



生物能源 产业生态系统研究

赵 军 著

**Bioenergy Industrial
Ecosystem**



科学出版社

Bioenergy Industrial Ecosystem

生物能源 产业生态系统研究

赵军 著



科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

生物能源产业生态系统研究/赵军著. —北京: 科学出版社, 2015. 1
ISBN 978-7-03-042350-4

I. ①生… II. ①赵… III. ①生物能源-产业发展-研究-中国
IV. ①F426. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 253909 号

责任编辑: 侯俊琳 朱萍萍 乔艳茹/责任校对: 张怡君
责任印制: 赵德静/封面设计: 无极书装
编辑部电话: 010-64035853
E-mail: houjunlin@mail. sciencep. com

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

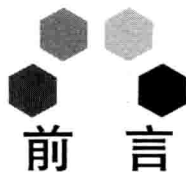
2015 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张: 12 3/4

字数: 202 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



生物能源产业生态系统理论源于对国际国内生物能源产业发展历史、现状和趋势的深度思考。随着经济与社会不断发展，世界各国对能源的需求持续增长。中国是能源消费大国，能源问题已成为制约我国社会可持续发展的“瓶颈”，煤炭、石油等常规能源日益枯竭，因此开发利用可再生能源迫在眉睫。一般认为，生物能源是一种可再生的清洁能源，发展生物能源产业有利于解决能源危机、保护环境、发展低碳经济、带动相关产业发展，对于优化国家能源产业结构、改善生态环境乃至保障国家能源安全都有重要意义。

近些年，生物能源产业在各国政府的大力扶持下迅速发展，但与此同时，伴随发展生物能源产业而来的经济、社会和环境等问题不断浮出水面。这些问题包括发展生物能源引起的粮食安全问题、与其他能源相比成本偏高而市场竞争力不足的问题、过度依赖政府扶持的产业政策问题、技术研发和生产存在的亟待突破的瓶颈问题，以及可能引起的环境和生态问题。我国在技术、原料、政策体系设计等方面存在一系列问题。毋庸置疑，发展生物能源产业已不是单一层面、单一领域或某一部门的问题，需要社会各部门、各环节分工、协调和合作，因此需要一个系统的生物能源产业理论来指导产业健康、稳定、持续发展，促进我国生物能源产业的合理整体布局和可持续发展。所以，将既有的生态学思维、复杂系统科学与生物能源产业实证分析相融合，对全球化大背景下日趋复杂的“生物能源产业生态系统”进行探索成为本书研究的主题。

从我国实际情况出发，借鉴美国、巴西等生物能源产业发达国

家的成功经验,遵循战略性新兴产业发展的客观规律,发挥政府、企业、科研机构等多个主体的协同创新作用,在构建生物能源产业生态系统理论框架的基础上对存在的问题提出相应的发展战略及政策性建议是本书的目标。本书各章的主要内容简述如下。

第一章,绪论。本章概述了世界生物能源的发展情况,分析了发展生物能源产业面临的突出矛盾,还介绍了本书的研究意义、研究对象、研究内容及研究方法。

第二章,相关概念和理论综述。根据研究内容,从组织生态、企业生态系统、产业生态系统、生物能源产业相关研究、中国生物能源产业发展五个方面系统梳理了与生物能源产业生态系统研究相关的国内外研究进展。

第三章,生物能源产业生态系统构建的可行性。主要从学术思想渊源(理论)和生物能源产业发展的现实条件(实践)两方面的支撑条件入手,阐述了构建“生物能源产业生态系统”这一新系统的可行性。

第四章,生物能源产业生态系统的构建。对自然生态系统和产业生态系统进行了总结和对比,在此基础上着手构建了生物能源产业生态系统,研究了系统概念和内涵,界定了系统边界,并对系统构成和特征进行了分析和总结。

第五章,生物能源产业生态系统的演化及案例研究。对产业生态系统的演化过程和动力机制进行了归纳研究,对巴西、美国及我国生物能源产业的演化过程开展了案例研究,并介绍了案例研究的启示。

第六章,生物能源产业生态系统评价体系的构建。分析了战略性新兴产业生态系统评价的重点及原则,总结了生物能源产业生态系统健康性内涵,构建了生物能源产业生态系统健康性评价指标体系和关键种企业成长性评价模型,并对我国生物能源产业生态系统的健康状态和关键种企业成长性情况进行了评价。

第七章,我国生物能源产业生态系统实证分析。对我国生物能源产业生态系统面临的形势、发展现状及存在问题进行了深入剖

析,对我国生物能源产业生态系统的稳定性、可持续性和关键种企业的成长性进行了实证研究,选取了国内三个关键种企业开展了案例研究。在此基础上,提出了我国生物能源产业生态系统的发展战略及相关政策性建议。

第八章,结束语。对主要研究结论和创新点进行了总结,并提出了下一步深入研究的方向和重点。

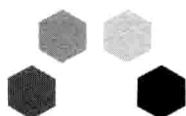
实际上,生物能源产业还处在快速发展时期,生物能源产业生态系统还在不断演变。受能力和时间所限,笔者仅做了一些抛砖引玉的初步探索,尚有许多问题有待深入研究。

本书的研究内容得到了国家发展和改革委员会(以下简称国家发改委)、科学技术部(以下简称科技部)和中国科学院原高技术研究与发展局的有关领导和同志的鼓励和帮助,他们对调查研究、数据收集整理等工作给予了有力支持。中国科学院科技政策与管理科学研究所曹效业研究员、张思光博士,中国科学院微生物研究所高福院士、李寅研究员、王晓亮博士,中国科学院过程工程研究所邢建民研究员,中国科学院学部工作局席亮同志等从不同角度和不同方面对本研究给予了很多指导或帮助,在此一并表示由衷的感谢!

本书在撰写过程中参阅了大量的中外文献,对一些重要的相关理论和实证数据进行了必要的引述,并尽可能在书后参考文献中列出,但难免有所遗漏,在此也向所有参考文献的作者表示感谢。

赵 军

2014年12月于北京



目 录

前言	i
----------	---

第一章 绪论 1

第一节 世界生物能源发展概况	1
第二节 发展生物能源产业面临的突出矛盾	4
一、与生物能源有关的粮食安全问题	4
二、与生物能源有关的市场问题	5
三、与生物能源有关的产业政策问题	5
四、生物能源的技术研发和生产问题	6
五、与生物能源产业有关的环境问题	6
第三节 研究意义、对象、内容及方法	8
一、研究意义	8
二、研究对象	9
三、研究内容	9
四、研究方法	9

第二章 相关概念和理论综述 14

第一节 组织生态理论研究综述	14
第二节 企业生态系统理论研究综述	16
第三节 产业生态系统理论研究综述	19
一、国外研究回顾	19
二、国内研究回顾	21
第四节 生物能源产业研究综述	24
一、与粮食相关问题的研究	24
二、经济贸易方面的研究	25



三、政策法规方面的研究·····	26
四、生态环保方面的研究·····	26
第五节 中国生物能源产业发展研究综述·····	27
第六节 小结·····	28
第三章 生物能源产业生态系统构建的可行性 ·····	31
第一节 产业生态系统构建的理论依据·····	31
一、生态学理论在经济和产业研究中的运用和发展·····	31
二、产业生态系统构建有关理论·····	33
三、产业生态系统评价有关理论·····	35
四、产业生态系统构建的总体目标·····	37
第二节 现有理论构建生物能源产业生态系统的适用性分析·····	37
一、适用性·····	37
二、局限性·····	39
第三节 构建生物能源产业生态系统具有很好的实践支撑·····	41
一、能源供需矛盾日益突出·····	41
二、构建生物能源产业生态系统是现实战略需求·····	41
三、全球生物能源产业蓬勃发展·····	43
四、其他产业生态系统实践已有良好范例·····	46
五、构建生物能源产业生态系统是系统工程·····	48
第四节 小结·····	49
第四章 生物能源产业生态系统的构建 ·····	51
第一节 自然生态系统及其特征·····	51
一、自然生态系统及其构成·····	51
二、自然生态系统的主要特征·····	52
第二节 产业生态系统及其特征·····	54
一、产业生态系统的构成·····	54
二、产业生态系统与自然生态系统的相似性·····	54
三、产业生态系统与自然生态系统的差异性·····	57
第三节 生物能源产业生态系统的定义及边界·····	58
第四节 生物能源产业生态系统的构成·····	60
一、按照系统组成成分划分·····	60

二、按照系统功能划分·····	60
三、按照群落组成划分·····	62
第五节 生物能源产业生态系统的内涵·····	64
第六节 生物能源产业生态系统的有关特征·····	64
一、分散性强·····	65
二、价值网复杂·····	65
三、与生态环境的高度直接关联性·····	66
四、利益多重性·····	66
五、差异性大·····	66
六、存在关键种企业·····	67
第七节 小结·····	67
第五章 生物能源产业生态系统的演化及案例研究 ·····	69
第一节 产业生态系统的演化过程·····	69
一、开拓期·····	71
二、扩展期·····	71
三、成熟期·····	72
四、重塑期·····	72
五、调整期·····	73
第二节 产业生态系统的演化机制·····	73
一、内部和外部动力机制·····	74
二、关键要素推动机制·····	75
第三节 巴西生物能源产业生态系统演化过程研究·····	76
一、开拓期·····	76
二、扩展期·····	78
三、调整期·····	80
四、成熟期·····	81
第四节 美国生物能源产业生态系统演化过程研究·····	90
一、开拓期·····	90
二、调整期·····	91
三、扩展期·····	93
四、二次调整期·····	98
第五节 我国生物能源产业生态系统演化过程研究 ·····	103

一、开拓期（“十五”阶段）	103
二、调整期（“十一五”阶段以来）	105
第六节 案例研究的启示	108
第七节 小结	112
第六章 生物能源产业生态系统评价体系的构建	113
第一节 生物能源产业生态系统评价的必要性	113
第二节 战略性新兴产业生态系统评价的重点及原则	114
一、系统的成长性	114
二、系统的可持续性	115
三、系统的影响力	115
第三节 生物能源产业生态系统健康性评价体系的设计	116
一、生物能源产业生态系统评价原则	116
二、生物能源产业生态系统的当前发展目标	117
三、生物能源产业生态系统健康性内涵	117
四、生物能源产业生态系统健康性评价关键指标	119
五、生物能源产业生态系统健康性评价指标体系建立	121
第四节 我国生物能源产业生态系统健康性评价	125
一、样本选取	125
二、实证方法	126
三、实证结果及分析	127
第五节 小结	133
第七章 我国生物能源产业生态系统实证分析	134
第一节 我国生物能源产业生态系统发展面临的形势	135
一、积极的政策环境给生物能源产业带来发展机遇	135
二、严峻的能源挑战使发展可再生能源势在必行	136
三、减排压力 and 环境保护问题必须采取有效措施应对	138
四、发展生物能源是解决“三农”问题的重要方向	139
五、粮食安全问题是绕不过的现实门槛	140
第二节 基于健康性评价体系对我国生物能源产业生态系统的	
总体分析	142
一、我国生物能源产业生态系统的稳定性	142

二、我国生物能源产业生态系统的可持续发展性	144
三、我国生物能源产业生态系统关键种企业的成长性	146
第三节 我国生物能源产业生态系统当前的突出问题	156
一、原料资源难以得到保障	157
二、政策体系的系统性不强	157
三、产业开放性不够	158
四、技术支撑体系不健全	159
第四节 我国生物能源产业生态系统的发展战略及政策建议	160
一、发展战略	160
二、政策建议	160
第五节 小结	164
第八章 结束语	165
一、主要结论	165
二、主要创新	167
三、未来研究	168
参考文献	169
附录	176
附录 I 巴西、美国和中国生物能源产业发展大事记	176
附录 II 生物能源产业综合评价	182
附录 III 我国生物能源现行政策概览表	187



第一章 绪 论

第一节 世界生物能源发展概况

人类进入工业时代后创造的物质财富比以往总和还多，但同时地球资源消耗也急剧加速，其中石油消耗最明显。随着全球工业化快速发展和汽车数量持续增加，人类对石油需求急剧增加，并在未来相当长的时间内将持续增加，见图 1-1。而全球化石能源储量日益减少，特别是近年来石油价格持续攀高，对全球经济和人类社会发展产生了巨大影响，能源供需矛盾日渐突出，甚至已经成为全球共同面临的严峻挑战。如果不改变这种发展模式，未来不仅会严重影响经济增长，还必将引起各种社会问题，甚至可能会导致人类社会消亡。改革开放后，按可比价格计算，我国 GDP 已连续多年保持 10% 左右的增长。但是，在经济高速增长的背后，却暗藏着极大的隐患：资源短缺、环境恶化及生态失衡现象在我国尤为突出，以高投入拉动、高消耗支撑、高排放维系为特征的增长方式，不仅加重了我国资源不足的矛盾，还污染和破坏了经济和社会赖以生存的自然环境。21 世纪以来，我国能源消费总量逐年攀升，见图 1-2。

在此背景下，寻找可替代生物再生资源、发展生态循环经济已成为世界各国努力的目标。因此各国大力发展各种可再生能源，来自生物质、太阳、水、风、潮汐和地热等的可再生能源正逐步替代传统的矿产化石能源。与其他可再生能源相比，生物能源总的特点是清洁化、可再生性和总量丰富。它是太阳辐射经植物光合作用加工转化后形成的以生物质为载体的一种化学态能量，具有所有物理态清洁能源不具备的诸多特点，如既稳定又储能，原料

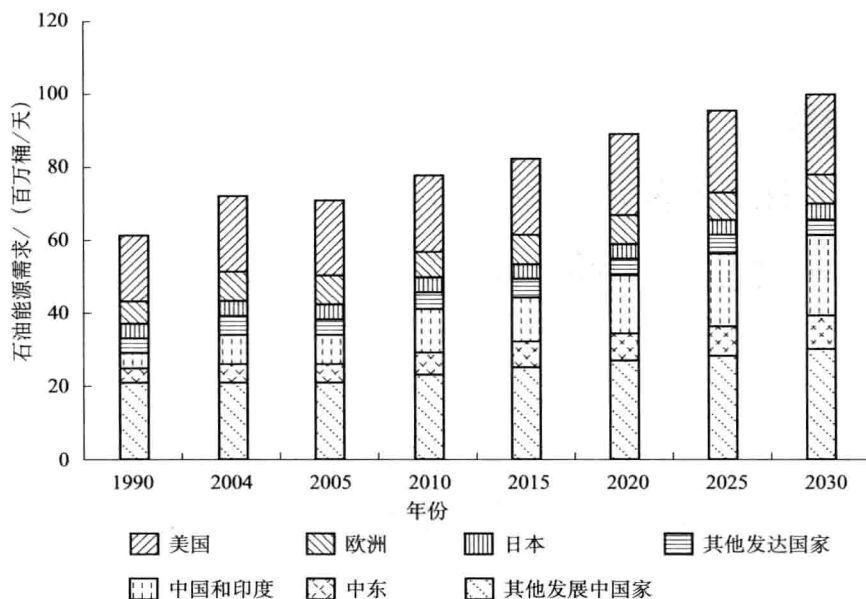


图 1-1 世界主要国家和地区 1990~2030 年石油能源需求变化情况

资料来源：美国能源部（DOE）

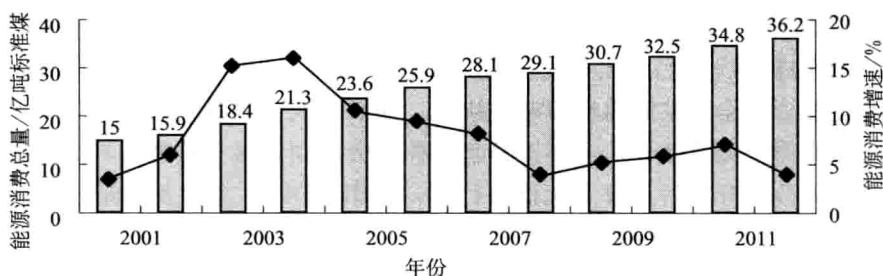


图 1-2 2001~2012 年我国能源消费总量及增速情况

资料来源：中国国家能源局 2013 报告

包括各种水生植物、草、纤维和城市垃圾废弃物等，比较容易获得，现代加工转化技术与途径多样，产品既有热与电，又有包括生物乙醇、生物柴油、生物气体、生物制氢在内的呈固、液、气三态的多种能源产品，以及塑料、生物化工原料等众多非能生物基产品。生物燃料通常分为第一代、第二代和第三代生物燃料。第一代生物燃料是指以糖类、淀粉和动植物油脂为原料，以传统生物能源利用方式生产的生物乙醇、生物柴油等生物燃料，原料大多来自粮食作物。第二代生物燃料是指以纤维素物质、农林废弃物等非粮原料

生产的生物燃料。第三代生物燃料目前国际权威机构还没有一致的定义，一般认为第三代生物燃料有两种：一种是以海藻为原料生产的乙醇、丁醇、生物航煤和柴油，另一种是以生物质为原料通过气化合成生产的汽油、生物航空煤油（简称生物航煤）和柴油。^[1]一般把第二代和第三代生物燃料称为先进生物燃料。美国 2007 年颁布的《能源独立与安全法案》将先进生物燃料标准描述为“寿命周期内温室气体排放比参考基准减少 50% 以上”。国内目前把以木薯、甘蔗、甜高粱等经济作物为原料的非粮乙醇称为 1.5 代生物燃料。根据国际能源署（International Energy Agency, IEA）有关研究，2007 年全球能源消费总量约为 4.9×10^{20} 焦耳，2050 年预计会超过 10^{21} 焦耳，而全球可开发为能源的生物质资源的生产潜力到 2050 年可望达到 $1.1 \sim 1.5 \times 10^{21}$ 焦耳，这就意味着，生物能源如果能得到充分利用，理论上到 21 世纪中期有可能满足世界能源需求。此外，生物质能源的生物性使它与农业和农民有密切关系，可以帮助农民增收，促进农村经济发展，这也是所有物理态清洁能源做不到的。^[2]

正是由于具有这些特点以及其可能产生的巨大社会、政治和经济效益，生物能源的开发利用受到高度重视，全球有 50 多个国家将生物能源作为可再生能源的重要发展方向，纷纷制定发展目标、出台扶持政策，并加强相关领域的资金投入，全球生物能源的产量也迅速增长。根据国际能源署有关数据，2000 年全球生物燃料（包括生物柴油）的产量大约为 1 440 万吨，2007 年迅速增加到 4 800 万吨，2009 年则达到 7 449 万吨。生物燃料生产主要集中在美国、巴西和欧盟，其中，美国占 43%，巴西占 32%，欧盟占 15%。燃料乙醇产量 2002 年后出现“井喷”，2009 年全球燃料乙醇产量达到 5 859 万吨，巴西和美国的合计产量一度超过了世界燃料乙醇生产总量的 90%，巴西 2009 年乙醇产量为 2 367 万吨，替代了全国 56% 的汽油，美国乙醇产量也超过了 2 000 万吨。^[3]对于我国这样的发展中国家来说，生物能源作为可再生的清洁能源，将成为未来能源的重要组成部分，在建设环境友好的和谐社会、发展生态文明的进程中将扮演十分重要的角色，同时对于加强国家能源安全及实现能源多样化等方面也有非常重要的作用。2006 年，在全国生物能源开发利用工作会议上提出了我国生物能源总体发展目标：到 2020 年，我国生物质发电装机容量达到 3 000 万千瓦，生物液体燃料达到 1 000 万吨，沼气年利用量达到 400 亿立方米，生物固体成型燃料达到 5 000 万吨，生物质能年利用量达到一次能源消费量的 4%。实际上，到 2013 年，全国已有 28 个省（自治区、直辖市）开展生物质自然发电，其上网容量达 7 790 兆瓦，这相当于

2012 年一年风能发电量的 1/3，太阳能发电量的 3~4 倍。在 2014 年第八届中国新能源国际高峰论坛上，两院院士石元春对于目前国内新能源的发展继续持乐观态度，他认为，新能源一直担负着调整能源结构和节能减排的使命，“现在看来，新能源发展已在中国形成气候，其作用不容小觑”。

第二节 发展生物能源产业面临的突出矛盾

尽管生物能源产业近些年在各国政府的大力扶持下得到迅速发展，但伴随发展生物能源产业而来的经济、社会和环境等问题也不断浮出水面。

一、与生物能源有关的粮食安全问题

各国生物能源的发展使国际粮价不断面临上涨压力，美国是世界上最大的玉米生产国，2007 年玉米总产量达到 3.4 亿吨，占世界总产量的 43% 左右，同年美国 20% 的玉米被用于生产酒精，这直接导致国际玉米价格扶摇直上，而粮价大幅上涨已在不少国家引发了抗议和骚乱，联合国粮食及农业组织（以下简称联合国粮农组织，Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）估计全世界约有 9.25 亿人营养不足。^[4] 联合国粮农组织专家琼·齐格勒猛烈抨击发展生物燃料导致全球粮食价格猛涨，将粮食转化燃油行为视为“反人类罪”，粮食安全问题再次引起广泛关注。在此背景下，以非粮乙醇、纤维素乙醇和生物柴油为代表的第二代生物燃料应运而生，也顺势成为近几年各国政府扶持和发展的重点。尽管第二代生物燃料主要使用非粮作物，但可能存在“与粮争地”问题，如非粮乙醇的主要原料为非食用淀粉类，包括木薯、甜高粱、杂交甘蔗和杂交甜高粱等，种植这些作物也同样需要耕地。尽管有专家称可以利用盐碱地来种植这些作物，而真正有多少盐碱地可以用来种植，需要认真计算。虽然淀粉类的树木（如橡树等）可以利用荒山来种植，但可利用的荒山资源还需要进一步调查。中国人口超过 13 亿，但人均耕地面积仅是美国的 1/6、巴西的 1/3，人均淡水资源是美国的 1/4、巴西的 1/14，可耕地化肥消耗量是美国的 2.7 倍、巴西的 2 倍。目前，中国农作物消耗总量中，2/3 的大豆、1/3 的棉花、1/6 的甘蔗都依赖进口。中国是始终把粮食安全问题放在重要位置的人口大国，因此在“不与人争粮”和“不与粮争地”的原则下，如何有效、合理地调度和使用有限的土地资源及如何大力发展生物能源，是我国需要面对的重大课题。

二、与生物能源有关的市场问题

生物能源（特别是第二代生物燃料）产业虽然远景美好，但是目前其生存空间面临很大压力。一方面，从原料上看，由于产业规模越来越大，而种植原料的土地资源相对有限，导致原料价格不断上涨，生产企业面临很大的成本压力，生产玉米燃料乙醇 75% 的成本为原料部分。不少人认为第二代生物燃料主要利用秸秆等废弃物，所以不愁原料问题，但我们应当看到，目前作为废弃物的秸秆成本低，一旦形成产业规模生产后，秸秆将是重要的生产原料，其价格上涨是可以预见的，同时秸秆的运输、初步加工和储存都会有相应的成本。另一方面，燃料乙醇企业是否能够盈利，目前仍受到原油油价的直接影响，油价变化将有可能导致玉米乙醇厂家无利可图甚至亏损。就目前的技术水平而言，非粮乙醇成本过高不具备竞争力。另外，其他新能源，如核能、太阳能、水能和风能等，对生物能源产生竞争甚至替代威胁。由于生物能源产业面临着技术和市场等发展障碍，企业和金融市场对生物能源投资项目也缺乏信心和积极性。

三、与生物能源有关的产业政策问题

生物能源产业正处于成长时期，其发展很大程度上需要政府的大力扶持。目前，各国对于生物能源产业已经出台了各种优惠政策，主要包括强制规定在汽油中混入生物燃料、对生物能源产品生产和配送提供补贴，以及出台税收激励机制等，另外，构建关税壁垒等方式也被广泛使用来保护本国生物燃料生产者，这使得其他国家的生物能源生产商很难在本国市场有竞争力。^[5] 这些政策在生物能源产业发展上发挥了重要作用。但反过来看，这也反映了生物能源产业目前对于政府扶持的依赖程度，如欧盟燃料乙醇的产量几乎是完全与补贴联动的，这些政策所带来的后果是对已经严重扭曲及保护程度很高的农产品市场造成新的影响。无论是对国内市场还是对国际市场，生物能源政策所伴随的政策成本逐渐引起人们的关注，因为政府制定的政策涵盖了生物能源产业从投入（如肥料、灌溉补贴）、生产（如作物的农业补贴、贸易政策）、加工与销售（如税额减免、资本投资补贴和强制使用要求）到消费（如购买生物燃料的补贴）等各个环节，还包括对生物能源基础和应用研究的资助，投入资金可谓巨大。此外，政府制定各类生物能源产业政策时往往没有考虑到生物质资源的类别差异，也没有考虑各类生物能源产品生产方法和生产过程的差异，甚至都没有考虑到其生产和使用对环境或社会可能产生的消

极影响。因此，政府制定生物能源产业政策必须在抓住生物能源发展机遇的同时，还要审慎管理其可能带来的各种风险。政府应该如何根据本国情况制定合适的产业政策？如何在发展生物能源产业与控制成本和风险之间找到合适的平衡？如何在扶持产业发展的同时注意发挥市场作用？弄清这些问题对于生物能源产业健康、稳定地发展至关重要。

四、生物能源的技术研发和生产问题

生物能源技术和生产取得了较大的进步，呈现出多元化和环保性等特点，但要想构建可持续发展的生物能源产业生态系统，还存在一些亟待突破的瓶颈问题^[6]，主要包括：①原料问题引起的瓶颈，包括资源难以满足需求、成本过高、不易收集等，迫切需要研究开发优质生物能源原料新品种，研究优化原料收集、运输等技术支撑体系；②转化和生产效率不高，需要发展更加先进的原料预处理、生物发酵技术、转化技术，开发出更低成本、更高效率的催化剂，在提升催化与转化效率的同时要有效降低能耗、水耗等，同时要研究如何能够更好地利用原料开发多种新产品；③实验室成果难以实现商业化生产，主要原因是难以降低成本扩大规模，迫切需要解决有关工艺和平台的开发问题；④生物能源产品品质及相应的标准制定工作还存在不足，如燃料乙醇的性能和动力还不如汽油，对现有汽车的发动机适应性还不强。因此，尽管有一些技术已经实现了产业化，但不少生物能源技术尚不成熟，还需要大量的人才和资金投入，还需要政策扶持，这样才能实现技术的进一步突破。单一企业、科研机构和院校只能完成部分上述工作，很难承担全过程和全品种的技术开发任务，若要形成自主知识产权的综合技术优势，必须合理布局和整合各种现有资源，采取政、产、学、研、商相结合，多单位、多领域联合持续攻关才能达到目标。

五、与生物能源产业有关的环境问题

生物能源曾一直被认为是清洁能源，可以减少二氧化碳的排放，但最近也有质疑的声音，如美国明尼苏达大学科学家的论文中列举了触目惊心的数字：把热带雨林、湿地或草原转为生产生物燃料，将会使二氧化碳排放量增加 420 倍^[7]，美国过去 30 年中利用玉米生产乙醇使温室气体排放量增加了近一倍，而非减少了 20%，并且温室气体排放量增加还将持续 167 年，种植生物能源原料将大面积增加使用土地，对生态多样性的消极影响会抵消使用生物能源避免气候变化所带来的积极影响。对生物能源需求的日益增长可以导