

1960—2015 年延吉市降雨量小波分析

余 凤, 赵春子* (延边大学理学院地理系, 吉林延吉 133000)

摘要 以 1960—2015 年延吉市降雨量为基础, 运用 Morlet 复小波分析方法对降雨序列的多时间尺度变化进行了研究。结果表明, 近 56 年来延吉市降雨量存在着明显的年代际变化和年际变化, 短期内可能仍处于降雨偏少期, 十几年后降雨将会增加; 延吉市降雨包含 5 个周期变化规律, 在 25~30 和 17~23 年时间尺度的周期变化最为明显, 能量最强; 存在 4 个较为明显的降雨变化周期尺度中心, 从 22 和 28 年时间尺度上来看, 2015 年延吉市仍处于丰水期, 几年之后将转为枯水期。

关键词 降雨量; 时间尺度变化; Morlet 复小波分析; 延吉市
中图分类号 S161.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)30-0166-03

Wavelet Analysis on the Precipitation of Yanji City during 1960–2015

YU Feng, ZHAO Chun-zi* (Geography Department, Science College of Yanbian University, Yanji, Jilin 133000)

Abstract Based on the precipitation from 1960 to 2015 in Yanji City, the multiple time scales of precipitation sequences were studied by the Morlet complex wavelet method. The results showed that the precipitation in Yanji City had obvious interdecadal and interannual variability in the past 56 years, it may still be a dry period in the short term but will increase after ten years; the precipitation in Yanji City contained 5 periodic variations, and the periodic variations were most pronounced and the energy was the strongest in the time scale of 25–30 years and 17–23 years; there were four relatively obvious periodic scale centers of precipitation variation, according to the time scale of 22 and 28 years, Yanji was still in a high water period in 2015 and would be transformed into a dry season in a few years.

Key words Precipitation; Time scale change; Morlet complex wavelet analysis; Yanji City

气候变化是一个复杂的问题, 也是当今国际社会普遍关注的全球性问题, 其中全球气候变暖是近 100 年来气候变化中最明显的特征, 近 50 年尤为显著, 导致大气降水也在一定程度上发生了改变^[1-4]。大气降水作为一种重要的水资源, 对人们生产和生活都有很大影响^[5], 因此对降雨变化的研究就显得尤为重要。笔者以延吉市 1960—2015 年降雨资料为基础, 应用 MatLab 软件对其年降雨序列的多时间尺度特征进行分析, 以期更好地了解在全球气候变暖大背景下的延吉市降雨变化趋势, 从而为其生产建设与降水资源的利用提供基础依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 延吉市是吉林省延边朝鲜族自治州的首府, 位于吉林省东部、延边州中部、长白山脉北麓。延吉市东、南、北三面环山, 西面开阔, 中间平坦, 呈马蹄状盆地。地势北高南低, 地形为丘陵状起伏, 平均海拔 150 m。延吉市属中温带半湿润气候区, 春季干燥多风, 夏季温热多雨, 秋季温和凉爽, 冬季漫长寒冷, 具有明显的大陆性季风气候特点^[6-7]。

1.2 资料来源 选取延吉市 1960—2015 年降雨资料, 数据来源于 2012—2016 年的《延边统计年鉴》和 2012 年的《吉林省延边朝鲜族自治州水资源综合规划水资源调查评价附表》。

运用 Morlet 复小波分析方法对近 56 年来延吉市降雨序列的多时间尺度进行分析。小波分析法是 20 世纪 90 年代发展起来的一种数学分析工具^[1]。由法国科学家 Morlet 提

出, 小波分析被誉为数学显微镜, 是一种由粗到细的调和分析方法, 是 Fourier 分析发展史上的一个里程碑^[1,8-9]。小波分析 (Wavelet Analysis) 具有时-频多分辨功能, 可以更好地研究时间序列相关的问题, 能清晰地揭示出隐藏在时间序列中多种时间尺度的不同变化周期, 充分反映出降雨量在不同时间尺度中的变化趋势, 并能对降雨量未来的发展趋势进行定性估计^[10-12]。

小波变换 (小波系数) 的公式为:

$$W_f(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}} f(t) \bar{\Psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

式中, $W_f(a, b)$ 为小波变换系数; $f(t)$ 为一个信号或平方可积函数; a 为小波的周期长度; b 为时间参数, 反映了在时间上的平移; $\bar{\Psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 为 $\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 的复共轭函数^[10]。

该研究在 MatLab 软件中对降雨资料进行边界效应的消除, 进而对小波系数、小波系数实部、小波方差进行计算和绘图, 以便于分析延吉市降雨序列的多时间尺度特征。

2 结果与分析

小波变换系数实部图反映了年降雨量序列不同时间尺度的周期变化及其在时间域中的分布, 因此能判断在不同时间尺度上年降雨量的未来变化趋势^[10]。在同一尺度下, 当小波变换系数实部为正时, 降雨量对应偏多期 (丰水期), 反之对应偏少期 (枯水期)^[13]。从图 1 可看出, 近 56 年来延吉市降雨量存在着明显的年代际变化和年际变化, 主要包含了 25~30、17~23、8~13、5~7 和 2~4 年的周期变化规律, 其中尺度为 25~30 和 17~23 年的周期变化在整个分析时段非常稳定, 具有全域性。整个时间尺度出现了 4 个偏多中心 (1961、1973、1999 和 2015 年) 和 4 个偏少中心 (1966、1979、1991 和 2008 年)。在 5~7 年的尺度上, 2015 年以后小波变换系数为负值, 而在 17~23 年时间尺度上的小波系数为正

基金项目 国家自然科学基金项目 (41361015); 吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目 (吉教科合字 [2015] 第 35 号)。

作者简介 余凤 (1991—), 女, 贵州凯里人, 硕士研究生, 研究方向: 水文水资源。* 通讯作者, 副教授, 硕士, 硕士生导师, 从事水文水资源研究。

收稿日期 2017-09-20

值,因此,近几年内延吉市可能仍处于降雨偏少期,十几年后降雨将会开始增加。

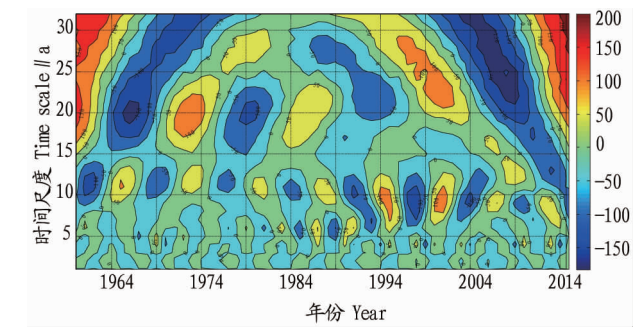


图1 1960—2015 年延吉市降雨量 Molet 小波变换系数实部时频
Fig.1 Time-frequency of Morlet wavelet transform coefficients real part of precipitation in Yanji City during 1960 – 2015

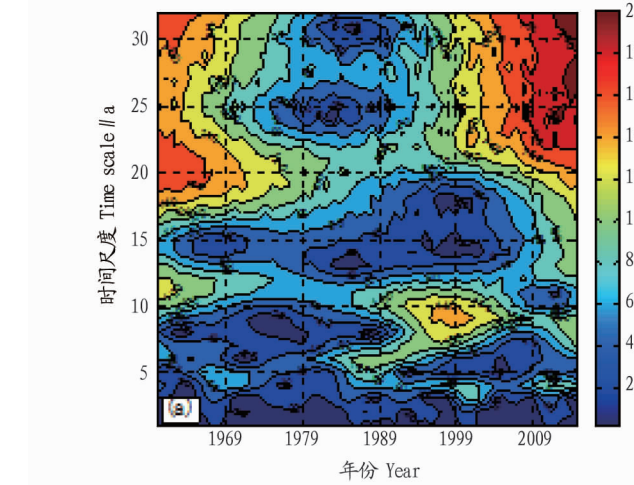


图2 1960—2015 年延吉市降雨量小波变换系数模值时频(a)和平方时频(b)

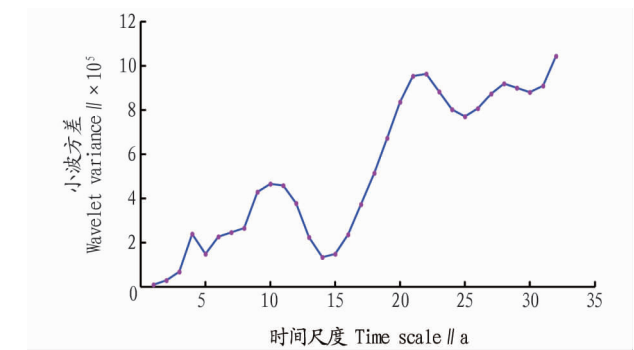


图3 1960—2015 年延吉市降雨量小波方差
Fig. 3 Wavelet variance of precipitation in Yanji City during 1960 – 2015

量变化周期尺度中心,分别为4、10、22 和28 年。其中22 年左右的周期振荡最强,即为年降雨量变化的第1 主周期;28 年时间尺度对应着第2 峰值,为第2 主周期;10 和4 年的时间尺度分别对应着第3、第4 峰值,它们依次为降雨量的第3 和第4 主周期。这4 个周期的波动控制着延吉市整个时间域内的降水量变化特征。

Morlet 小波系数的模值表示不同时间尺度变化周期所对应的能量密度在时间域中的分布,小波变换系数的模值越大,说明其对应的尺度和时间的周期性越强^[14]。而小波系数的模方则相当于小波能量谱,它可以分析出不同周期的振荡能量^[15]。由图2 可知,近56 年来延吉市在25 ~ 30 和17 ~ 23 年时间尺度的周期变化最为明显,能量最强,且随时间的推移有进一步加大的趋势。8 ~ 13 和2 ~ 4 年的模值较小,周期变化较弱,能量较低。

小波方差随时间尺度的变化过程能反映降雨时间序列的波动能量随不同时间尺度的分布情况^[11]。在同一尺度下,小波方差表示时间序列中该尺度周期波动的强弱(能量大小),因此,小波方差图可以确定序列存在的主要时间尺度,即可用来确定降雨量演化过程中存在的主周期^[11,15-17]。从图3 可看出,近56 年来延吉市存在4 个较为明显的降雨

根据小波方差分析的结果,绘制56 年来延吉市降雨量演变的第1 和第2 主周期小波系数图。主周期小波时序图可以用来分析不同时间尺度下降雨量存在的平均周期及丰-枯变化特征,它反映了年降雨量正负相位的变化情况,正相位表示丰水期,负相位代表枯水期^[12,15,18]。从图4 可看出,在22 年时间尺度上,降雨量变化的平均周期为14 年左右,该时间尺度上的延吉市在1960—1964 年处于丰水期,1965—1970 年为枯水期,1971—1976 年为丰水期,1977—1983 年为枯水期,1984—1989 年为丰水期,1990—1996 年为枯水期,1997—2003 年为丰水期,2004—2011 年为枯水期,2011 年以后转为丰水期,大约经历了4 个丰-枯期转换;在28 年时间尺度上,降雨量变化的平均周期为18 年左右,该时间尺度上的延吉市在1960—1965 年处于丰水期,1966—1975 年为枯水期,1976—1983 年为丰水期,1984—1992 年为枯水期,1993—2000 年为丰水期,2001—2010 年为枯水期,2010 年以后转为丰水期,大约经历了3 个丰-枯期的转换。从22 和28 年时间尺度上来看,延吉市2015 年仍处于丰水期,几年之后将转为枯水期。

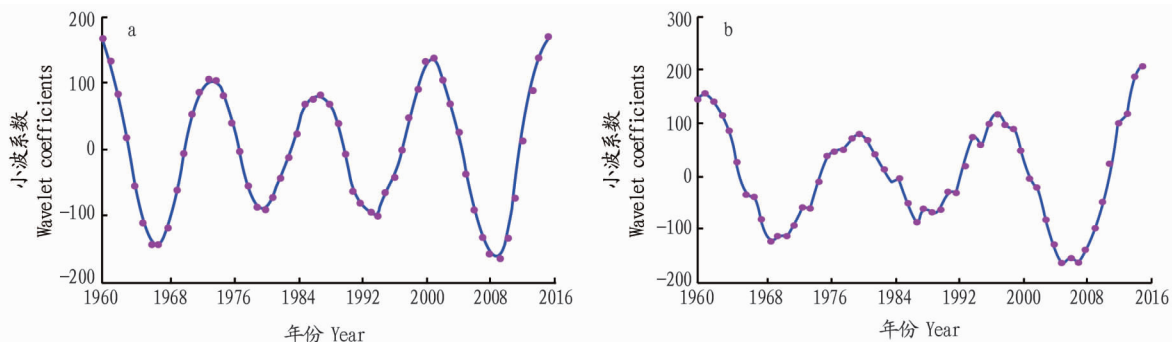


图4 1960—2015年延吉市降雨量22年(a)和28年(b)尺度周期小波系数时序

Fig. 4 Time-sequence of wavelet coefficients curves of 22 years scale period (a) and 28 years scale period (b) in Yanji City during 1960–2015

3 结论

通过对降雨变化的多时间尺度进行分析,得知近56年延吉市降雨量存在着明显的年代际变化和年际变化,近几年内可能仍处于降雨偏少期,十几年后降雨将会开始增加;延吉市降雨包含了时间尺度为25~30、17~23、8~13、5~7、2~4年的5个周期变化规律,在25~30和17~23年时间尺度的周期变化最为明显,能量最强;存在4个较为明显的降雨量变化周期尺度中心,分别为4、10、22和28年,其中在22年周期尺度上,降雨量变化的平均周期为14年左右,大约经历了4个丰-枯期转换;在28年时间尺度上,降雨量变化的平均周期为18年左右,大约经历了3个丰-枯期的转换,因此,延吉市2015年仍处于丰水期,几年之后将转为枯水期。

参考文献

- [1] 缪驰远,魏欣,孙雷,等.嫩江、哈尔滨两地48年来夏季降雨特征分析[J].资源科学,2007,29(6):25-31.
- [2] 程建刚,解明恩.近50年云南区域气候变化特征分析[J].地理科学进展,2008,27(5):19-26.
- [3] 李亚斌.中国铜川市近50年降雨特征分析[C]//Proceedings of 2016 International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE2016).上海:上海来溪会务服务有限公司,2016.
- [4] 郭锋,苏苗罕,张小平.应对气候变化的法律框架建议[J].金融服务业评论,2011(1):1-3.
- [5] 温晨晓.重庆市降雨小波分析和基于Delphi、SQL的基层水土保持监测站DBMS构建[D].重庆:西南大学,2008.

- [6] 王春宇.延吉统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2015.
- [7] 崔官,李东善.延吉市地表水资源现状分析[J].吉林水利,2008(3):13-14.
- [8] 郑梦琪,赵华荣,郭纯青.1957~2007年桂林气象站降雨资料变化分析[J].安徽农业科学,2011,39(27):16828,16912.
- [9] 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.
- [10] 小波分析-经典[DB/OL].(2014-05-15)[2017-07-21].<https://wenku.baidu.com/view/8d32e32058fb770b78a5585.html>.
- [11] 祁顺杰,陈皓锐. Morlet小波在降雨的多时间尺度分析中的应用[J].南水北调与水利科技,2010,8(3):79-82.
- [12] 李旭. MATLAB:小波分析-时间序列的多时间尺度分析[DB/OL].(2011-11-30)[2017-07-21].<http://blog.sciencenet.cn/blog-1148346-794768.html>.
- [13] 尚晓三,王振龙,王建中,等.安徽省淮北平原50年来年降雨量多尺度分析[C]//淮河流域综合治理与开发科技论文集.蚌埠:中国水利学会,2015:189-195.
- [14] 万石云,唐川,段鹤.盘龙江上游山洪径流多时间尺度特征分析[J].云南地理环境研究,2007,19(2):5-11.
- [15] 罗栋梁,金会军.黄河源区玛多县1953~2012年气温和降水特征及突变分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(11):185-192.
- [16] 张月丛,张才玉,成福伟,等.承德市近58年降水序列多时间尺度分析[J].安徽农业科学,2012,40(9):5578-5581.
- [17] 牛存稳,张利平,夏军.华北地区降水量的小波分析[J].干旱区地理(汉文版),2004,27(1):66-70.
- [18] 夏库热·塔依尔,海米提·依米提,麦提麦吐尔逊·艾则孜,等.基于小波分析的开都河径流变化周期研究[J].水土保持研究,2014,21(1):142-146,151.

(上接第133页)

- [7] REN J T, PAK Y, HE L, et al. Generation of hircine-induced pluripotent stem cells by somatic cell reprogramming[J]. Cell Res, 2011, 21(5): 849-853.
- [8] BAO L, HE L, CHEN J J, et al. Reprogramming of ovine adult fibroblasts to pluripotency via drug-inducible expression of defined factors[J]. Cell Res, 2011, 21(4): 600-608.

- [9] LI Y, CANG M, LEE A S, et al. Reprogramming of sheep fibroblasts into pluripotency under a drug-inducible expression of mouse-derived defined factors[J]. Plos one, 2011, 6(1): 1-8.
- [10] LIU J, BALEHOSUR D, MURRAY B, et al. Generation and characterization of reprogrammed sheep induced pluripotent stem cells[J]. Theriogenology, 2012, 77(2): 338-346.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过3人者全部写出,超过者只写前3位,后加“等”)。文章题名[J]。期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者.书名[M]。版次(第一版不写)。出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者.题名[C]//.主编.论文集名.出版地:出版者,出版年:起止页码。