

1961—2005年江苏省降水变化趋势

邱新法¹ 张喜亮¹ 曾 燕^{2,3} 武金岗³

(1. 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044;
2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所; 3. 江苏省气象科学研究所)

提 要: 以江苏省 62 个气象站 1961—2005 年降水资料为基础, 系统分析了近 45 年来江苏省降水变化趋势。结果表明: 1961—2005 年江苏省年降水量无显著变化趋势, 秋季降水量呈显著下降趋势, 冬季降水量呈显著上升趋势。全省年降水日数呈略有下降趋势, 以小于 10mm 的降水日数下降尤为明显。夏季极端强降水总量、极端强降水事件频率为增加趋势, 秋季极端强降水事件强度为下降趋势。

关键词: 降水 气候变化 趋势

Precipitation Variation Trend in Jiangsu Province From 1961 to 2005

Qiu Xinf¹ Zhang Xiliang¹ Zeng Yan^{2,3} Wu Jingang³

(1. School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044;
2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS; 3. Jiangsu Institute of Meteorological Sciences)

Abstract: Based on the observational data of 62 meteorological stations from 1961 to 2005, the spatial and temporal distributions and their trends for precipitation in Jiangsu Province are investigated. The conclusion can be drawn as follows: Although the annual precipitation in Jiangsu has no significant change trend, the autumn precipitation has an obvious decrease trend, but winter precipitation has a significant increase trend. The annual precipitation days in Jiangsu have slightly decreased, which are mainly caused by the decrease of the annual days of the light rain, i. e. the daily rainfall is less than 10.0mm. The extreme total rainfall and its frequency in summer appear a significant increase trend and the extreme precipitation intensity in autumn takes on a decrease trend.

Key Words: precipitation climate change trend

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF2006-32)、南京市科技局项目(200701100)资助

收稿日期: 2007年8月31日; 修定稿日期: 2008年3月19日

引 言

目前,全球气候变化已成为科学界、各国政府和社会公众普遍关注的热点问题之一^[1]。大量研究表明,全球正在变暖并伴随气候系统的其它变化,其中降水格局进行了重大调整,降水量在高纬度大部分地区增加,中低纬度大部分地区减少^[2]。我国气候变化趋势明显,气温普遍上升、降水有增有减。任国玉等^[3]研究表明 1951—1996 年我国长江中下游地区年和夏季降水量呈现明显增加趋势。王颖等^[4]指出中国年雨日已经明显减少。杨宏青等^[5]认为长江流域年、夏季 6—8 月的暴雨日和暴雨量表现为较大范围的增加趋势。翟盘茂等^[6]研究发现我国总降水量变化趋势不明显,而极端降水强度在增强。

江苏省是我国人口稠密、经济高度发达的地区,在我国国民经济发展中具有举足轻重的作用和地位。在全球变暖的气候背景下,江苏省降水表现出的区域响应特征,将会对江苏区域自然生态系统以及社会经济产生重要影响。本文以江苏省内均匀分布的 62 个气象站降水资料为基础,分析了 1961—2005 年江苏省降水的气候变化趋势。这对于江苏省制定区域发展政策、进行生态建设和应对气候系统变化将起着重要指导作用。

1 资料与研究方法

本文所用资料为江苏省 62 个气象站 1961—2005 年逐日降水量。对所有资料进行严格的质量检测,剔除其中的错误记录,并对缺测或空白记录进行插补。

常用的趋势分析方法有线性倾向估计、滑动平均、累积距平、二次平滑、三次样条函数、Kendall 秩次相关法、Mann-Kendall 秩次相关法等^[7]。本研究采用 Mann-Kendall

(MK)^[8]方法来检测气象要素的变化趋势及显著性水平,并借助线性倾向估计法对气象要素的变化程度进行衡量。

1.1 Mann-Kendall(MK)趋势分析

对序列 $X_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 先确定所有对偶值 (x_i, x_j) (注: $j > i$) 中 x_i 与 x_j 的大小关系。趋势检验的 MK 统计量为:

$$U_{MK} = \begin{cases} (\tau - 1) / \sqrt{\text{var}(\tau)} & \tau > 0 \\ 0 & \tau = 0 \\ (\tau + 1) / \sqrt{\text{var}(\tau)} & \tau < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,

$$\tau = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i),$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & x_j - x_i > 0 \\ 0 & x_j - x_i = 0 \\ -1 & x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

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

当 n 大于 10 时, U_{MK} 收敛于标准正态分布。原假设该序列无趋势, 在给定显著性水平 α 下, 在正态分布表中查得临界值 $U_{\alpha/2}$, 当 $U_{MK} < U_{\alpha/2}$ 时, 接受原假设, 即趋势不显著; 若 $U_{MK} > U_{\alpha/2}$, 则拒绝原假设, 即认为趋势显著。MK 统计量的绝对值大于等于 1.29、1.64、2.33 时分别表示通过了置信度 90%、95%、99% 的显著检验。

1.2 线性趋势分析

气象要素的趋势变化用一次线性方程表示^[9], 即:

$$\hat{x}_t = \alpha_0 + \alpha_1 t \quad (4)$$

式中, \hat{x}_t 为气象要素的拟合值, t 为时间, $\alpha_1 \cdot 10$ 称为气候倾向率, 表示气象要素每 10 年的变化率。

1.3 极端强降水事件的确定

根据世界气象组织的规定, 将 $> 90\%$ 分

位点或 $<10\%$ 分位点的事件定义为极端事件。本文以 95% 分位点值作为极端值的阈值来分析江苏省极端强降水事件的变化趋势。其具体方法是:把每个站1961—2005年逐年日降水量从小到大进行排序,选取每个序列的第95个百分位值,将其45年平均值作为该站极端强降水事件的阈值,当该站某日降水量超过极端强降水事件的阈值时,称为极端强降水事件^[10],用一年内发生极端强降水事件的日数,表示年极端强降水事件发生的频率,用一年内的极端强降水总量与极端强降水日数的比值,表示年极端强降水事件的强度。

对极端事件阈值的确定,采用Bonsal提出的方法:例如气象要素 x 有 n 个值,将这 n 个值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$,某个值小于或等于 x_m 的概率为^[11]:

$$P = \frac{(m - 0.31)}{(n + 0.38)} \quad (5)$$

式中: m 为 x_m 的序号, n 为气象要素值的个数。如果有30个值,那么第95个百分位上

的值为排序后的 x_{29} ($P=94.4\%$)和 x_{30} ($P=97.7\%$)的线性插值。

对62个站分别按年和四季计算其降水气候变化趋势,季节划分是以3—5月为春季、6—8月为夏季、9—11月为秋季、12月至翌年2月为冬季。

2 江苏省降水变化特征

2.1 江苏省降水量气候变化趋势

江苏省各年代年降水量的统计值如表1。可以看出,就全省平均而言:各年代降水量变化幅度不大,都在1000mm左右。在季节上,夏季降水量最大,占全年降水量的50%左右,其次为春季和秋季,冬季降水量最少。由图1可以看出,1961—2005年江苏省秋季降水量呈显著下降趋势,冬季降水量呈显著上升趋势,二者均通过了95%的置信度检验。夏季降水量略有增加,但未通过统计检验。

表1 江苏省不同年代降水量统计特征(单位:mm)

年代	全年	春季	夏季	秋季	冬季
1961—1970	999	227(22.7%)	472(47.2%)	222(22.2%)	81(8.1%)
1971—1980	977	219(22.5%)	483(48.3%)	180(18.4%)	95(9.8%)
1981—1990	1011	202(20.0%)	490(48.4%)	229(22.7%)	94(9.3%)
1991—2000	1028	232(22.5%)	527(51.2%)	165(16.1%)	110(10.7%)
2001—2005	1005	198(19.7%)	529(52.7%)	142(14.1%)	126(12.6%)

注:表中括号内为各季节降水量占全年降水量的比例

由图2可以看出,除个别年份外,1961—2005年江苏省年降水量的年际波动幅度整

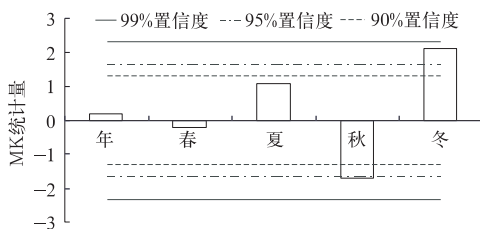


图1 1961—2005年江苏省年和季节降水量变化趋势的MK检验

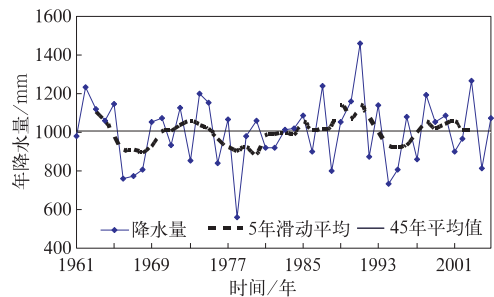


图2 1961—2005年江苏省年降水量特征变化曲线

体而言不是很大,年降水量的最小值为 558mm,出现在 1978 年,最大值为 1459mm,出现在 1991 年。从降水量 5 年滑动平均可以看出,江苏省年降水量从 1960 年代到 1970 年代末呈减少趋势,处于相对少雨阶段,1980 年代至 1990 年代初,处于相对多雨

阶段。

就季节降水量变化而言,春季和夏季降水量未通过显著性检验,无显著变化,但夏季降水量有增加趋势。秋季和冬季降水量变化趋势显著,气候倾向率分别达到 $-17.3\text{mm}/10\text{a}$ 和 $10.9\text{mm}/10\text{a}$ (见图 3)。

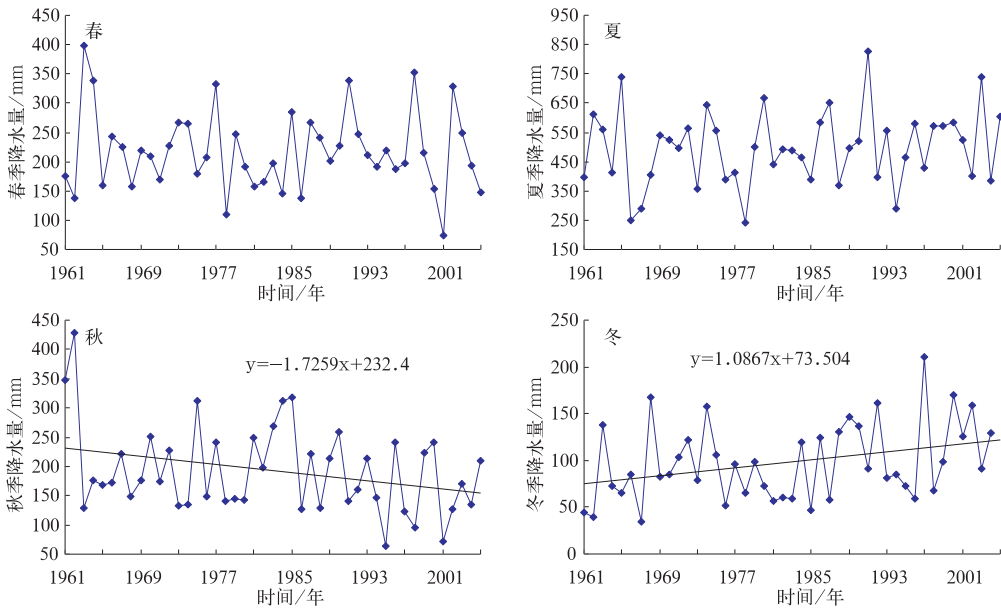


图 3 1961—2005 年江苏省四季平均降水量年际变化曲线

2.2 江苏省降水量气候变化趋势的空间分布

图 4 是江苏省年降水量变化趋势空间分

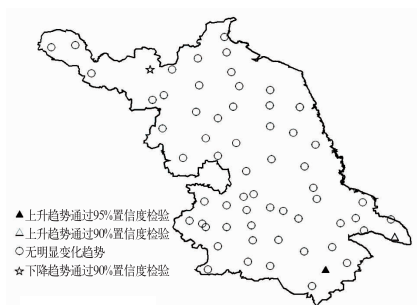


图 4 1961—2005 年江苏省年降水量变化趋势空间分布

布图。从图 4 可以看出,仅个别站为显著升(降)趋势(2 个站上升趋势,1 个站下降趋势)外,江苏全省年降水量基本上无明显变化。

由江苏省四季降水量变化趋势空间分布图(图 5)可以看出,江苏全省春季降水量普遍无明显变化趋势;夏季降水量除苏南东部沿海部分地区(12 个站)为显著上升趋势外,其他大部分地区无明显变化趋势;全省一半以上台站(33 个站)的秋季降水量为下降趋势,尤其是苏南大部分台站下降趋势尤为显著(通过了 95%置信度检验);苏中和苏南地区冬季降水量普遍呈上升趋势(44 个站),尤其是苏南地区,冬季降水量为显著上升趋势。

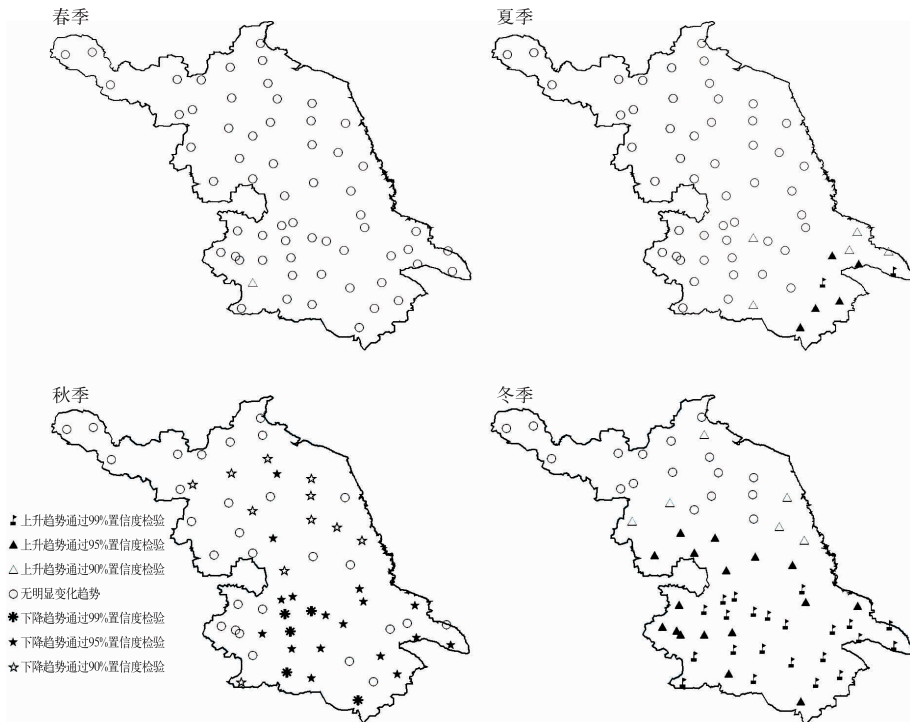


图 5 1961—2005 年江苏省四季降水量变化趋势空间分布

2.3 江苏省降水日数气候变化趋势的空间分布

由全省年降水日数变化趋势空间分布(图 6)可以看出,除个别台站年降水日数为上升趋势外(6 个站),全省近一半的台站(26 个站)出现了降水日数下降趋势。由全省四

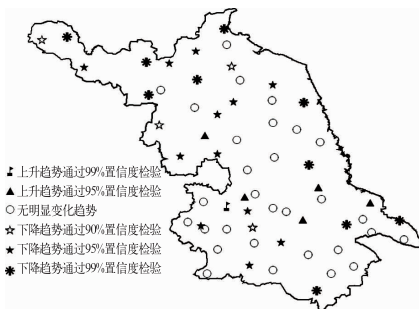


图 6 1961—2005 年江苏省年降水日数变化趋势空间分布

季降水日数变化趋势空间分布图(图 7)可以看出,全省秋季降水日数为显著下降趋势,尤其是苏南地区,大部分台站下降趋势都通过了 95% 以上的置信度检验;冬季苏中部分地区(14 个站)降水日数为上升趋势;春季有 23 站降水日数呈下降趋势外,其它台站无明显变化;夏季降水日数无明显变化特征。

2.4 江苏省极端强降水事件气候变化趋势

江苏省年和四季的极端强降水总量、极端强降水事件频率、极端强降水事件强度变化的 MK 趋势检验如图 8,可以看出江苏省夏季极端强降水总量和极端强降水事件频率均通过了 90% 的置信度检验,为上升趋势,秋季极端强降水事件强度通过了 90% 的置信度检验,为显著下降趋势,其他季节无明显变化趋势。

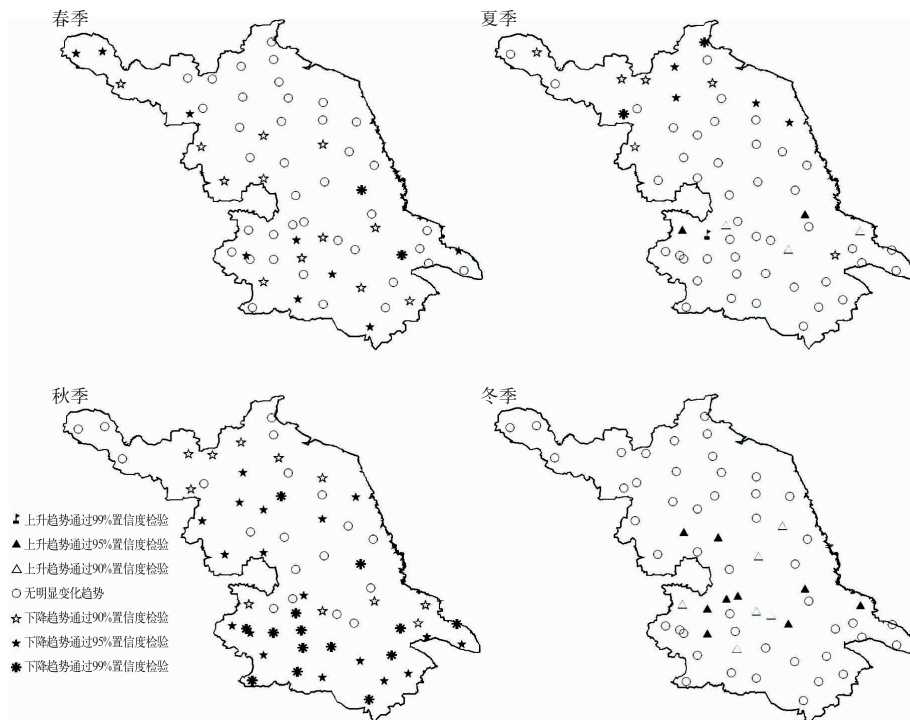


图 7 1961—2005 年江苏省四季降水日数变化趋势空间分布

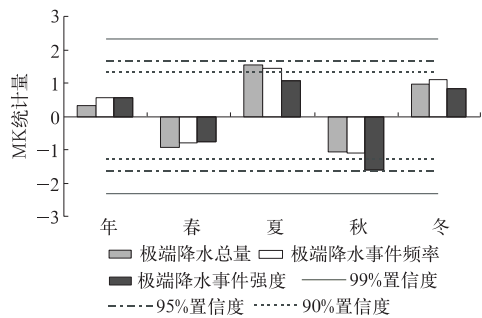


图 8 1961—2005 年江苏省年和季节极端强降水事件变化趋势的 MK 检验

2.5 不同等级降水年总量和降水日数的变化趋势

将各站逐日降水量 p 分为: $0 < p < 10\text{mm}$, $10 \leq p < 25\text{mm}$, $25 \leq p < 50\text{mm}$, $50 \leq p < 100\text{mm}$, $p \geq 100\text{mm}$ 五个等级,并对逐年各等级降水的年总量和日数进行统计分析。江苏省各等级降水年总量和降水日数变化趋

势的 MK 检验统计量如图 9。可以看出,各等级降水年总量变化趋势都没有通过显著性检验,无显著变化趋势。各等级降水日数中, $0 \sim 10\text{mm}$ 的年降水日数呈显著下降趋势,通过了 99% 的置信度检验,其气候倾向率为 $-1.96\text{d}/10\text{a}$ 。

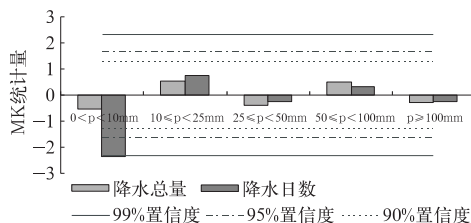


图 9 1961—2005 年江苏省不同等级降水年总量和降水日数变化趋势的 MK 检验

3 结论与讨论

本文利用江苏省 62 个常规气象站

1961—2005 年降水资料,系统分析了江苏省降水的气候变化趋势,可以归纳为如下几点结论:

(1) 1961—2005 年江苏省年降水量无显著变化趋势。秋季降水量呈显著下降趋势,其气候倾向率为 $-17.3\text{mm}/10\text{a}$,江苏南部地区下降趋势最为显著。冬季降水量呈显著上升趋势,其气候倾向率为 $10.9\text{mm}/10\text{a}$,上升趋势显著的区域主要位于江苏中部和南部地区。春季降水量全省普遍无显著变化趋势。夏季降水量除江苏东南部地区为显著上升趋势外,全省大部分地区无显著变化趋势。年和四季降水量在时间和空间上的变化趋势与邓自旺等^[12]研究结论基本一致。

(2) 1961—2005 年江苏省年降水日数呈略有下降趋势,以小于 10mm 的年降水日数下降尤为明显。秋季降水日数为显著下降趋势,江苏南部地区下降幅度较大。冬季降水日数为上升趋势,显著上升的区域主要集中在江苏中部地区。

(3) 1961—2005 年江苏省夏季极端强降水总量、极端强降水事件频率为显著增加趋势,秋季强降水事件强度为显著下降趋势。

我国夏季降水在 1970 年代后期存在着空间结构变化,而这种变化在江苏夏季降水量上没有多大体现,这可能与江苏地理位置特殊有关,江苏地处中国东部中纬度地区,为南北交界位置,既受到中高纬系统,又受到低纬环流的影响,因此影响江苏夏季降水的因子较多,如东亚夏季风、海温和大气环流异常等,同时夏季也是梅雨和台风暴雨的多发期,这些因素都会对降水产生影响。本文仅对江

苏省降水的长期变化趋势进行了初步分析,对引起江苏省降水变化的原因还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 张志强,孙成权. 全球变化研究十年新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(5): 464-477.
- [2] 施能,黄先香,杨扬. 1948—2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时、空特征[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 971-982.
- [3] 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.
- [4] 王颖,施能,顾骏强,等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 162-170.
- [5] 杨宏青,陈正洪,石燕,等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势[J]. 气象, 2005, 31(3): 66-68.
- [6] Zhai P. M., Sun A. J., Ren F. M., et al. Changes of Climate Extremes in China [J]. Climate Change, 1999, 42(1): 203-218.
- [7] 曾燕,邱新法,刘昌明,等. 1960—2000 年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. 水科学进展, 2007, 18(3): 311-318.
- [8] Kendall M. G. A New Measure of Rank Correlation [J]. Biometrika, 1938, 30(1-2): 81-93.
- [9] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [10] 苏布达,姜彤,任国玉,等. 长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 9-14.
- [11] Bonsal B. R., Zhang X., Vincent L. A., et al. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada[J]. Journal of Climate, 2001, 14(9): 1959-1976.
- [12] 邓自旺,周晓兰,陈海山. 江苏降水长期趋势及年代际变化空间差异分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(6): 696-705.