

深海粗鱼油的精炼工艺研究

陈转霞, 陶宁萍

(上海海洋大学食品科学与工程学院, 上海水产品加工与保护研究工程中心, 上海 201306)

摘要:对深海杂鱼粗鱼油精炼工艺进行优化, 考察了磷酸体积分数、过量碱和活性白土添加量对鱼油酸值、回收率和感官品质的影响, 并对精炼鱼油的理化指标及脂肪酸组成进行分析。结果表明: 适宜的精炼条件为采用占鱼油质量1%、体积分数80%的磷酸脱胶, 脱胶油中加入占鱼油质量1.5%的过量碱和理论碱量的NaOH(4 mol/L)脱酸, 脱色选用添加占鱼油质量20%的活性白土; 精炼鱼油的理化指标均达到我国水产行业精制鱼油的一级标准(SC/T 3502—2000), 酸值(KOH)由 (5.52 ± 0.12) mg/g 下降到 (0.29 ± 0.11) mg/g; 精炼工艺对鱼油脂肪酸组成的影响较小, 其中二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸的总量约占总脂肪酸含量的38%, 且分别占多不饱和脂肪酸含量的35.99%和51.59%, 品质较优。

关键词:深海鱼油; 精炼; 酸值; 二十二碳六烯酸; 二十碳五烯酸; 多不饱和脂肪酸

中图分类号: TS224.6; TS222 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2018)02-0005-05

Refining technology of crude deep-sea fish oil

CHEN Zhuanyia, TAO Ningping

(Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, College of Food Science & Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The refining conditions of crude deep-sea fish oil were optimized, and the effects of H_3PO_4 volume fraction, excess alkali and activated clay dosage on the acid value, recovery rate and sensory quality of fish oil were investigated. The physicochemical indexes and fatty acid composition of refined fish oil were analyzed. The results showed that the optimal refining conditions were obtained as follows: degumming by adding 80% H_3PO_4 accounting for 1% of fish oil, deacidification by adding 4 mol/L NaOH and excess alkali 1.5% of fish oil, bleaching by adding activated clay accounting for 20% of fish oil. The physicochemical indicators of refined fish oil reached the first-grade standard of refined fish oil of aquatic industry (SC/T 3502—2000), and acid value decreased from (5.52 ± 0.12) mgKOH/g to (0.29 ± 0.11) mgKOH/g. The fatty acid composition didn't change significantly during the refining. The content of DHA and EPA in the refined fish oil was about 38% of the total fatty acid content, and EPA and DHA accounted for 35.99% and 51.59% of the polyunsaturated fatty acid content respectively, so the quality of refined fish oil was excellent.

Key words: deep-sea fish oil; refining; acid value; docosahexaenoic acid (DHA); eicosapentaenoic acid (EPA); polyunsaturated fatty acid

全球范围内海洋面积占地球表面积的71%, 因

此海洋资源丰富。随着陆地资源的消耗, 海洋资源的开发成为了新时期的研究热点。海洋水产品中以鱼类为主体, 占世界水产品总量的80%以上。海水鱼加工制品增长迅猛, 利用其加工过程产生的副产物进行鱼油提取成为天然海洋鱼油来源的重要途径。

海洋鱼油中的多不饱和脂肪酸(PUFA)含量丰

收稿日期: 2017-05-19; 修回日期: 2017-11-27

基金项目: 国家重点研发计划专项(2016YFD0400202-8)

作者简介: 陈转霞(1991), 女, 在读硕士, 研究方向为食品营养与品质评价(E-mail) 2267517063@qq.com。

通信作者: 陶宁萍, 教授, 硕士生导师(E-mail) nptao@shou.edu.cn。

富,其中的二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)备受关注^[1],具有多种营养和保健功能^[2],对于预防心血管疾病^[3-4]、预防老年痴呆症^[5]、抗肿瘤、抗炎^[6]等的研究十分广泛。深海鱼油的原料主要来自鱼粉加工过程中的压榨油,即毛油。毛油一般颜色较深,黏稠,并伴有浓重的腥臭味,且粗鱼油中磷脂、蛋白质、微量金属以及其他杂质的存在对鱼油的品质有很大的影响,因此必须将其除去,以达到消费的标准^[7]。

本研究以蒸煮、压榨、离心所得粗鱼油为原料,经脱胶、脱酸和脱色等步骤处理,分别确定磷酸、碱液、活性白土的适宜添加量,真空脱臭参数一般在设备运转时调试,实验室环节不予考虑。对鱼油脂肪酸组成的变化以及精炼前后鱼油的理化指标进行检测,从而为深海杂鱼油的有效利用提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

来自毛里塔尼亚水深30~300 m的次品鱼的整鱼,车间下脚料包括一些鱼头(无须鳕鱼头、鲑鱼头和沙丁鱼头等),并利用蒸煮法(80~90℃)提取得到粗鱼油。

硫化硫酸钠、氢氧化钠、碘化钾、韦氏试剂、冰乙酸、乙醚、无水乙醇均为分析纯,磷酸(优级纯);正己烷(色谱级)、37种脂肪酸甲酯标准品、十九烷酸甲酯标准品,购自上海安谱实验科技股份有限公司;中性活性白土,购自江苏骏达凹凸棒材料有限公司。

BT224S电子分析天平;DZF-6050真空干燥箱;MARS微波消解仪;R250B旋转蒸发仪;DZKW-4电子恒温水浴锅;Avanti J-26xP冷冻离心机,美国贝克曼仪器有限公司;TRACE GC ULTRA气相色谱仪(检测器为FID),美国Thermo Fisher;湘仪TG16-WS离心机;T960自动电位滴定仪。

1.2 实验方法

1.2.1 粗鱼油的精炼

参照Crexi^[8]、Chew^[9]、何莉萍^[10]等的方 法,并做了一些修改,考察了磷酸体积分数、超量碱及活性白土添加量对鱼油酸值、回收率和感官品质的影响。

1.2.1.1 磷酸体积分数对鱼油品质影响

称取一定量的鱼油,水浴加热至70℃并搅拌均匀,然后按鱼油质量的1%缓缓加入不同体积分数(85%、80%、75%、70%、65%)的磷酸,搅拌均匀,70℃下加热1 min,再以10 000 r/min趁热离心10 min,取上层,称重。再以4 mol/L、油质量0.3%的超量碱及理论碱量进行脱酸,然后用油质量20%的活性白土进行脱色。

1.2.1.2 超量碱对鱼油品质影响

向上述最优条件的脱胶油中加入4 mol/L占鱼油质量0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%的超量碱和理论碱量($7.13 \times 10^{-4} \times \text{油质量} \times \text{酸值}$)的NaOH溶液。均匀搅拌后加热至70℃,保温30 min,再冷却至室温,静置分层,10 000 r/min离心10 min,去沉淀。加入占油质量10%左右90~95℃的去离子水,反复两次,吸出上层油样,称重。再以油质量20%的活性白土进行脱色。

1.2.1.3 活性白土添加量对鱼油品质影响

取上述最优条件的脱酸油加热至60℃,分别加入占鱼油质量5%、10%、15%、20%、25%的中性活性白土,搅拌30 min,10 000 r/min离心10 min,吸出上层油样,称重。

1.2.2 深海鱼油感官评定及理化指标的测定

感官评定:参照SC/T 3502—2000;碘值测定:参照GB/T 5532—2008;不溶性杂质测定:参照GB/T 15688—2008;酸值测定:参照LS/T 6107—2012;过氧化值测定:参照LS/T 6106—2012;水分及挥发物含量测定:参照GB 5009.236—2016;不皂化物测定:参照GB/T 5535.1—2008。

1.2.3 鱼油中磷脂含量的测定

参考万楚筠等^[11]的方法。

1.2.4 脂肪酸组成分析

参考张静等^[12]的方法。

2 结果与分析

2.1 精炼工艺参数的优化

2.1.1 磷酸体积分数的优化

粗鱼油一般较为黏稠,主要是因为磷脂、蛋白质、糖类等一些黏液质的存在,会严重影响鱼油的品质,因此必须将其脱去。实验测得粗鱼油中磷脂含量较低,为0.02%。从生产成本和鱼油品质综合考虑,选用磷酸进行脱胶,主要是利用磷酸能促使非水化磷脂转化为水化磷脂而吸水膨胀的特性达到沉降去除的目的。磷酸体积分数对精炼鱼油品质的影响结果如表1所示。

表1 磷酸体积分数对精炼鱼油品质的影响

磷酸体积分数/%	酸值(KOH)/(mg/g)	回收率/%	色泽和气味
85	4.42 ± 0.15 ^{ab}	72.57 ± 0.57 ^a	深红棕色,鱼腥味
80	4.33 ± 0.05 ^a	73.78 ± 0.50 ^b	红棕色,鱼腥味
75	4.51 ± 0.05 ^b	75.82 ± 0.82 ^c	红棕色,鱼腥味
70	4.52 ± 0.02 ^b	75.24 ± 0.13 ^c	红棕色,鱼腥味
65	4.55 ± 0.10 ^b	78.82 ± 0.79 ^d	红棕色,鱼腥味

注:同列字母不同表示存在显著性差异($p < 0.05$)。下同。

从表1可以看出,当磷酸体积分数为80%时,酸值有显著性差异,且此时酸值最低。当磷酸体积分数为85%和80%时,其色泽有明显的变化。考虑到酸值是影响鱼油品质的关键因素,因此选择体积分数80%的磷酸。李冲冲等^[13]在进行鱼油脱胶时加入了占鱼油质量1%的体积分数为60%的磷酸,其效果较好,这可能是由于鱼油原料品种和脱胶时温度和时间的差异而导致的。

2.1.2 超量碱的优化

油脂中95%以上是甘油三酯,因接触空气、光照等会不同程度地发生酸败,产生游离脂肪酸。当游离脂肪酸含量过高时,会产生刺激性气味,还会加速中性油的水解酸败,并且会使磷脂、糖脂等胶溶性物质和脂溶性物质在油脂中的溶解度增加。游离脂肪酸本身还是油脂、磷脂水解的催化剂。因此,脱酸是油脂精炼工艺中影响油脂损耗与产品质量的关键工序。超量碱对精炼鱼油品质的影响如表2所示。

表2 超量碱对精炼鱼油品质的影响

超量碱/%	酸值(KOH)/(mg/g)	回收率/%	色泽和气味
0.5	4.43 ± 0.37 ^c	77.98 ± 2.21 ^b	红棕色,鱼腥味
1.0	2.96 ± 0.14 ^b	74.09 ± 0.09 ^a	红棕色,鱼腥味
1.5	0.12 ± 0.02 ^a	73.82 ± 1.33 ^a	红棕色,鱼腥味
2.0	0.14 ± 0.03 ^a	73.21 ± 1.02 ^a	红棕色,鱼腥味
2.5	0.18 ± 0.03 ^a	72.35 ± 0.27 ^a	红棕色,鱼腥味

从表2可以看出,随着超量碱的增加,酸值整体呈下降趋势,回收率呈递减趋势,这与何莉萍等^[10]的研究结果一致。当超量碱为1.5%时,酸值大幅度下降,与超量碱为2.0%和2.5%的酸值及回收率无显著性差异,此时酸值达到了我国水产行业精制鱼油的一级标准。考虑到鱼油品质、回收率和工厂

成本等因素,1.5%的超量碱(4 mol/L)为最适宜脱酸条件,显著低于Crexi等^[8]研究中4.0%的超量碱。

2.1.3 活性白土添加量的优化

活性白土对叶绿素、胶溶性杂质、碱性和极性原子团的吸附能力很强,因此常被用于难脱色的油脂。有研究^[14]发现,脱色时水煮粗鱼油只需以白土为脱色剂。活性白土添加量对精炼鱼油品质的影响如表3所示。

表3 活性白土添加量对精炼鱼油品质的影响

活性白土添加量/%	酸值(KOH)/(mg/g)	回收率/%	色泽和气味
5	0.48 ± 0.06 ^d	78.83 ± 1.23 ^c	橙红色,鱼腥味
10	0.30 ± 0.02 ^a	74.00 ± 0.88 ^b	淡黄色,鱼腥味
15	0.38 ± 0.00 ^{bc}	73.17 ± 0.36 ^b	青黄色,鱼腥味
20	0.32 ± 0.01 ^{ab}	72.62 ± 0.28 ^b	亮青黄色,鱼腥味
25	0.44 ± 0.05 ^{cd}	69.86 ± 2.42 ^a	亮青黄色,鱼腥味

从表3可以看出,脱色后,鱼油的色泽变为亮青黄色,这说明活性白土可以很好地吸附鱼油中的色素类物质,且活性白土用量越多,吸附效果越好。同时随着活性白土添加量的增加,鱼油的回收率逐渐降低。活性白土添加量为20%时,酸值(KOH)为0.32 mg/g,回收率为72.62%,此时效果较好。刘书成等^[15]对金枪鱼油精炼工艺的研究,其精炼工艺脱色使用10%的活性白土添加量,回收率为81.37%。

综上,鱼油精炼最佳工艺条件为:磷酸体积分数80%,超量碱1.5%,活性白土添加量20%。

2.2 鱼油精炼前后感官品质及理化指标的变化(见表4)

表4 鱼油精炼前后感官及理化指标

项目	粗鱼油	精炼鱼油	SC/T 3502—2000			
			精制鱼油		粗鱼油	
			一级	二级	一级	二级
外观	浑浊有分层	澄清透明	浅黄色或橙红色		浅黄色或红棕色,稍有混浊或分层	
气味	具有鱼油特有的鱼腥味	亮青黄色,鱼腥味	具有鱼油特有的微腥味,无鱼油酸败味		具有鱼油的腥味,稍有鱼油酸败味	
水分及挥发物/%	0.25 ± 0.15	0.09 ± 0.03 [*]	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤0.5
酸值(KOH)/(mg/g)	5.52 ± 0.12	0.29 ± 0.11 ^{**}	≤1.0	≤2.0	≤8	≤15
过氧化值/(mmol/kg)	1.73 ± 0.51	0.76 ± 0.25 ^{**}	≤5	≤6	≤6	≤10
不皂化物/%	1.17 ± 0.15	0.30 ± 0.09 ^{**}	≤1.0	3.0	-	-
碘值(I)/(g/100 g)	200.78 ± 24.98	210.80 ± 8.52	≥120	≥120	≥120	≥120
杂质/%	3.66 ± 0.68	0.02 ± 0.01 ^{**}	≤0.1	≤0.1	≤0.3	≤0.5

注: * 表示差异显著($p < 0.05$), ** 表示差异极显著($p < 0.01$)。

由表 4 可以看出,该深海粗鱼油的品质较好,由于鱼类捕捞后在毛里塔尼亚就近进行鱼油的提取,鱼油新鲜,且运输过程保存较好,多项指标已达到了粗鱼油的一级标准,过氧化值很低,符合精制鱼油的一级标准,但是杂质含量较高。精炼后,鱼油澄清透明,无酸败味,酸值作为鱼油品质的重要指标,下降了 94.7%,精炼鱼油的过氧化值为 0.76 mmol/kg,说明整个精炼工艺过程控制较好,鱼油品质高,未发生氧化酸败。杂质含量从 3.66% 下降到 0.02%,下

降率达到了 99.5%,而碘值变化不大,因此该精炼工艺条件能较好地控制产品品质,精炼深海杂鱼油的各项指标均达到水产行业精制鱼油的一级标准,品质高。精炼后的酸值、过氧化值、碘值等理化指标略优于赵阔等^[16]的真空精炼方法得到的罗非鱼油。

2.3 鱼油精炼过程中脂肪酸组成变化

按最佳工艺条件对鱼油进行精炼,并对粗鱼油、-80℃ 储存 5 个月后的粗鱼油以及精炼过程中鱼油脂肪酸组成进行分析,结果见表 5。

表 5 精炼前后鱼油脂肪酸含量的变化

脂肪酸	粗鱼油 1	粗鱼油 2	脱胶油	脱酸油	脱色油
含量/(mg/g)					
C14:0	50.2 ± 3.90 ^a	40.41 ± 4.52 ^b	42.63 ± 2.83 ^b	35.68 ± 4.53 ^b	37.23 ± 1.45 ^b
C15:0	N. D ^b	4.11 ± 0.72 ^a	3.89 ± 1.00 ^a	3.97 ± 0.28 ^a	4.01 ± 0.69 ^a
C16:0	151.21 ± 3.42 ^a	125.33 ± 6.66 ^b	124.16 ± 17.2 ^b	110.49 ± 1.68 ^c	111.57 ± 5.82 ^c
C17:0	N. D ^c	4.78 ± 0.25 ^a	3.24 ± 0.58 ^b	4.54 ± 0.12 ^a	4.26 ± 0.44 ^a
C18:0	30.14 ± 3.27	32.24 ± 0.84	28.96 ± 1.16	29.31 ± 0.06	28.76 ± 3.26
C20:0	2.67 ± 0.17 ^a	2.53 ± 0.29 ^a	1.90 ± 0.42 ^b	2.41 ± 0.06 ^{ab}	2.26 ± 0.17 ^{ab}
C22:0	1.07 ± 0.11 ^a	0.93 ± 0.01 ^b	N. D ^c	1.14 ± 0.07 ^a	N. D ^c
C23:0	16.10 ± 0.87 ^a	N. D ^c	N. D ^c	N. D ^c	9.24 ± 0.02 ^b
∑SFA	251.39 ± 11.74 ^a	210.32 ± 12.10 ^b	204.78 ± 5.49 ^b	187.54 ± 6.44 ^c	197.31 ± 10.62 ^{bc}
C16:1	56.60 ± 3.54 ^a	47.06 ± 0.67 ^b	43.90 ± 2.91 ^b	44.03 ± 1.85 ^b	43.23 ± 4.42 ^b
C17:1	1.95 ± 0.32	2.25 ± 0.41	1.99 ± 0.32	2.03 ± 0.01	2.14 ± 0.31
C18:1n-9	90.62 ± 2.92 ^{ab}	92.38 ± 5.05 ^a	84.68 ± 2.44 ^b	84.62 ± 3.33 ^b	85.68 ± 2.26 ^{ab}
C20:1	8.64 ± 1.47 ^b	13.51 ± 0.49 ^a	9.29 ± 2.06 ^b	14.26 ± 1.67 ^a	14.69 ± 0.55 ^a
C22:1n-9	5.77 ± 0.51 ^c	11.95 ± 0.73 ^b	14.13 ± 2.01 ^{ab}	16.04 ± 1.99 ^a	13.81 ± 1.41 ^{ab}
C24:1	1.06 ± 0.92 ^c	2.94 ± 0.30 ^a	1.94 ± 0.27 ^{bc}	2.55 ± 0.18 ^{ab}	2.57 ± 0.10 ^{ab}
∑MUFA	164.64 ± 5.00 ^{ab}	170.09 ± 6.16 ^a	155.93 ± 6.28 ^b	163.53 ± 2.36 ^{ab}	162.12 ± 3.99 ^{ab}
C18:2n-6	16.87 ± 2.24 ^a	11.26 ± 1.14 ^b	6.57 ± 2.48 ^c	11.08 ± 0.07 ^b	14.02 ± 1.60 ^{ab}
C18:3n-6	1.25 ± 0.07 ^a	N. D ^c	N. D ^c	N. D ^c	0.67 ± 0.03 ^b
C18:3n-3	6.50 ± 0.18 ^a	5.80 ± 0.51 ^a	4.43 ± 0.90 ^b	6.56 ± 0.67 ^a	5.70 ± 0.82 ^{ab}
C20:2	13.13 ± 1.86 ^a	9.25 ± 1.68 ^b	9.46 ± 2.59 ^b	9.63 ± 0.63 ^b	10.39 ± 0.41 ^{ab}
C20:4n-6	N. D ^c	7.53 ± 0 ^a	9.37 ± 2.27 ^a	5.07 ± 0.10 ^b	N. D ^c
C22:2	2.03 ± 1.78 ^b	4.06 ± 0.24 ^a	2.93 ± 0.52 ^{ab}	3.00 ± 0.19 ^{ab}	3.25 ± 0.50 ^{ab}
C20:5	100.12 ± 8.30	106.22 ± 7.77	97.30 ± 2.92	96.90 ± 2.65	98.65 ± 4.05
C22:6n-3	140.05 ± 7.14 ^{ab}	153.56 ± 12.37 ^a	132.78 ± 0.36 ^b	142.19 ± 16.08 ^{ab}	141.39 ± 5.66 ^{ab}
∑PUFA	279.95 ± 21.57 ^{ab}	297.68 ± 20.17 ^a	262.84 ± 8.55 ^b	274.43 ± 13.67 ^{ab}	274.07 ± 10.09 ^{ab}
∑n-3PUFA	146.55 ± 7.32 ^c	159.35 ± 11.88 ^b	137.21 ± 0.93 ^a	148.74 ± 16.74 ^b	147.08 ± 5.02 ^b
∑n-6PUFA	18.12 ± 2.31 ^c	18.79 ± 1.14 ^b	15.94 ± 3.48 ^a	16.15 ± 0.02 ^c	14.69 ± 1.57 ^c
n-3 PUFA / n-6 PUFA	8.14 ± 0.64 ^c	8.51 ± 0.98 ^b	8.87 ± 1.81 ^a	9.21 ± 1.02 ^c	10.07 ± 0.83 ^c

注:粗鱼油 1 为新鲜粗鱼油;粗鱼油 2 为储存 5 个月后的粗鱼油;N. D 为未检出;每行不同字母者表示存在显著性差异($p < 0.05$),没有字母表示无显著性差异。

从表 5 可以看出,该鱼油主要是由 C14 ~ C22 脂肪酸组成。在 -80℃ 条件下储藏 5 个月后, MUFA 和 PUFA 之间无显著性差异,说明 -80℃ 条件较适合该鱼油的保存。精炼前后, ∑MUFA/TFA

和 ∑PUFA/TFA 整体变化很小,脂肪酸种类基本不变, Menegazzo 等^[13]也有相同的发现,这可能与残留物以及皂类的去除有关。DHA、EPA 作为鱼油中重要的 PUFA,其含量分别占到精炼鱼油 PUFA 含量

的51.59%、35.99%。与储藏5个月后的粗鱼油相比,精炼前后, Σ PUFA/TFA变化不大,维持在1%的波动范围内。将精炼鱼油与储藏5个月后的粗鱼油中脂肪酸比较发现,精炼工艺对脂肪酸组成和 Σ PUFA和 Σ MUFA无显著性影响。

就 $n-3$ PUFA / $n-6$ PUFA 的比值而言,整体呈上升趋势,说明不饱和度升高,这主要由于 $n-6$ PUFA 含量的降低。经上述精炼工艺后,脱色油的脂肪酸总量为 633.50 mg/g,单不饱和脂肪酸含量为 (162.12 ± 3.99) mg/g,占总脂肪酸总量的 25.59%,多不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的 43.26%,EPA 和 DHA 的含量较高,占总脂肪酸含量的 37.89%,其含量在各文献鱼油中属于中等偏高的水平,可进一步提纯 EPA 和 DHA,且鱼油品质好,有较高的开发和应用前景。

3 结论

该深海杂鱼粗鱼油磷脂含量较低,品质高。适宜的精炼工艺为:选用体积分数为 80% 的磷酸脱胶效果较好,脱酸时,1.5% 超量碱就能使得酸值达到精制鱼油的一级标准,活性白土用量为 20% 既能保证鱼油色泽达标,也能尽可能减少鱼油损耗。在适宜条件下,精炼后鱼油的酸值(KOH)为 0.29 mg/g,过氧化值为 0.76 mmol/kg,各项指标均达到水产行业精制鱼油的一级标准。将稳定性较差的深海鱼油储藏在 -80°C 条件下能较好地防止长链不饱和脂肪酸的氧化。鱼油脂肪酸组成及含量在精炼过程中整体无明显变化,说明精炼过程没有引起脂肪酸的氧化分解。其中 SFA 含量略微减少。该深海杂鱼油中,DHA 和棕榈酸占主要成分,其次为 EPA,其中 DHA 占精炼油 PUFA 含量的 50% 以上,EPA 约占精炼油 PUFA 含量的 36%,DHA 与 EPA 之和占脂肪酸总量的 37.89%,优于一般 30% 的含量,经济效益高。

参考文献:

- [1] KOLANOWSKI W, WEIßBRODT J. Sensory quality of dairy products fortified with fish oil [J]. *Int Dairy J*, 2007, 17:1248-1253.
- [2] GOGUS U, SMITH C. $n-3$ Omega fatty acids: a review of current knowledge [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2010, 45: 417-436.
- [3] ELTWERI A M, THOMAS A L, METCALFE M, et al. Potential applications of fish oils rich in omega-3 polyunsaturated fatty acids in the management of gastrointestinal cancer[J]. *Clin Nutr*, 2017,36(1): 65-78.
- [4] ENDO J, ARITA M. Cardioprotective mechanism of omega-3 polyunsaturated fatty acids [J]. *J Cardiol*, 2016, 67: 22-27.
- [5] TAKAHATA K, MONOBE K I, TADA M, et al. The benefits and risks of $n-3$ polyunsaturated fatty acids [J]. *Bio-sci Biotechnol Biochem*,1998, 62:2079-2085.
- [6] CONNOR W E. Importance of $n-3$ fatty acids in health and disease [J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 71:171S-175S.
- [7] VAISALI C, CHARANYAA S, BELUR P D, et al. Refining of edible oils: a critical appraisal of current and potential technologies [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2015, 50: 13-23.
- [8] CREXI V T, MONTE M L, DE SOUZA SOARES L A, et al. Production and refinement of oil from carp (*Cyprinus carpio*) viscera [J]. *Food Chem*, 2010, 119(3): 945-950.
- [9] CHEW S C, TAN C P, LONG K, et al. Effect of chemical refining on the quality of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) seed oil [J]. *Ind Crops Prod*, 2016, 89:59-65.
- [10] 何莉萍,刘良忠,丁世勇. 草鱼内脏油的精制及阻抑鱼油氧化条件的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(5): 218-221.
- [11] 万楚筠,黄凤洪,李文林. 抗坏血酸-钼蓝光度法测定油脂中磷脂含量的研究[J]. *中国油脂*, 2006, 31(4):46-49.
- [12] 张静,陶宁萍,朱清澄,等. 秋刀鱼内脏磷脂的化学特性研究[J]. *中国油脂*,2017,42(8):28-31.
- [13] 李冲冲,李子豪,柳余莉,等. 鱼粉加工副产物中鱼油的精炼及其脂肪酸组成分析[J]. *食品科学*, 2015,36(20): 190-193.
- [14] 祝华明. 毛鱼油品质对脱色效果的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(14): 139-142.
- [15] 刘书成,章超桦,洪鹏志,等. 金枪鱼油的精炼工艺对脂肪酸组成的影响[J]. *湛江海洋大学学报*, 2006, 26(1): 41-46.
- [16] 赵阔,郑联合,张红建,等. 真空在罗非鱼油精炼工艺中的应用研究[J]. *中国油脂*,2016,41(6):101-105.