

鱼油精制过程中的品质变化规律及评价

张建友, 费晓文, 刘建华, 包玉刚, 丁玉庭

(浙江工业大学海洋学院, 浙江杭州 310014)

摘要: 在传统的鱼油生产中, 毛油经脱胶、脱酸、脱色、脱臭等工艺可以得到品质合格的精制鱼油, 但传统鱼油生产对胆固醇、胆酸、反式脂肪酸等关乎人体健康的成分关注较少。本文通过模拟传统的鱼油生产工艺, 在确保成品鱼油品质合格的同时, 对鱼油中 DHA、EPA、胆固醇、总胆酸、反式脂肪酸 ($C_{18:1trans}$, $C_{18:2trans}$, $C_{18:3trans}$) 等进行了分析。结果表明, 成品鱼油的酸值 (AV)、过氧化值 (POV)、碘值 (IV) 分别为 0.53 mg KOH/g, 4.35 mmol/kg 和 139.60 g/100 g, 均达到了多烯鱼油行业一级标准 (SC/T 3502-2000)。精炼工艺对 DHA 和 EPA 的影响不大, DHA 和 EPA 的相对总含量为 26% 左右。成品油中胆固醇和总胆酸含量随着精炼的进行呈下降趋势, 成品油中含量分别为 2399 mg/kg 和 30 mg/kg, 脱除率分别为 57.4% 和 97.2%。反式脂肪酸含量随着精炼的进行呈上升趋势, 成品油中总反式脂肪酸的相对含量为 1.42%。以上结果表明, 传统的鱼油精炼工艺尚存在一定的缺陷, 需及时改善工艺, 进一步提高鱼油的品质。

关键词: 鱼油; EPA; DHA; 胆固醇; 反式脂肪酸

文章篇号: 1673-9078(2016)6-194-199

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.031

Evaluating Variations in Quality during Fish Oil Refining

ZHANG Jian-you, FEI Xiao-wen, LIU Jian-hua, BAO Yu-gang, DING Yu-ting

(Ocean College, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Fish oil that meets quality standards is obtained by degumming, deacidifying, bleaching, and deodorization processes in conventional fish oil production. Less attention has been paid to unhealthy ingredients such as cholesterol, cholic acid, and *trans* fatty acids. In this study, the traditional fish oil production process was simulated, and eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA), cholesterol, total cholic acid, and *trans*-fatty acid ($C_{18:1trans}$, $C_{18:2trans}$, $C_{18:3trans}$) content were studied, while the quality of fish oil product was ensured. The results showed that the acid value, peroxide value, and iodine value of refined fish oil was 0.53 mg KOH/g, 4.35 mmol/kg and 139.60 g/100 g, respectively, which reached the primary standard of the polyunsaturated fish oil industry (SC/T 3502-2000). The total relative EPA and DHA content were not significantly changed during the refining process, remaining around 26%, indicating that refining has little effect on EPA and DHA content. Cholesterol and total cholic acid content exhibited a downward trend over the refining process; their final content in refined fish oil were 240 mg/100 g and 3 mg/100 g, respectively, and their removal rates were 57.4% and 97.2%, respectively. *Trans* fatty acid content increased during the refining process, and reached 1.42% in the final oil product. The above results indicate that the conventional refining process still has some limitations, and should be improved to further enhance the quality of fish oil.

Key words: fish oil; eicosapentaenoic acid; docosahexaenoic acid; cholesterol; *trans* fatty acids

鱼油是鱼类脂肪酸的总称, 不同鱼种的脂肪酸种类和含量不尽相同, 其中最具代表性的是二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA) 和二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid, DHA) [1,2]。EPA 有“血管清道夫”之称, 具有降低血脂、软化血管、预防心脑血管疾病等作用 [3]。DHA 被称为“脑黄金”, 是人体大脑发育重要的组成物质, 具有增强记忆力、补充大脑营养等作用 [4]。

收稿日期: 2015-07-07

作者简介: 张建友 (1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工方向

通讯作者: 丁玉庭 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品加工方向

鱼油的精炼即除去鱼油中的非甘油酯杂质成分, 提升鱼油品质的过程。深海鱼油的原料主要来自鱼粉加工过程中的压榨油, 即毛油。毛油一般颜色较深, 黏稠, 并伴有浓重的腥臭味。毛油首先进行脱胶处理以除去其中的胶溶性杂质, 再经脱酸处理除去油脂中的游离脂肪酸, 然后利用某些吸附能力强的表面活性物质去除油脂中的色素和杂质, 最后经脱臭工艺以去除油脂中的不良气味, 得到成品油脂。

传统的精炼工艺能得到品质合格的鱼油, 但是其对胆固醇、胆酸、反式脂肪酸等成分的关注较少。胆固醇 [5] 是维持机体正常生理功能的重要物质, 但是摄入过量的胆固醇会引起高脂血症, 动脉硬化, 进而会

诱发冠心病、高血压等疾病。营养学家建议成人每天的胆固醇摄入量应低于 300 mg, 对于心血管疾病患者, 应低于 200 mg。胆酸^[6]是胆固醇的终末代谢产物, 其浓度必须得到严格的控制, 不仅是为了保持胆固醇代谢的平衡, 更是因为胆酸浓度异常升高会有潜在的毒性并可导致胆汁淤积症等病变。反式脂肪酸^[7,8]则能诱发心血管疾病, 对糖尿病人和胎儿的生长发育带来不利影响。

由此可见, 胆固醇、胆酸、反式脂肪酸都是威胁人类健康的潜在因素。本文按照传统的鱼油精炼工艺, 确保成品油理化指标合格的同时, 研究了 EPA、DHA、胆固醇、胆酸和反式脂肪酸在精炼过程中的变化规律, 然后以此对传统的鱼油精炼工艺作出评价, 希望为鱼油精炼工艺的改善提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

UV762 紫外可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; 2695 型高效液相色谱仪, 配 2489UV 检测器, 美国 Waters 公司; Agilent 7890A-5975C 气质联用仪, 美国安捷伦公司。

韦氏试剂; 50%~52%三氟化硼甲醇络合物, 胆固醇, 99.0%, 胆酸, >98%, Aladdin; 油酸甲酯, 99%, Aldrich; 反油酸甲酯, 99%, 亚油酸甲酯, >99%, 反亚油酸甲酯, >99%, 亚麻酸甲酯, >99%, 反亚麻酸甲酯, 99%, Sigma。

1.2 鱼油制备

毛油(金枪鱼鱼油, 2015.3, -4 °C下保存)由舟山兴业有限公司提供, 成品油由实验室自制, 在精炼过程中, 分别对各个阶段的油脂进行取样(亦于-4 °C下保存), 以便分析测试。

脱胶: 在毛油中加入 0.1%油重的磷酸(85%), 50 °C作用 20 min, 离心去胶质, 得到脱胶油。

脱酸: 在脱胶油中加入 7%油重的 NaOH(16 B e), 60 °C作用 30 min, 离心去皂脚, 然后水洗, 再离心去水得到脱酸油。

脱色: 在脱酸油中加入 5%油重的活性白土, 60 °C作用 30 min, 离心后得到脱色油。

脱臭: 水蒸气减压蒸馏, 180 °C脱臭 1 h, 干燥得到脱臭油。以上操作均在氮气保护或者真空环境下(-0.1 MPa)进行。

1.3 酸值的测定

参照 GB/T 5530-2005 IS0660-1996《动植物油脂酸值和酸度测定》进行。

1.4 过氧化值的测定

参照 GB/T 5538-2005 IS03960-2001《动植物油脂过氧化值测定》进行。

1.5 碘值的测定

参照 GB/T 5532-2008《动植物油脂碘值的测定》进行。

1.6 胆固醇的测定

采用高效液相色谱法, 参照 GB/T 22220-2008《食品中胆固醇的测定 高效液相色谱法》进行。

1.7 总胆酸的测定

胆酸类化合物具有甾体母核结构, 能与浓硫酸作用, 产生颜色反应, 因此可以使用紫外分光光度计进行测定^[9]。

1.7.1 标准曲线的制备

准确移取胆酸标准储备液(0.404 mg/mL) 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL于 20.0 mL试管内, 用 60%冰乙酸溶液稀释至 1.0 mL, 再加入 50%硫酸溶液(V/V) 14.0 mL, 混匀, 置于 75 °C水浴中 10 min, 然后转移至冰水中冷却, 以相应的试剂作空白, 在 388 nm处测定吸光度。

1.7.2 样品中胆酸的提取

准确称取 1.0 g 鱼油于 10 mL离心管中, 加入 60%冰乙酸溶液 3.0 mL, 混匀, 超声 10 min, 期间振摇 3次以保证超声完全, 离心 10 min, 取上清液于 10.0 mL容量瓶中, 重复以上步骤 2次, 最后 60%冰乙酸定容至 10 mL。从容量瓶中移取 1.0 mL液体, 按照标准曲线的制备方法处理。

1.8 脂肪酸的测定

1.8.1 脂肪酸甲酯的制备

取 0.2 g 油脂于 50 mL圆底烧瓶中, 加入 4 mL 0.5 mol/L NaOH-CH₃OH 溶液, 于 75 °C下冷凝回流 25 min, 此时油脂皂化完全, 趁热加入 5 mL 14%左右的 BF₃-CH₃OH 溶液, 反应 30 min, 然后加入 5 mL 正己烷, 反应 1 min, 移去热源和冷凝管, 加入 15 mL 饱和 NaCl 溶液, 振荡 30 s, 静置分液, 取上清液过装有无水硫酸钠的漏斗除水, 过膜, 上机测定。

1.8.2 测定 DHA 和 EPA 的 GC/MS 条件

气相色谱条件: DB-wax 色谱柱(30 m×0.25

mm×0.25 μm), 载气为氦气, 流速 0.8 mL/min。进样口温度 270 °C, 分流比 50:1。程序升温条件: 初温 120 °C, 以 6 °C/min 升至 210 °C, 再以 3 °C/min 升至 240 °C, 最后以 6 °C/min 升至 260 °C, 保留 5 min。质谱条件: EI 离子源, 离子源温度 150 °C, 电子能量 70 eV, 扫描范围 m/z 40~425 amu。

气相色谱-质谱的分析方法: 通过质谱工作站检索 NIST 质谱库进行定性分析。采用峰面积归一化法进行定量分析。

1.8.3 测定反式脂肪酸的 GC/MS 条件

气相色谱条件: CPTM-Sil 88 FAME 色谱柱(100 m×0.25 mm×0.25 μm), 载气为氦气, 流速 1.0 mL/min, 分流比 10:1。程序升温条件: 初始温度 60 °C, 保持 5 min, 以 5 °C/min 升温至 165 °C, 保持 1 min, 再以 2 °C/min 升温至 225 °C, 保持 17 min。质谱条件: EI 离子源, 离子源温度 230 °C, 电子能量 70 eV, 扫描范围 m/z 29~450 amu。

气相色谱-质谱的分析方法: 通过与标准物质的保留时间, 质谱图比较进行定性分析。采用峰面积归一化法进行定量分析。

1.8.4 数据统计分析

采用 Origin 8.0 绘图, 数据处理采用软件 SPSS 16.0, 表述形式为平均值±SD, 差异性分析采用单因素方差分析方法($p<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 精炼过程中鱼油理化性质的变化规律

表 1 精炼过程中鱼油理化性质的变化规律

Table 1 Variation of physicochemical properties of fish oil during the refining process

	酸值/ (mg KOH/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	碘价/ (g/100 g)
毛油	18.74 ^a ±0.35	3.17 ^a ±0.17	114.88 ^a ±1.11
脱胶油	18.78 ^{ab} ±0.31	4.00 ^b ±0.28	114.65 ^{ab} ±2.43
脱酸油	1.74 ^c ±0.26	1.62 ^c ±0.18	117.13 ^{abc} ±2.96
脱色油	0.85 ^d ±0.21	0.99 ^d ±0.15	125.62 ^d ±1.83
脱臭油	0.51 ^d ±0.14	0.65 ^d ±0.05	139.67 ^e ±3.66

酸值是衡量鱼油中游离脂肪酸(Free Fatty Acid, FFA)含量的指标。鱼油中存在一定量的 FFA, FFA 的存在会使鱼油带有刺激性气味从而影响鱼油的整体质量, 更重要的是 FFA 比甘油酯中的脂肪酸更容易被氧化^[10], 进而脂类发生氧化酸败反应, 所以在精炼过程中需尽可能的减少鱼油中的 FFA。鱼油精炼过程中的理化指标如表 1 所示, 可以看到, 酸值总体呈下降趋

势。在脱酸阶段, 酸值较毛油和脱胶油阶段来说降低明显($p<0.05$), 这是由于氢氧化钠的加入中和了大部分的 FFA, 使得酸值大幅度降低, 脱色阶段由于吸附剂的作用, 酸值进一步降低, 脱臭后, 油脂中仍残留少量的 FFA, 这同 Farhoosh^[11]和 Jung^[12]等的研究结果一样, 脱臭环节并不能除尽油脂中的 FFA。

油脂过氧化值(POV)是判断油脂及其制品氧化程度的重要指标, 也是评价油脂品质的依据^[13]。从表 1 可以看到, 过氧化值在精炼过程中的变化规律总体呈下降趋势, 在脱胶阶段有所回升, 这可能是由于氮气保护不充分的缘故, 部分氧气残留, 油脂发生氧化, POV 值上升。脱酸过程皂脚的吸附, 脱色阶段白土的吸附作用以及脱臭阶段随着水蒸气的馏出, 使得过氧化物不断减少, 呈下降趋势。

碘价(IV)是评价油脂不饱和程度的指标。从表 1 可以看到, 随着精炼工艺的进行碘价呈上升趋势, 从初始的 114.8 g/100 g 升至最后的 139.6 g/100 g, 说明在精炼过程中, 鱼油中的杂质不断被去除, 使得鱼油的不饱和程度不断提高。

对照多烯鱼油的行业标准《SCT 3502-2000》, 以上 3 个理化指标均达到了精炼鱼油的一级标准。在精炼过程中, 必须控制好鱼油精炼的温度、时间, 最重要的是隔氧程度, 否则会加剧鱼油的氧化程度, 使鱼油的品质下降。为了确保鱼油的品质, 就需要通过提高真空度, 充氮等手段来防止鱼油中的不饱和脂肪酸氧化, 从而使鱼油达到相关标准。

2.2 精炼过程中鱼油胆固醇、总胆酸的变化规律

精炼过程中胆固醇和总胆酸的变化如图 1 所示, 图 2、图 3 分别为胆固醇标准品和脱酸油的液相色谱图。由图 1 可知, 胆固醇从初始的 5656 mg/kg 最后降至 2399 mg/kg, 脱除率为 57.6%, 成品油中仍有较高的胆固醇残留。对胆固醇脱除效果最明显的是脱酸阶段($p<0.05$), 可能因为脱酸过程中产生的皂脚吸附胆固醇, 然后随着皂脚的去除而去除。但是从图 1 得到, 在脱色阶段, 白土对胆固醇的去除效果不佳, 脱酸后胆固醇含量为 2491 mg/kg, 脱色后含量为 2405 mg/kg, 脱除率仅为 3.5%。冯艳平^[14]等人研究了活性白土吸附脱除鱼油中胆固醇, 最佳工艺条件为白土用量 7%, 吸附温度 180 °C, 吸附时间 45 min, 胆固醇脱除率为 72.89%, 而本次实验的脱色工艺条件为白土用量 5%, 吸附温度 60 °C, 吸附时间 60 min, 最大的差异来自温度, 温度的升高有利于增加活性白土的吸附活性位点

的数量, 并有利于提高吸附物质分子的扩散速率, 从而有利于提高活性白土的吸附速率, 这可能是导致本实验脱色阶段胆固醇脱除较低的原因。

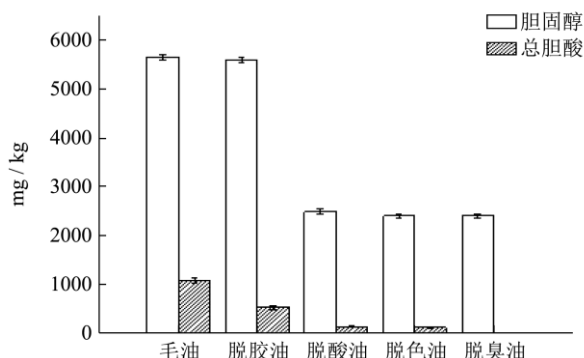


图1 精炼过程中胆固醇、总胆酸的变化规律

Fig.1 Variation of cholesterol and total cholic acid content during the refining process

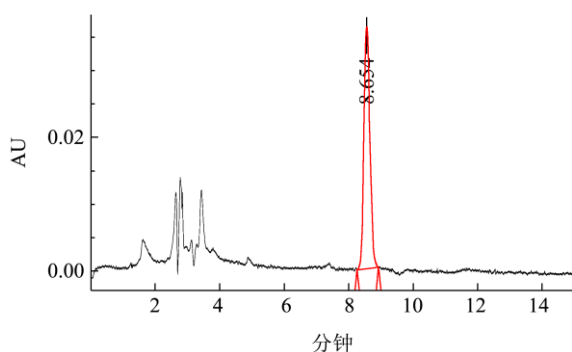


图2 0.1 mg/mL 胆固醇标准品色谱图

Fig.2 Chromatogram of 0.1 mg/mL cholesterol standard

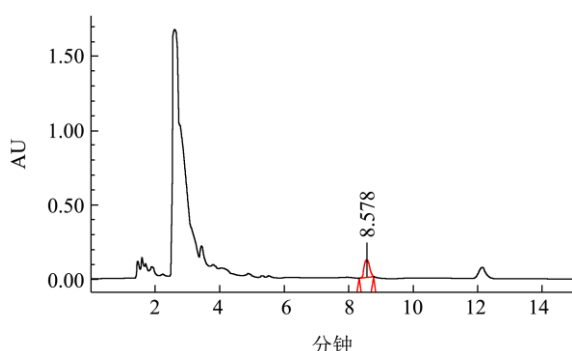


图3 脱酸油中胆固醇测定的色谱图

Fig.3 Chromatogram of cholesterol in deacidified oil samples

总胆酸方面, 总胆酸的含量随着精炼工艺的进行而降低, 在脱胶、脱酸阶段下降幅度较大, 这可能与精炼过程中添加的磷酸、NaOH 有关, 亦或者和皂脚等的吸附作用有关, 较胆固醇而言, 总胆酸脱除率较高, 整体脱除率为 97.2%。

传统的鱼油精炼工艺在脱色环节的温度大致在 60 °C 至 90 °C 之间, 再高的温度就会增加鱼油品质变差的风险。但是从胆固醇脱除效果不佳的角度来看,

温度是提高胆固醇脱除效果的关键因素, 作者认为传统的鱼油精炼工艺需在温度上做出调整已提高胆固醇的脱除率, 同时可以通过提高真空度等措施隔氧措施来降低高温给鱼油品质带来的风险。

2.3 精炼过程中鱼油脂肪酸相对含量的变化规律

2.3.1 EPA 和 DHA 相对含量的变化规律

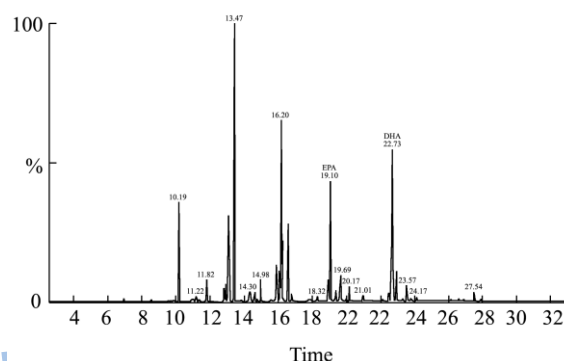


图4 毛油中 EPA、DHA 的总离子流色谱图

Fig.4 GC-MS total ion chromatogram of EPA and DHA in crude oil samples

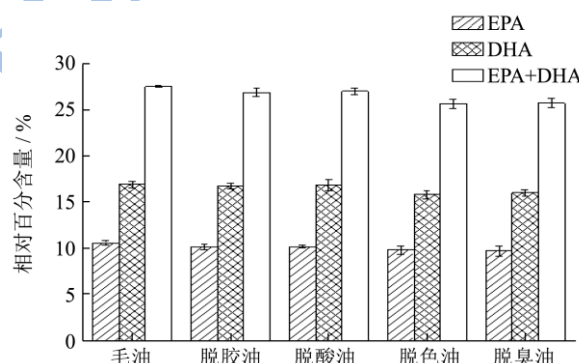


图5 精炼过程中 EPA、DHA 含量的变化规律

Fig.5 Variations in EPA and DHA content during the refining process

EPA 和 DHA 是海洋鱼油多不饱和脂肪酸中重要的两种脂肪酸, 也是研究最多的两种多不饱和脂肪酸, 人体不能合成, 具有较好的保健作用。本实验采用三氟化硼法^[15]对鱼油进行甲酯化, 再利用气相色谱-质谱法进行测定分析, 如图 4 所示。精炼过程中 EPA 和 DHA 的变化规律如图 5 所示, 从图中我们可以看到, 随着精炼工艺的进行 EPA 和 DHA 的变化不大 ($p \geq 0.05$), EPA 的相对含量始终维持在 10% 左右, DHA 的相对含量维持在 16% 左右, 两者总量在 26% 左右, 说明精炼工艺对 EPA 和 DHA 含量的影响不大, 这与刘书成^[16]等人的研究结果相一致。

2.3.2 反式脂肪酸相对含量的变化规律

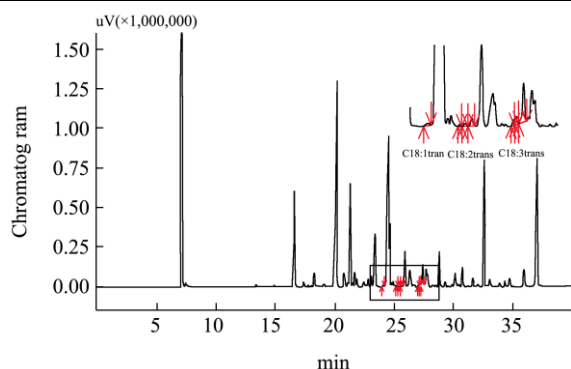


图 6 脱酸油中反式脂肪酸的总离子色谱图

Fig.6 GC-MS total ion chromatogram of *trans* fatty acids in deacidified oil samples

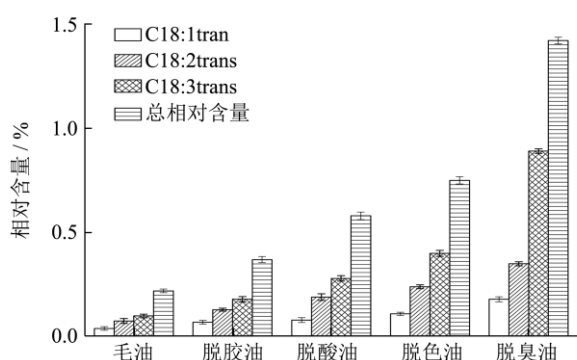


图 7 精炼过程中反式脂肪酸的变化规律

Fig.7 Variation in *trans* fatty acid content during the refining process

反式脂肪酸与长期困扰人类的重大疾病如冠心病、心肌梗塞、心血管疾病等密切相关^[17]，从而引起人们的关注。本实验采用气相色谱-质谱法（图 6）研究了反式 C₁₈ 不饱和脂肪酸在精炼过程中的变化规律，其变化规律如图 7 所示。从图 7 我们可以看到在毛油中含有一定量的反式脂肪酸，含量较低，总含量为 0.21%，但是随着精炼工艺的进行反式脂肪酸的含量呈上升趋势，这可能和添加的工业助剂、操作温度、时间有关。油脂在精炼加工过程中，在酸、碱、白土等化学品以及高温、时间等条件的影响下，不饱和脂肪酸容易从顺式构象转化为能量上更稳定的反式构象^[18]，使得反式脂肪酸的含量增加。反式脂肪酸含量增加最明显 ($p < 0.05$) 的是脱臭过程，总的反式脂肪酸含量为 1.42%，持续的高温环境是反式脂肪酸大幅度增加的主要原因。Henon G^[19]等人研究多不饱和脂肪酸异构化模型发现，亚麻酸在脱臭阶段异构化加剧，武丽荣^[20]等人的研究指出，大豆油脱臭 4 h，油脂中近 1% 的亚麻酸发生了异构化，几乎 50% 的亚麻酸发生了异构化，这都表明脱臭时采用的高温导致反式脂肪酸的形成。

3 结论

本研究采用传统的鱼油精炼工艺，对鱼油进行脱胶、脱酸、脱色、脱臭。实验结果表明，成品鱼油的理化指标，如酸值、过氧化值和碘价分别为 0.53 mg KOH/g, 4.35 mmol/kg 和 139.6 g/100g，均达到了多烯鱼油行业标准《SCT 3502-2000》的一级标准。精炼过程中，鱼油的 EPA、DHA 相对含量始终维持在 10% 和 16% 左右，两者总相对含量在 26% 左右，这表明精炼工艺对 EPA 和 DHA 的影响不大。精炼后的鱼油含有的胆酸较少，整个工艺对胆酸的脱除率为 97.2%，但是精炼后鱼油中胆固醇含量为 2399 mg/kg，整个工艺对胆固醇的脱除率在 57.4%，仍有较高的残留。成品油反式脂肪酸残留量为 1.42%，表明传统的精炼工艺会促使一定量的反式酸的生成。总的来看，通过传统的精炼工艺，可以得到理化指标达标，EPA、DHA 含量稳定的鱼油，但是精炼后仍有较高的胆固醇残留并且精炼工艺会促使一定量反式脂肪酸的生成，这都是威胁人类健康的潜在因素，表明传统的精炼工艺存在一定的缺陷。如今人们对食品安全的意识越来越高，油脂的安全性将是新的生产要求和发展方向，这势必要求改善传统的鱼油精炼工艺，以适应社会的需要。

参考文献

- [1] Wall R, et al. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids [J]. Nutrition Reviews, 2010, 68(5): 280-289(10)
- [2] 庄俊钰,冯志强,谢忠阳.气相色谱内标法测定深海鱼油中的 EPA 和 DHA[J].现代食品科技,2009,25(11):1363-1365 ZHUANG Jun-yu, FENG Zhi-qiang, XIE Zhong-yang. Determination of EPA and DHA in deep sea fish oil by gas chromatography using internal standard method [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(11): 1363-1365
- [3] Masterton G S, J N Plevris, P C Hayes. Review article: omega-3 fatty acids- a promising novel therapy for non-icoholic fatty liver disease [J]. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 2010, 31(7): 679-692
- [4] Afaf Kamal-Eldin N V Y. N-3 fatty acids for human nutrition: stability considerations [J]. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 2002, 104: 825-830
- [5] Varbo A, Benn M, Anne Tybjærg-Hansen, et al. Remnant cholesterol as a causal risk factor for ischemic heart disease [J]. Journal of the American College of Cardiology, 2013, 61(4): 427-436
- [6] 孙芬娜,邹丽.胆酸,胆红素/胆酸对离体挤动脉血管环的收缩作用[J].中华妇幼临床医学杂志,2009,5(2):35-37 SUN Di-na, ZHOU Li. The contractile effects of cholic acid

- and bilirubin/cholic acid in vitro on umbilical arterial circle [J]. Chinese Journal of Obstetrics Gynecology and Pediatrics, 2009, 5(2): 35-37
- [7] Chen L Q, L X Yan. Progress on hazard and detection methods of trans fatty acids [J]. Occupation & Health, 2011, 27(6): 692-693
- [8] Semma M. Trans fatty acids properties.benefits and risks [J]. Journal of Health Science, 2002, 48(1): 7-13
- [9] 李先端,钟银燕,游修琪,等.中药炮制辅料牛胆汁中总胆酸含量测定[J].中药材,2008,31(5):654-656
LI Xian-rui, ZHONG Yin-yan, YOU Xiu-qi, et al. Determination of total cholalic acid content in processing drugs adjuvant bilis bovina [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2008, 31(5): 654-656
- [10] Abuzaytoun R, Shahidi F. Oxidative stability of algal oils as affected by their minor components [J]. J. Agric. Food Chem., 2006, 54(21): 8253-8260
- [11] Farhoosh R, Einafshar S, Sharayei P. The effect of commercial refining steps on the rancidity measures of soybean and canola oils [J]. Food Chem., 2009, 115: 933-938
- [12] Jung M Y, Yoon S H, Min D B. Effects of processing steps on the contents of minor compounds and oxidation of soybean oil [J]. J. Am. Oil Chem. Soc., 1989, 66(1): 118-120
- [13] 叶秀娟.食品中酸价和过氧化值测定方法的改进[J].现代食品科技,2011,27(10):285-287
YE Xiu-juan. Improved determination methods for acid and peroxide values in foods [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(10): 285-287
- [14] 冯艳平,张海,王勇,等.活性白土吸附脱除鱼油中胆固醇的工艺研究[J].中国油脂,2013,38(11):7-10.
FENG Yan-ping, ZHANG Hai, WANG Yong, et al. Removal of cholesterol from fish oil by activated clay adsorption [J]. China Oils and Fat, 2013, 38(11): 7-10
- [15] Paul, Bendig, Lisa, Maier, Katja, Lehnert, et al. Mass spectra of methyl esters of brominated fatty acids and their presence in soft drinks and cocktail syrups [J]. Rapid Commun Mass Spectrom, 2013, 27(9): 1083-1089
- [16] 刘书成,章超桦,洪鹏志,等.金枪鱼油的精炼工艺对脂肪酸组成的影响[J].湛江海洋大学学报,2006,26(01):40-44
LIU Shu-cheng, ZHANG Chao-ha, HONG Peng-zhi, et al. Refining process of tuna oil and its effect on fatty acid composition [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2006, 26(01): 40-44
- [17] Ana, J C M L M J C. Trans fatty acid intake is inversely related to total sperm count in young healthy men [J]. Human Reproduction, 2014. 29: 429-440
- [18] 赵芳.精炼过程对(n-3和n-6)型多不饱和油脂中反式脂肪酸的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2012
ZHAO Fang. The studies on the effects of refining conditions on the trans fatty acids in (n-3/n-6) polyunsaturated oils [D]. Zhengzhou, Henan University of Technology, 2012
- [19] Henon G, K Z Rrcseg K, et al. Deodorization of vegetable oils. part I: modeling the geometrical isomerization of polyunsaturated fatty acids [J]. Ibid, 1999, 76: 73-81
- [20] 武丽荣.反式脂肪酸的产生及降低措施[J].中国油脂,2005, 30(3): 42-44
WU Li-rong. Production and reduction of trans fatty acids [J]. China Oils and Fat, 2005, 30(3): 42-44