

生物质资源再利用

张宗舟 柴 强 赵紫平/著

清华大学出版社



生物质资源再利用

张宗舟 柴 强 赵紫平/著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书就生物质资源的应用问题从多方面作了翔实阐述,介绍了某些生物质资源的利用价值,以及如何再次循环利用这些资源使其发挥最大的作用。前三章概括地介绍了什么是生物质资源、生物质资源的分类和应用,后面四章详细介绍了生物质资源在不同领域的应用。内容涵盖:生物质资源分类及主要应用、不同生物质资源概述、生物质资源的饲料化利用、生物质资源的肥料化利用、生物质资源的能源化利用、生物质资源在食用菌栽培中的利用等。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

生物质资源再利用/张宗舟,柴强,赵紫平 著. —北京:清华大学出版社,2016

ISBN 978-7-302-42879-4

I. ①生… II. ①张… ②柴… ③赵… III. ①生物能源—能源利用—研究 IV. ①TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 030586 号

责任编辑:王荣娉 胡花蕾

封面设计:赵晋锋

版式设计:周玉娇

责任校对:曹 阳

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.5 字 数:474 千字

版 次:2016 年 5 月第 1 版 印 次:2016 年 5 月第 1 次印刷

定 价:58.00 元

产品编号:067912-01

前 言

人类的祖先从最初生活在地球上开始就已经在应用各种生物质资源了。我们的生活离不开生物质资源,然而在人类生活史上有很长一段时间却没有人意识到这一问题。20 世纪 30 年代,美国最先开始了对剩余农产品的工业性开发,如用玉米生产变性淀粉、大豆生产印刷油墨等,直至 70 年代的石油危机才唤起了人们对生物燃料代替石油的研究。20 世纪 90 年代以来化石能源资源渐趋枯竭,在环境恶化的背景下,“登博斯宣言”“21 世纪议程”“京都议定书”等相继被提出,生物质资源才真正受到人们的关注和重视。

随着社会的发展,生物质资源被大量地开发、不合理地应用,到今天某些资源储量出现了严重的不足,尤其能源紧缺问题成为人类共同面对的严峻考验。这才使我们想起了可以借助生物资源的循环利用或合理转化来缓解能源不足的现状,而且生物资源有许多优点,如储量大、分布区域广泛、易再生、易应用、对环境友好。

本书共七章,分别为绪论、生物质资源分类及主要应用、不同生物质资源概述、生物质资源的饲料化利用、生物质资源的肥料化利用、生物质资源的能源化利用、生物质资源在食用菌栽培中的利用。前三章概括地介绍什么是生物质资源、生物质资源的分类和应用,后面四章分别详细介绍生物质资源在不同领域的应用。

本书就生物质资源的应用问题从多方面进行了概括总结,而且也向读者介绍了某些生物质资源的利用价值,以及如何再次循环利用这些资源使其发挥最大的作用,如农业生产、药厂、养殖业中的余料和废弃物的循环利用,最终再回到环境中去。

本书除了介绍应用技术、应用现状外,还真实地展示了环境问题、能源问题以及人们对生物质资源的认识状况。实际生活很多人都没有生物质资源的具体概念,甚至有些人分不清生物质资源、能源、化石燃料之间存在着怎样的关系,面对大自然如此慷慨的馈赠却茫然不知;一些爱护环境者也只是关注空气、水体、土壤等是否被污染了,温室效应是否被控制了或又加剧了。即使公益广告随处可见,但这些宣传内容基本没有明确指出什么是生物质资源以及与生物质资源密切相关的内容。本书旨在让人们在意识中形成生物质资源的概念,并关注它。

本书的第一章、第二章和第七章由张宗舟教授写作;第四章、第五章和第六章由柴强教授写作;第三章由赵紫平老师写作;统稿由张宗舟教授完成。在书稿写作和修改过程中,马丽同志、韩小芬同志和赵瑾同志给予了很大的帮助,在此一并表示感谢。虽然我们经过了两年半时

间的认真准备、撰写和修改,但由于作者水平有限,书中疏漏和不足在所难免,敬请业内专家多多指正。

作 者

2016 年 1 月

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 生物质资源发展及特点.....	1
第二节 生物质能源开发利用的必要性.....	3
第二章 生物质资源分类及主要应用	11
第一节 生物质资源分类	11
第二节 我国生物质资源总量	18
第三节 国内外生物质能利用现状及前景	21
第三章 不同生物质资源概述	35
第一节 植物纤维性废弃资源概述	35
第二节 畜禽粪便资源概述	41
第三节 有机废水资源概述	45
第四节 糟粕类资源概述	46
第五节 大型真菌下脚料资源概述	48
第四章 生物质资源的饲料化利用	51
第一节 植物纤维性废弃资源饲料化利用之微贮饲料	51
第二节 植物纤维性废弃资源饲料化利用之青贮饲料	62
第三节 植物纤维性废弃资源饲料化利用之氨化饲料	92
第四节 植物纤维性废弃资源饲料化利用之膨化和热喷处理.....	106
第五节 糟粕类生物质资源的饲料化利用.....	111
第六节 畜禽粪便资源的饲料化利用.....	122
第七节 EM 发酵秸秆饲料的应用研究	130
第八节 菌体蛋白饲料.....	138
第九节 菌糠的饲料化利用.....	162

第五章 生物质资源的肥料化利用	167
第一节 植物纤维废弃资源还田技术	167
第二节 畜禽粪便肥料化技术之堆肥	176
第三节 畜禽粪便肥料化技术之有机肥	186
第四节 菌糠的肥料化利用	197
第五节 沼液及糟渣类的肥料化利用	200
第六章 生物质资源的能源化利用	207
第一节 生物质气化技术	207
第二节 生物质液化技术	214
第三节 生物质固化技术	223
第四节 生物质气化制氢技术	233
第五节 生物质气化制沼气技术	240
第六节 生物质液化制染料乙醇技术	264
第七章 生物质资源在食用菌栽培中的利用	279
第一节 生物质培养食用菌的可行性	279
第二节 生物纤维性废弃物在食用菌栽培中的利用	282
第三节 中药渣栽培食(药)用菌	291
第四节 茶渣栽培食药菌	295
参考文献	297

第一章 绪论

第一节 生物质资源发展及特点

生物质是指利用大气、水、土地等通过光合作用而形成的各种有机体,即一切有生命的、可以生长的有机物质统称为生物质。它包括所有的植物、动物和微生物。广义上讲,生物质包括所有的植物、微生物和以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物(如粪便、废水等)。人们可通过物理、化学、微生物方法对生物质进行加工,将其转化为饲料、肥料、能源和生物基工业等多种产品,从而将其资源化利用,所以说生物质是一种资源。

一、生物质资源概念的提出及发展

一万多年前,人类开始驯养野生动植物和发展从事生物质生产的农业,使人类离开洞穴,放弃渔猎采集,到丰美的平原上,过上耕耘养殖、丰衣足食的田园生活,开创了辉煌的农业文明。动植物为人类生存繁衍提供了所需的营养,以及生产、生活所需要的燃料,生物质生产是最古老和全面意义上的“能源产业”。

随着社会的发展,到工业社会时,传统的生物质燃料已不能满足大量和集中供能的需要。19 世纪的煤炭和 20 世纪的石油、天然气成为人类社会生产和生活的主要能量来源,支撑了辉煌的工业文明。但一二百年的高强度开采与消费,使这些非再生的化石能源资源渐趋枯竭。同时,全球变暖和环境恶化引起国际社会的极大忧虑。自 20 世纪 90 年代,“登博斯宣言”“21 世纪议程”“京都议定书”等相继面世,“可持续发展”成为时代的最强音。当人们将目光聚焦到可再生的清洁能源时,生物质能源重新受到关注,成为可再生能源中烁烁闪光的亮点,当然不只是简单地燃烧,而是基于现代技术的高效利用。20 世纪 30 年代,美国就开始了对于剩余农产品,如用玉米生产变性淀粉、大豆生产印刷油墨等的工业性开发;70 年代的石油危机才唤起了人们对生物燃料代替石油的研究。美国和巴西用玉米和甘蔗生产燃料乙醇,欧洲以油菜为原料生产生物柴油,将林业废弃物固化成型燃烧,以及沼气发电等都取得了成功,为古老的生物质产业打开了一个新的替代性能源窗口,窥视到一片生机盎然的绚丽前景。

直到 20 世纪末,生物质才作为一个专门概念被提出和开始进行系统的产业化开发,因而在提出的角度、概念和内涵上不尽一致。一般认为,生物质(biomass)主要是指可再生或循环的有机物质,包括农作物、树木和其他植物及其残渣(residues);也有从资源的高效利用和循环经济效益考虑,对农林废弃生物质资源给予更多重视,提出生物质以非食用木质纤维素类物质(non-food plant)为主;还有“生物基工业”(bio-based industry)的提法,除生物能源、生物燃料外涵盖了整个生物化工产品,以及基因工程制药。狭义性的生物质产业概念是指利用可再生

或循环的有机物质,包括农作物、林木和其他植物及其残体、畜禽粪便、有机废弃物,以及利用边际性土地和水面种植能源植物为原料,通过工业性加工转化,进行生物基产品(bio-based products)、生物燃料(bio-fuels)和生物能源(bio-energy)生产的一种新兴产业。

随着人口的增长和经济的发展,我国的能源问题已经变得越来越突出。21世纪初到2020年,我国能源可持续发展的目标为力争达到利用能源消费翻一番实现国民经济翻两番。具体为到2020年一次能源消费总量 $30 \times 10^8 \text{ tce}$ (ton of standard coal equivalent,即1吨标准煤当量),而2010年约为 $21 \times 10^8 \text{ tce}$ 。然而根据国家统计局数据,2009年全国一次能源消费总量已经超过 $30 \times 10^8 \text{ tce}$,比预期时间提前了21年。纵观我国的经济形势,对能源的需求依然会保持强劲的增长。更为严峻的是化石能源并不是可再生资源,中国已探明的石油、天然气、煤炭储量分别只够使用14年、32年和100年,全世界石油也只用40年。另外,我国主要的一次性能源消费主要来自煤炭,2007年煤炭占一次能源消费比例69.5%、烟尘和 CO_2 排放量的70%、 SO_2 的90%、氮氧化物的67%。此外,机动车快速增长所带来的污染不断加剧。中国已经是能源消费第一大国和 CO_2 排放第二大国,要求中国限排温室气体的国际压力也越来越大,2020年以后中国将难以回避温室气体排放限制的承诺。作为一种洁净而又可再生的能源,生物质是唯一可替代化石能源转化成气态、液态和固态燃料以及其他化工原料或者产品的碳资源。

二、生物质资源的特点

生物质能一直是人类赖以生存的重要能源,仅次于煤炭、石油和天然气,居于世界能源消费总量的第四位,在整个能源系统中占有重要的地位。生物质能具有以下特点。

(1) 丰富性及广泛分布性

只要有阳光照射,植物就会进行光合作用,生物质能就会不断积累。生物质能就是太阳能以化学能形式储存在生物质中的能量形式,即以生物质为载体的能量。根据生物学家估算,植物界每年由光合作用携带来的有机质大约为 $1.73 \times 10^{11} \text{ t}$,相当于 $3 \times 10^{21} \text{ J}$ 的能量。另外,全世界每天产生的垃圾和排放的废水中都蕴藏了很多能量,据统计,全世界每天的垃圾为 $2.7 \times 10^8 \text{ t}$,所有的这些有机物和无机物都是潜在的生物质资源。生物质能源的年生产量远远超过全世界总能源需求量,相当于目前世界总能耗的10倍,而作为能源的利用量还不到总量的1%,开发潜力巨大。同时,只要有绿色植物的地方就有生物质能,分布非常广泛。从生物质能资源中提取或转化得到的能源载体很广泛,涵盖气、液、固3种形态。

(2) 可再生性

生物质能与风能、太阳能等同属可再生能源,资源丰富,可保证能源的永续利用,符合当前可持续发展的要求和循环经济的理念,更符合科学发展观的要求。中国工程院副院长杜祥琬院士就曾指出“生物质能源是最具产业化、规模化前景的可再生性能源,将在我国能源中占举足轻重的作用”。

(3) 易获取性

生物质能源具有普遍性、易获取性。几乎不分国家和地区,它到处存在,而且价格低廉、容易获取,生产过程极为简单。

(4)低污染性

生物质资源替代化石燃料可以减少 SO_2 、 CO_2 等污染物的排放,改善环境质量。在使用过程中几乎没有 SO_2 产生,生物质能源燃料燃烧所释放出的 CO_2 大体上相当于其生长时通过光合作用所吸收的 CO_2 ,所以应用生物质能源时 CO_2 的排放可被认为是零。

(5)储运便利

在可再生能源中,生物质能是唯一可以储存和运输的能源,这对其加工与连续使用带来一定的方便。

(6)技术难题少,便于开发利用

传统化石能源的开采和利用技术往往比较复杂,需要一定阶段的研究才能转化利用。而在新能源中,例如风能、太阳能、地热能、潮汐能等,生物质能因其开发更具有层次性,无论是初级产品还是高级产品,都与人类的生产生活密切相关,所以开发利用也更为广泛。正是基于此原因,生物质资源开发技术上的难度相对较小。人们既可以利用生物质能的热能效应,例如生物质直接燃烧;又能将其简单的热能转化为化学能、电能等高层次能源,如生物质做成液体燃料,气化生产沼气,用于发电等。

第二节 生物质能源开发利用的必要性

中国是一个人口大国,同时又是一个发展中国家。未来中国将面临经济增长和环境保护的双重压力。中国的煤、石油等不可再生资源也日渐耗竭。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资源,对于改善生态环境、建立可持续的能源系统、保障国家安全和解决“三农”问题都有很重要的意义。

一、改善生态环境的必要手段

能源的开发利用对环境的影响有 3 种情形:第一种,对环境造成危害;第二种,不对环境造成危害;最后一种,不仅不对环境造成危害,而且有利于改善已经破坏的生态环境。化石燃料的使用属于第一种情形,而生物质能的开发利用则属于最后一种情形。生物质能燃料燃烧容易、污染少,有害成分很低。开发利用生物质能要求人们恢复植被,种植能源林,最终形成 CO_2 的平衡;使用这种能源几乎不会产生 SO_2 的污染,有利于回收利用有机废弃物,处理废水和治理污染;生物质能中的沼气发酵系统能和农业生产紧密结合,可减少化肥、农药使用量,同时还能减缓化肥、农药带来的种种对环境的不利影响,在促进农村经济发展的同时,还保护了环境。种植能源林在获得能源的同时,可使土地受益,特别是对湿地环境的改善明显,对固定沙流和沙丘也有明显作用。据资料报道,能源矮林还能促进鸟类多样化。西方国家还在试验能源林对城市和工矿污水的过滤净化作用及对农场牲畜粪便、污水的生物净化过滤作用。总之,生物质的生产与利用对环境质量的改善具有重要意义。

过多化石能源的使用除排放大量的 SO_2 、氮氧化物等有害气体造成局部环境污染、产生酸雨外,还排放大量 CO_2 温室气体,造成全球气候变暖。但在生物质能源作物大面积持续种

植和利用地区,CO₂ 排放量少得几乎可以忽略不计,有的地区还可能出现 CO₂ 负释放。生物质燃烧所释放出的 CO₂ 量大体上相当于其生长时通过光合作用所吸收的 CO₂ 量,因此燃用生物质造成的 CO₂ 的排放可以认为是零,甚至有所减少(考虑到燃烧后草木灰中含有大量的 K₂CO₃),因此,生物质被称为 CO₂ 中性的燃料。这是煤、石油和天然气等常规能源所无法比拟的优势。

二、缓解能源、环境危机的必然选择

煤、石油、天然气等矿物燃料是工业社会的核心能源,但它们是不可再生资源,储藏量有限。据国际能源机构统计,煤、石油、天然气可供开采的年限分别只有 240 年、40 年和 50 年。随着人类经济社会的飞速发展,能源消耗的速度越来越快,尤其是矿物燃料消费的不断增长,导致了对它们的过度开采,使得其价格日益上涨并渐趋枯竭;同时,高强度地使用使多余的能量和碳素大量释放,打破了自然界的能量传递规律和碳平衡,造成臭氧层破坏、全球气候变暖、酸雨等灾难性后果,引起了国际社会的极大忧虑。如果没有新的能源来取代常规能源在能源结构中的主导地位,21 世纪必将爆发严重的、灾难性的能源和环境危机。

生物质能源战略已成为美欧发达国家的重要能源战略。在化石能源渐趋枯竭、环境压力日益沉重、需求和油价持续上涨及世界能源资源争夺战愈演愈烈的情况下,寻求可再生清洁能源和能源的多元化是唯一的出路。处在一体化的国际大环境之下,中国的能源形势也十分严峻。尤其是改革开放以来,中国经济迅猛发展,虽然经济增长方式正在由粗放型向集约型转变,但对于矿物能源的需求量仍与日俱增。然而中国的常规能源储备和开发利用潜力却不容乐观,每年尚需要从国外大量进口石油,潜在的能源危机将逐步威胁中国经济的快速发展。同时,中国的环境压力也在不断加大。环境友好型经济已被纳入国家的发展战略,生态型、循环型能源的开发利用也已被提上重要的发展议程。

为缓解能源、环境双重危机,人们把视线聚焦到可再生能源上。太阳能、风能、小水电等虽然是可再生能源,但不能进行物质生产,而生物质既能贡献能量,又能像煤炭和石油那样生产出千百种化工产品。如燃料乙醇与车用普通汽油相比,CO₂ 的排放可降低 7%,碳氢化合物可减少 48%;生物柴油富含氧,与普通柴油混合使用,可使燃烧更加充分。据检测,生物柴油无毒,能进行生物降解,添加 20% 的生物柴油,可减少排放 SO₂ 70%,降低空气毒性 90%;使用生物塑料能解决白色污染问题。同时生物质能源以作物秸秆、畜禽粪便、农林废弃物、城市有机垃圾等为原料,使之无害化和资源化,将植物蓄存的光能与物质资源深度开发和循环利用,符合发展循环经济的理念。因此,生物质能源既能满足缓解能源危机的需要,又符合保护环境、实现可持续发展的要求,是中国进行可再生能源开发利用的必然选择。

三、保障国家安全的现实需要

随着能源危机的逐步扩大,各国对本国常规能源资源的保护和对外能源市场的争夺将日益升级,极不利于世界的和平与稳定。能源问题已是困扰中国经济发展的一大难题。中国的石油储量仅占世界总储量的 2%,2000 年探明储量为 $3 \times 10^9 \sim 4 \times 10^9$ t,如果按 2000 年石油年开采量计算,到 2020 年中国石油资源已趋于枯竭。中国油气供需矛盾突出,据国土资源部

预计,中国石油开采年限为15年,远远低于世界51年的平均水平。有关部门预计,到2020年中国石油需求量将高达 $4.5 \times 10^8 \text{ t}$,其中 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$ 来自进口,这势必将对我国能源供应安全造成威胁。我国原油进口依存度在2009年突破50%后,2010年和2011年均保持在55%左右。

固然,发展生物质能源不是获得新能源的唯一途径,人类可以发展核能源,甚至可以通过高科技手段从外太空获得能源,但其中的危害也是有目共睹的。首先,核能源的发展极可能给已经不安定的世界带来新的不稳定因素,甚至直接威胁到人类的生存环境;其次,各国或各集团在人类下个世纪技术水平下所能到达的有限外太空区域内进行的能源开发,将不可避免地引发新的争夺或争端,其祸福不言自明。能源安全已经成为与国家安全不可分割的重要组成部分,能源问题直接关系到中国经济的快速增长以及社会的可持续发展与稳定。相比之下,生物质能源则是能生产出其他能源的最安全、最稳定的能源。目前,许多国家,尤其是发达国家都在致力于开发高效、无污染的生物质能利用技术,以保护本国的矿物能源资源,为实现国家经济的可持续发展提供根本保障。20世纪90年代以来,美国在生物质能源方面的研究经费逐步加大,按照美国能源署的要求,2010年混合性生物柴油(90%常规柴油和10%生物柴油)的产能要从现在的 $1 \times 10^6 \text{ t}$ 提高到 $1.2 \times 10^7 \text{ t}$ 。欧盟委员会提出,到2020年,运输燃料的20%将用生物燃料替代。中国在生物质能源发展方面也作出了积极部署。据推算,利用中国现有生物质资源的一半,以生物质为原料生产燃料乙醇、生物柴油、生物基塑料各达年产 $1.2 \times 10^7 \text{ t}$ 生产能力计,每年相当于建设一个大庆油田,并可减少 $1.6 \times 10^8 \text{ t CO}_2$ 净排放量,相当于2003年进口石油量的55%或从俄罗斯进口量的9倍,并可节约 1.5×10^{10} 美元外汇,大大减轻中国外交、援助、贷款的压力,降低遭讹诈、受制于人的危险,减少资金投入和政治外交代价付出。从这些意义上说,发展生物质能源无疑是保障国家能源安全、国防安全和经济安全的大战略。

四、解决“三农”问题的良好途径

开发利用生物质能对中国农村更具特殊意义。“三农”问题是中国经济发展的根本性问题,解决该问题的质量将直接影响着中国经济社会发展的全局,全国上下都给予了足够的重视。

1. 有利于促进农业产业结构升级

生物质能源的开发和利用有利于促进农业产业结构升级,促使种植业由“粮经饲”三元结构升级为“粮经饲能”四元结构。

数千年来,传统农业一直从事着稻麦棉、猪牛羊等初级农产品的生产,农产品生产主要用于满足人类生活的基本需要。到了工业化社会,农业在提供初级农产品的同时,又从棉毛麻丝、烟酒茶糖、果菜皮革等向食品和农产品加工方向延伸。进入21世纪,生物质产业为农业开创了“第三战场”。这个战场不仅仅提供能源,还可以通过延长生物质能的产业链,利用生物乙醇生产乙烯、聚乙烯、环氧乙烷等上千种生物化学材料,替代以石油为原料的石油化工材料,推动第三次化学工业变革。于是,生物质产业再次扩展了农业发展的空间——一个与能源、环境并举,具有高附加值和市场潜力的能源产业,促进了种植业由“粮经饲”三元结构升级为“粮经饲能”四元结构。

2. 有利于改善农业生产经营管理方式

生物质能源的开发和利用有利于改善农业生产经营管理方式。

千百年来,农业生产经营都是围绕生产出来的“果实”——粮棉油麻、农畜产品等展开,而“果实”的附属产品枝、叶、根、茎、芯、皮、粪便、动物尸体等或作为薪柴进行低效率的燃烧、或作为农家肥使用,或者直接作为废弃物处理。这种管理以“产品”为导向,不注重能量高效利用、物质循环利用,造成了一定程度上的资源浪费。事实上,农业生产中无论是种植业生产,还是畜牧业从畜禽仔到养殖成熟,均是一个能量转换的流程。无论是“果实”还是附属物,都是富含能量的资源。生物质能的开发充分利用了果实资源及其附属资源,促进了农业生产经营管理模式由“产品”管理模式向“流程”管理模式升级,提高了农业资源的利用效率。如北京郊区的窦店村实施了以沼气为中心的物质多级循环利用工程:作物秸秆用来生产食用菌和饲料;饲料喂养畜禽;人、畜粪尿作为原料生产沼气,沼液用于水产养殖;沼渣作为有机农产品——“无公害蔬菜”施肥和喂养畜禽,从而达到了物质利用的良性循环,缓解了农村“三料”(饲料、燃料、肥料)的缺乏问题,提高了土地产出水平;同时畜禽、鱼、谷物、饲料等加工品也可输出到市场上出售。

3. 有利于推动林业经济的发展

农业废弃物每年的产量虽然很大,但收集成本高。如我国主要农产品秸秆产量可达约 7×10^8 t,分别来自稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、棉花、甘薯等,由于产地不同,分布广阔,收集不便。以收集万吨生物质为例,农业废弃物的秸秆根据樊京春的资源收集半径公式:

$$R = \sqrt{\frac{2 \times 667 \times M \times 10^3}{M_0 \times \alpha \times \beta \times 10^6}}$$

式中, M 为年秸秆消耗量; M_0 为每亩秸秆产量,约为 1 t; α 为秸秆用作发电原料的比例,约为 30%; β 为耕地占总面积的比例,约为 50%。

据该公式计算,收集万 t 秸秆的工作半径约为 25 km,面积约为 $196\ 875\text{ hm}^2$,相当于 5×10^3 tce,而产生同等热值的薪炭林面积为 603.67 hm^2 ,仅为前者的 $1/326$,薪炭林的优势显而易见。此外,林业产品密度高于秸秆产品,便于装运,同等热值的林业产品成本低于秸秆,促使林业生物质产品竞争力优于秸秆生物质能产品。基于林业生物质能产品的经济效益优势,生物质能的大力发展必然会促进林业经济的快速发展,提高林业生物质资源收集力度以及林业生物质能产品及相关设备开发。如云南省从 2007 年开始膏桐生物质能源林基地建设,还成功与中石油、英国阳光集团等 20 多家国内外企业“联姻”,以省林科院、中科院西双版纳植物园等为科技支撑,形成了“企业+基地+农户+科技”的现代林业产业发展模式。到 2010 年,云南省膏桐种植基地达到 26.67 万 hm^2 ,2015 年将发展到 66.67 万 hm^2 ,形成年产生物柴油原料 2×10^6 t、产值 35×10^8 元的新兴优势产业。国家林业局在 2013 制定的《全国林业生物质能源发展规划(2011—2020 年)》指出,到 2020 年,建成林业生物质能种植、生产、加工转换和应用的产业体系,现代能源林基地对产业保障程度显著提高,培育壮大一批实力较强的企业。到 2015 年,建成油料林、木质能源林和淀粉能源林 838 万 hm^2 ,林业生物质年利用量超过 1×10^7 tce,其中生物液体燃料贡献率为 10%,生物质热利用贡献率为 90%。建成一批产业化示

范基地。到 2020 年,建成能源林 1678 万 hm^2 ,林业生物质年利用量超过 $2 \times 10^7 \text{t}$,其中生物液体燃料贡献率为 30%,生物质热利用贡献率为 70%。

4. 有利于创造就业机会,增加农民收入

我国每年有 $7 \times 10^8 \text{t}$ 作物秸秆,相当于农田生物量的 70% 或 $3.5 \times 10^8 \text{tce}$ 没有很好利用,其中 $2 \times 10^8 \text{t}$ 被就地焚烧,污染大气;每年有 $2 \times 10^8 \text{t}$ 林地废弃物未被利用且构成火灾隐患,每年有 $25 \times 10^8 \text{t}$ 畜禽粪便及大量有机废弃物,相当于 $3 \times 10^8 \text{t}$ 标煤未被利用和成为水体的污染源;每年有 $1 \times 10^7 \text{hm}^2$ 农田因覆盖石油基塑料地膜而导致土壤肥力衰退。目前尚有约 $1 \times 10^8 \text{hm}^2$ 不宜垦为农田但可种植高抗逆性能源植物的边际性土地,若种植菊芋、木薯、红薯、甜高粱、薪炭林等高产能源作物,可年产出或替代 $6 \times 10^8 \text{t}$ 燃油(相当于目前全国石油年消费量的 1 倍)。农林废弃物可年产出 $8 \times 10^8 \text{tce}$ (相当于目前全国年商品能源消费量的 70%),是一笔巨大的资源财富。

我国农村仍然有大量富余劳动力,创造农民就业机会一直是解决“三农”的瓶颈。结合我国巨大的生物质资源优势,基于当地资源和人力物力,通过发展“能源农牧业”,将农作物的秸秆、畜禽粪便等变废为宝,可为农村开辟新的经济发展渠道和新的经济增长点,有效地促进农村增收。例如在有条件的县市逐步建设秸秆能源转化基地,发挥乡镇一级组织、加工、协调的主导作用,以千家万户的农民为载体,建立秸秆的回收、整理、运输。按照每 5~6t 的秸秆转化为 1t 生物质能源,加工成本约为 4000~4300 元/t,则每亩地农民可以得到 200~300 元的收入。全国农民按此建立秸秆资源的开发利用体系,可因此新增 4×10^{10} 元和至少 1×10^7 个就业岗位,既可推动中小城镇的发展,减轻大中型城市的就业压力,又可缩小工农及城乡差距,为农民创造就业新岗位,为农民增收创造新途径。

5. 有利于发展绿色能源,促进农村工业的发展

生物质能开发利用可得到生物柴油、燃料乙醇。随着中国原油加工量的上升,汽油和煤油拥有一定数量的出口余地,但柴油的供应缺口仍然较大。2010 年,中国柴油需求量突破 $1 \times 10^8 \text{t}$,与 2005 年相比增长 24%;至 2015 年,市场需求量将会达到 $1.3 \times 10^8 \text{t}$ 左右。目前,生产柴汽比约为 1.8,而市场的消费柴汽比均在 2.0 以上。同时,随着汽车工业的快速发展,汽油和柴油的用量随着汽车保有量的增加而增多,不可避免产生汽车尾气污染问题。为了保护环境,改善大气质量,更多国家将目光转向了具有环保特性、润滑性能、安全性能、燃料性能和可再生性能的生物柴油。因此,生物柴油发展潜力大。生物柴油的原料也很广泛,除废食用油可用于生产柴油外,油菜、向日葵、大豆等油源作物也可用于制造生物柴油。燃料乙醇不仅是优良的燃料,它还是优良的燃油品改善剂。燃料乙醇是燃油的增氧剂,使汽油增加内氧,达到环保和节能的目的,而且乙醇汽油辛烷值高,引擎爆发力强、污染又少,是值得开发的绿色能源。燃料乙醇以生物质(高粱、玉米、木薯、海藻、糖芋、苦配巴树等)为原料通过生物发酵途径获得的燃料用乙醇。燃料乙醇经改变性质后与汽油按照一定比例混合可制车用乙醇汽油。而且,对燃料乙醇深加工,将燃料乙醇脱水,把农产品生物质当作工业原料加工石油替代产品,还可以得到“石化之母”——乙烯。通过玉米、薯类、秸秆等原料生产出乙烯,乙烯又生产出一系列化工产品,这样由农产品生产出燃料乙醇和乙烯开始,全方位逐步替代石化资源,为缓解加

工制造业能力过剩增添了生产门路,也有利于降低国内原料成本,振兴农村工业。

6. 有利于优化农村能源结构,改善生态环境

随着我国农村经济迅速增长,农村地区能源消费增长迅速(年均增长 6%)。煤炭、油品、电力的年均增长率分别为 11%、20%和 16%,油品和电力年增长率最为迅速。但是 8.07×10^8 的人居住在农村,急剧发展的乡镇企业所消耗的能量量已达 3.2×10^8 tce,占全国商品能源总消费量的 1/4。对于我国人多地少、人均资源缺乏的现状,目前只有继续投入大量能源以实现农业现代化并支持农村经济腾飞,才能使得国家粮食安全有保障。发展农村能源与农业生产有机结合,才能带动农业结构调整,促进农业增长方式转变和农民增收。发展农村沼气和生物质等能源,不仅使农村的资源得到有效利用,而且通过改厕、改厨、改圈、改院等建设,把农村的“三废”(秸秆、粪便、垃圾)变成“三宝”(燃料、饲料、肥料),实现了社会要生态、农民要致富的目标,促进了生产、生活、生态的协调发展,有利于建设资源节约型、环境友好型的新农村。据调查统计,一个 5 口人的农家采取传统的直接燃烧方式,其生活用能每天燃烧掉的农作物秸秆为 17.5kg,若直接燃烧薪柴也需要 11.25kg,能满足其基本生活用能。若通过沼气发酵而烧沼气,按每口沼气池每公斤总固体有机质产沼气 0.45m^3 计算,则每天只需要 2.8kg 总固体有机废弃物即可。若建一口 10m^3 的沼气池,每户每年可节约 3.13t 左右的薪柴,相当于保护 $0.27 \sim 0.33\text{hm}^2$ 林地免遭砍伐。如果按每年砍伐山林 0.27hm^2 ,以 4 年轮伐期计算,建设一口沼气池相当于保护 1.07hm^2 林地。建一口 10m^3 的沼气池,建池成本约为 1500 元,建成使用后,年产沼气约 300m^3 ,沼气价值 216 元,农户开展沼气、沼液、沼渣综合利用,可以增产增收 500 多元,这样沼气价值加上“三沼”综合利用,合计增收节支 800 余元,投入使用后 3 年就可收回成本,每口沼气池按正常使用寿命 20 年计算,可获纯收入 1.3 万元,投入产出比为 1:9。

7. 有利于优化农村生活环境,提高农民的生活

新农村建设中提出“生产发展,生活宽裕,乡风文明,村容整洁,管理民主”20 字方针。其中,村容整洁,改善农村生态环境、人居环境,打造拥有新房舍、新设施、新环境、新风尚、新秩序的农村新面貌。农村环境的改善,集中表现在农村的畜禽粪便、生活垃圾、农村工业有机废弃物、农作物秸秆等方面的脏、乱、差的治理上。开发生物质能源,通过加快生物质能源发展,实施秸秆综合利用、沼气项目建设等,短期内低成本地改变农村的环境卫生状况,解决养殖业带来的环境污染问题,阻断疫病传染源,改善农村居民的生活居住环境,有效地提高农民生活品质,如沼气可净化室内外空气。室内外空气质量与厨房燃料的燃烧造成的废气污染关系很大,河南省卫生防疫站的监测结果表明,生物质能在传统直接燃烧利用方式下居室内 CO 、 SO_2 、 CO_2 、TSP 的浓度分别比现代化利用方式(沼气利用)下的浓度高 73.94%、83.8%、27%、77%(如表 1-1 所示)。同时,沼气池在处理粪便方面还具明显的卫生效果。沼气村的地下水细菌总数合格率和大肠杆菌合格率均为 56.1%,对照村则分别为 32.6%和 28.0%,沼气村的苍蝇密度下降了 80%左右。此外,沼气的利用减少了农户对薪柴的依赖,节约了大量的采樵砍柴工,解放了农村劳动力,尤其是减轻了贫困地区妇女的劳动强度。

表 1-1 沼气和燃煤户的室内环境质量比较(mg/m^3)

	CO	SO ₂	CO ₂	TSP
沼气户	2.138	0.116	0.057	0.238
燃煤户	8.203	0.718	0.078	1.056

资料来源:吴创业,马隆龙.生物质能利用技术[M].北京:化学工业出版社,2003:105-107.

自 20 世纪 80 年代以来,建立起的沼气发酵综合利用技术,以沼气为纽带,将物质多层次利用、能量合理流动的高效农业模式,已逐渐成为我国农村地区利用沼气技术促进可持续发展的有效方法。通过沼气发酵综合利用技术,沼气用于农户生活用能和农副产品生产加工,沼液用于饲料、生物农药、培养料液的生产,沼渣用于肥料的生产,我国北方推广的塑料大棚、沼气池、气禽畜舍和厕所相结合的“四位一体”沼气生态农业模式,中部地区以沼气为纽带的生态果园模式,南方建立的“猪—果”模式,以及其他地区因地制宜建立的“养殖—沼气”“猪—沼—鱼”和“草—牛—沼”等模式,都是以农业为龙头,以沼气为纽带,对沼气、沼液、沼渣多层次利用的生态农业模式。沼气发酵综合利用生态农业模式的建立使农村沼气和农业生态紧密结合,是改善农村环境卫生的有效措施,也是发展绿色种植业、养殖业的有效途径,已成为农村经济新的增长点。

对农业而言,生物质能开发利用能够促进我国农业产业结构升级,改善农业经济管理模型,发展林业经济。对农村而言,生物质能开发利用能够调整农村能源结构,改善生态环境,优化农村生活环境,促进农村工业发展。对农民而言,生物质能开发利用能够增加就业机会,增加农民收入,提高农民生活质量。虽然开发生物质能有可能会增加对生产资料的竞争性,提升相关农林产品价格的波动性,并且大面积种植单一作物会降低生物多样性,但是只要坚持开发与保护相协调、统筹兼顾、因地制宜、合理利用的原则,制订合理规划,明确目标,有序开发,就一定能够促使生物质能的开发利用顺利推进,达到既优化我国能源结构、缓解能源消费压力,又促进“三农”和谐发展的目标。

