

美国生物质资源研究规划与举措分析及启示

邓勇，陈方，王春明，陈云伟，房俊民

（中国科学院国家科学图书馆成都分馆 成都 610041）

摘要：发展生物质资源研究对于国家的可持续发展具有重要的战略意义。近年来，美国相继制订若干研究计划或发展路线图，并采取有效举措，持续推动生物质资源的研究、开发和利用。通过分析美国在生物质资源研究领域的重要举措，特别是分析其相关重要规划的具体内容，总结生物质资源研究面临的重要问题和研究热点，对发展我国生物质资源研究提出一些思考建议。

广义地说，生物质指通过光合作用等形式将太阳能、二氧化碳和水转化而形成的有机物质，或光合产物间接形成的动物物质及其代谢物。自然界的生物质包括种类丰富的物质资源和基因资源，以及数量可观的可回收利用资源。作为重要的可再生资源，生物质资源具有分布广、总量大、污染小和可再生等特点，开发潜力巨大，可广泛应用于能源、环保、医药、制造、农业等部门。近年来，由于面临化石资源日趋枯竭和化石燃料价格波动的不稳定情况，以及日益凸显的气候变化与环境恶化等严峻问题，全球经济的可持续发展正在受到越来越严重的制约，因此，合理开发利用可再生生物质资源已经越来越受到各国重视。

根据应用特性，生物质资源大体上可分为原料资源和功能性资源。生物质资源的应用主要包括将生物质原料中的有机成分转化为能源及重要生物基产品、以及利用微生物（及其酶）的功能特性实现包括上述生物转化过程在内的工业生物技术目标。各国根据本地区不同的生物质资源和技术优势，选择了不同的生物质资源研究重点，并处于不同的技术发展水平。其中，美国着力开发和利用生物质资源，生产廉价的生物燃料（特别是纤维素乙醇和藻类生物柴油）、生物质电力和生物基产品；同时，美国在系统微生物学和植物与微生物功能基因组学研究方面居于世界前列。分析研究美国在生物质资源研究方面采取的举措以及相关规划的具体内容，对我国建设生物质资源及生物经济强国具有极重要的参考和借鉴意义。

1 美国生物质资源研究的总体部署

美国是农业生产和农产品供应大国。在生物质资源研究方面，美国的主要发展驱动力为：第一，减少对石油进口的依赖，保障国家能源安全；第二，促进环境可持续发展和经济发展；第三，为农业经济创造新的就业机会；第四，开发新产业和新技术，形成多样化的能源和产品供给。

2000年6月，美国政府通过了《生物质研究法》，并以农业部和能源部引领和管理，设立了生物质研发委员会和技术咨询委员会，正式启动了生物质研发项目。

2002年11月，《美国生物质能与生物基产品展望》报告对美国生物质资源研究做出了远景规划，提出到2030年，美国生物质能和生物基产品将发展成为完善、成熟并可持续发展的产业，为美国农业经济增长创造新的机遇，为保护和加强国家环境安全提供可靠的清洁能源，以进一步增强美国的能源独立性，并向消费者提供性能优良、绿色环保的生物基产品。

近年来，美国政府通过立法、规划和政策制订等举措，持续推动生物质资源的研究、开发和利用。可以发现，在生物质资源研发方面，美国尤其重视发展生物燃料，而其重点开发的生物质资源包括纤维素生物质和藻类生物质等。表1简要列举了近年来美国在生物质资源研发方面采取的一些举措。

表 1 美国近年在生物质资源研发方面的立法、规划和制订政策等举措

Table 1 Actions on biomass R&D in USA

时间	部门	举措	要点
2002 年 12 月	能源部	发布《生物质技术路线图》	加速提高美国开发生物质能和生物基产品的能力
2004 年 10 月	国会	通过《美国就业机会创造法》	提出对生物燃料的使用税费减免政策
2005 年 8 月	国会	通过《能源法 2005》	加大力度鼓励生物质能的研究、示范和商业应用计划
2006 年 2 月	国会	提出“先进能源计划”	提出加大投资发展生物燃料,以解决交通运输对石油的依赖,在 2012 年前完成纤维素乙醇的商业化开发
6 月	能源部	发布《纤维素乙醇研究路线图》	提出了未来三个五年阶段的纤维素乙醇燃料技术发展的战略规划
2007 年 2 月	总统	提出“10 年 20% 计划”	提出加大生物燃料生产量和使用量的要求及相应鼓励措施
7 月	国会	通过《2007-2012 年农业法》	鼓励可再生能源和特殊作物研究,启动新的生物质能储备项目等
10 月	生物质研发技术咨委会	发布《美国生物能源与生物基产品路线图》	从原料、转化、基础设施、市场方面提出生物质原料研发战略建议
10 月	能源部	发布《2007-2017 年生物质发展规划》	详细规划了未来十年内美国生物质资源的生产、转化与应用等
12 月	国会	通过《2007 能源独立与安全法》	修改补充可再生燃料标准,提出到 2022 年先进生物燃料发展目标
2008 年 9 月	能源部与农业部	发布《国家生物燃料行动计划》	降低纤维素生物燃料成本,促进生物燃料产业及其供应链的发展
9 月	能源部	发布《“基因组到生命”战略计划 2008》	提出利用 10 到 20 年时间系统了解几千种微生物的基因组及微生物系统对生命活动的调控作用
2009 年 5 月	能源部	发布《生物质多年项目计划 2009》	提出生物质项目下一步发展的规划、前景和阶段性技术目标
6 月	能源部	就《国家藻类生物燃料技术路线图》草稿征询意见	旨在推动藻类生物燃料商业化研究实践

与此同时,美国在生物质资源研发领域的资金投入逐年递增,这其中包括2008年12月能源部投资2亿美元支持利用生物质原料生产先进生物燃料的商业化研究与实践、2009年1月能源部与农业部联合支持有关生物燃料、生物质能及生物基产品生产技术与过程的研究项目等。即使在金融危机发生之后,生物质资源研究仍然成为美国经济复兴和再投资计划的重要组成部分。2009年5月,美国能源部宣布,复兴计划中将有7.865亿美元用于加快先进生物燃料的研究和开发、以及商业规模的生物精炼示范项目等。

2美国生物质资源研究的组织管理机制

为了系统地组织和管理国内的生物质资源研究,美国政府在2000年专门设立了生物质研发委员会和生物质研发技术咨询委员会。其中,生物质研发委员会由美国农业部和能源部人员牵头组成,成员所属机构还包括国家科学基金会、环保署、内政部、科技政策办公室和联邦环境规划署,委员会的任务是对美国生物质项目进行具体规划和事务管理。生物质研发技术咨询委员会由数十名资深的科学研究、技术开发人员和高级管理人员组成,成员均来自知名大学、研究机构和大型企业,咨询委员会的任务是对生物质项目提供专业咨询意见,协助推进生物质资源研究。

2000年10月,美国成立国家生物质能中心,其核心目标是联合能源部的技术力量,推进生物质研发项目的研究规划。该中心是一个虚拟的研究组织,总部设在能源部国家可再生能源实验室,由一个技术领导小组和四个技术小组组成,在能源部能源效率与可再生能源办公室的协调下共同开展生物质资源研究。各个成员小组的分工如表2所示。

2007年6月,为了推进生物质能的研究与发展,美国能源部建立了三个新的生物质能研究中心,重点开展生物燃料的基础研究,包括专用能源植物白杨和柳枝稷等的研究,面向生物质改良和转化的基因组学基础研究,新型生物质降解酶或微生物的研究等。2009年5月,美国政府宣布成立生物燃料跨机构工作小组,由农业部长、能源部长和环保局长共同领导,与生物质研发委员会合作开展工作,为提升生物燃料原料生产的环境可持续性提供政策参考建议。

表 2 美国国家生物质能中心成员小组及其分工

Table 2 Groups of the National Bioenergy Center and their tasks

成员小组	主要开展的工作
技术领导小组	生物质精炼方面的研究与开发,并带领其他实验室合作开展研究工作
技术小组	生物质原料方面的研发
能源部国家可再生能源实验室	生物质原料获取技术的研发
能源部橡树岭国家实验室	生物质合成气、催化工艺的研发,以及生物基产品的研发
能源部爱达荷国家实验室	反应工程和分离技术的研发
能源部西北太平洋国家实验室	
能源部阿贡国家实验室	

3美国生物质资源研究重要规划解析

3.1美国生物质多年计划

美国政府于2000年启动生物质研发项目。2007年11月和2009年5月,美国能源部先后两次发布《生物质多年项目计划》报告,指出生物质多年项目计划的战略目标是发展具有成本竞争力的生物质技术,在国内形成新的生物产业,实现生物燃料在全国范围内的生产和使用,减少国内原油依赖,全面支持“10年20%计划”中提出的目标。

报告指出,生物质多年项目将在核心技术研发、示范与应用研究和交叉领域发展三个层面展开工作。其中核心技术的发展目标为形成稳定的生物质原料供应并降低纤维素乙醇的生物转化成本,以便实现项目的执行目标,即显著减少汽油使用量并大幅降低纤维素乙醇成本。

表3列举了核心技术研发规划的任务要点,它涉及两方面的研究:其一是生物质原料的生产,包括生物质原料的采收、储存、预处理和运输过程;其二是生物质原料的转化,包括将生物质原料变为低成本液体燃料的生物化学和热化学转化技术的研发。

表 3 美国生物质多年项目计划的核心技术研发规划

Table 3 R&D plans of the key technologies of the Biomass Multi-Year Program Plan

核心技术研发任务	要 点
先进生物质原料	发展工具和策略,以提高适用于能源转化的生物质原料的生产
原料预处理	设计开发成本低廉、针对特定原料的预处理过程的方法与设备
酶解与水解	加强关于酶水解机理的基础研究,以提高酶的使用效率与效果,发展最优化的酶水解工艺
生物发酵	开发乙醇发酵的高活性微生物,使其能够高效率地将所有生物质糖类转化为乙醇

3.2美国生物燃料与生物基产品路线图

2007年10月,为确保经济可行的、可持续发展的和有经济前景的生物质产业,美国生物质研发技术咨询委员会发布了新的《美国生物燃料与生物基产品路线图》,确定了生物质技术发展的主要障碍和必要解决途径,目的在于确保经济可行的、可持续发展的和有经济前景的生物质产业。表4概括展示了该路线图报告在生物质研发方面确定的重点战略部署。

表 4 生物燃料与生物基产品路线图的生物质研发战略部署

Table 4 Biomass R&D strategy in the roadmap for bioenergy and biobased products in US

研究目的	重点研究
生物质原料系统开发	植物学、遗传学与基因组学,包括原料结构与特性研究、微生物资源研究、生物多样性研究等
	原料的技术经济分析,包括建立和分析原料利用的技术经济模型、比较和评估各种生物质原料的可持续发展情况等
生物质原料的处理和	天然处理过程的分析,包括生物质的天然降解过程研究、天然代谢途径的分析等
生物转化	油脂、糖和蛋白质转化平台,包括生物质原料的结构组分研究、转化机理研究和经济可行性分析等
	生物柴油生产,包括生物柴油生产的副产品的回收与再利用研究等
	转化过程研究,包括生物化学转化、热化学转化和催化转化等过程的研究

3.3美国纤维素乙醇研究路线图

2006年7月,美国能源部的生物与环境研究办公室和能源效率与可再生能源办公室联合发布了生物质燃料研究路线图——《打破纤维素乙醇的生物学障碍:纤维素乙醇研究路线图》,对美国未来的纤维素乙醇发展做出了全面部署。该路线图的重点是纤维素乙醇,但对于生物柴油和其他生物基产品或副产品的研究也具有重要参考价值。

根据完成相关任务的技术成熟度，路线图将纤维素乙醇研究战略划分为“三个五年”阶段，表5概述了这三个阶段不同的发展目标。

表 5 纤维素乙醇研究的“三个五年”发展战略
Table 5 Development strategy of cellulosic ethanol research

三个阶段	发展目标
第一个五年:研究阶段	研究现有给料,设计可持续的、有效的和经济可行的收割与降解方法,并将其转变为乙醇
第二个五年:技术应用阶段	产生出在可持续性、产量和成分构成等方面取得改进的新一代能源作物,同时利用新的生物系统研究出生物质协同降解以及多种糖共发酵的工艺过程
第三个五年:系统整合阶段	把当时的基因工程能源作物和针对特定农业生态系统的生物精炼厂结合起来;将促进生物精炼厂在全国甚至全球不同农业地区的发展。

在纤维素生物质原料开发、原料处理和生物转化方面，路线图分别确定了三方面重点研究部署，其主要内容列于表6和表7中。路线图指出，只有将复杂的工程技术与基础生物学研究结合起来，才能保证纤维素乙醇任务取得成功。

表 6 纤维素生物质原料开发的重点研究部署**Table 6 Key researches in the development of
cellulosic biomass**

重点研究	技术途径及其要点
开发新一代的木质纤维素能源作物	提高生物质的总量和总产率
确保可持续性和环境质量	研究生物质原料长期生产对土壤和环境可持续性的影响
能源作物的模式系统研究	选择能源植物的模式作物开展基因与遗传学研究

表 7 纤维素生物质原料处理与转化的重点研究部署**Table 7 Key researches in the treatment and
conversion of cellulosic biomass**

重点研究	技术途径及其要点
发展更好的生物酶降解系统	开发能有效降解木质素与半纤维素成分的酶系统
充分发挥微生物菌株在乙醇生产中的作用	结合代谢工程学和系统生物学技术发展功能微生物(群落)
用于过程简化的先进微生物	深入开展基因改良微生物的生理学和微生物学研究

3.4美国“基因组到生命”战略计划

进入21世纪后,面临能源安全、环境和气候等问题的重大挑战,美国开始了新一代生物研究,美国能源部启动了新的战略计划《基因组到生命》(G T L计划),系统地研究微生物,为生命科学在能源与环境领域的应用奠定基础。

2002年7月美国能源部正式推出为期5年、资助额度为1亿美元的后基因组计划——G T L计划。2005年10月,美国能源部发布了《G T L路线图》,2008年又发布了《G T L战略计划2008》,对《G T L路线图》进行了补充和升级,提出其核心目标是在未来10~20年,了解几千种微生物的基因组及微生物系统对生命活动的调控作用,为利用生物手段解决能源与环境问题铺平道路。《G T L战略计划》特别指出了系统生物学在能源、环境治理及碳循环与碳存储领域的研究重点与挑战。

3.5美国藻类生物燃料研究路线图

2008年12月,美国能源部能源效率与可再生能源办公室召集200多位专家召开“藻类生物燃料技术路线图”研讨会,评估了藻类技术研发现状,确定了为推动藻类生物燃料商业化需要采取的措施;2009年6月,能源部形成《国家藻类生物燃料技术路线图》草稿,开展专家咨询。

该路线图中共涉及11个研究主题,包括藻类资源与分布、藻类生物质资源的研究与转化、藻类下游处理过程,以及相关政策、标准和监管措施等具体部署;其中,藻类生物学、藻类培养和藻类生物燃料的转化是较重要的研究领域。同时,藻类生物燃料生产系统与技术经济分析也是当前迫切需要开展研究的领域。

4对生物质资源领域研究的启示

4.1对生物质资源领域的重要研究方向、问题和研究热点的启示

通过分析美国在生物质资源研究方面采取的举措,并通过研究美国相关规划的具体内容,结合对本领域重要研究文献的研读,可以发现如表8所列举的美国在生物质资源领域主要关注的研究方向和研究重点,而这些也正是本领域研究面临的重要问题及呈现的研究热点。

4.2对发展我国生物质资源研究的启示

(1) 发展生物质资源研究的重要动因是为了解决人类当前在能源、环境、制造等方面面对的重要挑战和重大现实问题,因此加强生物质资源研究对于国家可持续发展具有很强的战略意义。

表8 生物质资源研究领域的重要问题及研究热点

Table 8 Key issues in the field of biomass research

研究方向	重要问题	研究热点
生物质原料的开发	利用有限的土地资源和水资源,发展高效、可再生的非食用性生物质原料	能源植物的筛选与评价 藻类生物质原料的开发 海洋微生物资源开发 极端微生物资源开发
	利用新技术、新手段发掘和筛选出新的高效微生物	高光效、高生物量原料的培育 生物质原料成分、功能的定向改良
生物质资源的基础研究	在现有生物质原料品种的基础上提高单位面积的生物质产量和可利用的生物质总量,以及提高生物质原料的利用率	宏基因组学研究 合成生物学研究 系统生物学研究
	利用基因资源和基因工程手段,研究微生物代谢途径及其调控的分子机理,进行代谢途径改造,使工程菌株按照人类的设计,生产具有特定活性的代谢产物	重要生物基产品的开发 生物质原料的全生命过程研究 环境治理中微生物应用 能源开发中微生物应用
生物质资源的应用	合理利用生物质原料,可持续地生产出高成本效益、高附加值以及对气候、环境和生态友好的先进能源、产品和材料	
	充分利用微生物的生物特性,以解决重大科学挑战和重要现实需求	

(2) 生物质资源的研究是农业科学、生物学、化学及过程工程等多门学科交叉的研究,生物质资源的发展需要结合基础研究与技术应用领域的进展和突破;同时,技术经济分析与应用试验研究也十分重要。系统生物学、宏基因组学等学科体现出的系统研究方法,以及多用途生物质原料、多功能微生物开发等方面体现出的功能或工艺有机整合的观点,在生物质资源的研发与应用中尤为重要。

(3) 针对生物质资源研究领域面临的重要问题,我国相关决策机构应及时做出相应的研究部署,特别是加强有关能源植物研究、应用微生物研究、合成生物学和系统生物学研究,并积极发展生物能源和重要生物基产品的研究与开发,充分探索重要微生物在环境治理和能源开发的应用研究,以真正应对各种重大科学挑战和重要现实需求。

(4) 生物质资源的研究项目往往是多个政策规划部门与多家研究机构联合开展的大型和长期性研究,需要由国家关键部门主动引领,通过专门的委员会来协调开展,并需要充分发挥技术咨询委员会的力量。在具体推进重大项目时,多个研究机构之间可结成技术开发联盟或研究网络,共同协作开展研究工作,以有效地联合各个研究机构的资源、实力与优势,促进各技术环节的有效衔接和整合。

(5) 我国可参考美国及其他科技先进地区的战略规划与技术发展路线图,确定我国的特色生物质资源、优势研究领域和潜在优势产业,制订适合我国实际情况的生物质资源研究发展路线图。在目标的设置和具体规划上要充分考虑气候、能效、环境、生态和公众利益等方面的潜在影响,在研究力量部署上要有利于促进科研机构的广泛合作,建立技术研究网络和产学研战略联盟,培养技术咨询力量。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/113238.html>