

基于遥感和 CASA 模型的西江流域 NPP 时空分布特征研究

张永领, 郝成元

(河南理工大学, 河南 焦作 454000)

摘要: 基于 EOS/MODIS 遥感资料, 采用 CASA 模型分析西江流域陆地植被净第一性生产力(NPP)的时空变化特征。结果表明: 西江流域平均植被 NPP 为 400~ 500 gC/(m²·a), 上游地区偏低, 为 200~ 300 gC/(m²·a), 中下游地区较高, 平均 500~ 600 gC/(m²·a), 部分地区可达到 800 gC/(m²·a) 以上; 植被 NPP 季节变化显著, 夏季最高, 春、秋季节次之, 冬季最低小; 西江流域植被 NPP 的空间差异明显, 在 5- 10 月, 上游地区植被 NPP 较低, 中下游地区较高; 在 1- 3 月, 上游地区尤其是南盘江流域的植被 NPP 较高, 中下游地区尤其是中游地区明显较少。西江流域植被 NPP 的空间特征还表现在汛期空间差异大, 枯水期空间差别小。

关键词: 净初级生产力; 时空格局; CASA 模型; 西江流域; 遥感

中图分类号: Q945. 11; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005- 3409(2010)05- 0101- 04

Temporal-spatial Distribution Characteristics of Vegetation NPP in the Xijiang River Catchment Based on Remote Sensing and CASA Model

ZHANG Yong ling, HAO Cheng-yuan

(Henan polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: Based on the remote sensing data of EOS/MODIS and meteorology data, the spatial and temporal variation of the net primary productivity in Xijiang River catchment was analyzed by CASA model. The results showed that the range of NPP in the Xijiang River catchment was 400~ 500 gC/(m²·a), and average annual NPP in the upper reaches of the Xijiang River was 200~ 300 gC/(m²·a), which was much lower than that in the middle and lower reaches of the Xijiang River. The average annual NPP in the upper reaches was 500~ 600 gC/(m²·a), and certain regions is more than 800 gC/(m²·a). The seasonal change of the NPP in the Xijiang River catchment was marked. The NPP was high in summer, and next high in spring and autumn, and lowest in winter. The spatial discrepancy of NPP in the Xijiang River catchment was obvious. The average NPP was lower in the upper reaches than in the middle and lower reaches in the flood season. But from January to March the NPP is higher in the upper reaches especially in the Nanpan River catchment than in the middle and lower reaches. The spatial characteristics of NPP also showed that spatial discrepancy was big in flood season and little in winter.

Key words: net primary productivity; spatial and temporal distribution pattern; CASA model; Xijiang River catchment; remote sensing

陆地植被净初级生产力(Net Primary Production, 简称 NPP)是陆地植物通过光合作用固定的太阳能, 在单位面积、单位时间内所获得的生物量的净增加量, 通常以干物质重量表示。陆地植被 NPP 通常用 gC/m² 来表示, 它是陆地植被碳固定能力的重要表征, 是地球生命能量循环和生物地球化学循环的

开端, 是全球碳循环的重要环节, 在全球碳循环中扮演着重要角色, 而且任何自然的和人文的波动如土地利用方式的变化、管理方式的变更以及气候变动等都能影响到陆地生态系统 NPP 的变化^[1]。

对植被 NPP 的研究国外起步较早^[2], 但是由于技术手段落后对植被 NPP 的估算精度不高。自 20

世纪 80 年代以来,随着 RS 和 GIS 技术的快速发展,对 NPP 的研究也取得了重大突破^[3,4],并且使对全球净初级生产力的估计成为可能。我国学者尽管对植被 NPP 的研究起步相对较晚,但是近年来也得到了深入发展,如陈正华等利用 CASA 模型结合多光谱遥感数据和气候数据,研究了干旱半干旱典型区黑河流域净第一性生产力的时空分布,并分析了黑河流域上、中、下游 NPP 的驱动因子^[5]。高清竹等采用 CASA 模型分析了藏北地区草地植被 NPP 的时空变化特征指出,受水热条件的制约,藏北地区的植被 NPP 的分布规律受水热条件的制约,呈有规律性的性的水平地带分布^[6]。

基于 GIS 和 RS 技术的 CASA (Carnegie Ames Stanford Approach) 模型在考虑了水分、温度和养分的胁迫作用条件下,通过遥感技术获取 FPAR, 以得到植被吸收的光合有效辐射 APAR, 进而估算植被 NPP^[7,8]。

西江是珠江水系的主干流,流域面积占珠江总流域面积的 77.83%。西江流域属于典型的亚热带季风区,多年平均降水量在 1 500 mm 左右,地貌类型复杂,由高原山地、丘陵和平原组成。植被类型和植被覆盖差异显著。然而对西江流域单元的净第一性生产力(NPP)的研究尚未见报道。本文则以 EOS/MODIS 遥感数据和气象数据为基础,采用 CASA 模型分析西江流域植被 NPP 的季节变化特征以及空间分布特点。

1 资料与方法

在 GIS 9.1 和 ENVI 4.1 软件的支持下,对于 MODIS 影像以及植被通过统一转换为我国常用的 Albers 等圆锥准投影。对于气象站点数据,按照气象站点的经纬度,利用 GIS 软件转化为矢量格式,然后按照气象站点的经纬度直接对气候数据进行 Kriging 插值成气象要素栅格图,赋予投影信息,并使其投影参数与遥感数据保持一致,以便进一步计算。

1.1 数据资料

1.1.1 遥感资料 所用的遥感数据为美国国家航空航天局(NASA)就开始计划建立地球观测系统(Earth Observing System-EOS)的 MODIS 遥感图像的前 7 个波段的数据,在 7 个波段的数据中,第 1、2 波段的空间分辨率为 250 m,其他 5 波段的分辨率为 500 m,前 2 个波段通过重采样得到分辨率为 500 m 数据。

首先根据对于未完全覆盖西江流域的影像进行镶嵌处理,根据图像接近星下点无云或者对西江流域

来说云量较少等特点,每月选取 8~10 景,分别经过处理后计算 NDVI 植被指数,并用严格视角的最大合成法(CV-MVC)求出每个月份西江流域的 NDVI 指数,即当无云像元数小于 5 d 时,选择视角最小的 2 d 的资料,计算植被指数,取其大者,也就是所谓的严格视角的最大合成方法。这样就尽可能减少残云、暗影、大气气溶胶以及二相反射(BRDF)对 NDVI 的影响,同时又能保证合成资料的质量和一致性^[9]。

1.1.2 气象及植被资料 所需要的气象数据均来自国家气候中心。所需的气象数据包括:2005 年 4 月至 2006 年 3 月西江流域各个气象台站的逐日降水量(mm)、逐日平均气温(°C)、逐日平均相对湿度(%),逐日 10 m 高平均风速(m/s)、逐日照时数(h),以及全国 93 个台站 1970-2003 年的逐日太阳辐射资料($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)、逐日照时数资料(h)。植被类型数据来自 1:100 万中国植被图(中国科学院中国植被图编辑委员会,2001)。

1.2 模型简介

在光能利用率模型 CASA 中,陆地植被净第一性生产力主要由植被所吸收的光合有效辐射 APAR 与光能转化率 ϵ 两个变量来确定:

$$\text{NPP}(x, t) = \text{APAR}(x, t) \times \epsilon(x, t) \quad (1)$$

式中: $\text{NPP}(x, t)$ ——空间位置 x 上的植被在 t 时间内的净第一性生产力; $\text{APAR}(x, t)$ ——空间位置上的植被在 t 时间内所吸收的光合有效辐射(APAR); $\epsilon(x, t)$ ——像元 x 在 t 时间的实际光利用率。

植被吸收的光合有效辐射 APAR 用下列公式表示:

$$\text{APAR}(x, t) = R_s(x, t) \times \text{FPAR}(x, t) \times 0.5 \quad (2)$$

式中: $\text{APAR}(x, t)$ ——植被冠层对入射光合有效辐射的吸收分量; $R_s(x, t)$ —— t 月份像元 x 处的太阳总辐射量(MJ/m^2); $\text{FPAR}(x, t)$ ——植被层对入射光合有效辐射(PAR)的吸收比例, FPAR 取决于植被类型和植被覆盖状况,而通过遥感数据得到的归一化植被指数(NDVI)能很好地反映植被覆盖状况^[7]; 常数 0.5 表示植被所能利用的太阳有效辐射(即光合有效辐射,波长范围 0.4~0.7 μm)占太阳总辐射的比例。

$$\epsilon(x, t) = T_a(x, t) \times T_e(x, t) \times W_e(x, t) \times \epsilon^* \quad (3)$$

式中: $T_a(x, t)$, $T_e(x, t)$ ——温度胁迫系数; $W_e(x, t)$ ——水分胁迫系数; ϵ^* ——理想条件下植被的最大光能利用率。

归一化植被指数 NDVI 是计算植被对太阳有效辐射的吸收比例(FPAR)的重要参数,它是 MODIS 数据产品经“Bow tie effect”、几何校正、计算地物反

射率、大气校正之后, 通过下列公式计算出来的:

$$NDVI = \frac{B_{nir} - B_{red}}{B_{nir} + B_{red}} \quad (4)$$

式中: B_{nir} ——MODIS 数据第 2 通道的近红外波段;
 B_{red} ——MODIS 数据第 1 通道的红光波段。

2 结果分析

2.1 西江流域净初级生产力的季节变化

图 1 给出了西江流域各个月份(2005 年 4 月至 2006 年 3 月) 植被平均 NPP 的变化情况, 从图可知, 西江流域月平均 NPP 在 $7 \sim 83 \text{ gC/m}^2$ 之间波动, 表明西江流域植被 NPP 有显著的季节差别。冬季气温偏低, 降水量偏少, 植物的光合作用受到限制, 植被的 NPP 也偏小, 如 1 月份和 2 月份西江流域的平均 NPP 分别为 7 gC/m^2 和 9 gC/m^2 左右。夏季气温高、降水量丰富, 有利于植物的生长和有机质的积累, NPP 最高。在一年中, 西江流域植被的 NPP 最大值出现在 7 月, 约为 $80 \sim 90 \text{ gC/m}^2$, 其次是 5 月、8 月和 9 月, 这 3 个月平均 NPP 的值相差不大, 分别为 56.2 gC/m^2 、 57.3 gC/m^2 和 53.2 gC/m^2 。在我国华南地区, 夏季的 6 月通常是降水丰沛而气温高, 有利于植物的生长, 但是在 2005 年的 6 月西江流域的 NPP 却明显低于 5 月和 7-9 月, 仅为 49.8 gC/m^2 , 其主要原因是 2005 年 6 月西江流域出现了持续性的阴雨天气, 虽然降水量丰富, 但持续的阴雨天气减少了太阳有效辐射直接影响植物的光合作用, 使净初级生产力偏小。

总的来说, 西江流域的 NPP 有显著的季节性周期变化, 夏季植被的 NPP 最大, 约为 190.1 gC/m^2 , 春、秋季节次之, 分别为 95.4 gC/m^2 和 117.5 gC/m^2 , 冬季最小, 植被 NPP 约为 18.1 gC/m^2 。

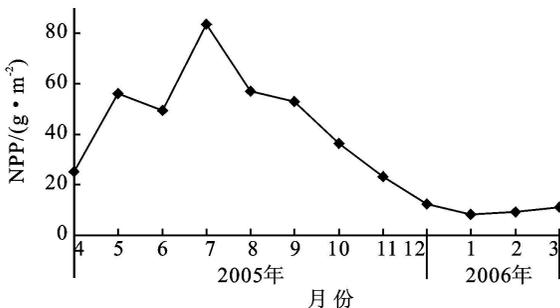


图 1 西江流域平均 NPP 的季节变化

2.2 西江流域植被 NPP 的空间变化

图 2 给出了西江流域 2005 年 4 月至 2006 年 3 月逐月净初级生产力空间分布特征。从图可知, 无论哪个月份, NPP 在西江流域分布并不一致, 主要是因为水热条件、太阳辐射以及植被覆盖等因素的空间不均匀分布造成的。

2005 年 4 月的西江流域植被 NPP 的空间分布特征是, 左右江流域植被 NPP 明显高于其他地区, 为 $30 \sim 50 \text{ gC/m}^2$, 而其他地区相对较少, 为 $20 \sim 30 \text{ gC/m}^2$, 只有少数地方植被 NPP 在 10 gC/m^2 以下。导致这种分布格局的主要原因是 2005 年 4 月左右有江流域降水偏多, 有利于植被的生长。

2005 年 5-10 月西江流域植被 NPP 的空间分布比较相似, 其分布特征是西江上游地区植被 NPP 较少, 而中下游地区较多。西江上游地区植被 NPP 为 $10 \sim 30 \text{ gC/m}^2$, 但不同的月份又有很大差别, 比如 5 月为 15 gC/m^2 左右, 6 月低于 10 gC/m^2 , 水热条件配合较好的 7 月最高, 可达到 40 gC/m^2 。但是西江的中下游地区植被 NPP 则明显较高, 尤其是 7 月份, 部分区域的 NPP 可达 $100 \sim 150 \text{ gC/m}^2$ 左右。

西江流域植被 NPP 空间特征还表现在汛期的各个月植被 NPP 的空间形态与非汛期明显不同, 如在 1-3 月份, 西江上游地区尤其是南盘江流域的植被 NPP 较高, 西江中下游地区尤其是中游的广大地区植被 NPP 明显较少。4 月西江流域 NPP 的空间分布又与其它月份有所不同, NPP 高值区出现在左、右江流域, 而其它地区偏少。而 11 月和 12 月西江流域植被 NPP 的基本分布特征是流于南部植被 NPP 相对较高, 而北部地区植被 NPP 则相对较低。汛期的 5-10 月份则表现为典型的上游植被 NPP 低而中下游植被 NPP 高的空间分布形态。另外, 西江流域植被 NPP 的空间差别夏季最大, 上游地区一般为 $10 \sim 30 \text{ gC/m}^2$, 而中下游地区一般为 $50 \sim 100 \text{ gC/m}^2$, 部分地区 NPP 可达 150 gC/m^2 , 而冬季各月整个流域的 NPP 都很低, 一般不超过 20 gC/m^2 , 差别也就相对较小。1 月的西江流域植被 NPP 最低, 大部分地区的 NPP 低于 5 gC/m^2 。

2.3 西江流域植被 NPP 总量特征

西江流域年平均 NPP 的分布特征为, 西江上游地区比其他地区偏低, 为 $200 \sim 300 \text{ gC/m}^2$, 而中下游地区平均为 $500 \sim 600 \text{ gC/m}^2$, 部分地区可达到 800 gC/m^2 以上。就整个流域来说, 年平均 NPP $400 \sim 500 \text{ gC/m}^2$ 。西江流域全年植被 NPP 总量为 $1.501 \times 10^{14} \text{ gC}$ (表 1), 其中 80% 集中在高温多雨的 5-10 月。在所研究的各个月份中, 7 月植被 NPP 总量最大, 为 $2.95 \times 10^{13} \text{ gC}$, 约占全年植被 NPP 总量的 19.7%, 其次是 5 月和 8 月、9 月, NPP 总量分别为 $1.89 \times 10^{13} \text{ gC}$ 、 $2.02 \times 10^{13} \text{ gC}$ 和 $1.87 \times 10^{13} \text{ gC}$, 分别占全年植被 NPP 总量的 12.6%、13.5% 和 12.5%。1-3 月 NPP 总量偏低, 其中 1 月最低, 为 $0.29 \times 10^{13} \text{ gC}$, 仅仅占全年 NPP 总量 1.9%。

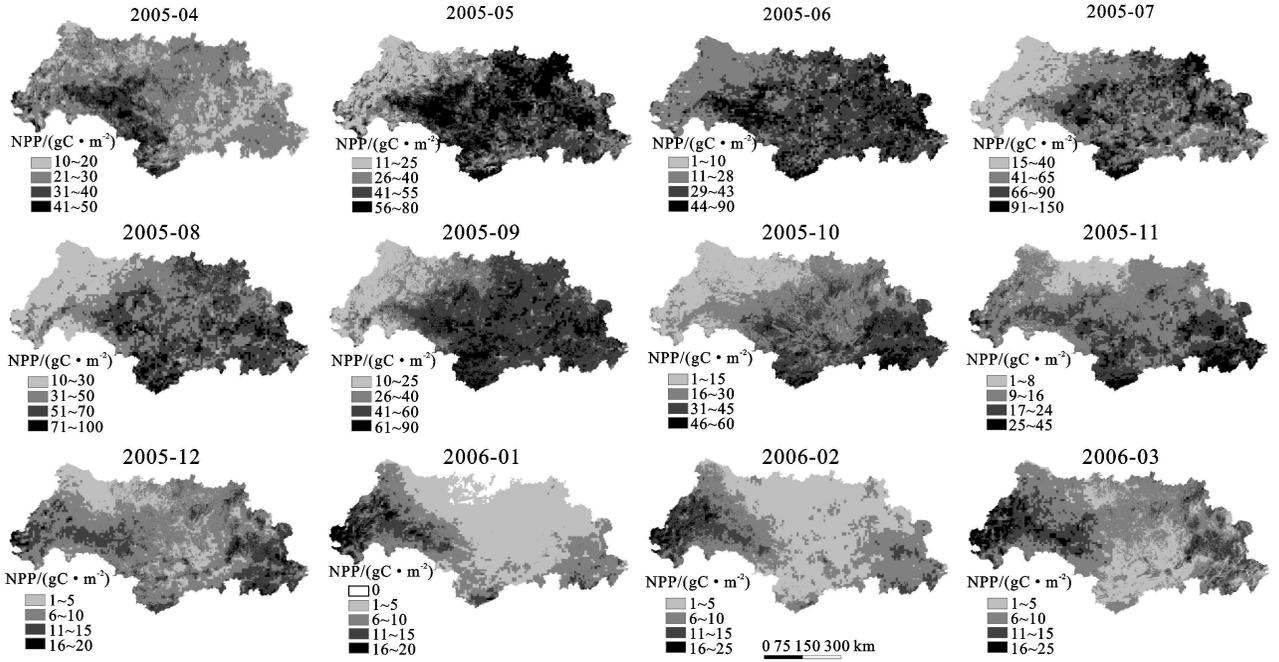


图 2 西江流域各个月份的 NPP 空间格局

表 1 西江流域各个月份(2005 年 4 月至 2006 年 3 月)及全年植被 NPP 总量

月份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	全年
NPP($\times 10^{13}$ g)	0.89	1.98	1.75	2.95	2.02	1.87	1.29	0.82	0.44	0.29	0.32	0.39	15.01

3 结论

西江流域植被 NPP 有显著的季节变化,夏季植被 NPP 最高,约为 190.1 gC/m^2 ,春、秋季节次之,分别为 95.4 gC/m^2 和 117.5 gC/m^2 ,冬季最小,植被 NPP 约为 18.1 gC/m^2 。西江流域植被 NPP 有显著的空间变异特征。4 月西江流域植被 NPP 的空间分布特征是,左右江流域植被 NPP 明显高于其他地区。5-10 月西江流域植被 NPP 的空间分布比较相似,其分布特征是西江上游地区植被 NPP 较少,而中下游地区较多。在 1-3 月,西江上游地区尤其是南盘江流域的植被 NPP 较高,西江中下游地区尤其是中游的广大地区植被 NPP 明显较少。而 11 月和 12 月西江流域植被 NPP 的基本分布特征是流于南部植被 NPP 相对较高,而北部地区植被 NPP 则相对较低。西江流域植被 NPP 的空间差别夏季最大,上游地区一般为 $10\sim 30 \text{ gC/m}^2$,而中下游部分地区 NPP 可达 150 gC/m^2 ,而冬季各月整个流域的 NPP 都很低,一般不超过 20 gC/m^2 ,差别也就相对较小。1 月的西江流域植被 NPP 最低,大部分地区的 NPP 低于 5 gC/m^2 。

西江流域平均植被 NPP 为 $400\sim 500 \text{ gC/m}^2$,上游地区比其他地区偏低,为 $200\sim 300 \text{ gC/m}^2$,而中下游地区平均 $500\sim 600 \text{ gC/m}^2$,部分地区可达到 800 gC/m^2 以上。

参考文献:

- [1] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components[J]. Science, 1998, 281: 237-240.
- [2] Lieth H F H. Modeling the primary productivity of the world[J]. Nature and Resources, 1972, 8(2): 5-10.
- [3] Goward S N, Dye D G. Evaluating North American net primary productivity with satellite observations[J]. Advances in Space Research, 1987, 7(11): 165-174.
- [4] Law B E, Waring R H. Combining remote sensing and climatic data to estimate net primary production across Oregon[J]. Ecological Applications, 1994, 4: 717-728.
- [5] 陈正华,麻清源,王建,等.利用 CASA 模型估算黑河流域净第一性生产力[J].自然资源学报,2008,23(2): 263-272.
- [6] 高清竹,万运帆,李玉娥,等.基于 CASA 模型的藏北地区草地植被净第一性生产力及其时空格局[J].应用生态学报,2007,18(11): 2526-2532.
- [7] Potter C S, Randerson J T. Terrestrial ecosystem production: A process model on global satellite and surface data[J]. Global Biogeochem. Cycles, 1993, 7(4): 811-841.
- [8] Field B C, Randerson J T, Malmstrom C M. Global net primary combining ecology and remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51: 74-88.
- [9] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法[M].北京:科学出版社,2001.