

海产品加工副产物中磷脂的研究进展

李昊楠¹, 朱永强¹, 张轩铭¹, 张姗姗^{1,2}, 王利振¹,

王凤霞¹, 邢 澍³, 刘可春^{1,2}, 李晓彬^{1,2}

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 山东省科学院生物研究所, 山东省人类疾病斑马鱼模型与药物筛选工程技术研究中心, 山东省生物传感器重点实验室, 济南 250103; 2. 山东省生物工程技术创新中心, 山东 菏泽 274000; 3. 齐鲁工业大学(山东省科学院) 化学与制药学院, 济南 250353)

摘要:我国海洋生物资源丰富,海产品加工业发展较快,鱼、虾、贝类等加工过程中产生大量的副产物,造成资源的严重浪费以及环境的污染。许多海产品加工副产物中含有丰富的磷脂,海洋磷脂由于含有丰富的二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)等多不饱和脂肪酸侧链而具有极高的营养价值,将这些磷脂成分进行高值化利用对减少资源浪费、降低企业成本、增加企业经济效益、改善生态环境等均具有非常重要的意义。综述了海产品加工副产物来源磷脂的提取制备、成分分析及生物活性等方面的研究进展,以期为进一步的综合利用和精深加工提供一定的理论参考。

关键词:海产品副产物;海洋磷脂;制备;分析;活性

中图分类号:TS254.9;Q545 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)09-0044-07

Progress on phospholipids in by-products of seafood processing

LI Haonan¹, ZHU Yongqiang¹, ZHANG Xuanming¹, ZHANG Shanshan^{1,2},
WANG Lizhen¹, WANG Fengxia¹, XING Shu³, LIU Kechun^{1,2}, LI Xiaobin^{1,2}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory for Biosensors, Engineering Research Center of Zebrafish Models for Human Diseases and Drug Screening of Shandong Province, Biology Institute of Shandong Academy of Sciences, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250103, China;
2. Bioengineering Technology Innovation Center of Shandong Province, Heze 274000, Shandong, China; 3. School of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250353, China)

Abstract: The marine biological resources in China are very rich, and the seafood processing industry is developing rapidly. A large amount of by-products are produced during the processing of fishes, shrimps and shellfishes, causing serious waste of resources and environmental pollution. Marine phospholipids are extremely valuable due to their rich side chains of polyunsaturated fatty acids, such as EPA and DHA. Many seafood processing by-products have abundant phospholipids, and the high-value utilization of

收稿日期:2020-06-03;修回日期:2021-06-09

基金项目:山东省重点研发计划项目(2019GSF107053);山东省重点研发计划项目(2019YYSP017);山东省生物工程技术创新中心重大创新项目(2019JSWGCCXZX003,2018JGX114);山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020905);齐鲁工业大学(山东省科学院)青年博士合作基金(2017BSH2017)

作者简介:李昊楠(1995),男,硕士研究生,研究方向为生物制药(E-mail)17862958363@163.com。

通信作者:李晓彬,研究员,博士(E-mail)lix@sdas.org;刘可春,研究员,博士(E-mail)liukechun2000@163.com。

these phospholipid components is of great significance for reducing waste of resources and enterprise costs, increasing enterprise economic benefits, and improving the ecological environment. The research progress in the preparation, composition analysis and biological activity of phospholipids derived from seafood processing by-products was summarized, so as to provide a theoretical reference for the further comprehensive utilization and deep processing of seafood.

Key words: seafood by-products; marine phospholipid; preparation; analysis; activity

我国海洋生物资源丰富,海产品加工业发展迅速。农业部数据显示,2018年我国水产品总产量为6 457.66万t,水产加工产品总产量为2 156.85万t,其中,海水加工产品产量远远高于淡水产品,为1 775.02万t^[1]。从水产加工产品类别看,以冷冻产品为主,其次为鱼糜与干腌制品,还有鱼粉、鱼油、罐制品和其他类的加工产品^[1]。目前,在海产品加工副产物的综合利用方面存在很多缺陷,主要表现在精加工效率低、高附加值产品少、环境污染严重、综合利用率低等方面^[2-3]。为充分开发海洋加工副产物中巨大的高值化利用空间和潜力,越来越多的研究人员对其中磷脂的制备进行了系统研究。研究表明,磷脂除了具有重要的生理功能之外,还具有保健功能,如抗衰延寿、降低血脂、抗疲劳、刺激细胞增生和促进血液循环等^[4]。此外,磷脂还可以激活细胞,维持新陈代谢与激素分泌之间的平衡,阻止多余脂肪在血管壁沉积,并改善受损的胰岛B细胞及周围的组织结构^[5-8]。与陆地来源磷脂(例如大豆和蛋黄)相比,海洋磷脂最大的优势在于其脂肪酸结构的不饱和程度高,含有丰富的二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)等多不饱和脂肪酸(PUFA)侧链。除了磷脂的生物功能外,海洋磷脂还具有其他独特的生物学功能,这归因于其特殊的脂肪酸组成,包括增强细胞膜透性^[9]、抗癌^[10]、改善氧化稳定性^[11]、抗炎^[12]等,因而引起了广泛重视和研究热潮。

对海产品加工副产物中磷脂的研究和利用将有助于增加海洋资源的附加值,改善海洋产品的社会效益,并促进我国海洋工业的蓬勃和可持续发展。鱼、虾、贝类等海产品加工副产物(例如头、内脏等)富含磷脂,本文主要对鱼、虾、贝类海产品加工副产物来源磷脂的制备、成分分析和活性研究进展进行综述,以期为进一步的综合利用和精深加工提供一定的理论参考。

1 海产品加工副产物中磷脂的制备

1.1 鱼类加工副产物

在鱼类加工过程中会产生占鱼体40%~60%的副产物,按照年产值估算每年约产生200万t的副产物^[13]。针对鱼类加工副产物中磷脂的提取方法主要有溶剂提取法、超声/微波辅助溶剂法、超临界CO₂萃取法、酶解法等。其中,溶剂提取法最为常

见,如林慧敏等^[13]采用溶剂萃取法从鮫鱈鱼鱼头、鱼鳞、鱼骨及内脏中提取卵磷脂,经工艺验证,鮫鱈鱼加工下脚料卵磷脂得率可以达到2.20%。张丽^[14]用氯仿-甲醇法从鲑鱼脑中提取得到总脂,再经丙酮纯化得鲑鱼脑磷脂,通过脂肪酸组成分析发现,总磷脂中DHA占21.1%,EPA占2.4%。杨文鸽等^[15]利用Folch法对马面鲷卵中的磷脂进行了提取,其磷脂含量占总脂的23.01%~33.03%。崔益玮^[16]采用甲基叔丁基醚对鲑鱼内脏磷脂进行提取,得到磷脂的相对提取量为(4.53±0.21)%。近年来,已有将超声、微波用于辅助溶剂法提取海洋磷脂的研究以提高提取效率,如李元娇等^[17]以海水鱼(马鲛鱼、巴浪鱼、金鲳鱼)和淡水鱼(罗非鱼、鲫鱼、鲢鱼)鱼头为研究对象,利用Folch法提取6种鱼头总脂,再经薄层分离得到磷脂,磷脂含量占总脂的6.0%~22.9%。胡世伟等^[18]以金枪鱼眼部为原料,利用超声波辅助乙醇提取法提取分离脂质成分,硅胶柱层析后经分子蒸馏获得磷脂,磷脂得率为10.7%,纯度为93.4%。高梦祥等^[19]采用微波辅助乙醇法提取鱼鳞中卵磷脂,经工艺优化卵磷脂得率为23.87 mg/g。超临界CO₂萃取法操作接近室温,全过程不使用有机溶剂,具有萃取能力强、提取率高、提取时间短等优点,近年来被用于磷脂的提取。如Lee等^[20]通过超临界CO₂萃取法从鲷鱼内脏的脱油残留物中分离和鉴定了卵磷脂成分,结果发现,卵磷脂脂肪酸侧链中存在大量DHA和EPA,但卵磷脂的氧化稳定性却很高。Uddin等^[21]从经过超临界CO₂脱油处理的鲑鱼内脏中分离得到磷脂,鲑鱼内脏磷脂的含量为3.89%,尽管含有大量的长链PUFA,但是鲑鱼内脏磷脂仍具有非常好的氧化稳定性。韩利文等^[22]利用鲑鱼加工下脚料,采用超声强化超临界CO₂萃取,得到纯度大于等于97%的磷脂,提取过程操作简便,提取效率高。陈文娟^[23]考察了溶剂提取法、超声辅助溶剂法、酶解法提取大黄鱼卵中磷脂的工艺条件,经比较发现:溶剂提取法的磷脂提取率为47.73%;超声辅助溶剂法比溶剂提取法提取效率高,磷脂提取率为59.37%;酶解法的磷脂提取率最高,可达70.92%。

表1为上述几种鱼类加工副产物中磷脂提取方法的具体条件及结果。

表1 鱼类副产物提取磷脂工艺

方法	原料	提取条件	结果	参考文献
溶剂提取法	鮫鰾鱼下脚料	提取时间 120 min, 提取温度 40 °C, 乙醇体积分数 95%, 料液比 1:10	卵磷脂得率达到 2.20%	[13]
	鲑鱼脑	采用氯仿-甲醇提取总脂, 再经丙酮纯化得鲑鱼脑磷脂	DHA 占总磷脂的 21.1%, EPA 占总磷脂的 2.4%	[14]
	马面鲷卵	以氯仿-甲醇(体积比 2:1)静置抽提 4 h 后离心, 滤液中加入 1/2 体积的 1% NaCl 溶液进行洗涤分层	磷脂占总脂的 23.01% ~ 33.03%	[15]
	鲑鱼内脏	加甲醇-甲基丁叔基醚振荡 1 h, 离心, 取上清	磷脂相对提取量为 (4.53 ± 0.21)%	[16]
超声/微波辅助溶剂法	3 种海水鱼头和 3 种淡水鱼头	按体积比 1:10 加入 95% 乙醇, 在超声功率 60 W 条件下超声提取 3 次, 每次 1.5 h	磷脂含量占总脂的 6.0% ~ 22.9%	[17]
	大黄鱼卵	按料液比 1:8 加入 92% 乙醇, 45 °C 超声辅助提取 20 min, 提取 3 次, 超声频率为 28 kHz	磷脂提取率为 59.37%	[23]
	金枪鱼眼部	超声频率 25 kHz, 温度 40 ~ 60 °C, 萃取时间 2 ~ 5 h	磷脂得率为 10.7%, 纯度为 93.4%; 磷脂中 DHA 占 42.1%, EPA 占 20.6%	[18]
	鱼鳞	乙醇体积分数 95.0%, 料液比 1:50, 提取时间 4 min, 微波功率 240 W	卵磷脂得率为 23.87 mg/g	[19]
超临界 CO ₂ 萃取法	鲑鱼内脏	萃取温度 45 °C、萃取压力 25 MPa	磷脂含量为 3.89%	[21]
	鳀鱼内脏	在不同温度 (35 ~ 45 °C) 和压力 (15 ~ 25 MPa) 下超临界 CO ₂ 萃取	PC 提取率为 (68 ± 1.00)%, PE 提取率为 (29 ± 0.50)%	[20]
	鳕鱼加工下脚料	频率 10 ~ 25 kHz, 温度 20 ~ 24 °C, 压力 20 ~ 26 MPa	磷脂纯度 ≥ 97%	[22]
酶解法	大黄鱼卵	料液比 1:2, pH 6.0, 酶解温度 45 °C, 酶解时间 1.5 h, 加酶量 125 U/g, 酶解完离心, 沉淀加乙醇提取	磷脂提取率达 70.92%	[23]

1.2 虾类加工副产物

在虾类加工过程中,其主要副产物为虾头和虾壳,常被废弃或被用于生产饲料等^[24-25]。据报道,我国仅广东省湛江市每年虾类加工副产物就达到了 3 万 t^[26]。因此,对虾类加工副产物中磷脂的开发利用是十分必要的。目前,最常使用的磷脂提取方法为溶剂提取法。如边晶晶等^[27]利用正己烷-异丙醇提取南美白对虾虾头废弃物中的磷脂,虾头中磷脂提取量为 13.52 mg/g。李晓彬等^[28]采用乙醇提取对虾虾头中的磷脂,得到的磷脂提取物收率为 8.50%,纯度为 45.81%。崔益玮等^[29]利用乙醇从虾头中提取磷脂,磷脂提取量为 (11.58 ± 0.03) mg/g。Ravichandran 等^[30]利用 Folch 法从印度白对虾头中提取磷脂,磷脂提取率为 9.8%。此外, Qing 等^[31]利用二氧化钛包覆二氧化硅 (TiO₂/SiO₂) 核壳复合材料作为吸附剂,采用固相萃取法提取越南滨对虾副产物中的磷脂,总磷脂的回收率为 90%。表 2 为几种磷脂

提取方法所用原料、提取条件及结果。

1.3 贝类加工副产物

我国每年贝类的产量居世界首位,是贝类生产和出口大国,占世界养殖总产量的 60%。贝类原料中 *n*-3 系列 PUFA 含量相当丰富,可达总脂肪酸含量的 45%,而且富含磷脂成分^[32]。贝类生产加工的副产物包括贝壳、中长腺软体部和裙边肉等。与鱼、虾类加工副产物相比,对贝类加工副产物中磷脂的研究相对较少,如 Subra - Paternault 等^[33]利用超临界 CO₂ 流体提取扇贝副产物中磷脂,比较了加入不同的夹带剂提取的磷脂纯度,结果表明异丙醇提取的磷脂纯度可达到 90%。

2 海产品加工副产物中磷脂成分分析

海产品副产物中磷脂成分的分析方法主要有薄层色谱法 (TLC)、薄层色谱法结合分光光度法、高效液相色谱-蒸发光散射检测法 (HPLC - ELSD) 和液质联用法 (HPLC - MS) 等 (见表 3)。

表2 虾类副产物提取磷脂工艺

方法	原料	提取条件	结果	参考文献
溶剂提取法	南美白对虾虾头	正己烷-异丙醇体积比3:1,料液比1:8,提取时间2 h,提取温度40℃	磷脂提取量为13.52 mg/g	[27]
	对虾虾头	乙醇体积分数90%,料液比1:6,提取时间6 h,提取2次	磷脂提取物收率为8.50%,纯度为45.81%	[28]
	虾头	90%乙醇溶液,50℃条件下提取30 min	磷脂提取量为(11.58 ± 0.03)mg/g	[29]
	印度白虾虾头	氯仿-甲醇(体积比1:2)匀浆过滤,残渣用100 mL氯仿冲洗,与蒸馏水混合,静置	磷脂提取率为9.8%	[30]
固相萃取法	南美白对虾副产物	氯仿-甲醇(体积比2:1)2 mL,超声15 min, TiO ₂ /SiO ₂ 作为吸附剂,固定相pH为5,洗脱溶剂为氯仿-甲醇(体积比1:2)1.0 mL	总磷脂的回收率为90%	[31]

表3 海产品副产物的磷脂组成分析

方法	原料	结果	参考文献
TLC法	海水鱼头和淡水鱼头	含有PE、PC、SM和LPC 4种磷脂	[17]
	野生海虾头胸部	PE含量为24.7%,PC含量为47.2%	[34]
	南美白对虾虾头和肝胰腺	虾头磷脂占总脂的82.51%,肝胰腺磷脂占38.03%,虾头脂质中PUFA含量为39.30%,肝胰脂质中PUFA含量为37.42%,虾类脂质中EPA和DHA含量为4.65%~8.34%,而肝胰脂质中EPA和DHA含量为2.15%~6.20%	[35]
TLC法结合分光光度法	大黄鱼鱼卵	各类磷脂含量分别为PC 69.38%、PE 4.14%、PI 8.52%、SM 7.24%、LPC 10.72%	[23]
HPLC-ELSD	鲑鱼内脏	主要磷脂类型为PC(80.5%)和PE(13.2%)	[21]
	鸕乌贼卵	磷脂含量为74.4 g/100 g,PC占65%以上,还有少量CL、PE、PI、SM和LPC	[36]
	虾夷扇贝精巢及卵巢	虾夷扇贝卵巢中磷脂为28.3 g/100 g,其中PE占35.06%,PC占30.42%,PI占20.19%,另有少量的CL和PS;精巢中磷脂为67.1 g/100 g,其中CL占26%,PE占30.53%,PC占29.17%,另有少量的PS和PI	[36]
	海胆生殖腺	磷脂含量为42.9 g/100 g,包括PC 43.49%、PI 25.41%、CL 14.14%、PE 13.90%和PS 2.66%	[36]
HPLC-MS	刺参性腺	总脂含量为(16.33 ± 0.42)%,磷脂占总脂的(49.31 ± 0.76)%,其中PC含量最高,为4.64 g/kg,PE、PI、PS、SM类磷脂的含量分别为(1.88 ± 0.02)、(0.27 ± 0.003)、(0.85 ± 0.02)、(0.02 ± 0.002)g/kg	[37]
	雌、雄鲍鱼内脏	雌、雄鲍鱼内脏脂质中磷脂组成主要有PG、PE、PI、PS、PC、SM和LPC等	[38]
	雌、雄皱纹盘鲍性腺	雌、雄性腺组磷脂相对含量分别为(59.60 ± 5.96)%和(47.84 ± 6.92)%	[39]
	虾头、鳕鱼子、鲑鱼生殖腺	PUFA含量分别为64.78%、57.57%和64.12%,虾头和鲑鱼生殖腺磷脂以PC为主,分别占43.5%和32.74%,鳕鱼子磷脂中主要为PE,占25.64%,还含有PI、PS、SM等成分	[40-41]

李元娇等^[17]以海水鱼(马鲛鱼、巴浪鱼、金鲳鱼)和淡水鱼(罗非鱼、鲫鱼、鲢鱼)鱼头为研究对象,TLC法分析比较了6种鱼头中各类磷脂的分布和组成,检测出磷脂酰乙醇胺(PE)、磷脂酰胆碱

(PC)、鞘磷脂(SM)和溶血磷脂酰胆碱(LPC)4种磷脂,其中PC含量明显高于其他磷脂。Miniadis - Meimaroglou等^[34]通过TLC法测定出野生海虾头胸部的总脂肪含量约为2.36%,其磷脂中含有大量

PE 和 PC。Takeungwongtrakul 等^[35]利用 TLC 法分别研究了南美白对虾虾头和肝胰腺中的脂质组成,两部分中含有大量磷脂,虾头脂质中 PUFA 含量要比肝胰脂质中的高,EPA 和 DHA 含量也比肝胰脂质中的高。陈文娟^[23]通过 TLC 法结合分光光度法分析大黄鱼鱼卵中磷脂组成,结果发现,其磷脂类型分别为 PC、PE、磷脂酰肌醇(PI)、SM、LPC,其中 PC 的含量最高。虽然上述 TLC 法方便、快速、廉价、直观,但操作过程烦琐,耗时长,重复性较差。而由于 HPLC 法具有快速、灵敏、准确的特点,可在常温下使非挥发性的、热敏感的磷脂得到分离,另外蒸发光散射检测器(ELSD)具有不受梯度洗脱及溶剂、基线干扰,灵敏度高优点,被用于磷脂成分分析。如 Uddin 等^[21]通过 HPLC-ELSD 分析得到鲑鱼内脏磷脂主要由 PC 和 PE 组成,经薄层色谱法纯化各类磷脂后,运用气相色谱法分析了各类磷脂的脂肪酸组成,证实其磷脂中含有大量的 EPA 和 DHA。王琦等^[36]利用 HPLC-ELSD 分别对鸕鸟贼卵、虾夷扇贝精巢及卵巢和海胆生殖腺的磷脂组成进行测定,结果发现,4 种副产物中均含有丰富的磷脂,且鸕鸟贼卵中磷脂含量最高,其次为虾夷扇贝卵巢、海胆生殖腺和虾夷扇贝精巢,磷脂类型主要由 PC、心磷脂(CL)、PE、PI、SM、LPC 和 PS 组成。朱瑶等^[37]利用 HPLC-ELSD 分析刺参性腺中磷脂组成,结果发现,刺参性腺中磷脂以 PC 含量最高,还有少量的 PE、PI、PS、SM。刘艳青等^[38]运用 HPLC-ELSD 分析比较了雌、雄鲍鱼内脏脂质中的磷脂组成,其磷脂中主要含有磷脂酰甘油(PG)、PE、PI、PS、PC、SM 和 LPC 等。另外,本世纪新兴的基于 HPLC-MS 的脂质组学技术,可应用于磷脂等脂质分子的高通量定性定量分析和结构鉴定。如周新等^[39]采用 HPLC-MS 分析比较了雌、雄皱纹盘鲍性腺中脂质组成,发现雌性性腺组磷脂含量明显高于雄性性腺组。Li 等^[40-41]利用 HPLC-MS 对虾头、鳕鱼子和鲑鱼生殖腺进行了脂质组学研究,共鉴定了 310 个磷脂结构,涉及 PC、PE、PI、PS、SM 等 8 种磷脂类型,比较发现虾头磷脂中的 PUFA 含量最高,其次是鲑鱼生殖腺和鳕鱼子。

3 海洋磷脂的活性研究

海洋磷脂的 Sn-2 位常会连接一种特殊的长链多烯脂肪酸链,即 $n-3$ PUFA 链,主要包括 EPA、DHA 和二十二碳五烯酸(DPA)等^[42]。这种结构使海洋磷脂不仅具有磷脂活性,还具有 $n-3$ PUFA 的生物活性。因此,海洋磷脂具有抗肿瘤、保肝、抗氧

化等活性。Du 等^[43]建立 S180 腹水肿瘤小鼠模型,对小鼠模型喂食海星磷脂,考察富含 EPA 的磷脂脂质体的抗肿瘤活性。结果表明,海星磷脂可延长模型小鼠的生命,减轻氧化应激,通过上调肿瘤细胞中的 Bax 表达,下调肿瘤细胞的 Bcl-2 水平,激活肿瘤细胞的线粒体凋亡机制,增强 T 细胞、B 细胞 H 和巨噬细胞等的功能,达到抑制肿瘤的目的。Yang 等^[44]发现乌贼卵中的 DHA-PC 可以将人肝癌 HepG-2 细胞株的细胞周期阻滞在 G0/G1 期,从而产生抗肿瘤活性。大量动物实验表明,海洋卵磷脂能有效提高肝脏组织、脑组织中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)等酶的活性,降低过氧化脂质(LPO)和脂褐素的含量,对过氧化损伤有一定的拮抗作用,起到延缓衰老的效果^[54]。Li 等^[40]利用斑马鱼模型,发现虾头磷脂在抗炎、防治血栓、抗氧化应激反应方面具有较强的活性,且抗氧化能力优于大豆磷脂和蛋黄磷脂。陈文娟^[23]在对大黄鱼鱼卵磷脂进行体外抗氧化活性测试中发现,大黄鱼鱼卵磷脂对羟自由基的清除效果明显,与 V_c 接近,但还原力、清除超氧阴离子自由基和 DPPH 自由基的能力比 V_c 弱,对菜籽油、芝麻油、大豆油和猪油均有良好的抗氧化作用,当添加量达到 0.1% 时,其抗氧化效果与 0.02% TBHQ 相近。周苗苗等^[45]发现鲑鱼卵磷脂能够改善东莨菪碱痴呆小鼠的学习记忆能力。此外,富含 $n-3$ PUFA 的海洋生物磷脂相比陆地磷脂,更容易被吸收。因此,相较于常见的陆地磷脂,富含 $n-3$ PUFA 的海洋磷脂不仅具有丰富的原料来源,还具有更高的营养价值和更广泛的应用空间,开发鱼、虾、贝类等加工副产物来源的 $n-3$ PUFA 类功能性磷脂及其产品具有十分广阔的市场前景。

4 展望

我国海产品资源丰富,但是对于鱼、虾、贝类加工副产物的利用还存在精深加工层次低、高附加值产品少、环境污染重、综合利用率低等问题,精深加工产品占海产品总量的比值远低于美、日等发达国家。目前,海产品加工副产物中磷脂的研究主要集中在成分分析和简单提取工艺研究上,缺乏高纯度磷脂的制备和纯化技术。海洋磷脂的工业化生产和应用尚未开始,各种生物活性的构效关系及作用机制也需要深入的研究。鉴于海洋磷脂丰富的生理功能和生物活性,未来需要对海产品加工副产物中的磷脂进行深入和系统的研究、利用和工业化生产,新型药物和保健食品的开发必将是海洋加工业发展的重要方向,不但减少资源浪费,还能产生更高的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 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. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [2] REID G. The growth potential for dairy probiotics[J]. Int Dairy J, 2015, 49: 16-22.
- [3] 戈贤平, 缪凌鸿. 我国大宗淡水鱼产业发展现状与体系研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2011, 1(3): 22-31.
- [4] 汪一红, 胡纱纱, 王承明, 等. 响应曲面法优化棉籽毛油中磷脂的分离工艺研究[J]. 粮油加工, 2009(2): 47-52.
- [5] 穆玉云, 王洋. 磷脂在猪禽饲料中的应用[J]. 中国饲料, 2007(19): 35-36.
- [6] NAVDER K P, ENRIQUE B, LIEBER C S. Polyethylphosphatidylcholine attenuates alcohol-induced fatty liver and hyperlipemia in rats[J]. J Nutr, 127(9): 1800-1806.
- [7] 王琦. 海产动物来源 $n-3$ PUFA 磷脂的提取及生物活性研究[D]. 山东 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [8] 汪海峰, 杨受保. 磷脂的功能及其在水产养殖中的作用[J]. 水利渔业, 2004, 24(5): 67-69.
- [9] HOSSAIN Z, KURIHARA H, HOSOKAWA M, et al. Docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid-enriched phosphatidylcholine liposomes enhance the permeability, transportation and uptake of phospholipids in Caco-2 cells[J]. Mol Cell Biochem, 2006, 285(1/2): 155-163.
- [10] HOSOKAWA M, TAKAHASHI K, HOU C T. Preparation of polyunsaturated phospholipids and their functional properties [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2005.
- [11] ARASEKI M, YAMAMOTO K, MIYASHITA K. Oxidative stability of polyunsaturated fatty acid in phosphatidylcholine liposomes [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2002, 66(12): 2573-2577.
- [12] MORIZAWA K, TOMOBE Y, SUCHIDA M, et al. Dietary oils and phospholipids containing $n-3$ highly unsaturated fatty acids suppress 2, 4-dinitro-1-fluorobenzene-induced contact dermatitis in mice[J]. J Oleo Sci, 2009, 49(1): 59-65, 85.
- [13] 林慧敏, 赵君. 鮫鳃鱼加工下脚料中卵磷脂的提取工艺[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(1): 51-53.
- [14] 张丽. 鲑鱼脑的磷脂提取及活性研究[D]. 辽宁 大连: 大连海洋大学, 2013.
- [15] 杨文鸽, 娄永江, 桑卫国. 正交试验优化马面鲀 *Navodon septentrionalis* 卵巢磷脂的提取条件[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2001, 20(1): 35-37.
- [16] 崔益玮. 三种海洋源副产物磷脂提取与新型脂质组学方法分析[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019.
- [17] 李元娇, 王珺, 张丽琼, 等. 六种鱼鱼头磷脂的组成及脂质脂肪酸分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 68-77.
- [18] 胡世伟, 李世杰, 姜维, 等. 一种从金枪鱼眼部制备高生物活性磷脂的方法: CN201811260128. 6 [P]. 2018-12-25.
- [19] 高梦祥, 刘甜力. 微波辅助浸提鱼鳞卵磷脂的工艺研究[J]. 食品与机械, 2006(4): 16-18.
- [20] LEE S M, ASADUZZAMAN A K M, CHUN B S. Characterization of lecithin isolated from anchovy (*Engraulis japonica*) residues deoiled by supercritical carbon dioxide and organic solvent extraction[J]. J Food Sci, 2012, 77(7/8/9): C773-C778.
- [21] UDDIN M S, KISHIMURA H, CHUN B S. Isolation and characterization of lecithin from squid (*Todarodes pacificus*) viscera deoiled by supercritical carbon dioxide extraction[J]. J Food Sci, 2011, 76(2): C350-C354.
- [22] 韩利文, 李晓彬, 何秋霞, 等. 利用鲑鱼内脏制备高纯度海产多不饱和脂肪酸磷脂的方法: CN201611146665.9 [P]. 2018-06-01.
- [23] 陈文娟. 大黄鱼鱼卵磷脂的提取、鉴定及抗氧化活性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [24] 陈天忠, 姚歆和, 文立新. 虾头、虾壳资源综合利用研究进展[J]. 湖南饲料, 2006(4): 35-36.
- [25] 刘芳, 叶克难. 虾头、壳废弃物的综合利用[J]. 水产养殖, 2007, 28(5): 30-33.
- [26] 张祥刚, 周爱梅, 林晓霞, 等. 南美白对虾虾头、虾壳化学成分的对比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(3): 224-227.
- [27] 边晶晶, 谢晶, 陈舜胜. 南美白对虾虾头中磷脂提取工艺的优化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 11-16.
- [28] 李晓彬, 孙世康, 韩利文, 等. 对虾虾头中磷脂提取工艺的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 112-115.
- [29] 崔益玮, 俞喜娜, 李诗言, 等. 虾头中磷脂提取与组学分析[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 229-236.
- [30] RAVICHANDRAN S, RAMESHKUMAR G, PRINCE A R. Biochemical composition of shell and flesh of the Indian white shrimp *Penaeus indicus* (*H. milne* Edwards 1837)[J]. Am-Eur J Sci Res, 2009, 4: 191-194.
- [31] QING S, HON Y, CHEUNG. TiO₂/SiO₂ Core-shell composite-based sample preparation method for selective extraction of phospholipids from shrimp waste followed by hydrophilic interaction chromatography coupled with quadrupole time-of-flight/mass spectrometry analysis [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(36): 8944-8951.
- [32] 王琦. 海产动物来源 $n-3$ PUFA 磷脂的提取及生物活性研究[D]. 山东 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [33] SUBRA-PATERNAULT P, THONGDENG H, AXELLE G, et al. Extraction of phospholipids from scallop by -

- product using supercritical CO₂/alcohol mixtures [J]. LWT – Food Sci Technol, 2015, 60(2):990 – 998.
- [34] MINIADIS – MEIMAROGLOU S, KORA L, SINANOGLUOV J. Isolation and identification of phospholipid molecular species in wild marine shrimp *Penaeus kerathurus* muscle and cephalothorax[J]. Chem Phys Lipids, 2008, 152(2): 104 – 112.
- [35] TAKEUNGWONGTRAKUL S, BENJAKUL S, KITTIKUN A H. Lipids from cephalothorax and hepatopancreas of Pacific white shrimp(*Litopenaeus vannamei*): compositions and deterioration as affected by iced storage [J]. Food Chem, 2012, 134(4): 2066 – 2074.
- [36] 王琦, 薛长湖, 徐杰, 等. HPLC – ELSD 法测定几种水产品卵及生殖腺中磷脂的组成[J]. 分析仪器, 2012(5): 18 – 22.
- [37] 朱瑶, 陈慧民, 卢航, 等. 刺参性腺中 6 种磷脂含量的 HPLC – ELSD 分析[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(4): 422 – 425.
- [38] 刘艳青, 李兆杰, 李国云, 等. 雌、雄皱纹盘鲍内脏脂肪酸及磷脂组成的比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 184 – 186.
- [39] 周新, 刘中原, 张建润, 等. 液相色谱 – 质谱法分析皱纹盘鲍性腺中的磷脂[C]//中国食品科学技术学会第十三届年会论文集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2016: 292 – 293.
- [40] LI X B, LI C Y, ZHU Y Q, et al. Lipid fingerprinting of different material sources by UPLC – Q – exactive orbitrap/MS approach and their zebrafish – based activities comparison[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68: 2007 – 2015.
- [41] LI X B, HE Q, HOU H, et al. Targeted lipidomics profiling of marine phospholipids from different resources by UPLC – Q – exactive orbitrap/MS approach [J]. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 2018, 1096:107 – 112.
- [42] SUGINO H, ISHIKAWA M, NITODA T, et al. Antioxidative activity of egg yolk phospholipids [J]. J Agric Food Chem, 1997(45): 551 – 554.
- [43] DU L, YANG Y H, WANG Y M, et al. Antitumour activity of EPA – enriched phospholipids liposomes against S180 ascitic tumour – bearing mice[J]. J Funct Foods, 2015, 19: 970 – 982.
- [44] YANG Y H, WANG J F, LONG T T, et al. Role of docosahexaenoic acid – phosphatidylcholine liposomes in inhibiting tumor growth[J]. Chin Pharmacol Bull, 2011, 27(2): 178 – 182.
- [45] 周苗苗, 孙树红, 宋姗姗, 等. 鲑鱼卵磷脂对东莨菪碱痴呆小鼠学习记忆功能的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(9): 20 – 25.
-
- (上接第 43 页)
- [11] LU M Y, ZHANG T, JIANG Z R, et al. Physical properties and cellular antioxidant activity of vegetable oil emulsions with different chain lengths and saturation of triglycerides[J/OL]. LWT – Food Sci Technol, 2020, 121:108948 [2020 – 10 – 02]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108948>.
- [12] 毕爽, 马文君, 孙红波, 等. 高压均质对天然和热变性大豆蛋白 – 磷脂水包油型乳状液功能性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 74 – 79.
- [13] 张志艳, 金俊, 刘睿杰, 等. 化学精炼对稻米油谷维素和总酚含量及清除自由基能力的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 8 – 11.
- [14] RICAURTE L, PEREA – FLORES M D J, MARTINEZ A, et al. Production of high – oleic palm oil nanoemulsions by high – shear homogenization (microfluidization) [J]. Innov Food Sci Emerg, 2016, 35:75 – 85.
- [15] 王金梅, 夏宁, 杨娟, 等. 天然和热处理大豆蛋白稳定乳液的性质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 16 – 20.
- [16] 卢锦丽. 食品级纯胶 O/W 乳液稳定性及流变特性研究[D]. 杭州:浙江工商大学, 2013.
- [17] 刘宁, 崔俊杰, 金昱辰, 等. 不同植物油水包油型乳状液物理特性及氧化稳定性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(3):44 – 48.
- [18] PRIMOZIC M, DUCHEK A, NICKERSON M, et al. Effect of lentil proteins isolate concentration on the formation stability and rheological behavior of oil in water nanoemulsions[J]. Food Chem, 2017, 237:65 – 74.
- [19] HATANAKA J, HINA C, HIDEYUKI S, et al. Physicochemical and pharmacological characterization of α – tocopherol – loaded nano – emulsion system[J]. Int J Pharm, 2010, 396(1/2):188 – 193.
- [20] 李文, 王伟, 关荣发, 等. 橄榄油中角鲨烯组分功能特性及其研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 218 – 224.
- [21] 黄健花, 宋志华, 刘慧敏, 等. 植物油的不同组分 DPPH 自由基清除能力及其与微量有益成分含量的相关性[J]. 中国油脂, 2017, 42(2): 67 – 70, 92.
- [22] 王洁, 邹惠玲, 夏攀登, 等. 植物油脂氧化及其氧化稳定性研究进展[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(4): 207 – 210.
- [23] WARAHO T, CARDENIA V, RODRIGUEZ – ESTRADA M T, et al. Prooxidant mechanisms of free fatty acids in stripped soybean oil – in – water emulsions [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(15): 7112 – 7117.