

中国大陆植被覆盖对降水与温度变化的响应

陈欢, 任志远

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 应用 GIMMS NDVI 时间序列遥感数据集中国大陸 188 个气象站的温度与降水资料, 基于时滞互相关方法和 GIS 工具, 利用中国生态地理区划图分析了中国大陸不同生态地理区植被 NDVI 的变化趋势及其与温度、降水年内变化的时滞响应及其空间特征。结果表明, 1982—2000 年中国大陸气温升高, 降水量减少, NDVI 呈现增加趋势。中温带和北亚热带植被 NDVI 略有减少, 边缘热带、高原亚寒带和高原温带植被 NDVI 增加速度显著。植被 NDVI 与降水和温度之间有较显著的相关性。中国大陸植被 NDVI 对气温和降水有滞后效应, 并且滞后水平存在着明显的空间差异。

关键词: 气温; 降水; 生态地理区; 时滞互相关分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0078-05

中图分类号: Q948

Response of Vegetation Coverage to Changes of Precipitation and Temperature in Chinese Mainland

CHEN Huan, REN Zhi-yuan

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Climate changes affect the growth of vegetation and photosynthesis, which can be represented by NDVI change. It is therefore very important to investigate the relationship between NDVI and climate. NDVI values can be used to characterize earth surface conditions regarding vegetation coverage, growth, type and other variables. The change of vegetation at Chinese mainland and its relationship with temperature and precipitation were studied on different geographic ecological zones in China using time lag cross-correlation analysis and GIS based on GIMMS NDVI data set along with temperature and precipitation data from 188 stations in Chinese mainland. It was found that in general, the temperature of mainland China increased, the precipitation was reduced, and the vegetation coverage increased from 1982 to 2000. The NDVI values of the cold temperature zone, temperate zone, north subtropical and central asian tropical zone decreased while the NDVI values of the other five ecological geographic zones increased. There is a significant correlation between NDVI and precipitation and temperature. The NDVI values of mainland China showed substantially spatial variability in lagging behind the variations of precipitation and temperature.

Keywords: temperature; precipitation; ecological geographic area; time lag cross-correlation analysis

土地覆被变化是全球环境变化和陆地生态系统对全球气候变化和人类活动最重要的响应之一^[1]。气候变化影响着植被的生长和光合作用, 地表 NDVI 在一定程度上能代表地表覆盖变化, 所以针对气候与 NDVI 关系的研究在全球变化研究中非常重要^[2-3]。归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 是遥感影像的近红外波段和红外波段

的比值参数, 可很好的地反映植被覆盖、生长、种类和它们的生物量等情况, 是一个研究土地覆被和土地利用变化极其重要的指数^[4]。许多学者也进行了相关研究, 得出了一些成果。张文江等^[5]分析了青藏高原中东部植被覆盖对水热条件的响应变化; 信忠保等^[6]研究了黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应; 刘德义等^[7]运用 SPSS 软件分析了近 20 a 天

收稿日期: 2012-03-17

修回日期: 2012-05-13

资助项目: 国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(2009JJD770025)

作者简介: 陈欢(1987—), 女(汉族), 陕西省安康市人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail: wjbaixi@163.com。

通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn。

津地区植被和气候因子之间的相关关系;蔡迪花等^[8]分析了民勤地区春小麦 NDVI 与产量的关系及其对气候变暖的响应等。本研究以时滞互相关系数为基础,研究了中国大陆植被与降水和温度之间的相关关系。

本研究区域为中国大陆地区,即除了中国所有沿海岛屿(海南岛、台湾岛以及南海诸岛等岛屿)以外的中国领土。根据中国地理图集集中的中国地理生态区划图以及傅伯杰等^[9-10]在 2001 年对我国进行的生态区域划分,将中国大陆地区的地理生态区划分为寒温带、中温带、暖温带、北亚热带、中亚热带、南亚热带、边缘热带、高原亚寒带和高原温带,水热分布差异是导致植被覆盖程度在空间上有显著分异特征的直接原因。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

GIMMS(global inventory monitoring and modeling studies) NDVI 数据是美国国家航天航空局(NASA)于 2003 年 11 月推出的最新全球植被指数变化数据。该数据集包括了 1981—2006 年的全球植被指数变化。本研究使用了 1982—2000 的 NOAA/AVHRR NDVI 时间序列数据集,时间分辨率为 15 d。通过计算得到中国大陆 1982—2000 年每个半月的 NDVI 均值。气象数据来源于国家气象局气象中心资料室,包括 1982—2000 全国 188 个站点的降水数据与温度数据。根据获取的各站点气象数据进行 Kriging 插值,计算得到中国大陆 1982—2000 年的半月平均降水和半月均温栅格图像。

1.2 研究方法

目前研究植被与气候因子之间的时滞互相关关系通常用的方法是时滞互相关法^[11-17]。计算公式为:

假定气候因子的时间序列 x_t 与 NDVI 的时间序列 y_t 对任何时滞 k 都相关,则互相关系数的公式为:

$$r_k(x, y) = \frac{c_k(x, y)}{\sigma_x \sigma_{y+k}} \quad (1)$$

式中样本的协方差 $c_k(x, y)$ 和均方差 σ_x, σ_{y+k} 分别表示为:

$$\begin{cases} c_k(x, y) = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}_t)(y_{t+k} - \bar{y}_{t+k}) \\ \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}_t)^2} \\ \sigma_{y+k} = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (y_{t+k} - \bar{y}_{t+k})^2} \end{cases} \quad (2)$$

其中,均值为:

$$\begin{cases} \bar{x}_t = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} x_t \\ \bar{y}_{t+k} = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} y_{t+k} \end{cases} \quad (3)$$

式中: n ——序列 x_t 和 y_t 的样本数; $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。根据经验,时滞 k 的绝对值应小于 $\frac{n}{4}$ 。由于分析的是半月气候要素与 NDVI 之间的相关情况,因此 $n=24, n/4=6$,选择 $k=6$ 。

2 结果与分析

2.1 气候因子的变化特征

图 1 中降水量变化曲线表现了中国大陆的年降水量在 1982—2000 年间呈现下降趋势,平均每年下降 4.27 mm,2000 年比 1982 年降水减少了 80.98 mm,多年平均值为 355.16 mm。1982 年降水量最多,为 406.66 mm。1999 年降水量最少,为 310.4 mm。1987—1989 年降水量有小幅的增加,平均每年增加为 5.80 mm。

图 1 中平均气温变化曲线表现了中国大陆的年均温度在 1982—2000 年间总体呈现上升趋势,平均每年增加 0.076 °C,2000 年比 1982 年温度上升了 1.447 °C,多年气温平均值为 9.412 °C。1982—1984 年平均温度处于下降阶段,1984 年平均气温是 8.608 °C,是 1982—2000 年平均值的最低值。1984—1998 年平均温度总体呈 3 个阶段波动上升,2000 年平均气温是 10.755 °C,是 1982—2000 年平均值的最高值。

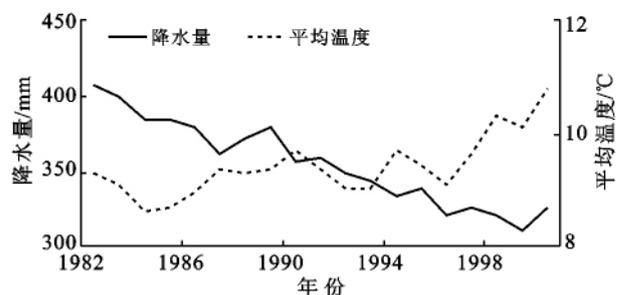


图 1 中国大陆 1982—2000 年降水与气温的变化

2.2 NDVI 变化特征

图 2 为中国大陆 1982—2000 年间 NDVI 变化曲线。由图 2 可以看出,NDVI 在 19 a 间总体是增加的,线性增加率每 10 a 为 0.000 3。分别在 1982 年和 1999 年出现最小值和最大值,其值分别为 0.25 和 0.27。

2.2.1 不同生态地理区划 NDVI 年际变化 根据图 3 可见,寒温带、中温带、北亚热带和中亚热带在

19 a 间植被 NDVI 处于减少的趋势,但中温带和北亚热带每 10 a 减少速率为-0.000 3 和-0.000 1,减少趋势并不显著;暖温带、南亚热带、边缘热带、高原亚寒带和高原温带的植被 NDVI 在过去 19 a 间处于增加的趋势,边缘热带、高原亚寒带和高原温带每 10 a 分别以 0.008 5,0.007 6 和 0.007 4 的速率显著增加。

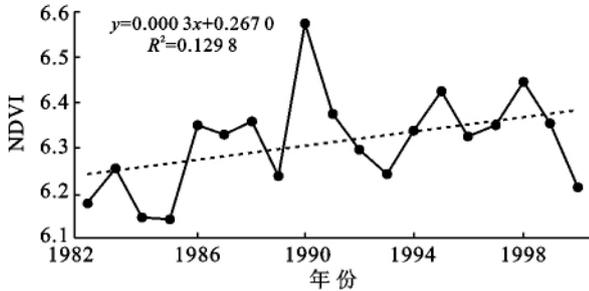


图 2 中国大陆 1982—2000 年植被 NDVI 变化

2.2.2 不同生态地理区划 NDVI 季节变化 由表 1 可以看出,在春季,寒温带、中温带、中亚热带和南亚热带的植被 NDVI 呈减少趋势,其余 5 个生态地理区的植被 NDVI 是增加的,边缘热带在 0.05 水平上显著,暖温带、高原亚寒带和高原温带的植被 NDVI 增

加在 0.01 水平上显著。寒温带、北亚热带的植被 NDVI 在夏季减少,其余 7 个生态地理区的植被 NDVI 都是增加的,南亚热带的植被 NDVI 减少和高原亚寒带的植被 NDVI 增加在 0.01 水平上显著。在秋季,暖温带、南亚热带和边缘热带的植被 NDVI 在减少,其余 6 个生态地理区的植被 NDVI 在增加。除了高原亚寒带和高原温带在冬季的植被 NDVI 为增加,其余 7 个生态地理区都的植被 NDVI 均表现为减少。9 个生态地理区的植被 NDVI 在秋季与冬季的增幅均不显著。

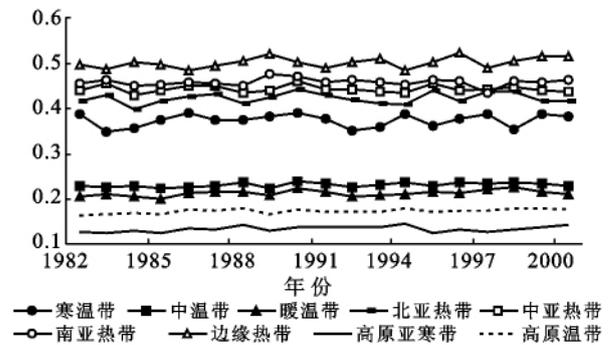


图 3 中国大陆不同生态地理区 1982—2000 年 NDVI 变化

表 1 中国大陆生态地理区域植被 NDVI 变化趋势及线性相关系数

生态地理区	NDVI 变化/10 a					线性相关系数				
	全年	冬季	春季	夏季	秋季	全年	冬季	春季	夏季	秋季
E ₁	-0.002 0	-0.033	-0.060	-0.029	0.040	0.136	-0.371	0.203	-0.117	0.410
E ₂	-0.000 3	-0.570	-0.037	0.003	0.012	0.463*	-0.151	0.245	0.313	0.452
E ₃	0.003 4	-0.010	0.058	0.023	-0.020	0.481*	0.184	0.665**	0.028	0.081
E ₄	-0.000 1	-0.010	0.013	-0.003	0.013	0.172	0.221	0.291	-0.248	0.114
E ₅	-0.001 3	-0.053	-0.002	0.026	-0.011	-0.087	-0.155	0.389	-0.339	0.091
E ₆	0.004 4	-0.026	-0.001	0.030	-0.011	0.014	-0.032	0.422	-0.474*	0.056
E ₇	0.008 5	-0.028	0.059	0.004	0.001	0.406	0.119	0.515*	-0.389	0.055
E ₈	0.007 6	0.024	0.030	0.087	0.036	0.364	0.220	0.626**	0.558*	-0.104
E ₉	0.007 4	0.024	0.042	0.050	0.026	0.606**	0.343	0.589**	0.441	0.330

注: E₁ 为寒温带; E₂ 为中温带; E₃ 为暖温带; E₄ 为北亚热带; E₅ 为中亚热带; E₆ 为南亚热带; E₇ 为边缘热带; E₈ 为高原亚寒带; E₉ 为高原温带。* 为 0.05 水平弱显著; ** 为 0.01 水平显著。下同。

2.3 植被 NDVI 与气象因子变化的相关性

由表 2 可以看出,除了边缘热带,其余 6 个生态地理区在 k=0 和 1 时与温度呈高度正相关,说明这 6 个生态地理区植被 NDVI 与同时期的温度有较强的同步性。所有生态地理区在 k=2 和 3 时与温度呈现高度正相关,说明全国植被 NDVI 与温度的相互作用时程为 1~1.5 月。k=4 时,全国植被 NDVI 总体上与温度呈高度正相关,其中中亚热带、南亚热带、边缘热带、高原亚寒带和高原温带植被 NDVI 与温度呈现高度正相关,寒温带、中温带和暖温带植被 NDVI 与

温度呈现弱相关,北亚热带植被 NDVI 与温度相关性不显著。

全国植被 NDVI 总体上在 k=5 时与温度没有显著相关性,但其中南亚热带、边缘热带和高原温带植被 NDVI 与温度呈显著正相关,中亚热带和高原亚寒带植被 NDVI 与温度呈弱相关,其余区域与温度没有显著相关。k=6 时,全国植被 NDVI 总体上与温度没有显著相关,只有南亚热带和边缘热带植被 NDVI 与温度呈现高度正相关,其余区域植被 NDVI 都与温度相关性不显著。

表 2 中国大陆生态地理区域植被 NDVI 与温度的相关系数

区域	时滞 k						
	0	1	2	3	4	5	6
全国	0.906**	0.959**	0.943**	0.847**	0.673**	0.434	0.155
E ₁	0.901**	0.907**	0.847**	0.708**	0.495*	0.228	-0.073
E ₂	0.907**	0.898**	0.816**	0.661**	0.453*	0.176	-0.110
E ₃	0.939**	0.958**	0.900**	0.756**	0.539*	0.272	-0.007
E ₄	0.991**	0.958**	0.841**	0.641**	0.380	0.080	-0.216
E ₅	0.784**	0.882**	0.888**	0.852**	0.721**	0.566*	0.346
E ₆	0.577**	0.781**	0.921**	0.980**	0.969**	0.905**	0.817**
E ₇	-0.150	0.138	0.438*	0.660**	0.809**	0.874**	0.892**
E ₈	0.807**	0.886**	0.902**	0.847**	0.720**	0.537*	0.322
E ₉	0.757**	0.873**	0.931**	0.919**	0.829**	0.669**	0.456

由表 3 可以看出,除了 $k=6$ 外,全国植被 NDVI 总体上与降水呈现显著正相关关系。

其中中温带和暖温带植被 NDVI 在 $k=0,1,2,3,4$ 时与降水呈现显著正相关关系,北亚热带植被

NDVI 在 $k=1,2$ 时与降水呈现显著正相关关系,高原温带植被 NDVI 在 $k=1,2,3,4,5,6$ 时都与降水呈现显著正相关关系,中亚热带与南亚热带植被 NDVI 与降水相关性不显著。

表 3 中国大陆生态地理区域植被 NDVI 与降水的相关系数

区域	时滞 k						
	0	1	2	3	4	5	6
全国	0.630**	0.789**	0.899**	0.945**	0.914**	0.756**	0.460
E ₁	0.083	0.204	0.344	0.445*	0.487	0.508*	0.437
E ₂	0.610**	0.779**	0.843**	0.814**	0.656**	0.392	0.049
E ₃	0.799**	0.914**	0.954**	0.901**	0.733**	0.432	0.051
E ₄	0.499*	0.575**	0.588**	0.534*	0.349	0.025	-0.236
E ₅	-0.330	0.034	0.116	0.077	0.317	0.157	0.420
E ₆	-0.539	-0.452	-0.312	-0.172	-0.330	0.120	0.291
E ₇	-0.175	0.056	0.267	0.411	0.496*	0.529*	0.527*
E ₈	0.250	0.345	0.433*	0.537*	0.626**	0.674**	0.676**
E ₉	0.360	0.531**	0.684**	0.826**	0.902**	0.888**	0.784**

2.4 植被 NDVI 对温度与降水变化的响应

附图 3 分别显示了中国大陆 NDVI 与温度和降水的时滞空间分布状况。由附图 3 可以看出,在寒温带,年降水量大约为 350~450 mm,温度较低,植被为落叶针叶林和常绿针叶林,温度升高可加快植物生长速率,温度降低则植物生长发育迟缓,故此地区植被对温度的响应较为敏感。中温带的阿拉善及河西走廊地区,暖温带的塔里木盆地与吐鲁番盆地,南亚热带的滇中山地丘陵,边缘热带的滇南谷地丘陵,高原亚寒带的高山高原等区域植被稀少,降水量较小,气候干燥,昼夜温差大,植被对于温度与降水都有明显的滞后响应。北亚热带的淮南与长江中下游,中亚热带的江南丘陵与降水有较强的同步性,主要由于中国东面濒临太平洋,太平洋是水汽的主要来源,夏季东

南季风的强弱决定降水量的多少。因此距海越近,东南季风越强,降水量越多,可以满足植物生长的需要;距海越远,东南季风越弱,降水越少。

在中国的干旱与半干旱地区,降水不足是植被生长的主要限制因子。新疆维吾尔自治区西部地区,虽然降水较少,但依靠高山雪水,水量也较充足,故对温度的变化响应较为敏感^[18-19]。

总的来说,中国大陆植被与温度的相互作用时间主要为 0~1.5 个月,与降水的相互作用时间主要为 2.5~3 个月。说明植被对温度的响应有敏感性和依赖性的特点,温度的季节性变化对植物的生长有关键性的影响;而植被生长主要通过吸收土壤水分,土壤主要通过大气降水获得水分,所以降水对植被有较明显的滞后响应。

3 结论

(1) 1982—2000 年中国大陆气温升高,降水量略有减少。

(2) 1982—2000 年中国大陆植被 NDVI 呈现增加的趋势,中温带和北亚热带植被 NDVI 略有减少,边缘热带、高原亚寒带和高原温带植被 NDVI 增加速度显著,说明在这 19 a 期间,中国大陆植被活动有增强的趋势。不同季节里,不同的地理生态区植被 NDVI 变化也不同。

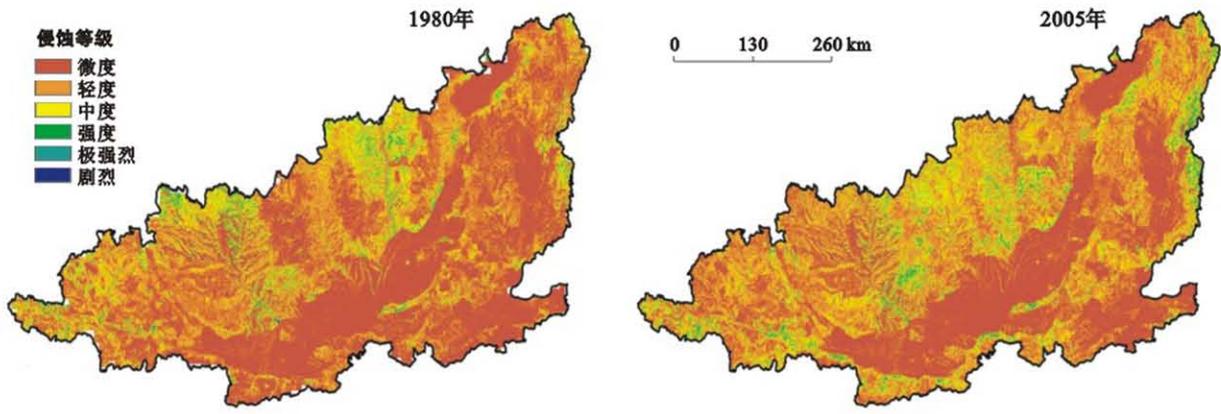
(3) 植被 NDVI 与温度和降水具有较明显的空间响应,与温度的相关性要更加明显一些。

(4) 总体上来说,中国大陆植被与温度的相互作用时间主要为 0~1.5 个月,与降水的相互作用时间主要为 2.5~3 个月。

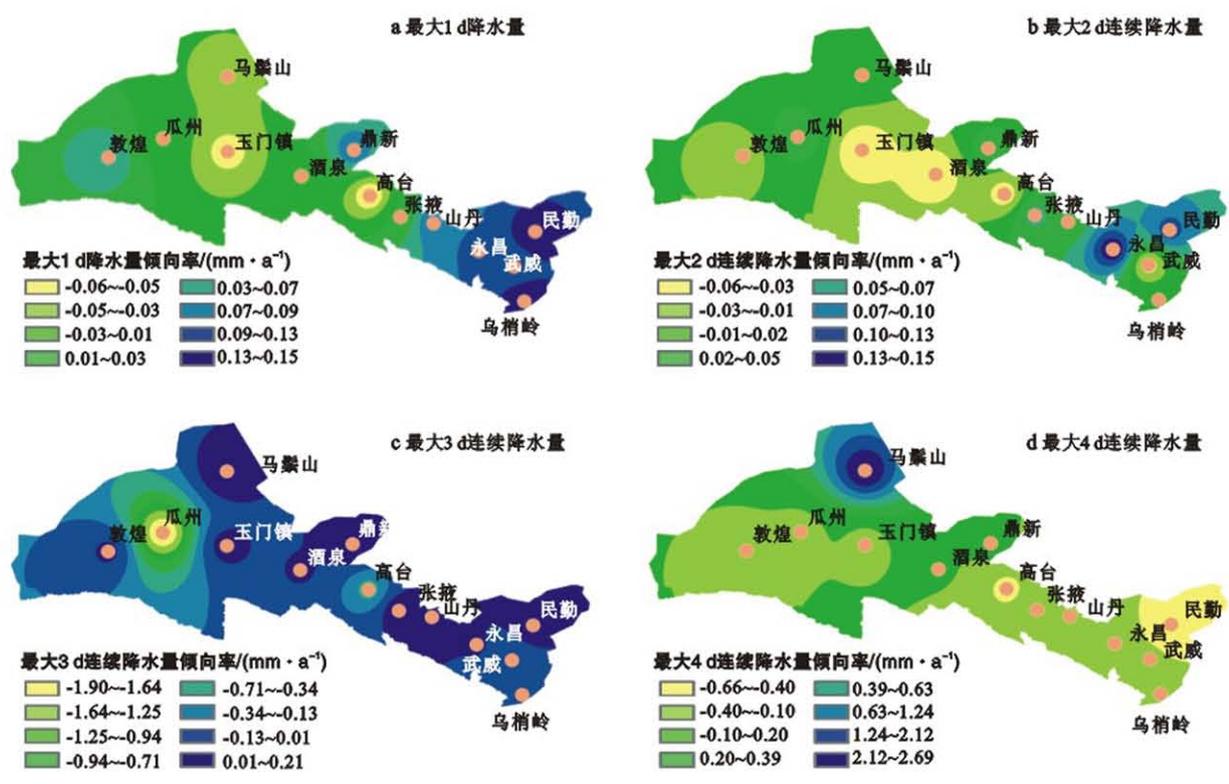
(5) 植被 NDVI 覆盖对气候的响应是一个复杂的过程,本研究只分析了植被 NDVI 对气温与降水的响应,没有考虑到相对湿度、日照时数和气压等因素对植被 NDVI 滞后效应的影响。没有涉及不同土地利用类型对气候因子的响应,而不同土地利用类型对气候因子的响应差别较大。此外,本研究只考虑了植被覆盖对气候因子的响应,今后有必要进行植被在生长季节对气候因子变化的敏感性研究。

[参 考 文 献]

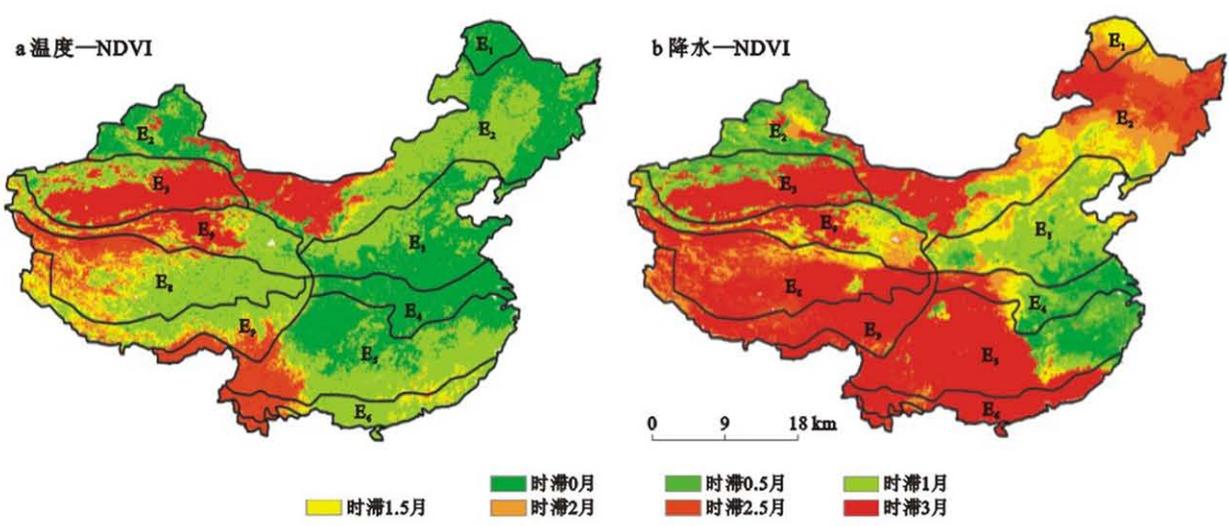
- [1] 李克让,陈育峰,黄玫,等. 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型[J]. 地理学报,2000,55(S):57-63.
- [2] 潘耀忠,李晓兵,何春阳. 中国土地覆盖综合分类研究: 基于 NOAA/AVHRR 和 Holdridge PE[J]. 第四纪研究,2000,20(3):270-281.
- [3] 陈云浩,李晓兵,史培军. 1983—1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析[J]. 植被生态学报,2001,25(6):716-720.
- [4] 戴声佩,张勃,王海军. 中国西北地区植被 NDVI 的时空变化及其影响因子分析[J]. 地理信息科学学报,2010,12(3):315-321.
- [5] 张文江,高志强. 青藏高原中东部植被覆盖对水热条件的响应研究[J]. 地理科学进展,2005,24(5):14-23.
- [6] 信忠保,许炯心. 黄土高原地区植被覆盖时空演变对气候的响应[J]. 自然科学进展,2007,17(6):770-778.
- [7] 刘德义,傅宁,范锦龙. 近 20 年天津地区植被变化及其对气候变化的响应[J]. 生态环境,2008,17(2):798-801.
- [8] 蔡迪花,王润元,郭妮,等. 民勤春小麦 NDVI 与产量的关系及其对气候变暖的响应[J]. 中国沙漠,2010,30(2):376-382.
- [9] 傅伯杰,刘国华,陈利项,等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报,2001,21(1):1-6.
- [10] 刘国华,傅伯杰. 生态区划的原则及其特征[J]. 环境科学进展,1998,6(6):67-72.
- [11] 陈彦光,刘继生. 基于引力模型的城市空间互相关和功率谱分析:引力模型的理论证明、函数推广及应用实例[J]. 地理研究,2002,21(6):742-752.
- [12] 丁明军,张镜铨,刘林山,等. 青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 地理科学进展,2010,29(4):507-102.
- [13] 蒲云锦,韩春光. 新疆植被指数与气象因子关系分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2010,4(5):44-48.
- [14] 崔林丽,史军,肖风劲,等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析[J]. 资源科学,2010,32(1):124-131.
- [15] 戴声佩,张勃. 基于 GIS 的祁连山植被 NDVI 对气温降水的旬响应分析[J]. 生态环境学报,2010,19(1):140-145.
- [16] 陈晓光,李剑萍,李志军,等. 青海湖地区植被覆盖及其与气温降水变化的关系[J]. 中国沙漠,2007,27(5):797-804.
- [17] 朴世龙,方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报,58(1):119-125.
- [18] 戈登 B. 生态气候学概念与应用[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [19] 卢升高. 环境生态学[M]. 浙江:浙江大学出版社,2010.



附图1 黄土高原南部土壤侵蚀等级空间分布



附图2 河西地区1996—2011年不同天数最大连续降水空间分布



附图3 中国大陆NDVI与温度和降水的时滞空间分布

注: E₁,寒温带; E₂,中温带; E₃,暖温带; E₄,北亚热带; E₅,中亚热带; E₆,南亚热带; E₇,边缘热带; E₈,高原亚寒带; E₉,高原温带