

我国生物质经济发展战略研究

田宜水¹，单明²，孔庚³，麻林巍³，邵思¹

(1.农业农村部规划设计研究院农村能源与环保研究所，北京100125；2.清华大学建筑学院，北京100084；3.清华大学能源与动力工程系，北京100084)

摘要：发展生物质经济有利于促进经济增长和农村发展，减少化石能源消耗，改善生态环境，发展潜力巨大，但其发展仍面临诸多挑战。本文在对我国生物质资源进行总量分析的基础上，评价了生物质产业的发展现状与趋势，提出了生物质经济发展的战略目标、发展重点、技术路线图和对策建议。研究认为，我国生物质能资源丰富，生物质成型燃料、规模化沼气工程、发电和热电联产等技术相对成熟，已呈现出规模化发展的良好势头，是今后一段时期的主要利用方式。我国生物质经济的发展思路为以县级区域为单元，立足区域资源禀赋、经济发展水平和产业发展需求，明确面向2025年、2035年和2050年的发展目标，逐步实现生物质经济发展从发展成熟阶段、机制体系创新阶段到规模替代阶段的跃升。本文从技术研发、激励政策、市场培育和资金投入等方面提出了推进我国生物质经济发展的对策建议。

一、前言

生物质经济 (biomass economy) 指以农林剩余物、畜禽粪便、城市固体废物等可再生或可循环的生物质资源为原料，发展生产生物质能和生物基产品，实现绿色、低碳和可持续发展的经济形态[1]。我国是一个农业大国，生物质资源丰富，《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中明确提出，推动能源清洁低碳安全高效利用。习近平总书记在2020年9月22日召开的联合国大会上表示：中国将提高国家自主贡献力度，CO₂排放力争于2030年前达到峰值，争取在2060年前实现碳中和。发展生物质经济，有利于促进农村经济增长、农民增收，减少化石能源的消耗和温室气体排放，发展潜力巨大。

二、我国生物质资源总量分析

我国生物质资源种类繁多，根据来源不同，可以分为农业生物质资源、林业生物质资源、城市固体废物、废弃食用油脂等。

(一) 农业生物质资源

1. 农作物秸秆

秸秆是成熟农作物茎叶(穗)部分的总称。我国秸秆资源丰富，2017年我国秸秆产生量为 8.05×10^8 t，秸秆可收集资源量为 6.74×10^8 t，秸秆利用量为 5.85×10^8 t。其中，可能源化利用的秸秆资源量约为 1.45×10^8 t，折合约 7.25×10^7 tce (折标系数为0.5kgce/kg) [2]。

2. 农产品初加工剩余物

农作物收获后进行初级加工时，如在粮食加工厂、食品加工厂、制糖厂等进行加工时，会产生废弃物，主要包括稻壳、玉米芯、花生壳和甘蔗渣等，产量大且容易收集，可作为燃料使用。2019年，我国农产品初加工剩余物约为 1.24×10^8 t，可供能源化利用的约为 6.2×10^7 t，折合约 3.1×10^7 tce (折标系数为0.5kgce/kg) [3]。

3. 畜禽养殖剩余物

2019年，全国猪牛羊肉禽产量为 7.65×10^7 t，禽蛋产量为 3.31×10^7 t，牛奶产量为 3.20×10^7 t [4]。可以测算，我国猪牛鸡等畜禽粪便排放量为 2.61×10^9 t，可转化沼气资源量为 1.30×10^{12} m³，折合约 9.30×10^7 tce (折标系数为0.714kgce/m³) [5]。

4. 适合种植能源作物的土地资源

根据土地利用现状调查[6]，我国盐碱地约为 $1.02 \times 10^7 \text{hm}^2$ ，主要分布在西北、华北的干旱和半干旱地区；粮改饲面积为 $1.67 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，压采地下水耕地面积为 $7.26 \times 10^6 \text{hm}^2$ ，适合种植耐盐碱、耐干旱的甜高粱、菊芋等含糖作物，可用于生产液体生物燃料和生物化工产品。另外，农业农村部已将甜高粱纳入《粮改饲工作实施方案》和《2017年推进北方农牧交错带农业结构调整工作方案》中。

（二）林业生物质资源

第九次全国森林资源清查结果表明[7]，全国森林面积为 $2.2 \times 10^8 \text{hm}^2$ ，其中可利用的林业抚育和木材采伐剩余物生物质资源年产量约为 $1.95 \times 10^8 \text{t}$ ，折合约 $9.75 \times 10^7 \text{tce}$ （折标系数为 0.5kgce/kg ）。

（三）城市固体废物

2019年，全国城市生活垃圾清运量约为 $2.42 \times 10^8 \text{t}$ ，无害化处理量为 $2.40 \times 10^8 \text{t}$ ，生活垃圾处理率为99.2%[8]。其中，全国已建立垃圾焚烧厂389座，并网装机容量为 $9.16 \times 10^6 \text{kW}$ ，年垃圾处理量 $1.21 \times 10^8 \text{t}$ ，折合约 $2.76 \times 10^7 \text{tce}$ （折标系数为 0.2714kgce/kg ）。

（四）废弃食用油脂

废食用油脂主要来源于家庭烹饪、餐饮服务业和食品加工工业（如油炸工序）。根据国家粮油信息中心数据显示，2018—2019年，我国食用油市场的总供给量为 $3.91 \times 10^7 \text{t}$ [9]。按照每消耗1kg食用油脂产生0.175kg废食用油脂，废食用油脂的回收率按50%计算[10]，2019年我国可回收废食用油脂为 $3.42 \times 10^6 \text{t}$ ，可生产生物柴油为 $2.91 \times 10^6 \text{t}$ ，折合约 $4.15 \times 10^6 \text{tce}$ （折标系数为 1.426kgce/kg ）。

综上所述，我国生物质资源总量约为 $3.26 \times 10^8 \text{tce/a}$ （见表1）。我国农作物秸秆、农产品初加工剩余物、林业剩余物等资源总量丰富，是未来开发利用的重点。但是，我国农业生产以家庭承包为主，户均种植面积小，秸秆分布分散，农业生产季节性强，收集困难且成本高。林业资源主要分布在东北、西南几大林区，尚未形成规模化、规范化、集约化的专用能源林基地；林业资源密度低、单位面积产出低、林区交通条件差，在一定程度上影响了林业生物质资源的应用。另外，限于我国土地、水资源等的发展现状，可利用的后备土地资源紧缺，利用木薯、甘薯和甜高粱茎秆等非粮能源作物发展燃料乙醇的空间有限。

表1 我国生物质资源量汇总表

| 来源 | 资源种类 | 产生量/ $\times 10^8 \text{t}$ | 可能源化利用量/ $\times 10^4 \text{tce}$ |
|----|-----------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 农业 | 农作物秸秆 | 8.05 | 7250 |
| | 农产品初加工剩余物 | 1.24 | 3100 |
| | 畜禽养殖剩余物 | 26.10 | 9301 |
| 林业 | 林业生物质资源 | 1.95 | 9754 |
| 城市 | 城市固体废物 | 2.42 | 2764 |
| | 废弃油脂 | 0.034 | 415 |
| 合计 | | | 32 584 |

三、生物质技术产业的发展现状与趋势

近年来，我国生物质资源呈现多元化利用态势，规模化沼气工程、生物质供热、生物质发电/耦合发电等各种利用方式并举，技术不断进步，规模化发展取得较大进展。

（一）规模化沼气工程

在“十二五”期间，我国用于农村沼气建设的投资累计约为 1.42×10^{10}

元，在政策的激励下，农村沼气事业持续快速发展，逐步由以户用沼气为主转化为供气、发电等多元化发展的格局。截至2017年年底，全国建设的沼气工程达 1.13×10^5 处，总池容为 $2.07 \times 10^7 \text{m}^3$ ，年产沼气为 $2.61 \times 10^9 \text{m}^3$ ，供气户数达到 1.98×10^7 户，年发电量为 $7.6 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ [11]。另外，出现了一批规模超过 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ 的特大型沼气工程，大型生物天然气工程也开始建设试点。

发展生物天然气等规模化沼气工程[12]，有利于构建分布式清洁燃气生产消费体系，对有效治理县域生态环境污染，增加国内天然气供应，提高能源安全保障程度具有重要意义。未来，沼气工程将朝规模化、专业化、标准化和市场化方向发展。

（二）生物质成型燃料供热

我国生物质供热产业的规模化发展始于2006年，发展态势迅猛，但受高污染燃料争议的影响，近年发展受到了一定限制。生物质成型燃料成型设备解决了功率大、生产效率低、成型部件磨损严重和寿命短等问题，秸秆成型燃料专用供热锅炉、燃料燃烧等技术日益成熟，具备规模化、产业化发展基础。山东省阳信县等地也积极探索，开展生物质清洁取暖改造试点，初步构建了集投资、建设、运营和综合服务于一体的商业化生物质供暖模式[13]。目前，生物质成型燃料年利用量约为 $8.0 \times 10^6 \text{t}$ ，主要用于农村居民炊事取暖用能、工业锅炉、发电厂燃料等。

当前，国家高度重视北方地区冬季清洁取暖，相继出台了一系列文件，明确提出生物质能清洁供暖就地加工转换、就近消费、分布式开发利用，以用于北方生物质资源丰富地区的县城及农村取暖。总之，生物质能供热可利用本地生物质资源，构建城镇分布式清洁能源供热体系，对减少农村秸秆露天焚烧、替代燃煤具有重要意义。我国中小型燃煤供热锅炉数量较多，生物质能供热今后有较大发展空间。

（三）生物质发电/耦合发电

我国生物质发电主要包括农林生物质发电、垃圾焚烧发电和沼气发电。近年来，生物质发电保持持续增长，截至2019年年底，我国已投产生物质发电项目共计1094处，装机容量为 $2.25 \times 10^7 \text{kW}$ ，年发电量达 $1.11 \times 10^{10} \text{kW} \cdot \text{h}$ ，其中，农林生物质发电并网装机容量达 $9.73 \times 10^6 \text{kW}$ [14]。2020年1月，财政部、国家发展和改革委员会、国家能源局印发了《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》和《可再生能源电价附加资金管理办法》，明确提出以收定支，合理确定新增补贴项目规模，稳步推进新增农林废弃物发电项目建设。

2017年11月，国家能源局、生态环境部印发《关于开展燃煤耦合生物质发电技改试点工作的通知》，提出依托现役燃煤高效发电系统，重点在13个粮食主产省份，消纳农林生物质、生活垃圾和污泥等，对存在秸秆消纳困难、田间直燃致霾严重等情况的地区进行重点布局，并确定了84个技改试点项目。广东、宁夏、湖北等地也相继启动了一批煤炭与农林生物质、污泥等耦合发电试点项目。目前，生物质发电/耦合发电领域仍存在难以计量、补贴政策不明确等问题，在一定程度上制约了产业的发展。

（四）生物液体燃料

1. 燃料乙醇

在“十五”期间，我国粮食产量相对过剩，在河南、安徽、吉林和黑龙江等地分别建设了以陈化粮（玉米、小麦）为原料的燃料乙醇生产企业，年产燃料乙醇约为 $1.34 \times 10^6 \text{t}$ ，并在9个省开展车用乙醇汽油销售。在“十三五”期间，燃料乙醇已在全国范围内进行推广和应用。2017年9月13日，国家发展和改革委员会、国家能源局等十五部门联合印发《关于扩大生物燃料乙醇生产和推广使用车用乙醇汽油的实施方案》，提出到2020年，在全国范围内基本实现车用乙醇汽油全覆盖的目标。国投生物能源（海伦）有限公司年产 $3.0 \times 10^5 \text{t}$ 燃料乙醇项目等相继开工建设。我国在连续固体发酵甜高粱生产乙醇技术方面也取得了突破，生产乙醇后的酒糟可

4t变性燃料乙醇项目获得核准。

我国人口基数大，耕地资源紧缺，粮食供需处于紧平衡状态，未来以粮食为原料的燃料乙醇产业发展存在极大的不

确定性。近年来，纤维素乙醇逐步成为研究的热点[16]。但是，受国际原油价格下跌以及技术不成熟等因素影响，大部分正式运营的已具商业规模的纤维素生物燃料设施已关闭[17]。

2.生物柴油

2019年，我国生物柴油的产量约为 1.2×10^6 t，主要以废弃的食用油脂为原料[18]。2018年，上海印发《上海市支持餐厨废弃油脂制生物柴油推广应用暂行管理办法》的通知，在全市21个加油站试点B5生物柴油，年消纳地沟油约为 3.0×10^4 t。目前，我国生物柴油的发展仍处于初级阶段，与国外相比还有一定差距。具体来看，我国生物柴油的生产多以民营企业为主，存在装置规模小、技术水平低、原料供应不足、质量标准不一、市场流通不规范、综合利用和深加工水平偏低等问题。

（五）生物基产品

生物基产品指以可再生生物质为原料制造的新型材料和化学品等[19]。生物基产品在天然环境下易分解，属于环保型产品，对降低化石资源依赖、改善生态环境、促进绿色经济增长具有重大意义[20]。2017年，国家发展和改革委员会印发的《“十三五”生物产业发展规划》中提出，提高生物基产品的经济性和市场竞争力。我国相关企业建成了一批生物基塑料、生物基乳酸等生产线，如2015年12月，浙江建成了万吨级聚乳酸生产线，可生产聚乳酸树脂及改性产品30余种。2020年7月，安徽丰原集团有限公司自主研发的从乳酸菌种、发酵、提纯、丙交酯合成到聚合的年产 5.0×10^4 t聚乳酸生产线成功投产，聚乳酸纤维成本已低于棉花、天丝、莫代尔等，可广泛应用于服装、床上用品等领域，替代石油基一次性塑料和化学纤维。

综上，从我国生物质能资源禀赋和技术发展水平来看（见图1），生物质成型燃料供热技术已趋于成熟，可替代煤炭为农村和城镇提供热源。规模化沼气工程技术成熟，可替代天然气进入管网，或作为车用燃料。生物质发电和热电联产仍是今后一段时期规模化利用的重要方式之一，生物质能梯级综合利用将是主要发展方向。随着科学技术的进步，纤维素类、微藻等生物质能资源将不断发展；聚乳酸、非粮燃料乙醇在技术上取得突破。今后，生物质能研究的重点和难点将主要围绕第二代生物液体燃料技术、微藻的第三代生物液体燃料技术、生物基产品等[21]。

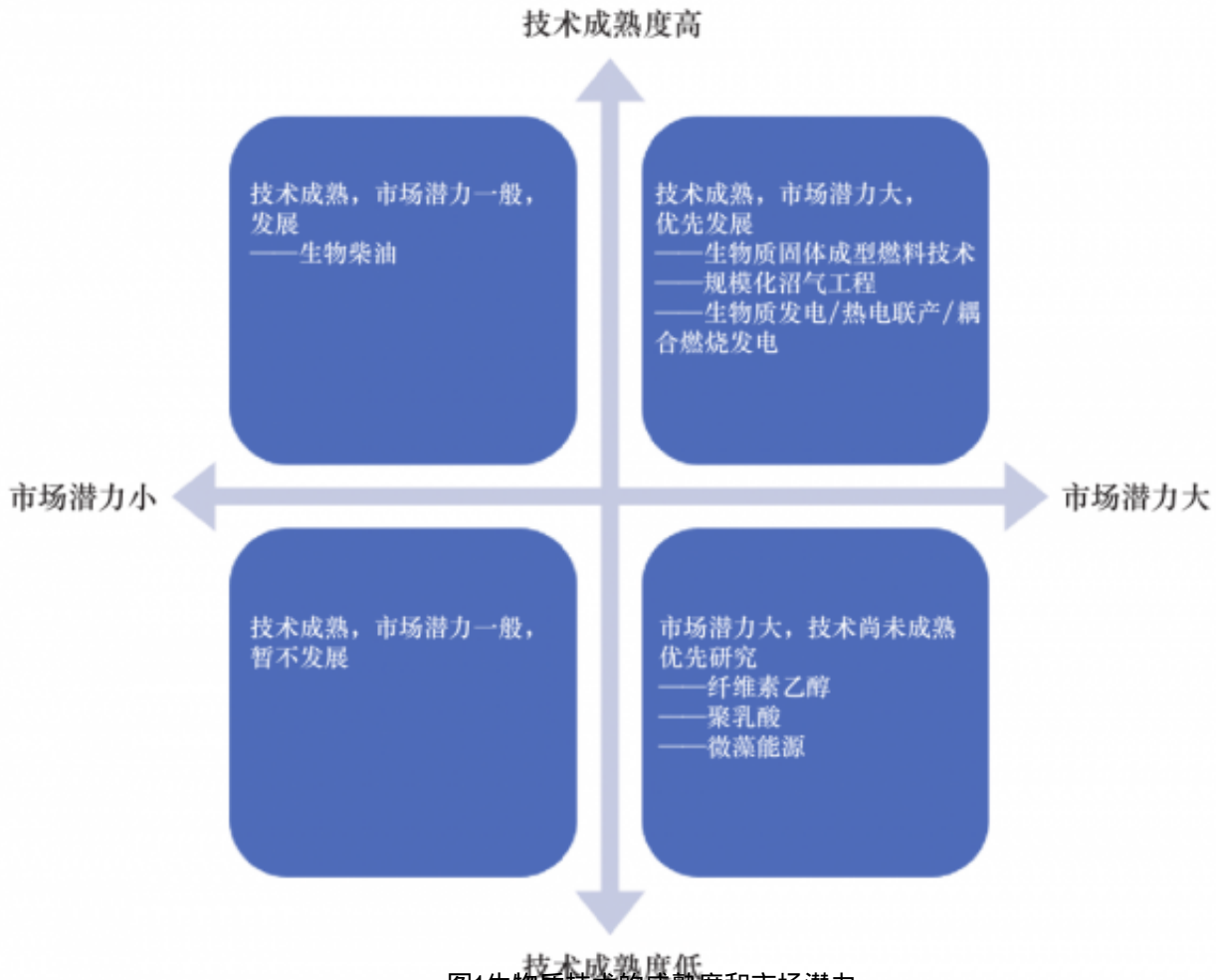


图1生物质技术的成熟度和市场潜力

四、生物质经济发展面临的挑战

生物质经济通过处理农林废弃物，可直接改善生态环境，是发展循环经济的重要载体，综合效益明显，但其发展仍面临诸多问题和挑战。

(一) 认识不到位

对农业生物质能利用的认识不够，尚未将农业生物质能作为国家能源战略的重要组成部分。一些地方甚至出台限制生物质成型燃料应用的政策措施，在一定程度上影响了生物质经济和产业的发展、应用和推广。

(二) 收储运体系不健全

农作物秸秆量大、分散、体积蓬松、收获季节性强，存在运输难、堆存难、经济性差等问题，再加上农忙时劳动力缺乏、储存场地少，以及收集、运输等环节经济实用的技术装备不足，使秸秆收储运体系建设严重滞后。林业抚育和采伐剩余物大多分布在地和沙丘，相对分散，主要以人工收集、运输为主，存在效率低、成本高等问题。

(三) 技术有待突破

部分生物质经济技术仍处于发展初期，专业化程度不高，市场体系不完善。如亟需开发高效混合原料发酵装置、大型低排放生物质锅炉等现代化专用设备，提高生物天然气和成型燃料工程化水平。另外，纤维素乙醇关键技术及工程化尚未实现突破。

(四) 政策体系不完善

生物质经济涉及原料收集、加工转化、能源产品消费、伴生品处理等诸多环节，目前相关政策分散，难以形成合力。另外，尚未建立生物质能产品优先利用机制，缺乏对生物天然气和成型燃料的终端补贴政策支持。

五、我国生物质经济发展的战略思路

（一）总体要求

坚持因地制宜、综合利用、就地消纳、多能互补、城乡互助的原则，以县级区域为单元，立足区域资源禀赋、经济发展水平和产业发展需求，以农林剩余物能源化利用为重点，实行政府规划、市场为主、农民参与，鼓励试点先行、创新机制、创设政策，努力建立起政府补助与市场经营相结合、企业与农民利益相统一、县乡城镇与农村供能相统筹的长效运行机制，为实现农业强、农民富、农村美作出重要贡献。

我国生物质经济发展的技术路线，如表2所示。

表2 我国生物质经济发展技术路线

| 发展路线 | 2025年 | 2035年 | 2050年 |
|------|--|--|--|
| 发展阶段 | 生物质经济技术和产业发展成熟阶段 | 机制体系创新阶段 | 规模替代阶段 |
| 发展目标 | 生物质燃气的年利用量达 $2.3 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，生物质成型燃料年利用量达 $1.0 \times 10^7 \text{ t}$ | 生物质燃气的年利用量达 $3.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，生物质成型燃料年利用量达 $5.0 \times 10^7 \text{ t}$ | 生物质燃气的年利用量达 $1.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，生物质成型燃料年利用量达 $1.0 \times 10^8 \text{ t}$ |
| 发展重点 | 积极推进生物质成型燃料的产业化、规模化生产及应用模式；积极发展沼气工程 | 开展纤维素乙醇、航空生物燃料、微藻生物柴油等先进生物燃料技术示范 | |
| 装备制造 | 突破关键设备和集成工艺，提高成套设备制造能力，降低纤维素乙醇生产成本，提高经济性，大力推进生物质能装备产业发展 | | |

（二）战略目标和重点

1. 近期（2020—2025年）

生物质经济发展进入技术和产业成熟阶段。全面实现生物质供热、规模化沼气工程等技术的商业化应用。生物质燃气的年利用量达 $2.3 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，生物质成型燃料年利用量达 $1.0 \times 10^7 \text{ t}$ 。

（1）积极推进生物质成型燃料产业化。完善原料收集、储存、运输、预处理到成型燃料生产、配送和应用的整个产业链；结合大气环境治理和北方地区冬季清洁取暖需求，大力推动城镇燃煤锅炉改造为生物质成型燃料锅炉；在人口居住分散的农村地区，推广户用生物质成型燃料炉具，为农户提供炊事及采暖用能。

（2）积极发展沼气工程。在农林生物质资源丰富，农民经济条件较好，具备铺设燃气管网条件的乡镇或村庄，推广沼气集中供气工程；在乡镇设置沼气能源服务站点，为周边居民提供罐装沼气，加快构建与新型农村社区配套的分布式生物能源体系。建设大型生物天然气工程，将经净化提纯的沼气输入城市天然气管网或作为交通车辆的燃料。

（3）有序推进生物燃料乙醇。利用盐碱地、干旱地等边际土地种植甜高粱，生产燃料乙醇和饲料，带动畜牧业发展。

2. 中期（2026—2035年）

生物质经济进入机制和体系创新阶段。到2030年，生物质能要成为国家能源供应体系中的主流能源，生物质燃气的年利用量达 $3.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，生物质成型燃料年利用量达 $5.0 \times 10^7 \text{ t}$ 。开展纤维素乙醇、航空生物燃料、微藻能源等先进生物燃料技术示范。

（1）加快非粮生物液体燃料技术研发。突破关键设备和工艺，降低纤维素乙醇生产成本，提高经济性，建设一批规模化纤维素乙醇示范工程，配套建成纤维素酶生产基地，纤维乙醇生产能力达到 5.0×10^5

t/a；积极推进以废弃动植物油脂、木本油料作物为原料的生物柴油和航空生物燃料示范工程及应用，航空生物燃料

产量达到 2.0×10^5 t/a。

(2) 鼓励微藻能源产业化示范。利用工业废水和 CO_2 废气，建设含油微藻规模化养殖场，开展微藻生物燃料的多联产示范，在生产微藻生物燃油的同时生产高附加值的功能性食品等。

3. 长期（2036—2050年）

生物质经济发展进入规模替代阶段。生物质能大规模替代化石能源，实现能源生产消费结构的基本性改变。生物质燃气的年利用量达 1.0×10^{11} m³，生物质成型燃料年利用量达 1.0×10^8 t。

六、对策建议

（一）加强技术研发

建议整合现有资源，组建技术研发平台，集中力量对生物质经济共性技术开展科研攻关，攻克能源植物的筛选与高效培育、成型燃料高效清洁燃烧技术、纤维素酶等技术难点；加大对生物质能装备制造体系的发展力度，重点支持规模化生物质原料收集设备、甜高粱茎秆乙醇规模化装备和规模化沼气生物净化与提纯、沼气发电及其余热利用等装备的发展，以农林剩余物、畜禽粪便、有机废水和生活垃圾等为原料，发展电力、供暖和燃气的多联供技术，发展以沼气为纽带的生态循环农业，推进生物质能利用技术产业化进程。

（二）完善激励政策

当前，我国生物质经济尚处于初级阶段，面临投入高、生产成本低、市场竞争力差等挑战，亟需国家完善相关支持政策。建议对生物质清洁炉具的生产出台相应的产品补贴政策，对农户购买炉具和成型燃料给予一定补贴。采用政府和社会资本合作（PPP）、特许经营权等模式，引导社会资本进入规模化沼气、生物质供热等领域，对生物天然气入网、沼肥、沼气产品给予补贴等。另外，落实生物质经济税收优惠政策，建立农村碳减排和碳交易市场，增加使用生物质能技术的农民收入。

（三）强化市场培育

与化石燃料相比，生物质能源和生物基产品的成本偏高，特别是在国际油价处于低位的背景下，经济性和市场竞争力尚未展现，且存在一定的市场壁垒。建议研究电网、燃气和成品油的基础设施和管理体系，采取配额制或建立碳交易市场，推动生物质发电、生物天然气和生物液体燃料的商品化、规模化、市场化应用；完善生物质原料收集、运输，以及生物质燃料配送、沼气管网、加气站等服务体系，增加就业机会，全面提高生物质能产业服务水平；研究将符合条件的生物质产品列入节能产品政府采购品目清单。

（四）加大资金投入力度

建议国家将可再生能源发展基金支持范围从电力扩展到生物质成型燃料、生物天然气、生物液体燃料和可生物降解塑料等，并设立专户，专项用于支持生物能源和生物化工产品的开发利用活动，同时，吸引社会参与，拓宽融资渠道。各级地方政府要按照《可再生能源法》和有关政策的要求，安排专项资金支持生物质能和生物基产品的开发和利用。

参考文献

[1] 邓心安, 许冰茹, 杨多贵. 生物经济对农业可持续发展的影响 [J]. 中国科技论坛, 2015 (12): 71 – 76. Deng X A, Xu B R, Yang D G. Impact of bioeconomy on sustainable development of agriculture [J]. Forum on Science and Technology in China, 2015 (12): 71 – 76.

[2] 中华人民共和国生态环境部, 国家统计局, 中华人民共和国 农业农村部. 第二次全国污染源普查公报 [EB/OL]. (2020-06-10) [2020-11-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm. Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, National Bureau of Statistics of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Communiqué on the second national census of pollution sources [EB/OL]. (2020-06-10) [2020-11-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm.

- [3]田宜水,姚向君. 生物质能资源清洁转化利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社有限公司, 2014. Tian Y S, Yao X J. Clean conversion and utilization technology of biomass energy resources [M]. Beijing: Chemical Industry Press Co., Ltd., 2014.
- [4]中国畜牧兽医年鉴委员会. 中国畜牧兽医年鉴2019 [M]. 北京: 中国农业出版社有限公司, 2019. China Animal Husbandry and Veterinary Yearbook Committee. China animal husbandry and veterinary yearbook 2019 [M]. Beijing: China Agricultural Press Ltd., 2019.
- [5]李元. 中国土地资源 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2000. Li Y. Land resources of China [M]. Beijing: China Land Press, 2000.
- [6]田宜水. 中国规模化养殖场畜禽粪便资源沼气生产潜力评价 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 230 – 234. Tian Y S. Potential assessment on biogas production by using livestock manure of large-scale farm in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(8): 230 – 234.
- [7]国家林业和草原局. 中国森林资源报告(2014—2018) [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019. National Forestry and Grassland Administration. China forest resources report (2014—2018) [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2019.
- [8]国家统计局. 中国统计年鉴2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020. National Bureau of Statistical of China. China statistical yearbook 2020 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2020.
- [9]国家粮油信息中心. 2019年国内粮油生产和进出口情况以及食用油脂供需平衡表 [R]. 北京: 国家粮油信息中心, 2020. China National Grain and Oil Information Center. Production, import and export of domestic cereals and oils in 2019 and supply and demand balance of edible oils and fats [R]. Beijing: China National Grain and Oil Information Center, 2020.
- [10]吕凡,何品晶,邵立明. 废食用油脂作生物柴油原料的可行性分析 [J]. 环境工程学报, 2006, 7(2): 9 – 15. Lyu F, He P J, Shao L M. Feasibility analysis of waste oils and fats as biodiesel feedstock [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(2): 9 – 15.
- [11]农业农村部科技教育司, 农业农村部农业生态与资源保护总站. 2017年度全国农村可再生能源统计汇总表 [R]. 北京: 农业农村部农业生态与资源保护总站, 2017. Department of Science, Technology and Education of Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People ' s Republic of China, Rural Energy and Environment agency of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Summary of national rural renewable energy statistics in 2017 [R]. Beijing: Rural Energy and Environment agency of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2017.
- [12]国家发展和改革委员会. 国家能源局新能源司负责同志就《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》答记者问 [J]. 财经界(学术版), 2020 (2): 1 – 2. National Development and Reform Commission. Responsible Comrades of New Energy Department of National Energy Administration answered reporters ' questions on Guiding opinions on promoting the industrialization of bio natural gas [J]. Financial circles(Academic Edition), 2020 (2): 1 – 2.
- [13]单明,刘彦青,孙涛,等. 北方农村清洁取暖区域性典型案例实施方案及经验总结 [J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(3): 50 – 56. Shan M, Liu Y Q, Sun T, et al. Implementation scheme and experience summary of regional typical cases of clean heating in northern rural China [J]. Environment and Sustainable Development, 2020, 45(3): 50 – 56.
- [14]中国产业发展促进会生物质能产业分会. 2020中国生物质发电 产业发展报告 [R]. 北京: 中国产业发展促进会生物原能产业分会, 2020. Biomass Energy Industry Branch of China Association for Promotion of Industrial Development. Development report of biomass power generation industry in China [R]. Beijing: Biomass Energy Industry Branch of China Association for Promotion of Industrial Development, 2020.
- [15]Li S Z, Li G M, Zhang L, et al. A demonstration study of ethanol production from sweet sorghum stems with advanced solid state fermentation technology [J]. Applied Energy, 2013, 102: 260 – 265.
- [16]宋雯琪. 欧洲木质纤维素生物质精炼的现状与前景 [J]. 中华纸业, 2020, 41(5): 28 – 31. Song W Q. Lignocellulosic biorefineries in Europe: Current state and prospects [J]. China Pulp & Paper Industry, 2020, 41(5): 28 – 31.

[17]王岚, 赵启红, 陈洪章. 规模化纤维素乙醇的困境与出路 [J]. 高科技与产业化, 2018 (6): 57 – 63. Wang L, Zhao Q H, Chen H Z. Dilemma and outlet of large-scale cellulosic ethanol [J]. High-Technology & Commercialization, 2018 (6): 57 – 63.

[18]水电水利规划设计总院. 中国可再生能源发展报告2019 [M]. 北京: 中国水利水电出版社有限公司, 2020. China Renewable Energy Engineering Institute. China renewable energy development report 2019 [M]. Beijing: China Water & Power Press Ltd., 2020.

[19]于建荣, 王跃, 毛开云. 生物基产品发展现状及前景分析 [J]. 生物产业技术, 2017 (4): 7 – 15. Yu J R, Wang Y, Mao K Y. The analysis of current situation and development prospect of biobased products [J]. Biotechnology & Business, 2017 (4): 7 – 15.

[20]郑颖, 张志强. 欧盟生物基研究与创新体系的发展与启示 [J]. 中国生物工程杂志, 2018, 38(9): 99 – 105. Zheng Y, Zhang Z Q. Development and enlightenment of EU ' s bio-based R&I system [J]. China Biotechnology, 2018, 38(9): 99 – 105.

[21]夏鼻, 陈蓉, 付乾, 等. 可再生合成燃料研究进展 [J]. 科学通报, 2020, 65(18): 1814 – 1823. Xia A, Chen R, Fu Q, et al. Progress on renewable synthetic fuels [J]. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(18): 1814 – 1823.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/170271.html>