

# 鲟鱼卵脂质的提取及脂肪酸组成分析

宋玉昆<sup>1,2</sup>, 李翼岑<sup>1</sup>, 祁立波<sup>1,2</sup>, 辛丘岩<sup>1,2</sup>, 夏永涛<sup>3</sup>, 宋 亮<sup>1,2,\*</sup>

(1.大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034; 2.国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连 116034;

3.杭州千岛湖鲟龙科技开发有限公司, 浙江 杭州 311700)

**摘 要:**以西伯利亚鲟鱼卵为原料, 比较不同提取方法对鲟鱼卵脂质提取率、脂肪酸及脂质组成的影响。采用索氏提取、酶辅助有机溶剂和超临界CO<sub>2</sub>三种不同的方法提取鲟鱼卵中的脂质, 并分析鲟鱼卵脂肪酸组成及脂质组成。结果显示, 不同提取方法对所得到的鲟鱼卵脂质的提取率和脂肪酸的相对含量有显著的影响 ( $P<0.05$ ), 对鲟鱼卵脂质的脂肪酸种类和脂质组成没有显著影响 ( $P>0.05$ )。索氏提取法的提取率为  $(23.71\pm 1.82)\%$ , 中性蛋白酶酶解辅助有机溶剂法的提取率为  $(15.47\pm 1.21)\%$ , 超临界CO<sub>2</sub>萃取法的提取率为  $(10.43\pm 2.16)\%$ 。鲟鱼卵脂质中含有17种脂肪酸, 包括6种饱和脂肪酸, 4种单不饱和脂肪酸, 7种多不饱和脂肪酸, 其中总不饱和脂肪酸含量达到70%以上, 多不饱和脂肪酸含量达到17%以上。不同提取方法提取鲟鱼卵脂质中均含有甘油三酯、胆固醇、极性脂质, 其中甘油三酯相对含量达到89%以上。

**关键词:** 鲟鱼卵; 脂质提取; 脂肪酸组成

## Extraction and Fatty Acid Composition of Lipid from Sturgeon Eggs

SONG Yukun<sup>1,2</sup>, LI Yicen<sup>1</sup>, QI Libo<sup>1,2</sup>, XIN Qiuyan<sup>1,2</sup>, XIA Yongtao<sup>3</sup>, SONG Liang<sup>1,2,\*</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2. National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, China;

3. Hangzhou Qiandaohu Xunlong Technology Development Co. Ltd., Hangzhou 311700, China)

**Abstract:** The effects of different extraction methods on lipid yield, fatty acid composition and lipid composition of sturgeon (*Acipenser baerii*) eggs were investigated in this study. Lipid was extracted from fish eggs by using the Soxhlet method, the enzyme-assisted solvent method and the supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) method, respectively. The results showed that the different extraction methods had obvious effects on the lipid yield. The fatty acid compositions of lipids extracted by different methods were slightly different, but the lipid composition of eggs was not significantly affected. Soxhlet extraction with ethyl ether produced a lipid yield of  $(23.71\pm 1.82)\%$  (on a dry matter basis). The lipid yield with enzyme-assisted solvent extraction was  $(15.47\pm 1.21)\%$  from the samples treated with neutral protease, whereas a lipid yield of  $(10.43\pm 2.16)\%$  was achieved by SC-CO<sub>2</sub> extraction. A total of 17 fatty acids were found in lipid from eggs, including 6 saturated fatty acids, 4 monounsaturated fatty acids and 7 polyunsaturated fatty acids. The relative contents of unsaturated and polyunsaturated fatty acids were more than 70% and 17%, respectively. There were three dominant lipid components extracted from sturgeon eggs including triglycerides, cholesterol and polar lipids, irrespective of extraction methods. Triglycerides accounted for more than 89% of the total lipids in sturgeon eggs.

**Key words:** sturgeon eggs; lipid extraction; fatty acid composition

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614016

中图分类号: Q956

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 14-0092-05

引文格式:

宋玉昆, 李翼岑, 祁立波, 等. 鲟鱼卵脂质的提取及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 92-96. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614016. <http://www.spkx.net.cn>

SONG Yukun, LI Yicen, QI Libo, et al. Extraction and fatty acid composition of lipid from sturgeon eggs[J]. Food Science, 2016, 37(14): 92-96. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614016. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-09-18

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2014BAD04B09)

作者简介: 宋玉昆 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产品加工与贮藏工程。E-mail: songyukun@126.com

\*通信作者: 宋亮 (1980—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为海洋生物活性物质开发利用。E-mail: ryo.song@foxmail.com

鲟鱼 (*Acipenseridae sturgeon*) 是世界上现有鱼类中体形大、寿命长、最古老的辐鳍鱼类, 已有2亿多年的历史, 被誉为“水中活化石”<sup>[1]</sup>。中国是世界鲟鱼品种最多、分布最广、资源最为丰富的国家之一。由于鲟鱼营养价值高、养殖经济效益好, 伴随鲟鱼人工繁殖技术的日益成熟, 我国鲟鱼养殖总量不断增长<sup>[2]</sup>, 因此受到广泛关注。

经鲟鱼卵加工而成的鱼籽酱是驰名中外的高档营养食品, 有“黑色黄金”之称, 与鹅肝、松露称为“世界三大美食”, 素有“黑色黄金”之称<sup>[3]</sup>。鲟鱼卵作为鱼籽酱的加工原料, 其脂质是评估鲟鱼卵营养价值与可利用价值的重要组成部分, 对开发具有特殊营养功能产品具有重要的指导意义与理论价值。目前, 有关鲟鱼卵脂质研究较少, 大多集中于对不同品种鲟鱼鱼籽酱脂肪酸的比较<sup>[4]</sup>、野生和养殖鲟鱼籽酱的脂肪酸比较<sup>[5]</sup>、气相色谱-质谱联用方法分析俄罗斯鲟鱼不同部位脂肪酸组成<sup>[6]</sup>、酶法提取鲟鱼油工艺的研究<sup>[7]</sup>等, 但不同提取方法对鲟鱼卵脂质的组成及脂肪酸的影响鲜见报道。

本研究以西伯利亚鲟鱼卵为原料, 采用索氏提取法、酶辅助有机溶剂法以及超临界CO<sub>2</sub>萃取法对鲟鱼卵脂质进行提取, 并对鲟鱼卵脂质的脂肪酸组成以及脂质组成进行分析, 以期研究鲟鱼卵脂质的营养功能及更好地综合开发和利用鲟鱼卵提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

西伯利亚鲟鱼卵, 浙江省衢州鲟龙水产食品科技有限公司提供。将新鲜鲟鱼卵经冷冻干燥, 研磨粉碎得到冻干粉, 鲟鱼卵冻干粉置于-20℃备用。

中性蛋白酶 上海生工生物工程技术服务有限公司; 正己烷、甲醇、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、氢氧化钾、乙醚、无水硫酸钠均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

粗脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; pH计 德国Satorius公司; 棒状薄层色谱-火焰离子化检测仪 日本Mitsubishi Kagaku Iatron公司; 超临界萃取装置 江苏南通华安超临界萃取有限公司; 7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪 美国Agilent公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 酶解度的测定

采用pH-Stat法<sup>[8]</sup>进行酶解度的测定, 以滴定所消耗的浓度标准NaOH溶液 (1 mol/L) 体积计算酶解度。其计算见公式 (1):

$$\text{酶解度}/\% = \frac{B \times N_b}{M_p} \times \frac{1}{\alpha} \times \frac{1}{h_{\text{tot}}} \times 100 \quad (1)$$

式中:  $B$  为保持pH值不变所消耗的碱 (NaOH) 的体积/mL;  $N_b$  为碱 (NaOH) 的当量浓度/(mol/L);  $M_p$  为底物中蛋白总量/g;  $h_{\text{tot}}$  为物蛋白质中肽键总数/(mmol/g), 本研究中  $h_{\text{tot}}$  以7.5 mmol/g计;  $\alpha$  为酶解过程中 $\alpha$ -氨基的解离度, 计算见公式 (2):

$$\alpha = \frac{10^{\text{pH}-\text{pK}}}{1 + 10^{\text{pH}-\text{pK}}} \quad (2)$$

式中: pH值为pK进行蛋白质酶解时的值。

#### 1.3.2 鲟鱼卵脂质提取率

鲟鱼卵脂质提取率和脂质回收率的计算见公式 (3)、(4):

$$\text{提取率}/\% = \frac{\text{脂质质量}/\text{g}}{\text{鲟鱼卵干粉质量}/\text{g}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{脂质回收率}/\% = \frac{\text{酶辅助有机溶剂脂质的提取率}}{\text{索氏提取法的提取率}} \times 100 \quad (4)$$

#### 1.3.3 索氏提取法提取鲟鱼卵脂质

采用索氏提取法提取总脂质, 使用滤纸将2 g鲟鱼卵干粉末包好后置于索氏提取器中, 以无水乙醚作为提取溶剂, 回流提取10 h。将溶有鲟鱼卵脂质的乙醚在35℃条件下氮吹至恒质量, 称质量后存于-20℃备用<sup>[9]</sup>。

#### 1.3.4 酶辅助有机溶剂法提取鲟鱼卵脂质

准确称取50 g的鲟鱼卵冻干粉, 加入200 mL去离子水, 采用1 mol/L的氢氧化钠溶液调节溶液的pH值至7.0, 在50℃恒温水浴中加热并进行磁力搅拌, 向其中加入0.3 g (217 000 U/g) 的中性蛋白酶进行酶解。加酶的时间记为时间点0, 分别在5、10、20、30、40、60、120、180、240 min时记录耗碱量, 每次收集3 mL酶解液, 酶解液煮沸10 min灭酶。冷却后向其中加入5 mL正己烷摇匀, 在5 000×g条件下离心10 min, 吸出上清液, 再重复此提取过程, 合并上清液, 35℃条件下氮吹至恒质量, 称质量后保存于-20℃备用<sup>[10]</sup>。

脂肪的回收率用公式 (5) 计算:

$$\text{回收率}/\% = \frac{\text{酶辅助有机溶剂提取法提取的脂肪含量}}{\text{索氏提取法提取的脂肪含量}} \times 100 \quad (5)$$

#### 1.3.5 超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取鲟鱼卵脂质

称取30 g鲟鱼卵干粉置于萃取釜中, 升温升温后进行萃取, 其萃取条件为: 分离压力8~10 MPa、分离温度54℃、萃取压力28 MPa、萃取温度50℃、CO<sub>2</sub>流速20 L/h、萃取时间90 min。萃取完成后, 将所收集脂质称质量, 存于-20℃备用<sup>[11]</sup>。

#### 1.3.6 鲟鱼卵脂质的脂肪酸组成分析

##### 1.3.6.1 样品的甲酯化

取0.1 g鲟鱼卵脂质加入2 mL 0.5 mol/L KOH-CH<sub>3</sub>OH溶液, 混匀后置于四氟乙烯垫片旋盖小瓶中, 充氮密封后于60℃加热皂化2 h, 直至澄清透明油滴消失为止。皂化混合液冷却至室温后滴加6 mol/L HCl溶液pH 1.0以

下,再用正己烷萃取可皂化物,每次加入2 mL,萃取5次,35℃条件下氮吹至恒质量。可皂化物中加入0.5 mL正己烷溶解后,加入2 mL甲基化试剂(含1%硫酸的色谱级甲醇溶液),70℃水浴加热1 h,反应完成后冷却至室温,加入1 mL去离子水,吸取含有脂肪酸甲酯的正己烷层,加入适量无水硫酸钠吸收多余水分,过夜备用<sup>[12]</sup>。

### 1.3.6.2 气相色谱-质谱分析

利用7890A-5975C气相色谱-质谱联用仪进行脂肪酸甲酯分析。色谱柱:HP-5MS毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),氦气为载气。脂肪酸甲酯分析条件:初始温度50℃,保持1 min;以50℃/min速率升至170℃;再以4℃/min的速率升至300℃,然后以40℃/min升到320℃,保持3.6 min。质谱分析采用电子电离源(70 eV),选取Scan模式,扫描范围为 $m/z$  50~550,溶剂延迟4 min。在脂肪酸的分析中,根据气相色谱-质谱中各组分保留时间以及质谱图,通过脂肪酸标准品和NIST 08库检索进行鉴定,采用峰面积归一化法计算各脂肪酸的组成<sup>[13]</sup>。

### 1.3.7 棒状薄层色谱-氢火焰离子化法测定鲟鱼卵脂质的组成分析

取10 mg鲟鱼卵脂质,加入1 mL的三氯甲烷,将1 μL试样溶液点在色谱棒(Chromia-rod-SIII型硅胶棒)原点上,展开液为正庚烷-乙醚-甲酸(42:28:0.3, V/V),展开之后,将色谱棒放入色谱棒干燥器,在60℃条件下干燥5 min去除展开剂,展开剂完全被清除后,将色谱棒架放入扫描架中进行扫描。氢气作载气,流量:160 mL/min;空气流量:2 000 mL/min;扫速率:30 s/扫描(分析测试),扫描结果采用配套分析软件(i-Chormstar 6.3)进行数据处理<sup>[14]</sup>。

### 1.4 统计分析

实验数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用<http://www.physics.csbsju.edu/stats/t-test-bulk-form.html>在线软件进行student's  $t$ 检验, $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋白酶解度对鲟鱼卵脂质提取率的影响

正己烷是工业中普遍用有机溶剂,常用作脂质的提取溶剂,而水酶法提取脂质的方法已经成功地应用于沙丁鱼头和内脏<sup>[15]</sup>、墨鱼内脏<sup>[16]</sup>、虹鳟鱼鱼籽<sup>[17]</sup>等脂质的提取。本研究采用中性蛋白酶解鲟鱼卵后,结合正己烷提取脂质,以期达到最大的鲟鱼卵脂质提取率。据报道<sup>[18]</sup>在水酶法提取脂质过程中,底物的酶解度是影响脂肪提取率的关键因素,酶解度和游离脂质得率之间的关系非常复杂,尽管高酶解度意味着更多的“游离脂质”被释放出来,但也会释放更多起表面活性剂作用的蛋白

和肽链,这就使得游离脂质很难被分离,从而影响整体得率。因此,为了考察酶解度和脂肪产量的相关性,利用正己烷对不同酶解程度的样品中的脂质进行提取。

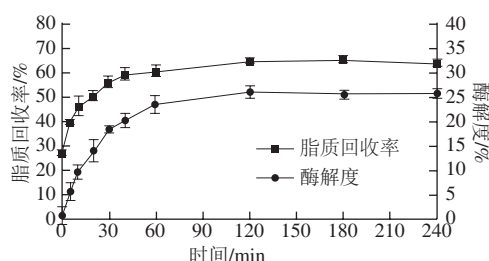


图1 酶解度对鲟鱼卵脂质提取率的影响

Fig. 1 Effect of degree of hydrolysis on lipid yield from sturgeon eggs

由图1可看出,脂质回收率随着酶解度的增加而逐渐升高,在酶解进行至120 min后达到最大值并达到平衡状态,此时鲟鱼卵的酶解度为25.96%,其脂质回收率达到64.19%。这表明了底物的酶解度在酶解辅助有机溶剂提取中影响脂肪提取率的关键因素。主要是因为中性蛋白酶将包裹脂质的蛋白质酶解,将脂质释放出来<sup>[19]</sup>。

### 2.2 不同提取方法对鲟鱼卵脂质提取率的影响

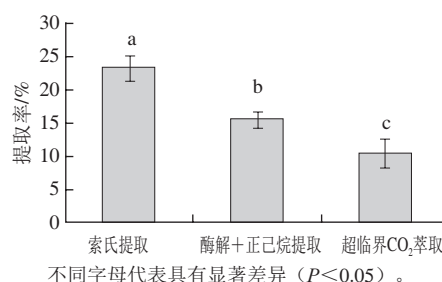


图2 不同提取方法对鲟鱼卵脂质提取率的影响

Fig. 2 Effect of different extraction methods on lipid yield from eggs

如图2所示,不同的提取方法对鲟鱼卵脂质的提取率有显著影响( $P < 0.05$ )。索氏提取法的提取率为(23.71±1.82)%,酶辅助有机溶剂法的提取率为(15.47±1.21)%,而超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取脂肪的提取率为(10.43±2.16)%。Zhou Dayong等<sup>[20]</sup>关于扇贝性腺脂质的研究中,采用超临界CO<sub>2</sub>萃取法的脂质提取率高于酶辅助有机溶剂的脂质提取率,这与本研究的结果不一致,推测可能是由于提取脂质的原料不同以及提取工艺条件不同所造成,有待于进一步研究。

在本研究中,索式提取法提取的鲟鱼卵脂质含量最高,但操作相对繁琐,提取温度较高,时间较长,导致鲟鱼脂质的营养损失。超临界CO<sub>2</sub>萃取法是一种安全、无污染的提取方法<sup>[21]</sup>,但其运行和维护成本较高,且此方法对鲟鱼卵脂质的提取效率较低。采用酶辅助溶剂法提取率相对较高,不需要特殊设备,且操作简单、提取时间短、提取温度低,是一种比较适合提取鲟鱼卵脂质的方法。



## 2.3 鲟鱼卵脂质的脂肪酸组成分析

表1 鲟鱼卵脂质脂肪酸分析  
Table 1 Fatty acid composition of sturgeon egg lipids

| 脂肪酸                     | 索氏抽提                     | 酶解+正己烷提取                | 超临界CO <sub>2</sub> 萃取    |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| C <sub>14:0</sub>       | 1.16±0.09 <sup>C</sup>   | 1.34±0.12 <sup>B</sup>  | 1.98±0.31 <sup>A</sup>   |
| C <sub>15:0</sub>       | 0.14±0.03 <sup>B</sup>   | 0.17±0.02 <sup>B</sup>  | 0.32±0.06 <sup>A</sup>   |
| C <sub>16:1 (n-7)</sub> | 5.59±0.29 <sup>B</sup>   | 5.57±0.32 <sup>B</sup>  | 8.01±1.14 <sup>A</sup>   |
| C <sub>16:0</sub>       | 21.81±0.78 <sup>A</sup>  | 19.21±0.81 <sup>A</sup> | 20.51±1.52 <sup>A</sup>  |
| C <sub>17:1 (n-7)</sub> | 0.54±0.01 <sup>A</sup>   | 0.62±0.03 <sup>A</sup>  | 0.58±0.05 <sup>A</sup>   |
| C <sub>17:0</sub>       | 0.34±0.01 <sup>B</sup>   | 0.37±0.01 <sup>A</sup>  | 0.39±0.02 <sup>A</sup>   |
| C <sub>18:3 (n-6)</sub> | 1.29±0.02 <sup>A</sup>   | 1.02±0.02 <sup>B</sup>  | 1.08±0.06 <sup>B</sup>   |
| C <sub>18:2 (n-9)</sub> | 1.29±0.03 <sup>A</sup>   | 1.01±0.04 <sup>C</sup>  | 1.20±0.10 <sup>B</sup>   |
| C <sub>18:1 (n-9)</sub> | 46.89±0.22 <sup>A</sup>  | 45.49±0.25 <sup>B</sup> | 45.01±3.23 <sup>AB</sup> |
| C <sub>18:0</sub>       | 2.90±0.10 <sup>B</sup>   | 3.42±0.05 <sup>A</sup>  | 3.30±0.12 <sup>A</sup>   |
| C <sub>20:4 (n-6)</sub> | 1.38±0.06 <sup>B</sup>   | 1.60±0.06 <sup>A</sup>  | 1.22±0.02 <sup>C</sup>   |
| C <sub>20:5 (n-3)</sub> | 3.07±0.12 <sup>B</sup>   | 4.12±0.18 <sup>A</sup>  | 3.11±0.06 <sup>B</sup>   |
| C <sub>20:3 (n-7)</sub> | 0.53±0.03 <sup>B</sup>   | 0.63±0.02 <sup>A</sup>  | 0.53±0.02 <sup>B</sup>   |
| C <sub>20:3 (n-3)</sub> | 0.44±0.04 <sup>C</sup>   | 0.66±0.03 <sup>A</sup>  | 0.53±0.04 <sup>B</sup>   |
| C <sub>20:1 (n-7)</sub> | 1.69±0.09 <sup>C</sup>   | 2.22±0.10 <sup>B</sup>  | 2.51±0.06 <sup>A</sup>   |
| C <sub>20:0</sub>       | 0.08±0.02 <sup>B</sup>   | 0.08±0.01 <sup>B</sup>  | 0.16±0.01 <sup>A</sup>   |
| C <sub>22:6 (n-3)</sub> | 10.84±0.74 <sup>AB</sup> | 12.70±1.19 <sup>A</sup> | 9.56±0.35 <sup>B</sup>   |
| SFA                     | 26.44±0.71 <sup>A</sup>  | 24.47±0.94 <sup>A</sup> | 26.65±1.66 <sup>A</sup>  |
| MUFA                    | 54.72±0.30 <sup>B</sup>  | 53.89±0.39 <sup>C</sup> | 56.10±1.72 <sup>A</sup>  |
| PUFA                    | 18.85±0.95 <sup>B</sup>  | 21.52±1.46 <sup>A</sup> | 17.24±0.37 <sup>B</sup>  |

注：饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)；单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)；多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)；同行肩标不同大写字母表示显著性差异( $P<0.05$ )。

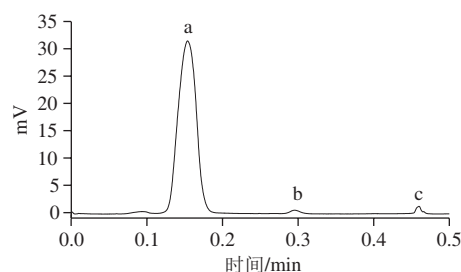
由表1所示，不同的提取方法对鲟鱼卵脂质脂肪酸相对含量有显著的影响( $P<0.05$ )，对脂肪酸种类没有影响，Spiric等<sup>[22]</sup>也发现不同提取方法会明显影响鲟鱼脂质中脂肪酸相对含量，可能主要因为索氏提取长时间回流提取且温度较高，导致不饱和脂肪酸双键断裂。正己烷和CO<sub>2</sub>的极性不同，提取的脂质中各个组分比例有所差异<sup>[23]</sup>，最终导致脂肪酸的相对含量有所不同。

鲟鱼卵脂质中含有17种常见脂肪酸，其中SFA 6种、MUFA 4种、PUFA 7种。SFA相对含量在24%~26%之间，MUFA占53%~56%，而PUFA占了17%~21%，其中相对含量最多的是油酸，占总含量的45%左右，其次是棕榈酸(19%~21%)和DHA(9%~12%)。黄艳青等<sup>[24]</sup>研究的养殖鲟鱼鱼籽酱营养品质分析及比较中，西伯利亚鲟鱼中油酸含量在33.19%，与本研究差别较大，可能主要原因是生长环境喂养饲料以及季节不同，导致脂肪酸含量有差别。

## 2.4 棒状薄层色谱-氢火焰离子化法测定鲟鱼卵脂质的组成

如图3所示，棒状薄层色谱-氢火焰离子化法分析样品中出现了3个峰，表明鲟鱼卵脂质中主要有3种物质，分别为甘油三酯、胆固醇和极性脂质，这与Yin Fawen等<sup>[25]</sup>检测到南极磷虾脂质组成的结果相一致。其中甘油三酯相

对含量较高达到90%左右，其次是极性脂质相对含量为8%左右，而胆固醇相对含量最少占1%左右。同时表2列出了不同方法提取的鲟鱼卵脂质中的脂质组成，可以看出，不同提取方法对鲟鱼卵脂质组成没有显著影响( $P>0.05$ )。



a.甘油三酯；b.胆固醇；c.极性脂质。

图3 棒状薄层色谱-氢火焰离子化分析图

Fig. 3 Thin-layer stick chromatogram of sturgeon egg lipids detected with hydrogen flame ionization detector

表2 鲟鱼卵脂质的组成分析

Table 2 Lipid composition analysis of sturgeon eggs with different extraction methods

| 方法                    | 甘油三酯                    | 胆固醇                    | 极性脂质                   |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 索氏提取                  | 89.98±1.15 <sup>a</sup> | 1.08±0.12 <sup>a</sup> | 8.83±1.11 <sup>a</sup> |
| 酶解+正己烷提取              | 90.80±1.70 <sup>a</sup> | 1.05±0.12 <sup>a</sup> | 8.15±1.59 <sup>a</sup> |
| 超临界CO <sub>2</sub> 萃取 | 89.16±2.27 <sup>a</sup> | 1.03±0.13 <sup>a</sup> | 9.81±2.14 <sup>a</sup> |

注：同列肩标不同小写字母代表具有显著性差异( $P<0.05$ )。

## 3 结论

本实验中，采用索氏提取法、酶辅助有机溶剂法、超临界CO<sub>2</sub>萃取3种方法提取鲟鱼卵脂质。结果表明，不同提取方法对鲟鱼卵脂质提取率有显著影响，索氏提取法脂质提取率最高为(23.71±1.82)%，其次是酶辅助有机溶剂提取法，提取率为(15.47±1.21)%，超临界CO<sub>2</sub>萃取法提取率最低为(10.43±2.16)%。

鲟鱼卵脂质通过利用气相色谱-质谱分析法进行脂肪酸分析。结果表明，不同提取方法对鲟鱼卵脂质的脂肪酸组成(相对含量)具有显著影响，但对脂质的组成没有显著影响。在3种不同方法提取的鲟鱼卵脂质的脂肪酸分析中，鲟鱼卵脂质中含有17种脂肪酸，包括6种SFA、4种MUFA、7种PUFA，其中不饱和脂肪酸含量达70%以上，多PUFA含量达17%以上。3种不同方法提取的鲟鱼卵脂质组成相同，鲟鱼卵脂质中含有89%~90%甘油三酯、8%~9%极性脂质、1%左右胆固醇。

本研究提供了可用于提取鲟鱼卵脂质的索氏提取法、酶辅助有机溶剂提取法和超临界CO<sub>2</sub>萃取法。但酶辅助有机溶剂提取法和超临界CO<sub>2</sub>萃取法的脂质提取率相对较低，有待于进一步研究出优化提取方案。

## 参考文献:

- [1] 章志超, 桂萌, 彭朝辉, 等. 鲟鱼中荧光假单胞菌生长预测模型构建及货架期预测[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 278-283. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201410052.
- [2] SAROSIEK B, CIERESZKO A, KOLMAN R, et al. Characteristics of arylsulfatase in russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*) semen[J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 2004, 139(4): 571-579. DOI:10.1016/j.cbpc.2004.03.016.
- [3] 郝淑贤, 何丹, 魏涯, 等. 鱼卵加工产品类型与鱼籽酱保鲜技术研究进展[J]. 南方水产科学, 2014, 10(3): 104-108. DOI:10.3969/j.issn.2095-0780.2014.03.016.
- [4] WIRTH M, KIRSCHBAUM F, GESSNER J, et al. Chemical and biochemical composition of caviar from different sturgeon species and origins[J]. Food, 2000, 44(4): 233-237. DOI:10.1002/1521-3803(20000701)44:4<233::AID-FOOD233>3.0.CO;2-1.
- [5] CZESNY S, DABROWSKI K, CHRISTENSEN J E, et al. Discrimination of wild and domestic origin of sturgeon ova based on lipids and fatty acid analysis[J]. Aquaculture, 2000, 189(1): 145-153. DOI:10.1016/S0044-8486(00)00364-1.
- [6] 樊燕, 孙晨阳, 王博, 等. GC/MS分析俄罗斯鲟鱼不同部位脂肪酸组成[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 231-235. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.040.
- [7] 郝淑贤, 石红, 李来好, 等. 酶法提取鲟鱼油工艺的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 38-41. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2009.02.004.
- [8] ADLER-NISSEN J. Limited enzymic degradation of proteins: a new approach in the industrial application of hydrolases[J]. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 1982, 32: 138-156. DOI:10.1002/jctb.5030320118.
- [9] HEEMKEN O P, THEOBALD N, WENCLAWIAK B W. Comparison of ASE and SFE with soxhlet, sonication, and methanolic saponification extractions for the determination of organic micropollutants[J]. Analytical Chemistry, 1997, 69: 2171-2180. DOI:10.1021/ac960695f.
- [10] QIN Lei, ZHU Beiwei, ZHOU Dayong, et al. Preparation and antioxidant activity of enzymatic hydrolysates from purple sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) gonad[J]. Food Science and Technology, 2011, 44(4): 1113-1118. DOI:10.1016/j.lwt.2010.10.013.
- [11] SAHENA F, ZAIDUL I S M, JINAP S, et al. Fatty acid compositions of fish oil extracted from different parts of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) using various techniques of supercritical CO<sub>2</sub> extraction[J]. Food Chemistry, 2010, 120: 879-885. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.10.055.
- [12] ZHU Beiwei, QIN Lei, ZHOU Dayong, et al. Extraction of lipid from sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) gonad by enzyme-assisted aqueous and supercritical carbon dioxide methods[J]. European Food Research and Technology, 2010, 230: 737-743. DOI:10.1007/s00217-010-1216-8.
- [13] ZHOU Dayong, TONG Lei, ZHU Beiwei, et al. Extraction of lipid from abalone (*Haliotis discus hannai* Ino) gonad by supercritical carbon and enzyme assisted organic solvent methods[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2012, 36(2): 126-132. DOI:10.1111/j.1745-4549.2011.00560.x.
- [14] LI Dongmei, ZHOU Dayong, ZHU Beiwei, et al. Effects of krill oil intake on plasma cholesterol and glucose levels in rats fed a high-cholesterol diet[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(11): 2669-2675. DOI:10.1002/jsfa.6072.
- [15] DUMAY J, DONNAY-M C BARNATHAN G, et al. Improvement of lipid and phosphor lipid recoveries from sardine (*Sardina pilchardus*) viscera using industrial proteases[J]. Process Biochemistry, 2006, 41(11): 2327-2332. DOI:10.1016/j.procbio.2006.04.005.
- [16] KECHAOU E S, DUMAY J, DONNAY M C, et al. Enzymatic hydrolysis of cuttlefish (*Sepia officinalis*) and sardine (*Sardina pilchardus*) viscera using commercial proteases: effects on lipid distribution and amino acid composition[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2009, 107: 158-164. DOI:10.1016/j.jbiosc.2008.10.018.
- [17] MAHMOUD K A S, LINDER A, FANNI J, et al. Characterisation of the lipid fractions obtained by proteolytic and chemical extractions from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) roe[J]. Process Biochemistry, 2008, 43: 376-383. DOI:10.1016/j.procbio.2008.01.011.
- [18] ROSENTHAL A, PYLE D L, NIRANJAN K. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1996, 19(6): 402-420. DOI:10.1016/S0141-0229(96)80004-F.
- [19] YOON S H, KIM I H, KIM S H, et al. Effects of enzyme treatments and ultrasonication on extraction yields of lipids and protein from soybean by aqueous process Korean[J]. Journal of Food Science and Technology, 1991, 23(6): 673-676. DOI:10.1051/ocl.2010.0337.
- [20] ZHOU Dayong, ZHU Beiwei, TONG Lei, et al. Extraction of lipid from scallop (*Patinopekten yessoensis*) viscera by enzyme-assisted solvent and supercritical carbon dioxide methods[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45: 1787-1793. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02336.x.
- [21] MITRA P, RAMASWAMY H S, CHANG K S. Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil extraction using supercritical carbon dioxide and physicochemical properties of the oil[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95: 208-213. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2009.04.033.
- [22] SPIRICA, TRBOVICD, VRANICD, et al. Statistical evaluation of fatty acid profile and cholesterol content in fish (common carp) lipids obtained by different sample preparation procedures[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 672: 66-71. DOI:10.1016/j.aca.2010.04.052.
- [23] FERDOSH S, ZAIDUL I S, NIK N, et al. Quality of tuna fish oils extracted from processing the by-products of three species of neritic tuna using supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(4): 432-441. DOI:10.1111/jfpp.12248.
- [24] 黄艳青, 龚洋洋, 陆建学, 等. 养殖鲟鱼鱼子酱营养成分分析及比较[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 346-371. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.10.068.
- [25] YIN Fawen, LIU Xiaoyang, FAN Xinru, et al. Extrusion of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal and its effect on oil extraction[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50: 633-639. DOI:10.1111/ijfs.12673.