

基于 Morlet 小波的太阳活动与黄河输沙量关系分析^{*}

高 鹏, 穆兴民, 王 炜

(西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 太阳活动可能影响地球气候, 直接或间接的对流域径流和输沙产生一定的影响。利用 Morlet 小波分析技术, 对 1919–2007 年黄河龙门站输沙量与同期太阳黑子相对数的变化进行了对比分析, 结果表明: 黄河龙门站输沙量与太阳黑子活动在不同时间段表现出不同的相关关系。在相同的 9 a 时间尺度上, 1919–1950 年龙门输沙量与太阳黑子小波系数呈一定的负相关; 在 1951–2007 年期则表现为正相关。由此可见, 太阳活动对黄河输沙量的影响机制十分复杂。

关键词: 黄河; 输沙量; 太阳黑子; Morlet 小波

中图分类号: P332.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0184-03

Relationship between Solar Activities and Sediment in the Yellow River Basin Based on Morlet Wavelet

GAO Peng, MU Xing-min, WANG Wei

(Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Solar activity may affect the Earth's climate, directly or indirectly to the watershed runoff and sediment transport have a certain impact. The Morlet wavelet method has applied to analyze the changes of sediment at Longmen station and sunspot relative number from 1919 to 2007. The results show that there are different correlations between the Yellow River sediment and sunspot activity in different time periods. In same 9 year scale, there are negative correlations during 1919–1950, while there is positive correlation during 1951–2007. This indicates that the solar activity on the impact of the Yellow River sediment is very complicated.

Key words: Yellow River; sediment discharge; sunspot; Morlet wavelet

太阳黑子是反映太阳辐射变化的重要指标, 一般用太阳黑子相对数表示。研究认为: 太阳活动可能影响地球气候变化, 特别是地面降水的变化^[1-2], 从而对流域径流及侵蚀输沙产生影响。探讨太阳黑子与黄河径流、输沙的关系是目前黄河研究的热点之一。洪业汤等人较早研究了黄河输沙与太阳活动的关系^[3], 认为在年际时间尺度上, 黄土高原侵蚀强度表现出明显的脉动特征, 且与太阳黑子活动周期有密切关系。王昌高等人分析了太阳活动与黄河干流径流量的变化关系^[4]; 王云璋等人认为太阳黑子活动与黄河径流、洪水的变化存在较密切的联系^[5]; 李春晖等人研究表明黄河流域年径流与太阳黑子在

不同时间段表现出不同的相关关系^[6]。

黄河龙门站位于陕西省韩城县下峪口, 东经 110°35′, 北纬 35°40′, 是黄河干流河道上有很高学术价值的观测站, 它位于黄土高原最严重的侵蚀产沙区内。正是头道拐至龙门河段中泥沙量和质的急剧变化, 决定性地使黄河具有多泥沙的特征, 因此河区段成为反映黄河中游黄土侵蚀过程与黄河输沙的敏感河段。研究龙门站的输沙量变化对黄土高原乃至整个黄河流域都具有重要的意义。本文利用黄河龙门站的实测输沙量和同期太阳黑子相对数, 采用 Morlet 小波分析方法, 分析了两者的变化关系, 期望能够探讨太阳黑子活动对黄河输沙量的可能影响。

^{*} 收稿日期: 2009-11-10

基金项目: 中科院西部行动计划(二期)项目“黄土高原水土保持与可持续生态建设试验示范研究”(KZCX2-XB2-05-03); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407203)

作者简介: 高鹏(1976–), 男, 陕西扶风人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向: 流域生态水文和水土保持。E-mail: gaopeng@ms.iswc.ac.cn

通信作者: 穆兴民(1961–), 男, 陕西华阴人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: 生态水文学。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

1 资料与方法

1.1 资料

水文测站选择黄河干流中游控制站龙门水文观测站, 摘抄 1919–2007 年的逐年实测输沙量。太阳黑子相对数数据来自青岛观象台与美国国家海洋和大气局国家地球物理数据中心(NGDC)。

1.2 Morlet 小波分析方法

小波的概念最早由 Morlet^[7] 提出。小波分析是一种信号时、频局部化分析方法, 具有自适应变化的时频窗口。小波变换基于仿射群的不变性, 即平移和伸缩的不变性, 从而允许把信号分解为时间和频率(空间和尺度)的贡献, 所以小波分析可以在多时间尺度下研究系统。经过多年的发展, 小波变换成为比较成熟的数学分析工具, 在地震科学、大气、水文和非线性等领域应用, 取得了丰硕的成果^[8–10]。

若函数 $\Psi(t)$ 满足下列条件的任意函数

$$\int_R \Psi(t) dt = 0 \tag{1}$$
$$\int_R \frac{|\Psi(\omega)|}{|\omega|} d\omega < 8 \tag{2}$$

式中: $\Psi(\omega)$ —— $\Psi(t)$ 的频谱, 有

$$\Psi_{ab}(t) = \frac{1}{|a|^{-1/2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$
$$a, b \in R; a \neq 0 \tag{3}$$

为连续小波, $\Psi(t)$ 为基本小波或母小波(Mother Wavelet), 它是双窗函数, 一个是时间窗, 一个是频率谱。 $\Psi_{ab}(t)$ 的振荡随着 $1/|a|$ 增大而增大。 a 为频率参数, 即伸缩因子; b 是时间参数, 即平移因子, 表示波动在时间上的平移, R 为实数。

那么, 任意函数 $f(t) \in L^2(R)$, $L^2(R)$ 表示平方可积的实数空间, 小波变化的连续形式为

$$W_f(a, b) = \frac{1}{|a|^{-1/2}} \int_R f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \tag{4}$$

小波变换系数 $W_f(a, b)$ 随参数 a 和 b 变化, 可以作出以 b 为横坐标, a 为纵坐标的二维小波系数 $W_f(a, b)$ 等值线图。通过图中小波系数变化可以反映系统在不同时段、不同时间尺度下系统变化特征。

本研究选用水文序列周期分析中比较常用的 Morlet 小波作为基小波, 应用 Math Works 公司的数学软件 Matlab 7.5 提供的 Morlet 小波函数, 其形式为

$$\Psi(t) = Ce^{-t^2/2} / \cos(5t) \tag{5}$$

式中: $\Psi(t)$ ——基本小波或母小波(Mother Wavelet); C ——常数; t ——时间。利用该小波函数, 计算得到径流量时间序列的在不同时间尺度下的小波系数。

为进一步准确确定时间序列中存在的周期成分, 需借助小波方差进行小波分析检验, 从而确定某一尺度对应的显著周期, 对于离散时间序列, 小波方差计算公式为

$$V(a) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n W^2(a, x_j) \tag{6}$$

小波方差随尺度 a 的变化过程称小波方差图。在尺度 a 处, 小波方差值为对应的小波系数平方和 $W^2(a, x_j)$ 的均值^[11]。小波方差的各个峰值分别对应显著周期, 当小波方差达到最大值时, 小波函数的尺度与序列周期吻合最好, 表示该尺度下的周期振荡最强, 称为主周期。

2 太阳黑子与黄河龙门站输沙量关系

2.1 太阳黑子与年输沙量的变化特征

图 1 是太阳黑子相对数和龙门站输沙量变化特征曲线。从图中可以看出: 太阳黑子相对数呈明显的周期性变化, 而龙门站输沙量的变化过程则相对比较复杂。两者的相关系数为 -0.006 , 说明龙门站输沙量与太阳黑子相对数的相关性并不是很明显, 这是因为黄河输沙量受到多种因素的影响, 变化比较复杂。

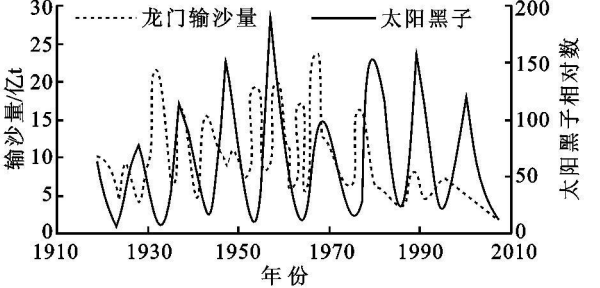


图 1 龙门站输沙量与太阳黑子相对数变化

2.2 太阳黑子与年输沙量小波系数的关系

为了较为清晰地辨别黄河输沙量与太阳黑子之间的变化关系, 采用小波方法对两者进行分析。图 2 是 1919–2007 年太阳黑子相对数和黄河龙门站输沙量 Morlet 小波系数二维等值线图, 横坐标对应时间位移, 纵坐标对应时间尺度(1~50 a), 可以看出每一年时间尺度下变化特征。为了进一步确定龙门输沙量与太阳黑子变化的时间序列中存在的周期成分, 采用式(6)计算两者的小波方差并绘制方差曲线图(图 3)。方差曲线每一峰值表示在对应尺度下存在的较为显著的周期。

结合图 2 和图 3, 可以看出太阳黑子存在 9 a 以及 41 a 的周期变化特征, 龙门输沙量存在 4 a、9 a、28 a 或更大的周期变化特征。其中, 太阳黑子的主周期为 9 a, 而龙门输沙量的主周期为 28 a。结果显示黄河流域的输沙量与太阳黑子的周期变化趋势并

不完全相同, 说明黄河流域的输沙量变化有着更为复杂的变化原因。

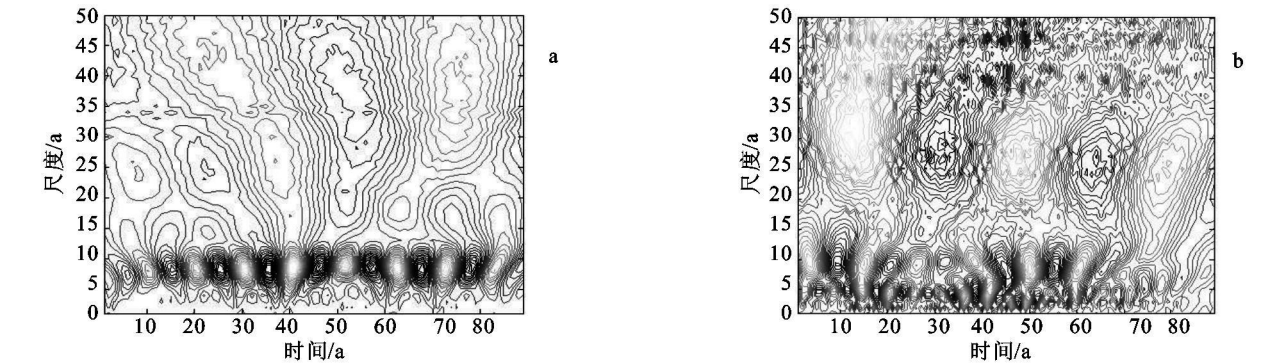


图 2 太阳黑子相对数(a)与龙门站输沙量(b)小波变换系数对比

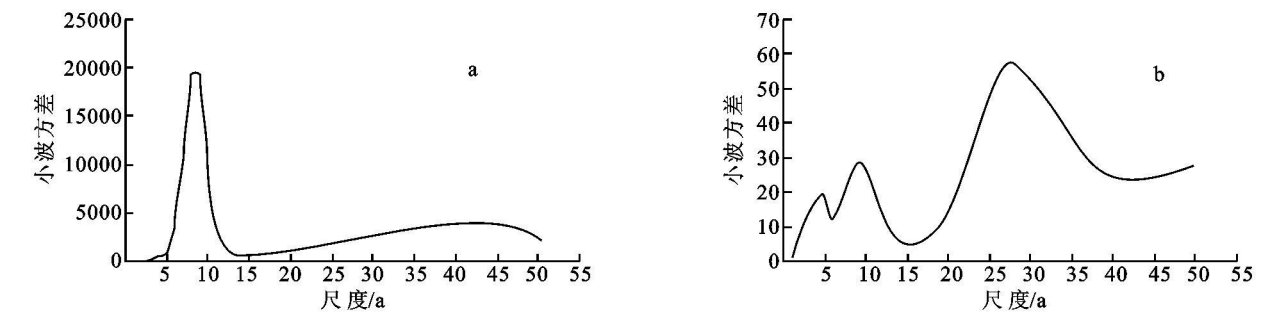


图 3 太阳黑子相对数(a)与龙门站输沙量(b)小波系数方差对比

为了消除太阳黑子与龙门站输沙量不同周期变化的影响, 更清楚地检测输沙量与太阳黑子的相关关系, 提取两者相同的 9 a 周期尺度上的小波系数进行对比分析(图 4)。从图中可以看出, 两者在整体上时间尺度上的相关性不是很明显, 但是在局部时间段相关性还是比较明显的, 而且在不同的时间段, 相关性表现各不相同(表 1)。从表中可以看出: 在 1919– 2007 年全时间段内, 太阳黑子与龙门站输沙量两者的小波系数没有明显的相关关系; 在 1919 – 1950 年时间段, 太阳黑子与龙门站输沙量两者的小波系数呈现显著的负相关; 而 1951– 1990 年时间段, 太阳黑子小波系数峰(谷)与龙门站输沙量小波系数峰(谷)往往相差 2~ 3 a, 二者表现为一定的正相关。

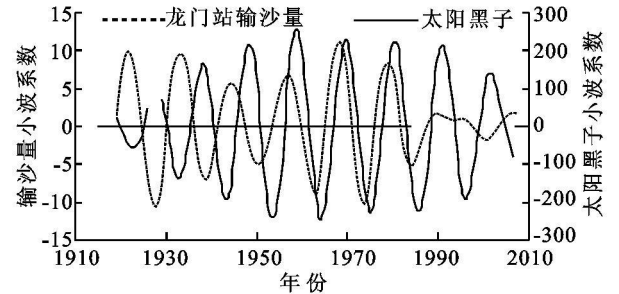


图 4 龙门站输沙量与太阳黑子小波变换系数在 9 a 时间尺度上的比较

可见, 太阳黑子相对数的变化对黄河龙门站输沙量的影响十分复杂, 不是简单的正相关或者负相

关的关系。其中就有学者认为由于径流受自然因素和人为因素综合作用的影响, 变化复杂^[12], 特别是人类活动直接或间接影响黄河径流与输沙的变化趋势, 使之偏离太阳黑子的变化趋势。

表 1 太阳黑子相对数与龙门站输沙量小波系数相关系数(9 a 尺度)

时期	Pearson 相关系数	显著性水平
1919– 2007 年	0. 004	–
1919– 1950 年	– 0. 524	0. 01
1951– 2007 年	0. 253	0. 01

3 结 论

太阳活动通过影响地球气候变化, 特别是地面降水的变化, 直接或间接地对流域侵蚀输沙产生影响。本文引用小波分析技术, 利用近 90 a 黄河输沙量与太阳黑子的小波系数变化关系分析了太阳活动对黄河流域输沙量的影响, 发现太阳活动对黄河流域输沙量有一定的影响, 但是这种影响是复杂的, 而且在不同的时间段表现出不同的相关性。在 9 a 时间尺度上, 1919– 1950 年黄河输沙量与太阳黑子小波系数呈一定的负相关关系; 1951– 2007 年期间则表现为一定的正相关关系。可见, 太阳活动对黄河输沙量的影响机制十分复杂, 而人类活动可能导致输沙量变化与太阳黑子变化趋势产生偏离。

表 4 榆林市各县(区)生态脆弱度等级划分表		
生态脆弱等级	生态脆弱度	地区
极脆弱	3.09~ 4.32	榆阳区
强脆弱	1.87~ 3.09	神木县
中脆弱	0.65~ 1.87	横山县、靖边县
轻脆弱	- 0.57~ 0.65	定边县、府谷县
微脆弱	- 1.79~ - 0.57	绥德县、米脂县、子州县、清涧县、吴堡县、佳县

利用 MAPINFO 软件绘制榆林市生态脆弱性空间分布专题图(图 6)。分析结果表明,榆林市生态脆弱性空间分布趋势大体为:以榆阳区为中心向四周减弱。

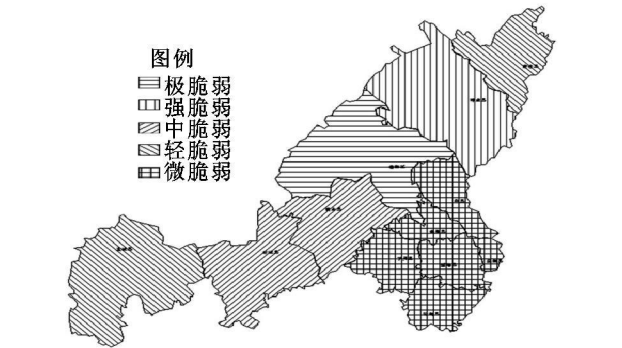


图 6 榆林市生态脆弱性空间分布专题图

6 结论

(1)对榆林市的气候、人口、经济以及人均水资源等脆弱因子分析表明,榆林市的气候为半湿润半干旱型;在人口空间分布趋于均匀的同时,各县(区)经济的发展却日益不平衡,水资源问题越来越突出,

形势也越来越严峻,生态环境的前景不容乐观。
(2)对榆林市各县(区)的生态脆弱性进行分析,所得的结果与生态环境的实际状况基本一致。可见,对其评价方法是合理和可操作的。但是,由于指标的选取范围较小,没有覆盖生态环境的各个方面,所以文中所得结果仅仅可以在 12 个县(区)之间做一定的比较,对其他地区不具有可比性。为了更好地对生态环境脆弱性进行评价,今后不仅要进一步健全评价指标体系和完善评价方法,还应对未来的变化做出预测,为相关部门提供一定的决策依据。

参考文献:

[1] 王介勇,赵庚星,王祥峰,等.论我国生态环境脆弱性及其评估[J].山东农业科学,2004(2):9-11.
[2] 姚玉璧,张秀云,杨金虎.甘肃省脆弱生态环境定量评价及分区评述[J].水土保持通报,2007,27(5):120-126.
[3] 乔青,高吉喜,王维,等.生态脆弱性综合评价方法与应用[J].环境科学研究,2008,21(5):117-123.
[4] 王宇,高向东.基于GIS的大连城市人口空间分布变动及模拟研究[J].世界地理研究,2008,17(4):142-148.
[5] 郭腾云,徐勇,张同升.我国区域政策与区域经济空间分布变化的计量分析[J].地域研究与开发,2006,25(4):1-5.
[6] 李萍.西藏“一江两河”地区农牧复合结构和模式研究[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2007.
[7] 雷维运,张玉龙.云南省生态环境脆弱性评价探索[J].环境科学导刊,2008,27(2):76-79.

(上接第 183 页)

参考文献:

[1] 杨瑞霞,詹志明.太阳黑子周期长度与气候密切相关的太阳活动指标[J].地理译报,1996,15(2):1-4.
[2] 陈健,胡世巧,赵佩章.太阳活动对天气气候的影响[J].河南师范大学学报:自然科学版,2001,29(4):43-45.
[3] 洪业汤,朴河春,姜洪波.黄河沙量记录与黄土高原侵蚀[J].第四纪研究,1990(1):10-20.
[4] 王昌高,王云璋,王国庆.太阳活动峰期黄河径流洪水变化分析[J].河南气象,1998(1):40-41.
[5] 王云璋,薛玉杰,彭子芳.太阳黑子活动与黄河径流、洪水关系初探[J].西北水资源与水工程,1997,8(3):30-38.
[6] 李春晖,杨志峰.基于 Morlet 小波的太阳活动与黄河流域径流量关系分析[J].水资源与水工程学报,2004,15(3):1-4.
[7] Morlet J, Arens G, Fourgeau, et al. Wave propagation and sampling theory and complex waves[J]. Geophysics, 1982, 47(2): 222-236.
[8] Kulkarni J R. Wavelet analysis of the association between the southern oscillation and the Indian summer monsoon[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20: 89-104.
[9] 王文圣,丁晶,向红莲.小波分析在水文学中应用研究与展望[J].水科学进展,2002,13(4):515-520.
[10] 王文圣,丁晶,李跃清.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005.
[11] Bradshaw G A, Spies T A. Characterizing canopy gap structure in forests using wavelet analysis[J]. Journal of ecology, 1992, 80: 205-215.
[12] 韩敏,席剑辉,许士国.太阳黑子对黄河年径流量影响的初步研究[J].水科学进展,2003,14(增刊):9-14.