

章鱼内脏鱼油的提取及品质分析

付雪媛¹, 钟宏^{2,3}, 宋文山¹, 李八方¹

(1. 青岛海洋生物医药研究院, 山东 青岛 266071; 2. 深圳博广天兴食品有限公司, 广东 深圳 518000; 3. 东山博广天兴食品股份有限公司, 福建 东山 363400)

摘要:对章鱼内脏的基本营养成分、脂质组成及脂肪酸组成进行分析, 比较不同提取方法对油脂提取率的影响, 确定了酶解法与溶剂提取法结合的提取方法。采用单因素试验和正交试验优化酶解工艺条件, 确定最优酶解工艺条件为采用中性蛋白酶进行酶解、酶解温度 50 ℃、料液比 1:0.5、加酶量 3 500 U/g、酶解时间 4 h, 在此条件下油脂提取率为 74.81%。通过脱胶、脱酸、脱胆固醇、脱色、脱臭得到精制章鱼内脏鱼油, 精制章鱼内脏鱼油的理化指标基本达到 SC/T 3502—2016 精制鱼油二级标准, 油脂脂肪酸组成未发生改变, 鱼油中多不饱和脂肪酸含量为 50.51%, EPA、DHA 含量达 37.30%。章鱼内脏鱼油具有较高的应用价值和开发前景。

关键词:章鱼内脏; 鱼油; 提取工艺; 鱼油精制; 品质分析

中图分类号: TS225.2; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)05-0017-06

Extraction and quality analysis of octopus viscera fish oil

FU Xueyuan¹, ZHONG Hong^{2,3}, SONG Wenshan¹, LI Bafang¹

(1. Marine Biomedical Research Institute of Qingdao, Qingdao 266071, Shandong, China; 2. Shenzhen Bo Guang Tian Xing Food Co., Ltd., Shenzhen 518000, Guangdong, China; 3. Dongshan Bo Guang Tian Xing Food Co., Ltd., Dongshan 363400, Fujian, China)

Abstract: The basic nutritional component, lipid composition and fatty acid composition of octopus viscera were analyzed, and the effects of different extraction methods on oil extraction rate were compared. The method of enzymatic hydrolysis combined with solvent extraction was adopted. In addition, the optimal conditions of enzymolysis were optimized by single factor experiment and orthogonal experiment. The optimal conditions of enzymolysis were obtained as follows: using neutral protease, enzymolysis temperature 50 ℃, ratio of solid to liquid 1:0.5, dosage of enzyme 3 500 U/g, enzymolysis time 4 h. Under these conditions, the oil extraction rate was 74.81%. The refined octopus viscera fish oil was obtained by a series of refining process including degumming, deacidification, cholesterol removal, bleaching and deodorization. The physicochemical properties of the refined octopus viscera fish oil basically reached the second grade standard of refined fish oil (SC/T 3502—2016), and no obvious change was observed in fatty acid composition of the fish oil. The polyunsaturated fatty acid content of the refined fish oil was 50.51%, and the total content of EPA and DHA was 37.30%. Octopus viscera fish oil had high application value and development prospect.

Key words: octopus viscera; fish oil; extraction process; fish oil refining; quality analysis

收稿日期: 2019-08-23; 修回日期: 2019-11-26

基金项目: 山东省重点研发计划(2016YYSP003); 青岛市海洋生物医药科技创新中心项目(2017-CXZX01-3-13)

作者简介: 付雪媛(1990), 女, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为海洋功能性脂质(E-mail) fuxueyanouc@sina.com。

通信作者: 李八方, 教授(E-mail) blli@ouc.edu.cn。

章鱼属于软体动物门、头足纲、八腕目, 又称为“八爪鱼”^[1], 在我国南北沿海均有分布, 是一种重要的渔业资源。全球每年章鱼产量在 500 万 t 以上, 在加工过程中会产生约 50% 副产物(下脚料)^[2], 主要包括章鱼内脏、眼、皮等。目前各厂家对章鱼副产物主要加工成饲料用鱼粉。研究表明,

章鱼加工副产物中含有多种生物活性物质,如牛磺酸、胶原蛋白、多不饱和脂肪酸等^[3-4],可作为生物活性物质资源进行开发,提高章鱼副产物利用价值,具有较高的应用开发前景。

章鱼内脏中脂质含量较高,约占干基的 20%,其中富含 $n-3$ 多不饱和脂肪酸 EPA 和 DHA^[5]。EPA 具有预防心脑血管疾病、调节脂质代谢等功效^[6-7],DHA 具有预防老年痴呆、增强免疫力、改善视力、抗癌、抗炎等功效^[8-9]。从章鱼内脏中提取鱼油具有一定开发价值。目前鱼油的提取方法主要有压榨法、有机溶剂萃取法、酶解法、蒸煮法、超临界流体萃取法等^[10]。有机溶剂萃取法利用相似相溶性萃取鱼类脂肪,但无法有效萃取与蛋白质结合紧密的脂质;酶解法利用蛋白酶水解作用破坏脂质与蛋白质的结合,使油脂释放,但单纯使用酶解法提取率不高。鱼油精炼是指通过一系列工艺去除毛油中的水分、磷脂、蛋白质、游离脂肪酸等杂质,从而提高鱼油品质,达到食用标准。鱼油精炼主要有脱胶、脱酸、脱胆固醇、脱色、脱臭等工序^[11]。鱼油中胆固醇含量高会影响鱼油品质,因此需要进一步脱除,目前主要采用 β -环糊精包埋法。

从鱼类副产物中提取鱼油的方法有大量研究。邱小明等^[12]采用酶解法提取带鱼内脏鱼油,得到最佳酶解条件;甄润英等^[13]采用中性蛋白酶和有机溶剂相结合的方法提取鲶鱼内脏鱼油,鱼油的感官品质好,提取率高;刘政坤等^[14]比较研究了淡碱水解法和酶解法提取鱿鱼内脏鱼油,在淡碱水解法下鱼油品质更高。但关于章鱼内脏鱼油提取的研究较为鲜见,郑学超^[15]研究了章鱼副产物中鱼油的提取方法,比较了超声辅助有机溶剂提取法和酶提取法,采用超声辅助有机溶剂提取法,油脂提取率达到 73.93%,高于酶提取法,但提取过程使用大量有机溶剂,提高了生产成本,易对环境造成污染,超声设备无法实现工业化大规模生产。本研究尝试将酶解法与溶剂提取法相结合,旨在降低有机溶剂的使用量,避免环境污染,并便于工业化生产,经油脂提取后的副产物多为酶解后的蛋白多肽,还可进一步开发为富含章鱼蛋白肽的相关产品,减少废物排放。

本文以章鱼内脏为研究对象,研究了不同提取方法对油脂提取率的影响,确定了最佳提取方法,并对酶解工艺条件进一步优化。在此基础上对粗鱼油进行精制,并对精制鱼油的品质进行了研究,以期对章鱼内脏鱼油的提取提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

章鱼内脏,福建东山博广天兴股份有限公司提供。三酰甘油和胆固醇试剂盒,南京建成生物工程研究所;脂肪酸甲酯混标,美国 Sigma 公司;中性蛋白酶(130 000 U/g)、碱性蛋白酶(220 000 U/g)、风味蛋白酶(130 000 U/g)、胰酶(350 000 U/g)、复合蛋白酶(52 000 U/g),诺维信(中国)生物技术有限公司,食品级; β -环糊精、正己烷、石油醚、盐酸、甲醇等均为分析纯。

HWS24 型恒温水浴锅,HJ-2A 型磁力搅拌器,L530 型低速离心机,N-1300 型旋转蒸发器,BSA2202S 型电子天平,PH400 型 pH 计,SHB-III 型循环水式真空泵,Agilent 7820 气相色谱仪。

1.2 试验方法

1.2.1 章鱼内脏基本营养成分分析

水分参照 GB/T 5009.3—2003,直接干燥法测定;灰分参照 GB/T 5009.4—2003,灼烧法测定;蛋白质参照 GB/T 5009.5—2003,半微量凯氏定氮法测定;总脂参照 GB/T 5009.6—2003,索氏抽提法测定。

1.2.2 脂质组成分析

甘油三酯和总胆固醇含量分别按三酰甘油和胆固醇试剂盒说明测定;磷脂含量参照文献[16],采用钼兰比色法测定;游离脂肪酸含量参照文献[17],采用铜皂比色法测定。

1.2.3 粗鱼油提取工艺

1.2.3.1 酶解法

章鱼内脏匀浆液→酶解→灭酶→离心→粗鱼油。

取新鲜章鱼内脏研磨,称取一定量匀浆液于锥形瓶中,按照一定料液比加水并调节 pH,之后加入酶搅拌均匀,于恒温水浴锅中搅拌酶解一定时间。灭酶条件为 100℃、10 min,灭酶后 4 000 r/min 离心 10 min 分离上层,得到粗鱼油。

1.2.3.2 溶剂提取法

章鱼内脏匀浆液→加入溶剂提取→离心→去除溶剂→粗鱼油。

取新鲜章鱼内脏研磨,称取一定量匀浆液于锥形瓶中,按质量比 1:1 加入正己烷与石油醚混合溶剂(体积比 1:1),常温搅拌提取 5 h,4 000 r/min 离心 10 min,取上清,经旋转蒸发器去除有机溶剂后得到粗鱼油。

1.2.3.3 酶解法与溶剂提取法结合

章鱼内脏匀浆液→酶解→灭酶→加入溶剂提取→离心→去除溶剂→粗鱼油。

取新鲜章鱼内脏研磨,称取一定量匀浆液于锥形瓶中,按照一定料液比加水并调节 pH,之后加入酶搅拌均匀,于恒温水浴锅中搅拌酶解一定时间。灭酶条件为 100 ℃、10 min,冷却后按质量比 1:1 加入正己烷与石油醚混合溶剂(体积比 1:1),常温搅拌提取 5 h,4 000 r/min 离心 10 min,取上清,经旋转蒸发仪去除有机溶剂后得到粗鱼油。

油脂提取率 = 所提取粗鱼油质量/原料中粗脂肪含量 × 100%

1.2.4 章鱼内脏鱼油的精制

脱胶:将粗鱼油置于 500 mL 锥形瓶中,加入 1% 质量分数为 80% 的磷酸,70 ℃ 下搅拌加热 10 min,4 500 r/min 离心 10 min,分离油样。**脱酸:**在脱胶鱼油中加入 0.5% 质量分数为 15% 的 NaOH 溶液,65 ℃ 水浴加热 20 min,分离上层油样后用去离子水洗涤残留皂脚至中性,分离上层。**脱胆固醇:**在脱酸鱼油中加入 20% β-环糊精,40 ℃ 加热搅拌 1 h,4 500 r/min 离心 10 min,分离油样。**脱色:**在脱胆固醇鱼油中加入 10% 活性炭,60 ℃ 搅拌加热 30 min,11 000 r/min 离心 10 min,分离油样。**脱臭:**在 85 ℃ 的条件下,利用旋转蒸发仪,在抽真空(0.09 MPa)条件下对脱色鱼油脱臭 5 min,即得精制鱼油。

1.2.5 脂肪酸组成分析

参照文献[18]采用 Folch 法提取章鱼内脏总脂。

甲酯化:取 10 mg 左右章鱼内脏总脂或精制鱼油于 10 mL 尖头具塞试管中,加入 2 mL 盐酸-甲醇(体积比 1:5),充氮拧紧管口,置于 90 ℃ 水浴中处理 1 h。冷却至室温后,加入 1.5 mL 正己烷旋涡振荡萃取,静置后取上层溶液进行气相色谱分析。

气相色谱条件:HP-INNOWax 石英毛细管柱(30 m × 320 μm × 0.25 μm);载气为高纯氮气,恒压模式,压力设定值 0.06 MPa;分流比 20:1,温度 240 ℃;FID 检测器,温度 300 ℃;进样量 1 μL。

通过与标准品对照定性,面积归一法定量,得到各脂肪酸相对含量。

1.2.6 章鱼内脏鱼油品质分析

水分及挥发物含量参照 GB 5009.236—2016;酸价参照 GB 5009.229—2016;过氧化值参照 GB 5009.227—2016;碘值参照 GB/T 5532—2008;不溶性杂质含量参照 GB/T 15688—2008;不皂化物含量参照 GB/T 5535.1—2008。

1.2.7 数据分析

对所有数据利用 SPSS18.0 统计软件进行处理,多组数据之间统计学差异采用单因素方差分析,以

$P < 0.05$ 认为有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 章鱼内脏基本营养成分

章鱼内脏基本营养成分如表 1 所示。

表 1 章鱼内脏基本营养成分

基本成分	含量/%	
	湿基	干基
水分	74.66 ± 0.62	-
蛋白质	14.73 ± 0.15	58.13 ± 0.77
总脂	5.69 ± 0.03	22.46 ± 0.34
灰分	1.95 ± 0.13	7.69 ± 0.25

由表 1 可知,章鱼内脏水分含量为 74.66%,蛋白质含量为 14.73%,总脂含量为 5.69%,灰分含量为 1.95%,其中总脂含量占干重的 22.46%,其油脂含量丰富,是提取鱼油的良好原料。

2.2 章鱼内脏脂质组成

章鱼内脏的脂质组成如表 2 所示。

表 2 章鱼内脏脂质组成

脂质组成	含量/%
甘油三酯	53.2 ± 2.5
胆固醇	7.4 ± 0.3
磷脂	30.7 ± 2.0
游离脂肪酸	1.8 ± 0.2

由表 2 可知,章鱼内脏中主要的脂质成分为甘油三酯和磷脂,其中甘油三酯含量为 53.2%,磷脂含量为 30.7%,两者总和占总脂的 83.9%。胆固醇含量和游离脂肪酸含量较低,分别占总脂的 7.4% 和 1.8%。胆固醇和游离脂肪酸均为鱼油的不稳定因素,胆固醇含量过高会提高鱼油不皂化值,且不利于人体健康,游离脂肪酸含量过高会提高鱼油酸价,易使鱼油发生酸败。鉴于章鱼内脏脂质具有高甘油三酯、高磷脂、低胆固醇、低游离脂肪酸的特点,因此判断其具有较高的脂质开发潜力。

2.3 章鱼内脏粗鱼油提取方法比较

采用中性蛋白酶,在料液比 1:0.5、加酶量 4 000 U/g、pH 7.0、酶解温度 50 ℃、酶解时间 4 h 条件下比较酶解法、溶剂提取法以及酶解与溶剂提取法结合对油脂提取率的影响,结果见表 3。

表 3 章鱼内脏粗鱼油提取方法比较

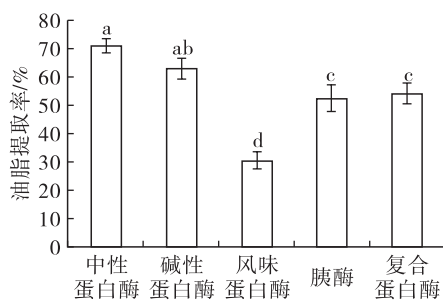
提取方法	油脂提取率/%
酶解法	0
溶剂提取法	30.81
酶解法与溶剂提取法结合	70.72

酶解法是利用蛋白酶对蛋白质的水解,从而破

坏蛋白质与脂肪的结合,释放出油脂。由表3可知:加入中性蛋白酶酶解后,章鱼内脏鱼油并未得到充分释放,离心后上清未见漂浮油脂;溶剂提取法采用正己烷和石油醚双溶剂对脂质进行萃取,但萃取效率不高,油脂提取率仅为30.81%,推测原因可能是脂质与蛋白质结合过于紧密,无法被充分萃取;将酶解与溶剂提取相结合,章鱼内脏油脂提取率得到大幅提高,达到70.72%。因此,确定了酶解法与溶剂提取法结合的提取方法。

2.4 酶种类筛选

比较中性蛋白酶、碱性蛋白酶、风味蛋白酶、胰酶、复合蛋白酶对油脂提取率的影响,添加量均为4 000 U/g,调节各酶的最适温度和pH,其中中性蛋白酶(50℃、pH 7.0)、碱性蛋白酶(50℃、pH 10)、风味蛋白酶(55℃、pH 7.0)、胰酶(50℃、pH 8.0)、复合蛋白酶(50℃、pH 7.0),料液比均为1:1,酶解时间均为4 h。按照酶解法和溶剂提取法结合的工艺进行提取,结果如图1所示。



注:组间上标无相同字母时有显著性差异($P < 0.05$)。

图1 不同酶对油脂提取率的影响

由图1可知,5种酶中,中性蛋白酶酶解后油脂提取率最高,为71.2%,其次为碱性蛋白酶,为63.1%,风味蛋白酶油脂提取率最低,为30.5%,因此选择中性蛋白酶作为章鱼内脏鱼油提取的最适蛋白酶。

2.5 酶解单因素试验

使用中性蛋白酶进行提取,固定酶解液pH为7.0,研究不同料液比、酶解温度、酶解时间和加酶量对油脂提取率的影响。

2.5.1 不同料液比对油脂提取率的影响

固定酶解温度50℃、酶解时间5 h、加酶量3 000 U/g,研究不同料液比对油脂提取率的影响,结果如图2所示。由图2可知,在料液比不加水~1:1范围内,油脂提取率基本维持在相同水平,但随着加水量增加,油脂提取率急剧下降,原因可能是酶浓度降低,无法充分接触与脂肪结合的蛋白质,从而无法充分酶解。因此,选择1:1作为酶解的适宜料液比。

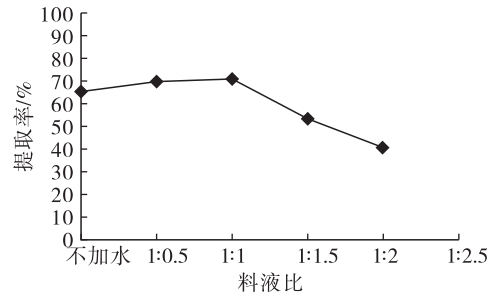


图2 不同料液比对油脂提取率的影响

2.5.2 不同酶解温度对油脂提取率的影响

固定料液比1:1、酶解时间5 h、加酶量3 000 U/g,研究不同酶解温度对油脂提取率的影响,结果如图3所示。

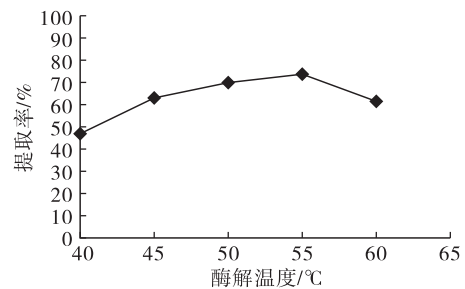


图3 不同酶解温度对油脂提取率的影响

由图3可知,随着酶解温度升高,油脂提取率不断增加,到55℃时油脂提取率最高,达到74.08%,当酶解温度继续升高至60℃时,油脂提取率下降至61.5%。因此,选择55℃作为酶解的适宜温度。

2.5.3 不同酶解时间对油脂提取率的影响

固定料液比1:1、酶解温度55℃、加酶量3 000 U/g,研究不同酶解时间对油脂提取率的影响,结果如图4所示。

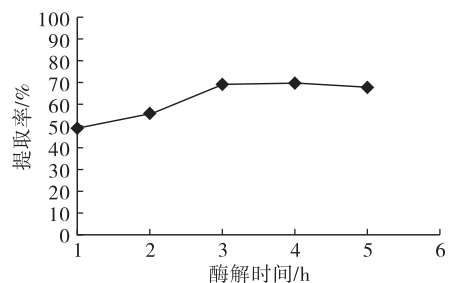


图4 不同酶解时间对油脂提取率的影响

由图4可知,在1~3 h内,随着酶解时间的延长,油脂提取率不断上升,到3 h时提取率达到69.34%。随着酶解时间的进一步延长,油脂提取率并无显著性增加,维持在70%左右,而过长酶解时间可能导致油脂氧化、皂化等副反应,对油脂品质造成不良影响,且大大提高提取成本。因此,选择3 h作为最佳酶解时间。

2.5.4 不同加酶量对油脂提取率的影响

固定料液比1:1、酶解温度55℃、酶解时间3 h,研

究不同加酶量对油脂提取率的影响,结果如图5所示。

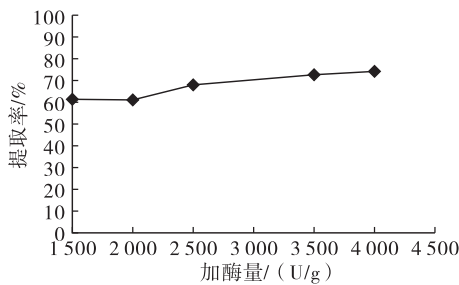


图5 不同加酶量对油脂提取率的影响

由图5可知,随着加酶量增加,油脂提取率不断上升。当加酶量为3500 U/g时,油脂提取率为73.22%,当加酶量增加到4000 U/g时,油脂提取率基本维持不变,酶浓度过高时不利于酶与底物接触,因此选择3500 U/g作为酶解的适宜加酶量。

2.6 酶解正交试验

在单因素试验基础上,采用中性蛋白酶,固定酶解液pH为7.0,选择料液比、加酶量、酶解时间、酶解温度为因素,以油脂提取率为指标,进行四因素三水平正交试验。正交试验设计与结果如表4所示。

由表4可知,中性蛋白酶酶解法提取章鱼内脏油脂过程中,各因素对油脂提取率的影响大小依次

为加酶量>酶解温度>酶解时间>料液比。最佳酶解条件组合为加酶量3500 U/g、酶解温度50℃、酶解时间4 h、料液比1:0.5。在最佳条件下进行验证试验,平行3次,油脂提取率为74.81%±1.02%。

表4 正交试验设计与结果

试验号	料液比	加酶量/(U/g)	酶解时间/h	酶解温度/℃	油脂提取率/%
1	1:0.5	3000	2	50	62.39
2	1:0.5	3500	3	55	72.21
3	1:0.5	4000	4	60	65.45
4	1:1.0	3000	3	60	57.22
5	1:1.0	3500	4	50	73.54
6	1:1.0	4000	2	55	66.47
7	1:1.5	3000	4	55	63.06
8	1:1.5	3500	2	60	66.38
9	1:1.5	4000	3	50	69.76
k_1	66.68	60.89	65.08	68.56	
k_2	65.74	70.71	66.40	67.25	
k_3	66.40	67.23	67.35	63.02	
R	0.94	9.82	2.27	5.55	

2.7 粗鱼油与精制鱼油品质

对章鱼内脏粗鱼油与精制鱼油品质进行分析,并与SC/T 3502—2016对照,结果如表5所示。

表5 粗鱼油与精制鱼油品质分析

项目	粗鱼油	SC/T 3502—2016 三级	精制鱼油	SC/T 3502—2016	
				一级	二级
气味	鱼腥味,略臭	具有鱼油特有的腥味,稍有鱼油酸败味	微腥,无酸败味	稍有鱼油特有的腥味,无鱼油酸败味	
外观	红棕色,浑浊无沉淀	浅黄色或红棕色,微有浑浊或分层,可有部分沉淀	橙红色,澄清透明,无沉淀物	浅黄色或橙红色,澄清透明,无沉淀物	
水分及挥发物/%	0.6	≤0.8	0.09	≤0.1	≤0.2
酸价(KOH)/(mg/g)	14	≤30	4	≤1.0	≤3.0
过氧化值/(meq/kg)	17	≤20	8.23	≤5.0	≤10.0
碘值(I)/(g/100g)	128	≥120	158	≥140	≥140
不溶性杂质/%	1.44	≤0.5	0.08	≤0.1	≤0.1
不皂化物/%	5.4	-	1.6	≤1.5	≤3.0

由表5可知:章鱼内脏粗鱼油水分及挥发物、酸价、过氧化值、碘值均达到水产行业粗鱼油三级标准,但不溶性杂质较高,有待进一步脱除;精制鱼油的水分及挥发物、碘值、不溶性杂质达到水产行业精制鱼油一级标准,过氧化值、不皂化物达到二级标准,但酸价(KOH)为4 mg/g,超过标准范围,推测可能是游离脂肪酸脱除效果不理想,有待进一步改进工艺。

2.8 章鱼内脏油脂与精制鱼油脂肪酸组成

章鱼内脏油脂与精制鱼油脂肪酸组成如表6所

示。由表6可知:章鱼内脏总脂中脂肪酸种类丰富,共检出11种,不饱和脂肪酸占比高,其中单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸分别占24.32%和47.93%,多不饱和脂肪酸中n-3多不饱和脂肪酸EPA和DHA含量分别达到15.00%和21.00%,占总脂肪酸的36.00%;酶解法与溶剂提取法结合得到的章鱼内脏鱼油经过精制后,其脂肪酸组成未发生改变,各脂肪酸含量基本无变化,多不饱和脂肪酸占总脂肪酸的50.51%,EPA和DHA含量之和占比达37.30%。

表6 章鱼内脏油脂与精制鱼油脂肪酸组成

脂肪酸	相对含量/%	
	Folch 法(总脂)	精制鱼油
豆蔻酸 C14:0	3.48	3.40
十五烷酸 C15:0	1.11	0.98
棕榈酸 C16:0	15.90	13.4
棕榈油酸 C16:1	6.52	6.86
硬脂酸 C18:0	7.22	5.28
油酸 C18:1	17.80	19.70
亚油酸 C18:2	1.62	1.86
二十碳二烯酸 C20:2	1.48	1.59
花生三烯酸 C20:3	8.83	9.76
EPA C20:5	15.00	15.60
DHA C22:6	21.00	21.70
饱和脂肪酸	27.71	23.06
单不饱和脂肪酸	24.32	26.56
多不饱和脂肪酸	47.93	50.51

3 结论

章鱼内脏中总脂含量占湿基的 5.69%, 占干基的 22.46%, 其中甘油三酯和磷脂含量丰富, 两者占总脂含量的 83.9%, 胆固醇和游离脂肪酸含量较低。Folch 法分析总脂脂肪酸组成发现, 章鱼内脏油脂中富含多不饱和脂肪酸(47.93%), $n-3$ 多不饱和脂肪酸(EPA 和 DHA) 含量占总脂肪酸的 36%。因此, 章鱼内脏具有较高的脂质开发潜力, 可开发成富含 $n-3$ 多不饱和脂肪酸的鱼油产品作为补充 EPA 和 DHA 的食品来源。

对比不同提取方法对章鱼内脏鱼油提取率的影响, 确定了酶解法与溶剂提取法结合的方法, 并在此基础上进行不同酶类筛选, 经单因素试验和正交试验优化, 确定最佳酶解条件为采用中性蛋白酶, 加酶量 3 500 U/g、酶解温度 50℃、酶解时间 4 h、料液比 1:0.5, 在此条件下油脂提取率达 74.81%。

粗鱼油中杂质含量较高, 经精制工艺后精制鱼油中的各种危险因素得到有效脱除, 但酸价高于 SC/T 3502—2016 二级鱼油限定值, 游离脂肪酸脱除效果不理想, 有待后续对脱酸工艺进行进一步摸索和探究。精制鱼油经脂肪酸组成分析后发现提取和精制工艺并不会改变章鱼内脏总脂中脂肪酸的种类及含量, 说明该提取方法及精制工艺不会对鱼油的功能性脂肪酸造成破坏, 是一种可行的工艺条件。

参考文献:

[1] 钟建兴, 李雷斌, 宁岳. 章鱼生物学特性及繁育研究综述[J]. 福建水产, 2009(4): 76-79.
[2] 樊佳欢, 叶颖, 毛伟杰. 章鱼内脏加工海鲜调味料的工

艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 193-198, 252.
[3] 贾茹, 陈静. 从章鱼下脚料中提取牛磺酸工艺的研究[J]. 食品工业, 2012, 33(12): 9-11.
[4] 张育荣. 章鱼加工下脚料资源化开发研究探讨[J]. 中国科技信息, 2007(24): 64-65.
[5] 郭正昭. 章鱼内脏中有效成分的综合利用及活性研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
[6] 马方, 杨宜婷, 陈则华. 不同类型 $n-3$ 多不饱和脂肪酸对心血管疾病的防治作用及其机制研究进展[J]. 中国油脂, 2018, 43(2): 65-69.
[7] MASON R, SHERRATT S. Eicosapentaenoic acid (EPA) inhibits human low-density lipoprotein oxidation in a concentration- and time-dependent manner at pharmacologic doses in vitro[J/OL]. Atherosclerosis, 2019, 287: e80 [2019-08-23]. [https://www.atherosclerosis-journal.com/article/s0021-9150\(19\)30687-2/fulltext](https://www.atherosclerosis-journal.com/article/s0021-9150(19)30687-2/fulltext).
[8] 杨贤庆, 吕军伟, 林婉玲, 等. DHA 功能特性以及抗氧化性研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 390-394.
[9] TAN Y, REN H X, SHI Z, et al. Endogenous docosahexaenoic acid (DHA) prevents A β 1-42 oligomer-induced neuronal injury[J]. Mol Neurobiol, 2016, 53(5): 3146-3153.
[10] 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.
[11] 潘志杰. 海洋鱼油的精炼加工技术研究[J]. 农业机械, 2013(17): 38-41.
[12] 邱小明, 谢建华. 响应面法优化酶解提取带鱼内脏鱼油的工艺研究[J]. 长春师范大学学报, 2017, 36(6): 70-76.
[13] 甄润英, 李昀, 李晓雁, 等. 鲛鱼内脏鱼油的提取工艺研究[J]. 天津农学院学报, 2010, 17(4): 21-24.
[14] 刘政坤, 杨小克, 江晓路, 等. 鲑鱼内脏油的提取研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(9): 9-13.
[15] 郑学超. 章鱼副产物中鱼油的提取方法研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2018.
[16] BARTLETT G R. Colorimetric assay methods for free and phosphorylated glyceric acids[J]. J Biol Chem, 1958, 234: 466-469.
[17] 姚云艳, 孙成. 铜皂比色法测定稻谷中脂肪酸的研究[J]. 食品工业, 2012, 33(5): 116-118.
[18] FOLCH J, LEES M, SLANE-STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. J Biol Chem, 1957, 226(1): 497-506.