

酶解法提取白鲢鱼油的工艺研究及品质分析

骆婷, 许学勤, 夏文水, 姜启兴, 许艳顺 (江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要 [目的]为淡水鱼加工副产物的综合利用及淡水鱼油的提取提供方法和依据。[方法]采用酶解法对白鲢腹部进行鱼油提取, 研究酶的种类、液固比、酶解温度、pH 和酶用量等因素对鱼油提取率的影响, 并对得到的粗鱼油进行理化性质和脂肪酸组成分析。[结果]试验表明, 碱性蛋白酶对腹部鱼油的提取效果最好, 在液固比 1.0:1 mL/g 的条件下进行响应面优化得到最佳的工艺参数为: 酶解温度 54 ℃, 加酶量 8 200 U/g, pH 8.6, 此条件下酶解 3 h 得到鱼油提取率为 64.32%, 鱼油过氧化值为 5.48 mmol/kg, 碘价为 1 204.20 g/kg, 皂化价为 169.21 mg/g, 酸价为 3.56 mg/g, 其中二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)的含量分别为 6.54% 和 4.53%, n-3/n-6 值为 2.89。[结论]所得鱼油的各项指标符合 1 级粗鱼油标准, 营养价值较高, 应用前景广阔。

关键词 鱼油; 酶解; 提取; 脂肪酸组成

中图分类号 S986 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)17-096-05

Technology Research and Quality Analysis of Fish Oil from Silver Carp by Enzyme Hydrolysis Method

LUO Ting, XU Xue-qin, XIA Wen-shui et al (College of Food, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122)

Abstract [Objective] To provide method and reference for the extraction of freshwater fish oil and the comprehensive utilization of processing by-products of freshwater fish. [Method] Fish oil was extracted from the belly part of silver carp by enzyme hydrolysis method. We researched the effects of enzyme type, liquid-solid ratio, hydrolysis temperature, pH and enzyme dosage on the extraction rate of fish oil. Then, the physicochemical property and fatty acid composition of obtained crude fish oil were analyzed. [Result] Alkaline protease had the optimal extraction effects on fish oil from belly part. Under the condition of 1.0:1 liquid-solid ratio, the response surface optimization was carried out. The optimal technology was as follows: 54 ℃ hydrolysis temperature, 8 200 U/g enzyme dosage, pH 8.6 and 3 h enzymolysis time. Under this condition, the extraction rate of fish oil was 64.32%. The fish oil peroxide value was 5.48 mmol/kg; iodine value was 1 204.2 g/kg; saponification value was 169.21 mg/g and acid value was 3.56 mg/g. Among them, contents of EPA and DHA were 6.54% and 4.53%, respectively. The n-3/n-6 was 2.89. [Conclusion] The fish oil indexes reach the first grade standard of crude fish oil, which has high nutritional value and broad application prospect.

Key words Fish oil; Enzymolysis; Extraction; Fatty acid composition

作为全球淡水鱼生产消费大国, 我国的淡水渔业一直处于持续增长阶段。根据中国渔业统计年鉴, 2015 年我国淡水养殖产量为 2 935.76 万 t, 占淡水产品产量的 92.74%^[1]。现有的淡水鱼深加工主要集中于鱼糜及鱼糜产品的加工, 其综合利用率只有 30%~50%, 要提高淡水鱼业的综合产值、降低淡水鱼制品的成本, 就要对其加工下脚料进行充分的加工与利用^[2]。

目前淡水鱼加工下脚料主要用于低值鱼粉的加工, 并产生鱼油等加工副产物, 这两者主要用于制作饲料和饲料添加剂, 鱼油的综合产量低且品质较差、附加产值低。与海水鱼相比, 淡水鱼油的应用和研究较少, 主要是因为淡水鱼鱼体组织中的鱼油含量较低。根据 Guipu Li 等的研究, 在对 29 种淡水鱼、海水鱼以及虾的脂肪含量和脂肪酸组成进行比较发现, 大多数淡水鱼的 n-3/n-6 值要小于 1, n-3 多不饱和脂肪酸含量低于 n-6, 但还有一些大宗淡水鱼, 例如白鲢、鳊鱼等具有接近海水鱼油的 n-3/n-6 值^[3]。

现在研究较多的鱼油提取方法有蒸煮压榨法、溶剂提取法、水酶法以及淡碱水解法等。研究工艺改进的主要目的在于提高提取率、减少加工过程中杂质对环境的污染^[4]。采用添加外源酶的方法分解蛋白获得鱼油的方法称为酶解法。酶解法一般采用商业经济的食品级蛋白酶, 是一种十分具有发展前景的提取方法, 也是现在研究最为广泛的提取方法之一。与其他提取方法相比, 酶解法在提取效率以及能源重复

利用率方面都具有一定的优势。笔者选择大宗淡水鱼之一的白鲢作为试验原料, 研究不同酶解条件对白鲢腹部鱼油提取率以及相关品质的影响, 并对所得鱼油进行性质分析和脂肪酸组成分析, 为开发高价值的鱼油产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料及主要试剂。原料: 白鲢, 购于华润万家超市 (2.5~3.0 kg), 选用部位为腹部。主要试剂: 乙醇、氯仿、碘化钾、淀粉、冰醋酸、氢氧化钾等, 国药集团化学试剂有限公司, 试剂均为分析纯; 碱性蛋白酶, 诺维信生物技术有限公司; 胰蛋白酶、风味蛋白酶、胃蛋白酶, 国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备。JB 5374-91 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; GC-2010 气相色谱仪, 日本岛津公司; UV 1000 紫外-可见分光光度计, 上海天美科学仪器有限公司; UltraScan Pro1166 高精度分光测色仪, 美国 Hunterlab 公司。

1.2 方法

1.2.1 原料预处理工艺。取新鲜的白鲢腹部, 清洗干净、去膜、打碎, 冷冻备用。

1.2.2 酶解法鱼油提取工艺。取冷冻的鱼腹部下脚料, 于 4 ℃ 条件下低温解冻, 按照一定的液固比加入蒸馏水进行打浆。将其水浴加热到规定反应温度后, 添加稀盐酸或稀氢氧化钠调整 pH, 加入一定量的酶, 并在反应温度下进行酶解。到规定时间后, 在 95 ℃ 水浴下加热 10 min 进行灭酶, 冷却后在 5 000 r/min 条件下离心 20 min, 分离上层清油以及中层乳

基金项目 国家大宗淡水鱼产业技术体系建设专项项目 (CARS-46)。

作者简介 骆婷 (1990-), 女, 山东蓬莱人, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工。

收稿日期 2016-04-06

化层,将乳化层按照 1:3 的比例加入正己烷并在 35 ℃ 条件下静置分层,将分离得到的有机相进行旋转蒸发得到鱼油,合并两部分鱼油,进行提取率的计算以及相关品质分析。

1.2.3 提取率计算。鱼油提取率按式(1)计算:

$$R=\frac{m_1}{m_2}\times 100\%$$

(1)

式中, R 为鱼油提取率(%); m_1 为所得鱼油质量(g); m_2 为原料中鱼油的质量(g)。

1.2.4 理化指标的测定。皂化价测定:按 GB/T 5534—1998 执行;过氧化值测定:按 GB 5538—2005 执行;酸价测定:按 GB/T 5530—2005 执行;碘价测定:按 GB/T 5532—1995 执行。

1.2.5 脂肪酸组成分析。采用气相色谱法测定。样品前处理:取适量油脂样品于离心管中,加入 2 mL 0.5 mol/L 的 NaOH—甲醇溶液,置于 60 ℃ 水浴加热 40 min,冷却后加入 2 mL 25% BF_3 —甲醇溶液,继续放入 60 ℃ 水浴中进行酯化反应 30 min,冷却后加入 2 mL 正己烷振荡,最后加入饱和 NaCl 2 mL 溶液振荡,离心取上层有机相于离心管中进行脂肪酸组成分析。分析条件参照文献[5]。

2 结果与分析

2.1 蛋白酶种类对鱼油提取率的影响 在液固比为 1.2:1 mL/g、酶添加量为 10 000 U/g 的条件下,根据酶种类选择合适的酶解 pH,在最适反应温度条件下反应 3 h,所得鱼油的提取率见表 1。

表 1 不同蛋白酶对酶解效果的影响
Table 1 Effects of different proteases on enzymolysis

酶种类 Enzyme type	反应温度 Reaction temperature//℃	pH	提取率 Extraction rate//%	蛋白回收率 Recovery rate of protein//%
内源酶 Endogenous enzyme	40	7.5	20.5	18.9
胰蛋白酶 Trypsase	40	8.0	36.4	24.2
胃蛋白酶 Pepsase	40	2.0	41.7	25.1
碱性蛋白酶 Alkaline protease	55	8.5	58.8	33.2

从表 1 可以看出,在上述条件下,对于白鲢腹部下脚料中鱼油的提取,碱性蛋白酶的提取率最高,同时碱性蛋白酶水解液中的蛋白回收率最高。从资源再利用以及经济角度考虑,选用碱性蛋白酶作为下一步的酶解试验用酶。

2.2 加酶量对鱼油提取率的影响 在液固比 1.2:1 mL/g、温度 55 ℃、pH 8.5 的条件下酶解 3 h,分别考察酶添加量 4 000、6 000、8 000、10 000、12 000 U/g 时鱼油提取率的变化情况。从图 1 可以看出,随着酶添加量的增加,鱼油提取率仍然呈现先增大后减小的趋势。这是因为在底物未达到饱和的情况下,酶量的增加可以促进蛋白质的水解,当达到饱和之后,由于酶自身的水解或者抑制作用,酶解程度降低^[6],因而使油脂释放不完全,导致提取率降低。结果表明,在酶添加量为 8 000 U/g 时,所得鱼油提取率最高。

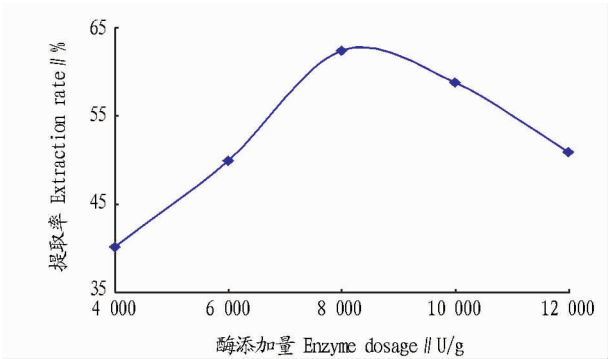


图 1 不同酶添加量对鱼油提取率的影响

Fig. 1 Effects of enzyme dosage on extraction rate of fish oil

2.3 酶解温度对鱼油提取率的影响 在液固比 1.2:1 mL/g、酶添加量 10 000 U/g、pH 8.5 的条件下酶解 3 h,考察酶解温度 45、50、55、60、65、70 ℃ 条件下鱼油提取率的变化情

况。从图 2 可以看出,在酶解温度 55 ℃ 以下时,温度的升高使得鱼油的提取率有较为明显的提升。其原因可能是因为温度升高使得酶活性得到提升,而且能够加快体系内分子的热运动,使得酶解效率提高,酶促反应更加完全。当温度超过 55 ℃ 之后,鱼油提取率随温度的升高呈现下降的趋势。这是因为蛋白酶本身作为一种大分子蛋白质,其结构特性也会受到温度的影响,因而稳定性变差最终发生蛋白质变性,从而失去活性。此外,较高的温度也会在一定程度上加快鱼油的氧化,使鱼油颜色变深、品质变差。结果表明,较为适宜的酶解温度为 55 ℃。

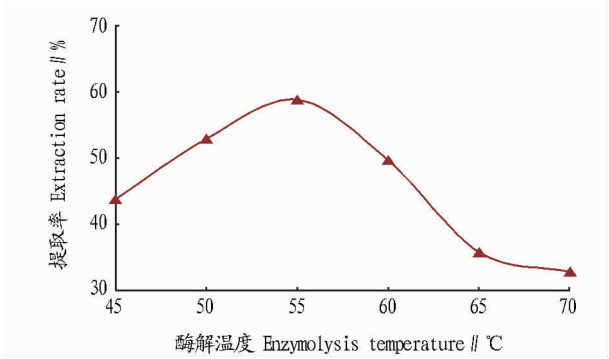


图 2 不同酶解温度对鱼油提取率的影响

Fig. 2 Effects of enzymolysis temperature on extraction rate of fish oil

2.4 酶解 pH 对鱼油提取率的影响 在液固比 1.2:1 mL/g、酶添加量 10 000 U/g、温度 55 ℃ 的条件下酶解 3 h,考察 pH 7.0、8.0、8.5、9.0、9.5 以及 10.0 的条件下鱼油提取率的变化情况。从图 3 可以看出,随着 pH 的增加,鱼油提取率同样呈现先增加后降低的趋势。这是由于不同的酸碱性对

于底物分子和酶分子的带电性都有影响,同时酶分子的稳定性也会受到影响,因此在特定条件下,每种酶都有作用的最适 pH。提取率最高时即为碱性蛋白酶在此条件下的最适 pH,此时酶活性最高,酶解效果最好。结果表明,该反应的最适 pH 为 8.5。

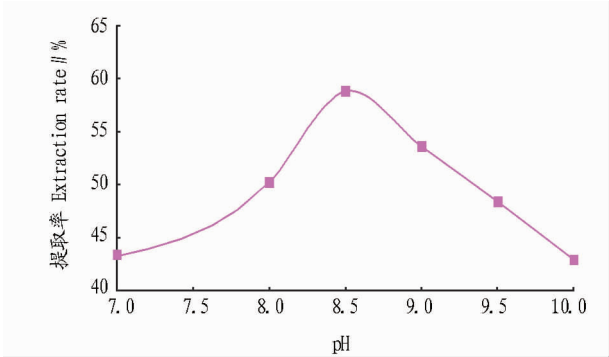


图3 不同 pH 对鱼油提取率的影响

Fig.3 Effects of pH on extraction rate of fish oil

2.5 液固比对鱼油提取率的影响 在酶添加量 10 000 U/g、温度 55 ℃、pH 8.5 的条件下酶解 3 h,分别考察液固比 0.5:1、0.8:1、1.0:1、1.2:1、1.5:1 以及 1.8:1 mL/g 对鱼油提取率的影响。从图 4 可以看出,在一定范围内,随着体系中水添加量的增多,酶解效果增强,鱼油提取率升高。这是因为体系中的水分可以帮助蛋白酶与底物充分接触,使得酶解速度加快,酶解程度增加,同时也有利于脂肪的溶出;而超过一定含量,水分的增加就会导致提取率的降低,这可能是因为底物浓度降低、酶解反应不完全导致的。结果表明,液固比在 1.0:1 mL/g 的条件下,鱼油提取率最高,为 61.20%。

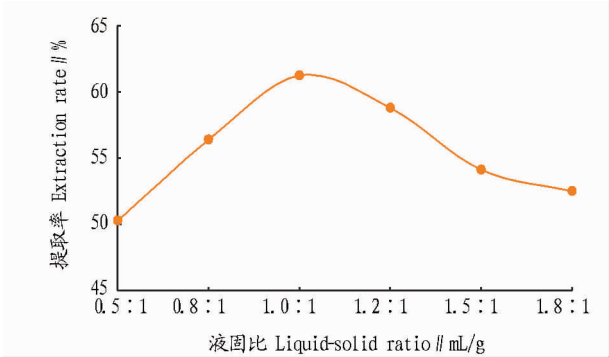


图4 不同液固比对鱼油提取率的影响

Fig.4 Effects of liquid-solid ratio on extraction rate of fish oil

2.6 响应面优化试验 根据上述的单因素试验结果,选择酶解温度、酶解 pH 以及加酶量进行 3 因素 3 水平的响应面优化试验,因素水平设计见表 2。根据表 2 的设计进行 3 因素 3 水平的响应面优化试验,以鱼油提取率为考察指标,所得试验结果见表 3。

响应面试验所得回归方程为: $Y(\%) = 64.92 - 3.71X_1 + 0.97X_2 + 1.67X_3 - 0.41X_1X_2 - 0.53X_1X_3 + 0.27X_2X_3 - 7.87X_1^2 - 3.16X_2^2 - 5.77X_3^2$ 。方差分析显示, $F_{模型} = 94.59$, $P_{模型} < 0.0001^{**}$; $F_{X_1} = 148.74$, $P_{X_1} < 0.0001^{**}$; $F_{X_2} = 10.24$, $P_{X_2} = 0.0151^{*}$; $F_{X_3} = 30.24$, $P_{X_3} = 0.0009^{*}$; $F_{X_1X_2} =$

0.89 , $P_{X_1X_2} = 0.3774$; $F_{X_1X_3} = 1.54$, $P_{X_1X_3} = 0.2553$; $F_{X_2X_3} = 0.38$, $P_{X_2X_3} = 0.5570$; $F_{X_1^2} = 352.83$, $P_{X_1^2} < 0.0001^{**}$; $F_{X_2^2} = 56.94$, $P_{X_2^2} = 0.0001^{*}$; $F_{X_3^2} = 189.63$, $P_{X_3^2} < 0.0001^{**}$; $F_{失拟} = 0.52$, $P_{失拟} = 0.6910$ 。由此可见,回归方程极显著,失拟不显著,说明所得方程拟合性较好,能够较好地预测试验结果。根据 F 值可以看出,所测 3 个因素对于鱼油提取率的影响大小依次为:酶解温度、酶解 pH、酶添加量。其中因素之间的交互作用影响见图 5、6 和 7。从 3D 曲线以及等高线椭圆弧度来看,酶解温度对于白鲢腹部鱼油的提取率影响最大,曲线变化最为显著,在温度一定的条件下,图 7 中的等高线呈椭圆形,说明 pH 和加酶量之间的交互作用对鱼油的提取率影响较大。

表2 响应面 3 因素 3 水平设计

Table 2 Three factors and three levels of response surface experimental design

水平 Level	因素 Factor		
	温度 (X_1) Temperature//℃	加酶量(X_2) Enzyme dosage//U/g	pH(X_3)
1	50	7 000	8.0
2	55	8 000	8.5
3	60	9 000	9.0

表3 响应面分析试验及结果

Table 3 Response surface analysis test and results

试验号 Test No.	因素 Factor			提取率(Y) Extraction rate//%
	X_1	X_2	X_3	
1	0.000	0.000	0.000	63.59
2	1.000	0.000	-1.000	46.79
3	0.000	1.000	1.000	59.50
4	0.000	-1.000	1.000	56.41
5	1.000	0.000	1.000	48.49
6	0.000	0.000	0.000	65.22
7	0.000	0.000	0.000	64.32
8	0.000	0.000	0.000	65.48
9	0.000	1.000	-1.000	55.05
10	1.000	-1.000	0.000	49.87
11	-1.000	0.000	-1.000	53.02
12	-1.000	-1.000	0.000	56.59
13	-1.000	0.000	1.000	56.85
14	0.000	0.000	0.000	66.01
15	0.000	-1.000	-1.000	53.02
16	1.000	1.000	0.000	50.39
17	-1.000	1.000	0.000	58.73

利用响应面优化得到试验范围内的最优提取条件为:酶解温度 53.77 ℃,加酶量 8 176.45 U/g,pH 8.58,理论鱼油提取率为 65.59%,为方便实际操作,将上述条件修正为酶解温度 54 ℃,加酶量 8 200 U/g,pH 8.6,在此条件下进行 3 次平行验证试验,所得平均鱼油提取率为 64.32%。

2.7 粗鱼油的理化性质分析 从表 4 可以看出,其中所有指标均达到了国家 1 级粗鱼油的标准,鱼油品质较好。其中鱼油的过氧化值较高,可能与酶解时间较长发生氧化作用有

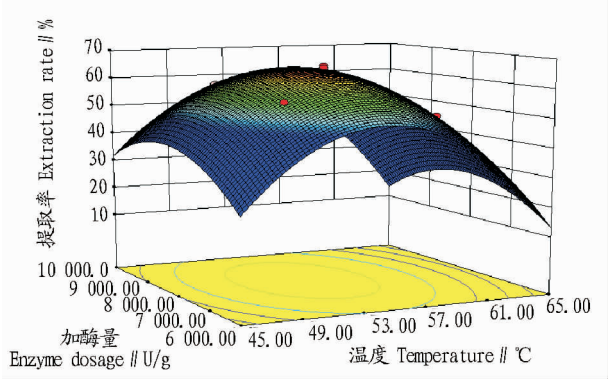


图5 温度和加酶量对鱼油提取率的影响

Fig.5 Effects of temperature and enzyme dosage on extraction rate of fish oil

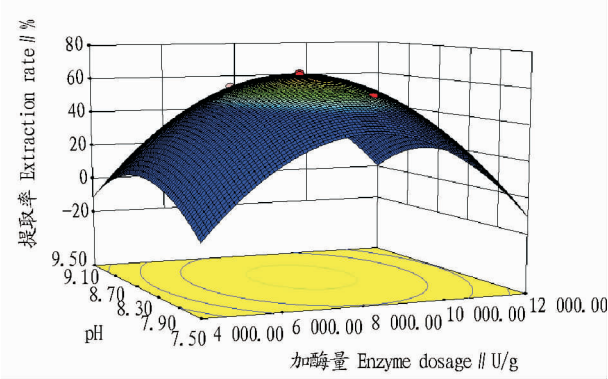


图7 pH 和加酶量对鱼油提取率的影响

Fig.7 Effects of pH and enzyme dosage on extraction rate of fish oil

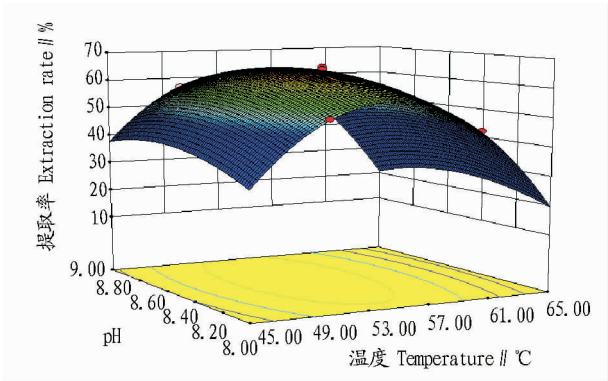


图6 温度和 pH 对鱼油提取率的影响

Fig.6 Effects of temperature and pH on extraction rate of fish oil

关,另外还含有一些蛋白质、色素等杂质,会影响鱼油的进一步加工利用,因此还需要进行一系列精炼过程才能用于工业生产或食用。

2.8 粗鱼油的脂肪酸分析 从表 5 可以看出,白鲢鱼油中的 19 种脂肪酸以长链脂肪酸为主,其中单不饱和脂肪酸的含量为 43.01%,多不饱和脂肪酸的含量为 28.82%,EPA 和 DHA 的含量分别为 6.54% 和 4.53%。n-3/n-6 高达 2.89,高于文献报道的 1.7^[7] 和 2.0^[8],其中原因可能与所选原料的来源、部位以及提取方法有关。研究表明,合理的 n-3/n-6 多不饱和脂肪酸比例对机体健康有重要意义^[9],n-3/n-6 比例较高的油脂可以起到增强免疫反应和非特异性抗性的作用,而 n-3 脂肪酸能够将低密度和极低密度胆固醇转化为高密

表 4 白鲢粗鱼油的理化性质

Table 4 The physical and chemical properties of silver carp oil

项目 Item	色差 Chromatic aberration	黏度(25℃) Viscosity MPa·S	折光率 (25℃) Refractive Index	水分及挥发物 Moisture and volatile matter//%	碘价 Iodine value g/kg	过氧化值 Peroxide value mmol/kg	酸价 Acid value mg/g	游离脂肪酸 Free fatty acid//%	皂化价 Saponification value mg/g
白鲢粗鱼油 Crude fish oil of silver carp	L:68.16±0.44	27.35±0.02	1.32±0.01	0.34±0.02	1204.20±1.31	5.48±0.21	3.56±0.07	2.29±0.02	169.21±1.25
2 级粗鱼油 Crude fish oil at second grade	—	—	—	≤0.3	≥1200	≤10	≤8	—	—
1 级粗鱼油 Crude fish oil at first grade	—	—	—	≤0.5	≥1200	≤6	≤15	—	—

表 5 白鲢粗鱼油的脂肪酸组成

Table 5 The fatty acids composition of silver carp oil

脂肪酸组成 Composition of fatty acids	分类 Classification	含量 Content//%	脂肪酸组成 Composition of fatty acids	分类 Classification	含量 Content//%
饱和脂肪酸 Saturated fatty acid	C14:0	3.54	fatty acids	C20:2(二十碳二烯酸)	0.44
	C15:0	0.65		C20:3(二十碳三烯酸)	0.62
	C16:0(棕榈酸)	19.14		C20:4(花生四烯酸)	2.40
	C18:0(硬脂酸)	5.12		C20:5(EPA)	6.54
	C20:0(花生酸)	0.32		C22:2(二十二碳二烯酸)	0.34
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acid	C16:1(棕榈油酸)	8.50		C22:3(二十二碳三烯酸)	0.65
	C18:1(油酸)	32.82		C22:4(二十二碳四烯酸)	0.95
	C20:1(二十碳烯酸)	1.69		C22:5(DPA)	1.92
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated	C18:2(亚油酸)	5.94		C22:6(DHA)	4.53
	C18:3(亚麻酸)	4.49			

度脂蛋白,从而使胆固醇从细胞内转移到肝脏中,使胆固醇被肝脏代谢^[10]。该试验提取得到白鲢腹部鱼油具有较高的 n-3/n-6 值,是一种品质较好且具有广阔开发前景的功能性油脂。

3 结论

以白鲢腹部下脚料为原料,采用酶解法制备鱼油时,蛋白酶种类的选择以及酶解时的工艺条件都会对鱼油的提取率产生影响。通过试验确定,在酶解时间为 3 h 的前提下,最优的提取条件为:液固比 1.0:1 mL/g,酶解温度 54 ℃,加酶量 8 200 U/g, pH 8.6,此条件下鱼油的提取率为 64.32%。各项理化指标均符合国家 1 级粗鱼油标准,且 EPA 和 DHA 的含量分别为 6.54% 和 4.53%,高于白鲢鱼头鱼油^[11], n-3/n-6 值为 2.89,明显高于白鲢内脏鱼油的 2.0^[12],这与原料来源以及采取部位有关,但表明所得鱼油的营养价格较高。此工艺过程较为简单,提取条件温和,资源回收利用率较高,所得鱼油品质较好,可作为提高淡水鱼加工附加值的有效方法。

参考文献

- [1] 中国农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015:30-31.
- [2] 王芳,熊善柏,张娟,等. 提取方法对淡水鱼油提取率及品质的影响

(上接第 32 页)

在该试验条件下,随着播期的推迟,从播种到越冬前的积温逐步减少,影响了冬小麦的单株分蘖数,从而造成了晚播冬小麦单位面积穗数的降低。尽管千粒重和穗粒数随播期推迟而升高也未能抵消穗数的不利影响。因此,冬小麦在适宜播期之后播种,随着播期推迟造成的单位面积穗数显著降低是引起晚播小麦减产的主要原因。

确定适宜的播期和播量,是确保冬小麦合理的群体和个体动态指标以及获得高产的先决条件。该研究表明,小麦的播期、种植密度和产量回归分析符合二次曲线关系,根据回归方程模拟结果来看,冬小麦新品种衡 4399 的适宜播期为 10 月 6~21 日,相应的合理种植密度为 210 万~360 万/hm²。应在适宜播期内种植,保持合理的种植密度,才能实现高产。

参考文献

- [1] 赵广才. 北方冬麦区小麦高产高效栽培技术[J]. 作物杂志, 2008(5): 91-92.
- [2] 李振声. 我国小麦育种的回顾与展望[J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(2): 1-4.
- [3] 杨兵,孔德友,周红兵. 不同播量对小麦产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2000, 6(3): 40-41.
- [4] 王东,于振文,贾效成,等. 播期对优质强筋冬小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2004(2): 25-26.
- [5] 李豪圣,宋健民,刘爱峰,等. 播期和种植密度对超高产小麦‘济麦 22’

[J]. 渔业现代化, 2009(5): 54-59.

- [3] LI G, SINCLAIR A J, LI D. Comparison of lipid content and fatty acid composition in the edible meat of wild and cultured freshwater and marine fish and shrimps from China[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2011, 59(5): 1871-1881.
- [4] 王乔隆,邓放明,唐春江,等. 鱼油提取及精炼工艺研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2008, 15(3): 10-12.
- [5] 王彩霞. 鲑鱼脑的营养评价及生理活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [6] BATISTA I, RAMOS C, COUTINHO J, et al. Characterization of protein hydrolysates and lipids obtained from black scabbardfish (*Aphanopus carbo*) by-products and antioxidative activity of the hydrolysates produced[J]. Process biochemistry, 2010, 45(1): 18-24.
- [7] 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.
- [8] 谭汝成,熊善柏,刘敬科,等. 提取条件对白鲢鱼油性质的影响及鱼油脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 72-75.
- [9] 高巧仙,宋代军,靳露. 饲料 n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例对畜禽健康和产品品质的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(7): 1429-1436.
- [10] VOLGAREV M N, LEVACHEV M M, TRUSHCHINA E N, et al. The modulation of the function of the immunocompetent system and of nonspecific body resistance in rats with different ratios of essential fatty acids in the diet[J]. Biull Eksp Biol Med, 1993, 116(12): 607-609.
- [11] 刘刁,刘良忠,翟路,等. 白鲢鱼头中鱼油的提取、精炼及 EPA、DHA 测定[J]. 食品与机械, 2013(6): 158-161.
- [12] 谭汝成,熊善柏,刘敬科,等. 提取条件对白鲢鱼油性质的影响及鱼油脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 72-75.

产量及其构成因素的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 243-248.

- [6] 马瑞,康明辉,范黎明,等. 小麦品种花培 5 号适宜播期、播量试验[J]. 河南农业科学, 2009(10): 64-65.
- [7] 胡焕焕,刘丽平,李瑞奇,等. 播种期和密度对冬小麦品种河农 822 产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(3): 490-496.
- [8] 刘万代,陈现勇,尹钧,等. 播期和密度对冬小麦豫麦 49-198 群体性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 464-469.
- [9] 田文仲,温红霞,高海涛,等. 不同播期、播种密度及其互作对小麦产量的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(2): 45-49.
- [10] 房春兴,沈恩庭. 不同播期和密度对偃展 4110 小麦群体动态及产量的影响[J]. 现代农业科技, 2009(21): 26, 28.
- [11] 雷钧杰,赵奇,孙保成,等. 新疆冬小麦晚秋播种生育特点的研究[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(6): 348-351.
- [12] 唐进,吉剑,李桂云,等. 2007-2008 年小麦不同播期播量对产量影响研究[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(18): 23-24, 52.
- [13] 郝有明,李岩华,霍成斌. 播期、播量对冬小麦产量及产量构成因素的影响[J]. 山西农业科学, 2011, 39(5): 422-424, 473.
- [14] 孟丽梅,张珂,杨子光,等. 播期播量对冬小麦品种‘洛麦 22’产量形成及主要性状的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(18): 107-110.
- [15] 蒋会利. 播期密度对不同小麦品种群体茎数及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6): 67-73.
- [16] 闫志顺,王瑞清. 不同播期冬小麦叶重和叶面积与产量关系的相关性研究[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(1): 59-61.
- [17] 陈素英,张喜英,毛任钊,等. 播期和播量对冬小麦冠层光合有效辐射和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(4): 681-685.
- [18] 郭天财,彭羽,朱云集,等. 播期对不同穗型、筋型优质冬小麦影响效应的研究[J]. 耕作与栽培, 2001(2): 19-20.
- [19] 杨桂霞,赵广才,许轲,等. 播期和密度对冬小麦籽粒产量和营养品质及生理指标的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(4): 687-692.