

干旱影响石漠化地区植被生长的遥感观测^①

倪雪波^{1,2,3}, 刘荣高⁴, 王世杰^{1,3}

1. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国科学院地球化学研究所 贵州省科技厅普定喀斯特生态综合试验站, 贵州 普定 562100;
4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

摘要: 西南喀斯特石漠化区是国家重点治理的生态脆弱区域, 该区尽管年降雨量大, 但由于独特的水文特征, 植被常因地质性缺水生长受到抑制. 利用 2000 年至 2004 年中分辨率成像光谱辐射计 (MODIS) 归一化植被指数 (NDVI) 数据作为植被生长的指标参数, 分析了石漠化发生后, 植被对降雨变化的不同响应. 结果表明: 当年降雨量在 900 mm 以下时, 降雨量 (气候性干旱) 是制约植被生长的主要因素; 在 900 mm 以上, 石漠化因素 (地质性干旱) 开始影响植被生长, 石漠化地区 NDVI 与降雨量之间保持着较高的正相关性, 主要集中在贵州的乌江上游、北盘江流域等石漠化典型的区域.

关键词: 喀斯特石漠化; 植被; MODIS NDVI; 干旱; 降雨

中图分类号: X87

文献标识码: A

喀斯特石漠化是脆弱的喀斯特生态系统受到人类不合理开发后出现的荒漠化现象^[1], 与西北干旱、半干旱区的沙漠化一起构成了阻碍我国经济社会发展的两大生态问题. 相对沙漠化而言, 石漠化受到的关注还比较少. 西南喀斯特区虽然地处亚热带季风性湿润气候区, 但由于降水时空分布不均匀, 再加上喀斯特地区地形破碎, 土层浅薄, 土被不连续, 土壤保水能力低, 下伏基岩垂向裂隙、落水洞等发达, 地表水漏失严重, 时常出现临时性干旱现象; 一旦发生石漠化, 退化生态系统的环境调节能力在逐渐减弱, 水分将成为限制中、强度石漠化区植被生长的主要因子^[2-4]. 但这些认识主要是基于一些定性的实验和观察, 至今缺乏定量长期的实验资料和数据支持.

遥感技术因其及时广域的特点, 在研究区域、地区范围内生态系统的变化与降雨的关系中已有很多应用. 近年来中分辨率成像光谱辐射计 (MODIS) 因其高时空分辨率、高质量的产品而在生态环境、全球气候变化研究中得到广泛应用. 本文利用 MODIS 归一化植被指数 (NDVI) 以及降雨数据, 分析了贵州省石漠化区植被对降雨变化的响应, 为长期、定量、宏观地了解和研究喀斯特石漠化区植被受干旱胁迫的程度开拓了一种新的便捷方法.

1 数据与方法

1.1 石漠化等级分类图

本文选择喀斯特发育典型且石漠化严重的贵州省作为研究对象. 贵州省 63% 的地貌属于喀斯特类型, 16% 的国土面积已发生不同程度的石漠化, 26% 的面积正面临石漠化的危险 (图 1). 本文采用的 1:50 万贵州省不同石漠化等级分布图由贵州师范大学经过大量实地考察绘制完成的, 石漠化等级的划分方案见文献 [6]. 石漠化区土壤侵蚀强烈, 土层浅薄, 植被覆盖度 < 50%, 岩石裸露 > 35%; 无石漠化区土壤侵蚀不

① 收稿日期: 2008-12-23

基金项目: 中科院知识创新重要方向项目 (KZCX2-YW-306); 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2006CB403200); 国家科技支撑计划重大课题资助项目 (2008BAD98B07).

作者简介: 倪雪波 (1981-), 男, 浙江嘉兴人, 博士生, 主要从事喀斯特石漠化的遥感监测与分析的研究.

通讯作者: 王世杰, 研究员.

明显, 土层厚实, 植被覆盖度 50% 以上.

1.2 NDVI 数据

本文选用与净初级生产力和植被结构都有很好相关性的 NDVI 来表征植被生长. NDVI 由 2000 年 3 月—2004 年 12 月 MODIS 8 天合成的 250 m 红光(620~670 nm)、近红外(841~876 nm)波段地表反射率产品(<http://delenn.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/imswelcome/>)计算获得. MODIS 传感器提供分辨率高(最高 250 m)、少受水汽干扰的窄波段, 其陆地产品经过高精度的定标和大气校正, 8 天合成的反射率产品有效地降低了气溶胶、云、大气组分气体的干扰^[7]. 本文只选用质量控制标志中质量最佳的 MODIS 反射率数据. 为进一步减小残云的污染, 8 天合成的 NDVI 复合成 16 天的合成值, 即选择相邻两个 NDVI 值中的大值表征 16 天内植被的生长状况, 缺损值用前后两个 NDVI 值的平均值替代. 数据经 MODIS Projection Tool 投影转换, 从 Sinusoidal 投影转成 Albers 等面积投影.

1.3 降雨数据

降雨数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)中贵州省及周边云南、广西等省区有直接降雨记录的 33 个基准、标准气象站(图 1), 并运用气象数据空间插值软件 ANUSPLIN 插值 16 天的降雨数据. ANUSPLIN 软件系统以薄盘光滑样条函数为基础, 引入线性子模型, 允许多个独立变量和独立斜变量参与插值, 大大提高了气象要素空间插值的精度, 在时间序列气象要素空间插值中已有广泛的应用. 贵州省年降雨量分布图见图 1.

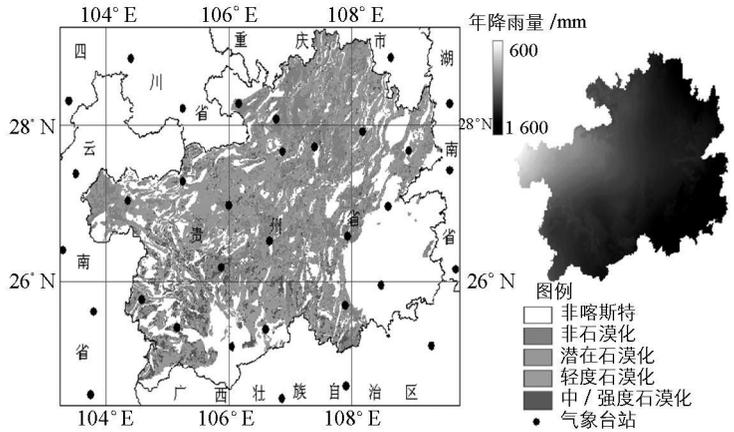


图 1 贵州省石漠化等级分布图及年降雨量分布图

1.4 研究方法

在 Albers 等面积投影下 1 000 m 像元基础上算得降雨、NDVI 相关系数, NDVI 为原始 250 m 像元 4 × 4 的平均值. 根据贵州省的降雨特征, 即使年降雨充沛, 短期的干旱仍频繁发生. 相关系数从变化值算得, 即相邻两个时间段降雨(NDVI)的差值, 并作不同石漠化等级内相关系数的百分比图. 为使各类型间在面积上相近从而便于统计分析, 轻度、中强度、强度石漠化归并为石漠化区, 因此贵州省石漠化类型归并为非喀斯特区、未石漠化区、潜在石漠化区及石漠化区四类, 分别占全省国土面积的 37%、21%、26%、16%. 贵州西北部年降雨量相对全省其它地区较少, 气候性干旱对植被生长的影响也比其它地区明显, 因此研究地质性干旱对植被生长的影响时, 只考虑了年降雨量在 900 mm 以上的区域.

2 结 果

图 2 降雨/NDVI 相关系数分布图中, 亮处即相关性强的区域($\alpha=0.05, n=111, r>0.158$)主要在西北年降雨量较低的区域、东北的乌江上游地区、西南的北盘江流域以及中部以贵阳为中心的城镇区域. 西北地区年降雨量在 900 mm 以下, 降雨量和 NDVI 的相关系数也较其它地区高. 在图 3 的降雨量 200 mm 的阶梯中, 相关系数百分比分布图在 900 mm 以下时, 明显向正值方向偏移; 而随着年降雨量的增加, 百分比曲线左倾, 在年降雨量 1 300 mm 以上已呈正态分布. 乌江和盘江是贵州省的两大主要河流, 其流域也是石漠化比较严重的区域. 在图 4 年降雨量大于 900 mm 区内不同石漠化等级的降雨/NDVI 相关系数

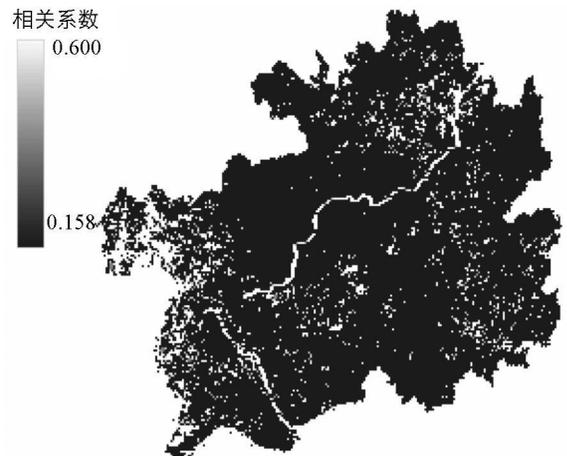


图 2 降雨/NDVI 相关系数分布图($r>0.158, \alpha=0.05, n=111$), 上边河流为乌江, 下边为北盘江

百分比分布图中, 喀斯特区相比非喀斯特区, 百分比曲线向正值偏移, 而随着石漠化的发生, 曲线也向右偏。这表明, 在年降雨量小于 900 mm 时, 气候性干旱影响植被的生长; 当年降雨量大于 900 mm 时, 地质性干旱起主要作用。

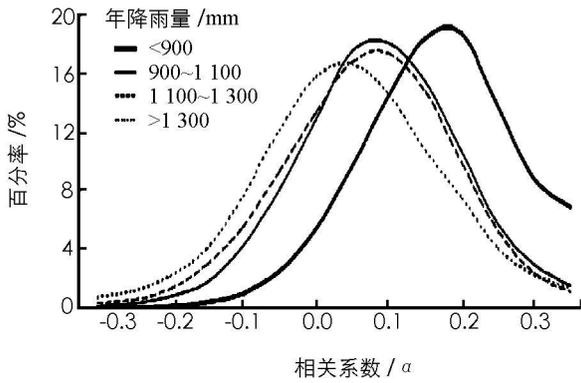


图 3 降雨梯度下的降雨/NDVI 相关系数百分比分布图

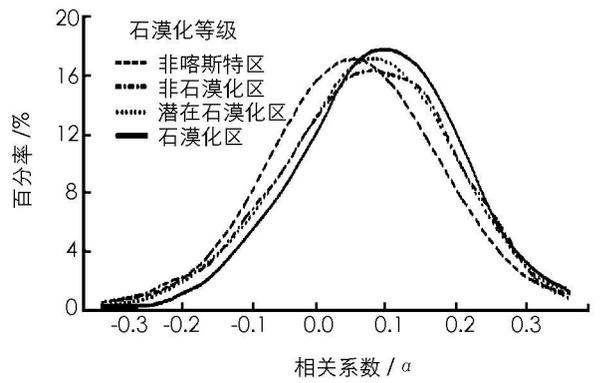


图 4 不同石漠化等级的降雨/NDVI 相关系数百分比分布图

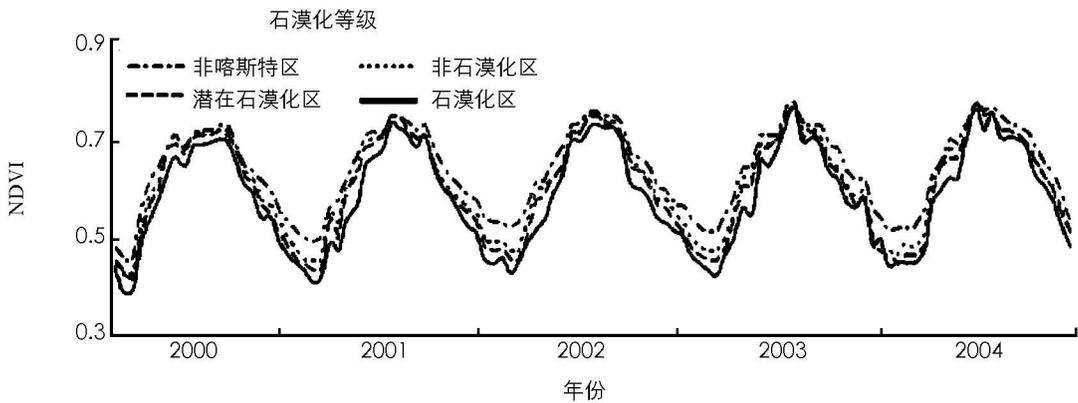


图 5 不同石漠化等级的 NDVI 时间序列

3 讨论

3.1 石漠区土壤蓄水能力下降

喀斯特地区成土困难, 约 2 000~8 000 年才能形成 1 cm 厚的土层, 喀斯特土壤在岩土界面间缺少过渡层, 土体及其容易滑动, 石灰土疏松、渗漏强, 因此西南喀斯特地区是十分脆弱的干旱生境。石漠化发生后, 这种地质性干旱更加明显。随着石漠化的加剧, 土壤沙化, 团粒体结构破坏严重, 毛管孔隙度下降^[8-9], 生物多样性降低^[10], 蓄水能力大大减弱。石漠化过程中, 植被从乔木为主退化为以灌木、草丛为主, 甚至是无植被覆盖的荒漠, 而枯枝落叶的减少会削弱地表的保水性能, 这也影响了石漠化地表的蓄水能力。厚实的枯落物层在干旱时期帮助非石漠化地区维持了表层土壤较高的含水量, 且强化了下层土壤液态水的再分配。对喀斯特地区在干旱期间土壤剖面的含水量研究表明^[11], 以灌木、草丛等低矮、零星分布的植被为主的石漠化地区, 表层、中间层、深层土壤的含水量比以高大乔木为主的非石漠化地区分别低 65%、48%、26%。因此在以灌木、草丛为主的石漠化地区, 土壤的贮水量下降、贮水时间缩短^[12], 干旱时期植被可利用的水分少, 难以满足其生长需要。

3.2 植被根系对其水分利用的影响

在石漠化地区, 植被主要退化为草丛、灌木等低矮类型, 根系短小, 只能利用土壤浅层的水分, 这也是

石漠化地区对干旱敏感的重要原因。而非石漠化地区, 高大乔木能很好地生长。虽然喀斯特地区土壤相比由其它母岩发育的土壤浅薄, 但在长期的适应过程中, 植被本身形成了石生性、旱生性的特点, 湿润多雨的气候培育了石山上奇特的喀斯特森林。林木因为能利用土壤深处的水分, 所以在干旱季节, 地表缺水的情况下也能生存; 而干旱时节, 越近地表的土壤其水分比非石漠化地区降低得越多, 根系短小的植被不能安全度过少雨的季节。在亚马逊热带雨林地区的研究表明^[6], 森林保存完好的地区因为植被根系深, 能利用土壤深部的水分而在干旱季节也能正常生长; 在伐木严重而转变为农业用地的地区, 因为深根的去, 植被在干旱季节因为不能利用土壤深部的水分, 其生长受到抑制。另一方面, 灌木、草丛因为只能利用土壤浅层的水而加快了水分蒸散, 进而加剧地表的干旱。

4 总 结

西南喀斯特石漠化区是在湿润气候条件下的干旱生境, 这对研究植被的抗旱机理提供了不同于干旱半干旱区的素材。本文利用遥感手段观测了石漠化区植被对降雨变化的敏感性。结果表明, 降雨和 NDVI 相关性强的区域主要集中在西北年降雨量较低的区域, 东北的乌江上游地区、西南的北盘江流域等石漠化十分严重的区域。年降雨量小于 900 mm 时, 气候性干旱影响植被的生长; 当年降雨量大于 900 mm 时, 地质性干旱起主要作用。但年降雨量小于 900 mm 的区域石漠化不是很明显, 使得研究气候性干旱和地质性干旱对植被生长的双重影响受到限制, 因此今后的工作中向此方面突破。

参考文献:

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨 [J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101—105.
- [2] 李阳兵, 王世杰, 熊康宁. 浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究 [J]. 中国岩溶, 2003, 22(1): 24—27.
- [3] 容 丽, 王世杰, 杜雪莲. 喀斯特低热河谷石漠化区环境梯度的小气候效应 [J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1038—1043.
- [4] 黎遗业, 覃朝膺. 广西喀斯特山区石漠化防治的对策和措施 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2008, 33(3): 116—120.
- [5] Justice C O, Townshend R G, Vermote E F, et al. An Overview of MODIS Land Data Processing and Product Status [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1—2): 3—15.
- [6] 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.
- [7] Vermote E F, Saleous N E, Justice C O. Atmospheric Correction of MODIS Data in the Visible to Middle Infrared: First Results [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1—2): 97—111.
- [8] 刘 玉, 李林立, 赵 柯, 等. 岩溶山地石漠化地区不同土地利用方式下的土壤物理性状分析 [J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 142—145.
- [9] 龙 健, 江新荣, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究 [J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 419—427.
- [10] 司 彬, 姚小华, 任华东, 等. 桂西喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(3): 113—118.
- [11] 刘 方, 王世杰, 罗海波. 喀斯特石漠化过程中植被演替及其对径流水化学的影响 [J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 26—32.
- [12] 李阳兵, 谢德体, 魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性 [J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 196—202.

Remote Sensing of Land Sensitivity to Drought in the Karst Regions of Southwest China

NI Xue-bo^{1, 2, 3}, LIU Rong-gao⁴, WANG Shi-jie^{1, 3}

1 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 Puding Comprehensive Karst Research and Experimental Station, Institute of Geochemistry, CAS and Science and Technology Department of Guizhou Province, Puding Guizhou 562100, China;

4 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Rock desertification pervades the karst regions in Southwest China. In spite of a moderate annual precipitation there, temporary droughts occur frequently under the special geological background. In a study reported in this paper, we used Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) 250m Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data from 2000 to 2004 as an indicator of vegetation growth to qualify how vegetation in this region responded to precipitation when rock desertification occurred. Our results suggested that climatic droughts exerted the major influence on vegetation growth under an annual precipitation of < 900 mm, while geological droughts were found to be more influential under an annual precipitation of > 900 mm. A positive correlation was observed between NDVI and precipitation in the rock desertification regions. The typical karst rock desertification regions were largely distributed in the upper reaches of the Wujiang River and the Panjiang River.

Key words: karst rock desertification; vegetation; MODIS NDVI; drought; precipitation

责任编辑 胡 杨