

桂西北岩溶地区构树籽油成分分析及开发利用探讨

陈结丽, 刘旭辉, 潘立卫, 解文惠, 廖佳璐, 覃勇荣*

河池学院化学与生物工程学院, 广西 宜州

Email: *1595677337@qq.com

收稿日期: 2021年5月1日; 录用日期: 2021年7月6日; 发布日期: 2021年7月13日

摘要

为了进一步开发利用桂西北岩溶地区丰富的植物资源, 充分发挥其生态经济效益, 服务区域经济发展, 利用Folch法提取构树籽油, 并测定其理化性质, 使用氢氧化钾-甲醇法将构树籽油甲酯化, 利用气相色谱-质谱仪检定其脂肪酸组成来评估构树籽油开发利用价值。结果表明: 构树籽的平均出油率为26.96%, 构树籽油脂的过氧化值为0.42 g/100 g、酸价为0.90 mg/g、碘值为134.17 g/100 g, 相对密度为911.87 g/L (25°C), 其由五种脂肪酸组成, 不饱和脂肪酸只有亚油酸一种, 含量高达87.09%, 其余四种皆为饱和脂肪酸, 分别是棕榈酸、硬脂酸、花生酸、山萘酸, 含量为8.17%、4.56%、0.12%、0.06%。将构树籽油和其他食用植物油同时上机检测, 通过对比分析发现: 在所检测的10种植物油中, 构树籽油的亚油酸含量最高, 且饱和脂肪酸含量高于市场上销售的优质食用植物油(橄榄油、芝麻油、核桃油、普通山茶油), 其营养价值与精炼山茶油接近, 构树籽油具有较高的抗氧化性, 是一种极具开发潜力的天然功能性植物油。

关键词

桂西北岩溶地区, 构树籽油, 脂肪酸, 成分分析

Composition Analysis and Exploitation Discussion of Seed Oil of *Broussonetia papyrifera* in Karst Area of the Northwest Guangxi

Jieli Chen, Xuhui Liu, Liwei Pan, Wenhui Xie, Jialu Liao, Yongrong Qin*

School of Chemistry and Biological Engineering, Hechi University, Yizhou Guangxi

*通讯作者。

文章引用: 陈结丽, 刘旭辉, 潘立卫, 解文惠, 廖佳璐, 覃勇荣. 桂西北岩溶地区构树籽油成分分析及开发利用探讨[J]. 植物学研究, 2021, 10(4): 485-498. DOI: 10.12677/br.2021.104062

Abstract

In order to further develop and utilize the abundant plant resources in the karst areas of north-west Guangxi, give full play to its ecological and economic benefits, and serve the regional economic development, the Folch method is used to extract the *Broussonetia papyrifera* seed oil and determine its physical and chemical properties. The potassium hydroxide-methanol method is used to methylate *B. papyrifera* seed oil, and its fatty acid composition is verified by gas chromatography-mass spectrometer to evaluate the development and utilization value of *B. papyrifera* seed oil. The results showed that the average oil yield of *B. papyrifera* seeds was 26.96%, the peroxide value of *B. papyrifera* seed oil was 0.42 g/100 g, acid value was 0.90 mg/g, iodine value was 134.17 g/100 g, and relative density was 911.87 g/L (25°C), it is composed of five fatty acids, the only unsaturated fatty acid is linoleic acid, the content is as high as 87.09%, and the other four are saturated fatty acids, namely palmitic acid, stearic acid, arachidic acid and behenic acid. The content of acid is 8.17%, 4.56%, 0.12%, 0.06% respectively. *B. papyrifera* seed oil and other edible vegetable oils were tested on the machine at the same time. Through comparative analysis, it was found that among the 10 kinds of vegetable oils tested, *B. papyrifera* seed oil had the highest content of linoleic acid, and the content of unsaturated fatty acids was higher than that of those high-quality edible vegetable oil (olive oil, sesame oil, walnut oil, ordinary camellia oil) sold in the market, its nutritional value is similar to refined camellia oil, *B. papyrifera* seed oil has high antioxidant properties, it is a natural functional vegetable oil with great development potential.

Keywords

Karst Area in Northwest Guangxi, *B. papyrifera* Seed Oil, Fatty Acid, Component Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

功能性植物油是一类能满足人体的营养需求、还具备一定的保健、药用功能的特殊植物油脂[1]。随着社会经济发展水平的提高和人们对高质量生活的追求,全球消费者对功能性植物油脂的需求日益增加[2]。市场上常见的功能性植物油有紫苏油、橄榄油、葡萄籽油、山茶籽油、棕榈油、沙棘油、月见草油、香榧籽油、米糠油、百香果籽油、番石榴籽油等天然植物油脂[3]。近几年来,功能性植物油脂市场不断扩大,新型功能性植物油脂的研究与开发应用成为了未来研究重点[4]。

构树(*Broussonetia papyrifera*)是一种集绿化、环保、药用、饲用、食用等价值为一体的树种,具有生长快、适应性强、抗病性强等特点[5],能在各种恶劣的环境中正常生长。相关研究表明,构树在固土保水、吸附粉尘、净化空气、修复土壤重金属污染等方面具有出色的作用[6] [7] [8]。据报道,自东汉以来,构树皮及其树干就被用来造纸[9]。此外,构树富含黄酮和生物碱等活性物质,具有良好的开发利用前景[10]。近年来,构树作为一种扶贫树种,被各地政府大力推广种植[11] [12],构树叶因富含蛋白质、无氮浸出物、钙、磷等微量元素,不仅可以作为一种优质饲料原料[13],而且,构树饲料已实现规模化生产[14],

贫困户可以通过出售构树叶获取一定的收入。用构树果实制成的构树果汁，具有低脂肪、高蛋白和高Vc的特点，是天然保健果汁饮料[15]；从构树果实中提取的红色素和桔红色素是一种稳定色素添加剂[16][17]，可以应用在食品行业；构树种子营养成分丰富，氨基酸含量较高，矿物质种类齐全，构树籽油中UFA含量高达90% [18][19]，主要是亚油酸、油酸，开发前景广阔。

在桂西北岩溶地区，构树叶通常被用做饲料，构树果实成熟之后，由于无人采收而掉落地上，因而构树果实和种子均得不到有效利用，资源的浪费甚是可惜！目前，有关构树籽油脂肪酸含量分析及开发方面的研究公开报道不多，因此，通过对桂西北岩溶地区构树籽油成分研究，可以为构树籽油的开发利用及构树产业的推广提供科学依据，也可以为桂西北岩溶地区精准脱贫提供一定的技术支持。

2. 材料与方法

2.1. 材料

本研究中使用的实验材料(样品)、主要药品(试剂)和实验仪器见表1~3。

Table 1. Sample source list

表 1. 样品来源一览表

样品编号	样品名称	材料来源及备注说明
1	构树籽-1	构树果实采自本校校园及周边区域，构树种子则从采集的果实中获取。
2	构树籽-2	
3	白芝麻	黑白两种芝麻和薄皮核桃均购自河池市宜州区城北市场，鲁花橄榄油购自河池市宜州区城南的大洋超市。
4	黑芝麻	
5	薄皮核桃	
6	鲁花橄榄油	
7	凤山核桃-1	凤山核桃和普通山茶油均购自河池市凤山县凤城镇自由市场，精炼山茶油购自河池市宜州区城北百家惠超市。
8	凤山核桃-2	
9	普通山茶油	
10	精炼山茶油	

注：构树籽-1 为新采摘的构树种子；构树籽-2 为往年采集的构树种子，下同。

Table 2. List of drugs and reagents required for the experiment

表 2. 实验所需药品及试剂一览表

药品名称	规格	生产厂家
硫代硫酸钠	AR	西陇化工股份有限公司
三氯甲烷	AR	
无水硫酸钠	AR	
甲醇	GC	
石油醚	AR	
氯化钠	AR	四川西陇化工股份有限公司
乙醚	AR	
无水乙醇	AR	天津市光复科技有限公司
氢氧化钾	AR	

Continued

冰乙酸	AR	
乙酸乙酯	AR	天津市富宇精细化工有限公司
异丙醇	AR	
丙酮	AR	西陇科学股份有限公司
碘化钾	AR	青岛拓海碘制品有限公司
可溶性淀粉	AR	天津市风船化学试剂科技有限公司
酚酞	Ind	天津博迪化工股份有限公司
韦氏试剂	AR	上海阿拉丁生化科技股份有限公司

注：AR 为分析纯试剂；GC 为色谱纯试剂；Ind 为指示试剂。

Table 3. List of major instruments

表 3. 主要仪器一览表

仪器名称	生产厂家
KQ2200DE 型数控超声波清洗器	江苏昆山市超声仪器有限公司
7890A 气相色谱-5975C 质谱仪	美国安捷伦
电子万能炉	天津市泰斯特仪器有限公司
ZYJ-420 家用压榨机	东莞市房太电器有限公司
真空干燥箱	上海跃进医疗器械有限公司
FCD-217SEN 卧式双层门冷藏柜	青岛海尔特种冰箱柜有限公司
AL204 电子分析天平	梅特勒-托利多仪器上海有限公司
电热恒温水浴锅	龙口市先科仪器有限公司

2.2. 方法

2.2.1. 样品采集及处理

构树籽-1 和构树籽-2 分别采于 2019 年 6~7 月和 2016 年 6~8 月，采集地点均为广西河池市宜州区河池学院校园及附近区域。采集时，选择构树上成熟的红色果实，采集回来后，立即揉搓清洗即可获得干净种子，将构树籽于 50℃~60℃ 电热恒温鼓风干燥箱中烘至恒重，自然冷却，构树籽-1 冷藏于冰箱中保存备用，构树籽-2 则用塑料自封袋密封，室内干燥阴凉处保存备用；白芝麻、黑芝麻、薄皮核桃于 2020 年 5 月 1 日从广西河池市宜州区城北市场购买，鲁花橄榄油为同一天购于宜州城南大洋超市；凤山核桃和普通山茶油于 2020 年 5 月 6 日，在广西河池市凤山县凤城镇采购；精炼山茶油为 2020 年 5 月 6 日，购于广西河池市宜州区城北百家惠超市。

2.2.2. 油脂的提取

油脂的提取方法经历了有机溶剂使用量从多到少的历程[20]，一些研究者发现，超声辅助提取法提取翅果油树籽油操作便捷，快速，且重现性好[21]，使用 Folch 法提取竹柏种仁油脂提取率最高[22]。实验时发现，构树籽外壳厚实坚硬，容易使压榨机死机，因此不能使用压榨法获取油脂，故在本实验中，构树籽油-1、构树籽油-2 采用 Folch 法[23]提取，其平均出油率为 26.96%，而薄皮核桃油、凤山核桃油-1、凤山核桃油-2、黑芝麻油、白芝麻油则用压榨法获取。

2.2.3. 理化性质的测定

构树籽油理化性质的测定方法参照相应的国家标准。其中, 碘值测定参照 GB/T5532-2008 [24], 酸价测定参照 GB5009.229-2016 [25], 过氧化值测定参照 GB5009.227-2016 [26], 透明度气味测定参照 GB/T5525-2008 [27], 相对密度测定参照 GB5009.2-2016 [28]。

2.2.4. 脂肪酸的测定

根据实验目的及现有实验条件, 本研究使用气相色谱-质谱法(GC-MS 法)测定油脂脂肪酸的组成, GC-MS 灵敏度高、抗干扰能力强, 可以定量分析, 方法容易实现套现, 仪器维修方便, 利用 GC-MS 测定植物油脂肪酸成分, 结果更为可靠。甘油三酯是油脂中的脂肪酸存在的主要形式, 甘油三酯的沸点比较高, 不容易气化及分离, 随着碳链的增加, 沸点也逐渐增高, 并且甘油三酯的类型太多, 不容易识别, 用气相色谱-质谱仪分析[29]脂肪酸前, 需将脂肪酸甲酯化。脂肪酸甲酯化是把高沸点、不易挥发汽化的脂肪酸酯, 反应生成相应的低沸点、易挥发汽化的脂肪酸甲酯, 便于仪器分析。Brede C., Skjevraak I.等人利用 GC-MS 全扫描方式, 可测定出含量在 $0.05\sim 2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 橄榄油中双酚 A 二缩水甘油醚(BADGE)和双酚 F 二缩水甘油醚(BFDGE) [30]; Željka Peršurić 等人利用 GC-MS 分析克罗地亚特级初榨橄榄油脂肪酸组成[31]。

油脂甲酯化方法有酸催化法、碱催化法、酸碱催化法[32], 利用气相色谱法分析食用植物油中脂肪酸时, 采用三氟化硼-甲醇快速甲酯化法甲酯化率高[33], GC-MS 法分析四种食用植物油中脂肪酸成分采用 KOH-甲醇法甲酯, 操作简便, 快速, 检出种类多[34], 采用 KOH-甲醇法处理棉籽油, GC-MS 法测定脂肪酸的成分优于其他方法[35], 本研究采用氢氧化钾-甲醇法。

GC-MS 分析条件参照 NY/T 3110-2017 [36]: GC 条件: HP-5MS 石英毛细管色谱柱($0.25\text{ }\mu\text{m}\times 0.25\text{ mm}\times 30\text{ m}$), 进样口温度: $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, 检测器温度 $220\text{ }^{\circ}\text{C}$; 程序升温条件: 初始温度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 0.2 min 后, $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 $215\text{ }^{\circ}\text{C}$, 再以 $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升温至 $224\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并保持 0.2 min , 分流比 20:1; 进样量: $1\text{ }\mu\text{L}$; 接口温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C}$; 载气: 氦气, 载气流速 $1.2\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。MS 条件: 电子轰击(ED)离子源; 离子源温度 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$; 四级杆温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$; 全扫描方式; 溶剂延迟时间: 3 min 。

本项目采用 GC-MS 分析构树籽油(构树籽油-1、构树籽油-2)与其他 8 种植物油(白芝麻油、黑芝麻油、橄榄油、精炼山茶油、普通山茶油、薄皮核桃油、凤山核桃油-1、凤山核桃油-2)的脂肪酸成分, 将构树籽油的成分与其他植物油的成分进行比较, 以便更好地了解构树籽油脂肪酸组成的特点, 不仅可以为其进一步开发利用提供参考依据, 也为其他植物油质量鉴定和质量控制提供实验依据。

按照上述实验方法, 利用 GC-MS 同时分析构树籽油与其他植物油的脂肪酸组成, 各色谱峰相应的质谱图经人工分析及 NIST08 普库检索定性, 采用峰面积归一法计算出各成分的相对百分含量。

3. 结果与分析

3.1. 构树籽油的理化性质

按照如上方法检测出构树籽油-1 的理化性质见表 4。

Table 4. Physicochemical Indexes of *B. papyrifera* seed oil-1
表 4. 构树籽油-1 的理化指标

参数	构树籽油-1
碘值(g/100 g)	134.17
酸价(g/100 g)	0.9
过氧化值(g/100 g)	0.42
相对密度($25\text{ }^{\circ}\text{C}$, g/mL)	0.9119

Continued

透明度	半浑浊
颜色	橙红色
气味	浓油香

碘值是判断油脂脂肪酸不饱和程度的重要指标,碘值越大,不饱和脂肪酸含量越高。根据表 4 可知,构树籽油-1 的碘值为 134.17 g/100 g,由此可知不饱和脂肪酸是构树籽油-1 的主要成分;过氧化值是说明油脂和脂肪酸被氧化程度的一种指标,反映食品的质量好坏,氧化程度越高,油质量越差。构树籽油-1 的过氧化值是 0.42 g/100 g,超出国家食用油卫生标准的规定范围,过氧化值偏高可能是提取构树籽油-1 后没能及时测定,被空气氧化所致。酸价是表明油脂中游离脂肪酸含量的指标,酸价越大,游离脂肪酸含量越多,油脂被氧化程度越高,构树籽油-1 的酸价为 0.90 mg/g,符合国家植物油食品安全国家标准。构树籽油-1 的相对密度是 911.87 g/L,是具有浓油香半透明的橙红色干性油。

3.2. 构树籽油的主要成分

构树籽油脂肪酸甲酯总离子流图如图 1~2 所示。构树籽油脂肪酸种类及质量分数见表 5。

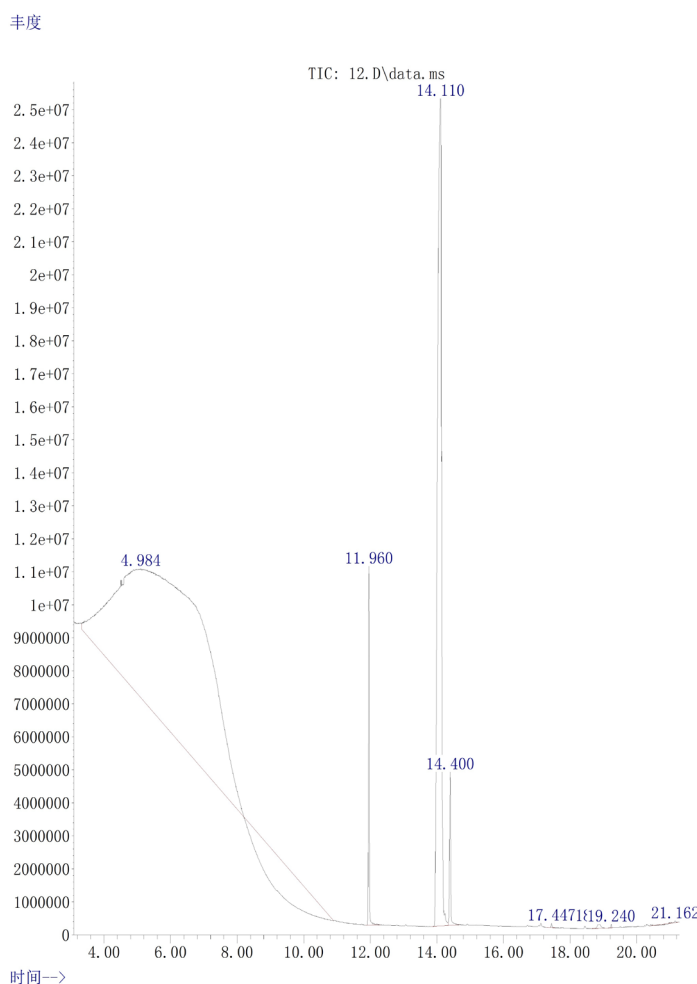


Figure 1. Total ion current diagram of *B. papyrifera* seed oil
图 1. 构树籽油-1 的总离子流图

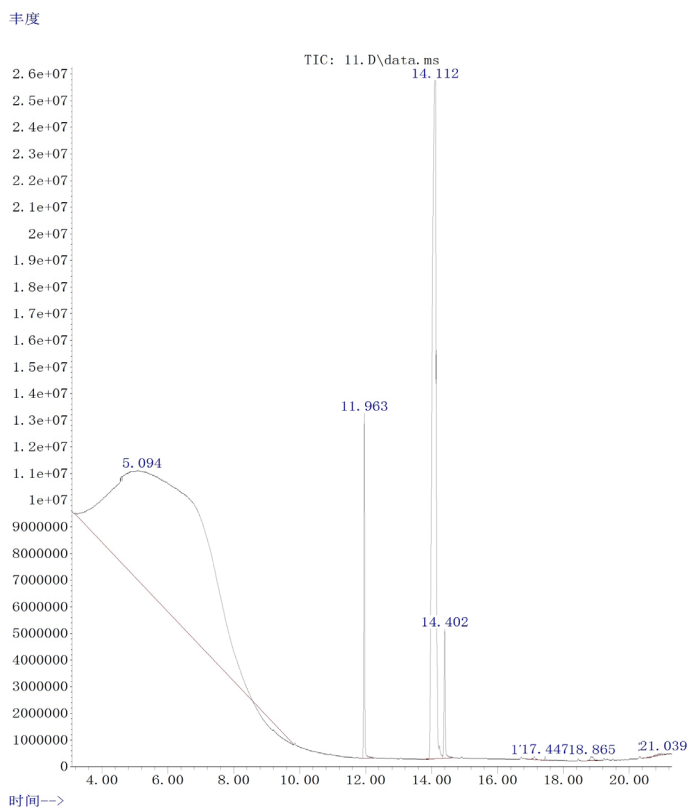


Figure 2. Total ion current diagram of *B. papyrifera* seed oil-2
图 2. 构树籽油-2 的总离子流图

Table 5. Fatty acid composition of *B. papyrifera* oil-1 and *B. papyrifera* oil-2
表 5. 构树籽油-1 和构树籽油-2 的脂肪酸组成

编号	保留时间/min	组成	质量分数/%
1	11.960/11,963	棕榈酸	8.17/9.14
2	14.110/14.112	亚油酸	87.09/86.08
3	14.400/14.402	硬脂酸	4.56/4.65
4	17.447/17.447	花生酸	0.12/0.13
5	19.240/-	山嵛酸	0.06/-

注：①表中“/”前后的数据为构树籽油-1 和构树籽油-2 的数据；②“-”表示未检出。

由表 5 可知，在构树籽油-1 中检测出棕榈酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸等 5 种脂肪酸成分，其含量分别是 8.17%、87.09%、4.56%、0.12%、0.06%。在 5 种脂肪酸中，棕榈酸、硬脂酸、花生酸、山嵛酸 4 种为饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)，亚油酸为不饱和脂肪酸(Unsaturated fatty acid, UFA)，SFA 与多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acids, PUFA)的含量分别为 12.91%、87.09%。

构树籽油-2 中检出棕榈酸 9.14%、亚油酸 86.08%、硬脂酸 4.65%、花生酸 0.13% 4 种脂肪酸成分，SFA 和 PUFA 含量分别为 13.92%、86.08%，构树籽油未检出单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acids, MUFA)。在两种构树籽油中亚油酸含量均大于 86%，由此可知，构树籽油脂肪酸的主要成分是亚油酸。构树籽油-1 从 1 年前采摘的构树籽-1 中提取，构树籽油-2 从 4 年前采摘的构树籽-2 中提取，长达 1~4 年的储存，两种构树籽油脂肪酸组成及含量没有发生太大的变化，说明构树籽油具有较高的抗氧化性。

3.3. 构树籽油与其他植物油成分比较

其他植物油(白芝麻油、黑芝麻油、橄榄油、精炼山茶油、普通山茶油、薄皮核桃油、凤山核桃油-1、凤山核桃油-2)各自的脂肪酸甲酯总离子流图如图 3~10 所示。构树籽油与其他植物油成分比较见表 3。

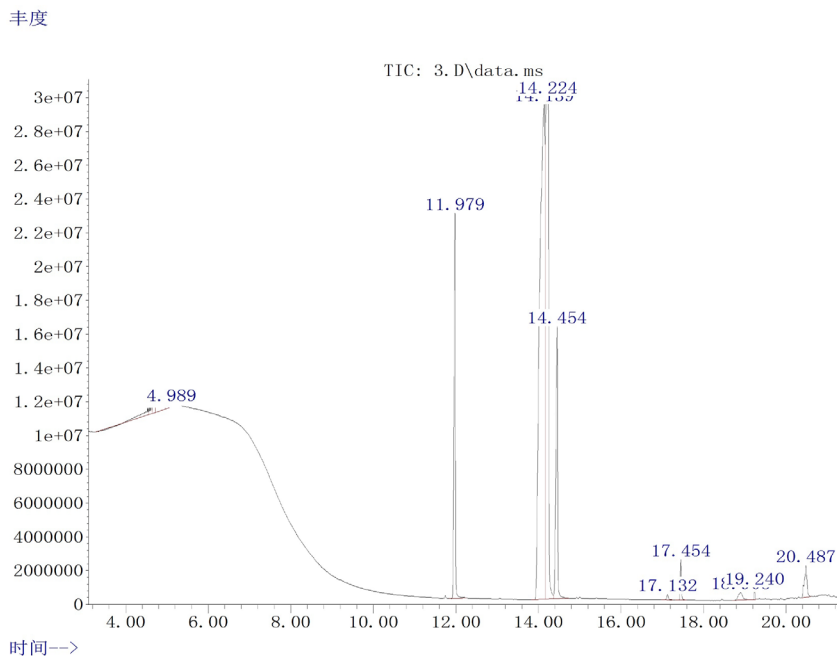


Figure 3. Total ion current diagram of white sesame oil

图 3. 白芝麻油的总离子流图

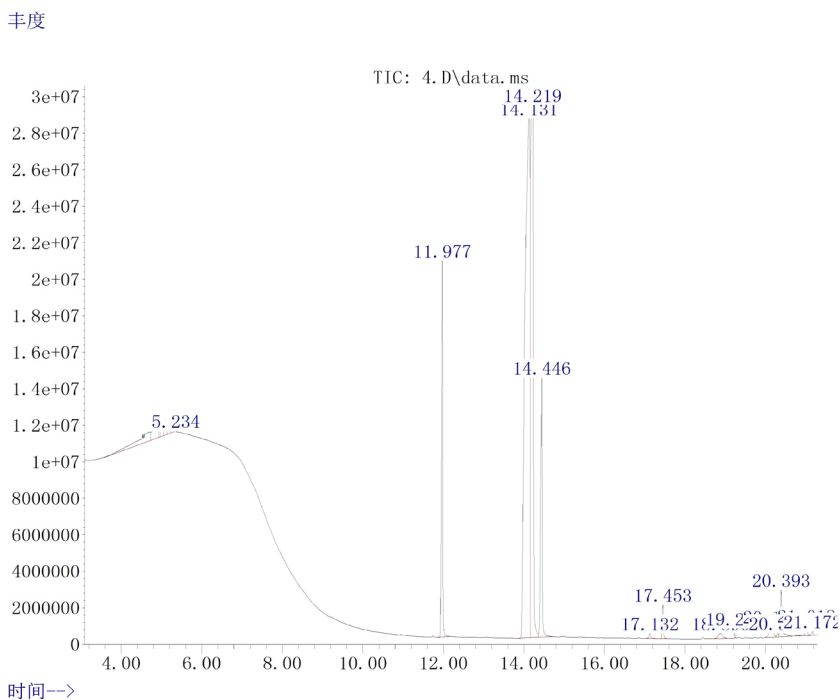


Figure 4. Total ion current diagram of black sesame oil

图 4. 黑芝麻油的总离子流图

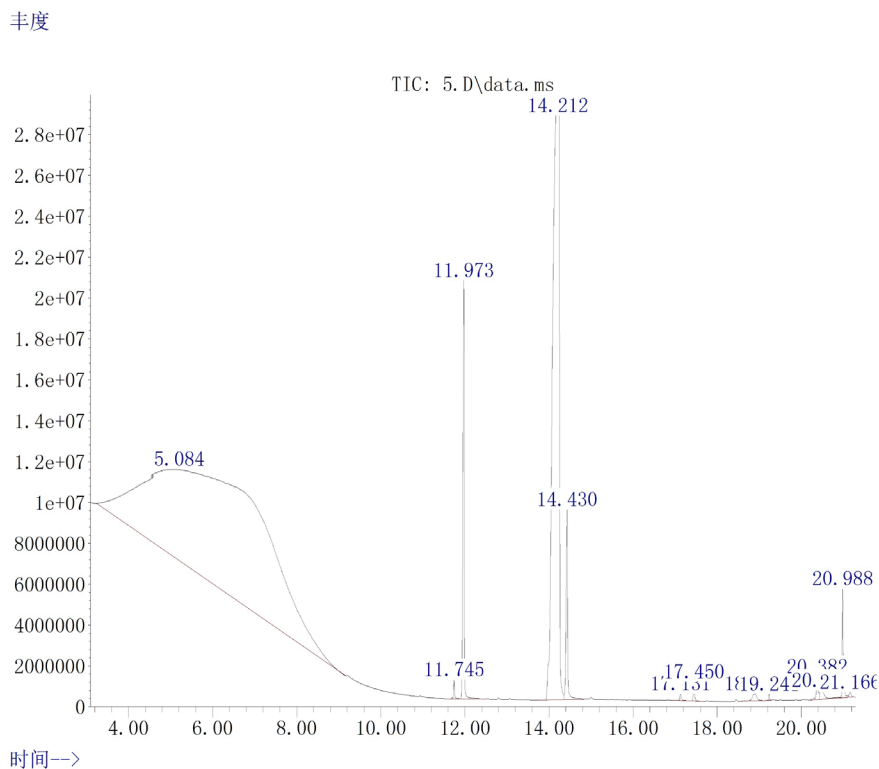


Figure 5. Total ion current diagram of olive oil

图 5. 橄榄油的总离子流图

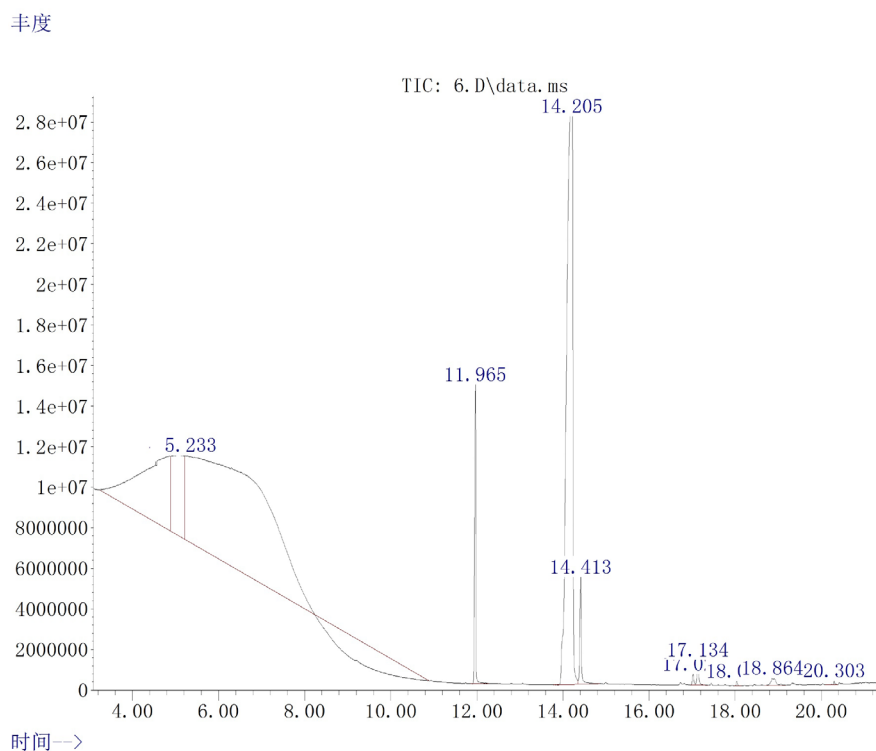


Figure 6. Total ion current diagram of refined camellia oil

图 6. 精炼山茶油的总离子流图

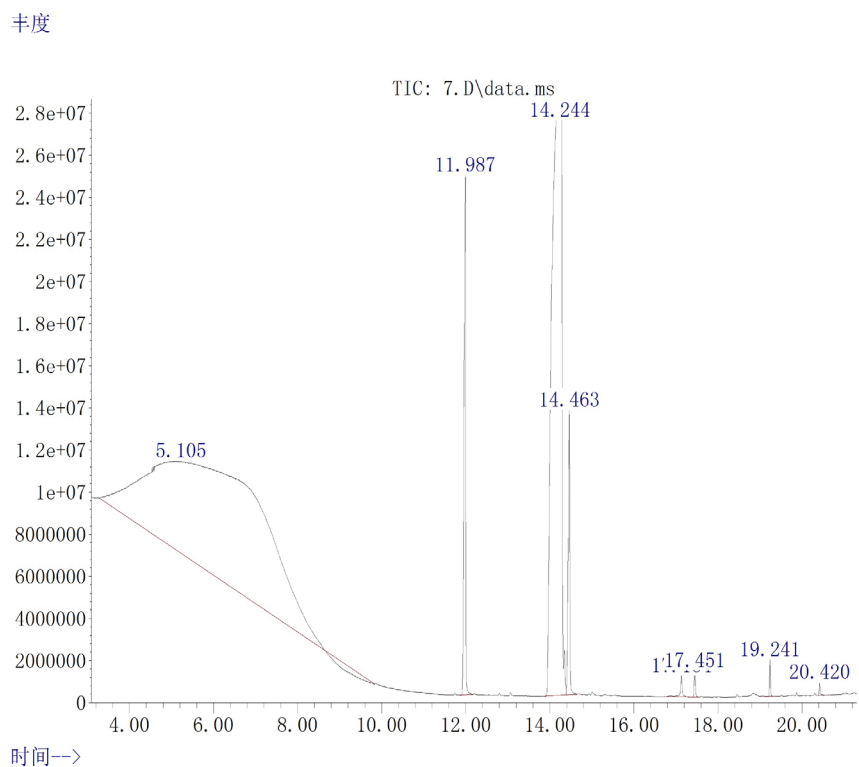


Figure 7. Total ion current diagram of common camellia oil
图 7. 普通山茶油的总离子流图

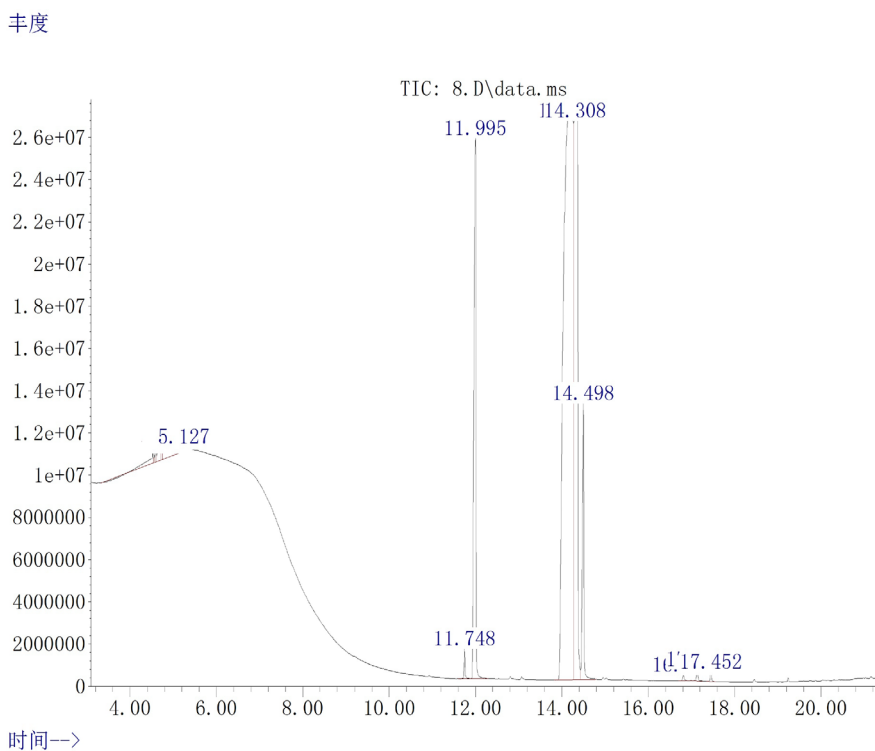


Figure 8. Total ion current diagram of thin-skinned walnut oil
图 8. 薄皮核桃油的总离子流图

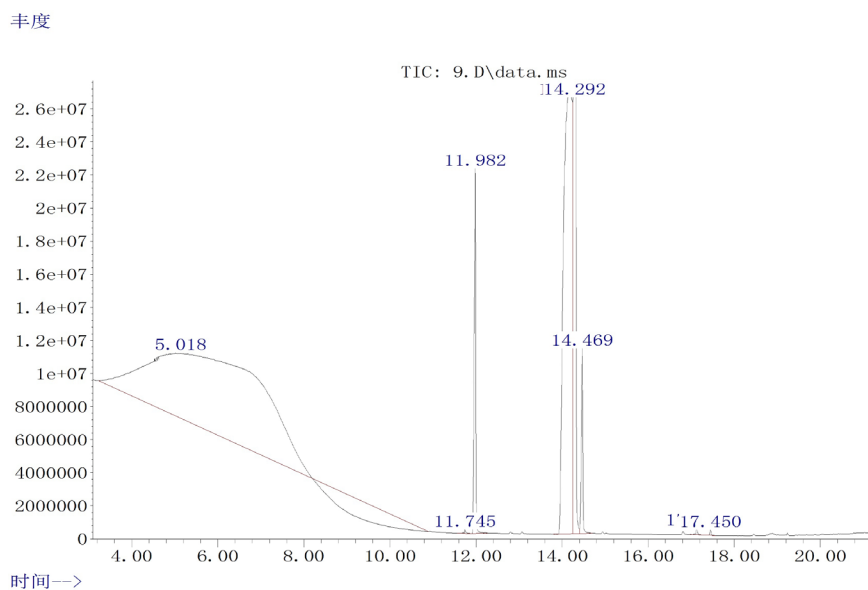


Figure 9. Total ion current diagram of Fengshan walnut oil-1

图 9. 凤山核桃油-1 的总离子流图

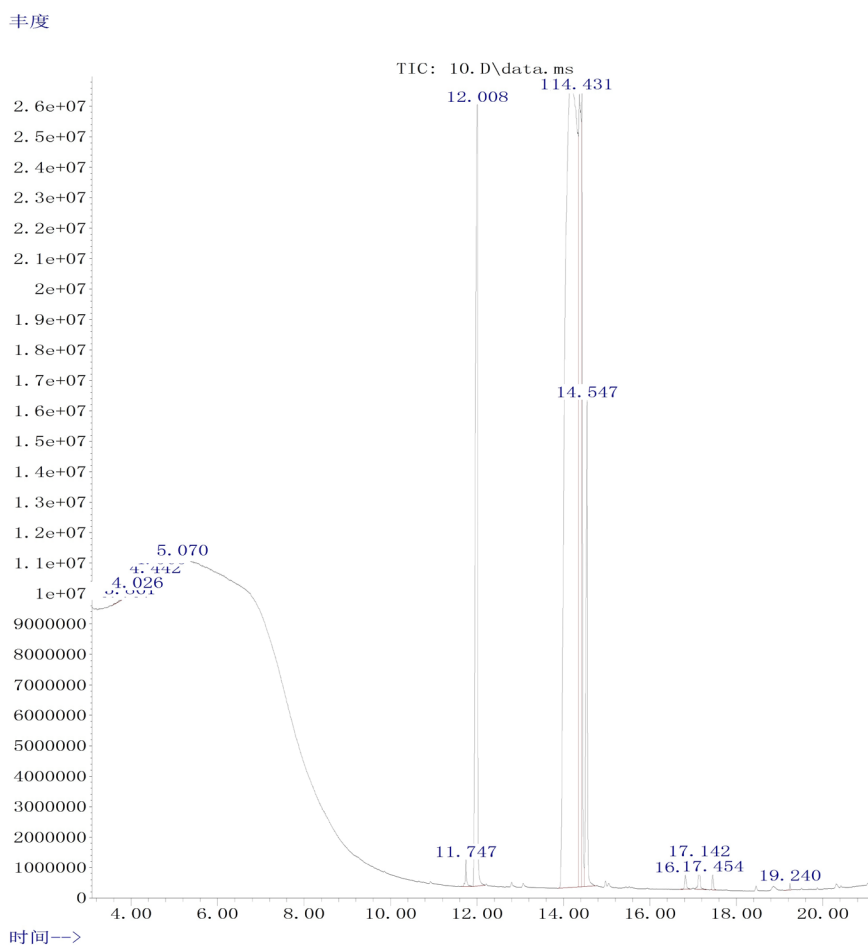


Figure 10. Total ion current diagram of Fengshan walnut oil-2

图 10. 凤山核桃油-2 的总离子流图

Table 6. Comparison of components of *B. papyrifera* seed oil and other vegetable oils
表 6. 构树籽油与其他植物油成分的比较

百分含量/%								
构树籽油-2	白芝麻油	黑芝麻油	橄榄油	精炼山茶油	普通山茶油	薄皮核桃油	凤山核桃油-1	凤山核桃油-2
—	—	—	0.39	—	—	0.32	0.10	0.22
9.14	10.46	9.55	10.84	8.59	11.41	11.35	9.35	11.35
86.08	48.32	49.65	—	—	—	59.72	62.16	64.35
—	30.7	31.5	79.72	86.35	80.73	23.55	23.6	12.99
4.65	9.22	8.35	5.96	4.01	6.33	4.65	4.50	4.92
—	0.17	—	0.22	1.05	0.53	0.22	0.18	0.32
0.13	0.96	0.81	0.49	—	0.42	0.13	0.11	0.14
—	—	—	—	—	0.17	—	—	—
—	0.17	0.14	—	—	0.42	0.05	—	0.04
—	—	—	2.37	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	5.68
13.92	20.81	18.85	17.29	12.60	18.75	16.18	13.96	16.45
—	30.87	31.50	80.33	87.40	81.26	24.09	23.88	13.53
86.08	48.32	49.65	2.37	—	—	59.72	62.16	70.03
86.08	79.19	81.15	82.70	87.40	81.26	83.81	86.04	83.56
6.18	3.81	4.31	4.78	6.94	4.33	5.18	6.16	5.08

注：表中“—”表示未检出。

由表 6 可知，在本研究的 10 种植物油脂中，UFA 含量除白芝麻油外均超过 80%，含量依次是精炼山茶油(87.40%) > 构树籽油-1 (87.09%) > 构树籽油-2 (86.08%) > 凤山核桃-1 (86.04%) > 薄皮核桃油 (83.81%) > 凤山核桃油-2 (83.56%) > 橄榄油(82.70%) > 普通山茶油(81.26%) > 黑芝麻油(81.15%) > 白芝麻油(79.19%)。

本研究的 10 种植物油 SFA 含量较低，其含量大小排序为：白芝麻油(20.81%) > 黑芝麻油(18.85%) > 普通山茶油(18.75%) > 橄榄油(17.29%) > 凤山核桃油-2 (16.45%) > 薄皮核桃油(16.18%) > 凤山核桃油-1 (13.96%) > 构树籽油-2 (13.92%) > 构树籽油-1 (12.91%) > 精炼山茶油(12.60%)。

本研究的 10 种植物油的脂肪酸组成及含量差异较大。构树籽油和精炼山茶油脂肪酸组成不超过 5 种，其他七种植物油脂肪酸组成最少 6 种；构树籽油中未检出 MUFA，但 PUFA 含量高达 85%；山茶油中未检出 PUFA，但其 MUFA 含量大于 80%，其他 6 种植物油脂肪酸在 SFA、MUFA、PUFA 都有分布。

4. 讨论

刘静和林文群等人曾对构树种子的成分进行研究，其所得的构树种子含油量分别为 28.14% 和 40.18%；林文群等人在构树籽油中检测出 5 种不同的脂肪酸，且饱和脂肪酸含量高达 90.69%，其中亚油酸、油酸、亚麻酸含量分别为 85.42%、4.29% 和 0.98%。而本研究所得的构树籽油的提取率为 26.96%，与刘静所得结果相差不大；同时，也检测出 5 种脂肪酸，且两个构树籽油的亚油酸含量均达到 86% 以上，与林文群的结果相当[18] [19]。造成构树籽油含量差异的原因，一方面可能与提取方法有关，另一方面可能与构树

产地的气候条件、地质背景和栽培管理有关, 具体原因有待进一步研究。

构树籽油中只有亚油酸一种不饱和脂肪酸, 其他植物油则至少有两种或者两种类型以上不饱和脂肪酸, 其亚油酸含量高达 87%, 如能合理利用, 市场开发潜力巨大。从以上 10 种植物油 UFA/SFA 的数值比较可知, 构树籽油的品质优于其他 7 种食用植物油, 与精炼山茶油营养价值相当, 可将其开发成新型功能性植物食用油。

亚油酸用途广泛, 因此, 可提取构树籽油中的亚油酸, 合成亚油酸衍生物用于人体保健和疾病治疗 [37] [38]。含亚油酸的药物多用于预防和治疗动脉粥样硬化等疾病, 亚油酸作为人体必需脂肪酸, 被誉为“血管清道夫”, 对心血管病防治具有良好的作用。此外, 亚油酸有修护皮肤和头发的作用, 常作为化妆品的添加剂。

构树籽油-1 中的亚油酸含量虽高于构树籽油-2, 但两者并没有明显差异, 说明构树籽可长时间储藏, 其油脂中的 UFA 不易被空气氧化, 构树籽油之所以具有较高的抗氧化性, 其原因可能是存在共轭亚油酸, 有效防止亚油酸被氧化, 因此, 可对构树籽油的抗氧化性进行深入的研究。共轭亚油酸是亚油酸的次生衍生物, 具有防腐防霉保健作用, 且安全无毒副作用, 在畜禽饲养及医药方面应用面广, 目前已有不少国家生产以共轭亚油酸为原料的保健食品, 市场需求大 [39] [40]。

5. 结论

根据以上实验数据及分析讨论, 可以初步得到以下结论:

- 1) 构树籽油和精炼山茶油脂肪酸组成比较简单, 其他植物油脂肪酸成分较复杂。
- 2) 构树籽油中 PUFA 和山茶油 MUFA 最高, 其他 6 种植物油脂肪酸中都检出有 SFA、MUFA、PUFA。
- 3) 构树籽油具有较高的抗氧化性, 可以较长时间保存。其亚油酸含量高达 86%, 不饱和脂肪酸含量高于市场上销售的橄榄油、芝麻油、核桃油和普通山茶油, 营养价值与精炼山茶油相当, 极具开发利用价值。

基金项目

广西自然科学基金(桂科自 0832273); 桂西北岩溶地区石漠化综合防治实验室(校政发[2016]91 号); 河池学院高层次人才科研启动费项目(XJ2018GKQ016); 桂西北地方资源保护与利用工程中心(桂教科研 [2012]9 号); 河池学院大学生创新创业训练计划项目(SJ2019030)。

参考文献

- [1] 李国明, 刘凌, 龚树立, 侯占群, 胡瑞连, 李晨悦. 功能性植物油脂的主要生理活性及应用[J]. 中国食品添加剂, 2013, 6(2): 175-180.
- [2] 范丽莉, 赵恒田, 周克琴, 林丽, 李凤凤. 功能性食品及其发展态势[J]. 土壤与作物, 2018, 7(4): 432-438.
- [3] 王永进, 于潇. 天然植物功能性油脂的相关研究进展[J]. 现代食品, 2017, 2(4): 48-51.
- [4] 乔路, 李燕杰, 陈月坤. 特种植物油脂开发思路的探讨[J]. 中国油脂, 2013, 38(4): 15-17.
- [5] 罗朝立. 产业扶贫的重要途径之一, 构树扶贫工程[J]. 绿色中国 B 版, 2019(8): 63-67.
- [6] 郭文, 熊康宁, 刘凯旋, 张锦华, 杨苏茂. 我国石漠化地区乡土构树资源综合利用研究[J]. 世界林业研究, 2018, 31(1): 23-28.
- [7] 丁菲, 郭圣茂, 吴南生, 肖永华, 彭明生, 蒋礼. 稀土尾矿构树根系形态及代谢研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1185-1193.
- [8] 曾鹏, 郭朝晖, 肖细元, 彭驰, 黄博, 辛立庆. 构树修复对重金属污染土壤环境质量的影响[J]. 中国环境科学, 2018, 38(7): 2639-2645.
- [9] 陈沛霖, 沈世华. 造纸新星——杂交构树[J]. 生命世界, 2018, 5(10): 22-27.

- [10] 吉仁花, 林晓飞, 张文波, 白淑兰. 构树研究现状及开发利用前景[J]. 林产工业, 2017, 44(10): 3-6.
- [11] 刘兴宜, 熊康宁, 刘艳鸿, 陈永毕, 王建斌, 金国镇, 等. 我国石漠化地区构树生态产业扶贫模式的探讨[J]. 林业资源管理, 2018, 6(2): 29-34.
- [12] 周懿, 万兆瑞. 构树在美丽乡村建设中的应用价值[J]. 四川林勘设计, 2017(2): 91-92.
- [13] 邳植, 沈世华. 构树作为新兴的蛋白饲料原料的研究[J]. 饲料工业, 2018, 39(11): 23-28.
- [14] 唐运权. 杂交构树生态养殖循环应用实践与思考——广西然泉农业科技有限公司实践案例[J]. 食品安全导刊, 2018, 5(35): 50-51.
- [15] 覃勇荣, 刘宗琼, 覃兴家, 李秋明, 黄振球. 构树果汁饮料加工及保鲜工艺研究[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 130-135.
- [16] 罗中杰. 构树果红色素的提取及其理化性质的研究[J]. 应用化工, 2005, 34(2): 131-132.
- [17] 林少琴, 兰瑞芳. 构树果色素的分离提取及部分性质研究[J]. 林产化工通讯, 2000, 4(2): 9-12.
- [18] 刘静, 权春善, 瞿晓晶, 陈莹, 宗子超. 构树种子油的维生素 E 测定及脂肪酸成分分析[J]. 大连民族学院学报, 2015, 17(5): 464-466.
- [19] 林文群, 刘剑秋. 构树种子化学成分研究[J]. 亚热带植物科学, 2000, 29(4): 20-23.
- [20] 杨建远, 邓泽元. 水酶法提取植物油脂技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 225-230.
- [21] 陈侨侨. 翅果油树籽油提取及其脂肪酸组成和易挥发成分的研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2016.
- [22] 徐华, 杨德孟, 楼乔明, 张进杰, 杨文鸽, 徐大伦. 竹柏种仁油脂成分及其抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 87-92.
- [23] Folch, J., Lees, M. and Sloane Stanley, G.H. (1957) A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues. *Journal of Biological Chemistry*, **226**, 497-509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- [24] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 5532-2008 动植物油脂碘值的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [25] 国家粮油局. GB 5009.229-2016 动植物油脂酸价测定[S]. 北京: 中国出版社, 2016.
- [26] 国家粮油局. GB 5009.227-2016 动植物油脂过氧化值测定[S]. 北京: 中国出版社, 2016.
- [27] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T5525-2008 动植物油脂透明度气味测定[S]. 北京: 中国出版社, 2008.
- [28] 全国粮油标准化技术委员会. GB5009.2-2016 粮油检验粮油、油料相对密度的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [29] 曹洁, 陈卫栋, 薛斌. 植物油脂中脂肪酸甲酯合成方法及应用[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(3): 26-28.
- [30] Brede, C., Skjevrak, I., Herikstad, H., Anensen, E., Austvoll, R. and Hemmingsen, T. (2002) Improved Sample Extraction and Clean-up for the GC-MS Determination of BADGE and BFDGE in Vegetable Oil. *Food Additives and Contaminants*, **19**, 483-491. <https://doi.org/10.1080/02652030110088293>
- [31] Peršurić, Ž., Saftić, L., Mašek, T. and Kraljević Pavelić, S. (2018) Comparison of Triacylglycerol Analysis by MALDI-TOF/MS, Fatty Acid Analysis by GC-MS and Non-Selective Analysis by NIRS in Combination with Chemometrics for Determination of Extra Virgin Olive Oil Geographical Origin. A Case Study. *LWT-Food Science and Technology*, **95**, 326-332. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.072>
- [32] 李梦婷, 朱桃, 姜海东, 等. 脂肪酸甲酯的合成及综合应用[J]. 材料导报, 2017, 31(S1): 319-322.
- [33] 伍新龄, 王凤玲, 关文强. 植物油脂肪酸甲酯化方法比较与含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(7): 84-87.
- [34] 李莎, 王维香. GC-MS 法分析四种食用植物油中脂肪酸成分[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(9): 65-67.
- [35] 王川, 韩珍珍, 文凤, 李艳军, 孙杰, 尤春源, 等. 棉籽油脂肪酸甲酯化的方法及其脂肪酸含量分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 258-263.
- [36] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. NY/T 3110-2017 植物油料中全谱脂肪酸的测定 气相色谱-质谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [37] 李晓陆. 亚油酸类脂肪化学品的应用[J]. 河北农业大学学报, 1990, 13(4): 89-93.
- [38] 赵秀玲. 共轭亚油酸的功能性质及其应用前景[J]. 江苏调味副食品, 2009, 26(5): 39-43.
- [39] 李春, 刘丽波, 张兰威. 共轭亚油酸生理功能及其应用[J]. 粮食与油脂, 2004, 3(7): 15-17.
- [40] 伏春燕, 张燕, 魏祥法, 刘雪兰. 共轭亚油酸降低脂肪沉积的分子机制研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(8): 3456-3462.