

文章编号:1001-4810(2007)02-0098-07

# 贵州省喀斯特地区植被净第一性生产力的估算

王冰<sup>1,2</sup>, 杨胜天<sup>3,\*</sup>, 王玉娟<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 2. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古呼和浩特 010019;  
3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘要:**在构建光能利用率模型的基础上, 依托遥感手段, 利用 MODIS 数据和气象资料, 完成了贵州省喀斯特地区 2001 年植被净第一性生产力 (*NPP*) 的估算, 并通过喀斯特地区与非喀斯特地区植被 *NPP* 的对比, 重点研究了喀斯特地区植被 *NPP* 的时空变化特征, 得到以下主要结论: (1) 喀斯特地区与非喀斯特地区的植被 *NPP* 在时空分布上存在明显差异, 非喀斯特地区的 *NPP* 平均值高出喀斯特地区约 13.3%。 (2) 非喀斯特地区的 *NPP* 频度分布呈似双峰型, 而喀斯特地区的 *NPP* 值似正态分布。 (3) 年内植被 *NPP* 的最高值和最低值均出现在 7 月和 1 月, 但喀斯特地区比非喀斯特地区的整体波动性大。 (4) 喀斯特地区植被 *NPP* 的季相空间变化显著, 石漠化较为严重的地区其植被 *NPP* 明显小于其它地区, 且季间差异较明显。

**关键词:** 植被净第一性生产力 (*NPP*); 喀斯特地区; 光能利用率模型; 贵州省

**中图分类号:** S718.55; Q945.11 **文献标识码:** A

植被是陆地生态系统的重要组成部分, 有全球变化的“指示器”之称<sup>[1]</sup>。绿色植物通过光合作用成为碳循环和能量转化的重要使者。植被净第一性生产力 (*NPP*) 是表征植物活动的关键变量, 它是指绿色植物在单位面积、单位时间内所累积的有机物数量, 即光合作用所产生的有机质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分, 是 CO<sub>2</sub> 浓度季节变化的主要原因, 也是研究陆地生态系统中物质与能量转换的重要环节。

国外对植被净第一性生产力的认识和研究始于 20 世纪 60 年代, 随着遥感技术的不断发展, 遥感数据被广泛地应用到国内外植被 *NPP* 的研究中<sup>[2~10]</sup>, 促进了植被 *NPP* 模型的改进和估算结果精度的提高。随着人类活动干扰的加剧和生态环境的退化, 贵州喀斯特山区水土流失加重, 石漠化趋势日益明显, 造成了特殊的“喀斯特贫困”现象, 亟需从地表物质能量方面研究喀斯特地区的生态环境问题, 而植被 *NPP* 是

能量转化研究的重要途径之一<sup>[11]</sup>。本文基于光能利用率模型, 利用 1km 分辨率的 MODIS 数据, 通过喀斯特地区与非喀斯特地区植被 *NPP* 的对比, 重点研究了贵州省喀斯特地区植被 *NPP* 的时空变化特征。

## 1 *NPP* 模型的总体结构和数据处理

### 1.1 模型的构建

本文的 *NPP* 模型将光合作用与呼吸作用分开考虑, 其中总光合作用由光能利用率模型来计算, 受数据资料所限, 呼吸作用的计算则采取经验模型的方法, 模型具体构成如下:

$$NPP = GPP - R \quad (1)$$

式中, *NPP*、*GPP*、*R* 分别表示净第一性生产力、总第一性生产力和呼吸消耗量 (gC/m<sup>2</sup>·月)。

总第一性生产力计算中考虑了光照、温度和水分

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2005CB422207)、“高等学校学科创新引智计划资助”(Supported by the 111 Project)(NO. B06004)、长江学者与创新团队发展计划协助项目

第一作者简介: 王冰 (1981—), 女, 硕士, 助教, 主要从事 3S 应用研究。E-mail: wbingbing2008@126.com, 电话: 15947613109。

通讯作者: 杨胜天 (1965—), 男, 博士, 教授, 主要从事自然地理、遥感和环境科学研究。E-mail: yangshengtian@bnu.edu.cn, 电话: 010-58805034。

收稿日期: 2005-10-24

的影响,具体由植被所吸收的光合有效辐射及光能转化效率来确定:

$$GPP = \epsilon_g \times FPAR \times Q_{PAR} \times f_1(T) \times f_2(\beta) \quad (2)$$

式中,  $\epsilon_g$ ——植被将所吸收的光合有效辐射转化为有机物的转化率,即光能转化率,取值  $2.76 \text{ gC/MJ}^{[3]}$ ;  $FPAR$ ——植被吸收光合有效辐射的比例,可由 NDVI 确定,本文直接利用 MODIS/FPAR 数据;  $Q_{PAR}$ ——入射光合有效辐射 ( $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{月}$ )  $= 0.45Q$ ,  $Q$ ——太阳总辐射<sup>[12]</sup>;  $T$ ——气温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $f_1(T)$ ——温度对光合作用的影响<sup>[13]</sup>;  $f_2(\beta)$ ——水分对光合作用的影响<sup>[14]</sup>;  $\beta$ ——蒸发比,其值为  $ET_a/ET_p$ ,  $ET_a$ ——区域实际蒸散量 (mm),根据周广胜和张新时建立的区域实际蒸散模型求取<sup>[15]</sup>;  $ET_p$ ——潜在蒸散量 (mm),根据 Boucher 提出的互补关系求取<sup>[7,14]</sup>。

呼吸消耗量的估算采用了 Goward 的经验模型<sup>[6,17]</sup>,即:

$$R_d = \frac{7.825 + 1.145T}{100} \times GPP \quad (3)$$

式中,  $R_d$ ——呼吸消耗量;  $GPP$ ——总第一性生产力;  $T$ ——气温。

### 1.2 数据资料及处理

所采用的数据资料包括:2001 年各月的  $1\text{km} \times 1\text{km}$  分辨率的 MODIS 数据 ( $FPAR$ 、Vegetation Index) 和地面气象站点的月气象资料 (日照百分率、绝对湿度、气温、降水量、风速) 等。其中,MODIS 数据来自美国国家航空航天局 (NASA),首先利用投影转换工具 MRT,在 ENVI4.0 和 ArcGIS8.0 软件的支持下,将数据投影转换为我国常用的 Albers 等积圆锥投影;为了消除云的影响,通过最大值处理得到该月该像元的最大值。气象资料通过投影转换、空间插值,及图像裁切和掩模处理,得到贵州省  $1\text{km} \times 1\text{km}$  分辨率的气象要素图。

## 2 研究区的划分

贵州是我国喀斯特分布范围较广的省份之一,被称为中国的“喀斯特省”。贵州碳酸盐岩出露面积达  $13 \text{ 万 km}^2$ ,占全省土地面积的  $73\%$ ,较集中地分布在中部、南部和西部地区。其中,喀斯特面积比例超过  $80\%$  的县 (市、区) 有南明、息烽等 28 个,面积比例超过  $70\%$  的有都匀、凯里等共 42 个,面积比例超过  $60\%$  的有威宁、紫云等共 59 个,面积比例超过  $50\%$  的有铜仁、印江等 68 个,共占全省县市个数的  $79\%$ ;榕江、雷山和赤水三县市基本上无喀斯特地貌;三穗、黎平、锦屏、从江、剑河的喀斯特面积比例均在  $3\%$  以下<sup>[18]</sup>。

根据贵州的地貌特征及相关文献<sup>[18-20]</sup>,本文将

黔西南的册亨县、望谟县,遵义的赤水市,黔东南的三穗县、天柱县、台江县、剑河县、锦屏县、雷山县、榕江县、黎平县和从江县等 12 个县市作为非喀斯特地貌研究区,其它县、市则作为喀斯特地貌研究区 (图 1)。然后,对喀斯特地区和非喀斯特地区的植被净第一性生产力进行较为系统的比较分析。

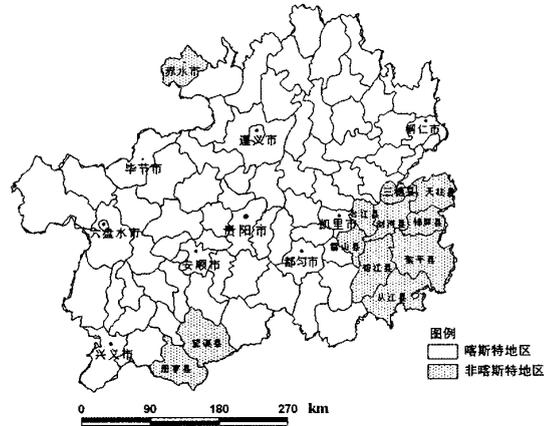


图1 贵州省喀斯特地区/非喀斯特地区分布图

Fig. 1 Partition of karst and non-karst area in Guizhou

## 3 植被 NPP 的对比分析

### 3.1 年 NPP 的空间对比分析

由贵州省 2001 年植被 NPP 的空间分布图 (图 2) 可以看出,非喀斯特地区的 NPP 要明显高于喀斯特地区,在  $400 \sim 600 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{a}$  之间,而喀斯特地区的

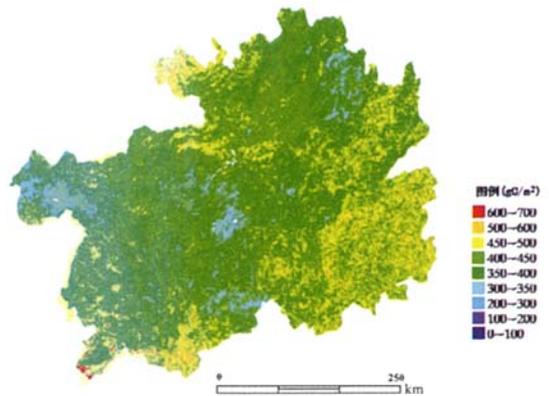


图2 贵州省 2001 年植被 NPP 的空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of NPP in 2001

NPP 基本在  $450 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{a}$  以下。全年的 NPP 总量方面,喀斯特地区的植被 NPP 为  $407.18 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{a}$ ,而非喀斯特地区的植被 NPP 为  $461.53 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{a}$ ,高出喀斯特地区约  $13.3\%$ 。

### 3.2 年 NPP 的频度对比分析

本文对喀斯特地区和非喀斯特地区植被 NPP 的频度分布进行了初步探讨。图 3 显示,喀斯特地区与非喀斯特地区 NPP 的频度分布存在一定的差异:(1)非喀斯特地区植被 NPP 值主要集中分布在 360~565gC/m<sup>2</sup>·a 之间。频度分布呈现似双峰型,前峰峰高相对较小,最高频率在 420gC/m<sup>2</sup>·a 左右;后峰在

520gC/m<sup>2</sup>·a 处达到 NPP 频率的最高点;而两峰间波谷处的 NPP 约为 450gC/m<sup>2</sup>·a。(2)与非喀斯特地区不同,喀斯特地区 NPP 值的频度分布为似正态分布,呈现明显的单峰型,峰值出现在 400gC/m<sup>2</sup>·a 处,然后以此为对称轴分别向两侧高值和低值方向递减,且递减速率较大。NPP 值主要分布在 305~550gC/m<sup>2</sup>·a 之间,其波动范围要比非喀斯特地区广。

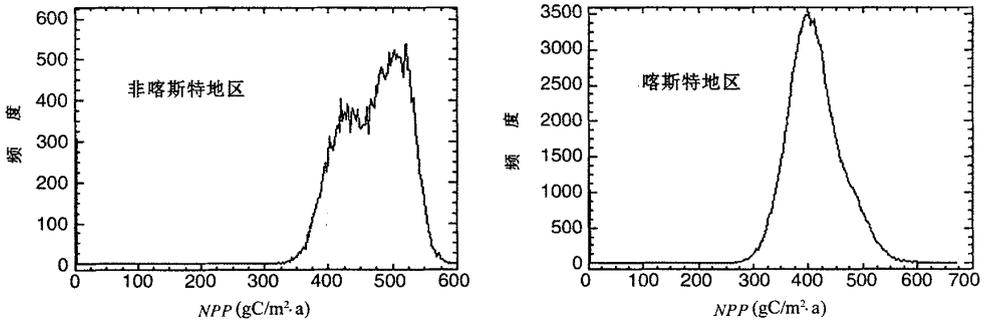


图3 贵州喀斯特地区/非喀斯特地区 NPP 的频度分布

Fig. 3 Comparison of frequency distribution of NPP between karst and non-karst area

### 3.3 NPP 时间变化对比分析

将各月 NPP 估算结果按区域分别进行统计,得到贵州省 2001 年喀斯特地区与非喀斯特地区 NPP 的时间变化曲线(图 4)。

地区要比非喀斯特地区的波动性大,喀斯特地区 NPP 最大值与最小值间的差值为 59.46gC/m<sup>2</sup>,而非喀斯特地区为 48.10gC/m<sup>2</sup>;1 至 6 月,喀斯特地区的 NPP 均低于非喀斯特地区,而到 7 月份则超出非喀斯特地区约 8.45%;之后,NPP 值开始下降,到 9 月份喀斯特地区与非喀斯特地区基本持平,10 月至 12 月则又低于非喀斯特地区。结合植被分类图(图 5)

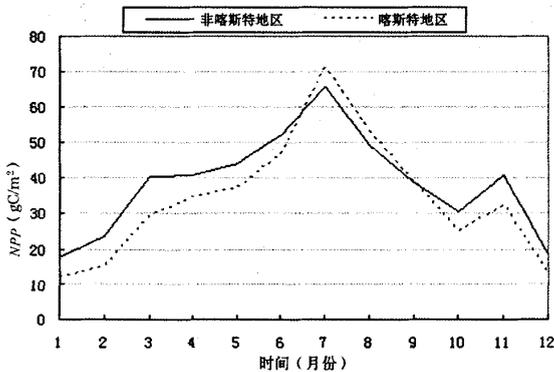


图4 贵州喀斯特地区与非喀斯特地区 NPP 的时间变化曲线

Fig. 4 Comparison of seasonal variation of NPP between karst and non-karst area

图 4 显示:(1)喀斯特地区与非喀斯特地区植被 NPP 的最高值均出现在 7 月份,是植被生长最为旺盛的时节,分别为 71.12gC/m<sup>2</sup> 和 65.58gC/m<sup>2</sup>,喀斯特地区值略高。NPP 最低值均出现在 1 月份,为贵州省气温最低的月份,不利于植被的生长,分别为 11.66gC/m<sup>2</sup> 和 17.48gC/m<sup>2</sup>。(2)总体变化上,喀斯特

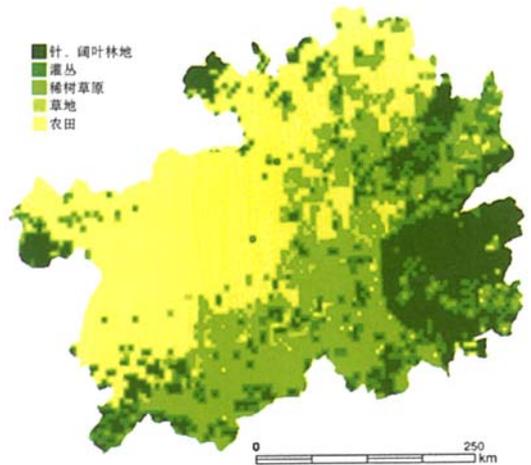


图5 贵州省植被分类图 (源自 MODIS 数据)

Fig. 5 Map of vegetation division in Guizhou (from MODIS data)

分析,原因可能是非喀斯特地区的植被类型多为常绿针、阔叶林,而喀斯特地区多耕地、灌丛草坡,受气候条件的影响较大。

#### 4 喀斯特地区植被 *NPP* 的季相空间变化

在 *NPP* 月值计算结果的基础上,通过掩模方式,获得贵州喀斯特地区2001年各月植被 *NPP* 的空间分布情况。贵州省位于亚热带气候区,月际间的空间差异不明显,本文将结合气温、降水和植被分布情况(图5~7)进行季节间的 *NPP* 分析。四季设定为:冬季(1月、2月、12月)、春季(3至5月)、夏季(6至8月)、秋季(9至11月),结果如图8所示。

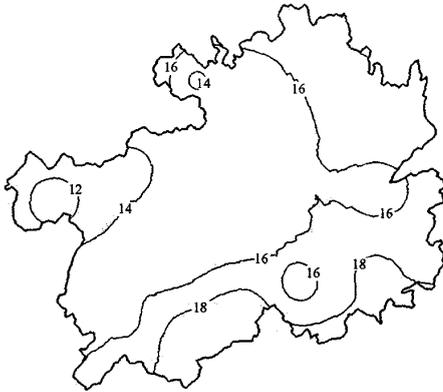


图6 贵州2001年平均气温等值线图(°C)

Fig. 6 Temperature(°C) in 2001 in Guizhou

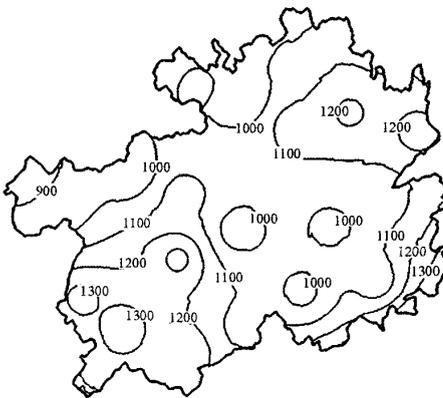


图7 贵州2001年降水量等值线图(mm)

Fig. 7 Precipitation(mm) in 2001 in Guizhou

从图8可见,贵州喀斯特地区植被净第一性生产力的季节变化与该区气温及太阳辐射的季节变化基本相同,夏季各地 *NPP* 达到年内最大值,冬季各地气温

及地表太阳辐射降到最低, *NPP* 也减少到最小值(图中白色为 *NPP* 的0值区域,属水域,其 *FPAR* 值为0)。

##### 4.1 冬季

冬季是一年四季中 *NPP* 产量最低的季节,在冬季的3个月中,1月气温最低、太阳辐射量最少,也是植被 *NPP* 最低的一个月。冬季喀斯特地区植被 *NPP* 的大体范围在  $0 \sim 100 \text{gC/m}^2$  之间,总体表现为由中西部向南北两侧增加的变化特征。中西部地区的 *NPP* 基本在  $40 \text{gC/m}^2$  以下,该区域人口密度大(据2004年统计,贵阳、六盘水、安顺和毕节地区的人口密度分别为437、303、283和268人/ $\text{km}^2$ ,居全省前四位<sup>[21]</sup>),人类活动频繁,土地垦殖率高,分布有大面积的农田,喀斯特地貌分布广泛,石漠化现象较为严重;位于西边缘的威宁县和赫章县的部分区域,其 *NPP* 还不足  $10 \text{gC/m}^2$ ,成为贵州喀斯特地区冬季植被 *NPP* 最低的区域,该区海拔高(2000m左右),气温低,降水少,植被覆盖状况相对较差,主要以农耕地为主,其 *NPP* 比森林植被的要小;同时,在威宁县的西南部,其 *NPP* 在  $30 \sim 60 \text{gC/m}^2$  之间,该区域喀斯特面积分布较少,并分布有一定面积的林地。北部喀斯特地貌分布面积少, *NPP* 较高,但在东北部遵义和铜仁的部分区域,其 *NPP* 也较低,在  $70 \text{gC/m}^2$  以下。南部地区水热条件好,喀斯特地貌分布面积较中部少,有一定面积的林地、灌丛,其 *NPP* 相对较高,大于  $40 \text{gC/m}^2$ ,特别是在边缘地带,达  $70 \text{gC/m}^2$  以上,黔东南州兴义市南端甚至出现了  $100 \text{gC/m}^2$  以上的高值,成为研究区冬季 *NPP* 最高的地区,此区域也是兴义市喀斯特地貌分布较低的区域<sup>[19]</sup>。

##### 4.2 春季

从2月份开始,随着气温的升高,各地的植被 *NPP* 也开始增加。春季贵州喀斯特地区植被 *NPP* 的总体分布特征为:西部低,东部高,大体范围在  $30 \sim 160 \text{gC/m}^2$  之间。植被 *NPP* 的低值区仍然在西部的威宁和赫章两县,在  $60 \text{gC/m}^2$  以下。以贵阳市为界,西部地区(除威宁和赫章外)的植被 *NPP* 在  $60 \sim 120 \text{gC/m}^2$ 。北部习水河流域和东部边缘地区是喀斯特地区春季 *NPP* 的高值区,在  $120 \text{gC/m}^2$  左右,研究区的东南部属于黔东南州,该区域人口密度小(2004年为150人/ $\text{km}^2$ ,仅略高于黔东南州<sup>[21]</sup>),土地垦殖率低,植被覆盖较好,部分区域高于  $140 \text{gC/m}^2$ 。东北部的遵义市地区的植被 *NPP* 也较高,在  $80 \sim 120 \text{gC/m}^2$  之间。

##### 4.3 夏季

夏季是一年四季中植被 *NPP* 最大的季节,植被 *NPP* 相对于春季都有了大幅的增加,到7月份,各地

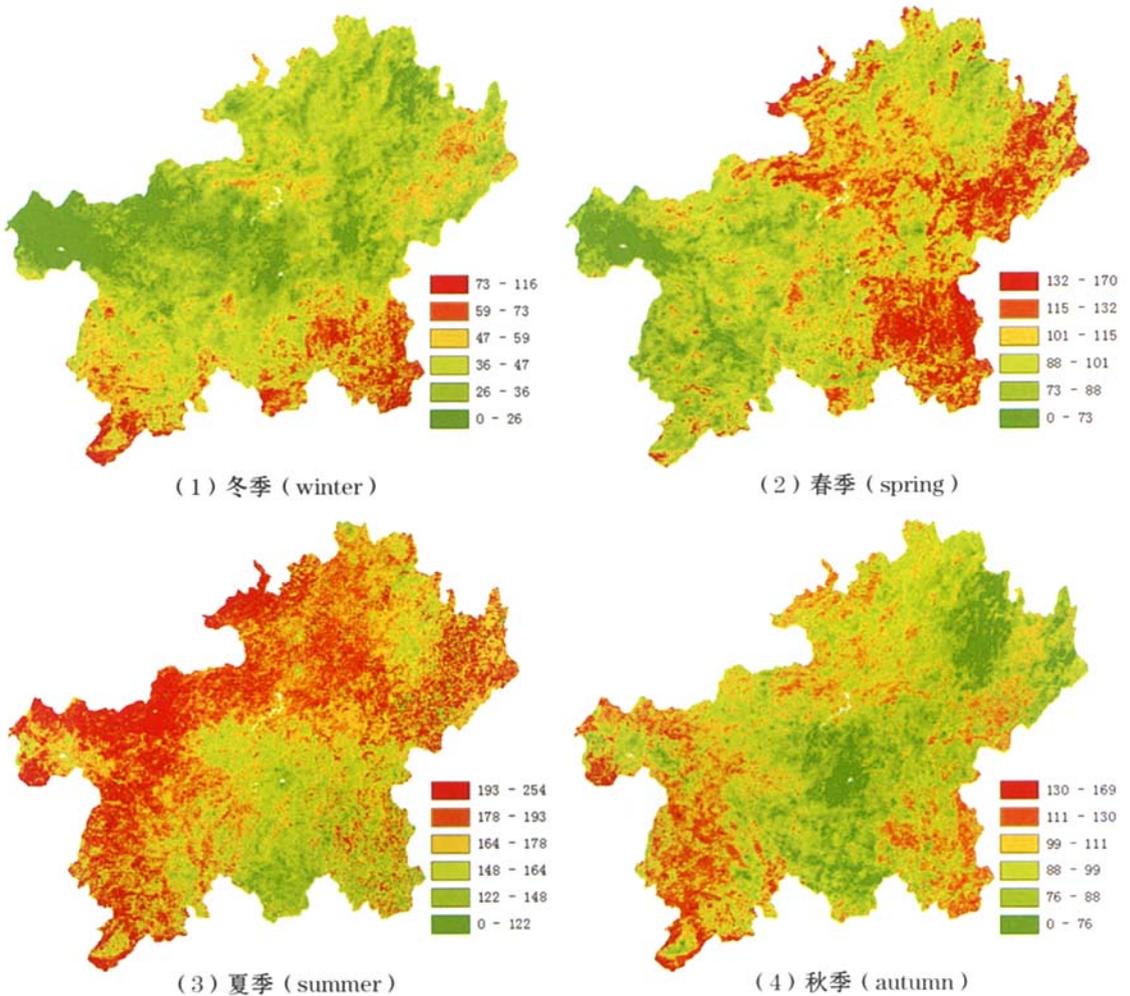


图8 贵州喀斯特地区2001年各季节植被NPP的空间分布图(单位: $\text{gC}/\text{m}^2$ )

Fig. 8 Spatial distribution of seasonal NPP in Guizhou karst area, 2001 (Unit:  $\text{gC}/\text{m}^2$ )

气温达到最大值, 植被 NPP 也增加到最大值; 总体表现为西部多, 东南部少的分布特征。此时期农作物接近收获季节, 植被生长旺盛, 基本在  $120 \sim 220 \text{gC}/\text{m}^2$  之间, 地区差异较小。黔南州地区的 NPP 大体都在  $180 \text{gC}/\text{m}^2$  以下, 部分区域在  $100 \text{gC}/\text{m}^2$  以下, 成为研究区夏季 NPP 低值的分布区, 相比于其它地区, 该区域的 NPP 的增长幅度也较小, 可能与该地的气候条件和植被特点有关(见图5~7), 黔南州地区年积温在  $4\,500 \sim 6\,500^\circ\text{C}$ , 年平均降水量  $1\,100 \sim 1\,400 \text{mm}$ , 平均日照时数  $1\,000 \sim 1\,500 \text{h}$ , 气候温和、热量充实、雨量充沛。

#### 4.4 秋季

随着气温的下降, NPP 也大幅减小。秋季喀斯

特地区植被 NPP 的分布特征为: 中部、东北部低, 东西两侧高, NPP 的范围在  $50 \sim 160 \text{gC}/\text{m}^2$  之间。中部和东北部的 NPP 基本在  $100 \text{gC}/\text{m}^2$  以内, 贵阳市区和铜仁地区的惠南县是 NPP 的两个低值区, 均在  $50 \sim 80 \text{gC}/\text{m}^2$  之间。NPP 最高值出现在黔西南州的兴义市南端, 接近  $160 \text{gC}/\text{m}^2$ 。

根据熊康宁等<sup>[19]</sup>对贵州省喀斯特石漠化的研究表明, 在空间分布上, 喀斯特分布的地区呈现南部重、北部轻, 西部重、东部轻的特点。石漠化土地(尤其是中度以上)多集中分布在贵州的南部和西部, 以六盘水市、黔南州、安顺市、黔西南州、毕节地区所占面积较多。结合以上分析可以看出: (1) 空间变化方面, 石漠化较为严重的地区其植被 NPP 明显小于其它地

区,特别在西部,如毕节地区,该区域海拔较高,陡坡开荒较为严重,土壤侵蚀强烈,成为贵州喀斯特地区 *NPP* 的低值中心。(2)季节变化方面,石漠化较为严重的地区,如六盘水市、安顺市、黔西南州、毕节地区和贵阳市,由于该区域人口密度大,土地垦殖率高,植被多以农作物和稀疏灌丛草坡为主,*NPP* 季节的变化受到作物物候期的影响。夏季与冬季的 *NPP* 差值基本在  $90\text{gC}/\text{m}^2$  以上,而秋季植被 *NPP* 又高于春季。(3)位于研究区东部和北部的黔南州的东部地区、铜仁地区大部 and 遵义市的南部地区,植被类型以常绿阔叶林、灌丛、稀树草原为主,植被生长期长,*NPP* 相对较高,且年内季节间的变化较小,春季 *NPP* 要高于秋季。

## 5 结论

根据贵州实际状况和相关文献,对贵州省进行了喀斯特地区与非喀斯特地区的区域划分。通过对比分析发现,喀斯特地区与非喀斯特地区的 *NPP* 在时空分布上存在明显差异:

(1)空间变化方面,喀斯特地区的植被 *NPP* 基本在  $450\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$  以下,平均值为  $407.18\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ;非喀斯特地区的植被 *NPP* 的平均值高出喀斯特地区约13.3%。在喀斯特地区,石漠化较为严重的区域,其植被 *NPP* 明显变小于其它地区。

(2)*NPP* 的频度分布方面,非喀斯特地区的 *NPP* 频度分布呈似双峰型,集中分布在  $360 \sim 565\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 。而喀斯特地区的 *NPP* 值似正态分布,其波动范围要比非喀斯特地区广。

(3)时间变化方面,喀斯特地区与非喀斯特地区植被 *NPP* 的最高值均出现在7月份,分别为  $71.12\text{gC}/\text{m}^2$  和  $65.58\text{gC}/\text{m}^2$ ; *NPP* 最低值出现在气温最低的1月份,分别为  $11.66\text{gC}/\text{m}^2$  和  $17.48\text{gC}/\text{m}^2$ 。喀斯特地区多耕地、灌丛草坡,受气候条件的影响较大,*NPP* 整体波动性比非喀斯特地区的大。

(4)季相变化方面,石漠化较为严重的地区,如六盘水市、安顺市、黔西南州、毕节地区和贵阳市,夏季与冬季的 *NPP* 差值基本在  $90\text{gC}/\text{m}^2$  以上,而且秋季植被 *NPP* 要高于春季;研究区东部和北部地区的 *NPP* 相对较高,年内季节间的变化较小,春季 *NPP* 要高于秋季。

## 参考文献

[1] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3):204—210.

- [2] Potter C S, Randerson J T, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4):811—841.
- [3] Prince S D & Goward S N. Global primary production: a remote sensing approach[J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22:815—835.
- [4] Liu J, Chen J M & Cihlar J. A process—based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62(2):158—175.
- [5] Seaquist J W, Olsson L, et al. A remote sensing—based primary production model for grassland biomes[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 169:131—155.
- [6] 肖乾广,陈维英,盛水伟,等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的第一性生产力[J]. *植物学报*, 1996, 38(1):35—39.
- [7] 周广胜,张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究[J]. *植物生态学报*, 1996, 20(1):11—19.
- [8] 倪健. 中国亚热带常绿阔叶林净第一性生产力的估算[J]. *生态学杂志*, 1996, 15(6):1—8.
- [9] 孙睿,朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. *地理学报*, 2000, 55(1):36—45.
- [10] 陈利军,刘高焕,励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测[J]. *遥感学报*, 2002, 6(2):129—135.
- [11] 肖文发,徐德应. 森林能量利用与产量形成的生理生态基础[M]. 北京:中国林业出版社,1999:1—20.
- [12] 侯光良,李继由,张宜光. 中国农业气候资源[M]. 北京:中国人民大学出版社,1993:62—66.
- [13] 孙睿,朱启疆. 植被净第一性生产力模型及中国净第一性生产力的分布[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 1998, 34(增刊):132—137.
- [14] 朱文泉. 中国陆地生态系统植被净初级生产力遥感估算及其与气候变化关系的研究[D](博士论文). 北京师范大学,2005.
- [15] 周广胜,张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探[J]. *植物生态学报*, 1995, 19(3):193—200.
- [16] Goward S N & Dye D G. Evaluation north American net primary productivity with satellite observations[J]. *Advances in Space Research*, 1987, 7(11):165—174.
- [17] Shinobu Furumi Akiko Ono, Noboru Fujiwara. Estimation Model of net primary Production by Vegetation for ADEOS—11/GLI data. ACRS (Asian Conference on Remote Sensing) 1999, Forest Resources[EB/OL]. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1999/ts6/ts6254.asp>.
- [18] 林俊清. 贵州喀斯特与非喀斯特地貌分布面积及其特征分析[J]. *贵州教育学院学报*, 2001, 12(4):43—46.
- [19] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究——以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002:17—50.
- [20] 冉景丞. 贵州喀斯特生态环境与可持续发展探讨[J]. *林业资源管理*, 2002, (6):43—47.
- [21] 贵州省人民政府办公厅[EB/OL]. 贵州省地方志. <http://www.gzgov.gov.cn/gov—dfz/default.asp>.

