

# 酶解法提取鳕鱼肝油的生产工艺研究

刘超<sup>1,2</sup>, 苗钧魁<sup>2</sup>, 刘小芳<sup>2</sup>, 王松<sup>2</sup>, 高华<sup>1</sup>, 冷凯良<sup>2</sup>

(1. 青岛大学医学院, 山东青岛 266071;

2. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所食品工程与营养研究室, 山东青岛 266071)

**摘要:**以鳕鱼肝脏为原料, 采用木瓜蛋白酶水解提取鳕鱼肝油, 选用提取率作为评价指标, 通过单因素实验和响应面实验确定最佳的酶解提取工艺, 并从鱼肝油的提取率、品质方面将其与传统淡碱水解法进行比较。实验结果表明, 最佳酶解工艺条件为料液比 1:1.5、酶解 pH 6.5、加酶量 3 270 U/g、酶解温度 50 ℃、酶解时间 2 h。在最佳酶解工艺条件下, 鳕鱼肝油提取率可达到 93.44%, 且品质良好, 酸价 5.49 mg/g, 碘价 148.31 g/100 g, 过氧化值 7.49 meq/kg。酶解法鳕鱼肝油提取率及品质均优于传统淡碱水解法。

**关键词:**酶解法; 淡碱水解法; 鳕鱼肝油; 木瓜蛋白酶; 提取率

**中图分类号:**TS 222+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)03-0095-06

## Study on extraction of cod oil by enzymatic hydrolysis

LIU Chao<sup>1,2</sup>, MIAO Jun-kui<sup>2</sup>, LIU Xiao-fang<sup>2</sup>, WANG Song<sup>2</sup>, GAO Hua<sup>1</sup>, LENG Kai-liang<sup>2</sup>

(1. Medical College, Qingdao University, Qingdao Shandong, 266071; 2. Food Engineering and Nutrition Laboratory, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao Shandong 266071)

**Abstract:** Cod oil was extracted by papain hydrolysis. The technology was optimized by single factors and response surface tests according to the extraction rate. The technology was compared with traditional dilute alkaline hydrolysis in the aspects of cod oil extraction rate and quality. The result showed that the optimum condition of enzymatic technology was as follows: ratio of solid to liquid 1:1.5, pH 6.5, the quantity of enzyme 3 270 U/g, temperature 50 ℃ and enzymolysis time 2 h. The extraction rate of the optimal technology could reach 93.44% and the obtained fish oil had good quality with acid value 5.49 mg/g, iodine value 148.31 g/100 g and peroxide value 7.49 meq/kg. The extraction rate and quality of cod oil extracted by the enzymatic hydrolysis was prior to that extracted by the diluted alkaline hydrolysis method.

**Key words:** enzymatic hydrolysis; dilute alkaline hydrolysis; cod oil; papain; extraction ratio

鳕鱼, 属脊椎动物门 (Vertebrata)、脊椎动物亚门 (Subphylum Vertebrata)、真骨鱼纲 (Division Teleostei)、鳕鱼目 (Gadiformes)。鳕鱼多是生活在海洋底层和深海中下层的冷水性鱼类, 广泛分布在世界各大洋<sup>[1]</sup>。全球鳕鱼总产量达 1 000 万 t, 约占海洋渔业总产量的 12%<sup>[2]</sup>。鳕鱼肝脏中水分含量为 45.1%, 蛋白质含量为 3.2%, 灰分含量为 0.9%, 而脂肪含量达到 50.8%, 不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的 84.1%, 其中 EPA 含量达到 25.2%, DHA 含量

为 7.6%<sup>[3]</sup>, 具有较高的营养价值与医学价值。

近年来, 随着我国对外贸易的发展, 有大量鳕鱼进口, 鳕鱼的生产量和加工量日益扩大, 在生产和加工过程中产生了大量的副产物, 包括鱼头、鱼排、鱼皮和内脏等, 这些副产物大部分被直接加工成经济价值较低的鱼粉, 未得到高值化的开发利用。鳕鱼肝脏是鳕鱼加工的主要副产物, 鳕鱼肝油中含有较多的  $\omega$ -3 系列多不饱和脂肪酸, 且含有丰富的维生素 A 和维生素 D。大量研究表明,  $\omega$ -3 系列多不饱和脂肪酸, 在抗血小板聚集<sup>[4]</sup>、抗动脉硬化<sup>[5-6]</sup>、抑制肿瘤生长<sup>[7-9]</sup>、改善脑功能<sup>[10-11]</sup> 以及视网膜功能<sup>[12]</sup> 等方面具有良好的生理功效。因此, 鳕鱼肝脏

收稿日期: 2014-12-09

基金项目: 国家 863 计划项目 (2011AA090801)

作者简介: 刘超, 男, 硕士。

通信作者: 冷凯良, 男, 高级工程师。

是提取制备高品质鱼油的良好原料。

传统鱼肝油的生产方法包括蒸煮法、压榨法、淡碱水解法及酶解法。其中,蒸煮法<sup>[13]</sup>,提取率较低,鱼肝油过氧化值较高,品质较低;压榨法<sup>[14]</sup>,提取率低,提取时间长,鱼肝油品质较差;淡碱水解法<sup>[15]</sup>,所需温度较高,鱼肝油易被氧化,品质下降;酶解法<sup>[16]</sup>,提取条件温和,对油脂的功能成分破坏较小,被广泛应用于鱼肝油的提取加工中。

酶解法提取鱼肝油主要用酶有木瓜蛋白酶、碱性蛋白酶、胃蛋白酶和胰酶等<sup>[17-19]</sup>。杨琦等对传统淡碱水解法提取工艺进行了改进,采用先盐析,后离心的工艺,在温度 80~90℃、pH 8~9 的条件下进行水解,使提取时间由 1 h 缩短至 40 min;所得鱼油提取率为 26%<sup>[15]</sup>。改进后的淡碱水解法提取鳕鱼肝油的工艺与木瓜蛋白酶提取鳕鱼肝油的工艺比较:提取率明显低于木瓜蛋白酶的提取率;提取温度过高,加速鱼油中不饱和脂肪酸的氧化,导致鱼油品质下降;pH 过高,易发生皂化反应,降低鱼油的品质。刘春娥等用中性蛋白酶从大麻哈鱼的脂肪线中提取鱼油,所得鱼油提取率为 78.70%,鱼油呈淡黄色,稍有混浊,具有鱼腥味,酸价为 12.16 mg/g,过氧化值为 7.27 meq/kg,碘价为 116.75 mg/100 g<sup>[16]</sup>。中性蛋白酶提取大马哈鱼油的工艺与木瓜蛋白酶提取鳕鱼肝油的工艺比较:提取率明显低于木瓜蛋白酶的提取率,所得鱼油外观较差,酸价偏高,碘价偏低,过氧化值相近。臧丽芹等分别用木瓜蛋白酶和碱性蛋白酶提取鳕鱼肝油,木瓜蛋白酶所得鳕鱼肝油提取率较高,感官指标可达到粗鱼肝油二级标准;且木瓜蛋白酶提取的鱼肝油过氧化值低于碱性蛋白酶提取的鱼肝油<sup>[17]</sup>。陆剑锋等分别用木瓜蛋白酶和风味蛋白酶提取斑点叉尾鲷内脏油,木瓜蛋白酶的提油率高达 86.07%。碱性蛋白酶酶解效率较高,但是碱性蛋白需要在 55℃、pH 8~10 条件下酶解,酶解 pH 过高,酶解过程会与鳕鱼肝油发生皂化反应,降低鳕鱼肝油的品质;胃蛋白酶和胰酶酶解效率偏低;木瓜蛋白酶在 50℃、pH 5~6 条件下具有较高的酶解效率,酶解条件温和,且木瓜蛋白酶活性较高、价格低廉、来源丰富,能充分满足工业化生产的需要<sup>[19]</sup>,因此本实验选用木瓜蛋白酶提取鳕鱼肝油。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

鳕鱼肝脏,由青岛正进集团有限公司提供;木瓜蛋白酶(酶活力为  $6.5 \times 10^5$  U/g),广西南宁庞博生物工程有限公司;柠檬酸、柠檬酸钠,天津博迪化工股份有限公司;碘化钾、硫代硫酸钠、环己烷、异辛烷、冰乙酸、韦氏试剂、95%乙醇、氢氧化钾、酚酞指示剂等(均为分析纯),国药化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

TD5A-WS 型台式低速离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱,上海三发科学仪器有限公司;SHZ-82A 型恒温振荡器,常州国华电器有限公司;PHS-25 型 PH 计,上海仪电科学仪器股份有限公司;BSA2245 型电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;JM-B1002 型电子天平,诸暨市超泽衡器设备有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 实验原料预处理

鳕鱼肝脏,自然解冻后,经研钵研碎制备肝脏匀浆,于 -20℃ 冷藏备用。

#### 1.3.2 淡碱水解法提取鳕鱼肝油实验

取适量预处理后的鳕鱼肝脏至锥形瓶中,以料液比 1:2 加入一定量的蒸馏水,将锥形瓶置于恒温振荡器中,升温至 50℃,用 5% NaOH 溶液调节 pH 至 8.0,于 50℃ 下水解反应 10 min;继续升温至 80℃,用 5% NaOH 溶液调节 pH 至 9.0,于 80℃ 下水解反应 60 min 后加入 10% NaCl 盐析,趁热离心,收集上层油相,备用。

#### 1.3.3 酶解法提取鳕鱼肝油单因素实验

取适量预处理后的鳕鱼肝脏置于锥形瓶中,按不同料液比,加入一定 pH 的柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液,再加入一定量的木瓜蛋白酶,混合均匀,将锥形瓶置于恒温振荡器中,于一定温度下,酶解提取一定时间,酶解完全后,趁热离心(20 min, 3 500 r/min),分离上层油相。分别以酶量、酶解 pH、酶解温度、料液比、酶解时间为考察因素,以鳕鱼肝油提取率为指标,进行单因素实验。

#### 1.3.4 酶解法提取鳕鱼肝油优化实验

采用响应面实验设计,应用 Design Expert 8.0.6 软件,以酶解法单因素实验结果为基础,以酶量

(A)、酶解 pH(B)、酶解温度(C)为主要影响因素,进行响应面分析,优化酶解法提取鳕鱼肝油工艺,因素水平设计见表1。

表1 响应面分析因素及水平设计

编码水平	A 酶量/(U/g)	B 酶解 pH	C 酶解温度/°C
-1	2 925	6	45
0	3 250	6.5	50
1	3 575	7	55

### 1.3.5 酶解法与淡碱水解法所得鱼油的品质对比

酶解法与淡碱水解法所得鱼油,从提取率、颜色、气味、酸价、过氧化值和碘价等方面进行比较,从而得到提取鳕鱼肝油的最佳提取工艺。

### 1.3.6 感官及理化性质分析

采用 SC/T3502—2000 进行感官评价;采用 GB/T5530—2005 测定酸价;采用 GB/T5538—2005 测定过氧化值;采用 GB/T5532—2008 测定碘价。

### 1.3.7 鳕鱼肝油提取率的计算

鳕鱼肝油提取率计算公式如下:

$$\text{鳕鱼肝油提取率}/\% = \frac{\text{提取鳕鱼肝油的质量}}{\text{理论油脂质量}} \times 100$$

其中质量单位均为 g。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果与分析

#### 2.1.1 料液比对鳕鱼肝油提取率的影响

由图1可知,在1:0.5~1:2.5范围内,随着料液比的减少,鳕鱼肝油提取率先平缓升高,后快速下降,提取率最高为92.32%,最低为84.61%。料液比在1:0.5~1:1.5范围内,提取率随着料液比的减少而平缓升高;当料液比小于1:1.5后,提取率随着料液比的减少而快速降低。加入适量缓冲溶液后,酶与底物充分接触,脂肪酸溶出增加,因此提取率升

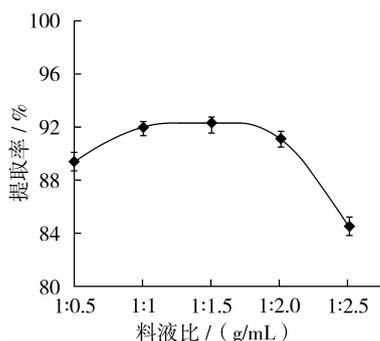


图1 料液比对提取率的影响

高;料液比过低,酶浓度分布不均,与底物不能充分反应,提取率降低;而料液比过高,底物浓度减少,酶与底物接触机会减少,提取率降低。综合考虑提取率和经济成本,选择料液比为1:1.5。

#### 2.1.2 酶解 pH 值对鳕鱼肝油提取率的影响

由图2可知,pH在5.5~7.5范围内,鳕鱼肝油的提取率随着pH的升高先逐渐升高后快速下降,提取率最高为92.59%,最低为82.14%。pH在5.5~6.5范围内,提取率随着pH的升高而升高;当pH大于6.5时,提取率随着pH的升高而降低。在最适pH时,酶的活力最大,提取率最高,pH过高或过低都会导致酶失活,从而使鳕鱼肝油提取率下降,所以选择酶解pH为6.5。

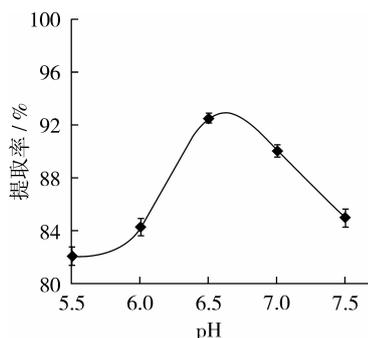


图2 pH对提取率的影响

#### 2.1.3 酶量对鳕鱼肝油提取率的影响

由图3可知,在2 600~3 900 U/g范围内,随着酶量的增加,鱼肝油提取率先平缓升高,后缓慢下降,提取率最低为87.89%,最高为93.44%。酶量在2 600~3 250 U/g范围内,提取率随着酶量的增加而升高;当酶量达到3 250 U/g后,提取率趋于平缓,继续增加酶量,提取率有所下降。原因是酶浓度过高,酶自身水解加强,酶对底物的水解受到阻碍。由于酶的价格较高,综合考虑提取率 and 经济效益,选用酶量为3 250 U/g。

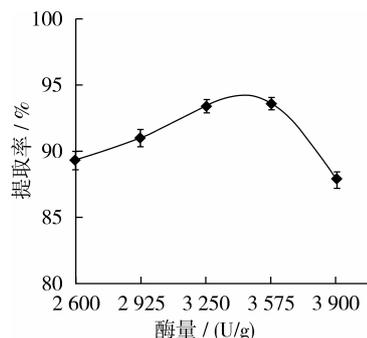


图3 酶量对提取率的影响

2.1.4 酶解温度对鳕鱼肝油提取率的影响

由图4可知,在40~60℃范围内,随着温度的升高,鳕鱼肝油提取率先快速升高,后缓慢下降,提取率最低为68.78%,最高为91.36%。在40~50℃范围内,随着温度的升高,提取率逐渐增加;达到50℃时,鱼肝油提取率达到最高,50℃以后随着温度的升高,提取率逐渐降低。在一定范围内,酶促反应随着温度的升高,反应速率逐渐加快,且利于破乳;温度过高,酶变性失活,酶的反应速率下降,鱼肝油提取率降低,且温度过高鳕鱼肝油易被空气氧化,品质降低。综合考虑酶解效率和降低能耗,选择酶解温度为50℃。

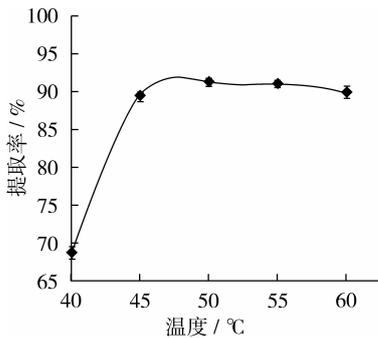


图4 酶解温度对提取率的影响

2.1.5 酶解时间对鳕鱼肝油提取率的影响

由图5可知,鳕鱼肝油提取率随着时间的延长逐渐升高,2h时提取率达到最高,继续延长时间,提取率保持稳定。延长酶解时间,鳕鱼肝油颜色由淡黄色变为红棕色,鳕鱼肝油含有丰富的不饱和脂酸,随着提取时间的延长,鳕鱼肝油容易被空气氧化,导致鳕鱼肝油品质下降。因此,综合考虑各因素,确定酶解时间为2h。

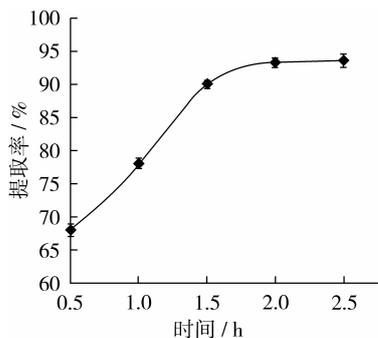


图5 酶解时间对提取率的影响

2.2 鳕鱼肝油生产工艺的响应面优化实验

2.2.1 响应面实验设计及结果

采用 Box - Behnken Design 模型实验设计原理,

根据单因素实验结果,酶量、酶解温度和酶解 pH 三个因素对提取率有显著的影响,因此选择酶量、酶解温度和酶解 pH 为影响因素,采用三因素三水平的响应面分析方法,优化酶解法提取鳕鱼肝油工艺。实验方案与结果见表2。

表2 响应面实验设计及结果

实验号	酶量	酶解 pH	酶解温度	提取率/%
1	0	-1	-1	83.86
2	0	1	1	87.76
3	0	0	0	93.67
4	-1	-1	0	68.19
5	-1	0	1	70.92
6	0	-1	1	84.01
7	0	0	0	93.44
8	0	1	-1	84.07
9	1	0	-1	72.84
10	0	0	0	90.30
11	-1	0	-1	65.89
12	1	1	0	76.40
13	1	-1	0	73.19
14	1	0	1	74.55
15	-1	1	0	71.99

采用 Design Expert 8.0.6 软件,对数据进行处理。由表3可知,酶量和各因素平方项对鳕鱼肝油

表3 回归方程的方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	显著性
模型	1 192.05	9	132.45	69.89	0.000 1	**
A	49.95	1	49.95	26.36	0.003 7	**
B	15.04	1	15.04	7.94	0.037 2	*
C	13.99	1	13.99	7.38	0.041 9	*
AB	0.087	1	0.087	0.046	0.838 8	
AC	2.76	1	2.76	1.45	0.281 8	
BC	3.13	1	3.13	1.65	0.254 8	
A <sup>2</sup>	1 060.97	1	1 060.97	559.88	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	34.94	1	34.94	18.44	0.007 8	**
C <sup>2</sup>	73.73	1	73.73	38.91	0.001 6	**
残差	9.47	5	1.89			
失拟项	2.39	3	0.80	0.22	0.873 7	
纯误差	7.09	2	3.54			
总误差	1 201.53	14				
确定系数 (R - Squared)	r <sup>2</sup> = 0.992 1					
调整确定系数 (Adj R - Squared)	r <sup>2</sup> = 0.977 9					

注: \*\*表示 P < 0.01, \*表示 P < 0.05。

提取率的影响极显著 ( $P < 0.01$ ), 酶解 pH 和酶解温度对鳕鱼肝油提取率的影响显著 ( $P < 0.05$ ), 加酶量、酶解 pH、酶解温度的交互作用对鳕鱼肝油提取率的影响均不显著 ( $P > 0.05$ )。模型的确定系数  $r^2 = 0.9921$ , 表明模型相关度好。模型的调整确定系数 (Adj R - Squared)  $r^2 = 0.9779$ , 表明模型能解释 97.79% 的效应值变化, 实验误差较小。模型的失拟项  $P = 0.8737 > 0.05$ , 表明模型稳定性较好。拟合回归方程为:  $Y = 92.47 + 2.50A + 1.37B + 1.32C - 0.15AB - 0.83AC + 0.89BC - 16.95A^2 - 3.08B^2 - 4.47C^2$ 。在各因素水平范围内, 由表 3 中 F 值的大小可以得出各因素对鳕鱼肝油提取率的影响程度依次为: 酶量(A) > 酶解 pH(B) > 酶解温度(C)。

2.2.2 响应面分析

由图 6 可知, 当温度为 50 °C 时, pH 对提取率的影响不显著, 响应面曲线变化较平滑; 加酶量对提取率的影响显著, 响应面曲线变化较陡。由等高线图可见, 等高线呈圆形且密度较小, 说明加酶量与 pH 的交互作用对鳕鱼肝油提取率的影响不显著。

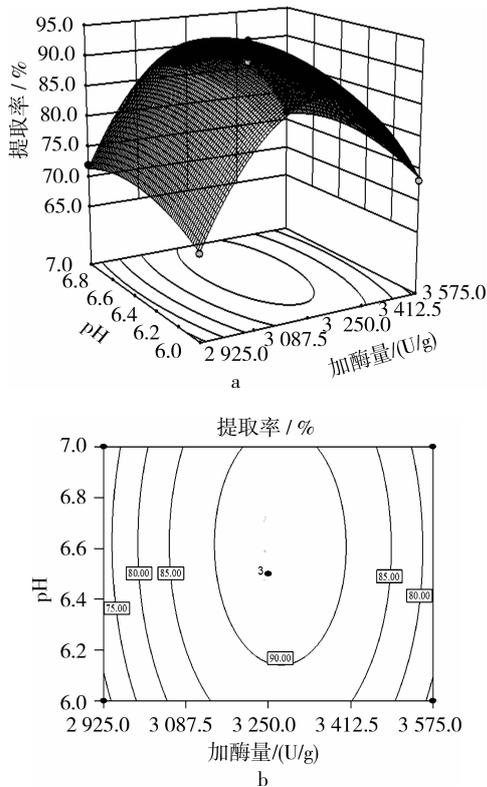


图 6 Y = (A,B) 响应面图(a)与等高线图图(b)

由图 7 可见, 在 pH 为 6.5 时, 酶解温度对提取率的影响不显著, 响应面曲线变化较平缓; 加酶量对提取率的影响显著, 响应面曲线变化较陡。由等高线图可见, 等高线呈圆形且密度较小, 说明酶解温度与加酶量的交互作用对提取率的影响不显著。

由图 8 可以看出, 当酶量为 3 250 U/g 时, 酶解温度和 pH 对提取率的影响不显著, 响应面曲线变化较平缓。由等高线图可见, 等高线密度较小, 说明酶解温度与 pH 的交互作用对鳕鱼肝油提取率的影响不显著。

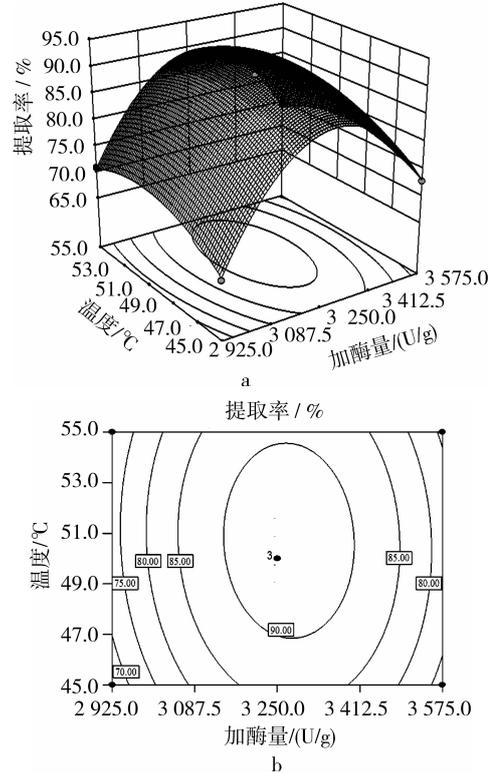


图 7 Y = (A,C) 响应面图(a)与等高线图图(b)

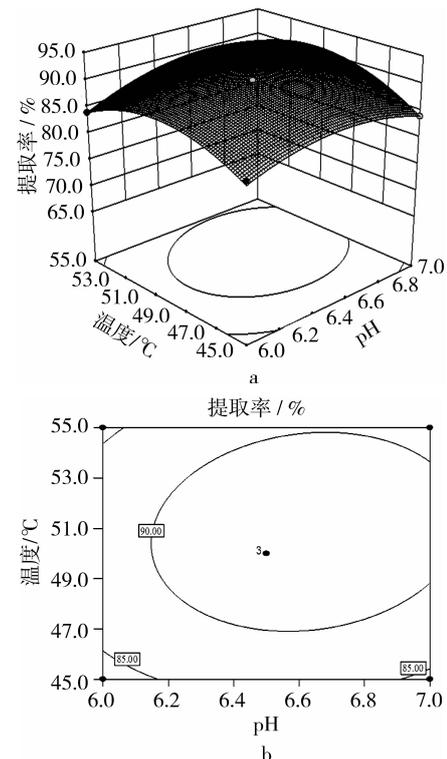


图 8 Y = (B,C) 响应面图(a)与等高线图图(b)

2.2.3 验证实验

通过响应面分析,得到最佳工艺条件,即加酶量 3 272.29 U/g、pH 6.62、温度 50.83 ℃,在最佳工艺条件下,鳕鱼肝油的提取率可达到 92.83%。考虑实际操作条件,确定最佳工艺参数为:加酶量 3 270 U/g,pH 6.5,温度 50 ℃。在此条件下,进行 3 次重复实验,得到平均提取率为 92.37%,预测值与实验值相对误差为 0.49%,证明所建模型正确、可靠,能较好地预测鳕鱼肝油的提取率。

2.3 酶解法与淡碱水解法所得鱼油的品质对比

由表 4 可以看出,酶解法鳕鱼肝油提取率及品质均优于传统淡碱水解法。酶解法鳕鱼肝油提取率达到 93.44%,而淡碱水解法提取率仅为 63.75%;酶解法所得鳕鱼肝油呈浅黄色、较澄清,品质较好,而淡碱水解法所得鳕鱼肝油呈棕红色、较混浊,分析原因为淡碱水解过程中温度过高,致使部分不饱和脂肪酸氧化,最终导致鳕鱼肝油品质下降。两种提取方法获得的鳕鱼肝油的酸价、碘价基本一致,但酶解法所得鳕鱼肝油的过氧化值低于淡碱水解法。

表 4 淡碱水解法与酶解法所得鱼肝油的品质对比

项目	提取率 /%	颜色	气味	酸价/ (mg/g)	过氧化值 / (meq/kg)	碘价/ (mg/100 g)
淡碱水解法	63.75	深棕红色、混浊	有鱼肝油的腥味、有酸败味	6.12	8.71	142.5
酶解法	93.44	浅黄色、较澄清	有鱼肝油的腥味、无酸败味、无臭味	5.49	7.49	148.31

3 结论

本研究确定了鳕鱼肝油的最佳酶解提取工艺条件:加酶量 3 270 U/g,pH 6.5,温度 50 ℃,料液比 1:1.5,酶解时间 2 h。在最佳提取工艺条件下,鳕鱼肝油的提取率可达到 93.44%。对酶解法和淡碱水解法所得鳕鱼肝油进行比较,鳕鱼肝油的酸价、碘价基本一致,但酶解法所得鱼肝油的过氧化值较低、品质较好且提取率高。

以木瓜蛋白酶提取鳕鱼肝油,具有提取条件温和、所得鳕鱼肝油品质较好、提取率高、对环境污染小等优势,符合现代水产加工业的发展要求。本研究为酶解法提取鳕鱼肝油的产业化应用提供了一定

的理论指导。

参考文献:

[1] 高天翔,张肖荣,王丹,等. 几种鳕鱼的生物学初步研究[J]. 海洋湖沼通报,2003,30(3):36-42.

[2] 邓尚贵,徐涛,满德慧,等. 鳕鱼(Gadous macrocephalus)皮水解蛋白亚铁修饰对大鼠营养性贫血改善的实验研究[J]. 海洋与湖沼,2010,41(5):719-725.

[3] 潘凤,谷学新,仇波. 用鳕鱼肝油制备鱼肝油酸钠[J]. 水产科技情报,1996,26(2):54-57.

[4] 吴葆杰. 各种脂肪酸与冠心病猝死关系的研究进展[J]. 中国生化药物杂志,1997,18(6):317-320.

[5] 刘玉军,孙明堂,张枢泉. 浓缩鱼油对实验性动脉粥样硬化的影响及机理探讨[J]. 营养学报,1994,16(1):6-12.

[6] Herold P M, Kinsella J E. Fish oil consumption and decreased risk of cardiovascular disease: a comparison of findings from animal and human feeding trials[J]. Am J Clin Nutr, 1986,43(2):566.

[7] Tisdale M J. The "cancer cachectic factor" [J]. Support Care Cancer, 2003, 11(2): 73-78.

[8] Chapkin R S, Hong M Y, Fan Y Y. Dietary n-3 PUFA alter colonocyte mitochondrial membrane composition and function [J]. Lipids, 2002, 37(2): 193-199.

[9] Bradley M O, Stindell C S, Anthony F H. Tumor targeting by conjugation of DHA to paclitaxel [J]. Control Release, 2001, 74(1-3):233-236.

[10] 周东群,崔波,胡敏. 鱼油的保健功能与开发前[J]. 山东轻工业学报,1998,12(3):56-60.

[11] 陈文麟. 脑黄金及其生物转化的研究进展[J]. 广州食品工业科技,1995,11(2):18-24.

[12] 卢定强,陈钧,陈洁. 二十二碳六烯酸和脑的健康[J]. 江苏理工大学学报,1996,17(5):10-15.

[13] 江洲,李庐峰,吴成业,等. 鱼油的提取与精制技术探讨[J]. 福建水产,2008,5(3):60-64.

[14] 吴时敏. 功能性油脂[M]. 北京:中国轻工业出版社,2004:145-146.

[15] 杨琦,赵建滨,刘志贞,等. 传统淡碱水解法提取鱼油工艺的改进研究[J]. 山西医科大学学报,2000,31(6):560-561.

[16] 刘春娥,刘峰,孙晓. 酶法从大麻哈鱼的脂肪线中提取鱼油的方法研究[J]. 食品研究与开发,2010, 31(5):73-75.

[17] 臧丽芹,郑羽丽,陈小娥,等. 提取方法对鳕鱼肝脏油脂提取率及理化特性影响[J]. 粮油食品科技,2012,20(6):38-56.

[18] 刘书成,章超桦,洪鹏志,等. 酶解法从黄鳍金枪鱼鱼头中提取鱼油的研究[J]. 福建水产,2007,3(1):46-50.

[19] 陆剑锋,林琳,张伟伟,等. 水酶法提取斑点叉尾鲷内脏油的工艺研究[J]. 食品科学,2010,31(22):75-80. ㊟