食品加工、蛋白质化学。E-mail: liml@sicau.edu.cn。

*Corresponding author: LI Mei-Liang, Ph.D, Associate Professor, Food College, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China. E-mail: liml@sicau.edu.cn.

1 引言

水产品拥有其独特口感风味与丰富营养价值,是人们日常生活中不可缺少的美味。水产制品由高蛋白,低脂肪,低胆固醇,氨基酸组成科学合理,多由不饱和脂肪酸组成,容易被人体消化等优点;同时也是人体所需维生素和无机盐等有益成分的良好来源^[1]。但由于水产原料中水分含量高,组织酶活跃等因素,易产生不利于感官感受的腥味,严重影响了其鲜销和加工行业的发展^[2]。近年来,随着对水产原料腥味形成机制探究与脱腥方法研究的逐渐深入,出现了较多效果较好且应用广泛的除腥方法,产品风味有了较大改观,很大程度上促进了水产食品的行业发

2 腥味物质形成机制

大量研究发现腥味物质主要有醛类、酮类、醇类、烃类、萜烯衍生物以及少量的硫醚、呋喃、蔡类,腥味并非单一成分,通常由多种挥发性腥味物质共同作用产生,成分极为复杂^[3]。其中醛类物质阈值较低,尤其是己醛、2,4-癸二烯醛、壬醛、辛醛、E-2-辛烯醛、E-2-壬烯醛等是水产品主要的腥味物质,更易产生令人反感的刺激性气味^[4];醇类物质是水产品中类似金属或泥土味的主要来源;酮类和烯类物质对挥发性物质有协助作用;萜烯衍生物主要有土臭素、二甲基异冰片等具有土腥味^[5-7]。被捕后的新鲜鱼在运输或贮藏过程中主要有 2 种腥味形成途径:氧化三甲胺的分解及脂质的自动氧化,另外,外界环境中次生代谢产物也是主要的腥味物质来源。

2.1 氧化三甲胺的分解

氧化三甲胺是鱼体内特有的可区别于其他动物种类的特征性物质。当鱼体失去生命体征后,本身无异味的三甲胺氧化物在高压^[8]、加热^[9]或厌氧微生物和酶的作用下生成具有强烈腥味的三甲胺(trimethylamine, TMA)和二甲基胺(dimethylamine, DMA)等产物,当与 δ -氨基戊酸、六氢吡啶等成分共同存在于鱼体内时,腥味变浓烈^[10-12]。鱼体内氧化三甲胺的含量根据鱼种类有所不同^[13],通常海水鱼比淡水鱼腥臭气更强,软骨鱼较硬骨鱼腥味强烈。Kimura 等^[14]研究发现秋刀鱼中三甲胺含量与总脂含量成正比,暗色肉比普通肉含量高,并随冻藏时间的延长呈更快速增长的趋势。说明暗色肉是腥味物质的主要来源。

2.2 脂质的自动氧化

脂质中的多不饱和脂肪酸自发或在酶作用下被分解^[15,16],产物为羰基化合物、醇类、酮类和酸等,这些挥发

性氧化产物更易产生于脂肪含量高的鱼体,且与脂肪氧化程度成正比。同时鱼肉中铁离子、脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)和血红素蛋白(血红蛋白、肌红蛋白)等对脂质氧化也有催化作用。German 等^[17,18]曾证实淡水鱼中特有的气味物质(包括腥臭味)是多不饱和脂肪酸在脂肪氧合酶的作用下产生的代谢产物。Thiansilakul 等^[19]研究发现在鱼糜中血红蛋白比肌红蛋白更易造成脂质自动氧化生成腥味物质己醛(主要腥味物质)。

2.3 外界环境次生代谢产物

养殖过程中,水体环境中微生物(如放线菌、蓝细菌等)产生具有异味的次生代谢产物,它们通过体表吸附积累于鱼体产生腥味^[20-22]。水体环境中的异味物质主要包括土臭素(geosmin)以及二甲基异茨醇(或二甲基异冰片, 2-methylisoborneol, MIB)、2,4,6-三氯代茴醚(2,4,6-trichloroanisole, TCA)、2-异丁基-3-甲氧基吡嗪(2-isobutyl-3-methoxypyrazine, IBMP)和 2-异丙基-3-甲氧基吡嗪(2-isopropyl-3-methoxypyrazine, IPMP)等,Howgate^[23]认为土臭素和二甲基异茨醇是最主要的腥味来源,且在室温条件下具半挥发性^[24]。Moli 等^[25]研究表明水体环境直接影响了鱼体的风味物质组成。水温越高越易产生土臭素和二甲基异茨醇,并且水温越高就越容易被鱼吸收,在养殖过程中净化水体显得尤为重要。

3 脱腥技术

3.1 物理方法

3.1.1 吸附法

吸附现象是利用多孔的固体物质吸引周边液体或气体分子,吸附剂在工业生产及日常生活中广泛应用的有两大类。一类是活性炭、硅胶、分子筛以及活性氧化铝等,凭借丰富的孔隙结构以及巨大的比表面积,将多种腥味成分吸附并除去^[26]。Li 等^[27]证实粉末活性炭对腥味物质的吸附能力与曲线符合拟一级和拟二级动力学模型。活性炭多用于分子量较大的化合物、非极性化合物及饱和键化合物的吸附,尤其在偏酸性条件下作用更佳,但缺点是蛋白损失率高,研究表明^[28]短肽损失可达 36.1%,且氨基酸损失高达 40.6%。另一类是大孔交换树脂^[29],它同时具备较高的吸附性和筛选性,通过内部很多大小适宜的孔穴对腥味有机物质高效吸附。曾绍东等^[30]利用 D113 型树脂(大孔弱酸性丙烯酸系阳离子交换树脂)对罗非鱼酶解液中腥味物质进行吸附处理,发现脱腥效果显著且具有高蛋白质回收率。在酸性条件下溶液中多以阳离子形式存在的三甲胺、二甲胺等腥味物质易与树脂基团发生交换,这是酸性条件下脱腥效果更加显著的原因。

3.1.2 掩盖法

掩盖法是采用香辛料(葱、姜、蒜、辣椒、桂皮、八

角和酒等,具有浓烈特殊味道)或食品添加剂(增香剂)去掩盖遮盖水产原料本身的腥味的办法。香辛料中的有机成分,如花椒中的川辣素以及生姜中的姜醇、姜酚等与腥味物质反应,达到腥味减弱、去异增香的作用。水产腌渍阶段加入香辛料不仅脱腥效果明显,同时还有效协调增强原料本身的底味。耿瑞婷等^[31]通过对比活性炭吸附法、超滤法、掩蔽法、超滤和掩蔽联合法等多种脱腥方法对扇贝蛋白酶解液腥味物质的脱除效果,发现超滤和掩蔽联合法脱腥脱苦效果显著,并选择乳酸乙酯、乙基麦芽酚、食盐和料酒作为掩蔽剂。掩盖法是使用最早、最为原始的脱腥技术,可能会对产品本身口感有影响,目前在工业生产中通常结合其他脱腥技术进行复合脱腥。

3.1.3 包埋法

β -环糊精(β -cyclodextrin, β -CD)在酶的催化作用下,7个葡萄糖单体与 α -1,4糖苷键相结合最终生成外部亲水内部疏水的梯形笼状结构,分子尺寸相匹配的腥味化合物与之发生包埋作用,阻断腥味物质的释放途径达到脱腥目的^[32]。曹栋等^[33]研究发现 β -CD可有效去除鱼油乳液中的腥味,且腥味程度随着 β -CD浓度的增加而减弱。阳晖等^[34]研究对螺旋藻脱腥处理发现在加热条件下添加一定量的 β -环糊精,脱腥效果显著,优于加热法和掩盖法等技术。 β -CD操作简单,易被人体消化且无毒性,有效保持蛋白质功能性和护色作用,食品工业生产上应用广泛。

3.1.4 萃取法

萃取脱腥法是利用腥味物质在互不相容的溶剂中的溶解度不同,进行液液传质,达到分离目标混合物的目的。可溶于有机溶剂的腥味成分常采用萃取法,脱腥效果随着萃取次数增多而显著提高。生产中常用的萃取脱腥剂为乙醚和乙醇等,裘迪红等^[35]采用50%乙醚对鲢鱼水解液重复3次萃取脱腥处理,结果表明脱腥效果明显。使用萃取法还能除去部分脂肪,缺点是蛋白质容易变性且易残留。

3.1.5 辐照法

我国是亚洲最大的辐照食品生产国,在水产品中的应用尤为突出。辐照法是采用 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 射线处理水产品,使腥味物质结构发生改变从而脱腥。Kim等^[36]经 ^{60}Co - γ 射线剂量(0~10 kGy)照射鱼汁后,其风味和色泽都得到改善,特别是腥味明显减弱。辐照技术前处理简单,可大批量操作,但是辐照技术应用于食品中的安全性是人们一直关注的重点,也是阻碍辐照技术得以广泛应用的原因之一。邵宏宏等^[37]采用5种辐照剂量对水产原料进行辐照处理及安全性分析,结果发现处理组中10种放射性核素的浓度远低于限量标准,甚至未检出,辐照技术不会导致水产原料产生感生放射性危害。

3.2 化学方法

3.2.1 美拉德反应

美拉德反应是工业生在产中较为常见的一种可改善

食品风味的反应。通过羰基化合物和氨基化合物间经过复杂的反应历程,最终生成具有独特风味的反应产物以掩盖原料本身的异味,主要用于除去蛋白质类化合物中的腥味成分。张洁等^[38,39]曾证实美拉德反应对牡蛎酶解液脱腥效果明显。在食品中添加一定量的氨基酸和还原糖,并通过调控还原糖添加量、pH、反应时间和温度等条件进行反应速度及产物的控制,利用具有特殊香味的产物掩盖腥味。

3.2.2 酸碱盐处理

经有机酸碱盐进行脱腥处理,使蛋白质温和变性,同时功能性得以保持和改善,有良好的溶出脂肪、析出异味物质和脱色作用。有机酸不仅有效降低三甲胺的生成量,还能调节pH直接控制鱼体中微生物的生长发育,这些作用都能够有效减少腥味形成。姜永江^[40]用 CaCl_2 和HCl组成脱腥剂处理龙头鱼,结果表明腥味物质及水溶性蛋白能够有效脱除,且发现无机酸盐酸相比有机酸柠檬酸的脱腥效果更佳。崔方超等^[41]利用3种脱腥剂:碳酸氢钠、柠檬酸和酵母,对草鱼鱼肉腥味物质进行对比研究,脱腥效果由强到弱依次为:柠檬酸>碳酸氢钠>酵母。Yarnpakdee等^[42]将印度鲭鱼肉经过蒸馏水冲洗、8 mmol/L氯化钙溶液以及5 mmol/L柠檬酸溶液脱腥后风味明显改善,脱腥效果良好。通常可添加醋酸、柠檬酸、氢氧化钠、盐、乙醇等对原料进行处理,脱腥效果显著^[43-45]。但酸碱盐处理法会产生大量含有酸碱的废水,如果不经有效处理随意排放会对环境造成危害。

3.2.3 抗氧化剂

利用天然植物浸出液对水产品进行脱腥,效果显著,通常使用茶做脱腥剂。茶多酚作为天然抗氧化剂应用广泛;儿茶素类化合物能高效去除不愉快气味物质甲硫醇化合物,并结合氨基酸从而调节酶活性和抑菌;萜烯类化合物能消除异味;黄酮类化合物杀菌除臭。段振华等^[12]采用1.5%红茶加0.75% NaCl为脱腥剂处理鳙鱼片,在温度15℃条件下浸泡处理3 h,脱腥效果明显。陈漪等^[46]采用绿茶溶液脱腥剂对金枪鱼鱼肉进行脱腥处理,当料液比和茶水浓度分别为1:5和2.5%或者1:10和1.5%,脱腥时间都为3 h,脱腥效果最好。

3.3 生物方法

生物脱腥主要是腥味物质在微生物或酶作用下分解生成无腥味物质。刘艳^[47]研究表明活性干酵母中的多种酶可有效将腥味物质分解,且反应过程中还会生成具有特殊香味的中间产物对腥味进一步修饰。该法脱腥效果较好,蛋白质、氨基酸损失较小;但需要严格控制使用量,避免异味产生;使用局限性较大,适合发酵水产品和流体水产制品。章新等^[48]采用乳酸菌和酵母对鱼下脚料进行发酵脱腥处理,结果为有效减少腥味,整体风味提高,贮藏期延长,并且营养物质保持良好。微生物发酵代谢产物有效抑制腐败菌生长,促进良好风味形成,在食品工业上广泛应用。

3.4 复合脱腥法

大量研究表明脱腥技术单独应用时脱腥效果欠佳,且不具备普遍使用性,不如多种脱腥技术科学复配使用。因此,复合脱腥技术成为了国内外很多科研工作者的研究热点。段振华等^[49]对罗非鱼鱼肉酶解液进行脱腥处理,脱腥效果最佳的工艺参数为:先加入酵母 2.5%,置于 35 °C 条件下发酵 30 min,随后加入 β -CD 2.5%,65 °C 条件下再反应 30 min。Yarnpakdee 等^[50]对比研究多种脱腥技术对马鲛鱼酶解物中腥味物质的去除效果,最终得出复合处理法:水洗、微滤再碱溶处理的脱腥效果最好。

4 结 语

目前,水产原料的腥味物质的形成及脱腥方法研究已颇有成就,随着我国水产原料养殖量的逐年增长,种类也更加丰富,将来还会有更多的水产制品亟待开发,以上所述腥味物质是制约其产业化发展的重要因素之一。脱腥技术涉及领域宽广,物理、化学及生物等领域均有不同程度涉及。腥味成分复杂,每种成分与感官特性之间的关系还没有系统而全面的深入研究,未来应该从化学本质上对腥味物质进行基础性研究,有助于从分子结构层面探究脱腥原理,开发更为高效的脱腥技术。不同脱腥技术之间各有优劣,根据不同水产原料的加工工艺、加工特性有所不同,应开发更为科学合理的脱腥方法,在提高风味的同时还应该尽量保持感官特性及营养成分。

参考文献

- [1] 吕娜娜,耿敬章. 水产品脱腥技术研究进展[J]. 江西饲料, 2015, (1):23-26.
Lv NN, Geng JZ. Research on the desorption technology of aquatic products [J]. Jiangxi Feed, 2015, (1): 23-26.
- [2] Yarnpakdee S, Benjakul S, Nalinanon S, *et al.* Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants [J]. Food Chem, 2012, 132(4): 1781-1788.
- [3] 王国超, 李来好, 郝淑贤, 等. 水产品腥味物质形成机制及相关检测分析技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 401-404.
Wang GC, Li LH, Hao SX, *et al.* Research progress in the mechanism of odor compounds in aquatic product and some relative techniques of detection and analysis [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(5): 401-404.
- [4] 付湘晋, 党亚丽, 许时婴, 等. 采用 GC-MS 结合嗅闻分析鉴定白鲢鱼风味活性物质[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(12): 159-162.
Fu XJ, Dang YL, Xu SY, *et al.* Determination the aroma active compounds in silver carp using GC-MS combined with Olfactometry [J]. Food Res Dev, 2010, 31(12): 159-162.
- [5] Selli S, Prost C, Serot T. Odour-active and off-odour components in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) extracts obtained by microwave assisted distillation-solvent extraction [J]. Food Chem, 2009, 114(1): 317-322.
- [6] 杨华, 刘斌斌, 姜永江. 养殖大黄鱼脱腥技术的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(6): 154-157.
- [7] Yang H, Liu BB, Lou YJ. The deodorization technique of cultured *Pseudosciaena crocea* [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(6): 154-157.
- [7] 王润萍, 陆凤霞, 金敏, 等. 龙须菜寡糖对罗非鱼脂肪酸和挥发性腥味物质组成的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 770-781.
Wang RP, Lu FX, Jin M, *et al.* Effects of oleracea oligosaccharides on the composition of fatty acids and volatile astringent substances in tilapia [J]. Chin J Anim Nutr, 2018, 30(2): 770-781.
- [8] Erkan N, Üretener G, Alpas H, *et al.* The effect of different high pressure conditions on the quality and shelf life of cold smoked fish [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2011, 12(2): 104-110.
- [9] Zhu J, Li J, Jia J. Effects of thermal processing and various chemical substances on formaldehyde and dimethylamine formation in squid *Dosidicus gigas* [J]. J Sci Food Agric, 2012, 92(12): 2436-2442.
- [10] Erkan N, Üretener G, Alpas H. Effect of high pressure (HP) on the quality and shelf life of red mullet (*Mullus surmelutis*) [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2010, 11(2): 259-264.
- [11] 任敏政. 鱼腥味的来源及防除方法[J]. 河南水产, 1994, (3): 37.
Ren MZ. Source of fishy smell and how to prevent it [J]. Henan Fish, 1994, (3): 37.
- [12] 段振华, 汪菊兰, 王志国, 等. 水产品加工过程中的脱腥技术[J]. 渔业现代化, 2005, (5): 49-50.
Duan ZH, Wang JL, Wang ZG, *et al.* Dislocation technology in the processing of aquatic products [J]. Fish Mod, 2005, (5): 49-50.
- [13] 黄骆轶, 黄克, 肖如武. 水产品腥味物质形成机制的研究进展[J]. 广东化工, 2009, 36(9): 146-161.
Huang LL, Huang K, Xiao RW. Advances on the formational theory of fishy odor for aquatic product [J]. Guangdong Chem Ind, 2009, 36(9): 146-161.
- [14] Kimura M, Hiraoka Y, Kimiya T, *et al.* Formation of trimethylamine in Pacific saury muscle during frozen storage [J]. Nsugaf, 2010, 76(76): 1073-1079.
- [15] Thiansilakul Y, Benjakul S, Richards MP. Changes in heme proteins and lipids associated with off-odour of seabass (*Lates calcarifer*) and red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) during iced storage [J]. Food Chem, 2010, 121(4): 1109-1119.
- [16] Yin J, Zhang W, Richards MP. Attributes of lipid oxidation due to bovine myoglobin, hemoglobin and hemolysate [J]. Food Chem, 2017, 234: 230.
- [17] German JB, Chen SE, Kinsella JE. Lipid oxidation in fish tissue. Enzymic initiation via lipoxygenase [J]. J Agric Food Chem, 1985, 33(4): 1774-1782.
- [18] Hsieh RJ, Kinsella JE. Lipoxygenase generation specific volatile flavor carbonyl compounds in fish tissues [J]. J Agric Food Chem, 1989, 37(2): 279-286.
- [19] Thiansilakul Y, Benjakul S, Park SY, *et al.* Characteristics of myoglobin and haemoglobin-mediated lipid oxidation in washed mince from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) [J]. Food Chem, 2012, 132(2): 892-900.
- [20] 徐立蒲. 鱼池中二甲基苄醇和土臭味素的含量、来源及产生影响因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学水产养殖, 2009.
Xu LP. Concentrations and sources of 2-MIB & geosmin in freshwater fishponds and the influencing factors [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.

- [21] 杨玉平,熊光权,程薇,等.水产品异味物质形成机理、检测及去除技术研究进展[J].食品科学,2009,30(23):533-538.
- Yang YP, Xiong GQ, Cheng W, *et al.* Review on formation mechanism, analysis and removal technologies of fishy off-odor [J]. Food Sci, 2009, 30(23): 533-538.
- [22] 张凯.不同系统对养殖水体和罗非鱼肌肉异味物质含量的影响[D].上海:上海海洋大学,2017.
- Zhang K. Impact of different cultivation systems on the accumulation of off-flavor compounds in tilapia flesh [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017.
- [23] Howgate P. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol: A review of sensory aspects and of uptake/depuration [J]. Aquaculture, 2004, 234(1-4): 155-181.
- [24] Cotsaris E, Bruchet A, Mallevialle J, *et al.* The identification of odorous metabolites produced from algal monocultures [J]. Water Sci Technol, 1995, 31(11): 251-258.
- [25] Moli M. Odour of cooked silurus (*Silurus glanis*) flesh: Evaluation by sensory analysis and comparison of collection methods to assess the odour representativeness of extracts obtained by dynamic headspace [J]. Meat Res, 2010, 84(15): 2113-2122.
- [26] Tucker CS. Off-flavor problems in aquaculture [J]. Rev Fish Sci, 2000, 8(1): 44.
- [27] Li X, Wang J, Zhang X, *et al.* Powdered activated carbon adsorption of two fishy odorants in water: Trans, trans-2,4-heptadienal and trans, trans-2,4-decadienal [J]. J Environ Sci, 2015, 32(6): 15-25.
- [28] 柯珂,王一兵,何碧娟,等.近江牡蛎活性物质的制备及其抗氧化活性的初步研究[J].食品工业科技,2011,(1):92-94.
- Ke K, Wang YB, He BJ, *et al.* Preparation method of active substance extracted from *Ostrea rivularis* Gould and primary research of its oxidation resistance activity [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, (1): 92-94.
- [29] 汤鸿,庞亚芳,李启东.改性活性炭对氨和三甲胺的吸附特性研究[J].环境化学,2000,(5):431-435.
- Tang H, Pang YF, Li QD. Study on adsorption characteristics of modified activated carbon for ammonia and trimethylamine [J]. Environ Chem, 2000, (5): 431-435.
- [30] 曾绍东,吴建中,欧仕益,等.阳离子交换树脂脱除罗非鱼酶解液腥味的研究[J].离子交换与吸附,2011,27(1):61-68.
- Ceng SD, Wu JZ, Ou SY, *et al.* Aeorization of tilapia enzymatic hydrolyzates by cation exchange resin [J]. Ion Exchange Adsorpt, 2011, 27(1): 61-68.
- [31] 耿瑞婷,王斌,马剑茵,等.扇贝蛋白酶液脱腥脱苦工艺研究[J].中国调味品,2014,(4):37-43.
- Geng RT, Wang B, Ma JY, *et al.* Research on the deodorization and debittering process for protein hydrolysate of scallop [J]. China Condiment, 2014, (4): 37-43.
- [32] 金晶,周坚.鱼制品脱腥脱苦技术研究进展[J].食品科技,2007,(5):14-17.
- Jin J, Zhou J. Advances on the deodorization of fish odor for fish product [J]. Food Sci Technol, 2007, (5): 14-17.
- [33] 曹栋,宋文明.鱼油乳液的稳定性[J].无锡轻工大学学报,2000,(1):65-68.
- Cao D, Song WM. The stability of fish oil emulsion [J]. J Wuxi Univ Light Ind, 2000, (1): 65-68.
- [34] 阳晖,方遂,邹霞,等.螺旋藻脱腥工艺的筛选[J].食品研究与开发,2009,30(7):106-110.
- Yang H, Fang S, Zou X, *et al.* Research on the eliminating fishy smell of spirulina [J]. Food Res Dev, 2009, 30(7): 106-110.
- [35] 裘迪红,周涛,戴志远,等.鲈鱼蛋白水解液脱苦脱腥的研究[J].食品科学,2001,1(5):37-39.
- Qiu DH, Zhou T, Dai ZY, *et al.* Study on desiccation and detachment of carp protein hydrolysate [J]. Food Sci, 2001, 1(5): 37-39.
- [36] Kim JH, Ahn HJ, Hong SY, *et al.* Color, flavor, and sensory characteristics of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce [J]. Radiat Phys Chem, 2004, 69(2): 179-187.
- [37] 邵宏宏,周秀锦,相兴伟,等.辐照水产品放射性危害研究及风险评估[J].食品安全质量检测学报,2017,8(6):86-91.
- Shao HH, Zhou JJ, Xiang XW, *et al.* Radioactive hazard and risk assessment of irradiated seafood [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(6): 86-91.
- [38] 张洁,董士远,郭晓伟,等.美拉德反应应用于牡蛎酶解液脱腥的研究[J].食品工业科技,2009,30(11):215-217.
- Zhang J, Dong SY, Guo XW, *et al.* Study on deodourization of the hydrolysate of oysters by maillard reaction [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(11): 215-217.
- [39] 许庆陵,周勇强,战宇,等.牡蛎水解蛋白制备及脱腥技术研究[J].食品研究与开发,2012,33(10):1-5.
- Xu QL, Zhou YQ, Zhan Y, *et al.* Research on preparation and deodorization technology of hydrolysis protein from oyster meat [J]. Food Res Dev, 2012, 33(10): 1-5.
- [40] 姜永江.低温真空油炸龙头鱼脆条的研制[J].食品与机械,1999,(2):17-18.
- Lou YJ. Preparation of deep fried crisp bar *Harpodon nehereus* under low temperature and high vacuum condition [J]. Food Mach, 1999, (2): 17-18.
- [41] 崔方超,李婷婷,杨兵,等.电子鼻结合GC-MS分析草鱼脱腥前后风味变化[J].食品科学,2014,35(20):126-130.
- Cui FC, Li TT, Yang B, *et al.* Flavor compounds of fresh and deodorized grass carps as determined by electronic nose combined with GC-MS [J]. Food Sci, 2014, 35(20): 126-130.
- [42] Yarnpakdee S, Benjakul S, Nalinanon S, *et al.* Lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysate from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle as affected by freshness and antioxidants [J]. Food Chem, 2012, 132(4): 1781-1788.
- [43] 游丽君,赵谋明.鱼肉制品腥味物质形成及脱除的研究进展[J].食品与发酵工业,2008,34(2):117-120.
- You LJ, Zhao MM. Advances in research on formation and removal of astringent substances in fish products [J]. Food Ferment Ind, 2008, 34(2): 117-120.
- [44] 潘江球,辛世雄,谢主兰,等.江蓠即食风味食品碱法脱腥工艺条件研究[J].食品工业科技,2012,33(9):225-227.
- Pan JQ, Xin SX, Xie ZL, *et al.* Study on deodorization process of Gracilaria instant food [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(9): 225-227.
- [45] 周蓓蓓,胡王,陈小雷,等.鱼制品腥味物质检测分析及去除技术研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(14):185-192.
- Zhou BB, Hu W, Chen XL, *et al.* Research progress on determination, analysis and removal of fishy odours coming from fish products [J]. Food Res Dev, 2016, 37(14): 185-192.
- [46] 陈漪,庄晶晶,尚艳丽,等.金枪鱼鱼肉茶水脱腥条件的比较研究[J].

粮油食品科技, 2012, 20(6): 76–79.

Chen Y, Zhuang JJ, Shang YL, *et al.* Comparison of deodorization conditions of tuna tea [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2012, 20(6): 76–79.

- [47] 刘艳. 牡蛎酶解液的制备、脱腥及其抗氧化活性评价[D]. 海口: 海南大学, 2016.

Liu Y. Study on preparation, deodorization and antioxidant activity evaluation of oyster enzymatic hydrolysates [D]. Haikou: Hainan University, 2016.

- [48] 章新, 郑毅, 叶文彬, 等. 微生物发酵对鱼下脚料脱腥作用的影响研究[J]. *安徽农学通报*, 2015, 21(5): 111–113.

Zhang X, Zheng Y, Ye WB, *et al.* Study on the effect of microbial fermentation on the dislocation of fish waste [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2015, 21(5): 111–113.

- [49] 段振华, 易美华, 汪菊兰, 等. 罗非鱼碎鱼肉酶解液的脱腥技术及其机理探讨[J]. *食品工业科技*, 2007, (2): 65–67.

Duan ZH, Yi MH, Wang JL, *et al.* Dislocation technology and mechanism of enzymatic hydrolysate of tilapia fish [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2007, (2): 65–67.

- [50] Yarnpakdee S, Benjakul S, Kristinsson HG, *et al.* Effect of pretreatment

on lipid oxidation and fishy odour development in protein hydrolysates from the muscle of Indian mackerel [J]. *Food Chem*, 2012, 135(4): 2474–2482.

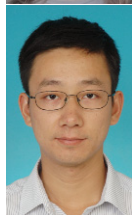
(责任编辑: 武英华)

作者简介



邓 静, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。

E-mail: 592092138@qq.com



李美良, 博士, 副教授, 主要研究方向为水产食品加工、蛋白质化学。

E-mail: liml@sicau.edu.cn