

鱼油乙酯的制备·纯化及降血脂功效的研究

刘妍¹, 李晓璐¹, 郭艳峰^{1*}, 谭贵良²

(1. 中山火炬职业技术学院生物医药系, 广东中山 528436; 2. 中山市食品药品检验所, 广东中山 528437)

摘要 [目的] 研究鱼油乙酯的制备、纯化及其降血脂功效。[方法] 以鱼油为原料, 采用碱催化制备了鱼油乙酯, 优化了条件并对其进行纯化, 将产品配成饲料进行动物试验, 研究其降血脂功效。[结果] 试验表明, 乙醇-鱼油 6:1 (摩尔比), 反应温度 75 ℃, 反应时间 2 h, 碱催化剂 NaOH 加入量为油重的 0.30%; 在此条件下鱼油脂肪酸乙酯得率最高, 经分子蒸馏后达 95%; 硝酸银最佳浓度为 75%, 提取得到的二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)总浓度 96%~99%; 高含量 EPA 和 DHA 能够显著降低小鼠血清中的总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)浓度, 提高高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)浓度, 可有效改善高脂血症小鼠的血脂水平。[结论] 研究可为鱼油的深加工开发利用提供参考。

关键词 鱼油乙酯; 制备; 纯化; 降血脂

中图分类号 S986.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)19-080-04

Preparation and Purification of Fish Oil Fatty Acid Ethyl Esters and Their Effects on Blood Lipid Reduction

LIU Yan¹, LI Xiao-lu¹, GUO Yan-feng^{1*} et al (1. Department of Biomedicine, Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan, Guangdong 528436; 2. Zhongshan Institute for Food and Drug Control, Zhongshan, Guangdong 528437)

Abstract [Objective] To study the preparation and purification of fish oil fatty acid ethyl esters and their effects on blood lipid reduction. [Method] Fish oil fatty acid ethyl esters were made from fish oil by base catalysis and purified, and the conditions for the ethyl esters production were optimized. Effects of high levels of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) on blood lipid reduction were studied. [Result] The optimum conditions for ethyl esters production were shown as follows; the molar ratio of ethanol to fish oil was 6:1; reaction temperature was 75 ℃; reaction time was 2 h; NaOH concentration was 0.30%. After molecular distillation, the yield of the ethyl esters was up to 95% under the optimum conditions. DHA and EPA were extracted by silver nitrate-water method, and total content of DHA and EPA was up to 96%~99% when AgNO₃ concentration was 75%. High levels of DHA and EPA significantly decreased the contents of serum total cholesterol (TC), triglyceride (TG) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and improved the content of high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), which indicating that high levels of DHA and EPA could improve the disturbance of blood lipid on hyperlipidemia mice. [Conclusion] The study can provide scientific references for the deep processing, exploitation and utilization of fish oil.

Key words Fish oil fatty acid ethyl esters; Preparation; Purification; Blood lipid reduction

鱼油是一种利用价值很高的天然保健品, 鱼油中富含 2 种重要的长碳链多不饱和脂肪酸, 即二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA), 这 2 种脂肪酸具有预防心脑血管疾病、抗氧化、保护血管、预防肿瘤、调节血脂、促进人脑及视网膜发育和延缓大脑衰老等多种功能^[1]。自早期丹麦学者发现格林兰岛爱斯基摩人心脑血管疾病发病率低与他们长期食用富含 DHA、EPA 的海鱼有关以来, EPA 及 DHA 成为医药及营养界研究的热点, 鱼油也因此被医学界称为“生命之油”^[2]。

根据 EPA 及 DHA 存在的化学形式不同, 鱼油可分为甘油酯型、游离脂肪酸型及乙酯型 3 种。其中甘油酯型是将天然鱼油精制后制成的胶丸; 游离脂肪酸型是将鱼油水解所得的富含 EPA 及 DHA 的压丸; 乙酯型是将鱼油与乙醇经酯交换反应所得的富含 EPA 及 DHA 乙酯的产品^[3-4]。有关鱼油的营养功效目前已有大量的研究, 研究主要针对于纯 EPA 或 DHA (脂肪酸型、乙酯型或甘油酯型) 的营养功效方面。研究发现, 尽管 EPA 和 DHA 都具有很多的生理功效, 但它们的作用有较大的区别。以健脑、增强记忆力和提高视力为目的的婴幼儿、青少年、孕妇等群体应服用以 DHA 为主的产品, 而以降低血脂、防治动脉粥样硬化等心血管疾病群体则

应服用以 EPA 为主的产品^[5]。另外, 从提高人体的吸收, 充分发挥制剂的功效来说, 产品中 EPA 和 DHA 越高越好。笔者以鱼油为原料, 采用碱催化制备了鱼油乙酯, 优化了条件并对其进行纯化, 将产品配成饲料进行动物试验, 研究其降血脂功效。

1 材料与方法

1.1 材料 鱼油, 大豆油, 市售; 十一酸甲酯, 色谱纯, sigma 公司; 硝酸银、氢氧化钾、甲醇、氧化镁、氯化钠等化学试剂, 均为国产分析纯。健康小鼠雌性, 体重 16~18 g, SPF 级, 广东省实验动物中心; 总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)试剂盒, 北京中生北控生物科技股份有限公司; BSA224S-CW 电子天平(Sartorius); RE-52AA 转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂; RCT 恒温加热磁力搅拌器, 德国 IKA; DGX-9003 鼓风干燥箱, 上海福玛实验设备有限公司; 6890N 气相色谱仪, 安捷伦科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 鱼油脂肪酸乙酯的制备。在 150 mL 三口瓶中加入鱼油, 恒温水浴达到预设温度后, 开启搅拌, 加入乙醇和碱催化剂, 密闭, 冷凝回流, 开始计时。之后停止反应, 降温, 转入分液漏斗, 静置分层, 除去下层催化剂和甘油, 取上层, 旋转蒸发回收过量甲醇; 用约为上层产物 3 倍体积的 80 ℃ 的 5% 氯化钠溶液洗涤, 除去残余的皂和催化剂, 直至于下层洗涤液清澈透明, 取上层用于气相色谱分析。

基金项目 国家质检总局科技计划项目(2014QK051); 中山市科技计划项目(2014A2FC247)。

作者简介 刘妍(1983-), 女, 内蒙古通辽人, 讲师, 硕士, 从事食品加工研究。* 通讯作者, 博士, 从事食品加工研究。

收稿日期 2016-06-06

1.2.2 样品气相色谱分析。样品的气相色谱分析参考文献[6]而进行。样品经甲酯化后,采用 Agilent 气相色谱 6890N 分析脂肪酸甲酯含量并计算生物柴油产率。分析条件为:毛细管柱(DB-FFAP, 0.25 mm I. D × 30 m, $d_f = 0.25 \mu\text{m}$), 程序升温, 初温 150 °C 保持 3 min, 然后以 5 °C/min 升至 220 °C, 保持 6 min; 气化室温度 250 °C, 检测器(FID)温度 330 °C; 载气:高纯氮气 25 mL/min, 氢气 40 mL/min, 空气 450 mL/min; 进样体积 1 μL , 分流进样, 分流比 30:1。内标物采用十一酸甲酯。采用相对校正因子法定量。试验采用得率表征, 计算公式如下:

$$\text{脂肪酸甲酯得率}(\%) = \frac{\text{脂肪酸甲酯的质量}}{\text{棕榈油质量}} \times 100\%$$

1.2.3 Ag^+ (EPA) 络合物、 Ag^+ (DHA) 络合物的制备。参照文献[7]进行, 将上述所得鱼油乙酯与硝酸银溶液室温反应一定时间后, 放入分液漏斗, 分离油层, 得到 Ag^+ (EPA) 络合物和 Ag^+ (DHA) 络合物的混合物产品。

1.2.4 DHA 和 EPA 乙酯混合物的制备。在室温下, 将以上所得 Ag^+ (EPA) 络合物和 Ag^+ (DHA) 络合物加入 20 倍体积的水, 用正己烷 50 mL × 3 萃取, 有机层用无水硫酸钠干燥,

回收溶剂, 得到 DHA 和 EPA 乙酯混合物^[8]。

1.2.5 高含量的 EPA 乙酯的分离制备。在室温下, 将 Ag^+ (EPA) 络合物和 Ag^+ (DHA) 络合物 5 倍水溶解, 用正己烷 20 mL × 3 萃取, 有机层用无水硫酸钠干燥, 回收溶剂。

1.2.6 高含量的 DHA 乙酯的分离制备。在室温下, 将 Ag^+ (EPA) 络合物和 Ag^+ (DHA) 络合物 5 倍水溶解, 用正己烷提取, 分离有机层, 水层用水稀释 20 倍, 再用正己烷 50 mL × 3 萃取, 得到富含 DHA 乙酯的产品。

1.2.7 饲料的配制及动物试验设计。将雌性小鼠随机分为正常对照组、模型对照组、阳性对照组、乙酯型鱼油对照组、低含量 DHA/EPA 甘油三酯型鱼油对照组和高含量 DHA/EPA 甘油三酯型鱼油低、中、高剂量组, 每组 10 只。各组动物饲料自行配制, 具体成分如表 1 所示, 其中矿物质混合物及维生素复合物均参照 AIN-93 配方(各组鱼油添加量以 DHA + EPA 计)。试验周期 15 周, 试验期间小鼠自由进食和饮水。于末次喂食后, 小鼠禁食不禁水 10 h, 摘眼球取血, 常规分离血清, 保存于 -20 °C 备用, 以试剂盒检测 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 含量。解剖小鼠, 仔细剥离肝脏, 称重, 肝脏制备匀浆, 离心, 上清液于 -80 °C 保存, 备用。

表 1 各试验组动物饲料成分

Table 1 Composition of animal feed in each experimental group

试验组 Experimental group	酪蛋白 Casein	蔗糖 Sucrose	豆油 Soya-bean oil	猪油 Lard	淀粉 Starch	纤维素 Cellulose	矿物质 Mineral
正常对照组 Normal control group	200	0	50	0	650.00	50	35
模型对照组 Model control group	200	200	50	200	250.00	50	35
阳性对照组 Positive control group	200	200	50	200	250.00	50	35
低含量 DHA/EPA 对照组 Control group with low levels of DHA/EPA	200	200	50	200	218.80	50	35
高含量 DHA/EPA 低剂量组 Low-dose group with high levels of DHA/EPA	200	200	50	200	241.52	50	35
高含量 DHA/EPA 中剂量组 Moderate-dose group with high levels of DHA/EPA	200	200	50	200	233.04	50	35
高含量 DHA/EPA 高剂量组 High-dose group with high levels of DHA/EPA	200	200	50	200	216.08	50	35

试验组 Experimental group	维生素 Vitamin	氯化胆碱 Choline chloride	DL-蛋氨酸 DL-methionine	罗格列酮 Rosiglitazone	低含量 DHA/EPA 鱼油 Fish oil with low levels of DHA/EPA	高含量 DHA/EPA 鱼油 Fish oil with high levels of DHA/EPA
正常对照组 Normal control group	10	2	3	—	—	—
模型对照组 Model control group	10	2	3	—	—	—
阳性对照组 Positive control group	10	2	3	0.008	—	—
低含量 DHA/EPA 对照组 Control group with low levels of DHA/EPA	10	2	3	—	31.20	—
高含量 DHA/EPA 低剂量组 Low-dose group with high levels of DHA/EPA	10	2	3	—	—	8.48
高含量 DHA/EPA 中剂量组 Moderate-dose group with high levels of DHA/EPA	10	2	3	—	—	16.96
高含量 DHA/EPA 高剂量组 High-dose group with high levels of DHA/EPA	10	2	3	—	—	33.92

1.2.8 血清脂肪浓度测定。按照文献[9]的方法, 血液室温静置 30 min 后, 7 500 r/min 离心获得血清, 按试剂盒说明测定 TC、TG、HDL-C、LDL-C 浓度。

1.2.9 肝脏脂肪浓度测定。按照文献[10]的方法, 制备肝脏匀浆, 以氯仿和甲醇混合液(体积分数 2:1)抽提肝脏脂质并浓缩, 肝脏 TC 和 TG 由试剂盒测定。

2 结果与分析

2.1 碱催化制备鱼油乙酯 该研究优化了碱催化鱼油与乙

醇反应制备脂肪酸乙酯的工艺流程, 包括乙醇-鱼油摩尔比、反应时间、反应温度、NaOH 浓度, 结果得到的优化条件为:乙醇-鱼油 6:1(摩尔比), 反应温度 75 °C, 反应时间 2 h, 碱催化剂 NaOH 加入量为油重的 0.30%; 在此条件下鱼油脂肪酸乙酯得率最高, 经分子蒸馏后达 95%。

从图 1 中可以看出, 当乙醇-鱼油摩尔比为 6:1 时, 鱼油脂肪酸乙酯得率达到最高, 继续增加乙醇与鱼油的摩尔比, 鱼油乙酯未见随着进一步提高。因此, 在后续的过程中采用

乙醇-鱼油摩尔比为6:1。反应温度影响反应速率,反应温度提高,反应速率随之加快。从图1(b)中可以看出,反应温度从55℃升至75℃时,鱼油脂肪酸乙酯的得率随着增加;

但继续增加至80℃时,脂肪酸乙酯的得率不再随着增加。说明在既定的反应体系中,已基本达到平衡。因此,采用75℃用于后续反应。

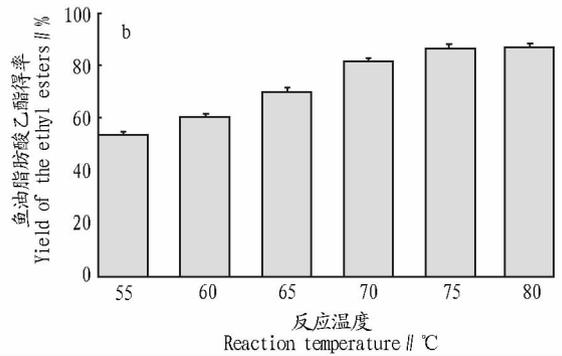
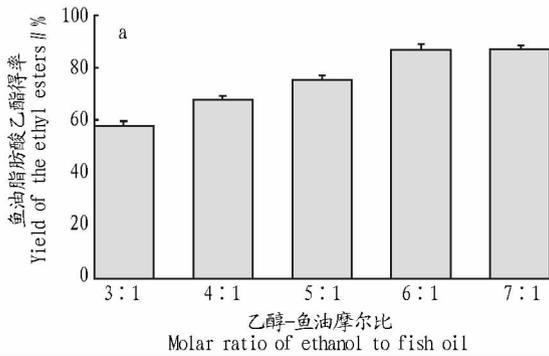


图1 反应物摩尔比(a)和反应温度(b)对鱼油乙酯制备的影响

Fig.1 Effects of molar ratio of ethanol to fish oil(a) and reaction temperature(b) on the yield of the ethyl esters

图2是催化剂浓度和反应时间对鱼油乙酯制备的影响。催化剂浓度影响反应速率,一定范围内,反应速率随着催化剂用量的增加而增加,但是增加至一定浓度后反应速率则不再随着增加。该反应体系中,当继续增加NaOH的浓度,脂肪酸乙酯反而有下降的趋势,可能是催化剂增加后,反应体

系生成的皂增加的缘故,从而影响目标产品脂肪酸乙酯的得率。因此,后续反应过程中采用0.30%的NaOH浓度。从图2(b)中可看出,反应时间从0.5h增加至2.0h时,脂肪酸乙酯的得率随着增加,继续增加反应时间,脂肪酸乙酯的得率未见显著增加,说明该反应体系中2.0h已基本达到反应平衡。

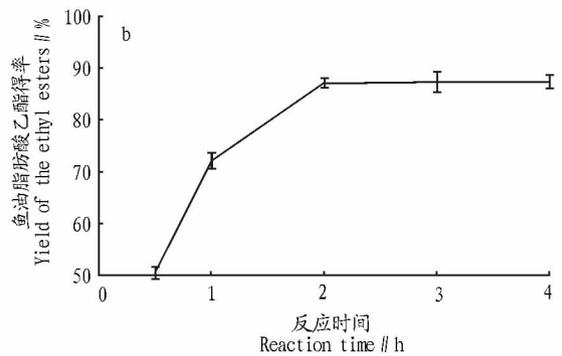
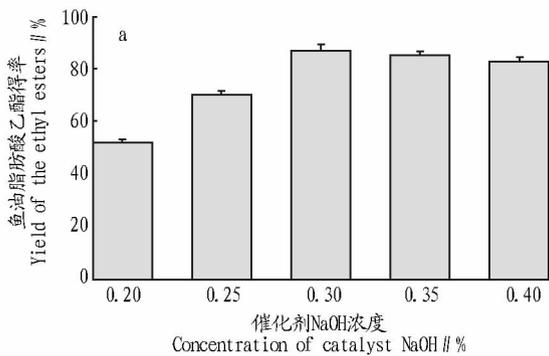


图2 反应物摩尔比(a)和反应时间(b)对鱼油乙酯制备的影响

Fig.2 Effects of concentration of catalyst NaOH(a) and reaction time(b) on the yield of the ethyl esters

2.2 硝酸银-水法提纯高含量DHA和EPA的研究 采用硝酸银-水法对鱼油乙酯化产品进行分离提纯,得到EPA和DHA总含量为>95%的浓缩产品。根据Ag⁺(EPA)络合物、Ag⁺(DHA)络合物的稳定性不同,进一步分离出高纯度的EPA乙酯和DHA乙酯。采用室温AgNO₃浓度为75%时,可得到DHA乙酯浓度为95.6%,EPA浓度为3.8%的乙酯鱼油产品。

从表2中结果可以看出,在室温条件下硝酸银-水法提取鱼油DHA和EPA的纯度随着硝酸银浓度的增加而增加,分离DHA和EPA的硝酸银最佳浓度为75%,提取得到的EPA和DHA总浓度96%~99%。

2.3 高含量DHA和EPA鱼油的降血脂动物试验研究

2.3.1 高含量DHA和EPA鱼油对高脂血症小鼠血清脂质水平的影响。从表3中可以看出,高含量DHA/EPA鱼油各剂量组较模型对照组血清中TC、TG、LDL-C、LDL-C/HDL-C分别均有降低,HDL-C均有升高。说明高含量DHA/EPA鱼

表2 硝酸银-水提纯制备高含量EPA和DHA鱼油乙酯的结果

Table 2 Contents of EPA and DHA in the ethyl esters prepared by silver nitrate-water method

编号 No.	AgNO ₃ 浓度 AgNO ₃ content	提取率 Extraction rate	DHA 含量 DHA content	EPA 含量 EPA content	总含量 Total content
1	50	18.2	58.9	25.4	84.3
2	60	19.1	62.1	28.3	90.4
3	70	21.2	69.4	25.1	94.5
4	70	20.7	54.5	37.2	91.7
5	75	20.7	87.1	11.1	98.2
6	75	21.0	67.0	31.5	98.5
7	75	21.1	85.8	10.8	96.6
8	75	21.9	86.5	13.0	99.5
9	75	20.8	25.2	49.5	74.7
10	75	20.8	95.6	3.8	99.4

油能有效降低模型小鼠血清TC、TG和LDL-C,升高HDL-C含量($P < 0.05$)。因此,高含量DHA/EPA鱼油可有效改善

模型小鼠的血脂水平。高含量 DHA/EPA 由于各剂量组较阳性对照组血清中 TC、TG、LDL-C 均有所降低, HDL-C 有所升高, 说明高含量 DHA/EPA 鱼油较罗格列酮具有更好的降血脂作用, 促进其更好地调节血脂水平。高含量 DHA/EPA

鱼油各剂量组较低含量 DHA/EPA 鱼油对照组, TC 和 LDL-C 分别均有升高, TG 和 HDL-C 分别均有降低, 说明在低含量 DHA/EPA 鱼油较高含量 DHA/EPA 鱼油在降低 TC 和 LDL-C, 升高 HDL-C 方面具有更好的调节血脂的作用。

表 3 DHA/EPA 对高脂血症小鼠血脂水平的影响

Table 3 Effects of DHA/EPA on blood lipid level in hyperlipidemia mice

mmol/L

组别 Group	TC	TG	LDL-C	HDL-C
正常对照组 Normal control group	3.01 ± 0.21	0.99 ± 0.18	0.57 ± 0.17	2.51 ± 0.11
模型对照组 Model control group	4.02 ± 0.38	1.25 ± 0.19	1.92 ± 0.51	1.79 ± 0.20
阳性对照组 Positive control group	3.92 ± 0.25	1.08 ± 0.32	1.89 ± 0.48	2.05 ± 0.10
低含量 DHA/EPA 对照组 Control group with low levels of DHA/EPA	3.04 ± 0.28	0.91 ± 0.18	0.74 ± 0.22	2.52 ± 0.18
高含量 DHA/EPA 低剂量组 Low-dose group with high levels of DHA/EPA	3.54 ± 0.48	1.08 ± 0.22	1.46 ± 0.33	2.04 ± 0.08
高含量 DHA/EPA 中剂量组 Moderate-dose group with high levels of DHA/EPA	3.11 ± 0.52	0.87 ± 0.29	0.98 ± 0.42	2.31 ± 0.42
高含量 DHA/EPA 高剂量组 High-dose group with high levels of DHA/EPA	3.24 ± 0.22	0.84 ± 0.19	0.83 ± 0.24	2.37 ± 0.34

注: 结果表示为 $X \pm S, n = 10$ 。

Note: The results are shown as $X \pm S, n = 10$.

2.3.2 高含量 DHA 和 EPA 鱼油对高脂血症小鼠肝脏脂肪浓度的影响。从表 4 中可以看出, 模型对照组较正常对照组小鼠肝脏 TC 和 TG 含量均有提高, 说明高糖高脂的摄入严重扰乱了小鼠的脂质代谢, 肝脏 TC 和 TG 水平显著升高。高含量 DHA/EPA 鱼油各剂量组较模型对照组肝脏 TC 和 TG 含量均有降低, 说明高含量 DHA/EPA 鱼油能有效降低小鼠肝脏脂肪浓度, 减少肝脏脂质的蓄积。高含量 DHA/EPA 鱼油各剂量组较阳性对照组和低含量 DHA/EPA 鱼油对照组肝脏 TC 和 TG 含量均有所升高, 说明罗格列酮以及低含量 DHA/EPA 鱼油降低小鼠肝脏脂肪浓度均优于高含量 DHA/EPA 鱼油。

表 4 DHA/EPA 对高脂血症小鼠肝脏中 TC、TG 的影响

Table 4 Effects of DHA/EPA on TC and TG content in the liver of hyperlipidemia mice

mmol/L

试验组 Experimental group	TC	TG
正常对照组 Normal control group	6.49 ± 0.78	12.02 ± 1.99
模型对照组 Model control group	9.08 ± 0.89	17.01 ± 1.32
阳性对照组 Positive control group	7.01 ± 0.57	12.55 ± 1.79
低含量 DHA/EPA 对照组 Control group with low levels of DHA/EPA	7.35 ± 0.67	13.38 ± 1.08
高含量 DHA/EPA 低剂量组 Low-dose group with high levels of DHA/EPA	8.15 ± 0.96	15.35 ± 1.04
高含量 DHA/EPA 中剂量组 Moderate-dose group with high levels of DHA/EPA	7.93 ± 0.96	13.67 ± 1.28
高含量 DHA/EPA 高剂量组 High-dose group with high levels of DHA/EPA	8.01 ± 0.67	13.22 ± 1.60

注: 结果表示为 $X \pm S, n = 10$ 。

Note: The results are shown as $X \pm S, n = 10$.

3 结论与讨论

目前有关鱼油功效的研究主要集中在 EPA、DHA 2 种脂肪酸的独立功效上, 而对于这 2 种脂肪酸不同比例的功效的研究则较少。该研究优化了碱催化制备鱼油乙酯的工艺条

件, 纯化了鱼油乙酯, 并研究了高含量 EPA 和 DHA 的降血脂功效。结果表明, 乙醇-鱼油 6:1 (摩尔比), 反应温度 75 °C, 反应时间 2.0 h, 碱催化剂 NaOH 加入量为油重的 0.30%; 在此条件下鱼油脂肪酸乙酯得率最高, 经分子蒸馏后达 95%; 硝酸银最佳浓度为 75%, 提取得到的 EPA 和 DHA 总浓度 96%~99%; 高含量 EPA 和 DHA 鱼油能够显著降低小鼠血清中的总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG) 和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 浓度, 提高高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 浓度, 可有效改善高脂血症小鼠的血脂水平。鱼油是一种利用价值很高的天然保健品, 鱼油中富含的多不饱和脂肪酸 EPA 和 DHA, 具有预防心脑血管疾病、抗氧化、保护血管、预防肿瘤、调节血脂、促进人脑及视网膜发育和延缓大脑衰老等多种功能。因此, 与鱼油相关的降血脂保健品具有极高的经济价值和社会效益。

参考文献

- [1] 王芬. 鱼油中多不饱和脂肪酸的富集研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [2] 叶瑜. 大气污染物与心脑血管疾病急性发作的病例交叉研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [3] 周远扬, 雷百战, 潘慧. 鱼油 EPA 与 DHA 提取方法研究进展[J]. 广东农业科学, 2009(12): 153-155.
- [4] 裘爱咏, 陈大淦. 鱼油制剂化学型式的选择及制取工艺[J]. 无锡轻工业学院学报, 1991(10): 24-31.
- [5] 肖玫, 欧志强. 深海鱼油中两种脂肪酸 (EPA 和 DHA) 的生理功效及机理的研究进展[J]. 食品科学, 2005(8): 522-526.
- [6] 钟南京. 有机溶剂相中碱催化甘油醇解甘油三酯反应的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [7] 陶遵威, 解红武, 刘慧芝. 硝酸银-水法提纯高含量 DHA 和 EPA 的实验研究[J]. 中国海洋药物, 2004(3): 28-30.
- [8] 马永钧, 杨博. 海洋鱼油深加工技术研究进展[J]. 中国油脂, 2011(36): 1-6.
- [9] 冷静, 汪巩. 鱼油中的多不饱和 ω -3 脂肪酸对人体健康的作用[J]. 中国油脂, 1992(S1): 250-255.
- [10] 詹麒平, 朱昱哲, 张昕, 等. 高含量 DHA/EPA 甘油三酯的降血脂和保肝作用的研究[J]. 食品工业科技, 2014(13): 355-358.