

近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化*

顾骏强¹⁾ 施能²⁾ 薛根元³⁾

¹⁾ (浙江省气候中心,杭州 310017)

²⁾ (南京气象学院,南京 210044)

³⁾ (绍兴市气象局,绍兴 312000)

提 要

用 1961~1999 年浙江省 36 站的资料,研究了浙江省年、季、月降水总量与雨日数的气候变化。指出在浙江省年降水量增加的同时,雨日数没有同步的增加。浙江省除了 7、8 月份雨日是增加以外,其他月份的雨日数都表现为减少。由于 7、8 月降水量的增加比雨日的增加更明显,反映出浙江省平均的日降水的强度增加了。研究还指出,雨日的减少是在 1978 年前后突变发生的。20 世纪 80 年代以后,浙江省 9~12 月的雨日已有大幅度的减少。

关键词:浙江省 雨日 降水量 气候变化 趋势系数

引 言

在气象预报中降水预报是需要特别注意研究的。洪涝、干旱、暴雨、连阴雨等灾害天气与降水量和雨日的多少有关。但是,人们更多地注意研究降水量,很少注意研究雨日的特征与变化。而且,一般认为雨日多,降水量也会多,或者降水量多,雨日也一定多。但是,这种看法不一定正确。我们在文献[1]~[3]中研究了近 50 年浙江省旱、涝和气温的气候变化特征,指出 20 世纪 80 年代以后,浙江省每年都会发生大范围的季节性的旱涝,90 年代浙江省夏季、冬季洪涝,秋季干旱频繁发生,也比较容易发生春旱。浙江夏季降水发生了明显的气候变化,夏季降水增加最多的是浙江省北部的杭州湾及以北的地区,并且在 1978 年左右浙北降水量开始明显增加。浙江夏季降水的强的正趋势与 1977 年前后全球大气环流的突变及 20 世纪 80 年代以后气候变暖的大背景相联系。此外,除了季节降水量异常以外,浙江省某些地区某些月份的降水和气温的气候异常也非常明显。但是,降水量的增加(或减少)究竟是什么原因?主要是由于降水的天数(雨日)增加(减少)还是由于每次降水的平均雨量的增加(减少)造成的,这个问题值得深入研究。由于浙江省降水量气候变化的主要问题已经在文献[1]~[3]中进行了探讨,所以,本文的目的是对浙江省年、季、月的降水量和雨日进行较详细的比较研究,以便更深入地研究降水量变化的原因。

* 本文由浙江省重大项目“991103364”资助。

2001-05-09 收到,2001-07-20 收到修改稿。

1 资料与方法

1.1 资料

利用浙江省气候中心整编的浙江省内所有气象观测站资料,其中月降水量及月雨日数用的是 36 个气象观测站的资料,它们是杭州、宁波、衢州、温州、椒江、丽水、嵊州、金华、龙泉、慈溪、乍浦、嘉兴、萧山、富阳、石浦、泰顺、平阳、云和、坎门、临海、宁海、东阳、建德、湖州、大陈、余姚、仙居、淳安、桐庐、定海、乐清、绍兴、安吉、温岭、嵊泗、遂昌。它们较均匀分布在浙江省内,有 1961 年以后的无缺测的月气象观测资料,我们研究到 1999 年。夏季用 6~8 月,春季用 3~4 月,冬季用 12~2 月,秋季用 9~11 月。雨日定义为日降水量大于等于 0.0 的日数(雨量筒没有纪录到雨量的降水日,也计入雨日)。这样,所有的月、季资料可以组成资料矩阵 X_{mn} , $m=36$ (站), $n=39$ (年),可以代表浙江省范围的降水及雨日特征。

1.2 方法

(1) 长期变化的定量指标——趋势系数及其蒙特卡洛(Monte Carlo)显著性检验

为了解气象要素的长期趋势变化,根据文献[4]介绍的方法,计算了气象要素的时间序列与自然数数列之间的相关系数(称为趋势系数)。可以证明,这样定义的趋势系数,就是标准化的一元线性回归系数,它消去了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同的地理位置的不同的气象要素之间比较趋势变化的大小。但是,对计算的趋势系数还需要进行统计检验。对趋势系数的统计检验可以使用相关系数的 t 检验方法。但是更为合适的是使用随机 Monte Carlo 模拟试验。例如,进行了 1000 次随机独立试验,产生出长度为 39(年)的 1000 个不同的正态(0,1)的序列,将它们与自然数序列 1, 2, ..., 39 求相关系数,可以得到 1000 个样本相关系数。然后将 1000 个样本相关系数的绝对值从大到小排序。从而确定 0.05、0.01 信度的临界值。我们试验得出,0.01、0.05 的信度标准下,趋势系数的蒙特卡洛显著性检验标准分别为 0.41、0.30。这个标准稍高于相关系数 t 统计量检验的标准。

(2) 相似系数

为定量地表示两幅图的相似程度,采用相似系数。它由下式计算

$$\cos \theta_{12} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}} \quad m = 36 \text{ (站)}$$

$\cos \theta_{12}$ 就是两幅图相似程度的定量指标,称为相似系数。相似系数等于 1.00 为完全相同,相似系数为 -1.00 为完全相反,为 0.0 时表示完全不相似。正值越大越相似,负值越大越相反。

(3) 移动 t 检验方法

为检测气象要素序列的变化是否有突变,采用了移动 t 检验方法。

2 浙江省年总降水量及年雨日的平均特征及长期变化

2.1 多年平均特征

图1是浙江省39年平均的年总降水量及年总雨日的分布图。从图1a可以看出,浙江省的多年平均年降水量是南(28°N以南)多北少,东南沿海也明显多。最多的是位于南面的泰顺站,可以超过2000mm。浙江省北部年降水量较少:最少的嵊泗1040mm;嘉兴年降水量为1163mm;乍浦1204mm,湖州1276mm,都是比较少的。从图1b看出,浙江省多年平均的年雨日数也是南多北少,东南沿海也明显多的特征。最多的年雨日也是南面的泰顺站(213d),其次是云和站(187d)。浙北部也是雨日少:最少的嵊泗135d;其次是乍浦140d。这说明多年平均的年总降水量及年总雨日的空间分布特征是非常一致的。事实上,我们计算图1a与图1b的相似系数为0.998,可见它们是非常相似的。这个结果是很好解释的。因为,有降水就有雨日,就多年平均讲,年总降水量的空间分布应该与年总雨日空间分布较一致。

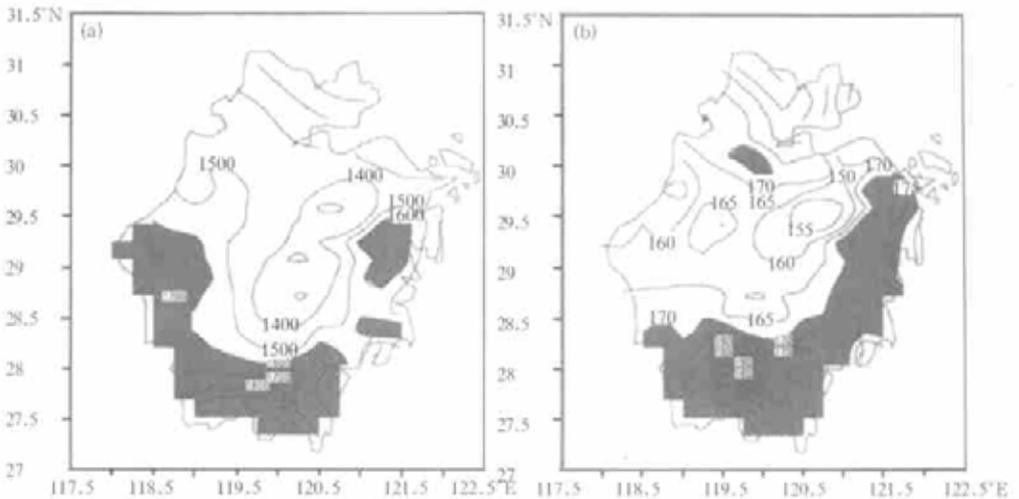


图1 浙江省39年平均年总降水量(a)(单位:mm)及年总雨日(b)的分布图(单位:d)

2.2 长期变化

我们对36站的年总降水量及年总雨日的时间序列(序列长度为39年)逐站地计算趋势系数,做出趋势系数的空间分布图,它可以表示1961~1999年时间段内浙江省年总降水量及年总雨日的长期趋势变化的空间分布情况(图2a,b)。出乎预料的是,它们有很大不同,并且几乎是相反的。计算图2a与图2b两幅图的相似系数是-0.585,说明它们的空间分布特征基本相反。事实上,图2的数据资料说明,浙江省年总降水量的长期趋势在36个观测站上全部是正值,说明浙江全省的年降水量是正趋势变化,在增加。其中,趋势系数超过0.40的有乍浦(0.56)、萧山(0.41)、杭州(0.41)、定海(0.44)、淳安(0.40)、嵊泗(0.52),年降水量的增加趋势已经达到或接近0.01的显著性。但是,年雨日数在同期并没有同步地增加。图2b的资料表明,浙江全省的年雨日数长期变化全部是负趋势。其中

非常明显的负趋势系数也在浙江省的北部:杭州(-0.64)、嘉兴(-0.79)、安吉(-0.65)、湖州(-0.52)及东南沿海:椒江(-0.71)、大陈(-0.75)、宁波(-0.70)以及浙西南部的龙泉(-0.65),达到 0.001 的统计显著性。说明这些地方的年雨日在明显减少。计算的线性回归系数说明,大多数测站的年雨日,在计算的时间段内(1961~1999 年)平均每年减少 1 d 左右。雨日减少最多是大陈站,每年减少 1.7 d;其次是嘉兴,每年减少 1.45 d。这个结果表明,由于年降水量增加的同时年雨日数却在减少,必然每次降水的平均雨量有了明显的增加,强降水的次数增加了。图 2a 与图 2b 差异最明显的测站是杭州、宁波、椒江、龙泉、嘉兴、萧山、富阳、湖州、大陈、宁海、安吉,它们大部分位于浙江省的北部,其次是东南沿海。

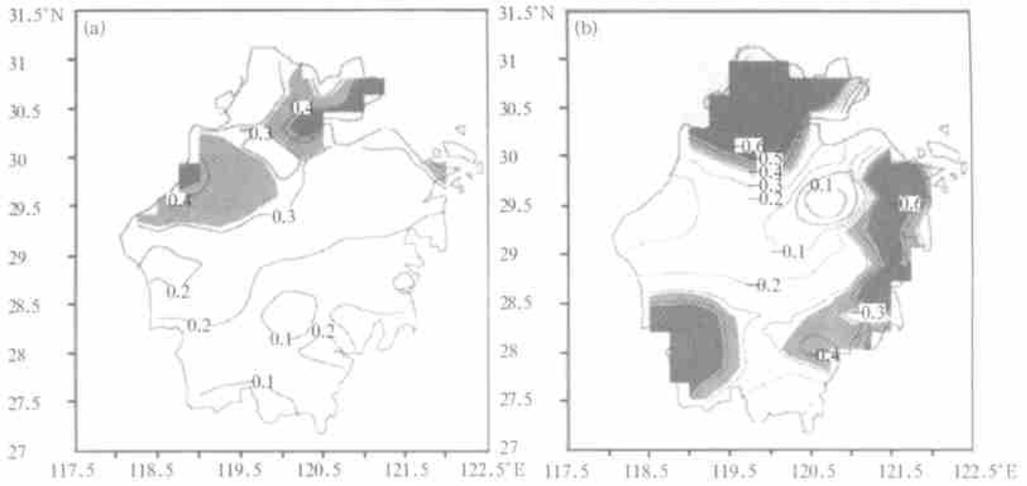


图 2 浙江省年降水量(a)及年雨日(b)的趋势系数
(图中的灰(黑)达到 0.05(0.01)信度的区域,虚线为负值)

图 3 中是浙江省北部的杭州、安吉、嘉兴、萧山、富阳、湖州 6 站的逐年雨日的平均降水量时间曲线(逐年的 6 站平均的年总降水量除 6 站的平均年雨日数),图中的直线是直线回归,曲线是高斯 9 点滤波线。可见,浙江省北部,每个雨日的平均降水量呈非常明显的增加趋势。计算表明,6 站平均的雨日降水量的趋势系数是 0.72,超过 0.001 的信度。回归系数为 0.1 mm/a。也就是说,从 1961~1999 年,浙北部每个雨日的降水量每年平均增加 0.1 mm。图上看在 20 世纪 80 年代以后,浙北平均每个雨日的降水量大于多年的平均值,雨日的平均降水量几乎都在 9 mm 以上,而

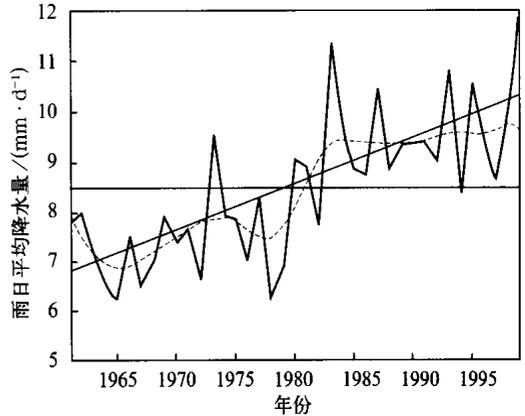


图 3 浙北 6 站雨日平均降水量的时间曲线
(直线是回归线,虚曲线是高斯 9 点滤波线)

80年代以前,雨日的平均降水量大多小于多年的平均值。从图3看出,浙北雨日的平均降水量有突变增加的现象,大约发生在1978年前后。20世纪70年代末期开始的全球明显变暖可能是这种现象的一个重要原因。因为低层更暖的大气可以含有更多的水汽,从而导致更大的降水强度。图2说明,全球变暖后的浙江省(特别是浙北与浙东南沿海),降水强度已经大大加强,所以在年雨日数减少的情况下,年降水量仍是增加的。

3 降水量和雨日长期变化的季节特征

用1961~1999年39年各季的季总降水量及季雨日数计算趋势系数,从而分析与研究雨日、雨量长期变化特征有无季节差异,因为篇幅有限,具体的结果不能详细列出。我们分4季给出36站中降水量及雨日的趋势系数为正值的站数(见表1),正的趋势系数的站数多,表示该季浙江省的降水量有增加的趋势。表1中还给出“趋势系数差”为正的站数。所谓“趋势系数差”定义为降水量趋势系数减雨日的趋势系数。这样定义的“趋势系数差”为大的正值,表示降水量在增加,雨日却在减少(春季、冬季);或者降水量增加程度明显超过雨日数的增加(夏季);或者降水量的减少的程度明显小于雨日数的减少的程度(秋季)。

表1 36站的季降水量及雨日的趋势系数为正值的站数

	春季	夏季	秋季	冬季
季降水量	35 (0.35)	36 (0.74)	0 (-0.35)	36 (0.25)
季雨日	0 (-0.64)	30 (0.52)	0 (-0.76)	0 (-0.64)
趋势系数差	36	34	36	36

注:括号内的数值是36站中最大的正趋势或最小的负趋势数值。

从表1我们可以得到一些非常明确的结果:

(1) 浙江省的夏季、春季、冬季降水量表现为大范围的增加趋势。其中夏季最显著。冬季降水量在增加,但是大多数没有达到规定的显著性标准。文献[2]已经指出浙江省夏季降水大范围增加,最显著的地区位于浙北的乍浦、杭州、嘉兴、萧山、湖州、安吉6站。但是浙江省的秋季降水量是大范围减少的趋势,资料表明部分测站达到了显著性标准。

(2) 浙江省的秋季、春季、冬季雨日数表现为非常显著的大范围的减少趋势。其中秋季最为显著。但是,夏季的特征不同,夏季的雨日与夏季的雨量一样,在同步增加,并且有1/3左右的观测站达到了显著性标准。由于秋季、春季、冬季的雨日是显著减少,所以,虽然夏季雨日在增加,年的总雨日数仍然是明显的减少的。

(3) “趋势系数差”为正的站数,除了夏季是34个正值以外,春季、冬季、秋季是全部36个站为正,正值最大的在冬季、春季。表2的结果说明浙江省冬季与春季的降水量在增加,雨日在减少;夏季降水量的强增加趋势已经明显超过夏季雨日数的增加程度;而秋季降水量的减少趋势还比不上雨日数的减少,浙江省秋季雨日的减少是特别明显的。

季节的特征应该基本上反映在月特征中,我们做类似的计算,对月时间尺度的特征,可以归纳出如下几种结果(见表2):

(1) 1、3、6、7、8月浙江省的降水量表现为大范围的增加趋势。而10月降水量是大范

围的减少。

(2) 7、8 月的雨日数是非常显著的大范围的增加趋势。而浙江省 2 月、4~5 月、9~12 月的雨日数为显著减少。

(3) “趋势系数差”在浙江省各月是正的站数明显地比负站数多,这与年、季节特征一致。

表 2 36 站的月降水量及月雨日的趋势系数的统计表

特 征	月 份
降水量正趋势(站数超过 35 站)	1, 3, 6, 7, 8
降水量负趋势(站数超过 35 站)	10
雨日正趋势(站数超过 35 站)	7, 8
雨日负趋势(站数超过 35 站)	2, 4, 5, 9, 10, 11, 12
趋势系数差(为正的站数超过 22 个)	全部 12 个月份
趋势系数差(为正的站数超过 34 个)	10, 11, 12, 1, 2, 3, 4, 6

4 20 世纪 70 年代末期雨日数和雨日平均降水量的突变

4.1 年雨日

上面的研究说明,浙江省年雨日数是大范围负趋势。季、月的雨日数除夏季的 7~8 月增加以外也都是负趋势。而图 3 说明大约在 1978 年前后,浙北雨日的平均降水量有突变增加的现象。现在我们对浙江全省的雨日数进行研究。实际上,雨日数的减少也是突变发生的。我们用移动的 t 检验方法,检测出浙江省雨日的突变减少大约开始于 1978 年。图 4 是对浙江省年雨日的资料矩阵(36 站,39 年)用自然正交函数展开的第一经验正交函数及其时间系数(已标准化)。首先,图 4a 与多年的雨日平均图(图 1b)是非常相似的,它表示了多年的平均场。图 4b 就是这张图的时间权重。这个时间系数有明显的下降

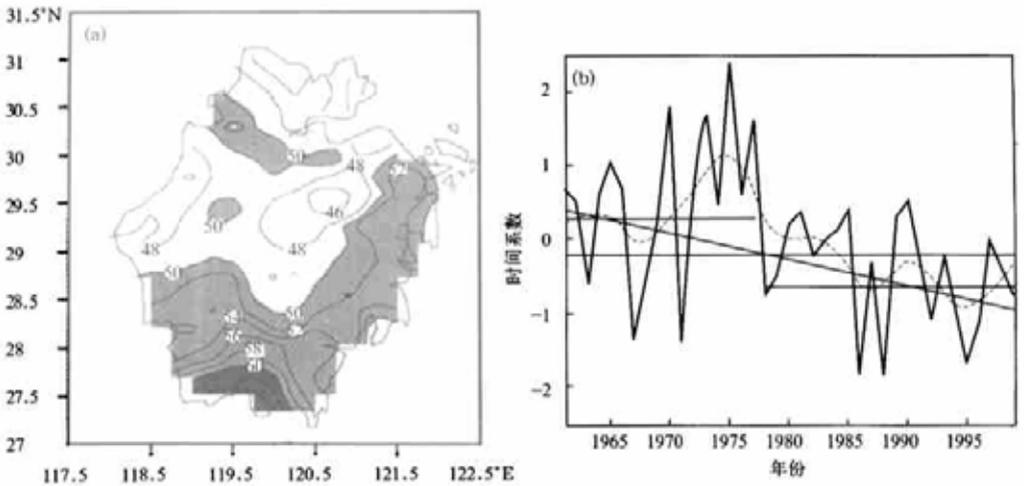


图 4 浙江省年雨日的第一经验正交函数(a)及其时间系数(b)(已标准化)
 (a) 的黑(灰)色为高值区;(b) 中的虚线为高斯 9 年滤波曲线,直线为回归直线;
 回归直线上方的短直线为突变前后的雨日平均值)

趋势,经统计检验,下降趋势已经达到 0.01 的统计显著性。在下降时,有突变。移动 t 检验说明,1961~1977,1978~1999 年两时间段的雨日平均值差异明显, t 统计量为 -3.52,差异的统计显著性达到 0.01 的信度。

4.2 季节雨日

从第 3 节及表 1、表 2 可以知道,秋季及 12 月浙江省雨日的减少是极其明显的。季节雨日的减少是否也有类似的突变?为此,对 9~12 月的总雨日进行分析。图 5a 是浙江省北部的杭州、安吉、嘉兴、萧山、富阳、湖州 6 站的 9~12 月总雨日的时间曲线。而图 5b 是浙东部沿海的宁波、宁海、椒江 3 站的 9~12 月总雨日的时间曲线。可以看出,与年雨日的减少相比较,9~12 月雨日的减少是更明显了。突变仍发生在 1977~1978 年。对图 5a、图 5b 在突变前后雨日的平均值的差异进行 t 检验, t 统计量分别为 -6.60 与 -8.54,超过 0.001 的统计显著性。图 5a、图 5b 所表示的雨日的年代际变化也是非常明显的。

表 3 给出上述 6 站与 3 站在各个年代的雨日的平均值。可以看出,在 9~12 月的 120 d 内,20 世纪 60 年代雨日的概率接近 0.5,到 90 年代末期,雨日的概率已经不到 1/3。

表 3 浙江省 9~12 月雨日的年代际变化 a

	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代
浙北 6 站	58.9	49.7	40.9	34.6
浙东 3 站	60.2	54.2	39.4	38.1

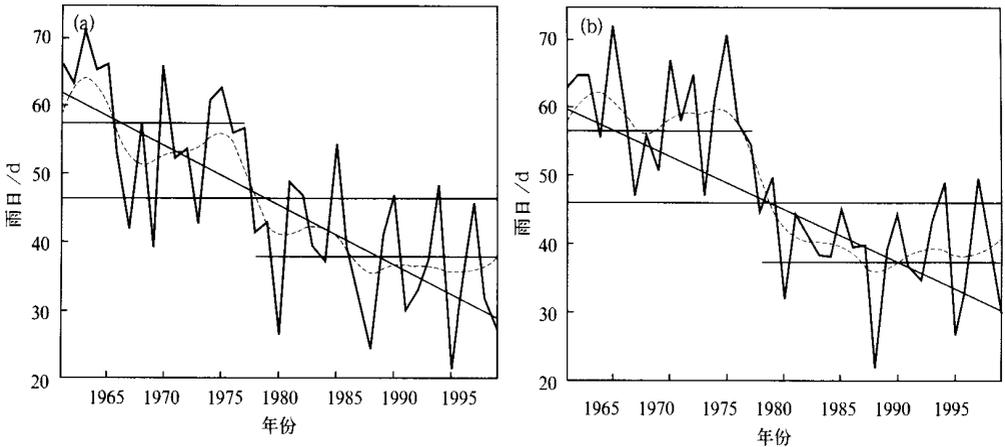


图 5 浙北 6 站 (a) 及浙东 3 站 (b) 9~12 月雨日的时间变化曲线及直线回归
(回归直线上方的短直线为突变前后的雨日平均值)

5 结 论

(1) 浙江省多年平均年降水量是南 (28°N 以南) 多北少,东南沿海也明显偏多。浙江省多年平均的年雨日数也具有南多北少的特征。就多年平均讲,年总降水量的空间分布与年总雨日空间分布一致。

(2) 在分析的时间段中,浙江省年总降水量及年总雨日数的长期趋势变化的空间分布几乎相反。浙江省所有测站的年总降水量的长期趋势是正值,但是,在同期年雨日数并

没有同步增加,相反,年雨日数长期变化全部是负趋势。年雨日负趋势最明显的测站在浙江省北部,其次是东南沿海。但是浙北部恰好是年降水量增加最显著的地方。

(3) 降水量与雨日都有季节变化与月变化。冬季与春季降水量在增加,雨日在减少。夏季的 7~8 月雨日是增加的,但同期的降水量增加得更显著。浙江省秋季降水量是减少的,但秋季雨日的减少更为明显。所有结果都表明,浙江省雨日的平均降水量呈上升的趋势,降水的强度增加了。降水的强度增加可能导致严重的洪涝及暴雨灾害。

(4) 雨日的减少、雨日平均降水量的增加是突变发生的,大约在 1978 年左右。这与 20 世纪 70 年代末的全球环流突变、全球变暖不无关系。在浙北地区,每个雨日的平均降水量每年已经增加 0.1 mm 左右。

(5) 9~12 月浙江省范围内的雨日已经大幅度的减少,其中在浙北部及浙东及浙西南是非常显著的(超过 0.001 的统计显著性)。秋季雨日的减少必将导致接受太阳辐射的增加,非常值得有关的生产部门注意。

参 考 文 献

- 1 顾骏强,施能,王永波.近 50 年浙江省旱、涝气候变化及特征.热带气象学报,2001,17(4):429~435.
- 2 施能,马丽,袁晓玉,等.近 50 年浙江省气候变化特征分析.南京气象学院学报,2001,24(2):207~213.
- 3 施能,王永波,马丽,等.浙江省夏季降水的区域特征.科技通报,2001,17(5):10~15.
- 4 施能.北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系.气象学报,1996,54(6):675~683.
- 5 Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. *Mon. Wea. Rev.* 1983, 111(1):46~59.
- 6 施能,魏凤英,封国林,等.气象场相关分析及合成分析中的蒙特卡洛检验.南京气象学院学报,1997,20(3):355~359.

CLIMATIC VARIATION OF RAINFALL AND WET DAYS IN ZHEJIANG

1) Gu Junqiang 2) Shi Neng 3) Xue Genyuan

1) (Climate Center of Zhejiang, Hangzhou 310017)

2) (Nanjing Institute of Meteorology Nanjing 210044)

3) (Shaoxing Meteorological Office, Zhejiang, Shaoxing 312000)

Abstract

Study is made of climatic variation of rainfall and rainy days on a yearly, monthly and daily basis in terms of 1961 - 1999 data from 36 stations in Zhejiang Province. The results show that the annual rainfall increased but the number of wet days did not correspondingly increase. The number increased in July and August but decreased in the other months, and rainfall increased more obviously than the number of rainy days in July and August, leading to the fact that mean daily rainfall intensity was augmented. The decrease in the number of wet days occurred abruptly around 1978 and the number reduced greatly in September - December after the 1980s.

Key words: Zhejiang Province Wet day Rainfall Climatic change Trend coefficient