

# 西安市近58年雨涝事件时间序列特征研究\*

廖光明, 延军平, 胡娜娜, 安 华

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘 要:** 利用西安市1951–2008年逐日气象数据, 以Z指数方法定义西安市雨涝指数, 结合大雨、暴雨等主要强降水雨涝事件发生频次变化特征, 揭示出西安市近58年雨涝灾害时间序列变化特征以及周期规律。结果表明: 西安市近58年平均气温以 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率明显上升, 而降水量线性变化趋势不显著。年均大、暴雨日数发生频次相对较少, 变化较为随机, 但暴雨强度有明显上升趋势。采用Morlet小波变换, 对大、暴雨日数及雨涝指数进行多时间尺度周期分析, 大、暴雨日数和7、8月雨涝指数具有较一致的准6年周期变化特征。9月雨涝指数主要存在10年和20~25年两个振荡周期。各要素存在着不同时间尺度周期变化特征, 大尺度周期内包含着次一级小尺度变化, 不同时间阶段具有不同尺度周期变化。小波系数分布趋势显示未来10年, 西安或仍将处于降水丰富、暴雨易发的雨涝期。

**关键词:** 西安市; 雨涝事件; Z指数; 小波分析

**中图分类号:** P468; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)02-0065-06

随着全球气候变暖, 降水变化极端, 自然环境有明显的暖干化趋势<sup>[1]</sup>。而城市是人类活动影响最大的区域, 城市发展与气候、环境之间的响应得到了国内外广泛关注。如Chung<sup>[2]</sup>、Gallo<sup>[3]</sup>、张一平<sup>[4]</sup>等分析了不同地区城市化与气温变化的关系。相关学者<sup>[5-6]</sup>对城市气候变化, 及其环境效应的影响研究证实, 城市化进程对各气象要素变化都产生了重要影响, 城市“五岛效应”不断增强, 气候环境具有恶化趋势。聂安祺<sup>[7]</sup>等对我国三大城市带城市效应对比得出城市化对降水的影响主要体现在极端强降水事件上, 随着城市的发展, 京津冀地区极端强降水的频率和强度降低, 长三角地区极端强降水有所增强。

除了对城市气候要素变化的研究, 近年来气候变暖背景下灾害性天气事件的变化开始引起人们的关注<sup>[8]</sup>。彭俊台等<sup>[9]</sup>通过对极端降雨指标MCP、MCD、MCI和其综合指数变化分析, 总结出珠江流域极端降雨呈东大西小的区域差异。钟晋阳<sup>[10]</sup>等研究浙江省雨涝时空特征, 得出其雨涝等级在时间尺度上有逐步加强的趋势。孙激<sup>[11]</sup>利用1961–2007年北京地区降水资料, 发现北京地区暴雨日数总体表现为波动式的缓慢下降。王新华<sup>[12]</sup>研究得出近48年来大同市随着气温的升高, 该市干旱灾害的比例增幅比较明显。张天宇<sup>[13]</sup>等对重庆主城区百年雨日及强度变化分析得出, 大雨和暴雨有弱增加趋势。杨艳娟<sup>[14]</sup>等发现天津市降水极端指数具有10年和4年的周期特征。相关研究均表明各类气象灾害事件具有显著的时间变化特征和区域差异。随着城市化进程的加快, 在同样气候背景下, 发生在城市的气象灾害损失要比郊区大很多<sup>[8]</sup>, 城市气象灾害的变化将深刻地影响着区域城市发展。本文选取西安市为研究案例, 着重对气候变化背景

下城市雨涝灾害和大、暴雨等强降水过程频次变化进行研究, 以揭示区域城市灾害性气候事件的变化特征和规律。期望能够对城市发展建设、防灾减灾策略和区域安全管理提供参考依据, 维持城市社会经济稳定和可持续发展。

## 1 资料来源与分析方法

### 1.1 资料来源

选取国家气象基准站西安站(57036)逐日降水资料为研究对象, 由于数据统计来源限制, 选取1951–2008年为研究的时间序列。文中雨量级的划分按照我国常用的分级标准<sup>[15]</sup>: 取日界时间为当日20时至次日20时日降雨量 $\geq 25\text{ mm}$ 为1个大雨日, 日降雨量 $\geq 50\text{ mm}$ 为1个暴雨日, 日降雨量 $\geq 100\text{ mm}$ 为大暴雨日, 日降雨量 $\geq 250\text{ mm}$ 为特大暴雨日。冬季降水有时以降雪形式存在, 在雨日(雨量过程)频次计算中降雪日划入一次雨日进行分析(即降雪量31XXX, 30XXX换算成等量降雨)。本文主要进行雨涝灾害分析, 选取降水最为集中的7–9月降水量来研究雨涝指数的变化。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 时间特征分析

主要采用线性分析、多项式、M-K突变检验等方法, 通过建立线性回归方程, 对降水、气温等气象要素时间序列特征进行分析。同时利用t检验方法对线性趋势进行显著性检验。气象要素倾向率计算:

$$R_i = a_0 + a_1 t_i \quad (1)$$

式中:  $R_i$  为降水要素,  $t_i$  为时间,  $a_1$  为线性趋势项, 把 $a_1 \times 10$ 年作为气候要素的倾向率<sup>[16]</sup>。

\* 收稿日期: 2012-09-20 修回日期: 2012-11-09

基金项目: 国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性: 结构、机理与适应对策”(41171090)

作者简介: 廖光明(1988-), 男, 四川广元人, 硕士研究生, 研究方向为区域研究与城乡发展. E-mail: lgm11.19@163.com

通讯作者: 延军平(1956-), 男, 陕西绥德人, 教授, 研究方向为灾害地理、环境变化. E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

1.2.2 雨涝指数的确定

Z 指数方法及公式<sup>[17]</sup>，由于某一段时间的降水量一般不服从正态分布，现假定其服从 Person III 分布，其概率密度函数通过转换为：

$$z_i = \frac{6}{c_s} \left( \frac{c_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{c_s} + \frac{c_s}{6} \quad (2)$$

式中： $c_s$  为偏态系数， $\varphi_i$  为标准变量，将雨涝等级分为 5 个等级(表 1)。

表 1 Z 指数雨涝等级划分

Z 值 Value	等级 Grades	类型 Types
$Z > 1.648\ 5$	1	重涝 Heavy Flood
$1.036\ 4 < Z \leq 1.648\ 5$	2	大涝 Flood
$0.524\ 4 < Z \leq 1.036\ 4$	3	偏涝 Partial Flood
$-0.524\ 4 \leq Z \leq 0.524\ 4$	4	正常 Normal
$Z < -0.524\ 4$	5	旱 Dry

注：将  $Z < -0.524\ 4$  统一定义为干旱指标，干旱指标不再细化。

1.2.3 周期分析

小波分析是在傅里叶分析的基础上发展起来的，作为时频分析方法，它提供了一种自适应的时域和频域同时局部化的分析方法，能够聚焦到信号时段和频段的任意细节<sup>[18]</sup>。采用 Morlet 小波变换<sup>[19]</sup>进行各研究对象时间序列多时间尺度周期分析。Morlet 小波是高斯包络下的单频率复正弦函数：

$$\psi(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2} \quad (3)$$

式中： $\omega_0$  为常数； $i$  表示虚数。 $\psi(t)$  通过伸缩和平移构成一簇函数系：

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in R; \quad a \neq 0 \quad (4)$$

式中： $\psi_{a,b}(t)$  为子小波； $a$  为尺度因子，反映小波的周期长度； $b$  为时间因子，反映时间上的平移。若  $\psi_{a,b}(t)$  满足式(4)，对于时间序列  $f(t) \in L^2(R)$ ，其连续小波变换的公式为：

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5)$$

式中： $w_f(a,b)$  为小波系数，它反映出信号在时间局部区域上的频率特征。实际工作中，时间序列常常是离散的，如  $f(k\Delta t)$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $\Delta t$  为取样时间间隔)，则式(5)的离散形式为：

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \psi\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right) \quad (6)$$

$w_f(a,b)$  能同时反应时域参数  $b$  和频域参数  $a$

的特性，它是时间序列  $f(k\Delta t)$  通过单位脉冲响应的滤波器的输出，反映出信号在时间域的整体特征，它可以确定一个时间序列中存在的主要周期。

2 气候背景变化特征

2.1 气温变化特征

1951 - 2008 年平均气温为 13.7℃，最低年均气温为 1951 年 11.8℃，最高平均气温为 2007 年 15.6℃，二者绝对差值达 3.8℃。从气温变化趋势(图 1)来看，气温呈阶段性波动上升趋势，上升趋势率约 0.38℃/10 a，通过了 95% 的置信水平检验，升温趋势明显。通过对气温时间序列进行 M-K 突变检验，气温突变发生在 1995 年前后，在气温跃变之前，年均温基本都呈负距平。1951 - 1994 年负距平年份达 32 年，占总负距平年份 72.7%。

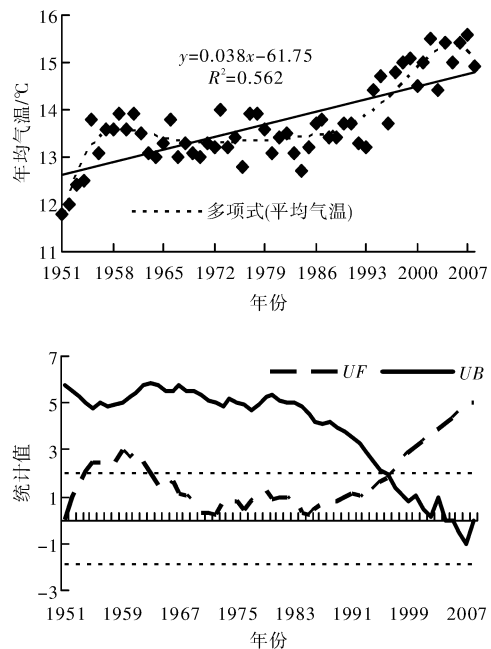


图 1 西安市 1951 - 2008 年平均气温变化趋势和 M-K 突变检测

各年代均温上升趋势更为显著(表 2)，除 1980 年代以外，年代际均温呈直线上升趋势，由 1970 年代 13.0℃ 上升到 21 世纪以来的 15.2℃，各年代极高温、极低温均同步上升，且以极低温上升速率最为剧烈，升温幅度达 2.6℃。气温年代际变化中，有两个升温趋势最明显的阶段，分别是 1950 年代和 1990 年代中后期。

表 2 西安市 1951 ~ 2008 年气温年代际变化

年代	1951 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2008
平均温度/℃	13.0	13.3	13.4	13.4	14.2	15.2
极高温/℃	13.9	13.9	14.0	13.8	15.1	15.6
极低温/℃	11.8	13.0	13.1	12.7	13.2	14.4

## 2.2 降水变化特征

近 58 年, 西安市多年平均降水量为 573.9 mm, 年降水量有略微减少趋势, 但变化显著性不强, 通不过信度检验。统计降水量标准化距平(图 2), 年降水量正距平年份 26 年, 负距平年份 32 年, 年际降水变化幅度较大, 研究时段内最大降水值为 1983 年 903.2 mm, 最小降水值为 1995 年 312.2 mm, 正负距平绝对差值达 591.0 mm, 变幅较大。

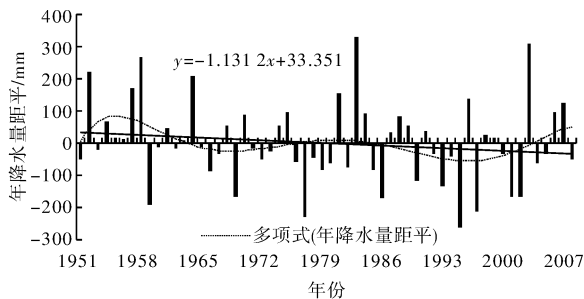


图2 西安市年降水量距平图

对年降水量进行 6 阶多项式计算, 进一步分析其在不同时期的具体变化特征, 从曲线中可以较好地看出, 1950 年代, 降水充沛, 正距平年多, 负距平年少且差值较小, 基本接近平均水平。1960、1970 年代, 年际变率不大, 降水相对较为平稳, 1960 年代初到 1970 年代中期降水相对较少, 1970 年代后期降水增多, 出现一个较短的偏涝期。1980 年代中期至 1990 年代末, 降水减少, 整体偏旱, 是一个时间跨度较大的偏旱期。1990 年代后期至 2008 年, 由旱转向偏涝, 年降水量有所增加。

综合分析得出, 西安市气候暖化发展趋势明显, 降水略有减少, 低温升幅快是导致整体温度提升迅速的主要因子。气温、降水均有不同的年代阶段性特征, 表现为气温冷暖期交替, 降水丰枯期互换的特征。

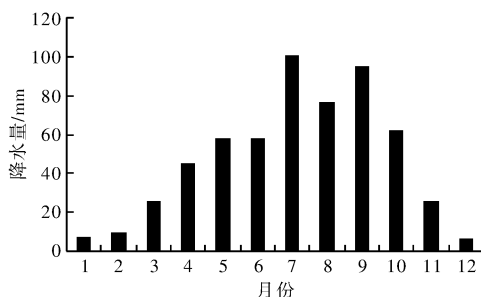


图3 西安市各月降水量分布图

## 3 雨涝事件时间序列变化特征

受暖温带半湿润大陆性季风气候影响, 西安市降水年内分布极不均匀。从图 3 可以看出, 年内降水主要集中在 7-9 三月份, 以 7 月最多, 三月累计总降水量几乎占全年一半左右, 其他各月

多年平均降水量均在 60 mm 以下。7-9 月也是大、暴雨易发的雨涝灾害频发期, 文章着重对此三个月的雨涝指数变化进行分析研究。

### 3.1 雨涝事件特征

西安市 7-9 月降水较为集中, 是雨涝事件频繁期。表 3 中统计了 7-9 月不同等级雨涝事件发生频次, 7 月正常年份 20 年, 雨涝年份 20 年, 干旱年份 18 年。8 月雨涝年份 17 年, 正常年份 19 年, 干旱年份 22 年。9 月雨涝年份 16 年, 正常年份 25 年, 干旱年份 17 年。三月份发生雨涝事件年份比率分别为 34.5%, 29.3%, 27.6%, 7 月涝比旱多, 8、9 月涝比旱少。9 月雨涝事件发生次数最少, 但是高等级雨涝发生频率较大, 共发生 6 次重涝, 而 7 月发生仅 2 次(1957、2007 年), 8 月发生 3 次(1952、1958、1981 年)。

表3 不同等级雨涝事件发生频次/频率

月份	旱涝等级				
	1(Heavy Flood)	2(Flood)	3(Partial Flood)	4(Normal)	5(Dry)
7	2(1957、2007)	5	13	20	18
8	3	8	6	19	22
9	6	4	6	25	17
理论频率/%	5	10	15	40	30

同时, Z 指数是一个基于标准变量的评价指标体系, 能反应出序列的离散程度。从离散角度分析, 7 月份雨涝事件最多, 但指数分布最接近理论频率, 发生规律较为稳定。而 9 月发生重涝的频率远远超出了理论值, 表明 9 月的雨涝指数分布离散, 相对来说变率更大, 在时间序列上分配不稳定, 发生雨涝事件概率或将逐渐加大。

### 3.2 大雨、暴雨变化特点

#### 3.2.1 月分布特征

从图 4 中可以看出, 研究时段内西安市无特大暴雨发生, 大暴雨仅发生一次, 出现在 1991 年。大雨、暴雨年内分布规律基本一致, 主要集中在 7、8、9 三月份, 以 7 月发生频次最高。7-9 三月累计大雨日数占全年总大雨日数 64.5%, 暴雨日数占全年 82.9%, 占据绝大部分。一年中, 除 1 月和 12 月外, 其余各月均有大雨过程发生, 2 月和 3 月大雨发生频率最小, 58 年内分别仅发生一次大雨过程, 为 1979 年 3 月和 2004 年 2 月。

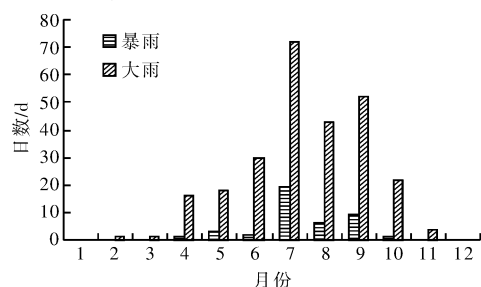


图4 西安市各月大雨、暴雨日数分布

分析 58 年来逐日降水量, 气象记录发生在 7 月份暴雨频次达 19 次, 占总暴雨发生次数 46.3%, 接近一半水平。1、2、3、11 和 12 月份无暴雨发生, 4、10 月分别均有一次暴雨过程 (1958、1964 年), 5 月发生过三次暴雨过程 (1970、1987、1991), 6 月发生过两次暴雨过程, 出现在进入 21 世纪以来 (2002、2004 年)。

### 3.2.2 大、暴雨日数及强度变化年代际和年变化特征

大雨、暴雨日数线性变化趋势均不明显 (图 5), 雨日变化较随机, 通不过显著性检验。58 年中, 1983 和 1993 年大雨日数最为异常, 1983 年是有气象记录以来大雨发生频次最多的一年, 共发生 14 次大雨过程, 而 1993 年是唯一无大雨过程发生的年份。其余年份大雨日数变化较为稳定, 基本在 5 d 左右波动。平均大雨发生率为 4.6 次/a。而暴雨发生频次更低, 平均暴雨发生率为 0.74 次/a, 发生暴雨最多年份为 1957 年 4 次, 均发生在 7 月份, 一般在雨涝年份内多数均有一次暴雨过程。

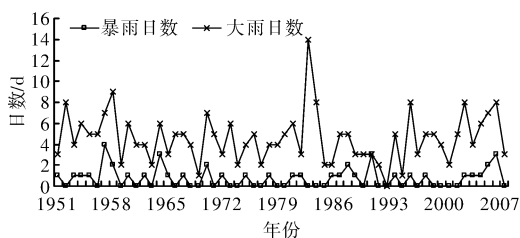


图 5 西安市各年大雨、暴雨日数

将全部 41 次暴雨过程, 266 次大雨过程的日降水量作序列分析 (发生在同一年内的取平均值作为一个变量点), 得出大雨强度数据 57 个、暴雨强度数据 30 个。

图 6 为大、暴雨强度线性变化趋势图。虽然大、暴雨日数的增减变化不明显, 但从大、暴雨强度来看, 每次降水过程的降水量具有显著的上升趋势。暴雨强度上升最为明显, 倾向率达 6.3 mm/10 a。强度降水过程是导致城市内涝、交通阻塞等城市问题的直接气象因子。暴雨强度的增加, 对城市的排水系统提出了更大的考验, 需重视对城市雨涝排水系统的建设和改善, 以应对气候因子带来的各种变化。

## 4 周期规律分析

对大、暴雨日数, 以及 8-9 月雨涝指数进行 Morlet 小波变换。整体来看, 小波系数正负相位相互交替, 各研究对象均存在着不同时间尺度的周期变化特征, 在大尺度周期内包含着次一级的小尺度周期变化, 不同时间阶段具有不同尺度变化

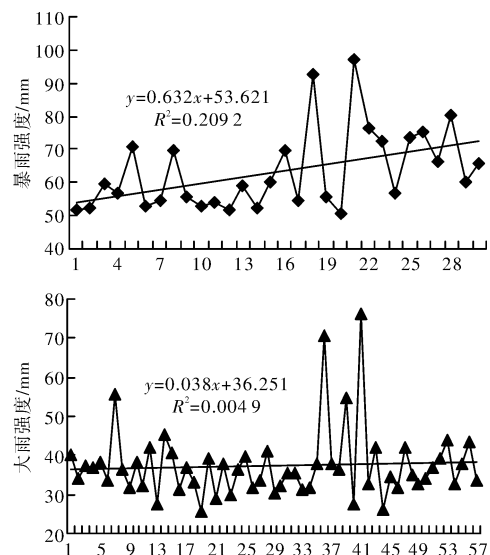


图 6 西安市大雨、暴雨强度变化趋势

周期。

图 7 为大、暴雨日数小波系数分布图, 小波系数为正, 代表雨日发生频次高, 反之越小。大雨日数存在着大尺度上 20 年左右和小尺度 6 年左右两个主要变化周期。大雨日数小波系数在 10 年以下小尺度上, 1980 年代以前分布较为零散, 年际周期规律较差, 随机性较强。在代际以上尺度, 表现特别明显, 呈多-少-多周期变化, 1980 年代处于大雨频发期, 1990 年代大雨频次相对较少, 2000 年开始进入下一个大雨多发时期。

暴雨日数与大雨日数小波系数位相变化基本同步, 周期以 10 年振荡为第一主周期, 5~6 年为第二主周期, 5~6 年周期主要表现在 1980 年代之前。在代际以上尺度, 30 年周期显著, 存在着多-少-多三个变化阶段, 1980 年代末至今处于 30 年尺度上的暴雨频发期, 在该周期内, 还包含着次一级 10 年尺度多-少-多三个周期交替。

图 8 为 7-9 月雨涝指数小波系数分布图, 小波系数值越大 (正相位) 表示雨涝指数越大, 雨涝灾害越严重, 反之系数值越小 (负相位), 雨涝越轻, 干旱越严重。7 月雨涝指数主要存在两个周期, 6~10 年和 15 年左右年代际周期振荡明显。8 月雨涝指数在小尺度周期振荡十分规律, 尤其 1960 年代以后, 以准 6 年周期为第 1 主周期, 大尺度上以 20 年周期振荡明显。9 月雨涝指数在小尺度上周期规律不显著, 主要表现为较大尺度的 10 年和 20~25 年的振荡周期; 1980 年代至 1990 年代末, 处于 20 年尺度左右雨涝灾害平缓期, 雨涝较少干旱易发; 2000 年以后, 进入 20 年尺度的雨涝灾害多发期, 小波系数等值线未闭合, 近期仍将处于该周期内。

从各要素小波系数分布指向来看, 除大雨日

数最近一个多发周期即将结束, 可能会进入下一个大雨日数偏少期。暴雨日和 7-9 月雨涝指数, 近期均处于小波实部为正值等值线区, 且等值线均没有闭合, 指示出在未来 10 年左右时间, 西安或仍将处于降水丰富、暴雨易发的雨涝期。

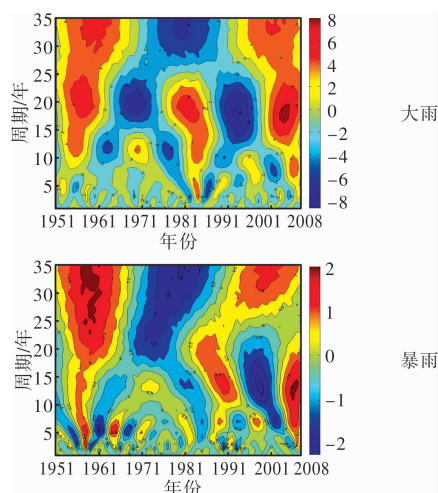


图7 西安市大雨、暴雨日数小波系数分布图

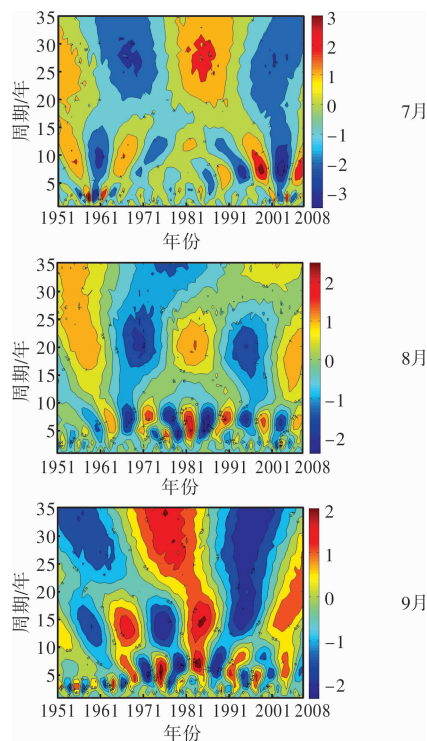


图8 西安市7、8、9月雨涝指数小波系数分布图

## 5 结论

(1) 近 58 年, 西安市气温呈阶段性波动上升, 倾向率约  $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 尤以低温升温趋势最明显, 突变年份为 1995 年。年降水量略有减少, 但线性趋势变化不显著。气候具有暖干化发展趋势, 气温、降水均有不同的年代阶段性特征, 气温冷暖期交替, 降水丰枯期互换。

(2) 西安市大、暴雨日数相对较少, 58 年平均大雨发生率为 4.6 次/a, 暴雨发生频次更低, 平均暴雨发生率为 0.74 次/a, 大、暴雨日数线性变化趋势均不明显。但是从大、暴雨强度来看, 暴雨日降水过程的降水量具有显著的上升趋势, 暴雨强度在逐渐增加, 而且仍有上升趋势。

(3) 年降水各月分布极不均匀, 降水主要集中在 7-9 三个月份, 利用 Z 指数体系, 构建 58 年来 7-9 月降水集中期雨涝指数, 计算得出 7 月发生雨涝事件最为频繁, 9 月雨涝事件相对等级较高。

(4) 对大、暴雨日数, 以及 7-9 月雨涝指数进行小波变换分析。大、暴雨日数和 7、8 月雨涝指数具有较一致准 6 年周期变化特征。9 月雨涝指数主要存在 10 年和 20-25 年两个振荡周期。各要素存在不同时间尺度的周期变化特征, 在大尺度周期里包含着次一级的小尺度变化, 不同时间阶段具有不同周期尺度变化。小波系数分布趋势显示在未来 10 年, 西安或仍将处于降水丰富, 暴雨易发的雨涝期。

(5) 随着经济发展、城市化进程的加快, 西安市城市面积不断扩大。暴雨等雨涝灾害将对城市的发展、安全提出更大的考验, 需重视城市防洪、排涝系统的科学规划和排水系统等基础设施建设和改善。加强对雨涝灾害相关研究, 有利于提升城市防灾减灾效益, 以应对全球气候变化所带来的各种灾害性事件。

## 参考文献:

- [1] 延军平. 中国内陆自然环境的干旱化与未来趋势[J]. 灾害学, 1999, 14(2): 28-32.
- [2] Chung U, Choi J, Yun J I. Urbanization effect on observed change in mean monthly temperature between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea[J]. Climate change, 2004, 66(1/2): 127-136.
- [3] Gallo K P, Owen T W. Satellite-based adjustments for the urban heat island bias[J]. Journal of Applied Meteorology, 1999, 38(6): 806-813.
- [4] 张一平, 何云玲, 马友鑫, 等. 中国不同地区城市化对室内外气温影响的比较研究[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 42-48.
- [5] 白虎志, 张焕儒, 张存杰. 兰州城市化发展对局地气候的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 410-416.
- [6] 刘熙明, 胡非, 李磊, 等. 北京地区夏季城市气候趋势和环境效应的分析研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(3): 689-697.
- [7] 聂安祺, 陈星, 冯志刚. 中国三大城市带城市化气候效应的检测与对比[J]. 气象科学, 2011, 31(4): 372-383.
- [8] 郑祚芳, 张秀丽, 丁海燕. 近 50 年北京地区主要灾害性天气事件变化趋势[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(1): 48-52.
- [9] 彭俊台, 张强, 陈晓宏, 等. 珠江流域极端降雨时空演变特征分析[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 24-28, 34.
- [10] 钟晋阳, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 浙江省雨涝时空分布特征

- 研究[J]. 科技通报, 2009, 25(1): 35-39.
- [11] 孙 激. 北京地区暴雨气候特征及其变化分析[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(5): 672-676.
- [12] 王新华, 延军平, 柴莎莎. 近 48 年大同市旱涝灾害对气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 273-278.
- [13] 张天宇, 李永华, 程炳岩, 等. 重庆主城区百年雨日及强度变化特征[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 38-52.
- [14] 杨艳娟, 任 雨, 郭 军. 1951-2009 年天津市主要极端气候指数变化趋势[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(5): 21-26.
- [15] Zhang J Lin Z. Climate of China[M]. New York: John Willey sons, 1992: 376.
- [16] 格 桑, 唐小萍, 路红亚. 近 35 年青藏高原雨量和雨日的变化特征[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 925-930.
- [17] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26-33.
- [18] 曾德良, 刘继伟, 刘吉臻, 等. 小波 多尺度分析方法在磨辊磨损检测中的应用[J]. 中国电机 工程学报, 2012, 32(23): 126-131.
- [19] 衡彤, 王文圣, 丁晶. 降水量时间序列变化的小波特征[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 466-470.

## Analysis on the Temporal Characteristics of Waterlogging about the Recent 58 Years in Xi'an

Liao Guangming, Yan Junping, Hu Nana and An Hua

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

**Abstract:** Based on the daily precipitation data from 1951 to 2008, the waterlogging indices were assessed with Z-index in Xi'an. Simultaneously, this paper analyzed changes of the frequencies about severe rainfall, and then revealed the temporal characteristics and the periodic variation of the waterlogging in recent 58 years. The results showed that; the trend of annual mean temperature appeared to be warmer by the 0.38℃/10a rate, however, the tendency of the precipitation not obvious. Globally, the climate had warming and drying trend. The frequencies of severe rainfall days were relatively less, and had an unobvious change trend. The intensity of the rainstorm trended to rise significantly. The precipitation showed an uneven distribution each month. The waterlogging in 7 month occurred frequently, but the grade and intensity were relatively higher in 9 month. This paper analyzed the periodic rules of heavy rain, rainstorm days and waterlogging indices with the Morlet wavelet transformation, and found that the periodic variation of heavy rain and torrential rain were synchronous. There were obvious periodic cycles of 6a in 7 and 8 month, and 20-25a in 9 month. Overall, the precipitation had the characteristics of multiple time scales, different time scales showed the different cyclic-alternating-patterns, and the periodic variation on large scales was nesting the periodic variation on small scales. Distribution trend of wavelet coefficients showed that Xi'an would be a frequently-occurring stage of waterlogging in the coming 10 years.

**Key words:** Xi'an city; rain waterlogging; Z-Index; wavelet analysis