

2000—2014年贵州省安顺市 NDVI 变化及其与气温、降水的关系*

李坤龙, 郭 跃

(重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】植被恢复是石漠化治理的核心,研究典型喀斯特石漠化地区植被变化趋势及其与气温、降水的关系,为明确后期植被恢复的重点区域和可利用的关键气候因子提供决策依据。【方法】基于2000—2014年MODIS-NDVI数据集资料,结合相同时期观测的气温与降水数据,运用均值法、趋势线分析法和相关分析法来分析贵州省安顺市NDVI的变化趋势及其对降水和气温的响应特征。【结果】2000—2014年,石漠化严重地区安顺市植被覆盖呈明显的上升趋势;植被覆盖增加的区域主要集中在海拔相对较高且石漠化严重的紫云县和镇宁县,而植被覆盖减少的区域主要分布于北部安顺市西秀区—普定县—平坝县交界沿线以及主要县级行政中心所在地及其周边地区;年均降水量与年均气温对安顺市NDVI的变化影响不大,而在月际NDVI变化尺度上,气温条件则是植被生长的关键因素;NDVI变化对气温和降水均没有明显的滞后效应或滞后时间较短。【结论】在后期安顺市生态修复及石漠化综合治理过程中,应加强对北部植被覆盖减少区域的治理;充分利用气温因子的作用,合理安排植被培育、栽植等管理活动;同时应以创建“国家森林城市”为契机,不断提高植被覆盖水平。

关键词:MODIS-NDVI;石漠化;气温;降水;响应特征;安顺

中图分类号:Q948.112

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2018)05-0120-07

植被是连接土壤、大气和水分等自然地理要素的天然媒介和纽带^[1],在环境演变研究中起着重要指示物的作用^[2]。地表植被在自然生长过程中受到多种气候因子的影响,其中以降水和气温对植被自然动态的影响最为直接^[3-4]。归一化植被指数^[5](Normalized difference vegetation index, NDVI)是遥感影像的近红外波段和红外波段反射率的比值参数,作为植被生长状况和植被覆盖的最佳指示因子,在生态、农业、林业、资源环境等各领域都得到了广泛的实际应用。国内外许多学者从全球和区域尺度上对植被NDVI与降水、气温的响应特征做了大量的研究工作^[6-11]。例如Tucker等人^[12]利用1982—1999年NDVI发现北半球植被活动有增强的迹象,并将该迹象归因于全球变暖;崔林丽等人^[13]研究了中国华东及其周边地区NDVI对降水和气温的季节响应,发现在整个研究区,气温对NDVI的影响比降水对NDVI的影响更大;张勇荣等人^[14]研究基于NDVI的喀斯特地区植被对气候变化的响应,发现植被与气候要素的相关性在空间上存在较强的地域性差异。

贵州喀斯特地区地形条件复杂、石漠化现象突出、生态环境十分脆弱。目前国内学者主要集中在“三北”等大尺度区域上研究NDVI与主要气候因子的响应关系。而对于中小区域尺度研究较少,特别是对下垫面性质独特的典型喀斯特石漠化地区NDVI变化及其与气温、降水关系的研究甚少。安顺市位于黔中-黔西南喀斯特峰林区与黔南-黔西北喀斯特峰丛区的交界地带,当地植被生长在土层稀薄、降水丰沛但地质性缺水严重的特殊自然地理环境中;同时该区还是贵州石漠化现象最为严重的区域,石漠化地区集中分布在安顺市中部、紫云县东部沿线和普定—镇宁—紫云沿线^[15],石漠化土地面积约为安顺市总面积的37.14%。2008年为了遏制石漠化土地的扩张,国务院批复了《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲(2006—2015)》,正式启动了在该地区石漠化综合治理工程的试点,因此研究该地区植被覆盖变化以及它与气温、降水的关系,不仅有助于认识石漠化严重地区植被变化总趋势及区域变化的差异性,而且对分析气候变化背景下影响植被活动的主要气候因子具有重要的理论意义。为此,本研究主要从时间尺度和空间尺度来研究安顺市NDVI时空变化特征及其对主要气候因子的响应,

* 收稿日期:2017-06-18 修回日期:2018-05-24 网络出版时间:2018-09-26 13:25

资助项目:国家科技计划项目(No. 2014BAB03B01)

第一作者简介:李坤龙,男,研究方向为环境灾害与生态保护,E-mail:565201344@qq.com;通信作者:郭跃,男,教授,E-mail:cqguoyue@126.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180926.1325.016.html>

从而揭示植被变化的区域差异性,明确后期该地区植被建设和保护的重点区域及可利用的主要气候因子。

1 研究区概况

安顺市位于贵州省中部偏西,东北距省会贵阳市约 90 km,南部通往黔西南少数民族自治州,西部与六盘水市接壤,向北连接毕节市(封三彩图 1)。该地地理坐标为东经 $105^{\circ}13' \sim 106^{\circ}34'$,北纬 $25^{\circ}21' \sim 26^{\circ}38'$,全境海拔高度约为 500~1 800 m,属典型的高原型亚热带季风湿润气候,年均降水量约为 1 250 mm,年均气温 16.9°C 左右,常年相对湿度 80%。该市全年有 9 个月平均气温在 10°C 以上,森林覆盖面积较大。整个研究区总面积约为 $9\,267\text{ km}^2$,是黔中经济开发区重要的极点城市。该市位于乌江与北盘江的分水岭区域,生态环境十分脆弱,山高坡陡,地表破碎且石漠化现象突出。

2 数据来源与计算方法

本研究基础数据为 2000—2014 年逐月的分辨率为 1 km 的 MODIS-NDVI 数据集和公里格网降水与气温数据,所有数据均来自于国家地球系统科学数据共享平台——西南山地数据资源点(www.geodata.cn)。首先使用 MRT 软件将 MODIS 数据转换为通用的横轴墨卡托投影(UTM),并进行格式转换、图片镶嵌及质量检验等预处理工作;再利用 ArcGIS 软件裁剪出该地区的 MODIS-NDVI 数据集。采用国际上通用的最大合成值法(Maximum value composites, MVC)^[16]进行年最大值合成,提高数据集的真实可靠性。利用该区域的气象数据统计出年均气温及年均降水量,采用泰森多边形法^[17],将各气象数据转化为面值气象数据与 NDVI 值相匹配。

本研究采用的计算方法如下。

1) 均值法:将某时间间隔内的植被 NDVI 数据求平均值,以期能减少或者消除异常状态对植被生长状态监测的影响。

2) 趋势线分析法:可以求出研究时段内的各年最大合成 NDVI 的变化趋势。

3) 相关分析法:计算各月、各年的平均 NDVI,将相对应时间内的降水量及气温要素进行相关性分析^[18]。

3 结果与分析

3.1 NDVI 变化

3.1.1 NDVI 年均值变化 根据 NDVI 数据集可得到 2000—2014 年年均 NDVI 变化图(图 2),分析可得:2000—2014 年安顺市 NDVI 呈波动上升趋势^[19]。其中 2000 年年均 NDVI 最低,2014 年年均 NDVI 最高,2000—2005 年年均 NDVI 增长较缓慢,2006—2010 年年均 NDVI 增长较平稳,而在 2011 年后年均 NDVI 则一直处于高水平阶段。

3.1.2 NDVI 水平空间变化 选取 2000—2014 年中具有代表性年份即

2000 年、2005 年、2010 年和 2014 年的同期 NDVI 数据集(封三彩图 3)进行对比研究。根据相关变化特征可将 2000—2014 年 NDVI 的水平空间变化划分为 3 个阶段:2000—2005 年为第 1 阶段,特点为低值区显著减少而高值区相对稳定;2005—2010 年为第 2 阶段,特点为低值区进一步减少而高值区显著增加;2010—2014 年为第 3 阶段,特点为高值区进一步增加而低值区逐渐趋于稳定。研究发现,2000 年时低值区大面积集中分布于安顺市西秀区、紫云东部沿线和普定—镇宁—紫云沿线地区,上述地区是石漠化治理的重点区域,除西秀区外均为安顺市石漠化主要分布区^[15],高值区主要零星分布于研究区南北两侧及偏西地区;到 2005 年时,低值区域面积迅速减少,高值区面积有一定程度的增加;到 2010 年时低值区基本呈点状零星分布于西秀区及普定县南部地区,高值区主要集中分布于镇宁—紫云沿线地区;到 2014 年时低值区趋于稳定,而高值区进一步扩大,除上述镇宁—

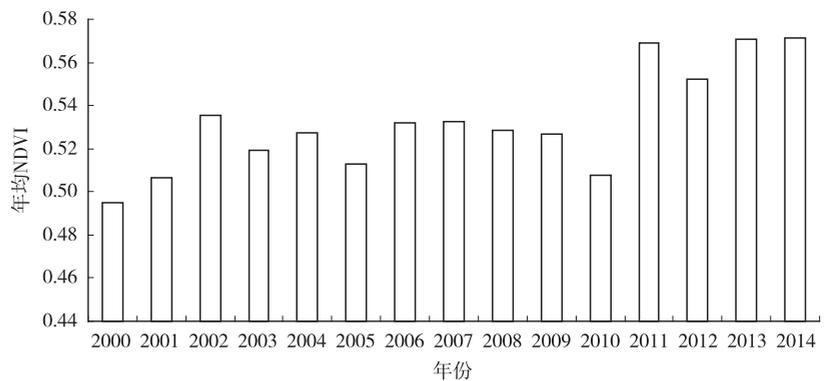


图 2 2000—2014 年安顺市年均 NDVI 变化

Fig. 2 Annual variation of NDVI in Anshun city from 2000 to 2014

紫云沿线地区外, 普定县和平坝县北部及关岭县中西部地区植被覆盖状况良好。

3.1.3 NDVI 变化趋势的空间特征 利用趋势线分析法模拟了研究区 NDVI 随时间的变化趋势(封三彩图 4), 并根据一般原则及研究区实际情况, 发现 2000—2014 年间当趋势系数 $K > 0.003 3$ 时植被覆盖处于增加趋势, 当 $K > -0.001 7$ 时植被覆盖处于减少趋势(表 1)。

综合封三彩图 4 和表 1 分析可得:

2000—2014 年整个研究区 NDVI 呈现出

明显的上升趋势, 植被覆盖状况明显提高, 但是植被变化存在显著的地区差异。植被覆盖增加的区域占安顺市总面积的 39.93%, 主要分布在前期石漠化较严重的紫云县和镇宁县, 表明石漠化治理取得了一定成效。植被覆盖减少的区域占安顺市总面积的 15.62%, 主要位于安顺市西秀区—普定县—平坝县沿线。与植被覆盖增加显著的紫云县和镇宁县相比, 该区域是安顺市城镇、人口和交通道路网密集地区, 植被变化受人为负向干扰活动的影响较大^[20], 导致了该区域的石漠化治理措施收效不明显。植被覆盖基本没有变化的区域占安顺市总面积的 44.45%。虽然整个研究区总体上植被覆盖恢复良好, 但是在部分地区也出现植被减少的现象。这应是随着城市化、工业化进程加快而城市周边土地利用结构的转型加速所致。例如研究区北部的安顺市区为主要的植被减少区。随着城市的发展, 受交通线路建设等活动的影响, 植被减少地区面积有明显扩大的趋势, 这一特征在安顺市下辖各县级行政单位所在地及其周边地区表现十分突出。因此后期研究区植被恢复应采取分类差异化治理, 重视对人为负向干扰强烈的石漠化地区植被的恢复工作。

3.2 降水和气温分布的空间分布特点

安顺市 2000—2014 年年均降水量、年均气温如封三彩图 5 所示。由该图可知, 研究区年均降水量差别比较大, 最高为 1 465 mm, 最低为 891 mm, 年均降水量为 1 237 mm; 年均气温最高为 17.6 °C, 最低为 16.4 °C。在空间分布上, 降水量多的区域主要分布在镇宁、紫云两县南部地区及关岭县中部地区和镇宁、紫云两县北部; 北部的普定、平坝两县及安顺市区北部降水量最少, 且低值区具有明显的集聚性。年均气温的空间变化与年均降水量的空间分布总体上具有较高的相似性, 镇宁县南部地区及它与关岭县交界处为平均气温最高处, 研究区北部地区为年均气温低值区, 有一定程度的集聚性趋势。

3.3 NDVI 与降水、气温关系

3.3.1 年均 NDVI 与降水、气温关系 通过分析图 6, 可知年均 NDVI 曲线的变化趋势与年均气温、年均降水量的变化趋势并不完全一致。进一步以年为单位, 分别计算 2000—2014 年年均 NDVI 与年均降水量、年均气温的线性相关系数及偏相关系数, 再利用 t 统计量检验偏相关系数的显著性。对研究区进行统计, 发现年均 NDVI 与年均降水量呈低度负相关; 而年均气温在年际变化尺度上与 NDVI 不相关。因此从整体上来看降水与气温在年际变化尺度上对安顺市年均 NDVI 的变化影响不大, 这也与童晓伟等人^[21]研究桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应, 所得到年均气候因子对植被变化的作用不明显这一结论相符。

3.3.2 月均 NDVI 与降水、气温关系 通过分析 2000—2014 年中具有代表性年份即 2000 年、2005 年、2010 年和 2014 年月均 NDVI 与月均气温、月均降水量变化趋势, 可以看出月均 NDVI 与月均降水量变化趋势明显不一致, 而月均 ND-

表 1 2000—2014 年安顺市 NDVI 变化趋势结果统计

Tab. 1 Statistics of the change trend of NDVI in Anshun city from 2000 to 2014

类型	K 值变化范围	面积所占百分比/%
显著减少	-0.022 3~-0.003 7	7.97
轻微减少	-0.003 7~-0.001 7	7.65
基本不变	-0.001 7~0.003 3	44.45
轻微增加	0.003 3~0.007 1	31.12
显著增加	0.007 1~0.198 0	8.81

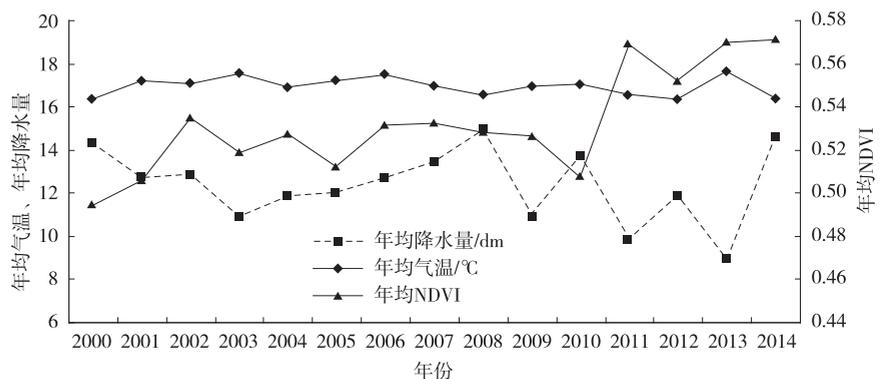


图 6 2000—2014 年安顺市年均 NDVI 与年均气温、年均降水量变化趋势

Fig. 6 The trend chart of annual average NDVI and annual average temperature and annual average rainfall in Anshun city from 2000 to 2014

VI 与月均气温的变化趋势较为接近(图 7)。

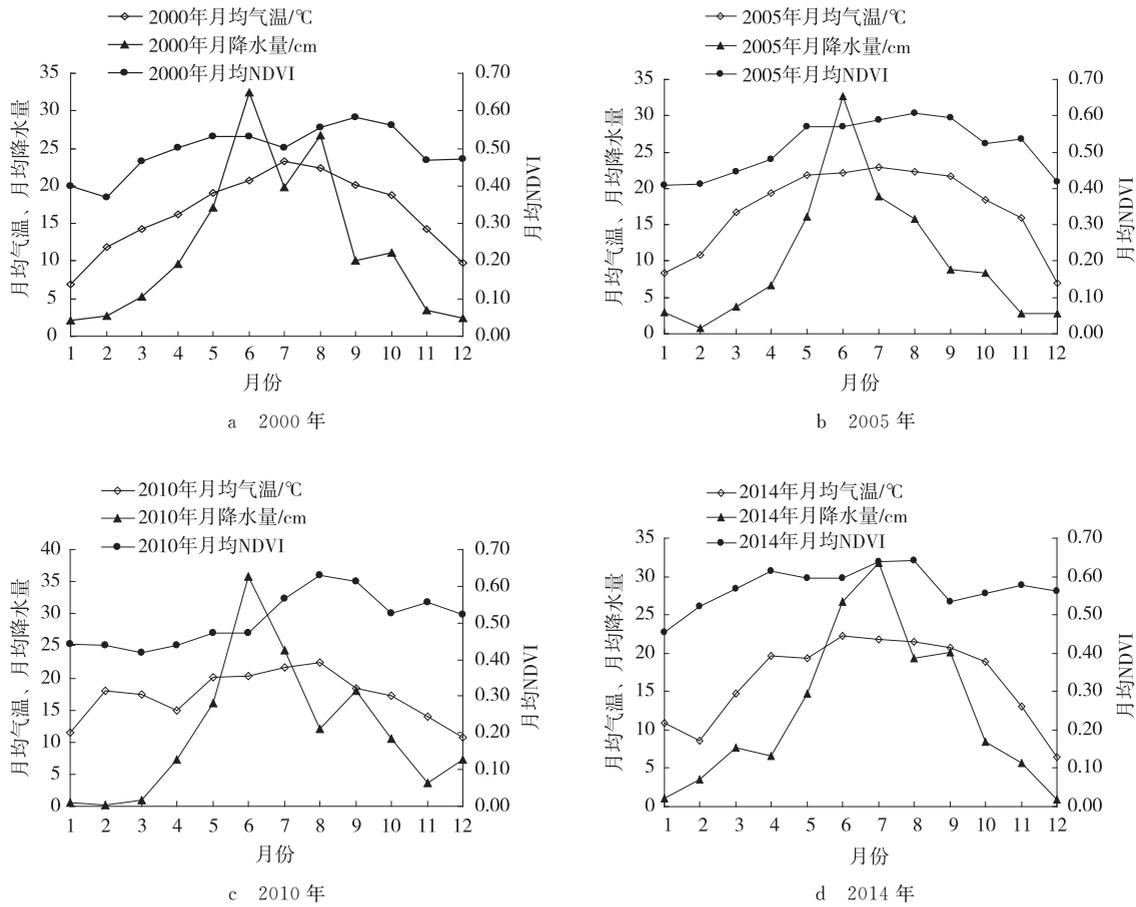


图 7 2000 年—2014 年月均 NDVI 与月均气温、月均降水量变化趋势

Fig. 7 The trend chert of monthly average NDVI and monthly average temperature and monthly average rainfall from 2000 to 2014

进一步统计 2000—2014 年每年各月均 NDVI、月均降水量及月均气温,得到月均 NDVI 序列分别与当年 1 月—12 月、当年 2 月—次年 1 月和当年 3 月—次年 2 月的平均降水量的相关系数(表 2)和平均气温的相关系数(表 3),进而探讨月均 NDVI 与月均降水量及月均气温的相关性和滞后效应。1 月—12 月序列 NDVI 与 1 月—12 月平均降水量序列的相关系数大多为 0.6~0.8;1 月—12 月序列 NDVI 与当年 2 月—次年 1 月平均降水量的相关系数大多为 0.15~0.45;1 月—12 月序列 NDVI 与当年 3 月—次年 2 月平均降水量序列的相关系数大多为 0.10~0.35。综合 NDVI 序列与降水量序列来看,1 月—12 月降水量序列与 NDVI 序列要比其他 2 个降水量序列的相关性大,表明在整体上安顺市植被生长对于降水的滞后性不明显,这可能是与选择的时间尺度(月)过大有关。1 月—12 月序列 NDVI 与 1 月—12 月平均气温序列的相关系数大多为 0.65~0.90;1 月—12 月序列 NDVI 与当年 2 月—次年 1 月平均气温序列的相关系数大多为 0.40~0.60;1 月—12 月序列 NDVI 与当年 3 月—次年 2 月平均气温序列的相关系数大多为 0.15~0.40;综合平均气温序列与 NDVI 序列,可以发现 1 月—12 月平均气温序列与 NDVI 序列的相关性明显优于其他 2 个气温序列,表明在总体上安顺市植被的生长基本上与平均气温没有明显的滞后效应。因此安顺市 NDVI 变化对降水、气温因子均没有明显的滞后现象或滞后时间较短,这应与当地降水丰沛但地质性缺水严重以及独特的下垫面状况有关。目前研究表明不同地区、不同植被类型对降水、气温存在一定的滞后效应^[22-24]。

对比 NDVI 与降水量的相关系数以及与气温的相关系数可知,月序列的平均气温与 NDVI 的相关系数明显高于月序列的降水量与 NDVI 的相关系数,表明在月际尺度上气温对植被的生长发育比降水的贡献作用更大,这一研究结果与崔林丽等人^[25]在中国东部植被 NDVI 对气温、降水的旬响应特征分析中所得结论相符。本区为亚热带季风气候区,降水量充沛,但作为典型的喀斯特地区,独特的地质结构使得地表水快速转化为地下水,水分条件在一定程度上成为植被发育的限制性条件。通过近些年来石漠化生态修复工程的治理,水分条件得到一

定程度的改善,使得该区域水分条件的制约作用有所减弱,而气温条件则成为影响该地区植被生长的主要气候因子,这对该地区植被恢复工作具有重要指导意义。此外还应认识到植被的生长发育是气候因子、人类活动,土壤质地,地形地貌,地表干湿状况等多要素共同作用的结果^[20],只是在不同区域各因素影响的程度有所差异。因此要充分发挥特定条件下主导因子的作用,因地制宜地调整或改进后续生态修复工程的措施。

表 2 安顺市 2000—2014 年 1—12 月 NDVI 与不同时间序列平均降水量的相关系数

Tab. 2 The correlation coefficients of NDVI and average precipitation in different time series in Anshun city from 2000 to 2014

年份	1 月—12 月	2 月—次年 1 月	3 月—次年 2 月
2000	0.611*	0.365	0.104
2001	0.400	0.145	-0.225
2002	0.788**	0.442	0.198
2003	0.500	0.131	-0.231
2004	0.801*	0.642*	0.374
2005	0.693**	0.528	0.024
2006	0.613*	0.353	-0.064
2007	0.821**	0.760**	0.293
2008	0.761**	0.436	0.250
2009	0.705*	0.360	-0.121
2010	0.320	0.054	-0.342
2011	0.390	0.438	0.219
2012	0.384	-0.058	0.477
2013	-0.055	-0.279	0.331
2014	0.604*	0.606*	0.512

注: * 表示通过 $p < 0.05$ 检验, ** 表示通过 $p < 0.01$ 检验

表 3 安顺市 2000—2014 年 1—12 月 NDVI 与不同时间序列平均气温的相关系数

Tab. 3 The correlation coefficients of NDVI and average temperature in different time series in Anshun city from 2000 to 2014

年份	1 月—12 月	2 月—次年 1 月	3 月—次年 2 月
2000	0.791**	0.536	0.125
2001	0.665*	0.408	-0.002
2002	0.662*	0.570	0.323
2003	0.746**	0.515	0.208
2004	0.865**	0.834**	0.539
2005	0.901**	0.506	0.150
2006	0.697*	0.498	0.110
2007	0.761**	0.588*	0.273
2008	0.896**	0.651*	0.084
2009	0.742**	0.620*	0.379
2010	0.340	-0.115	-0.428
2011	0.921**	0.517	0.331
2012	0.438	0.078	-0.373
2013	0.228	-0.098	-0.243
2014	0.717*	0.629*	0.472

注: * 表示通过 $p < 0.05$ 检验, ** 表示通过 $p < 0.01$ 检验

4 结论

本研究综合利用 2000—2014 年的 MODIS-NDVI 数据,结合同期安顺市公里格网降水和气温数据,分别从时间尺度和空间尺度分析了石漠化严重地区贵州省安顺市 NDVI 的变化,以及植被在年际变化与月际变化上对降水及气温的响应关系,研究表明:

1) 2000—2014 年安顺市 NDVI 呈明显的上升趋势,尤其是石漠化综合治理以后植被恢复较快。整个研究区植被覆盖增加、无变化和减少的面积分别占总面积的 39.93%,44.45%和 15.62%。

2) 安顺市 NDVI 变化存在显著的区域差异:植被覆盖增加的区域主要集中在海拔相对较高且石漠化严重的紫云县和镇宁县,石漠化综合治理后植被覆盖增加明显;而植被覆盖减少区域主要分布于北部安顺市西秀区—普定县—平坝县交界沿线,以及主要县级行政中心所在地及其周边地区,石漠化综合治理及植被恢复形势严峻。

3) 相关分析表明:降水量和气温两者在年际尺度上对 NDVI 的变化影响不大;在月际 NDVI 变化尺度上,气温条件是影响该地区植被生长的主要气候因子。

4) 安顺市 NDVI 变化对降水量和气温均没有明显的滞后效应或滞后时间较短。

基于上述结论,建议在后期安顺市生态修复及石漠化综合治理过程中,应特别加强对北部植被覆盖减少区域的治理,限制或减轻人为负向干扰活动;充分利用该地区植被生长发育过程中气温因子的作用,合理安排植被培育、栽植等管理活动;同时应以创建“国家森林城市”为契机,不断提高安顺市植被覆盖的数量和质量。

参考文献:

- [1] 陈述彭,童庆禧,郭华东. 遥感信息机理研究[M]. 北京:科学出版社,1998.
CHEN S P, TONG Q X, GUO H D. Research on mechanism of remote sensing information[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [2] HABIB A S, CHEN X L, GONG J Y, et al. Analysis of China vegetation dynamics using NOAA-AVHRR data from 1982 to 2001[J]. *Geo-spatial Information Science*, 2009, 12(2): 146-153.
- [3] BRASWELL B H, SCHIMMEL D S, LINDE E, et al. The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability[J]. *Science*, 1997, 278(5539): 870-873.
- [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.
XIN Z B, XU J X, ZHENG W. The impact of climate change and human activities on vegetation coverage in the Loess Plateau[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2007, 37(11): 1504-1514.
- [5] 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.
SUN H Y, WANG C Y, NIU Z, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204-210.
- [6] NEMANI RR, KEELING C D, HASHIMOTO H, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. *Science*, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [7] FANG J, PIAO S, HE J, et al. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982—1999[J]. *Science in China (Series: C Life Sciences)*, 2004, 47(3): 229-240.
- [8] FUNG T, SIU W. Environmental quality and its changes, an analysis using NDVI[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(5): 1011-1024.
- [9] PETTORELLI N, VIK J O, MYSTERUD A, et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [10] WARDLOW B D, EGBERT S L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250m NDVI data: An assessment for the U. S. Central Great Plains[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(3): 1096-1116.
- [11] ICHII K, KAWABATA A, YAMAGUCHI Y. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982—1990[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(18): 3873-3878.
- [12] TUCKER C J, SLAYBACK D A, PINZON J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2001, 45(4): 184-90.
- [13] 崔林丽,史军. 中国华东及其周边地区 NDVI 对气温和降水的季节响应[J]. *资源科学*, 2012, 34(1): 81-90.
CUI L L, SHI J. Characteristics of seasonal response of NDVI to variations in temperature and precipitation in east China and its surrounding areas[J]. *Resources Science*, 2012, 34(1): 81-90.
- [14] 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.
ZHANG Y R, ZHOU Z F, MA S B, et al. Response of vegetation to climate change base on NDVI in karst region: A case study at Liupanshui city in Guizhou province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014, 34(4): 114-117.
- [15] 陈起伟,卢绍香. 岩溶区水土流失与石漠化相关性研究:以贵州安顺市为例[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(14): 149-153.
CHEN Q W, LU S X. Relationship between soil loss and rocky desertification in karst areas; Taking Anshun city, Guizhou province as an example[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(14): 149-153.
- [16] BRENT N, HOLBEN. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417-1434.
- [17] 朱求安,张万昌,赵登忠. 基于 PRISM 和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J]. *地理科学*, 2005, 25(2): 233-238.
ZHU Q A, ZHANG W C, ZHAO D Z. Topography based spatial daily precipitation interpolation by means of PRISM and Thiessen-polygon analysis[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(2): 233-238.
- [18] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
XU J H. *Mathematical methods in modern geography* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [19] 李威,李月臣,唐谊娟,等. 基于 MODIS-NDVI 的贵州省 2001—2010 年植被覆盖变化分析及分异特征[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 32(4): 146-151.
LI W, LI Y C, TANG Y J, et al. Analysis of vegetation cover change and its spatial differentiation characteristics

- in Guizhou province based on MODIS-NDVI from 2001 to 2010[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2015, 32(4):146-151.
- [20] 张雪梅,王克林,岳跃民,等.生态工程背景下西南喀斯特植被变化主导因素及其空间非平稳性[J].生态学报, 2017, 37(12):4008-4018.
- ZHANG X M, WANG K L, YUE Y M, et al. Factors impacting on vegetation dynamics and spatial non-stationary relationships in karst regions of southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(12):4008-4018.
- [21] 童晓伟,王克林,岳跃民,等.桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J].生态学报, 2014, 34(12):3425-3434.
- TONG X W, WANG K L, YUE Y M, et al. Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12):3425-3434.
- [22] 李霞,李晓兵,陈云浩,等.中国北方草原植被对气象因子的时滞响应[J].植物生态学报, 2007, 31(6):1054-1062.
- LI X, LI X B, CHEN Y H, et al. Temporal responses of vegetation to climate variables in temperate steppe of northern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6):1054-1062.
- [23] 崔林丽,史军.中国华东及其周边地区 NDVI 对气温和降水的月际响应特征[J].自然资源学报, 2011, 26(12):2121-2130.
- CUI L L, SHI J. Inter-monthly response characteristics of NDVI to the variation of temperature and precipitation in east China and its surrounding areas[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(12):2121-2130.
- [24] 李秀花,师庆东,常顺利,等.中国西北干旱区 1981—2001 年 NDVI 对气候变化的响应分析[J].中国沙漠, 2009, 29(5):989-994.
- LI X H, SHI Q D, CHANG S L, et al. Response of NDVI to climate variability in arid area of northwestern China from 1981 to 2001[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(5):989-994.
- [25] 崔林丽,史军,杨引明,等.中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征[J].地理学报, 2009, 64(7):850-860.
- CUI L L, SHI J, YANG Y M, et al. Ten-day response of vegetation NDVI to the variations of temperature and precipitation in eastern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(7):850-860.

The Variation of NDVI and Its Relationship with Temperature and Precipitation in Anshun City, Guizhou Province from 2000 to 2014

LI Kunlong, GUO Yue

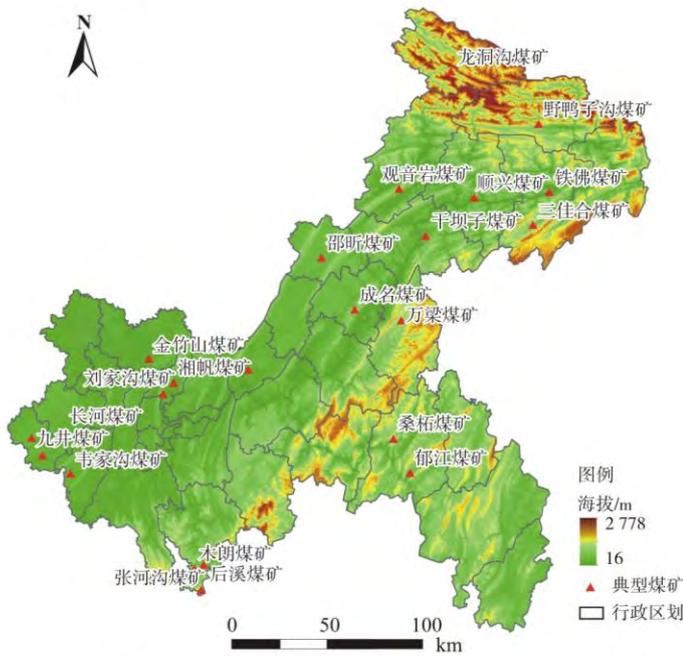
(College of Tourism and Geography, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes]Vegetation restoration is the core of rocky desertification management. It aims to provide decision-making basis for clarifying the key areas of vegetation restoration and the available key climate factors in later stage, by studying the change tendency of vegetation and its relationship with temperature and precipitation in the typical Karst rocky desertification area. [Methods]Based on MODIS-NDVI data from 2000 to 2014, and precipitation and temperature data at the same period, it used the mathematics-statics methods, such as the average method, the trend line analysis and correlation analysis to analyze the change tendency of NDVI and its response to precipitation and average temperature. [Findings]The results showed that: vegetation coverage in Anshun City, where rocky desertification was serious, presented an obviously rising trend in the past 15 years. The areas with increased vegetation coverage mainly concentrated in the relatively high elevation of rocky desertification Ziyun County and Zhenning County. While the areas with reduced vegetation coverage mainly distributed along the Xixiu District-Puding-Pingba, as well as the main county administrative center and its surrounding areas. The average annual precipitation and average temperature have little impact on the change of NDVI in Anshun City. On the change scale of monthly variation of NDVI, the temperature condition becomes the key factor of vegetation growth. There is no obvious hysteresis effect or short lag time of NDVI change on temperature and precipitation. [Conclusions]In the process of ecological restoration and comprehensive treatment of rocky desertification in the later stage of Anshun, it is necessary to strengthen the management of the area with reduced vegetation coverage in the north and make full use of the effect of temperature factor to rationally arrange management activities, such as cultivation and planting. Meanwhile, Anshun City should take advantage of the creation of "National Forest City" as an opportunity to continuously improve the level of vegetation coverage.

Keywords: MODIS-NDVI; rocky desertification; temperature; precipitation; response characteristics; Anshun

(责任编辑 方 兴)

(接正文128页)

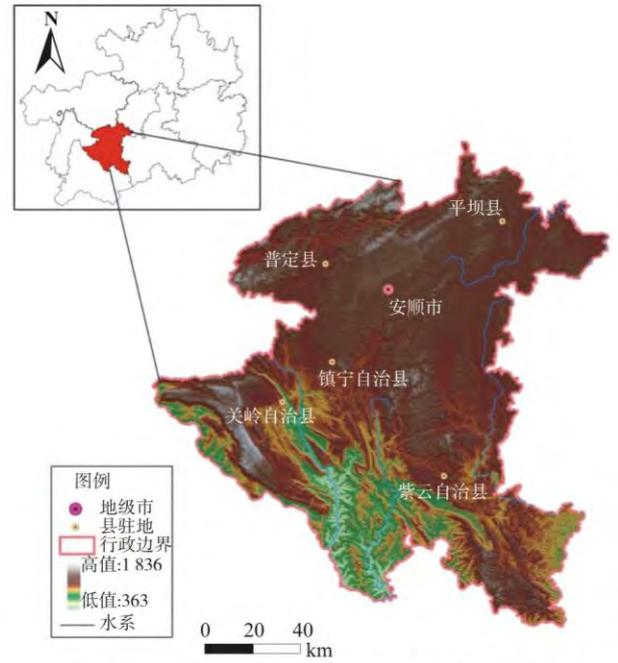


注：底图来源于重庆测绘地理信息网“重庆市地图”，审图号：渝S(2015)022号

图1 重庆市典型煤矿空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of typical coal mines in Chongqing

(接正文121页)



注：底图来源于贵州省国土资源厅网站“政府信息公开”版块中的“贵州省地图1:300万”和“安顺市地图”(审图号：黔S(2014)035号)，下同

图1 研究区位置与DEM

Fig. 1 Location and DEM of the study area

(接正文121~122页)

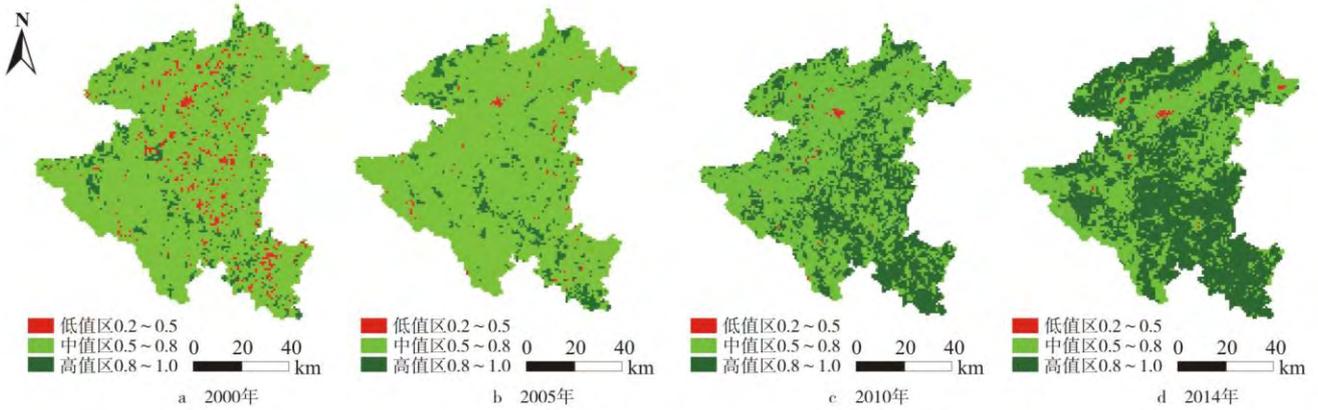


图3 2000—2014年安顺市NDVI水平空间变化

Fig. 3 The variation of NDVI horizontal space in Anshun city from 2000 to 2014

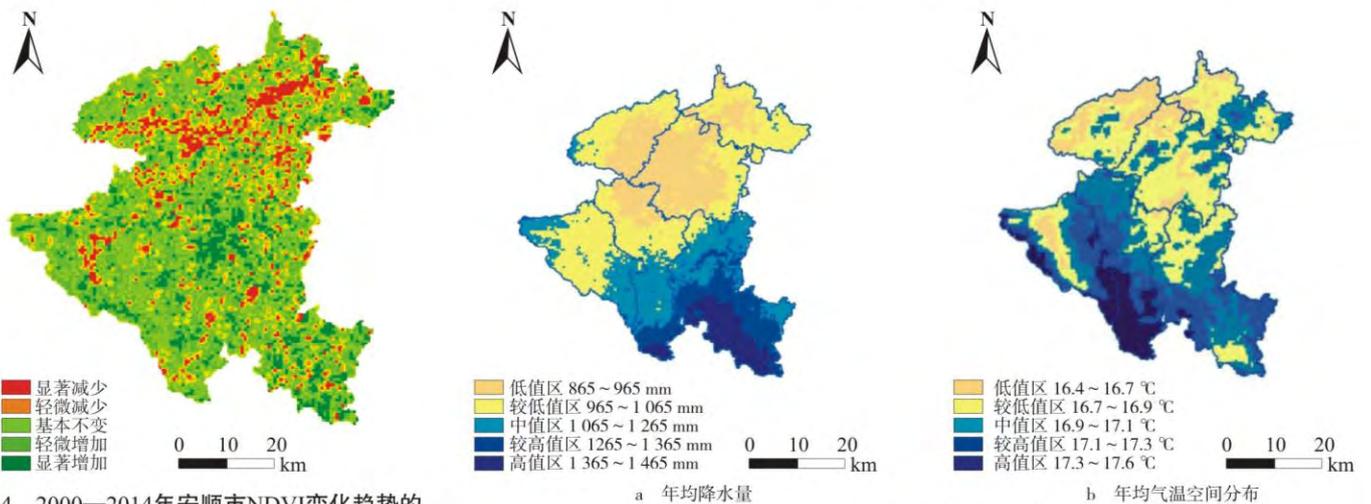


图4 2000—2014年安顺市NDVI变化趋势的空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of NDVI trends in Anshun city from 2000 to 2014

图5 安顺市年均降水量与年均气温空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of average annual precipitation and average annual temperature in Anshun city