

溧水区降水气候特征精细化分析

孙文婷¹, 陶 星², 王明哲¹, 郭 娜¹

¹南京市溧水区气象局 江苏南京

²民航江苏空管分局 江苏南京

【摘要】溧水区属典型湿润气候, 68 年年降水量呈现右偏分布, 密集核心区为 850-1300mm, 存在极端波动, 降水量以每十年 49.4mm 的速度上升, 且 2010 年代后增速加快。现行降水百年一遇阈值为 1730mm, 2030 年调至 1779.4mm, 后期需建立 5 年周期阈值修订机制。有效降水日数呈现显著年际波动特征, 无长期变化趋势, 1976 年的突变事件导致降水日数均值降低 1.7 天, 而 2010 年后波动性增强与极端高值频现。夏季 (6-8 月) 降水量占全年主导地位, 其中 6 月、7 月呈现显著上升趋势而 5 月的显著下降趋势反映出季风推进过程的气候变异。9 月降水量显著上升而 8 月趋势不显著, 可能关联夏季风撤退推迟及台风路径变化。小时尺度监测对短时强降水识别能降低暴雨事件的遗漏率, 暴雨强度呈现显著离散特征, 其中 25% 事件超过 25.3mm/h 预警阈值, 监测到 4 次超 47.5mm/h 极端值, 更凸显精细化观测的重要性。

【关键词】降水; 气候特征; 精细化

【收稿日期】2025 年 2 月 26 日

【出刊日期】2025 年 3 月 28 日

【DOI】10.12208/j.aes.20250012

Fine analysis of precipitation climate characteristics in Lishui district

Wenting Sun¹, Xing Tao², Mingzhe Wang¹, Na Guo¹

¹Nanjing Lishui District Meteorological Bureau, Nanjing, Jiangsu

²Civil Aviation Jiangsu Air Traffic Control Branch, Nanjing, Jiangsu

【Abstract】Lishui District belongs to a typical humid climate, with 68 years of precipitation showing a right skewed distribution. The dense core area ranges from 850-1300mm, with extreme fluctuations. Precipitation increases at a rate of 49.4mm per decade, and the growth rate has accelerated since the 2010s. The current threshold for once-in-a-century precipitation is 1730mm, and it will be adjusted to 1779.4mm in 2030. A 5-year cycle threshold revision mechanism needs to be established in the later stage. The number of effective precipitation days shows significant interannual fluctuations with no long-term trend. The sudden event in 1976 led to a decrease of 1.7 days in the average number of precipitation days, while after 2010, the volatility increased and extreme high values appeared frequently. The precipitation in summer (June August) dominates the whole year, with a significant upward trend in June and July and a significant downward trend in May reflecting the climate variation during the monsoon advance process. The precipitation in September significantly increased while the trend in August was not significant, which may be related to the delay of summer monsoon retreat and changes in typhoon path. Hourly scale monitoring can reduce the omission rate of rainstorm events by identifying short-term heavy precipitation. The intensity of rainstorm shows significant discrete characteristics, of which 25% of events exceed the warning threshold of 25.3mm/h, and four times of monitoring exceed the extreme value of 47.5mm/h, which highlights the importance of fine observation.

【Keywords】Precipitation; Climate characteristics; Refinement

1 引言

溧水区作为南京南部新兴增长极，在多领域对精细化降水研究的需求日益凸显，实际工作中发现与农业、防汛、城市交通、教育、重大社会活动、生态旅游等行业联动激增。如：作为新兴增长极，溧水区大型活动增多，需精准降水预报支撑户外活动选址与应急预案制定。

2020 年智慧防汛系统建立，依托全区智慧城市平台，实时监测 284 条河道、85 座水库水位，通过“水利一张图”实现积水点联动处置。2022 年通过 10 次人工增雨作业，直接支撑秋粮丰收。2024 年参与交通局开展防汛演练，模拟隧道积水强排场景。2025 年 4 月，因降雨量较常年偏少超 60%，石臼湖持续干涸，溧水启动应急补水工程，精准降水预报支撑水资源调度……基于溧水区高质量发展对气象保障的迫切需求，精细化降水气候特征研究已成为提升多领域服务效能的关键支撑。

2 年降水量气候精细化分析

2.1 基本情况

基于溧水国家基本站 58340 (31° 36′ 10″ N, 119° 03′ 50″ E, 海拔 30.4 米) 1957-2024 年降水量资料分析得出，68 年年降水量数据呈现右偏分布（平均数大于中位数），数据中存在极端大值（或右侧尾部较长），这些值显著拉高了平均数，年均降水

量取中位数为 1080.7mm。为规避偏态影响，数列作截尾处理（移除最低 5%和最高 5%），90%数据集中在 900-1300mm。直方图(见图 1)以 50mm 为组距，展现各区间频数，可清晰显示 850-1300mm 的峰值区域。通过四分位距 (IQR) 来考虑^[1]，如图 2 所示，红色实线为中位数，1126.73 为平均数，第一四分位数 (Q1): 942.05 (25%数据点低于此值)，第三四分位数 (Q3): 1251.65 (75%数据点低于此值)，IQR: 309.6 (Q3-Q1)。异常值检测：下限=Q1-1.5 * IQR ≈477.7 (无意义，所有值都大于这个下限)；上限=Q3+1.5 * IQR ≈1716.1, 1847.2mm、2193.3mm 为异常值。综上，68 年年降水量实际密集核心区为 850-1300mm，历史上出现两个极端年份。94.1% (64 个样本) 年降水量>800mm，符合湿润区标准；5.9% (4 个样本) 处于半湿润区 (400 - 800mm)；无干旱/半干旱样本^[2]。最大值 2193.3 mm，可能是台风或强对流所致，>1500mm 样本数 6 个 (占比 8.8%) 极端降水事件频发，最小值 502.6mm 接近半湿润区下限，反应年际不均的特征。标准差 σ 为 278.6mm，离散程度较高，降水量的年际波动剧烈，灾害风险高。溧水区属典型湿润气候，降水充沛但年际变率剧烈，需重点防范夏季极端降水引发的洪涝灾害、城市内涝及农田渍涝，同时关注干旱年份水资源调配。



图 1 各区间年降水量数量

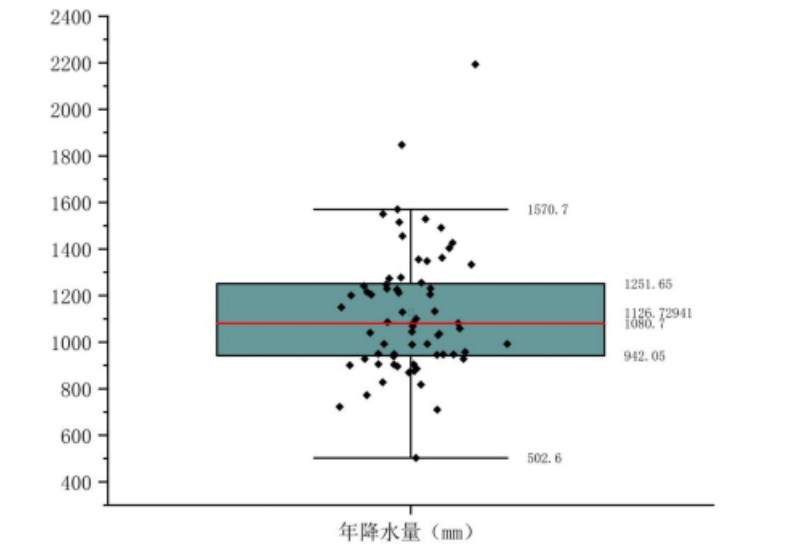


图2 1957-2024 年年降水量分布情况

趋势分析得到, 尽管 68 年数据呈现波动, 但整体降水量有轻微上升倾向; 例如, 1950 年代至 1970 年代平均降水量约 1000 毫米, 而 2000 年代后部分年份 (如 2016 年、2020 年) 多次突破 1500 毫米, 尤其 2012 年以来部分区域进入偏多期。Sen's 斜率估计法是一种非参数的统计方法, 用于估计数据的趋势斜率。该方法能够有效地处理含有异常值或不符合正态分布的数据。Sen's 斜率估计法基于数据的顺序信息, 而不依赖于具体数值的大小。它通过计算所有可能的点对之间的斜率来估计数据的趋势。相比于传统的线性回归方法, Sen's 斜率估计法更具鲁棒性和稳健性。具体计算方法:

1. 对数据进行排序, 得到有序的数据序列。
2. 针对每一个点对 (X_i, X_j) , 计算斜率: 斜率 $= (X_j - X_i) / (j - i)$ 。其中, i 和 j 分别是数据序列中的索引, $i < j$ 。
3. 对所有计算得到的斜率进行排序, 得到有序的斜率序列。
4. 根据中位数取得斜率的估计值, 如果数据序列中有偶数个点对, 则取中间两个斜率的平均值作为估计值。

为估计值。

1957-2024 年样本的 Sen's 斜率: 4.94 mm/yr, Mann-Kendall 检验得到 $P < 0.01$ (高度显著上升趋势), Sen's 斜率估计值反映实际变化幅度^{[3][4]}。因此可定量描述: 过去 68 年, 溧水年均降水量以每十年 49.4 毫米的速度增加, 按此趋势 2020 年代年均降水较 1950 年代增加约 330 毫米。70 年降水量显著上升, 2010 年代后加速 (如 2017-2024 年均值较 1957-1966 $\uparrow 27.4\%$)。

基于降水概率分布 (P-III 型分布计算)^[5], 提出分级预警阈值: 均值 $\mu = 1080.7\text{mm}$, 标准差 $\sigma = 278.6\text{mm}$, 计算不同重现期 T 对应的降水量:

标准化变量 Φ (见表 1), $R_T = \mu + \Phi_T \times \sigma$,

则 $R_{100} = 1080.7 + 2.33 \times 278.6 = 1730\text{mm}$,

溧水区降水量现行百年一遇阈值为 1730mm, 气候变化导致阈值需周期性修正。

调整方法: $R_t^* = R_t \times [1 + k(t - t_0)]$,

溧水百年一遇阈值 2030 年调至 1779.4mm ($k = 4.94\text{mm/yr}$), 海绵城市改造需按 1779.4mm 设计排水能力, 后期需建立 5 年周期阈值修订机。

表 1 皮尔逊 III 型曲线的离均系数 Φ 值

重现期 T (年)	频率 $P = 1/T$	皮尔逊 III 型离均系数 Φ
10	0.1	1.28
50	0.02	2.05
100	0.01	2.33

2.2 日有效降水发生的频率特征

统计降水量 ≥ 1 毫米日数, 排除微量降水($<1\text{mm}$)影响。如图3所示: 2020年降水量 $\geq 1\text{mm}$ 日数达到了112天, 为记录中的最高值。1995年的降水量 $\geq 1\text{mm}$ 日数为66天, 是这些年份中的最低值。数据显示, 不同年份间的降水量 $\geq 1\text{mm}$ 日数存在显著波动, 没有明确的逐年上升或下降趋势。线性模拟可知, $R^2 < 0.3$, 可靠性低。特定年如1975年、1977年、1990年、1993年、2015年、2016年和2020年等, 这些年份的降水量 $\geq 1\text{mm}$ 日数超过了100天, 表明这些年份的降水较为频繁。尽管存在波动, 但整体来看, 降水量 $\geq 1\text{mm}$ 的日数在多数年份中保持在70至90天之间, 显示出一定的稳定性。通过Mann-Kendall突变检验($\alpha = 0.05$), 对日降

水量 $\geq 1\text{mm}$ 的年降水日数序列进行突变点检测, 发现: 1976年 UF_K (正序统计量)与 UB_K (逆序统计量)曲线在 ± 1.96 临界区间内相交($UF_K = -2.15$, $UB_K = 1.82$), 表明降水日数发生下降型突变。该年之后降水日数均值由突变前(1957-1975年)的87.6天降至突变后(1977-2024年)的86.1天, 平均减少1.7天。1995年检测到次要突变点($UF_K = -2.78$ 超出临界线), 对应序列最低值66天, 可能关联区域性干旱事件。2010年后标准差增至11.2天(1957-2009年为8.7天), 波动加剧, 极端高值频现(2020年112天、2016年108天)。统计降水量 ≥ 3 毫米日数、降水量 ≥ 5 毫米日数和降水量 ≥ 10 毫米日数均发现存在显著波动, 没有明确的逐年上升或下降趋势。

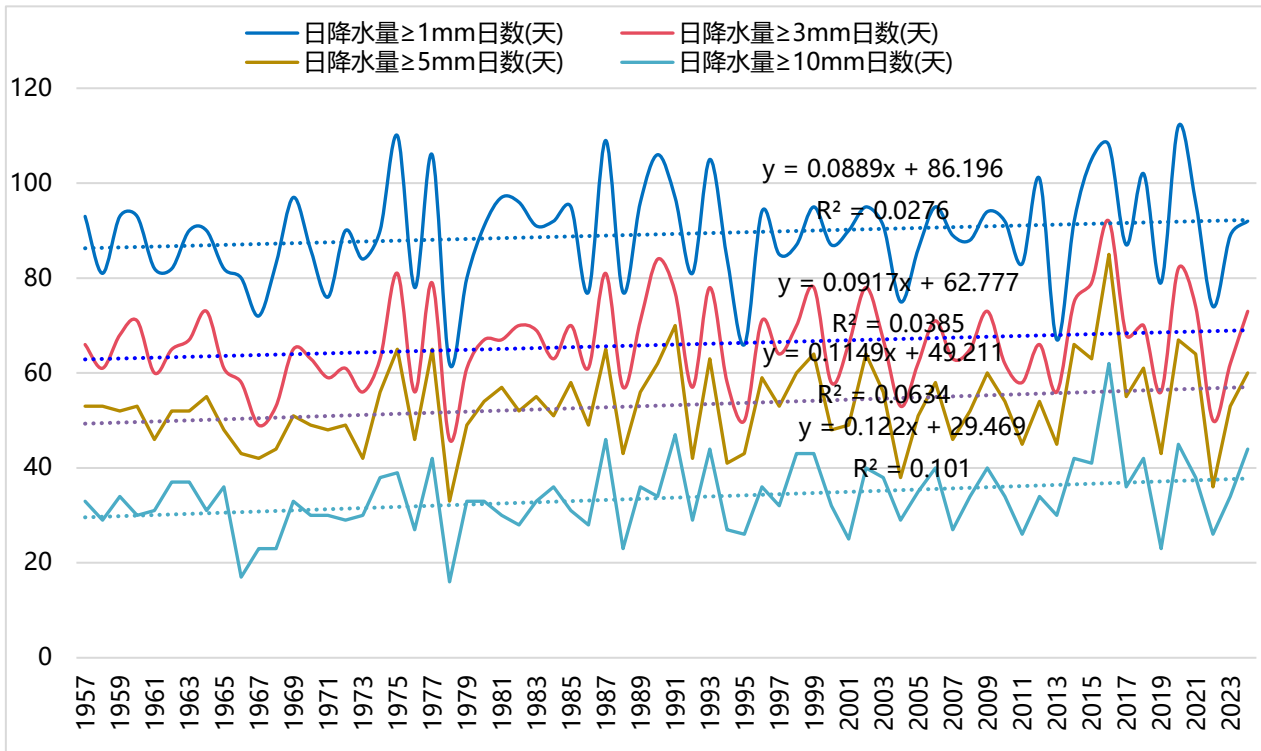


图3 各有效降水量级日数年际变化趋势

3 月降水量气候精细化分析

从表2中可以看出, 1957-2024年各月数列都呈右偏分布, 取中位数作为月均降水量。从1月到8月, 月降水量平均值总体呈上升趋势, 其中6月和7月达到峰值; 8月到12月则呈下降趋势。季节变化指示: 夏季(6月至8月)降水量最多, 是降水高峰期, 尤其是6月和7月, 这可能与夏季季风活动增强有关。降水具有季节不均匀性, 冬季(12月至

次年2月)降水量最少, 气候相对干燥。春季(3月至5月)和秋季(9月至11月)降水量适中, 为过渡季节。同时降水范围也存在季节差异: 夏季降水范围最大(7月18-568.8mm), 秋季次之(10月0-336.1mm), 冬季较稳定(12月0-134.8mm)。

对各月降水量数据进行Sen's斜率计算, 并结合Mann-Kendall检验判断其显著性, 得到过去68年

间, 1月、4月、5月、6月、7月、9月降水量的趋势变化具有统计显著性, 其余月份的趋势变化不具有统计显著性。1月降水量呈现显著上升趋势, 上升速率为每年 0.14 毫米。其他月份降水量趋势同上分析。值得注意的是:6 月降水量呈现显著上升趋势 (+1.82 mm/年) 与 5 月降水量趋势显著下降 (-1.24 mm/年) 形成鲜明对比。5-6 月正好是季风推进的关键期: 5 月华南前汛期结束, 6 月长江流域梅雨开始, 这种气候系统转换可能导致相邻月份出现相反趋势, 6 月趋势增强可能反映梅雨强度或持续时间的变化。

同时说明季节内变率扩大, 雨季起始阶段旱涝转换风险显著升高, 可能引发春播缺水与夏初洪涝的复合灾害。与 8 月降水趋势(-0.45 mm/年, $p=0.112$)相比, 9 月呈现更强烈的显著上升趋势, 反映夏季向秋季过渡期降水模式的变化特征。这种差异可能与东亚夏季风撤退时间推迟等气候系统变化有关。极端最大降水高发于夏季, 6-8 月共 56 次极端强降水事件 (6 月 21 次、7 月 27 次、8 月 8 次)。极端最小降水集中于冷季, 10 月至次年 2 月频次最高 (共 56 次), 其中 12 月 (22 次) 和 10 月 (13 次) 最突出。

表 2 月降水量 (mm) 统计指标 (续下表)

统计指标	平均值: 月降水量 (mm)	中位数: 月降水量 (mm)	范围 (mm)	截尾 (移除最低 5%和最高 5%)	Sen's 斜率 (mm/yr)	P 值	极端最大降水 出现频次	极端最小降水 出现频次
1 月	46.6	35.4	0-139.1	11.2-110.5	0.14	0.028	0	8
2 月	59.5	57.4	4.5-147.9	16.6-120.9		0.105	0	5
3 月	82.9	71.6	3-226.1	30.3-161.0		0.075	3	3
4 月	98.0	92.9	14.1-292	28.8-174.1	-0.83	0.032	3	2
5 月	100.2	89.9	4.7-291.9	29.6-170.5	-1.24	0.004	2	2
6 月	179.0	157.2	35.9-486.3	71.3-391.8	1.82	0.032	21	0
7 月	193.8	161.1	18-568.8	43.1-462.7	2.31	0.004	27	1
8 月	128.8	109.0	8.5-316	29.5-249.2		0.112	8	2
9 月	86.8	69.5	4.2-342.4	21.4-197.8	1.21	0.018	2	2
10 月	61.1	51.3	0-336.1	2.1-133.4		0.055	2	13
11 月	56.8	45.1	0-161.6	10.1-123.0		0.447	0	8
12 月	33.3	26.4	0-134.8	3.9-87.8		0.201	0	22

4 极端降水情况

4.1 过去 68 年极端降水情况

过去 68 年间年暴雨日数均值 $\approx$ 3.28 天, 中位数 (3 天), 极差 (0-14 天), 0 天占比 3%、1 天占比 16%、2 天占比 26%、3 天占比 13%、4 天占比 21%、5 天占比 7%、6 天占比 7%、8 天占比 4%、14 天占比 1%。暴雨日数主要集中在 1-8 天, 其中 2 天占比最高 (26%), 其次为 4 天 (21%) 和 1 天 (16%); 低频事件: 0 天仅占 3% (对应 1978 年、1985 年), 而 $\geq$ 8 天的极高值占比不足 5% (如 8 天占 4%、14 天占 1%)。如图 4 所示, 暴雨发生呈现“夏多冬少, 单主峰双次峰”结构。暴雨高发期: 夏季 (6-8 月) 为绝对高发期, 占全年暴雨总天数的 74.32%。其中 7 月暴雨天数最多 (72 天), 其次是 6 月 (64 天), 防灾重心需聚焦 6-8 月。暴雨次高期: 春季 (3-5 月) 和秋季 (9-11 月) 暴雨天数接近, 分别为 29 天和 27

天, 各占总频次的 13%左右。

4.2 近 10 年极端降水情况

基于 2015 年-2024 年 3 月到 11 月逐小时降水量数据, 定义小时雨强 $\geq$ 16mm 或 12 小时雨强 $\geq$ 30mm 或 24 小时雨强 $\geq$ 50mm 为一次暴雨事件, 同一事件不因标准不同而重复统计^[6]。

如图 5, 近 10 年累计监测到 129 次暴雨天气过程, 而采用传统日统计方法仅记录到 52 个暴雨日, 遗漏率高达 59.7%。暴雨发生高峰期显著集中 6 月 (34 天) 和 7 月 (39 天), 暴雨频次占全年总量的 72%; 8 月 (16 天) 是暴雨发生的次高峰, 可能受台风和季风残余影响, 暴雨仍较频繁; 9 月后骤减, 为衰减期, 可能与副热带高压南撤, 降水系统减弱有关系。

每一次暴雨事件都对应一个最大小时雨强, 129 个雨强标准差^[7] σ 为 11.5, 离散程度较高。箱线图^[8]能够清楚的看出这 129 次事件的雨强具体分布情况,

这些数据的中位数为 16.1mm, 平均值为 19.25mm, 呈现偏右分布。如图 6, 箱体的下边缘线为第一四分位数(Q1): 11, 箱体的上边缘线为第三四分位数(Q3): 25.3。从而能够直观的看出雨强的低值区: 约 25%的点低于 11mm, 最小值 5.2mm。中值区: 约 50%的点在 11mm-25.3mm 间, 分布相对密集。高值区: 约 25%的点高于 25.3mm, 最大值: 66.3。129 次事件中, 极端最大雨强为 46.7mm, 极端最低雨强为 5.2mm。异常值检测发现: 无超出下限的情况, 说明暴雨事件的雨强都 $\geq 5.2\text{mm/h}$, 体现出阵性降水特点; 但有 4 个数据点超出上限, 可知 55.9、57.9、63.8、66.3 为异常高雨强值。

从近 10 年 3-11 月暴雨事件最大小时雨强分布

情况可知(图 7), 雨强呈现波动变化。3 月和 4 月最大雨强范围较小, 集中在 6.9 到 21.2 之间; 5 月至 7 月, 最大雨强范围扩大, 特别是 5 月, 范围达到 15.6 到 30.2; 8 月范围再次缩小, 而 9 月又有所扩大; 10 月和 11 月数据范围再次缩小, 接近 3 月和 4 月的水平。此外, 5-7 月、9 月雨强明显高于其他月份, 显示出了夏季雨强大的特点。除了 11 月份, 其他每个月份都存在异常值, 这些异常值超出了箱体, 以黑色点表示, 反映了这些月份雨强的较大波动性。3 月、4 月、10 月和 11 月异常值不明显, 数据点较为均匀。5 月、6 月、7 月和 9 月存在较多异常值, 特别是在数据范围的高端部分, 显示这些月份中有部分数据点偏离整体趋势。

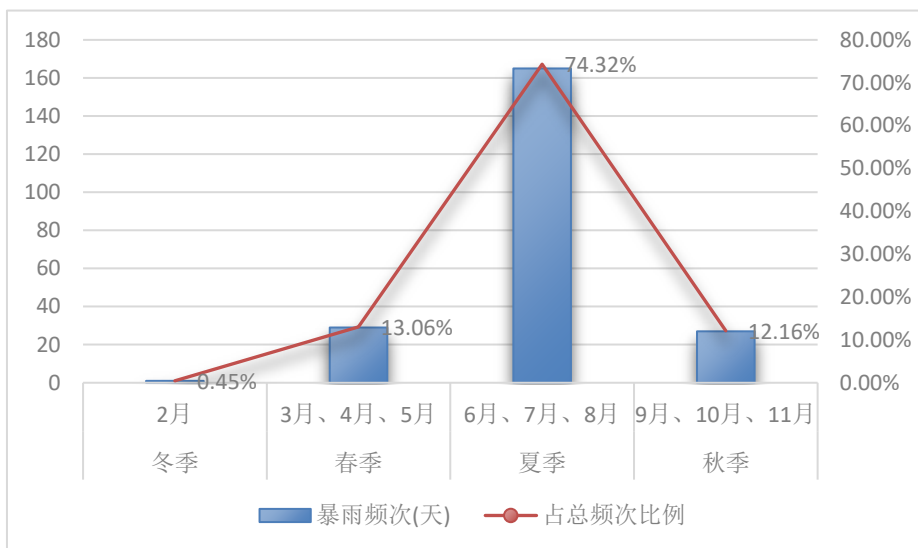


图 4 1957-2024 年暴雨月分布情况

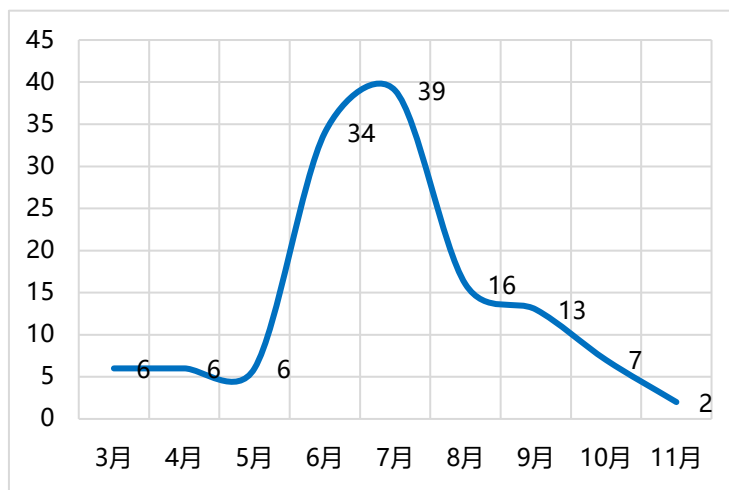


图 5 近 10 年暴雨月分布情况

5 结语

(1) 基于 1957-2024 年观测数据, 溧水区降水量呈现显著右偏分布 (中位数 1080.7mm), 90%数据集中在 900-1300mm, 但存在极端波动 (极差 1690.7mm)。湿润区占比 94.1%, 但 5.9%年份接近半湿润下限 502.6mm, 反映气候脆弱性。Sen's 斜率与 Mann-Kendall 检验证实降水量以每十年 49.4mm 的速度上升, 且 2010 年代后增速加快。

(2) 溧水区现行百年一遇阈值为 1730mm, 气

候变化导致阈值需周期性修正: 2030 年调至 1779.4mm, 海绵城市改造需按 1779.4mm 设计排水能力, 后期需建立 5 年周期阈值修订机制。

(3) 有效降水日数呈现显著年际波动特征, 但未检测到显著长期变化趋势。1976 年的突变事件导致降水日数均值降低 1.7 天, 而 2010 年后波动性增强与极端高值频现, 可能反映气候变化背景下降水格局的转型。

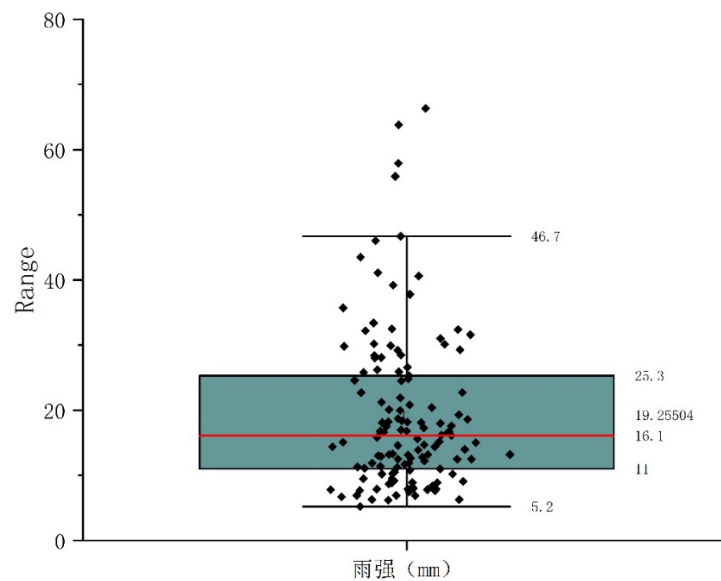


图 6 129 次暴雨事件雨强分布情况

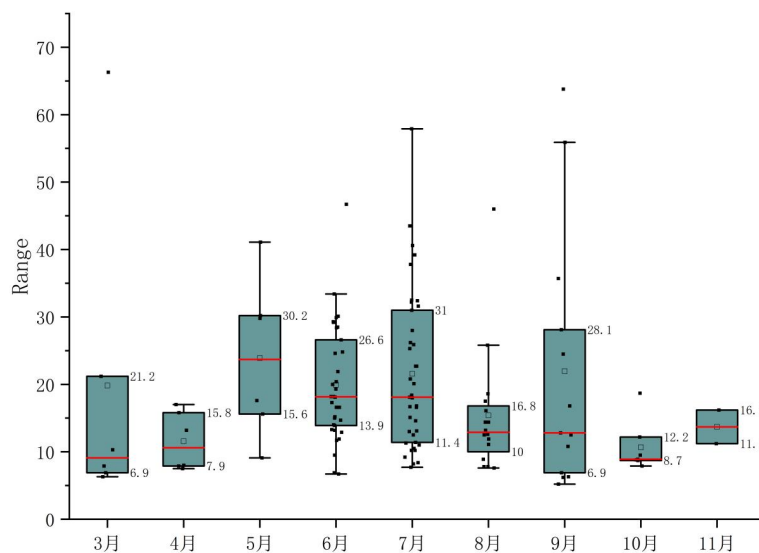


图 7 近 10 年暴雨月分布情况

(4) 夏季(6-8月)降水量占全年主导地位, 其中6月和7月呈现显著上升趋势, 与东亚夏季风强度增强、梅雨期延长密切相关; 而5月(-1.24 mm/年)的显著下降趋势则暗示华南前汛期萎缩, 反映出季风推进过程的气候变异。9月降水量显著上升而8月趋势不显著, 可能关联夏季风撤退推迟及台风路径变化。

(5) 基于小时尺度的暴雨监测方法比传统日统计方法更精准, 能显著减少暴雨事件的遗漏(传统方法遗漏率高达59.7%)。暴雨事件的时间分布呈现明显的季节性特征, 6-7月为高峰期(占全年72%), 8月受台风和季风残余影响仍较频繁, 9月后迅速衰减, 与副热带高压南撤等气候系统变化密切相关。未来暴雨监测与研究需结合精细化时空尺度, 重点关注高发期极端降水预警, 同时深化对异常高雨强成因的机理分析, 以提升防灾减灾能力。

参考文献

[1] 王乐莹等.中国春季复合极端温度-降水事件的年代际变化及其机理[J].JGR:Atmospheres,2025.

[2] 黄秉维,赵名茶. 中国自然区划[M]. 北京:科学出版社,1999.

[3] 陈中平, 张立华. 基于 Mann-Kendall 检验的降水量时程变化特征分析[J]. 水文, 2024, 44(2): 15-22.

[4] 王涛,伊丽努尔·阿力甫江,李思颖,等,2022.三种趋势分析法在东帕米尔高原降水特征分析中的应用[J]. 气象, 48(10): 1312-1320.

[5] 刘光文.皮尔逊III型分布参数估计[J].水文.1990,(4):1-15.

[6] 国家标准《降水量等级》(GBT28592-2012)

[7] 科技论文中平均差_标准差_标准误和误差线的正确使用[J]. 工程科学学报, 2020.

[8] 王奕丹,胡旻,章丽娜.北京首都国际机场强雷暴天气环境参数特征分析[J].气象与环境科学,2025,48(1):35-45.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS