

陈旭,王力,朱红春,等.基于 MODIS 时序数据的贵州气候指标与 EVI 相关性研究[J].中国岩溶,2016,35(1):43-50.
DOI:10.11932/karst20160107

基于 MODIS 时序数据的贵州气候指标与 EVI 相关性研究

陈旭^{1,2},王力²,朱红春¹,张苗苗³,牛铮²

(1. 山东科技大学测绘科学与工程学院,山东 青岛 266590;
2. 中国科学院遥感与数字地球研究所,遥感科学国家重点实验室,北京 100101;
3. 山东科技大学数学与系统科学学院,山东 青岛 266590)

摘 要:文章利用 2008 至 2011 年中分辨率成像光谱辐射计(MODIS)250 m 空间分辨率的增强型植被指数(EVI)作为检测植被覆盖程度的指标参数,分析了岩溶石漠化地区与非石漠化地区植被对于气候因子的响应。结果表明:(1)无论是石漠化地区还是非石漠化地区,EVI 在干旱时期和非干旱时期,与气候因子——气温(T)的相关系数 r_{EVI-T} 均大于 0.5($r_F=0.235, \alpha=0.05$),二者表现为显著相关;(2)在非石漠化地区,EVI 在干旱时期和非干旱时期与气候因子——降水量(P)的相关系数 r_{EVI-P} 为 0.234、0.212,两者表现出不显著相关,但在石漠化地区则表现为相反的情况;(3)在干旱发生之后的一年时间,EVI 在石漠化和非石漠化地区都与降水量有显著相关性,其相关系数 r_{EVI-P} 分别为 0.516 和 0.489。

关键词:岩溶石漠化;气候因子;增强型植被指数(EVI);干旱

中图分类号:X87;X171 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-4810(2016)01-0043-08

0 引 言

石漠化是指在岩溶脆弱生态环境下,由于人类不合理的社会经济活动而造成的人地矛盾突出,植被破坏、水土流失、土地生产力衰退丧失,地表呈现类似荒漠景观的岩石逐渐裸露的演变过程^[1]。岩溶石漠化被称为我国西南地区的“头号生态危机”,严重影响我国社会经济发展和人民生活以及生态环境^[2-3]。近几年由各种原因造成的干旱时期和干旱程度都要比前些年多,所以有必要进一步理清西南岩溶石漠化地区植被对目前这种干旱气候模式的响应。

遥感技术作为现代化的对地观测手段,其具有获取信息速度快,周期短的特点,已被广泛应用到各个领域,目前利用遥感手段研究石漠化问题的也越来

越多。王月容等^[4]基于遥感资料、典型样点调查数据及社会公共数据,采用将物质质量转化为价值量的方法,估算和评价了贵州省石漠化地区的有机质生产、固碳释氧、水土保持、营养物质积累、生物多样性保育及景观游憩 6 项核心生态价值的损失,其研究结果表明贵州省各州市生态价值损失量变幅在 12.92~56.57 亿元/年之间,生态价值损失量大小依次为毕节地区>黔南州>遵义市>黔西南州>安顺市>铜仁地区>六盘水市>黔东南州。涂杰楠等^[5]以云南省鹤庆县为研究区,采用 2011 年 RapidEye 多光谱遥感影像,在对灰岩与针叶林—草体混合标准光谱曲线及不同裸岩率亮度值剖面曲线分析的基础上,运用波段比值法和密度分割法,结合野外现场踏勘和地理底图,开展大比例尺石漠化遥感解译,其研究结果表明

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)(2014AA06A511);国家科技重大专项(14CNIC-032079-32-02);面上项目:基于高分辨率逐日模拟遥感数据的农作物物候参数精确提取研究(41371358)

第一作者简介:陈旭(1991-),男,硕士,主要从事石漠化地貌遥感分析。E-mail:chxu0523@163.com。

通讯作者:朱红春(1977-),男,副教授,主要从事 DEM 数字地形分析。E-mail:sdny_xa@163.com。

收稿日期:2015-09-15

文章采用的方法可有效运用于大比例尺岩溶石漠化信息的提取。植被研究方面,主要是利用植被指数(NDVI)和植被净第一性生产力(NPP)等参数来分析研究其实验区的植被变化情况。国内外利用 NDVI 来研究植被与地表温度、降水的关系的相关研究有很多。例如,蒙古军等^[6]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,我国西南岩溶区植被变化对气候变化的响应。王玉娟等^[7]在光能利用率原理基础上,对 CASA 模型中的水分胁迫因子进行改进,将土壤水分含量作为一个直接变量引入模型,建立起针对于黔中部岩溶区植被的 NPP 估算模型,并与土壤水分层均衡模型进行有效耦合,得到模型所需的土壤水分含量,在此基础上,依托遥感和 GIS 手段,将模型扩展到区域尺度上,模拟出黔中部岩溶区 2005 年 10 月—2006 年 5 月月尺度上的植被净第一性生产力动态变化特征,并以实测值进行了验证。张勇荣等^[8]利用 1999—2010 年 SPOT-VGTNDVI 数据,采用基于像元的相关分析方法,分析了贵州省典型岩溶区域植被对气候变化的响应,结果表明,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。国外学者研究植被与气候的研究很多,但是针对岩溶区的相对较少。例如,P. A. SCHULTZ 和 M. S. HALPERT^[9]利用全球植被指数 NDVI、降水和地表温度数据,分析得出了三者之间的相关关系。Julio Cañón 等^[10]利用植被指数 NDVI 分析了科罗拉多河流域植被对降水和气温的响应。

NDVI 本身存在一定的缺陷,如大气噪声、土壤背景、饱和度等问题。在继承了 NDVI 的优点并对其缺点进行了改进之后,有关研究者提出了增强型植被指数(Enhanced Vegetation Index, EVI)^[11],但利用 EVI 时间序列数据开展植被与气候相关性的研究较少。本文利用 MODIS 250 m 增强型植被指数(EVI)以及贵州省地面气象站的气温、降雨数据,分析了贵州省岩溶石漠化地区植被对气候的响应,以期干旱时期石漠化治理与保护方案提供依据。

1 研究区概况

贵州省为岩溶发育典型并且石漠化严重的区域(图 1),位于我国西南部,103°36′~109°35′E、24°37′~29°13′N 之间,地处云贵高原东部,地势西高东低,

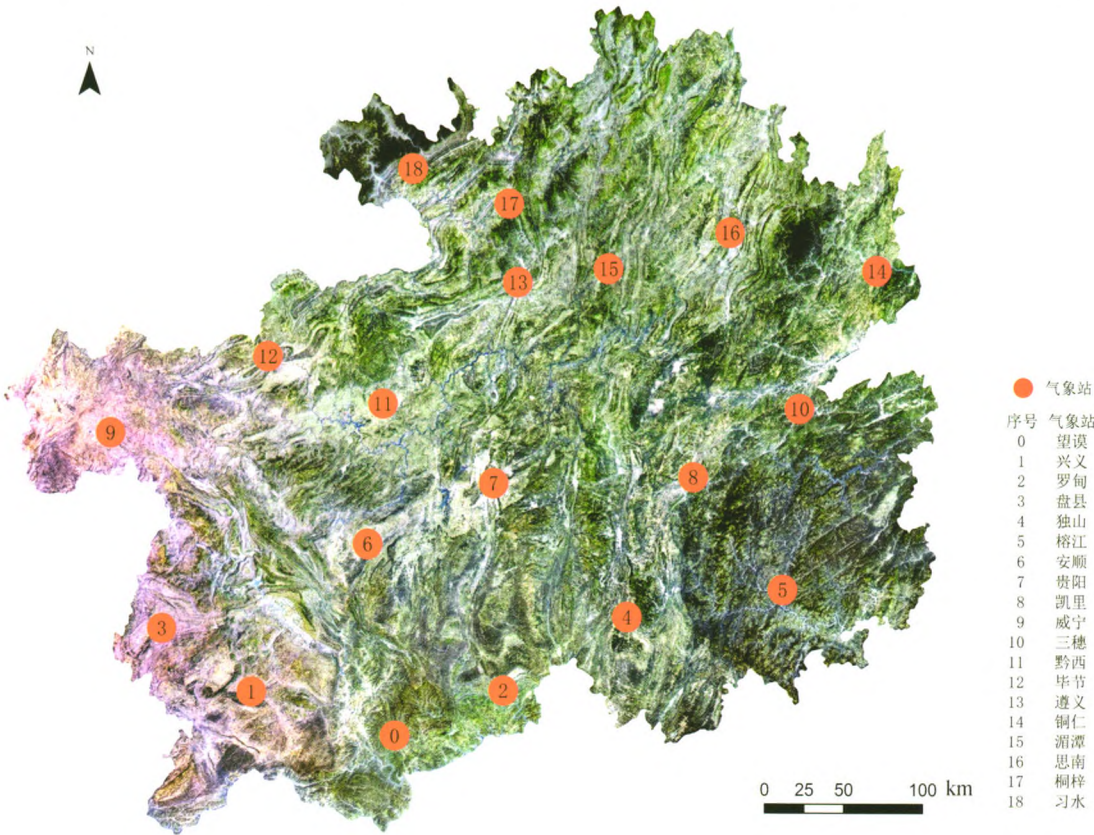


图 1 贵州省遥感影像和气象站点分布图

Fig. 1 Guizhou Province's remote sensing image and the meteorological sites map

自中部向北、东、南三面倾斜。全省土地总面积为 $17.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占全国土地面积的 1.8%。其中岩溶面积为 $11.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省国土面积的 64.2%, 岩溶石漠化面积为 $3.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省国土面积的 18.8%, 占岩溶区总面积的 29.2%, 潜在石漠化土地 $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占岩溶地区土地面积的 23%; 非石漠化土地 $5.4 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占岩溶地区土地面积的 48%^[12]。贵州属亚热带高原季风气候区, 大部分地区年平均气温 15℃左右, 年降水量 1 300 mm 左右, 日照时数全年约 1 300 h, 具有雨热同季的特点。实验点的选择基于全省有直接降雨记录的 19 个基准、标准气象台站(中国气象数据网 <http://data.cma.gov.cn/>)。其中站点是否是石漠化地区的判断标准参照熊康宁等^[1](表 1)。

表 1 试验点的基础状况
Table 1 Basic condition of sites

序号	气象站	经纬度/°	石漠化程度
0	望谟	106.35E, 25.22N	重度
1	兴义	105.18E, 25.43N	重度
2	罗甸	106.77E, 25.55N	轻度
3	盘县	104.45E, 25.75N	中强度
4	独山	107.55E, 25.83N	轻度
5	榕江	108.53E, 25.97N	无
6	安顺	105.92E, 26.25N	轻度
7	贵阳	106.72E, 26.58N	无
8	凯里	107.98E, 26.61N	无
9	威宁	104.28E, 26.87N	轻度
10	三穗	108.67E, 26.97N	无
11	黔西	106.02E, 27.03N	中强度
12	毕节	105.28E, 27.30N	轻度
13	遵义	106.88E, 27.71N	无
14	铜仁	109.18E, 27.72N	无
15	湄潭	107.47E, 27.77N	无
16	思南	108.25E, 27.95N	无
17	桐梓	106.83E, 28.13N	无
18	习水	106.22E, 28.33N	无

2 研究方法 with 数据来源

2.1 EVI 计算模型与数据获取

本文定量评价石漠化所采用的指标是增强型植

被指数 EVI。其计算公式为：
$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{Red} - C_2 \rho_{Blue} + L}$$
 (1)

其中, ρ_{NIR} 、 ρ_{Red} 、 ρ_{Blue} 分别为近红外、红光和蓝光波段的表观反射率或者方向反射率, L 为土壤调节参数, C_1 和 C_2 是大气调节参数, G 为增益系数。在 EVI 计算中, 通常取 $L=1$, $C_1=6$, $C_2=7.5$, $G=2.5$ ^[13]。

对于 MODIS 数据, 将(1)式中的近波长外波段、红光波段和蓝光波段换为对应的 BX1、BX2 和 BX3, 则计算公式为:

$$EVI = G \frac{BX1 - BX2}{BX1 + C_1 BX2 - C_2 BX3 + L}$$
 (2)

由于现在 EVI 数据已经作为 EOS—MODIS 的 2 级标准数据产品由 NASA 在其官方网站上发布, 因此, 本研究直接采用了从该网站下载的 EVI 数据, 而自己不再计算。

EVI 数据的获取是通过 NASA 数据官网(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>)下载。数据的预处理是通过 MRT (Modis Reprojection Tool) 来完成, 包括波段提取, 重采样, 投影转换。然后采用了国际通用的最大值合成 (Maximum Value Composite, MVC) 法, 选取每年各月内数据最大值作为该月的 EVI 值。该法可以进一步消除云、大气、太阳高度角等的部分干扰。

$$EVI_{Mi} = \max(EVI_{ij})$$
 (3)

其中: EVI_{Mi} 代表第 i 个 16 d 周期的 EVI 最大化合成值, EVI_{ij} 代表第 i 个 16 d 周期内第 j 天的 EVI 值^[14]。

降水和气温数据是通过中国气象数据网查询获取。

2.2 相关分析

2010 年春季西南地区发生大旱, 贵州省从 2009 年秋季开始就出现旱情。为了使实验数据在时间序列上保持一致性, 本文以 2009 年秋季至 2010 年春季作为干旱时间段, 以 2008 年秋季至 2009 年春季和 2010 年秋季至 2011 年春季作为非干旱时间段。对以上时间段内的 EVI 和气温、降水量分别进行相关性分析。

相关系数的计算公式为:

$$r_{ET} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}$$
 (4)

$$r_{EP} = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (5)$$

其中, E_i 、 $\bar{E}$ 是 EVI 的数据值和平均值, T_i 、 $\bar{T}$ 是气温的数据值和平均值, P_i 、 $\bar{P}$ 是降水的数据值和平均值, r_{ET} 、 r_{EP} 分别为 EVI 与气温和 EVI 与降水的相关系数。

3 结果与分析

为了研究石漠化地区植被对干旱气候的响应,本文选取降水和气温作为表征气候的因子,分别与表征植被覆盖程度的 EVI 做相关性分析。首先,将贵州省的 19 个基准气象站点的矢量数据与 EVI 栅格数据相叠加,提取出站点对应栅格的 EVI 时间序列(干旱时期、非干旱时期)数据值。然后利用统计分析软件 SPSS 做相关性分析,得出 EVI 与气温和 EVI 与降水量的散点图和相关系数。

3.1 研究区 EVI 对气温的响应

以 EVI 为纵坐标,月均温(T)为横坐标做相关性分析,得出两者之间的散点图(图 2)和相关系数 r 以及相关系数的 F 检验(表 2)。

表 2 研究区 EVI 与气温(T)的相关系数
Table 2 The correlation coefficient between EVI and temperature(T) in the study area

	石漠化区域	非石漠化区域
干旱时期	$r=0.624, r>r_F$	$r=0.571, r>r_F$
非干旱时期(08.09—09.03)	$r=0.644, r>r_F$	$r=0.664, r>r_F$
非干旱时期(10.09—11.03)	$r=0.761, r>r_F$	$r=0.580, r>r_F$

注:显著性水平 $\alpha=0.05$,通过查表所得此显著性水平下的 r_F 值为 0.235。

通过纵向对比发现,在石漠化地区,干旱时期 EVI 与月均温的相关系数 r 为 0.624,非干旱时期的相关系数 r 分别为 0.644 和 0.761;在非石漠化地区中,干旱时期 EVI 与月均温的相关系数 r 为 0.571,非干旱时期的相关系数 r 分别为 0.664 和 0.580。这就说明无论是石漠化地区还是非石漠化地区,EVI 对气候因子月均温的响应都不会受到干旱的影响,始终具有很强的相关性。

通过横向的对比发现,在干旱时期,非石漠化地

区与石漠化地区的 EVI 与月均温的相关系数 r 分别为 0.571 和 0.624;在非干旱时期,非石漠化地区与石漠化地区的 EVI 与月均温的相关系数 r 分别为 0.664 和 0.644、0.580 和 0.761。这就说明同一时期,无论是干旱时期还是非干旱时期,石漠化地区植被和非石漠化地区植被一样,都对月均温有明显的响应,表现出很好的相关性。分析其原因主要是由于月均温的升高可以促进植被的光合作用,对植被的生长有利,使 EVI 值升高。

3.2 研究区 EVI 对于降水量的响应

以 EVI 为纵坐标,月降水量(P)为横坐标做相关性分析,得出两者之间的散点图(图 3)和相关系数 r 以及相关系数的 F 检验(表 3)。

表 3 研究区 EVI 与降水量(P)的相关系数
Table 3 The correlation coefficient between EVI and precipitation (P) in the study area

	石漠化区域	非石漠化区域
干旱时期	$r=0.484, r>r_F$	$r=0.234, r<r_F$
非干旱时期(08.09—09.03)	$r=0.579, r>r_F$	$r=0.212, r<r_F$
非干旱时期(10.09—11.03)	$r=0.516, r>r_F$	$r=0.489, r>r_F$

注:显著性水平 $\alpha=0.05$,通过查表所得此显著性水平下的 r_F 值为 0.235。

通过横向对比发现,在干旱时期(图 3A,a),石漠化地区和非石漠化地区 EVI 与月降水量的相关系数 r 分别为 0.484 和 0.234,在非干旱时期(图 3B,b)对应相关系数 r 分别为 0.579 和 0.212。这种明显的差异性说明石漠化地区植被对于降水相比非石漠化区域有很好的响应,也就是说降水是影响石漠化区域植被的一个关键因素。这是因为石漠化地区由于植被的退化,土壤沙化,团粒体结构破坏严重,毛管孔隙度下降^[15-16],多是根系短小的灌木、草丛,利用的都是土壤表层的水分,降水自然就成了这类植被的主要水源之一。非石漠化地区植被完好且根系深,能够利用土壤深部的水分而在干旱季节正常生长,所以其植被对于降水量的响应程度没有那么明显。

在干旱发生后的时期(图 3C,c),在非石漠化地区, EVI 与月降水量的相关系数 r 为 0.489,表现出一定程度的相关性,与石漠化地区相似。这是因为干旱发生之后,当降水发生时,地表雨水能够迅速的对非石漠化地区植被产生影响,植被对于降水的响应也就表现出来。

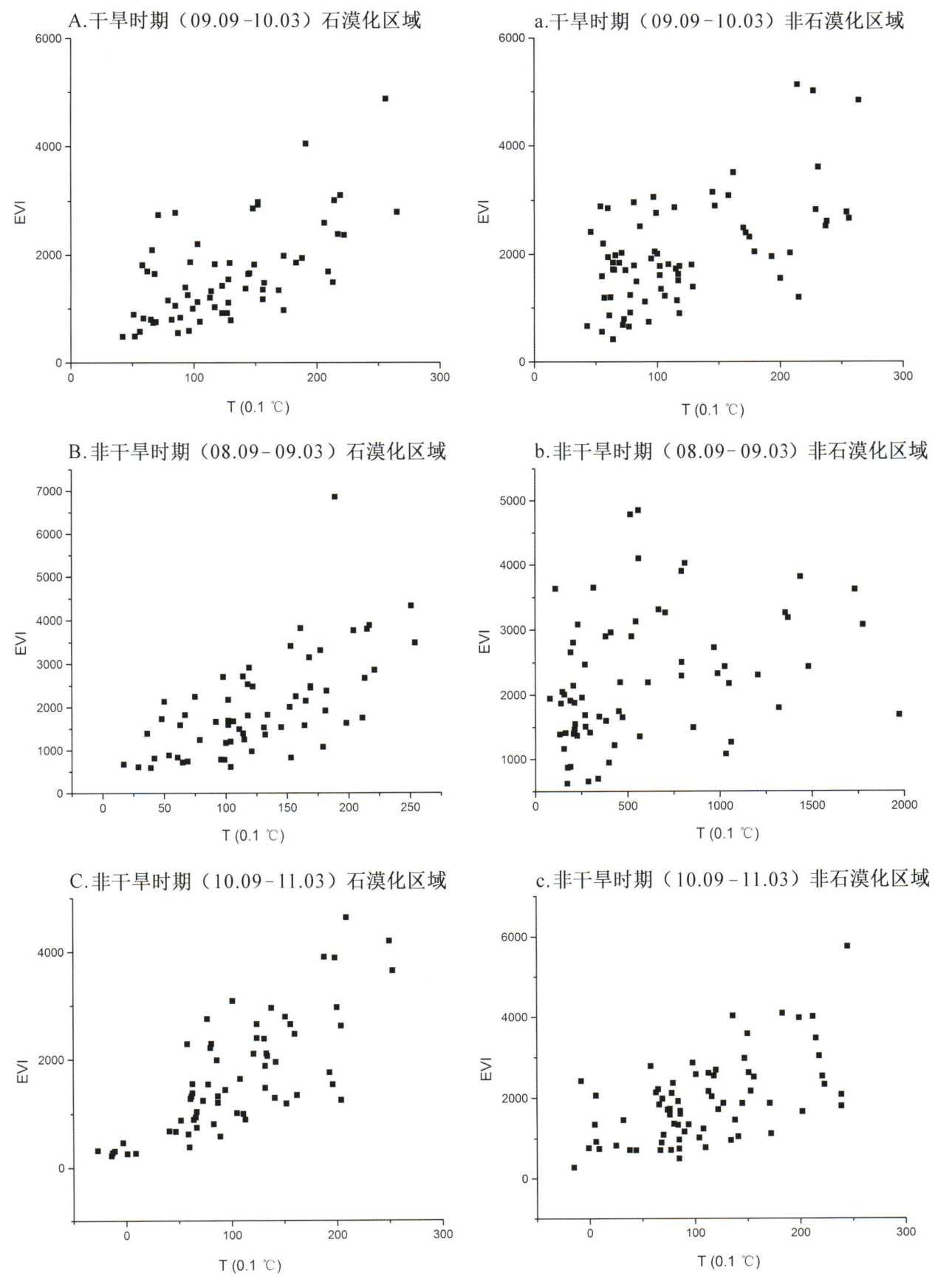


图 2 研究区 EVI 与气温(T)的散点图

Fig. 2 The relationship between EVI and temperature (T) in the study area

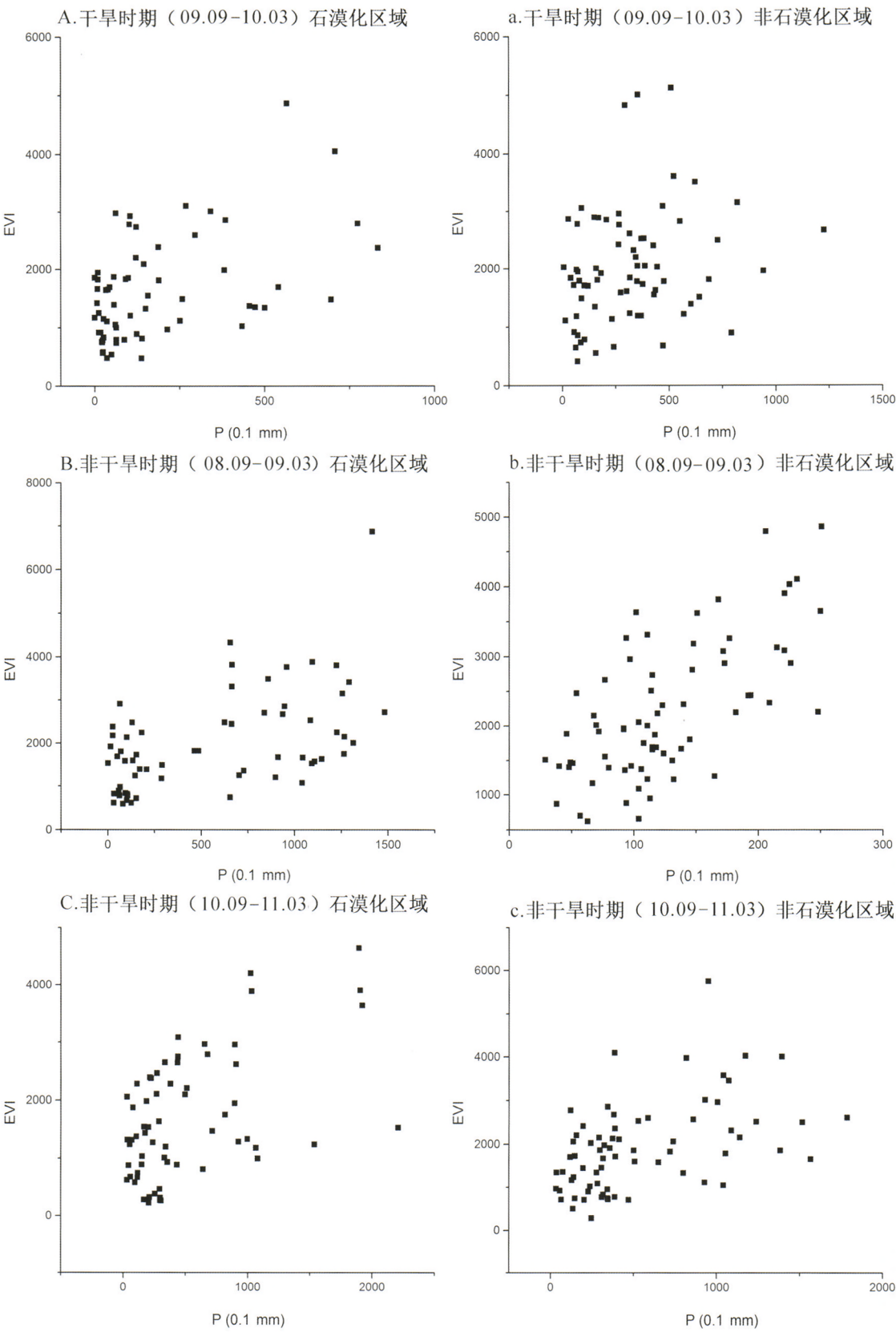


图 3 研究区 EVI 与降水量(P)的散点图

Fig. 3 The relationship between EVI and precipitation in the study area

4 结 论

近年来,我国西南地区经常发生干旱,其干旱程度 and 范围相比往年都有所加重。而干旱加剧了岩溶区植被的退化过程,出现石漠化现象^[17-21]。本文通过对比分析石漠化地区与非石漠化地区植被对于气候因子——气温和降水量的响应,得出以下结论:

(1)无论是干旱时期还是非干旱时期,石漠化地区植被和非石漠化地区植被都对气温有较强的相关性,表现出很好的响应。

(2)石漠化地区植被对于降水量的响应相比非石漠化地区则有所不同:在干旱发生前和干旱发生时期,石漠化地区表现出相关性,而非石漠化地区则表现出不相关性。而在干旱发生之后,在非石漠化地区,EVI与月降水量表现出一定程度的相关性,与石漠化地区相似。

参考文献

- [1] 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[C].北京地质出版社,2002.
- [2] 熊平生,袁道先,谢世友.我国南方岩溶山区石漠化基本问题研究进展[J].中国岩溶,2010,29(4):355—362.
- [3] 张军以,戴明宏,王腊春,等.生态功能优先背景下的西南岩溶区石漠化治理问题[J].中国岩溶,2014,33(4):464—472.
- [4] 王月容,卢琦,周金星,等.贵州省岩溶石漠化地区生态服务价值损失评估[J].中国岩溶,2013,32(1):88—94.
- [5] 涂杰楠,杨亮,梁丽新,等.基于RapidEye遥感影像的比值密度分割法在岩溶石漠化调查中的应用:以云南鹤庆县为例[J].中国岩溶,2015,34(3):298—307.
- [6] 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—865.
- [7] 王玉娟,杨胜天,吕涛,等.喀斯特地区植被净第一性生产力遥感动态监测及评价:以贵州省中部地区为例[J].资源科学,2008,30(9):1421—1430.
- [8] 张勇荣,周忠发,马士彬,等.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[J].水土保持通报,2014,34(4):114—117.
- [9] P A SCHULTZ, M S HALPERT. Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995,16(15), 2755—2777.
- [10] Julio Cañón, Francina Domínguez, Juan B Valdes. Vegetation responses to precipitation and temperature: a spatiotemporal analysis of ecoregions in the Colorado River Basin[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(20), 5665—5687.
- [11] Huete A, Justice C, Liu H. Development of vegetation and soil indices for MODIS—EOS[J]. Remote Sensing of Environment, 1994,49(3):224—234.
- [12] 贵州省林业调查规划院.贵州省岩溶地区石漠化监测(调查)报告[R].2009.
- [13] R H Waring, N C Coops, W Fan, et al. MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous U. S. A. [J]. Remote Sensing of Environment, 2006,103(2):218—226.
- [14] BRENT N HOLBEN. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986,7(11):1417—1434.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 白晓永,王世杰,陈起伟,等.贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J].地理学报,2009,64(5):609—618.
- [18] 姚永慧.中国西南喀斯特石漠化研究进展与展望[J].地理科学进展,2014,33(1):76—84.
- [19] 屠玉麟.贵州土地石漠化现状及成因分析[C]//李笋.石灰岩地区开发治理.贵阳:贵州人民出版社,1996:110—115.
- [20] 苏维词.中国西南岩溶山区石漠化的现状成因及治理的优化模式[J].水土保持学报,2002,16(2):29—32.
- [21] 王世杰.喀斯特石漠化:中国西南最严重的生态地质环境问题[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(2):120—126.

Correlation between climatic factors and EVI based on MODIS time-series data in Guizhou

CHEN Xu^{1,2}, WANG Li², ZHU Hong-chun¹, ZHANG Miao-miao³, NIU Zheng²

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS, Beijing 100101, China;

3. College of Mathematics and Systems Science, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract To study the response of the vegetation of rocky desertification area to drought climate, this paper was focused on serious rocky desertification of karst development which is typical in Guizhou Province as the

experimental area. Guizhou is located in southwest China, with longitude ranging from $103^{\circ} 36' \text{E}$ to $109^{\circ} 35' \text{E}$ and latitude from $24^{\circ} 37' \text{N}$ to $29^{\circ} 13' \text{N}$. The area is located in the eastern Yunnan—Guizhou Plateau with topographic low in the east and high in the west. The selection of experimental points was based on 19 benchmark standard meteorological stations which have direct rainfall record in the province (Chinese meteorological data network <http://data.cma.gov.cn/>). Wherein the criteria used to adjust that if a site fall in rocky desertification area can be referred to the book of "Remote sensing typical karst rocky desertification—GIS study: A case of Guizhou Province". According to the records, the drought widely occurred in southwest China in the spring of 2010, while it started in the fall of 2009 in Guizhou Province. In order to maintain the consistency of time series experimental data, the drought period is identified as from the fall of 2009 to the spring of 2010, whereas the periods from the fall of 2008 to the spring of 2009 and the autumn of 2010 to the spring of 2011 are not the drought. Using the enhanced vegetation index (EVI) as an indicator of vegetation coverage degree with the data derived from the 2008—2011 moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS, a spatial resolution of 250 m), as well as the average temperature (T) and precipitation (P) of weather station as climate factors, this paper comparatively analyzed the correlation coefficient r and F test results of the vegetation and climate factors in both karst rocky desertification area and the non-rocky desertification one. The results showed that, (1) Whether or not the sites fall in rocky desertification or non-rocky desertification area and the EVI of drought period or non-drought period, the correlation coefficient $r_{\text{EVI-T}}$ between EVI and climatic factors—temperature (T) were greater than 0.5 ($r_F = 0.235, \alpha = 0.05$), which showed significant correlation of the two; (2) In non-rocky desertification area, the correlation coefficient $r_{\text{EVI-P}}$ of EVI in both drought period and non-drought period with the climatic factors—precipitation (P), were 0.234 and 0.212, respectively, which showed non-significant correlation of the both, but the case is contrary in rocky desertification area; (3) In a year after the drought, the correlation of the EVI in rocky desertification and non-rocky desertification regions with precipitation (P) were both significant, with the correlation coefficients $r_{\text{EVI-P}}$ of 0.516 and 0.489, respectively.

Key words karst rocky desertification, climatic factors, enhanced vegetation index (EVI), drought

(编辑 黄晨晖)