

木质纤维素的生物转化

—MUZHI XIANWEISU DE SHENGWU ZHUANHUA—

刘同军 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

木质纤维素的生物转化

刘同军 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

在科学技术飞速发展的21世纪,全世界都在追求经济的迅猛发展,人类的生活水平不断提高,社会也越加富裕,但是随之而来的是全球范围内的资源短缺,特别是人们生活和生产赖以生存的重要能源。为了更好地保护自然生态环境,探索人类和地球和谐发展的共同途径,生物能源逐渐进入大众的视野。与一般的矿物能源不同,生物能源是利用生物质、水、无机物通过生物转化,可以再生的一种新式能源。与石油、煤相比,生物能源作为一种清洁燃料已慢慢地在人类的社会生产中占据重要地位。而木质纤维素是转化生物能源的最主要原料之一,研究其生物转化具有十分重要的现实意义。本书将目光重点放在木质纤维素的生物转化和水解上,具体内容包括生物能源和燃料乙醇的概述、木质纤维素的预处理、木质纤维素的酶水解和影响因素、水解液的基本知识等。

本书内容精炼、图文并茂,适合高等院校环境保护、生物化学等相关专业师生使用,也可供相关专业科研和服务行业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

木质纤维素的生物转化 / 刘同军著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5170-6799-3

I. ①木… II. ①刘… III. ①木纤维—纤维素—生物降解—研究 IV. ①TQ352.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第202147号

责任编辑: 陈 洁

封面设计: 王 斌

书 名	木质纤维素的生物转化 MUZHI XIANWEISU DE SHENGWU ZHUANHUA
作 者	刘同军 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562119
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市元兴印务有限公司
规 格	170mm×230mm 16开本 12.25印张 222千字
版 次	2018年10月第1版 2018年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	49.00元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

当今社会的发展主要依赖以石油为主的化石资源，导致能源逐渐接近枯竭。同时，化石燃料的燃烧导致二氧化碳排放量不断增加，造成全球气候变暖。因此，开发新的可持续的绿色替代能源和资源已经成为世界各国的紧要任务。

木质纤维素是地球上最丰富的可再生性有机资源。对木质纤维素资源进行大规模的开发和利用，将其降解转化为液体燃料，不仅能够减缓石油等不可再生资源的消耗，降低我国对原油的过度依赖，有效地减缓温室效应，还能开拓新的经济增长点，加快经济发展方式转变，促进全球经济的可持续发展。木质纤维素资源生物转化的研究有着广阔的发展前景，具有巨大的战略意义和现实意义。

本书共7章，第1章阐述相关基础理论，包括生物质能源的概念、生物质能源的生产与转化、生物质能源的发展现状与前景、我国常见的生物能源等内容。第2章探析植物细胞壁，包括植物化学和植物细胞壁等内容。第3章讨论燃料乙醇，包括燃料乙醇的概念、燃料乙醇的生产工艺、一代燃料乙醇、二代燃料乙醇、燃料乙醇的发展前景及难点等内容。第4章讨论纤维素的预处理，包括化学法预处理木质素、物理法预处理木质素、物理化学综合法处理木质素、生物法处理木质素、有机溶剂法处理木质素、纤维素预处理反应器等内容。第5章探讨纤维素的酶水解，包括纤维素酶、半纤维素酶、漆酶、木质纤维素酶水解的影响因素，木质素水解对纤维生物转化的影响等内容。第6章探讨水解液，包括水解液的概念、水解液的发酵、水解液的转化、水解液的中和等内容。第7章探析木质纤维素预处理过程中抑制物的形成及降低其毒性的策略，首先进行了简单的理论介绍，之后讨论

了预处理、原料成分和副产物形成、抑制效应、抑制的消除策略等内容，最后进行了总结。

本书在撰写的过程中，得到了许多专家学者的帮助和指导，尤其是得到了作者所在的齐鲁工业大学生物工程学院生物基产品研究室师生的大力协助。在此特表示真诚的感谢。本书参考了大量的相关学术文献，内容系统全面，力求论述条理清晰、深入浅出、翔实，但因作者水平有限，虽经多次修改，但书中仍难免疏漏之处，希望广大同行及读者予以批评指正。

作者

2018年4月

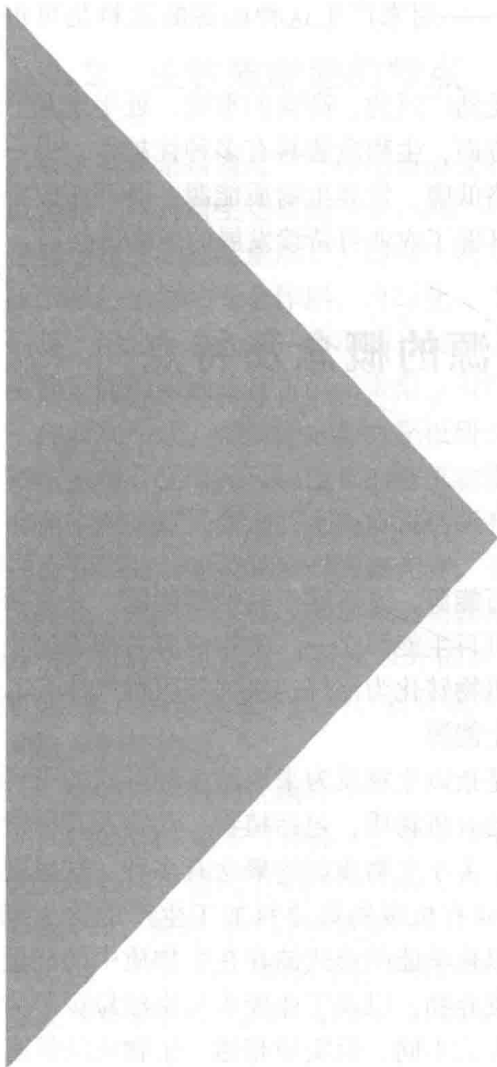
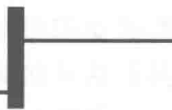
目 录

前言

第 1 章 概述	2
1.1 生物质能源的概念及特点	2
1.2 生物质能源的生产与转化	4
1.3 生物质能源的发展现状与前景	7
1.4 我国常见的生物能源	26
第 2 章 植物细胞壁	28
2.1 植物化学	28
2.2 植物细胞壁的结构和成分	37
第 3 章 燃料乙醇	59
3.1 燃料乙醇的概念	59
3.2 燃料乙醇的生产工艺	64
3.3 一代燃料乙醇	68
3.4 二代燃料乙醇	71
3.5 燃料乙醇的发展前景及难点	74
第 4 章 纤维素的预处理	87
4.1 化学法预处理木质纤维素	87
4.2 物理法预处理木质纤维素	95
4.3 物理化学综合法预处理木质纤维素	101
4.4 生物法预处理木质纤维素	104
4.5 有机溶剂法预处理木质纤维素	106
4.6 木质纤维素预处理反应器	117
第 5 章 纤维素的酶水解	125
5.1 纤维素酶	127
5.2 半纤维素酶	138

5.3 漆酶	146
5.4 木质纤维素酶水解的影响因素	149
5.5 木质素水解对纤维生物转化的影响	149
第6章 水解液	152
6.1 水解液的化学组成及成分含量	152
6.2 水解液的发酵	158
6.3 水解液的转化	163
6.4 水解液的中和	164
第7章 木质纤维素预处理过程中抑制物的形成及降低其毒性的策略	173
7.1 概述	173
7.2 预处理	174
7.3 原料成分和副产物形成	177
7.4 抑制效应	180
7.5 抑制的消除策略	182
7.6 结论	186
参考文献	188

第1章 概述



第 1 章 概述

人类已进入生态文明的新时代。随着新时代前进的步伐，新能源方兴未艾。简而言之，所谓“新能源”指一切新出现的能源形式。当然，不同种类的新能源，有不同的概念。例如：清洁能源——这种能源方式不会排放对环境有害的物质；可再生能源——用来产生这种能源的原料是可再生的。

在可再生能源中，生物质能源受到广泛的、高度的重视，近年来几乎聚焦了世界的目光。这是因为：一方面，生物质能具有多种优越性；另一方面，生物质能资源极为丰富，价格低廉。发展生物质能源，既开拓改善了我国能源结构的广阔新路径，又开辟了农业可持续发展的战略道路。

1.1 生物质能源的概念及特点

1.1.1 生物质能源的概念

生物能源，既不同于常规的化石能源，又有别于其他新能源，兼有两者的特点和优势，是人类最主要的可再生能源之一。生物能源是指通过生物的活动，将生物质、水或其他无机物转化为沼气、氢气等可燃气体或乙醇、油脂类可燃液体为载体的可再生能源。

生物质能属于新能源范畴。它是指以生物质为来源的各种形式的可再生能源。生物质是由生物体所产生的有机物质，包括植物、动物及其排泄物、垃圾及有机废水等几大类组成。关于生物质能的概念有多种，这里列举三种：①以含淀粉丰富的农作物或有机废物做原料加工生产的再生能源；②以生物质为载体，将太阳能以化学能的形式储存在生物质中的能量形式；③以农业、林业产品和加工废弃物，以及工业废水与生活垃圾等为原料生产的能源。以上三种表述的方式不同，但实质相通。生物质能源直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，可转化成常规的固态、液态和气

态燃料。从广义上讲,生物质是植物通过光合作用生成的有机物。据生物学家估算,地球上每年生长的生物质能的总量约为1400亿~1800亿t(干重),相当于目前总耗能量的10倍,而迄今生物质能作为能源的利用量还不到它的总量的1%。考虑到自然条件下光合作用的转化率较低,按全年平均计算约为太阳全部辐射能的0.5%~2.5%,若在提供理想环境条件下,光合作用的最高效率可达8%~15%。因此,生物质能源的开发及其利用的潜力是极为巨大的。一般而言,生物质都可以作为生产生物质能的原料,但是必须具有可获得性和商业价值性,即兼具自然属性和经济属性。生物质能源亦称可再生能源,包括战略性产品生物燃料、生物动力、生物热等。

1.1.2 生物质能源的特点

生物质是指通过光合作用而形成的各种有机体,包括所有的动植物和微生物。而所谓生物质能(biomass energy),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。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用,可转化为常规的固态、液态和气态燃料,取之不尽、用之不竭,是一种可再生能源,同时也是唯一一种可再生的碳源。生物质能的原始能量来源于太阳,所以从广义上讲,生物质能是太阳能的一种表现形式。很多国家都在积极研究和开发利用生物质能。

一切有生命的可以生长的有机物质通称为生物质。它包括植物、动物和微生物。广义概念:生物质包括所有的植物、微生物以及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。有代表性的生物质有农作物、农作物废弃物、木材、木材废弃物和动物粪便。狭义概念:生物质主要是指农林业生产过程中除粮食、果实以外的秸秆、树木等木质纤维素(简称木质素),农产品加工业下脚料,农林废弃物及畜牧业生产过程中的禽畜粪便和废弃物等物质。

生物质燃料的优越性如下:

(1) 减少温室气体排放,从而减轻和防止污染,有利于环境保护。有关资料表明,使用生物燃料乙醇的车辆对环境的污染程度仅为使用汽油汽车的1/3,被称为“清洁能源”。

(2) 可再生,循环利用。不管是玉米燃料乙醇,还是甘蔗燃料乙醇,以及纤维素燃料乙醇,都是可以再生的生物燃料乙醇,被称为“再生能源”。

(3) 转变和改善能源消费结构。它作为化石能源的重要替代品促使化

石能源消费量减少，改变和优化能源消费结构，减轻生态环境恶化的压力。

(4) 开发利用纤维素燃料乙醇，可开发利用边际土地种植林木或能源植物，产生取之不竭的生产生物燃料乙醇的原料，既不与粮争地，又不与粮争地，还可绿化大地，美化环境。

(5) 增加农村新的经济增长点。包括开发和建立生物能源原料基地，收集和运输原料，以及其他服务业，将为繁荣农村经济和农民增加收入开辟多条新门路。综合以上所述，通过发展生物质能源，增加了农业的一项新功能，赋予了农业一个新概念：能源农业。

科技人员曾对几种生物燃料乙醇的主要技术经济指标进行了对比，其结果表明：利用纤维素生物燃料乙醇，在减少温室气体排放和能量输入产出比方面，都远远高于玉米和甘蔗燃料乙醇的效果。利用纤维素乙醇减少的温室气体排放量高达 91%，同时依据生产方法不同，最高能量输入产出比可达 36。与此相对照，玉米乙醇和甘蔗乙醇的温室气体减排的效果分别只是纤维素燃料乙醇的 24% 和 62%，其能量输入产出比分别为 1.3 和 8。数据对比，更坚定了大力开发和发展的纤维素燃料乙醇的方向。

迄今，三类生物能源产品的生产技术日臻成熟，所替代的化石能源的数量逐步增加，对促进环保、改善民众生存环境发挥的作用日益巨大。这里必须再次强调指出的是，按照“不与人争粮、不与粮争地”的原则，要以大力发展后者为更佳选择。但当前，必须加强科技攻关，尽快解开纤维素燃料乙醇大规模商业化运用的关键难题。可以预言，随着这个世界性难题的解决，第二代生物燃料乙醇产业必将展现出日益广阔的发展前景。

1.2 生物质能源的生产与转化

1.2.1 生物质能源的生产

1. 绿色能源生产的必要环节

生物质能采取的是绿色生产 (green production) 方式。这是指以节能、降耗、减污为目标，以相应的管理和技术为手段，对工业生产全过程进行污染控制，使污染物的产生量最少化。绿色生产方式完全扭转了西方发达国家原先采用的先污染、后治理的“末端处理”方式，转化为以污染

防范为主的污染控制战略。这种新战略被联合国环境规划署工业环境活动中心称为清洁生产战略。清洁生产是经济可持续发展的一个有力工具，也称为清洁工艺、绿色工艺、生态工艺等。直到20世纪90年代初，国际上逐步统一称为清洁生产，也称绿色生产。

这里特别强调，要以“双创”（大众创业、万众创新）特别是以科技创新为动力，把绿色能源生产提升到“绿色能源产业经济”或“低碳能源产业经济”的高度。即以减少温室气体排放为目标，构筑以低能耗、低污染为基础的产业经济发展体系，包括低碳能源系统、低碳技术和低碳产业体系。

加快发展生物质能源，应该抓好以下必要环节：一是大力抓好现有生物质资源的开发和合理利用，包括各类农作物秸秆和农产品加工副产物等；二是大力抓好新增生物质能源的资源基础，特别是开发利用“不与人争粮、不与粮争地”的新型能源资源；三是大力抓好包括液体、气体、固体等在内的生物质能源的生产和供应；四是大力抓好生物质开发利用生物质能源，使之成为替代化石能源的重要新能源。在目前的各类生物能源中，更多专家学者认为，生物燃料乙醇作为一种清洁无污染燃料，是未来能源产业经济发展的重要趋势之一。我国必须把它置于能源发展的战略地位，不失时机地加强科技攻关，以占领生物能源发展的制高点。

2. 绿色生产的综合措施

发展清洁（绿色）生产、低碳经济的全过程，必须做到“三个确保”：①确保采用的能源清洁及生产全程清洁。②确保生产的产品清洁，即无污染、符合质量标准。③确保充分开发各种资源，做到自然资源有效使用，短缺资源替代使用，废弃资源无害化后再使用。

实现清洁生产的途径，在于采取综合措施：①综合利用资源。包括综合利用原材料和能源等，开发二次资源，即把废渣、废气、废液“三废”材料变废为宝。②综合防止物料浪费。即对加工副产品进行无毒化处理，资源化再利用，既减少和避免资源损失，又生产出清洁产品。③创新研制新设备、新工艺。适应综合开发利用资源的需要，要创新研制和采用新设备和新工艺，以提高资源利用率、加工产出率和产品优质率。④调整和优化结构。通过革新和提升设计，调整和改善产品结构、产业结构，以形成新的绿色产业链、绿色产品链，以及绿色供应链。⑤采取综合改革管理措施。为加强污染防范及转变“末端处理”方式，必要措施就是改革管理和推广绿色生产方式，以逐步实现三个目标：有效削减二氧化碳排放强度，使其排放总量达到控制的水平；加快发展低碳能源和低碳技术，显著提高

碳生产率；减少和避免污染排放。特别是通过“末端处理”、发展循环经济、源头预防和加强监管等措施，减少和防止“三废”的排放，减轻和避免对人类和环境的风险。

与绿色生产方式相对应，还必须采取绿色生活方式，也称为低碳生活（low carbon life）方式。它要求人类在各种生活行为中从自己做起，从生活细节做起，从点滴入手。例如，在日常生活中，注重节电、节水、节油、节气等，不铺张、不浪费、不参与过度消费，多为环境“储值充值”，把能耗下降到最低程度，从而最大限度减低含碳物质的燃烧，特别是减少二氧化碳的排放量，进而减轻对大气的污染，减缓生态恶化，减小温室效应，保护生态环境。

1.2.2 生物质能源的转化

采用不同的技术手段对不同的生物质材料进行加工，可以得到不同形态的生物质能源。其中，可供选择的战略产品有三大类、五大品种。这三大类包括：第一类，液体生物燃料，包括生物燃料乙醇和生物柴油。像利用淀粉类、糖类和纤维类生物材料生产的多种产品，包括玉米燃料乙醇、“三薯”（甘薯、马铃薯和木薯）燃料乙醇和纤维素燃料乙醇，以及利用动物和植物油脂生产的生物柴油等。第二类，气体生物燃料，包括沼气、生物质汽化、生物质制氢和沼气等。例如，在农村利用秸秆、粪便和其他材料转化生成的沼气，广泛应用于农户生活。第三类，固体生物燃料，主要包括成型燃料与“热电联产”产生的电力等。例如，把秸秆、林木废弃物等生物质固化为成型燃料，再进一步直接燃烧发电转化生成电能，或利用生物质汽化生成燃气燃烧发出电能。

中国生物质能资源丰富，品种多样。包括资源丰厚的“三柴”等相关农产品，以及取之不竭的秸秆和薪炭林、农产品加工废弃物等。据估算，目前全国每年农作物秸秆年产量多达9亿多t，可利用的占50%以上。通过工业化加工，可以生产出数量可观的清洁能源，其经济社会生态效应非常可观。

从中国的丰富资源和借鉴国外经验出发，中国适宜发展的生物质能源有五大战略产品，即燃料乙醇、成型燃料、工业沼气、生物塑料和生物柴油。中国生产燃料乙醇的资源十分丰富，在研究提高其商业化价值之后，它是发展生物质能源的首选产品，是等待开辟和建设的巨大无比的“绿色油田”。实际上，中国发展生物质能源这一新兴产业的起步，并不比美欧国家的时间晚。但是，目前在基础工作、国家和企业的推进力度方面，以

及提出的发展指标和速度上差距正在拉大。鉴于此，国家应尽快从政策上引导、从措施上支持、从改革上增强动力，以促进发展生物质能源，特别是要加大支持科技创新的强度和力度。

中国已经开发出多种固定床和流化床气化炉，以秸秆、木屑、稻壳、树枝为原料生产燃气。2006年，用于木材和农副产品烘干的有800多台，村镇级秸秆气化集中供气系统近600处，年生产生物质燃气2000万 m^3 。

中国政府及有关部门对生物质能源利用也极为重视，已连续在四个国家五年计划中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技术的研究与开发，如户用沼气池、节柴炕灶、薪炭林、大中型沼气工程、生物质压块成型、气化与气化发电、生物质液体燃料等，取得了多项优秀成果。政策方面，2005年2月28日，第十届全国人民代表大会常务委员第十四次会议通过了《中华人民共和国可再生能源法》，2006年1月1日起已经正式实施，并于2006年陆续出台了相应的配套措施。这表明中国政府已在法律上明确了可再生能源包括生物质能在现代能源中的地位，并在政策上给予了巨大优惠支持。因此，中国生物质能发展前景和投资前景极为广阔。

中国在生物质能源方面，目前主要是雅津甜高粱秸秆和籽粒加工乙醇、渣加工颗粒燃料作为替代煤炭的可再生能源。

1.3 生物质能源的发展现状与前景

多年来，一段著名讲话一再被广泛引用：“如果你控制了石油，你就控制住了所有国家；如果你控制了粮食，你就控制住了所有的人；如果你控制了货币，你就控制住了整个世界。”假若广义地把粮食也视为能源，那么就更加表明，能源对于人类生存与生计、变革与变迁是无比重要和必要的，现代能源产业与现代人类社会经济更加息息相关。正由这种关系决定，在社会经济迈向现代化的不断变革和变迁进程中，能源产业经济也相应不断出现新情况、新挑战与发展新趋势。

1.3.1 我国与世界能源局势

从国际发展现状看，生物质能源已成为重要的新能源，其技术成熟、应用广泛，被称为第四大能源，成为国际能源转型的重要力量。其主要产品包括生物质能源、生物质成型燃料、生物质燃气、生物液体燃料等。

目前,生物质能源呈现如下发展趋势:一是生物质能多元化分布式应用成为世界上生物质能源较发达国家的共同特征。二是生物天然气和成型燃料供热技术和商业化运作模式已达到基本成熟的水平,并逐渐成为生物质能源的重要发展方向。三是生物质供热的空间不断向中、小城市和城镇扩大。四是生物液体燃料向生物基化工产业延伸,技术路线和发展重点向非粮生物质资源的多元化生物炼制产业发展,形成燃料乙醇、混合醇、生物柴油等多种重要能源替代产品,并不断扩展航空燃料、化工基础原料等应用领域。

我国目前的生物质能主要是在农村经济中利用,所以农村未来能源需求和消耗情况对生物质能的开发利用量影响很大,有关资料对我国农村今后能源使用情况作了预测,这个指标可以较大程度上反映我国今后生物质能消耗的趋势。它的预测分两种:第一种是常规方案预测,即建立在现时生物质能发展情况的基础之上的预测,其结果是各时段(2000年、2010年、2030年、2050年)的生物质利用量的增长速度分别为8.9%、7.7%、8.0%、3.6%;第二种是加强方案预测,即以突出强调生物质能对化石能源的替代为依据的预测,其结果是各时段的发展速度分别为9.6%、8.0%、7.4%、4.5%。

当今,全球能源格局面临着新形势和新趋势:能源供求关系和定价机制不断变革;近年来能源价格持续低迷;需求导向全球能源结构不断转变;能源产品的金融属性凸显,对全球金融市场产生深远影响。在这种新趋势下世界能源面临着值得关注的“五化”新特点:①世界一次能源消费量呈稳增化。迄今,一次能源还是世界的主要能源,其消费量仍然稳定增长。这是世界经济继续发展和人口增长的必然和使然,但增幅有所降低,是可喜变化。②世界能源消费呈差别化。经济发达国家在进入后工业化社会后,经济向低能耗、高产出的产业结构发展,能源消费增长速率明显低于发展中国家。③世界能源消费结构趋优质化。为应对全球环境危机,绿色能源消费量迅增,促进能源消费结构趋优化,但不同地区差异明显。④世界能源资源争夺激烈化。虽然世界能源资源数量仍比较丰富,但伴随能源消费的持续增长和能源资源分布集中度的增大,对能源资源的争夺日趋激烈化,争夺的方式也更加复杂化。⑤加强对化石能源消费危害治理措施的制度化。鉴于化石能源消费对环境造成的污染和对全球气候的负面影响日趋严重,各国都注重建立制度,以有效应对。综合上述,世界能源供应和消费将继续向多元化、清洁化、高效化、全球化和市场化趋势发展。

1.3.2 我国展望

研究和制定一个科学的、中国生物能源发展方略，是攸关其发展的根本性、全局性、长远性大事，也是攸关其进退、兴衰的根本性命运。因此，从“顶层设计”的高度出发，拥抱新时代、勇踏新征程、引领新常态、把握新理念、制定生物能源发展方略，是贯彻落实“五位一体”建设总布局，还自然以宁静、和谐、美丽的客观需要和必要措施。

1. 以科学思维方式制定科学发展方略

谋划中国生物能源的发展方略，必须运用科学思维方式。包括运用宏大的战略思维、严密的辩证思维、强烈的创新思维、整体的系统思维、清醒的底线思维和规范的法治思维。战略思维谋全局，辩证思维增智慧，创新思维强动力，系统思维聚合力，底线思维定边界，法治思维强保障。

基于战略思维，在当今竞争激烈的市场经济时代，要振兴中国生物能源产业，惟有创新方能进，惟有创新方能强，惟有创新方能者胜。必须在战略上判断得准确、谋划得科学，才能赢得战略主动。要进行科学谋划，必须做到：在时间维度上进行长远考虑，在空间维度上进行全局谋划，在系统维度上进行整体布局，跳出局部从整体上布局各个阶段、各个部分的发展，努力占据发展的制高点，从整体上把握生物能源产业的发展趋势和方向，发展重点和关键。还要遵循客观规律，驾驭生物能源的战略发展步骤，稳中求进，持续、健康发展。

基于系统思维，要把发展生物能源产业当作一个系统工程。系统是由相互联系、相互作用和相互依赖的若干要素结合而成的具有特定功能的有机整体。基于系统的理念，要注重生物能源新产业的整体性、层次结构性，以及动态平衡性、开放性和时序性等特征。在制定我国生物能源发展方略中，必须深刻认识和把握：它既是一项涉及多部门、多领域、多学科、多层次的系统工程；又是一项关系整个国民经济改革和发展、经济体制和运行机制的重大改革；还是攸关生产、流通和专业化服务的创新工程，以及深刻涉及经济发展方式和民众生活方式的一场大变革。

基于创新思维，对作为新能源的生物能源，必须以创新为强大动力，进行新谋划，确立新思路，实施新调整，建立新结构，开创新产业，提升新水平。在当今竞争激烈的市场经济时代，要振兴中国生物能源产业，更要把创新摆在国家发展生物能源全局的核心位置。大量实践表明：惟有创新方能进，惟有创新方能强，惟有创新方能胜；要把理论创新、制度创

新、科技创新、文化创新等各方面的创新，贯穿到生物能源发展的全过程。尤其是，当前我国能源产业进入转型升级的关键期，面临着从结构到技术、从管理到体制机制的一系列重大挑战，应对挑战的根本举措和动力就是勇于能源科技创新。

基于底线思维，就是要有居安思危的忧患意识，要树立问题意识、危机意识、效果意识和边界意识，正视问题和挑战。当前，要正视能源安全和环境保护面临的问题。自世界工业革命以来，化石能源过度的消费导致全球气候变暖，严重自然灾害频仍，普遍性面源污染，对各国各地区构成了严峻挑战，成为全球必须共同应对的时代性大课题。要在这个大局面前，人类成为命运共同体，必须协同应对，趋利避害，有守有为，努力争取最好结果。底线思维蕴含着积极有为的态度，要求人们积极寻求合适的方法，推动目标尽快实现；牢牢掌握主动权，努力争取成功地通达顶线。

总之，基于科学思维方式，制定中国生物能源的科学发展方略，必须包含以下主要内容包括：确立正确发展战略；择取科学发展路径；转变发展方式；创新体制机制；强化保障机制。

2. 我国生物能源的发展规划

国家能源局于2016年10月制定的《中国生物质能发展“十三五”规划》（以下简称《规划》），阐明了我国生物质能产业发展的指导思想、基本原则、发展目标、发展布局和建设重点，提出了保障措施，是“十三五”时期我国生物质能产业发展的基本依据。

（1）指导思想。发展生物能源的指导思想。坚持中央关于经济工作一贯的指导方针，坚持创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，紧紧围绕能源生产和消费革命，主动适应经济发展新常态，按照全面建成小康社会的战略目标，把生物质能作为优化能源结构、改善生态环境、发展循环经济的重要内容，立足于分布式开发利用，扩大市场规模，加快技术进步，完善产业体系，加强政策支持，推进生物质能规模化、专业化、产业化和多元化发展，促进新型城镇化和生态文明建设。

（2）基本原则。在“十三五”期间，我国发展生物质能源的基本原则包括：①坚持分布式开发。根据资源条件做好规划，确定项目布局，因地制宜确定适应资源条件的项目规模，形成就近收集资源、就近加工转化、就近消费的分布式开发利用模式，提高生物质能利用效率。②坚持用户侧替代。发挥生物质布局灵活、产品多样的优势，大力推进生物质冷热电多联产、生物质锅炉、生物质与其他清洁能源互补系统等在当地用户侧直接替代燃煤，提升用户侧能源系统效率，有效应对大气污染。③坚持环