

# 脂肪酸甲酯化方法的研究进展

刘 帅<sup>1,2\*</sup>, 王爱武<sup>1#</sup>, 李美艳<sup>2</sup>, 杨 柳<sup>2</sup>(1. 山东大学附属省立医院药剂科, 济南 250021; 2. 山东中医药大学药学院, 济南 250355)

中图分类号 R914; Q814.9 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2014)37-3535-03

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2014.37.27

**摘要** 目的: 了解近年来国内、外关于脂肪酸甲酯化的研究进展, 为气相色谱法测定脂肪酸提供参考。方法: 以“脂肪酸”“甲酯化”等为关键词, 组合查询2004—2013年中国期刊全文数据库、维普中文期刊数据库、万方数据库中有关文献, 对脂肪酸甲酯化方法的研究进展进行综述。结果与结论: 共查询到文献314篇, 其中有效文献22篇。脂肪酸甲酯化方法有很多, 主要有酸处理法、碱处理法、三氟化硼法3种。3种方法优缺点各异, 一般游离型和甘油三酯型脂肪酸可采用酸催化法, 甘油三酯型脂肪酸可采用碱催化法; 三氟化硼法与前2种方法相比步骤较烦琐、操作较复杂, 不推荐使用。实验中, 甲酯化试剂的浓度、用量、甲酯化时间及其温度等均对结果产生影响, 研究者在实验中应针对不同的脂肪酸种类选择适宜的甲酯化方法。

**关键词** 脂肪酸; 甲酯化; 酸处理法; 碱处理法; 三氟化硼法

脂肪酸是人体必需的营养素, 是组织细胞的重要组成部分。其一般包括3类: 饱和脂肪酸、含有1个不饱和键的单不饱和脂肪酸、含有2个及2个以上不饱和键的多不饱和脂肪酸。其中, 饱和脂肪酸可对血脂产生影响, 如棕榈酸可增加血清中胆固醇和总胆固醇的水平; 单不饱和脂肪酸具有降血糖、调节血脂、降胆固醇等作用; 多不饱和脂肪酸对机体多种组织的结构与生理机能具有重要的调节作用, 如促进神经系统发育、调节免疫及凝血过程、调节脂代谢及脂肪细胞分化等, 并在分子水平上调节诸多基因的表达。

脂肪酸的分析方法主要有气相色谱(GC)法、高效液相色谱(HPLC)法、近红外光谱技术(NIRS)等, 其中GC法是最常用的分析技术<sup>[1]</sup>。脂肪酸特别是长碳链脂肪酸若直接进行分析柱温很高, 高温固定相难以选择, 色谱峰易拖尾, 有时有假峰出现等, 所以一般不直接进行GC分析, 须先将其衍生为易挥发的甲酯再进行分析。脂肪酸甲酯化法是将高沸点不易挥发、气化的脂肪酸酯先水解得到脂肪酸和甘油, 再使脂肪酸与甲醇(MeOH)反应生成相应的脂肪酸甲酯, 使其变成低沸点、易挥发的气态物质或将油脂直接与MeOH发生醇解反应制取脂肪酸甲酯, 从而降低气化温度、提高分离效果, 有利于GC法分离并逐一测定其组成和含量<sup>[2]</sup>。

脂肪酸的甲酯化方法很多, 包括酸处理法、碱处理法、三氟化硼(BF<sub>3</sub>)法、简易碱式甲酯化方法、重氮甲烷法、四甲基氢氧化铵法等。本文以“脂肪酸”“甲酯化”等为关键词, 组合查询2004—2013年中国期刊全文数据库、维普中文期刊数据库、万方数据库中有关文献(共查询到文献314篇, 其中有效文献22篇), 对脂肪酸甲酯化方法的研究进展进行综述, 为GC法测定脂肪酸提供参考。

## 1 酸处理法

酸处理法一般采用硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)-MeOH溶液进行甲酯化, 现以不同浓度的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>分类进行介绍。

### 1.1 1%的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液

欧阳玉祝等<sup>[3]</sup>取倍花提取液20 ml于100 ml圆底烧瓶中,

\* 硕士研究生。研究方向: 药物合理应用。电话: 0531-68776460。E-mail: liushuai523518@163.com

# 通信作者: 主任药师。研究方向: 药物合理应用。电话: 0531-68776460。E-mail: wangaw66@163.com

加入10 ml体积分数为1%的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液, 于70 ℃水浴加热回流60 min后, 加入正己烷10 ml, 并加蒸馏水30 ml, 取上清液, 再用5 ml正己烷洗涤1次, 合并上清液, 加入无水硫酸钠干燥, 用气相色谱-质谱(GC-MS)法分析了倍花中的脂肪酸组成和含量, 结果共检出10种脂肪酸, 不饱和脂肪酸中的亚麻酸含量为16.13%, 饱和脂肪酸主要是肉豆蔻酸和棕榈酸。

### 1.2 2.5%的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液

李海静等<sup>[4]</sup>取200 μl正常人血清, 加入16 μl内标十七烷酸酯甲醇溶液(1 g/L), 混匀, 加入1 ml 2.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液, 80 ℃水浴加热90 min, 取出于室温下放至冷却, 加1.5 ml 0.9% NaCl溶液和1 ml正己烷, 振荡混匀, 3 000 r/min离心5 min, 取上层正己烷, 氮气吹干, 40 μl正己烷复溶进样。采用GC-MS法对血清约20种C12~C24脂肪酸进行理想分离, 建立了人血清游离脂肪酸(FFA)的GC-MS分析法。

林晖等<sup>[5]</sup>分离血浆200 μl加入2.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH 1 ml, 混匀后置于90 ℃水浴60 min。待酯化反应完全并冷却至室温后, 加NaCl溶液1.5 ml混匀; 加入正己烷1 ml震荡混匀10 min, 静置后3 000 r/min离心5 min, 取上层溶液1 ml用氮气吹干, 加入500 μl正己烷复溶, 取1 μl自动GC进样分析, 得出冠状动脉粥样硬化性心脏病患者血浆游离饱和脂肪酸(软脂酸和硬脂酸)、单不饱和脂肪酸(油酸)、ω6-多不饱和脂肪酸(二十碳三烯酸、亚油酸、花生四烯酸)、ω3-多不饱和脂肪酸(α-亚麻酸和二十二碳六烯酸)含量较健康人明显降低。

### 1.3 5%的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液

徐爱仁等<sup>[6]</sup>称取羚羊角脂肪约30 mg置于15 ml具塞试管中, 水浴80 ℃蒸干, 加入5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液2 ml, 振荡使分散均匀, 于60 ℃水浴甲酯化60 min, 冷却, 加入2 ml正己烷, 振荡, 静置, 收集正己烷层, 加入少量无水硫酸钠, 密封, 冷藏备用(直接进样)。采用GC-MS联用技术分离鉴定, 利用主要脂肪酸类成分棕榈酸、硬脂酸、油酸之比鉴别了羚羊角的正伪品。

韩莉旭<sup>[7]</sup>将分别含有酯化脂肪酸和非酯化脂肪酸的血浆样本提取液吹干后, 立即加入衍生试剂5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-MeOH溶液500 μl。分别拧紧旋塞以密封反应体系, 加热至70 ℃, 反应30 min。待反应完毕, 放冷至室温, 加入200 μl水。以正己烷500 μl萃取衍生产物脂肪酸甲酯, 上清液移至洁净的进样瓶中, 分别得到非酯化脂肪酸和酯化脂肪酸的甲酯化物, 准确定

容为 500  $\mu\text{l}$ , 进行 GC-MS 分析, 对血浆中 25 种脂肪酸进行定性, 对其中的 15 种精确定量, 所需样本量仅 10  $\mu\text{l}$ 。

#### 1.4 10%的 $\text{H}_2\text{SO}_4$ -MeOH 溶液

马振菁等<sup>[9]</sup>取血清 0.6 ml, 加入内标 0.5 ml (194.04  $\mu\text{g}/\text{ml}$  正十七酸) 混匀, 加入 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -MeOH 2 ml, 涡旋振荡混匀, 置 60  $^\circ\text{C}$  水浴 2 h。取出冷至室温, 加入正己烷和饱和氯化钠溶液各 2 ml, 涡旋混匀 3 min, 静置 30 min, 3 000 r/min 离心 10 min, 取上层正己烷 1.5 ml, 用氮气吹干。用环己烷 0.2 ml 溶解, 1  $\mu\text{l}$  进样分析, 采用 GC 法测定了健康人血清中  $\alpha$ -亚麻酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸、硬脂酸、油酸、亚油酸 7 种 FFA 的含量。

徐小作等<sup>[9]</sup>取血清 0.5 ml, 加入内标 100  $\mu\text{l}$  (200  $\mu\text{g}/\text{ml}$  正十七酸) 混匀, 加入 10%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -MeOH 2 ml, 涡旋振荡混匀, 置于 60  $^\circ\text{C}$  水浴 1 h, 取出冷至室温, 加入正己烷和饱和氯化钠溶液各 2 ml, 涡旋混匀 3 min, 静置 30 min, 3 000 r/min 离心 10 min, 取上层正己烷 1.0 ml, 用氮气吹干。用环己烷 0.2 ml 溶解, 1.0  $\mu\text{l}$  进样, 采用 GC 法完全分离了人血清中硬脂酸、油酸、亚油酸、十八碳三烯酸、二十碳四烯酸、二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸 7 种 FFA。

#### 1.5 20%的 $\text{H}_2\text{SO}_4$ -MeOH 溶液

梁添等<sup>[10]</sup>取血浆 0.3 ml, 加入内标 0.25 ml (194.04  $\mu\text{g}/\text{ml}$  正十七酸) 混匀, 20%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -MeOH 1 ml, 涡旋振荡混匀, 置于 60  $^\circ\text{C}$  水浴 2 h。取出冷却至室温, 加入正己烷、饱和氯化钠溶液各 1 ml, 涡旋振荡混匀 3 min, 静置 30 min, 3 000 r/min 离心 10 min。取上清液 0.75 ml, 氮气吹干, 加环己烷 0.1 ml 溶解, 采用 GC 法测定并探讨了大学生血浆中多不饱和脂肪酸含量与疲劳的关系。

就酸处理方法而言,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  采用的浓度分别有 1%、2.5%、5%、10%、20%, 甲酯化温度分别有 60、70、80、90  $^\circ\text{C}$ , 甲酯化时间分别有 30、60、90、120 min。前文中的倍花提取液及脂肪主要包含甘油三酯型的脂肪酸, 血清、血浆中主要包含游离型脂肪酸, 因此一般游离型和甘油三酯型的脂肪酸都可采用酸处理法。

## 2 碱处理法

碱处理法一般采用氢氧化钾(KOH)-MeOH 溶液进行甲酯化, 现以不同浓度的 KOH 分类进行介绍。

#### 2.1 0.2 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液

王婧等<sup>[11]</sup>取 54 mg 从黑曲霉发酵液中得到的油状物质置于锥形瓶中, 加入 20 ml 苯-石油醚(1:1, V/V) 溶解, 再加 0.2 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液 10 ml, 振荡均匀, 在 40  $^\circ\text{C}$  水浴中恒温 30 min, 冷却。加入 20 ml 蒸馏水, 摇匀, 静置, 待分层清晰后取上清液减压回收溶剂, 得到甲酯化产物, 通过 GC-MS 法鉴定了黑曲霉发酵液中亚油酸、6-十八碳烯酸、14-甲基十五烷酸、硬脂酸 4 种脂肪酸成分。

#### 2.2 0.4 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液

王晟昱等<sup>[12]</sup>精密称取 20.00 g 白鲑皮粉末, 以石油醚为溶剂, 80  $^\circ\text{C}$  索氏提取 8 h, 将提取液旋转蒸馏, 得油状黄色脂肪酸。取白鲑皮脂肪酸置于 20 ml 玻璃试管中, 加入 4 ml 苯-石油醚(1:1, V/V) 混合溶剂使之溶解, 后加入 0.4 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液 4 ml, 震荡混匀, 40  $^\circ\text{C}$  恒温水浴 30 min, 最后加入 10 ml 超纯水, 静置过夜。待混合液分层清晰后取上清液, 经丙酮稀释 10 倍作为色谱分析试样。从白鲑皮中提出 18 种脂肪酸, 并对成分进行鉴定, 白鲑皮脂肪酸中主要成分是亚

麻酸、木蜡酸甲酯、14-甲基十六酸甲酯等不饱和脂肪酸。

高微等<sup>[13]</sup>取经过回流提取、萃取、梯度洗脱得到的尖尾枫药材脂肪酸样品 200 mg 置于 50 ml 具塞烧瓶中, 加石油醚(60~90  $^\circ\text{C}$ )-苯(1:1, V/V) 20 ml 使其溶解, 加 0.4 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液 10 ml, 摇匀, 于 45  $^\circ\text{C}$  恒温水浴 1 h, 停止加热, 加纯净水 20 ml, 振荡, 待分层清晰后分取上清液, 无水硫酸钠脱水, 过滤, 滤液作为供试品。采用 GC-MS 法从特色瑶药植物尖尾枫分离出 39 个组分, 并鉴定确认了其中的 29 个成分, 确认的 29 个成分主要为脂肪酸类化合物。

#### 2.3 0.5 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液或 NaOH-MeOH 溶液

刁全平等<sup>[14]</sup>用 12 ml 正己烷将脂肪油溶解, 加入 3 ml 浓度为 0.5 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液在 70  $^\circ\text{C}$  水浴中回流 20 min, 冷却后加入 15 ml 蒸馏水, 超声振荡 5 min, 然后以 3 000 r/min 离心 10 min, 取上层正己烷溶液用无水硫酸钠干燥后, GC-MS 法分析。从紫海胆黄中共鉴定出 14 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 6 种, 不饱和脂肪酸 8 种。

李铁纯等<sup>[15]</sup>分别用 Bligh-Dyer 法和 Soxhlet 提取法提取林蛙籽中的脂肪油, 各自加入 8.0 ml 正己烷, 再加入 4.0 ml 0.5 mol/L 的 NaOH-MeOH 溶液, 置水浴上 70  $^\circ\text{C}$  回流 20 min, 取出冷却移至刻度试管中, 再加水 10 ml, 超声提取、离心, 取上层清液, 进行 GC-MC 分析, 发现两种方法提取的林蛙籽脂肪油中不饱和脂肪酸含量均较高。

#### 2.4 0.8 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液

孙忠迪等<sup>[16]</sup>称取菜菔子脂肪油约 0.1 g, 置于 10 ml 量瓶中, 加入 1 ml 乙醚、0.5 ml 正己烷溶解, 再加入 1 ml 甲醇及 1 ml 0.8 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液, 振荡 5 min, 40  $^\circ\text{C}$  水浴 30 min。移至分液漏斗内, 用正己烷洗涤 2 次, 每次 3 ml, 己烷层加适量无水硫酸钠脱水, 加正己烷定容至 10 ml, 过 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜作为供试品溶液, 用 GC-MS 法分析脂肪酸组分, 生、炒品脂肪油中均检出了芥酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、11-二十碳烯酸、棕榈酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸。

#### 2.5 2 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液

许玉兰等<sup>[17]</sup>分别取滇南风吹楠、风吹楠和琴叶风吹楠 3 种风吹楠属植物的 20 mg 油样, 置于 10 ml 具塞并有刻度的玻璃离心管中, 加入 2 ml 正己烷浸泡约 20 min, 再加入 0.3 ml 2 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液, 充分振荡 2 min, 离心 1 min 分层, 取上层溶液直接进样进行 GC-MS 法分析, 结果从滇南风吹楠和风吹楠分离鉴定出 16 种化合物, 琴叶风吹楠分离鉴定出 17 种化合物, 均以饱和脂肪酸为主。

#### 2.6 4 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液

黄杰<sup>[18]</sup>吸取少许脂肪或棕榈油样品, 加入 5 ml 正己烷, 摇动溶解后, 再加入 5 ml 4 mol/L 的 KOH-MeOH 溶液, 于 40  $^\circ\text{C}$  反复振荡, 反应 1 h, 加水后静置分层, 取上清液(正己烷相)直接以 GC 法分析, 建立了检测食品中反式脂肪酸含量的方法。

就碱处理法而言, KOH 采用的浓度分别有 0.2、0.4、0.5、0.8、2.0、4.0 mol/L, 甲酯化温度分别有 40、45、70  $^\circ\text{C}$ , 甲酯化时间分别有 20、30、60 min。前文中样品主要包含甘油三酯型的脂肪酸。根据经验, 甘油三酯型脂肪酸采用碱催化法, 甲酯化程度高、效果较好; 但碱催化甲酯化法不太适合游离型脂肪酸甲酯的制备。

## 3 $\text{BF}_3$ 法

$\text{BF}_3$  法一般采用  $\text{BF}_3$ -MeOH 溶液进行甲酯化, 现以不同浓度的  $\text{BF}_3$  分类进行介绍。

### 3.1 12.5%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液

谢春英等<sup>[19]</sup>将薏苡仁油样品适量(约30 mg),置于10 ml刻度试管中,加入0.5 mol/L的KOH-MeOH溶液1 ml,置于60 °C水浴上皂化10 min(使反应液均匀),冷却后加入12.5%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液1 ml,于恒温水浴上酯化2 min,冷却,加入2 ml无水乙醚,振荡,使脂肪甲酯转入无水乙醚层,再向管中加入一定量饱和的氯化钠溶液至刻度。取上清液行GC-MS分析,发现薏苡仁的含油量较高,所含不饱和脂肪酸达85.62%,其中亚油酸占总脂肪酸的37.48%,油酸占总脂肪酸的46.97%。

### 3.2 14%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液

谭晓峰等<sup>[20]</sup>准确称取中药五谷虫油样品0.3 g,加入0.5 mol/L的KOH-MeOH溶液4 ml,65 °C水浴约30 min(至油珠完全消失),冷却后加14%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液2 ml,水浴煮沸10 min,冷却,加异辛烷10 ml、饱和氯化钠溶液20 ml,取上清液于试管中,加无水硫酸钠,离心分层,取上清液保存备用,进行GC-MS分析。饱和脂肪酸含量为44.78%,其中主要为棕榈酸、肉豆蔻酸、硬脂酸;不饱和脂肪酸含量为55.22%,其中主要为油酸、棕榈油酸、亚油酸。

### 3.3 15%的BF<sub>3</sub>-乙醚(Et<sub>2</sub>O)溶液

曹阳等<sup>[21]</sup>将林蛙卵油加入0.5 mol/L的KOH-MeOH溶液5 ml,75 °C回流皂化30 min,至油珠全部消失,再加入15%的BF<sub>3</sub>-Et<sub>2</sub>O溶液2 ml,酯化30 min,放冷,精密加入正己烷5 ml反应5 min,取出,置于分液漏斗中,加饱和氯化钠溶液5 ml,振荡,静置。精密量取上层溶液2 ml,置于10 ml量瓶中,精密加入内标溶液1 ml,用正己烷稀释至刻度,摇匀,备用,采用毛细管GC法测定了林蛙卵中肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸5种脂肪酸含量。

### 3.4 30%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液

张辰露等<sup>[22]</sup>准确称取采用乙醚索氏抽提法提取的中药材索骨丹中的脂肪油0.500 g,加体积比2%的KOH-MeOH溶液4 ml,溶液振荡摇匀,60 °C恒温水浴30 min,取出冷却至室温。加入30%的BF<sub>3</sub>-MeOH溶液4 ml,于60 °C恒温水浴3 min,冷却后,加蒸馏水6 ml,加4 ml正己烷,充分振荡,取上清液行GC-MS分析。秦岭南坡产索骨丹药材中含有24种脂肪酸成分,主要为亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸、芥酸、油酸和二十四烯酸,不饱和脂肪酸总含量高达70.314%。

就BF<sub>3</sub>处理方法而言,BF<sub>3</sub>采用的浓度分别有12.5%、14%、15%、30%,甲酯化温度分别有60、75、100 °C,甲酯化时间分别有2、10、30 min。但BF<sub>3</sub>-MeOH溶液衍生化很难将脂类完全提取,同时甲酯化后的脂肪酸甲酯的相对峰面积明显减小,会对血浆中多不饱和脂肪酸含量较少的C18-3、C20-5和C22-6的测定带来误差<sup>[6]</sup>,且步骤烦琐、操作复杂、加标回收率较低、溶液毒性较强、易于挥发、在加热时还易变成毒性更大的氟化氢等有害物质,其操作和劳动保护要求均较高,因此不推荐作为脂肪酸酯化的衍生化试剂。

## 4 结语

综合文献分析,要想及时得到相对全面、稳定、准确的脂肪酸信息,提取脂肪酸类物质并进行准确检测是最关键的步骤,寻找简单快速的对脂肪酸的定性、定量方法非常重要。酸处理法、碱处理法和BF<sub>3</sub>法3种常用的甲酯化方法各有其优缺点,且适用范围和测定的结果各不相同。不同的甲酯化方法适用对象有所不同:一般游离型和甘油三酯型脂肪酸可采用酸催化法,甘油三酯型脂肪酸可采用碱催化法;BF<sub>3</sub>法与前2种方法相比步骤较烦琐、操作较复杂。脂肪酸甲酯化在脂肪酸

的定性、定量分析研究中起着举足轻重的作用,广大医药研究者应有所认识,以期让其更好地服务于脂肪酸的相关检测研究。

## 参考文献

- [1] 高瑞萍,彭见林,刘辉,等.脂肪酸分析方法研究进展[J].食品工业科技,2011,32(8):473.
- [2] 余珠花.气相色谱法中油脂脂肪酸衍生化方法及其选择[J].粮食加工,2004,29(6):64.
- [3] 欧阳玉祝,张辞海,魏燕,等.气相色谱-质谱联用分析倍花中化学成分[J].分析科学学报,2013,29(3):431.
- [4] 李海静,吴胜明,方均建,等.气质联用法测定人血清游离脂肪酸[J].质谱学报,2009,30(2):83.
- [5] 林晖,彭素媚,陈振皋.冠心病患者血浆游离脂肪酸组分分析[J].国际检验医学杂志,2013,34(1):23.
- [6] 徐爱仁,胡晓炜,马卫成,等.羚羊角及其混伪品脂类成分GC/MSD分析及聚类分析[J].中华中医药学刊,2011,29(11):245.
- [7] 韩莉姐.基于GC/MS技术的脂肪酸代谢轮廓谱[D].上海:华东理工大学,2009:23.
- [8] 马振菁,王滔,陈发同,等.气相色谱法检测健康人血清游离脂肪酸[J].福建医科大学学报,2006,40(2):179.
- [9] 徐小作,李行方,钟伟燕,等.人血清中7种多不饱和脂肪酸测定方法研究[J].黑龙江医学,2010,34(1):30.
- [10] 梁添,孙振欣,孙远明,等.大学生血浆多不饱和脂肪酸含量及其与疲劳的关系[J].第二军医大学学报,2012,33(10):199.
- [11] 王婧,冯焕鹏,刘吴娟,等.黑曲霉发酵液中脂肪酸化学成分的研究[J].食品工程,2012,2(2):31.
- [12] 王晟昱,强毅,赵静雯,等.白鲟皮中脂肪酸化学成分的分析[J].西安文理学院学报,2013,16(2):11.
- [13] 高微,刘布鸣,冯军,等.尖尾枫脂溶性成分分析[J].广西科学,2012,19(2):147.
- [14] 刁全平,侯冬岩,回瑞华,等.紫海胆黄脂脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J].特产研究,2012,34(3):49.
- [15] 李铁纯,侯冬岩,刁全平,等.两种方法提取林蛙籽脂肪酸的气-质联用分析[J].食品科学,2012,33(18):195.
- [16] 孙忠迪,王群,李书云,等.炮制对菜菔子中脂肪油的含量影响及GC-MS分析[J].中国实验方剂学杂志,2013,19(1):67.
- [17] 许玉兰,蔡年辉,吴裕,等.几种风吹楠属植物脂肪酸成分分析[J].中国油脂,2012,37(5):80.
- [18] 黄杰.甲酯化-气相色谱法检测食品中反式脂肪酸[J].中国卫生检验杂志,2005,15(9):1054.
- [19] 谢春英,林乐维.超临界CO<sub>2</sub>流体萃取薏苡仁油的GC-MS分析[J].中药材,2011,34(8):1234.
- [20] 谭晓峰,郭未艳,朱龙平,等.中药五谷虫油超临界CO<sub>2</sub>萃取及其脂肪酸组成分析[J].中国油脂,2012,37(10):67.
- [21] 曹阳,张若文,陈晓辉,等.GC法同时测定林蛙卵中5种脂肪酸含量[J].药物分析杂志,2011,31(1):6.
- [22] 张辰露,吴三桥,秦文娟,等.GC-MS法分析中药索骨丹中脂肪酸成分[J].中国实验方剂学杂志,2012,18(3):100.

(收稿日期:2013-12-02 修回日期:2014-01-03)