

黄晓清,唐叔乙,罗布次仁,等. 近47年雅鲁藏布江中游地区汛期降水量的的小波分析[J]. 气象,2010,36(12):68-73.

近47年雅鲁藏布江中游地区 汛期降水量的的小波分析

黄晓清¹ 唐叔乙² 罗布次仁² 杨 勇¹ 永 红³ 石 磊¹ 姜 兰²

1 西藏自治区气候中心,拉萨 850000

2 西藏自治区气象台,拉萨 850000

3 西藏自治区气象局应急与减灾处,拉萨 850000

提 要: 根据雅鲁藏布江中游地区4个代表站(拉萨、泽当、日喀则和江孜)近47年(1960—2006年)月降水量总量资料,利用墨西哥帽小波函数,分析了该地区近47年汛期(5—9月)降水量序列的周期变化特征。结果表明:雅鲁藏布江中游地区汛期降水量存在准14年和准2年的周期振荡,其中日喀则和江孜站以准14年的周期为主,而拉萨和江孜站以准2年周期为主;在12—16年左右的时间尺度上经历了8个干湿交替,而准2年周期在1964—1976年和1984—1997年期间表现得尤为显著;20世纪70年代中期以后8年左右时间尺度的周期变化显著;在近47年内有5个时段出现了不同尺度周期振荡同位相叠加,致使降水量异常年份较多。

关键词: 降水量变化,小波分析,汛期

Wavelet Analysis of Rainfall Variation in the Middle of Yarlung Zangbo River

HUANG Xiaqing¹ TANG Shuyi² LUOBU Ciren²
YANG Yong¹ YONG Hong³ SHI Lei¹ JIANG Lan²

1 Tibet Climate Center, Lhasa 850000

2 Tibet Meteorological Observatory, Lhasa 850000

3 Tibet Meteorological Bureau, Lhasa 850000

Abstract: Based on the monthly precipitation data of four typical stations (Lhasa, Zetang, Xigaze and Gyangze) from 1960 to 2006 in the flood season, the periodic variation of precipitation over 47 years has been analyzed by Mexican hat wavelet analysis. It shows that there are remarkable periodic oscillations of 14—16 a and 2—4 a in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River, and stations Xigaze and Gyangze have mainly periodic oscillations of 14—16 a, and stations Lhasa and Zetang with periodic oscillations of 2—4 a. There are eight cycles of droughts and floods in the periodic oscillation of 14—16 a and it shows notable periodic oscillations of 2—4 a in 1964—1976 and 1984—1997. The periodic oscillation of 8 a becomes remarkable after the middle of 1970s. During the past 47 years, the phases of oscillation at different time scales are superimposed in five time periods, leading to extraordinarily heavy precipitation over these periods.

Key words: precipitation variation, wavelet analysis, flood season

引 言

受夏季风影响,青藏高原年降水量主要集中在汛期,除南部边缘地区和东南部部分地区外,大部分地区汛期降水量占全年的 80% 以上。地处高原腹地的雅鲁藏布江中游地区(以下简称雅江中游)是西藏自治区的主要农业区,其汛期(5—9 月)降水量占全年降水量的 90% 以上^[1-3],且降水量年际变化大,旱涝灾害频繁发生,严重影响着雅江中游的农业生产。深入分析雅江中游地区的降水量特征及变化趋势,对该区域短期气候预测和搞好农业生产有着重要的意义。

小波分析(wavelet analysis)方法能够反映时间序列的局部变化特征,可以看到每一时刻在各周期中所处的位置,可较好地分析序列随时间的变化情况。小波分析不仅可以对信号进行多尺度细化分析,而且还具有数学意义上严格的突变点诊断能力,所以近年来被广泛应用于气候的多尺度分析研究,在研究气候变化的多尺度结构和突变特征等方面取得了十分明显的效果,为客观地研究气候变化的层次规律和特征提供了新的方法^[4-10]。同时,尤卫红,汪青春和王希娟等^[11-13]应用小波分析方法对云南和青海高原气温和降水量进行了研究,并得到了许多有意义的解释。一些气象工作者对雅江中游地区的气温和降水量变化也做了许多的研究^[14-17]。研究表明,雅江流域夏季降水量增多、气温有明显上升的趋势,特别是 20 世纪 90 年代降水量增幅较大,80 年代初气温存在突变。但用小波分析方法对该区域降水量变化的研究很少。本文在分析近 47 年年来雅江中游地区汛期降水量时间演变特征基础上,利用小波分析方法,对该地区近 47 年汛期降水量的演变规律进行了探讨,进一步明确降水变化的周期特征和转折点,这对于做好雅江中游地区汛期降水的短期气候预测具有较好的指导意义。

1 资料和方法

1.1 资料及计算

本文利用雅江中游 4 个代表站(拉萨、泽当、日喀则、江孜)1960—2006 年 47 年的月降水量总量资

料,得到汛期的降水量时间序列。为反映降水量变化的总趋势,对汛期降水量序列进行线性拟合,把拟合直线斜率的 10 倍作为气候倾向率,表示每 10 年降水量的变化趋势。为消除各代表站降水量变化差异,分别对降水量进行标准化处理,对时间序列的标准化值进行连续小波变换。此外,还对降水量时间序列进行了 10 年平均距平计算,以便和小波分析结果进行比较。30 年平均值为 1971—2000 年。

1.2 小波分析方法

小波函数可定义为:设 $\varphi(t)$ 为一平方可积函数,即 $\varphi(t) \in L^2(R)$,若其傅立叶变换 $\psi(\omega)$ 满足容许条件:

$$c_{\varphi} = \int_{\mathbb{R}} \frac{|\psi(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (1)$$

则 $\varphi(t)$ 称为一个基小波或小波母函数,将小波函数 $\varphi(t)$ 进行伸缩和平移,得到连续小波 $\varphi_{a,\tau}(t)$:

$$\varphi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad a, \tau \in \mathbb{R}, a > 0 \quad (2)$$

对于任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a, \tau) \leq f(t), \varphi_{a,\tau}(t) \geq \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \varphi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (3)$$

式中: a 是尺度因子, τ 为平移因子, $W_f(a, \tau)$ 称为小波系数。

本文采用常用的墨西哥帽小波(Mexican hat)函数对雅江中游的降水量标准化值进行连续小波变换,其小波函数形式如下^[3]:

$$\varphi(t) = (1 - t^2) e^{-t^2/2} \quad (4)$$

1.3 小波方差

为了判断各序列的主要周期,即对降水量序列变化起主要作用的周期,采用如下计算公式进行小波方差检验。

$$W_p(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (5)$$

式中: $W_p(a)$ 为小波方差, $W_f(a, b)$ 为小波系数。小波方差图反映了能量随尺度 a 的分布,可以确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度,对应峰值处尺度称为该序列的主要时间尺度,用以反映时间序列的主要周期^[4]。

2 结果分析

2.1 汛期降水量变化特征

表 1 列出雅江中游 1960—2006 年汛期降水量的年代际变化。由表 1 可见,20 世纪 70、80 年代降水量距平为负,尤其是 80 年代降水量距平百分率达 -12.85% ,降水量明显偏少,期间出现了历史上降水量最少的 2 年即 1982 年和 1983 年(图 1a);20 世纪 60 年代、90 年代和 21 世纪前 6 年降水量距平为正,降水量偏多,其中 60 年代最多,1960 年和 1962 年出现了历史上降水量最多的 2 年。

表 1 雅江中游地区 1960—2006 年汛期
(5—9 月)降水量年代距平

Table 1 Annual rainfall decadal anomalies
in middle reaches of Yarlung Zangbo River

年代	距平/mm	距平百分率/%
20 世纪 60	25.4	6.76
20 世纪 70	-3.2	-0.84
20 世纪 80	-48.2	-12.85
20 世纪 90	12.1	3.22
2001—2006	19.9	5.31

文献[16]利用 1971—2000 年降水量资料分析了 30 年青藏高原降水量的变化趋势,得出降水量均呈增加趋势,其中雅江中游汛期降水量正趋势更明显,每 10 年增加 $16\sim 40\text{ mm}$ 。而由图 1a 可见,在 47 年内雅江中游汛期的降水量总体上呈减少趋势,降水量倾向率为 $-3.219\text{ mm}/10\text{ a}$,但这种趋势并不明显(未通过检验)。与文献[15]结论出现差异的主要原因可能与资料样本长度有关。从表 1 和图 1a 看出,20 世纪 60 年代处于降水量偏多时期,而 2005 和 2006 年连续 2 年降水量偏少,文献[16]正

好没有考虑这 2 个异常时段。所以,从长时间序列看雅江中游汛期降水量变化趋势并不明显,而存在周期性波动。

图 1b 是雅江中游近 47 年来汛期降水量的墨西哥小波变换系数等值线图,等值线为正的用实线表示,代表降水偏多;等值线为负的用虚线表示,代表降水量偏少,小波系数为零则对应着转折点。由图 1b 可见,雅江中游汛期降水量变化存在着明显的年代际尺度的周期性变化,在 $12\sim 16$ 年的时间尺度上周期振荡非常显著,汛期降水量经历了 8 个干湿交替,即 1960—1964 年、1974—1979 年、1987—1991 年及 1997—2003 年为降水量偏多时段,1965—1973 年、1980—1986 年、1992—1996 年及 2004 年以后为降水量相对偏少时期,干湿转折点在 1965 年、1974 年、1980 年、1987 年、1992 年、1997 年及 2004 年附近。降水量变化还存在准 8 年和 $2\sim 4$ 年左右的年际尺度的周期性变化。8 年左右周期振荡从 20 世纪 70 年代中期开始明显,降水量经历了 6 个干湿交替,即 1977—1980 年、1985—1991 年以及 1998—2003 年降水量处于相对偏多时期,1981—1984 年、1992—1997 年以及 2004 年以后降水量处于相对偏少的时期。对于准 2 年的小时间尺度来说,则有更多的降水量偏多期和偏少期交替出现,其中在 1964—1976 年、1984—1997 年期间准 2 年周期变化表现得尤为显著。不同时间尺度所对应的降水量结构是不同的,小尺度的多少变化表现为嵌套在较大尺度下的较复杂的多少结构。在 1960—1963 年、1976—1979 年、1981—1983 年、1998—2004 年及 2005—2006 年 5 个时段不同尺度周期振荡同位相叠加,致使雅江中游汛期降水量出现异常偏多或异常偏少年份较多(见图 1a)。这种在降水量小波变换图中不同时间尺度周期振荡的位相叠加的规律,

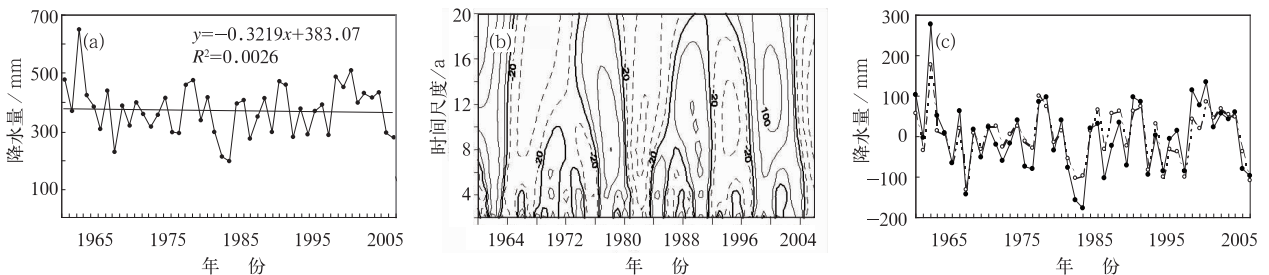


图 1 (a)雅江中游地区汛期降水量年际变化图,(b)雅江中游地区汛期降水量小波变换图,
(c)雅江中游地区降水量年际距平异常(实线)与带通滤波后叠加恢复降水量(虚线)分布图

Fig. 1 The interannual variations of rainfall in middle reaches of the Yarlung Zangbo River during flood season (a), its wavelet transform (b), and precipitation anomalies (solid line) and superimposed precipitation after band pass filter (dash line, c)

对未来 2—4 年内是否可能易出现降水量异常年份趋势预测具有很好的参考价值。

由图 1b 中分析结果可知,雅江中游降水量分别存在 12~16 年、8 年和 2~4 年的振荡周期,将图 1a 中雅江中游地区汛期 47 年的降水量序列分别按 12~16 年、8 年和 2~4 年进行带通滤波处理,分别得到 3 条滤波后的降水量序列。将 3 条降水量序列进行叠加,得到滤波叠加后的恢复降水序列,并与 47 年汛期降水量序列的距平分布进行对比(图 1c)。可以看到,两条序列的波峰、波谷位置保持一致,存在明显的相似特征,由此验证图 1b 中降水量周期振荡叠加导致降水量异常的结论。

2.2 降水量变化的空间分布

2.2.1 年代际变化特征

雅江中游各代表站汛期降水量的变化特征大体

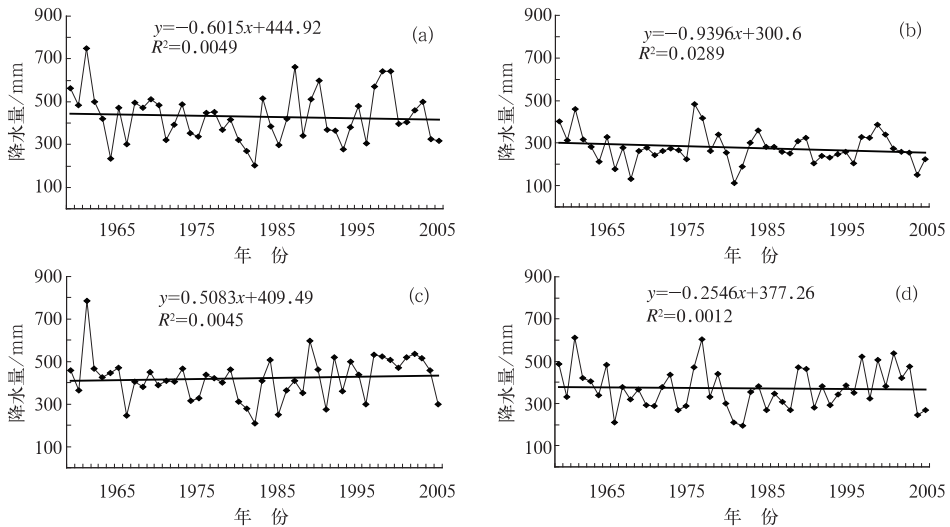


图 2 汛期降水量年际变化

(a) 日喀则; (b) 江孜; (c) 拉萨; (d) 泽当

Fig. 2 The interannual variations of rainfall during flood season at stations

(a) Xigaze, (b) Gyangze, (c) Lhasa, and (d) Zetang

2.2.2 小波变换特征

图 3 给出了日喀则、江孜、拉萨和泽当小波变换系数等值线。由图 3 可见,在 14 年左右的尺度上 4 个站的周期振荡基本一致即经历 8 个干湿交替,除拉萨外其他 3 个站周期振荡非常显著。在 8 年左右的时间尺度上,日喀则站在 47 年内周期振荡最明显,汛期降水量经历了 10 个干湿交替。江孜、泽当站进入 20 世纪 70 年代中期后开始显著,之前并不明显,汛期降水量经历了 6 个干湿交替,即 1975—

上是相似的,但也存在一些自身的变化特征。为此,对 4 个站分别计算其年代距平、倾向率和小波变换系数。从年代际变化(表略)和倾向率变化看(图 2),拉萨、日喀则和泽当 3 个站与雅江中游整体变化基本一致,即 20 世纪 60 年代和 90 年代至 21 世纪为正距平,20 世纪 80 年代降水量明显偏少;降水量倾向率日喀则、泽当呈减少趋势,拉萨呈增加趋势,但这种趋势并不显著(未通过检验)。而江孜站降水量从 20 世纪 80 年代至 21 世纪为负距平,呈明显的下降趋势,倾向率为 $-9.398 \text{ mm}/10 \text{ a}$,通过了 0.10 显著性水平。受大地形和山脉背风坡的影响,江孜站处于喜马拉雅山脉北麓少雨带,与其他站存在一定差异。这种差异是否表明喜马拉雅山脉北麓少雨带自进入 80 年代后降水量偏少,近 47 年来降水总体趋势呈明显的下降,这有待于进一步研究。

1981 年、1985—1991 年及 1998—2002 年为降水量偏多时段,1982—1984 年、1992—1997 年及 2003 年以后为降水量相对偏少时期,干湿转折点为 1982 年、1985 年、1992 年、1998 年及 2003 年附近。而拉萨站除 20 世纪 60 年代、80 年代初和 21 世纪初较明显外,其他时段并不明显。对于 2 年左右的小时间尺度来说,4 个站表现非常显著,其中 60 年代、80 年代和 90 年代尤为突出。

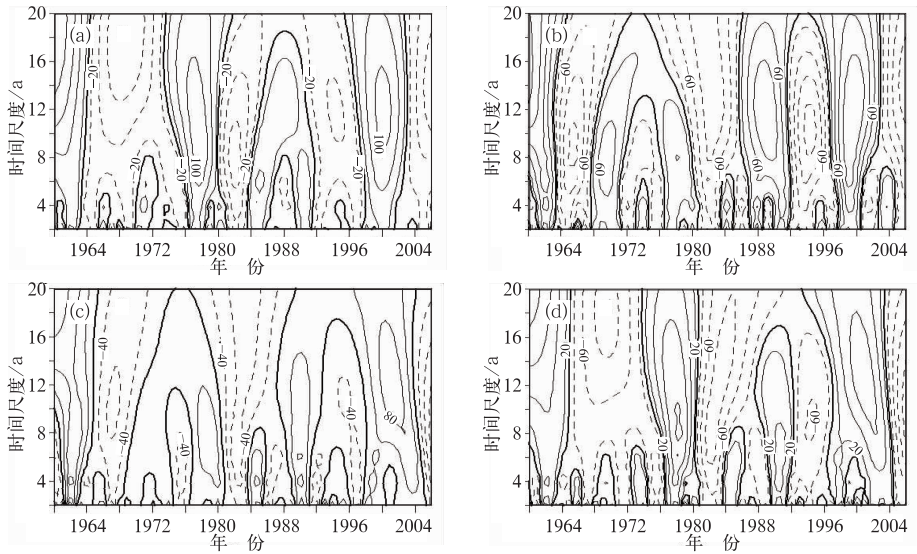


图 3 汛期降水量小波变换图

(a) 日喀则; (b) 江孜; (c) 拉萨; (d) 泽当

Fig. 3 Rainfall wavelet transform during flood season at stations

(a) Xigaze, (b) Gyangze, (c) Lhasa, and (d) Zetang

47 年降水量小波变换表明,在 20 世纪 60 年代、1977—1984 年、1998—2006 年 3 个时段不同尺度周期同位相叠加,即 1960—1963 年、1977—1981 年和 1998—2003 年为正位相叠加,1964—1968 年、1982—1984 年和 2004—2006 年为负位相叠加。与图 1a 和图 2 降水量年际变化相对比,在正位相叠加的 3 个时段正是雅江中游汛期降水量异常偏多年份最多,相反在负位相叠加的 3 个时期雅江中游汛期降水量异常偏少年份最多。

3 降水量序列的小波方差分析

以上分析了雅江中游汛期降水量和各代表站汛期降水量序列存在的几个周期范围。根据公式(5),本文计算了各序列的小波方差来确定个序列中存在的主要周期(见图 4)。图 4a 中雅江中游汛期降水量小波方差有 3 个峰值,分别对应时间尺度 14、12 和 2 年。说明雅江中游汛期降水量 14 年左右的周期

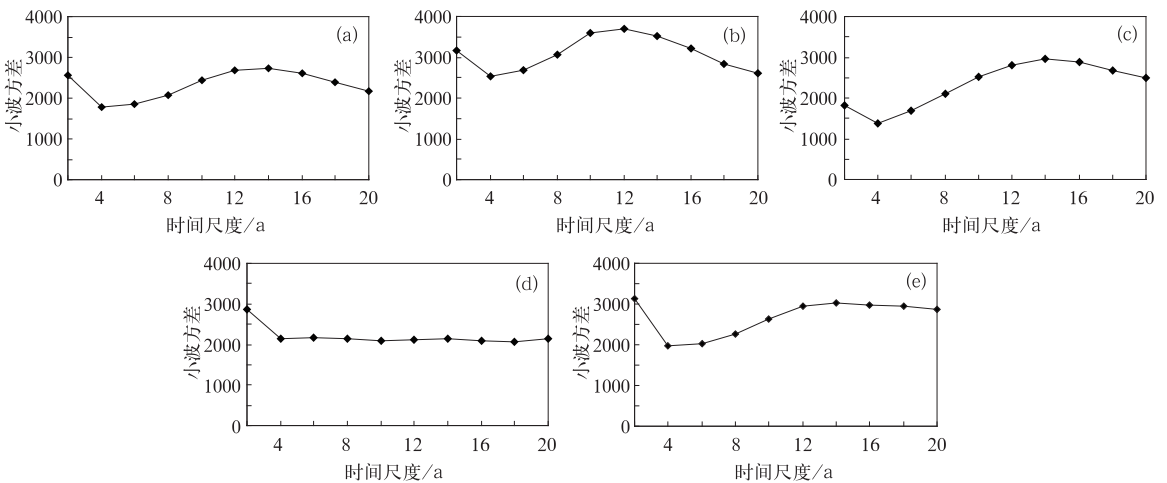


图 4 雅江中游地区(a)、日喀则(b)、江孜(c)、拉萨(d)及泽当(e)降水量距平的小波方差

Fig. 4 Wavelet variance of annual rainfall anomalies in middle Yarlung Zangbo River

(a) and at stations Xigaze (b), Gyangze (c), Lhasa (d) and Zetang (e)

振荡最强,为雅江中游汛期降水量的第 1 主周期,其次为准 2 年周期。日喀则和江孜汛期降水量分别以 12 年和 14 年尺度周期振荡为第 1 主周期,其中又嵌套了 2 年和 8 年年际尺度周期(见图 4b,4c)。由图 4d 和 4e 得出:拉萨和泽当以准 2 年时间尺度周期最显著,为第 1 主周期;泽当在 14 年左右年代际尺度上周期振荡也明显,为第 2 主周期,但拉萨在其他时间尺度上并不明显。

以上分析表明:雅江中游汛期降水量除拉萨站外存在 14 年左右时间尺度为主的周期振荡;在准 2 年为主周期的年际变化趋势上雅江中游汛期降水量具有较强的一致性,其中拉萨、泽当最显著。

4 小 结

(1) 从雅江中游汛期降水量年代际变化趋势来看,20 世纪 70 年代和 80 年代降水量距平为负,尤其是 80 年代降水量明显偏少,60 年代、90 年代和 21 世纪前 6 年降水距平为正,其中 60 年代降水偏多。47 年来雅江中游汛期降水年际变化除江孜站呈减少趋势外其他 3 个站趋势并不明显,而江孜站趋势变化是否表明喜马拉雅山脉北麓少雨带自进入 80 年代后降水偏少,总体呈明显的下降趋势。

(2) 小波分析的时频局部化特性可展现降水量时间序列的精细结构,分析表明:雅江中游汛期降水量在 12~16 年左右的时间尺度上表现出显著的周期振荡,经历了 8 个干湿交替;其次 8 年左右时间尺度的周期特征从 1976 年后开始明显;对于准 2 年的小时间尺度来说,则有更多的降水量偏多期和偏少期交替出现,其中在 1964—1976 年、1984—1997 年期间周期变化表现得尤为显著;各代表站小波变换特征在 14 年左右和准 2 年的时间尺度上基本一致,而在 8 年左右时间尺度上有一定差异;在 47 年内有 5 个时段出现了不同尺度周期振荡同位相叠加,致使雅江中游汛期降水量出现异常偏多或异常偏少年份较多。

(3) 雅江中游汛期降水量除拉萨站外存在 14

年左右时间尺度为主的周期振荡;在准 2 年为主周期的年际变化趋势上雅江中游汛期降水量具有较强的一致性,其中拉萨、泽当最显著。

致谢:本文完成过程中得到了云南省气象局科研所陶云同志的指导和帮助,在此深表感谢。

参考文献

- [1] 徐宗学,巩同梁,赵芳芳. 近 40 年来西藏高原气候变化特征分析[J]. 亚热带资源与环境学报,2006,1(1):24-32.
- [2] 马艳鲜,何晓红. 西藏地区汛期雨型划分与全国夏季雨带关系[J]. 气象,2005,31(12):28-31.
- [3] 王川,寿绍文. 一次青藏高原东侧大暴雨过程的诊断分析[J]. 气象,2003,29(7):
- [4] 纪忠萍,谷德军,谢炯光. 广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J]. 热带气象学报,1999,15(1):48-55.
- [5] 许月卿,李双成,蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究[J]. 中国科学 D 辑 地球科学,2004,34(12):1176-1183.
- [6] 匡正,季仲贞,林一骅. 华北降水时间序列资料的小波分析[J]. 气候与环境研究,2000,5(3):312-317.
- [7] 覃军,张录军,胡江林. 武汉近百年来气温变化的多时间尺度分析[J]. 气象科学,2001,21(2):206-210.
- [8] 廖雪萍,覃卫坚,唐炳莉,等. 广西近 50 年暴雨日数变化的小波分析[J]. 气象,2007,33(12):45-50.
- [9] 程炳岩,郭渠,孙卫国. 川渝地区降水变化与 Nino3 区 SST 的关系及其稳定性分析[J]. 气象,2010,36(3):27-33.
- [10] 汪靖,吕江津. 天津地区雨季降水异常的前期强影响信号研究[J]. 气象,2010,36(11):12-17.
- [11] 尤卫红,段旭,杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用[J]. 高原气象,1998,18(1):47-54.
- [12] 汪青春,李林,刘蓓,等. 青海省近 40 年雨日、雨强气候变化特征[J]. 气象,2005,31(3):67-72.
- [13] 王希娟,唐红玉. 青海春季降水的气候变化特征及其对春旱的影响[J]. 气象,2006,32(5):41-45.
- [14] 周顺武,假拉,杜军. 近 42 年西藏高原雅鲁藏布江中游夏季气候趋势和突变分析[J]. 高原气象,2001,20(1):71-75.
- [15] 黄晓清,胡初阳. 雅鲁藏布江中游地区的旱涝气候特征分析[J]. 高原气象,2002,21(1):108-112.
- [16] 杜军,马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. 地理学报,2004,59(3):375-382.
- [17] 臧海佳,周自江. 青藏高原区域性积雪增量序列及其变化特征[J]. 气象,2009,35(6):77-81.