

秸秆资源 生态高值化 理论与应用

陈洪章 等编著



化学工业出版社
现代生物技术与医药科技出版中心

秸秆资源 生态高值化 理论与应用

陈洪章 等编著



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

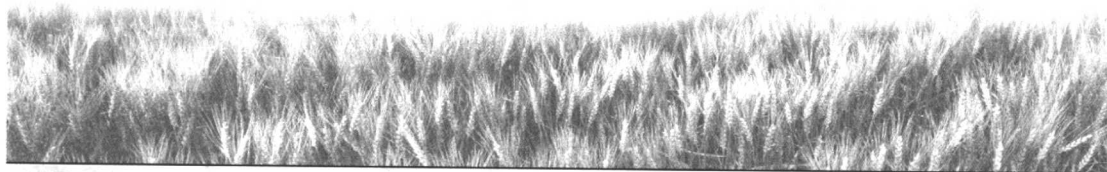
秸秆资源生态高值化理论与应用 / 陈洪章等编著. —北京:

化学工业出版社, 2006. 7

ISBN 7-5025-9071-4

I. 秸… II. 陈… III. 秸秆-综合利用-催化 IV. S38

中国版本图书馆CIP数据核字 (2006) 第075905号



秸秆资源生态高值化理论与应用

陈洪章 等编著

责任编辑: 傅四周 莫小曼

责任校对: 顾淑云 徐贞珍

装帧设计: [空間] 設計室

化学工业出版社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询: (010) 64982530, 64918013

购书传真: (010) 64982630

[http: // www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm × 1000mm 1/16 印张 18³/₄ 字数 346 千字

2006年9月第1版 2006年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-9071-4

定价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

我国有丰富的秸秆资源，年产量可达7亿多吨，但是由于这一可再生资源组分多、结构复杂，长期以来没有得到经济合理的开发利用。当前的一些秸秆利用技术存在着产品质量不稳定、原料利用率低、环境污染等问题，难以高值化利用量大、面广且具可再生性的秸秆资源。实际上，秸秆资源的高值化利用，对于解决我国秸秆焚烧、“三农”问题和作为促进农业可持续发展的重要工业原料具有现实意义，并对我国未来能源、材料、造纸、发酵、乃至整个化工行业的发展具有战略性的影响。

秸秆经济高效转化的研究，是一项系统工程，其中涉及分子生物学、微生物学、化学、生态工程、生化工程、化学工程、材料学等；也是一个世界性的难题，究其根本是因为原料结构的复杂性和缺乏高效转化手段。进一步探明“秸秆结构及其降解机制”是解决这一问题的根本前提。大量的研究证实，“原料预处理及其组分分离体系”的完善是解决这一问题的切入点；而“分级定向转化”是实现秸秆资源生态产业链高值化利用的基础。

根据国家的需求和秸秆的特点，按照“适度规模、高值产品、服务三农”的思路，瞄准秸秆转化过程涉及到的“秸秆组分分离、分级定向转化”的科学前沿问题，采用秸秆组分分离-纤维素酶解发酵与热化学转化的有机整合研究主线，中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室作为主持单位，联合山东大学微生物技术国家重点实验室、清华大学化学工程系、中国科学院微生物研究所、中国科学院研究生院、中国农业科学院、中国林业科学院等研究单位和高校共同申报了国家重点基础研究发展规划（973）项目“秸秆生态高值化关键过程的基础研究”（2004CB719700），于2004年得到国家科技部正式批准立项实施。该项目的实施将为具有独立知识产权的秸秆高值化技术提供科

学基础，促进我国秸秆生态产业链发展，并为解决液体燃料短缺和地球温室效应问题探索新的途径。

为了将该项目研究人员在研究过程中取得的成果与相关专业人员交流，特选集出版部分研究成果和该项目在调研相关问题时取得的新认识。本书首先介绍秸秆资源研究中许多共性问题；其次按秸秆的应用领域分别阐明秸秆利用的相关问题。

在本书编著过程中，参考了大量国内外前辈和同行们撰写的书籍和期刊论文资料。在此一并表示衷心的感谢。书中如有不当之处，诚请读者批评指正，并欢迎来函探讨。

陈洪章

2006 年 1 月于中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室

北京市中关村北二条 1 号（邮编：100080）

E-mail: hzchen@home.ipe.ac.cn

目 录

第 1 章 秸秆资源生态高值化研究概述	1
1.1 秸秆资源生态高值化研究的必要性.....	1
1.2 国内外秸秆资源生态高值化研究的现状和发展趋势.....	4
1.3 秸秆等生物质转化过程的共性关键问题	11
1.4 秸秆资源生态高值化研究的总体研究思路和主要研究内容	18
1.5 秸秆资源生态高值化研究进展概述	23
参考文献.....	32
第 2 章 秸秆组分分离.....	33
2.1 秸秆的结构与组成	33
2.2 稻草组分分离与生物转化	38
2.3 稻草的水解及其成分分析	51
2.4 棉秆热处理表面润湿性能	62
2.5 秸秆灰分分布及其利用	69
第 3 章 纤维素酶生物学及其生产方法	81
3.1 纤维素酶概述	81
3.2 小分子介体与木质素降解	94
3.3 膨胀因子与纤维素酶解.....	103
3.4 纤维酶解相关的植物细胞壁蛋白.....	110
3.5 羧甲基纤维素和结晶纤维素酶解动力学.....	119
3.6 纤维素酶生产方法概述.....	127
第 4 章 纤维素发酵生产乙醇	145
4.1 纤维素酶膜反应转化生产燃料乙醇.....	145
4.2 秸秆酶法转化生产乙醇.....	155
4.3 木质纤维素转化生产燃料乙醇.....	166

4.4	原生质体融合构建内醚糖乙醇发酵菌株.....	174
第5章	秸秆热解	187
5.1	生物质分级处理快速热解.....	187
5.2	生物质原料热化学转化过程解析.....	196
5.3	下行循环流化床快速热解脱灰预处理麦秸.....	213
第6章	秸秆转化生产饲料与肥料	225
6.1	汽爆秸秆混合固态发酵生产生态肥料.....	225
6.2	秸秆发酵生产饲料过程中的微生物多样性.....	235
第7章	秸秆转化生产可降解材料	253
7.1	醋酸纤维素的制备及其生产工艺.....	253
7.2	棉秆/杨木纤维的混合比例与脲醛树脂固化过程	261
第8章	秸秆资源生态高值化系统集成	267
8.1	秸秆资源利用途径与技术发展评述.....	267
8.2	秸秆资源利用基础数据库框架设计及资源数据库.....	277

第 1 章

秸秆资源生态高值化研究概述

陈洪章[●]

1.1 秸秆资源生态高值化研究的必要性

1.1.1 国家需求

基于笔者对秸秆焚烧、“三农问题”和生态农业的认识，确定秸秆资源生态高值化研究目标与内容。

1.1.1.1 解决秸秆就地焚烧的需求

我国是农业大国，每年可产生秸秆 7 亿多吨。近年来，随着我国农村生活能源结构的变化与集约化生产的发展，秸秆逐步由一种传统的做饭、取暖烧柴的原料演变成了一种无用的负担物。秸秆就地焚烧日趋严重，产生的烟雾已成为一大社会公害。中央及地方各级政府曾三令五申，秸秆焚烧却屡禁不止。其原因何在？秸秆作为劣质燃料被煤或电力取代、作为肥料被化肥取代、作为耕牛食草被农业机械取代，因此，秸秆作为传统意义上的燃料、肥料、饲料被排除于农业生产的内部循环之外。

另一方面，秸秆大量直接还田不现实，也没有必要。因为占秸秆总量 15% 的秸秆根茬还田，即可以达到土壤有机质的平衡。我国人多地少，耕地不能采取轮耕制，将未经处理的干秸秆直接还田而没有发酵处理时间，没腐烂的秸秆不但起不到肥田作用，反而影响作物出苗率。就地焚烧经济、省事、不影响农时。

秸秆焚烧污染问题的出现，表明我国现有工业方式还无法解决秸秆被替代后的出路问题。因此，将秸秆作为一种生产农用产品的重要工业资源，研

[●] 中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室（北京，100080）。

究其转化的基础问题,可为解决我国秸秆就地焚烧问题提供可行的技术选择。

1.1.1.2 我国“三农问题”的需求

将秸秆作为一种宝贵的工业原料,使造成污染的秸秆在农村就地高效转化为高值化产品,实现产业化的同时还可吸纳农村劳动力,将给农民带来可观的收入(0.5t干料/亩^①,增收150元/亩)。如能转化我国每年7亿吨秸秆的50%,这将是一个巨大的新兴产业。因此,在我国开发利用秸秆使其转化为农用产品,不仅解决秸秆的污染问题,而且与我国“三农问题”密切相关。

1.1.1.3 我国农业可持续发展与生态农业发展的需求

在农业社会里,农业生产是社会生产力的全部,人类的衣、食、住、行全部由农业提供。第二次世界大战之后,以生产劳动全盘机械化、大量使用化学肥料与化学农药为主要特征的“石油农业”成为农业现代化的代表。但很快就发觉“石油农业”与石油资源、地球环境之间产生了矛盾。为此美国密苏里大学 Abrecht 教授提出了“生态农业”概念。生态农场、生态村、生态乡如雨后春笋般出现。30多年过去了,这些试点还停留在概念设计阶段:只是消极地使用天然有机肥等而不使用动力机械和化学农药,其劳动生产率无法与石油农业模式相竞争。

高级阶段的生态农业应该具有比石油农业更高的综合劳动生产率,以可再生清洁液体燃料代替石油作机械动力,以更高效生物有机肥代替化肥,以无污染生物农药代替化学农药。只有在这个新的基础上建立起来的生态农业新模式才能取代传统的石油农业模式。如能创建以秸秆为原料的新型生态工业,实行种植业、养殖业、农副产品加工业、秸秆生态工业四业相结合的高级阶段生态农业的生产模式,就有望形成比石油农业劳动生产率更高的、可持续发展的新型农业。在秸秆生态工业中,农用生物柴油燃料、寡糖植保素生物农药、秸秆有机肥、秸秆生物饲料等都是秸秆转化的产物。由此可见秸秆生态产业链是高层次生态农业立体结构中起承上启下作用的关键部分。

我国是一个人口大国,农业在国家发展中始终占第一位。现在农业人口仍占80%,不可能走西方石油农业的老路,人口也不应该像工业社会那样集中在大城市里,而应该创建农业可持续发展新模式。

① 1亩 = $\frac{1}{15}$ hm² ≈ 666.67 m²。

1.1.1.4 中长期战略发展的需求

秸秆是一类木质纤维素,木质纤维素占地球植物生物量的80%,除少量被草食动物间接消化利用外,绝大部分以微生物无用分解方式进入自然生态循环系统。如能将这种无用分解途径变为有用分解途径,则对缓解人类面临的粮食、能源、环境三大危机,无疑具有划时代的意义。

由绿色植物利用光合作用所合成的有机物,其中80%左右是纤维质原料,不易被动物消化吸收,而必须通过降解纤维质原料的微生物来完成分解。使大部分植物残体进入土壤而完成能量与物质循环,这是一个极缓慢而人类又无法直接获得所需要能量和物质的过程。若经人工选择的营养级生物种群将秸秆转化为多种可供人类利用的产品,无疑对人类生存发展是一个贡献。

秸秆等木质纤维素的纤维素和半纤维素都是多糖聚合物,水解后可生成葡萄糖、木糖等糖类。这些糖类经微生物发酵转化为乙醇、丙酮、乙酸等液体燃料和化工原料;也可作为抗生素、有机酸、单细胞蛋白(SCP)酶制剂的发酵原料。木质素的单体为苯丙烷衍生物,可进一步转化为其他化工产品,用作有机化工工业的基本原料。

我国石油资源短缺,煤炭利用环境压力重,政府对于木质纤维素原料的开发给予极大重视。在《中国二十一世纪议程——中国二十一世纪人口、环境与发展白皮书》中已明确指出:中国要实现经济快速发展,就必须将开发利用新能源和再生资源放到国家能源发展战略的优先地位,加强生物质(生物量)能源的开发利用,开发利用生物质生产清洁液体燃料的技术。因此,运用交叉学科优势,首先进行秸秆资源高值化的研究是符合我国国情、资源特点和中长期能源需求的重大课题。

1.1.2 国家需求与科学问题的统一

尽管我国对于秸秆的利用研究已有半个世纪,但秸秆转化过程机制尚不清楚、尚未建立比较完整的具有秸秆特性的转化过程理论和技术体系。秸秆资源生态高值化研究将对秸秆高效转化过程进行科学研究,确定一个以可持续发展思想为基础、以科学理论与高新技术路线为支持、在经济上可行的优化秸秆高效转化的方案。

中国人多耕地少,能源资源短缺,秸秆焚烧污染以及三农问题等为秸秆高值化的基础研究提出了紧迫的社会经济需求。因此,在中国系统地开展秸秆高效转化过程的基础研究,不仅是一项基础性和战略性的国际学术前沿问题,还具有重大的挑战性和创新性以及有利的自然和社会经济背景。秸秆资源生态高

值化研究的实施,通过对科学问题的认识,找到解决关键技术的根本方案,也将促进纤维素资源转化过程的分子生物学和生态过程工程的发展,对培养和造就一批具有国际竞争力的科研队伍将发挥重要作用。

如可进行适度规模开发,则对平原地区一个 50 万人口的农业县,秸秆收集半径在 10~20km 左右,年产秸秆 50 万吨,可建设年产 5 万吨农用燃料、7~10 万吨饲料、10~15 万吨肥料及万吨生物农药生态产业群。因此,秸秆生态高值化关键过程基础研究的突破将对我国解决秸秆焚烧、农民增收和农业可持续发展的问题做出巨大贡献。

1.2 国内外秸秆资源生态高值化研究的现状和发展趋势

秸秆等木质纤维素作为一种重要的可再生资源,国内外从不同学科角度对其进行了比较全面的研究。已经产业化的造纸工业、化纤工业等是以“单一组分”的物质为对象开发,浪费了资源,污染了环境。大多秸秆等木质纤维素资源的开发利用至今未能在技术经济和环境方面获得具有竞争力的突破。20 世纪 70 年代初的石油危机和随后生态意识的提高,使人们重新认识秸秆等木质纤维素可再生资源在未来经济体系中的地位和开发生态高值化产业链的必要性,秸秆等木质纤维素综合利用技术和基础理论研究也取得了更深入的发展。

1.2.1 国内秸秆利用技术工作基础和存在的问题

1.2.1.1 秸秆高效转化利用的难题

秸秆及木质纤维素在自然生态循环中无时无刻不在发生转化利用过程,但在经济上是一个无效的循环过程。而从生态学、酶学和化学酸水解的角度看,在工艺原理上,秸秆及木质纤维素也是不难降解成小分子的,但一旦变成工业生产,就会出现技术经济难以过关的问题。虽然原料易得且便宜,但至今未能实现用秸秆及木质纤维素高效转化利用的美好愿望。

由于西方发达国家大多实行耕地轮耕制,秸秆直接还田或直接燃烧,因此,对于秸秆的利用技术研究较少,主要侧重于木材及其废弃物的转化研究。而我国针对秸秆先后开展了沼气发酵和秸秆气化。目前在沼气发酵中,秸秆转化率很低,而且严重影响产气率,技术不稳定,实际上主要依靠家畜和高浓度有机废弃物生产沼气;而秸秆气化集中供气系统产生的燃气热值低、焦油问题严重、投资大、运转时间短、成本高,在国内主要还是依靠国

家政策补贴进行推广。另一方面,国内对于秸秆的发酵乙醇和热化学液化也开展部分工作。在秸秆发酵乙醇研究方面,主要沿用木材处理或淀粉发酵乙醇技术路线,侧重于酸水解或液体发酵纤维素酶“完全”水解纤维素为葡萄糖、进而发酵乙醇的思路,研究结果表明昂贵的“完全”酸水解或酶水解难以实现完全利用秸秆中的木质素、半纤维素和高结晶度纤维素的理想,致使生产成本高,难以适应工业化的要求。而秸秆直接热解得到的液体产物中含有大量的酸类(如乙酸)产品,木材快速热解则以醇类和酮类产品为主。这表明,秸秆中的高灰分含量以及半纤维素中较高的乙酰基影响了秸秆热解过程产生液体产物的成分。

总之,目前,秸秆及木质纤维素资源高效转化是一个世界性的科技难题,现有技术的投资和成本均很高,距大规模经济实用尚有相当大的距离,需要进一步从基础研究开始寻找新的突破口。

1.2.1.2 技术经济关久攻不破

造成秸秆及木质纤维素转化迟迟不能走上产业化的原因主要有以下几点:①组分利用单一,即只强调单一纤维素组分的利用,其他组分作为废弃物,既造成环境污染和资源浪费,又严重影响其他组分转化利用,如秸秆气化中焦油问题,热裂解液化中酸性物质大量产生问题,酶解纤维素中木质素机械屏蔽及纤维素酶无效吸附问题等。主要缺乏秸秆及木质纤维素组分合理有效的拆分方法。②转化方法单一,由于缺乏天然固相有机物料分层多级利用的理念,生物法或热化学法都无法实现秸秆及木质纤维素的纤维素、半纤维素和木质素三组分同时利用,需要在适用于固相复杂物料过程工程理论上有新的重大拓展,带动秸秆转化关键过程的突破。③从秸秆及木质纤维素转化来讲,由于纤维素酶解转化的环境友好等优势,该法是研究的焦点。纤维素酶及其纤维素酶降解已经有100多年的历史,目前纤维素酶水解难、纤维素酶解发酵效率低,纤维素酶的分子转换率较淀粉酶低两个数量级。问题是缺乏获得高效纤维素酶发酵菌株的有效途径,应强化纤维素酶解分子动态构效关系的基础研究,进而为分子定向选育提供新途径。④套用或沿用已有淀粉发酵和木材的技术,缺乏系统技术集成和相配套技术的研究。如在原料预处理上,套用造纸工业的污染技术或酸水解的传统技术,造成原料预处理费用高和污染环境;在纤维素酶和酒精发酵上套用淀粉发酵酒精的工艺和设备,使得纤维素酶用量大,酒精转化效率低,投资大,酒精直接生产成本高。

总之,研究工作多集中在秸秆简单利用技术层面上,缺乏基础性、整体性和系统性,造成我国秸秆的利用技术含量低,转化的产品长期面临一系列技术

和质量问题。

1.2.1.3 国内秸秆利用研究的基础

国内,许多单位从各自学科分别进行了研究,取得了一定进展和基础。

(1) 秸秆原料预处理 纤维素的预处理技术研究是纤维素科学研究的重要组成部分,它直接影响到纤维素制品和纤维素功能材料的性质及使用性能。除了传统的化学试剂处理、机械处理和辐射处理技术外,蒸汽爆破和超声波技术具有处理时间短、减少化学药品用量、无污染、能耗低等优点,是很有发展前途的预处理新技术。

华东理工大学在稀酸水解工艺基础上,开发了以稀盐酸和氯化亚铁为催化剂的木材锯末酸水解工艺,他们还进行了葡萄糖和木糖同时发酵的研究,转化率在70%以上。

近年来,中国科学院过程工程研究所开展了纤维素原料组分分离的研究,认为十几年的天然纤维素预处理技术的研究及实践表明过分强调利用单一组分,严重影响了纤维素原料利用的健康发展,甚至会走向自我否定。提出了秸秆一套组分分离工艺路线,为进一步降低组分分离的成本,充分利用各组分提供新思路。

(2) 半纤维素与木质素 半纤维素与木质素是木质纤维素原料的重要组成部分,如何充分利用半纤维素与木质素是生物量全利用的关键之一。

山东大学和中国科学院微生物研究所主要工作集中在酿酒酵母木糖酒精的代谢工程方面。在实验室菌株中探讨了木糖代谢基因在酿酒酵母细胞表面的表达。木寡糖在保健品领域的应用已经得到广泛的认可。中国科学院过程工程研究所发明了秸秆无污染汽爆技术,利用秸秆中半纤维素生产低聚木糖新技术,获得了中国发明专利授权;南京林业大学开发出了低聚木糖饲料添加剂。另外,木寡糖农药的研制在水果、蔬菜种植和病害防治上已经取得了明显的效果。

木质素是数量上仅次于纤维素的第二类天然芳香族高分子化合物。木质素是由苯丙烷单元通过醚键(约占2/3)和碳-碳单键连接在一起的具有三维体型结构的天然酚类无规共聚物。南京林业大学、中国科学院广州化学研究所在木质素应用中取得了一定进展。

在工业上,曾用甲醛和木质素聚合,得到与传统的酚醛树脂性质相似的聚合物,但是甲醛易污染环境,回收困难,且成本高。而且甲醛与木质素的缩合反应难以控制,所以目前工业中已不采用。酶催化聚合酚系树脂的另一发展是用酶催化木质素-酚共聚。木质素-酚共聚物可以用用途广泛的酚醛树脂的替

代品。这种共聚物的某些性能优于传统的酚醛树脂。用酶催化聚合方法生产木质素-酚共聚物,避免了酚醛树脂生产中对环境的污染,而且所用木质素是其他工业的副产物,亦即用廉价的木质素替代了高价的酚类。青岛科技大学用辣根过氧化物酶催化聚合酚与木质素共聚取得了初步结果。中国科学院过程工程研究所用固态发酵微生物发酵过氧化物酶,其活性高于辣根过氧化物酶,可使酶的生产成本大幅度降低,为其工业化应用奠定了基础。

(3) 纤维素酶与纤维素酶解机制的研究 21世纪50~70年代,中国科学院微生物研究所、中国科学院上海植物生理研究所、山东大学以及一些农业科研院校主要集中于高活性纤维素酶菌种筛选、秸秆糖化饲料、沼气发酵、秸秆气化技术等方面的研究。80年代以后,只在纤维素酶解等方面开展零星的工作。

山东大学筛选出一批高产纤维素酶菌株,并系统研究纤维素酶组分及其协同酶解机制。中国科学院广州化学研究所系统研究了木质素酶学及其降解木质素的机制。中国科学院生态环境研究中心和浙江大学在美国普度大学(Purdue University)合作的基础上,开展生物质发酵制备内醚糖和纤维素酶发酵产业化开发工作。

中国科学院过程工程研究所(原化工冶金研究所)生化工程国家重点实验室从1986年开始就将纤维素生物转化确定为重点研究方向,在固态发酵纤维素酶研究领域积累了雄厚的基础。

由于极端酶超强的稳定性和活力,不仅为生物的催化作用和转化作用提供了新的机遇,同时也吸引了许多生物技术应用于极端酶的研究领域。利用基因重组技术、突变技术、克隆技术以及基因序列分析,进一步探讨极端酶的结构与功能关系,并对普通酶和极端酶进行优化和改造,是目前极端酶生物技术的主要研究方法。具有高热稳定活性的纤维素酶对晶态纤维素进行高效水解在生物工程中的应用前景广阔。已有一些来自超嗜热微生物的纤维素酶的基因被克隆,重组酶也得到纯化和鉴定。山东大学和中国科学院微生物研究所已进行相关方面的研究。

(4) 固态发酵的发展 深层液体发酵产生大量的废水及其高能耗正阻碍着它的进一步发展。由于许多代谢产物(如酶)的产量在固态发酵过程中比较高,而在液体发酵中却明显下降,尤其是对生物量及初级代谢产物的发酵生产,固态发酵表现出众多的优越性,如无废水排放、生产效率高、设备投资少、能耗低、原料价格低、生产成本低等特点。随着对固态发酵技术的不断深入研究,越来越多的生物制品逐步采用固态发酵以替代液态发酵生产。

中国科学院过程工程研究所研制出的压力脉动固态发酵新技术在严格意义上达到了纯种培养与大规模产业化要求。应用范围涉及到抗生素、酶制剂、有机酸、生物农药和生物肥料等。

(5) 热解 在生物质的气化和液化方面,中国科学院山东省科学院能源研究所(山东能源所)、中国科学院过程工程研究所、中国科学院大连化学物理研究所、中国科学院广州能源研究所、华东理工大学、浙江大学、清华大学等单位也做了大量的研究工作,取得了初步的研究成果。中国科学院山东能源研究所在推广秸秆生物质气化集中供气方面开展了较系统的工作,但目前技术推广还要依靠政府补贴支持。中国科学院广州能源研究所在生物质气化发电方面有一定的积累,并且得到了应用。在生物质转化液体燃料方面,国内虽然有一定研究,但其规模小且缺乏系统性、深度和创新性,其中还有许多问题未得到解决。近年来由于各级政府的大力支持,以固定床下吸式气化炉为代表的秸秆气化技术已在不少农村地区得到推广应用,全国现已建成秸秆气化集中供气站200多处,取得了良好的社会效益,但也存在不少问题。据不完全统计,有一半以上的气化站处于停产或半停产状态。造成这一状况的原因是多方面的,其中一个重要原因就是经济效益不佳。

在生物油的获得方面,国内有些单位发表了许多研究报道(如浙江大学、中国科学院广州能源所、华中科技大学和中国科学院过程工程研究所)。直接用秸秆生物质热解获得的生物油,与常规车用油相比,其热值很低,同时固体含有率高,黏度大,挥发性差,成分复杂,产生大量酸性物质,化学性质不稳定。因此,如果期望将生物油用作车用燃料,它的改质过程比较复杂,收率低,成本高。

(6) 微生物发酵液体燃料 目前,世界上60%的乙醇是利用粮食或糖蜜发酵生产的,年产量达1000万吨。但利用粮食生产燃料乙醇现存在许多问题,故期望利用纤维素的糖化发酵生产乙醇。由于乙醇的辛烷值高,而十六烷值低,只适合于添加到汽油中,不适合作为农用柴油燃料,且其生产成本以及规模生产等尚有许多难题,不适用于农村秸秆就地加工方式。

生物柴油(bio-diesel)是生物质能最重要的液体产品之一,其主要成分是高级脂肪酸甲酯,其性质与普通柴油非常相似,具有能量密度高、易生物降解、安全无毒、含硫量低和废气中有害物排放量小等优点,可以作为优质的石油柴油代用品。目前生物柴油主要是用化学法将动物油脂、植物油脂与甲醇或乙醇等低碳醇在酸性或碱性催化剂和高温下进行转酯化反应生产生物柴油。但由于动植物油脂资源非常有限,造成生产成本过高,限制了生物柴油产业的发

展；如何以木质纤维素为原料，用微生物发酵微生物油脂制备生物柴油，成为秸秆综合利用研究的重要课题。中国科学院大连化学物理研究所等对此进行初步探索。另外，过去对于微生物油脂研究集中在生产功能性油脂（如富含多不饱和脂肪酸的油脂）方面。国内中科院等离子体研究所余增亮研究员、山东大学施安辉教授、武汉工业学院何东平教授、福建师范大学黄建忠教授等从生化工程的角度对一些产油微生物生产多不饱和脂肪酸进行了研究。

1.2.2 国外最新进展和发展趋势

在生物质能源利用方面，许多国家都已制定了大型的开发研究计划，如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的乙醇能源计划等。其中巴西利用淀粉或糖蜜生产燃料乙醇最见成效，现在燃料乙醇已占汽车燃料总销售量的50%以上。

1.2.2.1 生物法

20世纪70年代初的石油危机曾将纤维素原料生产酒精的开发研究推向高潮。美国、前苏联、加拿大、印度都进行过规模性工业实验，大多采用酸水解流程。美国陆军Natick流程，加州大学伯克利分校流程的试验规模达1万吨/年；印度试验了酶解酒精发酵流程；前苏联曾采用酸水解木材大规模生产单细胞蛋白和酒精，但技术经济指标均未获得决定性突破。到80年代随着石油价格的下降，开发研究转入低潮。近年来的绿色浪潮又将之推至前沿，美国能源部决定从1998年起，将可再生能源的研究拨款从每年2亿多美元猛增至6亿多美元。由于稀酸或浓酸水解方法存在着污染环境、易产生有害物质和难于综合利用等问题，国外也逐步转向用纤维素酶水解方法的研究。在纤维素酶水解方法中，原料预处理的成本和环境友好性、纤维素酶生产成本及用量、乙醇发酵渣有效利用是三个关键技术。

对于生物质的沼气发酵主要侧重于有机废弃物和家畜粪便转化，真正对纤维素原料转化沼气的研究很不够；至于生物制氢才刚刚起步，大家关注的是有机废水的生物制氢研究。

1.2.2.2 热化学法

欧洲和美国在生物质气化发电的研究与开发方面处于领先水平，但长期以来有关生物质燃气净化的研究一直没有突破，制约这一技术的发展和商业化。生物质转化的液体燃料便于运输和贮存，因此，生物质液化制燃料油已成为最有开发潜力的技术之一，欧美等发达国家做了大量的研究工作。至1984年，

国际能源署 (IEA) 组织已完成起始工作, 即生物质液化实验装置 (BLTF); 第二阶段从 1986 至 1988 年, 其间的行动命名为生物质直接液化 (DBL); 第三阶段为生物质液化和热解系统的评估 (ALPS), 有更多的国家参与, 并在世界范围内取得更大进展。目前已出现的各种生物油转化技术处于不同的发展阶段, 开发出了多种生物质快速传热的方法用于热解, 主要有利用气体热载体、气体热载体结合壁传热、壁加热、固体热载体、气体热载体结合固体热载体等的传热方法。美国太阳能研究所等建立了不同裂解方法的实验装置, 每小时生产容量从几十公斤到几百公斤, 最高产油率达 70%, 但热解油的贮存和精制尚未解决。类似的循环流化床热解反应器也正在美国开发, 已达到 2t/h 的规模。加拿大 Ensyn 公司最大的生物质快速热解装置已在意大利建成, 预计每天生产 10t 生物油, 产率可达 70% (质量比) 以上。目前欧美一些公司正在继续努力对一些新型反应器进行商业性开发, 期望将生物质快速热解基础性的研究开发成果应用到工业规模。

至于生物质能超临界转化和高压加氢液化新技术, 欧美等先进国家目前在这方面的研究工作还只是初步的, 仍存在很多尚未明确的问题有待解决。

值得指出的是: ①由于西方发达国家大多实行耕地轮耕制, 秸秆直接还田, 因此, 对于秸秆的利用技术研究较少, 上述方法主要侧重于木材、树皮、锯末等废弃物的转化研究^[1,2]。亚洲发展中国家 (如印度和菲律宾) 等推广生态农场的建设, 主要是利用秸秆生产沼气, 进而转化为肥料。②至今, 美国所采用的工艺是酸预处理——液体发酵纤维素酶制剂——真空发酵工艺路线, 虽然中试规模达到了万吨级, 但纤维素原料发酵的技术经济均未过关, 将生物质视为“单一”组分的物质和采用“单一”技术处理的过程, 必然导致纤维素原料难以全利用、易污染、生产成本高等问题。

1.2.3 学科发展趋势

现代科技发展表现为科学、技术、生产整体化或一体化和新兴科学与优势学科相结合, 使科学由“小科学”变为交叉大学科。木质纤维素的开发利用涉及到许多学科, 如分子生物学、微生物学、化学、生态工程、生化工程、化学工程、材料学、能源工程、农业工程等; 而按行业而言, 被分为不同领域, 如造纸工业、能源工业、化纤工业、复合材料工业、农产品加工业等。木质纤维素的开发利用绝非支离破碎地简单拼凑上述一些学科的知识能够解决, 必须建立多学科的科学、技术, 并进行生产知识的有机整合。过去强调专业, 而忽视多学科知识整合可能是造成经济与生态矛盾激化的重要因素之一。例如, 在利