

盱眙县降水集中指数的变化及月分配特征

王威 金晔昊 徐建春 陈燕 纪以剑

盱眙县古桑街道盱眙县气象局

DOI:10.32629/eep.v8i10.2939

[摘要] 盱眙县位于江苏中西部,属亚热带季风性湿润气候,年降水具有明显季节不均特征。本文基于1975–2024年盱眙国家基本气象站50年降水数据,综合运用PCI、贡献率分析和MK趋势检验等方法,系统研究了降水年内分配特征的演变规律。研究发现:三个30年的累计贡献率曲线高度重合,表明降水稳定集中于6–8月,这三个月贡献了全年50%的降水量,确立了典型的“夏雨型”气候格局。50年PCI序列分析显示,年均PCI值为16.0,处于“降水分布不均”等级,且年际波动剧烈。五年滑动平均揭示出2005年前后存在显著跃升,PCI均值从15.5升至17.5以上,表明近二十年降水集中化加剧。MK检验显示序列存在上升趋势,但未通过95%置信度显著性检验,这主要由于强烈的年际变率掩盖了长期趋势。值得注意的是,极端高PCI事件全部发生在1997年后,且2005年后频率倍增。虽然降水集中夏季的总体格局稳定,但其集中化和极端化趋势加剧,旱涝共存风险显著增加,对水资源管理和防灾减灾提出了新的挑战。

[关键词] 降水集中期; 气候特征; PCI

中图分类号: P467 文献标识码: A

The Change of Precipitation Concentration Index and the Characteristics of Monthly Distribution in Xuyi County

Wei Wang Tanhao Jin Jianchun Xu Yan Chen Yijian Ji

Gusang Street, Xuyi County, Xuyi County, Xuyi County Meteorological Bureau

[Abstract] Located in central–western Jiangsu Province, Xuyi County experiences a subtropical monsoon humid climate with distinct seasonal precipitation variations. This study systematically investigates the evolution of annual precipitation distribution patterns using 50–year precipitation data from the Xuyi National Basic Meteorological Station (1975–2024), employing methods including Precipitation Contribution Index (PCI), contribution rate analysis, and MK trend testing. The findings reveal three 30–year cumulative contribution rate curves showing high overlap, indicating stable precipitation concentration from June to August. These three months account for 50% of annual rainfall, establishing a typical "summer rain" climate pattern. Analysis of the 50–year PCI sequence shows an average annual value of 16.0, classified as "uneven precipitation distribution" with significant interannual fluctuations. Five–year moving averages reveal a notable spike around 2005, with PCI mean rising from 15.5 to over 17.5, indicating intensified precipitation concentration over the past two decades. While MK testing confirms an upward trend, it fails to reach 95% significance due to strong interannual variability masking long–term trends. Notably, all extreme high–PCI events occurred after 1997, with their frequency doubling post–2005. Although the overall pattern of summer precipitation concentration remains stable, the intensifying concentration and extreme trends have significantly increased coexisting drought–flood risks, posing new challenges for water resource management and disaster prevention.

[Key words] precipitation concentration period; climatic characteristics; PCI

1 研究背景与意义

盱眙县位于江苏中西部,属亚热带季风性湿润气候,年降水量约1000mm,降水时空分布不均,主要集中在夏季汛期。近年来,受全球气候变化影响,极端降水事件发生频率和强度呈现上升

趋势,局地洪涝灾害和阶段性干旱问题突出。现有研究侧重于区域或省级尺度,缺乏针对本地的降水集中期特征分析,防汛抗旱、水资源调配与农业生产决策缺少科学量化依据。

2 数据与分析方法

2.1 研究区和数据来源：研究区为江苏省盱眙县，属亚热带季风湿润气候，年降水具有季节性特征。数据采用1975-2024年逐月降水资料，1995-2024年为本研究近30年气候常年期，将该时期作为基准期与其他历史分期相邻滑动进行对比。本研究选取1975-2004、1985-2014、1995-2024为三个分期，以便揭示近50年来降水集中期特征及集中期演变。

2.2 降水集中期的判定思路：降水集中期定义为年内降水量显著集中的时间段，通常与主汛期，梅雨及盛夏强降水期高度相关。本研究判定集中期依据以下两类指标：逐月降水贡献值：计算各月降水量占全年总降水量的百分比，确定年内主要贡献月；累计贡献曲线：将逐月贡献值按时间序列累加，曲线陡增段对应降水集中期。

2.3 降水集中度指标 (PCI) 计算：为量化降水年内分布，采用降水集中指数PCI：

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2} \times 100 \quad (1)$$

按照Oliver(1980)的分级标准：PCI < 10：降水分布均匀；10 < PCI < 15：季节性较弱；15 < PCI < 20：中等集中；PCI ≥ 20：高度集中。PCI可用于：判断年内降水集中程度及其波动；与逐月降水贡献曲线相结合，验证集中期强度；通过滑动50年序列，评估长期集中趋势与气候变化联系；

2.4 年际及年代际变化分析。

2.4.1 滑动窗口分析：采用50年滑动PCI序列，分析降水集中期随时间的演变特征。

2.4.2 年际序列分析：计算1975-2024年逐年PCI值，采用Mann-Kendall非参数趋势检验分析其长期趋势与显著性。

MK检验用于判断时间序列数据是否存在单调上升或下降的趋势。其优点在于不需要数据服从一定的分布，也不受少数异常值的干扰。原假设(H₀)：时间序列没有单调趋势。备择假设(H₁)：时间序列存在单调趋势。检验结果主要通过以下统计量判断：Z统计量：Z > 0 上升趋势，Z < 0 下降趋势。p值：以p < 0.05作为显著性水平，即95%的置信度上拒绝原假设，认为趋势显著。Sen's Slope：用于估算趋势的幅度，即每年PCI值的变化量。统计量计算：

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

$$\text{其中 } \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ -1 & x_j < x_i \end{cases}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 月贡献率分析：根据1975-2004、1985-2014及1995-2024

三个30年时段的逐月平均降水量统计结果(图1、2、3)，降水呈现明显的季节集中特征。三阶段的年内分布格局基本一致，表现为夏季(6-8月)降水占比最高，其次为5月与9月，其余月份贡献率相对较低。

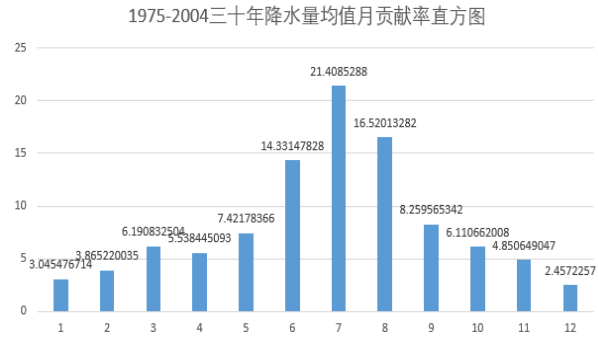


图1 1975-2004三十年逐月降水量均值月贡献直方图

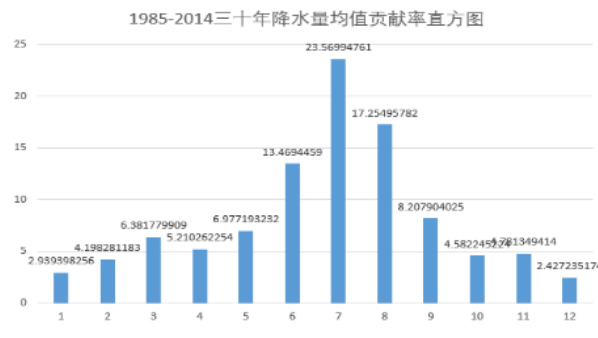


图2 1985-2014三十年逐月降水量均值月贡献直方图

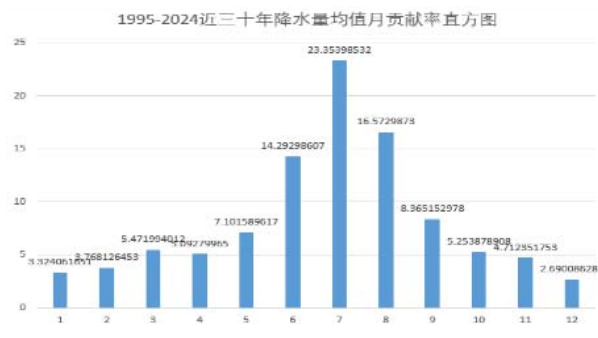


图3 1995-2024三十年逐月降水量均值月贡献直方图

从月贡献率直方图可以看出：(1)高贡献稳定性：6-8月为降水集中期，贡献率均保持在13%~24%左右。(2)起止月份轻微波动：1975-2004期间5月贡献率略高，而1995-2024阶段5月贡献率有轻微下降，6月贡献有所增强，表明降水集中期起始有向主汛期靠拢的趋势。(3)冬春季降水稳定偏少：1-3月及10-12月贡献率均不足全年的15%，对年降水总量贡献有限，变化幅度较小。

3.2 累计月贡献率分析：通过对三个时段逐月累计降水贡献率进行统计分析，可以较直观地揭示年内降水累积过程及集中期特征。

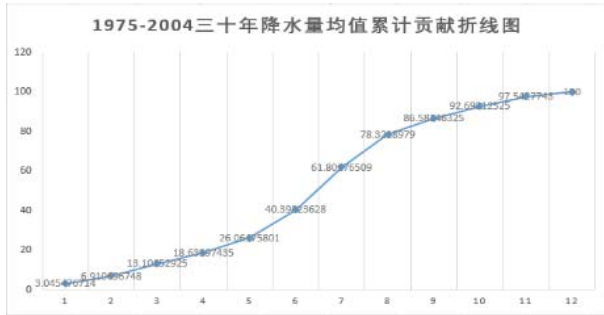


图4 1975-2004三十年逐月降水量均值累计月贡献折线图

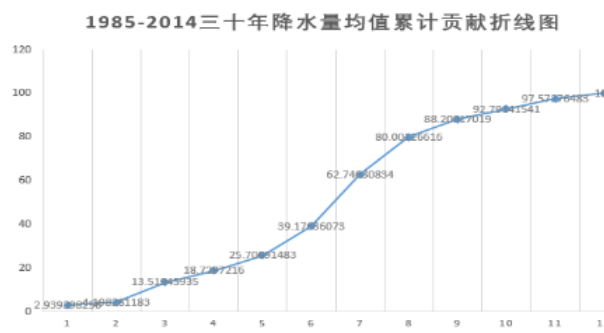


图5 1985-2014三十年逐月降水量均值累计月贡献折线图

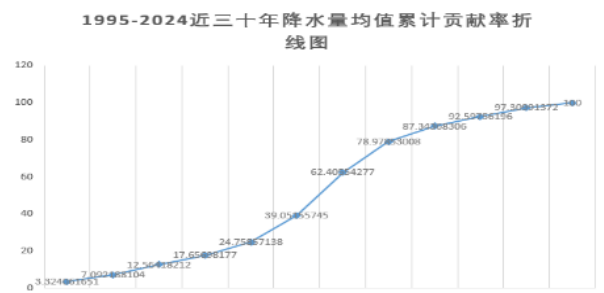


图6 1995-2024三十年逐月降水量均值累计月贡献折线图

从累计月贡献率折线图可以看出: (1) 累计曲线整体特征: 三个时段的累计贡献率曲线总体形态相似, 5-8月阶段曲线陡峭、累积增长迅速, 其他月份增幅缓慢, 反映出降水主要集中在夏季汛期。(2) 集中期的稳定性: 三个时段均在5月开始出现较大累积增长, 至8月底已达到全年降水量的70%~80%。(3) 变化趋势分析: 我们可以将三个阶段视为一个时间序列(早期、中期、近期), 观察特定月份的变化方向。1-2月: 从早期到近期, 累计贡献率在上升。暗示: 近期冬季或早春的降水量占全年的比例有增加趋势, 这可能与气候变化背景下降水模式的微调有关。7-8月: 中期的累计贡献率在7、8月都是最高的。而最近的1995-2024时段, 7月的贡献率相比中期有所下降, 8月贡献率也低于中期的80.00%。暗示: 降水极端集中的程度在最近三十年可能略有缓和, 或降水峰值期的集中程度在经过中期一个高点后, 近期又有所回落。9-10月: 数据高度重合, 变化极微弱。暗示: 秋季降水的稳定性极高, 几乎不受年代际变化影响。

3.3 PCI年际变化分析。

3.3.1从整体水平看: 50年PCI算术平均值为16.0, 中位数为

15.2。根据PCI等级划分标准, 盱眙属于“降水分布不均”, 该区域降水具有明显的季节性。从变异性看, PCI值年际变化剧烈, 标准差3.6, 极差19.3。不同年份之间降水的时间分配模式存在巨大差异, 既出现了降水极端集中、洪涝风险极高的年份(2007年), 也出现了降水年内分布极为均匀的年份(1994年)。

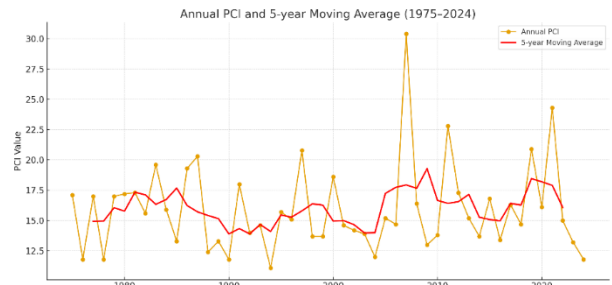


图7 1975-2024五十年逐年PCI值和滑动五年平均值折线图

从长期趋势看, PCI序列并非平稳, 而是呈现出明显的“先降后升”的年代际演变特征。以2005年为界, 之前PCI均值相对较低且稳定, 之后则跃升到更高的平台并伴有剧烈震荡, 标志着区域降水格局可能发生了气候尺度的转变。

3.3.2极端分析: 极端PCI值年份是旱涝风险的指示器。50年间, 共有5年PCI值超过20, 属于“高度集中”等级。这些年份均出现在1997年之后, 且2005年之后占了4年, 进入21世纪后, 降水极端集中的发生频率显著增加。其中, 2007年是一个异常值, 其PCI值远高于其他所有年份, 表明该年绝大部分降水集中在极短时间内, 有可能对应了一次洪涝灾害事件。

4 MK趋势检验结果与分析

4.1统计值计算: 我们将50年的PCI数据视为一个时间序列($n=50$), 并进行MK检验。检验结果: S统计量: 101; 方差Var: 5892.33; Z统计量: 1.28; p值: 0.20; Sen's Slope: 0.04/年。

4.2 MK检验结论分析: 趋势方向: Z统计量为正, 表明1975-2024年间, PCI值存在上升趋势, 这与之之前折线图观察到的“2005年后总体跃升”的现象一致。趋势显著性: p值为0.20, 远大于0.05的显著性水平。这意味着我们无法拒绝原假设。统计上认为, 这50年的PCI上升趋势不够显著, 可能由自然波动引起。趋势幅度: Sen's Slope为0.04/年。从长期来看, PCI值以平均每年0.04的速度缓慢上升。50年间累计上升约2.0, 这是一个相对温和的增幅。可能的原因分析: 趋势不显著, 可能是因为PCI序列的年际波动非常剧烈, 巨大的内部变率掩盖了长期的单调趋势。如何理解“不显著”的上升趋势, 这不代表上升趋势不存在, 而是说在95%的置信度下, 不能确定该趋势不是自然随机波动的结果。如果将置信度放宽到90% ($p < 0.1$), 则结果更接近显著性边缘。序列清晰的阶段性特征表明其可能存在气候尺度的突变或转型, 而MK检验更适合检测均匀的单调趋势, 对突变的检测能力较弱。

5 总结

主要结论: 本研究基于1975-2024年的降水数据, 通过计算

三个三十年期降水量的月均贡献率与累计贡献率,并结合50年尺度的PCI及其滑动平均与趋势检验,系统分析了该区域降水年内分配特征的时间变化规律:降水集中期稳定,三个三十年的累计贡献率曲线高度重合,均表明研究区降水高度集中于6-8月。这三个月贡献了全年50%以上的降水量,其累计贡献率在8月底均超过78%。这确定了该区域典型的“夏雨型”气候特征,旱涝灾害风险集中于此时期。PCI序列揭示集中化加剧趋势:1975-2024年50年PCI序列的平均值为16.0,整体处于“降水分布不均”等级。五十年滑动平均曲线PCI值在2005年前后发生显著跃升,并从之前15.5左右的均值平台上升至17.5,表明降水集中程度在近二十年呈加剧态势。年际振荡剧烈:PCI序列标准差3.6。分析发现,极端高PCI值事件全部发生在1997年之后,且2005年之后频率显著增加,2007年PCI值高达30.4。这表明降水在年内分配极度不均。长期趋势统计不显著但物理意义重大:50年PCI序列具有上升趋势,但未通过95%置信度的显著性检验。这主要受序列波动大、阶段性特征明显影响。然而,滑动平均显示的趋势跃升,使其虽统计上不显著,但物理意义上尤为重要,暗示了气候系统可能发生某种转变。讨论与气候变化背景的关联性:本研究发现的降水集中化趋势与全球变暖背景下“干者愈干,湿者愈湿”的推论相一致。气候变暖导致大气持水能力增加和水循环加剧,可能使得降水更多以集中性的强降水事件形式出现,而非温和的持续性降水,从而导致PCI值升高。2005年后的跃升可能与太平洋十年际振荡等年代际气候因子的相位转换存在关联。趋势显著性与阶段性特征:MK检验结果的不显著性反映了气候系统的复杂性。它表明降水分配的变化并非简单的线性上升,而是叠加了年际变率和年代际振荡的复杂过程。因此,分时段进行趋势分析或突变检测可能更能揭示其真实的演变特征。不

足与展望研究不足:本研究主要从时间维度分析了降水集中特征,未来可结合空间分析,探究区域内部的差异性;此外,PCI指数主要反映时间集中度,可进一步结合降水强度、持续时间等指标,更全面地刻画极端降水事件。未来展望:后续研究将着重于:探究PCI变化背后的物理机制,尤其是与海温异常、大气环流等关键气候驱动因子的关系;利用动力降尺度模型预估未来不同情景下降水集中度的变化,为长期适应策略提供科学依据;开展分流域、分季节的精细化评估,以支持更具针对性的水资源风险管理。

综上所述:本研究证实了盱眙降水持续集中于夏季的基本格局,并揭示了近二十年来降水集中化、极端化加剧的趋势,即便该趋势在严格统计意义上不显著,但其揭示的气候风险变化方向足以提醒我们必须重视并积极应对由此带来的安全挑战。

[参考文献]

[1]Olivier J E.1980.Monthly precipitation distribution:A comparative index[J].Professional Geographer,32:300-309.

[2]De Luis M,González-Hidalgo J C,Raventós J,et al.1997.Distribucion espacial de la concentracion y agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana[J].Cuaternario y Geomorfologia,11:33-44.

[3]De Luis M,González-Hidalgo J C,Longares L A.2009.Is rainfall erosivity increasing in the Mediterranean Iberian Peninsula?[J].Land Degradation & Development,21:139-144.

作者简介:

王威(1999-),男,汉族,安徽省明光市人,本科,助理工程师,从事地面测报、气象预报预警服务研究工作。