

基于 NDVI 的喀斯特地区植被对气候变化的响应研究

——以贵州省六盘水市为例

张勇荣^{1,3}, 周忠发^{2,3}, 马士彬¹, 张跃红⁴

(1. 六盘水师范学院 环境与资源科学系, 贵州 六盘水 553004; 2. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州省喀斯特山地生态环境国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001; 4. 贵阳市环境信息中心, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 利用 1999—2010 年 SPOT-VGT NDVI 数据, 采用基于像元的相关分析方法, 分析了贵州省典型喀斯特区域植被对气候变化的响应。结果表明, 1999—2010 年研究区气候变化呈冷干趋势, 植被 NDVI 呈恢复趋势; 从区域尺度分析, 研究区植被 NDVI 与气候要素间呈不显著相关关系; 从像元尺度分析, 植被 NDVI 与年均气温和降水量均具有较强的负相关性, 且年均气温的影响力大于年降水量; 由于植被 NDVI 与气候要素存在负相关, 所以气候冷干的变化趋势有利于区域整体植被 NDVI 的恢复; 植被 NDVI 与气候要素的相关性在空间上存在较强的地域性, 进一步证明了植被 NDVI 对气候变化的响应受到地形的强烈影响。

关键词: 喀斯特地区; 气候变化; 像元; 贵州省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0114-04

中图分类号: X948.112, TP79

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.035

A Study on Response of Vegetation to Climate Change Base on NDVI in Karst Region

—A Case Study at Liupanshui City in Guizhou Province

ZHANG Yong-rong^{1,3}, ZHOU Zhong-fa^{2,3}, MA Shi-bin¹, ZHANG Yue-hong⁴

(1. Department of Environment and Resources Science, Liupanshui Normal College, Liupanshui,

Guizhou 553004, China; 2. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou

550001, China; 3. The State Key Laboratory Incubation Base for Karst Mountain Ecology and Environment of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China; 4. Guiyang Environmental Information Center, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Using SPOT-VGT NDVI data from 1999 to 2010, with the method of correlative analysis based on pixels, the response of vegetation to climate change in karst region of Guizhou Province was analyzed. The results showed that; from 1999 to 2010, the climate of the study area changed with a trend of being dry and cold and NDVI recovered. From the aspect of region, there was no significant correlation between NDVI and the climate; while from the aspect of pixels, NDVI was negatively correlated with the annual mean temperature and the annual precipitation, and the influence of annual mean temperature was less than that of the annual precipitation. As NDVI was negatively correlated with climate, the climate changing with a trend of dry and cold had an advantage of the whole vegetation NDVI recovery in the region. The correlation between vegetation NDVI and climate had a strong feature of regionalism in space, which further proved that the response of vegetation NDVI to climate change was strongly influenced by terrain.

Keywords: karst region; climate change; pixel; Guizhou Province

植被是生物圈的主要组成部分之一, 与大气圈、水圈、岩石圈、人类圈构成了一个有机的整体, 其它圈层的变化会不同程度地影响植被的空间特征, 所以植

被在全球变化研究中能够起到“指示器”的作用^[1]。探讨植被与气候变化之间的关系是全球气候变化研究的关键课题^[2], 植被对气候变化响应的研究可以揭

收稿日期: 2013-08-21

修回日期: 2013-09-25

资助项目: 贵州省教育厅自然科学研究项目“六盘水市煤炭资源区地表植被对气候变化的响应”(黔教科 2010098); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB723202); 贵州省科学技术基金[黔科合 J 字(2011)2052 号]; 六盘水市科技局科技创新能力建设项目(52020-2012-04-01-01)

作者简介: 张勇荣(1982—), 女(汉族), 黑龙江省牡丹江市人, 硕士, 副教授, 主要从事环境遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: z918@163.com。

通信作者: 周忠发(1969—), 男(汉族), 贵州省贵阳市人, 教授, 博士生导师, 主要从事地理信息系统与遥感应用研究。E-mail: fa6897@163.com。

示地表各圈层间的相互响应机制,对研究生态环境演变、全球碳循环模式等具有现实意义。遥感数据因其在时间和空间上具备的连续性,被认为是监测全球和区域植被变化最有效的数据源^[3]。归一化植被指数(NDVI)是反映植被覆盖的一个重要指数,其时间序列的变化对应着植被的生长和变化,因而被广泛应用于大尺度植被活动状况的研究^[3-8]。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

贵州省六盘水市位于 $104^{\circ}18'—105^{\circ}42'E$, $25^{\circ}19'—26^{\circ}55'N$,包括钟山区、水城、盘县、六枝4个县(区、特区),总面积 $9\,914.42\text{ km}^2$,是典型喀斯特分布区,喀斯特分布面积占区域总面积的 68.7% 。研究区内地形复杂,以喀斯特山地丘陵地貌为主,地形起伏大,切割强烈,属亚热带季风气候,多年年均气温为 $14.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。平均降水量为 $1\,303.82\text{ mm}$ ^[9]。

1.2 数据来源

所用遥感数据为1999年1月至2010年12月的SPOT Vegetation NDVI逐旬数据,空间分辨率为 1 km 。Vegetation传感器是由欧洲联盟委员会赞助,从1998年4月开始接收NDVI数据^[10]。NDVI数据的处理,选取每年各月内旬数据的最大值作为该月的NDVI值,将一年内各个月的NDVI值的最大值作为该年的NDVI值^[11]。

气象数据来自贵州省气象信息中心和六盘水市气象局的实际监测数据,包括六盘水市域内3个站点及周边10个站点的1999—2010年月平均气温和月降水量数据。采用Kriging方法对气候数据进行空间插值处理,获取像元大小为 1 km ,投影与NDVI数据相同的气候要素空间数据。

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖特征分析方法 采用1999—2010年的NDVI数据研究西南典型喀斯特区域植被覆盖的整体分布情况。NDVI年际变化趋势分析采用空间变异系数,空间变异系数是衡量数据变异程度的统计量,可以很好地反映空间数据在时间序列上变化的差异程度,以变异系数 C_v 值来评价数据时间序列的稳定性。研究采用逐像元计算 C_v 系数,这样可以整体把握喀斯特地区12 a来植被覆盖变化空间格局及分异规律,计算公式为:

$$C_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / 12}}{\bar{x}} \quad (1)$$

式中: x_i ——第 i 年植被年最大NDVI值; \bar{x} ——

1999—2010年植被年最大NDVI的平均值。 C_v 值越大,表明数据分布越离散,NDVI年际变化越大;反之则表明数据分布较为紧凑,NDVI时间序列数据较稳定^[12]。

1.3.2 喀斯特区域植被与气候因子相关分析 首先对1999—2010年研究区的NDVI与年均气温和年降水量进行相关分析,探讨长时间序列的NDVI与气温和降水的相关性。在此基础上完成基于像元的相关分析,对研究区12 a间NDVI数据与温度和降水量的空间插值数据进行逐像元相关分析。这样可以反映出气候因子与NDVI序列的相关程度及其空间分布规律,综合分析植被NDVI对气候因子的响应^[3]。相关系数和偏相关系数计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中: x, y ——两个要素样本值的平均值; r_{xy} ——要素 x 和 y 之间的相关系数,表示这两个要素之间的相关程度的统计指标,其值介于 $[-1, 1]$ 之间。

$$R_{12,3} = \frac{r_{12} - r_{13}r_{23}}{\sqrt{(1-r_{13}^2)(1-r_{23}^2)}} \quad (3)$$

式中: V_1, V_2, V_3 ——1990—2010年的植被年最大NDVI,年均气温和年降水量; r_{12}, r_{13}, r_{23} ——变量之间的相关系数; $R_{12,3}$ ——将变量 V_3 固定后,变量 V_1 与 V_2 的偏相关系数; $R_{12,3} > 0$ 表示正相关,即两要素同向相关; $R_{12,3} < 0$ 表示负相关,即两要素异向相关;偏相关系数越大,说明该像元处二者要素相关性越强^[13]。

2 结果与分析

2.1 研究区气温和降水变化趋势

通过对各观测站获得的气温和降水数据进行时间序列分析。结果表明,1999—2010年研究区年均温平均值为 $14.25\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高值为 $14.58\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2001年),最低值为 $13.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2005年)。

由研究区年均温变化趋势线可见,气温呈下降趋势,变化率为 $-0.0277\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, $R^2 = 0.2179$ ($p < 0.05$)。研究区12 a间年降水量平均值为 $1\,263.02\text{ mm}$,最高值为 $1\,513.90\text{ mm}$ (2000年),最低值为 $1\,041.10\text{ mm}$ (2006年)。呈显著下降趋势, $R^2 = 0.2928$ ($p < 0.05$),其变化率为 -20.459 mm/a 。说明研究区整体气候变化呈冷干趋势。

2.2 植被变化特征分析

通过分析研究区1999—2010年NDVI变化趋势

可以看出,1999—2010 年研究区植被年最大 NDVI 年际变化趋势呈现不显著缓慢上升趋势;具体表现为 3 个阶段:1999—2001 年呈小幅上升趋势,最大 NDVI 值出现在 2001 年,为 0.858 8;2002 年快速下降,NDVI 值为 0.780 3 是整个研究时段内的最低值,2003—2005 年呈快速回升态势,最大值出现在 2005 年,NDVI 值为 0.882 4 是研究时段内的最高值;2006 年以后呈现稳定状态,NDVI 值都保持在 0.8 以上。通过逐像元计算 NDVI 的变异系数,从区域尺度上反映植被年最大 NDVI 的变化情况及分异格局。由研究区 NDVI 变异系数和年际变化空间分布情况可以看出(附图 3),研究区过去 12 a 间,年最大 NDVI 变化较大,大部分区域的空间变异系数在 0.25 以上。

将研究区 2010 和 1999 年最大 NDVI 数据进行相减运算,并按照 NDVI 值 ≤ -0.15 时为重度退化; $-0.15 < \text{NDVI} \leq -0.05$ 为轻度退化; $-0.05 < \text{NDVI} \leq 0.05$ 为基本不变; $0.05 < \text{NDVI} \leq 0.15$ 为轻微改善; $\text{NDVI} > 0.15$ 为高度改善的标准进行重分类^[14],可以得到研究区 12 a 植被变化空间分布图(附图 3)。从整体来看,研究区大部分植被表现为高度改善,面积占研究区总面积的 37.04%。其次是轻微改善,占研究区总面积的 32.61%。基本不变和退化的面积分别占总面积的 19.86%和 10.48%。从空间分布来看,研究区北部水城县和六枝特区大部呈植被恢复状态,而盘县中部、南部呈现不变和退化趋势。

2.3 研究区植被 NDVI 对气候的响应

2.3.1 植被 NDVI 对气温和降水的整体相关性分析 分别对 1999—2010 年的植被年最大 NDVI、年均气温和年降水量进行平均,计算 NDVI 与气温和降水之间的相关系数。结果表明,植被 NDVI 与年均气温间呈负相关关系,相关系数为 $-0.208 3 (p < 0.05)$;植被 NDVI 与年降水量间呈正相关关系,相关系数 $0.318 6 (p < 0.05)$;二者都未呈现出显著的相关性。同时对植被 NDVI 与年降水量和平均气温进行偏相关分析;偏相关系数分别为: $-0.244 47, 0.341 3 (p < 0.05)$,植被 NDVI 与降水量和平均气温的偏相关系数均未超过 0.5。这主要是由于典型喀斯特地区下垫面分异大,在区域尺度下一定水平距离内,植被 NDVI 和气候要素随强烈的地形变化而快速变化,如果忽略地形因素,直接分析区域整体 NDVI 值与气候要素均值的相关关系,实际意义不大,最终造成二者的相关性不显著。

2.3.2 NDVI 与气温和降水的逐像元相关分析 为解决地形对植被 NDVI 与气候要素相关性的影响,采用基于像元的相关分析方法。通过对 1999—2010

年研究区植被 NDVI 与年均温和年降水的空间插值数据进行基于像元的相关分析可知(附图 4),研究区植被 NDVI 与年均温相关系数小于 0 的植被像元面积占研究区总面积的 72.48%,其中相关系数小于 -0.5 的像元占研究区总面积的 29.2%,体现出显著的负相关关系;研究区植被 NDVI 与年降水相关系数大于 0 和小于 0 的植被像元面积分别占研究区总面积的 49.9%和 50.1%,相关系数大于 0.5 和小于 -0.5 的像元分别占研究区总面积的 11.37%和 12.78%,体现出不显著负相关。通过像元水平的相关分析可以看出,植被 NDVI 与年均温和降水量均呈现出一定负相关关系,在气候呈冷干变化趋势的驱动下,有利于区域植被 NDVI 值的提高。为进一步分析气温和降水对植被 NDVI 的影响力,对它们进行基于像元的偏相关分析。结果表明,基于像元计算的植被 NDVI 与年均温的偏相关系数均值为 $-0.285 5$,与年降水量的偏相关系数均值为 $-0.048 01$ 。其中植被 NDVI 与年均温的偏相关系数小于 -0.5 的像元面积占研究区总面积的 33.86%,与年降水量的偏相关系数小于 -0.5 的像元面积占研究区总面积的 19.5%。综合分析,研究区年均温对植被 NDVI 的影响力大于年降水量。植被 NDVI 空间分布与气候要素的相关关系呈显著地域性:与年均温的相关关系水城县南部和盘县以负相关为主,水城县中、北部和六枝特区以不显著负相关和正相关为主;与年均降水量呈负相关,主要分布在水城县和盘县北部地区,正相关主要分布在六枝特区和盘县南部地区;植被 NDVI 与年降水相关系数大于 0.3 的像元有 87.1%分布于海拔 1 400 m 以上的区域。

3 结论

(1) 研究区 1999—2010 年气候变化呈冷干趋势,年均气温变化率为 $-0.027 7 \text{ } ^\circ\text{C/a}$,年降水变化率为 -20.459 mm/a 。12 a 内植被 NDVI 呈整体恢复趋势,植被 NDVI 的空间分布变异系数较大。

(2) 受地形因素影响,区域整体植被 NDVI 最大值和年均温与年降水量均值间相关系数绝对值都未超过 0.5,相关关系不显著。

(3) 通过逐像元相关分析可以看出,研究区植被 NDVI 与年均气温和年降水量的相关呈显著负相关,在气候呈冷干趋势变化下,有利于植被的自然恢复。同时年均温对植被 NDVI 的影响力大于年降水量。

(4) 研究区植被 NDVI 与气候要素的相关系数空间分布具有较强的地域性。与年均温的相关关系水城县南部和盘县以负相关为主,水城县中、北部和

六枝特区以不显著负相关和正相关为主;植被NDVI与年降水量呈显著正相关的区域主要分布在六盘水市北部和中部,海拔一般在1400m以上;呈负相关区域主要分布在六盘水市东部和南部,这些区域地形起伏相对较小。

(5) 本研究针对典型喀斯特地区,在分析区域气候与植被覆盖变化的基础上,从像元尺度研究了植被NDVI与气候要素之间的相关关系,得出了典型喀斯特区域植被对气候变化的响应模式。今后,需开展具体植被类型在不同季节内对气候变化响应的研究,全面剖析喀斯特区域植被与气候间的关系。

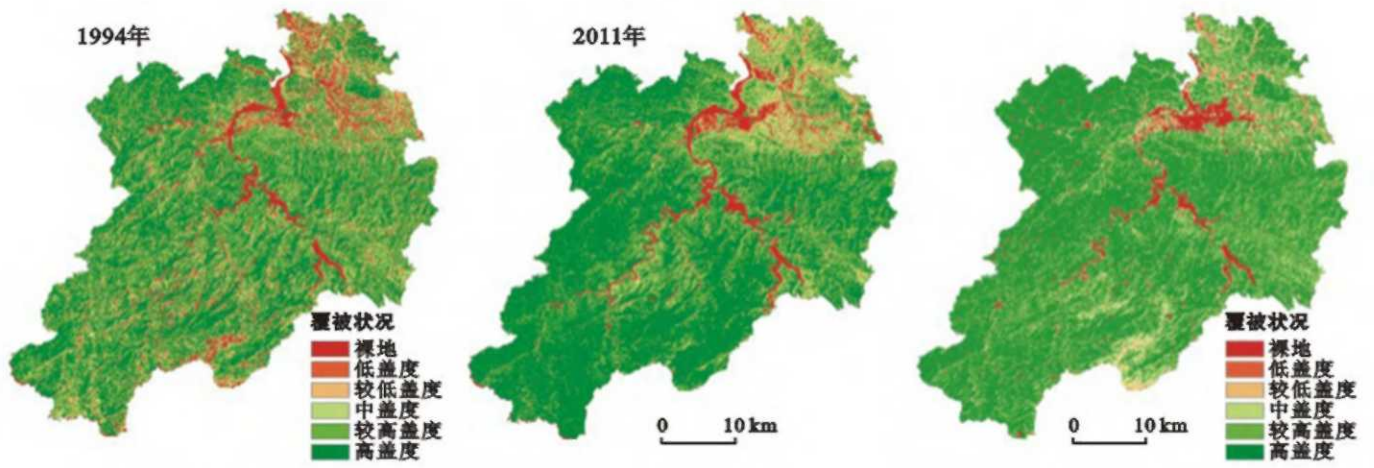
[参 考 文 献]

- [1] 孙红雨,王常耀,牛铮,等. 中国植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于NOAA时间序列数据[J]. 遥感学报, 1998,2(3):204-210.
- [2] 喻梅,高琼,高素华. 全球变化条件下植物个体的生理生态学模型[J]. 植物学报,1997,39(9):811-820.
- [3] 王宗明,国志兴,宋开山,等. 中国东北地区植被NDVI对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2009,28(6):1041-1048.
- [4] 信忠保,许炯心,郑伟. 气候变化和人类活动对黄土高原植被覆盖变化的影响[J]. 中国科学(D辑):地球科学, 2007,37(11):1504-1514.
- [5] 朴世龙,方精云. 最近18年来中国植被覆盖的动态变化[J]. 第四纪研究, 2001,21(4):294-302.
- [6] 毛德华,王宗明,宋开山,等. 东北多年冻土区植被NDVI变化及其对气候变化和土地覆被变化的响应[J]. 中国环境科学,2011,31(2):283-292.
- [7] 蒙古军,王钧. 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[J]. 地理研究,2007,26(5):857-866.
- [8] 李旭谱,张福平,胡猛. 基于SPOTNDVI的植被覆盖时空演变规律分析:以西北五省为例[J]. 干旱地区农业研究,2012,3(5):180-184.
- [9] 贵州省农业地貌区划[M]. 贵州 贵阳:贵州人民出版社,1989.
- [10] Maisongrande P, Duchemin B D, Dedieu G. VEGETATION/SPOT: An operational mission for the Earth monitoring; presentation of new standard products[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004,25(1):9-14.
- [11] 罗玲,王宗明,宋开山,等. 1982—2003年中国东北地区不同类型植被NDVI与气候因子的关系研究[J]. 西北植物学报,2009,29(4):800-808.
- [12] 毛德华,王宗明,罗玲. 基于MODIS和AVHRR数据源的东北地区植被NDVI变化及其与气温和降水间的相关分析[J]. 遥感技术与应用,2012,27(1):77-84.
- [13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2002.
- [14] 神祥金,吴正方,杜海波. 东北地区植被NDVI变化及对气象因子的响应[J]. 东北师大学报:自然科学版, 2013,45(1):123-130.

(上接第113页)

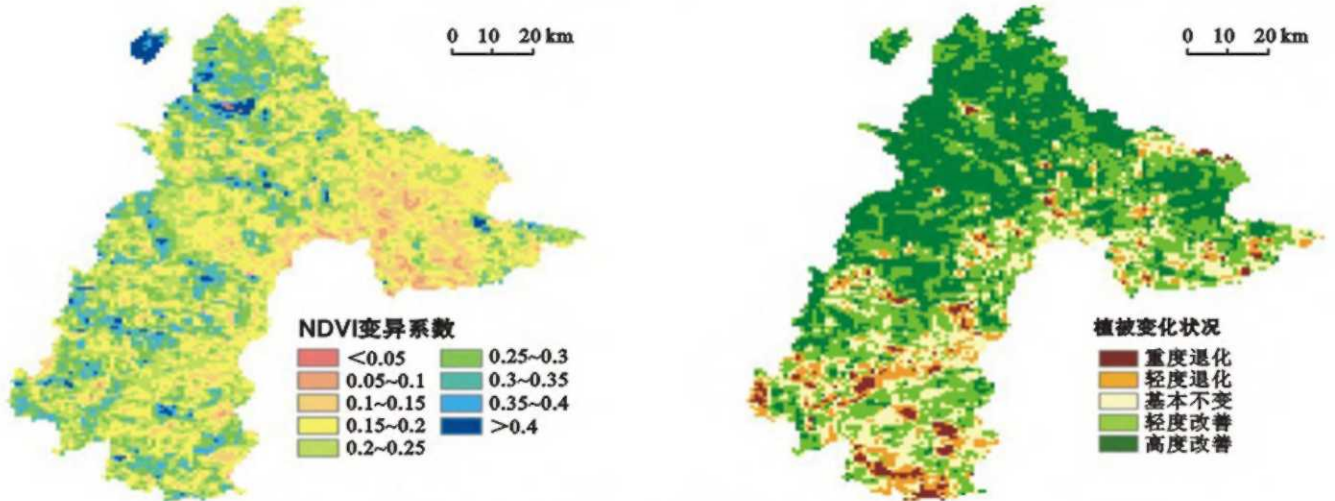
[参 考 文 献]

- [1] 侯钦磊,白红英,任园园,等. 50年来渭河干流径流变化及其驱动力分析[J]. 资源科学,2011,33(8):1505-1512.
- [2] 曹建廷,秦大河,罗勇,等. 长江源区1956—2000年径流量变化分析[J]. 水科学进展,2007,18(1):29-33.
- [3] 王小军,蔡焕杰,张鑫,等. 窟野河季节性断流及其成因分析[J]. 资源科学,2008,30(3):475-480.
- [4] 马文进,慕明清,陈鸿,等. 窟野河产沙特性分析[J]. 人民黄河,2008,30(1):22-27.
- [5] 赵晓坤,王随继. 窟野河洪水特性及变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(4):92-96.
- [6] 王璨,周秀平,王文圣. 窟野河洪水序列变异点综合诊断[J]. 水电能源科学,2012,30(7):50-53.
- [7] 赵晓坤,王随继,范小黎. 1954—1993年间窟野河径流量变化趋势及其影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(5):32-36.
- [8] 裴宇航,孙爽,王春丽,黑龙江省近50年日照时数变化特征分析[J]. 黑龙江农业科学,2012(8):41-43.
- [9] 张群,径流资料系列分析在实践中的运用[J]. 水利科技与经济,2010,16(9):1000-1001.
- [10] Kendall M G. Rank Correlation Measures[M]. London: Charles Griffin, 1975.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [12] 徐宗学,李占玲,史晓崑. 石羊河流域主要气象要素及径流变化趋势分析[J]. 资源科学,2007,29(5):121-128.
- [13] 赵晶,王乃昂. 近50年来兰州城市气候变化的R/S分析[J]. 干旱区地理,2002,25(1):90-95.
- [14] 张晓伟,沈冰,黄领梅. 和田河年径流变化规律研究[J]. 自然资源学报,2007,22(6):975-979.
- [15] Yue S, Pilon P, Phinney B. Canadian streamflow trend detection: Impacts of serial and cross correlation[J]. Hydrological Science Journal, 2003,48(1):51-63.
- [16] 蒋晓辉,谷晓伟,何宏谋. 窟野河流域煤炭开采对水循环的影响研究[J]. 自然资源学报,2010,25(2):300-307.

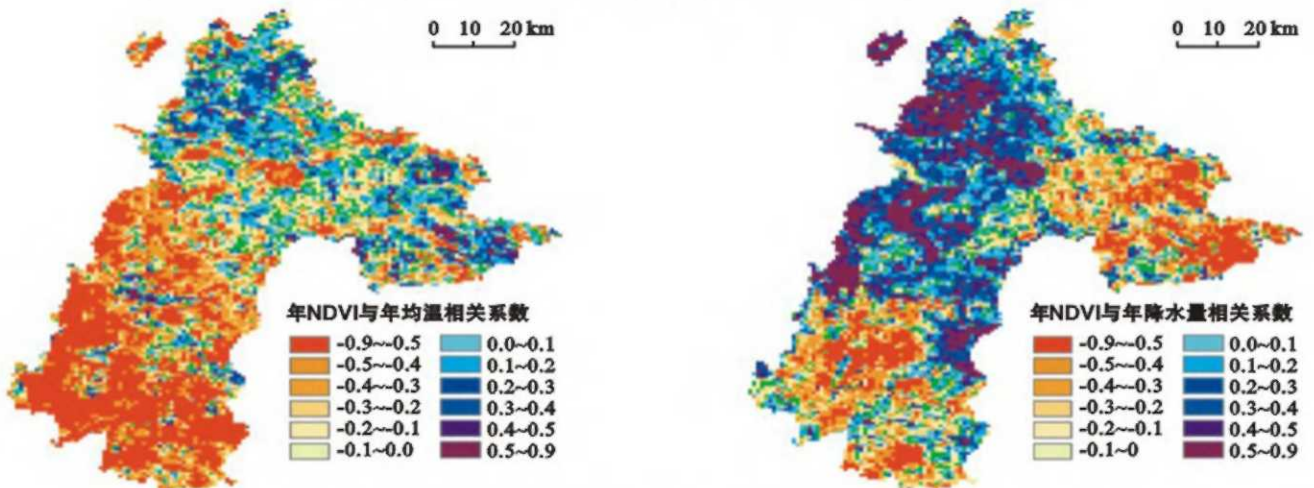


附图1 安徽省霍山县1994和2011年植被覆盖度空间分布

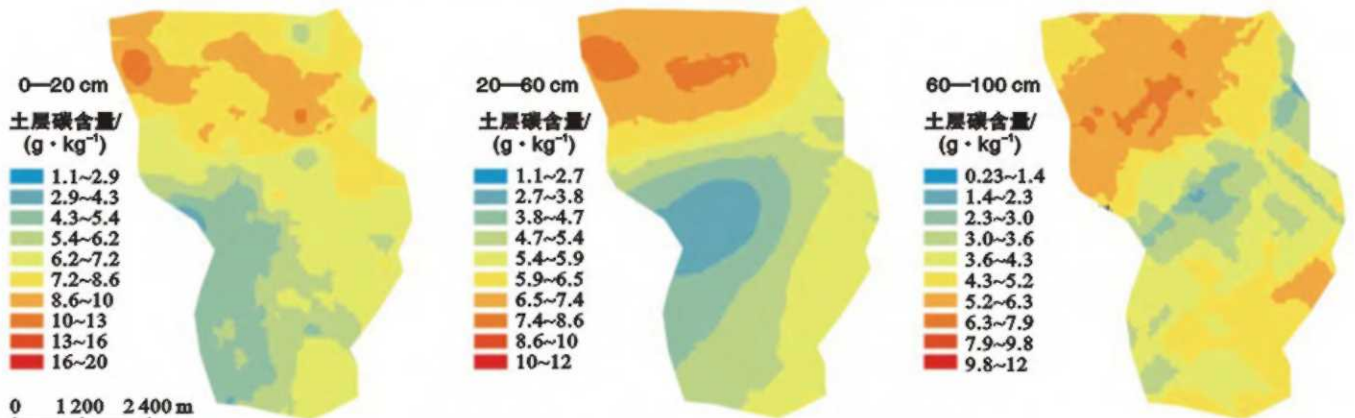
附图2 安徽省霍山县2020年植被覆盖度预测



附图3 贵州省典型喀斯特区域NDVI变异系数和植被变化状况(1999—2010年)



附图4 贵州省典型喀斯特区NDVI与年平均气温和年降水量间相关系数分布(1999—2010年)



附图5 黄花甸子流域各土层土壤有机碳含量分布