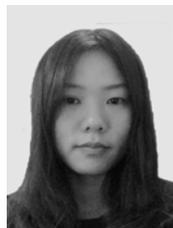


doi:10.3969/j.issn.0253-2417.2013.02.020

桉叶不饱和脂肪酸的提取研究及成分分析



YANG Qiao-li

杨巧丽^{1,2}, 谢耀坚¹, 谭晓凤², 张婧¹, 黄赤夫³, 吴志华^{1*}

(1. 国家林业局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 2. 中南林业科技大学经济林育种与栽培国家林业局重点实验室, 湖南 长沙 410004; 3. 肯塔基大学医学中心口腔学院, 肯塔基州 莱克星顿 40503)

摘要: 用不同的溶剂、物料粒度、料液比、浸泡时间及萃取时间对桉叶不饱和脂肪酸进行提取的正交试验, 筛选出最优的提取方案并对提取物甲酯化处理后通过 GC-MS 分析其成分。在进行了 $L_{16}(4^5)$ 正交试验之后, 研究得到当溶剂为丙酮、物料粒度为 0.075~0.15 mm、料液比为 1:15 (g:mL)、浸泡时间为 8 h 及超声波处理 1.5 h 时提取得率为 14.9%, GC-MS 分析, 鉴定出 6 个化合物, 其中有 5 个脂肪酸类化合物, 如不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸, 10 g 桉叶中含有 36.01 mg 不饱和脂肪酸。桉叶中含有重要的不饱和脂肪酸, 具有开发利用价值。

关键词: 桉叶; 不饱和脂肪酸; 正交试验; 提取; 成分分析

中图分类号: TQ35; Q946.81

文献标识码: A

文章编号: 0253-2417(2013)02-0113-06

Extraction of Unsaturated Fatty Acids from Eucalyptus Leaves and its Components

YANG Qiao-li^{1,2}, XIE Yao-jian¹, TAN Xiao-feng², ZHANG Jing¹, HUANG Chi-fu³, WU Zhi-hua¹

(1. Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, China; 2. The Key Lab of Non-wood Forest Products of State Forestry Administration, Central University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 3. College of Dentistry, Medicine Center, University of Kentucky, Lexington 40503, USA)

Abstract: The optimal extraction process of unsaturated fatty acids from Eucalyptus leaves was obtained by orthogonal test based on factors such as different solvents, material particle size, solid-liquid ratio, immersion time and extraction time. The components of extracts were analysed by GC-MS after methylation. The results from 16 tests of 5 factors and 4 levels showed that the extraction yield was 14.9% on the optimal extraction conditions, i. e., acetone as solvent, material particle size 0.075–0.150 mm, solid-liquid ratio 1:15 (g:mL), immersion time 8 h and extraction time 1.5 h. Six compounds including five fatty acids, for example unsaturated fatty acids, linoleic acid and linolenic acid, were indentified. There was 36.01 mg unsaturated fatty acids in 10 g dried Eucalyptus leaves. Eucalyptus leaves have potential values to develop because of unsaturated fatty acids.

Key words: Eucalyptus leaves; unsaturated fatty acid; orthogonal test; extraction; composition analysis

桉树为桃金娘科桉属树种的统称, 是全球三大著名速生造林树种(桉、松、杨)之一, 同时也迅速成为我国华南地区最主要的纸浆用材林树种之一^[1-3]。桉树由于其具有速生丰产、生物量大、适应性强、用途广泛、易管理等优点广受欢迎, 是我国重要纸浆材、用材林树种, 在热带和亚热带地区广泛栽植^[4-5]。同时, 桉树还是重要的经济林树种、能源树种^[6], 其次生代谢产物的研究及综合利用近年来得到了迅速发展^[7], 丰富的桉树资源有力地促进了桉树及其次生代谢产物综合利用的研究, 为将这一资源优势转变为经济优势提供了良好的条件。多不饱和脂肪酸(PUFAs)是人体必需的营养物质, 具有重要的生理功能^[8], 能够促进身体发育和智力增长^[9-10]、调节血脂、降低血中胆固醇和甘油三酯、改善血

收稿日期: 2012-03-28

基金项目: 广东省自然科学基金项目(9145624536-4000003); 湛江市财政资金科技专项竞争性分配项目(20102030244); 林业重大公益性行业科研专项(201104003)

作者简介: 杨巧丽(1987-), 女, 四川乐山人, 硕士生, 主要从事经济林栽培与育种; **E-mail:** yql168168@sina.cn

* 通讯作者: 吴志华(1974-), 男, 高级工程师, 主要从事植物生理生化研究; **E-mail:** wzhua2889@163.com

液微循环、提高免疫力,以及抗癌、抗肿瘤、预防心血管疾病等^[11];对风湿性关节炎、胃炎等的恢复保健也有功效^[12];在延缓衰老、减肥、美容等方面也有重要的生理作用^[13]。亚油酸和 α -亚麻酸是两种重要的多不饱和脂肪酸。桉树叶片中含有丰富的脂肪酸,脂肪酸组分主要有棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸^[14]。目前对于桉叶油的研究多是精油挥发性成分的提取研究及成分分析,而对桉叶不饱和脂肪酸的提取及相关成分的研究还较少。超声波辅助提取法因能避免高温、高压对植物有效成分的破坏,具有快速简便、价廉、高效等优点^[15-16],适合天然活性成分的提取。本研究选择溶剂、物料粒度、料液比、浸泡时间及萃取时间在相同的超声波条件下对桉叶脂肪酸进行提取正交试验,以期获得脂肪酸提取的最优方法,为桉叶不饱和脂肪酸的制备及开发利用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

2011年7月下旬在广东湛江市南方种苗基地桉树试验林,采集3年生WC₃无性系(*E. urophylla* × *E. camaldulensis*)健康植株树冠中部叶片,带回实验室烘干并粉碎后备用。

1.2 试剂与仪器

石油醚(沸点60~90℃)、正己烷、无水乙醇、丙酮、甲醇、浓硫酸,均为分析纯。标准品:棕榈酸甲酯、亚油酸甲酯、亚麻酸甲酯及硬脂酸甲酯,Sigma-Aldrich上海贸易有限公司。

索氏提取器、JJ-2型组织破碎机、KQ5200DE超声波、N-1100S-W旋转蒸发仪、Agilent 7890GC-5975MS气相色谱-质谱联用仪。

1.3 试验方法

称取10g粉碎后的桉树叶置于三角瓶中,加入一定量的有机溶剂,浸泡一定的时间,在超声波条件下为80kHz,温度30℃条件下超声波萃取一定的时间,将萃取后的溶液过滤,滤液经旋转蒸发仪减压蒸馏回收溶剂,得到油状粗脂,称质量计算得率(得率=提取桉叶油的质量/称取的桉叶质量×100%)。

1.4 桉叶油脂肪酸甲酯化

取提取的粗脂0.2g置于具塞试管中,加入1%硫酸甲醇溶液15mL,充分振荡,40~50℃水浴1h,静置后加入15mL正己烷,振荡均匀,静置30min,取上清液放入离心管中离心,离心后取上清液部分作为分析试样。

1.5 GC-MS分析桉叶油的化学成分

1.5.1 分析条件 色谱条件:HP-5MS石英弹性毛细管柱(30m×0.25mm×0.25 μ m);溶剂为正己烷,载气为高纯氦气(99.99%);程序升温;初温80℃,保持1.1min,以17℃/min升至240℃,保持0.7min,再以1℃/min升至253℃,保持4min;进样口温度253℃;流速1mL/min,进样量1.0 μ L,分流比20:1。质谱条件:EI电离源,电子能量70eV,离子源温度230℃,四级杆温度150℃,EM电压1024V,质量扫描范围40~600u。

1.5.2 定性分析 根据GC-MS数据处理系统利用NIST08谱图库进行自动检索,并结合人工图谱解析,对提取物成分进行定性分析。

1.5.3 定量分析 分别称取一定量的棕榈酸甲酯,亚油酸甲酯,亚麻酸甲酯及硬脂酸甲酯标准品分别配制浓度梯度为:0.05、0.10、0.15、0.20、0.25g/L的棕榈酸甲酯正己烷溶液;0.04、0.08、0.12、0.16、0.20g/L亚油酸甲酯正己烷溶液;0.01、0.02、0.03、0.04、0.05g/L亚麻酸甲酯正己烷溶液;0.01、0.02、0.03、0.04、0.05g/L硬脂酸甲酯正己烷溶液。每个样重复测量3次,计算其平均值,获得峰面积与各标准品质量浓度之间的回归方程。

1.6 试验设计与数据统计

本试验为1个桉叶样品选取溶剂(A)、物料粒度(B)、料液比(C)、浸泡时间(D)及萃取时间(E)进行5因素4水平的正交 $L_{16}(4^5)$ 提取优化,具体因子水平以及其编码如表1。经脂肪酸甲酯化后,以

GC-MS对其成分分析;桉叶油的提取为 3 次重复测定的平均值。以提取得率(Y_1)、脂肪酸种类数量(Y_2)、谱图质量(Y_3) (根据色谱图峰的分度、分布等分成 3 级,1 级表示色谱图谱差,峰分离不清晰、不均匀,拖尾、甚至出现基线漂移,2 级表示谱图分离效果一般,3 级表示谱图质量好),棕榈酸含量(Y_4)、亚油酸含量(Y_5)、亚麻酸含量(Y_6)、硬脂酸含量(Y_7) 和不饱和脂肪酸的含量(Y_8) (以 10 g 桉叶干质量计)为评价指标,以不饱和脂肪酸含量(Y_8)为主要依据,数据分析采用 Design-Expert 7.0 软件进行建模分析。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Selected factors and levels

水平 level	A 提取溶剂 solvent	B 物料粒度/mm size	C 料液比(g:mL) solid-liquid ratio	D 浸泡时间/h immersion time	E 萃取时间/h extraction time	编码 code ([1],[2],[3])
1	石油醚 pentroleum	0.075 ~ 0.150	1:6	6	0.5	(1,0,0)
2	正己烷 N-hexone	0.15 ~ 0.50	1:9	8	1.0	(0,1,0)
3	乙醇 EtOH	0.5 ~ 1.0	1:12	12	1.5	(0,0,1)
4	丙酮 acetone	1.0 ~ 2.0	1:15	16	2.0	(-1, -1, -1)

2 结果分析

2.1 超声波辅助提取桉叶油的正交试验

定量分析得到峰面积与各标准品质量浓度之间的回归方程分别为: $y_{\text{棕榈酸}} = 3.7 \times 10^8 x - 5.5 \times 10^6$ ($R^2 = 0.9999$);
 $y_{\text{亚油酸}} = 1.5 \times 10^8 x - 3.1 \times 10^6$ ($R^2 = 0.9999$); $y_{\text{亚麻酸}} = 2.3 \times 10^9 x + 1.2 \times 10^6$ ($R^2 = 0.9999$); $y_{\text{硬脂酸}} = 3.6 \times 10^8 x + 1.5 \times 10^5$ ($R^2 = 0.9999$)。标准品经 GC-MS 分析后得到总离子图如图 1。

试验结果见表 2,分析结果见表 3。由表 2 中可知,正交试验的 16 个结果中脂肪酸粗脂提取得率(Y_1)最大为处理号 13,提取得率为 35.11%,最小值仅为 1.22% (处理号 6)。脂肪酸种类(Y_2)最大值 5,最小值 2。离子图谱图质量(Y_3)最大值 3,分别为处理号 4、5、7、8、13,处理号 2、10、11 谱图质量最差。在 10 g 干叶样中,处理号 13 的棕榈酸质量(Y_4)、亚油酸质量(Y_5)、亚麻酸质量(Y_6)、硬脂酸质量(Y_7)均比其他处理要大,分别为 184.91、32.39、4.27、4.14 mg,因此在脂肪酸中,其不饱和脂肪酸质量(Y_8) (亚油酸和亚麻酸)最大,达到 36.66 mg;其他处理中,发现 GC-MS 数据处理系统对处理号 11 和 15,不能检测到亚油酸,同样硬脂酸在处理号 6 和 9~12,14~16 中,不能检测到,因此各处理间差异较大。

分别以 Design-Expert 进行正交试验建模分析,分别得到 $Y_1 \sim Y_8$ 回归模型方程和及其系数(表 3)。从表 3 可知,对于脂肪酸粗脂提取得率(Y_1)来说,因子 A 中回归系数绝对值最大为 $A_{[3]}$ (6.98),因子 B 中回归系数绝对值最大为 $B_{[1]}$ (6.44),因子 C 中绝对值最大值为 $C_{[1]}$ (-3.46),因子 D 中绝对值最大值为 $D_{[2]}$ (3.66),因子 E 中绝对值最大值为 $E_{[3]}$ (5.27),因此影响桉叶油提取得率的因素从大到小依次为: $A > B > E > D > C$,即提取溶剂 A 对桉叶油中脂肪酸粗脂提取得率影响最大,其次是物料粒度、萃取时间、浸泡时间、料液比;对于脂肪酸种类数量(Y_2)来说,因子 A、B、C、D 和 E 中回归系数绝对值最大分别为 $A_{[1]}$ 、 $B_{[1]}$ 、 $C_{[1]}$ 、 $D_{[1]} = D_{[3]}$ 和 $E_{[1]}$,为 1.19、0.44、0.31、0.19 及 0.31, $C_{[1]}$ 和 $E_{[1]}$ 绝对值相同,而 $E_{[2]}$ 绝对值 0.19 大于 $C_{[2]}$ 绝对值 0.06,因此影响脂肪酸种类数量的因素从大到小依次为: $A > B > E > C > D$,即提取溶剂 A 对桉叶中脂肪酸种类数量影响最大,其次是物料粒度、萃取时间、料液比、浸泡时间;对于谱图质量(Y_3)来说,因子 A、B、C、D 及 E 回归系数绝对值最大值分别为 $A_{[2]} = A_{[3]}$ 、 $B_{[2]}$ 、 $C_{[1]}$ 、 $D_{[1]} = D_{[2]} = D_{[3]}$ 及 $E_{[1]} = E_{[2]} = E_{[3]}$,为 0.63、0.63、0.38、0.13、0.13,尽管 $A_{[2]}$ 和 $B_{[2]}$ 回归系数绝对

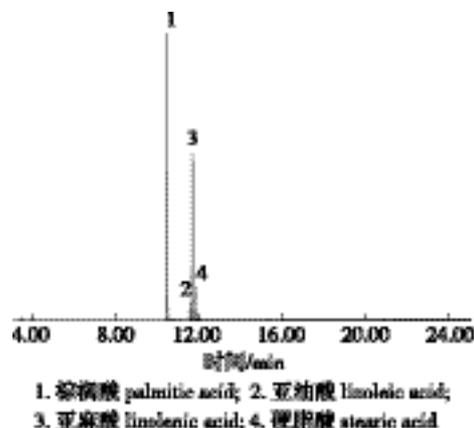


图 1 标准品总离子流色谱图
Fig.1 TIC of standard sample

表2 正交试验结果¹⁾Table 2 The result of $L_{16}(4^5)$ orthogonal test

处理号 No.	A	B	C	D	E	$Y_1/\%$	$Y_2/\text{种}$ Y_2/kind	$Y_3/\text{级}$ Y_3/level	Y_4/mg	Y_5/mg	Y_6/mg	Y_7/mg	Y_8/mg
1	1	1	1	1	1	2.39	5	2	0.86	3.00	0.37	0.50	3.38
2	1	2	2	2	2	1.92	5	1	0.55	1.97	0.23	0.28	2.20
3	1	3	3	3	3	1.90	5	2	0.54	2.13	0.20	1.34	2.33
4	1	4	4	4	4	2.91	5	3	1.27	3.75	0.40	0.52	4.15
5	2	1	2	3	4	3.16	5	3	1.50	11.07	0.87	1.12	11.94
6	2	2	1	4	3	1.22	4	2	0.22	1.03	0.07	0.00	1.10
7	2	3	4	1	2	1.83	5	3	0.50	2.87	0.36	0.42	3.23
8	2	4	3	2	1	1.30	4	3	0.25	1.49	0.13	0.14	1.61
9	3	1	3	4	2	20.11	3	2	60.66	13.70	0.90	0.00	14.60
10	3	2	4	3	1	13.66	3	1	27.99	6.91	0.47	0.00	7.38
11	3	3	1	2	4	11.32	2	1	19.22	0.00	0.20	0.00	0.20
12	3	4	3	1	3	17.83	3	2	47.69	9.49	0.72	0.00	10.21
13	4	1	4	2	3	35.11	4	3	184.91	32.39	4.27	4.14	36.66
14	4	2	3	1	4	11.39	3	2	19.46	5.75	0.41	0.00	6.16
15	4	3	2	4	1	7.69	2	2	8.87	0.00	0.15	0.00	0.15
16	4	4	1	3	2	6.24	3	2	5.84	3.10	0.20	0.00	3.30

1) Y_1 提取得率 extraction yield, Y_2 脂肪酸种类数量 fatty acid kind, Y_3 谱图质量 chromatogram class, Y_4 棕榈酸含量 hexadecanoic acid, Y_5 亚油酸含量 linoleic acid, Y_6 亚麻酸含量 linolenic acid, Y_7 硬脂酸含量 octadecanoic acid, Y_8 不饱和脂肪酸含量 unsaturated fatty acid, 下表同 same in the following table

表3 各指标的回归模型及其回归系数

Table 3 The regression mode of each indexes and coefficients

模型 model	$Y_1/\%$	$Y_2/\text{种}$ Y_2/kind	$Y_3/\text{级}$ Y_3/level	Y_4/mg	Y_5/mg	Y_6/mg	Y_7/mg	Y_8/mg
常数 Intercept	8.75	3.81	2.13	23.77	6.17	0.62	0.53	6.79
$A_{[1]}$	-6.47	1.19	-0.13	-22.97	-3.45	-0.32	0.13	-3.77
$A_{[2]}$	-6.87	0.69	0.63	-23.15	-2.05	-0.27	-0.11	-2.32
$A_{[3]}$	6.98	-1.06	-0.63	15.12	1.36	-0.05	-0.53	1.31
$B_{[1]}$	6.44	0.44	0.38	38.21	8.87	0.98	0.91	9.86
$B_{[2]}$	-1.70	-0.06	-0.63	-11.71	-2.25	-0.33	-0.46	-2.58
$B_{[3]}$	-3.06	-0.31	-0.13	-16.49	-4.91	-0.39	-0.09	-5.31
$C_{[1]}$	-3.46	-0.31	-0.38	-17.24	-4.38	-0.41	-0.40	-4.79
$C_{[2]}$	-1.10	-0.06	-0.13	-9.12	-0.53	-0.13	-0.18	-0.66
$C_{[3]}$	-0.07	-0.06	0.13	-3.54	-0.40	-0.21	-0.16	-0.61
$D_{[1]}$	-0.39	0.19	0.13	-6.64	-0.89	-0.15	-0.30	-1.04
$D_{[2]}$	3.66	-0.06	-0.13	27.46	2.80	0.58	0.61	3.38
$D_{[3]}$	-2.51	0.19	-0.13	-14.80	-0.36	-0.19	0.09	-0.55
$E_{[1]}$	-2.49	-0.31	-0.13	-14.28	-3.32	-0.34	-0.37	-3.66
$E_{[2]}$	-1.22	0.19	-0.13	-6.88	-0.75	-0.20	-0.35	-0.95
$E_{[3]}$	5.27	0.19	0.13	34.57	5.09	0.69	0.84	5.79

值最大值相等,但 $A_{[3]}$ 比 $B_{[1]}$ 大,因此影响谱图质量的因素从大到小依次为: $A > B > C > D = E$, 即提取溶剂 A 对谱图质量影响最大,其次是物料粒度、料液比、浸泡时间 = 萃取时间; 对于棕榈酸含量 (Y_4) 来说,因子 A、B、C、D 及 E 回归系数绝对值最大值分别为 $A_{[2]}$ 、 $B_{[1]}$ 、 $C_{[1]}$ 、 $D_{[2]}$ 、 $E_{[3]}$, 为 23.15、38.21、17.24、27.46、34.57, 因此影响棕榈酸含量的因素从大到小依次为 $B > E > D > A > C$, 即物料粒度 B 对棕榈酸含量影响最大,其次是萃取时间、浸泡时间、提取溶剂、料液比; 对于亚油酸含量 (Y_5) 来说,因子 A、B、C、D 及 E 回归系数绝对值最大值分别为 $A_{[1]}$ 、 $B_{[1]}$ 、 $C_{[1]}$ 、 $D_{[2]}$ 、 $E_{[3]}$, 为 3.45、8.87、4.38、2.80、5.09, 因此影响亚油酸含量的因素从大到小依次为 $B > E > C > A > D$, 物料粒度 B 对亚油酸含量影响最大; 对

于亚麻酸含量(Y_6)来说,影响亚麻酸含量的因素从大到小依次为 $B > E > D > C > A$,即物料粒度 B 对亚麻酸含量影响最大,其次是萃取时间、浸泡时间、料液比、提取溶剂;对于硬脂酸含量(Y_7)来说,影响硬脂酸含量的因素从大到小依次为 $B > E > D > A > C$,即物料粒度对硬脂酸含量影响最大,其次为萃取时间、浸泡时间、提取溶剂、料液比;对于不饱和脂肪酸含量(Y_8)来说,影响不饱和脂肪酸含量的因素从大到小依次为 $B > E > C > A > D$,即物料粒度 B 对不饱和脂肪酸含量影响最大,其次是萃取时间、料液比、提取溶剂、浸泡时间。综合来看,提取溶剂(A)是影响提取得率(Y_1)脂肪酸种类数量(Y_2)谱图质量(Y_3)的最主要因子;物料粒度(B)是影响脂肪酸成分含量的最重要因子。

综合以上所有因素考虑及 Design-Expert 软件分析,以 Y_8 最大为目标,试验最终得到 10 g 桉树叶最佳提取条件组合为 $A_4B_1C_4D_2E_3$,即溶剂为丙酮、物料粒度为 0.075 ~ 0.150 mm、料液比为 1:15 (g:mL)、浸泡时间为 8 h、萃取时间为 1.5 h,得到的桉叶油提取得率为 35.11%、脂肪酸种类数量 4 个、图谱质量 3 级、棕榈酸 184.91 mg、亚油酸 32.39 mg、亚麻酸 4.27 mg、硬脂酸 4.14 mg 和不饱和脂肪酸 36.66 mg。故对此方法进行了 3 次验证实验(结果如表 4)。因实验材料放置较久及实验中操作等误差,验证实验所得到的提取得率及棕榈酸含量较正交试验的结果偏低,而不饱和脂肪酸含量较正交试验差异不大。

表 4 验证实验结果

Table 4 results of verification tests

编号 No.	$Y_1/\%$	$Y_2/\text{种}$ Y_2/kind	$Y_3/\text{级}$ Y_3/level	Y_4/mg	Y_5/mg	Y_6/mg	Y_7/mg	Y_8/mg
1	15.44	5	3	24.13	25.21	2.75	3.27	27.96
2	13.24	4	3	34.46	32.62	3.65	4.6	36.26
3	16.12	5	3	34.20	38.94	4.86	5.97	43.81
平均 average	14.9	4.7	3	30.93	32.26	3.75	4.61	36.01

2.2 脂肪酸成分的分析

对上述验证实验中的桉叶所含的脂肪酸进行成分分析,最佳提取条件 $A_4B_1C_4D_2E_3$ 条件下提取得到 GC-MS 色谱图见图 2,根据 GC-MS 数据处理系统利用 NIST08 谱图库进行自动检索中鉴定出 6 个化合物,分别为桉油精、十四酸、棕榈酸、亚油酸、亚麻酸与硬脂酸,通过标准物对照得到 10g 干桉叶油中棕榈酸、亚油酸、亚麻酸及硬脂酸的质量分别为 30.93、32.26、3.75 及 4.61 mg。

3 结论

3.1 采用正交试验优化超声波辅助提取 10 g 桉叶中的桉叶油,超声波功率为 80 kHz,30 °C 时,提取溶剂、物料粒度、萃取时间、料液比、浸泡时间对桉叶中脂肪酸成分种类和提取各成分含量存在着不同差异,其中提取溶剂是影响提取得率、脂肪酸种类数量、谱图质量等级的最主要因子,而物料粒度是影响脂肪酸成分含量的最重要因子。而获得不饱和脂肪酸含量最大化的最佳提取条件组合为 $A_4B_1C_4D_2E_3$,即以丙酮为提取溶剂,物料粒度为 0.075 ~ 0.150 mm,料液比 1:15 (g:mL),浸泡时间为 8 h,萃取时间为 1.5 h,此时不饱和脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)质量为 36.01 mg。

3.2 对最佳提取条件实验验证分析发现提取物中含有 5 种脂肪酸,分别为十四烷酸、棕榈酸、亚油酸、亚麻酸、硬脂酸,其中每 10 g 干叶中,棕榈酸、亚油酸、亚麻酸及硬脂酸的质量为:30.93、32.26、3.75 及 4.61 mg,不饱和脂肪酸质量为 36.01 mg。

3.3 桉叶油中含有重要的不饱和脂肪酸和其他脂肪酸,可为桉叶油的开发利用提供重要依据。

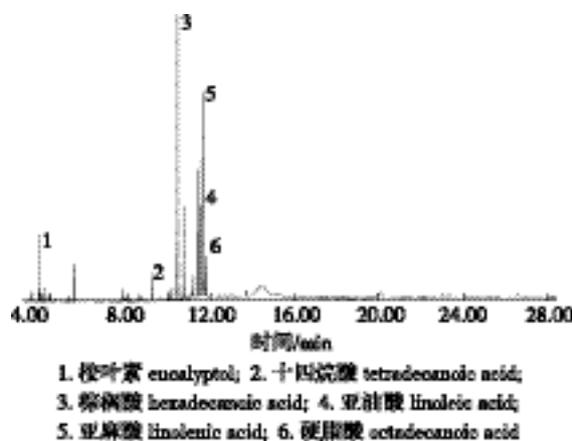


图 2 桉叶提取物总离子流色谱图

Fig.2 TIC of extract from dried Eucalyptus leaves

参考文献:

- [1] PING L, XIE Z Q. Effects of introducing Eucalyptus on indigenous biodiversity[J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 20(7): 1765-1774.
- [2] XU D P, ZHANG N N. Study development of ecological effect of Eucalyptus plantation[J]. Guangxi Forestry Science, 2006, 35(4): 179-187.
- [3] XIA T Y, DUAN C Q, ZHANG C X, et al. A study on the soil fertility in *Eucalyptus Robusta* plantation and their adjacent vegetations[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2010, 32(1): 118-123.
- [4] 叶绍明, 温远光, 张慧东. 连栽桉树人工林土壤理化性质的主分量分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 101-105.
- [5] ZHANG A P, LU F C, LIU C F, et al. Isolation and characterization of lignins from *Eucalyptus tereticornis* (12ABL) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(21): 1128-1129.
- [6] 陈少雄, 刘杰锋, 孙正军, 等. 桉树生物质能源的优势、现状和潜力[J]. 生物质化学工程, 2006(增刊): 119-128.
- [7] 王承南, 曹福祥, 黄赤夫. 桉树及其次生代谢产物的综合利用[J]. 经济林研究, 2004, 22(3): 57-59.
- [8] 王萍, 张银波, 江木兰. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 42-46.
- [9] RAPOPORT S I, RAO J S, IGARASHI M. Brain metabolism of nutritionally essential polyunsaturated fatty acids depends on both the diet and the liver[J]. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, 2007, 77(5/6): 251-261.
- [10] 张洪涛, 单雷, 毕玉平. n-6 和 n-3 多不饱和脂肪酸在人和动物体内的功能关系[J]. 山东农业科学, 2006(2): 115-120.
- [11] ERKKILA A, MELLO V D, RISERUS U, et al. Dietary fatty acids and cardiovascular disease: an epidemiological approach[J]. Progress in Lipid Research, 2008, 47(3): 172-187.
- [12] CAPLA M S, JILLING T. The role of polyunsaturated fatty acid supplementation in intestinal inflammation and neonatal necrotizing enterocolitis [J]. Lipids, 2001, 36(9): 1053-1057.
- [13] 蔡双莲, 李敏. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 生命科学研究, 2003, 7(4): 289-304.
- [14] 李志辉, 杨波, 黄丽群, 等. 桉树抗寒性研究——膜脂脂肪酸定量分析[J]. 中南林学院学报, 2006, 26(3): 28-31.
- [15] 李婷, 侯晓东, 陈文学, 等. 超声波萃取技术的研究现状及展望[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(13): 3188-3190.
- [16] 徐东翔. 植物资源化学[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2004: 13-23.

本刊信息

