

大鲵肝油的酶解法制备工艺优化及理化性质分析

陈彦婕¹, 唐嘉诚¹, 宫莹¹, 黄可承¹, 单钱艺², 包建强^{1,3,4}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海市质量监督检验技术研究院 国家食品质量监督检验中心, 上海 200233; 3. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(上海), 上海 201306)

摘要:为提高大鲵下脚料的综合利用价值,以人工养殖大鲵肝脏为原料,采用酶解法提取大鲵肝油。先对蛋白酶进行了筛选,再采用单因素实验考察了pH、液固比、酶添加量、酶解时间、酶解温度对大鲵肝油提取率的影响,在此基础上利用响应面法优化大鲵肝油提取的工艺条件,并对精炼前后大鲵肝油的理化指标及脂肪酸组成进行了测定。结果表明:大鲵肝油提取的最优工艺条件为选用木瓜蛋白酶、pH 6.5、液固比 2.5:1、酶添加量 2 100 U/g、酶解时间 4 h、酶解温度 65 ℃,在此条件下大鲵肝油提取率为 79.92%;粗制大鲵肝油的酸值(KOH)为 5.73 mg/g,过氧化值为 1.04 mmol/kg,碘值(I)为 124.60 g/100 g,不饱和脂肪酸含量为 69.75%;精制大鲵肝油的酸值(KOH)为 0.93 mg/g,过氧化值为 0.43 mmol/kg,碘值(I)为 129.40 g/100 g,共检出 18 种脂肪酸,不饱和脂肪酸含量为 73.55%,其中多不饱和脂肪酸含量为 33.88%。使用木瓜蛋白酶酶解提取大鲵肝油反应条件温和、操作简便、提取率高,所得大鲵肝油品质好,不饱和脂肪酸含量丰富,具有较高的营养价值。

关键词:大鲵肝油;酶解法;响应面法;理化性质;脂肪酸

中图分类号:TS224;TS227

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2023)03-0001-07

Enzymatic preparation process optimization and physicochemical properties analysis of giant salamander liver oil

CHEN Yanjie¹, TANG Jiacheng¹, GONG Xuan¹, HUANG Kecheng¹,
SHAN Qianyi², BAO Jianqiang^{1,3,4}

(1. College of Food Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Food Quality Supervision and Inspection Center, Shanghai Institute of Quality Supervision and Inspection Technology, Shanghai 200233, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 4. Ministry of Agriculture Laboratory for Quality, Safety and Risk Assessment of Storage and Preservation of Aquatic Products(Shanghai), Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive utilization value of the waste material of giant salamander, the oil was extracted from liver of artificial cultured giant salamander by enzymatic hydrolysis method. The protease was screened, and the influences of pH, liquid - solid ratio, enzyme dosage, enzymolysis time and enzymolysis temperature on the extraction rate of giant salamander liver oil were investigated by single factor experiment. On this basis, the giant salamander liver oil extraction process conditions were optimized by response surface methodology. The physicochemical indicators and fatty acid composition of the giant salamander liver oil before and after refining were determined. The results showed that the optimal conditions of extracting oil from giant salamander liver were obtained as follows:

using papain, pH 6.5, liquid - solid ratio 2.5:1, enzyme dosage 2 100 U/g, enzymolysis time 4 h, and enzymolysis temperature 65 ℃. Under these conditions, the extraction rate of giant salamander liver oil was 79.92%. The acid value, peroxide

收稿日期:2022-02-24;修回日期:2022-10-27

作者简介:陈彦婕(1996),女,在读硕士,研究方向为水产品加工及贮藏(E-mail)1003971718@qq.com。

通信作者:包建强,教授(E-mail)baojq@shou.edu.cn。

value, iodine value and content of unsaturated fatty acid of the crude giant salamander liver oil were 5.73 mgKOH/g, 1.04 mmol/kg, 124.60 g/100 g and 69.75%, respectively. The acid value, peroxide value and iodine value of the refined giant salamander liver oil were 0.93 mgKOH/g, 0.43 mmol/kg, 129.40 g/100 g, respectively. A total of 18 fatty acids were detected in refined giant salamander liver oil, and the contents of unsaturated fatty acid and polyunsaturated fatty acid were 73.55% and 33.88%, respectively. Using papain to extract giant salamander liver oil has advantages of mild reaction conditions, simple operation and high extraction rate. The giant salamander liver oil obtained is of good quality, rich in content of unsaturated fatty acids, and has high nutritional value.

Key words: giant salamander liver oil; enzymatic extraction process; response surface methodology; physicochemical property; fatty acid

中国大鲵 (*Andrias davidianus*) 又称“娃娃鱼”, 是我国名贵的两栖动物之一^[1], 其蛋白质等营养物质含量丰富^[3], 具有较高的营养和药用价值^[4]。目前市场上主要以加工利用大鲵肉为主^[5], 随之产生了大量的下脚料, 如皮、肝脏等, 对下脚料不加以利用不仅浪费资源, 而且在一定程度上影响了环境。大鲵油含有丰富的多不饱和脂肪酸如 DHA^[3,6], DHA 具有预防和改善心血管疾病^[7]、提高人体免疫力^[8]、抗炎^[9]、抗肥胖^[10] 及促进婴儿发育^[11] 等功效。因此, 利用大鲵下脚料生产具有保健功能的高附加值油脂及其制品可有效提高大鲵的综合利用价值。

大鲵油的提取方法主要有碱水解法和酶解法。酶解法^[12] 产生的废弃物对环境的影响小, 较为环保, 近年来被广泛采用, 且现有研究大部分使用大鲵尾脂提取大鲵油, 如张佳婵^[13]、辛茜^[14] 等分别使用碱性蛋白酶和风味蛋白酶提取大鲵尾脂油。目前对于大鲵内脏油的研究较少, 且主要研究陕西汉中^[15-16] 及湖南张家界^[17] 等产区的大鲵, 而对浙江丽水产区的大鲵暂无研究。

本文以浙江省丽水市人工养殖大鲵的肝脏为原料, 在单因素实验的基础上通过响应面实验优化酶解法提取大鲵肝油的工艺条件, 对精炼前后大鲵肝油的理化性质、脂肪酸组成及含量进行分析, 旨在开发一种经济有效的大鲵肝油提取及精炼方法, 以期为大鲵肝油的大规模生产应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

大鲵肝脏, 由丽水市大鲵养殖基地提供。木瓜蛋白酶 (2×10^5 U/g)、碱性蛋白酶 (2×10^5 U/g)、中性蛋白酶 (5×10^4 U/g)、风味蛋白酶 (3×10^4 U/g)、

胰蛋白酶 (2.5×10^5 U/g), 北京索莱宝科技有限公司; 氢氧化钠、盐酸均为分析纯, 上海源叶生物科技有限公司; 冰乙酸、三氯甲烷、可溶性淀粉、碘化钾、环己烷、韦氏试剂、氢氧化钾、乙醚、异丙醇、酚酞均为分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司; 37 种脂肪酸甲酯标准品, 上海安谱科技有限公司。

1.1.2 仪器与设备

DK-S28 型水浴锅; DS-1 高速组织捣碎机; H-1850R 型台式高速冷冻离心机; DHG-9073BS-III 电热型恒温鼓风干燥箱; AUY220 型电子分析天平; 全自动脂肪抽提仪, FOSS 公司; GC-2010 Plus 气相色谱仪, 岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

取新鲜宰杀的大鲵肝脏, 将筋膜剔除后用组织捣碎机捣碎, 放入 -18°C 冰箱中备用。

1.2.2 大鲵肝脏粗脂肪含量的测定

参照 GB 5009.6—2016 采用索氏抽提法测定粗脂肪含量。

1.2.3 酶解法提取大鲵肝油

称取一定量解冻的大鲵肝脏, 按照一定的液固比加入蒸馏水, 均质后, 调节 pH, 加入酶制剂于一定温度下水浴酶解一定时间, 85°C 下灭酶 15 min, 8 000 r/min 下离心 15 min, 取上层油脂, 即为粗制大鲵肝油。以粗制大鲵肝油质量与大鲵肝脏中粗脂肪质量的比值计算大鲵肝油提取率。

1.2.4 大鲵肝油的精炼

脱胶: 取一定质量的粗制大鲵肝油, 水浴加热到 60°C , 加入油质量 1% 的体积分数为 60% 的磷酸, 200 r/min 搅拌下水浴 10 min 后, 在 6 000 r/min 下离心 20 min, 取上层油样, 即为脱胶大鲵肝油。

脱酸: 取一定质量的脱胶大鲵肝油, 水浴加热到 60°C , 加入 0.5% 4 mol/L 的氢氧化钠溶液,

200 r/min搅拌下水浴 30 min 后,在 5 000 r/min 下离心 15 min,取上层油样,加入油质量 10% 的热去离子水洗去残留皂脚,重复 2 次,在 5 000 r/min 下离心 5 min,取上层油样,即为脱酸大鲛肝油。

脱色:取一定质量脱酸大鲛肝油,水浴加热到 60 ℃,添加油质量 1.5% 的活性白土后,200 r/min 搅拌下水浴 30 min,6 000 r/min 下离心 20 min,取上层油样,即为精制大鲛肝油。

1.2.5 大鲛肝油理化指标的测定

酸值参照 GB 5009.229—2016 测定,碘值参照 GB/T 5532—2008 测定,过氧化值参照 GB 5009.227—2016 测定,水分及挥发物含量参照 GB 5009.236—2016 测定。

1.2.6 大鲛肝油脂肪酸组成及含量测定

参照 GB 5009.168—2016 进行甲酯化后,进气相色谱仪测定。气相色谱条件:TR-FAME 色谱柱(100.0 m×0.25 mm×0.20 μm),进样口温度 240.0 ℃,检测器温度 280.0 ℃,分流比 1:50,进样量 1 μL。

1.2.7 数据处理

使用 Design Expert 12 进行响应面实验设计分析,使用 Origin 2017 软件进行作图,并用 SPSS 18 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 大鲛肝脏的粗脂肪含量

经测定,大鲛肝脏中粗脂肪含量为 22.83%,占肝脏干质量的 75.44%,说明大鲛肝脏中粗脂肪含量相对较高。

2.2 酶制剂的筛选

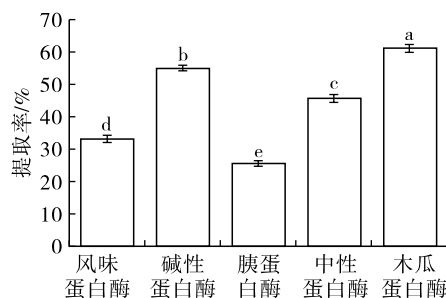
在酶添加量 2 000 U/g、酶解时间 2 h、液固比 2:1 条件下,分别选用风味蛋白酶、碱性蛋白酶、胰蛋白酶、中性蛋白酶、木瓜蛋白酶(各自酶解温度和 pH 见表 1)酶解提取大鲛肝油,考察酶种类对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 1。

表 1 不同蛋白酶的酶解条件

酶种类	pH	温度/℃
风味蛋白酶	7.5	55
碱性蛋白酶	10	45
胰蛋白酶	8	40
中性蛋白酶	7	40
木瓜蛋白酶	7	55

由图 1 可知,木瓜蛋白酶酶解大鲛肝油提取率最高,达到 61.03%,碱性蛋白酶次之,胰蛋白酶和风味蛋白酶的酶解效果较差。不同蛋白酶对蛋白质水解具有不同的专一性,木瓜蛋白酶对于大鲛肝脏中的蛋白质具有较好的水解作用,使得蛋白质与油

脂可以较好的分离,且木瓜蛋白酶来源广泛、质优价廉,适宜工业化大规模生产,因此选择木瓜蛋白酶进行大鲛肝脏的酶解。



注:不同小写字母表示差异显著。下同

图 1 酶种类对大鲛肝油提取率的影响

2.3 大鲛肝油提取单因素实验

2.3.1 pH 对大鲛肝油提取率的影响

在酶添加量 2 000 U/g、酶解温度 55 ℃、液固比 2:1、酶解时间 2 h 条件下,考察 pH 对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 2。

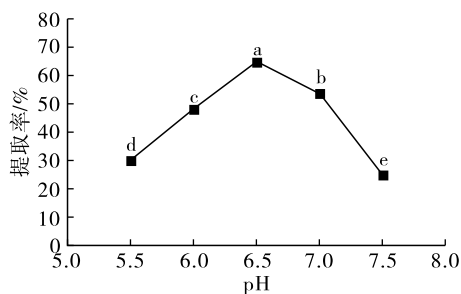


图 2 pH 对大鲛肝油提取率的影响

由图 2 可知,在 pH 为 6.5 时大鲛肝油提取率最高,为 64.67%。依据酶促反应动力学,pH 过高或过低都会影响酶对底物的反应强度,使酶的活性降低,影响蛋白质的水解。在 pH 5.5~6.5 范围内,大鲛肝油提取率随着 pH 的增加而提高,且速度较快,说明酶与底物反应充分;在 pH 大于 6.5 时,大鲛肝油提取率随着 pH 的增加而降低,在 pH 7.0~7.5 时提取率下降尤为明显,说明 pH 过高抑制了酶的活性,降低了酶对底物的反应强度,从而使提取率降低。

2.3.2 液固比对大鲛肝油提取率的影响

在酶添加量 2 000 U/g、酶解温度 55 ℃、酶解 pH 6.5、酶解时间 2 h 条件下,考察液固比对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 3。

由图 3 可知,在液固比为 2.5:1 时大鲛肝油提取率最高,为 68.77%。在液固比为 1.5:1~2.5:1 范围内,大鲛肝油提取率随着液固比的增加而增加,可见在一定范围内,液固比的提高可以促进分子的扩散速度,酶与底物可以充分反应,从而提高提取率。当液固比大于 2.5:1 时,大鲛肝油提取率随着

液固比的增加而降低,这是因为液固比过高,底物浓度随之降低,从而降低了底物与蛋白酶的接触,导致提取率降低。

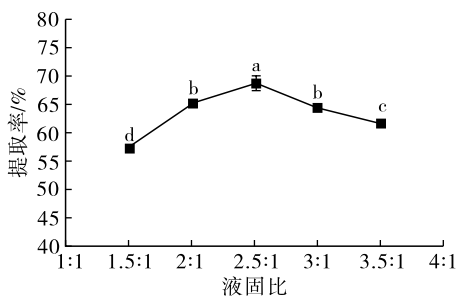


图3 液固比对大鲛肝油提取率的影响

2.3.3 酶添加量对大鲛肝油提取率的影响

在酶解 pH 6.5、液固比 2.5:1、酶解温度 55℃、酶解时间 2 h 条件下,考察酶添加量对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 4。

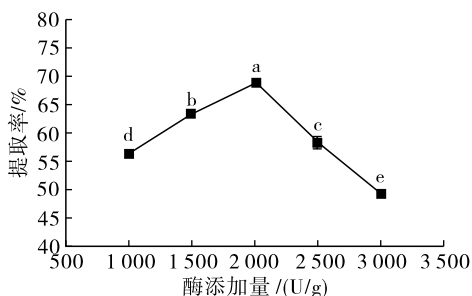


图4 酶添加量对大鲛肝油提取率的影响

由图 4 可知,随着酶添加量的增加,大鲛肝油提取率先升高后迅速下降,在酶添加量为 2 000 U/g 时提取率最高,为 68.84%。

2.3.4 酶解时间对大鲛肝油提取率的影响

在酶添加量 2 000 U/g、酶解温度 55℃、酶解 pH 6.5、液固比 2.5:1 条件下,考察酶解时间对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 5。

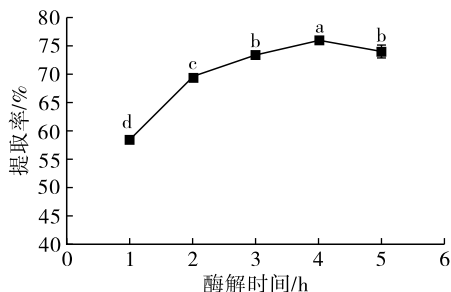


图5 酶解时间对大鲛肝油提取率的影响

由图 5 可知,酶解时间为 4 h 时大鲛肝油提取率最高,为 75.83%。在酶解时间 1~4 h 范围内,随着酶解时间的延长,酶与底物反应更彻底,提取率显著增加。在酶解时间超过 4 h 时,大鲛肝油提取率随着酶解时间的延长略有降低,可能是酶解时间过长导致

脂肪分解。因此,选择 4 h 作为最优酶解时间。

2.3.5 酶解温度对大鲛肝油提取率的影响

在酶添加量 2 000 U/g、酶解时间 4 h、酶解 pH 6.5、液固比 2.5:1 条件下,考察酶解温度对大鲛肝油提取率的影响,结果见图 6。

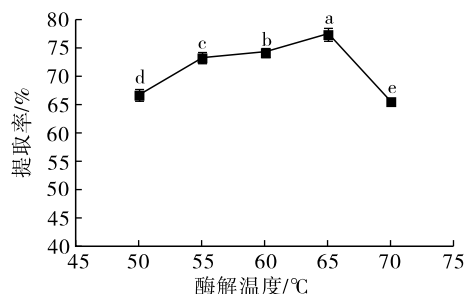


图6 酶解温度对大鲛肝油提取率的影响

由图 6 可知,酶解温度为 65℃ 时大鲛肝油提取率最高,为 77.30%。在酶解温度 50~65℃ 范围内,大鲛肝油提取率随着酶解温度的升高而增加,在酶解温度超过 65℃ 时,大鲛肝油提取率随着酶解温度的升高而降低。酶解温度的升高有助于增加酶的活性,从而使提取率增高,但温度过高会使酶变性失活,脂肪也会分解,导致提取率降低。因此,选择 65℃ 作为最优酶解温度。

2.4 大鲛肝油提取响应面实验

2.4.1 响应面实验设计及结果

在单因素实验的基础上,固定酶解时间 4 h、酶解温度 65℃,应用 Design Expert 12 软件,采用三因素三水平的响应面实验,以 pH(A)、液固比(B)、酶添加量(C)为因素,大鲛肝油提取率(Y)为响应值,优化酶解法提取大鲛肝油的工艺条件,响应面实验因素水平见表 2,响应面实验设计与结果见表 3,回归模型方差分析见表 4。

表2 响应面实验因素水平

水平	pH	液固比	酶添加量/(U/g)
-1	6.0	2.0:1	1 500
0	6.5	2.5:1	2 000
1	7.0	3.0:1	2 500

表3 响应面实验设计与结果

实验号	A	B	C	Y/%
1	1	-1	0	71.75 ± 0.40
2	0	0	0	77.31 ± 0.25
3	0	0	0	76.72 ± 0.33
4	-1	-1	0	65.23 ± 0.54
5	-1	0	-1	64.14 ± 0.38
6	-1	0	1	62.96 ± 0.54
7	0	-1	-1	63.96 ± 0.38
8	0	-1	1	73.69 ± 0.41

续表 3

实验号	A	B	C	Y/%
9	0	1	1	65.96 ± 0.38
10	1	1	0	65.65 ± 0.54
11	1	0	1	72.71 ± 0.20
12	0	1	-1	65.34 ± 0.45
13	0	0	0	77.02 ± 0.69
14	1	0	-1	56.87 ± 0.57
15	-1	1	0	67.92 ± 0.58
16	0	0	0	76.95 ± 0.13
17	0	0	0	78.13 ± 0.45

对表 3 的数据进行回归拟合分析,得到的回归方程为 $Y = 77.23 + 1.22A - 0.8462B + 2.88C - 2.2AB + 4.51AC - 1.53BC - 7.58A^2 - 2.01B^2 - 7.23C^2$ 。由表 4 可知,模型的 p 值小于 0.000 1,极显著($p < 0.01$),

说明该数学模型能够很好地解释大鲵肝油提取率的变化。失拟项不显著($p > 0.05$),矫正决定系数($R^2_{Adj}, 0.990 2$)与修正决定系数($R^2_{Pred}, 0.995 4$)接近,表明该模型可以较好地解释响应值,该模型与真实响应面的拟合度较高。回归系数(R^2)为 0.995 7,表示回归方程中所有自变量的变化可以解释 99.57% 因变量的变化,表明回归方程可以很好地描述考察因素与响应值之间的关系。 A 、 B 、 C 对大鲵肝油提取率的影响极显著($p < 0.01$),且对大鲵肝油提取率的影响程度为 $C > A > B$,即酶添加量 $>$ pH $>$ 液固比。 AB 、 AC 、 BC 的 p 值均小于 0.01,说明 pH 与液固比、pH 与酶添加量、酶添加量与液固比的交互作用对大鲵肝油提取率的影响极显著。

表 4 回归模型方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F	p	显著性
模型	714.96	9	79.44	180.48	<0.000 1	**
A	11.83	1	11.83	26.89	0.001 3	**
B	5.73	1	5.73	13.02	0.008 7	**
C	66.13	1	66.13	150.23	<0.000 1	**
AB	19.32	1	19.32	43.88	0.000 3	**
AC	81.18	1	81.18	184.43	<0.000 1	**
BC	9.36	1	9.36	21.27	0.002 4	**
A ²	241.71	1	241.71	549.15	<0.000 1	**
B ²	17.04	1	17.04	38.71	0.000 4	**
C ²	220.05	1	220.05	499.93	<0.000 1	**
残差	3.08	7	0.44			
失拟项	1.88	3	0.63	2.09	0.243 9	
纯误差	1.20	4	0.30			
总和	718.04	16				

注: **表示差异极显著($p < 0.01$)

2.4.2 最优工艺条件的确定和验证

通过响应面优化实验得到最优工艺条件为 pH 6.622、液固比 2.266:1、酶添加量 2 162 U/g,在此条件下预测大鲵肝油提取率为 78.04%。为方便实验操

作,将最优工艺条件调整为 pH 6.5、液固比 2.5:1、酶添加量 2 100 U/g,在此条件下进行验证实验,大鲵肝油提取率为 79.92%。

2.5 大鲵肝油的感官及理化指标(见表 5)

表 5 大鲵肝油感官及理化指标

项目	粗制大鲵肝油	精制大鲵肝油	SC/T 3502—2016			
			粗制鱼油		精制鱼油	
			一级	二级	一级	二级
外观	深黄色、澄清	金黄色、澄清透明	浅黄色或红棕色,微有浑浊或分层,可有部分沉淀		浅黄色或橙红色,澄清透明,无沉淀物	
气味	淡鱼腥味	淡鱼腥味	具有鱼油特有的腥味,稍有鱼油酸败味		稍有鱼油特有的腥味,无鱼油酸败味	
水分及挥发物/%	0.19 ± 0.05	0.08 ± 0.13	≤0.3	≤0.5	≤0.1	≤0.2
酸值(KOH)/(mg/g)	5.73 ± 0.16	0.93 ± 0.19	≤8.0	≤15.0	≤1.0	≤3.0
过氧化值/(mmol/kg)	1.04 ± 0.07	0.43 ± 0.12	≤6	≤10	≤2.5	≤5
碘值(I)/(g/100 g)	124.60 ± 0.67	129.40 ± 0.21	≥120	≥120	≥140	≥140

酸值表明油脂的酸败程度,油脂越新鲜,则酸值越低^[18];过氧化值表明油脂的氧化程度,过氧化值越低说明氧化程度越低;碘值在一定程度上可以反映油脂的不饱和程度,碘值越高,油脂中脂肪酸所含双键数量越多。由表 5 可知,粗制大鲛肝油呈深黄色,有淡鱼腥味,酸值(KOH)为 5.73 mg/g,过氧化值为 1.04 mmol/kg,碘值(I)为 124.60 g/100 g。精制大鲛肝油酸值(KOH)为 0.93 mg/g,过氧化值为 0.43 mmol/kg,碘值(I)为 129.40 g/100 g,与粗制大鲛肝油相比,精制大鲛肝油酸值、过氧化值均有明显降低,碘值则升高。总体来看,除精制大鲛肝油碘值外,粗制大鲛肝油与精制大鲛肝油其他理化指标分别符合 SC/T 3502—2016 粗制鱼油与精制鱼油一级标准。与李招等^[19]提取的粗大鲛尾油相比,本文制备的粗制大鲛肝油酸值稍高,碘值稍低,但过氧化值较低。

2.6 大鲛肝油的脂肪酸组成及含量(见表 6)

表 6 大鲛肝油的脂肪酸组成及含量 %

脂肪酸	粗制大鲛肝油	精制大鲛肝油
肉豆蔻酸(C14:0)	0.65	0.60
肉豆蔻烯酸(C14:1)	-	0.04
十五烷酸(C15:0)	0.11	0.10
棕榈酸(C16:0)	22.86	19.71
棕榈油酸(C16:1)	2.47	2.86
十七烷酸(C17:0)	0.16	0.12
硬脂酸(C18:0)	5.49	4.96
油酸(C18:1n9c)	35.10	36.43
亚油酸(C18:2n6c)	23.70	25.76
γ -亚麻酸(C18:3n6)	0.12	0.21
α -亚麻酸(C18:3n3)	0.51	0.60
花生一烯酸(C20:1)	0.30	0.35
二十碳二烯酸(C20:2)	0.33	0.38
二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.53	0.63
花生四烯酸(C20:4n6)	5.15	4.70
二十碳五烯酸(C20:5n3)	-	0.13
二十四烷酸(C24:0)	0.98	0.95
二十二碳六烯酸(C22:6n3)	1.56	1.46
饱和脂肪酸(SFA)	30.25	26.45
不饱和脂肪酸(UFA)	69.75	73.55
单不饱和脂肪酸(MUFA)	37.86	39.67
多不饱和脂肪酸(PUFA)	31.89	33.88

由表 6 可知:粗制大鲛肝油的饱和脂肪酸含量为 30.25%,其中棕榈酸和硬脂酸的含量较高,分别为 22.86% 和 5.49%;不饱和脂肪酸含量为 69.75%,其中单不饱和脂肪酸含量为 37.86%,主要为油酸和棕榈油酸,含量分别为 35.10%、

2.47%。精制大鲛肝油共检出 18 种脂肪酸,饱和脂肪酸含量为 26.45%,不饱和脂肪酸含量为 73.55%,其中单不饱和脂肪酸含量为 39.67%,多不饱和脂肪酸含量为 33.88%,多不饱和脂肪酸中含量最高的是亚油酸(25.76%)和花生四烯酸(4.70%),二十二碳六烯酸(DHA)的含量为 1.46%,二十碳五烯酸(EPA)的含量为 0.13%。油酸对软化血管有一定效用^[20],棕榈油酸在治疗糖尿病和炎症中有一定的功效^[21],亚油酸具有降低血脂和动脉硬化指数等功能^[22]。

由表 6 还可知,精制大鲛肝油不饱和脂肪酸含量高,且多不饱和脂肪酸含量丰富,其中 $n-6$ 系脂肪酸含量较高,为 31.31%。与胡代花^[16]提取的粗制大鲛肝油相比,本文所制备的粗制大鲛肝油中不饱和脂肪酸含量提高了 3.05 百分点。本文所制备的精制大鲛肝油中必需脂肪酸含量为 26.36%,与精制大鲛尾脂油^[19]相比,提高了 1.19 百分点。与其他种类鱼油相比,本文所制备的粗制大鲛肝油中不饱和脂肪酸含量比大黄鱼中^[23]的高 2.48 百分点,其中多不饱和脂肪酸含量高 6.04 百分点。与精制金枪鱼油^[24]相比,本文所制备的精制大鲛肝油中的不饱和脂肪酸含量高 4.52 百分点,其中多不饱和脂肪酸含量高 1.62 百分点。以上结果表明大鲛肝油具有较高的脂肪酸开发潜力,可以作为食品添加剂成为保健品、医药领域功能性脂肪酸的重要来源。

3 结论

本研究通过单因素实验及响应面优化实验确定酶解法提取大鲛肝油的最优工艺条件为选用木瓜蛋白酶、pH 6.5、液固比 2.5:1、酶添加量 2 100 U/g、酶解时间 4 h、酶解温度 65 °C,在此条件下大鲛肝油提取率为 79.92%。粗制大鲛肝油的酸值(KOH)为 5.73 mg/g,过氧化值为 1.04 mmol/kg,碘值(I)为 124.60 g/100 g;精制大鲛肝油酸值(KOH)为 0.93 mg/g,过氧化值为 0.43 mmol/kg,碘值(I)为 129.40 g/100 g。精制大鲛肝油饱和脂肪酸含量为 26.45%,不饱和脂肪酸含量为 73.55%,其中单不饱和脂肪酸含量为 39.67%,多不饱和脂肪酸含量为 33.88%,与粗制大鲛肝油相比不饱和脂肪酸含量提高了 3.80 百分点,其中单不饱和脂肪酸含量提高了 1.81 百分点,多不饱和脂肪酸含量提高了 1.99 百分点。

大鲛肝脏粗脂肪含量相对较高,使用木瓜蛋白酶酶解提取大鲛肝油反应条件温和、操作简便、提取率高所得大鲛肝油,品质好,不饱和脂肪酸含量丰富。

参考文献:

- [1] 王金华, 汪俊, 李灿. 子二代商品大鲵不同可食部位营养成分分析[J]. 肉类研究, 2012, 26(5): 34-36.
- [2] 贺屹潮, 赵萍, 金晶, 等. 大鲵加工与开发利用研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(6): 357-361.
- [3] 马东林, 杨絮, 郭全友, 等. 大鲵营养组成、功能成分及加工利用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(24): 242-248.
- [4] 金文刚, 别玲玲, 裴金金, 等. 基于GC-IMS技术分析炖煮过程中大鲵头汤挥发性风味物质[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 307-313.
- [5] 金文刚, 赵萍, 刘俊霞, 等. 基于气相-离子迁移色谱结合化学计量学分析大鲵肉烤制过程中挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 231-239.
- [6] 王寒, 罗庆华, 魏梦雅, 等. 大鲵肉体外抗氧化诱发性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 149-153.
- [7] GRAHAM A, NAYE A, AKINBOBYE O, et al. Effects of DHA and EPA on cardiovascular indices [J/OL]. FASEB J, 2021, 35: 01815 [2022-02-24]. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2021.35.S1.01815>.
- [8] FU Y W, WANG Y D, GAO H, et al. Associations among dietary *omega*-3 polyunsaturated fatty acids, the gut microbiota, and intestinal immunity [J/OL]. Mediators Inflamm, 2021, 2021: 8879227 [2022-02-24]. <https://doi.org/10.1155/2021/8879227>.
- [9] ZHANG Z W, XUE Z, YANG H T, et al. Differential effects of EPA and DHA on DSS-induced colitis in mice and possible mechanisms involved[J]. Food Funct, 2021, 12(4): 1803-1817.
- [10] WEI W T, HU M J, HUANG J, et al. Anti-obesity effects of DHA and EPA in high fat-induced insulin resistant mice [J]. Food Funct, 2021, 12(4): 1614-1625.
- [11] HUANG Y, GHNAIMAWI S, WANG Y J, et al. The physiological and metabolic effects of maternal intake of EPA and DHA during pregnancy and lactation on offspring's muscle development and energy homeostasis [J/OL]. FASEB J, 2021, 35: 04788 [2022-02-24]. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2021.35.S1.04788>.
- [12] 李星. 淡水鱼内脏的综合利用研究[D]. 南昌: 江西科技师范大学, 2020.
- [13] 张佳婵, 薛玲, 王昌涛. 大鲵尾部鱼油的酶法提取工艺[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(3): 25-29.
- [14] 辛茜, 陈德经, 陈小华, 等. 水酶法与热熔法提取大鲵油的精制工艺和品质比较研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 26-30.
- [15] 胡代花. 超声辅助提取大鲵肝脏油脂及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(6): 12-15.
- [16] 胡代花. 微碱条件生物酶法提取大鲵肝脏油脂及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(4): 113-117.
- [17] 廖攀, 傅旋霓, 杨雪青, 等. 张家界市大鲵养殖基地空间分布特征及影响因素[J]. 安徽农学通报, 2022, 28(1): 77-82.
- [18] 薛宇航, 刘峰, 方旭波, 等. 双酶法提取星鳎骨鱼油的工艺研究[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 35-39.
- [19] 李招, 王建文, 王建辉, 等. 大鲵油的水酶法提取及精制过程中脂肪酸组成的变化[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(11): 1975-1981.
- [20] 刘程宏, 杨海棠. 我国高油酸花生研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(16): 6573-6578.
- [21] 高山, 王嘉佳, 胡高爽. 沙棘果油棕榈油酸提取物的富集及改善胰岛素抵抗活性[J]. 食品科学, 2020, 41(10): 272-280.
- [22] 戚登斐, 张润光, 韩海涛, 等. 核桃油中亚油酸分离纯化技术研究及其降血脂功能评价[J]. 中国油脂, 2019, 44(2): 104-108.
- [23] 赵腾飞, 应晓国, 张宾, 等. 大黄鱼鱼油的制备及其理化性质[J]. 中国油脂, 2021, 46(10): 6-10.
- [24] 郑飞洋, 戴志远, 崔益玮, 等. 金枪鱼油精制及低温结晶法富集甘油三酯型 EPA、DHA[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 147-158.

热烈祝贺《中国油脂》被瑞典的开放存取期刊目录

Directory of Open Access Journals(简称“DOAJ”)收录