

20 世纪 80 年代以来西南喀斯特地区 植被变化对气候变化的响应

蒙吉军, 王 钧

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 气候变化与植被变化的关系已经在全球和区域尺度上得到了研究证明。在前人研究的基础上, 基于 AVHRR GIMMS NDVI 和 AVHRR GloPEM NPP 数据集, 通过对逐个像元信息的提取和分析, 研究了 20 世纪 80 年代以来, 我国西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应。研究结果显示: (1) 20 世纪 80 年代以来, 西南喀斯特地区植被覆盖度和净初级生产量总体均呈增加的趋势, 但不显著。植被指数的年际变化存在着明显的区域差异; (2) 植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数区域分异比较明显; (3) 不同的植被类型对气候变化有着不同的响应特征; 在该研究区气温变化对植被变化的影响要高于降水量变化对其影响; (4) 植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下分布的规律性比较明显。本研究将会增进对影响喀斯特生态系统稳定性的自然过程的认识, 同时也会为喀斯特生态系统的管理提供科学依据。

关键词: 气候变化; 植被变化; NDVI; NPP; 西南喀斯特地区

文章编号: 1000-0585(2007)05-0857-10

气候变化与植被变化的相关性已经在全球和区域尺度上得到了证明^[1~7]。遥感数据在时间序列和空间序列上都具有相对连续性, 被证明是研究气候变化与植被变化关系的有效数据源之一。AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)、GIMMS (Global Inventory Monitoring and Modeling Studies) 和 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 数据集也已被广泛用来研究植被变化及全球和区域尺度上气候变化与植被变化的相关性^[8~13]。目前这方面的研究大致可以分为两类, 一类是研究 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的时间序列相关性^[14~17]; 另一类是研究特定区域内 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的空间相关性^[18]。由 AVHRR GloPEM (Global Production Efficiency Model) 所模拟的 NPP (Net Primary Production), 其模型运行所需要的生物和环境变量来自遥感参数, 因而 NPP 的空间分辨率与遥感数据的空间分辨率相同^[19~21]。以前的 NPP 估算模型大多是基于对气象站点的气候因子观测值进行空间插值得到的气候数据, 而这种空间插值得到的数据, 其空间分辨率较低, 因而不能够获取精细尺度的 NPP 变化^[22~26]。由于遥感数据可以提供较高分辨率的植被类型和动态信息, 因而基于遥感参数的 GloPEM 就可以估算出相对精确的 NPP 信息。

NDVI 是植被分布密度和生长状态的指示因子, 它与植被覆盖度呈正相关^[27]; NPP

收稿日期: 2007-01-24; 修订日期: 2007-05-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助 (40335046); 国家科技支撑计划课题 (2006BAD20B07)

作者简介: 蒙吉军 (1971-), 男, 甘肃张掖人, 博士, 副教授。主要研究方向为综合自然地理学和土地变化科学。

E-mail: jijunm@pku.edu.cn

是绿色植物通过光合作用从大气中固定 CO_2 的速率减去通过呼吸作用向大气中释放 CO_2 的速率^[28]，是绿色植物在单位时间、单位面积内固定的干物质总重量。两者是反映植被生长状态的不同因子，都可以相对完整地反应植被的生长状态。因而本文选用这两个因子来研究 20 世纪 80 年代初以来我国西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应。喀斯特生态系统是我国典型的脆弱生态系统，研究该区植被变化对气候变化的响应将会增进对影响喀斯特生态系统稳定性的自然过程的认识，为喀斯特生态系统的管理提供科学依据。

1 研究区与数据

1.1 研究区

西南喀斯特地区是我国喀斯特地貌分布最为集中的地区，区内黔、桂、滇三省（区）喀斯特分布面积达 $3.21 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占全国喀斯特分布面积的 23.4%，占三省（区）总面积的 39.7%^[29]。该区位于热带—亚热带季风气候区，热量充足、降水量丰沛，但季节和区域差异明显。多年平均降水量和多年平均气温大致都是由东南向西北递减。该区的植被类型和面积百分比分别为：常绿针叶林（17%）、常绿与落叶阔叶混交林（15%）、常绿阔叶林（13%）、常绿与落叶混交灌丛（42%）、草地（3%）、农业植被（10%）（图 1）。喀斯特生态系统是典型的脆弱生态系统，由于特殊的自然地理条件和不合理的土地利用方式，致使以土地退化为主要特征的生态环境问题日益严峻^[30~32]。

1.2 数据来源与处理工具

气象数据为国家气象局气象信息中心提供的全国 685 个标准气象站点逐月气温和降水量资料（1981~2003 年）；基础地理数据（行政区、植被）来源于中国科学院资源环境数据中心，数据比例尺为 1:400 万。

AVHRR GIMMS NDVI（1982~2003 年）^[33] 和 AVHRR GloPEM NPP（1981~2000 年）^[34] 数据来源于美国马里兰大学 GLCF（Global land Cover Facility）数据库，空间分辨率均为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ ，其中 NDVI 的时间分辨率为 16 天，NPP 的时间分辨率为 1 年。数据处理工具为 ArcGIS 9.0 版本、MATLAB 7.0 版本、ENVI 4.2 版本及 ERDAS 8.6 版本等。

2 研究方法与数据处理

2.1 逐个像元信息的提取

首先，将研究区所有气象站点逐月的气温和降水量数据处理为年值，然后对气象站点的年均温和年降水量进行克里金空间插值，数据的空间分辨率设为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ 。通过对插值后的结果进行全交叉检验，检验结果满足大尺度数据分析的要求。其次，将原始植被数

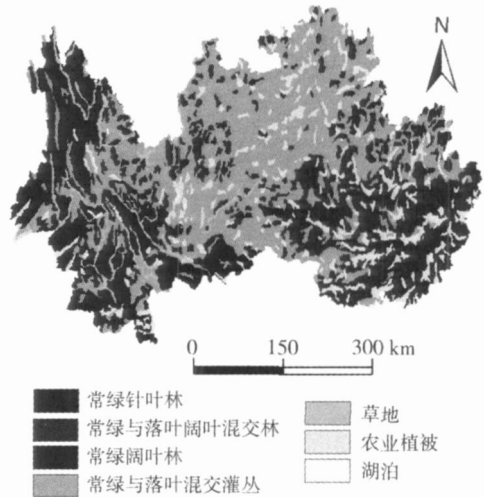


图 1 研究区植被分布图（数据来源：中国科学院资源环境数据中心，1996）

Fig. 1 The distribution of vegetation in the study area

据转化为栅格形式, 空间分辨率设为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ 。同时将植被类型在原来分类的基础上合并为 6 类, 即常绿阔叶林、常绿针叶林、常绿与落叶混交灌丛、常绿与落叶阔叶混交林、草地和农业植被。再次, 使用研究区边界对 NDVI 和 NPP 数据层进行掩模剪切。用国际上通用的最大值合成法将原来的 16 天 NDVI 数据合成为月均值^[35]。然后, 在月均值的基础上计算 NDVI 年均值。以上所有的空间数据转化为统一的 Albers Equal Area Conic 投影。最后, 将研究区边界矢量多边形转为栅格格式, 空间分辨率设为 $8\text{ km} \times 8\text{ km}$ 。然后, 将栅格数据转为矢量点形式。这样就为研究区栅格数据层的逐个像元信息的提取提供了采样点。利用上述采样点分别提取逐个像元的植被类型、气候因子序列和植被指数序列。然后合并逐个像元的所有属性信息。

2.2 植被变化及植被指数年际变化与气候因子年际变化空间相关系数的计算

在逐个像元所有属性信息的基础上, 通过编写程序在 MATLAB 中计算逐个像元的 NDVI 年际变化率和 NPP 年际变化率, 然后计算逐个像元植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数。

2.3 不同植被类型与气候条件下植被指数年际变化与气候因子年际变化相关性的提取

在逐个像元所有属性信息的基础上, 提取各种植被类型的植被指数、计算植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数, 然后计算植被指数与相关系数的平均值。在气候因子数据层序列的基础上, 计算逐个像元多年平均气候特征 (1981~2003 年)。然后, 用采样点提取逐个像元多年平均气候因子的数值。最后将逐个像元的多年平均气候因子值与相关系数值进行结合, 分析各种相关系数在不同的气候条件下的变化规律。

3 结果与分析

3.1 气候变化的时空特征

首先, 通过对逐年平均气温和降水量数据层 (1981~2003 年) 的统计, 得到了研究区 1981~2003 年年均温和降水量变化的总体趋势。在研究时间段内, 年均温呈增加的趋势, 其中增率约为 $0.299\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($R=0.57$; $n=22$; $P<0.05$); 年降水量的变化率不明显, 其变率约为 $31.538\text{ mm}/10\text{ a}$ ($R=0.19$; $n=22$; $P<0.378$)。其次, 通过对逐个象元年均温和年降水量的变化率的计算, 得到了研究区气候变化的空间格局 (图版 1, 图 2)。从图 2a 中可见, 大部分地区年均温都呈增加的趋势, 尤其是在云南中部和广西东部, 年均温的增率可达 $0.837\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 在云南西南部和北部以及贵州的一些地区年均温呈减少的趋势。从图 2b 中可见, 降水量变化的区域分异比较明显, 在研究区东部和西北部的大部分地区降水量增加比较明显, 年降水量的增率可达 $137.88\text{ mm}/10\text{ a}$; 但在研究区的中部和西南部, 年降水量变化呈减少趋势, 年降水量的减率可达 $142.67\text{ mm}/10\text{ a}$ 。

3.2 植被变化的时空特征

首先, 通过对逐年 NDVI 数据层 (1982~2003 年) 和 NPP 数据层 (1981~2000 年) 的统计, 得到研究区 NDVI 和 NPP 年际变化的总体趋势。在研究时间段内, NDVI 和 NPP 年际变化均略呈增加的趋势但不显著, 其中 NDVI 的增率约为 $0.0002/\text{y}$ ($R=0.16$; $n=22$; $P=0.49$), NPP 的增率约为 $1.649\text{ C}/\text{m}^2\cdot\text{a}$ ($R=0.17$; $n=20$; $P=0.46$)。其次, 通过对逐个像元年均 NDVI 和 NPP 变化率的计算, 得到了植被指数变化的空间格局 (图版 1, 图 3)。通过对图 3 中所有像元植被指数变化率的统计得出: 57.40% 的像元 NDVI 年际变化率和 69.42% 的像元 NPP 年际变化率为正。从图 3a 中可知, 在广西北部地区年均 ND-

VI 减少的趋势比较明显, 其减率达 $0.0045/y$; 在云南西北部、广西南部 and 贵州的北部, 年均 NDVI 呈增加的趋势, 其增率达 $0.0059/y$ 。从图 3b 中可知, 在广西的大部分地区尤其是在北部, NPP 减少的趋势比较明显, 其减率达 $18.82 \text{ C/m}^2\text{a}$; 在云南和贵州的大部分地区, NPP 增加的趋势比较明显, 其增率达 $16.26 \text{ C/m}^2\text{a}$ 。

3.3 气候变化与植被变化的空间相关性

通过计算逐个像元 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关系数 (1982~2003 年), 得到其空间分布格局 (图版 1, 图 4)。该相关系数被分为四类: 显著正相关 ($R > 0.5$; $n = 22$; $P < 0.05$)、正相关 ($0 < R \leq 0.5$; $n = 22$; $P < 0.05$)、负相关 ($-0.5 \leq R < 0$; $n = 22$; $P < 0.05$) 和显著负相关 ($R < -0.5$; $n = 22$; $P < 0.05$)。

从图版 1 图 4a 中可以看出, NDVI 年际变化与气温年际变化的相关系数在广西南部、云南西北部及贵州的大部分地区为正。从图版 1 图 2a 和图 3a 中可以看出在这些地区年均温和 NDVI 均呈增加的趋势。云南西北部地区分布的是高寒草甸和针叶林, 年均温的升高可以促进植被的光合作用; 广西南部 and 贵州的大部分地区分布的是常绿与落叶混交林、农业植被和常绿与落叶混交灌丛, 年均温的升高可以延长落叶植被的生长季。NDVI 与气温的相关系数在广西北部及云南东部和西南部的大部分地区为负。从图版 1 图 2a 和图 3a 中可以看出这些地区年均温呈增加趋势而 NDVI 呈减少趋势。石灰岩地区地表水缺乏, 气温的升高会增大该区的蒸发, 因而对植被的生长有限制作用。同时, 人类土地利用活动也会对这些地区的地表覆被产生强烈的影响。从图版 1 图 4b 中可以看出, NDVI 年际变化与降水量年际变化的相关系数在贵州和云南北部地区为正。从图版 1 图 2b 和图 3b 中可以看出这些地区降水量和 NDVI 都呈增加趋势。这些地区是本研究区的相对少雨区, 降水量的增加可减少水分对植被生长的限制。NDVI 与降水量的相关系数在云南南部及广西的大部分地区为负。这些地区是本区降水量较多的区域, 雨天的增加会减弱这些地区植被的光合作用。同时, 人类的土地利用活动也可能对地表植被产生强烈的影响。

通过计算逐个像元 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关系数 (1981~2000 年), 并到其分布的空间格局 (图版 1, 图 5)。相关系数也被分为四类: 显著正相关 ($R > 0.5$; $n = 20$; $P < 0.05$)、正相关 ($0 < R \leq 0.5$; $n = 20$; $P < 0.05$)、负相关 ($-0.5 \leq R < 0$; $n = 20$; $P < 0.05$) 和显著负相关 ($R < -0.5$; $n = 20$; $P < 0.05$)。

图版 1 图 5a 中, NPP 年际变化与气温年际变化的相关系数在研究区的大部分地区为正, 尤其是在云南西北部和贵州北部, 气温和 NPP 均呈增加的趋势, 是本研究区的气温低值区, 分布的植被类型主要为草甸、针叶林和常绿与落叶混交灌丛。气温的升高可以促进该区植被的光合作用和生物量的累积。NPP 与气温的相关系数在广西部分地区和云南东部部分地区为负。从图版 1 图 2a 和图 3b 中可以看出这些地区年均温升高但是 NPP 呈减少的趋势, 导致这种现象的原因可能与地表蒸发量的加大以及人类的土地利用活动有关。从图版 1 图 5b 中可以看出, NPP 年际变化与降水量年际变化的相关系数在云南和贵州北部的部分地区以及云南和广西南部的部分地区为正。这些地区降水量和 NPP 均呈增加的趋势。北部地区是本研究区降水量相对较少的地区, 降水量的增加可减少水分对植被生长的限制作用。从图版 1 图 2b 和图 3b 中可以看出, 在广西部分地区降水量和 NPP 均呈减少的趋势, 因而相关系数出现了正值。NPP 与降水量的相关系数在广西北部、贵州南部及云南西部为负。在这些地区存在降水量呈增加而 NPP 呈减少的区域。NPP 的减少可能与阴雨天的增加对太阳辐射的减少以及人类的土地利用活动有关。

3 4 不同植被类型对气候变化的响应

通过提取不同植被类型的年均 NDVI、NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关系数 (1982~ 2003 年), 计算了不同植被类型多年平均 NDVI、NDVI 标准差、NDVI 变化趋势以及 NDVI 年际变化与气候因子年际变化相关系数的均值 (表 1)。从表 1 中可知, 常绿与落叶阔叶混交林的多年 NDVI 均值最高, 但年际 NDVI 变化有减少的趋势, 原因可能主要由于人类土地利用活动的影响所致, 此外从图 2 中可以看出与混交林分布区年均温上升、年降水量减少有关。除草地外, NDVI 年际变化与气温年际变化的相关系数要高于其与降水量年际变化的相关系数。草地 NDVI 年际变化与降水量年际变化的相关系数在所有植被类型中也是最高, 原因可能由于草地的根系非常发达且主要分布在土壤表层, 所以其对降水量的变化比较敏感。常绿与落叶混交灌丛以及常绿针叶林的 NDVI 年际变化与降水量年际变化的相关系数较其他植被类型也高。常绿与落叶阔叶混交林以及农业植被的 NDVI 年际变化与气温年际变化的相关系数较其他植被类型高, 原因可能由于这两种植被类型都存在着季相的变化, 因而它们对气温的变化比较敏感。

表 1 各种植被类型 NDVI 年际变化及与气候因子年际变化的相关系数统计
Tab 1 Statistical characteristics of the interannual NDVI variations and the correlation coefficients between the interannual variations of NDVI and the interannual variations of climate factors for each vegetation type

植被类型	多年 NDVI 均值	NDVI 标准差	NDVI 变化趋势	相关系数 (NDVI-降水量)	相关系数 (NDVI-气温)
草地	0.6112	0.0100	0.00040	0.055	0.053
常绿与落叶混交灌丛	0.5979	0.0108	0.00020	0.027	0.041
常绿与落叶阔叶混交林	0.6239	0.0152	-0.00005	-0.132	0.142
常绿针叶林	0.6050	0.0097	0.00040	0.025	0.069
常绿阔叶林	0.6223	0.0083	0.00040	-0.060	0.009
农业植被	0.5985	0.0133	0.00030	-0.064	0.100

表 2 各种植被类型 NPP 年际变化及与气候因子年际变化的相关系数统计
Tab 2 Statistical characteristics of the interannual NPP variations and the correlation coefficients between the interannual variations of NPP and the interannual variations of climate factors for each vegetation type

植被类型	多年 NPP 均值	NPP 标准差	NPP 变化趋势	相关系数 (NPP-降水量)	相关系数 (NPP-气温)
草地	1102.7732	72.1472	3.98140	-0.007	0.323
常绿与落叶混交灌丛	1117.5232	57.1548	0.09420	-0.073	0.276
常绿与落叶阔叶混交林	1456.8400	89.1035	-1.24560	-0.071	0.177
常绿针叶林	1096.4389	51.3033	2.71080	-0.043	0.330
常绿阔叶林	1219.6829	54.8526	2.48370	-0.127	0.272
农业植被	1359.3744	69.3457	0.00140	-0.070	0.208

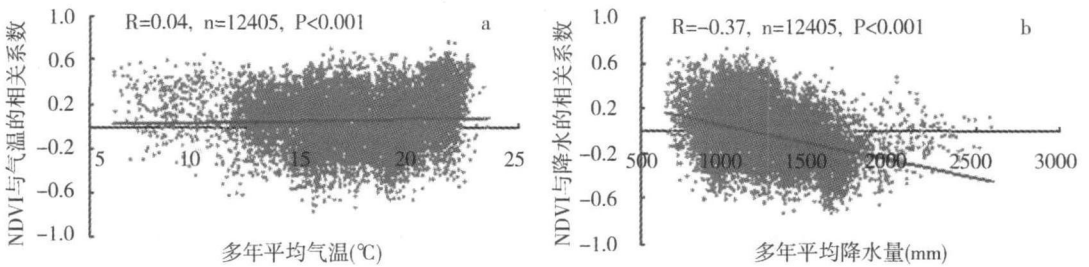
通过提取不同植被类型的 NPP 以及 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关系数 (1981~ 2000 年), 计算了不同植被类型多年平均 NPP、NPP 标准差、NPP 变化趋势以及 NPP 年际变化与气候因子年际变化相关系数的均值 (表 2)。从表 2 中可知, 常绿与落叶

阔叶混交林的多年平均 NPP 值最高, 但 NPP 年际变化有减少的趋势。对于所有的植被类型, NPP 年际变化与气温年际变化的相关系数要高于其与降水量年际变化的相关系数。NPP 年际变化与降水量年际变化的相关性不明显, 这与其他人的研究结果一致^[5]。在所有的植被类型中, 常绿针叶林 NPP 年际变化与气温年际变化的相关系数是最高的, 其次是草地, 原因可能是由于这两种植被类型分布的地区年均温较低, 成为植被生长的限制性因子。因而, 气温的升高能够促进植物的光合作用, 从而提高植被的净初级生产力。

3 5 植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下分布的规律性

基于逐个像元多年气候特征与各种相关系数结合的属性表, 分析了植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下分布的规律性。

首先, 分析了 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下分布的规律性 (图 6)。从图 6a 中可以看出, NDVI 年际变化与气温年际变化的相关系数随多年平均气温的增高而增高, 但不显著 ($R=0.04$; $n=12405$; $P<0.001$)。在多年平均气温小于 10°C 左右的地区, 大多数 NDVI 年际变化与气温年际变化的相关系数为正值, 导致这种现象的原因可能是在年均温小于 10°C 的地区, 气温仍是影响植被覆盖状况一个重要的限制性因子。低温区主要分布在本研究区的西北部, 这些地区分布的植被类型多为高寒草甸和针叶林。从图 6b 中可以看出, NDVI 年际变化与降水量年际变化的相关系数随多年平均降水量的增加而减小, 但也不显著 ($R=-0.37$; $n=12405$; $P<0.001$)。在多年平均降水量大于 1500 mm 左右的地区, NDVI 年际变化与降水量年际变化的相关系数大多为负值。导致这种现象的原因可能是在多年平均降水量大于 1500 mm 左右的地区, 降水量对植被覆盖状况的影响减弱。



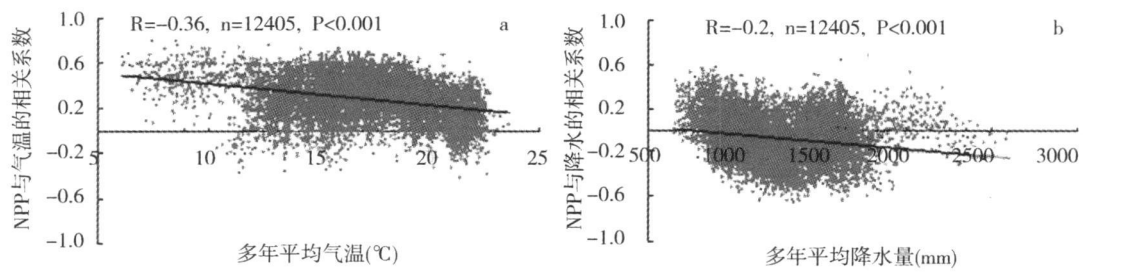
a 与气温年际变化的相关系数在不同气温条件下 b. 与降水量年际变化的相关系数在不同降水量条件下

图 6 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下的变化规律

Fig. 6 Distribution laws of the correlation coefficients between the interannual variations of NDVI and the interannual variations of climate factors in different climate conditions
(a) Between NDVI and temperature and (b) Between NDVI and precipitation

其次, 分析了 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下分布的规律性 (图 7)。从图 7a 中可以看出, NPP 年际变化与气温年际变化的相关系数随多年平均气温的增高而减小, 但不显著 ($R=-0.36$; $n=12405$; $P<0.001$)。在多年平均气温小于 10°C 左右的地区, NPP 年际变化与气温年际变化的相关系数均为正值。导致这种现象的原因可能是在年均温小于 10°C 左右的地区, 气温仍是影响植被净初级生产量的一个重要的限制性因子; 从图 7b 中可以看出, NPP 年际变化与降水量年际变化的相关系数随多年平均降水量的增加而减小, 但也不显著 ($R=-0.2$; $n=12405$; $P<0.001$), 尤其

是当多年平均降水量大于 1500 mm 左右时。这种现象可以被解释为在年降水量大于 1500 mm 左右时，降水量对植被初级生产量累积的影响减弱。



a 与气温年际变化的相关系数在不同气温条件下 b 与年降水量年际变化的相关系数在不同降水量条件下

图7 NPP年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件的变化规律

Fig. 7 Distribution laws of the correlation coefficients between the interannual variations of NPP and the interannual variations of climate factors in different climate conditions

(a) Between NPP and temperature and (b) Between NPP and precipitation

4 结论与讨论

- (1) 20 世纪 80 年代初以来，我国西南喀斯特地区植被覆盖度和净初级生产量均为增加的趋势，但不显著。植被指数变化的区域差异比较明显。
- (2) 通过对气候变化与植被变化相关性空间格局的分析得出，NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关性以及 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关性均存在着比较明显的区域差异。
- (3) 西南喀斯特地区不同植被类型对气候变化有不同的响应特征。其中，常绿与落叶阔叶混交林的多年平均 NDVI 和多年平均 NPP 在所有植被类型中都是最高的，但是只有这种植被类型的年均 NDVI 和年 NPP 为减少的趋势。在本研究区气温变化对植被的影响要高于降水量变化对其的影响，尤其是对植被 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关性来说。
- (4) 西南喀斯特地区植被指数年际变化与气候因子年际变化的相关系数在不同气候条件下的分布规律性比较明显。
- (5) 西南喀斯特地区植被变化对气候变化响应的研究将会增进对影响喀斯特生态系统稳定性的自然过程的认识，同时也会为喀斯特生态系统的管理提供科学依据。对于该区植被变化对气候变化响应的机制本文只是进行了初步的研究。其中对于气候变化对植被生长正负效应的原因还有待于进一步深入探讨。此外，人类土地利用活动对植被指数的影响也需要进行深入细致的分析。

参考文献:

[1] Melillo J M, McGuire A D, Kickli hter D W. Global climate chan e and terrestrial net primary production Nature, 1993, 363: 234~ 240

[2] Keelin C D, Chin J F S, Whorf T P. Increased activity of northern ve etation inferred from atmospheric CO₂ measurements Nature, 1996, 382: 146~ 149

[3] 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. 植物生态学报, 1996, 20(1): 11~ 19

- [4] Field R R, Behrenfeld M J, Randerson J T. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281: 237~ 240
- [5] Knapp A K, Smith M D. Variation among biomes in temporal dynamics of above ground primary production. *Science*, 2001, 291: 481~ 484
- [6] Nemani R R, Keelin C D, Hashimoto H. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300: 1560~ 1563
- [7] Weltzin J F, Loik M E, Schweinin S. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *Bioscience*, 2003, 53: 941~ 952
- [8] Schultz P A, Halpert M S. Global analysis of the relationship among vegetation index, precipitation and land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16: 2755~ 2777
- [9] Myneni R B, Keelin C D, Tucker C J. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386: 698~ 702
- [10] Li Z, Kafatos M. Inter-annual variability of vegetation in the United States and its relation to El-Nino/Southern Oscillation. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 71: 239~ 247
- [11] Fan J Y, Piao S L, Tan Z Y. Inter-annual variability in net primary production and precipitation. *Science*, 2001, 293: 1723
- [12] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294~ 302
- [13] Tucker C J, Slayback D A, Pinzon J E. Higher northern latitude NDVI and growing season tendencies from 1982 to 1999. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45: 184~ 190
- [14] 李本纲, 陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. *生态学报*, 2000, 20(5): 898~ 902
- [15] 李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 379~ 382
- [16] 李春晖, 杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系. *地理研究*, 2004, 23(6): 753~ 759
- [17] 付新峰, 杨胜天, 刘昌明. 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系. *地理研究*, 2007, 26(1): 60~ 66
- [18] Piao S L, Fan J Y, Ji W. Variation in a satellite-based vegetation index in relation to climate in China. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15: 219~ 226
- [19] Prince S D, Goward S N. Global primary production: A remote sensing approach. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 815~ 835
- [20] Goetz S J, Prince S D, Goward S N. Satellite remote sensing of primary production: An improved production efficiency modeling approach. *Ecological Modelling*, 1999, 122: 239~ 255
- [21] Cao M K, Prince S D, Small J. Remotely sensed inter-annual variations and tendencies in terrestrial net primary productivity 1981-2000. *Ecosystems*, 2004, 7: 233~ 242
- [22] Lieth H, Box E. Evapotranspiration and primary productivity. In: Thornthwaite W. (ed). *Memorial Model, Publications in Climatology*. C. W. Thornthwaite Associates, New Jersey, 1972, 37~ 46
- [23] Uchijima Z, Nunez M. A climatic evaluation of net primary productivity of natural vegetation (1) Chikugo model for evaluating primary productivity. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1985, 40: 342~ 352
- [24] Ruimy A, Saurier B. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99: 5263~ 5283
- [25] 周广胜, 张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 193~ 200
- [26] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 603~ 608
- [27] 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. *遥感学报*, 1998, 2(3): 204~ 210
- [28] Jian H, Apps M J, Zhan Y L. Modeling the spatial pattern of net primary productivity in Chinese forests. *Ecological Modelling*, 1999, 122: 275~ 278
- [29] 王钧, 蒙吉军. 西南喀斯特地区近 45 年来气候变化特征及趋势. *北京大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(2): 223~ 229
- [30] 蔡运龙, 蒙吉军. 退化土地的生态重建: 社会工程途径. *地理科学*, 1999, 19(3): 198~ 203
- [31] 袁道先. 全球岩溶生态对比: 科学目标和执行计划. *地球科学进展*, 2001, 16(4): 461~ 466

- [32] Huan Q H, Cai Y L. Spatial pattern of karst rock desertification in the middle of Guizhou province, southwestern China. *Environmental Geology*, 2006, DOI 10. 1007/s00254-006-0572-y (in press)
- [33] Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E. Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) Satellite Data and NOAA-16 incorporated Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Monthly 1981~2003. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility, 2004
- [34] Prince S D, Small J. AVHRR Global Production Efficiency Model, 1981~2000. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility, 2003
- [35] Holben B N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7: 1417~1434

The response of vegetation dynamics to climate change in the southwestern karst region of China since the early 1980s

MENG Ji-jun, WANG Jun

(College of Urban and Environmental Sciences, Department of Geography, Peking University; Key Laboratory of Analysis and Simulation of Earth Surface Processes, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

Abstract: The relationship between climate change and vegetation dynamics has been identified by recent studies in global and regional scales. Based on previous researches and AVHRR GIMMS NDVI and AVHRR GloPEM NPP data sets, this paper analyzes the response of vegetation dynamics to climate change in the southwestern karst region of China since the early 1980s by extracting each pixel's information. The results show that: (1) since the early 1980s, both vegetation cover density and net primary production have the ascending tendencies. However, interannual variation rates of vegetation indexes have apparent spatial differentiations; (2) correlation coefficients between the interannual variations of vegetation indexes and the interannual variations of climate factors also have apparent spatial differentiations; (3) various vegetation types have different responses to climate change, and the annual mean temperature variations have more significant impact on vegetation dynamics than the annual precipitation variations; and (4) the distribution laws of correlation coefficients between the interannual variations of vegetation indexes and the interannual variations of climate factors under different climate conditions are apparent. The study of the response of vegetation dynamics to climate change in the southwestern karst region of China will enrich our knowledge of the natural courses which impact the stability of karst ecosystems and provide scientific basis for the management of karst ecosystems.

Key words: climate change; vegetation dynamics; NDVI; NPP; southwestern karst region of China

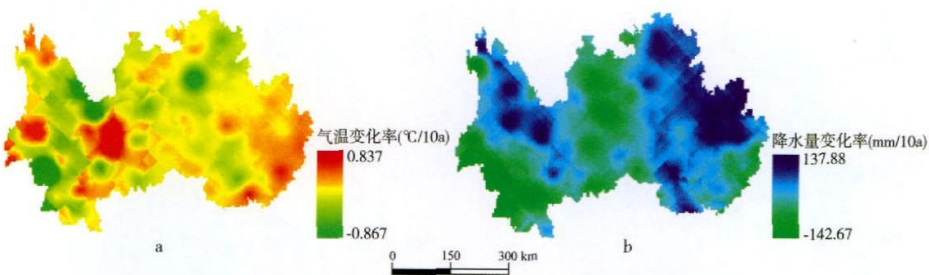


图 2 年均温年际变化(a)与降水量年际变化(b)空间分布图

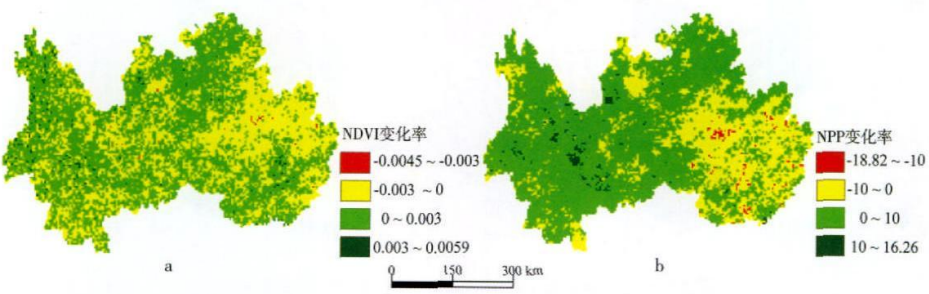


图 3 NDVI 年际变化(a)与 NPP 年际变化(b)空间分布图

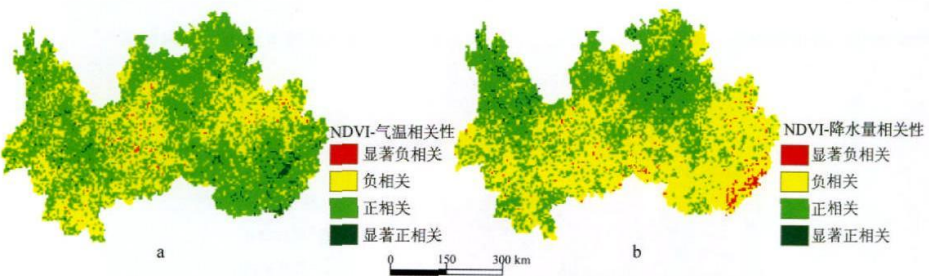


图 4 NDVI 年际变化与气候因子年际变化的相关系数
(a)与气温年际变化的相关系数,(b)与降水量年际变化的相关系数

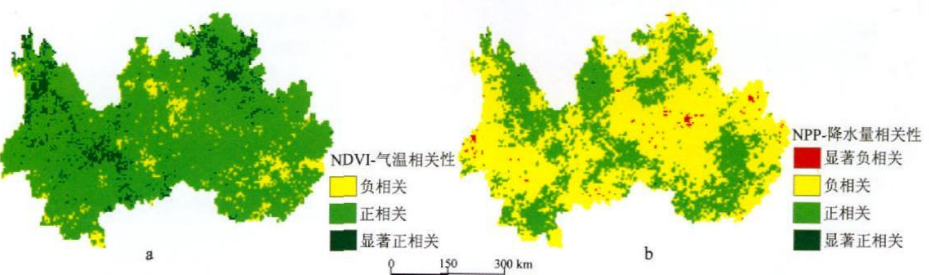


图 5 NPP 年际变化与气候因子年际变化的相关系数
(a)与气温年际变化的相关系数,(b)与降水量年际变化的相关系数