

孙燕, 朱伟军, 魏建苏, 等. 江苏夏季旱涝异常的时空变化特征 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 723-730

江苏夏季旱涝异常的时空变化特征

孙燕^{1,2}, 朱伟军¹, 魏建苏^{1,2}, 吴海英², 赵凯¹

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044

2 江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要: 利用 1961—2004 年中国 160 站和江苏省 59 站月平均降水资料, 采用分层聚类方法将江苏划分为 3 个区域: 淮北地区 (I 区)、江淮之间及沿江地区 (II 区) 和苏南地区 (III 区)。在此基础上, 重点分析了 3 个分区夏季降水异常的时空变化特征及其与全国其他地区的对应关系。结果表明: 3 个区域的夏季降水异常都存在显著的年际变化和年代际变化特征, 但各区域间旱涝异常并没有一致的对对应关系, 特别是南北区域的年代际变化差异非常明显。淮河以南大部分地区的降水异常都存在准 9 a 和准 5 a 的年际振荡周期, 年代际变化略有上升; 淮北地区和苏南地区还存在 12~15 a 的年代际周期, 并且淮河以北年代际变化呈现下降趋势; 此外, 江苏夏季降水异常通常与河套、华北北部和华南南部的夏季降水异常呈现反位相对应关系。

关键词: 江苏; 夏季旱涝; 年际变化; 年代际变化

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2008)05-0723-08

Spatial and Temporal Variations of Summer Flood and Drought in Jiangsu Province of China

SUN Yan^{1,2}, ZHU Weijun¹, WEI Jian-su^{1,2},

WU Haiying², ZHAO Kai¹

(1. School of Atmospheric Sciences NUIS, Nanjing 210044 China

2. Jiangsu Meteorological Observatory Nanjing 210008, China)

Abstract Based on the monthly mean precipitation data at 160 stations of China and 59 stations of Jiangsu during 1961—2004, the Lamination Cluster Method is firstly used to divide total Jiangsu region into three subregions i.e. the north to Huahe River (Region I), the in-between of the Yangtze River and the Huahe River with their riverside areas (Region II), and the southern Jiangsu (Region III). On this basis, the investigation is focused on the spatial and temporal variations of summer precipitation anomalies over the three subregions as well as their possible relationships with other areas in China. Results show that the summer precipitation anomalies over the three subregions exhibit remarkable interannual and interdecadal variations, but the variations are inconsistent in different subregions, especially the interdecadal variation with very evident difference between the south and north to Huahe River. The quasi-5-yr and quasi-9-yr interannual variations of summer precipitation anomaly exist in most areas south to Huahe River with an increasing interdecadal trend appreciably, and the 12—15-yr interdecadal variation does in the regions north to Huahe River and the southern Jiangsu, meanwhile an decreasing interdecadal trend occurs in the north to Huahe River. Moreover, the summer precipitation anomaly in Jiangsu is usually out-of-phase with that in Hetao area, the northern North China and the southern South China.

Key words Jiangsu; summer flood and drought; interannual variation; interdecadal variation

收稿日期: 2007-04-27; 改回日期: 2008-08-19

基金项目: 江苏省重大科技资助项目 (BS2006086); 江苏省气象局开放基金资助项目 (200704)

作者简介: 孙燕 (1976—), 女, 山东潍坊人, 博士生, 工程师, 主要从事短期区域气候诊断与预测研究, jsshqxts@sina.com.

0 引言

我国地处东亚季风区,具有明显的季风气候特征,降水主要集中于夏季,因此夏季降水预报是我国短期气候变化研究和预测最重要的课题之一。广大气象工作者研究了亚洲季风^[1]、西太平洋副热带高压^[2]、海冰^[3]、青藏高原热源^[4]以及南亚高压^[5]等因素对我国降水的影响。江苏地处江淮流域,地跨温带、亚热带,尤其受季风进退异常的显著影响,属于气候脆弱带,气候异常内容广泛,对江苏而言主要有汛期降水、夏季高温、冬季严寒和台风等。以往对江苏夏季降水的研究多以梅雨期降水为主^[6-8],毛文书等^[9]分析了近 116 a 江淮梅雨的异常及其环流特征。Wu 等^[10]分析了长江中下游梅雨与春季南半球年际模态的关系。近两年来,对江苏夏季旱涝规律及其物理机制的研究增多,庄樱等^[11]分析了江苏 13 站夏季降水和太平洋海温的关系。陶玫等^[12]对江苏夏季旱涝天气气候的环流特征进行了分析。汪方等^[13]对江苏夏季逐日降水极值进行了统计诊断研究。陈海山等^[14]发现江苏夏季降水异常主要表现出两种最为典型的空间分布。

随着江苏加密站和自动站的建立,在时间和空间上都可以得到更加精细准确的资料。因此,本文以江苏 59 站的夏季月降水资料为研究对象,把全国降水的变化情况作为大背景,重点分析江苏夏季降水的年际变化、年代际变化等基本气候特征。

1 资料

中国气象局气候中心整编的中国 160 站 1961—2004 年月平均降水资料(其中江苏站点只有 5 个,分别为徐州、连云港、南京、靖江、东台);江苏省 59 站(空间分布如图 1 所示,包含前面 5 站) 1961—2004 年月平均降水资料。

2 江苏夏季降水变化场的气候分区

根据各站点夏季降水的年际变化对江苏 59 站进行分区,分区方法采用分层聚类,即开始把参与聚类的每个个体视为一类,根据距离逐层合并,直至一类为止。实现分层聚类的方法有多种,它们的主要区别在于如何定义和计算两项(个体或类)之间的距离。本文运用社会科学统计软件包(Statistical Package for the Social Science,简称 SPSS^[15]),采用组内连接,组间距离测度标准采用 Pearson correlation 系数。基本步骤如下:(1)各站资料序列先各自

成一类;(2)将通过显著性检验的相关性最大的站合并成一新类;(3)计算新类中所含站的平均要素序列,参与下一步的归并,再将通过显著性检验的相关性系数最大的类进行合并;(4)重复上述第 3 步,直到达到希望的类数。相关系数表达式为

$$r(x, y) = \sum_{i=1}^n (z_{xi}, z_{yi}) / (n - 1)。$$

其中: n 为样本数; z_{xi} , z_{yi} 分别为经标准化处理后的样本序列。

对江苏 59 站 1961—2004 年夏季平均降水进行分区,其分层聚类的分区(组)结果最多有 59 种。究竟哪一种分区是相对最好的,为此,本文分别统计了从 59 个区(组)连续分层聚类到 1 个区(组)的情况。连续计算了每一种分区方案的组(区)内和组(区)间的平均相关系数。将组内和组间的平均相关系数之差值(Δr)作为衡量分区效果好坏的指标,即分区达到某一数量后,组内平均相关系数不断增大,组间平均相关系数不断减小,而 Δr 则不断接近一渐近线,结合站点的地理位置,依此来确定不同季节降水的“最佳”分区方案(图略)。江苏 59 站 1961—2004 年夏季降水的“最佳”分区可定为 3 个,如图 1 所示,即淮北地区(I 区, 17 站)、江淮之间和沿江地区(II 区, 28 站)、苏南地区(III 区, 14 站)。

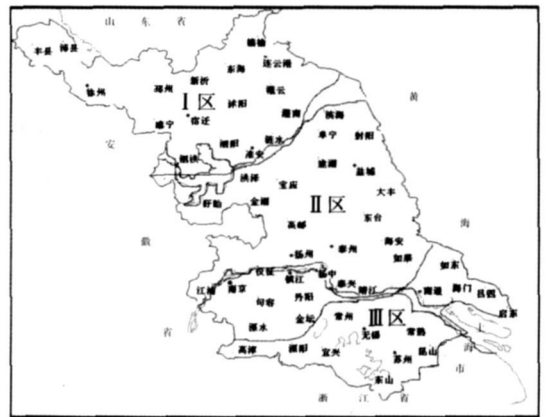


图 1 江苏 59 站空间分布及其分区

Fig. 1 59 stations' spatial distribution of Jiangsu and its three subdivisions

3 江苏 3 个分区夏季降水的时间变化特征

- 3.1 江苏 3 个分区夏季降水异常的年际变化特征
 - 3.1.1 江苏夏季降水旱、涝年的选取
- 为估算各个地区降水异常情况,计算区域平均

降水的 标准化值, 本文将其定义为 I 指数^[16]。图 2 为 1961—2004 年 I 指数年际变化曲线及其 9 a 滑动平均。由图 2 可见, 各分区降水均有着明显的年际波动: I 区在 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中后期年际波动小, 其他时期波动相对剧烈; II 区在整个 44 a 里年际波动相对于其他两个区域均比较剧烈, 只是在 80 年代中期和 90 年代中后期到 21 世纪初的年际波动相对小; III 区在 60 年代到 70 年代中后期年际波动小, 70 年代末以后波动都相对剧烈。可见, 江苏各分区夏季降水年际异常虽有一些相似的特征, 但各区域间旱涝并没有较好的一一对应关系, 区域间旱涝差异较大, 特别是 I 区和 III 区的差异尤为突出。因此, 在分析江苏全区夏季旱涝成因时, 应该注意各分区旱涝的规律和特点。

如果以降水标准化距平绝对值 1.0 作为标准, 即对应的降水距平为均方差的 1.0 倍, 来选取各个区域夏季降水偏多(涝)、偏少(旱)的年份, 结果列于表 1。由表 1 可见, 淮北地区夏季涝年有 7 a 旱年共有 3 a 其夏季降水异常偏多、偏少的年份占到 22.7%, 即平均 4.4 a 左右就有 1 a 是旱年或涝年, 最涝年为 2003 年, 最早年为 1999 年。江淮之间和沿江地区夏季涝年有 5 a 旱年有 4 a 其夏季降水异常偏多、偏少的年份占到 20.5%, 即平均 4.9 a 左右就有 1 a 是旱年或涝年, 最涝年为 1991 年, 最早

年为 1978 年。苏南地区夏季涝年有 5 a 旱年共有 3 a 其夏季降水异常偏多、偏少的年份占到 18.2%, 即平均 5.5 a 左右就有 1 a 是旱年或涝年, 最涝年为 1999 年, 最早年为 1978 年。

表 1 江苏全区及 3 个分区的夏季涝、旱年份
Table 1 Summer flood and drought years of total Jiangsu and its three subareas

区域	涝年	旱年
I 区	1963, 1965, 1971, 1974 1990, 2000, 2003	1966, 1988, 1999
II 区	1965, 1980, 1987, 1991, 2003	1966, 1967, 1978, 1994
III 区	1980, 1987, 1991, 1999, 2001	1967, 1968, 1978
全区	1965, 1991, 2003	1966, 1967, 1978, 1994

综上所述, 不存在 3 个区域夏季降水同时是涝年或旱年的年份, 江苏省南北跨 460 km, 夏季降水分布具有很大的南北差异, 特别是 1999 年——淮东北地区最早的年份, 却是苏南地区最涝的年份。值得注意的是 1965 年和 2003 年, I 区和 II 区, 即沿长江及其以北的广大区域都是降水偏多, 而该区域在 1966 年降水偏少; 而 1980 年、1987 年和 1991 年 II 区和 III 区, 即淮河以北的区域都是涝年, 1967 年和 1978 年则是该区的旱年。

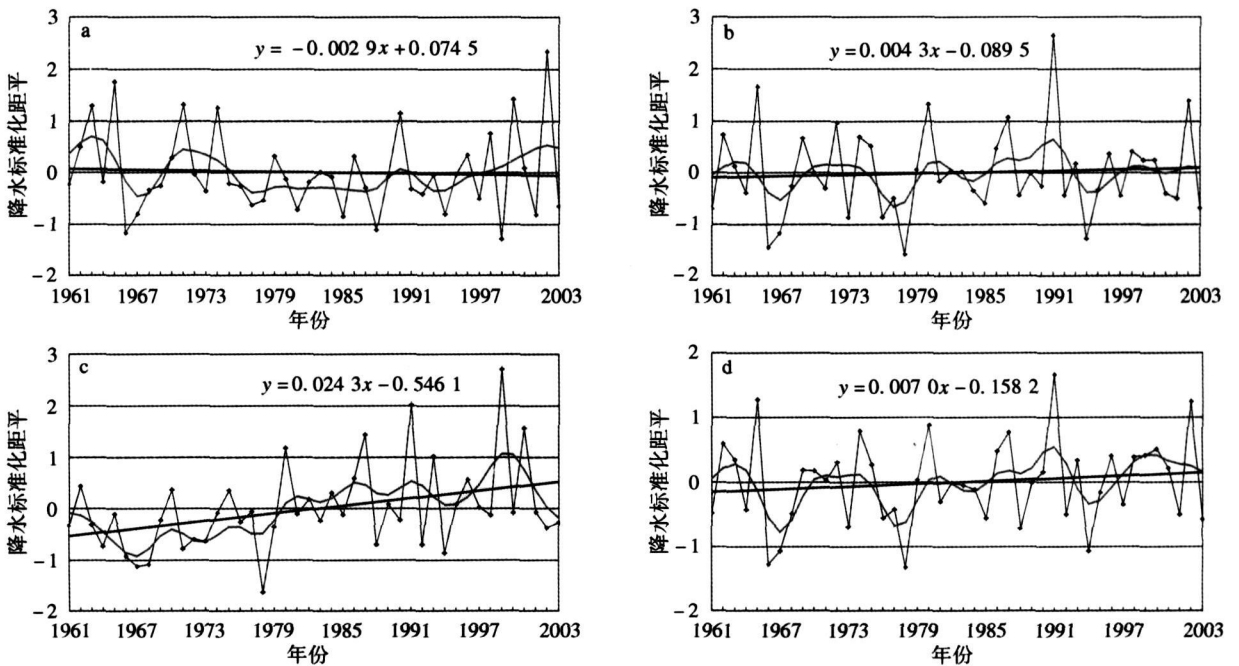


图 2 江苏 3 个分区 (a, b, c) 和全区 (d) 夏季降水的标准化距平 (折线)、9 a 滑动平均 (曲线) 和线性趋势线 (粗实线)

Fig. 2 Normalized anomalies (curved lines with black points), 9-yr running mean values (curved lines) and linear trends (thick solid lines) of summer precipitation in (a) I, (b) II and (c) III subregions and (d) total Jiangsu

3.1.2 江苏 3 个分区夏季降水异常的小波分析

利用小波分析方法,把时间和频率作为独立变量,将一维信号在时间和频率两个方向上展开,可以较好地揭示信号中各种频率的时间结构。小波功率谱是否显著,用红噪声或白噪声标准谱进行检验:如果原资料序列滞后 1 的自相关系数 $r(1) > 0.1$,则用红噪声谱检验;如果原资料序列滞后 1 的自相关系数 $r(1) \leq 0.1$,则令 $r(1) = 0$ 用白噪声谱检验。根据文献 [17],小波功率谱遵从 χ^2 分布特征。先计算小波功率谱分布的有效自由度,给出 χ^2 分布的显著性水平,如 $\alpha = 0.05$,然后计算红噪声或白噪声的显著性理论谱 P 。当某尺度小波功率谱大于理论谱时,说明这种尺度对应的周期是显著的,可信的。本文分别对江苏 3 个区域 1961—2004 年 44 a 的夏季降水标准化距平时间序列,运用 Morlet 小波分析不同时间尺度的变化特征(图 3),并且用红或白噪声标准谱进行检验(图略)。从图 3 可以看到, I 区夏季降水存在 12~15 a 准 9 a 4~6 a 的振荡周期,并且都通过了 95% 的显著性检验;其中 12~15 a 的年代际周期和准 9 a 的际周期振荡表现较稳定,

近 44 a 来始终存在;准 6 a 的振荡周期主要发生在 90 年代以后;准 4 a 的振荡周期主要发生在 70 年代到 80 年代。II 区夏季降水存在准 9 a 准 5 a 的际振荡周期,44 a 来一直稳定存在,而且准 5 a 的际振荡周期通过了 95% 的显著性检验。III 区夏季降水存在 12~15 a 的年代际周期和准 9 a 准 5 a 的际振荡周期,只有 12~15 a 的年代际周期通过了 95% 的显著性检验;其中 12~15 a 的年代际周期表现较稳定,近 44 a 来始终存在;准 9 a 的振荡周期主要发生在 70 年代中后期以后;准 5 a 的振荡周期主要发生在 60 年代中期到 80 年代中期。

由此可见,淮河以南的大部分地区都存在着准 9 a 准 5 a 的际振荡周期,表现较稳定,但不是很显著, I 区的准 9 a 和 II 区的准 5 a 周期通过了 95% 的显著性检验;淮北地区和苏南地区都存在着 12~15 a 的年代际周期,既通过了 95% 的显著性检验又相对稳定。

3.2 江苏夏季旱涝异常的年代际变化特征

为了更好地研究江苏夏季降水异常的年代际变化趋势,本文采用二项式系数加权平均法对江苏 3

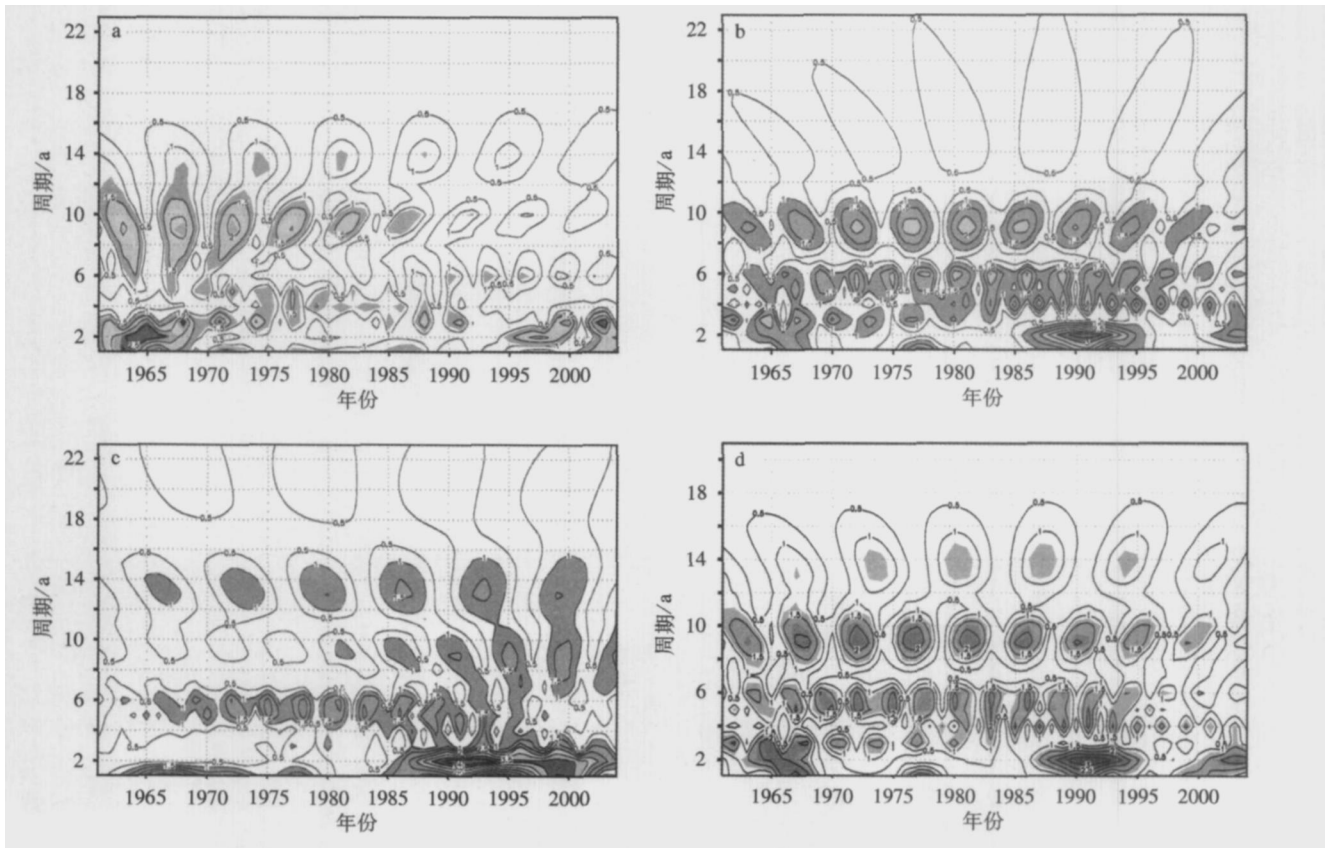


图 3 江苏 I 区 (a)、II 区 (b)、III 区 (c) 和全区 (d) 夏季降水标准化距平的小波系数 (阴影区大于 1.0)

Fig. 3 Wavelet coefficients of normalized summer precipitation anomalies

in (a) I, (b) II and (c) III subregions and (d) total Jiangsu (the shaded areas denote the values are greater than 1.0)

个分区 44 a 的夏季降水标准化距平的时间序列作 9 a 滑动平均, 如图 2 所示。分析发现, 3 个分区降水异常在年代际变化尺度上不完全一致, 可以明显看到淮北地区 (图 2a) 夏季降水在 20 世纪 60 年代前期处在一个相对偏多的时期, 60 年代后期降水偏少, 70 年代前期夏季降水又偏多, 但之后迅速进入降水偏少期, 且持续时间相对较长, 只是在 90 年代初期存在一个很弱的降水偏多的波动; 90 年代后期开始进入夏季降水偏多的时期。江淮之间和沿江地区 (图 2b) 夏季降水在 60 年代前期和 60 年代后期到 70 年代前期降水处在一个相对偏多的时期, 60 年代中后期和 70 年代中后期降水偏少, 进入 80 年代之后降水又偏多, 且持续时间相对较长, 只是在 80 年代前期和 90 年代中期存在一个小的降水偏少的波动; 多雨少雨交替变化, 旱涝程度加剧。苏南地区 (图 2c) 夏季降水在 44 a 里总体上呈波动上升状态, 并以 1980 年为突变, 之前 60 年代到 70 年代降水偏少, 80 年代以后降水偏多, 且持续时间较长。

3.3 各分区与全区降水异常的关系

为估算整个江苏夏季降水异常情况, 同样采用计算区域标准化距平的方法, 如图 2d 所示。从图 2d 可以明显看到, 江苏全区夏季降水在 44 a 里总体上呈波动上升状态, 并依据此线划分 44 a 来江苏夏季降的旱涝年 (表 1) 及其旱涝期。60 年代前期夏季降水处在一个相对偏多的时期, 60 年代后期降水偏少, 70 年代前期夏季降水又偏多, 但之后迅速进入降水偏少期, 且持续时间相对较长, 只是在 80 年代初期存在一个小的降水偏多的波动; 80 年代后期开始夏季降水进入偏多的时期, 但是在 90 年代中期存在一个降水偏少的波动, 之后又是降水偏多期。

同样用小波分析的方法对江苏全区夏季降水的不同时间尺度的周期特征进行分析 (图 3d)。从图 3d 发现全区存在准 9 a 和准 5 a 的年际振荡周期, 存在 12~15 a 的年代际周期, 而且表现稳定。同样用红或白噪声标准谱进行检验, 发现准 5 a 的年际周期和 12~15 a 的年代际周期通过了 95% 的显著性检验。为了解各分区与全区夏季降水异常的关系, 计算了全区 I 指数与 3 个分区 I 指数的相关系数, 结果见表 2。从表 2 可以看到, 江淮之间和沿江地区夏季降水异常与全区的相关程度最高, II 区降水异常与全区旱涝的一致性较高, 通过了 0.001 的显著性水平检验; 淮北和苏南地区与全区的相关也较高, 通过了 0.05 的显著性水平检验。此外, 江淮之间和沿江地区与苏南地区的相关高于与淮北地区

的相关; 淮北地区和苏南地区的相关性较差, 没有通过显著性检验, 可见江苏夏季降水南北有很大的差异, 具有很大的区域特点, 这也反映了本文分区的合理性。

表 2 各分区与全区降水异常的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of summer precipitation anomalies among total Jiangsu I, II and III subregions

	II 区	III 区	全区
I 区	0.478 ¹⁾	-0.041	0.633 ¹⁾
II 区		0.566 ¹⁾	0.951 ²⁾
III 区			0.638 ¹⁾

注: 1) 表示通过 0.05 的显著性水平检验; 2) 表示通过 0.001 的显著性水平检验。

4 江苏夏季旱涝异常的空间分布

4.1 中国 160 站夏季降水各年代的空间分布

以江苏全区夏季降水标准化距平的 9 a 平滑曲线 (图 2) 为主要依据, 结合 I 指数, 将 1961—2004 年江苏夏季降水划分为 1961—1965 年、1966—1979 年、1980—1991 年、1992—1997 年、1998—2004 年共 5 个时段, 再结合全国 160 站资料, 制作各时段夏季降水标准化距平空间分布 (图 4)。

分析图 4 可见, 1961—1965 年的夏季 (图 4a), 江苏 I 区和 II 区即沿江及长江以北地区降水都是正距平, 特别是淮北地区还处在正距平中心, 而苏南地区是弱的降水负距平, 说明长江以北区域 1961—1965 年夏季降水较常年明显偏多, 苏南地区较常年偏少; 而全国大部分为负距平, 只是在东北及华北东部有一片范围较大的正距平区, 另外在长江中上游和西南地区及福建一带出现范围较小的正距平, 这说明我国大部分地区在 1961—1965 年夏季降水较常年偏少。1966—1979 年的夏季 (图 4b), 整个江苏为一致的负距平, 特别是 III 区还处在负距平中心, 说明江苏在 1966—1979 年夏季降水较常年偏少; 而全国的降水距平分布, 除了西南南部和华南西部、河套、华北是正距平外, 全国大部分地区是负距平, 说明在 1966—1979 年除了上述地区外全国大部分地区夏季降水较常年偏少。1980—1991 年的夏季 (图 4c), 江苏淮北地区是负距平, 其他大部分地区正距平, 说明 1980—1991 年夏季江苏除了淮北地区降水偏少外, 大部分地区降水较常年偏多; 全国的降水分布大部分地区仍然是负距平, 负距平中心在华南及山东半岛, 东北北部及四川、甘肃北部、陕西和长江

中下游是正距平,降水较常年偏多。1992—1997年夏季(图 4d),江苏除了东南部是弱的正距平外,大部分地区都是负距平,且淮北地区位于负距平的中心,降水较常年明显偏少;全国的降水距平分布,35°N以北的大部分地区及长江中下游至华南及西南东部都是正距平,只有中间狭长区域是负距平,该

时段内全国大部分地区降水较常年偏多。1998—2004年夏季(图 4e),整个江苏都是一致的正距平,江苏西部还处在正距平中心;同期除了新疆外,35°N以北的大部分地区都是负距平,而在35°N以南,除了在105°E附近有一个狭长的降水负距平区外,大部分地区是正距平。

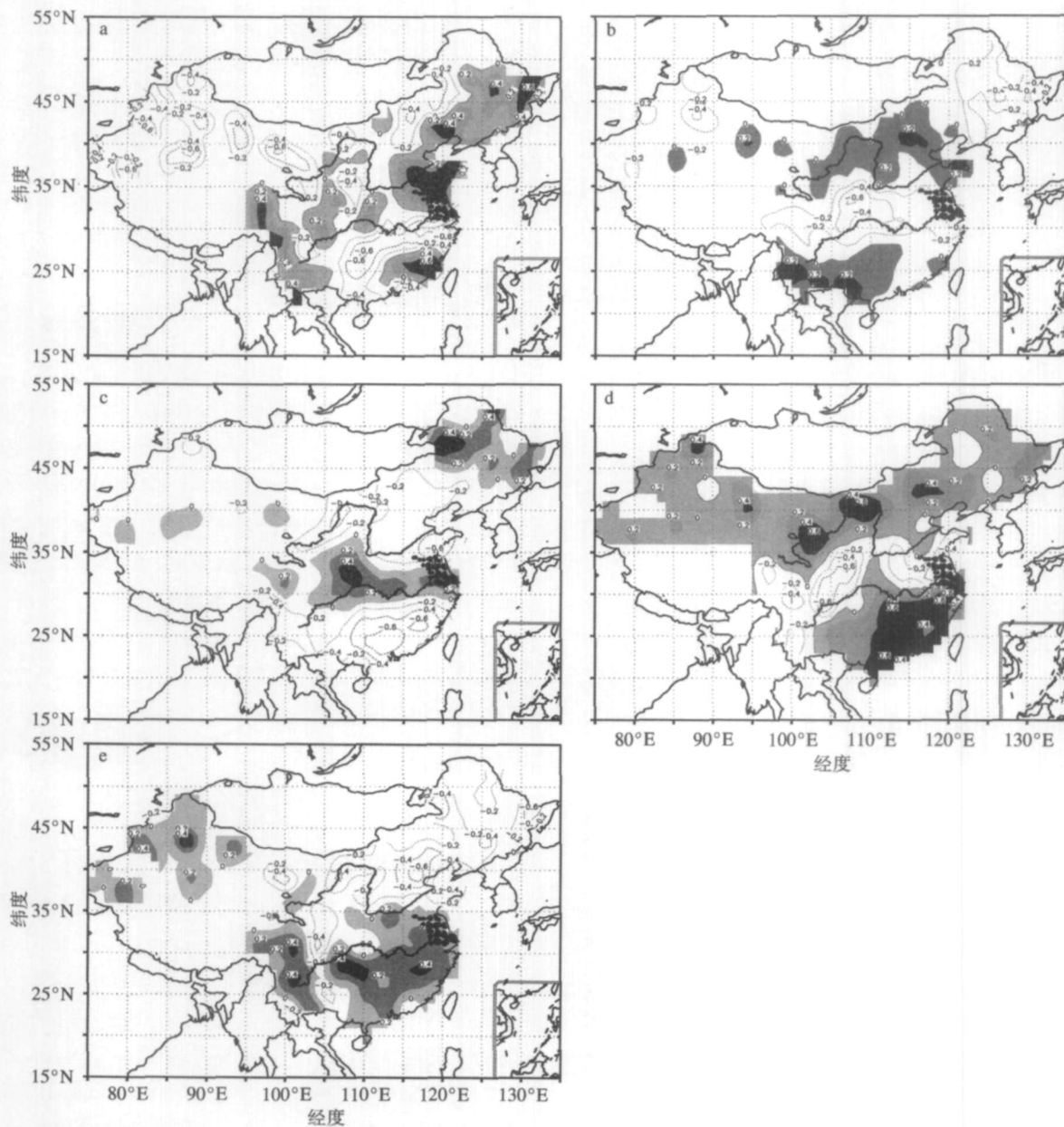


图 4 不同时期的夏季降水标准化距平分布(阴影区为正;单位: mm)

a 1961—1965年; b 1966—1979年; c 1980—1991年; d 1992—1997年; e 1998—2004年

Fig 4 Distributions of normalized summer precipitation anomalies in different periods(the positive values being shaded, units mm)

a 1961—1965; b 1966—1979; c 1980—1991; d 1992—1997; e 1998—2004

4.2 江苏夏季旱涝年时全国降水距平的合成

以江苏全区夏季旱涝年为准, 计算旱 (涝) 年时全国 160 站夏季降水距平百分率的合成分析, 如图 5 所示。江苏涝年时 (图 5a), 除了东北北部、华北北部、长江中下游及西南夏季降水偏多外, 全国大部分地区降水偏少。江苏处在旱年时 (图 5b), 除了河套、华北北部和华南南部外, 全国大部分地区夏季降水偏少。可以看到, 在江苏夏季降水异常的年份, 江苏夏季降水通常与河套、华北北部和华南南部的夏季降水呈现反位相关系。

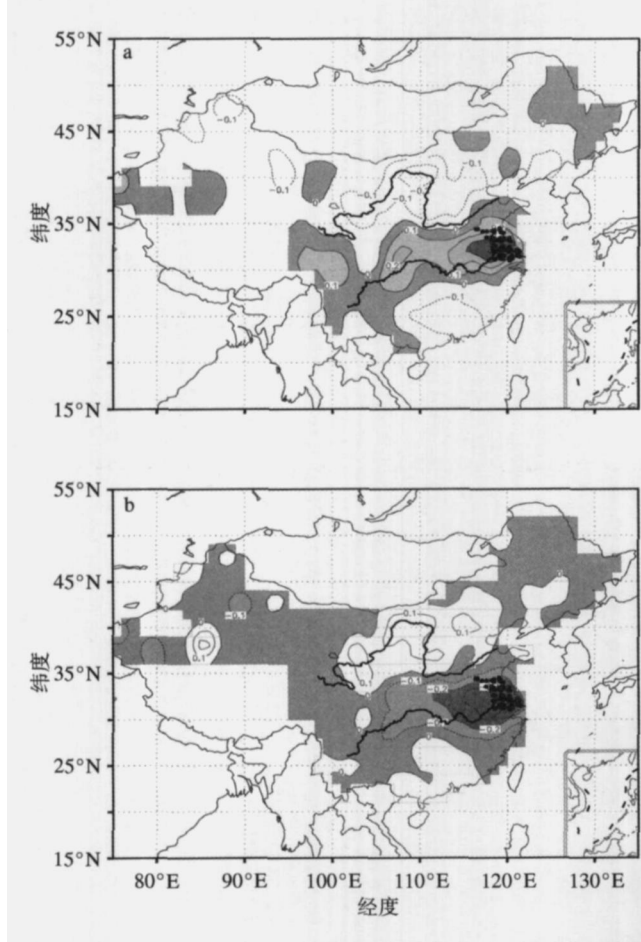


图 5 江苏涝年 (a 阴影区为正)、旱年 (b 阴影区为负) 同期全国夏季降水距平百分率合成

Fig 5 Composite summer precipitation anomaly percentage in China in (a) Jiangsu flood and (b) drought years (The shaded areas denote the values in Fig. a/ in Fig. b are positive/negative)

4.3 夏季降水趋势系数的空间分布

为研究气象要素在气候变化中升降的定量程度, 定义了气候趋势系数 r_{xt} [18]:

$$r_{xt} = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}$$

其中: n 为年数; x_i 为第 i 年要素值; \bar{x} 为平均值; $\bar{t} = (n + 1) / 2$ 。显然 r_{xt} 为正 (负) 时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增 (降) 的趋势。

为了分析江苏夏季降水变化的长期演变趋势, 给出全国夏季降水趋势系数的空间分布 (图 6)。江苏夏季降水出现北少南多的趋势, 即淮河以南的大部分地区夏季降水呈现一致升高的趋势, 而淮河以北夏季降水呈现减少的趋势。全国夏季降水也呈现北少南多的趋势分布, 整个长江中下游和华南呈现降水偏多的趋势, 全国大部分地区降水呈现减少的趋势。

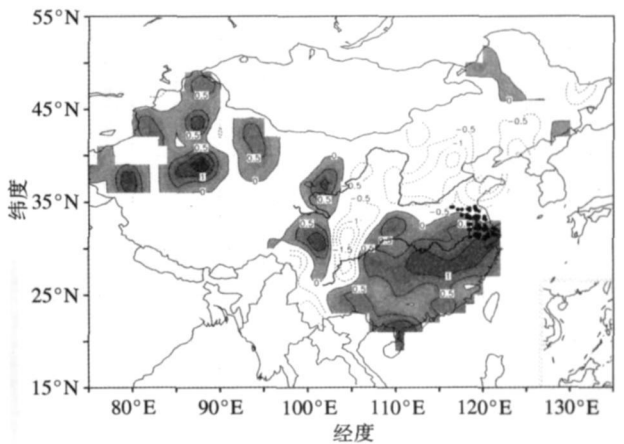


图 6 全国夏季降水趋势系数的空间分布 (阴影区为正)

Fig 6 Spatial distribution of summer precipitation trend coefficients in China (the positive values being shaded)

5 结论

(1) 采用分层聚类的方法把江苏分为 3 个区域, 即淮北地区 (I 区, 17 站)、江淮之间和沿江地区 (II 区, 28 站)、苏南地区 (III 区, 14 站)。

(2) 江苏各分区夏季降水年际和年代际变化虽有一些相似的特征, 但各区域间旱涝并没有较好的对应关系, 区域间旱涝差异较大, 特别是 I 区和 III 区的差异尤为突出。

(3) 用小波分析方法得到淮河以南的大部分地区都存在着准 9 a 准 5 a 的年际振荡周期, 而且表现较稳定, I 区的准 9 a 和 II 区的准 5 a 周期通过了 95% 的显著性检验; 淮北地区和苏南地区都存在着 12~15 a 的年代际周期, 通过了 95% 的显著性检

验。

(4) 在江苏夏季降水异常的年份, 降水通常与青海、河套、华北北部和华南南部的夏季降水呈现反位相关关系。

(5) 江苏淮河以南的大部分地区夏季降水呈现一致升高的趋势, 而淮河以北呈现减少的趋势。全国夏季降水的趋势分布表明, 整个长江中下游和华南呈现降水偏多的趋势, 全国大部分地区降水呈现减少的趋势。

参考文献:

- [1] Gong Daoyi, Changhoi H O. Arctic oscillation signals in the East Asian summer monsoon [J]. *J Geophys Res* 2002, 108 (D2): ACL14
- [2] 闵锦忠, 李春, 吴芃. 夏季热带西太平洋对流与长江中下游降水关系的研究 [J]. *大气科学*, 2005, 29(6): 947-954
- [3] Zhao P, Zhang X D, Zhou X J et al. Sea-ice extent anomaly in the North Pacific and its impact on the East Asian summer monsoon rainfall [J]. *J Climate*, 2004, 17(6): 3434-3447
- [4] Zhao P, Chen L X. Interannual variability of atmospheric heat source/ sink over the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its relation to circulation [J]. *Adv Atmos Sci* 2001, 18 (1): 106-116
- [5] 孙燕, 王谦谦, 钱永甫, 等. 华北汛期降水异常与 100hPa 高度场异常的关系 [J]. *气象科学*, 2003, 23(4): 418-425
- [6] 王钟睿, 钱永甫. 江淮梅雨的多尺度特征及其与厄尔尼诺和大气环流的联系 [J]. *南京气象学院学报*, 2004, 27(3): 84-90.
- [7] 刘明丽, 王谦谦. 江淮梅雨期极端降水的气候特征 [J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(5): 676-687
- [8] 鲍学俊, 王盘兴, 覃军. 南极涛动与江淮梅雨异常的时滞相关分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(3): 348-352
- [9] 毛文书, 王谦谦, 葛旭明, 等. 近 116 年江淮梅雨异常及其环流特征分析 [J]. *气象*, 2006, 32(6): 84-90
- [10] Wu Zhijie, He Jinhai, Han Guirong et al. The relationship between Mei yu in the middle and lower reaches of the Yangzi River Valley and the boreal spring southern hemisphere annual mode [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2006, 22(1): 89-90
- [11] 庄樱, 孙照渤. 江苏夏季降水特征及其与太平洋海温的关系 [J]. *南京气象学院学报*, 2007, 30(6): 835-840
- [12] 陶玫, 吕军, 于波. 江苏夏季旱涝环境演变特征分析 [J]. *气象科学*, 2008, 28(1): 85-89
- [13] 汪方, 丁裕国, 范金松. 江苏夏季逐日降水极值统计特征诊断研究 [J]. *气象科学*, 2002, 22(4): 435-443
- [14] 陈海山, 朱伟军, 邓自旺, 等. 江苏近 40 年夏季降水异常及其成因分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2003, 26(6): 721-732
- [15] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000
- [16] 龚强, 汪宏宇, 王盘兴, 等. 东北夏季降水年代际、年际变化的区域差别 [J]. *气象科学*, 2007, 27(6): 672-678
- [17] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull Amer Meteor Soc* 1998, 79(1): 61-78
- [18] 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