

大黄鱼鱼油的制备及其理化性质

赵腾飞¹, 应晓国¹, 张 宾¹, 邓尚贵¹, 马路凯^{2,3}, 朱立学³, 程威威⁴, 彭镰心⁵

(1. 浙江海洋大学 食品与药学学院, 浙江 舟山 316022; 2. 仲恺农业工程学院 轻工食品学院, 广州 510225;
3. 仲恺农业工程学院 现代农业工程创新研究院, 广州 510145; 4. 深圳大学 高等研究院, 广东 深圳 518060;
5. 成都大学 农业农村部杂粮加工重点实验室, 成都 610106)

摘要:以新鲜大黄鱼为原料,通过石油醚(沸程 30~60℃)提取大黄鱼鱼油,并对大黄鱼鱼油的酸值、过氧化值、茴香胺值、共轭二烯值、脂肪酸组成、生育酚、胆固醇、角鲨烯、挥发性成分及磷脂组成进行测定。结果表明:大黄鱼鱼油得率为(31.25±3.66)%;大黄鱼鱼油酸值(KOH)为(0.59±0.05)mg/g,过氧化值为(5.50±0.76)mmol/kg,茴香胺值为 0.30±0.06,共轭二烯值为 22.32±1.09;大黄鱼鱼油中共检出 17 种脂肪酸,不饱和脂肪酸含量高达 67.27%,其中油酸占(31.03±0.10)%、亚油酸占(12.21±0.07)%、DHA 占(7.21±0.12)%、EPA 占(4.48±0.03)%;大黄鱼鱼油中检出 4 种生育酚,主要是 α -生育酚,含量为 4.18 mg/100 g, β 、 γ 、 δ -生育酚含量均小于 0.12 mg/100 g;大黄鱼鱼油中角鲨烯含量为 40 mg/100 g,胆固醇含量为 380 mg/100 g;大黄鱼鱼油中共鉴定出 31 种挥发性成分,主要包括醛、酮、醇、烷烃类;大黄鱼鱼油中磷脂含量较高的组分为 PG(30:0/16:0)(19.61 mg/g)和 PG(28:0/16:1)(10.87 mg/g)。

关键词:大黄鱼;鱼油;理化性质;脂肪酸组成;挥发性成分;磷脂组成

中图分类号:TS225.24;O657.63 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2021)10-0006-06

Preparation and physicochemical properties of *Larimichthys crocea* fish oil

ZHAO Tengfei¹, YING Xiaoguo¹, ZHANG Bin¹, DENG Shanggui¹, MA Lukai^{2,3},
ZHU Lixue³, CHENG Weiwei⁴, PENG Lianxin⁵

(1. College of Food Science and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, Zhejiang, China;
2. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225,
China; 3. Academy of Contemporary Agricultural Engineering Innovations, Zhongkai University of Agriculture
and Engineering, Guangzhou 510145, China; 4. Advanced Research Institute of Shenzhen University,
Shenzhen 518060, Guangdong, China; 5. Key Laboratory of Coarse Cereal Processing of Ministry of
Agriculture and Rural Affairs, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: With fresh *Larimichthys crocea* fish as raw material, the *Larimichthys crocea* fish oil was extracted by petroleum ether (boiling range 30–60℃). The acid value, peroxide value, anisidine

收稿日期:2020-12-23;修回日期:2021-07-27

基金项目:浙江省重点研发计划项目(2019C02075);广东省重点研发项目(2019B020212001);广东省区域联合基金青年基金项目(2019A1515110823);广州市科技特派员项目(GZKTP 201937);广东省普通高校青年创新人才项目(KA2001957)

作者简介:赵腾飞(1996),男,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全(E-mail)1150904935@qq.com。

通信作者:应晓国,硕士生导师,博士(E-mail)yingxiaoguo@zjou.edu.cn;马路凯,副教授,博士(E-mail)m1991lk@163.com;彭镰心,副教授,博士(E-mail)penglianxin@edu.cn。

value, conjugated diene value, fatty acid composition, content of tocopherols, cholesterol, squalene, volatile components and phospholipid composition of *Larimichthys crocea* fish oil were determined. The results showed that the yield of *Larimichthys crocea* fish oil was (31.25±3.66)%, and the acid value, peroxide value, anisidine value and conjugated diene value were (0.59±0.05) mgKOH/g, (5.50±0.76) mmol/kg, 0.30±0.06 and 22.32±1.09, respectively. A

total of 17 fatty acids were detected in *Larimichthys crocea* fish oil, and the content of unsaturated fatty acids was 67.27%, in which the oleic acid, linoleic acid, DHA and EPA accounted for $(31.03 \pm 0.10)\%$, $(12.21 \pm 0.07)\%$, $(7.21 \pm 0.12)\%$ and $(4.48 \pm 0.03)\%$, respectively. There were four tocopherols in *Larimichthys crocea* fish oil, α -tocopherol content was 4.18 mg/100 g, and the contents of β -tocopherol, γ -tocopherol and δ -tocopherol were all below 0.12 mg/100 g. The contents of squalene and cholesterol in *Larimichthys crocea* fish oil were 40 mg/100 g and 380 mg/100 g, respectively. A total of 31 volatile components were identified in *Larimichthys crocea* fish oil, mainly including aldehydes, ketones, alcohols and alkanes. The high contents of phospholipids in *Larimichthys crocea* fish oil were PG (30:0/16:0) (19.61 mg/g) and PG (28:0/16:1) (10.87 mg/g).

Key words: *Larimichthys crocea* fish; fish oil; physicochemical property; fatty acid composition; volatile component; phospholipid composition

大黄鱼是我国近海主要经济鱼类^[1-2],为传统“四大海产”之一。大黄鱼营养价值高,含有丰富的蛋白质^[3]和油脂,其因肉质细嫩^[4]、口感酥脆、味道鲜美^[5-6]而深受消费者喜爱。

大黄鱼鱼肉含有大量肌原纤维蛋白和胶原蛋白。张登科等^[7]为了提高大黄鱼鱼肉蛋白的营养价值,探究了不同超高压处理对大黄鱼鱼肉肌原纤维蛋白的影响;郭全友等^[2]探究了在不同冻藏时间下大黄鱼营养成分的变化,分析了大黄鱼蛋白、肌肉品质的损失变化。诸多学者探究了大黄鱼鱼肉蛋白的营养成分及变化规律,但对大黄鱼中油脂组成及营养价值的研究鲜见报道。

大黄鱼鱼油中的磷脂对大脑、神经组织及心脏发育具有良好作用^[8-9],其中的多不饱和脂肪酸具有降血脂、降血压及保护视网膜^[10-11]的作用。因此,本实验采用石油醚提取大黄鱼鱼油,通过理化指标分析其品质,旨在为大黄鱼鱼油的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

大黄鱼,购自浙江舟山新城老大洋世家渔业有限公司,将大黄鱼置于装有冰块的超低温箱,0.5 h内运回实验室,放置-18℃冰箱储藏。

酚酞指示剂、乙醇、氢氧化钾、石油醚(沸程30~60℃)、硫代硫酸钠、无水碳酸钠、乙酸、异辛烷、碘化钾、对甲氧基苯胺、正庚烷、四氢呋喃、氧化铝、正己烷、三氯甲烷、无水硫酸钠,均为分析纯。氮气,浙江舟山鸭蛋山先锋气体有限公司。

7890A气相色谱仪,美国Agilent公司;Trace GC Ultra气相色谱与DSQ II质谱联用仪,美国Thermo Fisher Scientific公司;JJ-2型组织捣碎匀浆机,湖南力辰仪器科技有限公司;GCMS-TQ8050NX气相色谱-三重四级杆串联质谱仪,日本岛津公司;ACQUITY UPLC超高效液相色谱仪,美国沃特世科技

有限公司;Vanquish高效液相色谱仪、Q Exactive Focus质谱仪,德国赛默飞世尔科技有限公司;MDF-U53V型冰箱,日本Sanyo公司;CF-16RN高速冷冻多用途离心机,日本日立公司;FJ200-S数显高速均质机;AR224-CN电子天平;UV-2600型紫外-可见分光光度计;Soxtec FOSS脂肪提取器;RE-2000A旋转蒸发器;HC-0520循环泵;Vortex QL-861旋涡振荡器;HHS-21-4电热恒温水浴锅。

1.2 实验方法

1.2.1 原料预处理

取大黄鱼腹部鱼肉,使用组织捣碎匀浆机捣碎,制成鱼糜^[8]。

1.2.2 大黄鱼鱼油提取

参考GB 5009.6—2016,称取8.00 g大黄鱼鱼糜于滤纸中,采用索氏抽提法提取大黄鱼鱼油。

1.2.3 脂肪酸组成测定

参照文献[12]测定大黄鱼鱼油脂肪酸组成。

1.2.4 基本理化指标测定

大黄鱼鱼油酸值、过氧化值、茴香胺值分别参照GB 5009.229—2016、GB 5009.227—2016和GB/T 24304—2009进行测定。共轭二烯值的测定参考文献[13]并略作修改:称取0.010~0.020 g油样于小烧杯中,用5 mL异辛烷溶解,定容至50 mL,于232 nm波长处测定吸光度,以异辛烷调零。

1.2.5 角鲨烯含量测定

参考T/ZNZ 027—2020《食用植物油中角鲨烯的测定 气相色谱-串联质谱法》测定角鲨烯含量。

1.2.6 生育酚含量测定

参照方冰等^[14]的方法并略作修改。称取0.5 g油样于具塞试管中,加入0.125%抗坏血酸和5 mL 2 mol/L氢氧化钾-乙醇溶液,60℃皂化反应1 h,待反应液冷却后,加入5 mL正己烷,重复提取3次后合并提取液,将有机相旋转蒸干,用甲醇定容至

10 mL,经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液进高效液相色谱仪测定。

高效液相色谱条件:C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm, 5 μm);柱温 30 $^{\circ}\text{C}$;流动相为甲醇,流速 1 mL/min;紫外检测波长 294 nm。

1.2.7 胆固醇含量测定

采用气相色谱-串联质谱联用法测定胆固醇含量^[15]。

精确称取 5 mg 油样于具塞试管中,加入 2 mg 5 α -胆甾烷-3 β 醇(胆甾烷醇)作为内标,加入 2 mL 2 mol/L 氢氧化钾-乙醇溶液,摇匀超声 5 min,70 $^{\circ}\text{C}$ 下皂化 1 h;皂化液冷却后,加入 4 mL 水和 6 mL 正己烷,涡旋振荡,静置分层,将上清液转移至另一试管;下层相用 5 mL 正己烷再提取 1 次;合并有机层,氮气吹干;加 400 μL 硅烷化试剂 BSTFA-TMCS(体积比 99:1),70 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 30 min;用 1 mL 正己烷溶解,取 1 μL 待 GC-MS 进样分析。

GC-MS 条件: TG-SQC 色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);载气为氦气,流速 1 mL/min;分流比 20:1;检测器及进样口温度均为 320 $^{\circ}\text{C}$;升温程序为以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 从 240 $^{\circ}\text{C}$ 升高至 255 $^{\circ}\text{C}$;进样量 1 μL ;电离方式为 EI,电子能量 70 eV,离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.2.8 挥发性成分测定

称取 0.5 g 油样置于样品瓶并旋紧瓶盖,静置 30 min,待机上样。

气相色谱条件: TR-35 MS 色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);载气为高纯氦气;进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,不分流进样;升温程序为初始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 90 $^{\circ}\text{C}$,再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$,保持 7 min。

质谱条件:离子源温度 200 $^{\circ}\text{C}$,电子电离源,电子能量 70 eV,传输线温度 250 $^{\circ}\text{C}$,检测器温度 280 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围(m/z)30~500。

1.2.9 磷脂含量测定

参照俞喜娜等^[16]的方法提取大黄鱼鱼油中磷脂,再采用高效液相色谱-质谱仪测定磷脂含量。

色谱条件: ACQUITY UPLC * BEH C1 色谱柱(2.1 mm \times 100 mm, 1.7 μm);自动进样器温度 8 $^{\circ}\text{C}$;流动相为乙腈-水(体积比 60:40),流速 0.25 mL/min;柱温 50 $^{\circ}\text{C}$;进样量 2 μL 。

质谱条件:电喷雾离子源(ESI),正负离子电离模式,正离子喷雾电压 3.50 kV,负离子喷雾电压 2.50 kV,毛细管温度 325 $^{\circ}\text{C}$,以分辨率 35 000 进行全扫描,扫描范围 150~2 000,并采用 HCD 进行二级裂解,碰撞电压 30 eV,同时采用动态排除去除不

必要的 MS/MS 信息。

1.2.10 数据处理

除脂溶性成分及磷脂组成,每个实验做 3 个平行,采用 Excel 对数据进行处理,结果以“平均值 \pm 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 大黄鱼鱼油得率

经测定,索氏抽提法提取的大黄鱼鱼油得率为(31.25 \pm 3.66)%。

2.2 大黄鱼鱼油的脂肪酸组成(见表 1)

表 1 大黄鱼鱼油的脂肪酸组成及含量

脂肪酸	含量/%
豆蔻酸	2.41 \pm 0.09
十五烷酸	0.23 \pm 0.02
棕榈酸	23.65 \pm 0.12
棕榈油酸	9.31 \pm 0.10
十七烷酸	0.23 \pm 0.02
硬脂酸	6.21 \pm 0.08
油酸	31.03 \pm 0.10
亚油酸	12.21 \pm 0.07
亚麻酸	1.35 \pm 0.02
二十碳烯酸	1.08 \pm 0.06
二十碳二烯酸	0.21 \pm 0.01
花生四烯酸	0.39 \pm 0.03
二十碳五烯酸(EPA)	4.48 \pm 0.03
二十二碳六烯酸(DHA)	7.21 \pm 0.12
多不饱和脂肪酸	25.85 \pm 0.28
单不饱和脂肪酸	41.42 \pm 0.26
饱和脂肪酸	32.73 \pm 0.33

由表 1 可知,大黄鱼鱼油的脂肪酸组成主要包含棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA),其中人体必需脂肪酸含量为亚油酸(12.21 \pm 0.07)%、亚麻酸(1.35 \pm 0.02)%。大黄鱼鱼油多不饱和脂肪酸(PUFA)含量为(25.85 \pm 0.28)%,EPA 与 DHA 含量分别为(4.48 \pm 0.03)%、(7.21 \pm 0.12)%。魏岱岳等^[17]研究认为,PUFA 可以使人体胆固醇酯化,降低血液中胆固醇和甘油三酯含量,提高脑细胞活性,增强记忆力和思维能力。

2.3 大黄鱼鱼油的基本理化指标(见表 2)

表 2 大黄鱼鱼油的基本理化指标

项目	指标
酸值(KOH)/(mg/g)	0.59 \pm 0.05
茴香胺值	0.30 \pm 0.06
过氧化值/(mmol/kg)	5.50 \pm 0.76
共轭二烯值	22.32 \pm 1.09

由表2可知,大黄鱼鱼油的酸值(KOH)为 (0.59 ± 0.05) mg/g,茴香胺值为 0.30 ± 0.06 ,均达到SC/T 3502—2016《鱼油》中一级精制鱼油的要求,而过氧化值为 (5.50 ± 0.76) mmol/kg,只达到一级粗鱼油的要求。大黄鱼鱼油共轭二烯值为 22.32 ± 1.09 ,共轭二烯值越高,分解物越多,鱼油的氧化程度越高,其可以作为判断新鲜鱼油的指标之一。

2.4 大黄鱼鱼油的脂溶性物质含量(见表3)

由表3可知,大黄鱼鱼油中含有少量的生育酚,主要以 α -生育酚为主,含量为 4.18 mg/100 g, β 、 γ 、 δ -生育酚含量均小于 0.12 mg/100 g。大黄鱼鱼油中胆固醇含量为 380 mg/100 g,胆固醇过多会增

加动脉粥样硬化等一系列疾病发生,后期需研究降低大黄鱼鱼油中胆固醇含量的方法。此外,大黄鱼鱼油中还含有角鲨烯,含量为 40 mg/100 g。

表3 大黄鱼鱼油脂溶性物质含量

项目	含量/(mg/100 g)
α -生育酚	4.18
β -生育酚	<0.12
γ -生育酚	<0.12
δ -生育酚	<0.12
胆固醇	380
角鲨烯	40

2.5 大黄鱼鱼油的挥发性成分(见表4)

表4 大黄鱼鱼油中挥发性成分及含量

序号	挥发性成分	含量	序号	挥发性成分	含量
1	己醛	3.21 ± 0.18	17	己醇	1.08 ± 0.03
2	壬醛	4.13 ± 0.02	18	异辛醇	0.29 ± 0.01
3	十一醛	2.13 ± 0.12	19	4-乙基己醇	0.32 ± 0.14
4	十二醛	1.98 ± 0.03	20	苯甲醇	0.67 ± 0.02
5	苯甲醛	1.45 ± 0.12	21	辛醇	0.40 ± 0.00
6	2-乙基丁烯醛	3.19 ± 0.09	22	油醇	0.39 ± 0.01
7	视黄醛	0.21 ± 0.01	23	辛烷	2.30 ± 0.03
8	2-丁酮	0.54 ± 0.01	24	1,2,4,5-四甲苯	0.09 ± 0.01
9	2-壬酮	0.23 ± 0.03	25	十四烷	1.02 ± 0.02
10	2-十一酮	0.13 ± 0.02	26	十五烷	14.39 ± 0.09
11	3-戊酮	0.56 ± 0.04	27	十六烷	1.78 ± 0.02
12	2-庚酮	1.51 ± 0.03	28	十七烷	7.93 ± 0.02
13	2-辛酮	1.39 ± 0.07	29	十八烷	0.03 ± 0.01
14	1,4-环己二酮	0.05 ± 0.01	30	十五烯	0.32 ± 0.02
15	环戊醇	1.02 ± 0.07	31	1-十九烯	0.19 ± 0.01
16	1-戊炔-3-醇	0.98 ± 0.01			

由表4可看出,大黄鱼鱼油中挥发性风味物质主要包括醛类、酮类、醇类和烷烃类,这些成分赋予鱼油特有风味。大黄鱼鱼油中挥发性风味物质主体成分是壬醛(4.13 ± 0.02 %)、十五烷(14.39 ± 0.09 %)、十七烷(7.93 ± 0.02 %)。

2.6 大黄鱼鱼油的磷脂种类及含量(见表5)

从表5可以看出,大黄鱼鱼油检出7种磷脂(LPC、PC、PE、PG、SM、PA、PI)和1种神经酰胺

(Hex1Cer)。其中鉴定出LPC 12种、PC 39种、PE 2种、PG 11种、SM 16种、PA 1种、PI 3种和Hex1Cer 3种。LPC的 m/z 区域为490~665,PC的 m/z 区域为660~870,PE的 m/z 区域为948~951,PG的 m/z 区域为820~1010,SM的 m/z 区域为645~840,PI的 m/z 区域为883~910。在大黄鱼鱼油中含量较高的磷脂为PG(30:0/16:0)19.61 mg/g、PG(28:0/16:1)10.87 mg/g。

表5 大黄鱼鱼油的磷脂种类及含量

磷脂种类	质荷比(m/z)	含量/(mg/g)	磷脂种类	质荷比(m/z)	含量/(mg/g)
LPC(16:0)	540.33	0.32	LPC(20:1)	550.39	0.08
LPC(16:1)	494.32	0.07	LPC(22:6)	612.33	0.11
LPC(17:0)	510.36	0.07	LPC(24:0)	608.46	0.10
LPC(18:1)	522.36	0.15	LPC(24:1)	606.45	0.13
LPC(18:3)	518.32	0.31	LPC(28:0)	664.53	0.09
LPC(19:0)	538.39	0.09	PC(30:0)	706.54	4.93
LPC(20:0)	574.38	0.11	PC(30:1)	704.52	0.18

续表 5

磷脂种类	质荷比(<i>m/z</i>)	含量/(mg/g)	磷脂种类	质荷比(<i>m/z</i>)	含量/(mg/g)
PC(31:0e)	706.57	0.12	PE(49:1)	950.75	3.29
PC(31:1)	718.54	0.19	PE(51:5)	948.74	4.13
PC(32:0)	734.57	4.51	PG(16:0/22:1)	822.62	0.80
PC(32:0e)	720.59	1.28	PG(16:0/23:1)	836.64	1.49
PC(32:1)	732.55	3.32	PG(18:1/21:1)	834.62	0.59
PC(32:1e)	718.57	0.11	PG(18:1/22:1)	848.64	0.58
PC(32:2)	730.54	0.07	PG(28:0/16:1)	906.72	10.87
PC(32:2e)	716.56	0.18	PG(30:0/16:0)	936.76	19.61
PC(33:0)	748.59	0.51	PG(30:1/16:0)	934.75	3.27
PC(34:1e)	746.61	2.05	PG(32:1/18:1)	988.79	3.05
PC(40:7)	832.59	3.58	PG(30:0/20:5)	982.75	3.08
PC(41:5)	850.63	0.15	PG(30:1/20:4)	982.75	0.72
PC(41:6)	848.62	0.26	PG(30:0/22:6)	1 008.76	0.36
PC(42:10)	854.57	0.11	SM(d18:2/24:1)	811.67	1.76
PC(42:11)	852.55	0.38	SM(d30:1)	647.51	0.05
PC(42:6)	862.63	0.23	SM(d31:1)	661.53	0.05
PC(42:7)	860.62	0.21	SM(d32:1)	675.54	2.19
PC(11:0/16:0)	664.49	0.13	SM(d32:2)	673.53	0.05
PC(16:0/13:0)	692.52	0.34	SM(d34:0)	705.59	0.34
PC(18:0/11:1)	690.51	0.21	SM(d34:1)	703.57	2.14
PC(18:1/12:0)	704.52	1.89	SM(d39:6)	763.57	0.48
PC(14:1e/16:0)	690.54	0.14	SM(d40:1)	787.67	0.51
PC(18:0/13:0)	720.55	0.15	SM(d41:1)	801.68	0.17
PC(15:0/16:0)	720.55	0.59	SM(d41:2)	799.67	0.38
PC(17:1/14:0)	718.54	1.75	SM(d41:3)	797.65	0.28
PC(18:1/14:0)	732.55	0.24	SM(d41:4)	795.64	0.17
PC(16:0/16:1)	754.54	0.14	SM(d43:4)	823.67	0.20
PC(16:2e/16:0)	716.56	0.12	SM(d44:3)	839.70	0.25
PC(16:0/17:0)	748.59	0.19	SM(d44:6)	833.65	0.17
PC(19:0/14:0)	748.59	0.19	Hex1Cer(<i>t</i> 18:0/22:6)	834.57	0.06
PC(17:1/16:0)	746.57	0.43	Hex1Cer(d42:2)	854.67	0.13
PC(15:0/18:1)	746.57	0.70	Hex1Cer(<i>t</i> 42:3)	868.65	0.11
PC(17:1/16:1)	744.55	0.09	PA(18:0/22:6)	766.54	0.08
PC(18:0/16:0)	762.60	0.76	PI(18:0/20:4)	885.55	0.07
PC(18:0/16:1)	760.59	3.81	PI(18:0/20:5)	883.53	0.06
PC(16:0/18:2)	758.57	0.47	PI(18:0/22:6)	909.55	0.15
PC(18:1/18:1)	786.60	1.97			

注:LPC为溶血磷脂酰胆碱;PC为磷脂酰胆碱;PE为磷脂酰乙醇胺;PG为磷脂酰甘油;SM为鞘氨醇磷脂;Hex1Cer为己糖基神经酰胺;PA为甘油磷脂酸;PI为磷脂酰肌醇。

3 结论

采用石油醚提取大黄鱼鱼油,大黄鱼鱼油得率为(31.25 ± 3.66)%,酸值(KOH)为(0.59 ± 0.05) mg/g、过氧化值为(5.50 ± 0.76) mmol/kg、茴香胺值为0.30 ± 0.06、共轭二烯值为22.32 ± 1.09;大黄鱼鱼油中 α -生育酚含量为4.18 mg/100 g, β 、 γ 、 δ -生育酚含量均小于0.12 mg/100 g;大黄鱼鱼油中角鲨烯含量为40 mg/100 g,胆固醇含量为380

mg/100 g。大黄鱼鱼油富含不饱和脂肪酸,其中油酸、DHA和EPA含量分别为(31.03 ± 0.10)%、(7.21 ± 0.12)%和(4.48 ± 0.03)%,表明大黄鱼鱼油营养丰富;大黄鱼鱼油中挥发性物质主要有醛类、酮类、醇类和烷烃类,赋予其特有的风味;大黄鱼鱼油中含量较高的磷脂组分为PG(30:0/16:0)和PG(28:0/16:1),含量分别为19.61、10.87 mg/g。

(下转第17页)

- Biochem Biotech, 2012, 168(2): 364–374.
- [39] VON DER HAAR D, STÄBLER A, WICHMANN R, et al. Enzymatic esterification of free fatty acids in vegetable oils utilizing different immobilized lipases[J]. Biotechnol Lett, 2015, 37(1): 1–6.
- [40] WANG X S, LU J Y, LIU H, et al. Improved deacidification of high-acid rice bran oil by enzymatic esterification with phytosterol[J]. Process Biochem, 2016, 51(10): 1496–1502.
- [41] WANG X S, WANG X G, WANG T. An effective method for reducing free fatty acid content of high-acid rice bran oil by enzymatic amidation[J]. J Ind Eng Chem, 2017, 48: 119–124.
- [42] YUE Y X, CHEN K, LIU J Y, et al. Numerical simulation and deacidification of nanomagnetic enzyme conjugate in a liquid-solid magnetic fluidized bed[J]. Process Biochem, 2020, 90: 32–43.
- [43] 马传国, 潘思轶, 王高林, 等. 米糠油酶法酯化脱酸的研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(3): 41–46.
- [44] ZHONG N J, KOU M M, ZHAO F H, et al. Enzymatic production of diacylglycerols from high-acid soybean oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2019, 96(8): 967–974.
- [45] NICHOLSON R A, MARANGONI A G. Enzymatic glycerolysis converts vegetable oils into structural fats with the potential to replace palm oil in food products[J]. Nat Food, 2020, 1(11): 1–9.
- [46] 甄达文, 王永华, 杨博. 高酸值油酶法脱酸的研究[J]. 粮油加工(电子版), 2010(11): 23–27.
- [47] YUD Y, WANG T, CHEN J, et al. Enzymatic esterification of rice bran oil and phytosterol in supercritical CO₂[J/OL]. J Food Process Pres, 2019, 43(9): e14066[2021-01-28]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14066>.
- [48] SENGUPTA R, BHATTACHARYYA D K. A comparative study between biorefining combined with other processes and physical refining of high-acid Mohua oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 1992, 69(11): 1146–1149.
- [49] 万聪, 彭辉, 杨洁, 等. 无溶剂体系高酸值米糠油酶法酯化脱酸工艺优化研究[J]. 中国油脂, 2016, 41(4): 10–13.
- [50] 吴聪, 曾庆梅, 靳靖, 等. 高酸值米糠油酶法酯化脱酸研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 156–160.
- [51] 张明, 李桂华, 许晓瑞. 酶催化高酸值米糠油酯化脱酸工艺的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(5): 18–21.
- [52] 李磊, 单良, 金青哲, 等. 高酸值米糠油酶法酯化脱酸工艺研究[J]. 中国油脂, 2010, 35(10): 34–37.
- [53] LI D M, FAIZA M, ALI S, et al. Highly efficient deacidification of high-acid rice bran oil using methanol as a novel acyl acceptor[J]. Appl Biochem Biotechnol, 2018, 184: 1061–1072.

(上接第10页)

参考文献:

- [1] 阚迎龙. 冰温保鲜对大黄鱼鱼肉品质特性及其理化特性影响的研究[D]. 沈阳: 东北农业大学, 2018.
- [2] 郭全友, 李松, 李保国, 等. 冻藏时间对养殖大黄鱼体色和肌肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 99–107.
- [3] 刘迟, 李保国, 李亚伦, 等. 大黄鱼低温保鲜技术研究进展[J]. 包装与食品机械, 2020, 38(1): 64–67, 72.
- [4] 张敏. 大黄鱼鱼卵油贮藏稳定性及其微胶囊化技术的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2019.
- [5] 杨卫, 王春苗. 我国大黄鱼养殖产业发展研究[J]. 海洋开发与管理, 2020, 37(5): 72–75.
- [6] 胡远辉, 廖慧琦, 陆益钡, 等. 液氮冻结对养殖大黄鱼肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8260–8266.
- [7] 张登科, 张慧恩, 朱艳杰, 等. 超高压处理对养殖大黄鱼肌原纤维蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 61–67.
- [8] 窦鑫, 吴燕燕, 杨贤庆, 等. 大黄鱼肝油提取工艺优化及品质分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 187–193.
- [9] 张敏, 魏微, 张玲云, 等. 几种食品抗氧化剂对大黄鱼鱼卵油抗氧化作用的研究[J]. 农产品加工, 2019(1): 40–43, 48.
- [10] 王晓阳, 郭全友, 姜朝军, 等. 养殖大黄鱼鲜度保持及特定腐败菌特征研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 15–24.
- [11] 费骁文. 鱼油精制过程中的品质及安全性分析研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
- [12] 刘祎帆, 刘芯如, 黄妙如, 等. 金柚柚子籽油的制备及理化性质研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(4): 14–17.
- [13] 马路凯. 植物油中丙二醛、4-羟基-2-己烯醛和4-羟基-2-壬烯醛的热响应机制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [14] 方冰, 王瑛瑶, 栾霞, 等. 生育酚及甾醇含量对大豆油氧化稳定性及贮藏稳定性的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11): 69–73.
- [15] 张颖霞, 张成, 杨慧, 等. 气相色谱法测定动植物油脂中甾醇方法的改进[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(5): 65–68.
- [16] 俞喜娜, 陈康, 张燕平, 等. 酶辅助提取南极磷虾磷脂及脂质组学研究[J]. 中国食品学报, 2020, 20(11): 97–106.
- [17] 魏岱岳, 梁诗雅, 何松贵, 等. 豉香型白酒肥肉浸制产脂肪油及脂质氧化研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(11): 183–186.