

无为县夏季降水多时间尺度规律研究

奚立平¹, 蔡文庆¹, 吴海鹰²

(1. 安徽水利水电职业技术学院, 安徽 合肥 231603; 2. 无为县气象局, 安徽 芜湖 238300)

摘要: 无为县的汛期洪水主要由夏季降水形成的,为了揭示无为县夏季降水的规律和特点,服务于防汛抗旱、农作物生产等方面,采用数理统计的方法,研究夏季降水量的年际、年内的月、旬、候、日、白天、夜间、小时等长、短期结合的多时间尺度变化规律和特点,并构建夏季降水量预测模型。结果表明:无为县夏季降水量存在丰枯交替的多周期变化规律,其第一、二、三主周期对应于10、13、23年,预计2016年后夏季降水量还将处于偏多阶段并持续较长时间,但即将进入下降的阶段。年内来看,夏季降水主要集中在6月和7月,其中6月下旬和7月上旬相对较大,降水量从6月1日起逐渐增加,至7月4日达到峰值后逐渐减少。近10年夏季降水集中度从6月向7月推移,自6月至8月,降水集中度从上午向下午、夜间推移,6月份的6-7时、7月份的5-6时和15-18时、8月份的17-18时和20-21时等时段降水集中度较大。

关键词: 夏季降水; 降水规律; 多时间尺度; 小波分析; 时间序列分析; 无为县

中图分类号: P468.0⁺24

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)05-0087-08

Research on the multiple time scale law of summer precipitation in Wuwei County

XI Liping¹, CAI Wenqing¹, WU Haiying²

(1. Anhui Water Conservancy Technical College, Hefei 231603, China;

2. Wuwei County Meteorological Bureau, Wuhu 238300, China)

Abstract: The floods in Wuwei County are mainly consist of summer precipitation. In order to reveal the laws and characteristics of summer precipitation in Wuwei County for controlling flood, relieving drought and increasing crop production, the authors used the mathematical statistics method to study the laws and characteristics of summer precipitation change on multiple time scales including interannual, monthly, ten-day period, pentad, daily, daytime, nighttime, hourly, established a model to predict the precipitation in summer. The results demonstrated that there was a multi-cycle change law in the alternating current of abundant water and dry water in Wuwei county in summer precipitation. The first, second and third main periods are 10, 13 and 23 years, respectively. The summer precipitation is expected to be much rainfall stage and continue for a long time after 2016, but it is about to decrease. Within the year, the summer precipitation in Wuwei mainly concentrated in June and July, of which the last ten-day period of June and the first ten-day period of July took larger proportion. The precipitation presented a gradual increase from 1st, June, which peaked on 4th July and took a downturn afterwards. The concentration of summer precipitation in the past 10 years has shifted from June to July. From June to August, precipitation concentration has shifted from morning to afternoon and evening. Larger concentration of precipitation appeared between 6-7 o'clock in June, 5-6 o'clock and 15-18 o'clock in July, 17-18 o'clock and 20-21 o'clock in August, respectively.

Key words: summer precipitation; precipitation law; multiple time scale; wavelet analysis; time series analysis; Wuwei county

收稿日期:2018-04-01; 修回日期:2018-06-12

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0401305);安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2017A602)

作者简介:奚立平(1969-),男,安徽无为,人,硕士,副教授,主要研究方向为水工安全监测、防洪抢险等。

1 研究背景

降水规律是地区水资源特性的主要因子之一,在降水规律的研究方面,学者们做了大量工作^[1-7],如邢万秋等^[1]分析了淮河流域 1957-2008 年降雨集中度的时空变化规律,任国玉等^[2]综合分析海河流域 1956 年以来、1880 年以来和 1736 年以来降水量变化的主要特征,胡建桥等^[7]研究了兰州市近 65 年来降水周期变化规律,但国内偏重于长期规律的研究,短期规律研究较少^[8-9],对同一地区长、短期结合的多时间尺度研究,以及将降水规律结合防洪策略研究较少,加之地理和气候差异,各地降水规律存在差异性,因此长、短期结合的多时间尺度研究地区降水规律,全面弄清地区降水特点,在此基础上进行防洪策略研究,具有重要意义。

无为县位于皖江北岸,属亚热带季风气候区,洪涝灾害频发,2016 年的特大洪水,造成种植业受灾面积 68 400 hm²,仅农业受灾经济损失就超过 20 × 10⁸ 元。无为县的汛期洪水主要由夏季降水形成的,因此,研究无为县夏季降水长、短期结合的多时间尺度规律及特点,对防汛抗旱、水资源开发利用、农作物生产等具有积极意义^[10-15]。本文利用无为县 1957-2016 年的夏季降水资料,采用 Morlet 小波分析、时间序列分析等方法,从夏季的年际、年内的月、旬、候、日、白天、夜间、小时等长、短期结合的多时间尺度,揭示无为县夏季降水规律和特点,并据此提出防洪策略建议。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

无为县地处安徽省中南部,北依巢湖,南临长江,总面积 2 433 km²。无为县地势西北高、东南低,西北主要是低山丘陵,中部是低岗平畈,东部则是圩区。无为县河流众多,水网密布,塘坝、水库星罗棋布,临长江水岸长达 113 km,东北侧的裕溪河长约 50 km,西河长达 72.7 km 穿境而过。如图 1 所示。

2.2 数据来源

降水资料来源于无为县气象站,时间段为 1957-2016 年。2006 年无为县气象站自动站运行后才开始观测小时降水量,因此小时降水量采用 2007-2016 年的降水观测资料。

2.3 研究方法

利用 Matlab2015、Spss23 和 Surfer8.0 进行数据统计,利用 Morlet 小波分析、时间序列分析,研究夏

季降水量的年际、年内的月、旬、候、日、白天、夜间、小时等长、短期结合的多时间尺度变化规律和特点,并建立降水量预测模型,预测未来 5 年夏季降水量,据此提出无为县防洪策略建议。



图 1 无为县地理位置

3 结果与分析

1957-2016 年无为县四季平均降水量占年平均降水量的百分比如图 2 所示。由图 2 可看出,无为县降水四季分布极不均匀,夏季(6、7 和 8 月)降水最为集中,占年平均降水量的 42.4%,而无为县属于长江流域,主汛期为 6-8 月,显然汛期洪水主要由夏季降水形成的,因此研究无为县夏季降水规律及特征,对于做好防洪抢险工作具有较好的促进作用。

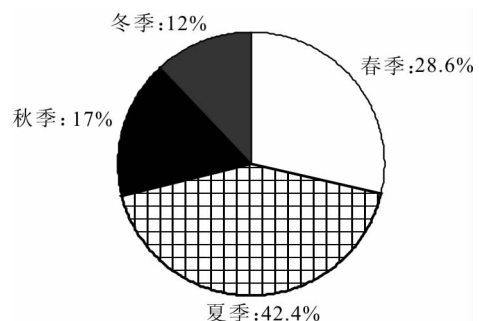


图 2 1957-2016 年无为县四季平均降水量占年平均降水量的百分比

3.1 夏季降水量年际变化规律和特点

利用 Matlab2015 和 Surfer8.0 软件,对无为县 1957-2016 年夏季降水量进行 Morlet 小波分析。

图 3 为无为县 1957-2016 年夏季降水量 Mor-

let 小波变换系数实部等值线图,反映了实部在平面上的变化强弱。图 3 中实线、虚线分别对应降水量的偏多、偏少状态。由图 3 可知,夏季降水量在 10、13、23 年 3 类时间尺度上,呈现偏多、偏少交替的周期变化^[7],降水波动能量变化特性的能量聚集中心,在 10 年尺度上其坐标主要有:(1960, 10)、(1963, 10)、(1966, 9)、(1970, 8)、(1973, 9)、(1976, 9)、(1978, 10)、(1998, 10)、(2002, 9)、(2004, 9)、(2007, 10)、(2010, 10)、(2014, 11);在 13 年尺度上主要有:(1977, 13)、(1982, 13)、(1987, 13)、(1996, 13)、(2000, 13)、(2004, 13);在 23 年尺度上主要有:(1985, 23)、(1992, 23)、(2000, 23)、(2008, 23)。其中,10 年尺度的周期性波动具有全域性,13 年尺度的周期性波动在 1975 - 2007 年较为显著,23 年尺度的周期性波动从 1985 - 2016 较为显著。

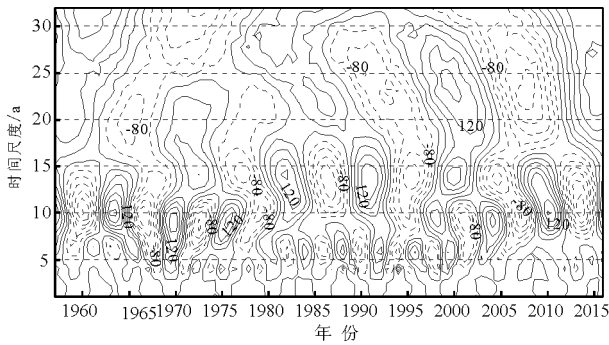


图 3 1957 - 2016 年无为县夏季降水量 Morlet 小波变换系数实部等值线

图 4 为 1957 - 2016 年无为县夏季降水量变化小波方差图,反映了信号波动能量在时间尺度分布上的强弱,据此可以识别时间信号序列的主周期。由图 4 可以看出,夏季降水量小波方差存在 5 个峰值,因而周期性变化由强到弱,分别对应于第 1、2、3、4、5 主周期,其时间尺度分别是 10、13、23、6、4 年。另外,从图 3 可知第 4 主周期(6 年尺度)的周期性波动仅在 1981 - 2000 年较为显著,其余年份相对较弱;第 5 主周期(4 年尺度)的周期性波动微弱。

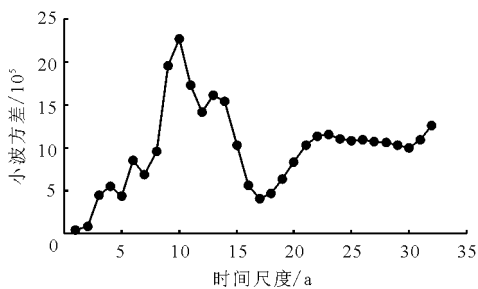


图 4 1957 - 2016 年无为县夏季降水量变化小波方差

图 5 为 1957 - 2016 年无为县夏季降水量变化主周期小波系数实部过程线。由图 5 可知,夏季降水量在 10 年时间尺度上,经历了 9 次偏多 - 偏少的交替变化,2016 年处于偏多阶段的高位;在 13 年时间尺度上,经历 7 次偏多 - 偏少交替变化,2016 年也是处于偏多阶段的高位;在 23 年时间尺度上,经历 4 次偏多 - 偏少交替变化,2016 年处于偏多阶段的高位,但上升趋势变缓。预计 2016 年后夏季降水量还将处于偏多阶段并持续较长时间,但即将进入下降的阶段。

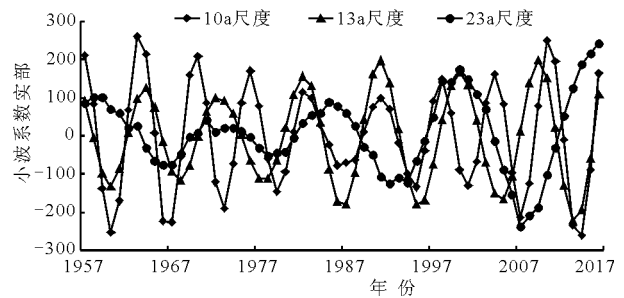


图 5 1957 - 2016 年无为县夏季降水量变化主周期小波系数实部过程线

3.2 夏季降水量年内变化规律和特点

3.2.1 夏季月降水量变化规律及特点 图 6 为无为县 1957 - 2016 年夏季各月平均降水量。由图 6 可知,无为县夏季降水主要集中在 6 月和 7 月,占夏季平均降水量的 74.3%,夏季最大月平均降水量是 6 月为 189.9 mm,最小月平均降水量是 8 月为 130.8 mm,夏季最大月平均降水量是最小月平均降水量的近 1.5 倍。

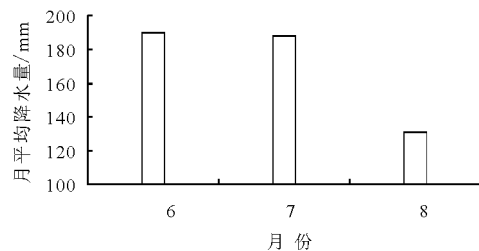


图 6 无为县 1957 - 2016 年夏季各月平均降水量

3.2.2 夏季旬降水量变化规律及特点 图 7 为无为县 1957 - 2016 年夏季旬平均降水量。由图 7 可以看出,夏季旬平均降水量从 6 月上旬开始增加,到 6 月下旬达到峰值后逐渐减少,6 月下旬和 7 月上旬平均降水量相对较大,占夏季平均降水量的 34.5%。

3.2.3 夏季候降水量变化规律及特点 图 8 为无为县 1957 - 2016 年夏季候平均降水量。由图 8 可知,夏季候(5d)平均降水量从 6 月第 1 候开始增

加,到6月第6候达到峰值后逐渐减少,6月第6候和7月第1候平均降水量相对较大,占夏季平均降水量的20.3%。

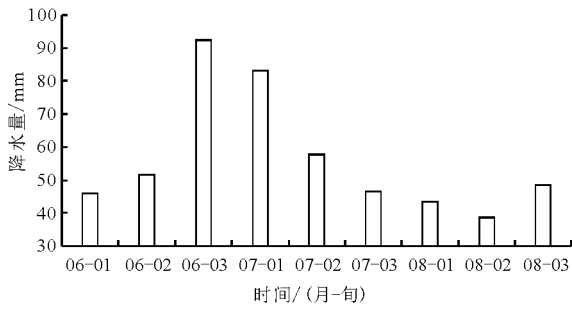


图7 无为县1957-2016年夏季旬平均降水量

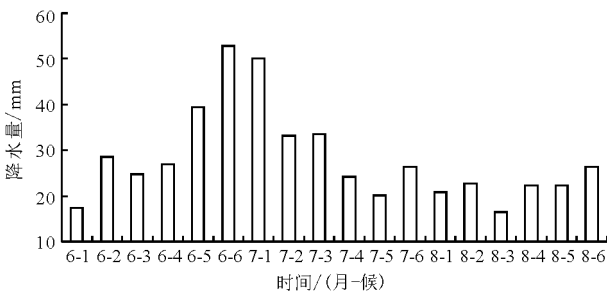


图8 无为县1957-2016年夏季候平均降水量

3.2.4 夏季日降水量变化规律及特点 图9为无为县1957-2016年夏季日平均降水量。由图9(a)~9(c)可以看出,夏季6月日平均降水量呈逐渐增加的趋势,6月29日达到峰值;7月日平均降水量在7月4日达到峰值后,呈逐渐减少的趋势;8月日平均降水量比6月和7月要少,并且日平均降水量变化不大,降水相对较均匀。

3.2.5 夏季白天、夜间降水量变化规律及特点 从总体来看,夏季白天平均降水量占日平均降水量的55.1%,多于夜间的44.9%,降水频数也是白天多于夜间。从分月来看,6月白天平均降水量多于夜间,降水频数恰好相反,但白天和夜间的平均降水量和降水频数差别不大。7月和8月白天平均降水量多于夜间,降水频数也是如此,并且白天和夜间的平均降水量和降水频数差别相对较大,尤其是8月这种差别非常明显。如图10所示。

3.2.6 夏季小时降水量变化规律及特点 夏季6月的小时平均降水量、小时平均降水频数的集中度主要在6-7时,如图11(a)、(b)所示;7月小时平均降水量、小时平均降水频数的集中度在5-6时和15-18时,如图11(c)、(d)所示;8月小时平均降水量、小时平均降水频数的集中度在17-18时和20-21时,如图11(e)、(f)所示。这就说明,自6月至8月,小时平均降水量、小时

平均降水频数的集中度从上午向下午、夜间推移。

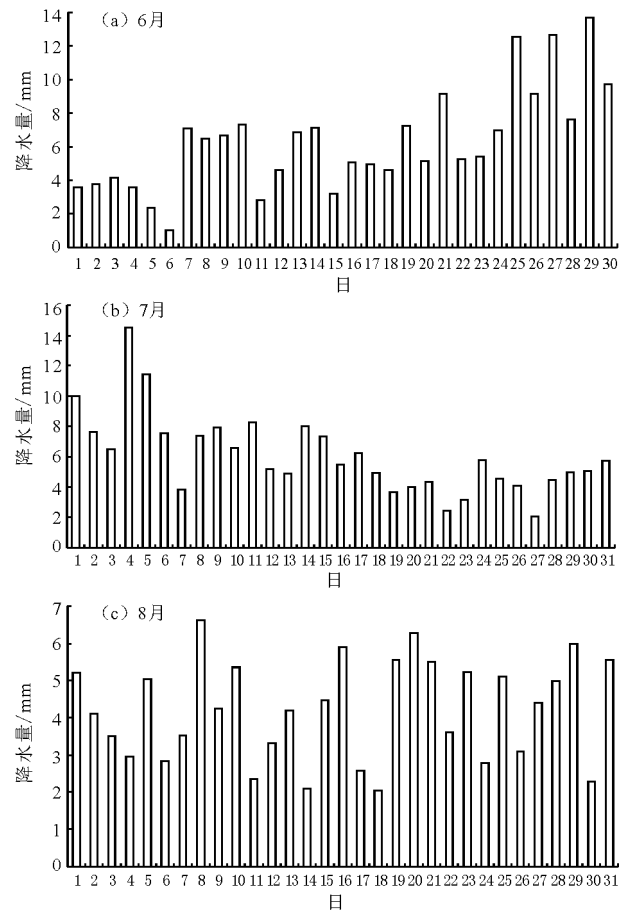
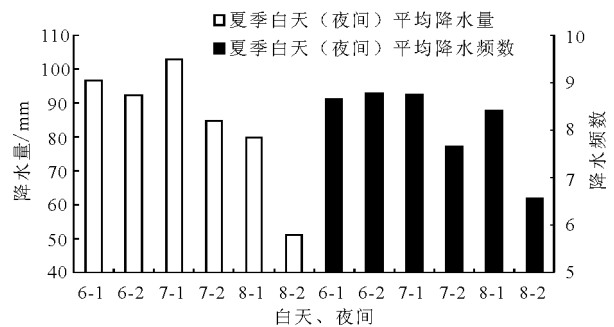


图9 无为县1957-2016年夏季日平均降水量



6-1:6月白天;6-2:6月夜间;其余类推
图10 无为县1957-2016年夏季白天、夜间平均降水量、降水频数

图11为无为县2007-2016年夏季小时平均降水量和降水频数。从小时平均降水量(图11(a)、11(c)和11(e))来看,7月最多,6月次之,8月最少;而小时平均降水频数(图11(b)、11(d)和11(f)),则是6月最大,7月次之,8月最小,因此7月的小时平均降水量和小时降水强度在夏季的3个月中是最大的。而无为县1957-2016年降水资料却反映出夏季最大月平均降水量是6月(见图6),由

此可知,无为县夏季降水集中度从 6 月向 7 月推移。

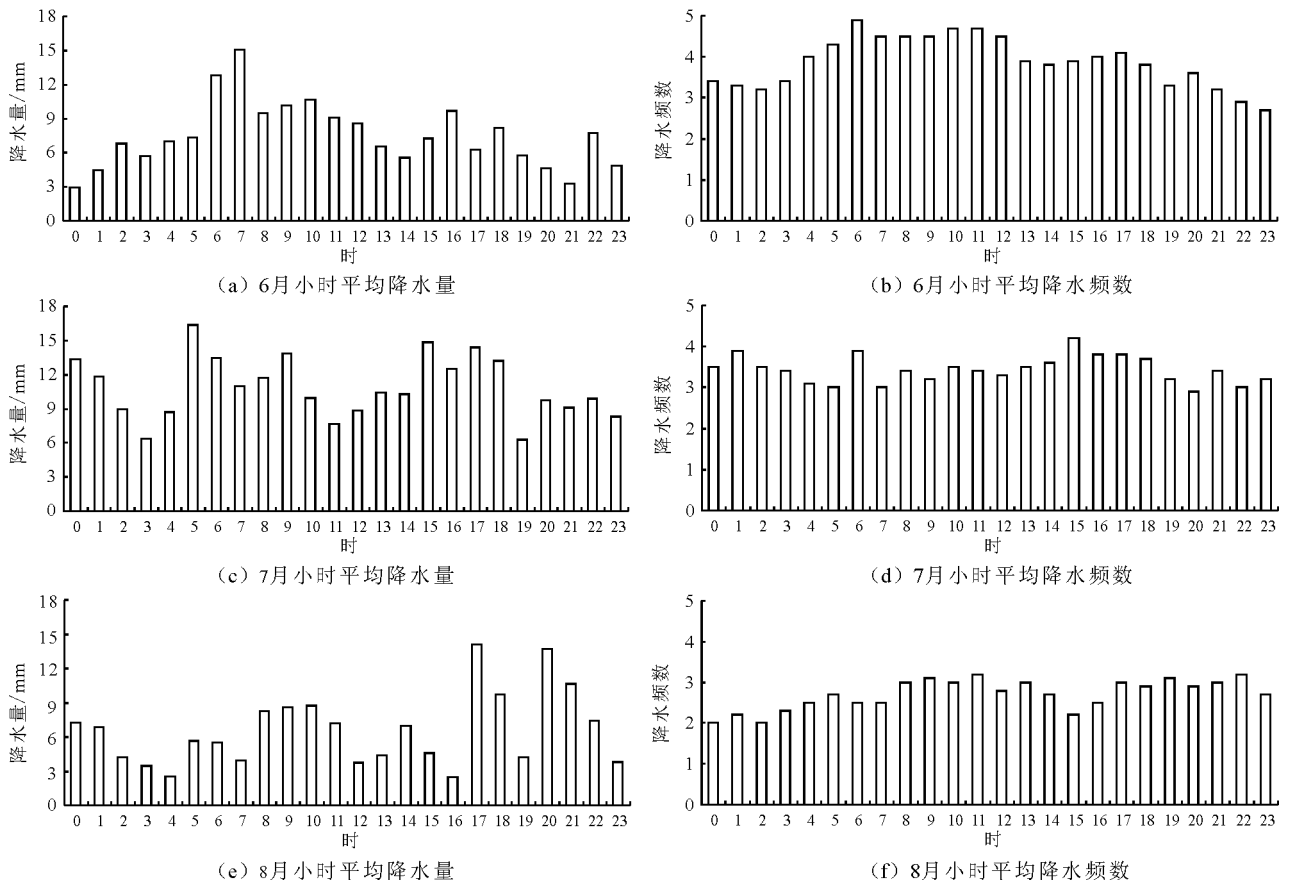


图 11 无为县 2007 - 2016 年夏季小时平均降水量和降水频数

3.3 夏季降水量未来 5 年预测

对无为县 1957 - 2016 年夏季降水序列进行一阶差分处理,消除其逐年增加的趋势性,得到平稳序列^[16]。

构建 AR(7) 模型,经 t 检验,自回归系数的伴随概率均小于 0.05 (见表 1),显著非零,有统计学意义,表 2 所列的杨 - 博克斯统计量的显著性大于 0.05,图 12 反映的残差序列为白噪声序列,另外,采用 AR (7) 拟合的模型不存在离群值,说明模型的拟合度较好。

表 1 AR(7) 模型参数

延迟	估算	标准误差	t	显著性
延迟 1	-0.959	0.132	-7.244	0.000
延迟 2	-0.851	0.173	-4.915	0.000
延迟 3	-0.960	0.192	-4.987	0.000
延迟 4	-0.894	0.199	-4.488	0.000
延迟 5	-0.646	0.193	-3.348	0.002
延迟 6	-0.572	0.176	-3.258	0.002
延迟 7	-0.311	0.136	-2.286	0.026

对时间序列进行模拟,用拟合值与夏季降水量一阶差分后的序列值进行对比,结果如图 13 所示。

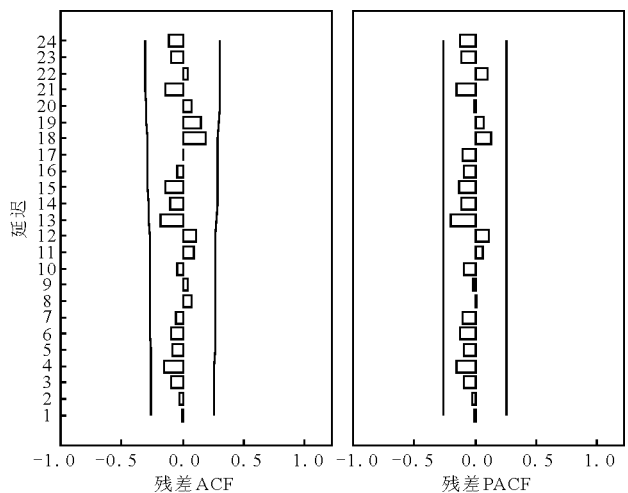


图 12 无为县夏季降水量一阶差分后 AR(7) 自相关系数与偏自相关系数

利用建立的 AR(7) 模型对未来的值进行预测,分别得到 2017 - 2021 年的预测值(见表 3),可以看

出从2017年至2021年夏季降水量总体呈下降的趋势,除2020年的夏季降水量略少于多年平均降水量

508.4mm,其余4年的汛期降水量均超过夏季多年平均降水量。

表2 AR(7)模型统计量

模型	预测变量数	模型拟合度统计				杨-博克斯 Q(18)			离群值数
		平稳 R^2	R^2	均方根误差	平均绝对误差百分比	统计	自由度	显著性	
夏季降水量模型	1	0.535	0.535	211.976	141.148	13.562	11	0.258	0

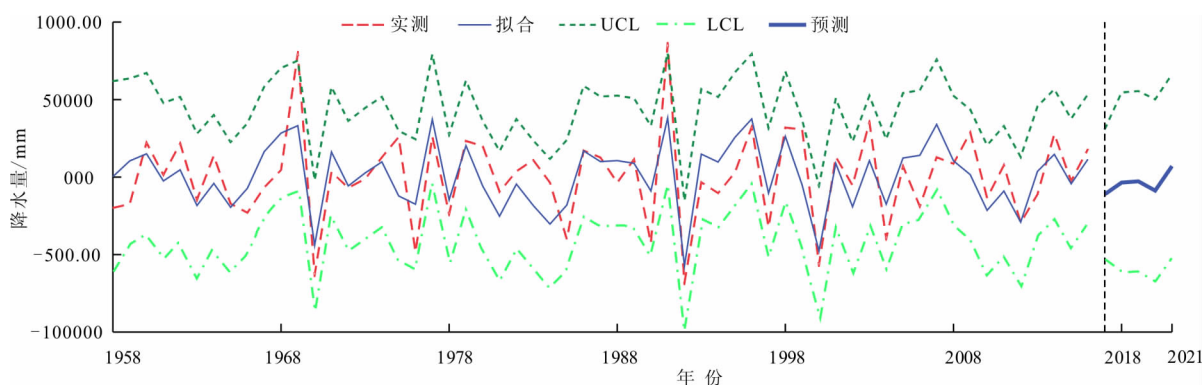


图13 无为县夏季降水量一阶差分后采用AR(7)模型拟合值与实测值对比

表3 无为县2017-2021年夏季降水量的预测值 mm

2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
656.64	621.24	593.75	505.96	576.81

4 结论

(1)夏季降水量年际变化规律和特点:夏季降水量 Morlet 小波分析表明,无为县 1957-2016 年夏季降水量存在丰枯交替的多周期变化规律,其第一、二、三主周期对应于 10、13、23 a,从 10、13 a 时间尺度上来看,2016 年处于偏多阶段的高位;从 23a 时间尺度来看,2016 年处于偏多阶段的高位,但上升趋势变缓。预计 2016 年后夏季降水量还将处于偏多阶段并持续较长时间,但随后将进入下降的阶段。

(2)夏季降水量月际变化规律及特点:无为县 1957-2016 年降水资料反映,无为县夏季降水主要集中在 6 月份和 7 月份,占夏季平均降水量的 74.3%,其中 6 月份的平均降水量在夏季的 3 个月中是最大值。

(3)夏季降水量月内变化规律及特点:无为县 1957-2016 年降水资料反映,夏季日平均降水量从 6 月 1 日起逐渐增加,至 7 月 4 日达到峰值后逐渐减少,8 月的日平均降水量比 6 月和 7 月要少,且相

对较均匀。其中,6 月下旬和 7 月上旬平均降水量相对较大,占夏季平均降水量的 34.5%。特别是 6 月的第 6 候和 7 月的第 1 候平均降水量相对较大,占夏季平均降水量的 20.3%。

(4)夏季降水量日内变化规律及特点:无为县 1957-2016 年降水资料反映,夏季 6 月、7 月和 8 月白天平均降水量多于夜间,其中 8 月这种差别非常明显。近 10 年(2007-2016 年)资料表明,自 6 月至 8 月,小时平均降水量、小时平均降水频数的集中度从上午向下午、夜间推移,6 月的小时平均降水量、小时平均降水频数的集中度主要在 6-7 时,7 月的集中度在 5-6 时和 15-18 时,8 月的集中度在 17-18 时和 20-21 时。其中,7 月的小时平均降水量和小时降水强度在夏季的 3 个月中是最大的,也反映近 10 年无为县夏季降水的集中度从 6 月向 7 月推移。

(5)2017-2021 年夏季降水量的预测表明,从 2017 年至 2021 年夏季降水量预测值分别为:656.64、621.24、593.75、505.96、576.81 mm,总体呈下降趋势,除 2020 年的夏季降水量略少于多年平均降水量 508.4 mm,其余 4 年的夏季降水量均超过夏季多年平均降水量,反映了未来 5 年无为县夏季降水量虽然处于下降阶段,但是仍处于偏多阶段。

5 建 议

上述小波分析和时间序列分析预测反映了未来5年无为县夏季降水量虽然总体呈下降趋势,但仍处于偏多阶段,存在一定的防洪压力,为此,根据无为县夏季降水规律及特点,提出如下建议。

(1)清淤蓄水。由上面降水规律及特点分析可知,无为县汛期洪水主要由夏季降水形成的,并且集中度高,因此应充分考虑西北高、东南低的地貌特征,将降水就地拦蓄,能有效减轻防洪压力。对于县域北部至西南的低山丘陵区,自然地质环境脆弱,应巩固退耕还林成果,涵养水源,部分裸岩,土壤流失严重的区域,修筑水土保持工程,防止水土流失,并推进小水库的除险加固及改扩建,提高蓄水能力。县境中部的低岗平畈区,大力开展水土保持工作,提高植被覆盖率,增强对降水的截留作用,并减缓汇流速度,延长汇流时间,起到调节径流作用。县境东部低圩平原区,水网发达,如泥汭、陡沟、汤沟等乡镇河网密度超过 90 km/km^2 ,近年由于经济发展及建设,占用了一些河道,还有些河道被人为分割,另外,河道及当家塘淤积严重,河道槽蓄量及当家塘容量减少严重,以致一下雨就满,不下雨就干,因此,应打通分割的河道,恢复水系的完整性,清淤扩挖河道和当家塘,并在低洼地新开挖当家塘,增加河道槽蓄量及当家塘容量,使来水及降水能蓄得住。

(2)预报排水。无为县固定排灌泵站640座,县境东部地区上下九连圩、练塘圩、三闸圩等 666.7 hm^2 以上的圩口的排涝能力已大幅度提高,由于无为县降水主要集中在6月下旬和7月上旬,此时需要外排洪水,而长江往往也处于高水位,致使外排洪水困难,因此,应增设气象水文监测设施,加强雨情、水情的监测和预报,做到提前调度、提前排水、预降水位。

(3)堤防挡水。无为县河网密布,圩口众多,裕溪河及支流西河是贯穿县境的主干河流,县境内河堤长近900 km,目前,官圩、上下九连圩防洪标准达50年一遇,2016年汛后,裕溪河治理工程全面开工,工程实施后,裕溪河、西河干流城镇及重要园区防洪标准将达到50年一遇, 666.7 hm^2 以上大圩、重要圩口的防洪标准将达到20年一遇以上,将显著提高防洪安全保障能力,大大减轻防洪压力,但一些重要的支流及众多 666.7 hm^2 以下的圩口防洪标准仍然偏低,即便是防洪标准达50年一遇上下九连圩,在2016年汛期洪水仍超过保证水位1 m多,因此,必

须根据社会经济发展情况继续逐步提高堤防防洪标准,特别是与国家一级堤防无为大堤成圈的练塘圩、东西二十四联圩、上九连圩、下九联圩等内河圩堤,以及沿西河、裕溪河部分堤防,这些堤防是无为大堤后方的安全屏障,若溃决将直接从无为大堤背水面威胁其安全,必须予以高度重视。西河最大的支流永安河,流域总耕地面积近 $16\ 666.7 \text{ hm}^2$,流域内 666.7 hm^2 以上大圩有6个,永安河流域上游山丘区面积较大,坡度陡,汇流时间短,往往洪峰流量大,而永安河干流河道断面狭窄,堤防低矮单薄,防洪标准一般不超过20年一遇,两岸圩区地势低洼,在上游山洪及西河洪水的威胁下,洪涝灾害频发,必须逐步加高加固堤防。另外,县境内 $200 \sim 666.7 \text{ hm}^2$ 的圩口,许多圩堤基础差,防洪抗灾能力弱,应逐步加大投入,加高加固圩堤,提高其防洪标准。

(4)风险管水。无为县共有大小圩口210个,面积 $70\ 666.7 \text{ hm}^2$ 。建国以来遭受的10次较大洪水,均有圩口溃破,其中2003年大水,中小圩口先后溃破85个,全是 200 hm^2 以下的圩口,其中 66.7 hm^2 以上圩口溃破12个, 66.7 hm^2 以下圩口溃破73个。主要是由于无为县降水在6月下旬和7月上旬集中度大,特别是近10年7月份小时降雨强度大,洪水水位上涨速度快,再叠加长江高水位,境内洪水外排困难,高水位持续时间长,以及中小圩口圩堤防洪标准低等原因所致。因此,想要通过控制洪水确保安全是不切实际的,必须转变治水理念,从控制洪水转向洪水风险管理。可从4个方面着手:一是开展洪水风险分析,绘制全县洪水风险图,一方面可规范开发行为,另一方面据此合理制订防洪预案,针对不同等级洪水,统筹调度,对 200 hm^2 以下圩口采取相应的取舍方案,指导避洪行动,确保总体利益最大化;二是加强圩区人民群众防洪灾的宣传教育,提高圩区人民群众的洪水风险意识,使其能积极参与防灾减灾工作,特别是需要从圩区转移时能听从指挥,能熟记预警信号、转移路线、安置地点等,做到行动统一、有序、安全;三是建立健全预报预警系统,及时准确预报预警,为防汛抢险提供科学的决策依据,为防汛抗洪赢得主动;四是规划、落实好预警方式、撤退路线、交通工具、救生器材、安置地点和医疗救助等工作,加强迁安基础设施建设,特别是撤退道路、安置点的建设与维护。

(5)择时防水。在汛前、汛期应根据降水规律及特点,踩准时间节点,合理安排相应工作,就会达到事半功倍的效果。无为县降水量从主汛期6月中

旬起逐渐增加,至下旬达到峰值,持续到7月份上旬,然后逐渐下降,至7月中旬后显著减少。因此,5月前必须完成预案准备,5月至6月上旬,进一步督查、完善相关准备工作,充分做好各项防汛准备工作,做到有备无患;6月中旬至7月中旬是防汛抢险的关键阶段,各种险情都有可能出现,险情的发展变化一般是从无到有,由小变大,由渐变到突变,及时发现险情,就可将险情消灭于萌发阶段,做到治早、治小,这样既能保证工程安全又能节约抢险费用,因此巡堤查险尤为重要,除了正常的巡查外,对6月份的6:00-7:00时、7月份的5:00-6:00时和15:00-18:00时等降水集中的时段加强洪水防治;7月下旬以后,降水显著减少,并趋于均匀,可封堵圩堤决口,加强圩区排水,组织生产自救,争取赶在立秋前补种农作物,相应提高产量,弥补洪灾损失。

参考文献:

- [1] 邢万秋,王卫光,吴杨青,等. 淮河流域降雨集中度的时空演变规律分析[J]. 水电能源科学,2011,29(5):1-5.
 - [2] 任国玉,王涛,郭军,等. 海河流域近现代降水量变化若干特征[J]. 水利水电科技进展,2015,35(5):103-111.
 - [3] 缪驰远,汪亚峰,郑袁志. 基于小波分析的嫩江、哈尔滨夏季降雨规律研究[J]. 生态与农村环境学报,2007,23(4):29-32+48.
 - [4] 王振亚,吴德波,朱余生. 基于信息熵的河南省年降水量时空变化研究[J]. 长江科学院院报,2013,30(11):16-19.
 - [5] 曾小凡,翟建青,姜彤,等. 长江流域年降水量的空间特征和演变规律分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2008,36(6):727-732.
 - [6] 常肖杰,沈冰,黄领梅. 1976-2010年榆林市降水时空变化趋势分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(2):30-35.
 - [7] 胡建桥,刘万锋,常周梅,等. 兰州市1951-2015年降水量变化特征研究[J]. 水利水电技术,2017,48(4):8-12.
 - [8] 詹存,梁川,赵璐,等. 基于云模型的江源区降雨时空分布特征分析[J]. 长江科学院院报,2014,31(8):23-28.
 - [9] 宇如聪,李建,陈昊明,等. 中国大陆降水日变化研究进展[J]. 气象学报,2014,72(5):948-968.
 - [10] 郑杰元,黄国如,王质军,等. 广州市近年降雨时空变化规律分析[J]. 水电能源科学,2011,29(3):5-8+192.
 - [11] 刘新月,裴磊,卫云宗,等. 1986-2014年临汾降水变化及对旱地小麦农艺性状的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(7):933-938.
 - [12] 郑皖生,邱年,阳小群,等. 安徽省汛期降水时空分布特征[J]. 农业灾害研究,2016,6(4):32-34.
 - [13] 王秋龙. 安徽省近50余年降水量时空变化特征分析[J]. 测绘工程,2014,23(11):19-24.
 - [14] 韩丹,程先富,张群,等. 安徽省1961-2007年降水特征分析[J]. 人民长江,2011,42(23):23-26.
 - [15] 王伟宏,孙秀邦,王周青. 1960-2005年皖东南降水变化分析[J]. 中国农学通报,2010,26(7):279-284.
 - [16] 丛凌博,蔡吉花. ARMA模型在哈尔滨气温预测中的应用[J]. 数学的实践与认识,2012,42(16):190-195.
-
- (上接第86页)
- [4] 史栾生,陈敬德. 广花盆地地面塌陷成因与防治[J]. 中国岩溶,1996(3):73-78.
 - [5] 苏贵臣. 广花盆地地下水资源开采引起的环境地质问题[J]. 中国科技信息,2008(15):18-19.
 - [6] 方国祥,郑建生. 广花盆地岩溶发育基本特征[J]. 热带地理,1991(2):144-151.
 - [7] 骆荣,郑小战,张凡,等. 广花盆地西北部赤坭镇岩溶发育规律[J]. 热带地理,2011,31(6):565-569.
 - [8] 王忠忠,支兵发,刘华,等. 广州江村水源地岩溶地下水流场数值模拟[J]. 地质灾害与环境,2009,20(4):44-47.
 - [9] 张达. 基于环境约束水位的华北平原地下水可开采资源量研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
 - [10] 侯嘉维. 马海盆地地下水数值模拟与资源评价[D]. 长春:吉林大学,2016.
 - [11] 陈孜,张明江,段扬,等. 哈密盆地绿洲带地下水数值模拟及资源评价[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(7):186-191.
 - [12] 丁时伟. 鱼卡盆地地下水数值模拟与资源评价[D]. 长春:吉林大学,2017.
 - [13] 刘天宇. 新乡市原武-包厂水源地地下水数值模拟与水资源评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
 - [14] 李凡,李家科,马越,等. 地下水数值模拟研究与应用进展[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(1):99-104+110.
 - [15] 李丹,曾慧,张明珠,等. 基于Visual Modflow的广州市某垃圾填埋场地下水污染迁移规律研究[J]. 人民珠江,2017,38(6):66-74.
 - [16] 魏加华,郭亚娇,王荣,等. 复杂岩溶介质地下水模拟研究进展[J]. 水文地质工程地质,2015,42(3):27-34.