



“十三五”国家重点图书重大出版工程规划项目
中国农业科学院科技创新工程资助出版

草本纤维生物精制

科学与工程

Science and Engineering of Herbaceous
Fiber Biorefinery

刘正初 孙庆祥◎主著

张外借

中国农业科学技术出版社



“十三五”国家重点图书重大出版工程规划项目
中国农业科学院科技创新工程资助出版

草本纤维生物精制 科学与工程

Science and Engineering of Herbaceous
Fiber Biorefinery

刘正初 孙庆祥◎主著

图书在版编目 (CIP) 数据

草本纤维生物精制科学与工程 / 刘正初, 孙庆祥主著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5116-3091-9

I. ①草… II. ①刘… III. ①草本植物-植物纤维-精制处理 IV. ①Q949.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 113802 号

责任编辑 闫庆健 陶 莲

文字加工 段道怀

责任校对 李向荣

出 版 者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010)82106632(编辑室) (010)82109702(发行部)
(010)82109709(读者服务部)

传 真 (010) 82106625

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 各地新华书店

印 刷 者 北京科信印刷有限公司

开 本 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 34

字 数 607 千字

版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷

定 价 298.00 元

《现代农业科学精品文库》

编 委 会

主 任：唐华俊

副主任：张合成 陈萌山 李金祥 李杰人

吴孔明 王汉中 万建民 梅旭荣

刘大群 贾广东

委 员：(以姓氏笔画为序)

王加启 王述民 文 学 方智远

印遇龙 任天志 刘 旭 孙九林

孙 坦 孙宝国 李 玉 李付广

李立会 步志高 沈建忠 张改平

张洪程 张新友 陆建中 陈巧敏

罗锡文 金宁一 南志标 骆建忠

秦玉昌 钱旭红 康 乐 康绍忠

喻树迅 谢华安 熊明民 戴小枫

《现代农业科学精品文库》

编委会办公室

主 任：任天志

副主任：张应禄 文 学 熊明民 林克剑

《草本纤维生物精制科学与工程》

编 委 会

主 著：刘正初 孙庆祥

参 著*：

彭源德	冯湘沅	段盛文	郑 科	成莉凤
邹冬生	张运雄	胡镇修	李兴高	金关荣
张黎云	戴小阳	彭克勤	吕江南	贺德意
郑 霞	杨喜爱	邓硕苹	罗才安	杨瑞林
徐君飞	王溪森	李 琦	程 毅	王瑞君
刘向华	杨礼富	周裔彬	谭秀山	李宝坤
顾佳佳	石 君	李 斌	石 岩	李 炫
殷莹莹	高海友	张居作	曾 洁	郭 刚
严 理	马 兰	龙超海	杨 政	

* 排序按以下规定列出：①列入科研项目计划任务书的主要成员、未列入计划任务书的研究生及其他人员；②列入计划任务书的主要成员，按参加科研项目的角色、数量和取得阶段性成果的等级、数量综合排序；③未列入计划任务书的研究生，按学位类别、从事科学研究的工作量、入学时间综合排序；④未列入计划任务书的其他人员，按从事相关研究工作取得阶段性成果的等级、数量综合排序

前 言

本书以刘正初连续 25 年带领创新团队成员和研究生不断努力,围绕“草本纤维生物精制科学与工程”开展研究的历程,总结所创“农产品加工微生物遗传改良与应用”这个新兴、交叉学科的学术思路和研究方法,描绘和打造“草本纤维生物物质产业”这个未来人类生活必需品支柱产业的发展蓝图、主攻方向,为进一步选育广谱性高效菌株、更加广泛开展草本纤维生物精制工艺研究,提供原始创新平台;为推动我国生物物质产业的技术创新和产业创新,缓解我国森林和石油资源短缺矛盾,保护生态环境,促进国民经济和社会可持续发展提供重大科学依据。

纤维是仅次于食物的第二大人类生活必需品,涉及“衣、食、住、行、知、信、康、乐”等人类生活要素的方方面面。例如,用于护体、保暖、打扮的服饰及家纺产品,是纤维制作的。食品的包装、储运以及卫生餐具离不开纤维。纤维在建筑材料、室内装饰材料、清洁卫生用品等方面的用途不胜枚举。人们出行所携带的晴雨伞、箱包等用品,乘坐用的交通工具(包括飞机、火车、汽车、自行车、轮船),使用的劳动工具(从象征体力劳动的鱼网到象征脑力劳动的电脑),无一不含有纤维制品。人们赖以获取知识和信息的书籍、报刊、通信工具多以纤维制品为主要载体。维护国家和个人信仰与尊严的国防装备、宣传舆论工具不乏纤维制品。保护人类健康的环保设施、消防器材、抢险物资、医疗器械或用品中纤维成分也很普遍。各类娱乐设施几乎都含有纤维,甚至用的是完整的纤维制品。

伴随人类社会发展与石油、森林及土地资源短缺矛盾日益突出,世界各国越来越关注草本纤维产业的发展。草本纤维来自以收获纤维素纤维为主的苧麻、红麻、黄麻、大麻、亚麻、剑麻、蕉麻、菠萝麻、罗布麻、芦苇、芒草、龙须草等草本纤维作物农产品(如经过农机具初加工的苧麻、红麻、黄麻、大麻韧皮,未经初加工的亚麻原茎、芦苇茎秆)以及纤维素含量超过 25% 的农作物秸秆(如麦秆)或类似废弃物(如蔗渣)。草本纤维作物适应性强(可利用荒山、山坡地、盐碱地、滩头、沙漠等边际土地种植,不与粮食作物争地)、纤维产量高($\geq 4.5\text{t}/\text{hm}^2$,尤其是可通过遗传改良提高营养体产量的潜力大),兼有防止水土流失(如苧麻、龙须草等多年生植物)、净化空气(消耗



$\text{CO}_2 \geq 25\text{t/hm}^2$) 等环保功能,被认为是极具发展潜力的速生、高产天然纤维资源。近30年,全球迅速掀起“生物质降解”研究的热潮,草本纤维生物质加工业已发展成为覆盖传统轻纺工业和现代生物质产业的制造业集群,利用草本纤维开发出许多替代石油、森林资源的新产品,包括各类纺织品、纸品、环保型纤维质材料、纤维质燃料等。有鉴于此,可以预测,草本纤维生物质产业可能成为人类生活和社会发展必需,类似于现行石油、钢材行业等支柱产业。

草本纤维伴着生25%以上的非纤维素,必须采用适当方法予以剥离,方可获得天然纤维素纤维,广泛用作纺织、造纸、生物质材料、生物质能源等制造业的基础材料。其中,部分组织型非纤维素(如苧麻、红麻、黄麻、大麻的麻骨,剑麻的叶肉)可以通过农机具初加工予以剥离;水溶型非纤维素(蛋白质、各种单糖及淀粉类多糖)可以通过吸水溶胀方式除去;以化学键直接或间接与纤维素相连的键合型非纤维素(包括果胶、半纤维素、木质素等),必须通过十分复杂的化学或生物化学反应过程方可剥离。本书作者将“剥离草本纤维生物质中非纤维素而获得直接用作纤维类制造业基础材料”的加工过程统称为草本纤维精制。包括纺织行业所称的“脱胶”,造纸行业的“制浆”,生物质材料产业的“预处理”,生物质能源产业的“糖化”等。草本纤维精制方法是推动或制约产业发展的技术瓶颈。早在数千年以前,我们的祖先发明了以“天然菌群随机性降解非纤维素”为本质的沤麻方法。考古发现,苧麻织物是我国秦、汉时期的主要日常衣料。江苏六合东周墓(约2800年前)出土的苧麻布,经纱密度24根/cm,纬纱密度20根/cm。湖南长沙马王堆1号西汉墓(2200多年前)出土的苧麻布,经纱密度37根/cm,纬纱密度44根/cm,可与丝帛媲美。这些史料至少可以说明:沤麻这种古老的草本纤维精制方法,是以“作坊”生产方式把草本纤维变成了重要纺织、造纸原料,对于人类利用草本植物纤维开发生活必需品具有不可磨灭的历史性贡献。然而,由于存在不适宜工业化生产、产品质量不稳定、与水产养殖业争夺水资源等问题,天然水沤制方法面临被时代淘汰的危险。

酆云鹤先生(1935)发明了以“化学试剂差异化水解非纤维素”为中心的化学脱胶方法,现已延伸到造纸行业的化学制浆、生物质产业的化学精炼或化学糖化。在改革开放浪潮推动和化学脱胶技术支撑下,我国苧麻加工企业由解放前的几家小厂和几十个作坊发展到高峰期的580多家,其中,脱胶能力在1000t/年以上的大、中型苧麻加工企业达到175家,纺纱能力达到120万锭。苧麻纤维制品达到九大系列300多个品种,除了闻名世界流传了数千年之久的“夏布”之外,多为苧麻纤维纯纺或与其他纤维混纺、交织产品,包括纱(线)、带、绳、机织物、无纺布和针织物。不仅如此,造纸行业、新兴生物质产业通过借用或改良类似方法,使我国草本纤维制造业获得了同步发展与壮大。毋庸置疑,化学脱胶方法的发明是一项涉及产业技术革命的成果,实现了草本



纤维制造业由作坊式向工厂化生产的转变。但是,存在消耗大量化学试剂和能源、环境污染严重,对纤维产生“淬火”变性而影响产品升级等负作用,该方法的应用前景受到严峻挑战,我国目前数以百计的中小企业因化学脱胶、化学制浆方法的“污染”问题而被迫关闭。近30年,美国、韩国、日本等国家发明了一些物理—化学耦合精炼专利技术,可以剥离部分组织型非纤维素和键合型非纤维素,但是,所获得的产品仅能满足生产可降解生物质材料的需要。

Hauman等(1902)从浸渍亚麻茎上分离到一些细菌以及英国牛津大学A. C. Thayson和H. J. Bunker(1927)提出“纤维素半纤维素果胶及胶质的微生物学”这个概念以后,国内外科学家前赴后继致力于菌种选育或复合酶制剂研究,试图找到一种以生物降解为特征的快速、高效草本纤维精制方法,摆脱沤麻这种落后的生产方式。环境友好、资源节约型草本纤维精制方法已成为全球共同关注的重大课题。直到1985年,孙庆祥等才发明过渡型苧麻细菌化学联合脱胶技术,后拓展为生物—化学联合脱胶/制浆/糖化方法(生物处理所剥离的键合型非纤维素不足50%,没有成为草本纤维精制的主体)。可以肯定,发明生物—化学联合脱胶方法的重大贡献,在于把现代生物技术引入草本纤维精制方法的研究与应用领域,为实现草本纤维精制方法由化学领域向现代生物技术领域的跨越,奠定了坚实基础。因两种作用机制并存,除不同程度存在污染严重等问题以外,还有工艺复杂、菌剂制备流程长或酶制剂成本高等弊端,以至于该方法难以转化为大规模生产力。综合分析110多年有关以生物降解为特征的快速、高效草本纤维精制方法的研究历程,发现一个制约其研究进展的关键科学问题,即缺乏功能齐全的菌株和怎样阐明复合酶剥离非纤维素的作用机理,以至于菌种选育和酶制剂复配缺乏科学依据。

在前人工作基础上,以刘正初为主持人、课题项目组长、首席专家的创新团队,针对上述关键科学问题,围绕“高效菌株→复合酶协同作用机理→工厂化应用生物精制工艺与设备”这条主线,经过25年连续不断的创新与完善,在国内外率先创立了以“关键酶专一性裂解非纤维素”为特征的高效节能清洁型工厂化草本纤维生物精制方法(不添加化学试剂),取得了现代生物技术在草本纤维精制方法上应用的突破性进展。从整体学术思路来看,刘正初主持承担的39项科研任务,紧扣“草本纤维生物精制方法”这个目标,全方位开展了微生物资源、微生物遗传改良、生物制剂制备、复合酶催化多底物降解机理、草本纤维生物精制工艺技术与装备、工业“三废”综合利用及其污染治理方法、生物精制纤维性能评价与利用等创新性研究。这些科研任务涵盖了国际合作、国家级(除“973”以外的各类科技计划)、省部级、企业委托4个层面以及基础、应用基础和应用研究三大领域的科技计划。在基础研究领域,主持了国家自然科学基金面上项目“红麻微生物脱胶机理研究”,科技资源平台专项课题“草本纤维作物脱



胶与草类制浆微生物资源整理整合与共享”。在应用基础和应用研究领域，主持了国家“863”计划目标导向课题“天然可降解草本纤维生物提取及其新产品开发技术研究”，科技支撑计划专题“清洁型草本纤维作物生物脱胶酶制剂研制与开发利用”，“948”专项计划重点项目“黄麻和红麻快速脱胶技术引进与消化”，高技术产业化专项课题“苧麻生物脱胶新工艺新设备研究”，公益性行业专项课题“草本纤维作物生物加工技术研究与示范”等。为实现这些研究目标，在麻类研究所历届领导关心和支持下，刘正初为首席科学家（专家），组建了2个创新团队：国家农业科技创新工程“农产品加工微生物遗传改良与应用”创新团队、中国农业科学院“麻产品加工”重点创新团队；构建了6个相关创新平台：农业部草本纤维作物生物学与加工重点开放实验室、湖南省草本纤维作物工程技术研究中心、湖南省草本纤维作物遗传育种与麻产品生物加工重点实验室、中国农业科学院农产品加工微生物资源保藏中心、草本纤维作物工程技术研究中心、草本纤维作物加工酶制剂中试车间。

通过高效菌株选育、复合酶协同作用机理和生物脱胶工艺技术与设备等一系列创新性研究，形成了整体技术发明成果——高效节能清洁型麻类工厂化生物脱胶技术。2014年11月，农业部科技发展中心，组织以中国工程院副院长刘旭院士为组长、罗锡文院士为副组长的专家组对该技术发明成果进行评价认定：该成果在生物脱胶技术原理、工艺流程、技术参数和工艺装备等方面取得了重大突破，实现了脱胶生产方式的重大转变，从根本上解决了产业发展的技术难题，对于我国以草本纤维为原料的纺织、造纸、生物质材料等产业具有重大推动或借鉴作用；经济、社会、生态效益显著；高效菌株的选育、复合酶催化机理等方面处于同类研究国际领先水平。该成果评价标志着刘正初带领创新团队开展草本纤维生物精制科学与工程研究取得了划时代意义的阶段性成果。

本书写作经历了一个艰苦而漫长的过程。20世纪90年代中后期，刘正初为申请中国农业科学院出版基金（院长基金之一），草拟了一份与孙庆祥先生合著一书的编写提纲，因为专著的名称和素材等难以取舍，几乎没有形成整章整节的书稿，结果是不了了之。2004年，为申请国家出版基金，在冯湘沅、郑科、段盛文协助（收集部分文字材料和图片）下，刘正初突击编写了拟出版专著80%以上文稿，按要求提交给分子生物学家范云六院士、复合材料学家黄伯云院士和土壤肥料植物营养学家刘更另院士审阅。3位院士审阅书稿后，出具了建议出版“草本纤维生物提取科学与工程”的推荐意见。因出版基金项目竞争激烈，未能获准。近十几年，刘正初指导团队成员和研究生做了大量有关生物化学与分子生物学、酶学等研究方面的补充和完善，充实了“科学”的分量；同时，已设计并驻厂指导建成了5个“高效节能清洁型草本纤维作物工厂化生物脱胶技术”示范工程，加速成果转化，扩大了“工程”的影响力。此外，在国际天然纤维组织（International Natural Fiber Organization, FAO 下设机构）秘书长 Dilip Tambyrajah



先生考察本实验室期间，作者与其进行专题学术交流，并决定采用 Biorefinery（生物精制）国际专业术语来替代 Bio-extracting（生物提取）。以此为基础，刘正初调整思路、确立科技内涵、修订专著文本，历时 10 个月，形成了《草本纤维生物精制科学与工程》初稿。

本书的合作著者——孙庆祥先生（本书主笔刘正初的硕士学位导师）自 1971 年在国内率先启动“麻类微生物脱胶技术”全方位研究，发明了“苧麻细菌化学联合脱胶技术”（1990 年度国家发明三等奖），形成了“黄麻红麻陆地湿润脱胶技术”（1994 年度中国农业科学院科学技术成果奖二等奖）等成果。虽然出于严格的“生物精制”概念要求没有把这些成果作为本书重点内容进行详细介绍或描述，但是，孙先生 20 多年的工作积累，为本书研究奠定了坚实基础，同时，孙先生开拓进取的创业精神，求真务实的科研态度及对本专著的贡献也是显而易见的。

此外，本着集思广益、确保专著质量的愿望，作为主笔经过广泛征求意见，才确定了本书参加撰写的人员名单，按学科专业，将初稿分章节提交撰写人员，进行认真修订，并整理成正稿。

刘正初

2016 年 5 月

目 录

上篇 概论

第一章 草本纤维及其伴生物	(3)
第一节 草本纤维农作物的主要生物学特性及其农产品特征	(4)
第二节 草本纤维及其键合型伴生物的组成与性质	(12)
第二章 草本纤维生物质加工业	(34)
第一节 草本纤维生物质加工业的发展历程	(37)
第二节 草本纤维生物质加工业的现状	(40)
第三节 草本纤维生物质加工业的发展趋势	(52)
第三章 草本纤维精制方法	(66)
第一节 天然菌沤制法	(68)
第二节 化学试剂蒸煮法	(71)
第三节 生物-化学或物理-生物-化学耦合法	(81)
第四节 生物精制法	(90)

中篇 科学

第四章 天然菌种的分离与筛选	(97)
第一节 分离	(98)
第二节 初筛	(104)
第三节 复筛	(114)
第五章 菌种资源多样性及分类鉴定	(121)
第一节 天然菌种生态系统多样性	(122)
第二节 微生物种群多样性	(129)

第三节 功能基因组遗传多样性	(135)
第四节 4 个代表性菌株的分类鉴定	(139)
第六章 菌种改良	(150)
第一节 质粒转化	(150)
第二节 紫外线辐射诱变	(153)
第三节 基因修饰	(168)
第四节 Mini-Tn10 转座子构建突变体	(185)
第七章 基因组文库构建及功能基因克隆	(191)
第一节 基因组文库构建	(191)
第二节 甘露聚糖酶和木聚糖酶基因克隆与表达	(199)
第三节 DCE01 菌株果胶酶基因克隆与表达	(212)
第四节 DCE01 菌株甘露聚糖酶和木聚糖酶基因克隆与表达	(225)
第八章 基因工程菌株构建	(228)
第一节 双基因串联表达	(228)
第二节 三个关键酶基因共表达	(244)
第三节 DCE01 为受体的基因工程菌株	(255)
第九章 功能菌株的胞外酶	(264)
第一节 T85-260 菌株的胞外酶	(266)
第二节 CXJZ95-198 菌株的胞外酶	(275)
第三节 CXJZU-120 菌株的胞外果胶酶	(291)
第四节 CXJZ11-01 菌株的胞外酶	(298)
第十章 草本纤维生物精制专用模式菌株的特征	(307)
第一节 DCE01 具有繁殖速度快且生存条件粗犷的特点	(308)
第二节 DCE01 具有独特的功能基因组表达系统	(311)
第三节 DCE01 菌株功能基因组同源共表达	(329)
第四节 DCE01 具有工艺成熟标志明显的特点	(331)
第十一章 草本纤维生物精制作用机理——“块状崩溃”学说	(334)
第一节 红麻微生物脱胶机理初探	(334)
第二节 生物制浆机理初探	(338)
第三节 草本纤维生物精制作用机理	(345)

下篇 工程

第十二章 草本纤维生物精制工程设计	(359)
-------------------------	-------

第一节	工程设计总则	(359)
第二节	工艺流程设计	(365)
第三节	工艺设备配套设计	(373)
第四节	生产管理设计	(376)
第五节	工艺废水综合治理方案	(379)
第六节	经济与社会效益预测	(383)
第十三章	草本纤维生物精制关键性工艺装备	(387)
第一节	菌种制备机组	(387)
第二节	农产品预处理机组	(390)
第三节	纤维质农产品接种发酵灭活装置	(393)
第四节	罗拉碾压与高压水冲洗麻机组	(393)
第十四章	草本纤维提取专用生物制剂制备工艺	(397)
第一节	固态菌剂制备工艺	(397)
第二节	液态菌剂制备工艺	(400)
第十五章	高效节能清洁型苕麻工厂化生物脱胶工艺	(408)
第一节	工厂化生产应用试验	(409)
第二节	工艺技术改进与示范工程建立	(422)
第三节	苕麻生物脱胶技术规则	(428)
第十六章	高效清洁型红麻和黄麻生物脱胶技术	(431)
第一节	红麻鲜皮大田生物脱胶工艺	(432)
第二节	红麻干皮工厂化生物脱胶工艺	(436)
第十七章	高效节能型龙须草生物制浆技术	(443)
第一节	龙须草生物制浆工艺中试	(444)
第二节	龙须草生物制浆工艺生产应用	(450)
第十八章	其他草本纤维生物精制工艺	(460)
第一节	罗布麻生物脱胶工艺	(460)
第二节	红麻干皮生物制浆工艺	(468)
第三节	麦秆生物制浆工艺	(472)
第四节	苕麻骨生物糖化工艺	(475)
附录一	成果汇总	(478)
附录二	刘正初主持承担/主笔申请承担科研任务汇总 (1988—2015)	(487)
附录三	刘正初培养研究生汇总 (1996—2017)	(491)
附录四	参考文献	(494)

上篇 概 论

第一章 草本纤维及其伴生物

纤维是人类赖以生存和发展的重要物资。纤维可以分为两大类，即天然纤维（图 1-1）和化学纤维，前者来自于种植、养殖业农产品，后者来自于石化产品。根据纤维组成成分的性质以及生产纤维物种的类别，可以把天然纤维分为纤维素纤维（植物纤维）和蛋白质纤维（动物纤维）。植物纤维来自于种植业，根据纤维发育的规律，人们进一步把纤维素纤维分为木本纤维（木材）、草本纤维（如草本纤维作物）和子实纤维（如棉花）；动物纤维来自于养殖业，人们同样可以进一步把蛋白质纤维分为皮、毛（含绒）和丝。草本纤维泛指来自于草本纤维质农产品（包括来自苧麻、红麻、龙须草、芦苇等农作物的纤维质农产品和玉米秸秆、麦秆等禾本科农作物秸秆及其类似废弃物）的一类纤维素纤维。

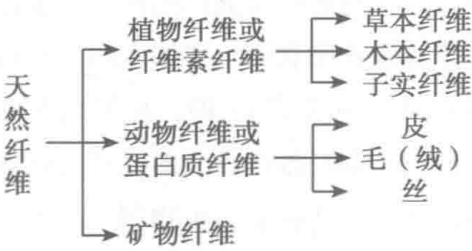


图 1-1 天然纤维分类

在自然界，植物属于物质世界这个大家族中的一员。利用植物生产的产品是多种多样的，纤维只是众多植物产品中的一种。根据习惯，可以把收获纤维为主要产品的植物统称为纤维植物。纤维植物可以分为草本纤维植物和木本纤维植物。草本纤维植物是指以收获韧皮纤维（包裹在植株韧皮部）或叶纤维（叶片中）为主要产品的一类草本植物。目前已经查明，可以提取纤维素纤维（韧皮纤维和叶纤维的总称）的草本植物涉及 19 科 37 属 300 多种。然而，作为草本纤维农作物大面积种植、收获的草本植物不足 100 种，如苧麻（荨麻科）、黄麻（椴树科）、红麻（锦葵科）、亚麻（亚麻科）、罗布麻（夹竹桃科）、大麻（大麻科）、龙须草（禾本科）、芦苇，等等。

伴随人类生活质量的提高以及石油、森林资源的短缺，世界各国都在寻求新的纤维



资源,尤其是高效利用草本纤维资源。近几十年来,俄罗斯、埃及等亚麻主产国正在推动亚麻产业发展;美国、日本、法国、比利时、意大利等发达国家正在发展红麻、大麻产业;印度尼西亚、马来西亚等国纷纷引种苧麻;菲律宾、巴西、新西兰等热带国家正在大力开发龙舌兰麻、菠萝麻等草本纤维的新用途;印度、孟加拉国正在加快黄麻服饰的研制。除此以外,国际上还兴起了利用纤维质农产品生产能源——燃料酒精的研究热潮。由此可见,国际上基本形成了“以麻补棉”和“以草代木”的态势。也就是说,人们清醒地认识到,苧麻、红麻、龙须草等草本纤维既是传统纺织、造纸工业原料,也是现代生物质产业最具发展潜力的基础材料。

人们之所以越来越重视草本纤维产业的发展,是因为:①草本纤维植物种类多、纤维形态和性质各异,能满足社会发展和人类生活必需品天然化、多样化的要求。②草本纤维植物适应性强,可以利用边际土地种植,不与粮食、棉花等大宗农作物争地,是种植业高效利用土地资源、确保粮食和生态环境安全的重要措施。例如,在荒山坡地种植苧麻、利用滩涂和沙漠种植红麻、在石灰岩和紫色岩荒山上种植龙须草不仅可以获得理想的经济效益,还有重大的恢复植被、改良土壤、防止水土流失等生态效益。③草本纤维植物增产潜力大,其产品来自植物营养体要比生殖体更容易获得丰产(即纤维产量高),成熟周期短(如第二季苧麻工艺成熟期 50 天左右),具有速生丰产的特点,生产成本低廉,农药化肥投入少,多年生植物的种子、种苗投入更小。

我国是苧麻等多种草本纤维植物起源并盛产的国家,也是石油、森林资源奇缺的国家,历来非常重视草本纤维资源的开发利用。我国大面积种植、收获的草本纤维农作物涉及苧麻、红麻、亚麻、龙须草、芦苇等 18 种,总体收获面积约 500 万 hm^2 ,不仅开发出十几个系列、上百个品种的草本纤维产品,形成了国际知名的草本纤维产业,而且率先发明了一系列草本纤维农产品生物脱胶、生物制浆工艺技术。

第一节 草本纤维农作物的主要生物学特性及其农产品特征

草本纤维农作物的种类很多,其生物学特性及其农产品的特征千差万别。本章简要介绍多年生草本纤维农作物(苧麻、罗布麻、龙须草)和一年生草本纤维农作物(红麻)的主要生物学特性及其农产品特征。

一、苧麻

苧麻的起源 苧麻(Ramie), *Bcelmevia nivea* (L.) Gand 属于荨麻科、苧麻属的多年生宿根性草本植物。它起源于我国,盛产于我国,是人类历史上最早用作服饰纤维的