

北京相当暴雨日数的气候特征*

吴正华 储锁龙 李海盛

(北京市气象科学研究所, 北京 100089)

摘要 根据北京 99 年 6~8 月的逐日降水资料和 274 年 6~8 月总降水量资料, 分析了相当暴雨日数与总降水量及早涝等级的相关性, 给出相当暴雨日数与总降水量的定量关系式, 建立了北京 274 年汛期相当暴雨日数资料序列。分析表明: 相当暴雨日数概念的引入, 可以把汛期总降水量中暴雨过程降水与非暴雨过程降水分开, 证实汛期早涝变化只取决于暴雨过程的总次数和强度; 相当暴雨日数是一个气候统计量, 有与总降水量一致的周期变化, 但其年际变率和 3.5 年周期比总降水量更显著, 其概率分布满足泊松分布; 与早涝等级比较, 相当暴雨日数与总降水量的相关性更好, 且有利于研究形成汛期早涝灾害的暴雨过程特征。

关键词: 早涝; 总降水量; 相当暴雨日数; 气候特征

1 引言

大气环流异常是形成旱涝气候灾害的直接背景。所谓大气环流异常, 是指大气环流系统, 如急流、锋面、气团、气旋、反气旋等在某一时期的活动相对于其长期平均状态有明显的偏离, 这种异常活动产生的直接效果是降水天气过程的时空分布异常, 形成干旱或洪涝灾害。

干旱和洪涝是华北地区的主要气象灾害。早在 1935 年, 竺可桢先生就指出华北“旱荒频起, 即雨量变率过大所致”^[1]。“雨量变率过大”正是华北地区降水天气过程的次数和强度明显异常的表现, 在研究或描述旱涝气候特征时, 有必要深入分析与“雨量变率”密切相关的降水过程特点。华北地区的年降水量有 70% 出现在汛期 (6~8 月), 尤其是燕山南侧和京津地区高达 75%~77%。汛期降水多少即决定了年景的旱涝趋势。根据北京 1875~1996 年 (共 98 年) 和京津冀地区 61 个测站 1961~1990 年 (30 年) 的 6~8 月逐日降水资料分析^[2,3], 表明其 6~8 月总降水量和早涝等级只与同期的暴雨过程总数有关, 而与同期的大雨过程、中雨过程和小雨过程的总数无关。也就是说, 京津冀地区出现夏季降水偏少 (旱) 或偏多 (涝), 只决定于暴雨过程的总数多少和强度大小, 这正是“雨量变率过大”的主因。因此, 从造成旱涝的降水过程特征上讲, 研究京津冀地区旱涝的大气环流异常状况, 就是研究其暴雨过程异常的大气环流特征。

常用的“暴雨日”定义有一定局限性, 一是其取日界时间为当日 20 时至次日 20 时 (北京时间) 内出现 ≥ 50 mm 的降水日, 这对于降水强度已达到暴雨强度, 但降水时间却跨越 20 时前后的降水量是分别归算在两天的降水量统计中, 可能影响实际暴雨日

数的统计; 二是凡“暴雨”、“大暴雨”、“特大暴雨”均作为“暴雨”统计, 则忽视了不同暴雨强度对月(或季)总降水量的不同贡献。因此, 为便于进行暴雨与旱涝气候关系研究, 我们定义了“相当暴雨日数”, 这是一个综合考虑暴雨过程的总次数和强度的统计特征量。本文是根据北京 1724 年以来汛期(6~8 月)降水资料来分析相当暴雨日数与旱涝的统计关系和气候特征。

2 相当暴雨日数的定义

暴雨过程是连续数日发生有量降水(其间可有一日为微量降水), 且总降水量 ≥ 50 mm 的降水过程。将暴雨过程的总降水量值除以 50 所得商取整数, 即为相当暴雨日数。这样定义的相当暴雨日数既克服日界时间的局限性, 又表示了暴雨过程的强度差异。如 1953 年 8 月 24~26 日, 三天(20 时~20 时)降水量分别为 29.9 mm、49.9 mm 和 34.1 mm, 按暴雨日统计, 无一个暴雨日, 但相当暴雨日数为 2; 1891 年 7 月 23 日, 日降水量为 609.0 mm, 只为一个暴雨日, 但相当暴雨日数为 12。

根据文献 [4,5] 考虑可能造成灾害的降水强度和华北地区降水气候特点, 定义降水强度达到 50 mm/d, 为暴雨是适宜的。某月、季或年的相当暴雨日数, 只表示同期出现日降水强度等于 50 mm 的日数之总和, 是综合描述同期暴雨天气过程的强度和总次数的一个气候统计量。

3 北京汛期相当暴雨日数和总降水量的相关分析

3.1 年变化

根据北京 1875~1997 年(1914 年以前只有 16 年)共 99 年的逐日降水资料, 统计各月降水量和相当暴雨日数, 如表 1, 其中 12 月和 1~3 月的相当暴雨日数为 0, 未列入表中。可见: (1) 相当暴雨日数集中在汛期(6~8 月), 占全年的 95.8%, 以 7 月最多。汛期的多年平均降水量(459.9 mm)中有 $50 \times 5.545 = 277.3$ mm 的暴雨过程降水量, 占 60.3%, 而非汛期(4~5 月和 9~11 月), 多年平均暴雨过程降水量为 11.6 mm, 仅占同期多年平均降水量的 8.8%。(2) 汛期降水量占全年的 75%, 汛期降水量大小又取决于暴雨过程降水量, 即相当暴雨日数的多少。对于多年平均值而言, 减少 1~2 个相当暴雨日数, 就使汛期降水量减少 10%~22%。(3) 北京汛期相当暴雨日数的气候概率为 0.06, 这与长江流域 6~7 月的暴雨日数气候概率相当^[6]。

表 1 北京 99 年平均的各月相当暴雨日数和降水量

		月 份								6~8 月	全年
		4	5	6	7	8	9	10	11		
相当 暴雨 日数	累积日数/d	3	4	52	285	212	13	2	2	549	573
	多年平均/d	0.03	0.04	0.525	2.879	2.141	0.131	0.02	0.02	5.545	5.787
	气候概率	0.001	0.0013	0.0175	0.0929	0.0691	0.0044	0.0007	0.0007	0.0603	0.0159
降水量/mm		17.5	30.4	72.0	213.4	174.5	56.1	19.6	8.4	459.9	611.5

3.2 汛期总降水量与相当暴雨日数的定量关系

文献[2]给出北京汛期不同等级降水过程与总降水的相关系数如表 2, 表明非暴雨过程(大雨、中雨和小雨过程的总称)与总降水量无关(相关系数为负值, 但未通过 0.01 信度检验), 三种暴雨指数(暴雨日数、暴雨过程次数和相当暴雨日数)均与总降水量正相关, 且通过 0.01 信度检验, 尤以相当暴雨日数与总降水量相关系数最大, 为 0.97。

表 2 北京 99 年的汛期总降水量与不同等级降水过程相关系数

	相当暴雨日数	暴雨日数	暴雨过程	大雨过程	中雨过程	小雨过程
总降水量	0.969	0.691	0.665	-0.257	-0.218	-0.201

通过对北京 1875~1997 年中 99 年汛期实测逐日降水资料的回归分析, 得到北京汛期总降水量 (y) 与相当暴雨日数 (x) 的线性方程

$$y = ax + b = 48.756x + 223.986,$$
 (1)

这里, $a=48.756$ 为斜率, 其数值接近相当暴雨日数规定的日降水强度 (50 mm), $b=223.986$ 为截距, 其物理意义是表示北京汛期非暴雨过程降水总量的多年平均值。

同样, 也得到由总降水量求算相当暴雨日数的线性方程

$$x = a'y + b' = 0.02051y - 4.594,$$
 (2)

这里, $a'=1/a=0.02051$ 为斜率, 表示汛期总降水量全部换成暴雨过程降水量所得到的相当暴雨日数, $b'=4.594 \approx b/50$ 为截距, 表示汛期非暴雨过程的多年平均降水量折算成相当暴雨日数的数值。

北京的降水资料中, 1724~1874 年和 1875~1914 年中的 24 年均有月降水量观测值, 但无逐日降水资料, 根据 (2) 式, 可求得其每年汛期 (6~8 月) 的相当暴雨日数, 加上已有的 1875~1997 年汛期相当暴雨日数资料, 即得 1724~1997 年长达 274 年的北京汛期相当暴雨日数资料序列, 如图 1 所示。

3.3 汛期总降水量与相当暴雨日数换算的误差分析

根据 (2) 式计算, 274 年的汛期相当暴雨日数只有 0~16、21 和 25 共 19 个数字, 按 (1) 式分别计算出它们对应的汛期总降水量, 并求出其实测总降水量的误差 (见表 3)。由表 3 中各相当暴雨日数出现的年数 (f) 加权, 可求得平均相对误差为 3.29%。

表 3 相当暴雨日数计算总降水量及其与实测值的相对误差

相当暴雨日数 x/d	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
出现年数 f/a	18	33	23	31	41	32	19	28	13	6
总降水量 / mm	实测平均(m)	212.8	271.8	319.0	369.6	413.9	464.9	518.8	561.6	619.7
	计算值(y)	234.0	282.7	331.4	380.2	429.0	477.7	526.4	575.2	623.9
相对误差	$ y-m /m \times 100\%$	9.91	4.01	3.88	2.86	3.64	2.75	1.46	2.42	0.68
相当暴雨日数 x/d	10	11	12	13	14	15	16	21	25	
出现年数 f/a	10	9	1	3	2	1	2	1	1	
总降水量 / mm	实测平均(m)	725.9	766.1	848.4	876.2	867.8	937.6	967.5	1169.9	1384.5
	计算值(y)	721.5	770.2	819.0	867.7	916.4	965.2	1014.0	1257.7	1452.9
相对误差	$ y-m /m \times 100\%$	0.60	0.53	3.46	0.96	5.60	2.94	4.81	7.50	4.94

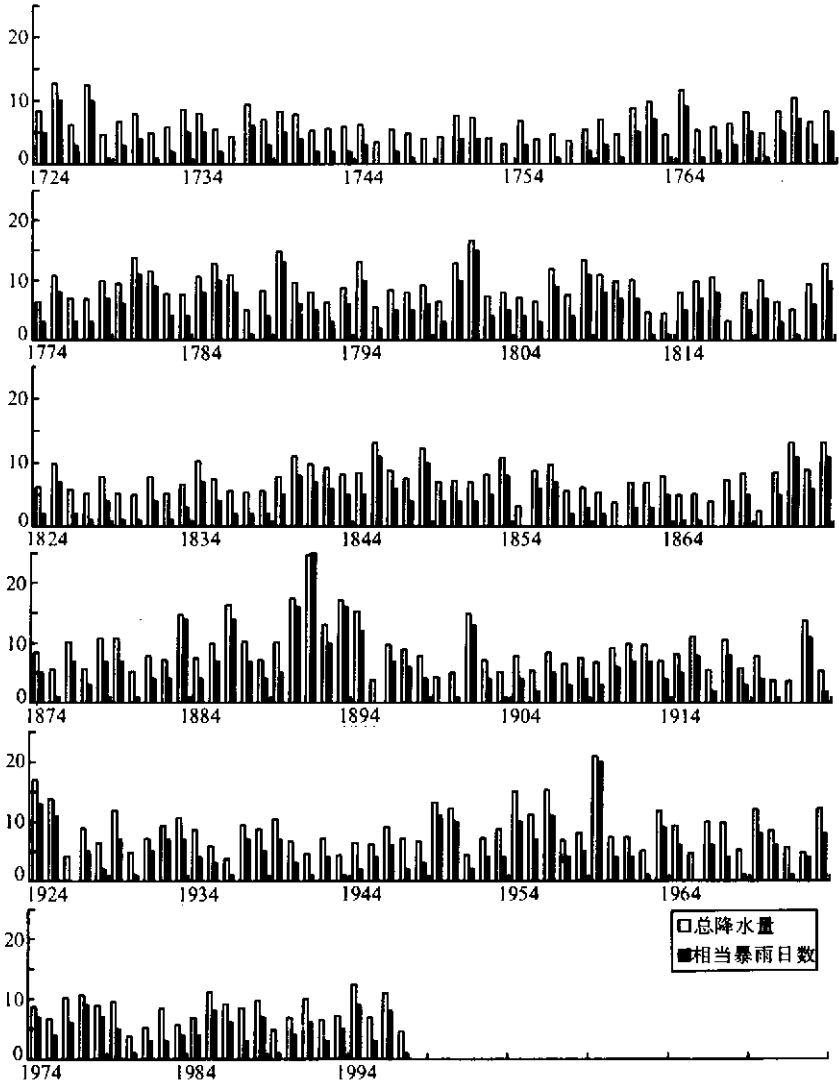


图1 北京1724~1997年逐年汛期总降水量和相当暴雨日数分布图
纵坐标数值为相当暴雨日数(单位:d),同时还为总降水量 $\times 25 / 1400$,
即图中数值乘以56,为实际总降水量(单位:mm)

即由相当暴雨日数计算总降水量的平均精确度为96.7%。从表3中还可看到,在相当暴雨日数 ≤ 1 d的大早年份和相当暴雨日数 ≥ 14 d的洪涝年份,总降水量计算的平均相对误差较大,最大平均相对误差可接近10%。

对有实测逐日降水资料的99汛期相当暴雨日数值与用(2)式由总降水量计算的同期相当暴雨日数值进行比较表明,同年汛期相当暴雨日数实测值和计算值误差 ≤ 1 d的有94年,误差达2~3 d者有5年,即1924年、1954年、1956年、1983年和1972年,前三年为涝年,相当暴雨日数 ≥ 10 d,可能是用实测的每次暴雨过程降水量除以

50, 只取整数, 略去小数累加起来的误差, 加上当年大雨过程较多, 使非暴雨过程降水量值比 (1) 式中 b 值明显偏大, 因而造成由总降水量计算的相当暴雨日数比实况偏多; 后两年是早年, 1972 年和 1983 年汛期总降水量分别为 267.2 mm 和 318.2 mm, 相当暴雨日数均为 4 d (即暴雨过程降水量均达 200 mm), 其非暴雨过程实际降水量比 (1) 式中 b 值明显偏小, 造成相当暴雨日数的计算值比实测值偏小所致。

4 北京 274 年汛期相当暴雨日数的统计特征

4.1 均值与变率

表 4 给出北京 274 年汛期总降水量和相当暴雨日数的均值和变率。可见总降水量和相当暴雨日数的均值和变率同样具有相对稳定性, 但是, 相当暴雨日数的变率要比总降水量大近一倍, 这更强烈地说明北京汛期易旱易涝的气候特点, 也说明暴雨过程的次数和强度反映了汛期降水变化最显著的部分。

表 4 北京汛期总降水量和相当暴雨日数的均值和变率

时段		1724~1997 年 (274 年)	1724~1914 年 (191 年)	1915~1997 年 (83 年)
总降水量	均值 / mm	459.1	454.5	469.6
	变率 / %	30.0	29.4	30.9
相当暴雨日数	均值 / d	4.87	4.80	5.02
	变率 / %	56.2	57.5	53.3

4.2 概率分布

相当暴雨日数是一种概率很小的离散型随机变量, 可以证明其概率分布特征满足泊松分布。

泊松分布函数为 $P(x) = e^{-\lambda} \lambda^x / x!$ ^[6], 其平均数为 $m = np$, 标准差为 $\sigma = \sqrt{m} = \sqrt{np}$, 由递推公式

$$P(0) = e^{-\lambda},$$

$$P(x+1) = [\lambda / (x+1)] P(x),$$

分别计算北京 99 年和 274 年的相当暴雨日数 (x) 的理论计算频数, 并与 99 年实际观测频数和由 (2) 式反算的 274 年观测频数比较, 得到表 5。

表 5 北京 99 年、274 年汛期相当暴雨日数泊松分布的频数分配

x/d		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
99 年	观测频数	4	13	6	10	17	7	7	12	6	3
	计算频数	0.4	2.2	6	10	14	11	7	4	2	1
274 年	观测频数	18	33	23	31	41	32	19	28	13	6
	计算频数	2.1	10.3	25.1	40.7	48	46	37	26	16	8
x/d		10	11	12	13	14	15	16	20	25	
99 年	观测频数	3	4	1	1	1	0	2	1	1	
	计算频数	0.5	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	
274 年	观测频数	10	9	1	3	2	1	2	1	1	
	计算频数	4	2	1	0.4	0.1	0	0	0	0	

用 u 检验去考察表 5 中观测频数分配是否遵守泊松分布, ①对北京 99 年汛期 (6~8 月), 其相当暴雨日数多年平均数为 $m=5.545$, 泊松分布的标准差为 $\sigma=\sqrt{m}=2.355$, 标准差的标准误差为 $\sigma_x=\sigma/\sqrt{2N}=0.167$, 而观测的标准差 s' 为 2.451。于是, 有 $u=(s'-\sigma)/\sigma_x=(2.451-2.355)/0.167=0.57$ 。②对北京 274 年汛期 (6~8 月), 其相当暴雨日数多年平均数为 $m=4.87$, 泊松分布的标准差为 $\sigma=\sqrt{m}=2.21$, 标准差的标准误差为 $\sigma_x=\sigma/\sqrt{2N}=0.094$, 而观测的标准差 s' 为 2.33。于是有 $u=(s'-\sigma)/\sigma_x=1.28$ 。

可见, 对北京汛期相当暴雨日数的概率分布, 其 99 年或 274 年的观测分布与泊松分布的差异都不显著。

4.3 年际变化及多雨期和少雨期的划分

从图 1 可以看到, 北京汛期总降水量和相当暴雨日数的年际变化趋势一致, 并可以看到一些明显的少雨期和多雨期。通过信噪比 (不同时期的平均值之差和标准差之差的比值) 计算对比, 结果如表 6, 表中 R 表示平均总降水量, D 表示平均相当暴雨日数。可见, 1) 北京 274 年汛期降水可划分为 8 个少雨期和 7 个多雨期。少雨期总年数 (166 年) 大于多雨期总年数 (108 年); 2) 从气候平均上讲, 北京汛期是否发生干旱或洪涝, 只取决于汛期暴雨过程的次数和强度, 也就是说, 干旱期和洪涝期的降水量之差就是其相当暴雨日数之差所对应的降水量数值。这可从三个方面说明, ①两个严重少雨期 (1724~1777 年和 1854~1870 年) 与两个严重多雨期 (1871~1894 年和 1949~1959 年) 比较来看, 它们的平均总降水量之差为 267.4 mm, 正好相当于 50×5.3 (平均相当暴雨日数之差值)。②1724~1777 年是北京汛期持续最长的少雨期, 长达 54 年, 其间发生 7 次连续二年以上干旱, 最长连续干旱期为 9 年 (1741~1749 年)^[7]; 而 1778~1811 年是持续最长的多雨期, 长达 34 年, 其间发生 5 次连续二年以上洪涝, 最长连续洪涝期为 4 年 (1857~1860 年)。对比它们的平均汛期总降水量和相当暴雨日数, 它们的平均总降水量之差 (166 mm) 十分接近平均相当暴雨日数之差值所对应的雨量 (50×3.5 mm)。③从 8 次少雨期和 7 次多雨期的平均情况看, 少雨期的汛期平均总降水量为 392.6 mm, 平均相当暴雨日数为 3.6 d, 而多雨期则分别为 556.8 mm 和 6.8 d, 求它们的差值, 即有 $(556.8-392.6)\approx50\times(6.8-3.6)$ 。

表 6 北京 274 年汛期少雨期和多雨期的划分

少雨期			多雨期			少雨转多雨 信噪比		多雨转小雨 信噪比	
时间	$R(\text{mm})$	$D(\text{d})$	时间	$R(\text{mm})$	$D(\text{d})$	R	D	R	D
1724~1777	374.3	3.1	1778~1811	540.3	6.6	5.5	5.4	5.0	5.3
1812~1839	401.1	3.6	1840~1853	518.3	6.2	5.3	6.2	17.0	24.5
1854~1870	350.1	2.8	1871~1894	632.4	8.4	2.0	1.7	2.1	1.9
1895~1909	409.1	3.8	1910~1915	517.6	6.2	1.4	1.3	2.6	2.6
1916~1921	347.9	3.0	1922~1933	528.8	5.9	2.2	2.0	1.2	1.1
1934~1948	391.8	3.5	1949~1959	626.9	8.0	1.6	1.5	1.7	1.8
1960~1972	436.2	4.2	1973~1979	533.2	6.6	1.9	2.1	2.3	2.7
1980~1997	430.3	4.4							
平均值	392.6	3.6		556.8	6.8				

4.4 用功率谱做周期分析

对 274 年汛期总降水量和相当暴雨日数, 分别取其原资料序列和 3 年、5 年、11 年

和 35 年的滑动平均资料序列, 进行相应的功率谱计算, 设定最大波长 $L=70$ (近似取资料序列长度的 $1/4$), 周期为 $T=2L/m$ (m 为通过红噪声检验的波长)。原资料序列的功率谱图中 (图 2), 总降水量和相当暴雨日数都有通过红噪声检验的二个显著周期: 70 年和 2.5 年, 同时相当暴雨日数还存在一个显著的 3.5 年周期 (图 2b), 而总降水量的 3.5 年周期勉强通过红噪声检验 (图 2a)。

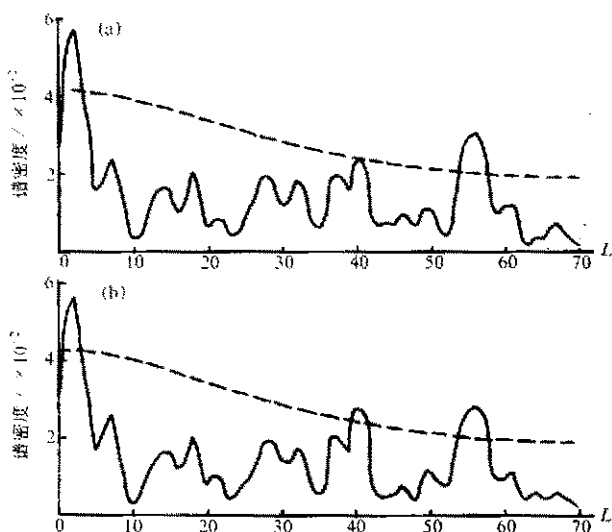


图 2 北京 274 年汛期总降水量 (a) 和相当暴雨日数 (b) 功率谱
图中虚线为红噪声检验曲线

周期, 表明总降水量和相当暴雨日数有一致的周期变化, 且是稳定的。值得一提的是, 它们都存在接近太阳黑子周期的 10.5 年和 21 年周期。

5 与旱涝等级的比较

汛期相当暴雨日数的确定, 使汛期总降水量中的暴雨过程降水量与非暴雨过程降水量区分开来。由于每年汛期的非暴雨过程降水量基本稳定, 则汛期总降水量的年变化是取决于暴雨过程降水量的变化。因此, 根据总降水量距平值划分的汛期旱涝等级, 必然与汛期相当暴雨日数有密切联系。

(1) 北京汛期降水属 γ 分布, 参照美国 CAC 划分旱涝等级标准。等级分位点取 0.1、0.3、0.7、0.9, 分 5 个等级^[8], 其 1、2、3、4 和 5 级分别为大旱、偏旱、正常、偏涝和大涝。表 7 给出北京汛期 274 年汛期旱涝等级与相当暴雨日数的关系。可见, 相当暴雨日数 ≤ 3 d 有 105 年, 其中出现大旱和偏旱者有 88 年, 占 83.8%; 4~6 d 者共 92 年, 其中出现汛期降水正常 (3 级) 者 85 年, 占 92.4%; ≥ 7 d 者有 77 年, 其中出现偏涝和大涝者占 84.4%。特别是, 凡汛期大旱 (5 级) 者, 相当暴雨日数均 ≤ 1 d, 汛期大涝 (1 级) 者, 相当暴雨日数均 ≥ 10 d。结合分析图 1 和表 4, 还可发现, 当相当暴雨日数 ≥ 5 d 时, 不会出现干旱, 且汛期总降水量为正距平 (多年平均值为 459.1 mm) 者占 91%, ≤ 4 d 时, 总降水量为负距平者占 92.8%。

(2) 相当暴雨日数与旱涝等级的概率分布是不同的。旱涝等级是按遵从 γ 分布的降水量的距平值来划分, 具有连续性随机变量特征。而相当暴雨日数的概率分布遵从泊松

表 7 北京 274 年汛期相当暴雨日数与旱涝等级

相当暴雨日数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	≥ 12	合计
1										1	1	11		13
2						1	3	16	13	6	9	8		56
旱涝等级 3			1	16	38	31	16	12						114
4	5	30	22	15	3									75
5	13	3												16
合计	18	33	23	31	41	32	19	28	13	6	10	9	11	274

分布, 具有离散型随机变量特征。

(3) 根据北京 99 年汛期降水资料统计, 相当暴雨日数和旱涝等级与总降水量的相关系数分别为 96.9% 和 91.1%, 且均通过 0.01 信度检验。但是, 一个旱涝等级只表示总降水量某个确定距平数值区间, 旱涝等级与总降水量数值没有简单线性关系, 也不能说明发生洪涝或干旱的降水天气特点。而相当暴雨日数不仅可以较精确地估算总降水量数值, 还可以将旱涝与暴雨过程次数和强度的综合状况联系起来, 这对于旱涝灾害的成因分析是有利的。

因此, 相当暴雨日数和旱涝等级结合起来, 可能更有助于旱涝气候研究。

6 结论

通过以上分析, 表明:

(1) 相当暴雨日数是综合反映汛期旱涝的降水过程特征的统计量, 与总降水量有明确的定量关系, 能把总降水量中的暴雨过程降水量与非暴雨过程降水量分开, 由于后者是基本不变, 故汛期总降水量的年际变化, 只决定于暴雨过程的总次数和强度的年际变化。显然, 在研究北京汛期旱涝异常变化的大气环流背景时, 就必须研究汛期暴雨过程异常的大气环流背景。

(2) 相当暴雨日数是一种表征汛期旱涝气候的特征量, 其气候变化规律与汛期总降水量十分一致, 且在反映旱涝的变率、周期变化等, 有更显著的特征, 其概率分布遵从泊松分布。在描述旱涝灾害的降水过程特征, 相当暴雨日数比旱涝等级有更明确的定量意义。

参 考 文 献

- 竺可桢, 中国气候概论, 气象研究集刊, 第7号, 1935.
- 陆晨, 李青春, 北京夏季不同等级降水过程与旱涝关系的分析, 气象, 1998, 24(3), 38~41.
- 吴正华, 李海盛, 储锁龙, 京津冀地区汛期暴雨与旱涝关系的研究, 暴雨·灾害, 1998, 1(2), 34~38.
- 二宫洸三, 豪雨, 天气, 1977, 24, 693~713.
- 雷雨顺, 特大暴雨的几个问题, 北方天气文集(4), 北京: 北京大学出版社, 1983, 20~27.
- 么枕生, 丁裕国, 气候统计, 北京: 气象出版社, 1990, 156~265.
- 白建强, 章施, 北京的旱涝, 首都圈自然灾害与城市对策, 北京: 气象出版社, 1992, 59~65.
- 储锁龙, 近500年北京地区最严重的旱涝分析, 北京: 气象出版社, 1992, 42~46.

Climatological Features for the Number of the Equivalent Torrential Rain Days in Beijing

Wu Zhenghua, Chu Suolong and Li haisheng

(Beijing Institute of Meteorological Science, Beijing 100089)

Abstract Based on daily precipitation data of June–August in 99 years and monthly precipitation data in 274 years in Beijing, the correlation of the number of the equivalent torrential rain days and the dryness and wetness grades in the flood season is analysed, the quantitative correlation for the number of the equivalent torrential rain days and the total precipitation of June–August is given. The data series of 274 years for the number of the equivalent torrential rain days is built. It is seen that the concept for the number of the equivalent torrential rain days can differentiate the precipitation of the torrential rain and the precipitation of the non-torrential rain, and the dryness and wetness change in flood season is determined only by the number and the strength of the torrential rain processes. The number of the equivalent torrential rain days is the climatologically statistical quantity. It is the same periodic variation with the total precipitation of June–August, but the interannual variability and a 3.5-year periodic for the number of the equivalent torrential rain days are more notable. The probability distribution for the number of the equivalent torrential rain days satisfies the Poisson distribution. The number of the equivalent torrential rain days can be used to research on the feature of the torrential rain processes of drought and flooding.

Key words: drought and flooding; total precipitation; number of the equivalent torrential rain days; climatological feature