



生命科学前沿及应用生物技术

生物能源概论

张海清 张振乾 张志飞 等 编著



科学出版社

生命科学前沿及应用生物技术

生物能源概论

张海清 张振乾 张志飞 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者收集了近十多年来的大量国内外资料,查阅和参考了相关学科的著作和文献,在与相关专业大学生和研究生的教学过程中,经过反复修改和更新,最终形成的。本书对国内外生物能源产业发展情况、能源植物、沼气、生物质气、生物乙醇和生物柴油等方面的生产技术、发展现状及发展前景等方面的研究情况进行了详细介绍,阐释了各种生物质能技术的机理和工艺原理,简单描述了各种转换技术的工艺过程,介绍了各种技术的国内外发展状况,指出了存在的主要问题和未来的发展方向等。

本书可作为相关专业大学生和研究生的教材,也可作为从事生物能源研究应用的科技人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

生物能源概论/张海清等编著. —北京:科学出版社,2016.6

(生命科学前沿及应用生物技术)

ISBN 978-7-03-048905-0

I. ①生… II. ①张… III. ①生物能源—概论 IV. ①TK6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第136488号

责任编辑:李悦 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖兴 / 封面设计:刘新新

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:18

字数:415 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《生物能源概论》编审人员名单

主 编 张海清 张振乾 张志飞

副主编 王学华 廖红东 宁守检

编写分工

前 言 湖南农业大学 张海清

第一章 湖南农业大学 张海清 张志飞 王晓玉

第二章 湖南农业大学 王学华 张志飞 王晓玉

第三章 湖南农业大学 张振乾 张海清 张志飞

第四章 湖南大学 童春义

湖南农业大学 张海清 张志飞

第五章 湖南农业大学 张海清

湖南大学 廖红东

湖南农业大学 张振乾

第六章 湖南农业大学 张振乾 张海清

沈阳大学 宁守检

统稿审稿 陈烈臣 张海清

前 言

进入 21 世纪,能源短缺、环境恶化两个危机同步展现在人类面前。在地球上发现煤炭、石油以来不到 200 年的时间内,人类竟将矿物能源资源几近挥霍一空。据专家估计,全球煤炭只可以再利用 80~100 年,石油只可以再利用 20~30 年。另外,矿物能源的无节制使用,引起了日益严重的环境问题,如全球气温变暖、损害臭氧层、破坏生态圈碳平衡、释放有害物质、引起酸雨等自然灾害。更为严重的是,当前人类对石油、煤炭等化石能源的需求,已经到了非常依赖的程度。需要人们警惕的是,石油不仅仅是一种能源,还是重要的化工原料,高油价向下游传导,农机柴油、化肥、农膜等农业生产资料价格也随之上漲,增加了粮食的生产成本,导致食品类物价上涨,造成今天的结构性物价上涨。然而,国际能源市场充满了不稳定因素,如中东局势造成的油价波动就会影响石油的供给,进而给经济社会带来很大的冲击,对国家安全构成相当大的威胁。

应对能源短缺、环境恶化的危机,各国科学家都在努力研究,积极寻找、开发利用新的、清洁的、可持续的替代能源。发达国家在近 10 多年来非常关注以新技术开发利用生物质能源。通过适当的技术和装置可以高效地将生物质转换为气体燃料、液体燃料和电力,可直接替代煤炭、石油和天然气等矿物燃料。有人预言,到 2050 年,生物质能源有可能提供世界 60% 的电力和 40% 的液体燃料,使全球 CO_2 排放量减少 54 亿 t 碳。我国能源 97% 仰赖进口,因此,化石燃料的枯竭问题与主要能源产地的动荡都冲击我国的能源情势,使我国能源的使用安全与成本受到挑战,而化石能源使用产生污染等问题所造成的外部社会成本也越来越必须去面对。在中国的能源消费结构中,煤炭消费量占一次能源消费总量的近 70%。据统计,全国 SO_2 排放总量的 90% 是由燃煤造成的, SO_2 污染已成为主要大气污染源,致使中国 1/3 国土成为酸雨区。要真正实现节能、降耗、减污,必须尽快改变中国的燃料结构。

生物质能又称“绿色能源”,是指通过植物的光合作用而将太阳辐射的能量以一种生物质形式固定下来的能源。据推算,每年由植物固定下来的太阳辐射能是目前世界每年能源消耗总量的 10 倍。生物质能是一种清洁能源,具有可再生和环境友好的双重属性。矿物燃料是把原为固定的碳通过燃烧使其流动化,并以 CO_2 的形式累积于大气环境,造成温室效应。生物质中的碳来自空气中流动的 CO_2 ,如果这两个速度有合适的匹配, CO_2 甚至可以达到平衡,整个生物质能循环就能实现 CO_2 零排放,从根本上解决矿物能源消耗带来的温室效应问题。发展生物质能,既有利于实现能源多元化,缓解能源紧张,又有利于保护生态环境,减少温室气体排放,还可以为农村开辟新兴产业,有效延长农业产业链,提高农业附加值,增加农村就业机会,增加农民收入。因此,建设从能源农林业到生物质能加工业的生物质能产业链可以成为中国解决“三农”问题的一个有力手段。

我国对生物质能源利用极为重视,制订了一系列政策和措施支持生物质能源的研发,涌现出一大批优秀的科研成果和成功的应用范例,如户用沼气池、禽畜粪便沼气技术、

生物质气化发电和集中供气、生物质压块燃料等，取得了可观的社会效益和经济效益。

2005 年以来，作者收集了大量国内外资料，查阅和参考了相关学科的著作和文献，在与相关专业大学生和研究生的教学过程中，经过反复修改和更新，方完成本书的编撰工作。本书阐释了各种生物质能技术的机理和工艺原理，简单描述了各种转换技术的工艺过程，介绍了各种技术的国内外发展状况，指出了存在的主要问题和未来的发展方向等。本书可作为相关专业大学生和研究生的教材，也可作为从事生物能源研究应用的科技人员参考书。

编著者

2016 年 1 月

目 录

第一章 生物能源概述	1
第一节 生物能源的概念与内涵	1
一、生物能源的概念	1
二、生物质能的生产与转换	2
第二节 生物质能的能源地位	4
一、能源的分类与消费	4
二、开发生物质能源的意义	5
第三节 生物质能利用的困难及对策	17
一、生物质能利用的困难	17
二、发展生物质能利用技术的对策	20
第四节 生物质能源的发展现状与前景	21
一、发展现状	22
二、发展前景	27
三、中国生物质能源发展政策	29
四、中国生物质能源发展中存在的主要问题	31
五、中国生物质能源未来的发展特点和趋势	32
复习与思考	34
参考文献	34
第二章 生物质能资源与能源植物	36
第一节 生物质能的物质基础	36
一、生物质原料的类型	36
二、生物质能资源的特点	36
三、生物质的化学组成	37
四、生物质燃料的热值	38
第二节 生物质资源量估算方法	38
一、农作物资源	38
二、薪柴资源	39
三、人畜粪便资源	40
四、草资源	40
第三节 我国生物质能资源	40
一、纤维素类生物质资源	41
二、淀粉类原料资源	43
三、糖类原料资源	44

第四节 能源植物	45
一、能源植物的概念	46
二、国内外能源植物研究现状	51
三、开发能源植物的优势及可行性	52
四、植物的光合作用	52
五、能源植物的品种改良技术	53
六、能源植物的转化途径	57
七、重要的能源植物	61
第五节 我国能源植物开发利用存在的问题与对策	78
一、存在的问题	78
二、对策	81
复习与思考	82
参考文献	83
第三章 农村沼气技术	86
第一节 沼气发酵概述	86
一、沼气及其优缺点	86
二、沼气技术的运用领域	86
三、国内外沼气技术的应用情况	87
第二节 农村沼气发酵工艺	96
一、沼气发酵	96
二、沼气发酵过程	97
三、农村沼气发酵原料	100
四、沼气发酵的基本条件	105
第三节 农村沼气发酵工艺及其改进途径	109
一、农村沼气发酵工艺	109
二、提高厌氧消化效率的途径	118
第四节 农村沼气池管理	122
第五节 沼气设施的综合利用	125
一、以沼气设施为纽带的生态模式	125
二、沼气的主要用途	130
三、沼渣与沼液的综合利用	132
四、沼气的综合效益	134
复习与思考	135
参考文献	136
第四章 生物质热化学转换技术	139
第一节 生物质热化学转换技术概况	139
一、生物质热化学转换技术的定义	139
二、生物质热化学转换技术发展现状	139
第二节 生物质气化技术	141

一、生物质气化技术发展简史	141
二、生物质气化原理	141
三、生物质气化的工艺	148
四、生物质气化技术的利用	152
五、生物质气化技术应用面临的问题及对策	154
第三节 生物质热裂解技术	158
一、生物质热裂解液化技术的原理及工艺	158
二、生物质热裂解液化技术核心	165
三、生物油的特性及应用	172
复习与思考	176
参考文献	176
第五章 生物质燃料乙醇	179
引言	179
第一节 乙醇的性质与用途	179
一、乙醇的理化性质	179
二、乙醇的用途	180
第二节 燃料乙醇生产原理	180
一、乙醇生产的主要方法	180
二、发酵法生产乙醇的主要工业原料	181
三、乙醇发酵的生化反应过程	181
四、乙醇发酵的微生物学基础	183
第三节 乙醇发酵的工艺类型	185
一、间歇式发酵法	185
二、半连续发酵法	186
三、连续发酵	186
第四节 非粮食淀粉质原料的乙醇生产	189
一、原料粉碎	190
二、蒸煮糊化	190
三、糖化工艺	190
四、酒母的培养	190
五、乙醇发酵	191
六、乙醇提取与精制	191
第五节 糖蜜类原料的乙醇生产	193
一、糖蜜原料生产乙醇的特点	193
二、糖蜜生产乙醇的工艺流程	193
三、糖蜜的乙醇发酵	194
第六节 纤维素原料的乙醇生产	194
一、水解的基本原理	195
二、纤维素酸水解和乙醇发酵	195

第七节 应用现状和前景	210
复习与思考	212
参考文献	212
第六章 生物柴油	216
第一节 生物柴油的概述	216
一、生物柴油的发展历史	216
二、生物柴油的优点	218
三、生物柴油的研究和利用现状	218
四、生物柴油与国家能源安全	227
第二节 生物柴油的原料资源与选择	228
一、生物柴油的原料资源	228
二、生物柴油的原料选择	235
三、符合我国国情的生物柴油原料发展战略	240
第三节 生物柴油原料油加工	241
一、油料的储藏与预处理	241
二、原料植物油的制取	244
三、油脂的精炼	246
第四节 生物柴油的产品及其制造	251
一、生物柴油的制备方法	251
二、目前常用的工艺流程	253
三、新型工艺流程介绍	255
第五节 新一代生物柴油——微藻生物柴油	255
一、藻种筛选	256
二、微藻的生长	257
三、微藻的生长与培养系统	258
四、微藻脂质的提取	259
五、微藻生物柴油的经济分析	260
六、微藻制备生物柴油的现状与前景	260
第六节 生物柴油的商业化应用	262
一、生物柴油与生态环境	262
二、生物柴油的储运	266
三、生物柴油作燃料油台架运行	267
四、生物柴油商业化应用经济评价	268
五、生物柴油应用存在的问题	270
六、生物柴油发展的前景展望	270
七、生物柴油发展战略	271
复习与思考	272
参考文献	273

第一章 生物能源概述

第一节 生物能源的概念与内涵

一、生物能源的概念

生产力的发展使得人类对能源的需求越来越大，严峻的能源问题日益成为全世界关注的突出问题。

科学家指出：地球上亿万年积累的石化能源（石油、天然气、煤炭等），仅能支撑300年的大规模开采就将面临枯竭。人们终于认识到，化石能源的使用不是无限的。未雨绸缪、利用现代科技发展生物能源是解决未来能源问题的一条重要出路。

生物能源（bioenergy）是指从生物质得到的能源。生物质（biomass）是指由光合作用而产生的各种有机体，包括植物、动物及其排泄物、垃圾及有机废水等几大类。对这些生物质进行加工转换而生产出的电力、气体或液体燃料等二次能源即为生物能源，又称绿色能源（即无污染或低污染能源），是人类最早利用的能源。古人钻木取火、伐薪烧炭，实际上就是在使用生物能源。但是通过生物质直接燃烧获得能量是低效而不经济的。随着工业革命进程的加速，化石能源的大规模使用，生物能源逐步被以煤炭和石油、天然气为代表的化石能源所替代。随着化石能源的日渐枯竭和现代科技发展，生物能源再次引起世界各国的高度重视。生物电能主要是通过种植快速生长的树和草类，并利用这些植物燃烧来发电。近年来，美国和欧洲一些发达国家对大量的能源植物进行了研究和试验，包括象草、桉树、黑洋槐、白杨、柳枝稷、高粱、甘蔗和埃及榕等。生物燃料（biofuel）主要是将生物质进行加工转换而生产出的固体、气体或液体燃料，主要形式有生物炭、沼气、生物氢气、生物柴油和燃料乙醇等。

沼气是微生物发酵秸秆、禽畜粪等有机物产生的混合气体，主要成分是可燃的甲烷。生产沼气的设备简单，方法简易，适合在农村推广使用。我国已有许多地区的农村和畜牧场使用了沼气。沼气的推广使用节约了资源，保护了环境，也提高了农民的生活质量。目前，沼气的规模化生产需要解决的是设备及提高甲烷含量等技术问题。

氢气的燃烧产物只有水，因此氢气是最清洁的能源。氢气的主要生产途径包括生物质热裂解气化和微生物制氢。将生物质原料如薪柴、麦秸、稻草等压制成型，在气化炉（或裂解炉）中进行气化或裂解反应可制得含氢燃料。我国在生物质气化技术领域的研究已取得一定成果。在国外，由于转化技术的提高，生物质气化已能大规模生产水煤气，其氢气含量大大提高。微生物制氢是利用微生物在常温常压下进行酶催化反应制得氢气。生物质产氢主要有化能营养微生物产氢和光合微生物产氢两种。化能营养微生物是一类以各种碳水化合物、蛋白质等有机质为能源和碳源生长的微生物，化能产氢微生物主要是厌氧菌和兼性厌氧菌。产氢微生物在分解利用碳水化合物、蛋白质等有机质时，释放

出有机质中的氢和二氧化碳，反应过程还伴随着水分释放氢。光合微生物，如微型藻类和光合作用细菌的产氢过程与光合作用相联系，称光合产氢。目前我国科学家已获得了能高效产氢的微生物，可以小规模地进行生物制氢，但要实现生物制氢的产业化，还有许多技术和经济问题需要解决。

生物柴油是指以油料作物、野生油料植物和工程微藻等水生植物油脂及动物油脂、废餐饮油等为原料油通过酯交换工艺制成的甲酯或乙酯燃料，可代替柴油作为燃料。生物柴油因其环境污染物释放量少、对环境污染少、使用安全、使用范围广及可进行生物降解而成为当今国际新能源开发的热点。利用生物酶将植物油或其他油脂分解后得到的液体燃料，作为柴油的替代品更加环保。欧洲已专门种植油料作物用来生产生物柴油，形成了一定规模，美国也有生物柴油的小规模生产。生物柴油所遇到的问题是作为原料的植物油成本较高。在我国，已有多个科学家小组在从事生物柴油的研究开发。最近，科学家发现一些微生物也能合成油脂，这也许可以对解决生物柴油的原料问题起到重要作用。

燃料乙醇是目前世界上生产规模最大的生物能源。乙醇俗称酒精，以一定的比例掺入汽油可作为汽车的燃料，不但能替代部分汽油，而且排放的尾气更清洁。我国的燃料乙醇生产已形成规模，主要是以玉米为原料，同时正在积极开发甜高粱、薯类、秸秆等原料生产乙醇，目前产量居世界第三。

尽管从我国或全世界看，生物能源的开发利用都处于刚起步阶段，生物能源在整个能源结构中所占的比例还很小，但是生物能源的发展潜力不可估量。

二、生物质能的生产与转换

（一）生物质能的循环

“万物生长靠太阳”，生物能源是从太阳能转化而来的，只要太阳不熄灭，生物能源就取之不尽。其转化的过程是通过绿色植物的光合作用将二氧化碳和水合成生物质，生物质在使用过程中又生成二氧化碳和水，形成一个物质循环，理论上二氧化碳的净排放为零。生物能源是一种可再生的清洁能源，开发和使用生物能源符合可持续发展观和循环经济的理念。因此，利用高技术手段开发生物能源，已成为当今世界发达国家能源战略的重要部分。

生物质能的生产与转换过程如下。



(CH_2O) 为糖、淀粉、脂肪、纤维素、半纤维素、木质素。

（二）生物质的生产与类型

每个叶绿素都是一个神奇的化工厂，它以太阳光作动力，把 CO_2 和水合成有机物，它的合成机理目前人类仍未搞清楚。研究并揭示光合作用的机理，模仿叶绿素的结构，生产出人工合成的叶绿素和建成工业化的光合作用工厂是人类的梦想。如果这一梦想能

实现，它将从根本上改变人类的生产活动和生活方式，所以研究叶绿素的机理一直是激动人心的科学活动。

生物质通过光合作用能够把太阳能富集起来，储存在有机物中，这些能量是人类发展所需能源的源泉和基础。生物质能的资源主要包括以下几方面。

1) 森林能源是森林生长和林业生产过程提供的生物质能源，主要是薪材，也包括森林工业的一些残留物等。

2) 农作物秸秆是农业生产的副产品，也是我国农村的传统燃料。

3) 禽畜粪便也是一种重要的生物质能源。除在牧区有少量直接燃烧外，禽畜粪便主要是作为沼气的发酵原料。

4) 随着城市规模的扩大和城市化进程的加速，中国城镇垃圾的产生量和堆积量逐年增加。城镇生活垃圾主要是由居民生活垃圾、商业和服务业垃圾、少量建筑垃圾等废弃物构成的混合物，成分比较复杂，其构成主要受居民生活水平、能源结构、城市建设、绿化面积及季节变化影响。

5) 草本能源植物也是非常重要的生物质能源资源，类型种类较多，如可以生产燃料乙醇的芝属植物及其他多年生牧草、制糖作物、水生植物、油料植物等。

此外，还有藻类和光合成微生物（如硫细菌、非硫细菌等）等。

（三）生物质能的转换

生物质转换技术多种多样，但它们都有不同的适用对象和适用特殊的需要，在分析采用这些技术时要根据所利用生物质的特点和用户的要求来作出不同的选择。生物质转化技术可分为四大类。

1. 直接燃烧技术

直接燃烧大致可分炉灶燃烧、锅炉燃烧、垃圾焚烧和固型燃料燃烧 4 种情况。炉灶燃烧是最原始的利用方法，一般适用于农村或山区分散独立的家庭用炉，它的投资最少，但效率最低，燃烧效率在 15%~20%。锅炉燃烧采用了现代化的锅炉技术，适用于大规模利用生物质，它的主要优点是效率高，并且可实现工业化生产；主要缺点是投资高，而且不适于分散的小规模利用，生物质必须相对比较集中才能采用本技术。垃圾焚烧也是采用锅炉技术处理垃圾，但由于垃圾的品位低且波动大，腐蚀性强，因此它要求的技术更高，投资更大，从能量利用的角度，它的规模必须较大才比较合理。固型燃料燃烧是把生物质固化成型后再采用传统的燃煤设备燃用，主要优点是所采用的热力设备是传统的定型产品，不必经过特殊的设计或处理；主要缺点是运行成本高，所以它比较适合企业对原有设备进行技术改造时，在不重复投资前提下，以生物质代替煤，以达到节能的目的，或应用于对污染要求特别严格的场所，如饭店烧烤等。

2. 物化转换技术

物化转换技术包括三方面，一是干馏技术；二是气化制生物质燃气；三是热解制生物质油。干馏技术的主要目的是同时生产生物质炭和燃气，它可以把能量密度低的生物质转化为热值较高的固定炭或气，炭和燃气可分别用于不同用途。它的优点是设备简单，

可以生物炭和多种化工产品,缺点是利用率较低,而且适用性较小,一般只适用于木质生物质的特殊利用。生物质热解气化是把生物质转化为可燃气的技术,根据技术路线的不同,可以是低热值气,也可以是中热值气。它的主要优点是生物质转化为可燃气后,利用效率较高,而且用途广泛,如可以用作生活煤气,也可以用于烧锅炉或直接发电,主要缺点是系统复杂,由于生成的燃气不便于储存和运输,必须有专门的用户或配套的利用设施。热解制油是通过热化学方法把生物质转化为液体燃料的技术。它的主要优点是可以把生物质制成油品燃料,作为石油产品替代品,用途和附加值大大提高,主要缺点是技术复杂,目前的成本仍然太高。

3. 生化转换技术

生化转换技术主要是以厌氧消化和特种酶技术为主。沼气发酵是有机物质(为碳水化合物、脂肪、蛋白质等)在一定温度、湿度、酸碱度和厌氧条件下,经过沼气菌群发酵(消化)生成沼气、消化液和消化污泥(沉渣)。这个过程就称沼气发酵或厌氧消化。它包括小型的农村沼气技术和大型的厌氧处理污水工程。主要优点是提供的能源形式为沼气(CH_4),非常洁净,具有显著的环保效益;主要缺点是能源产出低,投资大,所以比较适宜于以环保为目标的污水处理工程或以有机易腐物为主的垃圾堆肥过程。利用生物技术(包括酶技术)把生物质转化为乙醇的主要目的是制取液体燃料,主要优点是可以使生物质变为清洁燃料,拓宽用途,提高效率;主要缺点是转换速度太慢,投资较大,成本相对较高。

4. 植物油利用技术

能源植物油是一类储存于植物器官中、经加工后可以提取植物燃料油的油性物质。它通过植物有机体内一系列的生理生化过程形成,以一定的结构形式存在于油脂或挥发性油类等物质中。能源油料植物是一类含有能源、植物油成分的植物种和变种,是一类再生资源。能源油料植物主要包括油脂植物和具有制成还原形式烃能力、可生产接近石油成分和替代石油使用产品的植物。植物燃料油是将能源油料植物油提取加工后生产出的一种可以替代石化能源的燃性油料物质。它的主要优点是提炼和生产技术简单,主要缺点是产油率较低,速度很慢,而且品种的筛选和培育也较困难。

第二节 生物质能的能源地位

一、能源的分类与消费

生物质能是可再生的,在能源分类中将其划为新能源。虽然生物质能是人类已经应用很久的一种古老能源,但是如今所讨论的生物质能利用是指在新的历史时期,如何利用新技术来应用它。能源的大体分类如表 1-1 所示。

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源之一。人类自发现火开始,就以生物质能的形式利用太阳能来做饭和取暖。直到现在,其在全球能源消费中仍占有相当的份额(约 15%),仅次于煤炭、石油和天然气,居世界能源消费总量的第 4 位(表 1-2)。

表 1-1 能源的分类

类别	常规能源		新能源
一次能源	可再生	水能	生物质能、太阳能、风能、潮汐能、海洋能
	非可再生	原煤、原油、天然气	油质岩、核燃料
二次能源	焦炭、煤气、电力、氢气、蒸汽、乙醇、汽油、柴油、煤油、重油、液化气、木炭、沼气等		

注：1.一次能源是指从自然界取得后未经加工的能源，它的三个初始来源为太阳光、地球固有的物质和太阳系行星运行的能量；2.二次能源是指经过加工与转换而得到的能源；3.新能源一般是指在新技术基础上加以开发利用的能源；早已被人们广泛利用的能源称为常规能源或传统能源

表 1-2 世界能源使用情况比例分布

能源使用情况	煤炭/%	石油/%	天然气/%	生物质能/%	水电/%	核能/%
世界能源状况	24	34	17	15	6	4
发展中国家一次能源使用情况	23.4	25.8	7.1	38.1	5.1	0.6
发达国家一次能源使用情况	24.5	38.3	22.7	2.8	5.7	5.9

不可再生的化石能源占据目前能源消耗的主导地位，是经济发展的主要物质基础，所以目前的经济方式仍属于化石能源经济，但人们在考虑建立、发展循环经济的时候有必要考虑碳能的循环问题。石油、天然气、煤炭等一次不可再生的化石能源，虽短期内仍是能源主力军，但其总量有限，碳循环慢，满足不了长期能源要求；而可再生的生物质能，循环周期短，清洁，有待充分开发利用，符合客观需要，值得关注。

在发展中国家，生物质能消费量占 40%左右，在个别发展中国家，生物质甚至提供了能源总消费量的 90%。

在发达国家，生物质能也具举足轻重的地位，如美国生物质能占能源消费总量的 4%，澳大利亚占 10%，瑞典占 9%。发达国家生物质能平均消费量达到能源消费总量的 2.8%以上。有关专家估计，生物质能极有可能成为未来可持续能源系统的重要组成部分，到 21 世纪中叶，采用新技术生产的各种生物质替代燃料将占全球总能耗的 40%以上。

二、开发生物质能源的意义

生物能源由于其可再生性，它的发展不仅可以从根本上解决能源危机，而且能改善日益恶化的环境，主要表现：一是能源植物在生长过程中要吸收大量的二氧化碳，减少空气中二氧化碳的浓度；二是生物燃料可以干净地燃烧，便于在环境中分解；三是能源植物的种植对野生动物、生态系统、农田、水土保持和水质有着积极的影响。因此，解决人类环境问题的根本在于能源问题。能源问题解决好了，环境问题也可从根本上解决。而生物能源，由于能够促进生态环境的改善，必将成为一种可持续发展的新兴产业。不仅如此，生物能源革命还将引起农业革命。现代农业在粮食生产方面虽然取得了很大成就，但是，粮食的高产造成全球性粮食激烈竞争，致使农民收入下降，并导致农村地区就业机会减少。而生物能源的发展，将使整个世界经济发展所需能源相当大的一部分转向农村去生产。这不仅能够解决人类所面临的能源危机和环境危机，还能使农村经济重新充满活力。农业和生物能源生产的一体化，将为农村地区带来足够的企业，以缓解农村向大城市移民的浪潮，农村地区的生活水平、生活环境将会进一步提高。大力发展生

物能源产业,可以解决农村能源短缺问题,并且为整个国民经济的发展提供新的能源供给,缓解能源供需矛盾,促进我国能源结构的现代化,为整个国民经济的发展注入新的活力。大力发展生物能源产业,用干净能源取代化石能源,有助于改善我国城乡居民的生活环境及生态系统和自然环境,促进经济与环境的协调发展。

生物质产业的多种功能和对资源的循环利用正是它的魅力所在。在中国,它直扣“三农”、能源和环境三大主题,并起着全局性和实质性的推动作用。我国是一个人口大国,又是一个经济迅速发展的国家,21世纪将面临着经济增长和环境保护的双重压力。因此,改变能源生产和消费方式,开发利用生物质能等可再生的清洁能源资源对建立可持续能源系统,促进国民经济发展和环境保护具有重大意义。

(一) 开发生物质能是解决能源供应紧张的有效途径

虽然有关研究报告表明,已查明的世界化石能源原料中煤、油、气储藏量估计为 $1 \times 10^{12} \text{t}$ 。储藏量中煤占66%,石油占18%,天然气占16%。但石油、天然气这两种能源载体有很大部分集中在政治不稳定地区,而且世界化石能源储量探明的增长速度慢于人类对能源的需求增长。

自19世纪70年代第二次产业革命以来,化石燃料的消费急剧增大。初期主要以煤炭为主,进入20世纪以后,特别是第二次世界大战以来,石油及天然气的开采与消费开始大幅度地增加,并以每年 $2 \times 10^8 \text{t}$ 的速度持续增长。虽然经历了20世纪70年代两次石油危机,石油价格高涨,但石油的消费量不见丝毫减少的趋势。对此,世界能源结构不得不进行相应变化,核能、水力、地热等形式的能源逐渐被开发和利用。特别是第二次世界大战后核能发电得到了和平利用,其规模不断得到发展,很多国家现已进入了原子能时代。但从当今世界的能源消费状况来看,前景不容乐观。以1994年为例,世界能源的总消费量以石油换算为 $79.8 \times 10^8 \text{t}$,其中石油占39.3%、煤炭占28.8%、天然气占21.6%。尽管在新能源开发方面正在进行努力,包括水力发电,但比例也仅占5%。

据美国《地理》杂志报道,全世界现在每天消耗石油8000万桶(每7桶合1t)。美国是最大的石油消费国,其后石油消费大国依次为日本、中国、俄罗斯、德国与韩国。

未来全世界的能源消费将稳步增长,到2025年世界一次能源需求将比2001年增长54.0%,其中工业国家的能源消费年均增长1.2%。天然气将是一次能源消费构成中增长最快的能源,年均增长2.2%;石油需求将进一步增加,2020年和2025年世界石油消费量将分别达11030万桶/日和12090万桶/日。

现在地球人口约70亿,到21世纪中叶预计将达到100亿人。只从人口增长的数字来看,能源消费的增加将是惊人的。另外,目前的能源消费结构上仍存在着很大的南北差异,即工业发达国家使用量为总能源的3/4,人均消费量美国最高,为世界平均水平的5倍以上。今后的能源消费必须考虑生活提高的对比,我国能源消费的增长程度是可以想象的。

自1993年我国成为石油净进口国以来,我国石油对外依存度到2002年已经达到33%,根据预测,到2020年这个数字很有可能达到50%~60%,与美国目前的58%相当。在2000年,我国一次能源消费 $13.7 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤,占全球总量的11%,而人均能源消费仅为世界经济合作与发展组织(经合组织)国家均值的1/7和世界均值的1/2。2003年,中国已成为仅次于美国的石油消费大国。初步测算,全年能源消费总量为 $19.39 \times 10^8 \text{t}$ 标

准煤,比上年增长 10.1%。在未来 20 年,我国能源需求预计将显著增长,到 2020 年我国的能源需求将达到 $31 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤左右,为当年全球的 13.2%,为美国的 60%、印度的 3.29 倍、英国的 7 倍。

一方面是能源的需求随着经济的发展不断急剧增加,另一方面是全球面临着主要化石能源资源不足的情况。

石油是地球经过几百万年沉积下来的矿藏。专家估计,全世界整体石油总储量为 $(2700 \sim 6500) \times 10^8 \text{t}$,实际已经探明的大概为 11 500 亿桶,但以目前的开采速度计算,地球上的石油储量只够满足全世界石油消费 41 年。

而据美国能源部门估计,今后 20 年内,世界石油还能供求平衡,但 20 年后就要面临缺油的局面。只经过一个多世纪的消耗,几百万年形成的这个地球资源宝藏就面临着在几十年内被开采完的命运。根据日本、欧盟等能源机构预计,全球化石能源的枯竭是不可避免的,其峰值将在 2020~2030 年出现,并在 21 世纪内基本开采殆尽。按目前消耗能源的速度计算,地球上的石油在 45 年、天然气在 60 年、煤炭在 150 年内将被耗尽,现在世界能源消费以石油换算约为 80 亿 t/年,按 40 亿人计算,平均消费量为 $2 \text{t}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。以这种消费速度,到 2040 年首先石油将出现枯竭,到 2060 年天然气也将终结。节约能源已是人类共同的责任。

与全球能源形势相比,我国一次性能源煤炭、石油和天然气的开采形势更不容乐观。有关专家粗略地估算出,中国石油最终可采资源量为 $(130 \sim 160) \times 10^8 \text{t}$,天然气最终可采资源量为 $(10 \sim 15) \times 10^{12} \text{m}^3$ 。而根据我国的能源储量、构成和消耗速度,2004 年专家们在敦煌召开的“中国大漠光电项目构思会”上共同发出警告,我国在全球将率先面临化石能源枯竭的挑战,在不久的将来,煤炭、石油和天然气等主要能源将会被开采殆尽。

我国各种一次能源资源储量均低于世界平均水平,大约只有世界总储量的 10%,人均占有量不足世界人均值的 1/2。作为世界上最大的发展中国家,中国正处在经济社会的快速发展时期,已经成为世界第二大能源消费国,快速增长的能源需求态势,使能源供应问题在未來越发严重。

地球上的能源终将是有限的,如同只伐树而不植树,森林也会变成荒原一样,如此大量的消费,世界的能源资源也将会枯竭。随着世界人口的不断增加,能源紧缺的时期将会提前到来。因此,21 世纪新能源的开发与利用已不再是一个将来的话题,而是关系人类子孙后代命运、刻不容缓的一件大事。所以,发展可再生能源是解决能源短缺,实现经济、社会可持续发展的重要保证。多年来,欧盟各国对开发利用可再生能源十分重视,而且已经取得明显成绩。现在欧盟各国利用可再生能源发出的电力,已经相当于其全部电力的 1/6。2000 年 12 月,欧盟通过了《可再生能源指令》,要求欧盟各国利用可再生能源的发电量占全部电力消费量的比例要从 1997 年的 14% 提高到 2010 年 22%。可再生能源包括风能、太阳能、地热能、海洋能和生物能等。1997 年,欧盟利用可再生能源发电的总量占全部电力消费量的比例为 13.9%,其中比例最高的国家是奥地利,可再生能源电力占总电力比例高达 73%。

瑞典因为自身的能源需求压力大,所以积极地寻求可再生能源。在欧洲,瑞典是最早利用耕地来种植速生类植物和树木的国家之一,而且种植面积还比较大。瑞典政府还出台了一系列的政策来支持农民种植这类植物,他们利用这类速生植物和树木来获取生