

农林生物质资源潜力评估研究与展望

张仁健, 沈文星

(南京林业大学经济管理学院, 南京210037)

摘要: 基于对生物质潜力研究的文献回顾, 主要从农林生物质资源潜力的类型、评估方法以及基于地理分布和情景模拟情况下的潜力评估实践进行梳理和讨论。并在此基础上, 对生物质能进一步发展进行评述和展望。

目前, 能源短缺已经成为世界的关键性问题, 生物质能源作为一种全球可利用的可再生和可回收能源, 是解决能源问题重要的方案之一。与此同时, 生物质能源生物量还可以通过提供就业机会, 使农村地区的人口得以保留, 促进农业的平衡增长[1]。

根据《British petroleum (以下简称BP) 世界能源统计年鉴》(BP, 2018), 我国的能源结构正在发生变化, 2017年石油和煤炭产量相比2011年分别减少了5.62%和5.64%。在化石能源产量减少的同时, 可再生能源产量增长迅速, 2017年可再生能源产量约为2011年可再生能源产量的3.63倍。可再生能源占一次能源的比重也越来越高, 截至2017年可再生能源产量占一次能源总产量的3.41%。农林生物质资源作为生物质资源主要组成部分, 对其潜力评估进行梳理和分析, 有利于分析生物质资源到底如何或者是在何种程度上能够对能源短缺进行有效补充, 特别是对国家生物质能源战略性新兴产业政策制定有一定的现实意义。

1 生物质资源及应用方式

生物质是来自生物体的生物材料, 通常指植物或植物衍生材料[2]。根据欧盟委员会对生物质的定义, 生物质资源包括农、林及相关产业的产品、副产品和残渣, 以及非化石、可生物降解的工业部分和城市固体废物。农业生物质资源和林业生物质资源是其中两种主要的潜在资源。农业生物质资源主要包括农作物秸秆和农产品加工废弃物[3]。林木生物质能源是指可用于能源或薪材的森林及其他木质资源, 主要来源于薪炭林、林业生产的“三剩物”、灌木林平茬复壮、经济林修剪和林业经营抚育间伐过程产生的枝条和小径木, 还有造林苗木截干、城市绿化树和绿篱修剪等[4]。

生物质能是将太阳能以化学能的形式储存在生物质中[5]。而如何将生物质资源高效的转换为生物质能是目前重点研究方向。

2 农林生物质资源潜力的分类和评估方法

2.1 农林生物质资源潜力的分类

现阶段研究对生物质资源潜力评估的结果差异较大, 其重要原因之一是存在着不同的分类和定义。Smeets and Faaij[6] (2007) 将生物质潜力类型分为理论潜力、技术评估、市场(经济)评估, 理论潜力 > 技术潜力 > 经济(市场)潜力。理论潜力是指基本生物物理极限内可被认为是生物能源生产的陆地生物量的最大量。技术潜力是在理论潜力的基础上考虑到现有的技术以及其他限制因素。经济或市场潜力是受经济标准制约的技术潜力, 如生产成本、物流成本、能源价格和利润率[7]。国外学者对农林生物质资源各种类型潜力评估都有较为全面的研究。Smeets和Faaij[9] (2007) 利用自下而上的关键因素分析, 估计2050全球森林生物质资源的生产潜力, 计算发现理论潜力为71EJ, 技术潜力64EJ, 经济潜力15EJ, 生态可持续潜力8EJ。而国内学者对农林生物质潜力的研究主要停留在理论潜力阶段。例如, 蔡亚庆[8] (2011) 等人通过草谷比系数估计2009年中国各省农作物秸秆理论资源和可获得资源量; 左旭[9]通过玉米草谷比系数估计2013年中国玉米秸秆产量研究表明, 玉米秸秆产量位居全国各类农作物秸秆产量之首; 刘志彬等人[10] (2014) 以9种农作物的经济产量为基础, 结合草谷比和资源可收集利用率评估各类生物质资源发电潜力, 测得2011中国主要农业生物质资源的最大发电潜力以及净剩余资源发电潜力; 宓春秀和苏世伟 (2016) [11]利用灰色系统模型估计了江苏省农林农作物秸秆和林木生物质资源的理论潜力。

2.2 农林生物质资源的潜力评估方法

Long和Li等人[12] (2013) 认为目前估算生物质能源潜力的方法有两种, 一种是基于各生物质资源类型的统计数据。另一种就是RS和GIS技术相结合的方法。Hanninen等人[13] (2018) 评估欧盟森林生物质潜力时, 将评估的方法分为三类, 第一类主要是对森林的结构和增长及其可以从森林中获得的资源进行评估, 这类方法主要是用来评估森林生

物质资源的理论和技术潜力。第二类是需求驱动的方法,这类方法主要用于评估森林生物质潜力的经济潜力和实施潜力。需求驱动的方法考虑了其他生产要素价格的发展、能源价格和不同的社会政治制约因素以及激励措施对森林生物质资源的影响。第三类是综合建模评估,该方法综合了以自资源为中心和以需求驱动两种方法,该方法用于从理论潜力到可持续实施潜力的各种潜力评估。

3 农林生物质资源潜力评估实践

3.1 基于地理分布下的农林生物质资源潜力评估

生物质能空间分布的信息对于指导资源的集约和高效利用以及生物质能相关项目和产业的配置而言至关重要。研究生物质资源空间分布通常是利用遥感系统(RS)和地理信息系统(GIS)。遥感和地理信息系统的发展为空间生物量和生物能源潜力的估算提供了无限的可能性。这种方法应用主要表现在两个方面。一是利用遥感和地理信息系统对生物质和净初级生产力进行估算,对生物质资源进行评价。二是获取可用于生物质种植的土地面积信息。

国外研究生物质资源分布,大多是为了了解未来可以多大程度上获得生物质资源以及如何调动这些资源。Verkerk等人[14](2019)研究欧洲林业生物质资源分布,发现在北欧(包括波罗的海国家)、中欧、斯洛文尼亚、法国西南部和葡萄牙中部地区,每单位土地的林业生物质资源潜力最大。Mansuy等人[15](2017)研究加拿大火烧迹地生物质资源分布,发现加拿大各地的生物量密度从西到东和从北到南都在下降,在加拿大不列颠哥伦比亚省的太平洋海洋、山地科迪莱拉、北部科迪莱拉和北部平原生态区的生物质资源密度值均为最大。Burg等人[16](2018)在评估瑞士能源转型中生物质潜力,发现生物质潜在的空间分布是高度可变的。

我国生物质能总体上分布不均,省际差异较大,西南、东北及河南、山东等地是我国生物质能的主要分布区。我国农业生物质资源主要是农作物秸秆,而农作物秸秆中,玉米稻所占比重最大,我国玉米秸秆资源主要分布于东北地区与黄海地区[17]。近年来,我国学者重点开始以国内省份为研究区域分析生物质资源分布,周春江(2011)[18]研究发现重庆农林生物质资源分布不均匀。邢红[19](2015)估算江苏省南通市农村生物质资源量,发现该地区生物质资源分布极不均匀,在经济比较薄弱地区,生物质资源有着明显的优势。郭永奇[20](2013)通过计算河南省秸秆生物质资源人均密度研究该地方生物质资源地理分布,将河南省秸秆生物质资源开发利用分为重点、适度以及不适宜开发三个区域。

无论是国外还是国内,生物质资源都存在分布不均匀,这必然会导致局部分布的不合理,因此采取一定的优化措施是完善生物质资源分布的重要手段。王武魁和苏贤明等人[21](2010)考虑经济性和可操作性等因素,在定量分析的基础上,通过定位配给模型和服务区模型,对北京林业生物质资源收集点和加工地点的选址进行了优化。Huhao等人[22](2015)描述了CyberGIS-BioScope模型,它利用CyberGIS功能处理和分析空间数据,优化了生物燃料供应链的空间决策环境,增强优化结果的可视化和共享。

3.2 基于各种情景模拟下的农林生物质能源潜力评估

对生物质能源潜力的评估通常是面向未来,在面向未来的研究通常需要在不同的情境下进行分析。而针对不同的情景,采取不同的分析模型。Giada Venturini[23](2019)结合多部门模型TIMES-DK和地理优势模型Balmorel-OptiFlow,对丹麦最丰富生物质资源秸秆进行研究,建模解释了秸秆在未来脱碳能源系统中的价值增加,以及在碳限制的情况下,依靠目前国内生物量资源无法实现能源自给自足的目标。Moiseyev等人[24](2013)在不同的煤炭、天然气和碳排放价格和市场情况下,使用全球森林部门模型EFI-GTM对欧盟电力和热力生产使用木材的影响。Buongiorno等人(2011)[25]利用全球森林产品模型(GFPM)在保持其他驱动力不变的情况下对全球森林部门进行预测,研究发现生物能源需求增长率相对于基本情景翻一番。LotzeCampen等人[26](2010)将空间土地利用模式与农业生产力相结合,将经济土地利用分配模型与基于过程的植被-水文模型相结合,以模拟不同技术水平、土地利用模式和全球权衡的各种情景下的生物能源潜力。

4 评述与展望

4.1 农林生物质潜力评估差异分析及缺陷

一般来说,生物质能源潜力的评估结果差异较大。国外学者在对未来生物质理论潜力进行预测时,最高将近1200EJ/Year,而有的预测只有500EJ/Year。生物质潜力估算的差异是由很多因素造成。首先,生物质资源的数据不够完善,还存在大量的离散数据,另外在测量生物质潜力时,因为转换因子、收益率和一些参数存在差异,结果也会不同。其次,生物质资源存在不同的分类(农业生物质、林业生物质、城市废水等等)和不同的潜力类型(理论、技术、经济

、实施、可持续实施），因此在对其进行评估时，研究重点如果是不同的资源类型或是不同的潜力类型都会产生差异。第三，评估生物质资源缺乏公认的方法。

对生物质潜力评估的研究中，通常是分别对生物质资源供给和需求的研究，而几乎不考虑市场机制的影响。考虑到市场机制下的价格变动，研究的结果可能差异较大。另外，虽然目前在理论、技术、经济、以及可持续性上都有不同程度上的研究，但是像Smeet和Faaij一样从理论潜力到可持续潜力四阶段的研究较少，与此同时，在这些研究的基础上进一步对政策以及投资规划方面的研究也应该值得去关注。

4.2 农林生物质能源技术

生物质能源技术主要包括直接燃烧、热解、气化、液态气化、液化、厌氧消化、酒精发酵和酯交换等，将生物质资源转化为固体、液体以及气体三种形式[27]。再通过一系列技术转化，将其转化为生物乙醇、生物柴油、沼气等。其中沼气是世界上广泛使用的最重要的气体生物质燃料，主要应用于小型家庭以及工业的生产和使用[28]。另外生物质共燃技术一种具有低风险、低投资、建设周期短等特点生物质能源技术[29]。它是在使用燃煤电厂的基础上，将生物质资源与煤混合燃烧。生物质共燃技术在欧洲很多国家已经开始广泛使用，但对于世界上大多数国家来说，生物质共燃还是个新的概念[30]，我国生物质资源共燃是新的增长点。

4.3 农林生物质能源补贴政策

为了实现生物质能的快速发展，各个国家都采取了一系列的生物质能源政策。在国外，发达国家主要通过实施税收、财政补贴、农业、能源、激励政策等来支持生物质能源的发展[31]。英国在2001年制定了能源作物计划，为农民种植能源作物提供资金，如种植短轮伐期的矮林和芒刺。荷兰为实行生物质共燃技术的热电联产厂进行补贴，这种补贴是在批发电价的基础上提供固定溢价。在希腊，政府对投资生物质能源技术的企业免税，并给予占投资份额40%的补贴[32]。我国在2017年组织建设生物质热电联产示范项目，建成后优先获得国家生物质能源发电补贴。2018年要求地方针对括燃煤与农林生物质、生活垃圾等混燃发电在内的其他生物质发电项目，解决资金补贴问题。

现阶段，我国生物质能源相关政策没有形成体系。在生物质规划方面，没有强制实行的效果，也没有具体实施的细则[33]。在生物质补贴方面，我国主要是对生物质原料以及生物质发电进行补贴，而对生物质系能源企业缺乏关注[34]。目前国内外大量对于生物质资源潜力的研究，有助于制定适合特定区域的生物质能源技术发展战略，另外可以对实施政策的成本和效益进行更细致化的评估，特别是财税和补贴政策，并对未来发生的不确定情况及时做出政策上的调整[35-36]。

参考文献:

- [1] A. Flamos, P. G. Georgallis, H. Doukas, J. Psarras. Using Biomass to Achieve European Union Energy Targets—A Review of Biomass Status, Potential, and Supporting Policies[J]. *International Journal of Green Energy*, 2011, 8 (4): 411–428.
- [2] Konur O. The scientometric evaluation of the research on the production of bioenergy from biomass[J]. *Biomass and Bioenergy* 2012 (47): 504–15.
- [3] 赵军, 王述洋. 我国生物质能资源与利用[J]. *太阳能学报*, 2008 (1): 90–94.
- [4] 刘刚, 沈镛. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. *自然资源学报*, 2007 (1): 9–19.
- [5] Gonzalezsalazar M A, Morini M, Pinelli M, et al. Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia[J]. *Applied Energy*, 2014 (136): 781–796.
- [6] Edward M. W. Smeets, André P. C. Faaij. Bioenergy potentials from forestry in 2050[J]. *Climatic Change* 2007, 81 (3–4): 353–390.
- [7] 苏世伟, 陈妍, 聂影. 生物质燃料供应链物流成本的文献比较研究[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45 (15): 7–10.
- [8] 蔡亚庆, 仇焕广, 徐志刚. 中国各区域秸秆资源可能资源化利用的潜力分析[J]. *自然资源学报*, 2011, 26 (10): 1 637–1 646.
- [9] 左旭, 王红彦, 王亚静, 等. 中国玉米秸秆资源量估算及其自然适宜性评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2015 (6): 5–10.
- [10] 刘志彬, 任爱胜, 高春雨, 等. 中国农业生物质资源发电潜力评估[J]. *中国农业资源与区划*, 2014, 35 (4): 133–140.
- [11] 宓春秀, 苏世伟. 江苏省生物质能源潜力的灰色系统模型预测[J]. *中外能源*, 2017, 22 (7): 91–98.
- [12] Huiling Long, Xiaobing Li, Hong Wang, Jingdun Jia. Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013 (26): 344–352.
- [13] Riitta Hänninen, Elias Hurmekoski, Antti Mutanen, Jari Viitanen. Complexity of Assessing Future Forest Bioenergy Markets—Review of Bioenergy Potential Estimates in the European Union[J]. *Current Forestry Reports*, 2018, 4 (1): 13–22.
- [14] Pieter Johannes Verkerk, Joanne Brighid Fitzgerald, Pawan Datta, Matthias Dees, Geerten Martijn Hengeveld, Marcus Lindner, Sergey Zudin. Spatial distribution of the potential forest biomass availability in Europe[J]. *Forest Ecosystems*, 2019, 6 (1): 56–66.
- [15] Nicolas Mansuy, David Paré, Evelyne Thiffault, Pierre Y. Bernier, Guillaume Cyr, Francis Manka, Benoit Lafleur, Luc Guindon. Estimating the spatial distribution and locating hotspots of forest biomass from harvest residues and fire-damaged stands in Canada's managed forests[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2017 (97): 90–99.
- [16] Vanessa Burg, Gillianne Bowman, Matthias Erni, Renato Lemm, Oliver Thees. Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2018 (111): 60–69.
- [17] 左旭, 王红彦, 王亚静, 等. 中国玉米秸秆资源量估算及其自然适宜性评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2015 (6): 5–10.
- [18] 周春江. 重庆市农林生物质资源估算及其时空分布特征分析[D]. 重庆西南大学, 2011.
- [19] 邢红, 赵媛, 王宜强. 江苏省南通市农村生物质能资源潜力估算及地区分布. *生态学报*, 2015, 35 (10): 3480–3489.
- [20] 郭永奇. 河南省主要农作物秸秆生物质资源定量评价及其原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/180124.html>
- 地理分布[J]. *农业现代化研究*, 2013, 34 (1): 114–117.
- [21] 王武魁, 苏贤明, 施海, 等. 北京林业生物质资源空间密度分布计算及加工点选址优化[J]. *北京林业大学学报*, 2010, 32 (6): 71–79.
- [22] Hao Hu, Tao Lin, Yan Y Liu, et al. CyberGIS-BioScope: a cyberinfrastructure-based spatial decision-making environment for biomass-to-biofuel supply chain optimization[J]. *Concurrent and Computation-Practice & Experience*. 2015, 16 (27): 4 437–4 450.
- [23] Giada Venturini, Amalia Pizarro-Alonso, Marie Münster. How to maximise the value of residual biomass resources: The case of straw in Denmark[J]. *Applied Energy*, 2019, 250: 369–368.
- [24] Alexander Moiseyev, Birger Solberg, A. Maarit I. Kallio. Wood biomass use for energy in Europe under different assumptions of coal, gas and CO₂ emission prices and market conditions[J]. *Journal of Forest Economics*, 2013, 19 (4): 235–239.
- [25] Buongiorno J, Raunikar R, Zhu S. Consequences of increasing bioenergy demand on wood and forests: an application of the Global Forest Products Model. *J For Econ*. 2011, 17 (2): 214–29.
- [26] Hermann Lotze-Campen, Alexander Popp, Tim Beringer, Christoph Müller, Alberte Bondeau, Stefanie Rost, Wolfgang Lucht. Scenarios of global bioenergy production: The trade-offs between agricultural expansion, intensification and trade[J]. *Ecological Modelling*, 2009, 221 (18): 323–330.
- [27] Bridgwater A V, Toft A J, Brammer J G. A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2002, 6 (3): 181–246.
- [28] Frank Rosillo-Calle, A review of biomass energy—shortcomings and concerns, [J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2016, 71 (7): 1 933–1 945.
- [29] 鲁许鳌. 生物质和煤共气化共燃的实验和机理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.
- [30] Mohammad S. Roni, Sudipta Chowdhury, Saleh Mamun, Mohammad Marufuzzaman, William Lein, Samuel Johnson. Biomass co-firing technology with policies, challenges, and opportunities: A global review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017 (78): 1 089–1 101.
- [31] 任继勤, 汪亚运, 王得印. 国外生物质能源政策措施及其效果分析[J]. *世界林业经济研究*, 2014, 27 (2): 89–92.
- [32] Jeffers R F, Jacobson J J, Searcy E M. Dynamic analysis of policy drivers for bioenergy commodity markets[J]. *Energy Policy*, 2013 (52): 249–263.
- [33] 袁惊柱, 朱彤. 生物质能利用技术与政策研究综述[J]. *中国能源*, 2018, 40 (6): 16–20.
- [34] 苏世伟, 宓春秀. 中外生物质能源政策差异性分析[J]. *中外能源*, 2016, 21 (11): 14–20.
- [35] 杨红强, 余智涵. 全球木质林产品碳科学研究动态及未来的重点问题[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, 45(4): 219–228.
- [36] 马倩茹, 许向阳. 家具行业绿色供应链管理的金融支持研究[J]. *物流工程与管理*, 2021, 43(09): 78–80.