

# 大黄鱼鱼卵磷脂酶水解法提取工艺的优化

陈文娟<sup>1,2</sup>, 陈丽娇<sup>2\*</sup>, 曾稍俏<sup>1,2</sup>

(1.漳州城市职业学院, 福建 漳州 363000; 2.福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002)

**摘 要:** 为了充分提取和利用大黄鱼鱼卵中的磷脂, 研究酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂的工艺。通过单因素试验和响应面设计优化试验, 确定酶水解法的最佳工艺条件, 并比较酶水解法与溶剂法、超声波法的提取效果。结果表明, 选用内切型木瓜蛋白酶、料液比 1 : 2、pH 6.0、酶解温度 45 °C、酶解时间 1.5 h 和加酶量 125 U/g 为较佳工艺条件。在此条件下, 产品的平均提取率可达 70.92%, 表明响应面法用于对大黄鱼鱼卵磷脂提取条件的优化是可行的。工艺放大试验结果表明, 酶水解法的提取率比溶剂法和超声波法分别提高了 22.02% 和 9.6%, 说明酶水解法是提高大黄鱼鱼卵磷脂提取率的较好方法。

**关 键 词:** 大黄鱼; 鱼卵; 磷脂; 酶水解法; 提取

中图分类号: TS254; S98

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)05-0559-06

## Process optimization on the extraction of phospholipids with enzymolysis method from eggs of large yellow croaker

CHEN Wen-juan<sup>1,2</sup>, CHEN Li-jiao<sup>2\*</sup>, ZENG Shao-qiao<sup>1,2</sup>

(1.Zhangzhou City University, Zhangzhou, Fujian 363000, China; 2.Department of Food Science, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** For better extracting and utilizing phospholipids in eggs of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*), enzymolysis method was adopted here to improve their yield. On the base of single factor experiment, the optimal parameters for phospholipids extraction were determined by response surface method. Meanwhile, the extraction effects were compared with solvent extraction and ultrasonic method. The results showed that the optimal parameters were as follows: endonuclease papain with a ratio of solid to liquid 1 : 2, pH 6.0, hydrolysis temperature 45 °C, hydrolysis time 1.5 h, enzyme dosage 125 U/g. The average extraction yield of the phospholipids could be reached up to 70.92%. The results also indicated that the obtained parameters using response surface methodology was feasible for practical estimation. Compared with solvent extraction and ultrasonic extraction methods, the yield of phospholipids using enzymolysis method was improved 22.02%, 9.6% respectively in scale-up experiment. These results suggested that endonuclease papain aided extraction technology was one of the effective ways to improve the yield of phospholipids from the eggs of large yellow croaker.

**Key words:** *Pseudosciaena crocea*; fish eggs; phospholipids; enzyme hydrolysis; extraction

磷脂是细胞膜的重要组成成分, 具有调节生理机能、促进新陈代谢、增强免疫力、提高记忆力、预防疾病等作用<sup>[1-3]</sup>, 被广泛添加于食品和保健品中<sup>[4-5]</sup>。大黄鱼是中国四大渔业经济鱼类之一, 在福建省宁德地区的年产量接近 10 万 t<sup>[6]</sup>。目前, 大

黄鱼加工副产物鱼卵往往被当作废弃物丢弃。大黄鱼鱼卵含有丰富的磷脂<sup>[7-9]</sup>。与陆生动、植物<sup>[10-11]</sup>相比, 来源于海洋动物的磷脂所含脂肪酸不饱和程度较高, 尤其是 EPA(二十碳五烯酸)、DHA(二十二碳六烯酸)含量丰富。溶剂提取法是目前磷脂提取的

收稿日期: 2013-07-09

基金项目: 福建省教育厅项目(JA12447)

作者简介: 陈文娟(1984—), 女, 福建漳州人, 硕士, 主要从事食品科学与工程研究, chenwenjuan8491@126.com; \*通信作者, chenlijiao606@126.com

主要方法<sup>[12]</sup>。因为鱼卵的脂质是中性脂,且与胆固醇、蛋白质和水稳定地乳化在一起,所以,溶剂提取法的磷脂提取率较低<sup>[13]</sup>。蛋白酶可以水解蛋白质的肽键,使蛋白质断裂为小的肽链,破坏蛋白质与脂质的复合体<sup>[14]</sup>,有利于将磷脂用乙醇溶解法提取出来。笔者研究酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂的工艺参数,旨在为海洋磷脂的开发利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

冷冻大黄鱼鱼卵由宁德市岳海水产有限公司提供。

### 1.2 主要仪器及试剂

主要仪器:UV-2000 型紫外可见分光光度计(尤尼柯(上海)仪器有限公司);TDL-5 大容量低速台式离心机(上海安亭科学仪器厂)。

主要试剂:木瓜蛋白酶由无锡市雪梅酶制剂科技有限公司提供;AS.1398 中性蛋白酶由无锡酶制剂公司提供;胰蛋白酶由国药集团化学试剂有限公司提供。无水乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、高氯酸、硝酸、钼酸铵、抗坏血酸等试剂均为分析纯。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 大黄鱼鱼卵磷脂的酶水解法提取

准确称取 10.00 g 匀浆处理后的大黄鱼鱼卵,加入到一定料液比与预设 pH 的缓冲液中,混匀,水浴加热至预设温度,计时恒温酶解。酶解结束后,沸水浴搅拌 5 min 灭酶,离心,弃去上清液,将沉淀加入到乙醇溶液中浸提。浸提过程按特定参数进行。浸提结束后进行抽滤。滤液经减压浓缩,蒸去

乙醇,50 ℃真空干燥,即得产品。

#### 1.3.2 蛋白酶的选取

因为蛋白酶中的内切酶是从蛋白质或多肽的内部切开,肽键生成分子质量较小的肽和多肽,而外切酶只能从蛋白质或多肽的氨基或羧基末端水解肽键而游离出氨基酸,所以,为了避免产生的游离氨基酸影响磷脂的纯度,采取内切酶(表 1)水解鱼卵来提取磷脂。

表1 蛋白酶的性质及酶活力

蛋白酶	作用类型	最适温度/℃	最适 pH	酶活力/(U·g <sup>-1</sup> )
AS.1398 中性蛋白酶	内切酶	35~55	6.5~7.5	2.25×10 <sup>5</sup>
木瓜蛋白酶	内切酶	40~65	4.0~6.5	5.20×10 <sup>4</sup>
胰蛋白酶	内切酶	40~55	7.0~8.5	2.50×10 <sup>6</sup>

#### 1.3.3 蛋白酶酶解条件的确定

1) 单因素试验。以磷脂提取率为考察指标,针对蛋白酶种类(中性蛋白酶、木瓜蛋白酶、胰蛋白酶),加酶量(50、75、100、125、150 U/g),酶解温度(35、40、45、50、55、60 ℃),pH(4.5、5.0、5.5、6.0、6.5),酶解时间(1、1.5、2、2.5、3、3.5 h)和料液比(1:1、1:2、1:3、1:4、1:5)进行单因素试验。试验基本条件:加酶量 100 U/g,酶解温度 40 ℃,pH 6.0,酶解时间 2 h,料液比 1:3。水解完成后灭酶,经浸取、沉淀、干燥后得产品。

2) 二次正交旋转组合设计试验。以磷脂提取率为考察指标,选取酶解温度、酶解时间和加酶量为考察因素,采用三元二次正交旋转组合设计(表 2),对影响酶解工艺的重要因素进行寻优。磷脂提取率取 3 次平行试验结果的平均值。

表2 酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂二次正交旋转组合设计的因素与水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal rotation combination design on extracting phospholipids with enzymolysis method from the eggs of large yellow croaker

变量	因素	水平				
		-1.682	-1	0	+1	+1.682
酶解温度/℃	$X_1$	36.590	40.0	45.0	50.0	53.410
酶解时间/h	$X_2$	1.159	1.5	2.0	2.5	2.841
加酶量/(U·g <sup>-1</sup> )	$X_3$	57.950	75.0	100.0	125.0	142.050

采用 DPS7.05 对二次正交旋转组合试验结果进行回归分析,建立磷脂提取率(Y)与酶解温度( $X_1$ )、

酶解时间( $X_2$ )、加酶量( $X_3$ )的数学回归模型。

3) 不同提取方法(溶剂法、超声波法、酶水解

法)最佳工艺放大试验。称取 50 g 匀浆后的鱼卵,根据 3 种提取方法的最佳工艺条件提取磷脂<sup>[9]</sup>。每种方法进行 3 组平行试验。

1.4 测定指标及方法

磷脂含量采用钼蓝比色法进行测定;蛋白酶活力采用紫外分光光度计法进行测定;水解度参照文献[15]进行测定。磷脂提取率由下式计算得到。

磷脂提取率=  $\frac{\text{乙醇提取物中的磷脂质量}}{\text{鱼卵质量} \times \text{鱼卵中磷脂的质量分数}}$ 。

式中,鱼卵中磷脂的质量分数取文献[9]中的 12.02%。

1.5 数据分析

用 Excel 7.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 蛋白酶筛选结果

试验结果表明:在各自最适 pH 和温度下,木瓜蛋白酶水解后的磷脂提取率要明显高于中性蛋白酶(49.12%)和胰蛋白酶(44.87%),达 60.51%,因此,选择木瓜蛋白酶作为后续试验用酶。

2.2 单因素试验结果

1) 加酶量对磷脂提取率的影响。由表 3 可见,在一定范围内,磷脂提取率随着加酶量的增大而逐渐增加,这是因为酶的作用具有专一性,随着酶加入量的增多,酶的活性基团与底物作用的点位增多,使得磷脂提取率也增大;但是加酶量超过 100 U/g 后,提取率反而有所下降,这是因为在底物界面面积相对恒定的条件下,过多的酶分子使得与底物的作用界面达到饱和,此时酶分子之间竞争界面作用点增强,催化作用下降;另外,过量的酶会导致蛋白质水解过度,产生一定量的氨基酸,影响磷脂的纯度,因此,选取酶的加入量为 100 U/g。

2) 酶解温度对磷脂提取率的影响。由表 3 可见,随着温度的升高,磷脂提取率增大,当温度超过 45℃时,磷脂的提取率反而急剧下降。这是因为随着温度的升高,体系黏度降低,溶质的扩散加快,且温度升高导致底物分子因热能增加而与酶的结合能力增强,使得磷脂提取率增大;但当温度超过 45℃时,酶分子蛋白质会慢慢变性,甚至会使酶丧

失活性<sup>[16]</sup>,因此,选取酶解温度为 45℃。

表3 酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂的单因素试验结果  
Table 3 Results of single factor test on the extraction of phospholipids with enzymolysis method from the eggs of large yellow croaker

因素	加酶量/ (U·g <sup>-1</sup> )	酶解 温度/℃	pH	酶解 时间/h	料液比	提取率/ %
酶量	50	40	6.0	2	1 3	42.72
	75	40	6.0	2	1 3	51.35
	100	40	6.0	2	1 3	60.51
	125	40	6.0	2	1 3	57.89
	150	40	6.0	2	1 3	50.63
温度	100	35	6.0	2	1 3	50.69
	100	40	6.0	2	1 3	60.51
	100	45	6.0	2	1 3	64.36
	100	50	6.0	2	1 3	53.36
	100	55	6.0	2	1 3	40.91
pH	100	45	4.5	2	1 3	32.89
	100	45	5.0	2	1 3	39.15
	100	45	5.5	2	1 3	52.65
	100	45	6.0	2	1 3	64.36
	100	45	6.5	2	1 3	55.11
时间	100	45	6.0	1	1 3	51.99
	100	45	6.0	1.5	1 3	61.22
	100	45	6.0	2	1 3	64.36
	100	45	6.0	2.5	1 3	54.21
	100	45	6.0	3	1 3	42.41
料液比	100	45	6.0	2	1 1	52.82
	100	45	6.0	2	1 2	71.16
	100	45	6.0	2	1 3	64.36
	100	45	6.0	2	1 4	50.28
	100	45	6.0	2	1 5	38.14

3) 酶解介质 pH 对磷脂提取率的影响。由表 3 可见,随着 pH 值的升高,磷脂提取率先增大后减小。这是因为在所选取的试验参数下,酶解介质 pH 为 6.0 左右能够发挥蛋白酶的最大活力,此时酶具有最佳的催化能力,使得磷脂提取率达到最大,因此,选取酶解介质的 pH 为 6.0。

4) 酶解时间对磷脂提取率的影响。由表 3 可见,随着反应的进行,磷脂提取率越来越高,酶解时间超过 2 h 时,磷脂提取率反而下降。这是因为随着酶解时间的延长,酶的活性基团与底物的结合部位增多,酶活性可以得到充分发挥,酶解反应进行得较完全,使得磷脂提取率增大;但当反应时间超过 2 h 时,因反应时间过长而造成热量积聚,或机械剪切作用导致磷脂氧化变质而损失,同时反应时间的延长导致酶反应活性降低,也使得磷脂提取率下降,且延长提取时间还会增加能耗,因此,选取酶解时间为 2 h。

5) 料液比对磷脂提取率的影响。由表 3 可见,

随着料液比的增加,磷脂提取率增加,当料液比超过 1 2 后,磷脂提取率反而下降。这是因为随着料液比的增加,酶在体系中的扩散能力增强,与底物的接触面积增大<sup>[17]</sup>,所以磷脂提取率增大;当料液比超过 1 2 时,料液比过大,酶和反应底物的浓度均会相应降低,酶解能力下降,且溶剂用量过大,后续提取成本增加,因此,选择料液比为 1 2。

表4 酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂的二次正交旋转组合设计试验结果

Table 4 Test results of orthogonal rotation combination design on the extraction of phospholipids with enzymolysis method from the eggs of large yellow croaker

试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y/%	试验号	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y/%
1	1	1	1	55.97	13	0	0	-1.682	53.19
2	1	1	-1	49.32	14	0	0	1.682	65.03
3	1	-1	1	63.01	15	0	0	0	68.83
4	1	-1	-1	54.03	16	0	0	0	72.18
5	-1	1	1	60.28	17	0	0	0	69.15
6	-1	1	-1	52.11	18	0	0	0	68.97
7	-1	-1	1	73.98	19	0	0	0	71.56
8	-1	-1	-1	62.41	20	0	0	0	70.49
9	-1.682	0	0	57.62	21	0	0	0	71.32
10	1.682	0	0	48.99	22	0	0	0	69.26
11	0	-1.682	0	64.85	23	0	0	0	68.04
12	0	1.682	0	52.34					

对回归系数进行显著性检验,在  $\alpha=0.05$  显著水平剔除不显著项,得简化后的回归方程:

$$Y=69.920\ 21-2.999\ 51X_1-4.158\ 29X_2+4.047\ 96X_3-5.340\ 57X_1^2-3.470\ 28X_2^2-3.288\ 20X_3^2+1.531\ 25X_1X_2。$$

对回归方程进行方差分析的结果见表 5。

表5 酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂回归方程的方差分析结果

Table 5 Variance analysis of regression model on the extraction of phospholipids with enzymolysis method from the eggs of large yellow croaker

变异来源	SS	df	MS	F	p
$X_1$	122.871 5	1	122.871 5	34.692 1**	0.000 1
$X_2$	236.146 4	1	236.146 4	66.674 5**	0.000 1
$X_3$	223.781 2	1	223.781 2	63.183 3**	0.000 1
$X_1^2$	453.192 4	1	453.192 4	127.956 2**	0.000 1
$X_2^2$	191.352 8	1	191.352 8	54.027 4**	0.000 1
$X_3^2$	171.799 7	1	171.799 7	48.506 6**	0.000 1
$X_1X_2$	18.757 8	1	18.757 8	5.296 2*	0.038 6
$X_1X_3$	2.111 5	1	2.111 5	0.596 2	0.453 9
$X_2X_3$	4.104 1	1	4.104 1	1.158 8	0.301 3
回归	1 413.828 0	9	157.092 0	$F_2=44.354\ 0^{**}$	0.000 1
剩余	46.043 1	13	3.541 8		
失拟	29.337 6	5	5.867 5	$F_1=2.809\ 6$	0.061 9
误差	16.705 6	8	2.088 2		
总平方和	1 459.871 0	22			

$F_{0.01(9,13)}=4.19$ ;  $F_{0.05(5,8)}=3.69$ ; \*, \*\*分别表示差异达 0.05、0.01 显著水平。

## 2.3 二次正交旋转组合设计试验结果

### 2.3.1 回归模型与方差分析

由表 4 数据进行计算,得回归方程:  $Y=69.920\ 21-2.999\ 51X_1-4.158\ 29X_2+4.047\ 96X_3-5.340\ 57X_1^2-3.470\ 28X_2^2-3.288\ 20X_3^2+1.531\ 25X_1X_2-0.513\ 75X_1X_3-0.716\ 25X_2X_3。$

由方差分析结果(表 5)可知,回归方程失拟性检验结果  $F_1=2.809\ 58 < F_{0.05(5,8)}=3.69$ ,说明未知因素对试验结果的影响很小;回归方程显著性检验  $F_2=44.354\ 00 > F_{0.01(9,13)}=4.19$ ,差异极显著,表明回归模型与实际情况拟合,可以用来反映实际生产中的酶解温度、酶解时间和加酶量对磷脂提取率的影响。

### 2.3.2 主效应分析

各因素对试验指标影响的显著性可以通过  $F$  值来反映。 $F$  值越大,表示对试验指标的影响越显著。由表 5 可见,各因素对磷脂提取率的影响从大到小依次为酶解时间、加酶量、酶解温度。

### 2.3.3 单因素效应分析

由图 1 可以看出,在其他因素固定不变的情况下,酶解温度对磷脂提取率的影响显著,温度过高或过低都会影响提取效果,当酶解温度编码值为 -0.5(即酶解温度为 42.5 ℃)时,磷脂提取率最大。酶解时间在负编码水平内对提取率影响较小,大于零水平后对提取率的影响显著。当酶解时间编码值为 -0.5(即酶解时间为 1.45 h)时,磷脂提取率达到最大值。磷脂提取率随加酶量的增加逐渐增大,加酶量编码值为 0.5(即原料中加酶量为 112.5 U/g)时,提取率达到最大值,此后稍有下降。

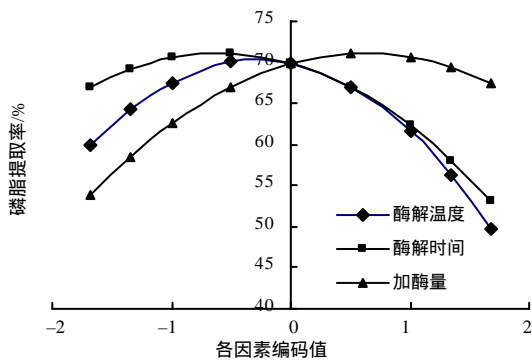


图1 酶解温度、酶解时间、加酶量对磷脂提取率的单因素效应

Fig.1 Effects of the single factor on the yield of phospholipids at different enzymolysis temperature, time and dosage

2.3.4 双因素交互作用分析

由简化后的回归方程式可知，酶解温度、加酶量、酶解时间与加酶量之间的交互作用无统计学意义，只有酶解温度和酶解时间的交互作用达显著水平。固定加酶量为零水平，由酶解温度与酶解时间的交互作用对磷脂提取效果的影响(图 2)可知，当加酶量为零水平(100 U/g)时，酶解温度过高或过低，酶解时间过长或过短，磷脂提取率均较低。当酶解温度处于[-1，0]、酶解时间处于[-1，0.5]水平时，磷脂提取率较高。

2.3.5 最大预测值的验证

通过 DPS7.05 数据处理软件对回归方程进行分析，选用木瓜蛋白酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂得

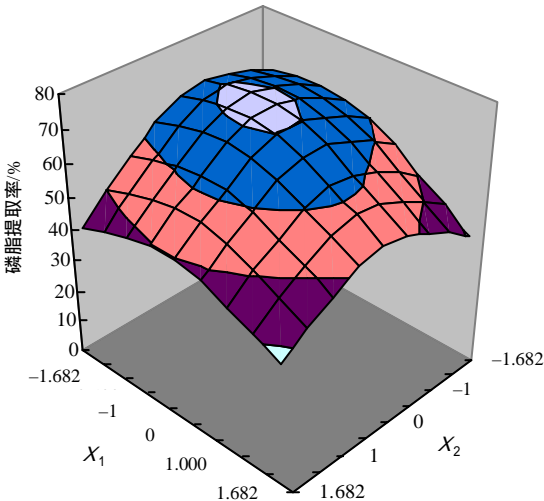


图2 酶解温度和酶解时间对磷脂提取率的交互作用

Fig.2 Interaction effect of enzymolysis temperature and time on the extraction efficiency of phospholipids

到的最佳工艺参数为料液比 1 : 2，pH 6.0，酶解温度 45 ℃，酶解时间 1.5 h，加酶量 125 U/g。酶解后离心，沉淀部分加乙醇提取，磷脂提取率为 71.37 %。根据此工艺参数进行 3 组平行试验，磷脂提取率为 70.92%。结果表明，试验优化得到的工艺参数基本可靠。

2.3.6 回归模型的验证

为验证回归模型的实用性，任意选取 3 组参数进行试验，分别测定不同参数条件下的磷脂提取率，并与同条件下的回归方程预测值进行比较(表 6)。

表6 回归模型的验证试验结果

Table 6 Verification test of regression model

试验号	酶解温度/℃	酶解时间/h	加酶量/(U·g <sup>-1</sup> )	磷脂提取率/%		误差/%
				试验值	预测值	
1	47.5	2.25	125.0	66.84	64.72	3.17
2	40.0	2.00	112.5	67.31	69.05	2.59
3	42.5	2.50	87.5	57.82	59.09	2.20

表 6 结果显示，3 组不同酶解条件验证试验所得的磷脂提取率与回归方程预测值的偏差均在 4% 以内，表明回归方程的预测结果与实际试验结果基本吻合，回归方程对生产实践具有较好的指导作用。

2.4 不同提取方法最佳工艺放大试验结果

不同提取方法最佳工艺放大试验结果如表 7 所示。工艺放大后在操作步骤上与小规模精细试验存在差异，所以，产品有少量损失。总的来说，上述

放大试验的结果比较理想。由试验结果(表 7)可以看出，酶水解法的产品提取率优于溶剂法和超声波法。

表7 3种提取方法的最佳工艺放大试验结果

Table 7 Results of scale-up experiments related to the three optimal extraction methods

方 法	乙醇提取物质量/g	磷脂含量/%	磷脂提取率/%
溶剂法	4.55	58.74	44.50
超声波法	6.40	53.36	56.92
酶水解法	6.35	62.85	66.52

### 3 结论与讨论

以大黄鱼鱼卵为原料,采用酶水解法提取鱼卵磷脂,通过二次正交旋转组合试验,建立了磷脂提取率( $Y$ )与酶解温度( $X_1$ )、酶解时间( $X_2$ )、加酶量( $X_3$ )的数学回归方程  $Y=70.801\ 78+1.539\ 71X_1-2.584\ 59X_2+4.748\ 97X_3-8.766\ 33X_1^2-3.890\ 83X_2^2-3.885\ 52X_3^2+2.355\ 00X_1X_2+0.410\ 00X_1X_3+2.957\ 50X_2X_3$ 。回归模型与实际情况拟合较好,可以用来反映实际生产中酶解温度、酶解时间和加酶量对磷脂提取率的影响。

酶水解法提取大黄鱼鱼卵磷脂的最佳工艺参数为料液比 1 : 2, pH 6.0, 酶解温度 45 °C, 酶解时间 1.5 h, 加酶量 125 U/g。酶解后离心, 沉淀加乙醇提取, 磷脂提取率达 70.92%。回归方程的预测结果与实际试验结果基本吻合, 表明回归方程具有较好的指导作用。工艺放大试验结果表明, 酶解法的磷脂提取率比溶剂法和超声波法的高, 说明酶水解法是提高大黄鱼鱼卵磷脂提取率的有效方法。

#### 参考文献:

- [1] Vladimiro C, Thaddao W, Maria T, et al. Antioxidant and prooxidant activity behavior of phospholipids in stripped soybean oil-in-water emulsions[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2011, 88(9): 1409–1416.
- [2] Jan P S, Inga S, Henrike M, et al. Incorporation of EPA and DHA into plasma phospholipids in response to different omega-3 fatty acid formulations: A comparative bioavailability study of fish oil vs krill oil[J]. Lipids in Health and Disease, 2011, 10: 145.
- [3] Cho E Y, Yun C H, Ahn T. Effects of phospholipids on the functional regulation of tBID in membranes[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2012, 363(1): 395–408.
- [4] Skar G N, Simonsen J B, Mothensen K, et al. Elliptical structure of phospholipid bilayer nanodiscs encapsulated by scaffold proteins: Casting the roles of the lipids and the protein[J]. Journal of American Chemistry Society, 2010, 132(39): 13713–13722.
- [5] Henna F S, Nielsen N S, Heinrich M T, et al. Oxidative stability of marine phospholipids in the liposomal form and their applications[J]. Lipids, 2011, 46(1): 3–23.
- [6] 高滢. 浅析中国大黄鱼产业的进出口现状[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(7): 405–407.
- [7] 陈文娟, 陈建福. 大黄鱼鱼卵脂质含量及脂肪酸组成分析[J]. 肉类工业, 2012, 34(4): 21–23.
- [8] Lenka A T, Lars P, Jann A, et al. Marine phospholipids: A promising new dietary approach to tumor-associated weight loss[J]. Support Care Cancer, 2010, 18(2): 159–170.
- [9] 陈文娟, 陈丽娇. 大黄鱼鱼卵磷脂提取及磷脂成分分析[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2012, 41(7): 498–502.
- [10] Ebenezer A I, Mabel N A, Jamal S M, et al. Fatty acid composition of *Irvingia gabonensis* and *Treculia africana* seed lipids and phospholipids[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2013, 90(4): 517–528.
- [11] Nizar T, Hajer T, Justin R, et al. Triacylglycerols and phospholipids composition of caper seeds (*Capparis spinosa*) [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2011, 88(11): 1787–1793.
- [12] Susumu M, Miyako T, Asuka S, et al. Application of phospholipids extracted from bovine milk to the reconstitution of cream using butter oil[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2004, 81(1): 97–100.
- [13] Ivane B T, Makoto M, Wilson M F, et al. Fatty acid contents in fractions of neutral lipids and phospholipids of fillets of tilapia treated with flaxseed oil[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2012, 89(8): 1495–1500.
- [14] Guo Z, Vikbjerg A F, Xu X B. Enzymatic modification of phospholipids for functional applications and human nutrition[J]. Biotechnology Advances, 2005, 23(3): 203–259.
- [15] 张音, 夏延斌. 酶解制备鸭肉香精前体物的工艺优化[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(2): 217–220.
- [16] Palacios L E, Wang T. Extraction of egg-yolk lecithin[J]. Journal of the American Oil Chemistry Society, 2005, 82(8): 565–569.
- [17] Abdelkader A N, Chun B S. Characterization of purified phospholipids from krill (*Euphausia superba*) residues deoiled by supercritical carbon dioxide[J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2012, 29(7): 918–924.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库