

# 钾法提取斑点叉尾鲟内脏油的工艺研究

张伟伟, 陆剑锋\*, 焦道龙, 林琳, 翁世兵, 姜绍通

(合肥工业大学生物与食品工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:** 以斑点叉尾鲟内脏为原料, 采用一种改进的钾法制备鱼油。钾法提取鱼油的最佳工艺条件为水解 pH7.0、料液比 1:1.5(g/ml)、水解温度 65℃、水解时间 35min、氯化钾用量 4% 和盐析时间 10min, 该条件下鱼油的提取率达到 82.09%, 鱼油中的饱和脂肪酸相对含量为 20.59%, 单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸分别为 54.48% 和 15.18%。 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$  的脂肪酸比值达到 3.29, 明显高于其他淡水鱼类。以上结果表明, 斑点叉尾鲟内脏是生产鱼油的良好来源。

**关键词:** 斑点叉尾鲟; 内脏; 鱼油; 提取; 脂肪酸

## Extraction of Fish Oil from Viscera of Channel Catfish through Potassium-method

ZHANG Wei-wei, LU Jian-feng\*, JIAO Dao-long, LIN Lin, WENG Shi-bing, JIANG Shao-tong

(College of Biotechnology and Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Fish oil is usually extracted from the wastes during fish processing. In this paper, fish oil extraction from viscera of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, through a modified potassium hydroxide hydrolysis method, was investigated. The best extraction efficiency was obtained at the hydrolysis condition of pH 7.0, 1:1.5 of viscera-water ratio, 65 °C for hydrolysis temperature, 35 min for hydrolysis time, 4% potassium chloride, and 10 min for salting-out. The extraction rate of fish oil was up to 82.09% under this optimal condition. The relative content of saturated fatty acids accounted for 20.59% of total fatty acids. The relative content of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids were 54.48% and 15.18%, respectively. The ratio of n-3 to n-6 polyunsaturated fatty acids is 3.29, which was higher than that of other fresh water fish. Therefore, viscera of channel catfish provided a good resource for fish oil production.

**Key words:** *Ictalurus punctatus*; viscera; fish oil; extraction; fatty acid

中图分类号: TQ460.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2009)24-0042-05

斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*), 又称沟鲶, 属于鲶形目、鲶科鱼类, 原产于北美洲, 是一种经济价值较高的大型淡水鱼<sup>[1]</sup>。斑点叉尾鲟是美国淡水养殖的主要鱼类, 养殖产量占其淡水养殖总产量的 80% 以上<sup>[2]</sup>, 目前, 美国的人均消费量很大, 已经成为继金枪鱼、三文鱼、鳕鱼之后, 第四大畅销鱼种<sup>[3]</sup>, 具有广泛的国际市场。在受国际加工出口和国内消费市场的拉动下, 我国斑点叉尾鲟的养殖生产发展迅速, 2007 年产量达 14 万 t 左右, 业已被农业部列为重点产业化开发对象。斑点叉尾鲟主要用于生产鲶鱼片, 在加工的过程中产生大量的下脚料, 包括鱼排、内脏、鱼皮、边角料等。对这些下脚料进行综合开发利用, 不仅有助

于保护环境, 而且对于合理利用资源, 提高水产品的附加值具有重要的意义。

鱼油中富含各种不饱和脂肪酸、脂溶性维生素及其他成分。其中 n-3 多不饱和脂肪酸具有特殊的生物活性, 在生物系统中有着广泛的功能。研究表明, n-3 多不饱和脂肪酸具有降低患心血管疾病(高血压、高血脂、动脉硬化、心律不齐)的风险<sup>[4]</sup>、抑制肿瘤生长<sup>[5-6]</sup>、调节免疫及基因表达<sup>[7-8]</sup>、提高视力及健脑益智<sup>[9]</sup>、缓解抑郁<sup>[10-11]</sup>等功效。不饱和脂肪酸在人体健康及营养中起着重要的作用, 随着人们认识的不断深入, 鱼油相关产品越来越畅销, 并进一步刺激人们对于鱼油提取以及浓缩方法的研究。目前, 鱼油的提取方法大体有压榨法<sup>[12]</sup>、水

收稿日期: 2009-08-01

基金项目: 安徽省重大科技攻关专项(08010301078); 国家星火计划项目(2008GA710021)

作者简介: 张伟伟(1985—), 男, 硕士研究生, 主要从事水产品加工与贮藏研究。

E-mail: weiwei\_zhang1985@yahoo.com.cn

\* 通讯作者: 陆剑锋(1976—), 男, 副研究员, 博士, 主要从事水生动物资源的保护和综合利用研究。

E-mail: lujf@sibs.ac.cn

蒸气煮法<sup>[13]</sup>、隔水煮法<sup>[14]</sup>、稀碱水解法<sup>[15]</sup>、超临界流体萃取法<sup>[16]</sup>、水酶法<sup>[17]</sup>等,其中,稀碱水解法是我国传统鱼油生产普遍采用的一种方法。本研究选择改进的钾法来提取斑点叉尾鲶内脏中的鱼油,通过正交优化试验确定鱼油提取的工艺参数,并对鱼油的基本理化性质和脂肪酸组成进行分析。该法在保证提取鱼油质量和提取率的同时,克服了传统淡碱水解法废弃物不能再利用的特点<sup>[18]</sup>,可为斑点叉尾鲶下脚料的综合开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

将斑点叉尾鲶(一龄鱼,明光市永言水产食品有限公司。)内脏去除胆囊、鳔及肠道内消化物后,在高速组织捣碎机中捣碎,然后分装于封口袋中, -24℃条件下冷冻贮藏备用。

氢氧化钾、氯化钾、硫酸、甲醇、正己烷、氯化钠、无水硫酸钠、无水乙醚、硫酸铜、硫酸钾、硫代硫酸钠、盐酸、95%乙醇、冰乙酸、异辛烷、碘化钾、淀粉等均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

CT15RT台式高速冷冻离心机 上海天美生化仪器设备有限公司; FSH-2A 可调高速匀浆机 江苏金坛市荣华仪器制造有限公司; YB-1A 真空恒温干燥箱 天津市鑫洲科技有限公司; PHS-3C 精密 pH 计 上海大普仪器有限公司; Saturn2200 气质联用仪 美国 Varian 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鲶鱼鱼油提取工艺

取一定量的内脏经解冻后,放入具塞锥形瓶中,按料液比 1:1.5(g/ml)加入蒸馏水,然后用 20% 的 KOH 调节 pH 值,并向锥形瓶中填充氮气,在一定的温度下,保温水解一定时间后,加入一定量的氯化钾,继续保温一段时间,随后在 5000 × g 的离心力条件下趁热离心 10min,分离出上层鱼油。

$$\text{鱼油提取率}(\%) = \frac{\text{提取鱼油质量}}{\text{原料中鱼油质量}} \times 100$$

#### 1.3.2 原料基本营养成分的测定

水分含量测定:直接干燥法,参照 GB/T 5009.3—2003;灰分测定:灼烧称重法,参照 GB/T 5009.4—2003;粗蛋白测定:凯氏定氮法,参照 GB/T 5009.5—2003;粗脂肪测定:索氏抽提法,参照 GB/T 5009.6—2003,并将粗脂肪的含量定为原料中鱼油的含量。

#### 1.3.3 鱼油的理化性质测定

感官评定:参照 SC/T 3502—2000;水分及挥发物

含量测定:参照 GB/T 5528—2008,直接干燥法;不溶性杂质含量测定:参照 GB/T 15688—2008,坩埚式过滤器法;酸值测定:参照 GB/T 5530—2005,热乙醇测定法;碘值测定:参照 GB/T 5532—2008,硫代硫酸钠滴定法;过氧化值测定:参照 GB/T 5538—95,硫代硫酸钠滴定法。

#### 1.3.4 脂肪酸组成分析

样品甲酯化:称取样品 0.5g 置于具塞试管中,加入 0.5mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液 4ml,置于 60℃水浴锅上皂化 30min(油珠完全消失),冷却后加入 12.5% 硫酸-甲醇溶液 40ml,于 60℃水浴上酯化 5min,冷却,将之倒入盛有 45ml 蒸馏水的分液漏斗中,加入正己烷 2ml,放掉下层,用饱和氯化钠水溶液 2ml 洗涤至少 3 次,取上清液再加入 2g 无水硫酸钠,取上清液在 3000~4000r/min 下条件离心 10min,用 0.22 μm 微孔过滤膜过滤后,待 GC-MS 分析。

鱼油脂肪酸组成的测定采用气质联用法。GC 条件:CP5860 石英毛细管柱(30m × 0.25mm);载气:高纯氮;流速:0.9ml/min;进样口温度:260℃。柱温:起始温度 160℃,保持 3min,以 5℃/min 升温至 200℃,再以 10℃/min 升温至 240℃,保持 5min。MS 条件:EI 离子源,电离能量 70eV;离子阱温度 150℃;传输线温度 280℃;电子倍增管电压 2400V。通过对 NIST 谱库检索,对脂肪酸进行定性,并采用面积归一化法确定其相对百分含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 斑点叉尾鲶内脏基本成分组成

表 1 斑点叉尾鲶内脏的基本成分( $\bar{x} \pm s$ )  
Table 1 Basic components in viscera of channel catfish ( $\bar{x} \pm s$ )

成分	水分	粗蛋白	粗脂肪 $x$	灰分
质量分数(%)	60.76 ± 0.148	8.58 ± 0.058	28.14 ± 0.071	0.83 ± 0.028

由表 1 可知,斑点叉尾鲶内脏中的粗蛋白含量为 8.58%,相比之下,粗脂肪含量达到 28.14%,因此,斑点叉尾鲶内脏可以作为鱼油提取的良好原料,而且鱼油提取的废液中将含有大量的氨基酸、蛋白质以及钾盐等,可以作为肥料加以利用。

### 2.2 pH 值对斑点叉尾鲶鱼油提取率的影响

在水解温度 70℃、料液比 1:1.5、水解时间 40min、氯化钾用量 5% 和盐析时间 15min 的条件下,分别在 pH6.5、7.0、7.5、8.0、8.5 时提取鱼油,结果见图 1。在试验中,调节料液比后,其初始 pH 值在 6.2 左右。由图可知,pH7.0 左右时,提取率达到最高。因为随着 KOH 溶液的加入,破坏了蛋白质与鱼油的结合,鱼油的提

取率会先上升,而后随着pH值的进一步增加,加剧了鱼油皂化,鱼油的提取率出现下降。

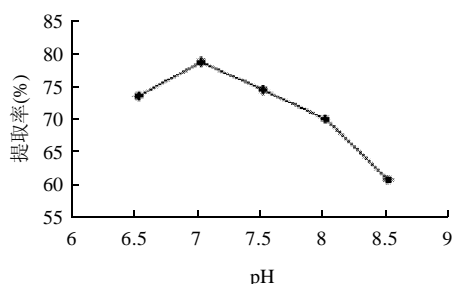


图1 pH值对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

Fig.1 Effect of pH value on extraction rate of fish oil from channel catfish

### 2.3 水解温度对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

在pH7.0、料液比1:1.5、水解时间40min、氯化钾用量5%和盐析时间15min的条件下,分别在水解温度为40、50、60、70、80℃时提取鱼油,结果见图2。由图可知,提油率随着水解温度的增加而增大,在60℃左右时,提油率达到最大,随后,又随着温度的上升而下降。一定温度下,升温能促进蛋白质的分解,提高提油率,而温度过高,油脂则发生水解、氧化,提取率下降。

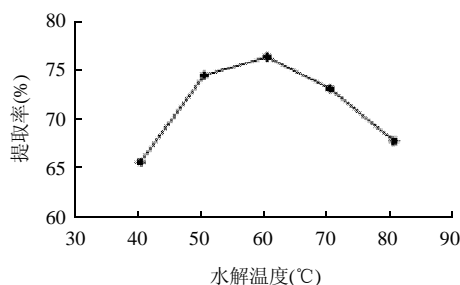


图2 水解温度对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

Fig.2 Effect of hydrolysis temperature on extraction rate of fish oil from channel catfish

### 2.4 水解时间对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

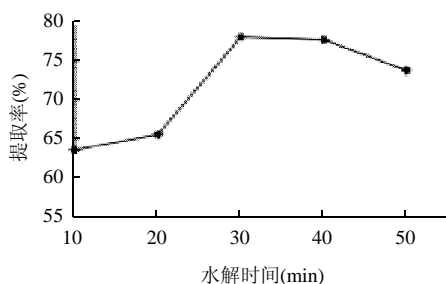


图3 水解时间对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

Fig.3 Effect of hydrolysis time on extraction rate of fish oil from channel catfish

在pH7.0、水解温度60℃、料液比1:1.5、氯化钾用量5%和盐析时间15min的条件下,分别在10、20、30、40、50min时提取鱼油,结果见图3。由图可知,随着水解时间的延长,鱼油提取率先增加后减小,在30min左右时,鱼油提取率达到最大。水解时间较短时,水解不够充分,因此提油率较低,水解时间太长,会造成油脂的氧化及分解。

### 2.5 氯化钾用量对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

在pH7.0、水解温度60℃、料液比1:1.5、水解时间30min和盐析时间15min,分别在氯化钾用量为2%、3%、4%、5%、6%时提取鱼油,结果见图4。由图可知,氯化钾用量小于4%时,鱼油的提取率随着氯化钾用量的增加而增加,在氯化钾用量达到4%时最大,当用量超过5%时,鱼油的提取率出现下降。钾法制备的粗鱼油中含有部分蛋白残渣,皂化物等杂质,加入一定量的氯化钾后,有助于盐析皂化物,破坏乳化油,增大水溶液的比重,降低粗鱼油的含水量,从而改善粗油质量,增大提油率,而盐浓度过高时,皂化物形成的胶体发生解析,加重乳化,使提油率出现下降。

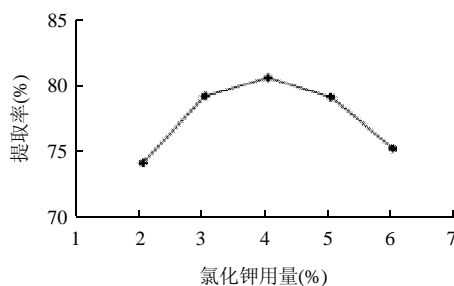


图4 氯化钾用量对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

Fig.4 Effect of potassium chloride amount on extraction rate of fish oil from channel catfish

### 2.6 盐析时间对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

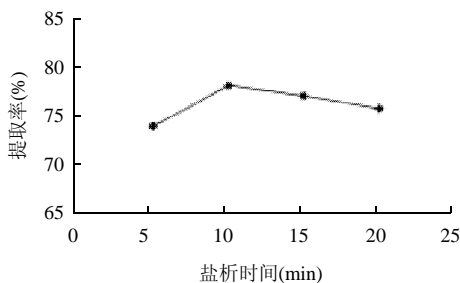


图5 盐析时间对斑点叉尾鲷鱼油提取率的影响

Fig.5 Effect of salting out time on extraction rate of fish oil from channel catfish

在pH7.0、水解温度60℃、料液比1:1.5、水解时间30min和氯化钾用量4%的条件下,分别在盐析时间为5、10、15、20min时提取鱼油,结果见图5。由

图可知,盐析时间在10min左右时,鱼油提取率达到最大。一定的盐析时间有助于鱼油从乳状液中分离出来,而随着时间的延长,油脂容易发生分解,使提取率下降,因此,选择盐析时间为10min。

## 2.7 正交设计结果与分析

根据单因素试验的结果,确定料液比1:1.5、氯化钾用量4%的条件下,选择pH值、水解时间、水解温度、盐析时间4个因素作为正交试验因素,以鱼油提取率为指标,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计,因素水平见表2。

表2 正交试验因素及水平  
Table 2 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素			
	A 水解时间(min)	B 水解温度(°C)	C pH	D 盐析时间(min)
1	30	60	7.0	8
2	25	65	6.5	12
3	35	55	7.5	10

表3 正交试验结果与分析  
Table 3 Results and analysis of orthogonal test

试验号	A	B	C	D	提取率(%)
1	1	1	1	1	74.52
2	1	2	2	2	74.09
3	1	3	3	3	81.24
4	2	1	2	3	75.66
5	2	2	3	1	77.11
6	2	3	1	2	76.47
7	3	1	3	2	79.46
8	3	2	1	3	82.09
9	3	3	2	1	75.37
$K_1$	229.85	229.64	233.08	227.00	
$K_2$	229.24	233.29	225.12	230.02	
$K_3$	236.92	233.08	237.81	238.99	
$k_1$	76.617	76.547	77.693	75.667	
$k_2$	76.413	77.763	75.040	76.673	
$k_3$	78.973	77.693	79.270	79.663	
R	2.560	1.216	4.230	3.996	

对正交优化试验方案的结果进行极差分析,结果见表3。极差由大到小的顺序是 $C > D > A > B$ ,即pH值对鱼油的提取率影响最大,盐析时间次之,其次分别是水解时间和水解温度。根据正交试验结果分析,钾法提取斑点叉尾鲴内脏油的最佳工艺条件为 $A_3B_2C_3D_3$ 。验证实验结果表明, $A_3B_2C_3D_3$ 条件下的提油率略小于直观最优因素水平 $A_3B_2C_1D_3$ ,因此,最终确定最佳的提取条件为料液比1:1.5、氯化钾用量4%、水解时间35min、水解温度65°C、pH7.0和盐析时间10min。

方差分析结果见表4。pH值和盐析时间对提油率的影响显著,而水解时间和水解温度对提油率的影响不显著。

表4 正交试验结果方差分析  
Table 4 Variance analysis of orthogonal test

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
A	12.149	2	4.339	$F_{0.1(2,2)}=9.000$	
B	2.800	2	1.000	$F_{0.05(2,2)}=19.000$	
C	27.419	2	9.793		显著
D	25.927	2	9.260		显著
误差	2.80	2			

## 2.8 粗鱼油理化性质测定

最佳提取条件下得到的粗鱼油外观呈红棕色,具有鱼腥味和轻微的酸败味,理化性质分析见表5。其中酸值较高达到37.5mg/g,超出粗油的二级标准,可能是由于在鱼油提取过程中,部分鱼油发生水解而导致酸值过大。而过氧化值较低,达到粗油的一级标准。另外,粗油中还含有一定量的水分、蛋白质、胆固醇及色素等非甘油酯成分,这些杂质成分不仅影响鱼油的稳定性,而且还会进一步影响鱼油的深加工,需要进一步的精炼(如脱胶、脱酸、脱色、脱臭和冬化等)去除,从而提高鱼油质量,以达到工业或食用的目的。

表5 鲢鱼内脏油理化性质  
Table 5 Physical and chemical properties of fish oil from channel catfish

理化指标	测定结果	一级标准	二级标准
外观	红棕色	浅黄色或红棕色,稍有浑浊或分层	
气味	具有鱼腥味,稍有鱼油的酸败味	具有鱼油的腥味,稍有鱼油酸败味	
酸值(mg KOH/g)	37.50	$\leq 8$	$\leq 15$
过氧化值(mmol/kg)	1.35	$\leq 6$	$\leq 10$
水分及挥发物(%)	1.37	$\leq 0.3$	$\leq 0.5$
不溶性杂质(%)	0.18	$\leq 0.3$	$\leq 0.5$
碘值(g I/100g)	84.18		$\geq 120$

注:粗鱼油的分级标准参考SC/T 3502—2000。

## 2.9 斑点叉尾鲴鱼油脂肪酸组成分析

对提取的鱼油进行气相色谱分离,并采用质谱仪分析,结果见表6。鱼油中的饱和脂肪酸较低为20.59%,不饱和脂肪酸含量较高达到69.66%。主要的脂肪酸种类是 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:2n-7}$ 、 $C_{18:1n-9}$ 、 $C_{18:0}$ ,分别为13.39%、12.35%、47.19%、5.04%。其脂肪酸组成与其他淡水鱼油组成比较接近<sup>[19]</sup>,而与海水鱼的鱼油组成不同<sup>[20-21]</sup>,海水鱼油中 $C_{18}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{22}$ 的脂肪酸含量比较高,而淡水鱼油中所含的 $C_{20}$ 、 $C_{22}$ 不饱和脂肪酸较少,但含有较多的 $C_{16}$ 饱和脂肪酸和 $C_{18}$ 不饱和酸<sup>[22]</sup>。 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的比值达到3.29,高于大多数淡水鱼的 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的值<sup>[19,21]</sup>。 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的比值是比较鱼油相对营养价值的一个指标,通常认为达到1:1以上为好<sup>[23]</sup>。同时,可以采用低温结晶法、超临界二氧化碳流体萃取、脲素包合、

分子蒸馏、柱色谱法、银离子络合法等方法<sup>[24]</sup>, 进一步富集鱼油中不饱和脂肪酸, 特别是EPA和DHA, 以满足医药和保健品行业的需求。

表6 斑点叉尾鲴鱼油的脂肪酸组成

Table 6 Fatty acid compositions of fish oil from channel catfish

序号	脂肪酸组成	相对含量(%)
1	C <sub>14:0</sub>	1.49
2	C <sub>15:0</sub>	0.16
3	C <sub>16:1n-5</sub>	0.61
4	C <sub>16:1n-7</sub>	3.17
5	C <sub>16:0</sub>	13.39
6	C <sub>17:0</sub>	0.32
7	C <sub>18:3n-6</sub>	0.16
8	C <sub>18:2n-8</sub>	0.30
9	C <sub>18:2n-7</sub>	12.35
10	C <sub>18:1n-9</sub>	47.19
11	C <sub>18:0</sub>	5.04
12	C <sub>20:5n-3</sub>	0.49
13	C <sub>20:4n-6</sub>	0.19
14	C <sub>20:3n-7</sub>	0.50
15	C <sub>20:2n-7</sub>	0.53
16	C <sub>20:1n-9</sub>	2.86
17	C <sub>20:0</sub>	0.19
18	C <sub>22:6n-3</sub>	0.66
19	C <sub>22:1n-9</sub>	0.65
其他		9.75
	ΣSFA 饱和脂肪酸	20.59
	ΣUFA 不饱和脂肪酸	69.66
	ΣMUFA(单不饱和脂肪酸)	54.48
	ΣPUFA(多不饱和脂肪酸)	15.18
	Σn-3 系不饱和脂肪酸	1.15
	Σn-6 系不饱和脂肪酸	0.35
	Σn-3/Σn-6	3.29
	EPA/DHA	0.74

### 3 结 论

斑点叉尾鲴的加工过程中, 会产生大量的废弃物, 其中, 内脏的粗蛋白含量为8.58%, 脂肪含量达到28.14%, 是加工鱼油的良好来源, 提取鱼油后的残液中含有大量的氨基酸及蛋白, 可以作为良好的肥料。钾法提取斑点叉尾鲴内脏油的最佳的工艺条件为料液比1:1.5、氯化钾用量4%、水解时间35min、水解温度65℃、pH7.0、盐析时间10min, 在此条件下, 提油率达到82.09%。在最佳提取条件下得到的鱼油外观呈红棕色, 具有鱼腥味和轻微的酸败味, 需要进一步的精炼(如脱胶、脱酸、脱色、脱臭和冬化等), 以达到工业或食用的目的。经GC-MS检测分析, 钾法提取的鱼油中至少含有19种脂肪酸。其中饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸分别为20.59%、69.66%, 单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸分别为54.48%、15.18%, 其中EPA和DHA的含量分别为0.49%、0.66%, 而Σn-3/Σn-6的值达到3.29。

### 参考文献:

- [1] 李承林. 鱼类学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 148.
- [2] 王玉堂, 刘绯. 我国斑点叉尾鲴产业发展现状及对策[J]. 中国水产, 2007(12): 14-16.
- [3] NASS-USDA. Catfish products[R]. Washington. National Agricultural Statistics Service, Agricultural Statistics Board, U.S. Department of Agriculture, 2001.
- [4] RIEDIGER N D, OTHMAN R A, SUH M, et al. A systemic review of the roles of n-3 fatty acids in health and disease[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2009, 109(4): 668-679.
- [5] HARDMAN W E. (n-3) fatty acids and cancer therapy[J]. Journal of Nutrition, 2004, 134(Suppl 12): 3427-3430.
- [6] GE Y L, CHEN Z H, KANG Z B, et al. Effects of adenoviral gene transfer of *Caenorhabditis elegans* n-3 fatty acid desaturase on the lipid profile and growth of human breast cancer cells[J]. Anticancer Research, 2002, 22(2A): 537-543.
- [7] WEAVER K L, IVESTER P, SEEDS M, et al. Effect of dietary fatty acids on inflammatory gene expression in healthy humans[J]. Journal of Biological Chemistry, 2009, 284(23): 15400-15407.
- [8] LIANG B, WANG S, YE Y J, et al. Impact of postoperative omega-3 fatty acid-supplemented parenteral nutrition on clinical outcomes and immunomodulations in colorectal cancer patients[J]. World Journal of Gastroenterology, 2008, 14(15): 2434-2439.
- [9] JENSEN C L. Effects of n-3 fatty acids during pregnancy and lactation[J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2006, 83(Suppl): 1452-1457.
- [10] LOGAN A C. Omega-3 fatty acids and major depression: a primer for the mental health professional[J]. Lipids in Health and Disease, 2004, 3: 25.
- [11] HORROBIN D F. A new category of psychotropic drugs: neuroactive lipids as exemplified by ethyl eicosapentaenoate(E-E)[J]. Progress in Drug Research, 2002, 59: 171-199.
- [12] 汪之和. 水产品加工技术与利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 1.
- [13] CHANTACHUM S, BENJAKUL S, SRIWIRAT N. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked Tuna heads[J]. Food Chemistry, 2000, 69(3): 289-294.
- [14] AIDOS I, van der PADT A, BOOM R M, et al. Upgrading of maatjes Herring byproducts: production of crude fish oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(8): 3697-3704.
- [15] 黄志斌. 水产品综合利用工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 40-44.
- [16] DAVARNEJAD R, KASSIM K M, ZAINAL A, et al. Extraction of fish oil by fractionation through supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Chemical and Engineering Data, 2008, 53(9): 2128-2132.
- [17] 吴祥庭. 优化水酶法提取鲢鱼油的酶解条件[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 270-273.
- [18] 杨官娥, 杨琦, 赵建滨, 等. 钾法提取鱼油工艺的研究[J]. 山西医科大学学报, 2001, 32(1): 31-32.
- [19] 罗永康. 7种淡水鱼肌肉和内脏脂肪酸组成的分析[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(4): 108-111.
- [20] 郭无暇, 胡建恩, 王秀武, 等. 鲑鱼肝油制备及其脂肪酸组成分析[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(1): 77-80.
- [21] 姚婷. 海水鱼与淡水鱼omega-3多不饱和脂肪酸含量的比较研究[J]. 现代食品科技, 2005, 21(3): 26-29.
- [22] 林洪, 曹立民, 刘春娥, 等. 水产品资源有效利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 59.
- [23] SIMOPOULOS A P. Summary of the NATO advanced research workshop on dietary ω3 and ω6 fatty acids: biological effects and nutritional essentiality[J]. Journal of Nutrition, 1989, 119: 521-528.
- [24] 倪培德. 油脂加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 54-61.