

重庆市气候因子变化及其与植被活动的相关性

李忠峰¹, 李学梅^{1,2}

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 全球变化背景下气候因子与地表植被的相互作用过程是地球科学领域的研究重点和热点。利用重庆市 50 年来气象站点数据和 1999 年以来的 SPOT4 - VGT NDVI 数据, 采用 Mann - Kendall 检验、时空分析、相关分析等方法, 对年均温、年降水时空变化特征及其与植被活动变化之间的关系进行了分析。结果表明, 重庆市 50 a 间年均温、年降水量波动明显, 其中年均温 2002 年以后增温趋势显著。植被覆盖近 10 a 呈明显增加趋势, 且存在显著的时空差异。空间上, 三峡库区及长江、嘉陵江沿岸 NDVI 增加最为明显; 时间上, 春季、秋季 NDVI 增加最为显著。植被覆盖年内周期变化与降水、特别是气温的相关性显著, 但年际变化与年均温和年降水量变化相关性不显著。初步分析表明, 人类活动, 特别是农业生产、耕地保护和植被生态建设等, 是近 10 a 重庆市植被覆盖上升的首要因素。

关键词: 气候因子; NDVI; Mann - Kendall 检验; 相关性; 重庆市

中图分类号: P463. 22, Q948

文献标志码: A

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化, 降水、气温等气候因子的时空分布产生显著改变, 从而对全球和中国的生态环境及社会经济发展产生重大的影响^[1-2]。地表植被在生长过程中受各种气候因子的影响, 其中又以气温和降水的影响最为直接和重要。植被生长对气温和降水的响应又存在一定的累积效应和滞后效应, 使得气温和降水对地表植被的有效作用时间尺度分布不均匀。因此, 全球变化背景下地表植被与气候因子的相互作用过程, 成为地球科学领域的研究重点和热点^[2-3]。同时, 植被覆盖的时空变化又是自然和人类活动交互作用的结果。尤其是在人类活动影响日益剧烈的今天, 植被覆盖深刻地记录了人类活动的烙印。如果对土地利用、水土保持、植被建设等人类活动的关注不够, 往往会影响植被覆盖变化驱动机制分析的客观性^[4-5]。

归一化植被指数 (Normalized Difference Vegeta-

tion Index, *NDVI*) 作为植被生长状态和植被覆盖度的最佳指示因子, 其时序变化反映植被的生长变化过程, 被广泛应用于生物量、叶面积指数和植被生产力格局的估算, 以及对植被覆被变化的检测等方面。而且, 归一化植被指数能够反映植被吸收的光合有效辐射、叶绿素密度、叶面积以及蒸发速率等参数, 并能消除太阳高度角、卫星不同视角和不同大气条件所造成的误差, 因而在大尺度植被活动与气候变化相互关系的研究中得到广泛应用^[6-9]。比如, Tucker 利用 1981—1999 年植被 *NDVI*, 发现北半球植被活动呈现增强趋势, 中纬度地区尤为明显, 并将该增强趋势归因于气候变暖^[10]。Park 则通过分析东亚北部 1982—2006 年生长季的 *NDVI*, 发现植被活动在 1990s 中期之前趋于增强, 而此后却呈现出明显减弱的趋势^[11]。20 世纪 90 年代以来, 国内学者对植被覆盖变化及其对气候变化的响应也做了大量的研究^[12-16]。本文以 SPOT VGT - *NDVI* 数据和

收稿日期 (Received date): 2013 - 10 - 08; 修回日期 (Accepted): 2014 - 01 - 11。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (41101563); 重庆市自然科学基金 (CSTC, 2011BB1114); 重庆师范大学基金项目资助 (12XLZ14); 重庆市教委理科项目 (KJ080808)。[Fwunded by lvational lvatural Science Foundation of china (No, 41101563) , Funded by National Natural Science Foundation of Chongqing (No, 20111212114)]

作者简介 (Biography): 李忠峰 (1976 -), 男, 汉族, 山东高唐县人, 博士, 主要从事土地利用与土地变化研究。[Li Zhongfen (1976 -) , mele, born in Shandong.] E - mail: zhongfengli@cqnu. edu. cn

气象站点数据为基础,研究重庆市气候因子中的气温和降水量时空变化特征及其与植被覆被变化的关系,为人类生产生活及采取有效措施维持生态系统提供一定的借鉴。

1 研究区概况

重庆市地处四川盆地东南缘的长江上游地区,长江自西向东横贯全境。东邻湖北和湖南省,南靠贵州省,西、北接四川省,东北连陕西省,面积 $8.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。总地势为北东及南高,中西部低,分为四大地貌单元:西部四川盆地边缘丘陵区、中部平行岭谷低山丘陵区、东北部大巴山中山区、东南大娄山及七曜山中山区。重庆市属中亚热带湿润季风气候区,由于秦岭、大巴山脉对北方冷空气的阻挡作用,气温高于同纬度其他地区,形成独特的气候——冬暖、春早、夏热、秋迟。常年雨量充沛,年降水量 $1\,000 \sim 1\,400 \text{ mm}$,但降雨时空分布不均。主要自然植被类型为亚热带常绿阔叶林,除此之外还有针叶林、竹林、灌丛和稀树草丛等类型。

重庆市的生态地理位置比较特殊,三峡库区面积的 85.6% 在重庆境内。三峡库区的植被覆盖状

况直接影响着三峡工程的安全,进而会对长江流域生态环境,乃至全国生态环境产生不可忽视的影响。尤其是在近 10 年来人类活动剧烈影响下,植被对气温和降水变化的响应特征如何,目前研究仍比较缺乏。因此有必要对重庆市气候因子及植被覆盖情况进行研究,了解两者之间的相关关系,进而对后续的生态治理工作提供事实依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及预处理

本文所用的数据包括气象数据、地形数据、遥感影像数据及重庆市行政区划图等数据。气象数据为重庆市及其周边 20 个气象站点 1999—2010 年逐日气温和降水数据,并将其统计成月、季、年降水量和平均温度等数据。基于 20 个气象站点月平均气温和降水资料,利用地理信息系统软件 ArcGIS 9.3 的 Geostatistical Analyst 中的 Radial Basis Functions (RBF) 空间插值方法,生成 1999 年 1 月至 2010 年 12 月的月平均气温和降水空间数据,空间分辨率为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 。气象站点气温和降水数据来自于中国气象局国家气象中心气候资料室。

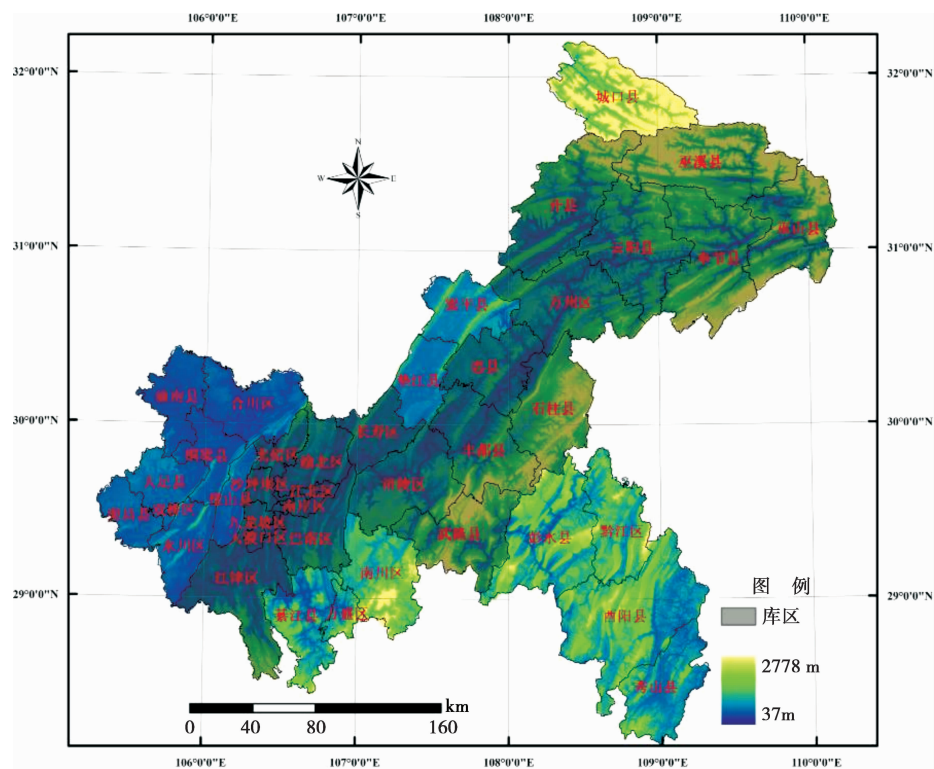


图 1 行政单元及地势图

Fig. 1 The study area

鉴于 SPOT VGT 数据具有较高的时空分辨率,覆盖范围广,运行周期短等特点,本文采用遥感影像数据为法国 SPOT 卫星提供的 1999—2010 年每年旬最大化合成 SPOT VGT-NDVI 数据,其时间步长 10 d,空间分辨率为 1 km × 1 km。

数据的预处理:图像配准,包括经纬度校正、投影转换、边界文件矢量化和研究区栅格文件生成。首先根据公式 $NDVI = DN \times 0.004 - 0.1$,将每个像元的 DN (digital number,像元的初始数值)值转化为对应的 NDVI 值,即可得研究区的 NDVI 数据图,然后采用最大值合成法(MVC),将一个月中三旬的数据取最大值,获得 1999 年 1 月至 2010 年 12 月的月 NDVI 数据,并统计其月、季、年平均值。使用的数据处理软件有:Matlab、ARCGIS、IBMspss 等。

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 检验

采用 Mann-Kendall 检验方法对重庆市年均温和年降水量的变化趋势进行统计分析。检验气候突变有很多方法,一般来说,均值突变的检验方法较为可信,常见的有 Mann-Kendall 法、滑动 t 检验法、Yamamoto 法、Crammer 法等^[17-19]。基于秩的 Mann-Kendall 法是一种非参数统计检验方法,同传统的参数方法比较,具有明显的优越性。它不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,在非正态分布数据的检验中更为合适,被广泛应用于气候和水文序列的分析,也是世界气象组织推荐并已广泛使用的一种非参数检验方法。Mann-Kendall 突变检验中,若正序列曲线 UF 或反序列曲线 UB 的值大于 0,则表明序列呈上升趋势,小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时,表明上升或下降趋势显著。在正序列曲线 UF 超过临界值信度线的前提下,若正序列曲线 UF 和反序列曲线 UB 仅有一个明显的交叉点,且位于信度线之间,则表明该交叉点为突变点,且统计上显著;若交叉点位于信度线之外,或者是存在多个明显的交叉点,则不确定是否为突变点^[20]。

2.2.2 NDVI 均值法

均值处理是将某时间间隔内的 NDVI 数据取平均值,以消除或减弱由于时间段端点年份的气候异常对监测植被的生长状态影响。本文基于 ArcGIS9.3 中的 Map Algebra 工具,统计出 NDVI 各月、季、年平均值,并在 IBMspss 中制作成 NDVI 变化曲线图,用来分析 NDVI 的年内以及年际变化特征。

2.2.3 趋势线分析

趋势线分析方法可以模拟每个栅格的变化趋势,反映不同时期植被 NDVI 变化的趋势。采用此方法在 ArcGIS 的空间分析(Spatial Analyst)模块下模拟 1999—2010 年植被年平均 NDVI 的变化趋势,计算公式

$$slope = \frac{n \sum_{i=1}^n iNDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中 变量 i 表示 1~12 的年序号, $NDVI_i$ 表示第 i 年的 NDVI 值, n 为研究序列的长度 12 (1999—2010 年,共 12 a)。 $slope > 0$,说明 NDVI 在 n 年间的变化趋势是增加的,表明该像素代表的植被状况在向好的方面发展;反之则是减少,即植被状况变差。

2.2.4 相关分析法

本文采用相关分析法进行植被覆盖变化对气候的响应分析,通过计算月、季、年平均 NDVI 与相应时期气温和降水的相关系数,分析植被 NDVI 变化与气候因子的年内相关、季节相关以及年际相关。利用 matlab 计算 NDVI 与气温和降水的相关系数,将其导入 ArcGIS9.3 中制作空间相关性分布图,并进行显著性检验,分析 NDVI 与气候因子相关关系的空间分布

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

式中 x 和 y 分别表示两个要素样本值的平均值,即 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$; r_{xy} 为要素 x 与 y 之间的相关系数,表示两要素之间的相关程度,其值介于^[-1,1]区间, $r_{xy} > 0$,表示正相关, $r_{xy} < 0$,表示负相关。

3 结果

3.1 50 a 尺度降水、气温变化

重庆市近 50 a 年降水量和年均气温及其 5 a 滑动平均时间序列如图 2 所示。可见,近 50 年来年降水量和气温都存在明显的年际波动。但从 5 a 滑动平均曲线来看,气温在 20 世纪 80 年代呈略微下降趋势,从 21 世纪初气温又呈明显增加趋势。年降水量的 5 a 滑动平均曲线则呈相反的变化趋势,20 世纪 80 年代降水量略微上升,从 21 世纪初年降水量呈

明显降低趋势。而从图 3 的 Mann - Kendall 检验结果来看,50 年间降水量变化趋势并不显著,没能超过 0.05 显著性水平。但是 50 年间的年均温,20 世纪 80 年代的降低和 21 世纪的上升趋势非常显著,明显超过 0.05 的显著性水平,甚至达到 0.01 显著性水平。根据年均温 UF 和 UB 曲线交点的位置,确定重庆市 21 世纪初年均温的增暖是突变现象,具体是从 2002 开始的。图 4 是自 1999 年至 2010 年间重庆市年降水和年均温变化趋势的空间分布图,反映了年降水和年均温变化趋势的空间差异。

3.2 植被活动变化

图 5 为重庆市 *NDVI* 年平均变化曲线及其线性趋势。由图可见,1999—2010 年研究区植被 *NDVI* 整体呈增加趋势,增速为 $8.1\%/(10\text{ a})$,与年份相关性显著。*NDVI* 值变化趋势大致可划分为两个阶段:第一阶段 1999—2007 年,第二阶段 2007 年之

后。从年际变化来看,从 2000 年到 2007 年 *NDVI* 增加比较明显,年际波动较大。在 2000 年和 2005 年因受干旱影响 *NDVI* 出现最低值之后,在 2001—2003 年和 2005—2007 年出现两个快速增长期。2004 年 *NDVI* 达到峰值后快速下滑,2005 年达到最低值后又快速上升。2007 年之后,*NDVI* 缓慢增长,曲线趋于稳定上升态势。进一步的研究表明,植被覆盖全年整体呈增加趋势,同时又有明显的季节差异,春秋两季的 *NDVI* 的增加趋势满足 0.01 显著性水平要求;而且变化趋势存在显著的区域差异,明显改善的区域主要是三峡库区范围内的长江、嘉陵江两侧以及渝东南喀斯特地区^[21]。

3.3 气候因子和植被活动的响应关系

3.3.1 气温和降水与植被活动的年内相关

太阳辐射、季风等因素对温度、降水和植被生长具有很强的控制作用,因此植被 *NDVI* 与年内均温、

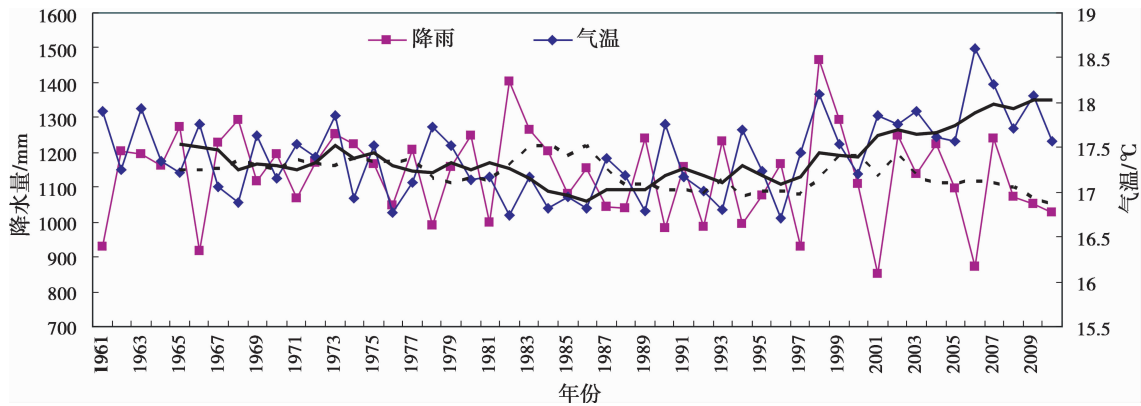


图 2 重庆市近 50 a 年降水与年均温变化曲线

Fig. 2 Inter - annual variation of temperature & precipitation of Chongqing in the last 5 decades

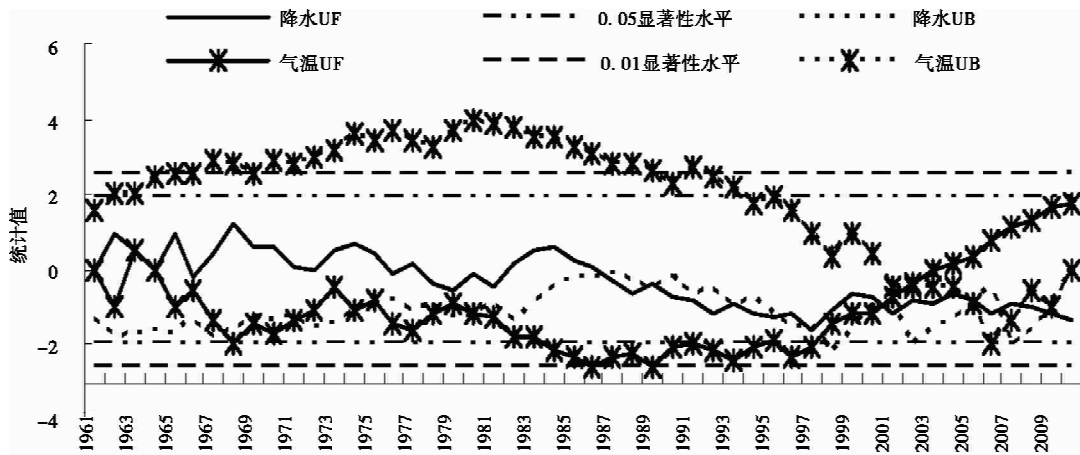


图 3 重庆市近 50 a 年降水与年均温 Mann - Kendall 突变检验

Fig. 3 Mann - Kendall test for temperature & precipitation of Chongqing in the last 5 decades

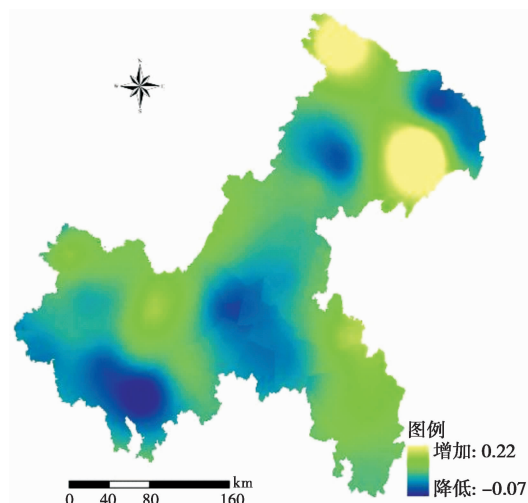


图4-A 气温变化趋势空间分布

Fig. 4-A Spatial characteristic of temperature slope

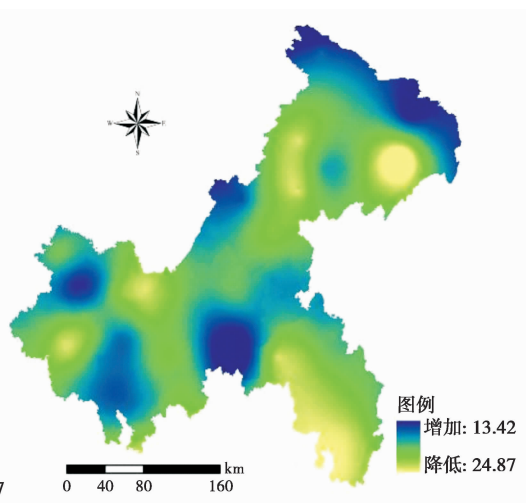


图4-B 降水变化趋势空间分布

Fig. 4-B Spatial characteristic of precipitation slope

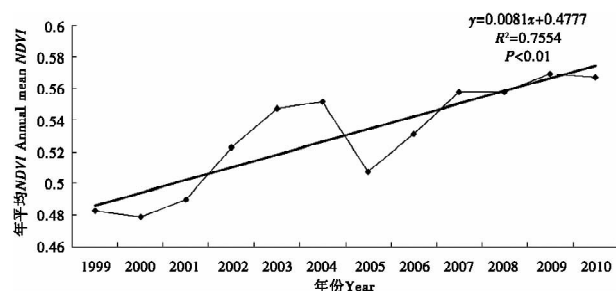


图5 NDVI 年平均曲线和线性趋势

Fig. 5 Annual mean NDVI curve and its variation trend with year

降水量也有很强的相关性。本文用1999—2010年各月平均温度和平均降水数据,分别进行相关系数计算并进行相关性分析。由图6和图7可见,重庆市各月NDVI与年内各月气温和降水存在显著的正相关,相关系数分别为0.842和0.664,均显著相关($P < 0.01$),且NDVI与温度的相关性明显高于NDVI与降水的相关性。如图8所示,随着温度的升高,月平均NDVI值迅速增长。

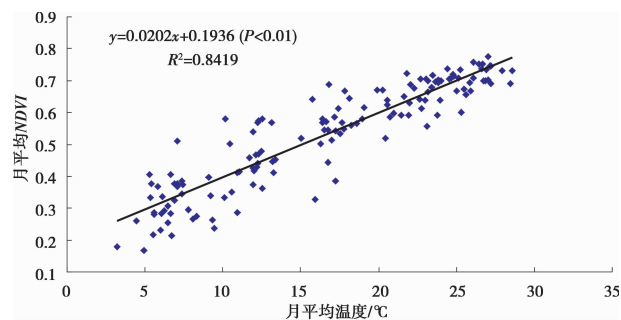


图6 NDVI 与年内温度的相关性

Fig. 6 The correlation between NDVI and monthly temperature

由图9可见,随着降雨量的增加,NDVI值同样也呈增加趋势。但是,NDVI与降水的相关性较NDVI与温度的相关性相对要弱一些。原因是随着降雨量的增加,NDVI值的增加逐渐变缓,并趋于稳定。这是由于重庆市地处亚热带,气候湿润,降水充足,植被对降水变化的响应程度较低。

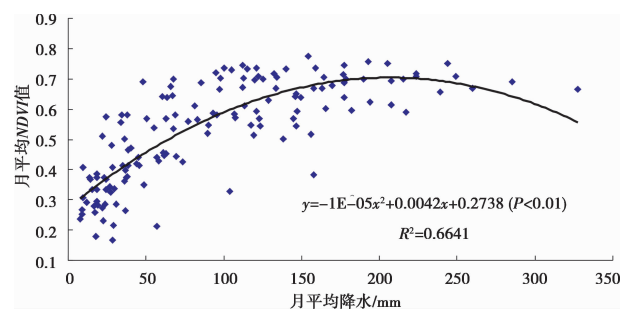


图7 NDVI 与年内降水量的相关性

Fig. 7 The correlation between NDVI and monthly precipitation

自1999—2010年12 a间,重庆市各年相同月平均NDVI、月均温和月降水量变化趋势的关系如图8所示。可以发现,各年相同月平均NDVI的变化趋势与月均温、月均降水量变化趋势的相关性很差。特别是在月平均NDVI增加趋势最为显著的是4月和11月,但是这两个月的月均温和月均降水量却几乎都呈降低趋势。由此可见,各年之间相同月植被活动的变化主要不是受月均温和月降水量变化的影响。初步分析表明,各年之间相同月植被活动的变化主要是受重庆市退耕还林和封山育林等生态建设工程的影响。NDVI在4月增加趋势最为显著正是

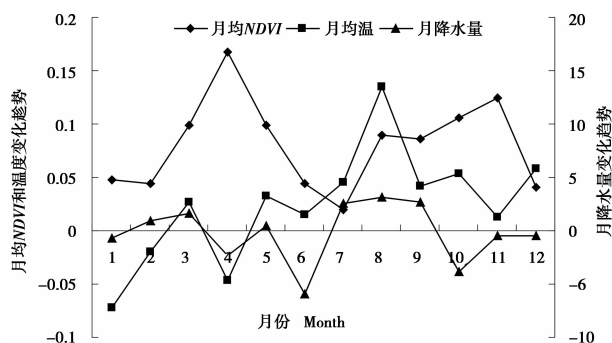


图8 月均NDVI、月均温和月降水量变化趋势

Fig. 8 Slope of average of month NDVI, temperature and precipitation

因为原先处于播种季节、植被覆盖很差的耕地经过退耕还林变为具有良好植被覆盖的林地。

3.3.2 气温和降水与植被活动的年际相关

重庆市12 a间年平均NDVI和年均温、年降水量变化曲线如图9所示,可见三者年变化趋势并不具有良好的一致性。尽管2001年、2010年,特别是2006年重庆市百年一遇的大旱导致年降水量明显减少,造成当年的NDVI明显降低,但是12 a间NDVI的增加趋势,特别是2000年至2004年的NDVI快速增加,明显不能用年降水量或年均气温的变化来解释。进一步的相关分析表明,年均NDVI和年降水量之间、年均NDVI和年均温之间的相关系数分别为0.15和0.33,都达不到 $P=0.05$ 的显著性水平,即不具有统计学意义。因此,NDVI年变化趋势更合理的解释,应当是重庆市2000年至2006年间的大规模退耕还林工程,及以后的封山育林工程对植被活动的影响。

图10是年均NDVI与年均温、年降水相关性的空间分布图。据图可知:NDVI与年均温、特别是年降水相关系数满足 $P=0.05$ 显著性水平检验的区域只占极小部分,分别占总面积的6.4%和0.7%。

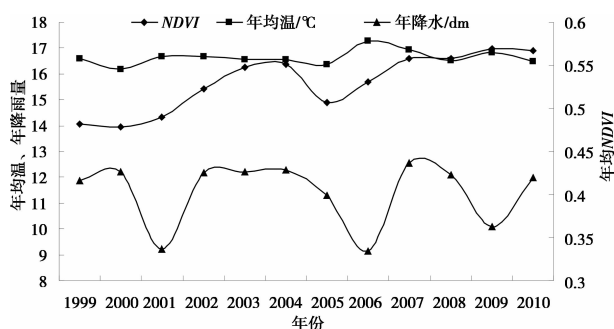


图9 年均温、降水和NDVI变化曲线

Fig. 9 Annual average temperature, precipitation and NDVI variation

其余绝大部分区域NDVI与年均温和年降水量都表现为相关不显著。而且,表现为正相关的区域大部分集中在渝东北、渝东南等受人类活动影响较小的山区。这更加说明近十年来重庆市植被覆盖变化的首要驱动因素并不是气候因子,而是受退耕还林、封山育林等人类活动因素的影响。

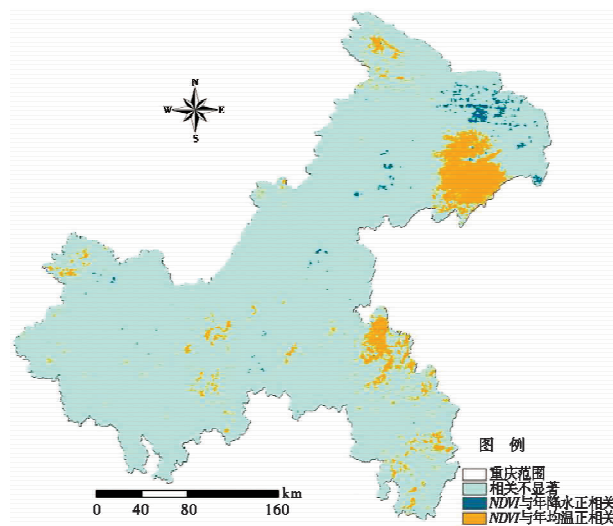


图10 年均温、年降水与NDVI空间相关性

Fig. 10 Annual variability of temperature, precipitation and its spatial correlation with

4 结论

本文利用1999—2010年气温和降水数据、SPOT VGT数据以及相关图件,分析了重庆市年际、年内和季节的气候因子及植被覆盖时空变化情况,并对气温和降水与NDVI的相关性做了定量分析,结论如下:

1. 近50 a间,重庆市年降水及年均温具有明显的波动性。自21世纪初以来,年均温具有增加趋势,年降水则呈下降趋势。Mann-Kendall方法分析结果表明,年降水的减少趋势未达到突变显著性水平,而年均温的上升趋势则达到突变显著性水平,且突变具体发生在2002年。

2. 1999—2010年间,重庆市植被NDVI呈明显增加趋势,其线性回归增速为 $8.1\%/(10\text{ a})$ 。植被NDVI的年内变化有明显的季节性差异,NDVI值在春季、特别是4月增加趋势最为明显,其次是秋季也呈明显上升趋势。从空间格局上,植被覆盖明显改善的区域,主要是三峡库区范围内的长江沿岸以及渝东南喀斯特地区。植被覆盖显著退化区,呈线状

集中分布于三峡库区的消落带和呈面状分布在城市建设扩张区。

3. 近 12 a 间,重庆市年内、年均温、年降水与 *NDVI* 相关性分析表明,气候因子的年内变化与植被年内生长发育周期具有良好的相关性。但是,无论是 12 a 间整体 *NDVI* 的持续增加,还是 12 a 间各月份 *NDVI* 增加趋势的差异,以及 *NDVI* 变化的空间差异,都和相应的均温、降水量变化没有明显的相关性。初步分析表明,近 10 a 重庆市植被覆盖改善的主要影响因素,是自 2000 年开始的退耕还林、封山育林等人类活动因素,而不是气候因子的变化。

参考文献 (References)

- [1] Xin Z B, Xu J X, Zheng W. The influence of climate change and human activities on vegetation cover change on the Loess Plateau [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 37(11): 1504–1514 [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]
- [2] Li Lin, Li Fengxia, Guo Anhong, et al. Study on the climate change trend and its catastrophe over Sanjiangyuan region in recent 43 years [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(1): 79–85 [李林, 李凤霞, 郭安红等. 近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 79–85]
- [3] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 1997, 386(6626): 698–702
- [4] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Romo Alfredo. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish central pyrenees; Schimel D, Melillo J, Tian H. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States [J]. Science, 2000, 287: 2004–2006.
- [5] Salim H A, Chen X L, Gong J Y. Analysis of Sudan vegetation dynamics using NOAA – AVHRR *NDVI* data from 1982–1993 [J]. Asian Journal of Earth Sciences, 2008, 1(1): 1–15
- [6] Fensholt R, Rasmussen K. Analysis of trends in the Sahelian ‘rain – use efficiency’ using GIMMS *NDVI*, RFE and GPCP rainfall data [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(2): 438–451
- [7] North G R, Bell T L, Cahalan R F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. Monthly Weather Review, 1982, 110: 699–706
- [8] Cattell R B. The scree test for the number of factors [J]. Multivariate Behavioral Research, 1966, 1: 245–276
- [9] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(5): 1111–1117
- [10] Albani M, Medvigy D, Hurrut G C, Moorcroft P R. The contributions of land-use change, CO₂ fertilization, and climate variability to the Eastern US carbon sink [J]. Global Change Biology, 2006, 12(12): 2370–2390
- [11] 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: 184–190
- [12] Park H – S, Sohn B J. Recent trends in changes of vegetation over East Asia coupled with temperature and rainfall variations [J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115, D14101, doi: 10.1029/2009JD012752.
- [13] Zhang Xuezheng, Dai Junhu, Ge Quansheng. Spatial differences of changes in spring vegetation activities across eastern China during 1982–2006 [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(1): 53–61 [张学珍, 戴君虎, 葛全胜. 1982–2006 年中国东部春季植被变化的区域差异 [J]. 地理学报, 2012, 67(1): 53–61]
- [14] Cui Linli, Shi Jun, Yang Yinning 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 [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]
- [15] Zhang Geli, Xu Xingliang, Zhou Caiping et al. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir grassland in past 30 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(1): 47–58 [张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应 [J]. 地理学报, 2011, 66(1): 47–58]
- [16] Wang K, Li Z Q, Cribb M. Estimation of evaporative fraction from a combination of day and night land surface temperatures and *NDVI*: A new method to determine the Priestley – Taylor parameter [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 102(3/4): 293–305
- [17] Wei Fengying. Modern Technology of Statistics, Diagnosis and Forecast for Climate [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 49–50 [魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 49–50]
- [18] Thornton P E, Running S W, White M A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain [J]. Journal of Hydrology, 1997, 190(3): 214–251
- [19] Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482–493 [符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482–493]
- [20] Yin Yunhe, Wu Shaohong, Chen Gang. Regional difference of climate trend and abrupt climate change in China during 1961–2006 [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(12): 2147–2157 [尹云鹤, 吴绍洪, 陈刚. 1961–2006 年我国气候变化趋势与突变的区域差异 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(12): 2147–2157]
- [21] Li X M, Ren Z Y, Zhang C. Spatial-temporal Variations of Vegetation Cover in Chongqing City (1999–2010): Impacts of Climate Factors and Human Activities [J/OL]. Scientia Geographica Sinica, <http://www.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P.20130411.0916.009.html> [李学梅, 任志远, 张翀. 气候因子和人类活动对重庆市植被覆盖变化的影响分析 [J/OL]. 地理科学, <http://www.cnki.net/kcms/detail/22.1124.P.20130411.0916.009.html>]

Climatic Factors Variation and Its Relation with Spatio-temporal Changes of Vegetation Cover in Chongqing, China

LI Zhongfeng¹, LI Xuemei^{1,2}

(1. College of Geography & Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;

2. College of Tourism & Environment, Shaanxi Normal University, Shaanxi Xi'an 710062, China)

Abstract: The characters of climatic factors variation and the interaction between climatic factors variation and vegetation cover are important in geosciences and has become a research focus in the global and regional scales in recent years. Constituting eighty five percent of the Three Gorges Reservoir area, Chongqing is in an important ecological, hydrological and wildlife conservation area in Southwestern China. Examining the vegetation dynamics and environmental changes over this region plays a critical role in studying the environment and ecosystems in China. On the basis of previous researches, Based on SPOT-4 VEGETATION NDVI datasets at 1 km spatial resolution and temperature and precipitation datasets of meteorological stations from Chongqing and its neighboring city during the period 1961—2010, the spatial and temporal characteristics of temperature & precipitation variation in Chongqing were statistically analyzed. The response of vegetation Coverage Change to major climate factors and its relationship with temperature and precipitation in Chongqing is explored by extracting each pixel's information between 1999 and 2010. The results show that: 1) From 1961 to 2010, the annual mean precipitation and temperature in Chongqing was highly fluctuant. The annual mean precipitation exhibited a small decreasing trend; and the increasing trend of annual mean temperature was highly significant. 2) From the time point of view, the annual and monthly variability of the vegetation dynamics have the increasing trend in Chongqing. It has obvious seasonal difference, from the spatial perspective, the averaged annual *NDVI* in Chongqing showed a steady upward trend during the last decade. Especially, vegetation increased significantly on both sides of the Yangtze River and the southeastern part area of Chongqing. And vegetation degraded areas are mainly concentrated water-fluctuating zones of Three Gorges Reservoir and around urban of Chongqing city as well as the periphery of the Three Gorge Reservoir Region in Chongqing. So obviously, the reason is enlargement of city and fluctuating of water area. 3) The monthly variability of vegetation index and temperature, precipitation exist significant correlation. Both air temperature and precipitation have an influence on *NDVI*, but air temperature plays a more prominent role. The correlation coefficient of the annual year or month vegetation index and climatic factors is not significant in the entire region. That is to say the human factors, such like agricultural production, farmland protection and the implementation of large-scale vegetation construction, have resulted in the increase of *NDVI* and have led to some beneficial effect in ecology.

Key words: climate factor; *NDVI*; Mann – Kendall test; correlation; Chongqing