

# 2000~ 2006 年广东省农田生物质能时空 变化遥感分析

王 芳<sup>1, 2</sup>, 卓 莉<sup>3\*</sup>, 陈健飞<sup>1, 2</sup>, 冯艳芬<sup>1, 2</sup>, 周 涛<sup>1, 2</sup>

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

3 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

**摘要:** 农田生物质能的数量、空间分布格局以及年际变化研究对于生物质能集约利用的规划、选址以及后续的原料供需预测尤为重要。本文基于 EOS/MODIS 卫星 2000~ 2006 年的 MOD17A3 数据集, 在栅格尺度下, 利用农田净初级生产力对广东省农田生物质能数量进行估算, 分析其空间分异特征, 应用邻域统计分析提取了生物质能分布优势带。并利用趋势线分析方法对其时间动态和年际稳定性进行研究。结果表明, 广东省在 2000~ 2006 年间农田生物质能总量呈下降趋势, 主要因为农田面积在不断减少。从另一方面看, 农田生物质能单位平均能值总体呈略微上升趋势。其中 2000~ 2002 年均值呈明显的下降趋势, 2002~ 2004 年呈现迅速增加趋势, 2004 年后又呈现回落特征。单位平均能值最大的年份是 2004 年, 为  $5775.10 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; 最小为 2002 年, 为  $4697.87 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。区域单位能值的增长为农田生物能源的利用提供物质基础。研究结果能为区域农田生物能源利用提供数据支持和决策依据。

**关 键 词:** 农田生物质能; 遥感; 年际变化; MOD17A3; 广东省

**文章编号:** 1000-0585(2010)12-2223-10

## 1 引言

能源问题一直是关系各国经济命脉、世界和平稳定、资源环境可持续发展的全球性问题<sup>[1]</sup>。随着我国化石能源供应的日趋紧张, 及其消耗导致的环境代价, 研发并利用可再生清洁能源已日益成为我国刻不容缓的重大课题。生物质能是太阳能以化学能形式贮存在生物中的一种能量形式, 是一种以生物质为载体, 由生物质产生的能量的可再生清洁能源。开发利用生物质能对缓解能源危机和保护生态环境具有重要作用<sup>[2]</sup>。农田生物质能(包括农作物秸秆、残茬等)相对于其他生物质而言分布更广, 数量更多, 随着相应的发电、汽化、醇化技术的日趋成熟<sup>[2]</sup>, 成为我国最有潜力实现产业化的生物能源。由于农田生物质能具有分散性、不连续性, 单位附加能值低等特点, 因此农田生物质空间分布和年际稳定性直接影响着生物质能工厂的优化选址和后续的原料供应。

目前, 农田生物质能空间分布主要研究方法有遥感估算、统计数据计算和抽样调查

收稿日期: 2009-12-03; 修订日期: 2010-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(40801034、40601010); 广州市教育局科技计划项目(08C025); 广州大学科研创新团队项目

作者简介: 王芳(1973-), 女, 黑龙江人, 副教授, 博士。主要从事地理信息系统与遥感应用研究。

E-mail: wfdili@163.com

\* 通讯作者: 卓莉(1973-), 女, 副教授, 博士。E-mail: zhuoli@mail.sysu.edu.cn

等, 其中绝大多数研究都是应用统计数据对生物能源数量进行估算<sup>[3, 4]</sup>, 根据统计年鉴可以得到以行政单位为尺度的计算结果, 但没能考虑区域内生物能源分布的空间异质性, 所以对于生物质能的集约利用项目的规划、选址以及后续的原料供需预测指导粗略, 而抽样调查方法费用较高、探测周期较长, 另外也不适合大范围内的生物能源的估算。近年来, 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, 弥补了上述传统资源调查方法存在的不足, 为准确、快速研究生物质能数量和时空格局提供了可能性<sup>[5, 6]</sup>。

通过植被净初级生产力模型 (NPP, Net Primary Productivity) 可以得到单位时间和单位面积上农田生态系统所能累积的有机干物质质量, 从而可以对农田生物质能数量进行估算。并且 NPP 模型能够以统一的尺度标准体现农田生态系统累计碳量, 避免了以统计数据中作物产量衡量农田生产力时由于农业结构调整, 作物品种变化等的干扰<sup>[7]</sup>。MOD17A3 是基于 MODIS (TERRA 卫星) 遥感参数, 通过 BIOME-BGC 模型计算出全球陆地植被净初级生产力年际变化的资料, 目前已在全球不同区域对植被生长状况、生物量的估算、环境监测和全球变化等研究中得到验证和广泛应用<sup>[8~11]</sup>。此外, 年际动态变化研究的主要方法有简单差值法和趋势线分析法两种<sup>[8]</sup>, 简单差值法是对相同地区不同时期的图像进行相减, 利用图像之间的差值来衡量变化的大小; 趋势线分析方法是通过对一组随时间变化的变量进行回归分析, 预测其变化的趋势的方法。趋势线分析方法在一定程度上可以消除特定年份极端气候的影响, 更能真实地模拟多年内的演变过程, 从而较为客观地反映多年内生物质能值的增减变化趋势及其变化幅度。

本文利用 MOD17A3 数据集 2000~2006 年的年均 NPP 数据, 在栅格尺度下利用趋势线分析法分析了广东省农田生物质能时间动态和空间分异特征以及年际稳定性。旨在分析广东省农田生物质能的数量和时空动态特征, 为生物质能集约利用提供数据支撑。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

广东省位于中国南部 109°39′~117°19′E 和 20°13′~25°31′N 之间。大部分地区属于亚热带季风性气候, 南部少量地区属热带海洋性气候。全省大部分年平均日照时数在 2000 小时以上, 年平均降水量为 1300~2500mm, 是中国光、热、水资源最为丰富的地区。物质能量转换十分迅速, 因此生物资源非常丰富, 为发展生物质能项目提供了物质保障。全省陆地面积为 17.98 万 km<sup>2</sup>, 约占全国的 1.85%。耕地面积为 312 万 hm<sup>2</sup>, 主要农作物为: 双季稻、玉米、薯类等。广东省作为我国的经济大省, 能源消费量居全国前列。每天的成品油消耗量在 4 万吨左右, 且增长幅度惊人。但是, 广东省的常规能源储备少, 人均拥有的常规能源储量不足 30t 标准煤, 不到全国人均储量的 1/20, 能源自给率只有 12.4%, 石油对外依存度高达 70.4%, 远高于全国 51.3% 的石油对外依存度 (2010 年), 所以发展区域生物质能项目应尽早提到日程上来。由广东农业科学院作物研究所、中国科学院广州能源研究所等共同承担的“广东省生物质能源发展战略”已于 2007 年 3 月启动, 目的尽快推进广东省生物质能源产业化发展。

### 2.2 数据来源与预处理

#### (1) 净初级生产力 NPP 数据来源与 BIOME-BGC 模型原理

NPP 数据来自美国 NASA 的 EOS/MODIS, 包含 2000~2006 年共 7 年的 MOD17A3

数据 ([https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get\\_data/data\\_pool](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 8d 的接近实时的植被 NPP 遥感监测产品, 使用的是 BIOME-BGC 模型。该模型属于生态系统过程模型, 考虑生理生态和生物物理过程以及这些过程所确定的生产力空间、时间特性。具体估算流程见《MOD17 User's Guide》<sup>[12]</sup>。本文使用的 MOD17A3 数据是其 C5 产品, 比原来的 C4 产品估算精度更高, 其应用已经被广泛证明<sup>[12, 13]</sup>。BiomE-BGC 模型主要原理如下:

$$annsum\_dailyPSNnet = \sum_{n=1}^{46} (SWRad \times 0.45) \times FPAR \times \varepsilon_{max} \times T_{min} \times VPD \quad (1)$$

$$NPP = annsum\_dailyPSNnet - (Livewood\_MR + Leaf\_GR + Froot\_GR + Levewood\_GR + Deadwood\_GR) \quad (2)$$

式 (1) 中,  $annsum\_dailyPSNnet$  是 8d 累积合成的总初级生产力, 把一年分为 46 个时间段, 其中前 45 个是 8 天间隔, 最后一个为 5 天。 $SWRad$  是单位时间太阳总辐射; 常数 0.45 表示植被所能利用的太阳有效辐射 (波长为 0.4~0.7 $\mu m$ ) 占太阳总辐射的比例。 $FPAR$  是植被光合有效辐射吸收分量。 $\varepsilon_{max}$  是最大光能利用率,  $T_{min}$  和  $VPD$  是光能利用的温度和水汽压影响因子。式 (2) 中  $Livewood\_MR$  是生长主体吸收作用消耗的部分,  $Leaf\_GR$ ,  $Froot\_GR$ ,  $Livewood\_GR$ ,  $Deadwood\_GR$  分别是叶片、根部、生长主体, 以及死亡部分呼吸作用的消耗量。

在 MOD17A3 数据处理过程中先根据 MOD17A3 数据的要求, 把得到的产品数据乘以其比例因子 (scale factor), 然后利用 MRT (Modis Reprojection Tool) 软件进行投影转换, 统一把 2000~2006 年的 NPP 数据转换成分辨率为 1 km $\times$ 1 km、投影为 Albers 投影的栅格数据。最后用广东省的行政区划图进行裁切, 得到广东省 2000~2006 年的 NPP 空间分布图。

### (2) 遥感数据

选取 2000 年和 2005~2006 年下半年, 云盖量小于 10% 的各 16 景 Landsat TM/ETM 影像, 数据来源于中国科学院中国遥感卫星地面站。数据处理平台为 ENVI 4.2 和 ARCGIS 9.1, 预处理步骤主要包括: 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。

## 3 研究方法

### 3.1 农田类型遥感分类

为了研究农田生物质能的数量和空间分布特征, 基于 TM 数据的空间分辨率的大小, 将广东省 2000 年和 2006 年农田通过遥感解译分成水田和旱地两大类, 具体步骤如下:

(1) 对已经预处理的 Landsat TM/ETM 遥感数据, 根据不同农田类型标准<sup>[13]</sup>中的影像色调、纹理等特征, 建立相应的遥感解译标志;

(2) 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;

(3) 得到 30m $\times$ 30m 分辨率的广东省 2000 年和 2006 年水田、旱地遥感分类分布图 (图 1);

(4) 分类精度检验与评价。为检验遥感解译类型的准确性, 课题组分三次进行野外调查, 三次调查时间分别是 2005 年 11 月、2006 年 5 月和 2007 年 7 月。主要的监测点位

于肇庆市、中山市各镇、广州市、惠州市以及湛江市等。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，2000 年和 2006 年遥感解译 Kappa 系数分别为 0.76、0.81，总精度为 0.84、0.88。认为遥感解译的农田提取精度是可以接受的。

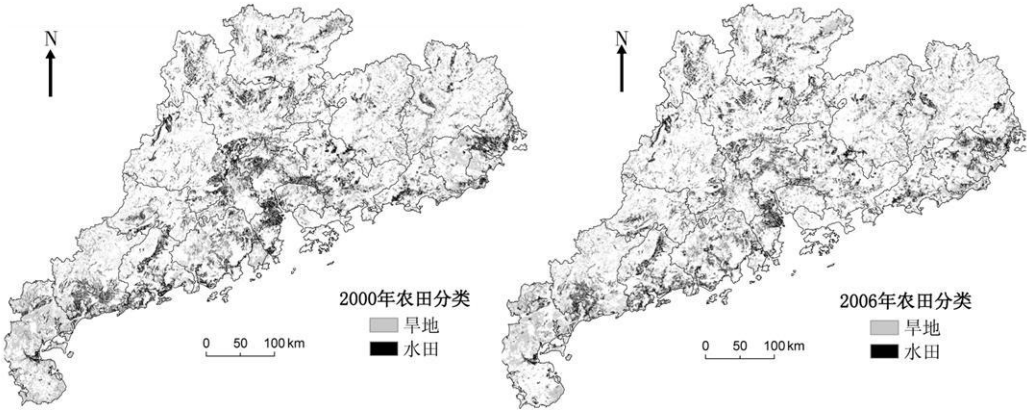


图 1 广东省 2000 年和 2006 年农田遥感分类

Fig 1 Farmland classification with TM/ETM image in 2000 and 2006

3 2 基于 NPP 的农田生物质能估算

生物质是指利用大气、水、土地等通过光合作用而产生的各种有机体<sup>[14,15]</sup>，广义的农田生物质就是农作物。农田生物质能主要指以农田生物质为载体用于能源生产的农田作物秸秆、残茬等废弃物。生物质能资源量可用生物质产生的能值来表达，即把单位生物质中所含的有机碳转化成能量值。农田净初级生产力 NPP 数据可以用来计算区域农作物年净累积干生物量，即农田生物质的数量。然后提取其中可用的生物质能部分，再转化成生物质能能值。建立农田生物质能能值估算模型需要以下两步处理：

(1) 农田分类数据与 NPP 数据的叠置

通过 Landset TM/ETM 遥感解译得到的水田和旱地栅格数据的分辨率为 30m，对其进行重采样，首先把 2000 年和 2006 年的农田重采样成 1 km 的栅格数据，同时记录每个栅格在 1km 栅格内水田和旱地所占的面积比例。采用面积占优法进行对水田和旱地进行重新赋值，再把其他的土地利用类型处理为空值。然后，将 1km 栅格的农田土地利用数据与 MOD17A3 的 NPP 数据在 Arc/Info Workstation 下进行栅格叠加，先把 2000~2003 年的 NPP 数据和 2000 年遥感分类农田数据进行叠加运算，再把 2004~2006 年的 NPP 数据和 2006 年的农田分类数据进行叠加计算，分别得到了广东省 7a 年的农田 NPP 数据。

(2) 可用农田生物质能估算模型构建

基于农田 NPP 数据，考虑农田生物质可用作能源部分的主要影响因素，包括经济因素、生态环境因素、人为因素等几方面，建立估算模型如下<sup>[11]</sup>：

$$P = \sum_{i=1}^n f \times k \times t \times (NPP_i - Em_i)$$

(3)

式中,  $P$  为采样栅格总可用农田生物质能 (单位  $\text{KJ}/\text{m}^2$ );  $n$  为 2, 表示旱地和水田;  $E_m$  为由于经济原因无法使用的生物量 (农作物的果实部分等), 农作物的果实部分由秸秆与产量的比 (谷草比) 来进行估算, 其中水稻的谷草比为 0.623, 旱地的谷草比为多种旱作作物的谷草比的平均数为 1.557<sup>[5, 11]</sup>;  $f$  为受生态环境制约而不应该利用的生物量 (秸秆归田比例), 大约为 15%<sup>[5]</sup>;  $k$  为有机干物质质量转化为能量转化率, 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<sup>[4]</sup>, 每克稻秸干物质含 13.97KJ 能量, 每克旱作秸秆干物质含 18.5KJ 的能量<sup>[16]</sup>;  $t$  为反映各个环节 (例如, 收割等) 中的损失系数, 大约为 15%<sup>[5]</sup>。

3.3 农田生物质能年际变化稳定性的趋势线分析方法

趋势线分析方法在一定程度上可以消除特定年份极端气候的影响, 更能真实地模拟每个栅格单元农田生物质能值在 2000~ 2006 年内演变过程, 从而较为客观地反映广东省各地区 7 年生物质能值的增减变化趋势及其变化幅度。因此, 利用趋势线分析方法具体分析农田生物质能值在 7 年的稳定性变化趋势。具体步骤如下:

计算广东省各年水田和旱地各个像元生物质能平均值及其标准差。

利用线性趋势线来模拟植被覆盖的年际变化, 即最小二乘法拟合直线, 其斜率计算公式为<sup>[17]</sup>:

$$K = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times \bar{P}_j - \sum_{j=1}^n j \sum_{j=1}^n \bar{P}_j}{n \times \sum_{j=1}^n j^2 - (\sum_{j=1}^n j)^2} \tag{4}$$

式中,  $n$  为监测时间段的年数;  $\bar{P}_j$  为第  $j$  年农田生物质能值的平均值;  $K$  是趋势线的斜率, 以线性回归拟合其年际变化趋势 (自变量为年序号, 2000 年,  $j=1$ ; ……; 2006 年,  $j=7$ )。

如果拟合趋势的斜率  $K$  为正值, 表明该像元生物质能值在  $n$  年间的变化趋势是增加的; 反之则表明该像元生物质能值在  $n$  年间的变化呈现减少趋势。如果拟合趋势的斜率  $K$  为 0 或接近于 0, 则表明该像元生物质能值在  $n$  年间的变化很小。

4 结果分析

4.1 广东省农田生物质能空间分布特征

利用农田净初级生产力(NPP) 模拟出单位面积上的农田碳累积量, 进而对农田产量和农田生产力进行估算的精度已经在众多研究中得以证实, 方法可详见参考文献<sup>[5, 8, 9, 14, 15]</sup>。

从农田 NPP 的结果中显示, 2000~ 2006 年广东省农田 NPP 值变化范围在 100~ 1175g/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) 之间, 农田 NPP 平均值为 554.65 g/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ )。其中, 水田平均值为 554.33 g/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ), 旱地平均值约为 554.95 g/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ )。从农田 NPP 数据估算得到的广东省 2000~ 2006 年农田平均生物质能值空间分布图 (图 2) 中分析, 广东省农田平均生物质能值存在明显的地域性差异, 呈现西南沿海地区> 东南沿海地区> 内陆地区的空间分布格局。这和纬度地带性、经度地带性以及地形因素等综合因素影响相对应<sup>[15]</sup>。其中, 水田的可用生物质能变化范围为 220.30~ 2429.91 KJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ), 旱地的生物质能变化在 785.62~ 8391.85 KJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ )。此外, 对 2000~ 2006 年广东省农田平均生物质能值分级构成比例进行分析 (图 3) 可以看出, 广东省生物质能年均值集中在 1000~ 2000 KJ/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) 区间

的占广东省农田总面积的 47. 18%；其次为 3000~ 4000 KJ/(m<sup>2</sup> · a) 区间，所占百分比为 21. 18%；再次为年均能值在 2000~ 3000KJ/(m<sup>2</sup> · a) 区间，占百分比为 19. 67%；大于 4000 KJ/(m<sup>2</sup> · a) 所占比例为 11. 23%，而生物质能小于 1000 KJ/(m<sup>2</sup> · a) 的农田所占比例最小，小于 1%。全省的农田生物质能年均值从高到低依次为雷州半岛地区、粤西南丘陵地区、潮汕平原区、粤东沿海丘陵台地区、粤中南丘陵地区、粤北山地丘陵区 and 珠江三角洲平原区。虽然珠江三角洲平原区水热条件和土壤条件都比较优越，但是其生物质能年均值却最低，因为在能值估算的时候，单位稻秸所含的能值比旱作秸秆的所含能值低，珠江三角洲农田又多以水田为主，所以估算此地区的生物质能值平均值较低，再有就是近年来珠江三角洲的优质耕地逐年减少，地块破碎，小农经济的制约，水稻单产持续降低，这也是生物质能年均值低的重要原因。

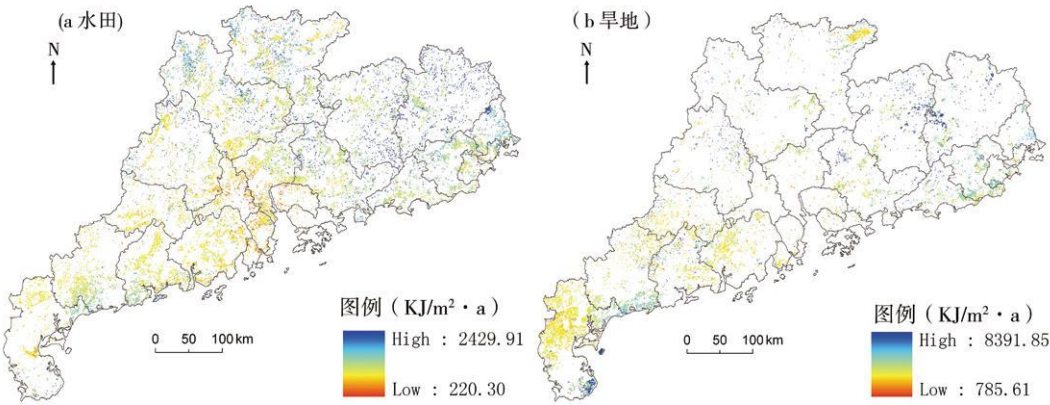


图 2 广东省 2000~ 2006 年水田、旱地生物质能平均能值分布图  
Fig 2 The distribution of the average bioenergy value of paddy and dry lands in Guangdong in 2000~ 2006

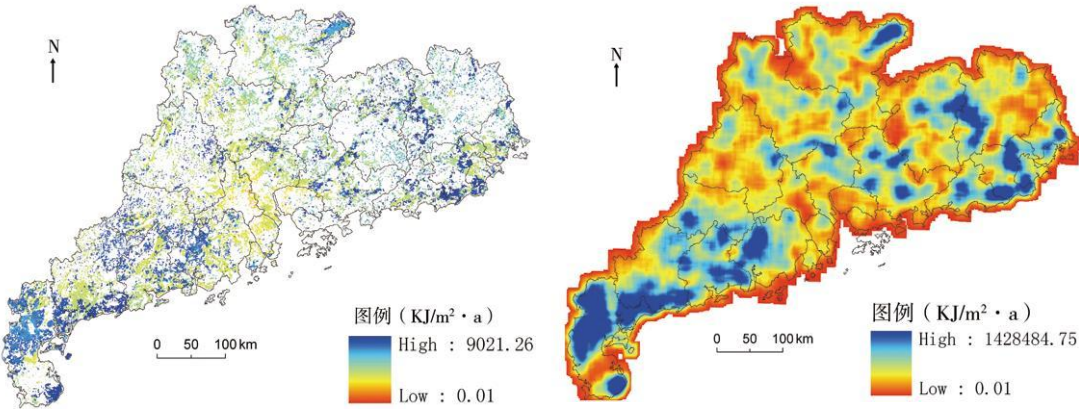


图 3 农田生物质平均能值分级构成  
Fig. 3 The class of average bio-energy value of farmland

图 4 广东省农田生物质能分布优势带  
Fig 4 The advantage distribution of farmland bio-energy in Guangdong province

对于生物质能开发利用来说, 在考察地区差异的基础上进行农田生物质能开发区域的选择更为重要, 深入发掘生物质能分布的优势带的研究更有实际意义。在获得 2000~ 2006 年广东省农田平均生物质能值基础上, 利用 ARCGIS 的邻域统计分析工具, 对广东省生物质能分布的优势带进行提取, 邻域范围设定为  $10\text{km} \times 10\text{km}$  是农作物秸秆收集的最大适合距离<sup>[4]</sup>, 距离如太大收集过程中的运输能源消耗会抵消农作物秸秆产生的能源), 提取了  $10\text{km}$  范围收集到的生物质能总和数据, 其中生物质能收集总量大的集聚区域就是生物质能分布的优势带, 见图 4。图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、茂名的南部, 江门西部, 阳江中部, 梅州西部, 揭阳的东南部, 潮州的南部以及河源的东北部、韶关的东北角和肇庆的东部等。总结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。

4 2 广东省农田生物质能年际稳定性分析

分析广东省农田生物质能的年际稳定性, 不仅可以为生物能源利用项目的实施规划提供直接数据支撑, 也可以为其后续原料供需预测提供变化阈值。为分析 2000~ 2006 年农田生物质能的年际稳定性及其动态变化, 首先分析 2000~ 2006 年广东省农田面积变化, 根据 2000 年和 2006 年遥感分类数据可知: 2000~ 2006 年广东省耕地面积有所减少。由 2000 年的耕地面积  $315.019 \times 10^4 \text{hm}^2$  减少到 2006 年的  $281.339 \times 10^4 \text{hm}^2$ , 减少幅度为 5.647%, 这一结果和广东省统计年鉴中耕地面积逐年减少相印证<sup>[18]</sup>。主要原因是广东省经济发展过程中城市扩张, 新增城市和工业等用地占用了大量的农田, 从而导致了区域农田生物质能总量的减少。再来分析 7 年的单位面积农田生产力的平均状况, 从图 2 的统计结果得知, 2000 年农田平均生物质能为  $4918.41 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , 2006 年为  $5436.78 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。从这点可以看出 2000~ 2006 年单位农田生物质能均值总体呈略微上升趋势(图 5)。在这 7 年间内又有较大波动。表明单位农田生产力有提高的趋势, 又不是很稳定。其中 2000~ 2002 年均值呈明显的下降趋势, 2002~ 2004 年呈现迅速增加趋势。2004 年后又呈现回落特征。其中平均值最大是 2004 年, 为  $5775.10 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; 其次是 2003 年的  $5386.53 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; 再次为 2005 年, 其值为  $5385.75 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ; 2002 年农田平均生物质能最小, 仅为  $4697.87 \text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

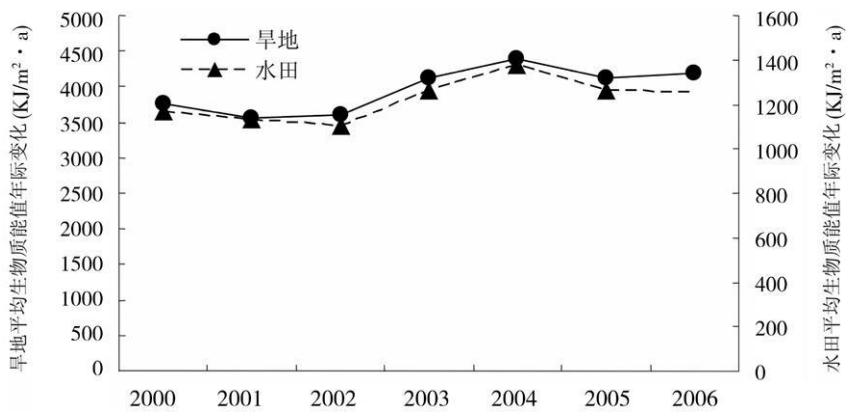


图 5 2000~ 2006 年农田平均生物质能值变化趋势

Fig 5 The change trend of average bioenergy value of farm land in 2000~ 2006



为了更好地分析生物质能年际的变化趋势, 本文利用趋势线分析方法生成了 2000~2006 年 7 年广东省农田生物质能年际变化特征的空间分布图 (图 5)。根据  $K$  的大小, 将其增减情况分为 5 类, 即减少 ( $K < 0$ )、基本不变 ( $0 \leq K \leq 15$ ) 和略微增加 ( $15 < K \leq 30$ )、中度增加 ( $30 < K \leq 40$ )、明显增加 ( $> 40$ ), 对 2000~2006 年广东水田和旱地生物质能增减趋势级年际稳定性进行统计 (表 1), 并制作了变化趋势斜率图 (图 6), 从波动比率上看, 7 年中广东省大部分地区农田生物质平均能值以基本不变和略微增加趋势为主, 占中农田总面积的 50.77%。其中基本不变趋势占总面积 5.88%; 略微增加趋势占的面积为 44.89%, 中度和明显增加的面积为 45.94%; 减少地区的面积占总面积 3.29%。其中减少的地区主要分布在珠江三角洲经济发达地带。增加地区主要分布在粤西、粤北等地区, 并且减少、不变和增加趋势分布以珠江三角洲平原为核心呈现半圆状向外扩散趋势。

表 1 2000~2006 年广东农田生物质能值年际稳定性统计

Tab 1 The interannual stability statistics of the farmland bioenergy value in 2000~2006

增减趋势	变化趋势斜率 $K$	像元数 (个)			百分比 (%)
		水田	旱地	农田总量	
减少	$K < 0$	971	326	1297	3.29
基本不变	$0 \leq K \leq 15$	1789	523	2312	5.88
略微增加	$15 < K \leq 30$	12435	5228	17663	44.89
中度增加	$30 < K \leq 40$	8241	7430	15671	39.83
明显增加	$K > 40$	1243	1160	2403	6.11

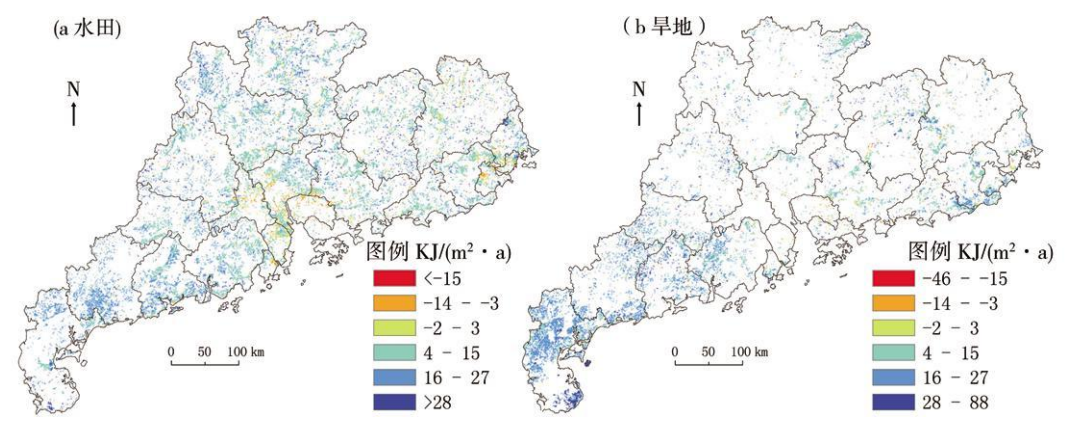


图 6 2000~2006 年广东农田生物质能值变化趋势斜率

Fig 6 The trend slope of farmland bioenergy value in Guangdong from 2000 to 2006

5 结论

(1) 本文利用 8d 合成的 MOD17A3 数据和 TM 农田遥感分类数据, 建立农田生物质能估算模型, 对广东省 2000~2006 年 7 年间的农田生物质能时空分布规律进行分析, 结果表明: 广东省的农田生物质能空间分布呈现一定区域性特征, 受纬度、经度地带性以及地形等综合因素的影响, 生物能源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。7 年内广东省农田生物质能单位平均能值总体呈略



微上升趋势, 中间又有较大波动, 这表明单位农田生产力有提高的趋势, 又不是很稳定。但是生物质能总量却呈下降趋势, 这主要因为 7 年内广东省耕地面积的不断减少, 广东省经济发展过程中城市扩张, 新增城市和工业等用地占用了大量的农田, 从而导致了区域农田生物质能总量的减少。

(2) 在栅格尺度下利用趋势线方法可以客观地反映多年内生物质能值的增减变化趋势及其变化幅度, 可为生物能源原料供应的年际稳定性提供数据支撑。使用遥感方法也可以解决常规统计方法不能获取空间细节的弊端问题。

在生物质能估算过程中, 农田 NPP 数据是关键, 使用的 MOD17A3 数据由于像元的尺度大小和参数的地域性约束直接影响到了估算精度, 所以还需要建立精度更高的区域性的农田 NPP 遥感估算模型, 这将是后续工作的重点。

## 参考文献:

- [ 1 ] Ragauskas A J, Williams C K, Davison B H, *et al.* The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 2006, 311: 484~ 489
- [ 2 ] Larson E D, Jin Gasification-based liquid fuels and electricity from biomass with carbon capture The National Energy Technology Laboratory's 4<sup>th</sup> Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration, Alexandria, VA, 2005
- [ 3 ] 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.
- [ 4 ] Liao Cuiping, Yan Yongjie, Wu Chuanzhi, *et al.* Study on the distribution and quality of biomass residues resource in China. *Biomass and Bioenergy*, 2004, (27): 111~ 117.
- [ 5 ] 张晓浩, 黎夏, 施迅, 等. 广东省水稻生物质能的估算. *遥感信息*, 2007, (1): 26~ 29.
- [ 6 ] 杨秀春, 徐斌, 朱晓华, 等. 北方农牧交错带草原产草量遥感监测模型. *地理研究*, 2007, 26(2): 213~ 221.
- [ 7 ] Zhao Maosheng, Heinsch F A, Ramakrishna R N. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(2): 164~ 176
- [ 8 ] 国志兴, 王宗明, 张柏, 等. 2000 年~ 2006 年东北地区植被 NPP 的时空特征及影响因素分析. *资源科学*, 2008, 30(8): 1226~ 1235.
- [ 9 ] 国志兴, 王宗明, 刘殿伟, 等. 三江平原农田 NPP 时空特征分析. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 249~ 254.
- [ 10 ] Rasmus F, Inge S, Michael S R, *et al.* Evaluation of satellite based primary production modeling in the semi-arid Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105(3): 173~ 188.
- [ 11 ] 王芳, 黎夏, Shi Xun. 农作物生物质能的遥感估算——以广东省为例. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 870~ 878
- [ 12 ] Faith A H, Matt R, Petr V, *et al.* User's Guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) Products NASA MODIS Land Algorithm 2003. 2
- [ 13 ] 王静. 土地资源遥感监测与评价方法. 北京: 科学出版社, 2006
- [ 14 ] Shi Xun, Andrew J, Li Xia, *et al.* Using spatial information technologies to select sites for biomass power plants: A case study in Guangdong Province, China. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32(1): 35~ 43
- [ 15 ] Andrew J, Shi Xun, 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
- [ 16 ] Ernest R K, Buffington L E. Crop residue. In: McClure T A, Lipinsky E S. *Handbook of biosolar research materials*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1981
- [ 17 ] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421~ 431
- [ 18 ] 广东省统计局. 广东统计年鉴(2007). 北京: 中国统计出版社, 2007.

# Spatial and temporal analysis of cropland bio-energy in Guangdong Province during 2000~ 2006 based on remote sensing

WANG Fang<sup>1, 2</sup>, ZHUO Li<sup>3</sup>, CHEN Jian-fei<sup>1, 2</sup>, FENG Yan-fen<sup>1, 2</sup>, ZHOU Tao<sup>1, 2</sup>

( 1. School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Development Institute, Guangzhou 510006, China;

3. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** It is very important to solve increasingly serious issues related to farmland bio-energy, such as energy crisis, environmental protection, and farmers' economic problems. For a long time, the research on bio-energy has mainly relied on traditional statistic data. As we know, because of data quality and spatial scales, the current available data cannot meet the needs of thorough research on bio-energy utilization. Therefore, it is very urgent to set up a new and comprehensive methodology using remote sensing and GIS technology to advance bio-energy research. Studies on farmland bio-energy's quantity, spatial distribution pattern and inter-annual changes are particularly important to intensive use planning, site selection of energy plants and follow-up raw material supply and demand forecasting. Based on NPP data derived from the EOS/MODIS satellite MOD17A3 datasets during 2000 to 2006, we estimated cropland bio-energy's quantity in Guangdong Province and analyzed the characteristics of its spatial change, and extracted bio-energy advantage distribution by using neighborhood statistical analysis. We then used the trend line analysis method to analyze inter-annual dynamic stability. The results show that total biomass of cropland in Guangdong Province declined during the study period, which is mainly caused by the steady decrease in cropland area during the same period; the average value of cropland bio-energy showed a slightly rising trend, but with great variance. The average value declined during 2000 to 2002, increased from 2002 to 2004, and declined again after 2004. The maximum and minimum average unit values are  $5775.10 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  in 2004 and  $4697.87 \text{ KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  in 2002, respectively. Growth of biomass per unit can provide a solid basis for the cropland bio-energy industry.

**Key words:** cropland bio-energy; remote sensing; inter-annual stability; MOD17A3; Guangdong Province