

酶法提取沙丁鱼内脏鱼油工艺优化及其品质分析

蒋璇靓^{1,2}, 李鑫森¹, 陈洪彬^{1,2}, 郭娟娟^{1,2}, 林 雯^{1,2}, 郭凤仙^{1,2}, 郑宗平^{1,2}

(1. 泉州师范学院 海洋与食品学院, 福建 泉州 362000; 2. 近海资源生物技术福建省
高校重点实验室, 福建 泉州 362000)

摘要:为提高沙丁鱼加工副产物的利用率,以沙丁鱼内脏为原料,研究5种蛋白酶(胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶和碱性蛋白酶)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响,并优选1种蛋白酶作为鱼油提取酶,以鱼油提取率为指标,通过单因素试验和正交试验确定沙丁鱼内脏鱼油提取的最佳工艺条件。对酶法提取的粗鱼油进行精制,对精制鱼油的理化指标和脂肪酸组成进行分析。结果表明:采用中性蛋白酶时,鱼油提取率最高;中性蛋白酶酶解提取沙丁鱼内脏鱼油的最佳工艺条件为料液比1:1、加酶量1%、酶解时间2 h、酶解pH 7、酶解温度50℃,在此条件下沙丁鱼内脏鱼油提取率可达67.86%;粗鱼油经精制后,达到SC/T 3502—2016精制鱼油的二级标准;精制鱼油中DHA含量为26.57%,EPA含量为2.64%,营养价值较高。

关键词:沙丁鱼;内脏;酶解法;鱼油;脂肪酸组成

中图分类号:TS224;TS225.2 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)11-0014-06

Optimization of enzymatic extraction of fish oil from sardine viscera and its quality analysis

JIANG Xuanjing^{1,2}, LI Xinmiao¹, CHEN Hongbin^{1,2}, GUO Juanjuan^{1,2},
LIN Luan^{1,2}, GUO Fengxian^{1,2}, ZHENG Zongping^{1,2}

(1. College of Oceanology and Food Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, Fujian, China; 2. Key Laboratory of Inshore Resources Biotechnology Fujian Province University, Quanzhou 362000, Fujian, China)

Abstract: In order to improve the utilization of processing by-products of sardine, sardine viscera was used as the experiment material to study the effects of five proteases, such as pepsin, papain, neutral protease, trypsin and alkaline protease on the extraction rate of fish oil, and one suitable protease was selected for the extraction of fish oil. Taking the extraction rate of sardine visceral fish oil as the index, the single factor experiment and orthogonal experiment were carried out to optimize the extraction conditions of fish oil from sardine viscera. In addition, the crude fish oil extracted from sardine viscera was refined, and the physicochemical indexes and fatty acid composition of the refined oil were analyzed. The results showed that the extraction rate of fish oil was the highest when neutral protease was used. The optimal extraction conditions were as follows: solid-liquid ratio 1:1, neutral protease addition amount 1%, enzymatic hydrolysis time 2 h, enzymatic hydrolysis pH 7, and enzymatic hydrolysis temperature 50℃. Under the optimal conditions, the extraction rate of fish oil reached 67.86%. After refining, the obtained refined fish oil reached the secondary standard of SC/T 3502-

2016. The contents of DHA and EPA in refined fish oil were 26.57% and 2.64%, respectively, indicating that sardine visceral fish oil had high nutritional value.

Key words: sardine; viscera; enzymatic hydrolysis; fish oil; fatty acid composition

收稿日期:2022-08-02;修回日期:2023-07-16

基金项目:泉州市“港湾计划”引进高层次人才团队项目(2018CT004)

作者简介:蒋璇靓(1988),女,讲师,硕士生导师,研究方向为食品加工与贮藏(E-mail)xuanlikemilk@126.com。

通信作者:郑宗平,教授(E-mail)zpsa@qztc.edu.cn。

沙丁鱼属于硬骨鱼纲中的鲱形目、鲱科,广泛分布在我国东南沿海和黄海北部海域内,是一类生长于近海的暖水性中上层鱼。沙丁鱼具有生长迅速、繁殖能力强等优点,主要用于制作油浸罐头、冷冻鱼丸、油炸鱼丸等方便食品^[1-2]。沙丁鱼内脏是沙丁鱼加工过程中的副产物,占沙丁鱼总质量的5%~11%,其含有丰富的蛋白质、脂肪,常被加工成鱼粉用于动物饲料中^[3],利用途径单一,经济价值低。通过先提取沙丁鱼内脏中的油脂,提油后产物再加工成鱼粉,可提高其利用率,提升其经济价值^[4-5]。

鱼油是多不饱和脂肪酸的重要来源,其所含的二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)具有预防心脑血管疾病、增强免疫力、抗炎等生理保健功能^[6-8]。当前鱼油提取的常用方法有蒸煮法、有机溶剂萃取法、酶法、超临界流体萃取法等^[9-12]。其中:蒸煮法无法有效分离与蛋白质结合的脂肪,鱼油提取率相对较低,且提取温度较高;有机溶剂萃取法存在溶剂残留风险;超临界流体萃取法具有鱼油提取率高、品质较好,提取过程污染少等优点,但其提取成本较高;酶法则利用蛋白酶的水解作用破坏脂肪和蛋白质的结合,能更大限度地提取鱼油,其生产工艺简单,所得鱼油品质较好,酶解后的蛋白质还可充分利用,是较优的鱼油提取方法^[13-14]。邵娜等^[15]采用胰蛋白酶提取草鱼内脏鱼油,提取率可达70.16%。付雪媛等^[16]采用中性蛋白酶酶解法与溶剂萃取法相结合的方法提取章鱼内脏鱼油,提取率为74.81%。张喆等^[17]采用碱性蛋白酶提取大黄鱼内脏鱼油,提取率可达72.45%。王倩倩等^[18]采用胰蛋白酶从罗非鱼内脏提取鱼油,提取率可达88.95%。

本课题组前期研究表明,沙丁鱼内脏中的脂肪含量高于章鱼、大黄鱼等鱼类内脏的,但从沙丁鱼内脏中提取鱼油的研究还鲜见报道,故本研究采用酶法从沙丁鱼内脏中提取鱼油,以期对沙丁鱼内脏的高值化利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

沙丁鱼内脏,惠安瑞芳食品有限公司提供,使用前置于冰箱-20℃冷冻备用;胃蛋白酶(2×10^5 U/g)、木瓜蛋白酶(2×10^5 U/g)、胰蛋白酶(2×10^5 U/g)、碱性蛋白酶(2×10^5 U/g),南宁庞博生物工程有限公司;中性蛋白酶(2×10^5 U/g),杜邦中国集团有限公司;盐酸、乙醇、乙醚、磷酸,西陇科学股份有限公司;其余试剂,国药集团化学试剂有限公司。

JR05-300 绞肉机,浙江绍兴苏泊尔生活电器

有限公司;BS124S 电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;H2050R 离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;PHS-3C 精密 pH 计,上海雷磁仪器有限公司;K9840 自动凯氏定氮仪,济南海能仪器股份有限公司;7890B 气相色谱仪,美国安捷伦公司。

1.2 试验方法

1.2.1 沙丁鱼内脏基本成分分析

水分含量的测定,参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中第一法直接干燥法;灰分测定,参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》第一法;蛋白质的测定,参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法凯氏定氮法;脂肪的测定,参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第二法酸水解法。

1.2.2 沙丁鱼内脏粗鱼油的酶法提取

参照付雪媛等^[16]的方法提取粗鱼油。沙丁鱼内脏匀浆处理后,称取一定质量的浆液于干燥的锥形瓶中,按照一定料液比加水并调节至所需的 pH,加蛋白酶搅拌均匀后置于恒温水浴锅中搅拌酶解一定时间。酶解完成后于 100℃处理 10 min 灭酶活,经 4 000 r/min 离心 10 min,分离上层,得到沙丁鱼内脏粗鱼油。

鱼油提取率按式(1)计算。

$$Y = m_2/m_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中:Y 为鱼油提取率; m_1 为原料中脂肪质量,g; m_2 为提取的粗鱼油质量,g。

1.2.3 沙丁鱼内脏鱼油的精制

脱胶:添加鱼油质量 1% 的 80% 磷酸于沙丁鱼内脏粗鱼油中,在 70℃下搅拌加热 20 min,以 4 000 r/min 离心 10 min,分离油样,得脱胶鱼油。

脱酸:添加鱼油质量 0.5% 的质量分数为 10% 的氢氧化钠溶液于脱胶鱼油中,在 70℃下搅拌加热 20 min,以 4 000 r/min 离心 10 min,分离油样,得脱酸鱼油。

脱色:添加 8% 的活性白土于脱酸鱼油中,在 60℃下搅拌加热 20 min,以 4 000 r/min 离心 10 min,分离油样,即得精制鱼油。

1.2.4 鱼油理化指标的测定

水分及挥发物测定,参照 GB 5009.236—2016《食品安全国家标准 动植物油水分及挥发物的测定》;酸值测定,参照 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》;过氧化值测定,参照 GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》;茴香胺值测定,参照 GB/T 24304—

2009《动植物油脂 茴香胺值的测定》;碘值测定,参照 GB/T 5532—2008《动植物油脂 碘值的测定》;外观、气味、不皂化物、不溶性杂质的测定,参照 SC/T 3502—2016《鱼油》。

1.2.5 脂肪酸组成分析

鱼油脂肪酸组成及含量的测定参考文献[2]的方法并略有修改。称取 1.00 g 沙丁鱼内脏鱼油于 10 mL 干燥的具塞试管中,加入 2 mL 0.4 mol/L NaOH-CH₃OH 溶液,超声振荡 30 min,加入 4 mL 乙醚,振荡后静置,加入蒸馏水分层,取有机相 1 mL,过膜备用,待气相色谱分析。气相色谱条件:Supelco SP-2560 柱(100 m×0.25 mm×0.2 μm);升温程序为 140℃保持 5 min,以 1.6℃/min 升温至 220℃,保持 30 min;进样口温度 220℃;FID 检测器温度 220℃;进样量 1 μL;载气为氮气,流速 1 mL/min;氢气流速 30 mL/min;空气流速 400 mL/min。通过与标准品对照定性,采用面积归一法定量。

1.2.6 数据处理

试验结果以“平均值±标准偏差”表示;采用 SPSS 22.0 统计软件进行数据统计与方差分析,显著性水平为 $p < 0.05$,极显著水平为 $p < 0.01$ 。

2 结果与讨论

2.1 沙丁鱼内脏基本成分

沙丁鱼内脏基本成分如表 1 所示。

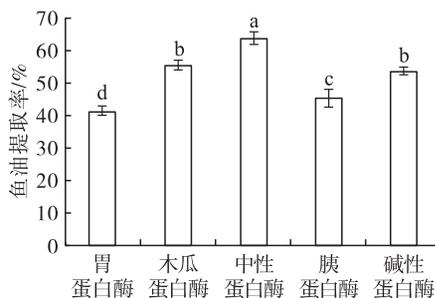
表 1 沙丁鱼内脏基本成分

成分	含量/%
脂肪	32.60±0.53
蛋白质	12.80±0.29
灰分	0.87±0.11
水分	53.10±0.62

由表 1 可知,沙丁鱼内脏脂肪含量高达 32.60%,略高于大黄鱼内脏脂肪含量(31.60%)^[17],远高于章鱼内脏脂肪含量(5.69%)^[16],沙丁鱼内脏脂肪含量丰富,利于鱼油提取。此外,沙丁鱼内脏蛋白质含量也较高,提取鱼油后的内脏可以进一步提取蛋白质,以充分利用内脏中的营养物质。

2.2 不同蛋白酶对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

选用胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶、碱性蛋白酶作为试验用酶,在各自标示的最适温度(分别为 37、65、50、37、45℃)和 pH(分别为 2、6、7、8、10)条件下进行酶解提取鱼油,其他酶解条件为加酶量 2%、料液比 1:1、酶解时间 2 h。5 种蛋白酶对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响如图 1 所示。



注:不同字母表示存在显著性差异($p < 0.05$)。下同

图 1 不同蛋白酶对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 1 可知:中性蛋白酶的鱼油提取率(63.81%)最高,且显著高于其他蛋白酶的($p < 0.05$);木瓜蛋白酶的鱼油提取率(55.62%)次之,且与碱性蛋白酶的鱼油提取率无显著差异;胃蛋白酶的鱼油提取率最低,仅为 42.39%。5 种蛋白酶的鱼油提取率不同主要是因为各蛋白酶对肽键的专一性具有差异^[14,18]。例如:中性蛋白酶是内切蛋白酶,在适宜温度、pH 下,能高效地将大分子蛋白质分解为多肽及氨基酸等产物;木瓜蛋白酶属于含巯基肽链内切酶,具有蛋白酶和脂酶的活性,对动植物蛋白、多肽、酯、酰胺等有较强的酶解能力,同时还具有合成的能力,可把蛋白质水解物再合成蛋白质;胃蛋白酶在对蛋白质或多肽进行剪切时,具有一定的氨基酸序列特异性,它倾向于剪切氨基端或羧基端为芳香族的氨基酸。根据试验结果,确定将中性蛋白酶作为提取沙丁鱼内脏鱼油的适宜蛋白酶。

2.3 中性蛋白酶酶解提取沙丁鱼内脏鱼油单因素试验

2.3.1 酶解 pH 对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

设定酶解温度 50℃、酶解时间 2 h、加酶量 2%、料液比 1:1,研究不同酶解 pH(5、6、7、8、9)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响,结果如图 2 所示。

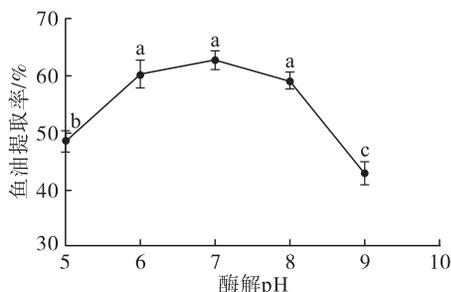


图 2 酶解 pH 对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 2 可知,随着酶解 pH 的升高,鱼油提取率先增加后降低的趋势。当酶解 pH 为 7 时,鱼油提取率最高,酶解 pH 超过 7 后,鱼油提取率下降。酶解 pH 为 6、7、8 的鱼油提取率无显著性差异。本试验所用中性蛋白酶标示的最适 pH 为 7。因此,酶解工艺的最佳酶解 pH 定为 7。

2.3.2 酶解温度对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

设定酶解 pH 7、酶解时间 2 h、加酶量 2%、料液比 1:1, 研究不同酶解温度(40、45、50、55、60℃)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响, 结果如图 3 所示。

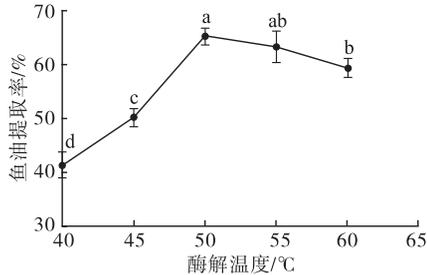


图 3 酶解温度对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 3 可知, 当中性蛋白酶的酶解温度从 40℃ 上升至 50℃ 时, 鱼油提取率随酶解温度的升高显著增加, 但当酶解温度超过 50℃ 时, 鱼油提取率则有所下降。本试验所用中性蛋白酶标示的最适使用温度为 50℃, 与研究结果相符。酶解反应体系温度较低时, 蛋白酶的活力受到抑制; 在适宜的酶解温度范围内时, 酶解温度升高可以加快反应中分子的热运动, 有利于鱼油的提取; 但反应体系温度过高则会使酶变性失活, 影响蛋白酶的酶解效果^[17]。因此, 选取 50℃ 作为中性蛋白酶酶解沙丁鱼内脏提取鱼油的适宜温度。

2.3.3 酶解时间对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

设定酶解 pH 7、酶解温度 50℃、加酶量 2%、料液比 1:1, 研究酶解时间(1、1.5、2、2.5、3 h)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响, 结果如图 4 所示。

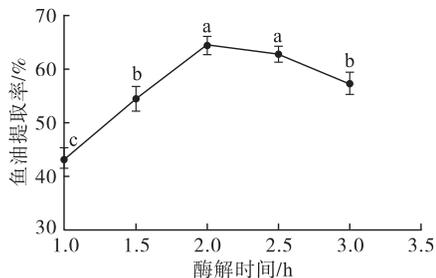


图 4 酶解时间对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 4 可知, 在酶解时间 1~2 h 时, 鱼油提取率随蛋白酶的酶解时间延长而提高, 酶解时间超过 2 h 后鱼油提取率开始下降。这是由于随着酶解时间的延长, 酶与底物的作用更充分, 而蛋白质与脂肪的结合也被破坏得更加充分, 进而得以释放更多的脂肪^[19]。当酶充分发挥作用之后, 随着反应时间的延长酶的热稳定性有所下降, 从而导致鱼油的提取率下降; 另外, 反应时间过长不仅会使鱼油中的多不饱和脂肪酸发生氧化, 生成深色物质, 降低鱼油品质, 并且酶解时间过长会形成乳状液, 不利于脂质的释放^[9]。因此, 选取 2 h 作为适宜的酶解时间。

2.3.4 加酶量对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

设定酶解 pH 7、酶解温度 50℃、酶解时间 2 h、料液比 1:1, 研究加酶量(0、0.5%、1%、1.5%、2%)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响, 结果如图 5 所示。

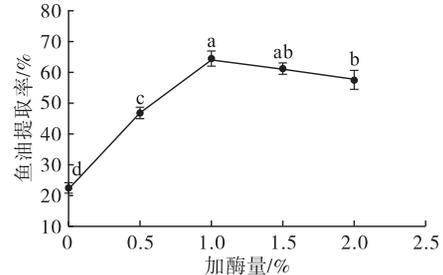


图 5 加酶量对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 5 可知, 随着加酶量的增多, 沙丁鱼内脏鱼油提取率呈先升后降的趋势, 当加酶量为 1% 时, 鱼油提取率最高, 达到 64.17%, 而继续增加加酶量, 鱼油提取率反而有所下降。这可能是因为当底物浓度一定时, 加酶量的增加可使底物与酶反应得更加充分, 沙丁鱼内脏中的蛋白质也能分解得更充分^[20], 而水解度过高会导致乳状液形成, 不利于脂质的释放; 过高的加酶量对酶本身也会有一定的水解, 降低酶的活性^[9,17]。考虑到加酶量增加也会增加成本, 因此确定 1% 为最适加酶量。

2.3.5 料液比对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

设定酶解 pH 7、酶解温度 50℃、酶解时间 2 h、加酶量 1%, 研究不同料液比(1:4、1:3、1:2、1:1、2:1)对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响, 结果如图 6 所示。

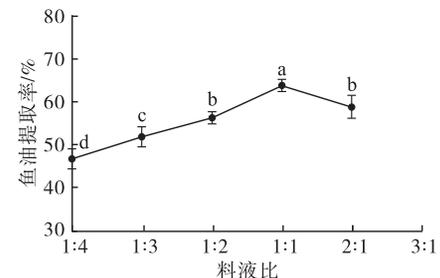


图 6 料液比对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响

由图 6 可知, 随着料液比的增大, 鱼油提取率逐渐升高, 当料液比为 1:1 时, 鱼油提取率最高, 达到 63.53%, 之后, 随着料液比的继续增大, 鱼油提取率下降。这是由于蛋白酶在底物中分布不均匀, 底物与酶不能很好地相互接触, 在底物中添加适量的水有利于酶解和脂肪分子的释放, 但水添加量过多, 酶的浓度会降低, 与底物的接触机会减少。因此, 选择 1:1 作为最佳料液比。

2.4 中性蛋白酶酶解提取沙丁鱼内脏鱼油的正交试验

在单因素试验的基础上, 选定酶解 pH 7、酶解

温度 50℃,以酶解时间(A)、加酶量(B)、料液比(C)为考察因素,以沙丁鱼内脏鱼油提取率作为评价指标,采用 $L_9(3^4)$ 正交表设计试验,优化中性蛋白酶酶解提取沙丁鱼内脏鱼油的工艺条件。正交试验因素与水平见表 2,正交试验设计与结果见表 3,方差分析见表 4。

表 2 正交试验因素与水平

水平	A 酶解时间/h	B 加酶量/%	C 料液比
1	1.5	0.5	1:2
2	2.0	1.0	1:1
3	2.5	1.5	2:1

表 3 正交试验设计与结果

试验号	A	B	C	D(空列)	鱼油提取率/%
1	1	1	1	1	51.28
2	1	2	2	2	65.53
3	1	3	3	3	61.55
4	2	1	2	3	63.28
5	2	2	3	1	66.08
6	2	3	1	2	59.11
7	3	1	3	2	59.51
8	3	2	1	3	59.37
9	3	3	2	1	64.81
k_1	59.45	58.02	56.59	60.72	
k_2	62.82	63.66	64.54	61.38	
k_3	61.23	61.82	62.38	61.40	
R	3.37	5.64	7.95	0.68	

表 4 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F	p
A	17.052 2	2	8.526 1	19.079 2	0.049 8*
B	49.585 4	2	24.792 7	55.479 8	0.017 7*
C	101.483 8	2	50.741 9	113.547 6	0.008 7**
D	0.893 8	2	0.446 9		
总和	169.015 1	8			

注: **表示影响极显著($p < 0.01$), *表示影响显著($p < 0.05$)

由表 3、表 4 可知,酶解时间、加酶量、料液比对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响的主次顺序为料液比 > 加酶量 > 酶解时间,其中,料液比对鱼油提取率的影响极显著,酶解时间和加酶量的影响显著。最佳酶解条件组合为 $A_2B_2C_2$,即酶解时间 2 h、加酶量 1%、料液比 1:1。在最佳条件下进行验证试验,沙丁鱼内脏鱼油提取率为 $(67.86 \pm 1.29)\%$ 。

2.5 精制沙丁鱼内脏鱼油品质的分析

2.5.1 理化指标

在优化的工艺条件下,采用中性蛋白酶酶解提取沙丁鱼内脏鱼油,并按 1.2.3 方法进行精制,对得到的精制沙丁鱼内脏鱼油品质进行分析,并与 SC/T 3502—2016 对照,结果如表 5 所示。

由表 5 可知,精制沙丁鱼内脏鱼油主要理化指标均达到 SC/T 3502—2016 精制鱼油二级标准,其中碘值较高,说明利用酶解工艺提取的内脏鱼油的不饱和脂肪酸含量丰富,鱼油质量较高,可用于进一步开发鱼油制品。

表 5 沙丁鱼内脏鱼油主要理化性质

项目	精制沙丁鱼内脏鱼油	SC/T 3502—2016 精制鱼油	
		一级	二级
外观	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	
气味	稍有鱼腥味,无鱼油酸败味	稍有鱼油特有的腥味,无鱼油酸败味	
酸值(KOH)/(mg/g)	2.39 ± 0.27	≤ 1.0	≤ 3.0
碘值(I)/(g/100 g)	145.52 ± 1.85	≥ 140	≥ 140
过氧化值/(mmol/kg)	4.16 ± 0.43	≤ 2.5	≤ 5.0
茴香胺值	22.13 ± 0.39	≤ 20.0	≤ 25.0
水分及挥发物/%	0.15 ± 0.02	≤ 0.1	≤ 0.2
不皂化物/%	1.35 ± 0.11	≤ 1.5	≤ 3.0
不溶性杂质/%	0.08 ± 0.01	≤ 0.1	≤ 0.1

2.5.2 脂肪酸组成

按 1.2.5 方法对沙丁鱼内脏鱼油脂酸组成进行分析,结果如表 6 所示。

由表 6 可知,从沙丁鱼内脏鱼油中检测出 15 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸各有 5 种。与粗鱼油相比,精制鱼油饱和脂肪酸相对含量略有下降,不饱和脂肪酸相对含量略有增加。酶法提取的沙丁鱼内脏鱼油中饱和脂肪

酸主要是棕榈酸,分别占粗鱼油和精制鱼油中饱和脂肪酸的 62.09% 和 63.64%;单不饱和脂肪酸以油酸为主,分别占粗鱼油和精制鱼油中单不饱和脂肪酸的 55.51% 和 59.10%;精制鱼油中多不饱和脂肪酸相对含量为 42.80%,其中 DHA 的含量最高,占多不饱和脂肪酸总量的 62.08%,其次为花生四烯酸、EPA、亚油酸和亚麻酸。沙丁鱼内脏鱼油中 DHA 含量较高,具有很好的开发利用价值。

表 6 沙丁鱼内脏鱼油脂肪酸组成及相对含量 %

脂肪酸	粗鱼油	精制鱼油
肉豆蔻酸(C14:0)	4.95	4.16
十五烷酸(C15:0)	1.29	1.05
棕榈酸(C16:0)	23.94	22.35
棕榈烯酸(C16:1)	4.10	5.45
十七烷酸(C17:0)	1.15	1.58
十七碳烯酸(C17:1)	1.92	0.94
硬脂酸(C18:0)	7.23	5.98
油酸(C18:1)	12.90	13.05
亚油酸(C18:2)	2.09	2.40
亚麻酸(C18:3)	0.91	0.82
二十碳烯酸(C20:1)	0.63	0.60
花生四烯酸(C20:4)	10.25	10.37
EPA	2.59	2.64
二十二碳烯酸(C22:1)	3.69	2.04
DHA	22.36	26.57
饱和脂肪酸	38.56	35.12
单不饱和脂肪酸	23.24	22.08
多不饱和脂肪酸	38.20	42.80

3 结 论

沙丁鱼内脏脂肪含量高达 32.60%，利于鱼油提取。通过比较胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、中性蛋白酶、胰蛋白酶、碱性蛋白酶对沙丁鱼内脏鱼油提取率的影响，选定中性蛋白酶作为提取沙丁鱼内脏鱼油的适宜酶，再通过单因素试验和正交试验，得到酶法提取沙丁鱼内脏鱼油的最佳工艺条件：料液比 1:1，加酶量 1%，酶解时间 2 h，酶解 pH 7，酶解温度 50℃。在最佳提取条件下，沙丁鱼内脏鱼油提取率可达 67.86%。所得粗鱼油经精制后，达到 SC/T 3502—2016 精制鱼油的二级标准，表明沙丁鱼内脏在鱼油的生产和加工中具有较高的利用价值。精制鱼油中富含 DHA，营养价值较高，具有良好的发展前景。

参考文献：

[1] 张蒙娜, 宋恭帅, 彭茜, 等. 响应面法优化精制沙丁鱼油 EPA 和 DHA 富集工艺[J]. 中国油脂, 2018, 43(8):42-46.

[2] CHAKRABORTY K, JOSEPH D. Production and characterization of refined oils obtained from Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) [J]. J Agric Food Chem, 2015, 63:998-1009.

[3] 赵帅东, 尹轩威, 刘宇, 等. 不同发酵方式制备沙丁鱼下脚料速酿鱼露[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(23):143-148.

[4] CARVALHO A P, AMORIM M, RODRÍGUEZ - ALCALÁ L, et al. Sardine canning byproducts as sources of functional

ingredients[J]. ACS Sustain Chem Eng, 2018, 6(11):15447-15454.

[5] 张蒙娜, 宋恭帅, 彭茜, 等. 精制沙丁鱼油品质及挥发性风味成分分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(4):48-52.

[6] ZHANG X B, LIN L, CHEN Z X, et al. Characterization of refined fish oil from small fish in Mauritania[J]. Aquac Fish, 2022, 7(6):639-646.

[7] 张蒙娜. 沙丁鱼油中 EPA 和 DHA 富集工艺的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2019.

[8] MIYASHITA K. Prevention of fish oil oxidation[J]. J Oleo Sci, 2019, 68(1):1-11.

[9] 王正云, 蒋慧亮, 周洁, 等. 微波辅助酶法提取青鱼内脏鱼油工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3):182-187.

[10] 张雅婷, 王芳, 曹珍珍, 等. 草鱼内脏油脂的提取方法及贮藏特性研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6):121-125.

[11] GEDI M A, BAKAR J, MARIOD A A. Optimization of supercritical carbon dioxide (CO₂) extraction of sardine (*Sardinella lemuru* Bleeker) oil using response surface methodology (RSM) [J/OL]. Grasas Aceites, 2015, 66(2):4142 [2022-08-02]. <https://doi.org/10.3989/gya.0824142>.

[12] MELGOSA R, SANZ M T, BELTRÁN S. Supercritical CO₂ processing of omega-3 polyunsaturated fatty acids - towards a biorefinery for fish waste valorization[J/OL]. J Supercrit Fluid, 2021, 169:105121 [2022-08-02]. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.105121>.

[13] AITTA E, MARSOL - VALL A, DAMERAU A, et al. Enzyme - assisted extraction of fish oil from whole fish and by - products of baltic herring (*Clupea harengus membras*) [J/OL]. Foods, 2021, 10:1811 [2022-08-02]. <https://doi.org/10.3390/foods.10081811>.

[14] 王苗苗, 罗庆华, 王海磊, 等. 酶解法提取大鲵尾部油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(4):6-10.

[15] 邵娜, 刘学军. 胰蛋白酶法提取草鱼内脏鱼油工艺优化[J]. 食品科学, 2013, 34(2):110-113.

[16] 付雪媛, 钟宏, 宋文山, 等. 章鱼内脏鱼油的提取及品质分析[J]. 中国油脂, 2020, 45(5):17-22.

[17] 张喆, 梁鹏, 许艳萍, 等. 酶解法提取大黄花鱼内脏鱼油的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1):112-116.

[18] 王倩倩, 吕顺, 陆剑锋, 等. 酶法提取罗非鱼内脏鱼油及脂肪酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(9):72-78.

[19] 顾盼祺, 魏晓倩, 赵利, 等. 酶法提取淡水鱼内脏鱼油的工艺优化[J]. 中国调味品, 2021, 46(3):95-99.

[20] 石迪, 郝剑君, 杨小克, 等. 微碱条件生物酶法提取鲑鱼油工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2):277-281.