

· 资源利用 ·

栅格尺度下可集约利用农田生物质能优势带研究^{*}

王芳^{1,2}, 陈健飞^{1,2}, 冯艳芬^{1,2*}, 夏丽华^{1,2}, 周涛^{1,2}

(1. 广州大学地理科学学院, 广东 广州 510006; 2. 广州发展研究院, 广东 广州 510006)

摘 要 农田生物质能具有能源密度低, 不确定性程度大, 分布分散的特点。以广东省为例, 利用生物量模型对区域农田生物质能进行栅格尺度的估算, 并结合实地调查数据, 分析了区域农田生物质能可集约利用为能源的各类影响因素, 建立了农田生物质能的理论蕴藏量、可获得量、可集约利用量的决策模型。利用邻域分析法和移动窗口法对区域生物质能优势带分布和二级收集区进行分析, 结果表明, 广东农田生物质能分布优势带主要集中在雷州半岛地区、粤西南丘陵地区、潮汕平原区、粤东沿海丘陵台地等地区。广东省发展直接燃烧供热发电项目, 原料供应有一定风险。可以采用固化燃料或气化、醇化成燃料乙醇等方式发展生物质能项目。

关键词 农田生物能源 遥感 分布优势带 集约利用 栅格尺度

在2009年“哥本哈根世界气候峰会”中, 我国承诺到2020年单位GDP的CO₂排放要比2005年下降40%~45%, 非化石能源占一次能源比重重要达到15%左右^[1]。为实现这个目标, 提高生物质能在能源利用结构的比例势在必行。农田生物质能具有分布广泛、可再生, 并且绿色环保等特点, 其集约利用对于解决石油危机、三农问题, 以及带动新兴能源产业的发展, 促进低碳循环社会的建立具有极为重要的战略意义。

虽然我国农田生物质能资源丰富, 但是由于生物质能能源密度低, 收集范围大, 决定了并不是区域所有的生物能源都可以集约利用为替代能源, 所以能源工程原料分布优势带研究至关重要。从目前的研究方法来看, 生物质能估算都是根据统计年鉴中的农作物播种面积来进行的^[2-3]。估算结果是以行政单元为统计单元, 难以和基于自然单元生物质利用规划模型相匹配。遥感数据以栅格为单元记录地物信息, 使用规则格网的方式覆盖了整个研究区域, 使用遥感数据以规则格网作为最小的统计单元弥补了传统资源调查方法存在的不足。此外, 遥感技术的同步性、周期性和区域性以及基于遥感的植被净初级生产力模型的日益成熟, 为生物质能数量和时空格局准确、快速研究提供了可能^[4-5]。

利用TM遥感数据对农田类型进行提取, 然后利用遥感反演生物量模型数据估算农田生物量, 实地考察了区域农田生物质的利用状况, 分析区域农田生物质能可集约利用为能源的各类影响因素, 建立农田生物质能的理论蕴藏量、可获得量、可集约利用量的决策模型。利用生物质能有效收集半径, 邻域分析法以及移动窗口法对区域生物质能优势带分布格局和二级收集区域进行分析。为区域生物质能集约利用提供数据支撑。

1 研究区概况

广东省位于东经109°45'~117°20', 北纬20°09'~25°31', 全省地处低纬度, 北回归线横贯陆地中部。地跨热带和亚热带, 属东亚季风气候区南部, 南临热带海洋, 气候具有热带、亚热带季风海洋性气候特

收稿日期: 2010-12-23 王芳为副教授、博士 陈健飞为教授 冯艳芬为副教授、博士 夏丽华为教授 周涛为讲师

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金(40801034, 41001048); 广州市教育局科技计划项目(08C025); 广州市哲学社会科学“十一五”规划(10Q01); 广州大学科研创新团队项目 ^{*} 通讯作者 Email: fyy27@163.com

点。年平均温度为 21.6℃，全省大部分年平均日照时数在 2 000 小时以上，年平均降水量为 1 300~2 500mm，广东省是中国光、热、水资源最为丰富的地区。所以能为发展生物质能产业提供了物质保障。广东省耕地面积为 312 万 hm²，主要的农作物为：双季稻、玉米、薯类等。广东省是中国经济发展最为活跃的地区，能源的对外依存度高达 70.4%（广东省统计年鉴，2006），能源短缺已成为经济发展的瓶颈。加快生物质能源产业化进程迫在眉睫。

2 数据资料与研究方法

2.1 农田的遥感分类和农田净初级生产力 NPP 数据

农田的遥感分类选取了 2006 年下半年，云盖量小于 10% 的各 16 景 Landset TM/ETM 影像，来源于中科院中国遥感卫星地面站。数据处理平台为 ENVI 4.2 和 ArcGIS 9.1，处理步骤主要包括：a) 接边、剪裁处理；b) 利用控制点将 TM 图像纠正到 1：5 万地形图，采用三次多项式及最邻近插值法对遥感图像进行几何校正，配准误差控制在 1 个像元内。采用最大似然法监督分类和目视人工解译法对水田和旱地进行提取；采集农田样点数据约 211 个。利用 GPS 定位获取各调查点的经纬度坐标，采取野外实地调查和人工目视判读互补的方法，同时参照广东省土地利用现状图，对分类结果进行了精度验证和部分校正，遥感解译 Kappa 系数分别为 0.81，总精度为 0.88。认为遥感解译的农田提取精度是可以接受的。

农田植被净初级生产力（Net Primary Production，NPP）是农田植被碳固定能力的重要表征。通过农田 NPP 模型可以计算农田植被通过光合作用固定的太阳能，计算在单位面积、单位时间内所获得生物量的净增加量。从而可以对农田生物质能进行估算。NPP 数据来自美国 NASA 的 EOS/MODIS 的 2006 年的 MOD17A3 数据（https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool），此数据产品是一个空间分辨率为 1km，时间间隔为 8 天的接近实时的植被 NPP 遥感监测产品，使用的是 BIOME-BGC 生态系统过程模型，具体估算流程见《MOD17 User's Guide》^[6]。该文使用的 MOD17A3 数据是其 C5 产品，比原来的 C4 产品估算精度更高，估算得到生物量应用已经被广泛证明^[7-8]。

2.2 区域农田生物质能可利用部分决策模型

分析区域农田生物质可集约利用为替代能源的各类影响因素，建立农田生物质能的理论蕴藏量、可获得量、可利用量的决策模型。

2.2.1 区域农田生物质能理论蕴藏量

理论蕴藏量是指理论上区域每年可能拥有的农田生物质能资源量。其数量等于农作物残余量。农业残余定义为收割后遗留在田地中不能直接食用的那部分作物。遥感估算得到的农田生物质生物量，给出农作物残存估算公式：

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n BIOMASS_i \times \left[\frac{RPR_i}{1 + RPR_i} \right] \tag{1}$$

式中，Q₁ 为农田生物质能理论蕴藏量；BIOMASS_i 为第 i 种作物的总净生物量，是通过遥感估算 NPP 得到的；RPR_i 是农作物谷草比系数。

2.2.2 区域农田生物质能可获得量

区域农田生物质能可获得量是指通过现有技术条件可以转化为有用能的农田生物质能资源数量。可获得量是一个与技术密切相关的实物量指标。直接燃烧秸秆对秸秆的性质并无要求，但显然是低效率的粗放能源利用方式。最大可获得量，可以表示为：

$$Q_2 = Q_1 \times \sum_{i=1}^n k_i = \sum_{i=1}^n BIOMASS_i \times \frac{RPR_i}{1 + RPR_i} \times k_i \tag{2}$$

式中，Q₂ 为区域农田生物质能可获得量；k_i 为反映作物收割环节中由于技术条件生物量损失的系数，生物质资源的收集系数与收集半径有关。

2.2.3 区域农田生物质能可集约利用量

区域农田生物质能可利用量是指实际可以用来进行能源生产的区域农田生物质能资源量。可利用量可

以由可获得量和可利用系数乘积得到，可利用系数是一系列对能源生产的非技术性约束的综合表述。研究人员把它归纳为经济制约因子、生态环境制约因子、社会人文制约因子等几方面。其中，经济制约因子是指农田废弃物（秸秆）的几个主要流向：还田、饲料、工业原料等。生态环境制约因子指保持土壤肥力（归田），当地气候影响、种植品种、复种指数、腐烂霉变可能等分布和运输条件。

归纳起来建立简化模型，农田生物质能可利用量可表达为：

$$Q_3 = \sum_{i=1}^n f \times t \times (Q_2 - Em_i)$$

式中， Q_3 是采样区域农田生物质能可利用量； Q_2 为采样区域农田生物质能获得量； n 为该区植被总种类数； EM_i 为由于经济原因无法使用的生物量（工业原料、牲畜饲料、生活能源等）， f 为受生态环境制约而不应该利用的生物量比例（例如，秸秆归田等）， t 为反映各个环节（例如，运输等）中生物量损失的系数。

2.3 农田生物质能收集优势带分析

（1）在获得栅格尺度下的区域可用农田生物质能值基础上，利用 ARCGIS 的邻域分析工具和窗口移动方法，对农田生物质能分布的收集优势带进行提取。

（2）利用公路网电子数据，利用提取道路交叉点，把它作为假想的生物能源一级收集点，然后作距离缓冲栅格图，提取一定缓冲范围作为初级收集范围。

（3）利用栅格叠加方法把农田分布优势带和道路缓冲范围栅格图叠加，同时满足以上两种条件的区域为区域初级生物能源收集优势带。

（4）在初级生物能源收集优势带基础上，根据区域收集的生物质能总量最大性原则，建立区域生物能源二级收集区。

3 区域农田生物质能分布优势带和收集区域

3.1 区域可集约利用的生物质能

首先对广东省的农田生物质（农作物秸秆）的利用现状进行分析。然后进行实地调查，调查的主要内容包括农户基本情况、农作物生产情况、秸秆利用情况、生活用能情况等，进一步对资料进行整理，并与相关研究文献对比，取得了生物能可集约利用模型中的各项系数和比例。

在简化模型中，估算的关键是农作物谷草比系数（RPR）的确定，它是可以通过田间试验和观测得到的经验常数，不同地区、不同品种的农作物大致相同，可能略有差异。该研究中，水田稻秆的谷草比系数参考先前中国农业部和美国能源部的一个联合项目所测数值^[2,9]，RPR 为 0.623。根据广东省 2007 年统计年鉴，广东省 2006 年播种的旱地作物主要是薯类、大豆和玉米等，谷草比使用几种作物的谷草比的均值为 1.557。

表 1 该文选取的主要作物的谷草比系数（RPR）

	水田				旱地			
作物种类	水稻	玉米	薯类	其他谷物	豆类	甘蔗	花生	油菜
RPR	0.623	2	1	1.6	1.7	0.1	1.5	3
	0.623				1.557			

在模型 2—3 中， EM_i 是由于经济原因无法使用的生物量（牲畜饲料、工业原料等），根据调研广东省作为牲畜饲料损失部分比例比较小，该研究将这一部分忽略，工业原料部分损失大约占 5%。另外，为受生态环境制约而不应该利用的生物量（秸秆归田比例）；有 15% 的秸秆为了保持土壤肥力需要归田^[3]。为反映各个环节（例如收割等）中生物量损失的系数，这里选用了收割损失系数为 15%^[3]。另外 1g 稻秸干物质相当于 0.45g 有机碳，1g 旱作秸秆干物质相当于 0.4408g 有机碳，每克稻秸干物质干物质含 13.97KJ 能量，每克旱作秸秆干物质含 18.5KJ 的能量。根据上述模型及其参数对水田和旱地可用生物质能能值进行估算，进而得到广东省可利用农田总生物质能。

3.2 区域生物质能分布优势带及二级收集区域

虽然广东省农田生物质能总量有 $9.13\text{E}+13\text{KJ}$ ，但分布非常分散。考虑到生物质能产业的原料收集要求和运输成本等问题，要求原料供应相对集中，研究人员对研究区域生物质能二个级别的收集区进行研究。首先在获得 2006 年广东省农田生物质能空间分布基础上，利用 ARCGIS 的邻域分析工具和窗口移动方法，对广东省生物质能空间分布的优势带进行提取，其中移动窗口选择为圆形，邻域范围设定为 10km ($5\sim10\text{km}$ 是农作物秸秆收集成本研究中初级收集适合半径)^[10]，生物质能收集量大的多个栅格的集聚区域就是生物质能分布的优势带，结果如图 1。

图 1 中可以看出广东省生物质能分布的优势带主要分布在：湛江市北部、茂名南部、江门西部、阳江中部、梅州西部、揭阳东南部、潮州南部以及河源的东北部、韶关的东北角和肇庆的东部等。总体而言，以雷州半岛地区、粤西南丘陵地区、潮汕平原区、粤东沿海丘陵台地区为主要分布区。

然后利用 ARCGIS 的 NODEPOINT 工具提取广东省三级道路的道路交叉点，假设为初级收集点，做道路交叉点的距离缓冲栅格图，提取 10KM 内的缓冲范围作为初级收集范围。利用栅格叠加方法把 10KM 的农田分布优势带和 10KM 的道路缓冲范围栅格图叠加，得到区域初级生物能源收集优势带。根据区域收集的生物质能总量最大性原则，建立 50km 和 80km 的二级收集区。结果如图 2。

从图 2 中可以看出，一级收集区主要分布在徐闻县东部，雷州市北部、廉江市大部、湛江市大部、吴川市中部北部、电白县大部、化州市南部、罗定市中部、恩平市东部、惠来县大部、陆丰市东部、五华县东部及北部、南雄市中部、普宁市北部、饶平县南部、揭东县南部。二级收集区中生物质收集量的最大的是粤西南丘陵地区，此收集区收集总量为 $2.80\text{E}+12\text{KJ}$ ，根据每 kg 标准煤的发热量为 29 270KJ 来计算，相当于 9.84 万 t 标煤。目前，我国在建的生物质发电示范项目规模一般为 $2\times12\text{MW}$ ，采用直接燃烧供热发电技术，在运行中对生物质需求量相当大，年需耗用生物质 20 万~30 万 t，折合标煤为 10 万~15 万 t。这样看来广东省如果发展直接燃烧供热发电项目，原料供应可能存在一定风险。可以采用固化燃料；或气化或醇化成燃料乙醇等方式发展生物质能项目。

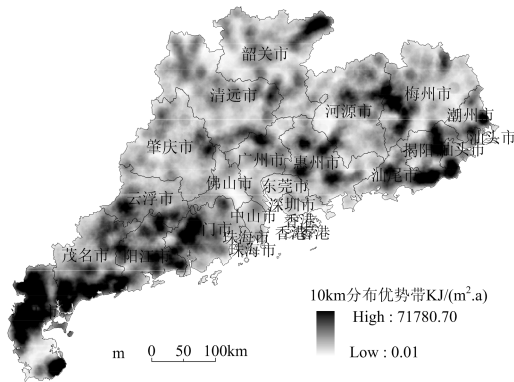


图 1 10km 农田生物质能分布优势带

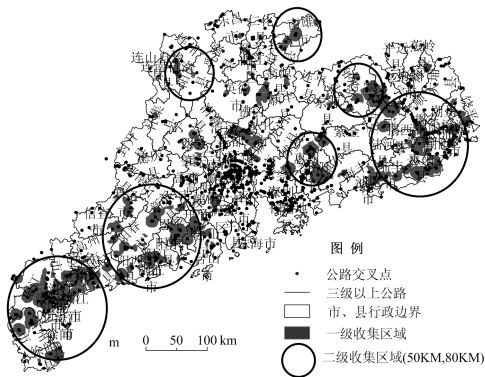


图 2 二级农田生物质能收集区

4 讨论与结束语

(1) 利用 NPP 数据结合农田 TM 遥感分类数据，获取了区域农田可利用生物质能的数量特征及其原料收集的优势带分布，结果表明：广东省的农田生物质能收集的优势带集中在雷州半岛地区、粤西南丘陵地区、潮汕平原区、粤东沿海丘陵台等地区。广东省比较适合发展固化燃料、气化或醇化成燃料乙醇等生物质能项目。使用遥感方法可以解决了常规统计方法不能获取空间细节的弊端问题，从而为生物质能集约利用产业提够数据支撑和快速决策支持。

(2) 研究区域农田生物质资源的理论蕴藏量、可获得量和可利用量，尤其是可利用量，为农田废弃物—农田秸秆生物质能的集约利用提供了数据支撑。但由于可用生物质能决策模型中的系数较多，涉及了很

多个研究领域，有些是技术和工程的因素的系数，该文有些加以省略，将在今后的研究中进一步深入，使模型更加完善。

参考文献

- 1 IISD. the Copenhagen Climate Change Conference. <http://www.iisd.ca/vol12/enb12459e.html>.
- 2 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布. 自然资源学报, 2007, 22 (1): 9~11
- 3 Liao Cuiping, Yanyongjie, Wu Chuanzhi, et al. Study on the distribution and quality of biomass residues resource in China. Biomass and Bioenergy, 2004 (27): 111~117
- 4 Zhao Maosheng, Faith A H, Ramakrishna R. Nemani. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. Remote Sensing of Environment, 2005, 95 (2): 164~176
- 5 Dong Wenjuan, Qi Ye, Li Huimin, et al. Modeling Carbon and Water Budgets in the Lushi Basin with Biome-BGC. Chinese Journal of Population, Resources and Environment. 2005, 3 (2): 27~34
- 6 Faith A H, Matt R, Petr V, et al. User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm. 2003, 2
- 7 Andrew J. Elmore, Xun Shi, Nathaniel J, et al. Spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China. Biomass and Bioenergy, 2008, 32 (1): 22~27
- 8 张晓浩, 娄全胜, 刘凯. 基于遥感和 GIS 的生物质能集约化利用. 国土资源遥感, 2010, 3 (85): 1~6
- 9 Li Junfeng, Hu Runqing, Song Yanqing, et al. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in China. Biomass and Bioenergy, 2005, 29: 167~177
- 10 于晓东, 樊峰鸣. 秸秆发电燃料收加储运过程模拟分析. 农业工程学报, 2009, 25 (10): 215~219

THE ADVANTAGE DISTRIBUTION OF THE AVAILABLE FARMLAND BIOMASS ENERGY IN GRID SCALE

Wang Fang^{1,2}, Chen Jianfei^{1,2}, Feng Yanfen^{1,2*}, Xia Lihua^{1,2}, Zhou Tao^{1,2}

(1. School of Geographical sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006;

2. Guangzhou development academy, Guangzhou 510006)

Abstract Farmland biomass energy has some features such as low energy density, large uncertainty, and disperse distribution. Taking Guangdong Province as an example, this paper estimated farmland biomass energy quantity at grid scale by using the biomass model. Combining with field survey data, it analyzed the various factors that affect regional farmland biomass used for energy, and established the decision-making model used for estimating biomass energy theoretical potential, available quantities, and the amount of intensive use. Neighborhood analysis and moving window method were used to study the advantages of regional biomass distribution and two-level collection area. The results showed that the advantage zone of farmland biomass energy in Guangdong distributed in Leizhou Peninsula, southwest hilly region, Chaoshan Plains, eastern coastal hilly plateau etc. But there was a certain risk of supplying raw materials for direct combustion power generation in Guangdong province. Adopting curing fuel, gasification, purify fuel ethanol may be acceptable for the development of biomass energy intensive use.

Keywords farmland biomass energy; remote sensing; distribution advantage; intensive use; grid scale