



Biomass Derived
Fuels and Chemicals

生物质衍生的燃料
和化学物质

主编 张瑞芹

郑州大学出版社

生物质衍生的燃料和化学物质

主 编 张瑞芹

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物质衍生的燃料和化学物质/张瑞芹主编. — 郑州: 郑州大学出版社, 2004. 9

ISBN 7 - 81048 - 961 - 5

I. 生… II. 张… III. ①生物能源 - 再生资源 - 处理 - 技术②生物能源 - 衍生物 IV. TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 093778 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本: 787 mm × 1 092 mm

印张: 17. 375

字数: 401 千字

版次: 2004 年 9 月第 1 版

邮政编码: 450052

发行部电话: 0371 - 6966070

1/16

印次: 2004 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7 - 81048 - 961 - 5/T · 10

定价: 32. 00 元

本书如有印装质量问题, 由承印厂负责调换

内容提要

生物质资源的利用有两大益处,一是推动经济的发展,二是可以保护环境。先进的生物质处理技术能够大大地减少生产生物质燃料和化学物质的成本。一般来讲,生物质燃料比化石燃料,如煤和石油,对环境的影响更小。本书着重介绍生物质可再生资源的处理技术及其所衍生的燃料和化学物质。全书共分6章,分别介绍生物质资源、生物质化学、生物质气化衍生的燃料及化学物、生物质热裂解液化衍生的燃料和化学物质、生物质发酵制酒精和生物质的厌氧消化技术。

本书适合从事生物质再生能源研究和利用的工作人员、能源与环境专业的大中专的老师和学生阅读。

前 言

能源和材料是人类生存和发展的重要物质基础,是人类从事各种经济活动的原动力,也是人类社会经济发展水平的重要标志。能源、材料与信息被称为现代社会繁荣和发展的三大支柱,已成为人类文明进步的先决条件。从人类利用能源和材料的历史中可以清楚地看到,每一种能源和材料的发现和利用都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。能源和材料科学技术的每一次重大突破也都带来世界性的产业革命和经济飞跃,从而极大地推动着社会的进步。国家的经济发展中能源先行,而能源供应水平(包含能源的人均占有量、能源构成、能源使用率和能源对环境的影响因素等)也标志着一个国家的发达程度。

生物能既是新能源,可再生能源及物质,同时也是绿色洁净的环境友好型能源及物质。目前,通过光合作用,全世界每年生产的生物能中的固定碳达2 000亿吨以上,全世界每年生产的生物能相当于目前世界能源消耗的十倍,相当于目前人类每年所消耗的矿物能的20倍。在世界能源消耗中,生物能目前达15%左右,在不发达地区可达60%以上,在马拉维和尼泊尔等国甚至达95%左右。目前,全世界25亿人的生活能源中的90%由生物能来提供,生物能将作为未来可持续能源系统的主要组成部分。21世纪中叶,生物能替代燃料预计将占全球总能耗的40%以上。

我国的一次能源消费已排在世界第二位。但因我国人口众多,能源资源相对匮乏,且分布极不均衡,人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半,石油仅为1/10。因此,为保持可持续发展战略,一方面要充分利用已有的能源供应体系,另一方面又要积极开发新能源与可再生能源。我国既是生物能生产大国,同时也是生物能使用大国。1995年,全国可提供的森林能源达1亿4千多万吨,全国秸秆产量高达6亿多吨,作为能源利用的达2.86亿吨。生物质能源及物质的广泛应用无论是对环境的改善,还是对能源的供应安全,以及对我国经济的发展都具有重要意义。

生物质是天然的高分子物质。它们是由淀粉、纤维素和木质素,即多糖类的有机物构成。这些物质可以通过生物质气化、快速热解及厌氧发酵技术制备洁净及便于运输的燃料和化学物质。生物质气化可以生产低中热值的燃气。燃气可直接用于发电及用作燃料,同时也可作为化工原料通过水煤气变换生产氢气;调节合成气中的CO/H₂比例可以合成甲醇;通过FT合成反应可以制备烃类化合物。生物质快速热解可以生产生物质油。生物质油可以代替矿物油作燃料用,又可作为化工原料用以制备诸如合成气、乙醇、酚类化合物、醛类化合物、糖类化合物等多种化学物质。生物质厌氧发酵可以生产沼气(主要成分为甲烷)及沼液,甲烷气可用做燃料及化工原料。沼液可用作肥料、饲料及化工原料。通过筛选适宜的菌种,通过生物发酵技术有可能生产更多种类所需的化学物质。

随着矿物能源资源的日益枯竭,经济因素将是对生物质燃料及其化学物质研究和应用的最强大的动力。生物能源及物质的高效、清洁利用将是 21 世纪化学科学与能源环境工程的前沿性课题。新的、先进的生物质处理及应用技术将能大大减少生物质化学物质的生产成本。许多生物质衍生的化学物质将与石化物质竞争。考虑到环境改善因素,生物质化学物质将会比以石油为基础的对应化学物质具有更低的生产、处理、使用及安全管理成本。本书着重介绍生物质可再生资源用于燃料及化学物质的应用处理技术。详细地阐述生物质资源、生物质化学、生物质气化衍生燃料及化学物、生物质裂解液化衍生的燃料和化学物质、生物质发酵制酒精、生物质的厌氧消化技术,并注重反映生物质再生能源研究领域的最新科研成果及进展。同时还列出主要参考文献,以便读者对某些感兴趣的问题进行深入的探讨。

本书图文并茂,内容翔实,较全面地反映了该领域的基本概念、基本知识和基本理论,概括了其研究、开发、应用及前景。可作为从事该领域工作的师生、研究人员及工程技术人员参考书。

全书共分 6 章,张瑞芹为本书主编,编写了第 1~4 章,并负责全书的统稿,尹辅印编写了第 1 章的部分内容,刘虹编写第 5 章,郝庆秀编写第 6 章。魏新利和尹辅印审阅和修改了书稿内容。

魏新利、尹辅印对书稿进行了认真审阅,并提出了许多宝贵的意见。杨巧利等制作了本书的插图并在文稿的校对过程中提供了很多帮助。郑州大学出版社为本书的写作和出版给予了很大的支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。由于我们水平有限,加之编写时间仓促,遗漏和不足也是在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2004 年 8 月于郑州

目 录

1 生物质资源	1
1.1 生物质基本概念	2
1.1.1 生物质	2
1.1.2 生物能简介	2
1.1.3 生物质能在能源环境系统中的地位	4
1.1.4 开发生物质能对中国的重要意义	5
1.2 生物质资源及利用状况	7
1.2.1 中国生物质能资源及利用状况	7
1.2.2 国外生物质能资源及利用状况	36
2 生物质化学	50
2.1 生物质的基本组成——碳水化合物	50
2.2 单糖的结构和性质	51
2.2.1 单糖的结构、构型和构象	51
2.2.2 单糖的性质	55
2.3 二糖——两分子单糖手拉手	58
2.3.1 纤维二糖和麦芽糖	58
2.3.2 蔗糖	59
2.4 淀粉	59
2.4.1 淀粉的结构	59
2.4.2 淀粉的性质	60
2.5 纤维素	64
2.5.1 纤维素的结构	64
2.5.2 纤维素的化学性质	68
2.6 木质素	69
2.6.1 木质素的结构	69
2.6.2 木质素的化学性质	72
3 生物质气化衍生的燃料及化学物	78
3.1 生物质气化原料	78
3.1.1 生物质的元素组成和热值	78
3.1.2 生物质原料与煤原料气化特性比较	81
3.2 生物质气化	82
3.2.1 生物质气化的化学过程	82

3.2.2	气化器种类及运行原理	83
3.3	生物质气化产物	88
3.3.1	气化燃气(合成气)的组成	88
3.3.2	燃气净化	88
3.4	气化燃气的应用——生物燃料、化学物质和氢气	98
3.4.1	燃料和发电	98
3.4.2	制氢	101
3.4.3	甲醇	102
3.4.4	合成 FT 燃料	104
3.5	生物质燃料的其他影响因素	105
4	生物质热解液化衍生的燃料和化学物质	114
4.1	生物质热解	114
4.1.1	热解机理	114
4.1.2	化学过程及热解表征	115
4.1.3	影响生物质热裂解过程及产物组成的因素	119
4.1.4	热解液化工艺流程	121
4.2	生物质热解液化产物	122
4.2.1	生物油组成成分	122
4.2.2	生物质热解油的特性	124
4.3	热解油应用	126
4.3.1	加热	127
4.3.2	发电	127
4.3.3	合成气	128
4.3.4	化学物质	128
4.3.5	技术状况及前景	130
4.4	结论	131
5	生物质发酵制酒精	134
5.1	淀粉质原料制酒精	134
5.1.1	淀粉质原料的性质	134
5.1.2	淀粉质原料酒精生产的工艺流程	137
5.1.3	淀粉质原料的预处理	137
5.1.4	水热处理	138
5.1.5	糖化	138
5.1.6	酒母的制备	144
5.1.7	酒精发酵	149
5.1.8	酒精蒸馏	159
5.2	纤维质原料制酒精	160
5.2.1	纤维质原料的性质	161

5.2.2	纤维质原料酒精生产的工艺流程	162
5.2.3	纤维质原料的预处理	163
5.2.4	纤维质原料的糖化	164
5.2.5	纤维质原料的酒精发酵	170
5.2.6	半纤维素生产酒精的工艺	175
5.3	酒精发酵产物的综合利用	178
5.3.1	酒精的应用	178
5.3.2	二氧化碳的综合利用	180
5.3.3	杂醇油和醛酯馏分的利用	183
5.3.4	酒精酵母的综合利用	183
5.3.5	酒糟的综合利用	185
6	生物质的厌氧消化技术	189
6.1	厌氧消化研究的进展	189
6.2	生物质厌氧消化原料特性	193
6.3	生物质厌氧消化微生物和生化机理	196
6.3.1	厌氧消化微生物及生化过程	196
6.3.2	厌氧消化生化机理	207
6.4	生物质的微生物厌氧消化工艺	219
6.4.1	厌氧工艺和有关名词解释	220
6.4.2	厌氧消化过程及产物监测	248
6.5	生物质厌氧消化产物的应用	252
6.5.1	沼气的应用	252
6.5.2	沼液、沼渣的应用	258

1 生物质资源

在当今工业化世界中,生物质能指的是利用自然的有机资源获取的燃料。这些资源包括林木、农作物和其他有机废物,如果大规模使用这种资源来代替化石燃料,将可以明显减少对环境的污染,并减少温室气体的排放总量。然而,要使生物质燃料得到广泛使用,首先不得不降低其生产成本,另外还要改变农业结构并大大提高燃料的生产能力。只有实施国家级的大规模的生物质研发计划,这些目标才可能实现。

生物质作为一种能源,其概念中包含了可再生自然资源的新观点,而这个可再生的自然资源是人类作为一个物种在地球上出现之后就一直使用着的。当然,木材作为一种燃料,是历史上最初使用的生物质能源,并且在欠发达地区至今仍旧是一种主要的能源。从广义上说,泥炭、作物秸秆和动物粪便也都属于这一类别。在古代的黎凡特(Levant,地中海东部地区)、中世纪欧洲的大部分地区以及近代的所有欠发达地区,用木材作为燃料被认为是当时森林遭到砍伐的重要原因。当然,从现代的生态学观点来看,理论上认为森林资源是可再生的,这不仅指它们能够恢复,而且从更广义上指的是对环境的效益。

随着化石燃料的出现和工业化的到来,在发达地区,同水和风力一样,木材和其他生物质燃料也停止了使用。现今,随着能源危机的出现,木材在某种程度上又被作为燃料加以利用,这种燃料在工业化国家的初级能源生产中所占的比例仍小于3%(Adler & Sehwingels, 1991)。然而,人们已经逐渐对经济的或者比较经济的生物质燃料资源,包括人工林、能源作物以及多种多样的可利用的有机废物的巨大的、多样化的潜力有了新的认识。

生物质燃料资源这个新概念的兴起来自于公众对两个重大问题的认识,即20世纪70年代的石油危机和20世纪80年代对全球气候变化的预测。首先,人类开始认识到其主要化石燃料——石油供应的不安全性和最终枯竭的命运,随后也开始认识到化石燃料的大量使用有可能引起全球气候的深远变化。生物质燃料的新概念包括以下几个方面:①开发化石燃料(它们是不安全的和可耗竭的)的替代燃料;②这些可替代的燃料不会引起气候变化;③这些燃料能够从可再生(不会耗竭)的资源中获取。

现代生物质资源被认为包括木材、能源作物和有机废物,每种具体形式无论是在工业化国家还是在发展中国家都有大量的使用。例如,一些树种和作物因为它们在生长、栽培和对环境的影响等方面的特性,已被选择列入研究和试验项目。为了将这些生物质资源转化为现代燃料,可采取多种生化及热化学过程,这取决于采用的原料。在这一章,我们将回顾美国和其他国家在有限的政府资助下所进行研究和利用的各种生物质资源及其加工过程。

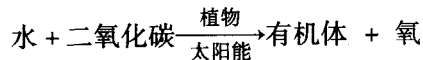
1.1 生物质基本概念

1.1.1 生物质

生物质是能源领域常用的一个术语,是指由光合作用而产生的各种有机体。生物能是太阳能以化学能形式贮存在生物中的一种能量形式,一种以生物质为载体的能量,它直接或间接地来源于植物的光合作用。在各种可再生能源中,生物质能是独特的,它是贮存的太阳能,也是惟——种可再生的碳源。它可以转化为常规的固态、液态和气态燃料。据估计地球上每年植物光合作用所固定的碳达 2×10^{11} t,含能量达 3×10^{21} J,因此每年通过光合作用贮存在植物体中的太阳能,相当于全世界每年耗电量的 10 倍。生物质遍布世界各地,其资源数量庞大,形式繁多,其中包括薪柴、农林作物、尤其是为获取能源而种植的能源作物、农业和林业残余物、食品加工和林产品加工的下脚料、城市固体废弃物、生活污水和水生植物等等。中国的生物质能源资源则主要包括农林废弃物及农林产品加工业废弃物、薪柴、人畜粪便、城镇生活垃圾及污水等。

1.1.2 生物能简介

生物质是指通过光合作用而直接及间接产生的各种有机体。光合作用是指植物利用空气中的二氧化碳和土壤中的水分,吸收太阳能而转换为碳水化合物和氧气的过程。光合作用是生命活动中的关键过程,植物的光合作用过程可表示如下:



生物质的发热值与下列诸因素有密切的关系:品种、生长周期、繁殖与种植方法、收获方法、抗病抗灾性能、日照的时间与强度、环境的温度与湿度、雨量、土壤条件等,在太阳能直接转换的各种过程中,光合作用是效率最低的,光合作用的能源转化率约为 0.5% ~ 5%,据估计温带地区植物光合作用的能源转化率按全年平均计算约为太阳全部辐射能的 0.5% ~ 2.5%,整个生物圈的平均能源转化率可达 3% ~ 5%。生物质能潜力很大,世界上约有 250 000 种生物,在提供理想的环境与条件下,光合作用的最高效率可达 8% ~ 15%,一般情况下平均效率为 0.5% 左右。

生物质遍布世界各地,其蕴藏量极大,地球上植物每年的生产量就相当于目前人类消耗矿物能的 20 倍,或相当于世界现有人口食物能量的 160 倍。虽然不同国家单位面积生物质的产量差异很大,但每个国家都有某种形式的生物质,生物质能是热能的来源,千百年来,为人类提供了基本燃料。

生物能具备下列优点:

- 是可再生且不会增加温室气体的低硫燃料;
- 在某些条件下,价格低廉;
- 某些有机物可转化成燃料而减少环境公害(例如粪便、生活垃圾及污水);

- 与其他非常规能源相比较,利用技术上的难题较少。

生物能的缺点有:

- 目前还只限于小规模利用;
- 植物光合作用的太阳能转化率低;
- 单位土地面积获取的有机物能量偏低;
- 缺乏适合栽种植物的土地;
- 有机物的水分含量较高(50%~95%);
- 生物质燃料密度低,不适于长途运输。

世界上生物质资源数量庞大,形式繁多,大致上可以分为两类——传统的和现代的。现代生物能是指那些可以大规模用于代替常规能源亦即矿物类固体、液体和气体燃料的各种生物能。巴西、瑞典、美国的生物能计划中便是指的这类生物能。现代生物质包括:①林产品废弃物(工业性的);②甘蔗渣(工业性的);③城市废弃物;④生物燃料(包括沼气和能源型作物)。传统生物能主要限于发展中国家,广义来说它包括所有小规模使用的生物能。第三世界国家农村烧饭用的薪柴便是其中的典型例子。传统生物质包括:①家庭使用的薪柴和木炭;②农作物秸秆及诸如稻壳、玉米芯,棉籽壳等农产品加工下脚料;③其他的植物性废弃物;④动物粪便。中国生物质能源资源主要是农业废弃物及农林产品加工业废弃物、薪柴、人畜粪便、城镇生活垃圾等四个方面。下面对一些主要生物能加以说明。

(1)薪柴 至今许多发展中国家仍需依赖薪柴来满足其对能源的大部分需求,为其十分重要的能源。但对薪柴需求的日益增加,正在导致林地日减。应制定长期林业规划,合理地、有计划地进行砍伐与造林以解决供需矛盾及生态问题。

(2)农作物秸秆 秸秆还田,有利于水土保持、增加土壤肥力及改良土壤,因此,农作物秸秆不可毫无限制地用作能源。

(3)牲畜及家禽粪便 牲畜的粪便,经干燥可直接用作燃料。若将粪便进行厌氧处理,则可获取沼气和可用作肥料的沼液及沼渣,这样既可提高其利用率又可改良土壤。采用小型沼气池,仅需三至四头牲畜的粪便即能满足发展中国家中小家庭每天能量的需要。

(4)制糖作物 对于具有大量富裕耕地的国家,可扩大制糖作物的种植。制糖作物的最大优点是可直接发酵获取乙醇,是一种极富潜力的生物能。

(5)水生植物 主要包括海洋里生长的马尾藻、巨藻、海带等,淡水里生长的布袋草、浮萍、小球藻等。利用水生植物转化成燃料也是增加能源供应的方法之一。

(6)城市垃圾 城市垃圾可直接燃烧产生热能,也可经过生化或热解处理制取气体燃料。

(7)城市污水 一般城市污水约含有0.02%~0.03%固体与99%以上的水分。下水道污泥也是厌氧消化槽的主要原料之一。

生物质不同的用途使生物质有不同的价值,因此如要统一确定生物质利用的经济性是十分困难的。大规模商业化应用生物质会对其他市场,如食品市场和造纸市场产生重大影响。在评价利用生物质能源的经济性时,必须考虑生物质的生产成本和能源生产投资,所需的水和肥料以及开发利用生物质对土地利用和人口分布状况的总体影响等。考

考虑到经济性,生物质能目前比较适于分散应用。到 2020 年,生物质能预计将是惟一能极大地影响运输业(不包括电车)燃料利用状况的可再生能源。然而,若大规模开发利用生物质资源,必须注意保护生物多样性,保护自然风景区和环境敏感区,同时还要严格控制废水和废气的排放。

生物质能的开发和利用具有巨大的潜力。以下的技术手段目前看来是最有前途的:

- 直接燃烧生物质来产生热能、蒸汽或电能;
- 利用能源作物生产液体燃料。目前具有发展潜力的能源作物包括:速生林木及作物、可获取糖与淀粉的作物(供制造乙醇)、含有碳氧化的光合作物、草本作物、水生植物;
- 通过炭化获取生物炭;
- 通过热解制备气体及液体燃料;
- 生物质气化后用于电力生产,可采用生物质气化和燃气/蒸汽透平联合发电装置;
- 对农业废弃物、粪便、污水以及城市固体废物等进行厌氧消化,生产沼气和肥料。

1.1.3 生物质能在能源环境系统中的地位

生物质是世界第四大能源,作为能源,在人类历史上曾起过巨大的作用。在现实生产生活中,特别是在农村地区,仍然占有重要的地位。目前亚洲、非洲的大多数发展中国家,生物质能的消费量仍占全国能源消费总量的 40% 以上。1996 年中国薪柴、秸秆的消耗量已达 2.2 亿吨标准煤,约占全国能源消费量的 14%,占农村地区能源消耗量的 34%,占农村生活用能的 59%。其中约有 1.2 亿吨标准煤的秸秆和 0.8 亿吨标准煤的薪柴供农村及部分小城镇居民烧柴之用,另外的 0.2 亿吨标准煤的生物质能则主要用于农副产品加工和用作小砖窑、石灰窑、陶瓷厂、溶胶厂的燃料。由此可见,生物质能源仍是中国农村能源消费中的主要组成部分。

生物质能是来源于太阳能的一种可再生能源,具有资源丰富、含碳量低的特点。加之在其生长过程中吸收大气中的 CO_2 ,因而采用新技术开发利用生物质能不仅可替代部分石油、天然气、煤炭等化石燃料,而且有助于减轻温室效应和促进生态良性循环,成为解决能源与环境问题的重要途径之一。

目前,生物质能技术的研究与开发已成为世界重大热门课题之一,受到世界各国政府与科学家的关注。许多国家都制定了相应的开发研究计划,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酒精能源计划等,其中生物质能源的开发利用占有相当的比重。目前,国外的生物质能技术和装置多已达到商业化应用程度,实现了规模化产业经营,以美国、瑞典和奥地利三国为例,生物质转化为高品位能源利用已具有相当可观的规模,分别占该国一次能源消耗量的 4%、16% 和 10%。在美国,生物质能发电的总装机容量已超过 10 000 MW,单机容量达 10~25 MW;美国纽约的斯塔藤垃圾处理站投资 2 000 万美元,采用湿法处理垃圾,回收沼气,用于发电,同时生产肥料。巴西是乙醇燃料开发应用最有特色的国家,实施了世界上规模最大的乙醇开发计划,目前乙醇燃料已占该国汽车燃料消费量的 50% 以上。美国开发出利用纤维素废料生产酒精的技术,建立了

1 MW的稻壳发电示范工程,年产酒精 2 500 t 的示范工程。

中国政府也十分重视生物质能源的开发和利用。自 20 世纪 70 年代以来,先后实施了一大批生物质能利用研究项目和示范工程,涌现了一大批优秀的科研成果和应用范例,并在推广应用中取得了可观的社会效益和经济效益。到 1996 年底,推广省柴节煤炉灶 1.7 亿户,每年减少了数千万吨标准煤的消耗;全国已建农村户用沼气池 600 多万个,年产沼气 16 亿立方米;兴建大中型沼气工程近 600 处(含工业有机废弃物沼气工程),使 8.4 万户居民用上了优质气体燃料;建成薪炭林 540 万公顷,年产薪柴约 4 000 万吨。进入 20 世纪 80 年代,政府又将生物质能利用技术的研究与应用列为重点科技攻关项目,开展了生物质能利用新技术的研究和开发,使生物质能技术有了进一步提高,其中尤以大中型畜禽场沼气工程技术、秸秆气化发电集中供气技术和垃圾填埋发电技术等进展引人注目。

但是,这些技术进展同世界先进水平相比仍有较大的差距,特别是在技术设备的产业化和商业化生产方面的差距更为明显。目前在国外这些技术基本上都实现了工业化生产,有的如大中型沼气工程和垃圾填埋发电技术等已达到商业化水平。而中国一般都处于商业化的前期,有的还停留在示范阶段。世界科学技术的发展历史证明:产业化和商业化是加速科学技术发展的动力,也是科技研究成果转化为生产力的根本措施。

1.1.4 开发生物质能对中国的重要意义

生物质是仅次于煤炭、石油、天然气的第四大能源,在整个能源系统占有重要地位。生物质能一直是人类赖以生存的重要能源之一,在世界能源消耗中,生物质能占总能耗的 14%,而在发展中国家高达 40% 以上。广义的生物质能包括一切以生物质为载体的能量,具有可再生性。据估计,全球每年水、陆生物质产生的热当量为 3×10^{21} J 左右,是全球目前总能耗量的 10 倍。据有关专家预测,生物质能在未来能源结构中具有举足轻重的地位,采用新技术生产的各种生物质替代燃料,主要用于生活、供热和发电等方面。我国生物质能资源相当丰富,仅各类农业废弃物(如秸秆等)的资源量每年即有 3.08 亿吨标煤,薪柴资源量为 1.3 亿吨标煤,加上粪便、城市垃圾等,资源总量估计可达 6.5 亿吨标煤以上,约相当于 1995 年全国能源消费总量的一半。目前人类正面临着经济增长和环境保护的双重压力,因而改变能源的生产方式和消费方式,用现代技术开发利用包括生物质能在内的可再生能源资源,对于建立可持续发展的能源系统,促进社会经济的发展 and 生态环境的改善具有重大意义。

中国近 9 亿人口生活在农村,在我国农村地区,传统的耗能方式仍然是以炊事为基本要求,作物秸秆和柴草为主要能源,大部分是炕灶直接燃烧,转换效率低。随着农村经济的发展和水平的提高,传统的用能方式已发生了很大的变化(见表 1-1),1995 年农村商品能源占全部能源消费的 70%,其余是生物质能和其他可再生能源,尽管如此,农村地区仍有 1.1 亿人没有电力供应,还有 7 000 万人口面临炊事用柴严重缺乏的状态,1.7 亿人面临沙漠化威胁。此外,环境代价亦不容忽视,一是生态环境破坏严重,水土流失面积从 20 世纪 50 年代的 150 万平方公里扩展到 367 万平方公里,二是由于对生物质资源的无序使用和浪费导致大气污染加剧,三是伴随乡镇企业的迅速发展加剧了环境质量

恶化。

表 1-1 我国 1979 年和 1996 年农村地区各类能源消费对比(万吨标煤)

类别	1979 年	1996 年
煤	6 000	25 938.85
石油制品	1 426.8	4 628.36
电	3 120	9 331.7
生物质能	22 170	22 042.7
薪柴	10 370	9 932.63
秸秆	11 800	11 996.77
其他(沼气、太阳能等)		113.3
农用电动机/万千瓦	14 250	35 826
农村人口总数/亿	8	8.6
农村人均商品能源量/tce/人	0.14	0.47
无电人口/亿	4.5	1.1
严重缺柴人口(3~6月)	4.2	0.7

生物质能对于逐步改变我国以化石燃料为主的能源结构具有重要作用。我国的能源生产及消费结构的共同特点是:煤炭在能源结构中长期占绝对主导地位,一般占 70% 以上;石油、天然气、水电等优质能源在一次能源中的比重一直在 25% 左右,而且随着能源供应量的增长优质能源比重近年来还有所下降;从不同地区的能源消费结构来看,由于沿海与内地经济发展水平的差异,且受运输和环境保护的制约,其能源结构也在不断优化。以广东省为例,1995 年一次能源消费中石油和电力占 43.6%,而煤炭占 56.4%;从不同能源品种消费情况来看,电力与液化石油气的增长很快,1995 年与 1990 年相比,分别增长了 2 倍和 9.3 倍,而煤炭消费只增长了 1.4 倍,但是这种能源结构仍以化石燃料为主。爆发能源危机以后,工业发达国家曾研究发展能源林来替代矿物燃料的技术。因为生物质资源丰富且可以再生,其含硫量和灰分都比煤低,而含氢量较高,因此比煤清洁。若把它转化为气体或液体燃料,使用起来将更清洁、方便。此外,矿物燃料在燃烧过程中,排放出 CO₂ 气体,在大气层中不断积累,工业化前期大气中 CO₂ 浓度按体积比在空气中占 0.028%,到 1980 年已增加到 0.034%,预计到下个世纪初,将提高到 0.056%,温室气体在大气中的浓度不断增加,导致气候变暖。而生物质既是低碳燃料,在其生长过程中又大量吸收 CO₂ 而成为温室气体的汇(Sink),因此,随着国际社会对温室气体减排联合行动付诸实施,大力开发生物质能源资源,对于改善我国以化石燃料为主的能源结构,特别是为农村地区因地制宜地提供清洁方便能源,具有十分重要的意义。

1.2 生物质资源及利用状况

1.2.1 中国生物质能资源及利用状况

生物质能资源自古以来就是人类赖以生存的能源,它在人类社会历史的发展进程中,始终发挥着极其重要的作用,在中国近年的能源消费结构中占15%以上。从环境的观点来看,它是构成自然生态系统的基本要素之一。在能源的转换过程中,是一种理想的燃料,使用生物燃料总体上不会增加大气中的CO₂的含量,很少或基本上不污染环境,有助于防止地球表面气候变暖,可以很好地解决全球的污染问题,具有很强的再生能力,而且没有危害性。

目前,全世界有40%以上的人口全部使用生物质能用于日常的做饭、取暖和照明等,这些人口绝大多数都居住在发展中国家的农村和边远地区。在中国,生物质能资源在农村地区发挥了极为重要的作用,而且量大面广。根据1995年的统计数据计算,中国农作物秸秆的年产出量为6.04亿吨,其中用于直接还田的约占15%,还剩下5.13亿吨,除作为饲料和工业原料外,其余大部分都作为农户炊事、取暖燃料,但大多处于低效利用方式即直接在柴灶上燃烧,其能源利用效率仅为10%~20%。随着科技的进步和农业的发展,农作物产量在不断增加,农作物秸秆的产出量也在不断增加。尽管在经济欠发达的农村地区,特别是中国西部大部分地区,秸秆仍被用作农家生活的主要燃料和盖房材料,但是在大城市郊区和东部沿海等经济发达地区,伴随着中国农村经济的持续发展、农民收入的不断增加、现代生活意识的逐渐增强和农业产业结构的调整,越来越多的农民正在舍弃传统的农作物秸秆,而选用清洁方便的煤、油、电、气等商品能源作为日常炊事和取暖能源;越来越多的年轻农民开始增大化肥使用,而不再愿意费事费力利用秸秆制作农家肥;因环境污染问题没有得到很好的解决,用于造纸的农作物秸秆消耗量也大大减少,大量剩余的秸秆被付之一炬。到了夏收、秋收时节,个别地区村村点火、处处冒烟,严重污染了环境,既浪费了资源,也给人们的生活和工农业生产带来了很大影响。在一些地区,焚烧秸秆已成为浪费资源、污染环境的突出问题。1997年,相继发生的因焚烧秸秆产生的烟雾造成的成都双流机场和京石高速公路关闭事件,引起了中国各级政府及社会各界的关注。

中国农村生物质能资源主要来自于三个方面。一是农作物秸秆和农业加工残余物;二是林木和林业加工残余物;三是人畜粪便和工业有机废水。近年来,为了更大规模地和更广泛地获得生物质能资源,以及将其转换成更为方便的燃料,中国的一些科研单位在政府的支持下,开发出了一些新型的诸如甜高粱等的能源作物。从1995年起,在中国科技部与美国能源部签署的《中美能源效率和可再生能源技术发展与合作领域合作议定书》的伞型框架下,中国农业部与美国能源部就中国生物质能技术商业化评价和市场化发展战略问题进行了友好合作,并重点针对山东省、上海市、浙江省和四川省的生物质能资源可获得性、技术发展障碍和典型示范工程进行了案例研究和分析评价,现已取得了阶段性成果。其报告根据中美合作成果,着重从农业废弃物、林业废弃物、人畜粪便和新型能源作物四个方面,进行资源的可获得性及其经济分析,并对环境的影响进行了评估。

1.2.1.1 中国农作物秸秆资源情况

1. 农作物秸秆资源量

(1) 中国农村土地利用状况 中国作为世界上的农业大国,农作物的种类繁多,产量巨大。改革开放后,特别是随着中国乡镇企业和小城镇建设的快速兴起,中国农村的耕地被大面积侵占,从1980年的9 930.52万公顷已锐减到1995年的9 497.09万公顷,平均每年递减60万公顷以上。自《中华人民共和国基本农田法》颁布实施以后,中国农村的耕地占用情况得到了极大的缓解。表1-2反映出1980年至1995年的15年间中国耕地面积的变化情况。

表1-2 1980年~1995年中国农村土地耕地面积 (单位:万公顷)

年份	年末实际耕地面积			年耕地递减数量
	总计	水田	旱地	
1980	9 930.52	2 532.22	7 398.30	94.08
1985	9 684.63	2 503.30	7 181.33	159.79
1990	9 567.30	2 551.89	7 015.41	46.74
1991	9 565.36	2 570.65	6 994.71	48.80
1992	9 542.58	2 559.72	6 982.86	73.87
1993	9 510.14	2 502.80	7 007.34	73.23
1994	9 490.67	2 476.29	7 014.38	70.87
1995	9 497.09	2 485.05	7 012.04	62.11

——资料来源:《中国统计年鉴,1996》

在所有的耕地中,华中、华东和西南地区水田和旱地的比例各占一半,水田约占耕地面积的44%,旱地占56%左右;东北、华北和西北地区则以旱地为主,约占实有耕地面积的80%以上。表1-3反映出1995年中国各省市土地利用情况。

表1-3 1995年中国各省市耕地及水、旱田面积 (单位:万公顷)

地区	年末实有耕地面积			年内减少
	总量	水田	旱地	
北京	39.95	2.37	38.58	0.29
天津	42.61	4.85	37.77	0.15
河北	651.71	12.65	639.07	1.94
山西	364.51	0.88	363.63	1.54
内蒙古	549.14	8.43	540.71	7.75
辽宁	338.97	46.86	292.11	2.70