

湘西地区非粮柴油能源植物 资源研究

Studies on Non-food Energy Plant Resources for Biodiesel Production in Xiangxi Region

陈功锡 王冰清 张洁 陈加蓓 等 © 编著



陈加蓓

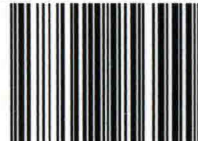


秉承学术 精于传播

官方网址: www.stdp.com.cn



ISBN 978-7-5189-5655-5



9 787518 956555 >

定价: 88.00元

封面设计
刘娇

吉首大学武陵山研究系列成果

湘西自治州科技计划项目（州科字〔2006〕49号）成果

国家科技基础性工作专项重点项目子课题（2008FY110400-1-9）成果

湘西地区非粮柴油能源植物 资源研究

陈功锡 王冰清 张 洁 陈加蓓 等 编著

 科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

湘西地区非粮柴油能源植物资源研究 / 陈功锡等编著. —北京: 科学技术文献出版社, 2019. 6

ISBN 978-7-5189-5655-5

I . ①湘… II . ①陈… III . ①生物能源—柴油—植物资源—研究—湘西地区
IV . ① Q949.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 122394 号

湘西地区非粮柴油能源植物资源研究

策划编辑: 孙江莉 责任编辑: 张 红 责任校对: 文 浩 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882870 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京虎彩文化传播有限公司
版 次 2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
字 数 493千
印 张 21.75
书 号 ISBN 978-7-5189-5655-5
定 价 88.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

谨以此书献给中华人民共和国70华诞!

作者名单

陈功锡 王冰清 张 洁 陈加蓓
向晓媚 徐 亮 刘祝祥 张代贵

序

能源是人类生存与发展的物质基础，是社会前进的动力。由于化石能源资源的有限性和对环境污染日益严重的不可逆转性等原因，世界各国都把目光逐步转移到生物能源规模应用开发上。欧美、日本等发达国家和地区率先启动了一批重要的计划，其成果也日趋产业化和国际化，极大地缓解了对化石能源消耗的压力。我国自20世纪80年代起步，“十五”以来广泛开展了生物能源科研创新和产业化工作，取得了显著成效，为我国新能源事业的发展做出了重要贡献。但我国人口众多，人均耕地面积偏少，粮食资源紧张，大规模利用耕地发展生物柴油能源植物并不现实。在这种情况下，系统调查、评价和筛选非粮柴油能源植物资源，结合山区脱贫需要，开发利用山区荒地发展油料能源植物，显得非常重要和迫切。

我国植物油脂生物质能源持续规模供应与粮食作物生产面临土地供应竞争矛盾、潜在次生生态灾害威胁等，发展油料能源植物可以协调保护生物多样性，保护森林生态环境关系难题。“不与粮争地、不与人争粮”，应该成为中国能源油料植物产业发展的基本国策。

我国油料植物资源丰富、种类繁多、分布广泛，大多具有野生性，耐旱、耐贫瘠，在山地、高原和丘陵等地域都能很好地生长。由于其具有不与粮食争地、改善生态环境、提高就业机会、带动新农村建设等众多优点，在我国具有巨大的发展潜力和广阔的市场开发前景。


湘西地区是武陵山区经济植物，特别是油料植物生长的核心地域，是湖南省植物资源丰富的地区之一，其植物多样性程度在全国占有重要地位。湘西地区也是非粮柴油能源植物高度集中的区域，不仅种类繁多，且植物含油量及原料油理化性质优良，是研究和发展生物柴油能源植物产业的理想区域。尽管近30年来，我们已在油桐、油茶、光皮树、黄连木等树种生物柴油的研究和开发方面做了大量工作，也取得了一系列重要进展和成效，但对于该区域非粮柴油

能源植物的地理分布、资源量、资源生物特性、资源经济性状、种类构成及其含油量、油脂脂肪酸组成和理化性质等还缺乏系统性深入研究和评价。而这些基础性工作对进一步深入了解该区植物多样性价值，以及发展特色植物资源产业、助力脱贫攻坚具有重要意义。

吉首大学陈功锡教授等的这部《湘西地区非粮柴油能源植物资源研究》专著，是该团队长期从事湘西非粮柴油能源植物资源研究工作的系统总结。该书详细论述了湘西地区的非粮柴油能源植物的类群构成、区系成分及分布格局特点；测定和报道了区域内 262 种主要非粮柴油能源植物的含油量和理化性质指标，综合评价并筛选出适合湘西产业发展的若干代表种类；研究常见非粮柴油能源植物籽油的提取方法，分析籽油的组分构成；对 230 种非粮柴油能源植物进行简要介绍，包括名称、识别特点、地理分布、用途、含油量及油的组分；综合探讨湘西非粮柴油能源植物开发利用的技术体系和开发途径等问题。全书结构紧凑、内容丰富、资料翔实、论证有力，具有较高的学术价值和应用价值。无疑，该书的出版必将对我国区域非粮柴油能源植物资源科学研究产生积极推动作用，对湘西地区特色经济植物资源研究和产业开发产生重要而深远的影响。

值此著作付梓之际，特乐之为序！

油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室主任
南方木本油料利用科学国家林业和草原局重点实验室主任
湖南省林业科学院 二级研究员



2019年4月25日

前 言

能源是人类赖以生存和进步的物质基础，是经济社会可持续发展的动力。随着工业化进程的加快，化石能源消耗加剧及所导致的生态环境恶化，严重威胁人类社会的可持续发展。开发可再生的生物能源，减少经济发展对化石能源的依赖，已成为世界各国重要的战略选择。我国是世界第二大石油消费国，对液体燃料的需求量也越来越大，2011年石油对外依存度已超过55%，预测2020年将达到67%，2030年将提高到70%。但我国石油、煤、天然气等常规能源严重短缺，加上资源利用效率低下、能源资源短缺和环境污染问题十分突出，因此，我国开发利用可再生资源，大力发展生物能源产业，对促进国民经济健康发展具有十分重要的战略意义。

生物能源属于绿色能源，主要是指利用可再生或循环的有机质（主要包括能榨油或产油的植物、可供厌氧发酵的藻类及有机废弃物等）为原料生产的能源，其利用形式主要包括沼气、生物制氢、生物柴油催化合成和燃料乙醇等。然而，目前生产生物柴油的主要原料是含油的能源植物，很多国家大都利用粮食作物，如大豆、油菜籽和玉米等作为原料生产生物柴油，并且取得了相应的成果。但我国是一个人口大国，粮油供应原本就紧张，加上山地、高原和丘陵占国土总面积的69%，大规模利用耕地来生产能源植物不现实，完全以农产品为原料生产生物柴油是不可能的。因此，亟须寻找一条适合我国国情的发展生物柴油的途径。

非粮柴油能源植物（non-food energy plant for biodiesel production）是指那些不是粮食作物或者主要含油部位不被用作粮食、食用油等的生物柴油能源植物。由于其栽植地区为非农耕地，故不与粮食作物竞争农业资源。在我国，特殊的国情决定了我们不能走照搬别国利用耕地大量种植粮油作物发展生物柴油的道路，只有本着“不与人争粮，不与粮争地”的原则，利用我国大量的边际性土地，发展适应性强、能量富集型的非粮柴油能源植物才是生物质能源产业发展

的根本出路。我国政府非常重视这项工作，自2004年以来由科技部主持先后启动了多个国家科技攻关计划项目和国家科技基础性工作专项项目，对我国生物柴油有关标准、开发技术及相关资源进行研究，并大力支持企业产业化生产，取得了一系列重要成果。

湘西地处华中武陵山地区腹地，为典型的中亚热带季风湿润气候，境内自然环境条件复杂，孕育了丰富的植物多样性，属于我国少数具有世界意义的生物多样性关键地区之一，其科学价值和经济社会价值早已引起国内外高度关注。湘西地区植物资源丰富，包括非粮柴油能源植物在内的大量有用植物长期以来为湘西社会经济发展做出了重要贡献。为进一步加强对湘西非粮柴油能源植物资源规律的科学认识，同时也为深入研究和产业开发服务，需要对前期工作进行系统总结。有鉴于此，笔者特对本研究组自20世纪90年代以来的研究工作，尤其是对2006年所承担的湘西自治州科技计划项目“湘西生物能源植物开发利用研究”（州科字〔2006〕49号）、2008年所承担的国家科技基础性工作专项重点项目子课题“武陵山地区非粮柴油能源植物调查、收集与保存”（2008FY110400-1-9）等进行归纳和理论提升，撰写了这本研究专著《湘西地区非粮柴油能源植物资源研究》。

本书共分9章。第一章和第二章综述了非粮柴油能源植物的相关概念及研究进展，以及湘西地区自然环境概况及研究方法；第三章根据调查结果，全面介绍湘西地区非粮柴油能源植物的构成和分布特点；第四章以实验室检测结果为依据，分析了湘西地区非粮柴油能源植物的含油量和理化性质；第五章以富油植物为重点，对湘西地区主要的非粮柴油能源植物进行综合评价，筛选出适宜湘西地区发展的优选植物；第六章研究了湘西地区常见的几种非粮柴油能源植物的油脂成分及有关提取技术方法；第七章简述了湘西地区230种主要的非粮柴油能源植物，内容包括名称、主要特征、分布与生境、用途、含油量、理化性质及脂肪酸组成等；第八章综合探讨了湘西地区非粮柴油能源植物的开发利用问题；第九章进行理论总结，并提出了有关建议。全书结构紧凑、内容丰富、资料翔实、论证有力，具有较高的学术价值和实践应用价值。主要供从事与植物油脂产业有关的林学、农学、生物学及分支学科的广大科技人员研究参考，可供湘西地区及其周边地区政府机构、社会团体的领导、管理人员及企业

技术人员在了解本地资源、发展特色植物资源产业时借鉴，也可作为从事有关学科教学、科研的高校教师和研究生的参考资料。

本著作是吉首大学武陵山区发展研究院/植物资源保护与利用湖南省高校重点实验室“武陵山区系列研究”著作之一，是课题组师生（注：研究生徐亮、张洁分别于2012年和2015年毕业，王冰清将于2019年毕业，陈加蓓、向晓媚在读）共同努力的结果。在课题研究和著作撰写过程中得到了吉首大学原副校长、植物资源保护与利用湖南省高校重点实验室顾问张永康教授，吉首大学原副校长、杜仲综合利用技术国家地方联合工程实验室主任李克纲教授的鼓励和鞭策；得到了武陵山区发展研究院院长张登巧教授、李汉林教授、陈廷亮教授，吉首大学科技处、学科处、研究生院及生物资源与环境科学学院各位领导的大力支持；得到了重点实验室李辉、麻成金、欧阳辉、张晓蓉、熊利芝、田向荣、周强诸位教授博士的热情帮助；研究生李贵、贺建武、杨斌，以及本科生周建军、肖艳、储昭福、杨珺、刘慧娟、钱凯歌、陈雅、陈洁、欧阳姝敏、孟文杰、徐恒、李宝连、邢晋等参与了部分调查或者实验工作，胡叠、邓珊珊、刘锦源协助整理部分资料。在著作出版过程中，得到了“吉首大学武陵山区研究”和“生态学”湖南省重点学科建设经费的资助；承蒙科学技术文献出版社孙江莉编辑提出了许多建设性意见，责任编辑张红付出了智慧与辛苦劳动；等等。在此一并表示诚挚的谢意！

承蒙油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室主任、南方木本油料利用科学国家林业和草原局重点实验室主任、湖南省林业科学研究院李昌珠研究员不辞辛劳，在百忙中抽出时间为本书作序，这既给本书增添了光彩，也是对我们工作的肯定与鼓励！

由于研究工作时间跨度较长和笔者能力水平有限，加上成书时间仓促，书中错漏和不当之处定当不少。望读者批评指正！

陈功锡

2019年4月于风雨湖畔

目 录

第一章 非粮柴油能源植物及其研究进展	1
第一节 非粮柴油能源植物相关概念	2
第二节 国内外生物柴油能源植物研究进展	16
参考文献	22
第二章 自然环境概况及研究方案	25
第一节 湘西自治州自然环境条件概况	25
第二节 本研究的目的意义、研究内容和拟解决的关键问题	30
第三节 湘西地区非粮柴油能源植物野外调查	33
第四节 非粮柴油能源植物的室内测定	37
第五节 非粮柴油能源植物的综合评价	40
参考文献	44
第三章 湘西地区非粮柴油能源植物资源调查分析	45
第一节 非粮柴油能源植物的多样性特征	45
第二节 非粮柴油能源植物的地理成分特征	71
第三节 非粮柴油能源植物的分布特点	75
第四节 小结	80
参考文献	81
第四章 湘西地区非粮柴油能源植物的含油量及理化性质	83
第一节 非粮柴油能源植物的含油量统计	83
第二节 非粮柴油能源植物籽油的理化性质	88
第三节 非粮柴油能源植物油脂脂肪酸组成	100
第四节 小结	107
参考文献	108
第五章 湘西地区非粮柴油能源植物的综合评价筛选	110
第一节 非粮柴油能源植物的产油潜能分析	110

第二节 非粮柴油能源植物的评价筛选·····	116
第三节 小结·····	124
参考文献·····	124
第六章 湘西地区部分常见非粮柴油能源植物油脂提取技术及成分探析·····	126
第一节 实验方法·····	126
第二节 华榛种仁油提取及油脂组成·····	134
第三节 山榿籽油提取及油脂组成·····	139
第四节 蜡梅籽油提取及油脂组成·····	145
第五节 野生桃种仁油提取及油脂组成·····	151
第六节 西南山茶种仁油提取及油脂组成·····	157
第七节 3种漆树科植物籽油提取及油脂组成·····	164
参考文献·····	171
第七章 湘西地区主要非粮柴油能源植物·····	174
第一节 裸子植物·····	174
第二节 被子植物——双子叶植物·····	179
第三节 被子植物——单子叶植物·····	299
参考文献·····	300
第八章 湘西地区非粮柴油能源植物资源开发与利用·····	301
第一节 湘西地区非粮柴油能源植物资源开发的方法体系·····	301
第二节 湘西地区非粮柴油能源植物资源开发的途径·····	306
第三节 湘西地区非粮柴油能源植物资源开发研究实例·····	320
参考文献·····	326
第九章 结论与展望·····	329

第一章 非粮柴油能源植物及其研究进展

能源是经济社会可持续发展的动力，也是人类赖以生存和进步的物质基础。目前，可供人类利用的能源有很多，其中化石燃料在现有能源体系中占主导地位，世界上约 85% 的能源是通过燃烧不可再生的化石燃料获得的（赵龙，2016）。据资料统计，以目前的开采速度计算，全世界已探明储量的化石能源中，石油仅可开采约 40 年，天然气可开采约 50 年，原煤可开采约 200 年（姚娟，2011）。然而，随着社会飞速发展和人口迅速增长，全球能源消耗逐年激增，能源危机逐渐蔓延到世界每个角落，成为制约社会、经济发展的严肃问题之一。面对这一严峻形势，开发可再生的生物能源已成为世界各国重要的战略选择。

我国作为世界上最大的原油进口国和第二大石油消费国，随着工业化、城市化的陆续推进，未来对液体燃料的需求量将不断增长。根据《BP Energy Outlook to 2035》的预测，我国将于 2032 年取代美国成为世界上最大的液体能源（原油、凝析油等）消费国，而石油进口依存度将从 2014 年的 59% 升至 2035 年的 76%，高于 2005 年美国的峰值（British Petroleum, 2016）。然而，我国石油、煤、天然气等常规能源严重不足，加上资源利用效率低下，能源资源短缺和环境污染问题十分突出。因此，在我国开发利用可再生资源，大力发展生物能源产业，对促进国民经济健康发展具有十分重要的战略意义。

生物能源产业与生物质能息息相关。生物质能的应用主要包括生物柴油产业与生物乙醇产业。目前，生产生物柴油的主要原料是含油的能源植物，很多国家大都利用粮食作物，如大豆、油菜籽和玉米等作为原料生产生物柴油，并取得了相应的成果。我国是一个人口大国，粮油供应原本就紧张，加上山地、高原和丘陵占国土总面积的 69%，大规模利用耕地来种植能源植物并不现实，完全以农产品为原料生产生物柴油也不现实。因此，亟须寻找一条适合我国国情的发展生物柴油的途径。

我国有丰富的植物资源，还有大面积的山区、沙丘可供栽种草本、乔灌木燃料油植物。选择非粮柴油能源植物作为生物柴油的主要原料，发展非粮柴油这条道路是完全可行的。2007 年，时任发展改革委副主任陈德铭说：“世界上用玉米生产生物燃料的做法比较普遍，我国的土地资源非常有限，将通过发展非粮植物获得生物燃料，做到不占用良田，不影响安全，即做到利用和开发能源植物不与人争粮食，不与粮食种植争地，不与经济生产争原料。”非粮柴油能源植物将成为我国未来主要的生物能源之一。为达到此目标，首先应当摸清我国非粮柴油能源植物资源的家底，获取翔实、准确的野外调查数据，筛选出适宜在我国发展的非粮柴油能源植物。同时，对潜力植物进行油性品质分析，为其成为优良的非粮柴油能源植物奠定基础。

第一节 非粮柴油能源植物相关概念

一、油脂

(一) 油脂的概念

油脂是油和脂肪的统称,是油籽中主要的化学成分,是油料在成熟过程中由糖转化形成的一种复杂的混合物,是一类天然有机化合物(烃的衍生物)。一般将常温下呈液态的油脂称为油(oil),呈半固态或固态的油脂称为脂(fat)。但两者的界限难于划分,因此,人们习惯上统称油脂。实际上,自然界中的油脂是多种物质的混合物,其主要成分是一分子甘油与三分子高级脂肪酸脱水形成的酯,称为甘油三酯(李昌珠等,2018)。

(二) 油脂的分类

油脂的分类方法很多,常用的分类主要有以油脂碘值分类、以油脂来源分类、以油脂的存在状态分类、以脂肪酸的组成和类型分类、以油脂的用途分类、以加工工艺分类、以产品的新国家标准分类、以干化程度分类等(李昌珠等,2018;林忠华等,2015)。

1. 以油脂碘值分类

可分为不干性油脂($IV < 80 \text{ g}/100\text{g}$)、半干性油脂($IV = 80 \sim 130 \text{ g}/100\text{g}$)、干性油脂($IV > 130 \text{ g}/100\text{g}$)。

2. 以油脂来源分类

可分为动物油脂、植物油脂和微生物油脂。其中,动物油脂包括陆地、海产等动物油脂,如生产用牛骨油、猪骨油等;植物油脂包括如菜籽油、花生油、大豆油等草本油料,以及油茶、油橄榄、油棕等木本植物油料;微生物油脂则包括如细菌、酵母菌、霉菌和藻类等油脂。

3. 以油脂的存在状态分类

可分为固态或半固态油脂、液态油脂。其中,大多数动物油脂呈固态或半固态,大多数植物油脂呈液态。

4. 以脂肪酸的组成和类型分类

可分为油酸和亚油酸为主的油脂、亚油酸含量较多的油脂、亚麻酸含量较多的油脂。

5. 以油脂用途分类

可分为食用油脂和工业用油脂。食用油脂主要用于烹饪、糕点、罐头食品等,还可以加工成菜油、人造奶油、烘烤油等供人们食用;工业用油脂是肥皂、油漆、油墨、橡胶、制革、纺织、蜡烛、润滑油、合成树脂、化妆品及医药等工业品的主要原料。

6. 以加工工艺分类

可分为压榨油和浸出油。压榨油根据加工过程中材料处理的温度又分为冷榨油和热榨油。冷榨油是指原料不经蒸炒等高温处理,而是在原料清理后直接压榨,压榨的出油温度在 60°C (或 70°C)以下。热榨油是指料坯经过高温蒸炒再进行压榨而成。压榨法的优点是产

品污染少且营养成分不易受破坏,但缺点是提取率低、成本高。浸出油是指将油料中的油脂用食用级有机溶剂萃取后制得。浸出油是经过脱溶、脱胶、脱酸、脱色、脱臭(根据油品质量等级,采用不同的精炼工序)后加工得到的成品油,其优点是提取率高、加工成本低,缺点是毛油中残留物质多。

7. 以产品的新国家标准分类

可分为一级油、二级油、三级油、四级油。油品级别只是在精炼程度上有区别,通常来说,由毛油精炼制得不同等级的成品油,一级油精炼程度最高。无论是一级油还是四级油,只要符合国家标准,消费者都可以放心食用。

8. 以干化程度分类

一些油脂在空气中放置可生成一层具有弹性而坚硬的固体薄膜,这种现象称为油脂的干化。根据各种油脂干化程度的不同,可将油脂分为干性油(桐油、亚麻籽油)、半干性油(葵花籽油、棉籽油)及不干性油(花生油、蓖麻籽油)3类。

(三) 植物油脂

1. 植物油脂的来源与化学组成

植物油脂广泛分布于植物类群中,通常以富含油脂的果实、种子、胚芽为原料,经预处理,如清理想除杂、脱壳、破碎、软化、轧坯、挤压膨化等,再采用机械压榨或溶剂浸出法提取,最后精炼即可获得油脂,如花生油、豆油、亚麻油、蓖麻油、菜籽油等。大多数植物油在常温下为液体状态,也有的呈固体状态,如椰子油、棕榈油、木油。

植物油脂的主要化学成分是脂肪酸甘油酯及微量非酯类物质,包括甘油一脂肪酸酯、甘油二脂肪酸酯、脂肪酸、磷脂、色素、三萜醇、脂溶性维生素等。植物油脂的化学组成取决于植物种类和生长地区。由于甘油分子结构式相同,油脂分子的不同脂肪酸组分及其与甘油分子结合的不同形式,决定了各种植物油脂的基本特性(表1-1和表1-2)。

表 1-1 油脂中常见脂肪酸组成

碳个数: 双键数	化学名		俗名	
	中文	英文	中文	英文
10:0	十烷酸	nonane-d-carboxylic acid	癸酸	decanoic acid
12:0	十二烷酸	acidimetric	月桂酸	lauric acid
14:0	十四烷酸	tetradecanoic	肉豆蔻酸	myristic
16:0	十六烷酸	hexadecanoic	棕榈酸	palmitic
18:0	十八烷酸	octadecanoic	硬脂酸	stearic
20:0	二十烷酸	eicosanoic	花生酸	arachidic
22:0	二十二烷酸	docosanoic	山萹酸	behenic
24:0	二十四烷酸	tetracosanoic	木焦油酸	lignoceric
16:1 (9c)	十六碳烯-9c-酸	hexadeca-9c-enoic	棕榈油酸	palmitoleic

续表

碳个数: 双键数	化学名		俗名	
	中文	英文	中文	英文
18:1 (9c)	十八碳烯-9c-酸	octadeca-9c-enoic	油酸	oleic
18:1 (11c)	十八碳烯-11c-酸	octadeca-11c-enoic	异油酸	isooieic
20:1 (9c)	二十碳烯-9c-酸	eicos-9c-enoic	花生油酸	gadoleic
22:1 (13c)	二十二碳烯-13c-酸	docos-13c-enoic	芥酸	erucic
18:2 (9c, 12c)	十八碳二烯-9c, 12c-酸	octadeca-9c, 12c-dienoic	亚油酸	linoleic
18:3 (9c, 12c, 19c)	十八碳三烯-9c, 12c, 19c-酸	octadeca-9c, 12c, 19c-trienoic	亚麻酸	linolenic

注: 引自《中国柴油植物》(龙春林等, 2012)。

表 1-2 常见植物油脂肪酸组成

单位:%

类别	16:0	18:0	20:0	22:0	18:1	20:1	22:1	18:2	18:3
	棕榈酸	硬脂酸	花生酸	山萹酸	油酸	二十碳烯酸	芥酸	亚油酸	γ -亚麻酸
菜籽油	3.49	0.85			64.40			22.30	8.23
大豆油	10.50	3.00	0.20		23.10	0.20		56.50	
花生油	10.90	2.70	1.10	1.60	46.80	0.70	0.30	35.30	0.10
棉籽油	28.33	0.89			13.27			57.51	6.50
葵花籽油	5.80	3.70	0.20	0.40	23.80	0.20	0.20	65.50	0.30
小桐籽油	23.60	5.40			50.10			20.20	
黄连木油	16.10	1.30	1.70		38.69			40.84	
光皮树油									
文冠果油	5.00	2.00			30.00	7.20	9.10	42.90	0.30
乌柏油	8.14	2.04			17.29			26.97	36.05
桐油	2.60	2.24			5.77	0.11	62.87	7.22	0.25
茶油	8.80	1.10			82.30			7.40	0.20
油莎豆油	14.99	2.56			69.32				13.11

注: 引自《中国柴油植物》(龙春林等, 2012)。

2. 植物油脂的燃料特性

植物油脂因植物种类、生长地区的不同存在着一些差别。从总体上看, 植物油脂的主要化学成分是脂肪酸甘油酯及少量非酯类物质, 含有碳原子、氢原子与氧原子, 脂肪酸有饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸。常见植物油脂主要有花生油、豆油、亚麻油、蓖麻油、菜籽油等。普通柴油由不同结构的烃分子构成, 这些分子仅含碳原子和氢原子, 分子呈长链状、枝状或