

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2020.02.009

西安市植被覆盖度冷热点时空动态变化及其风险分析

邹 彬

(国网陕西省电力公司, 陕西 西安 710032)

摘要: 水库等电力工程的修建和退耕还林政策在黄土高原特别是黄河中游地区的实施,有效地减轻了水土流失现象,并改善了生态环境,研究该区域典型城市的植被覆盖度的动态变化及其风险状况对于新时期黄河流域生态环境高质量发展具有重要意义和价值。本研究基于冷热点分析理论的 Getis-Ord G^* 统计量、Mann-Kendall 趋势检验、Hurst 指数和 Pettitt 检验法,识别了西安市 2000—2013 年植被覆盖度的冷热点分布,捕捉了植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量的变化趋势和突变点,采用概率分布函数分析了植被覆盖度冷热点发生的概率风险大小。结果表明:1)西安市植被覆盖度存在冷热点,且多年平均植被覆盖度热点和冷点占全市总面积的 5.27% 和 13.91%;2)海拔较高的山区和海拔较低的城区周边植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量呈现显著减少,海拔较低的蓝田县北部和临潼区南部呈现显著增加,分别占全市总面积的 15.93% 和 12.89%,未来在城区、蓝田县北部和临潼区南部植被覆盖度可能会呈现高值聚集的状态;3)西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量在 2004—2008 年发生了突变,集中在蓝田县北部和临潼区南部以及城区周边;4)周至县山区、鄠邑区山区和长安区山区等高海拔地区出现热点区域的概率较高,城区和蓝田县北部、临潼区南部低海拔区域出现冷点的概率较高。林业生产活动和城市园林绿化等人类活动的增加对植被变化具有显著影响。研究成果有助于进一步了解西安市植被覆盖变化情况,可以为下一步加强生态环境治理和绿化工作以及降低植被退化风险提供科学依据。

关键词: 植被覆盖度; 黄河流域典型城市; 风险; 生态环境

中图分类号: Q948, TP75

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2020)02-0197-08

Temporal and spatial dynamic changes and risk analysis of cold spot and hot spot in vegetation coverage in Xi'an

ZOU Bin

(State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710032, China)

Abstract: The construction of reservoirs and other power projects, and the implementation of the policy of returning farmland to forests in the Loess Plateau, especially in the middle reaches of the Yellow River, have effectively reduced soil erosion, improved the ecological environment. Studying the dynamic changes of vegetation coverage and risk status of typical cities in the region is of great significance and value to the high-quality development of the ecological environment of the Yellow River Basin in the new period. Based on the Getis-Ord G^* statistic theory, Mann-Kendall trend test, Hurst exponent and Pettitt test, this study identifies the distribution of cold spots and hot spots of vegetation coverage in Xi'an from 2000 to 2013, and captures the trend and the change-points of the Getis-Ord G^* statistic of vegetation coverage. The probability risk of cold spots and hot spots of vegetation coverage is analyzed by probability distribution function. The results show that: 1) The hot spots and cold spots of average annual vegetation coverage account for 5.27% and 13.91% of the total area of the city. 2) The Getis-Ord G^* value of the vegetation coverage in the mountainous areas with higher altitudes and in urban areas with lower elevations is significantly reduced, and the Getis-Ord G^* value in the northern part of Lantian Coun-

收稿日期: 2020-02-16; 网络出版日期: 2020-06-29

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1294.N.20200629.1524.004.html>

第一作者: 邹彬,男,高级工程师,研究方向为电力工程与环境遥感。E-mail:13002928810@163.com

ty and the southern part of Lintong District shows the significant increase. 3) The Getis-Ord G^* value of the vegetation coverage in Xi'an has significant change-point from 2004 to 2008, concentrates in the northern part of Lantian County and the southern part of Lintong District. 4) The probability of hot spots appearing in the mountainous areas of Zhouzhi County, Huiy District, Chang'an District is higher, and the probability of cold spots appearing in the low altitude areas of the urban areas, the northern part of Lantian County and the southern part of Lintong District is higher. Increases in human activities such as forestry production activities and urban landscaping have a significant impact on vegetation changes. The research results will help to further understand the changes in vegetation cover in Xi'an, and provide scientific support for the next step of strengthening ecological environment management, greening work and reducing the risk of vegetation degradation.

Key words: vegetation coverage; typical cities in the Yellow River Basin; risk; ecological environment

由于植被是反映区域生态环境变化的重要敏感因子,在地球能量交换和物质循环过程中发挥着纽带作用,因此成为生态环境方面研究的热点问题之一。传统的野外样方采样观测方法无法满足目前在大区域进行较高精度植被覆盖观测的需求,因而遥感技术的发展为实现这一目的提供了可靠的技术支持^[1]。NDVI (Normalized Difference Vegetation Index),即植被归一化指数是一种长序列的遥感观测数据,由于具有覆盖范围广和容易获取等优点,早已成为研究区域植被覆盖变化的重要数据材料^[2]。刘静等^[3]采用线性趋势分析、Pearson 相关分析、多元回归模型等方法研究黄土高原地区不同植被覆盖类型 NDVI 对气温不存在显著响应,在局部地区对降水变化存在显著响应。唐志红等^[4]研究发现在祁连山地区海拔是高寒植物群落的最重要环境影响因子。高海东等^[5-6]发现黄河河龙区间植被恢复是该区域输沙量减少的主要原因,其贡献率达到 54%。张敏等^[7]基于 NDVI 数据对广西植被覆盖度时空变化进行了遥感诊断。张琨等^[8]利用 NDVI 数据探讨了黄土高原植被恢复对生态系统服务的影响及其阈值。同时,植被覆盖度的变化对中国许多河流的径流和泥沙变化产生了不可忽视的影响^[9]。目前,基于 NDVI 等遥感产品和技术研究区域植被覆盖度时空演变的成果较为丰富。关于区域植被覆盖度研究的热点问题主要集中在利用线性回归模型和线性相关分析等统计手段识别植被与气候因子或者径流泥沙之间的响应关系,几乎很少涉及关于植被覆盖变化方面的不确定性风险评估,特别是在黄河流域。另一方面,现有的研究大多是从时间序列角度对植被覆盖变化特征进行分析,但是关于植被覆盖空间变化特征的研究成果较少。生态风险评价已经是宏观生态学和生态系统综合评估的关键问题及热点研究方向之一^[10]。植被变化已经成为全球以及区域,特别是在黄土高原地区近些年的一个显著

变化的生态环境现象,急需对这种动态变化和风险进行时空分析。

综上所述,本研究的主要目的和创新点是,基于冷热点分析理论可以较好地捕捉到西安市植被覆盖度在空间上变化的聚集特征,利用 Mann-Kendall 趋势检验、Hurst 指数和 Pettitt 检验法,识别西安市 2000—2013 年植被覆盖度的冷热点分布、植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量的变化趋势和突变点,并采用概率分布函数分析植被覆盖度冷热点发生的概率风险大小。同时,探讨引起西安市植被覆盖度冷热点变化的影响因素。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西安市位于黄河一级支流的渭河流域,同时该区域处于黄土高原地区边缘,具有典型的干旱半干旱地区特点,年降水较少;地形南高北低,海拔变化区间为 227~3 771 m,地貌主要以山地和平原为主;气候类型为暖温带大陆性季风气候,年最低温在 1 月,年最高温在 7 月,多年平均降水约为 600 mm,并由南向北递减。

1.2 数据来源

本文所使用的气候要素和社会经济数据来源于陕西省统计年鉴。NDVI 数据来源于 MODIS 植被指数数据集,该数据集由中国科学院计算机网络信息中心国际科技数据镜像网站提供(<http://www.gscloud.cn>),数据时间为 2000—2013 年,空间分辨率为 500 m,时间分辨率为旬,用最大值合成法(MVC)获得 NDVI 年值,植被覆盖度计算式为:

$$f = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (1)$$

式中: f 为植被覆盖度; $NDVI$ 是栅格的植被指数; $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 是研究区 $NDVI$ 的最大值和最小值。

1.3 研究方法

1.3.1 冷热点分析理论

Getis-Ord G^* 统计量^[11]是一种分析变量的空间分布聚集程度的指标,服从标准正态分布。在本研究中当 Getis-Ord G^* 统计量为正值且通过显著性检验时,则认为植被覆盖度的高值在空间呈现聚集的状态,即热点区域;当 Getis-Ord G^* 统计量为负值且通过显著性检验时,则认为植被覆盖度的低值在空间呈现聚集的状态,即冷点区域。Getis-Ord G^* 统计量的具体计算方法为:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} X_j - \bar{X} \sum_{j=2}^n X_{ij}}{\sqrt{S \frac{[n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n W_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (2)$$

式中: G_i^* 为 Getis-Ord G^* 统计量,当 G_i^* 大于 1.96 时,该区域为热点,即该区域较高的植被覆盖度在空间上呈现聚集状态,当 G_i^* 小于 -1.96,该区域为冷点,即该区域较低的植被覆盖度在空间上呈现聚集状态;数学期望 X_j 为植被覆盖度第 j 个栅格的值; W_{ij} 为空间权重矩阵分量,相邻为 1,不相邻为 0; n 为栅格数; S 为样本的标准差; $\bar{X}$ 为植被覆盖度均值。

1.3.2 Mann-Kendall 检验与 Hurst 指数

Mann-Kendall(M-K)检验^[12]是一种常用的非参数的时间序列趋势检验方法,本文使用 Mann-Kendall 检验识别植被覆盖度以及其它变量的变化趋势。

Hurst 指数(H)是一种常用的分析时间序列变化的持续性或长期相关性的方法^[13],本研究中使用 Hurst 指数来分析植被覆盖度的未来变化趋势。 H 值在 $[0,1]$ 的范围内。当 $H=0.5$ 时,表明植被覆盖度的时间序列是随机序列,是不可持续的。当 $H>0.5$ 时,植被覆盖度的变化与当前的趋势基本一致,表示植被覆盖度的可持续性正向的。 $H<0.5$ 则表示植被覆盖度的可持续性负可持续性,即未来植被覆盖度变化将与当前趋势相反。

1.3.3 Pettitt 检验

Pettitt 检验法^[14]是一种被广泛使用的分析时间序列变化突变点的统计检验方法,其显著性水平可由式(3)计算。

$$p = 2e^{\left(\frac{-6U_N^2}{N^2+N^3}\right)} \quad (3)$$

式中: U_N 为 Pettitt 检验统计量, N 为样本数目。当 $p \leq 0.05$ 时认为数据中存在均值变异点。

1.3.4 概率分布函数

概率分布函数^[15-16]是统计学中一种描述单变量与其概率的函数,不同的分布函数具有不同的特

征参数,可以刻画不同变量的概率特征。在本研究中,指数分布函数(EXP)、Gumbel 分布函数(GUM)、Pearson 三型分布函数(PE3)和广义极值分布函数(GEV)被用来拟合植被覆盖度数据,同时通过计算四种理论分布函数累积概率和经验累积概率的确定性系数 R^2 来优选出最优的理论分布函数,通过使用概率分布函数可以计算出发生冷热点的概率大小来分析植被退化的风险。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度冷热点变化基本特征

根据冷热点分析理论计算了西安市在 2000—2013 年多年平均植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量并分析了冷热点空间分布情况(见图 1(a))和不同冷热点区域逐年植被覆盖度值变化情况(见图 1(b))。

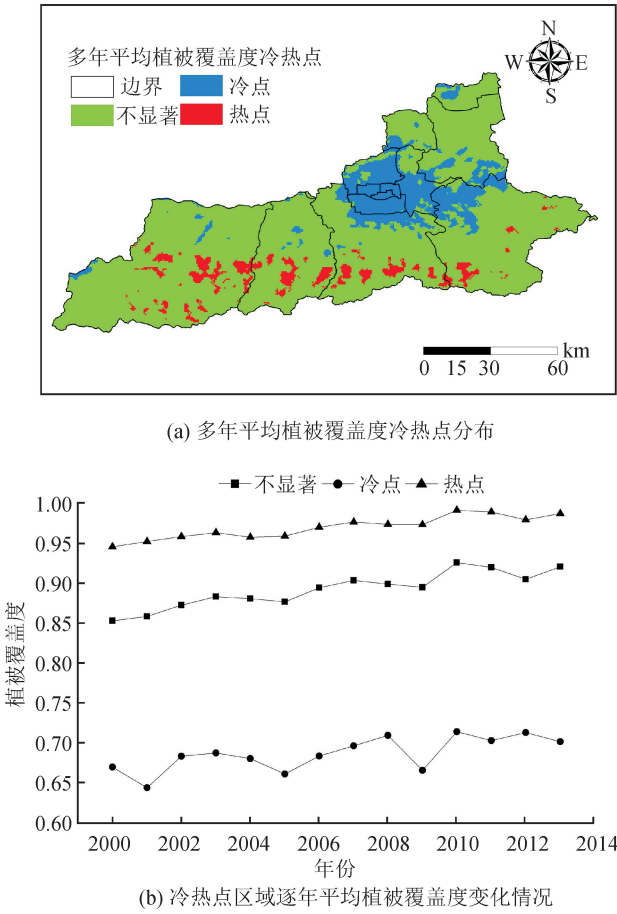


图 1 西安市多年平均植被覆盖度冷热点分布与冷热点区域逐年平均植被覆盖度变化情况
Fig. 1 Distribution of cold spot and hot spot of annual vegetation coverage and change of annual average vegetation coverage in cold spot and hot spots in Xi'an

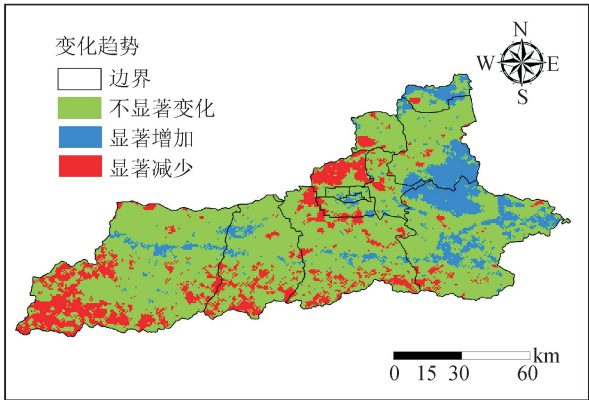
如图 1(a)所示,2000—2013 年西安市多年平均植被覆盖度的热点区域面积和冷点区域面积分别占全市总面积的 5.27%和 13.91%,热点区域主要集

中在海拔较高的山地区域,冷点区域主要集中在海拔较低的城区及临潼区南部和蓝田县北部。全市 80.82% 面积区域多年平均植被覆盖度的变化并未表现出冷热点状态。冷点区域植被覆盖度在 2000—2013 年均小于热点区域的植被覆盖度(见图 1(b)),且呈现缓慢增加的趋势。冷点区域、热点区域和植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量不显著变化区域的多年平均植被覆盖度分别为 0.69、0.97 和 0.89,同时在研究时段内 3 种区域的植被覆盖度变化率分别为 4.77%、4.41% 和 7.93%,分析结果表明植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量不显著变化区域的植被覆盖度增加幅度较大,热点区域和冷点区域的植被覆盖度增加幅度较为缓慢且一致。

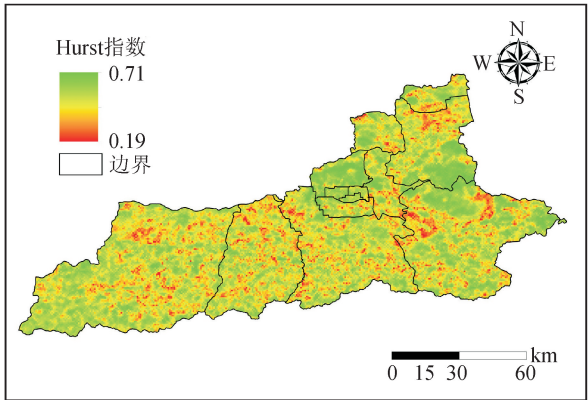
2.2 植被覆盖度冷热点时空变化趋势

为了进一步了解西安市 2000—2013 年间植被覆盖度的冷热点时空变化情况,本研究分析了植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量在空间上的变化趋势

(见图 2(a))及其 Hurst 指数在空间上的分布(图 2(b))。图 2(a)表明,植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量呈现显著减少趋势的区域主要集中在海拔较高的山区,同时在海拔较低的城区周边植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量也存在面积较大的显著减少,显著减少区域的多年平均植被覆盖度为 0.88,变化幅度为-2.49%。植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量显著增加的区域主要集中在蓝田县北部和临潼区南部,该区域的多年平均植被覆盖度为 0.84,变化幅度为 20.03%。显著增加区域面积和显著减少区域面积分别占全市总面积的 12.89% 和 15.93%。植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量 Hurst 指数变化区间为 0.19~0.71,Hurst 指数大于 0.5 的区域大约占全市总面积 66.57%,主要集中在城区、蓝田县北部和临潼区南部,说明该区域植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量呈现正持续性变化,未来该区域植被覆盖有可能呈现高值聚集的状态。



(a) Getis-Ord G^* 统计量在空间上的变化趋势



(b) Hurst 指数在空间上的分布

图 2 西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量变化趋势
Fig. 2 Trend of Getis-Ord G^* value in vegetation coverage

2.3 植被覆盖度冷热点突变点空间分布

采用 Pettitt 检验分析方法,本研究识别了 2000—2013 年西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量显著突变年份的时空分布(见图 3)。在 2004—2008 年期间西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量存在显著的突变点,突变点面积占全市总面积 11.38%,突变点区域主要集中在蓝田县北部和临潼区南部以及城区周边。其中在 2004 年、2005 年、2006 年、2007 年和 2008 年存在显著突变的区域占全市总面积的比例分别为 2.11%、2.25%、3.61%、2.20% 和 1.21%,多年平均植被覆盖度分别为 0.86、0.85、0.81、0.81 和 0.85,植被覆盖度变化幅度分别为 9.38%、5.69%、10.08%、5.72% 和 6.32%。2004—2005 年突变比例较为稳定,说明在这 2 年期间西安市植被覆盖度变化较为稳定,2006

年突变比例较高,同时变化幅度最大,这表明 2006 年西安市植被覆盖度变化程度有所增加。

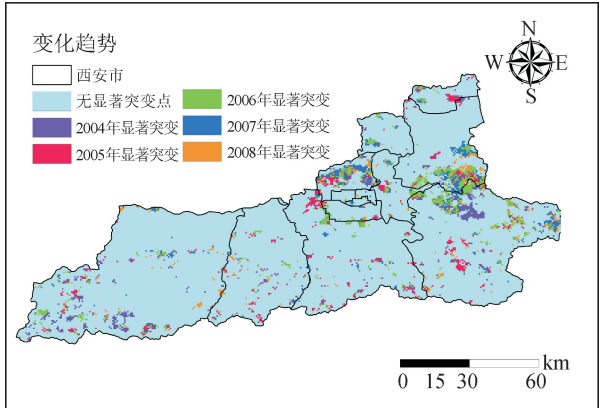
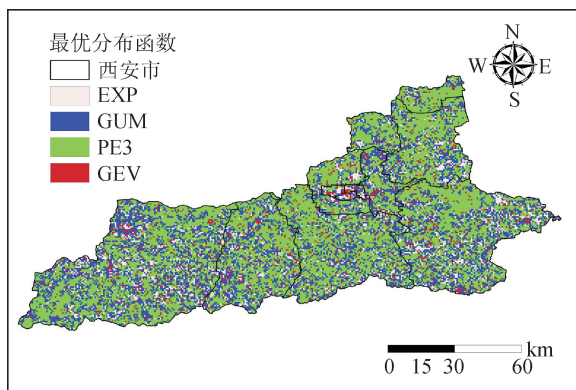


图 3 西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量突变点分布
Fig. 3 Distribution of change-point of Getis-Ord G^* value in vegetation coverage

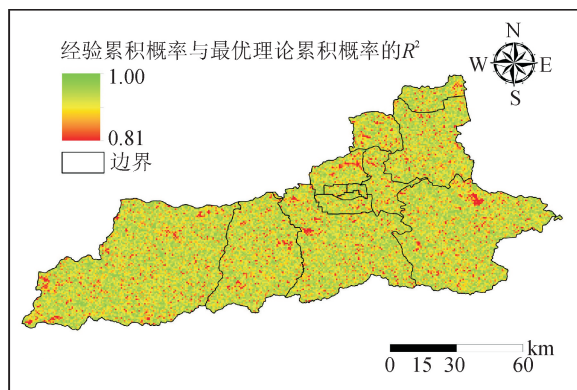
2.4 植被覆盖度冷热点变化的概率风险分析

根据概率分布函数理论,本研究进一步分析了2000—2013年西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量最优理论分布函数(图4(a))、经验累积概率分布与最优理论累积概率的 R^2 空间分布(图4(b))以及发生热点的概率分布(图4(c))和发生冷点的概率分布(图4(d))。图4(a)表明,EXP、GUM、PE3和GEV等4种分布函数可以作为不同栅格的最优理论分布函数,可以很好地描述西安市植被覆盖度在2000—2013年的分布情况,经验分布概率和最优理论累积概率的 R^2 在空间最小值为0.81(图4(b)),这也证明了理论分布函数对植被覆盖度的拟合程度较高。EXP、GUM、PE3和GEV等4种分布

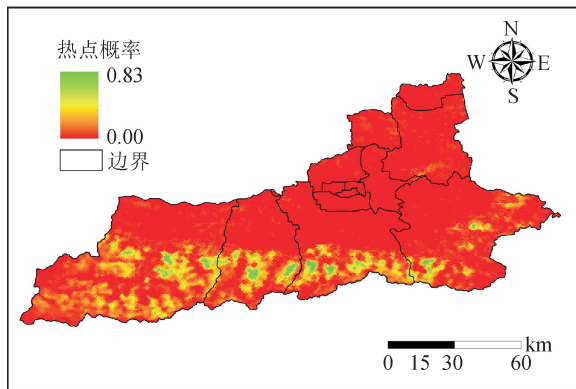
函数分别占全市总面积的8.44%、29.64%、55.94%和5.97%,植被覆盖度多年平均值分别为0.86、0.87、0.87和0.86,在时段内的变化幅度分别为6.62%、6.21%、6.15%和6.25%,分析表明GUM分布和PE3分布可以在较大区域较好地拟合西安市植被覆盖度,4种分布函数分布的区域植被覆盖度高低和变化幅度不存在明显差异。图4(c)和图4(d)表明,西安市高海拔地区出现热点区域的概率较高,集中分布在周至县山区、鄠邑区山区和长安区山区等;低海拔区域出现冷点的概率远远高于山区,例如城区和蓝田县北部、临潼区南部。西安市植被覆盖度发生冷点概率较高的区域需要进一步加强生态环境治理和绿化工作,降低植被退化风险。



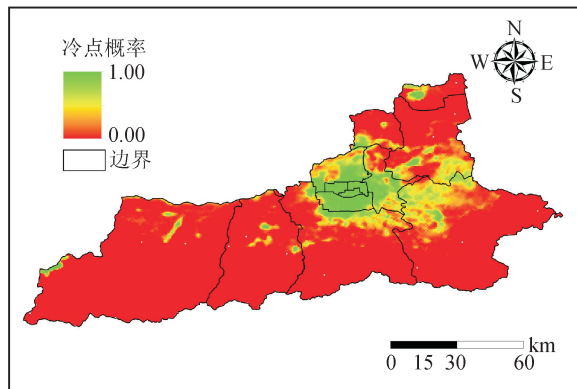
(a) 最优分布函数



(b) R^2 空间分布



(c) 热点概率分布



(d) 冷点概率分布

图4 西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量概率分析图

Fig. 4 Probability analysis of Getis-Ord G^* value of vegetation coverage in Xi'an

3 讨论

3.1 气候要素变化可能对植被覆盖度冷热点变化的影响

由于气候要素,特别是降水和气温的变化对植被的发育和生长具有重要影响^[4,10,17],因此讨论气候要素对植被覆盖度变化产生的影响是十分必要的。表1统计了2000—2013年西安市气候要素的基本变化特征,西安市多年平均降水量为563.53 mm,变异

系数为0.24,2000—2013年年降水量有略微减少,变化率为-7.70%。该地区多年平均气温为15.10℃,年平均气温年际变异系数较小,变化率为9.66%,气温略有升高。同时,分析表明日照时数、平均风速、相对湿度、无霜期、气压在研究期均不存在显著的变化趋势,且气候要素与植被覆盖度及植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量均不存在显著相关关系。在研究时段,日照时数变化率较高,达到83.71%,降雨量、平均风速以及相对湿度的 Hurst 指数值均高于0.5,未来依旧存在缓慢增加

的趋势。研究结果表明,2000—2013 年间西安市植被覆盖度及其 Getis-Ord G^* 统计量受到气候因素的影响较小,黄土高原地区的许多研究也表明气候要素变化

对植被覆盖度变化不存在显著影响^[17-18],主要影响可能来源于人类活动的作用^[10]。

表 1 西安市气候要素统计表
Tab.1 Statistics table of climate element in Xi'an

气候要素	最小值	最大值	均值	变异系数	变化率/%	变化趋势	Hurst 指数
平均气温	14.40 ℃	15.90 ℃	15.10 ℃	0.03	9.66	不显著增加	0.37
日照时数	1 091.90 h	2 022.70 h	1 740.99 h	0.15	83.71	不显著增加	0.53
平均风速	0.80 m/s	1.60 m/s	1.26 m/s	0.23	0.00	不显著增加	0.68
相对湿度	58.00%	70.00%	63.43%	0.06	-8.96	不显著减少	0.57
无霜期	211.00 d	259.00 d	236.29 d	0.07	18.26	不显著增加	0.26
气压	96 900 Pa	97 060 Pa	96 979 Pa	0.00	-0.06	不显著减少	0.43
降雨量	405.00 mm	883.00 mm	563.53 mm	0.24	-7.70	不显著增加	0.53

3.2 社会经济活动对植被覆盖度冷热点变化的影响

根据 M-K 趋势检验分析发现,2000—2013 年西安市植被覆盖度的热点区域逐年占比呈现显著下降趋势($p<0.05$),冷点区域占比高于热点区域占比,冷点区域逐年占比呈现波动变化,未存在明显变化趋势(图 5(a))。由于气候要素对西安市植被覆盖度及其 Getis-Ord G^* 统计量并不存在显著影响,因此引起热点区域占比呈现显著减少的原因可能主要和西安市的社会经济活动有关。秦超^[19]的研究表明西安市主城区以低植被覆盖度为主,而深处秦岭北麓的区域天然植被覆盖较好,经济发展相对缓慢的山区比城区植被覆盖更好。陕西省是典型的干旱半干旱地区,同时也是西北地区的重要林业大省^[20],林业生产活动较多。王君等^[21]研究表明退耕还林工程和绿化工程等人类活动明显的改善了西安市的生态环境,有利于植被恢复。图 5(b) 表明,

在 2000—2013 年西安市林业总产值呈现显著增加趋势($p<0.05$),植被覆盖度及其 Getis-Ord G^* 统计量与林业总产值均呈现显著的正相关关系,相关系数分别为 0.63($p<0.05$)和 0.61($p<0.05$),这表明在 2000—2013 年间西安市的林业生产活动确实在一定程度对植被覆盖度的变化产生了影响。同时,西安市园林绿化面积、公园个数和公园面积从 2000 年的 4 116 hm^2 、47 个和 880 hm^2 增加到了 2013 年的 15 736 hm^2 、73 个和 2 306 hm^2 ,增加幅度分别为 282.31%、55.32%和 162.05%,且 M-K 趋势检验表明三者均呈现显著增加趋势,分析表明西安市生态环境改善投资在不断增大^[22-23],水土流失等环境恶化风险逐渐降低,这种社会经济变化可能是引起西安市城区、临潼区南部和蓝田县北部植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量呈现显著增加的主要因素,进一步增加西安市环境改善投资有利于建设绿色生态环保的美丽西安。

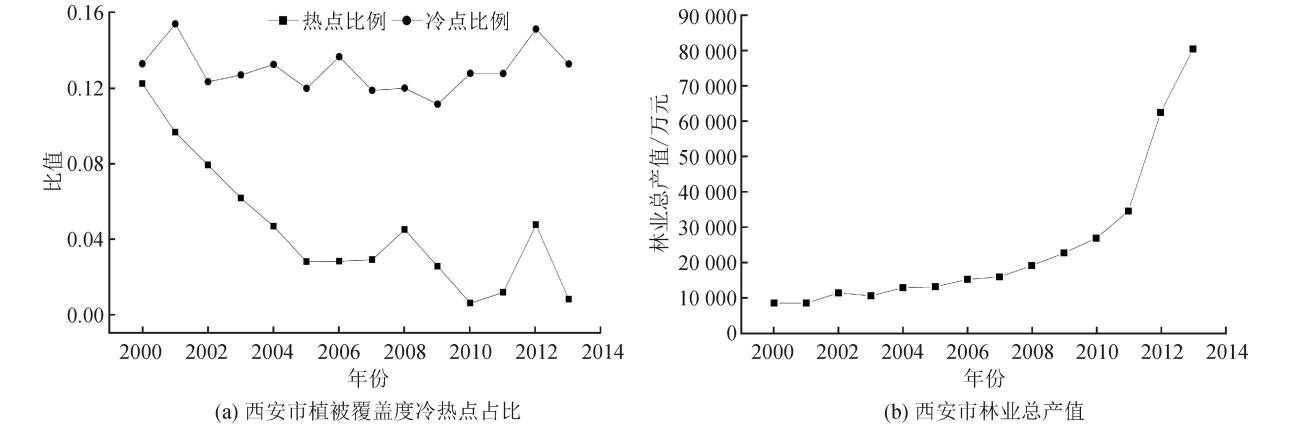


图 5 西安市植被覆盖度冷热点占比和林业总产值
Fig. 5 Share ratio of cold spot and hot spot of vegetation coverage and forestry total output value in Xi'an

4 结 论

1) 在 2000—2013 年西安市植被覆盖度存在冷

热点,冷热点区域植被覆盖度均缓慢增加,多年平均植被覆盖度热点和冷点分别占全市总面积的5.27%和 13.91%,热点区域主要集中在海拔较高的山地

区域,冷点区域主要集中在海拔较低的城区及临潼区南部和蓝田县北部。

2) 植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量显著减少趋势的区域主要集中在海拔较高的山区和海拔较低的城区周边,显著增加的区域主要集中在蓝田县北部和临潼区南部,分别占全市总面积的 15.93% 和 12.89%。

3) 在 2004—2008 年,西安市植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量存在显著的突变点,占全市总面积 11.38%,主要集中在蓝田县北部和临潼区南部以及城区周边。

4) 周至县山区、鄠邑区山区和长安区山区等高海拔地区植被覆盖度出现热点区域的概率较高,城区和蓝田县北部、临潼区南部低海拔区域植被覆盖度出现冷点的概率远远高于山区。气候要素变化对植被覆盖度冷热点变化没有显著影响,林业生产活动和城市园林绿化等人类活动的增加可能是造成城区、临潼区南部和蓝田县北部植被覆盖度 Getis-Ord G^* 统计量呈现显著增加的主要因素。

参考文献:

- [1] 蔡庆空,陶亮亮,蒋瑞波,等. 基于理论干湿边与改进 TVDI 的麦田土壤水分估算研究[J]. 农业机械学报, 2020;1-11.
CAI Qingkong, TAO Liangliang, JIANG Ruibo, et al. Soil moisture estimation of wheat field based on theoretical dry-wet edge and improved TVDI[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020; 1-11.
- [2] WANG Bin, XU Guoce, LI Peng, et al. Vegetation dynamics and their relationships with climatic factors in the Qinling Mountains of China[J]. Ecological Indicators, 2020,108; 105719.
- [3] 刘静,温仲明,刚成诚. 黄土高原不同植被覆被类型 NDVI 对气候变化的响应[J]. 生态学报,2020,40(2); 678-691.
LIU Jing, WEN Zhongming, GANG Chengcheng. Normalized difference vegetation index of different vegetation cover types and its responses to climate change in the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (2); 678-691.
- [4] 唐志红,尉秋实,刘虎俊,等. 祁连山东段高寒植被群落特征及其与地形气候因子关系研究[J]. 生态学报, 2020,40(1);223-232.
TANG Zhihong, YU Qiushi, LIU Hujun, et al. Characteristics of alpine vegetation community and its relationship to topographic climate factors in the eastern Qilian mountain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40

- (1); 223-232.
- [5] 高海东,刘晗,贾莲莲,等. 2000-2017 年河龙区间输沙量锐减归因分析[J]. 地理学报,2019,74(9): 1745-1757.
GAO Haidong, LIU Han, JIA Lianlian, et al. Attribution analysis of precipitous decrease of sediment loads in the Hekou-Longmen section of Yellow River since 2000 [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74 (9): 1745-1757.
- [6] 彭建,党威雄,刘焱序,等. 景观生态风险评价研究进展与展望[J]. 地理学报,2015,70(4):664-677.
PENG Jian, DANG Weixiong, LIU Yanxu, et al. Review on landscape ecological risk assessment[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(4): 664-677.
- [7] 张敏,曹春香,陈伟. 基于 MODIS NDVI 数据的广西植被覆盖时空变化遥感诊断[J]. 林业科学,2019,55(10);27-37.
ZHANG Min, CAO Chunxiang, CHEN Wei. Remotely sensed diagnosing temporal and spatial variation of vegetation coverage in Guangxi based on MODIS NDVI data[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(10): 27-37.
- [8] 张琨,吕一河,傅伯杰,等. 黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值[J]. 地理学报,2020,75(5): 949-960.
ZHANG Kun, LÜ Yihe, FU Bojie, et al. The effects of vegetation coverage changes on ecosystem service and their threshold in the Loess Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(5): 949-960.
- [9] XU Guoce, ZHANG Jiaxin, LI Peng, et al. Vegetation restoration projects and their influence on runoff and sediment in China[J]. Ecological indicators, 2018, 95: 233-241.
- [10] 贾路,任宗萍,李占斌,等. 2000—2013 年西安市植被覆盖度时空演变[J]. 水土保持研究,2019,26(6): 274-279.
JIA Lu, REN Zongping, LI Zhanbin, et al. Temporal and spatial evolution of vegetation coverage in Xi'an City from 2000 to 2013[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(6): 274-279.
- [11] 马世五,谢德体,张孝成,等. 三峡库区重庆段土地生态状况时空格局演变特征[J]. 生态学报,2018,38(23);8512-8525.
MA Shiwu, XIE Deti, ZHANG Xiaocheng, et al. Spatiotemporal variation in the ecological status of the Three Gorges Reservoir area in Chongqing, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): 8512-8525.
- [12] SANGYanfang, WANG Zhonggen, LIU Changming. Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time series[J]. Journal of

Hydrology, 2014, 510: 293-298.

[13] LIU Jian, CHENG Cheng, YANG Xianglin, et al. Analysis of the efficiency of Hong Kong REITs market based on Hurst exponent[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2019, 534: 122035.

[14] Pettitt A N. A non-parametric approach to the change-point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28(2): 126-135.

[15] YU Kunxia, XIONG Lihua, GOTTSCHALK L. Derivation of low flow distribution functions using copulas[J]. Journal of Hydrology, 2014, 508, 273-288.

[16] 贾路,任宗萍,李占斌,等. 无定河流域植被恢复变异诊断与风险评价[J]. 台湾水利,2019,67(2):67-74.
JIA Lu, REN Zongping, LI Zhanbin, et al. Diagnosing and risk assessment of vegetation restoration in Wuding River Basin [J]. Taiwan Water Conservancy, 2019, 67(2): 67-74.

[17] 徐丽萍. 黄土高原地区植被恢复对气候的影响及其互动效应[D]. 西安:西北农林科技大学,2008.
XU Liping. Influence and reciprocal effects of vegetation rehabilitation on regional climate in Loess Plateau [D]. Xi'an: Northwest A&F University, 2008.

[18] 张含玉,方怒放,史志华. 黄土高原植被覆盖时空变化及其对气候因子的响应[J]. 生态学报,2016,36(13): 3960-3968.

ZHANG Hanyu, FANG Nufang, SHI Zhihua. Spatio-temporal patterns for the NDVI and its responses to climatic factors in the Loess Plateau, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): 3960-3968.

[19] 秦超. 基于 NDVI 数据的宝鸡市和西安市植被覆盖情况对比分析[J]. 农业科学研究,2020,41(1):23-27.
QIN Chao. Comparative analysis of vegetation cover in Baoji city and Xi'an city based on NDVI data[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2020, 41(1): 23-27.

[20] 赵永红,孟西宁. 陕西省林业特点及生态环境建设的有效策略[J]. 吉林农业,2019(20):97.

[21] 王君,杨晓梅,隋立春,等. 西安市 1995—2016 年植被覆盖度动态变化监测及景观格局分析[J]. 生态科学, 2019,38(6):81-91.
WANG Jun, YANG Xiaomei, SUI Lichun, et al. Dynamic change monitoring and landscape pattern analysis of vegetation coverage in Xi'an city from 1995 to 2016[J]. Ecological Science, 2019, 38(6): 81-91.

[22] 吴雪萍,徐育红. 西安城市园林建设发展思路探析[J]. 园林,2019(1):18-23.

[23] 赵凯. 基于风景园林的视角探究城市绿化发展——以西安为例[J]. 现代园艺,2014(16):162-163.

(责任编辑 王绪迪)