

水酶法提取北太平洋鱿鱼肝脏油脂及其脂肪酸组成分析

徐彤砚, 张茹, 杨欣星, 杨文鹤, 张进杰, 楼乔明*
(宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211)

摘要:研究了水酶法提取北太平洋鱿鱼肝脏油脂的工艺, 考察了蛋白酶种类、料液比、反应温度、提取时间和加酶量对油脂提取率的影响, 并采用气相色谱-质谱法(GC-MS)对所提油脂的脂肪酸组成进行分析。通过单因素和正交优化实验得到水酶法提取北太平洋鱿鱼肝脏油脂的最佳条件: 中性蛋白酶为水解酶、料液比 1:0 (g/mL)、反应温度 55 °C、提取时间 6 h、加酶量 1800 U/g; 在该优化条件下, 油脂提取率为 79.21%。北太平洋鱿鱼肝脏油脂脂肪酸主要为 C16:0 (16.27%)、C18:1n-9 (11.68%)、C20:1n-11 (12.94%)、EPA (9.81%) 和 DHA (23.61%), 其中 n-3 型多不饱和脂肪酸高达 35.97%, 且 $\sum n-3$ PUFA / $\sum n-6$ PUFA 为 7.99, 表明北太平洋鱿鱼肝脏油脂具有很高的营养价值和保健功能, 可作为 EPA 和 DHA 等功能性脂肪酸的重要食药来源。

关键词:北太平洋鱿鱼, 肝脏, 水酶法, 油脂, 脂肪酸

Aqueous enzymatic extraction of Liver oil from *Ommastrephes bartrami* and its fatty acid composition analysis

XU Tong-yan, ZHANG Ru, YANG Xin-xing, YANG Wen-ge, ZHANG Jin-jie, LOU Qiao-ming*

(School of Marine Science, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Aqueous enzymatic extraction (AEE) of liver oil from *Ommastrephes bartrami* was performed, the enzyme type, ratio of material to solvent, reaction temperature, extraction time and enzyme amount were investigated, meanwhile the fatty acid compositions of squid liver oil were analyzed by GC-MS in this paper. The single factor test and orthogonal experiment showed the optimal conditions for the aqueous enzymatic extraction of squid liver oil were as follows: neutral protease was the optimal hydrolytic enzyme, ratio of material to solvent was 1:0 (g/mL), reaction temperature was 55 °C, extraction time was 6 h, enzyme amount was 1800 U/g and the maximum oil extraction yield (79.21%) was obtained under the optimal conditions. The main fatty acids of squid liver oil were C16:0 (16.27%), C18:1n-9 (11.68%), C20:1n-11 (12.94%), EPA (9.81%) and DHA (23.61%), and the total amount of n-3 polyunsaturated fatty acids was up to 35.97%, and the ratio of $\sum n-3$ PUFA to $\sum n-6$ PUFA was 7.99, indicating that the liver oil from *Ommastrephes bartrami* had high nutritional values and development prospects, which could be used as the important dietary source of n-3 polyunsaturated fatty acids, such as EPA and DHA especially.

Key words: *Ommastrephes bartrami*; liver; aqueous enzymatic extraction; oil; fatty acids

中图分类号: TS224.4 文献标识码: B 文章编号: 1002-0306(2016)09-0213-05
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.09.033

鱿鱼是世界上重要的海洋头足类动物, 其生长周期短、繁殖能力强和资源恢复迅速, 是一种可持续的海洋渔业资源。近年来, 随着我国海洋渔业的迅速发展, 鱿鱼已成为我国主要的海洋捕捞和水产加工品种。目前, 我国每年鱿鱼加工量高达 40~50 万 t, 居世界第一位, 加工品种主要为北太平洋鱿鱼

(*Ommastrephes bartrami*)、阿根廷鱿鱼 (*Illes argentines*) 和秘鲁鱿鱼 (*Dosidicus gigas*)^[1]。我国鱿鱼加工产业的产品层次较低, 基本以鱿鱼干、鱿鱼丝和鱿鱼片等鱿鱼胴体加工为主, 从而产生鱿鱼肝脏等大量加工副产物, 这些副产物一般作为废弃物直接丢弃、充当肥料或低值饲料, 这大大降低了鱿鱼资

收稿日期: 2015-09-21

作者简介: 徐彤砚 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产脂质化学, E-mail: 281203528@qq.com。

* 通讯作者: 楼乔明 (1981-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 海洋功能性脂质, E-mail: louqm2005@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31201283); “水产”浙江省重中之重学科开放基金项目 (xkzsc1531); 农业部水产品加工重点实验室开放基金项目 (nybjg201208)。

源的综合利用率,造成资源浪费和环境污染。鲑鱼肝脏是鲑鱼加工的主要副产物,约占鲑鱼总重的15%~20%;同时鲑鱼肝脏富含油脂,且其脂肪酸以EPA和DHA等多不饱和脂肪酸为主,具有良好的保健功能^[2-3]。因此,如能有效利用和开发鲑鱼肝脏,生产具有保健功能的高附加值鲑鱼肝脏油脂,不仅能有效减少资源浪费和环境污染,还能进一步拓展鲑鱼肝脏的利用新途径,延长鲑鱼加工产业链,提高鲑鱼的综合利用率和附加值。

水酶法是将酶制剂应用于油脂提取的方法,其通过酶制剂作用降低油脂与蛋白质等物质的结合程度,在简单机械力作用下使油脂释放,并利用水油不相容而使油脂得到分离提取;该方法具有出油率高、油质好、色泽浅、环保、安全和廉价等优点^[4-5]。目前,水酶法广泛应用于水产加工副产物的油脂提取,如刘文倩等^[6]研究了复合蛋白酶提取虾黄油脂的工艺;臧丽芹等^[7]优化了碱性蛋白酶酶解鳕鱼肝脏提取鱼油的处理条件;Betty等^[8]优化了菠萝蛋白酶提取鲈鱼头和三文鱼头油脂的工艺。北太平洋鲑鱼作为我国鲑鱼加工的主要品种,其年加工量在15~30万吨,如能加以开发利用将能提高其利用价值。因此本文选用北太平洋鲑鱼肝脏为原料,通过单因素和正交实验优化蛋白酶提取鲑鱼肝脏油脂的工艺条件,并对鲑鱼肝脏油脂的脂肪酸组成进行分析,以期为北太平洋鲑鱼肝脏油脂的提取和开发利用提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜北太平洋鲑鱼(*Ommastrephes bartrami*)宁波丰群食品有限公司提供,经解剖分离出肝脏,匀浆后装袋,于-40℃下冻藏备用;并参照国标方法,依次测得北太平洋鲑鱼肝脏的水分、粗蛋白和总脂含量为51.97%±1.03%、23.60%±0.60%和20.92%±0.24%。

37种脂肪酸甲酯混标美国Sigma公司;中性蛋白酶(20万U/g)、酸性蛋白酶(80万U/g)、碱性蛋白酶(20万U/g)、木瓜蛋白酶(80万U/g)、菠萝蛋白酶(50万U/g)江苏锐阳生物科技有限公司;氯仿、甲醇、无水硫酸钠、浓硫酸等分析纯国药集团化学试剂有限公司。

7890A型气相色谱仪 美国Agilent仪器有限公司;M7-80EI型质谱仪 北京普析通用仪器有限公司;BIOFUGE STRATOS型台式高速冷冻离心机 赛默飞世尔科技有限公司;Laborota 4000 efficient旋转蒸发仪 德国海道尔夫公司;Milli-Q Synthesis超纯水系统 美国Millipore公司;AB135-S型精密电子分析天平 瑞士梅特勒-托利多公司。

1.2 实验方法

1.2.1 蛋白水解酶的选择 取20g北太平洋鲑鱼肝脏匀浆液,按1200U/g的加酶量分别加入中性蛋白酶(Neu)、酸性蛋白酶(Aci)、碱性蛋白酶(Alc)、木瓜蛋白酶(Pap)和菠萝蛋白酶(Bro),以不加任何蛋白酶的实验组为空白组,并按料液比1:0.5(g/mL)加入蒸馏水,搅拌均匀,于50℃水浴水解提取4h,最

后5000r/min离心15min,取上层油脂,油脂提取率计算公式如下。

$$\text{油脂提取率}(\%) = \frac{\text{油脂提取总量}}{\text{总脂质量}} \times 100$$

1.2.2 单因素实验和正交优化实验 在确定蛋白酶的基础上,根据杨小克^[9]的方法,以料液比、反应温度、提取时间和加酶量为因素,以油脂提取率为指标进行单因素实验。在单因素实验基础上,采用极差法对上述4个因素进行正交优化实验。

1.2.2.1 料液比对提取率的影响 确定蛋白酶后,在加酶量1200U/g、反应温度50℃、提取时间4h条件下,测定不同料液比对鲑鱼肝脏油脂提取率的影响。

1.2.2.2 反应温度对提取率的影响 确定蛋白酶后,在料液比1:0.5(g/mL)、加酶量1200U/g、提取时间4h条件下,测定不同反应温度对鲑鱼肝脏油脂提取率的影响。

1.2.2.3 提取时间对提取率的影响 确定蛋白酶后,在料液比1:0.5(g/mL)、加酶量1200U/g、反应温度50℃条件下,测定不同提取时间对鲑鱼肝脏油脂提取率的影响。

1.2.2.4 加酶量对提取率的影响 确定蛋白酶后,在料液比1:0.5(g/mL)、反应温度50℃、提取时间4h条件下,不同加酶量对鲑鱼肝脏油脂提取率的影响。

1.2.2.5 正交优化实验 综合单因素实验结果,以最佳提取率的蛋白酶为水解酶,选取料液比、反应温度、提取时间和加酶量为实验因素,以提取率为实验指标,采用正交实验方法考察各因素对鲑鱼肝脏油脂提取率的影响,正交因素水平表如下。

表1 正交因素水平表
Table 1 Orthogonal factor level table

水平	因素			
	A 料液比 (g/mL)	B 反应温度 (℃)	C 提取时间 (h)	D 加酶量 (U/g)
1	1:0	50	2	1200
2	1:0.5	55	4	1800
3	1:1	60	6	2400

1.2.3 脂肪酸分析

1.2.3.1 甲酯化衍生 取10mg油脂,加入1mL5%的浓硫酸-甲醇溶液,于70℃水浴加热1h,冷却后加1mL正己烷,静置分层,取上层清液经无水硫酸钠干燥后用于GC-MS分析。

1.2.3.2 色谱条件 DB-WAX毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm),高纯氦气为载气,采用恒压模式,压力0.4MPa;进样量1μL,分流比30:1,进样口温度250℃,检测器温度250℃,柱流量为1mL/min。升温程序为100℃保持3min;以16℃/min升温至200℃,保持6min;再以5℃/min升温至240℃,保持5min,整个分析过程28min。

1.2.3.3 质谱条件 GC-MS接口温度250℃,EI离子源,电离能量70eV,离子源温度250℃,扫描周期2.84次/s,质量扫描范围m/z50~500u。

1.3 数据处理

每个样品平行测定3次,采用SAS 8.0软件对数

据进行统计分析,单因素方差分析(ANOVA, Tukey 检验)进行显著性检验,并采用 Duncan's 法进行单因子多重比较分析, $p < 0.05$ 为差异性显著, $p < 0.01$ 为差异性极显著。

2 结果与分析

2.1 蛋白酶选择

由图 1 可知,添加蛋白酶后,鱿鱼肝脏油脂提取率显著提高($p < 0.05$),且不同蛋白酶对鱿鱼肝脏油脂提取率有显著差异($p < 0.05$),这是因为不同蛋白酶作用于蛋白质的位点和催化活力不同^[10]。对于本实验中鱿鱼肝脏油脂的提取,中性蛋白酶的提取率最高($73.98\% \pm 2.10\%$),这与文献^[11-12]所得结果一致。因此,选用中性蛋白酶作为蛋白水解酶进行单因素和正交优化实验。

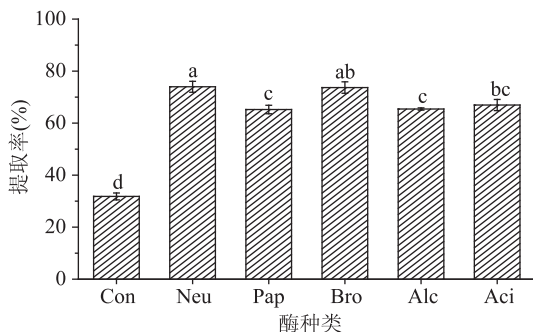


图 1 不同蛋白酶对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响
Fig.1 The effects of proteinases on the extraction yields of squid liver oil

注:不同的字母表示在($p < 0.05$)水平上有显著差异,下同。

2.2 单因素实验

2.2.1 料液比对提取率的影响 由图 2 可知,当料液比为 1:0 (即不加水)时,鱼油提取率最高($76.99 \pm 2.99\%$);且随着料液比的增大,提取率逐渐下降,这是由于鱿鱼肝脏自身富含水分,其水分含量高达 $51.97\% \pm 1.03\%$,在此水分条件下,底物浓度相对较高,增加了蛋白酶水解几率,致使鱿鱼肝脏油脂提取率最高;但随着料液比的增加,酶促体系中的酶浓度和底物浓度均逐渐降低,进而影响酶促反应速度,致使油脂提取率显著降低($p < 0.05$),同时料液比过高,易使油脂发生乳化现象,同时溶剂过多造成浪费并使后续离心工艺难度加大。因此鱿鱼肝脏油脂提取的最佳料液比为 1:0。

2.2.2 反应温度对提取率的影响 由图 3 可知,在一定反应温度范围内,随着反应温度的增加,油脂提取率先增大,并在 55 °C 时鱿鱼肝脏油脂提取率达到最大值($75.84\% \pm 1.57\%$);之后随着反应温度的增加,油脂提取率略有下降。这是因为适当提高反应温度,有利于提高蛋白酶活性,中性蛋白酶的最适温度为 55 °C,故此时的鱿鱼肝脏油脂的提取率最高;继续增加反应温度则会破坏中性蛋白酶的水解活力,降低鱿鱼肝脏油脂提取率,且反应温度的增加还易造成油脂氧化。因此综合考虑油脂提取率和氧化程度,鱿鱼肝脏油脂提取的最佳反应温度为 55 °C。

2.2.3 提取时间对提取率的影响 由图 4 可知,鱿鱼

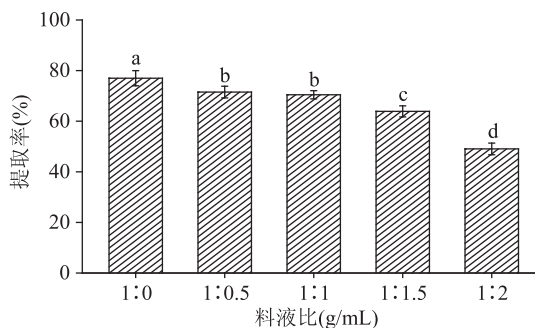


图 2 料液比对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响
Fig.2 The effects of material-to-solvent ratio on the extraction yields of squid liver oil

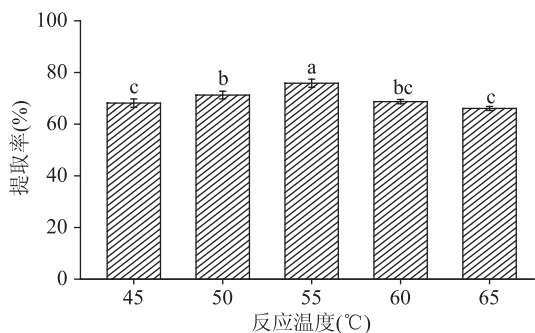


图 3 反应温度对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响
Fig.3 The effects of extraction temperature on the extraction yields of squid liver oil

肝脏油脂提取率随着提取时间的增加逐渐提高,当提取时间 4 h 以后,油脂提取率趋于平缓,继续延长提取时间对油脂提取率没有显著影响($p < 0.05$),且随着提取时间的进一步延长,易使油脂发生氧化作用,致使所提油脂过氧化值增加和颜色加深,影响油脂品质。除此之外,提取时间过长还会增加工艺成本。因此为提高鱿鱼肝脏油脂提取效率和油脂的理化品质,鱿鱼肝脏油脂提取的最佳提取时间为 6 h。

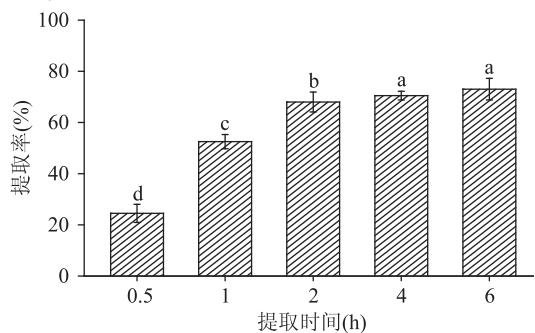


图 4 提取时间对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响
Fig.4 The effects of extraction time on the extraction yields of squid liver oil

2.2.4 加酶量对提取率的影响 由图 5 可知,随着加酶量的增加鱿鱼肝脏油脂提取率先增加后减小,当加酶量为 1800 U/g 时,油脂提取率达到最大($76.15\% \pm 0.65\%$);继续增大中性蛋白酶的用量,油脂提取率不再增加,并呈现一定的下降趋势。这是因为适当增加中性蛋白酶用量,提高了单位体积内的中性蛋白酶浓度,增加了底物与蛋白酶的接触几

率,促进了酶促反应的发生,故提取率增加;但当中性蛋白酶浓度超过一定范围时,致使酶促体系发生深度水解,进而易使油脂发生乳化现象,增加油脂分离难度,并降低油脂提取率^[13],因此鱿鱼肝脏油脂的最佳加酶量为 1800 U/g。

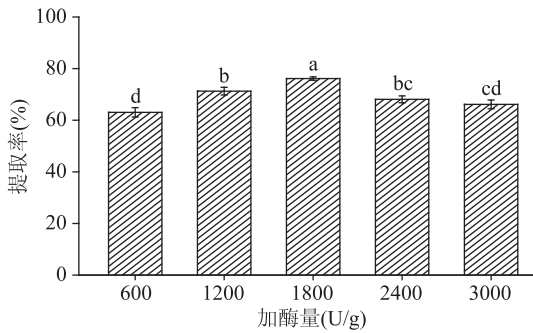


图5 加酶量对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响
Fig.5 The effects of enzyme amount on the extraction yields of squid liver oil

2.3 正交优化实验

根据单因素实验,以中性蛋白酶为水解酶,选取料液比、反应温度、提取时间和加酶量为实验因素,以提取率为实验指标,采用正交实验方法考察各因素对鱿鱼肝脏油脂提取率的影响,实验设计及结果列于表 2,其方差分析结果列于表 3。

表 2 正交实验设计及结果

Table 2 Design and results of orthogonal experiment

实验号	A 料液比 (g/mL)	B 反应温度 (°C)	C 提取时间 (h)	D 加酶量 (U/g)	提取率 (%)
1	1	1	1	1	63.41
2	1	2	2	2	78.63
3	1	3	3	3	76.75
4	2	1	2	3	67.23
5	2	2	3	1	59.59
6	2	3	1	2	67.90
7	3	1	3	2	67.35
8	3	2	1	3	61.73
9	3	3	2	1	54.82
k ₁	72.93	66.00	64.35	59.27	
k ₂	64.91	66.65	66.89	71.29	
k ₃	61.30	66.49	67.90	68.57	
R	11.63	0.65	3.55	12.02	

表 3 正交实验方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal experiment

因素	偏差平方和	自由度	均方	F 值	显著性
料液比	212.64	2	106.32	305.52	**
反应温度	0.70	2	0.35	1.00	
提取时间	20.10	2	10.05	28.87	*
加酶量	238.33	2	119.17	342.42	**
误差	0.70	2	0.35		

注: $F_{0.05}(2,2) = 19.000, F_{0.01}(2,2) = 99.000$; * 表示 $p < 0.05$, 差异性显著; ** 表示 $p < 0.01$, 差异性极显著。

由表 2 可知,水酶法提取鱿鱼肝脏油脂的过程中,各因素对油脂提取率的影响依次为:加酶量 > 料液比 > 提取时间 > 反应温度,即加酶量对油脂提取率的影响最大,料液比和提取时间次之,反应温度最小。表 3 方差结果表明,加酶量和料液比对鱿鱼肝脏油脂提取率有极显著影响 ($p < 0.01$),提取时间对提取率有显著影响 ($p < 0.05$),而反应温度对提取率的影响不显著 ($p > 0.05$),优化实验条件为 A₁B₂C₃D₂,即料液比 1:0,反应温度 55 °C,提取时间 6 h,加酶量 1800 U/g;并在此优化条件下进行验证实验,鱿鱼肝脏油脂提取率达到 79.21%。

2.4 鱿鱼肝脏油脂的脂肪酸组成分析

鱿鱼肝脏总脂经酸甲酯化衍生处理,采用 GC-MS 对其脂肪酸组成进行分析,其总离子流色谱图见图 6;通过标准品对照和数据库检索对其脂肪酸进行定性,并按峰面积归一化法进行定量,分析结果列于表 4。

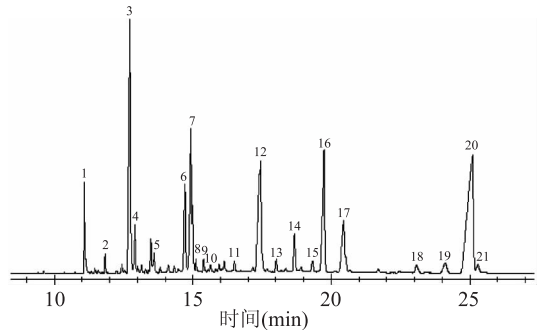


图 6 鱿鱼肝脏油脂脂肪酸组成的 GC-MS 总离子流色谱图

Fig.6 Total ion chromatogram of fatty acid compositions of squid liver oil by GC-MS

由表 4 可知,从北太平洋鱿鱼肝脏油脂中共鉴定出 21 种脂肪酸,主要为 C16:0 (16.27%)、C18:1n-9 (11.68%)、C20:1n-11 (12.94%)、EPA (9.81%) 和 DHA (23.61%);且多不饱和脂肪酸 (PUFA, 40.46%) > 单不饱和脂肪酸 (MUFA, 33.31%) > 饱和脂肪酸 (SFA, 26.23%),其中 SFA 以 C16:0 和 C18:0 为主, MUFA 以 C18:1n-9 和 C20:1n-11 为主,而 PUFA 以 EPA 和 DHA 等 n-3 型多不饱和脂肪酸为主,两者总含量高达 33.42%,高于马鲛鱼 (27.1%)^[14]、竹夹鱼 (29.15%)^[14] 和鳕鱼 (19.70%)^[15]。EPA 能有效调节血脂,降低血液胆固醇,抑制血小板凝集,预防血栓和动脉硬化等心血管疾病,被称为“血管清道夫”;DHA 能有效提高免疫力,促进神经系统发育,提高记忆力和预防老年痴呆症,被誉为“脑黄金”^[16-17]。北太平洋鱿鱼肝脏油脂中富含 EPA 和 DHA 等 n-3 型多不饱和脂肪酸,且其 $\sum \text{PUFAn-3} / \sum \text{PUFAn-6}$ 的比值为 7.99,远高于国际粮农组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 推荐的 $\sum \text{PUFAn-3} / \sum \text{PUFAn-6}$ 日常膳食比值 0.1~0.2,表明北太平洋鱿鱼肝脏油脂具有很高的营养价值和保健功能,可作为 EPA 和 DHA 等功能性脂肪酸的重要食药来源^[18]。

表4 鱿鱼肝脏总脂脂肪酸组成

Table 4 Fatty acid compositions of total lipids of squid liver

序号	脂肪酸名称	含量(%)
1	肉豆蔻酸 C14:0	3.30 ± 0.12
2	十五碳烷酸 C15:0	0.61 ± 0.02
3	棕榈酸 C16:0	16.27 ± 0.26
4	9-十六碳烯酸 C16:1n-7	2.24 ± 0.10
5	十七碳烷酸 C17:0	1.07 ± 0.03
6	硬脂酸 C18:0	4.98 ± 0.12
7	油酸 C18:1n-9	11.68 ± 0.21
8	11-十八碳烯酸 C18:1n-7	0.49 ± 0.08
9	亚油酸 C18:2n-6	0.56 ± 0.03
10	γ-亚麻酸 C18:3n-6	0.51 ± 0.03
11	6,9,12,15-十八碳四烯酸 C18:4n-3	0.56 ± 0.02
12	9-二十碳烯酸 C20:1n-11	12.94 ± 0.13
13	11,14-二十碳二烯酸 C20:2n-6	0.64 ± 0.03
14	花生四烯酸 C20:4n-6	2.03 ± 0.07
15	8,11,14,17-二十碳四烯酸 C20:4n-3	0.67 ± 0.03
16	5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 C20:5n-3(EPA)	9.81 ± 0.23
17	9-二十二碳烯酸 C22:1n-11	5.71 ± 0.14
18	4,7,10,13,16-二十二碳五烯酸 C22:5n-6	0.76 ± 0.02
19	7,10,13,16,19-二十二碳五烯酸 C22:5n-3	1.32 ± 0.05
20	4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 C22:6n-3(DHA)	23.61 ± 0.24
21	15-二十四碳烯酸 C24:1n-9	0.25 ± 0.03
	ΣSFA	26.23
	ΣMUFA	33.31
	ΣPUFA	40.46
	ΣEPA + DHA	33.42
	Σn-3 PUFA	35.97
	Σn-6 PUFA	4.50
	n-3/n-6	7.99

3 结论

经单因素和正交优化实验得到水酶法提取北太平洋鱿鱼肝脏油脂的最佳条件:中性蛋白酶为水解酶,料液比 1:0(g/mL),反应温度 55℃,提取时间 6 h,加酶量 1800 U/g;在该提取条件下,北太平洋鱿鱼肝脏油脂提取率为 79.21%。

北太平洋鱿鱼肝脏油脂脂肪酸以 C16:0、C18:1n-9、C20:1n-11、EPA 和 DHA 为主,且 EPA 和 DHA 两者总含量高达 33.42%,表明北太平洋鱿鱼肝脏油脂具有很高的营养价值和脂质开发潜力,可以作为 EPA 和 DHA 等 n-3 型多不饱和脂肪酸的重要食药来源。

参考文献

[1] 沈萍,李学英,杨究时,等.北太平洋鱿鱼低温贮藏中的品

质变化与货架期[J].食品工业科技,2015,36(16):343-347.

[2] Torrinha A, Gomes F, Oliveira M, et al. Commercial squids: characterization, assessment of potential health benefits/risks and discrimination based on mineral, lipid and vitamin E concentrations[J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 67(4): 44-56.

[3] 刘安军,朱晓芳,郑捷,等.鱿鱼肝脏鱼油成分及其体外抗氧化性的研究[J].现代食品科技,2010,26(1):18-21.

[4] Latif S, Anwar F. Aqueous enzymatic sesame oil and protein extraction[J]. Food Chemistry, 2011, 125(2): 679-684.

[5] 祖亭月,何美莹,张连富.水酶法提取橡胶籽油的工艺研究[J].中国粮油学报,2013,28(2):37-42.

[6] 刘文倩,王燕,邓放明,等.超声辅助酶法提取虾黄油脂及其脂肪酸组成分析[J].食品科学,2014,35(12):102-107.

[7] 臧丽芹,陈小斌,方旭波,等.酶解法提取鳕鱼肝油的工艺研究[J].食品工业,2013,34(7):61-64.

[8] Betty M, Dietlind A, Pantrick A, et al. Enzymatic oil extraction and positional analysis of ω-3 fatty acids in Nile perch and salmon heads[J]. Process Biochemistry, 2010, 45(5): 815-819.

[9] 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.

[10] Zhang S B, Lu Q Y, Yang H, et al. Aqueous enzymatic extraction of oil and protein hydrolysates from Roasted Peanut seeds[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2011, 88(5): 727-732.

[11] 王妍,崔红花,蔡振峰,等.酶解法从深海明太鱼内脏中提取鱼油工艺研究[J].延边大学农学学报,2013,35(2):147-151.

[12] 王晓龙,杨立业,吴伟建,等.酶解法提取鲑鱼鱼油工艺研究[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2013,32(5):403-407.

[13] 王丽波,徐雅琴,杨昱,等.南瓜籽油的水酶法提取工艺及产品的理化性质[J].农业工程学报,2011,27(10):383-387.

[14] Osman H, Suriah A R. Fatty acid composition and cholesterol content of selected marine fish in Malaysian water[J]. Food Chemistry, 2001, 73(1): 55-60.

[15] Nechet S L, Dubois N, Gouyguo J P, et al. Lipid composition of the liver oil of the ray, Himantura bleekeri[J]. Food Chemistry, 2007, 104(2): 559-564.

[16] 马永钧,杨博.世界海洋鱼油资源利用现状与发展趋势[J].中国油脂,2010,35(11):1-3.

[17] Murillo E, Rao K S, Durant A A. The lipid content and fatty acid composition of four eastern central Pacific native fish species[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2014, 33(1): 1-5.

[18] Prato E, Biandolino F. Total lipid content and fatty acid composition of commercially important fish species from the Mediterranean, Mar Grande Sea[J]. Food Chemistry, 2012, 131(4): 1233-1239.