

陕北地区 NDVI 对水热条件年内变化的响应及其空间特征

王 灿, 任志远, 张 翀

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

摘 要: 利用陕北地区 1999—2010 年 GIMMS-NDVI 数据, 结合同期气温和降水资料, 基于 GIS 软件和时滞互相关方法, 以陕北地区植被覆盖对气温、降水的响应关系为主线, 通过生态功能区划和植被类型两个层面分析了水热条件的季相变化同各旬 NDVI 均值(TN, Ten-day NDVI)变化之间的关系, 结果如下: (1) 陕北地区生态亚区的 TN 与旬平均降水 TP(Ten-day Precipitation)的相关程度从大到小依次是: 高植被覆盖率(人工植被)、低植被覆盖率、高植被覆盖率(自然植被)、高植被覆盖率(人工—自然混合植被); 各个生态亚区的 TN 与旬均温 TT(Ten-day Temperature)的相关程度从大到小依次是: 高植被覆盖率(人工—自然混合植被)、低植被覆盖率、高植被覆盖率(自然植被)、高植被覆盖率(人工植被)。 (2) 陕北地区各个生态亚区植被 NDVI 对水热条件的滞后时间一致, 长短排序依次是: 高植被覆盖率(人工植被)、低植被覆盖率、高植被覆盖率(自然植被)、高植被覆盖率(人工—自然混合植被)。 (3) 陕北地区不同植被类型对水、热条件的响应程度由高到低依次是耕地、草原、密集灌丛、沙漠和林地, 所有植被类型对降水的响应均比温度快。水热条件对陕北不同植被类型的影响程度从大到小依次为耕地、草原、密集灌丛、沙漠和林地。同一植被类型的不同亚类受水、热条件影响程度和响应速度均有差异。

关键词: 陕北地区; NDVI; 水热条件; 滞后效应; 相关性

中图分类号: P463. 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)01-0173-05

Intra-Annual Response of NDVI to Changes in Temperature and Precipitation and Its Spatial Characteristics in Northern Shaanxi

WANG Can, REN Zhi-yuan, ZHANG Chong

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

Abstract: By combing GIMMS-NDVI data and the temperature and precipitation data from 1999 to 2010 in northern Shaanxi, and based on delay cross-correlation method, temporal and spatial characteristics of the relationship between hydro-thermal condition and vegetation cover were analyzed. Results show that: (1) different ecological subregions in northern Shaanxi differently respond to temperature and precipitation condition, the descending order of the correlation between TN(Ten-day NDVI) and TP(Ten-day Precipitation) is high rate of vegetation coverage(hybrid vegetation), low rate of vegetation coverage, high rate of vegetation coverage(natural vegetation), high rate of vegetation coverage(artificial vegetation). The descending order of the correlation between TN and TT(Ten-day Temperature) is high rate of vegetation coverage(hybrid vegetation), low rate of vegetation coverage, high rate of vegetation coverage(nature vegetation), high rate of vegetation coverage(artificial vegetation); (2) one ecologic zone has the same lagged effect on water and heat, the descending order of the lay time is high rate of vegetation coverage(artificial vegetation), low rate of vegetation coverage, high rate of vegetation coverage(natural vegetation), high rate of vegetation coverage(hybrid vegetation); (3) different vegetation types respond to water and thermal condition differently. The descending order of the responding degree for each vegetation type is arable land, grassland, dense shrub, desert, woodland. All plants respond to precipitation faster than temperature. Descending order of require-

收稿日期: 2013-05-30

修回日期: 2013-06-19

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(41371523); 陕西师范大学中央高校基本科研专项基金资助(GK201101002)

作者简介: 王灿(1988—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail: wangcanstone@sina.com

通信作者: 任志远(1953—), 男, 陕西兴平人, 教授, 博导, 主要从事国土资源开发与生态环境评价研究。E-mail: renzhy@snnu.edu.cn

ment of water and heat for different vegetation types is arable land, grassland, dense shrub, desert, woodland. The influence of water and heat on the same plant in different sub-categories is different.

Key words: northern Shaanxi; NDVI; water and heat conditions; hysteresis effect; correlation

气候变化对陆地地表植被覆盖变化的影响是当前全球变化研究的重要内容。植被不仅是连接大气、水体和土壤的纽带,还是陆地地表生态系统的核心部分,故植被对水土保持、气候调节以及整个生态系统的稳定等方面都有显著的影响^[1-2]。

归一化植被指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)能够反映植被对光合有效辐射的吸收能力^[3],被广泛用于估算生物量、叶面积指数和植被生产力格局^[4]。NDVI 能够直观体现植被生长的基本情况,加之全球环境变化等问题日益突显,近十几年来,基于长时间序列的 NDVI 数据来分析检测环境和植被等变化成为国内外研究的热点^[4-7]。有学者利用 NDVI 探讨土地利用变化、植被覆盖度等,也有利用叶面积指数、光合作用量等与 NDVI 的关系来分析 NDVI 对气候变化的响应。多数学者都是基于季节性和年际变化的研究,少数涉及到从不同时间尺度和空间尺度分析植被对水、热条件的响应^[6,8-14]。并且,在这些研究中,一般考虑的是时滞为零的情况。实际上,植被受水热条件影响的同时,其本身会产生一定的滞后效应^[11,15-20]。利用时滞互相关方法研究植被覆盖变化,能够更科学研究气候与植被覆盖变化的相互关系,更有助于提高我们预测植被变化趋势的能力。

陕北黄土高原是我国黄河泥沙主要来源地之一,也是西北地区环境重点治理和保护区域。该区生态环境较恶劣,对气候变化敏感,水土流失严重,自然灾害较频繁,属于生态环境脆弱地区^[21]。随着西部大开发的推进,西北地区尤其是陕北,自然环境的修复与保护显得愈发的重要。本研究采用时滞互相关法^[22],通过生态区划和植被类型两个层面分析 NDVI 对气候条件季向变化的响应。以期对现今陕北地区环境保护和生态建设提供一定的指导。

1 研究区概况

陕北地处中温带地区,属于中温带干旱大陆季风气候区与内陆干旱区的过渡地带,该区域干旱且生态环境脆弱。行政区划包括陕西省的榆林市 12 个县区和延安市 11 个县,海拔 900~1 500 m,总面积 92 521.4 km²。年均温 7~12℃,其中 1 月份均温 -3~10℃,7 月份均温 22~24℃。年降水量 400~600 mm,无霜期为 140~186 d。陕北占陕西全省土地面

积的 45%。该地区是中国黄土高原的中心部分,有世界上面积最大、发育最典型的黄土地形,区域地势西北高,东南低(图 1)。降水趋势自西向东递增。

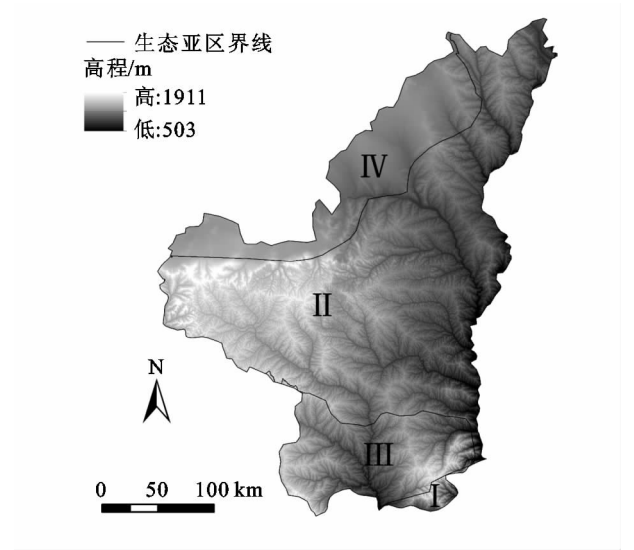


图 1 研究区域范围及其生态区划

注: I: 渭河盆地农业生态亚区陕北部分; II: 陕北—晋西中南部黄土丘陵沟壑水土流失极敏感生态亚区陕北部分; III: 陕中黄土塬梁沟壑旱作农业生态亚区陕北部分; IV: 鄂尔多斯高原东部典型草原生态亚区陕北部分。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

GIMMS(global inventory modeling and mapping studies)NDVI 产品是美国 NASA 于 2003 年 11 月推出的全新的全球植被指数化数据。该研究中用到的数据集包含了 1999—2010 年间的全球植被指数变化,是 ENVI 标准格式,空间分辨率为 8 km,时间分辨率是 15 d,Albers 投影。基于 GIMMS-NDVI 数据计算陕北地区 12 a 各旬的 NDVI 均值(TN)。

本文所用到的数据包括 1999—2010 年陕北地区日均温和降水数据、每年旬最大化合成的 GIMMS-NDVI 数据、陕北行政区划图、陕北地区植被类型图和陕北地区生态区划图等。其中,根据 1999—2010 年陕北地区 21 个气象站点的日均温和降水数据和对实测数据进行反距离权重插值法得到的空间插值数据,分别计算得到:旬均温(TT, Ten-day Temperature)和旬平均降水(TP, Ten-day Precipitation)。陕北地区植被类型图来源于寒旱区科学数据中心,图像的比例尺是 1:100 万。生态区划图来源于中国生态系统与生态功能区划数据库。

2.2 研究方法

本文采用研究滞后效应比较常用的方法:时滞互相关法^[22],来研究陕北地区 NDVI 与气候变化之间的相互关系。

假设研究中所用到的两个时间序列 x_i 和 y_i 对任何时滞 k 都相关,则相关系数的公式为:

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

式中样本的协方差 $c_k(x, y)$ 和均方差 δ_x, δ_{y+k} 的计算公式为:

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

式中均值的表达式为:

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

式中: n ——序列 x_t 和 y_t 的样本数;根据经验可知,时滞 k 的绝对值应小于 $n/4$ 或 $(n-10)$ 。由于本文分析的是半月均温(降水)与 NDVI 之间的关系,样本 $n=24$,小于 30,不能满足统计学中的大数定律,故利用公式(4)计算出无偏互相关系数加以校正。

$$R^* = R \left[1 + \frac{1-R^2}{2(n-4)} \right] \quad (4)$$

式中: R^* ——校正后的无偏互相关系数; R ——由式(1),(2),(3)计算得出相关系数; n ——序列 x_t 和 y_t 的样本数。

3 植被对气候变化的响应分析

3.1 植被与降水的时滞互相关特征分析

本文研究的区域范围较小,故以生态功能区为单位进行分析。在 TP 与 TN 的最大互相关系数及响应速度的空间分布图(附图 9a)中,各生态功能区名称为:01 渭河两侧黄土台塬农业生态功能区、02 榆神府黄土梁水蚀风蚀控制生态功能区、03 黄河沿岸土壤侵蚀敏感生态功能区、04 黄土峁状丘陵沟壑水土流失敏感生态功能区、05 宜延黄土梁土壤侵蚀敏感生态功能区、06 黄土梁峁沟壑水土流失控制生态功能区、07 白于山河源水土保持生态功能区、08 白于山南侧水土保持控制生态功能区、09 子午岭水源涵养生态功能区、10 洛川黄土塬农业生态功能区、11 黄龙山、崂山水源涵养生态功能区、12 榆神北部沙化控制

生态功能区、13 横榆沙地防风固沙生态功能区、14 靖东北部防风固沙生态功能区。不同生态亚区具有显著的差异,从相关系数来看,不同生态亚区 TP 与 TN 的最大互相关系数差异较大,降水与不同生态亚区的相关系数的大小排序是:Ⅱ>Ⅳ>Ⅲ>Ⅰ。相同生态亚区中不同的生态功能区的 TT 与 TN 的相关系数在一定范围内也存在差异,Ⅱ的 TP 与 TN 的最大互相关系数范围是 0.74~0.83,该区域中生态功能区与降水的相关系数大小排序是 04>02>07>03>06>08>05;Ⅲ的 TP 与 TN 的最大互相关系数范围是 0.40~0.56,该区中生态功能分区与降水的相关系数大小排序是 10>11>09;Ⅳ的 TP 与 TN 的最大互相关系数范围是 0.70~0.78,该区中生态功能分区与降水的相关系数大小排序是 12>14>13。从滞后时间来看(附图 9b),陕北地区对降水的响应总体较快,集中在 0—3 旬,且滞后 3 旬的区域极小。不同生态亚区对降水的滞后时间长短排序是:Ⅱ>Ⅳ>Ⅲ>Ⅰ。同一生态亚区不同的生态功能区对降水的滞后时间也存在差异性,如Ⅱ中,7 个子生态功能区对降水的滞后的时间长短排序是 03>02>04>05>07>08>06。

从生态亚区的生态系统类型进行分析,由于文中分析的 4 个区域仅占各个区域所属的生态亚区的一部分,故在分析中应考虑 4 个区域的实际概况并结合陕北地区的特征进行综合分析,除Ⅳ外,其余 3 个生态亚区的植被覆盖率均较高,具体情况为:渭河盆地农业生态亚区在陕北部分的Ⅰ区域中植被覆盖率高,以耕地和落叶阔叶林为主,是自然植被向人工植被过渡的地带。陕北—晋西中南部黄土丘陵沟壑水土流失极敏感生态亚区在陕北部分的Ⅱ区,土壤肥沃,热量与水资源均十分充足,是我国重要的商品粮生产基地,这一区域并不符合整个生态亚区的基本情况,人工植被覆盖率高。陕北部分的陕中黄土塬梁沟壑旱作农业生态亚区Ⅲ包含子午岭和黄龙山区域,是陕北地区森林集中分布的地区,该区植被覆盖率较高且以天然次生植被为主。Ⅳ中自然植被大部分被破坏殆尽,除过一些低山有少许植被覆盖外,黄土沟壑以稀疏的灌木草丛为主,沙地是该区的主要地貌之一,土石丘陵地貌也比较多,故该区域的植被覆盖率较低。从上述生态系统类型来看,陕北地区降水对植被 NDVI 的影响程度受植被覆盖程度的影响,且呈一定规律。不同植被覆盖度区域受降水影响的大小排序是:高植被覆盖度(人工植被)>低植被覆盖度>高等植被覆盖度(自然植被)>高等植被覆盖度(人工—自然混合植被)。但对降水响应的效率排序却与此相

反。人工植被覆盖率高的区域对降水响应较快,而混合植高植被覆盖率的区域对降水的响应偏慢。

通过比较附图9可知:陕北地区植被受降水的影响程度参差不齐,表现为植被覆盖率较高的生态功能区受降水的影响更强烈,如渭河盆地农业生态亚区。但陕北地区植被对降水的响应总体十分迅速,滞后时间集中在2旬以内,其中低植被覆盖率的生态功能区的滞后时间不到1旬。

3.2 植被与气温时滞互相关分析

比较陕北地区TT与TN的最大互相关系数及响应速度(附图10),从相关性分析(附图10a)可知,陕北地区受温度的影响普遍较大,不同生态亚区TT与TN的最大互相关系数大小排序是I>IV>III>II。相同生态亚区的不同生态功能区受温度的影响程度不一,II中7个子生态功能区的TT与TN的最大互相关系数范围是0.80~0.88,与气温的相关系数大小排序是05>03>06>04>08>02>07;III的TT与TN的最大互相关系数范围是0.87~0.89,该区中生态功能分区与气温的相关系数大小排序是10>11>09;IV的TT与TN的最大互相关系数集中在0.88,该区中生态功能分区与气温的相关系数大小排序是12>13>14。从滞后时间来看(附图10b),陕北地区对气温的响应程度差异很大,不同生态亚区对气温的滞后时间长短排序是:II>IV>III>I。同一生态亚区不同的生态功能区对气温的滞后时间也存在差异性,如II对气温响应总体较慢,其7个子生态功能区对降水的滞后时间仍然不同,从大到小排序是04>07>06>02>08>03>05;III的子生态功能区对温度的滞后时间大小排序是:09>11>10;IV的子生态功能分区对温度的滞后时间大小排序是14>12>13。

结合3.1中的生态类型分析,陕北地区温度对植被NDVI的影响程度也受植被覆盖度的影响。不同植被覆盖度区域受气温影响程度大小排序是:高等植被覆盖度(人工植被)>低植被覆盖度>高等植被覆盖度(自然植被)>高植被覆盖度(人工—自然混合植被)。不同植被覆盖度对气温的滞后时间长短排序是:高植被覆盖度(人工—自然混合植被)>高植被覆盖度(自然植被)>低植被覆盖度>高植被覆盖率(人工植被),即人工植被覆盖率高的生态功能区对气温的响应较快。

综上,陕北地区植被NDVI与同期旬均温均呈高度正相关,相关系数集中在0.85~0.96。在高度相关的前提下各个生态功能区的相关系数大小排序中,人工—自然混合植被覆盖度高的生态功能区与旬

均温的相关性较高,如渭河两侧黄土台塬农业生态功能区植被NDVI与旬均温的最大相关系数高于0.93。植被覆盖度低的区域植被NDVI与旬均温的相关程度较高但滞后时间稍长。陕北—晋西中南部黄土丘陵沟壑水土流失极敏感生态亚区的人工植被覆盖程度最高,但其相关程度最低且滞后时间较长。

3.3 不同植被类型的时滞互相关分析

植被类型不仅影响NDVI与水、热因子的相关程度,也影响NDVI对水、热因子的响应时间(图2)。从相关系数分析,西北地区所有的植被类型:常绿针叶林、常绿阔叶林、密集灌丛、低山草原、平原草原、荒漠草原、牧场、沙漠、耕地,与均温的相关程度都要好于降水。均温与不同植被类型的相关系数大小排序是:常绿针叶林>密集灌丛>耕地>落叶阔叶林>低山草原>牧场>平原草原>荒漠草原>沙漠,说明均温对针叶林影响最大,而对草原和沙漠植被的影响较弱。降水与不同植被类型的相关系数大小排序是:耕地>平原草原>牧场>荒漠草原>低山草原>沙漠>密集灌丛>落叶阔叶林>常绿针叶林,说明降水对耕地的影响最大,其次是草原、灌丛,而对沙漠和林地的影响较小,并且在林地中,降水对阔叶林的影响要大于针叶林。不同植被类型对均温的滞后时间长短排序是:沙漠>密集灌丛>落叶阔叶林>常绿针叶林>荒漠草原>牧场>低山草原>平原草原>耕地,说明耕地对升温的响应最快,其次是草原、林地,在林地中,针叶林对升温的响应比阔叶林快,而沙漠对升温的响应是最慢的。对降水的滞后时间长短排序是:常绿针叶林>落叶阔叶林>密集灌丛>低山草原>牧场>沙漠>平原草原>荒漠草原>耕地,说明耕地对降水的响应最快,林地和灌丛对降水的响应较慢,且针叶林对降水的响应比阔叶林还要慢,草原对降水的响应速度一般。

本文还发现陕北地区水、热条件对不同植被类型的影响程度不同,主要表现在水、热条件对耕地影响较大,而对沙漠植被影响很微弱;不同植被类型对水、热的响应时间也不同,表现为耕地和草原对水、热的响应较快,而林地和沙漠植被的响应则较慢。对于同种植被类型的不同亚类也出现对水、热响应的差异,在林地中,常绿针叶林对升温的响应要比落叶阔叶林快,而常绿针叶林对降水的响应比落叶阔叶林要慢。即某种植被的生长对水分的要求高,则该植被就与降水的相关程度高且响应快,相反植被的生长对降水的要求低,那么该植被就与降水的相关程度低且响应缓慢;而植被对温度的响应也是同理,即植被的生长对温度的要求高,则该植被就与温度的相关程度高且响

应快,若植被的生长对温度的要求低,那么该植被就与温度的相关程度低且响应缓慢。

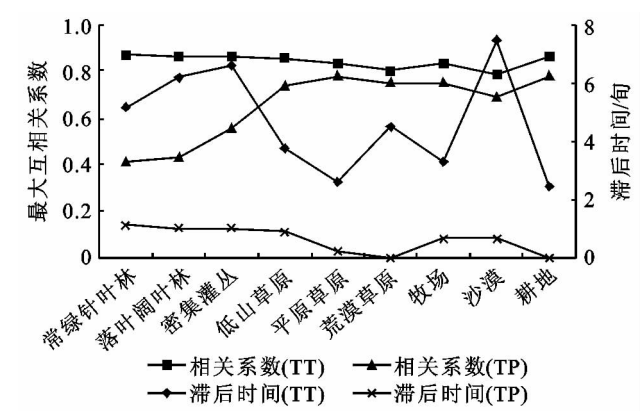


图 2 不同植被类型的 TN 与 TP、TT 最大互相关系数及滞后时间变化特征

4 结论

本文采用时滞互相关法,以陕北地区植被覆盖对气温、降水的响应关系为主线,通过生态功能区划和植被类型两个层面分析了水热条件的季相变化同 TN 变化之间的相关性。主要研究结论如下:

陕北地区生态亚区的 TN 与 TP 的相关程度从大到小依次是:高植被覆盖率(人工植被)、低植被覆盖率、高植被覆盖率(自然植被)、高植被覆盖率(人工—自然混合植被);各个生态亚区的 TN 与 TT 的相关程度从大到小依次是:高植被覆盖率(人工—自然混合植被)、低等植被覆盖率、高植被覆盖率(自然植被)、高植被覆盖率(人工植被)。可见低植被覆盖度的生态亚区受水热影响均较显著,高植被覆盖度的生态亚区受水热条件影响程度是单方面的。陕北地区植被 NDVI 对气温和降水的滞后水平存在空间差异,TN 对 TP 的响应普遍较快,TN 对 TT 的响应程度差异较大,但两者的滞后规律一致。各个生态亚区植被 NDVI 对水热条件滞后时间长短排序依次是:高植被覆盖度(人工植被)、低植被覆盖度、高植被覆盖度(自然植被)、高植被覆盖度(人工—自然混合植被)。

陕北地区不同植被类型对水、热条件的响应程度由高到低依次是耕地、草原、密集灌丛、沙漠和林地。所有植被类型对降水的响应均比温度要快。同一植被类型的不同亚类对水热条件的响应程度不同,主要表现为不同类型的草原与 HT、HP 响应速度大到小依次为平原草原、荒漠草原、低山草原。气温和降水的变化对陕北不同植被类型的影响程度从大到小依次为耕地、草原、密集灌丛、沙漠和林地。同一植被类型的不同亚类受水、热条件影响程度也不同,主要表现为针叶林受均温的影响大于阔叶林,而受降水的影

响则小于阔叶林。

由于陕北黄土高原地区地理环境敏感且特殊,本文得出的受水热条件的限制、及对水热条件响应时间的结果具有一定的区域特征,目前还不具备推广到普遍规律的程度。故今后可以进一步扩大研究区域,得出更普遍的结论,为人类生产生活及采取有效措施提供更有效的借鉴。

参考文献:

[1] 马明国,王建,王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报,2006,10(3):421-431.

[2] 孙雨红,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.

[3] Asrar G, Fuchs M, Kanemasu E, et al. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat [J]. Agronomy Journal, 1984,76(2):300-306.

[4] Pettorelli N, Vik J, Mysterud A, et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environment change[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2005,20(9):503-510.

[5] Foley J, Prentice I, Ramankutty N, et al. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics [J]. Global Bio-geochemical Cycles,1996,10(4):603-628.

[6] 李本纲,陶澎. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析[J]. 生态学报,2000,2(5):898-902.

[7] Wang J, Price K, Rich P. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains[J]. International Journal of Remote Sensing,2001,22(18):3827-3844.

[8] 李登科. 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[J]. 西北植物学报,2009,29(5):867-873.

[9] 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.

[10] 徐永明,覃志豪,沈艳. 长江三角洲地区地表温度年内变化规律与气候因子的关系分析[J]. 国土资源遥感,2010,83(1):60-64.

[11] 丁明军,张懿锂,刘林山,等. 青藏高原植被覆盖对水热条件年内变化的影响及其空间特征[J]. 地理科学进展,2010,29(4):507-512.

[12] 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.

[13] 魏丰良,刘延玺,张圣微,等. 科尔沁沙地植被覆盖变化及其与气候因子的关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):254-258.

变化周期。到2012年为止,此震荡周期的负值等值

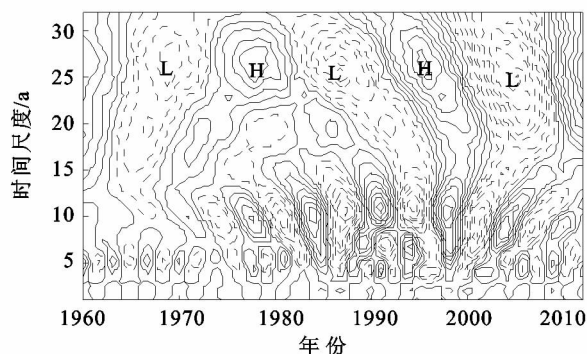


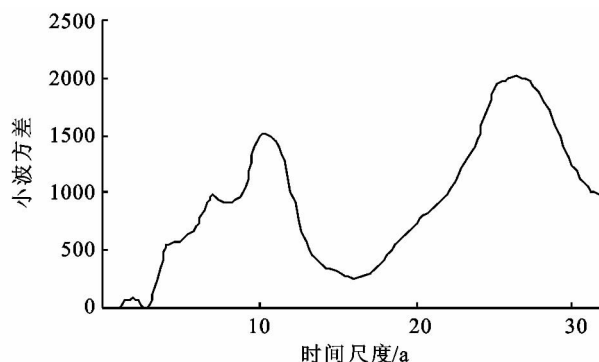
图7 呼伦贝尔市1960—2012年降水量Morlet小波变换系数等值线及方差

(2)1960—2012年间,全市的年平均降水量为396 mm,由东向西依次递减,这符合大陆性气候的基本特点,除1965年、1968年、1969年、1998年外没有显著上升或下降趋势,始终以周期震荡,主要表现25~28 a时间尺度和11~10 a时间尺度上的周期性变化,其中10~11 a时间尺度的周期变化还主要集中在1980s后期。到2012年为止,25 a尺度上的正值等值线未闭合,全市未来几年处于丰雨期。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis, summary for policy maker[R]. Geneva: IPCC, 2007.
- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 2-3.
- [3] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版, 北京: 气象出版社, 1997: 69-72.

线未闭合,全市未来几年将处于由暖变冷的阶段。



- [4] 陈华, 郭生练, 郭海晋, 等. 汉江流域1951—2003年降水气温时空变化趋势分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 340-345.
- [5] 刘德林. 郑州市近60年来降水变化特征及突变分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 236-238.
- [6] 徐天献, 王玉宽, 傅斌. 四川省降水空间分布的插值分析[J]. 人民长江, 2010, 41(10): 9-12.
- [7] 秦丽, 张立凤, 骆凯. 近48a台北市气温的小波分析[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(2): 59-62.
- [8] 宋涛, 沙晋明. 基于小波变换的福州市降水量变化研究[J]. 西南民族学院学报: 自然科学版, 2010, 36(3): 397-401.
- [9] 郭圳勉, 黄先伦, 唐钱奎, 等. 广东阳江夏季降水的气候特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2011, 26(2): 203-206.
- [10] 杨再禹, 龙先菊. 黔东南地区近49年的气候变化特征[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 338-345.

(上接第177页)

- [14] 邓飞, 全占军, 于云江. 20年来乌兰木伦河流域植被覆盖变化及影响因素[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 137-152.
- [15] 张翀, 任志远, 袁鑫. 西北地区NDVI对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2356-2361.
- [16] Potter C S, Brooks V. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI[J]. International Journal of Remote Sensing, 1988, 19(15): 2921-2948.
- [17] 张学霞, 葛全胜, 郑景云. 北京地区气候变化和植被的关系: 基于遥感数据和物候资料的分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 499-506.
- [18] 彭代亮, 黄敬峰, 王秀珍. 基于MODIS-EVI区域植被季节变化与气象因子关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 983-989.
- [19] 毕晓丽, 王辉, 葛剑平. 植被归一化指数(NDVI)及气候因子相关起伏型时间序列变化分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 284-288.
- [20] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响[J]. 地理学报, 1995, 50(5): 402-410.
- [21] 邹厚远. 陕北黄土高原植被区划及与林草建设的关系[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 98-101.
- [22] 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.