

鱿鱼加工副产物中油脂的综合利用研究进展

The progress in comprehensive utilization of oil in by-products of squid processing

叶丽姿¹ 李 佳¹ 潘英杰² 汤莹琪¹

YE Li-zi¹ LI Jia¹ PAN Ying-jie² TANG Ying-qi¹

(1. 中国计量大学生命科学院, 浙江 杭州 310018; 2. 杭州市农业农村事务保障中心, 浙江 杭州 310016)

(1. College of Life Science, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

2. Hangzhou Agricultural and Rural Affairs Guarantee Center, Hangzhou, Zhejiang 310016, China)

摘要:从鱿鱼加工副产物中油脂的生物活性、提取、精制以及微囊化研究 4 个方面,对鱿鱼加工副产物中油脂的研究现状进行了综述与分析,并展望了其未来的研究方向和发展趋势。

关键词: 鱿鱼;加工副产物;内脏;油脂;综合利用

Abstract: In the process of squid processing, a large number of by-products like viscera and cartilage are produced, which are rich in fat, protein and other nutrients. The research status and comprehensive utilization of oil from squid processing by-products were summarized in this review, from four aspects including biological activities, extraction, refining and microcapsulation. The development trend and research direction in the future were also prospected. In order to provide a theoretical reference for the further comprehensive development and utilization of oil in squid processing by-products and the rapid development of squid deep processing industry.

Keywords: squid; processing by-products; viscera; oil; comprehensive utilization

鱿鱼生长周期较短、繁殖力较强,是一种可持续的海洋渔业资源^[1],同时也是一种高蛋白、低脂肪以及含有多种人体必需氨基酸等的高营养成分水产品^[2]。《2020 中国渔业统计年鉴》中的统计数据显示中国鱿鱼的远洋捕获量已高达 43.28 万 t^[3],因为鱿鱼的良好风味以及高营养价值,其需求量也在极速增加,鱿鱼加工产业也因此进

入了高速发展阶段。但中国鱿鱼加工的方式依旧处于粗放型阶段,鱿鱼保鲜贮藏方式落后,加工模式单一,以及产品层次较低导致鱿鱼加工产业利润较低^[4]。鱿鱼加工过程中会产生内脏、鱿鱼墨、鱿鱼皮、鱿鱼软骨等大量加工副产物,通常被掩埋或者直接高温蒸煮加工成鱼虾饲料。因此开发利用鱿鱼加工下脚料中的生物活性物质,如黑色素、胶原蛋白、多不饱和脂肪酸等成为了研究热点,其不仅可以减少资源浪费以及环境污染,又极大地提升了鱿鱼制品的经济价值。文章拟从鱿鱼加工副产物中油脂的生物活性、提取、精制以及微囊化研究 4 个方面,对鱿鱼加工副产物中油脂的综合开发利用进行综述,并展望其未来的研究方向和发展趋势,以期对鱿鱼加工副产物中油脂的进一步综合利用提供依据。

1 鱿鱼油脂的生物活性

近年来,大量科学研究发现鱿鱼中富含 ω -3 系多不饱和脂肪酸,其中二十碳五烯酸(Eicosapentamethic Acid, EPA)和二十二碳六烯酸(Docosahexaenoic Acid, DHA)不仅是人类生长发育所必需的营养物质,且能调节血脂、抗动脉粥样硬化、预防心脑血管疾病^[5-6];抗炎症、提高免疫力^[7];抗肿瘤、降低癌症风险^[8];改善认知障碍、治疗神经退行性病^[9];预防和治疗视网膜疾病、治疗青光眼等^[10]。

1.1 鱿鱼肝油的生物活性

研究^[11]表明,鱿鱼肝油脂肪酸比例与膳食脂肪酸推荐比例相似。廉桂芳等^[12]以鱿鱼肝油为原料,通过构建衰老小鼠模型和急性肝损伤小鼠模型对鱿鱼肝油的生理功能进行了综合评价,发现鱿鱼肝油能够有效延缓小鼠脏器的退化过程,一定程度上改善肝脏、皮肤组织形态的病理症状,进而起到抗衰老的作用。Moovendhan 等^[13]通过测定鱿鱼肝油的营养成分以及噻唑蓝(Thiazolyl Blue

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(编号: LGF19C200001);浙江省重点研发计划项目(编号: 2018C02049)

作者简介: 叶丽姿,女,中国计量大学在读硕士研究生。

通信作者: 李佳(1979—),男,中国计量大学讲师,博士。

E-mail: lijia365@chlu.edu.cn

收稿日期: 2021-05-06

Tetrazolium Bromide, MTT) 细胞毒性试验研究鲑鱼肝油的体外抗癌活性,发现鲑鱼肝油与鲨鱼、鳕鱼等商品鱼肝油具有相似的脂肪酸组成,且对肺癌细胞株(A59)有一定的细胞毒性作用,经过进一步纯化与精制可作为一种治疗肺癌的潜在药物。综上,鲑鱼肝油具有良好的生物活性,可作为功能食品及药品开发的良好来源。

1.2 EPA 和 DHA 的生物活性

DHA 是视网膜、大脑等多种神经系统膜磷脂的主要成分,主要存在于视网膜细胞和大脑前额皮质中,对视力和大脑的短期记忆有一定影响。EPA 是体内前列腺素、白三烯的前体,EPA 与 DHA 有着相似的结构但生理作用存在差异。DHA 主要影响大脑发育及智力,因此有着“脑黄金”之称,而 EPA 对心脑血管防治有重要作用,故又称为“血管清道夫”^[14-15]。Che 等^[16]将从冰岛刺参中提取得到的 EPA 和从鲑鱼籽中提取得到的 DHA 分别制备成二十碳五烯酸磷脂酰胆碱(EPA-PC)和二十二碳六烯酸磷脂酰胆碱(DHA-PC),发现 EPA-PC 与 DHA-PC 能通过抑制 β -淀粉样蛋白(β -amyloid, A β)产生、降低炎症因子水平、抑制氧化应激等进而减轻高脂饮食的小鼠 SAMP8 的认知损伤症状,且 DHA-PC 在改善记忆力与认知功能方面优于 EPA-PC,此研究为 DHA-PC 与 EPA-PC 作为食品添加剂或功效成分治疗阿尔茨海默症(Alzheimer's disease, AD)等神经退行性疾病提供了理论依据。杨瑞利等^[17]发现 TG-DHA 高含量脱腥金枪鱼油可通过抑制肝脏中脂肪合成基因的表达,同时促进脂肪氧化分解基因的表达,从而改善高脂饮食导致的脂代谢紊乱。

综上,从鲑鱼、金枪鱼等海洋生物中提取得到的 EPA 和 DHA 在改善认知功能、学习记忆能力以及降低血脂等方面具有良好的功效,属于功能性脂肪酸,可对其进行进一步开发利用,制备不同形式、种类的功效产品,扩大其市场应用范围^[18-19]。

1.3 鲑鱼油脂的市场利用现状

鲑鱼毛油因富含 DHA、EPA、牛磺酸等多种生物活性物质以及高含量胆固醇(约为 30 mg/g),现已成为水产养殖的一种优质饲料添加剂^[20]。此外,还可采用尿素包合法、低温结晶法、酶法等富集鲑鱼毛油中的 EPA 和 DHA^[21],制备高纯度的 EPA、DHA 制剂,如鱼油软胶囊、膳食补充剂、婴幼儿配方食品等^[22-23]。随着人们对 ω -3 系多不饱和脂肪酸的生物活性功能认识的进一步深入,从鱼油中提取分离高纯度的 EPA 和 DHA 等功能性脂肪酸已成为研究开发的热点。

2 鲑鱼油脂的提取

2.1 油脂来源

2.1.1 内脏 内脏是鲑鱼在加工过程中产生的主要下脚

料^[24],约占鲑鱼总重的 15%~20%,鲑鱼内脏具有较高含量的粗脂肪,约为 20%~30%,且其具有与海鱼鱼肝油十分相似的脂肪酸组成^[13],其不饱和脂肪酸(Unsaturated Fatty Acids, UFA)含量高达 73.77%,其中 EPA 占 9.81%,DHA 占 23.61%^[25],表明鲑鱼内脏具有极高的脂质开发潜力,可作为 EPA 和 DHA 等功能脂肪酸的一种优良药食来源。但现阶段研究主要集中在鲑鱼内脏蛋白质,而对鲑鱼内脏脂肪的研究仍处于初级阶段。

2.1.2 鲑鱼性腺 鲑鱼性腺中含有多种类型的脂肪酸,主要为不饱和脂肪酸,其相对含量高达 72.26%,尤其是 DHA 含量占总脂的 29.71%^[26]。研究^[27]发现,鲑鱼生殖腺磷脂可以有效减少多巴胺神经元损伤、降低脑部血管损伤、缓解帕金森状行为,从而起到抗帕金森病(Parkinson's disease, PD)作用。卵巢和睾丸的平均脂肪含量为 5.16% 和 1.76%,也可将其作为鱼油提取的一种潜在来源。

2.1.3 鲑鱼皮 鲑鱼皮中含有多种脂肪酸,其中不饱和脂肪酸的相对含量高达 72.84%,尤其是 DHA 含量占总脂的 35.00%^[28]。鲑鱼皮磷脂富含多不饱和脂肪酸,具有抗炎以及预防慢性炎症相关疾病的作用^[29]。但鲑鱼皮中油脂的含量仅为 0.73%,因此并不适合作为提取鱼油的最佳来源。

2.2 提取方法

油脂是油和脂肪的统称,油脂提取系指通过蒸煮、压榨、酶解等理化作用使原料组织和乳胶体结构遭到破坏,加速油脂分子的热运动,从而使油脂从已被破坏的原料组织中分离出来^[30]。传统提油法有压榨法、蒸煮法,而现阶段常用的提取鲑鱼内脏中的鱼油的方法主要包括酶解法、淡碱水解法、超临界 CO₂ 萃取法等^[31]。常用油脂提取方法的优缺点见表 1。

发展鱼油的提取工艺关键在于提高提油率及鱼油品质,尽可能降低加工废弃物对生态环境造成的不良影响。酶解法提取条件温和,制得的油脂品质较高,同时可以进一步利用提油后的酶解液,增加了产品的附加值,是现阶段较好的鱼油提取方法^[37]。酶解法提取鲑鱼内脏油主要集中在单一蛋白酶的提取研究,而对复合酶提取鲑鱼内脏油的研究鲜有报道,张丽娟等^[30]选用中性蛋白酶和木瓜蛋白酶提取鲑鱼内脏油,在 m 中性蛋白酶 : m 木瓜蛋白酶 为 1 : 2, pH 7.0、55 °C 下酶解 5 h,内脏提油率高达 78.21%,此法的鲑鱼油脂提取率明显高于单一蛋白酶法。

鲑鱼内脏提油后,其水解液中含有丰富的多肽和氨基酸。研究^[38-39]表明,将鲑鱼内脏酶解液中的糖类物质进行美拉德反应可制得鲑鱼风味香精,这为鲑鱼加工副产物在食品调味剂的应用提供了理论依据。王华军^[40]将提取油脂后的鲑鱼内脏作为制备鲑鱼溶浆蛋白胨的原料,以鲑鱼溶浆蛋白胨为培养基氮源,对大肠杆菌、植物乳杆菌

表 1 常用油脂提取方法的优缺点比较

Table 1 Comparison of advantages and disadvantages of common extraction method

提取方法		优点	缺点	文献
压榨法	操作简单		提取率较低,现已很少采用	[32]
蒸煮法	操作简单		提取温度较高,如控制不当,将会降低鱼油品质	[33]
有机溶剂法	操作比较简单,提取率高,成本也相对较低;可采用超声波辅助有机溶剂方法优化提取条件		无法有效分离出与蛋白质结合的脂肪,因而提取率较低,且存在溶剂残留的问题,影响鱼油品质,同时容易造成环境污染	[34]
淡(稀)碱水解法	操作较简单,对试验设备以及试剂的依存度较低,产量大,生产成本低,易实现产业化;经改进后的钾法的提取废液可以进一步加工成钾肥,在保护环境的基础上又实现了废液的进一步利用		传统淡碱水解法提取的废液中含有大量钠盐,无法进一步利用,形成了新的废弃物会在一定程度上污染周围环境;提取率相对较低	[35]
酶法	工艺条件温和,能有效保护油脂的生物活性成分,可控性强,且酶解液可被进一步开发与利用,是目前鱿鱼内脏油提取最为常用的方法;酶法提取效率高,出油率高、油质好、环保、安全和廉价		提取时间较长,成本高	[25]
超临界二氧化碳法	一种新型油脂分离技术,安全高效,提取效率高,操作温度低,无溶剂残留、无环境污染问题,无毒,产品质量好		对生产设备要求高,成本较高,实现工业化生产仍存在局限性	[36]

进行培养评估,结果表明其可作为良好的微生物氮源来源。

3 鱿鱼油脂的精制

从原料中初步提取得到的鱼油称为粗鱼油,又称毛油。初提油脂一般存在色泽过深、有不良臭味、酸值较高等问题,是由其所含的游离脂肪酸、磷脂、色素、低分子醛等杂质所导致。

鱿鱼内脏粗提油由于过高的酸价易使其发生氧化酸败,导致鱼油品质较差且难以贮藏;另一方面,鱿鱼内脏粗提油的色泽较深,也严重限制了其市场应用^[41]。因此鱿鱼内脏粗提油一般需要进行进一步的处理,即鱼油的精制。鱿鱼内脏油脂的精制工艺主要包括脱胶、脱酸、脱色、脱臭等,其中脱酸和脱色是关键步骤。

碱中和法是一种传统的鱼油精制方法,但直接使用此方法会使鱼油的得率显著降低(鱼油几乎全部转化成皂脚)、生产成本上升,而物理蒸馏脱酸又对原料含磷量有一定要求且能耗大,因此对精制工艺进行进一步优化与寻找新的精制方法成为鱼油精制产业发展亟待解决的问题^[42]。林煌华等^[41]采用碱炼法脱酸,活性白土分批脱色对鱿鱼内脏毛油进行精炼,以 26°Bé 的氢氧化钠溶液为脱酸试剂,54 °C 下碱炼 26 min 后,酸价降低至(0.63±0.05) mg/g;以活性白土为脱色剂,添加量为 3.7% 时,88 °C 脱色 60 min,脱色率高达(92.38±1.25)%,但此法并未给出鱼油最终得率,所以无法判断其是否具有好的经济价值以及应用前景。李道明^[43]采用 Lipase SMG1-F278N 对高酸价鱿鱼油进行脱酸并对脱酸工艺进

行优化,在加酶量 80 U/g 底物油, $n_{\text{酶}}:n_{\text{底物}}$ 为 1.5:1.0,反应温度 30 °C 下,脱酸率达 99.57%,建立了新型酶法脱酸技术体系,对脱酸副产物进行进一步处理得到了高纯度的甘油三酯。

上述精制方法仍处于实验室阶段,与实际的精制生产工艺仍存在一定差距,可以根据实际生产条件及精深加工产品的不同而适当调整其生产工艺,实现真正的产业化。鱼油中含有大量多不饱和脂肪酸会影响其贮藏稳定性,因此在精制过程中可通过充入氮气或添加迷迭香等天然抗氧化物质来防止鱼油的氧化,提升鱼油产品品质。同时由于生态环境的日益恶化,重金属等有毒物质很容易通过水扩散到浮游植物、海洋生物体内,进而造成从海洋生物中提取得到的鱼油被污染,因此在鱼油的研究中要严格控制产品安全问题,在生产过程中也应注意保护环境,倡导绿色生产。

4 鱿鱼油脂的抗氧化技术

鱿鱼肝油中富含多不饱和脂肪酸,具有高度的不饱和性和性,极易受空气、光照及金属离子等影响发生自动氧化致使油脂劣变,产生过氧化物和刺激性气味,并失去原有的生物活性和营养价值,降低鱼油品质,缩短产品货架期^[44-45]。同时鱼油本身的鱼腥味和水不溶性也极大地限制了鱼油在食品和药品领域中的进一步应用。因此在鱼油产品的研发过程中应选择适合产品特性的维稳性技术,使鱼油的生物活性得到有效保护,提高鱼油的生物利用度是开发鱼油产品面临的巨大挑战^[46]。目前常用的抗氧化方法主要有严格控制贮藏条件、添加天然或合成抗

氧化剂、微胶囊化等^[47]。

4.1 微胶囊化技术在鱼油抗氧化中的应用

曹少谦等^[46]以阿拉伯胶/ β -环糊精/玉米糖浆($m_{\text{阿拉伯胶}} : m_{\beta\text{-环糊精}} : m_{\text{玉米糖浆}} = 2 : 1 : 6$)为壁材,芯壁比为 32%、固形物含量为 25% 时制得的鱼油微粉包埋率为 92.66%,经微胶囊化后,鱼油的抗氧化性与贮藏稳定性明显优于添加抗氧化剂的,表明采用微胶囊化技术能有效防止鱼油氧化变质。微胶囊技术还能维护鱼油的生物活性,掩盖鱼油的不良腥味,延长鱼油货架期,同时微胶囊的缓释作用可提高其生物利用度,赋予鱼油新的优良特性,还能作为相关食品的营养强化剂,不仅扩大了产品的应用领域,还提高了产品的商业价值^[48]。

常用的微胶囊化方法有喷雾干燥法、挤压法、流化床包衣法和脂质体包封法等。喷雾干燥法因其干燥时溶剂能够从液滴中迅速蒸发,操作简单且操作温度低,增溶效果优,制得的产品品质优良而被广泛应用于食品及药品等领域^[49]。江连洲等^[50]以深海鱼油为芯材,采用超声技术制备了深海鱼油纳米乳,并采用喷雾干燥、微波干燥、真空冷冻干燥 3 种干燥工艺进一步制备了鱼油微胶囊,结果表明喷雾干燥工艺制备的鱼油微胶囊包埋率高达 95.54%,且产品的外观、体内释放等性能优于其他两种干燥工艺。因此喷雾干燥在功能食品、药品领域具有更广阔的应用前景。林彩平等^[51]采用喷雾干燥法,选用壁材比例($m_{\text{辛烯基琥珀酸淀粉酯 HF-CAP100}} : m_{\beta\text{-环糊精}} = 92 : 23$)为复合壁材,将壁材与鲑鱼肝油先进行预乳化处理,再进行高压均质,得到的乳液浓度为 21%,在喷雾进风温度为 171℃ 下制备得到鲑鱼肝油微胶囊,其包埋率高达 94.09%,但此法制备的微胶囊容易产生凹陷,可能是壁材支撑强度较弱所致,后续可对壁材材料进行筛选。李杨等^[52]将麦芽糊精分别与豌豆分离蛋白、大豆分离蛋白和乳清分离蛋白进行复合作为复合壁材,先将乳液进行微射流处理得到更为均匀、稳定的乳液,再进行喷雾干燥,发现采用大豆分离蛋白制备出的微胶囊热稳定性最高,乳清分离蛋白制备的微胶囊包埋率(95.34%)、氧化稳定性及乳化活性等显著高于其他两种蛋白,后续可进一步优化以乳清分离蛋白与麦芽糊精为复合壁材的微囊制备条件,以期获得性能更为优良微胶囊产品。

微胶囊技术的发展关键在于提高包封率,提高功效成分的生物利用度以及增强产品的贮藏稳定性。因此,可以通过寻找新型制备方法、优化制备工艺条件弥补现有微胶囊技术中存在的不足,使用新型壁材及其他辅料从而优化产品性能,寻找产业化关键技术进而使鱼油产品能实现从基础研究到产业化的飞跃。

4.2 抗氧化剂在鱼油抗氧化中的应用

根据其来源,抗氧化剂可分为天然抗氧化剂与人工合成抗氧化剂两大类。常用的合成抗氧化剂有叔丁基-4-

羟基茴香醚(Butyl hydroxyanisole, BHA),2,6-二叔丁基对甲酚(Butylated hydroxytoluene, BHT),特丁基对苯二酚(Tert-butyl hydroquinone, TBHQ)等。Yang 等^[53]采用斑马鱼胚胎毒性试验,研究 BHA、BHT、TBHQ 及 2,2'-亚甲基双(6-叔丁基-4-甲基苯酚)(A02246)对斑马鱼胚胎的毒性作用,结果表明 4 种抗氧化剂均可降低斑马鱼的胚胎孵化率,且可显著降低斑马鱼的心率和体长,延缓斑马鱼的胚胎早期发育,但对斑马鱼存在发育毒性作用。因此 BHA、BHT 等合成抗氧化剂因其安全性问题在食品、医药上的应用也受到了限制。

茶多酚、黄酮类物质、迷迭香等天然抗氧化剂因安全性高、毒副作用小、绿色环保等优点,在鱼油抗氧化中得到了越来越多的应用。刘汝萃等^[54]在禹王制药的自制鱼油中分别加入一定量的茶多酚、蜂胶、天然维生素 E 与迷迭香提取物,并在不同温度下加热,以鱼油过氧化值作为试验指标进而判断不同抗氧化剂的抗氧化作用。结果发现茶多酚、天然维生素 E、迷迭香提取物能有效抑制鱼油氧化过程。但天然抗氧化剂在实际应用中仍存在诸多限制,如茶多酚油溶性差、黄酮类物质具有不良臭味,天然抗氧化剂添加到鱼油中是否会产生毒害作用也尚未阐明^[55]。

5 展望

鲑鱼肝油作为一种新型的海洋功能性油脂,具有极高的市场价值,然而其大多数研究仍只停留在油脂提取的条件优化之类的初级阶段,应加快推进鲑鱼肝油资源开发利用研究,制备高包埋率的鲑鱼油微胶囊进而扩大鲑鱼油脂的应用范围;应加强对鲑鱼内脏油脂综合开发利用关键技术工艺的探索,实现对鲑鱼油脂资源的产业化生产;可进一步对鲑鱼加工副产物所含的功能性脂肪酸及其他营养物质进行深入研究,开发相应的以二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸等功能性脂肪酸为主要生物活性成分的功能性食品等,进而实现低附加值的鲑鱼加工副产物转变为高附加值的鲑鱼深加工产品。

参考文献

- [1] 刘倩茹, 柏圣达, 赵国雨, 等. 北太平洋鲑鱼卵巢抗氧化酶解寡肽的制备[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(13): 70-74, 78.
- LIU Qian-ru, BAI Sheng-da, ZHAO Guo-yu, et al. Preparation and antioxidant activity of enzymatic hydrolysis peptide of north pacific squid gland[J]. Hubei Agricultural Science, 2018, 57(13): 70-74, 78.
- [2] 于丁一, 朱敬萍, 张小军, 等. 鲑鱼加工副产物活性物综合利用新进展[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2019, 38(1): 83-88.
- YU Ding-yi, ZHU Jing-ping, ZHANG Xiao-jun, et al. New progress in comprehensive utilization of active substances in by-products of squid processing[J]. Journal of Zhejiang Ocean University(Natural Science), 2019, 38(1): 83-88.

- [3] 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: 46.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 46.
- [4] 董恩和, 张晓慧, 黄海潮, 等. 鱿鱼的营养成分、保鲜以及开发利用研究进展[J]. 江西水产科技, 2020(5): 44-49, 52.
DONG En-he, ZHANG Xiao-hui, HUANG Hai-chao, et al. Research progress in nutrition composition, preservation and utilization of squid[J]. Jiangxi Fishery Science and Technology, 2020(5): 44-49, 52.
- [5] BERCEA C O, COTTRELL G S, TAMAGNINI F, et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids (ω -3 PUFAs) and hypertension: A review of vasodilatory mechanisms of DHA and EPA[J]. British Journal of Pharmacology, 2021, 178: 860-877.
- [6] TULOWIECKA D, KOTLEGA D, PROWANS P, et al. The role of resolvins: EPA and DHA derivatives can be useful in the prevention and treatment of Ischemic stroke[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21: 7 628-7 641.
- [7] SO J, WU Da-yong, LICHTENSTEIN A H, et al. EPA and DHA differentially modulate monocyte inflammatory response in subjects with chronic inflammation in part via plasma specialized pro-resolving lipid mediators: A randomized, double-blind, crossover study[J]. Atherosclerosis, 2020, 316: 90-98.
- [8] BROWN I, LEE J, SNEDDON A A, et al. Anticancer effects of n-3 EPA and DHA and their endocannabinoid derivatives on breast cancer cell growth and invasion[J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2020, 156: 102024.
- [9] HERNÁNDEZ C D, RAMÍREZ B R C, LIZÁRRAGA A U, et al. Cognitive improvements in a rat model with polyunsaturated fatty acids EPA and DHA through α 7-nicotinic acetylcholine receptors[J]. Nutritional Neuroscience, 2020(1): 1-10.
- [10] MANUEL S D V, MARÍA H, VALENTINA B, et al. A higher proportion of eicosapentaenoic acid (EPA) when combined with docosahexaenoic acid (DHA) in omega-3 dietary supplements provides higher antioxidant effects in human retinal cells[J]. Antioxidants (Basel, Switzerland), 2020, 9: 828-844.
- [11] 岳福鹏, 苏秀榕, 李妍妍, 等. 鱿鱼肝脏油的营养成分及对小鼠血脂的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 394-397.
YUE Fu-peng, SU Xiu-rong, LI Yan-yan, et al. Analysis of nutritional ingredient of squid liver oil and its effect on blood lipids metabolism in mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7): 394-397.
- [12] 廉桂芳. 鱿鱼肝脏油抗衰老及预防肝损伤功能评价[D]. 重庆: 西南大学, 2018: 32-51.
LIAN Gui-fang. The functional evaluation of squid liver oil with anti-aging and prevent the liver injury ability [D]. Chongqing: Southwest University, 2018: 32-51.
- [13] MOOVENDHAN M, SEEDEVI P, VAIRAMANI S, et al. Exploring the chemical composition and anticancer potential of oil from squid (*Loligo duvauceli*) liver waste from fish processing industry[J]. Waste and Biomass Valorization, 2019, 10: 2 967-2 973.
- [14] NICHOLS P, MCMANUS A, KRAIL K, et al. Recent advances in omega-3: Health benefits, sources, products and bioavailability[J]. Nutrients, 2014, 6: 3 727-3 733.
- [15] 张德平, 宋彦泽, 谢祥军, 等. DHA 对糖尿病认知障碍大鼠海马神经元 SDF-1/CXCR4 通路的影响[J]. 神经解剖学杂志, 2018, 34(2): 230-236.
ZHANG De-ping, ZHU Yan-ze, XIE Xiang-jun, et al. Effects of DHA on diabetes-associated cognitive deficits and SDF-1 /CXCR4 signaling pathway in diabetic rats[J]. Chinese Journal of Neuroanatomy, 2018, 34(2): 230-236.
- [16] CHE Hong-xia, ZHOU Miao-miao, ZHANG Tian-tian, et al. Comparative study of the effects of phosphatidylcholine rich in DHA and EPA on Alzheimer's disease and the possible mechanisms in CHO-APP/PS1 cells and SAMP8 mice[J]. Food & Function, 2018, 9: 643-654.
- [17] 杨瑞利, AENGLONG C, 曹婉秀, 等. TG-DHA 高含量脱腥鱼油对脂代谢的调节作用[J]. 食品工业科技 2021, 42(3): 290-303.
YANG Rui-li, AENGLONG C, CAO Wan-xiu, et al. Regulation of high content of TG-DHA deodorized fish oil on lipid metabolism[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 290-303.
- [18] SOPHIE E, ISABELLE H, GREGOR B, et al. Verbal memory performance in depressed children and adolescents: associations with EPA but not DHA and depression severity[J]. Nutrients, 2020, 12: 3 630-3 655.
- [19] DING Lin, ZHANG Ling-yu, SHI Hao-hao, et al. The protective effect of dietary EPA-enriched ethanolamine plasmalogens against hyperlipidemia in aged mice[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2020, 122(11): 2 020.
- [20] 黄磊, 詹勇, 许梓荣. 虾蟹类胆固醇需要量的最新研究[J]. 饲料研究, 2004(11): 41-43.
HUANG Lei, ZHAN Yong, XU Zi-rong. Latest study on cholesterol requirement of shrimp and crab[J]. Feed Research, 2004 (11): 41-43.
- [21] 郑振霄, 戴志远, 沈清, 等. 酶法富集 DHA、EPA 的研究进展及产业化展望[J]. 中国食品学报, 2019, 19(4): 301-309.
ZHENG Zhen-xiao, DAI Zhi-yuan, SHEN Qing, et al. Research progress of enzymatic enrichment of DHA and EPA and the prospect of the industrialization[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(4): 301-309.
- [22] 李江, 沈俊平, 王树春, 等. 高含量 EPA/DHA 甘油三酯的制备工艺[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 75-78.
LI Jiang, SHEN Jun-ping, WANG Shu-chun, et al. Preparation of high concentration EPA/DHA triglyceride catalyzed by sodium methoxide[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(8): 75-78.
- [23] 晁红娟, 雷占兰, 刘爱琴, 等. Omega-3 多不饱和脂肪酸性质、功能及主要应用[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(10): 122-130.
ZHAO Hong-juan, LEI Zhan-lan, LIU Ai-qin, et al. Properties, functions and main applications of Omega-3 polyunsaturated fatty acids[J]. China Food Additives, 2019, 30(10): 122-130.
- [24] 傅志宇, 郑杰, 于笛, 等. 鱿鱼内脏的营养价值及综合利用研

- 究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 307-311, 316.
- FU Zhi-yu, ZHENG Jie, YU Di, et al. Research progress on the nutritional value and comprehensive utilization of squid viscera[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(4): 307-311, 316.
- [25] 徐彤昶, 张茹, 杨欣星, 等. 水酶法提取北太平洋鱿鱼肝脏油脂及其脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(9): 213-217.
- XU Tong-yan, ZHANG Ru, YANG Xin-xing, et al. Aqueous enzymatic extraction of liver oil from *Ommastrephes bartramianus* and its fatty acid composition analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(9): 213-217.
- [26] KYUNG M S, JIN P H, YOUNG J B, et al. The proximate and fatty acid compositions of the liver and gonads of commercial common squid *todarodes pacificus*[J]. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2018, 51(6): 656-666.
- [27] 董俊凡, 宋扬, 李秀娜, 等. 基于斑马鱼模型研究鱿鱼生殖腺磷脂抗 MPTP 诱发帕金森病的活性[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 122-128.
- DONG Jun-fan, SONG Yang, LI Xiu-na, et al. Protective effect of squid gonadal phospholipids on MPTP-induced Zebrafish model of Parkinson's disease[J]. Food Science, 2021, 42(5): 122-128.
- [28] 管雪娇, 邓尚贵. 鱿鱼皮营养成分分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(27): 11 135-11 137.
- GUAN Xue-jiao, DENG Shun-gui. Analysis of nutrient components of squid skin [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2013, 41(27): 11 135-11 137.
- [29] KAO Yi-feng, WU Y H S, CHOU C H. et al. Manufacture and characterization of anti-inflammatory liposomes from jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) skin phospholipid extraction[J]. Food & Function, 2018, 9(7): 3 986-3 996.
- [30] 张丽娟, 张欣, 胡巧云. 鱿鱼内脏油提取最新进展的研究[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(6): 23-26.
- ZHANG Li-juan, ZHANG Xin, HU Qiao-yun. The latest progress of squid visceral oil extraction[J]. Cereal and Food Industry, 2017, 24(6): 23-26.
- [31] 魏微, 张玲云, 陆晓丹, 等. 响应面法优化大黄鱼鱼卵油的酶法提取工艺[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 145-150.
- WEI Wei, ZHANG Ling-yun, LU Xiao-dan, et al. Optimization of enzymatic extraction technology of fish roe oil from large yellow croaker by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(5): 145-150.
- [32] 王乔隆, 邓放明, 唐春江, 等. 鱼油提取及精炼工艺研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2008(3): 10-12.
- WANG Qiao-long, DENG Fang-ming, TANG Chun-jiang, et al. Development of extraction and refining techniques of fish oil[J]. Cereal and Food Industry, 2008(3): 10-12.
- [33] 王海磊, 罗庆华, 黄美娥. 鱼油的提取方法及精制工艺探讨[J]. 湖南农业科学, 2012(17): 99-102.
- WANG Hai-lei, LUO Qing-hua, HUANG Mei-e. Review on extraction methods and refining techniques of fish oil[J]. Hunan Agricultural Science, 2012(17): 99-102.
- [34] 张钦, 孙美玲, 季小琳, 等. 有机溶剂法提取鱿鱼内脏油脂及脂肪酸分析[C]// 中国食品科学技术学会第十三届年会. 北京: 中国食品科学技术学会, 2016: 2.
- ZHANG Qin, SUN Mei-ling, JI Xiao-ling, et al. Extraction of squid visceral oil by organic solvent method and its fatty acid composition analysis[C]// The Thirteenth Annual Meeting of Chinese Institute of Food Science and Technology. Beijing: Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016: 2.
- [35] 杨小克. 鱿鱼内脏的鱼油提取工艺及综合利用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012: 8-10.
- YANG Xiao-ke. Fish oil extraction technology and comprehensive utilization of squid viscera [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012: 8-10.
- [36] 韩琳, 刘程惠, 胡文忠, 等. 超临界 CO₂ 萃取鱿鱼内脏油的研究[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(3): 49-53.
- HAN Lin, LIU Cheng-hui, HU Wen-zhong, et al. Study on supercritical carbon dioxide extraction of squid viscera oil[J]. Storage and Process, 2015, 15(3): 49-53.
- [37] 张帆, 陈虹玲, 陈锦权, 等. 有机溶剂辅助酶解法提取鲍鱼内脏鱼油的工艺研究[J]. 农产品加工, 2020(7): 39-44.
- ZHANG Fan, CHEN Hong-ling, CHEN Jin-quan, et al. Study on extraction of abalone visceral fish oil by organic solvent assisted enzymatic hydrolysis [J]. Farm Products Processing, 2020(7): 39-44.
- [38] 田爱民, 李东华, 周小敏, 等. 响应面法优化鱿鱼内脏酶解液与还原糖美拉德反应工艺[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(35): 17 294-17 297, 17 326.
- TIAN Ai-min, LI Dong-hua, ZHOU Xiao-min, et al. Optimization of maillard reaction for sleeve-fish viscera and reduced sugar by response surface methodology [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(35): 17 294-17 297, 17 326.
- [39] 田爱民, 罗日明, 周小敏, 等. 鱿鱼内脏酶解液美拉德反应致香成分 GC-MS 分析[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1 278-1 280.
- TIAN Ai-min, LUO Ri-ming, ZHOU Xiao-min, et al. Maillard reaction composition analysis on hydrolyzate of sleeve-fish viscera by GC-MS[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2013, 41(3): 1 278-1 280.
- [40] 王华军. 鱿鱼内脏团的高值化产品研发及其性能表征[D]. 福州: 福州大学, 2018: 35-48.
- WANG Hua-jun. The development and characterization of high-value products from squid viscera[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2018: 35-48.
- [41] 林煌华, 谢友坪, 马瑞娟, 等. 鱿鱼内脏粗提油的精制工艺优化及其理化指标分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 172-179.
- LIN Huang-hua, XIE You-ping, MA Rui-juan, et al. Optimization of refining process of squid visceral crude oil and its physicochemical indexes analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 172-179.
- [42] 王建中, 吕玉英, 徐正琪. 鱿鱼内脏的综合利用研究[J]. 中国海

- 洋药物, 1999(1): 55-58.
- WANG Jian-zhong, LU Yu-ying, XU Zheng-qi. Study on comprehensive utilization of squid viscera[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 1999(1): 55-58.
- [43] 李道明. Lipase SMG1-F278N 在高酸价油脂脱酸中的应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 82-101.
- LI Dao-ming. Study on the deacidification of high-acid oils and fats by lipase SMG1-F278N [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018: 82-101.
- [44] LEE W J, TAN C P, SULAIMAN R, et al. Microencapsulation of red palm oil as an oil-in-water emulsion with supercritical carbon dioxide solution-enhanced dispersion[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 222: 100-109.
- [45] ERATTE D, DOWLING K, BARROW C J, et al. Recent advances in the microencapsulation of omega-3 oil and probiotic bacteria through complex coacervation: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 71: 121-131.
- [46] 曹少谦, 李冲冲, 王正东, 等. 鱼油微粉的制备及其稳定性分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 168-174.
- CAO Shao-qian, LI Chong-chong, WANG Zheng-dong, et al. Preparation and stability analysis of fish oil micropowder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 168-174.
- [47] 彭茜. 壳聚糖微胶囊对金枪鱼鱼油抗氧化作用的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019: 1-11.
- PENG Qian. Study on the anti-oxidize effect of tuna oil by chitosan microcapsules[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2019: 1-11.
- [48] 王寒, 于华忠, 罗庆华, 等. 响应面法优化大鲵油微胶囊制备工艺[J]. 中国油脂, 2017, 42(9): 106-111.
- WANG Han, YU Hua-zhong, LUO Qing-hua, et al. Optimization of preparation process of giant salamander oil microcapsule by response surface methodology[J]. China Oils and Fats, 2017, 42(9): 106-111.
- [49] EDRIS A E, KALEMBA D, ADAMIEC J, et al. Microencapsulation of Nigella sativa oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 326-333.
- [50] 江连洲, 王朝云, 古力那孜·买买提努, 等. 干燥工艺对鱼油微胶囊结构和品质特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 86-92.
- JIANG Lian-zhou, WANG Zhao-yun, GU Lin-zi, maimaitinu, et al. Effect of drying processes on structural and quality properties of fish oil microcapsules[J]. Food Science, 2020, 41(3): 86-92.
- [51] 林彩平, 苏永昌, 黄煜, 等. 鱿鱼肝油微胶囊化技术研究[J]. 福建水产, 2012, 34(2): 111-120.
- LIN Cai-ping, SU Yong-chang, HUANG Yu, et al. Research on microcapsule technology of squid liver oil[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2012, 34(2): 111-120.
- [52] 李杨, 徐静雯, 于静雯, 等. 不同蛋白微射流喷雾干燥制备鱼油微胶囊性能研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(3): 350-357.
- LI Yang, XU Jing-wen, YU Jing-wen, et al. Effect of protein types on structure and stability of fish oil microcapsules[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(3): 350-357.
- [53] YANG Xiao-xi, SUN Zhen-dong, WANG Wan-yi, et al. Developmental toxicity of synthetic phenolic antioxidants to the early life stage of zebrafish[J]. Science of the Total Environment, 2018, 643: 559-568.
- [54] 刘汝萃, 张建全, 肖晶, 等. 天然抗氧化剂对鱼油抗氧化作用的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 34-36.
- LIU Ru-cui, ZHANG Jian-quan, XIAO Jing, et al. The effect of natural antioxidant on fish oil [J]. Food Industry, 2018, 39(2): 34-36.
- [55] 常馨月, 陈程莉, 龚娣, 等. 天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 46-50.
- CHANG Xin-yue, CHEN Cheng-li, GONG Di, et al. Progress in natural antioxidants inhibiting oxidation of oils and fats[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(4): 46-50.
- (上接第 188 页)
- [10] 汤广全. 童食育, 迫在眉睫: 缘起、内涵及特质[J]. 内蒙古师范大学学报(教育科学版), 2016(6): 1-7.
- TANG Guang-quan. It is urgent for children to have food education: Origin, connotation and characteristics[J]. Journal of Inner Mongolia Normal University (Education Science Edition), 2016(6): 1-7.
- [11] 纪巍, 毛文娟, 代文彬, 等. 关于我国推进“食育”的思考[J]. 教育探索, 2016(2): 38-41.
- JI Wei, MAO Wen-juan, DAI Wen-bin, et al. Thoughts on promoting "food education" in China[J]. Educational Exploration, 2016(2): 38-41.
- [12] 侯鹏, 王灵恩, 刘晓洁, 等. 国内外食育研究的理论与实践[J]. 资源科学, 2018, 40(12): 2 369-2 381.
- HOU Peng, WANG Ling-en, LIU Xiao-jie, et al. Theory and practice of food education research at home and abroad[J]. Resource Science, 2018, 40(12): 2 369-2 381.
- [13] 杨慧林, 王筱兰, 涂宗财. 基于通识教育理念的食品安全与安全课程教学改革[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 67-69.
- YANG Hui-lin, WANG Xiao-lan, TU Zong-cai. Teaching reform of food nutrition and safety course based on the concept of general education[J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 67-69.
- [14] 秦利, 宋梦哲. 社会共治视角下食品安全治理现代化内涵及实现研究综述[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 82-87.
- QIN Li, SONG Meng-zhe. Review on the connotation and Realization of food safety governance capacity modernization from the perspective of social co governance[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 82-87.
- [15] 贾凝. 日本食育的历史发展及启示[J]. 福建教育, 2019(50): 23-24.
- JIA Ning. The historical development and Enlightenment of food education in Japan[J]. Fujian Education, 2019(50): 23-24.