

油料植物资源培育与 工业利用新技术

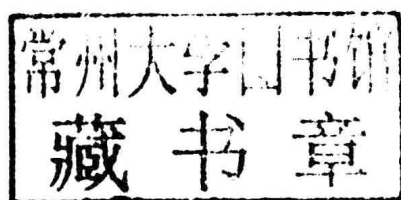
李昌珠 蒋丽娟 □ 主编



中国林业出版社

油料植物资源培育与工业利用新技术

李昌珠 蒋丽娟 主编



中国林业出版社

图书在版编目(CIP)数据

油料植物资源与工业利用新技术 / 李昌珠, 蒋丽娟主编. —北京: 中国林业出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-5038-9438-1

I. ①油… II. ①李… ②蒋… III. ①工业用油 - 植物油料 - 资源利用 IV. ①TQ645.8②TS222

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 030698 号

中国林业出版社·科技出版分社

策划、责任编辑: 于界芬

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

网址 <http://lycb.forestry.gov.cn> 电话 83143542

发行 中国林业出版社

印刷 固安县京平诚乾印刷有限公司

版次 2018 年 1 月第 1 版

印次 2018 年 1 月第 1 次

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 23.5 彩插 12

字数 572 千字

定价 98.00 元

《油料植物资源培育与工业利用新技术》

编写委员会

主 编：李昌珠 蒋丽娟

副主编：肖志红 张良波 李培旺

编 者(按编者顺序排列)：

李昌珠 湖南省林业科学院

蒋丽娟 中南林业科技大学

肖志红 湖南省生物油脂工程技术研究中心

李培旺 油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室

张良波 湖南省林业科学院

刘汝宽 油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室

张爱华 湖南省林业科学院

钟武洪 湖南省生物油脂工程技术研究中心

王光明 山东省淄博农业科学院

皮 兵 湖南省生物油脂工程技术研究中心

陈景震 油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室

吴 红 湖南省生物油脂工程技术研究中心

李 辉 油料能源植物高效转化国家地方联合工程实验室

向祖恒 湖南省龙山县林业局龙山县绿地林业开发有限责任公司

田 云 湖南农业大学

李二平 湖南省生物油脂工程技术研究中心

马江山 湖南省林业科学院

刘 强 湖南省林业科学院

程世平 平顶山学院

李 力 湖南省林业科学院

曹慧芳 长沙环保职业技术学院

夏 利 湖南省农林勘察设计院

序

F O R E W O R D



随着现代社会的发展和文明的进步，人们越来越清晰地认识到：石化资源面临枯竭是不辩的事实，而石化资源大量使用引起的生态环境问题也日渐突出，如石化燃料燃烧不完全产生的 PM2.5 导致的雾霾天气已经让人触目惊心。要实现社会经济的可持续发展，必须要寻求一种环保的、可再生的石化资源替代物。而我国拥有丰富的油料植物资源，现已查明种子含油量在 40% 以上的植物有 150 多种。宜林地面积有 5400 多万 hm^2 ，还有大量的盐碱地、沙地、山地以及矿山、油田复垦地等边际性土地约 1 亿 hm^2 ，大都适宜种植特定的油料植物。充分利用好现有的边际性土地资源发展工业油料植物产业，既能有效应对现有石化资源枯竭的危机，又能促进农村生态建设，还可以解决部分农民就业、促进农民增收，具有重要的现实战略意义。然而长期以来，植物油料资源以食用为主，其工业用途由于受到煤和石油化学工业的排挤而未能得到应有的发展。当今社会已经进入能源驱动社会，单纯依靠石化资源已无法支撑社会经济的可持续发展。油料植物的工业化应用已迎来历史性的发展机遇，并将为能源和环境问题的解决提供新的途径。

油料植物的主要用途包括油脂资源的直接食用和间接加工转化成工业产品。前期植物油脂的利用以食用油脂为主，并形成了相对成熟的基础理论和完备的技术体系。由于应用目标的不同，也导致了油料植物各个生产环节存在着一定的差异。虽然植物油脂的工业应用历史悠久，但由于长期缺乏有效的人力、物力和经费投入机制，一直没有形成系统的理论支撑体系。针对我国工业油料植物品种的多样化以及资源分布的区域特点，亟待开发出适地适树的低碳栽培技术、绿色高效的制油技术、油脂基能源和化工产品的绿色转化技术以及高附加值副产物利用技术，以形成整体技术，促进工业油料行业的科技进步和产业发展。《油料植物资源培育与工业利用新技术》一书抓住了这个历史性的机遇，把工业油料植物作为学科研究方向分离出来加以系统研究，为油料植物资源化利用树立了一个新的里程碑，并将大大推进我国工业油料植物产业和现代

林业的发展。

我国能源植物专家李昌珠研究员及其科研团队自 20 世纪 80 年代以来，长期从事工业油料的研究与开发工作，在工业油料植物领域的理论创新和技术创新方面积累了丰富的理论基础和实践经验。李昌珠研究员组织湖南省林业科学院和中南林业科技大学等科研机构共同编著的《油料植物资源培育与工业利用新技术》一书，集科学性、技术性和实用性为一体。该书在工业油料植物领域，构建了资源培育、油脂制备工艺技术与产品应用于一体的整体技术体系，并系统阐述了工业油料植物产业过程中如何保护生物多样性和森林生态环境平衡等一系列科学问题。

本书内容丰富，结构严谨，参编的相关专家长期在科研一线开展工作，实践经验丰富。本书的出版将为广大油料科研工作者和生产经营者提供参考。

中国工程院院士



2016 年 10 月

前言

P R O F A C E



植物油脂是食品、能源、化工、医药、纺织和皮革等工业行业的重要原料，是国家战略物质，在国民经济中起着不可替代的作用。

进入新世纪以来，积极应对气候变化、资源短缺、生态危机和能源短缺成为全球共识，绿色发展，创新驱动成为时代潮流和解决全球性难题路径。工业用油料植物产业兴起和快速发展，对于应对全球性问题、保障植物油脂持续供应、平衡食用和工业用植物油脂供需矛盾、培育新兴产业有重大意义：

植物油脂应用领域快速拓展成为油料植物发展强劲动力。植物油脂的主要用途是食用和工业化利用。进入新世纪以来，油脂用途拓展，植物油脂被广泛用于油脂基能源产品(生物柴油、生物航空燃料油和生物润滑油)、油脂基化工产品(表面活性剂、油漆、涂料)和油脂基材料产品。植物油脂市场巨大需求拉动下，以生产工业用途油脂、芳香油或类似烷烃类为主的工业油料植物产业成为相对独立的门类迅速发展和壮大。其中，高品质清洁燃料油，特别是生物液体燃料是应对气候变化、缓解能源解决问题的路径之一，也是催生工业用油料植物产业发展重要的内生动力。

培育新型植物油脂资源，发展新兴产业成为共识。欧美等发达国家，除了开展油菜、大豆和棕榈等传统油料作物在工业领域的研究和应用之外，投入了大量的人力、物力和财力选育和栽培产量高、含油率高、适应性强的新型油料植物、藻类和微生物油脂为代表的工业用油料植物资源并取得了令人瞩目成就。以非食用目的新型油料植物作为新型工业油料植物成为当前研究的主要方向和重点。新型、非食用目的资源的开发成功和规模生产应用，不仅可以缓解原油短缺的问题，培育新型油料资源、培育新兴产业，缓解清洁能源供应矛盾、拓展植物油脂应用领域满足市场多样化的需求，同时保护耕地、改善了生态环境。

油脂基化学品成为相对独立的工业产品门类，市场潜力巨大。2006年9月，在德国 Dresdun 召开的“第一届国际 IUPAC 绿色——可持续化学大会”上，

关于油脂化学品的开发利用报告(Karlheing Hill: Industrial Development and Application of Biobased Oleochemicals)比较系统地介绍了油脂化学品工业开发利用的现状和前景。报告称,绿色化学工业的发展需利用可再生的植物油脂资源。据统计,全球1960年油脂产品产量为3000万t,2004年则增至1.31亿t,这一增长趋势逐年加快。工业油料植物产业发展市场潜力巨大,从长远来看、依靠石油的化工产品将逐渐走向萎缩、而植物油脂是永不枯竭的可再生资源,具有巨大的发展潜力。

积极发展工业用植物油脂产业,可以缓解食用植物油脂供需矛盾:我国是人口众多、耕地资源有限、缺油少气、石油资源相对匮乏的国家,近年来随着国民经济的快速发展,植物油资源的供需缺口也在日益拉大。2000年以来,随着人口规模的增长和居民收入水平的提高,我国食用植物油消费总量稳步增长,2011年达最高值2595万t,比2000年增长44.3%,年均增长3.4%。2012年我国消耗植物油脂达2700万t,其中72.2%依赖进口维持供应,中国的植物油脂供应上升为国家安全。据统计,而我国经济命脉的石油工业,原油对外依存度也超过60%,能源安全形势日趋严峻。2007年9月4日,国家发改委发布《中国可再生能源中长期发展规划》。《规划》称,到2020年,以能源作物为主要原料的燃料乙醇、生物柴油等生物液体燃料将达到替代石油1000万t的能力。由于生物柴油、生物航空燃料油和生物润滑油的需求量大,使植物油市场竞争加剧,食用和化学工业间出现原料争夺竞争,这一竞争态势将进一步放大。

油料植物规模种植可以治理污染土壤、绿化国土。而再生的工业植物油脂基产品规模应用,可以实现节能减排,产业政策清晰、支持有力。一方面,污染土地逐年增加,国土绿化任务更加繁重,鼓励规模种植工业用油料植物。另一方面面临着石化资源过度使用日益加剧的环境恶化问题,极端气候不断出现,呼唤再生的植物油脂基产品规模应用。我国非耕地土地资源丰富,污染土地日益增长,种植工业用途的油料植物可以修复污染土地,生产非食用、工业用途的油脂产品,既能治理污染土地、美化绿化国土,生产出的原料又满足了市场需求,一举多得。

油料植物工业利用成为新兴学科方向,值得系统总结和深入研究,需要系统理论指导和先进技术体系正确引领产业健康发展。以油菜、大豆等为代表的食用植物油脂的开发应用有千年历史,研究领域已经形成了相对成熟的基础理论技术体系。但针对工业用油料的开发和研究方面尚处于起步阶段。食用植物油脂注重营养价值、食用安全、栽培经济价值,而以生产工业用油脂原料为目的工业用植物油料注重油料加工性能、加工成本和加工产品理化性质。由于应

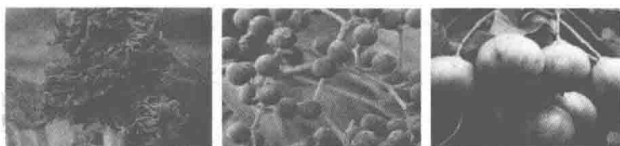
用目标产品的不同,也导致了油料植物各个生产环节存在着工艺技术、装备需求的差异。相对而言工业用油料植物研究滞后。由于长期没有进行系统、严格、持续的科学研究,学科发展定位滞后,一直没有形成系统的理论和工业技术支撑体系。近年来,植物油脂原料工业化应用,尤其是油料植物的能源化利用导致工业用油料植物的地位凸显,育种策略和育种产量指标、栽培技术和油脂制备、油脂转化技术,有别于食用目的技术体系,更加注重油脂脂肪酸结构、加工性能和加工成本,认为有必要对工业用途油料植物作进行系统的研究,并对工业油料领域的现有技术成果进行全面总结。本书针对我国国土辽阔、气候多变、油脂植物种类资源丰富的特点,以工业油脂基产品和技术的需求为导向,吸收、整理前人研究成果,结合团队创新技术基础,系统介绍工业用油料植物分类、评价、育种策略、育种技术、定向培育、绿色高效的制油技术、油脂基能源和化工产品的绿色转化技术以及高附加值副产物以形成整体技术,产品质量进行系统梳理和归纳整理,以便更好地推进工业用油料植物产业的健康持续发展。

编著者

2017年6月

目录

CONTENTS



序 前言

第一章 绪 论	1
第一节 油料植物相关领域的基本术语	2
一、油脂	2
二、油料、油料作物及油料植物	3
三、工业用油料植物	3
第二节 油脂及油料植物的分类	4
一、油脂的分类	4
二、油料植物的分类	4
第三节 工业油脂及其衍生物的应用范畴	5
一、油脂基化工材料产品的应用	5
二、油脂基能源产品的应用	7
三、其他行业应用	9
第四节 油料植物工业化应用面临的主要任务	12
一、油料资源保障体系的构建	12
二、工业油脂绿色生产与生物炼制	13
三、油脂基能源与新材料产品应用	13
四、副产物的高值化利用技术	13
第五节 油料植物产业的工业化应用前景	14
主要参考文献	14
第二章 油料植物资源评价	16
第一节 油料植物种质资源资源量评价	17
一、油料植物分类	17

二、油料植物分布	18
三、主要工业用油料植物分布	19
第二节 油料植物种质资源基础性状评价	21
一、植物学性状	21
二、生长发育习性	22
三、产量性状	23
四、品质性状	23
第三节 油料植物种质资源抗逆性评价	23
一、抗病性评价	23
二、抗虫性评价	27
三、抗寒性评价	29
四、抗旱性评价	30
五、抗盐性评价	33
六、重金属抗性评价	35
第四节 油料植物遗传多样性评价	38
一、油料植物资源遗传多样性鉴定	39
二、油料植物资源遗传多样性分析	44
第五节 油料植物开发潜力评价	51
一、油料植物资源潜力的评价方法	51
二、油料植物资源开发利用情况	54
主要参考文献	55
 第三章 工业用油料植物育种策略和新技术应用	58
第一节 育种策略	60
一、育种策略的概念	60
二、工业用油料植物的育种策略	60
三、育种目标	61
四、种质资源收集保存和评价	68
第二节 育种方法	70
一、实生变异的选择(驯化)	70
二、杂交育种	71
三、诱变育种	73
四、油料植物基因工程育种	76
五、植物育种模拟的原理和应用	79
第三节 主要工业用油料植物新技术育种应用	80
一、耐高温高湿蓖麻育种	80
二、工业用油料大豆	85

三、工业用油菜品种	87
四、光皮树矮化早实育种	90
五、油棕育种	92
六、麻风树育种	97
第四节 展 望	101
主要参考文献	103
第四章 主要工业用油料植物各论	107
第一节 麻疯树	107
一、生物学特征	107
二、生态学特性	107
三、主要品种	108
四、栽培技术	108
五、油脂理化性质	109
六、加工利用	110
主要参考文献	111
第二节 光皮树	111
一、生物学特征	112
二、生态学特性	114
三、主要品种	114
四、栽培技术	115
五、油脂理化性质	119
六、加工利用	121
主要参考文献	123
第三节 黄连木	125
一、生物学特征	125
二、生态学特性	126
三、主要品种	126
四、栽培技术	126
五、油脂理化性质	130
六、加工利用	130
主要参考文献	131
第四节 文冠果	132
一、生物学特性	132
二、生态学特性	133
三、主要品种	133

四、栽培技术	133
五、油脂理化性质	135
六、加工利用	135
主要参考文献	137
第五节 无患子	137
一、生物学特征	138
二、生态学特性	138
三、主要品种	138
四、栽培技术	139
五、油脂理化性质	140
六、加工利用	141
主要参考文献	141
第六节 油 桐	141
一、生物学特性	142
二、生态学特性	142
三、主要品种	142
四、栽培技术	144
五、油脂理化性质	150
六、加工利用	150
主要参考文献	152
第七节 乌 柏	152
一、生物学特性	152
二、生态学特性	153
三、主要品种	153
四、栽培技术	156
五、油脂理化性质	157
六、加工利用	157
主要参考文献	158
第八节 蓖 麻	159
一、生物学特性	159
二、生态学特性	160
三、主要品种	160
四、栽培技术	161
五、油脂理化性质	162
六、加工利用	163

主要参考文献	164
第九节 漆 树	164
一、生物学特性	164
二、生态学特性	165
三、主要品种	165
四、栽培技术	171
五、油脂理化性质	173
六、加工利用	174
主要参考文献	176
第十节 山苍子	176
一、生物学特性	176
二、生态学特性	177
三、主要良种	177
四、栽培技术	177
五、油脂理化指标	179
六、加工利用	180
主要参考文献	182
第十一节 续随子	182
一、生物学特性	183
二、生态学特性	183
三、主要品种	183
四、栽培技术	184
五、理化性质	184
六、加工利用	184
主要参考文献	185
第十二节 油 茶	185
一、生物学特性	186
二、生态学特性	186
三、主要品种	187
四、栽培技术	189
五、油脂理化性质	194
六、加工利用	196
主要参考文献	198
第十三节 油 棕	198
一、生物学特征	198
二、生态学特性	198

三、主要品种	199
四、栽培技术	199
四、油脂理化性质	200
五、加工利用	200
主要参考文献	200
第十四节 微 藻	201
一、生物学特性	201
二、种类	201
三、主要经济微藻	202
四、主要成分及其应用领域	203
主要参考文献	206
第十五节 芳香油植物	206
一、芳香油植物的概念	206
二、我国的芳香油植物	207
三、芳香油的化学成分组成	207
五、天然香料产品开发应用研究	211
第五章 植物油脂制取工艺技术	213
第一节 油料的基本性质与加工工艺技术选择	213
一、油料的基本性质	213
二、油脂制取与加工工艺流程的选择	216
第二节 植物油料的预处理	218
一、油料的清理	218
二、油料的剥壳及仁壳分离	218
三、油料的破碎与软化	219
四、油料的轧坯	220
五、挤压膨化	220
六、油料的蒸炒	220
第三节 油料制油技术(毛油)	221
一、制油理论	221
二、几种常用的制油方法及设备	227
第四节 油脂精炼技术与工艺	237
一、基本概念与理论	237
二、影响精炼油得率主要因素	240
三、几种典型的油脂精炼工艺	241
第五节 问题与展望	249
一、问题分析	249

二、技术发展趋势	249
主要参考文献	251
第六章 油脂基能源和化工产品	253
第一节 生物柴油	253
一、植物油料转化生物柴油的进展和原理	254
二、生物柴油清洁转化工艺技术	260
二、生物柴油清洁生产工艺	262
四、生物柴油产品质量	272
第二节 生物润滑油	284
一、生物润滑油基础油	286
二、润滑油生物质添加剂	293
三、环境友好生物质润滑油环境释放评价	294
第三节 表面活性剂	296
一、表面活性剂的定义和分类	296
二、结构对表面活性的影响	301
三、各类表面活性剂	301
第四节 植物油基涂料	313
一、植物油基涂料原料	313
二、植物油中的活性基团	313
三、植物油结构对聚合物性质的影响	314
四、涂料用油脂的种类和特性	314
五、油脂在涂料中的应用	316
六、油脂基涂料种类	316
第五节 植物油基环氧增塑剂	322
一、环氧化油脂	322
二、原理	322
三、常用原料性质	324
四、常用氧化剂及还原产物	324
五、环氧化油脂的制备工艺和方法	324
六、典型环氧油的制备	327
七、影响环氧化的因素	328
八、环氧化油脂的用途	330
主要参考文献	331
第七章 油料植物工业应用发展前景与展望	337
第一节 油料植物资源培育和工业利用现状	338

一、工业用油料植物供需现状分析	338
二、工业用油料植物资源状况	339
三、工业用油料植物利用现状分析	340
第二节 工业用油料植物发展存在的问题	341
一、原料供应问题	341
二、工业用油料植物利用技术存在问题	343
三、产业经营管理存在问题	344
四、政策障碍	344
第三节 促进工业用油料植物资源培育和利用措施	348
一、边际土地与工业用油料植物资源的调查和评价	348
二、工业用油料植物良种选育	349
三、工业用油料植物原料基地建设及规模化培育	350
四、工业用油料植物原料基地建设生态环境影响评价	351
五、推进“林油一体化”进程	352
六、完善相关政策与机制	353
第四节 展 望	353
一、工业用油料植物资源培育展望	353
二、工业用油料植物资源培育与利用新技术展望	354
三、副产物资源的高值化利用新技术展望	354
四、加强多学科配合	354
五、发展工业用油料植物综合效益显著	355
主要参考文献	356