

鱿鱼主要组分与酸味研究进展

黄玲¹, 余梦海¹, 刘晗慧¹, 张宁², 邓尚贵^{1*}, 袁鹏翔^{1,2*}

(1. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022; 2. 浙江兴业集团有限公司, 舟山 316000)

摘要: 鱿鱼是全球重要的经济型头足类海洋资源, 具有生长周期短、营养丰富和成本低廉等特点。鱿鱼胴体、鱼皮、软骨、内脏各部位富含不同功能的高价值组分, 如胶原蛋白、明胶、抗氧化色素、生物发光色素、海洋磷脂、多功能蛋白肽、牛磺酸、硫酸软骨素和 β -甲壳素等。鱿鱼体内呈酸味的有机酸分子、游离离子、游离氨基酸、短肽等物质严重影响着鱿鱼的食用感官体验及经济价值, 探究酸味形成原因及酸味去除机制和工艺尤为重要。本文梳理了鱿鱼的各部位主要物质组成、其营养或医用价值及研究应用情况, 概述了鱿鱼酸味物质呈味机制, 并重点阐述了常用的化学、物理脱酸工艺及其脱酸原理, 对进一步促进鱿鱼深度精细化加工及鱿鱼产品脱酸工艺发展具有积极的指导意义。

关键词: 鱿鱼; 组分; 酸味成分; 呈酸机制; 脱酸工艺

Progress in the study of *Calamary* main components and acidity

HUANG Ling¹, YU Meng-Hai¹, LIU Han-Hui¹, ZHANG Ning²,
DENG Shang-Gui^{1*}, YUAN Peng-Xiang^{1,2*}

(1. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;
2. Zhejiang Xingye Group Co., Ltd., Zhoushan 316000, China)

ABSTRACT: *Calamary* is an important economic cephalopod marine resource in the world, which has the characteristics of a short growth cycle, rich nutrition and low cost. *Calamary* carcass, skin, cartilage and viscera are rich in high-value components with different functions, such as collagen, gelatin, antioxidant pigment, bioluminescent pigment, marine phospholipid, multifunctional protein peptide, taurine, chondroitin sulfate and β -chitin, etc.. The organic acid molecules, free ions, free amino acids, short peptides and so on with sour taste in *Calamary* seriously affect the edible sensory experience and economic value of *Calamary*. It is particularly important to explore the cause of sour taste and the mechanism and process of acid taste removal. This paper summarized the composition of the main substances in various parts of *Calamary*, their nutritional or medical value and research and application situation, the mechanism of sour taste substances in *Calamary*, and emphatically expounded the commonly used chemical and physical deacidification processes and deacidification principles, which has a positive guiding significance for further promoting the development of the deep fine processing of *Calamary* and the

基金项目: 浙江省青年自然科学基金项目(LQ22C200014)、舟山市科技项目(2020C21019)、浙江海洋大学人才引进专项项目(11135090921)

Fund: Supported by the Zhejiang Provincial Natural Science Foundation for Young People (LQ22C200014), the Zhoushan Science and Technology Project of China (2020C21019), and the Special Talent Introduction Project of the Zhejiang Ocean University (11135090921)

*通信作者: 邓尚贵, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学、食品质量与安全、水产品加工。E-mail: dengshanggui@163.com

袁鹏翔, 博士, 讲师, 主要研究方向为水产品加工。E-mail: xiangzi661822@163.com

*Corresponding author: DENG Shang-Gui, Ph.D, Professor, Zhejiang Ocean University, No.1, Haida South Road, Lincheng Street, Dinghai District, Zhoushan 316022, China. E-mail: dengshanggui@163.com

YUAN Peng-Xiang, Ph.D, Lecturer, Zhejiang Ocean University, No.1, Haida South Road, Lincheng Street, Dinghai District, Zhoushan 316022, China. E-mail: xiangzi661822@163.com

deacidification process of squid products.

KEY WORDS: *Calamary*; components; sour ingredients; acidic mechanism; deacidification process

0 引言

鱿鱼(*Calamary*)是世界范围内重要的头足类渔业资源,约有 290 种,其中具有可观商业价值的约 30~40 种^[1],广泛分布于太平洋秘鲁海域^[2]、利智海域^[3]和墨西哥海域加利福尼亚海湾^[4]等地区。鱿鱼属软体动物门、头足纲、二腮亚纲、十腕目、枪乌贼科海洋软体动物,常以虾、蚌、蟹、小鱼等为食,生命周期通常为几个月或一年,分头、腕、胴部。超强的环境适应性使鱿鱼既可生存于含氧量较高的浅水海域,也可生存于距海平面约 1200 m 的低氧海域^[5]。因其成本低廉、营养丰富、生命周期短、繁殖性灵活、环境适应能力强等特性备受广大消费者青睐^[6]。在过去的 50 年时间里,全球头足类的捕捞量从 1970 年的 98.5×10^4 t 增长到 2014 年 485.6×10^4 t 的历史峰值,其中鱿鱼约占总捕捞量的 70%~80%^[1]。我国是鱿鱼捕捞、加工生产的大国,《2021 中国渔业统计年鉴》数据显示,我国 2020 年鱿鱼捕捞量达到 29.56 万 t^[7],《2022 中国渔业统计年鉴》报告显示,我国鱿鱼捕捞量达 64.01 万 t^[8]。

鱿鱼加工产品种类繁多但加工方法较为简单,常见的鱿鱼加工产品有鱿鱼鱼糜、鱿鱼丝、卤鱿鱼、鱿鱼肠、鱿鱼罐头制品、鱿鱼干等。鱿鱼肉质较硬、酸味重,其中酸味直接影响着鱿鱼的食用价值和商业价值,因此,脱酸工艺在鱿鱼产业中至关重要。现鱿鱼的加工生产中通常以钠盐浸泡的方式进行脱酸^[9],但该方法存在浸泡时间长、效率低等问题,近年来,研究者逐渐关注超声处理、高压处理、真空处理等更加高效的物理脱酸方法。此外,鱿鱼胴体中的蛋白质(肽)特性、不同处理对蛋白结构的影响、蛋白结构与功能的关系等方面的研究也是近年的热点^[10-11]。鱿鱼皮、软骨等加工副产物富含明胶、黄色素、硫酸软骨素等高价值物质,也逐渐受到了关注^[12-14]。

鱿鱼中的主要组分具有较高的营养价值和生物医药价值,可以为食品企业和医药工厂带来巨大收益,是值得深入研究的加工对象,是其酸味机制研究和脱酸工艺探索的前提和基础;酸味是阻碍鱿鱼向高值化、精深化加工的主要原因之一,探索鱿鱼的酸味形成原因、酸味呈现机制、酸味去除工艺及其原理是鱿鱼更高价值开发的重要途径和手段,是鱿鱼各组分研究的延续和拓展。因此,本文概述了鱿鱼各部位的主要组分及其研究应用情况,并对鱿鱼的酸味形成原因及其脱除工艺和机制进行综述,对鱿鱼的精细化、高值化加工具有积极的指导意义,有助于促进鱿鱼资源的合理、高效开发,促进鱿鱼产业的绿色可循环发展。

1 鱿鱼中的主要组分

鱿鱼营养丰富,主要包括蛋白质、氨基酸、胆固醇、维生素、微量元素及多不饱和脂肪酸等物质^[15]。胴体是鱿鱼营养物质的主要分布场所,是食品工业加工的主要部分,鱿鱼加工副产物如鱿鱼皮、软骨、内脏等可提取到多种具有高医药价值的生物活性物质,也具有较高的研究价值和应用价值。

1.1 胴体中的主要组分

蛋白质、氨基酸和牛磺酸是鱿鱼胴体中主要的营养物质。鱿鱼胴体中蛋白质含量丰富,每 100 g 鱿鱼鲜品中含蛋白质 16%~18%^[6],且该蛋白质比动物蛋白更容易消化吸收。鱿鱼胴体中的肌原纤维蛋白占总蛋白比例高达 75%~85%,其中肌球蛋白约占 25%、肌浆蛋白约占 15%^[16]。鱿鱼肌浆蛋白具有加速有机物溶解的酶促效果,可将其提取后用于污水处理。鱿鱼胴体内的限制性氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、蛋氨酸和酪氨酸)的化学评价指数可达 124.55,表明其蛋白质为高质量蛋白^[17]。鱿鱼肌肉经水解后可得到 5 种具有抗氧化特性的氨基酸(酪氨酸、蛋氨酸、组氨酸、赖氨酸和色氨酸),这几种氨基酸占总氨基酸含量的 13.3%^[17]。其中,赖氨酸与色氨酸为人体必需氨基酸,能够为机体提供自身无法合成的营养物质。此外,鱿鱼胴体中肌原纤维形状的不同会导致感官体验产生差异,如茎柔鱼肌原纤维呈现放射状和环状的可逆应力软化(reversible stress softening, RSS)网络结构,赋予其具有更好的咀嚼性和弹性口感^[18]。牛磺酸(taurine)是鱿鱼胴体中含量丰富的另一重要组分,其生物合成途径因物种不同而略有差异,大部分主要由半胱氨酸亚磺酸脱羧酶和温度调控^[19]。牛磺酸呈酸味,具有保护神经元、增强免疫力、降低胆固醇含量、改善记忆力、调节血糖、保护肾脏等多种功能^[20],并对婴幼儿视觉和神经系统的发育有促进作用。此外,更多的研究表明鱿鱼体内分离提取的牛磺酸在治疗抑郁症^[21]、缓解生殖系统毒性^[22]、治疗充血性心力衰竭^[23]、抗肠道炎症^[24]等疾病方面具有突出效果。同时,牛磺酸在人体肝脏中与视黄醇生成视黄醇牛磺酸,同肝脏中的毒素类物质发生相互作用,将毒素排出体外,具有良好的机体保护功能^[22]。此外,鱿鱼的胴体及其加工副产物中富含二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)和二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)等人体所需的重要不饱和脂肪酸,对认知和记忆力有显著增强作用,具有应用于治疗阿尔兹海默症的潜力,同时对炎症有抑制和缓解作用。

1.2 鱿鱼皮中的主要组分

鱿鱼皮中主要含有胶原蛋白和明胶、抗氧化色素、多功能蛋白肽、生物发光素等物质。其中, 胶原蛋白和明胶的含量最为丰富。胶原蛋白是细胞外基质的主要成分, 具有调节细胞和组织生物学的功能。鱿鱼皮中提取的胶原蛋白具有特殊的生物相容性和生物可降解性, 在实验中被证实具有对细胞、组织和器官进行治疗、替换修复或诱导再生等特殊功能, 可作为组织工程中的先进生物材料^[25]。鱿鱼皮中提取的明胶相对于哺乳动物中提取的明胶, 具有更低的融化温度, 且应用温度区间更广泛, 使其在食品和医药行业作为胶凝剂、乳化剂、微胶囊剂等多功能材料时更具有优势。鱿鱼皮中提取到的黄色素(xanthommatin)^[13]具有抗氧化、抗菌的特性, 应用到食品保鲜领域具有绿色无污染、来源广泛、价格低廉等优势, 如可用作金枪鱼等名贵水产品的储运保鲜剂^[26]。此外, 黄色素有助于天然发色团的发光和显色, 应用于生物元件中可增强常见光子组件中的色彩强度及颜色多样性^[27]。通过蛋白质组学法已鉴定出鱿鱼皮含有 219 种蛋白质, 1004 种不同的多功能蛋白肽^[28], 这些功能蛋白肽分别具有抗氧化^[29]、抗高血压^[29]、抗诱变^[30]、抑菌^[31]等特性, 在生物医药领域中具有治疗和预防各类疾病的研究价值。鱿鱼的肌肉组织皮下含有红棕色的发光色素^[32], 该色素可能是辛凝集素类(symplectin)物质, 这类物质是具有多功能活性的独特蛋白酶, 对头足类动物的发光特性研究具有重要意义^[33]。INOUE 等^[34]研究表明鱿鱼通过这些色素改变其皮肤颜色, 如茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)可通过库仑他嗪(coelenterazine)让鱼鳍、触手和胴体等各部位发出蓝色光^[35]。这些生物发光素还具有天然绿色无害的特性, 在生物成像、生物分析和生物医学等领域的应用具有一定的研究价值。此外, 鱿鱼皮中还提取到一种海洋膳食鞘磷脂—神经酰胺-2-氨基乙基磷酸酯(ceramide 2-aminoethylphosphonate, CAEP)^[36], 该物质具有提高皮肤防护力、隔离损伤、舒缓不适等功能。

1.3 软骨中的主要组分

鱿鱼软骨中富含具有调节人体生理病理功能的硫酸软骨素(chondroitin sulfate)和耐高温高压的 β -甲壳素(beta-chitin)。硫酸软骨素独特的结构赋予其具有抗肿瘤^[14]、抗癌^[37]、降脂和抗氧化^[38]等功能。如 WANG 等^[38]研究表明, 鱿鱼软骨中的硫酸软骨素能增强肝脂肪酶、超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性, 对脂肪肝、动脉粥样硬化、冠心病等疾病具有预防作用。鱿鱼软骨中提取到的 β -甲壳素具有较高的热稳定性, 在高压冲击和 1300°C 的氮气气氛条件下其仍能维持稳定的结构和性能, 有望成为新一代耐热型可降解物质的原材料。鱿鱼 β -甲壳素经过进一步机械处理后, 得到结构稳定的晶体纳米纤维, 可应用于食品包装, 在医药行业可用作伤口外敷的生物薄膜^[39]。此外, β -甲壳素还可转化为具有抑制微生物繁殖、抑制脂质氧化等功能的 β -壳寡糖。SINGH 等^[40]研究表明, 从鱿鱼中得到的壳寡糖能使金枪鱼货架期延长至 12 d (4°C 贮藏), 且对金枪鱼片的口感、色泽、质地等品质无显著影响, 并具有维持其多不饱和脂肪酸含量的功能, 具有成为新型保鲜材料的潜力。

1.4 内脏中的主要组分

鱿鱼内脏中提取到了耐酸性的糜蛋白酶(hymotrypsin)^[41]和具有多种生物活性功能的海洋磷脂^[42]。糜蛋白酶稳定性良好, 在 pH 为 4-8 时有较高活性, 具有应用于丝织品和食品领域的潜力。鱿鱼内脏中的海洋磷脂富含长链多不饱和脂肪酸, 不仅具有保护肝脏和促进代谢运转的功能, 还对记忆力、认知能力、肢体调控能力有较好的保护作用, 可应用于阿尔兹海默症和帕金森病等疾病的预防和治疗^[42]。鱿鱼内脏中的海洋磷脂具有抑制破骨细胞基因的表达、抗炎和舒缓炎症的功能^[43]。总之, 鱿鱼中可获得明胶、牛磺酸、多功能蛋白、硫酸软骨、黄色素、海洋磷脂、糜蛋白酶、辛凝集素、牛磺酸等多种高价值物质, 其来源部位及其应用研究详见表 1。

表 1 鱿鱼各部位提取物的特性及应用
Table 1 Characteristics and application of extracts from various parts of the *Calamary*

物质名称	来源部位	具有特性	应用途径或领域	参考文献
牛磺酸	肌肉胴体	生理代谢重要物质	抑郁症、生殖系统	[19-24]
明胶	鱼皮	生物可降解、易成膜	可食用性食品包装材料	[25]
黄色素	鱼皮	抑菌、抗氧化	食品保鲜剂、防腐剂	[26,28]
功能肽	鱼皮	降血压、抗突变	生物医药制备原材料	[29-31]
辛凝集素	全身	生物内源性发光物质	生物医药检测标记物	[33]
CAEP	鱼皮	增强皮肤保护力	功能性膳食鞘磷脂	[36]
硫酸软骨素	软骨	抗肿瘤、保护神经	治疗癌症、肿瘤	[37-38]
β -甲壳素	软骨	晶体结构耐高温、高压	可降解医用外敷膜	[39-40]
糜蛋白酶	内脏	高专一性、微量高效	丝织品、食品的酶解液	[41]
海洋磷脂	鱼皮、内脏	抗炎症及舒缓炎症	治疗阿尔兹海默症等	[42]

2 鱿鱼酸味研究进展

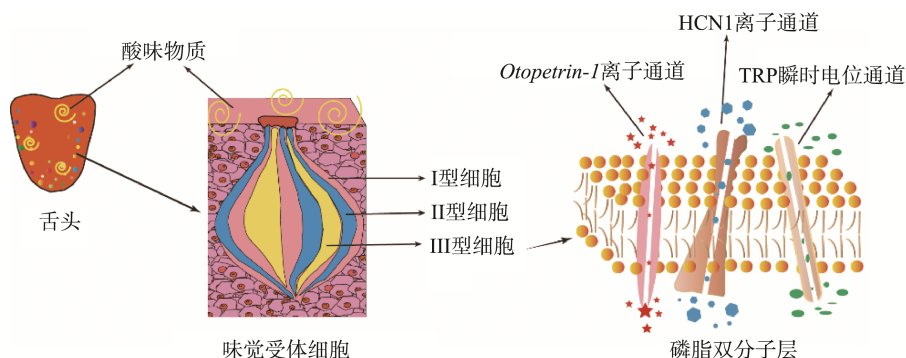
鱿鱼营养物质丰富、成本低、医药价值高,在食品与医药领域都具有显著优势,然而其酸味是影响食用价值和商业价值的主要因素,明确鱿鱼体内酸味物质的组成及其酸味的形成机制,将为鱿鱼脱酸工艺提供强有力的理论支持。同时,也为优化鱿鱼脱酸工艺、鱿鱼制备高营养价值海洋食品和医药用品等精细化加工工艺提供了参考。

2.1 鱿鱼酸味产生机制

酸味作为 5 种基本味觉之一,由于缺乏解剖学的指导,其精确电生理机制尚未能清楚阐述^[44]。酸味的产生不仅有味觉系统参与,还涉及神经系统的传导,如酸味的感知会刺激神经并经过大脑处理产生厌恶感^[45],这种先天性机制可以有效帮助拥有味觉的生物避免摄入有潜在危害的食物。现已阐明的酸味形成主要过程是:酸味物质基团刺激味蕾中的味觉受体细胞产生对应化学信号,并在神经末梢处转化为神经信号传导至大脑神经中枢,神经中枢对该信号做出反馈作用于味觉产生细胞,进而产生酸味感受。鱿鱼酸味的传导与酸味受体细胞密切相关,主要涉及酸味受体细胞上的细胞膜受体和离子通道两方面,它们的形成与作用皆由特定的基因编码操控。酸味的受体细胞为 III 型细胞^[46],III 型细胞是一种形态学和遗传学中可以识别的初级味觉受体细胞,其标记物是 *PKD2L1* 基因。但是,强酸和弱酸在味觉的电生理过程中不一定需要 *PKD2L1* 基因的转导,而是以其他的离子通道或分子通道穿过细胞膜而导致酸味产生。目前的研究发现酸味的离子通道和分子通道还有 *Otopetrin-1*^[47]、超极化-激活环核苷酸通道 1 (hyperpolarization-activated channels HCN1)^[48]和超极化-激活环核苷酸通道 4 (hyperpolarization-activated channels HCN4)^[48],其中 *Otopetrin-1* 被证明为真正的酸味受体离子通道,能形成具有特异性的质子选择离子通道^[49],该基因的同源基因 *Otopetrin-2* 和 *Otopetrin-3* 也编码质子选择离子通道,在病理分析及生理学领域具有深刻的研究价值^[50]。

HCN1 和 HCN4 是酸味的额外受体通道,酸味剂通过这些特殊通道进入细胞并发挥其调节作用。鱿鱼中酸味物质对人体酸味受体细胞的刺激及受体细胞中的各酸味物质通道关系如图 1 所示。

鱿鱼体内呈酸物质类型主要包括有机酸分子、游离离子、游离氨基酸和短肽、奥品类物质等,这些呈酸物质产生酸味感觉的强烈程度有显著差异^[51]。有机酸对受体细胞的有效刺激为膜渗透^[52],局部酸刺激可以使细胞广泛酸化,但只有少数细胞会对该刺激作出反应。在 pH 相同的情况下,弱酸(如乙酸)的分子比强酸(如酒石酸)的质子更容易穿过细胞膜。鱿鱼中马来酸、苹果酸等弱酸诱导细胞内酸化, Ca^{2+} 浓度增加,有助于增强酸味感受;乳酸、富马酸等强酸则解离出质子,穿过细胞膜需要多个 H^+ 通道^[51],耗时间较长,酸味感受反而较弱。鱿鱼体内的 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Cl^- 等与酸味相关的游离离子^[52]在与口腔中的 III 型细胞接触时,通过瞬时电位通道进入细胞中,在细胞内产生对应的酸味信号。此外,这些游离离子还会影响 III 型细胞膜的内外离子浓度差,导致膜内外离子的电信号改变进而产生对应的动作电位,增强酸味信号的产生。鱿鱼内脏中含有丰富的呈味游离氨基酸(如 *L*-谷氨酸、天冬氨酸)、短肽链二肽(如赖氨酸和甘氨酸形成的短肽)、短肽链三肽(天冬氨酸、谷氨酸和谷氨酸形成的短肽,丝氨酸、亮氨酸和丙氨酸形成的短肽),它们在水溶液中解离出的 H^+ 将影响酸味受体细胞的膜内外离子浓度差,产生动作电位并以电信号的形式传导至神经末梢,产生酸味感受信号。精氨酸和丙酮酸等氨基酸处于游离态时并不呈现酸味,但它们能合成具有酸味的奥品类物质。例如,丙氨酸和丙烯酸在缺氧代谢中经奥品脱氢酶催化还原缩合合成 β -丙氨奥品(β -alanopine),同时还产生还原态烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)和 H^+ 。NADH 可以通过 III 型细胞膜的 HCN1 通道和 HCN4 通道^[52]进入到细胞,产生相应的酸味感受信号。此外, β -丙氨奥品也可解离出 H^+ ,这些 H^+ 都可 III 型受体细胞膜表面 H^+ 通道进入细胞进而促进酸味的产生。



注: TRP: 瞬时电位通道(transient receptor potential)。

图 1 受体细胞及离子通道关系示意图

Fig.1 Schematic diagram of the relationship between sour taste receptor cells and ion channels

2.2 鲑鱼酸味去除工艺

降低鲑鱼酸味的简单工艺为腌制, 即采用高浓度的食用盐撒在鲑鱼肌肉胴体的表面。然而, 腌制的降酸效果并不十分明显, 同时脱酸过程中会导致鲑鱼体内水分大量流失、肌肉蛋白的弹性、胶凝特性、色度等发生劣变。此外, 在腌制过程中鲑鱼体内易产生三甲胺、醛类、氨基酸、醇类、含硫化合物等令人不悦的挥发性物质^[53], 大大降低消费者的接受程度。工业生产中常使用氯化钠、碳酸钠、碳酸氢钠、柠檬酸钠、三磷酸钠、六偏磷酸钠、酒石酸钠、海藻酸钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠等试剂浸泡鲑鱼, 以达到降低其酸味的效果^[54]。这些钠盐在溶液中电离出的大量 OH^- 可与有机酸等物质的 H^+ 发生酸碱中和反应, 使得去质子化的有机酸不再呈现酸味。同时, 这些钠盐电离出的 Na^+ 会导致鲑鱼肌肉胴体细胞膜内外 Na^+ 浓度差的改变, 使胞外渗透压增大, 进而诱发胞内酸味物质大量外流。此外, 这些钠盐电离出的 PO_4^{3-} 等阴离子基团可与鲑鱼体内的金属离子如 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 等发生螯合反应生成多种水合结构的络合物, 在鲑鱼体内具有维持水分、保持肉质鲜嫩、抑制氧化反应、维持肉质色泽等作用。值得注意的是, 柠檬酸钠与酒石酸钠略带咸味, 六偏磷酸钠的水溶液呈较好体验的酸味, 这些脱酸剂能利用其咸味或良好的酸味掩盖住不良的酸味感, 达到调节酸味的作用。

在适宜的温度条件下将鲑鱼胴体浸泡在特定的脱酸剂中一定时间可以达到较好的脱酸效果。洋凤等^[55]以六偏磷酸钠作为脱酸剂对鲑鱼肌肉胴体进行处理, 实验结果表明 0.5 g/L 的六偏磷酸钠在 2℃ 条件下的效果最佳; 杨望望等^[56]研究表明柠檬酸钠相比碳酸钠和碳酸氢钠具有更好的脱酸效果。然而, 单一脱酸剂的脱酸效果大部分都不能达到较为理想的状态。相比之下, 复合脱酸剂具有效率高、效果好的显著优势, 复合脱酸剂的组成种类、配料比、处理温度、处理时间等是工艺流程中主要的研究内容。李桂芬等^[57]研究了碳酸氢钠、碳酸钠、柠檬酸钠和三聚磷酸钠脱酸剂混合使用对鲑鱼胴体的脱酸效果, 并得出 4 种脱酸剂的配比为 0.6、0.8、1.0、1.0 g/mL 时效果最佳。周小敏等^[58]利用碳酸钠与复合磷酸盐对鲑鱼肌肉胴体进行浸泡脱酸, 结果表明该方法既安全可靠又能改善鲑鱼肉质。此外, 脱酸过程中水分的维持对鲑鱼的风味口感有非常重要的影响, 研究表明含有氯化钾复合脱酸剂比含有氯化钠复合脱酸剂具有更好的保水效果^[59], 因此在后续研究中可多注重钾盐的鲑鱼脱酸工艺探究。

然而, 单一脱酸剂和复配型脱酸剂都需要较长的浸泡时间, 严重影响加工效率。赵洪雷等^[60]利用超声辅助的方法使鲑鱼的浸泡脱酸时间缩短了 87.5%, 大大降低了工业生产中的时间成本。超声波产生的微气泡和音波压强在细胞膜内外形成巨大的压力差, 会改变膜的通透性, 促进

脱酸剂进入细胞和呈酸物质流出。同时, 超声波可将声能转化为机械能, 增大细胞内外各物质间的摩擦力及分子之间的碰撞, 导致分子间的相互作用增强, 诱使脱酸剂与酸味物质迅速结合形成不具有酸味特性的物质, 以此提高脱酸效率。超声波辅助脱酸还可降低鲑鱼体内的挥发性盐基氮的含量, 维持鲑鱼肌肉蛋白的肌原纤维结构, 提高鲑鱼的嫩化度和持水力^[61]。此外, 在鲑鱼的加工中还可通过高温油炸^[62]、高压处理^[63]、真空处理^[64]及辐照^[65]等方式辅助去除不良酸味。它们的脱酸机制主要分别为: 高温使呈现酸味的物质及其相关酶系失去活性, 进而降低酸味; 高压使细胞破碎、蛋白质结构改变, 导致参与酸味物质生成的酶失活; 真空使鲑鱼肌肉胴体中的需氧型微生物无法生存, 进而降低酸味代谢物的产生; 辐照不但可通过消杀作用降低产酸细菌的酸味物质含量, 也可通过破坏细胞和蛋白质构象使可溶解酸味物质的酶流出, 从而分解酸味物质。

3 总结与展望

鲑鱼是全球范围内广泛捕捞的经济型头足类海洋渔业资源, 成本低廉、营养丰富, 且各部位分别含有抗菌、抗炎、抗诱变、抗高血压或内源性发光物质等独特组分。因此, 鲑鱼既可以作为日常的营养物质摄入, 也可以加工成各类功能性保健食品、医药品或生物材料。然而, 鲑鱼组分特别是其加工副产物中组分的高效开发利用水平相对较低, 相关活性物质的生物利用及高效提取等研究尚不深入, 值得投入更多时间和精力进一步研究, 尤其是应用于治疗癌症、抗肿瘤、治疗阿尔兹海默症及生物医药检测标记物等物质的研究值得特别关注。鲑鱼体内的呈酸有机酸分子、游离离子、游离氨基酸和短肽等是鲑鱼酸味产生的主要原因, 这些酸味物质严重影响着其经济价值和食用价值, 导致大量的鲑鱼资源未能充分利用, 严重浪费海洋资源。工业中常使用化学、物理方法降低鲑鱼的酸味物质含量, 其中利用偏磷酸钠、碳酸钠、柠檬酸钠、氯化钠、碳酸氢钠、三磷酸钠、六偏磷酸钠、酒石酸钠、海藻酸钠、三聚磷酸钠、焦磷酸钠等试剂进行浸泡脱酸的应用最为常见。此外, 鲑鱼呈酸物质繁多、形成酸味的机制多样, 其脱酸机制及工艺仍是目前鲑鱼加工产业链中的一大难题。鲑鱼关键呈酸物质及其代谢、酸味产生机制等相关研究仍处于初级探索阶段, 且酸味物质在食品加工过程中的含量变化及化学结构变化等方面鲜有报道, 这些基础机制的进一步探索将为鲑鱼脱酸工艺的优化和发展提供强有力的理论支撑, 也将为鲑鱼脱酸方法提供更多的新思路。

参考文献

- [1] 董恩和, 杨林林. 全球鲑鱼渔业现状及前景展望[J]. 渔业信息与战略, 2021, 36(4): 282-288.

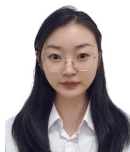
- DONG ENH, YANG LL. Current status and the prospect of global squid fishery [J]. *Fish Inform Strat*, 2021, 36(4): 282–288.
- [2] YU W, CHEN XJ, ZHANG Y. Seasonal habitat patterns of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* off Peruvian waters [J]. *J Marin Syst*, 2019, 194: 41–51.
- [3] QUISPE-MACHACA M, GUZMÁN-RIVAS FA, IBÁÑEZ CM, *et al.* Trophodynamics of the jumbo squid *Dosidicus gigas* during winter in the Southeast Pacific Ocean off the coast of Chile: Diet analyses and fatty acid profile [J]. *Fish Res*, 2022, 245: 106154.
- [4] SLUIS MZ, JUDKINS H, DANCE MA, *et al.* Taxonomic composition, abundance and habitat associations of squid paralarvae in the Northern Gulf of Mexico [J]. *Deep Sea Res*, 2021, 174: 103572.
- [5] SEIBEL BA, HAFKER NS, TRUBENBACH K, *et al.* Metabolic suppression during protracted exposure to hypoxia in the jumbo squid, *Dosidicus gigas*, living in an oxygen minimum zone [J]. *J Exp Biol*, 2014, 217(14): 2555–2568.
- [6] SHUI SS, YAO H, JIANG ZD, *et al.* The differences of muscle proteins between neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) and jumbo squid (*Dosidicus gigas*) mantles via physicochemical and proteomic analyses [J]. *Food Chem*, 2021, 364: 130374.
- [7] 孙晓悦, 李东萍. 远洋的馈赠——鱿鱼知多少[J]. *中国水产*, 2022, 10: 100–102.
- SUN XY, LI DP. Gift from the ocean—How much do you know about squid [J]. *Chin Fish*, 2022, 10: 100–102.
- [8] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2022 年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2022 China Fishery Statistics Yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2022.
- [9] 符明文, 蔡燕萍, 刘建华, 等. 印度洋鸢乌贼肌肉酸味相关物质的分析 [J]. *食品科学*, 2020, 41: 185–192.
- FU MW, CAI YP, LIU JH, *et al.* Analysis of sour substances in the muscle of ryukyu squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) [J]. *Food Sci*, 2020, 41: 185–192.
- [10] CAROLINA GGD, ELENA LSM, OLIVIA GSC, *et al.* Influence of pH, ionic strength and isoascorbic acid on the gel-forming ability of Jumbo squid muscle (*Dosidicus gigas*) [J]. *Food Chem*, 2021, 337: 127993.
- [11] NIU F, YU J, FAN J, *et al.* The role of glycerol on the thermal gelation of myofibrillar protein from giant squid (*Dosidicus gigas*) mince [J]. *Food Chem*, 2022, 371: 131149.
- [12] CHAN-HIGUERA JE, ROBLES-SÁNCHEZ RM, BURGOS-HERNÁNDEZ A, *et al.* Squid by-product gelatines: Effect on oxidative stress biomarkers in healthy rats [J]. *Czech J Food Sci*, 2016, 34(2): 105–110.
- [13] CHAN-HIGUERA JE, SANTACRUZ-ORTEGA HDC, CARBONELL-BARRACHINA AA, *et al.* Xanthommatin is behind the antioxidant activity of the skin of *Dosidicus gigas* [J]. *Molecules*, 2019, 24(19): 3420.
- [14] WANG X, YANG Y, ZOU J, *et al.* Chondroitin sulfate E alleviates beta-amyloid toxicity in transgenic *Caenorhabditis elegans* by inhibiting its aggregation [J]. *Int Biol Macromol*, 2022, 209(A): 1280–1287.
- [15] ZHAO DD, HU J, ZHOU XX, *et al.* Correlation between microbial community and flavour formation in dry-cured squid analyzed by next-generation sequencing and molecular sensory analysis [J]. *Food Chem*, 2022, 15: 100376.
- [16] MURRIETA-MARTÍNEZ CL, OCAÑO-HIGUERA VM, SUÁREZ-JIMÉNEZ GM, *et al.* Squid protein characteristics and their potential industrial applications [J]. *Interciencia*, 2016, 41(8): 520–525.
- [17] HYUK CJ, TAE KK, MOO KS. Optimization and biochemical characteristics of an enzymatic squid hydrolysate for manufacture of a squid complex seasoning [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2014, 23(2): 417–423.
- [18] TORRES FG, TRONCOSO OP, RIVAS ER, *et al.* Reversible stress softening of collagen based networks from the jumbo squid mantle (*Dosidicus gigas*) [J]. *Mat Sci C-Mater*, 2014, 37: 9–13.
- [19] MATSUMOTO T, AKITA M, OGAWA M, *et al.* Evaluation of taurine biosynthesis in the livers of the spear squid *Heterololigo bleekeri* and the swordtip squid *Uroteuthis edulis* [J]. *Fish Sci*, 2021, 87(5): 717–725.
- [20] FANG Q, LIU J, CHEN L, *et al.* Taurine supplementation improves hippocampal metabolism in immature rats with intrauterine growth restriction (IUGR) through protecting neurons and reducing gliosis [J]. *Metab Brain Dis*, 2022, 37(6): 2077–2088.
- [21] ZHU YY, WANG R, FAN Z, *et al.* Taurine alleviates chronic social defeat stress-induced depression by protecting cortical neurons from dendritic spine loss [J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2022. DOI: 10.1007/s10571-022-01218-3
- [22] OWUMI SE, POPOOLA O, OTUNLA MT, *et al.* Benzo-a-pyrene-induced reproductive toxicity was abated in rats co-treated with taurine [J]. *Toxin Rev*, 2021. DOI: 10.1080/15569543.2021.1949617
- [23] SCHAFFER S, KIM HW. Effects and mechanisms of taurine as a therapeutic agent [J]. *Biomol Ther*, 2018, 26(3): 225–241.
- [24] ARISE RO, ADETIWA OM, ADEOYE RI, *et al.* Synergistic enhancement of rat intestinal alkaline phosphatase activity by taurine and sodium butyrate protects against endotoxin-induced bowel inflammation [J]. *J Food Biochem*, 2022, (7): 46.
- [25] PICKER J, LAN Z, ARORA S, *et al.* Prokaryotic collagen-like proteins as novel biomaterials [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2022, 10: 840939.
- [26] CHAN-HIGUERA JE, EZQUERRA-BRAUER JM, LIPAN L, *et al.* Evaluation of *Dosidicus gigas* skin extract as an antioxidant and preservative in tuna pate [J]. *Foods*, 2019, 8(12): 693.
- [27] LIN ZS, GONG Z, BOWER DQ, *et al.* Bidispersed colloidal assemblies containing xanthommatin produce angle-independent photonic structures [J]. *Adv Opt Mater*, 2021, 24(9): 2100416.
- [28] CARRERA M, EZQUERRA-BRAUER JM, AUBOURG SP. Characterization of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) skin by-product by shotgun proteomics and protein-based bioinformatics [J]. *Mar Drugs*, 2020, 18(1): 31.
- [29] FIMBRES-ROMERO MJ, CABRERA-CHÁVEZ F, EZQUERRA-BRAUER

- JM, *et al.* Utilisation of collagenolytic enzymes from sierra fish (*Scomberomorus sierra*) and jumbo squid (*Dosidicus gigas*) viscera to generate bioactive collagen hydrolysates from jumbo squid muscle [J]. *J Food Sci Technol*, 2021, 58(7): 2725–2733.
- [30] SUÁREZ-JIMÉNEZ GM, BURGOS-HERNÁNDEZ A, TORRES-ARREOLA W, *et al.* Bioactive peptides from collagen hydrolysates from squid (*Dosidicus gigas*) by-products fractionated by ultrafiltration [J]. *Int Food Sci Technol*, 2018, 54(4): 1054–1061.
- [31] SUAREZ-JIMENEZ GM, BURGOS-HERNANDEZ A, TORRES-ARREOLA W, *et al.* Bioactive peptides from collagen hydrolysates from squid (*Dosidicus gigas*) by-products fractionated by ultrafiltration [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2019, 54: 1054–1061.
- [32] BURFORD BP, ROBISON BH. Bioluminescent backlighting illuminates the complex visual signals of a social squid in the deep sea [J]. *Proc Nat Acad Sci*, 2020, 117(15): 8524–8531.
- [33] FRANCIS WR, CHRISTIANSON LM, HADDOCK SHD. Symplectin evolved from multiple duplications in bioluminescent squid [J]. *Peer J*, 2017, 5: e3633.
- [34] INOUE S, NAKAMURA M, HOSOYA T. Enzymatic conversion of dehydrocoelenterazine to coelenterazine using FMN-bound flavin reductase of NAD(P)H: FMN oxidoreductase [J]. *Biochem Bioph Res*, 2022, 587: 24–28.
- [35] LOURENÇO JM, ESTEVES SJCG, PINTO SL. Combined experimental and theoretical study of coelenterazine chemiluminescence in aqueous solution [J]. *J Lumin*, 2018, 194: 139–145.
- [36] TOMONAGA N, MANABE Y, SUGAWARA T. Digestion of ceramide 2-aminoethylphosphonate, a sphingolipid from the Jumbo flying squid *Dosidicus gigas*, in mice [J]. *Lipids*, 2017, 52(4): 353–362.
- [37] YANG KR, TSAI MF, SHIEH CJ, *et al.* Ultrasonic-assisted extraction and structural characterization of chondroitin sulfate derived from jumbo squid cartilage [J]. *Foods*, 2021, 10(10): 2363.
- [38] WANG Y, YE LH, YE SZ, *et al.* Lipid-lowering and anti-oxidation effects of chondroitin sulfate prepared from squid cartilage in hypercholesterolemia mice [J]. *J Exp Med*, 2017, 10(2): 2230–2240.
- [39] CABRERA-BARJAS G, GONZÁLEZ C, NESIC A, *et al.* Utilization of marine waste to obtain β -chitin nanofibers and films from giant humboldt squid *Dosidicus gigas* [J]. *Mar Drugs*, 2021, 19(4): 184.
- [40] SINGH A, BENJAKUL S, ZHOU P, *et al.* Effect of squid pen chitooligosaccharide and epigallocatechin gallate on discoloration and shelf-life of yellowfin tuna slices during refrigerated storage [J]. *Food Chem*, 2021, 351: 129296.
- [41] XIA Q, LIU KCH, JIA ZL, *et al.* The hepatoprotective effects of squid gonad phospholipids on fatty liver disease in zebrafish [J]. *Food Biosci*, 2020, 35: 100592–100603.
- [42] MARQUEZ-RIOS E, COTA-ARRIOLA O, VILLALBA-VILLALBA AG, *et al.* Chymotrypsin isolation from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) hepatopancreas: Partial characterization and effect on muscle collagen [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2016, 25(4): 1011–1016.
- [43] KAO YF, TU MC, CHAI HJ, *et al.* Suppressive effects of an apoptotic mimicry prepared from jumbo-flying squid-skin phospholipids on the osteoclastogenesis in receptor activator of nuclear factor kappa B ligand/macrophage colony-stimulating factor-induced RAW 264.7 cells [J]. *J Chin Med Assoc*, 2021, 84(1): 51–60.
- [44] CHAUDHARI N, ROPER SD. Taste: From peripheral receptors to perception [J]. *Curr Opin Physiol*, 2021, 21: 44–47.
- [45] HUANG AL, CHEN XK, HOON MA, *et al.* The cells and logic for mammalian sour taste detection [J]. *Nature*, 2006, 442(7105): 934–938.
- [46] ZHANG J, JIN H, ZHANG W, *et al.* Sour sensing from the tongue to the brain [J]. *Cell*, 2019, 179(2): 392–402.
- [47] STEVENS DR, SEIFERT R, BUFE B, *et al.* Hyperpolarization-activated channels HCN1 and HCN4 mediate responses to sour stimuli [J]. *Nature*, 2001, 413: 631–635.
- [48] LIMAN ER, KINNAMON SC. Sour taste: Receptors, cells and circuits [J]. *Curr Opin Physiol*, 2021, 20: 8–15.
- [49] TU YH, MULHALL EM, COOPER AJ, *et al.* An evolutionarily conserved gene family encodes proton-selective ion channels [J]. *Science*, 2018: 359(6379): 1047–1050.
- [50] HUANG YA, MARUYAMA Y, STIMAC R, *et al.* Presynaptic (Type III) cells in mouse taste buds sense sour (acid) taste [J]. *J Physiol*, 2008, 586(12): 2903–2912.
- [51] 郭元帅. 秘鲁鱿鱼特征酸味物质分析及酸味产生机制研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
- GUO YS. The analysis of typical sour substances in giant squid (*Dosidicus gigas*) mantle muscle and its mechanism of sourness [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [52] HAQUE ME, FUJISAWA T, YAMAMOTO M, *et al.* Improved HPLC determination of acidic opines by phenylisothiocyanate derivatization and its application to marine animals [J]. *Acta Med Okayama*, 2000, 54(1): 1–8.
- [53] DENG Y, WANG YG, YUE J, *et al.* Thermal behavior, microstructure and protein quality of squid fillets dried by far-infrared assisted heat pump drying [J]. *Food Control*, 2014, 36(1): 102–110.
- [54] 谭明堂, 王金锋, 余文晖, 等. 复配冰衣保鲜剂对鱿鱼冻藏期间品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(6): 148–154.
- TAN MT, WANG JF, YU WH, *et al.* Effects of compound of ice-glazing preservatives on squid quality changes during frozen storage [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(6): 148–154.
- [55] 洋风, 杨金生, 夏松养. 六偏磷酸钠对秘鲁鱿鱼去酸效果及鲜度的影响[J]. *食品科技*, 2014, 39(2): 255–259.
- PAN F, YANG JS, XIA SY. Effects of the hexametaphosphate on deacidification and freshness of Peru squid [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(2): 255–259.
- [56] 杨望望, 陈世龙, 喻胜利, 等. 不同浸泡工艺及添加剂对秘鲁鱿鱼除酸效果的影响[J]. *江西水产科技*, 2019, 5: 45–47.

- YANG WW, CHEN SL, YU SL, *et al.* Different soaking processes and additives effect of different soaking processes and additives on the acid removal effect of Peruvian squid [J]. *Jiangxi Aquatic Technol*, 2019, 5: 45–47.
- [57] 李桂芬, 何定芬, 李海波, 等. 响应面法优化复合脱酸剂对秘鲁鱿鱼脱酸效果[J]. *浙江海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 39: 123–128.
- LI GF, HE DF, LI HB, *et al.* Optimization of deacidification effect on *Dosidicus gigas* based on several sodium salts by response surface methodology [J]. *J Zhejiang Univ (Nat Sci Ed)*, 2020, 39: 123–128.
- [58] 周小敏, 康民军. 秘鲁鱿鱼安全除酸工艺研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(8): 137–139.
- ZHOU XM, KANG MJ. Deacidification of Peru squid [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 40(8): 137–139.
- [59] ZHANG D, LI H, EMARA AM, *et al.* Study on the mechanism of KCl replacement of NaCl on the water retention of salted pork [J]. *Food Chem*, 2020, 332: 127414.
- [60] 赵洪雷, 徐永霞, 李学鹏, 等. 超声波辅助除酸液处理对秘鲁鱿鱼品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 40: 91–95.
- ZHAO HL, XU YX, LI XP, *et al.* Effect of ultrasonic-assisted deacidification on quality of *Dosidicus gigas* [J]. *Food Res Dev*, 2018, 40: 91–95.
- [61] NING HH, QIU HX, MIAO JJ, *et al.* Effects of frying and baking processing conditions changes on biogenic amines and volatile components in Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) [J]. *Appl Food Res*, 2022, 2(1): 100114.
- [62] YUE J, ZHANG Y, JIN Y, *et al.* Impact of high hydrostatic pressure on non-volatile and volatile compounds of squid muscles [J]. *Food Chem*, 2016, 194: 12–19.
- [63] SCHMIDT CV, PLANKENSTEINER L, FAXHOLM PL, *et al.* Physicochemical characterization of sous vide cooked squid (*Loligo forbesii* and *Loligo vulgaris*) and the relationship to selected sensory properties and hedonic response [J]. *Int J Gastron Food Sci*, 2021, 23: 100298.
- [64] TOMAC A, COVA MC, NARVAIZ P, *et al.* Sensory acceptability of squid rings gamma irradiated for shelf-life extension [J]. *Radiat Phys Chem*, 2017, 130: 359–361.
- [65] MARQUEZ-RIOS E, COTA-ARRIOLA O, VILLALBA-VILLALBA AG, *et al.* Chymotrypsin isolation from jumbo squid (*Dosidicus gigas*) hepatopancreas: Partial characterization and effect on muscle collagen [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2016, 25(4): 1011–1016.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



黄玲, 硕士研究生, 主要研究方向为水产品加工。

E-mail: huangling1@zjou.edu.cn



邓尚贵, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学、食品质量与安全、水产品加工。

E-mail: dengshanggui@163.com



袁鹏翔, 博士, 讲师, 主要研究方向为水产品加工。

E-mail: xiangzi661822@163.com