

文章编号: 1000-2022(2005)01-0093-08

我国夏季东部区域降水异常年代际、年际变化分析

段明铿, 王盘兴, 林开平

(南京信息工程大学 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘要:用华南、江淮、华北代表站 6—8 月降水量标准化距平的区域平均值定义了降水异常指数 I , 论证了它与常用指数 Z 、 R 的一致性。不同区域 I 的同期相关不显著, 表明 3 区降水年际异常具有独立性。用周期分析将 I 分解为年代际、年际变化指数 I_s 、 I_f , 方差分析表明, 只有华南区域 I_s 在其 I 的构成中显著, 表明区域夏季降水异常是复杂的。对 I_s 、 I_f 曲线的分析表明, 3 个区域 I_s 均表现出与太平洋年代际振荡 (PDO) 20 世纪 70 年代的转折有关的相关关系, 华北区域 I_f 的显著偏少与强 El Niño 事件的同时性关系密切。

关键词:夏季 (6—8 月); 区域降水异常指数; 年代际和年际变化; PDO; ENSO 事件
中图分类号: P426.614 **文献标识码:** A

天气、气候学分析表明, 我国东部华南、江淮、华北 3 个区域夏季 (6—8 月) 有相对独立的降雨带, 其降水异常与副高、季风异常等有紧密联系。相对而言, 目前针对江淮、华北地区夏季降水异常的研究较华南地区的多^[1]。此外, 由于这些区域降水异常成因的复杂性, 目前得到的关于异常成因的一些结论尚带有不确定性^[1-7]。导致降水年代际变化的因素也很多, 研究表明太平洋年代际振荡 (PDO) 通过影响亚洲夏季风, 进而造成华北夏季降水异常的年代际变化^[3]。影响我国东部地区夏季降水年际变化的因素很多, 而 ENSO 是其中的一个重要因子。关于 ENSO 对我国夏季降水影响的研究认为, 其影响主要集中在华北和江淮区域, 并且认为分地区而论比较恰当^[1-2, 4]。由于不同研究者所使用的方法、资料和研究的着眼点不同, 产生了不同的认识, 有研究认为 ENSO 对我国夏季降水影响最显著的区域是在江淮区域, 而有的研究则认为 ENSO 是影响华北地区汛期降水的重要因素; 还有研究认为 El Niño 对我国旱涝分布的影响因其所处阶段的不同会有不同的结果, 在 El Niño 发展阶段的夏季江淮流域降水偏多, 黄河流域和华北地区降水偏少, El Niño 衰减阶段的夏季则相反。

本文用测站降水量标准化距平的区域平均值构造了区域降水异常指数 I , 按文献 [8] 的谐波分析方法, 分析了它们在时域上的年代际、年际变化 (分别对应慢、快变分量) 构成; 在此基础上, 研究了华南、江淮、华北 3 个区域的夏季降水异常特征, 及其与太平洋年代际振荡 (PDO) 和 El Niño、La Niña 事件之间的关系。

收稿日期: 2003-11-20 改回日期: 2004-02-25

基金项目: 科技部社会公益研究专项资金“珠江流域广西境内流域面雨量预报与汛期洪涝监测业务体系研究” (37020)

作者简介: 段明铿 (1979-), 男, 甘肃靖远人, 博士生, 研究方向: 短期气候预测, E-mail: mingkeng@sohu.com.

1 资料

使用中国气象局提供的中国 160 站月平均降水量,覆盖时段为 1951 年 1 月—2002 年 12 月,共 52 a。根据研究对象和目的,选择时间分辨率为季,6—8 月为夏季 ($t_y = 1 \sim 52$)。按文献 [9],华南、江淮、华北 3 个区域的代表站如表 1 所示。

表 1 华南、江淮、华北区域代表站

Table 1 Representative stations in South China, the Changjiang-Huaihe valley and North China

区域 (站数)	代表站
华南 (15)	厦门, 梅县, 汕头, 曲江, 河源, 广州, 阳江, 湛江, 海口, 桂林, 柳州, 梧州, 南宁, 北海, 百色
江淮 (17)	南京, 合肥, 上海, 杭州, 安庆, 屯溪, 九江, 汉口, 钟祥, 岳阳, 宜昌, 常德, 宁波, 衢县, 贵溪, 南昌, 长沙
华北 (17)	承德, 北京, 天津, 石家庄, 德州, 邢台, 安阳, 烟台, 青岛, 潍坊, 济南, 临沂, 菏泽, 郑州, 长治, 太原, 临汾

2 区域降水异常指数的定义

表征区域降水异常程度的指数很多,常用的有 Z 指数^[10]、 R 指数距平百分率^[11]等,它们通常有较为复杂的形式。

本文把代表站降水量标准化距平的区域平均值定义为区域降水指数 I ,

$$I(t_y) = [\bar{p}'_A](t_y) = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m p'_A(s, t_y) \quad (1)$$

其中 $p'_A(s, t_y)$ 为某区 s 站、 t_y 年夏季降水量的标准化距平, m 为区域代表站总数, $[\]$ 为区域平均算子。

为了验证 I 指数反映区域降水年际异常的能力,计算了华南、江淮、华北 3 区 1951—2002 年逐年 I 、 Z 、 R 指数。图 1 给出了它们的时间变化曲线。由图可以看出,除了个别区域的个别年份, I 指数与 Z 、 R 指数的性质(指 +、- 号)及强度表现出高度的一致性;计算表明,同一区域 I 、 Z 、 R 指数间的相关系数均在 0.945 以上(表 2)。

可见,3 种指数用于表达区域降水异常是等价的。但是, I 指数的构造简单,且统计意义清晰。因此,在本文以下的讨论中采用指数 I 。

3 I 的时域分解、方差分析和相关分析

3.1 I 的时域分解

根据文献 [8], 序列 $I(t_y)$ 、 $t_y = 1 \sim T_y$ (总年数 $T_y = 52$), 可用周期分析方法分解为

$$I(t_y) = \sum_{k=1}^6 I_k(t_y) + \sum_{k=7}^{26} I_k(t_y) = I_s(t_y) + I_f(t_y) \quad (2)$$

表 2 同一区域 I 、 Z 、 R 指数间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between I 、 Z and R indices in the same regions

	$I \sim Z$	$I \sim R$	$Z \sim R$
华南	0.973	0.968	0.972
江淮	0.945	0.982	0.950
华北	0.996	0.974	0.968

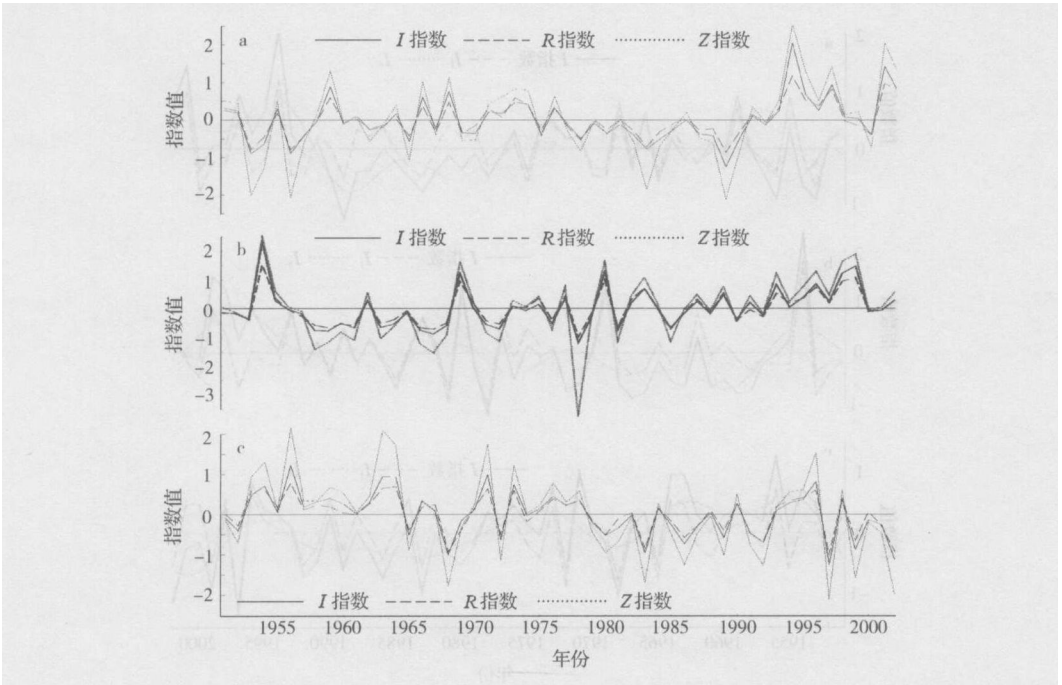


图 1 1951—2002 年 I 指数、Z 指数、R 指数

a 华南; b 江淮; c 华北

Fig 1 Indices of I, Z and R in 1951—2002

a South China; b Changjiang-Huaihe valley; c North China

其中, I_k 为周期是 $T_k = T/k$ (或频率是 $f_k = k/T$) 的谐波。

$$I_k(t_y) = a_k \cos 2\pi k t_y / T + b_k \sin 2\pi k t_y / T. \quad (3)$$

(2) 式右端第一项包含 $k = 1 \sim 6$ 共 6 个谐波, 对应 12 个自由度, 它描述周期约为 8 a 以上的异常, 称其为年代际变化分量; 第二项包含 $k = 7 \sim 26$ 共 20 个谐波, 对应 39 个自由度 (Nyquist 抽样频率 $f_{2\sigma}$ 对应的谐波为 1 个自由度, 其余均为两个), 它描述周期约为 8 a 以下的异常, 称其为年际变化分量。为方便起见, 又称年代际 (年际) 变化分量为慢变 (快变) 分量, 分别记为 I_s 、 I_f 。图 2 为 3 个区域 1951—2002 年间 I_s 、 I_f 的变化曲线。

3.2 方差分析

为了估计 I_s 、 I_f 在 I 方差构成中的贡献, 由 I 中 I_s 、 I_f 的正交性^[5], 得模 (用算符 $\| \cdot \|$ 表示) 的平方 (简称模方) 分解关系式

$$\|I\|^2 = \|I_s\|^2 + \|I_f\|^2. \quad (4)$$

由此得 I 中慢、快变分量的模方拟合率为

$$\rho_s = \frac{\|I_s\|^2}{\|I\|^2}, \quad \rho_f = \frac{\|I_f\|^2}{\|I\|^2}. \quad (5)$$

考虑慢、快变分量自由度的不同, 用 F 检验方法对 I 序列中 I_s 、 I_f 的显著性进行检验, 构造统计量

$$F_s = \frac{\|I_s\|^2 / 12}{\|I_f\|^2 / 39}, \quad F_f = \frac{\|I_f\|^2 / 39}{\|I_s\|^2 / 12}. \quad (6)$$

取显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时, $F_{\alpha}(12, 39) = 2.01$, $F_{1-\alpha}(39, 12) = 2.44$; 因此当 $F_s \geq 2.01$ 、 $F_f \geq$

表 3 区域 I 序列的 ρ_s 、 ρ_f 和 F_s 、 F_f 值

Table 3 ρ_s , ρ_f and F_s , F_f of I indices in different regions

区域	ρ_s / %	ρ_f / %	F_s	F_f
华南	44.9	55.1	2.65 ¹⁾	0.38
江淮	31.2	68.8	1.47	0.68
华北	35.7	64.3	1.80	0.55

注: 上角标 1) 表示通过 $\alpha = 0.05$ 的 F 显著。

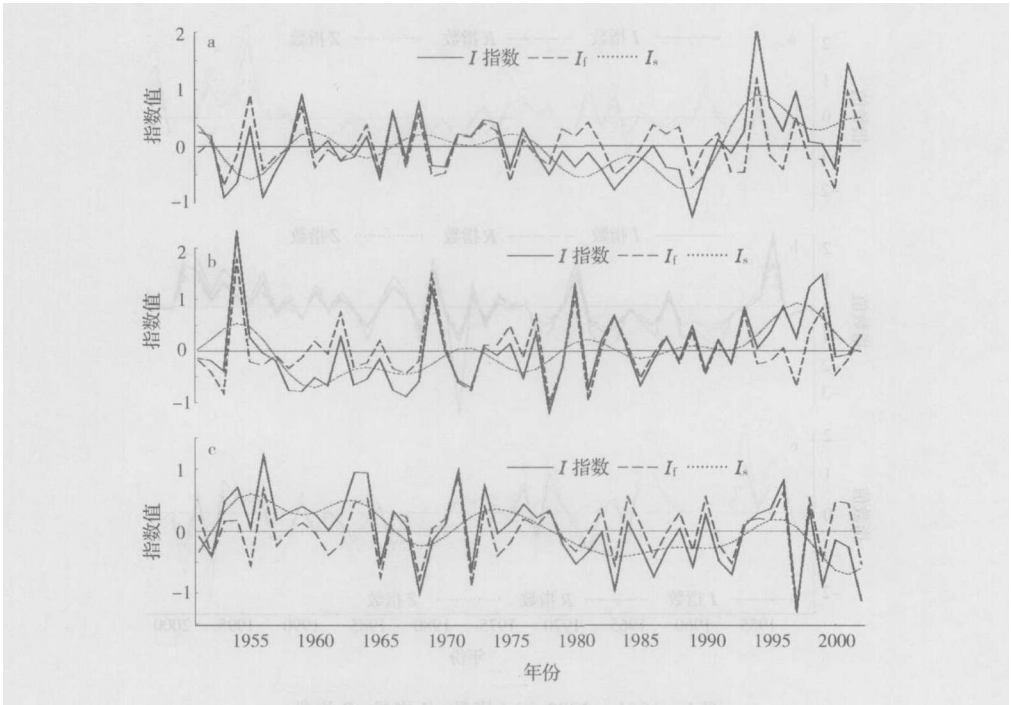


图 2 区域 I 指数及其 I_s 、 I_f 分量

a 华南; b 江淮; c 华北

Fig. 2 Regional I indices and its I_s and I_f components

a South China; b Changjiang-Huaihe valley; c North China

2.44时, I 中 I_s 、 I_f 的方差显著。表 3 给出了 3 个区域降水序列慢、快变分量的方差拟合率 ρ_s 、 ρ_f 及显著性统计的统计量 F_s 、 F_f 。由表 3 知, 在 I 的方差构成中, 江淮和华北区域慢、快变方差分别约占 I 方差的 1/3、2/3, 华南区域慢变方差贡献较大, 但也小于快变方差贡献; 而由 F 变量知, 除华南区域 I 中存在显著的年代际变化外, 3 区域 I 中不存在其他显著分量。这在统计上说明, 中国东部 3 区, 特别是江淮、华北区夏季降水异常的结构是复杂的。为了了解 3 区夏季降水异常, 需要从年代际、年际变化两个方面分析。

3.3 相关分析

计算了不同区域间 I 、 I_s 、 I_f 的相关系数 (表 4), 结果表明, 它们给出的区域间相关均不显著。这表明, 从长期角度看, 3 个区夏季降水异常无显著联系。这从统计上证明, 我国天气、气候工作者将东部夏季降水异常划分为 3 个区域是合理的。它们的夏季降水异常具有独立性, 其分析和预测问题需分别加以研究。

表 4 不同区域间 I 、 I_s 、 I_f 的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of I 、 I_s and

I_f between different regions

	华南—江淮	华南—华北	江淮—华北
I	-0.121	-0.088	-0.119
I_s	-0.097	-0.042	-0.175
I_f	-0.255	-0.120	-0.090

4 I_s 时域特征及其与 PDO 的关系

图 3 给出了华南、江淮、华北 3 区域 I_s 时间曲线。按曲线特征, 将有一个明显的峰 (谷) 开始并持续 10 a 以上的正 (负) 值阶段定为多 (少) 雨期; 它们一般由两个峰 (两个谷) 构成, 呈 M (W) 形。多、少雨期间的过渡期常表现为振荡期, 振荡期可持续 10 a 以上。根据这种划分, 可

以看出华南区域的少雨期始于 20 世纪 70 年代后期,结束于 1990 年前后,江淮区域的少雨期出现于 50 年代后期,结束于 1970 年,1960 年前后出现极端值;华北区域 70 年代后期进入少雨期,90 年代中期几年出现的多雨只是少雨阶段的一个小波动,总体上讲,70 年代末至今,华北一直处于少雨期,并将持续。尽管华北 90 年代中期出现了几年多雨的情况,实际上这是伴随着全国大范围多雨而出现的这几年,华北、江淮、华南区域降水均偏多,从年代际尺度讲,这几年不是华北的一个多雨阶段。华北 50 年代前期至 60 年代中期为典型多雨期,华南、江淮 90 年代前、后相继转入多雨期,目前应为多雨期后期。上述分析表明,我国东部 3 区夏季降水异常的年代际分量存在巨大差异,90 年代以来 3 区均处于较为极端的状态,华南、江淮为明显多雨期,华北为明显少雨期。

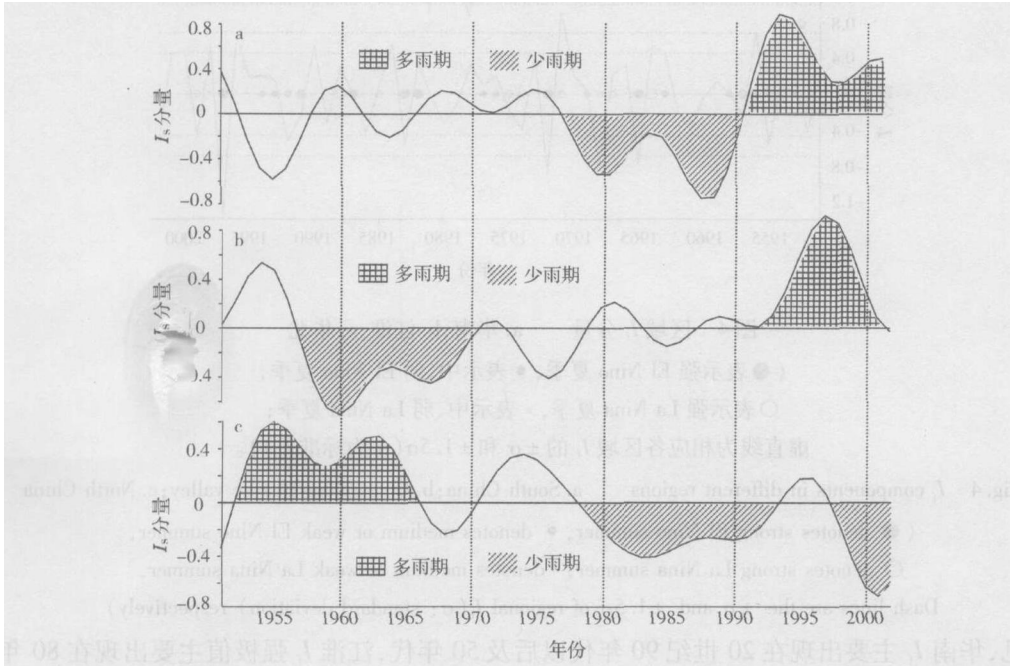


图 3 区域 I_s 分量

a 华南; b 江淮; c 华北

Fig 3 I_s components in different regions

a South China b Changjiang-Huaihe valley c North China

许多研究太平洋年代际振荡 (PDO) 的文献^[8 11-13]均指出, 20 世纪 70 年代后期是 PDO 的转折点; 文献 [3] 已指出 PDO 通过影响亚洲夏季风, 进而造成华北夏季降水异常的年代际变化。由图 3 可知, 就 I_s 与 PDO 的关系而言, 70 年代后期在华南、华北区域都有明显转折, 进入了少雨期; 在江淮区域, 尽管 I_s 无明显的特征性转折出现, 但就其阶段性特征而言, 总体上存在自 70 年代末由少雨期向多雨期过渡、此后一直处于多雨期中的变化特征。

5 I_f 时域特征及其与 El Niño La Niña 事件的关系

由表 3 可见, 在 I 方差构成中, I_f 的贡献华南最小, 江淮最大, 华北居中。另外 3 个区域 I_f 分量变化的标准差分别为: 华南 0.44 江淮 0.56 华北 0.45 这说明江淮区域降水的年际变化程度更为明显。以标准差的 1.5 倍作为对形成旱涝有重要意义的 I_f 强极值的判别标准, 由图

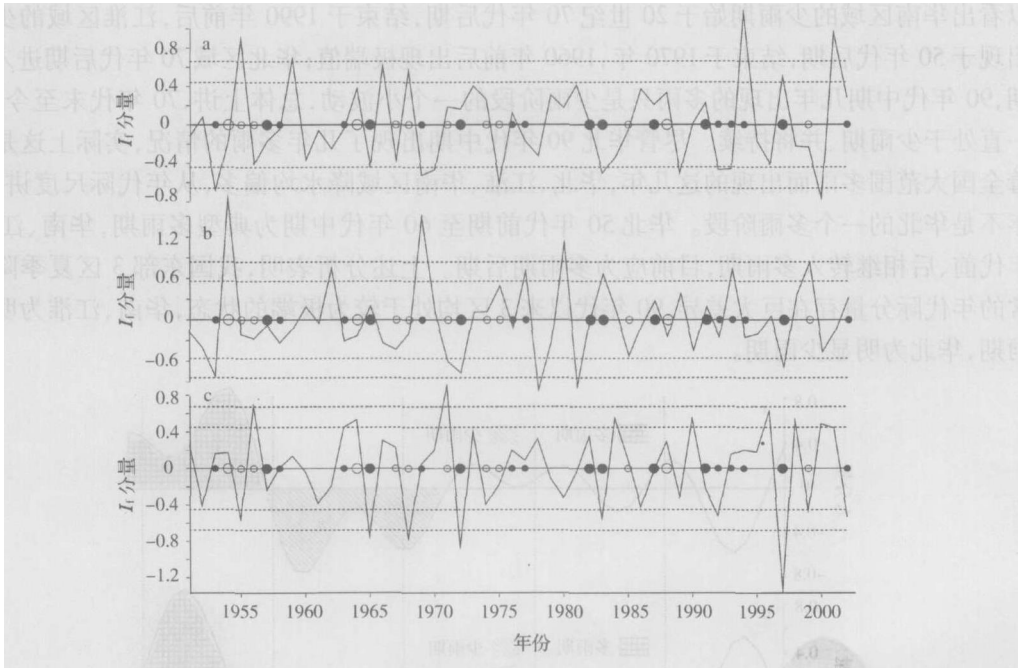


图 4 区域 I_f 分量 a 华南; b 江淮; c 华北

(●表示强 E1N ino夏季, ◐表示中、弱 E1N ino夏季,

○表示强 LaN ina夏季, ◑表示中、弱 LaN ina夏季;

虚直线为相应各区域 I_f 的 $\pm\sigma$ 和 $\pm 1.5\sigma$ (σ 为标准差))。

Fig 4 I_f components in different regions a South China b Changjiang-Huaihe valley c North China

(● denotes strong E1N ino summer ◐ denotes medium or weak E1N ino summer

○ denotes strong LaN ina summer ◑ denotes medium or weak LaN ina summer

Dash lines are the $\pm\sigma$ and $\pm 1.5\sigma$ of regional I_f (σ : standard deviation) respectively)

4可见, 华南 I_f 主要出现在 20 世纪 90 年代以后及 50 年代, 江淮 I_f 强极值主要出现在 80 年代初以前, 华北 I_f 主要出现在 60 年代中期以后的 10 余年中。

文献 [1] 已归纳了 80 年代以来我国夏季降水异常与 E1N ino LaN ina 事件间关系的主要研究结果。由于不同作者的研究出发点、所用方法、资料的差异, 分歧是存在的。基于动力学考虑, 重点分析 E1N ino LaN ina 事件与东部 3 区夏季降水异常的同时性关系。鉴于此, 根据文献 [14-15] 给出的 ENSO 事件起讫时间, 本文中 E1N ino LaN ina 夏季的确定采用以下标准: 某年夏季 (6—8 月) 中至少有两个月处于 E1N ino (LaN ina) 事件中, 则该年夏季定为 E1N ino (LaN ina) 夏季。其强度则根据 N ino3 区 6—8 月 T_{SSA} 的均值曲线 (图 5) 及文献 [16] 共同确定。

表 5 不同区域、不同强度 ENSO 年夏季降水正负异常频数统计

Table 5 Frequencies of the positive and negative anomalies of summer rain fall in different regions and intensity ENSO years

	正异常频数 / 负异常频数		
	华南	江淮	华北
强 E1N ino	4/4	4/4	1/7
中、弱 E1N ino	3/7	4/6	8/2
强 LaN ina	2/1	1/2	3/0
中、弱 LaN ina	4/5	3/6	4/5

由图 4 及表 5 可以看出, 在华南、江淮区域, 多数情况下对于不同强度的 ENSO 年, 其年际降水偏多偏少的频数是基本相当的, 尽管在中、弱 E1N ino

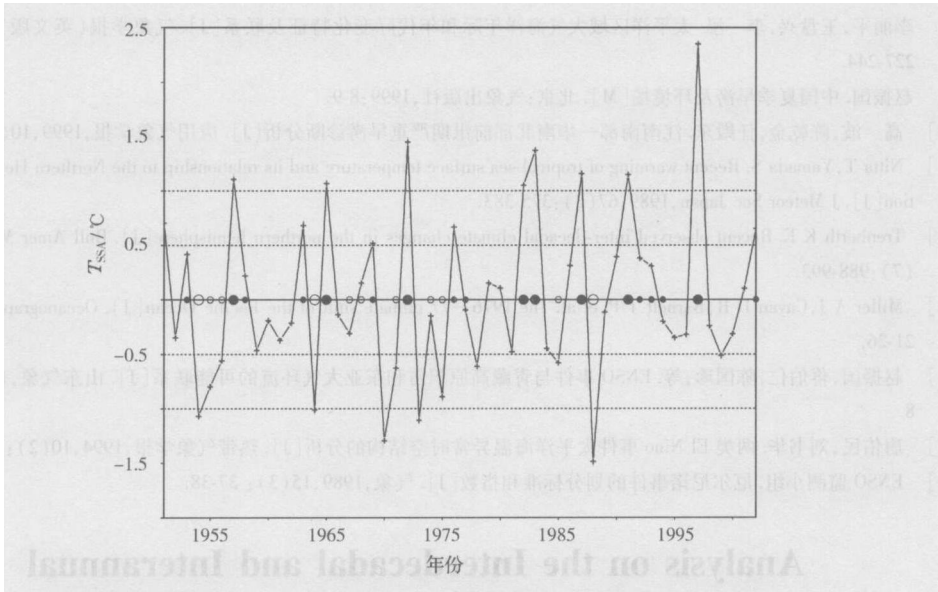


图 5 夏季 (6—8 月) Niño3 区 SST' 均值曲线

(●、♯ 是由它给出的强、弱 E1Nino 夏季, ○、° 是由它给出的强、弱 La Niña 夏季)

Fig. 5 SST' average curve of the Niño3 region in summer (JJA)

(● denotes strong E1Nino summer ♯ denotes medium or weak E1Nino summer

○ denotes strong La Niña summer ° denotes medium or weak La Niña summer)

夏季, 年际降水的正负异常频数有较大差异, 但这些异常都比较弱 (接近于 0); 对于强 La Niña 夏季, 由于样本数较少, 不具备确定的统计意义, 因此总体上可以认为该区域 I_f 与 E1Nino La Niña 事件不具备明显的同时性关系。但在华北区域, 绝大多数的强 E1Nino 年均对应于显著偏少的夏季降水 (降水负异常频数与强 E1Nino 总年数之比为 7/8); 而历史上最强的 4 个干旱夏季 (1997、1972、1968、1965 年) 中, 有 3 个 (1968 年除外) 处在强 E1Nino 事件中。

6 结 论

使用代表站降水量标准化距平的区域平均值定义的降水异常指数 I_f 与常用的指数 Z 、 R 等价, 但它的构造更为简单, 统计意义更为清晰。不同区域 I_f 的同期相关不显著, 表明 3 区降水年际异常具有独立性。用周期分析将 I_f 分解为年代际、年际变化指数 I_s 、 I_f 。方差分析表明, 只有华南区域 I_s 在其 I_f 的构成中显著, 表明区域夏季降水异常是复杂的。对 I_s 、 I_f 曲线的分析表明, 3 个区域 I_s 均表现出与太平洋年代际振荡 (PDO) 70 年代的转折有关的相关关系, 华北区域 I_f 的显著偏少与强 E1Nino 事件的同时性关系密切。

参考文献:

- [1] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1992
- [2] 李崇银. 气候动力学引论 (第 2 版) [M]. 北京: 气象出版社, 2000
- [3] 李 峰, 何金海. 北太平洋海温异常与东亚夏季风相互作用的年代际变化 [J]. 热带气象学报, 2002, 16(3): 261-271.
- [4] 李麦村, 吴仪芳, 黄嘉佑. 我国东部季风降水与赤道东太平洋海温的关系 [J]. 大气科学, 1987, 11(4): 365-371.
- [5] 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响 [J]. 大气科学, 1977, 2(1): 1-12
- [6] 莫如平. 我国降水气温的年际振荡及其与 E1Nino 的联系 [J]. 海洋学报, 1989, 11(2): 143-148

- [7] 陈文海, 柳艳香, 马柱国. 中国 1951—1997 年气候变化趋势的季节特征 [J]. 高原气象, 2002, 21(3): 251—257.
- [8] 李丽平, 王盘兴, 李泓. 太平洋区域大气海洋年际和年代际变化特征及联系 [J]. 气象学报 (英文版), 2004, 18(2): 227—244.
- [9] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社, 1999, 8—9.
- [10] 高波, 陈乾金, 任殿东. 江南南部—华南北部前汛期严重旱涝诊断分析 [J]. 应用气象学报, 1999, 10(5): 219—228.
- [11] Nitta T, Yanada S. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation [J]. J Meteor Soc Japan, 1989, 67(3): 375—383.
- [12] Trenberth K E. Recent observed interdecadal climate changes in the northern hemisphere [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71(7): 988—993.
- [13] Miller A J, Cayan D R, Bamett T P, et al. The 1976—77 climate shift of the Pacific Ocean [J]. Oceanography, 1994, 7(1): 21—26.
- [14] 赵振国, 蒋伯仁, 陈国珍, 等. ENSO 事件与青藏高原积雪和东亚大气环流的可能联系 [J]. 山东气象, 1999, 19(4): 1—8.
- [15] 唐佑民, 刘书华. 两类 El Niño 事件太平洋海温异常时空结构的分析 [J]. 热带气象学报, 1994, 10(2): 130—139.
- [16] ENSO 监测小组. 厄尔尼诺事件的划分标准和指数 [J]. 气象, 1989, 15(3): 37—38.

Analysis on the Interdecadal and Interannual Variations of Regional Summer Rainfall Anomalies over Eastern China

DUAN Ming-keng WANG Pan-xing LIN Kai-ping

(Department of Atmospheric Sciences, NU IST, Nanjing 210044, China)

Abstract The index of regional rainfall anomaly (I index) is defined as the regional average of representative station's JJA standardized rainfall anomaly in South China, Changjiang-Huaihe valley, and North China. And it is proved that I index is consistent with commonly used Z and R index. The correlation of I between different regions is insignificant, indicating that the interannual changes of summer rainfall are independent in the above three regions. The I index is decomposed into the interdecadal variation index (I_s) and interannual variation index (I_f) by means of periodical analysis. And the variance analysis indicates that I_s is significant among the components of I only in South China, suggesting that the regional rainfall anomaly in summer is complicated. The analysis of the curves of I_s and I_f indicates that I_s in the three regions is related to the 1970s' transition of Pacific Decadal Oscillation (PDO), and the significant negative anomaly of I_f in North China is contemporaneously close related to strong El Niño events.

Key words summer regional rainfall anomaly index interdecadal variation and interannual variation Pacific decadal oscillation El Niño events