

# 国外生物质能源原料供给研究综述与启示

臧良震<sup>1</sup>, 张彩虹<sup>2</sup>

(1.清华大学中国农村研究院, 北京100084; 2.北京林业大学经济管理学院, 北京100083)

**摘要:** 发展生物质能源产业是实现低碳经济的一项重要措施, 而生物质能源的原料供给程度决定着生物质能源产业的发展程度。为探讨生物质能源原料供给的研究现状和趋势, 本文在参阅相关文献的基础上从市场和环境需求、最适宜区域选择、空间集中性和土地资源等多个角度对近年来国外学者有关生物质能源原料供给的研究热点问题进行了概括和归纳, 并提出注重生物质能源原料供给适宜范围研究、强化土地资源与生物质能源原料供给能力关系研究、拓展生态环境问题与生物质能源原料供给关系研究等今后我国生物质能源原料供给研究的新趋势。

## 一、引言

在全球气候变暖的背景下, 发展低碳经济成为今后各国应对气候变化的基本途径(Cintas, 2016)。低碳经济的实质是提高能源利用效率和清洁能源使用比例, 核心是能源技术创新和制度创新(Chang, 2015)。而生物质能源是一种蕴藏在生物质中的能量, 具有污染少、易燃烧、灰分低等特点, 是一种广泛的可再生能源(Bilgen, 2015)。目前, 全球生物质能源的潜力范围每年大约在200EJ至600EJ之间(Ofermann, 2011), 资源潜力巨大, 因此, 发展生物质能源是实现低碳经济可持续发展的一项重要措施。国外生物质能源产业发展起步较早, 相比之下, 我国生物质能源产业体系尚不成熟, 产业发展尚未形成共识, 专业化市场程度较低(国家能源局, 2016)。在生物质能源产业发展落后的同时, 我国到2020年要完成万元国内生产总值能耗比2015年下降15%的目标, 在低碳减排方面也面临着较大的压力(国务院, 2017)。因此, 通过开发生物质能源等可再生能源, 可以优化能源结构, 实现低碳减排, 对中国能源、经济和环境的全面协调发展具有重要的战略意义(Elmore, 2008; Zhang, 2015)。

《生物质能发展“十三五”规划》中指出, 当前我国生物质能源发展中面临着原料难以大规模收集、就近转化程度低、分布式商业化开发利用严重不足等重要问题, 这严重制约着生物质能源的区域发展。因此, 如何实现原材料的就近收集和就近转化成为保证我国生物质能源产业可持续发展的一个最基本问题。

本文以生物质能源原料供给为研究点, 通过剖析当前国外的研究文献, 把握有关生物质能源原料供给的研究热点, 掌握现有国外学者的研究视角和研究思路, 在评述的基础上提出国内生物质能源原料供给问题的研究方向和趋势, 这将为今后国内学者在生物质能源原料供给方面的研究提供思路, 进而为我国“十三五”时期生物质能源产业发展目标和节能减排目标的实现提供重要的科学参考。

## 二、需求视角下的生物质能源原料供给研究

### (一) 市场需求视角下的原料供给研究

生物质能源是可再生能源中的一种重要类型, 生物质能源的现代化利用对全球气候变化和能源安全具有重要的贡献作用, 尤其是在能源缺乏地区其地位尤为显著(Mao, 2015)。当前, 生物质能源已经成为全球继石油、煤炭和天然气之后的第四大能源, 在国际能源转型中具有重要的战略地位, 目前全球生物质能源每年大约占能源需求总量的10%左右, 尤其是近年来随着生物质能源开发技术的不断发展, 极大地提高了生物质能源的供给能力, 并取得了一定的成就(Horst, 2011), 截止到2015年, 全球生物质成型燃料产量约3000万吨, 生物质发电装机容量约1亿千瓦, 沼气产量约为570亿立方米, 生物液体燃料消费量约1亿吨, 整体来看与过去相比均有大幅增长(国家能源局, 2016)。并且在一些国家, 生物质能源极大地满足了当地的能源需求, 如加纳的生物质能源利用已经占到主要能源利用总量的64%左右(Duku, 2011)。

然而, 虽然生物质能源资源潜力总量较为丰富, 但是由于社会能源总需求量在不断提高, 生物质能源的供给总量远远不能满足当前的能源总需求。如欧洲地区由于土地可利用面积相对较小, 并且部分地区受气候条件等因素的限制无法进行生物质能源原料供给, 因此生物质能源产量将无法满足欧洲地区的生物质能源需求(Cosentino, 2012); Szymanska等(2015)通过对波兰生物质沼气发电产业的研究也证实了以上观点, 认为虽然市场能源需求总量较大, 但是生物质沼气发电由于受到资源供给因素的制约而发展缓慢, 生物质沼气发电装机总量仅为总装机容量的0.5%左右。因此, 对某一区域而言, 由于受到诸多条件的限制, 生物质能源只能作为传统能源的补充, 如Xue等(2014)通过对美国康涅狄格州生物质能源原料供给能力进行研究后便证实了以上观点; Duarte等(2016)在对哥伦比亚咖啡作物截秆资源进行研究后指出, 该资源不足以满足市场对生物质能源生产的需求, 并且在2014年、2017年、2020年和2023年分别只有需

求总量的81.07%、76.61%、52.23%和51.09%左右,市场满足能力在逐步下降”。

## (二)环境需求视角下的原料供给研究

生物质能源的原材料主要包括能源作物、薪柴、农业残余物、林业残余物、动物粪便等多种形式。众所周知,生物质能源具有污染少、易燃烧、灰分低等特点(Bilgen, 2015),尤其是农业生物质能源和林木生物质能源,因其以植物为载体,而农作物和森林资源遍布世界各地,资源量较大,植物在生长过程中还可以通过光合作用将大气中的二氧化碳进行吸收,并以生物量的形式固定下来,因此在应对碳减排中能够发挥重要作用,所以生物质能源是实现低碳经济和应对气候变化的重要选择(Long, 2013)。绝大部分研究认为,生物质能源利用是整个社会低碳经济发展的必然趋势,其对生态环境改善能够产生较大的促进作用(Cosentino, 2012)。

但有的学者对此提出不同的观点,认为生物质能源作为一种自然资源,过度的开发利用将破坏整个生态环境的平衡,具有一定的负向影响作用,因此区域生物质能源的原料供给需控制在一定程度范围之内。

如Ooba等(2016)研究指出,日本东部地区虽然生物质能源资源潜力较为丰富,但是生物质能源发展与生态服务之间存在较为突出的矛盾,这些区域生物质能源的集中生产将会降低该区域的生态系统服务功能,因此生物质能源原料需在生态系统服务功能不被破坏的前提下进行供应; Sesmero(2014)通过研究美国内布拉斯加州的农业剩余物类纤维质生物质能源生产与地下水资源之间的关系后指出,随着生物质能源的开发利用,该区域地下水资源的消耗量刚开始呈现出持续减少的变化状态,之后才缓慢地恢复到正常水平,因此生物质能源原料的供给还需考虑到水资源的保护。除生态系统服务功能和水资源对生物质能源原料供给具有约束力之外,生物多样性保护也同样存在一定的要求。若大规模开展农林生物质能源作物种植,农林作物的品种结构将产生单一化趋势,因此将会破坏地区的生物多样性。Blanchard等(2015)建立了一个涵盖生物种类分布、地表覆被、土地容量和生物多样性保护等多因素结构框架,系统的分析了南非东开普地区生物质能源生产对生物多样性保护的影响及潜在风险,研究发现,若实现生物多样性目标则可利用的土地资源将减少15%左右,因此对农林生物质能源的原料供给将会产生一定的影响。

## 三、生物质能源原料供给的空间区域研究

### (一)原料供给最适宜区域研究

当前,生物质能源产业紧紧围绕着农林牧产业的发展而发展,大多数原材料均来自于农林牧产品的副产物,因此,大农业产业的区域布局从实质上影响了生物质能源的原料供给分布状况。当前,国外较多学者从宏观的角度对生物质能源原料适宜性区域进行了分析。如Shane(2016)研究指出,赞比亚生物质能源最适宜原料供给区域位于东部地区和南部地区的Eastern和Southern两个省份; Hiloidhari(2014)研究指出印度生物质能源原料供给最适宜的区域位于Uttar Pradesh省及其周边地区; Rios(2013)研究指出墨西哥农业生物质能源原料供给最适宜的区域位于东北地区 and 西北地区,林木生物质能源原料供给除以上两个区域外东部沿海区域也较为适宜。以上研究均是从宏观的角度出发,通过评价现有农林牧产业发展的分布状况,在此基础上剖析生物质能源原材料的供应程度,进而对生物质能源发展的最适宜区域进行甄选。

除此之外,也有国外学者从微观视角出发,研究某一具体区域内生物质能源原料供应的范围和距离,对原料供应的核心区和缓冲区进行划分,进而判断适于生物质能源生产的最优范围。如Paredes—Sanchez等(2016)研究了西班牙Asturias地区煤炭生产区域的林木生物质能源资源潜力状况,研究指出,在中央煤炭生产区域林木生物质能源资源潜力每年大约为18843吨,并且以区域内中心点出发其周边50千米范围内的范围为林木生物质能源原料供给的核心区域,每年供给潜力可以达172163吨。

### (二)原料供给的空间集中性研究

虽然当前全球蕴藏着丰富的生物质能源资源,然而由于受到自然条件、技术条件、政策支持、社会经济发展等多种因素的影响,不同地区不同类型生物质能源原料供给分布极不均衡,并呈现出较强的空间集中性特征(Pettersson, 2015)。从全球生物质能源原料供给潜力分布来看,供给潜力较高的区域主要集中在亚洲、非洲和南美洲,欧洲、北美洲和大洋洲的供给潜力较低(Offermann, 2011); 全球生物柴油原料供给主要集中在美国、巴西、西班牙和荷兰,而木质颗粒燃料的原料供给主要分布在美国、加拿大、俄罗斯和德国(Kuparinen, 2014)E27; 全球微藻类生物质能源原料供给能力较高的区域主要集中在澳大利亚、巴西、哥伦比亚、埃及、埃塞俄比亚、印度、肯尼亚和沙特阿拉伯等国家(Moody, 2014)。

除此之外,也有国外学者就某一具体国家的不同类型生物质能源原料供给的空间集中性进行了研究。如美国的微藻

类产量每年能够达到20—27m / ha以上的区域主要分布在太阳辐射较强的区域及全年温度高于零度以上的区域, 具体来看主要分布在美国东南地区、夏威夷、佛罗里达和德克萨斯西部地区, 微藻类产量每年在8—14m / ha的区域主要分布在辐射强度和温度较低的区域, 主要集中在美国东北区域和山地西部区域(Quinn, 2012); 美国玉米秸秆类剩余物生物质能源的原料供给将长期集中在爱荷华州及其周边区域, 大麦和小麦秸秆类剩余物生物质能源的原料供给将长期集中在中东平原地区和西北太平洋地区, 稻谷类剩余物生物质能源的原料供给将长期集中在中南地区和加州地区, 高粱类剩余物生物质能源的原料供给将长期集中在中南地区和中东平原地区(Muth, 2013); 美国以柳枝稷为原料进行生物质能源生产的区域主要集中在东南和中西部地区, 其次为东北区域(Evans, 2010); 澳大利亚农作物生物质能源原料供给的集中区域主要分布在东南地区和西南沿海地区(Herr, 2011)。

#### 四、土地资源与生物质能源原料供给关系研究

##### (一) 土地可利用量对原料供给的影响研究

当前, 在全球气候变暖和社会经济发展的双重压力下, 生物质能源的需求在不断增加, 生物质能源产业得到快速发展(PaschMidou, 2016)。但是, 随着产业的不断发展, 粮食供给与生物质能源原料供给之间的矛盾日益突出, 尤其是对农业生物质能源而言, 在土地资源有限的条件下, 能源类作物种植面积的增加必将会导致粮食作物种植面积的减少, 因此如何解决土地与生物质能源原料之间的供需问题成为当前国外学者研究的一项热点问题(Bos, 2016)。

土地资源的可利用量是生物质能源原料产量的决定因素(Saha, 2015), 若可用于能源类作物种植的土地面积增加, 在气候和其它自然条件稳定的情况下生物质能源资源原料的产量也伴随着增加, 所以生物质能源产业的发展则具有最基本的保障(Wightman, 2015)。因此, 估算和分析某一区域生物质能源原料生产的可利用土地面积是当前关注的一个焦点。

Lossn等(2015)研究了巴西现有可利用土地资源是否对农业生物质能源的原料供给产生影响, 研究指出, 除亚马逊河流域生态保护区域之外, 巴西共有37Mha的剩余土地资源可供进行农业生物质能源原料生产, 其面积相当于当前农作物种植面积的一半左右, 从区域分布来看, 一半左右的可利用土地主要在巴西的东南区域, 在国土面积中占20%左右, 其次为东北区域(约为8Mha)、中东区域(约为7Mha)和南部区域(约为3Mha), 并且MinasGerais州的土地可利用面积最大, 面积约12.5Mha。

既然生物质能源原料生产与部分农作物尤其是粮食作物生产之间存在争地矛盾, 为此, 有的学者研究了农作物产量目标实现的前提下生物质能源原料供给能力问题。eyereisen等(2013)以美国玉米和大豆生产区域为例研究了冬季黑麦作物可种植的面积和生物质能源原料供给能力的问题, 研究发现, 在现有的用于玉米耕种的土地上, 有7.44Mha的土地适于冬季黑麦种植, 在玉米和大豆交替耕作的土地上, 有31.7Mha的土地适于冬季黑麦种植, 黑麦生物质的供给潜力大约为112至151Tg之间, 所产生的生物质能源资源潜力大约在2至2.6EJ之间。

##### (二) 边际土地对原料供给的影响研究

若可利用土地资源较为集中, 生物质能源原料供应成本下降, 生物质能源最终产品的成本则较低(Ha, 2015)。然而, 土地资源具有多用途性, 除了耕地、林地、草地、工矿交通和居民点用地之外, 可利用土地的分散性较为严重, 因此若用这部分土地进行生物质能源原料供应, 则需进一步判别成本与收益之间的关系, 因此研究边际土地对生物质能源原料的供应影响具有重要的实际意义。全球75%的能源需求主要来自于城市, 尽管城市地区的能源生产无法满足自身的能源需求, 但城市中的部分土地资源可以用于农林生物质能源原料的生产, 进而满足城市内小区域范围的供热和发电(Pantaleo, 2014)。因此, 研究城市边际土地利用背景下的农林生物质能源原料供给潜力问题是当前国外关注的一个焦点。但现有的研究均指出, 边际土地对生物质能源原料供应的潜力较小。如Saha等(2015)对美国波士顿城市边际土地用于生物质能源原材料生产的潜力进行研究后发现, 若城市边际土地用于杨树种植, 每年大约可以提供42130吨生物质, 通过生产每年大约可获得生物质能源745TJ至830TJ, 从比例来看仅相当于马萨诸塞州2012年能源需求总量的0.6%; Xue等(2014)以美国康涅狄格州为研究对象, 通过运用土地利用适宜模型评价了该地区边际土地中用于乙醇生产的小黑杨森林资源的可种植程度, 并指出该州43%的边际土地无法进行小黑杨种植以进行生物质能源原料供应, 6%的边际土地进行种植时生产率将会较低, 剩余土地中只有27%的边际土地符合适宜性的概念, 但其中只有5%的边际土地具有高度适宜性。

#### 五、评述与启示

发展生物质能源产业是实现低碳经济的一项重要措施, 而生物质能源的原料供给程度直接决定着生物质能源产业的发展程度。本文梳理了国外生物质能源原料供给相关研究成果, 发现国外生物质能源原料供给研究主要涵盖在以下几

个方面：市场和环境需求下的生物质能源原料供给研究、原料供给的最适宜区域选择研究、原料供给的空间集中性研究和土地资源与原料供给的关系研究等。总体来看，国外关于生物质能源原料供给的研究呈现出以下几个方面的特征：第一，研究内容具有较强的系统性。如对生物质能源的原料供给研究已不再仅仅局限于市场需求的角度，既涵盖市场因素，又涵盖环境因素，在整个能源—环境—经济系统中探讨生物质能源的原料供给问题成为国外研究的一个新趋势。第二，研究结论具有较高的实践应用价值。如对区域内原料供给的最适宜范围研究、城市边际土地在生物质能源原料供给中的作用研究等，均具有较强的实践价值，对区域生物质能源原料供给方案制定或项目选址具有一定的指导意义。第三，研究视角具有较强的创新性。如从逆向角度研究环境约束下的生物质能源原料供给问题、从边际土地视角研究原料供给问题等，拓展了有关生物质能源原料供给问题的研究范围和领域。整体来看，国外生物质能源原料供给研究内容较为全面，研究视角呈现多样化。“十三五”时期是我国实现能源转型升级的重要时期，因此我国生物质能源产业发展面临着重大的机遇(国家能源局，2016)，作为产业研究的基础，生物质能源原料供给研究也必将成为研究的新焦点，在今后的研究中，应充分借鉴国外经验，加强以下几个方面的研究：

首先，注重生物质能源原料供给适宜范围研究。纵观国外生物质能源原料供给适宜范围的研究文献，研究视角从全球层面研究、国家层面研究逐步向小区域研究等微观层面扩展，研究内容逐步深化。当前，我国《生物质能发展“十三五”规划》中已经从国家层面明确了生物质能源原料供给的区域分布和供给优势，但存在生物质原料难以实现大规模收集等诸多困难，“探索就近收集、就近转化、就近消费的生物质能分布式商业化开发利用模式”是当前我国生物质能源发展面临的一项重要难题，也是“十三五”时期我国生物质能源发展的一项重要任务。因此，充分借鉴国外学者对微观区域原料供给最优范围选择研究的思路和视角，结合我国各地区生物质能源原料分布的实际情况，探讨微观区域生物质能源原料供给的最优范围和供给能力，这应是今后国内研究所注重的一项重要课题。

其次，强化土地资源与生物质能源原料供给能力关系研究。土地是进行生物质能源原料供给最基本的保障，国外学者有的从土地可利用量的角度对原料供给能力进行分析，也有从边际土地的角度进行分析。我国的现实情况是人多地少，2020年人口将由当前的13.75亿达到14.2亿(国家卫生计生委，2017)，耕地保有量将继续维持在现有水平即18.65亿亩左右(国务院，2017)，因此土地资源与原料供给即相互矛盾又相互补充，即一部分生物质资源原料生产存在与粮争地的问题，一部分生物质能源原料依赖于作物产量，所以我国土地资源与生物质能源原料供给能力的研究应充分借鉴国外的研究成果，加强微观区域内土地资源对原料供给能力的影响研究，尤其是结合地区粮食用地的实际情况加强研究边际土地对区域生物质能源原料供给能力的提升问题。

最后，拓展生态环境问题与生物质能源原料供给关系的研究。国外学者除了对生物质能源利用产生的环境效益进行评价之外，还从逆向的角度出发研究环境约束下的生物质能源原料供给问题，具体涉及到生态系统服务、水资源、生物多样性等生态系统平衡问题。国内当前研究还仅局限于前者研究，对区域内生态环境约束下的原料供给能力问题的研究相对较少，而我国地域面积广阔，生态环境系统复杂，因此探讨不同区域生态环境对生物质能源原料供给能力的影响研究需成为今后关注的一项重要问题。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/125418.html>