

ENSO 循环与中国东部地区夏季 和冬季降水关系的研究*

金祖辉 陶诗言

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 用中国 160 个站月平均降水量和赤道东太平洋 Niño 3 区海温资料研究了 ENSO 循环过程的不同位相与中国降水的关系。结果显示 ENSO 循环对中国冬、夏季降水丰或欠及时空分布有密切关系, ENSO 发展年的夏季我国东部地区以雨量偏少为主, 一些地区可偏少 3~5 成, 多雨带位于江淮之间; ENSO 恢复年的夏季长江及江南地区雨量偏多, 其南北两边偏少; 反 ENSO 年的夏季长江—黄河之间及东南部雨量偏少, 其北边和西南正常偏多; 在 ENSO 的准常态年夏季, 长江以北为正偏差, 江南除少部分地区外降水分布接近正常。还发现 ENSO 暖位相与中国冬季降水也有很好关系。由于本文用准常态年降水平均值代替通常的气候平均值, 因而有利于更好地揭示 ENSO 与中国气候变化的关系。

关键词 ENSO 海温变异 降水

1 引言

诸多研究表明赤道东太平洋(尤其是 Niño 3 区)是热带海洋海温变化信号最强的区域, 它的变异影响着全球大气环流和气候的异常。当赤道东太平洋海温异常增暖时, Hadley 环流的上升支有更多的角动量带到中纬度, 增强了中纬度的西风强度。同时, 在高层赤道两侧形成强大的反气旋环流, 于是在中纬强西风的北侧出现强大的气旋环流, 进而产生影响北美气候异常的 PAN 的环流型^[1]。另一方面, 在典型的 ENSO 年, 赤道偏东风强度大减, 赤道西风加强, 于是正常的 Walker 环流变弱。空气上升区和下沉区位置发生很大的变动^[2], 因而造成赤道太平洋上气候的异常。据统计 1982~1983 年赤道中东太平洋强烈的增温事件(El Niño)就给广大地区带来严重的自然灾害, 如中南美洲地区的严重洪涝灾害, 南亚、印度尼西亚及东南非洲大范围地区的严重干旱等造成了重大的经济损失^[3]。

El Niño、La Niña 现象是 ENSO 循环过程中两个相反位相状态, 前者赤道中东太平洋海温显著高于气候平均状态, 而后者则相反, 相应的环流系统随着加热区位置、强度不同而变化。许多研究还表明, 赤道中东太平洋海温变异也严重地影响着中国广大地区的天气和气候。从 500 年历史资料考察表明, 中国华北地区干旱有 58% 是与赤道东太平洋海温增暖相联系的^[4]。十余年来的许多研究还表明, 在 El Niño 的不同发展阶段

1998-06-10 收到, 1998-10-20 收到修改稿

* 本研究得到国家自然科学基金委的重点项目(49635180)和国家攀登计划项目“南海季风试验”的共同资助, 并得到中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室支持

赤道东太平洋海表温度异常对中国夏季降水影响是不同的。在 El Niño 发展阶段, 夏季中国江淮流域降水偏多, 华南、华北降水偏少; 在 El Niño 处于衰减阶段, 江淮流域降水偏少, 而华南、华北降水偏多^[5,6]。史久恩、林学椿等^[7]也发现类似的结果, El Niño 年长江流域下游浙江、福建、华南等地降水偏多。徐子红、陶诗言^[8]的灾害性气候过程诊断结果也揭示了 El Niño 年江淮流域是典型的涝年, La Niña 年江淮流域是典型的旱年。殷显曦^[9]则发现 1~5 月赤道东太平洋海温偏高, 长江中下游 6 月份降水偏少, 反之偏多等。

从以上诸多研究结果说明 ENSO 现象对中国气候有重要的影响, 并已揭示一些重要的关系。但当仔细推敲上述结果就会发现 ENSO 对影响中国降水的区域、程度等还是不甚一致的。我们认为其原因有二, 一是较早的一些工作, 海温资料可靠性较差, 尤其是 60 年代之前, 且 ENSO 的个例也较少; 另一是降水的偏多、偏少均以气候的均值作参照标准, 然而气候均值本身已包含了 ENSO 循环过程中两种相反位相的极端异常影响在内, 从而影响了 ENSO 现象对中国降水的分辨率。此外, 还因降水的年际变化是个很复杂的问题, 影响要素很多。

本工作着重以下两点, 其一是取 1960 年以后的赤道东太平洋海温资料, 另一是根据一定的标准差把 Niño 3 区平均海温的年际变化分为 El Niño、La Niña 和准常态三种类型, 然后对降水分别进行合成, 并与准常态类型进行比较, 试图进一步揭示 ENSO 与中国降水的关系。

2 海温资料分析

海温资料取自美国国家大气科学研究中心(NCAR)月平均海表温度, 格距为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, 选 Niño 3 区域 ($150^{\circ}\text{W} \sim 80^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$) 平均代表赤道东太平洋海温变化的信号。我们分析了 1961~1997 年该区域平均海温时间变化 (图略), 可以看出它有明显的年际变化、季节变化、准两年变化及非周期的低频变化。时间年际序列的标准差为 0.79°C 。由于海温变异大小对气候影响的程度也不同, 强的 ENSO 信号对大气环流的影响大, 引起的气候异常明显, 反之亦然。为此我们规定 Niño 3 区域平均海温振幅小于或等于 0.8 个标准差 ($\pm 0.63^{\circ}\text{C}$) 为 ENSO 循环过程的准正常年位相, 按此规定确定的准常态年有 1977、1979、1980、1981、1984、1990 和 1994 年 7 次。El Niño 事件 (ENSO 循环的发展位相) 和 La Niña 事件 (ENSO 循环的反位相) 如表 1、2 所示。

表 1 El Niño 事件表

正海温距平时间	持续时间 / 月	极值出现时间	极值	El Niño	注
1963-04~1964-01	10	1963-07	0.75	1963 (弱)	El. f
1965-04~1966-03	12	1965-12	1.27	1965	El. f
1968-07~1970-02	20	1969-05	1.04	1968 / 1969(弱)	El. s
1972-03~1973-03	13	1972-11	2.01	1972	El. f
1981-12~1983-09	22	1982-12	3.00	1982 / 1983	El. f, El. s
1968-07~1988-03	21	1987-09	1.48	1986 / 1987	El. f, El. s
1990-12~1992-07	20	1992-05	1.49	1991 / 1992	El. f, El. s
1997-01~		1997-12	3.90	1997 / 1998	El. f, El. s

注: El. f 表示 El Niño 第一年; El. s 表示 El Niño 第二年。

表 2 La Niña 事件表

负海温距平时间	持续时间 / 月	极值出现时间	极值	La Niña 年
1964-02~1965-03	14	1964-05	-1.27	1964
1967-07~1968-06	12	1968-02	-1.24	1967
1970-05~1972-02	22	1970-07	-1.78	1970
1973-04~1974-05	14	1974-01	-1.57	1973
1974-07~1976-05	23	1975-12	-1.63	1975
1988-04~1989-06	15	1988-06	-1.83	1988

另外, 从表 1 还可清楚地看到, 同是 El Niño 事件, 正海温距平持续的时间差别很大, 持续时间长的为 22 个月 (1982/1983 年), 短的只十几个月, 极值也小 (如 1963 年为 0.75 ℃), 弱 El Niño 事件极值出现在春、夏季节, 增温和恢复基本在一年内结束。而强的 El Niño 事件极值一般出现在冬季, 极值大 (1982/1983 年为 3 ℃), 第一年海温是升温过程, 而次年则是持续或恢复过程, 所以强和弱 El Niño 事件的次年对大气影响是不相同的。如表 1 所示, 在 8 次 ENSO 事件中次年有持续正海温距平的只有 4 次。

3 准常态年降水距平百分率的合成分析

降水量资料取自中国气象局资料中心 160 个站的月平均降水量。如引言所述, 过去研究赤道东太平洋海温异常与中国降水的关系时, 一般都与降水的气候平均值作比较, 而本文采用与准常态年夏季降水量的平均值作比较。那么降水气候均值分布与准常态均值是否存在显著差异? 下面就两者作一比较, 并着重于中国中部和东部地区, 因为这些地区的降水资料较完整且站点资料比较多。图 1 是 7 个 Niño 3 区海温准常态年的降水量距平百分率 (160 个站) 综合平均结果, 正区表示准常态年的平均值高于气候平均值。从 6~8 月平均降水 (图 1a) 可见, 除了个别区域之外均是正偏差区, 降水距平百分率在 15% 以上的区域主要有三个, 其一是长江的两湖地区 (洞庭湖、鄱阳湖地区及浙江地区); 其二是自四川的东北部和陕西南部经黄河下游至河北东部一带; 其三是黄河的河套地区。表明这些地区准常态年的降水量高于气候平均, 即 ENSO 循环在准正常年位相 (Niño 3 区海温接近准正常年) 时这些地区降水量比气候平均多。

另外夏季各月的降水量距平百分率偏差时空分布变化较大, 达到 95% 显著水平的区域有: 6 月份 (图 1b) 是黄河的河套地区、山西和陕西南部、河南北部和山东北部一带; 7 月份 (图 1c) 是黄河的河套地区、甘肃中部及河南北部地区; 8 月份 (图 1d) 则是长江中下游及其以南地区 (江西和浙江一带)。

上述差异分布表明, 当以赤道东太平洋海温异常的因素来考虑夏季中国降水时, 若以降水气候平均为参考标准, 那么赤道东太平洋海温异常对中国上述地区 (达到 95% 显著水平的区域) 降水影响的反映就会偏高, 而有些地区可能偏低, 如华南 (6 月份, 见图 1b)、黄河至长江以南区域 (7 月份, 见图 1c) 及长江以北广大地区 (8 月份, 见图 1d)。

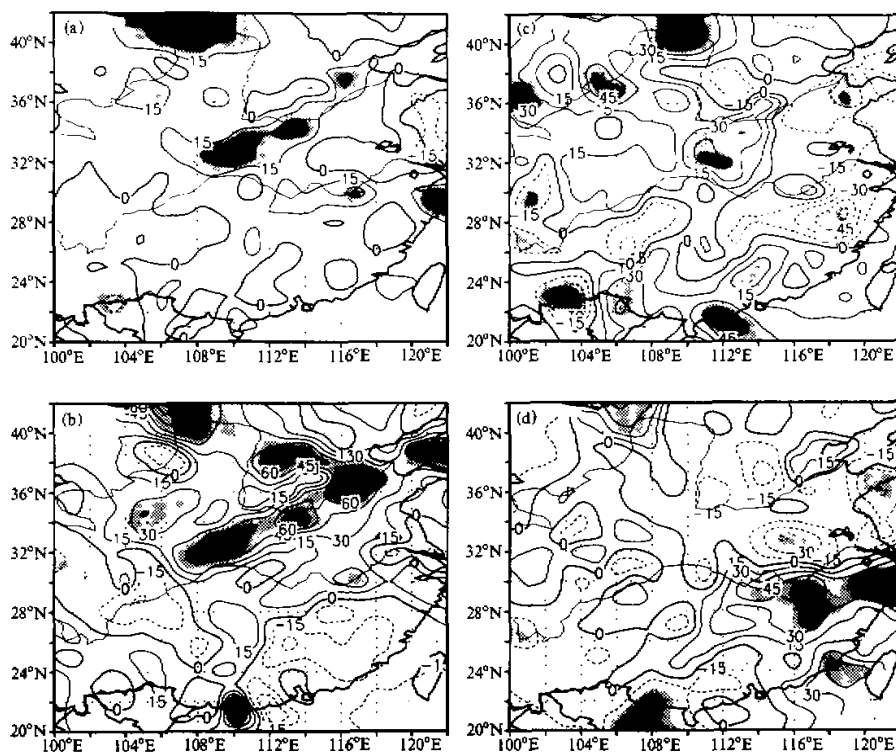


图1 准常态年夏季降水距平百分率合成

(a) 6~8月平均; (b) 6月; (c) 7月; (d) 8月 (浅阴影区显著水平 $\geq 90\%$; 深阴影区显著水平 $\geq 95\%$)

4 ENSO 循环与降水的关系

根据 Niño 3 区海温时间演变特征区分的 ENSO 循环的准正常位相年、El Niño、El Niño 次年及 La Niña 位相年如表 1、2 所示。下面分别对各种类型实际降水量进行合成和比较, 须说明的是 1968/1969 年 El Niño 过程中, Niño 3 区的增暖虽始于 1968 年, 但是至年底, 其正海温距平基本上维持在 0.5°C 以下, 所以只选 El Niño 次年参加合成。

4.1 准常态年降水量的合成

由准正常年 6~8 月降水量的合成结果可以看到降水量是从南到北减少, 华南平均雨量最大, 其次是高原东部的川西地区, 再是长江中下游地区。但是夏季各个月份降水分布差异很大, 如 6 月份高雨量区在长江以南, 等雨量线的分布与纬圈平行, 沿江降水量梯度最大。7 月份中国东部地区高雨量区已推进到江淮地区, 江南雨量减少。随着副热带高压的西伸和北抬, 高原东部地区降水量增大。由上所见, 准常态年夏季降水量的

分布与气候平均(图略)相似, 两者间差异仅反映在降水量的多或少方面(见图 1)。

4.2 El Niño 发展年与准常态年雨量差异分布的比较

由于 El Niño 发展年和次年的海温距平变化有着不同的特征, 相应大气响应也有差异, 因此对 El Niño 发展年与次年分别进行合成和比较。图 2a 是 El Niño 发展年夏季(6~8 月)平均合成雨量减准常态年平均结果, 可见它的明显特征是负偏差(雨量距平百分率)区占绝对优势即少雨为主, 而正的偏差(雨量距平百分率)区仅出现在长江与黄河之间及西南的部分地区。在负的偏差区当中, 河北东部、黄河的河套地区、甘肃东部、陕西和山西中部、青海东南和四川西北部地区偏差为 20%~60%, 达到 95%显著水平; 长江以南的广大地区负偏差约为 20%, 可信程度较低(显著水平低于 95%)。在正的偏差区当中, 长江与黄河之间的偏差最大, 中心地区达到 40%~60%。也达到了 95%显著水平。但夏季各个月变化甚大, 如 6 月(图 2b)最大负偏差区出现在山西, 黄河下游地区(达到了 95%显著水平), 7 月和 8 月则出现在黄河的河套地区、甘肃东部、陕西和山西中部、青海东南和四川西北部地区; 正偏差区(长江与黄河之间)主要出现在 7~8 月份。上述结果与吴仪芳计算的赤道东太平洋(5°S~5°N, 180°~

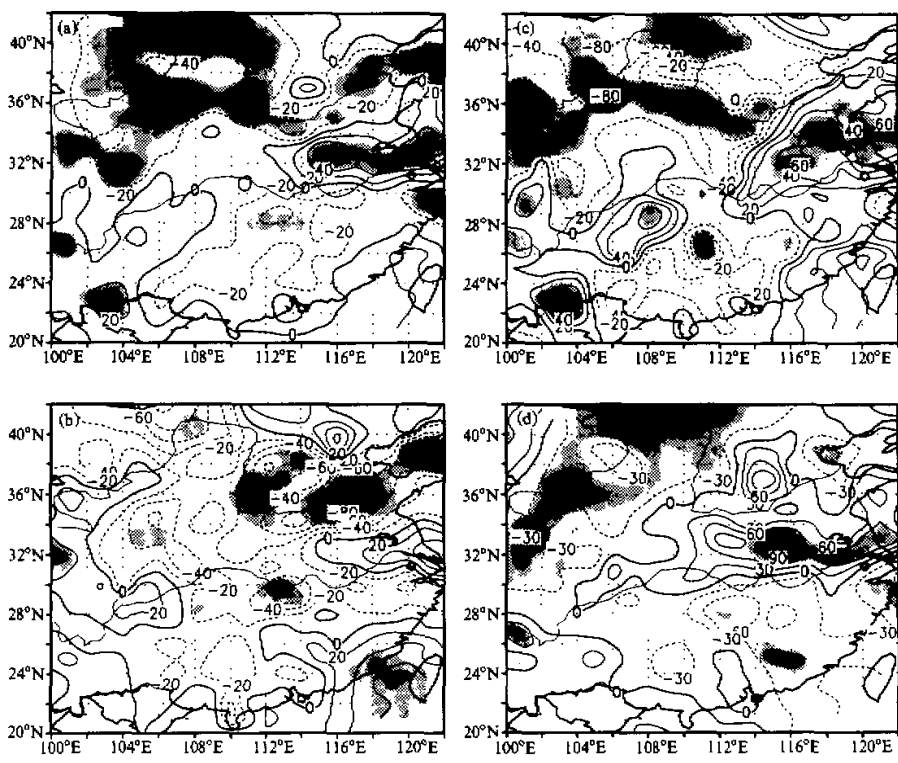


图 2 El Niño 发展年与准常态年夏季降水偏差的特征
说明同图 1

80°W) 平均海温与中国夏季降水相关得到的正(负)相关区分布¹⁾及文献[7]中的正(负)降水距平百分率分布是相当一致的。

由上所见, El Niño 发展年中国夏季降水的特征是雨量偏少的区域大大超过雨量偏多的区域, 其中黄河的河套地区、甘肃东部雨量偏少的状况几乎持续整个夏季, 而黄河下游雨量偏少的时间主要在 6 月; 主要多雨区是在长江与黄河之间, 多雨期主要发生在 7、8 两个月。

4.3 El Niño 次年与准常态年雨量差异分布的比较

图 3a 是 El Niño 次年与准常态年雨量差异(6~8 月平均), 可以看出它的主要特征是长江及其以南地区为正偏差区(约 10%~30%), 偏差最大区出现在长江及其南部, 浙江、福建的部分地区达到了 95% 显著水平。在该正偏差区的南、北两边为负偏差区, 其中河南、河北东部最大(-30% 以上, 达到了 95% 显著水平)。这表明 El Niño 次年夏季长江中下游及江南地区雨量偏多, 黄河下游和华北地区雨量偏少。从夏季各个月的情况来看, 6 月份(图 3b)长江以南和黄河中上游雨量偏多; 长江以北少

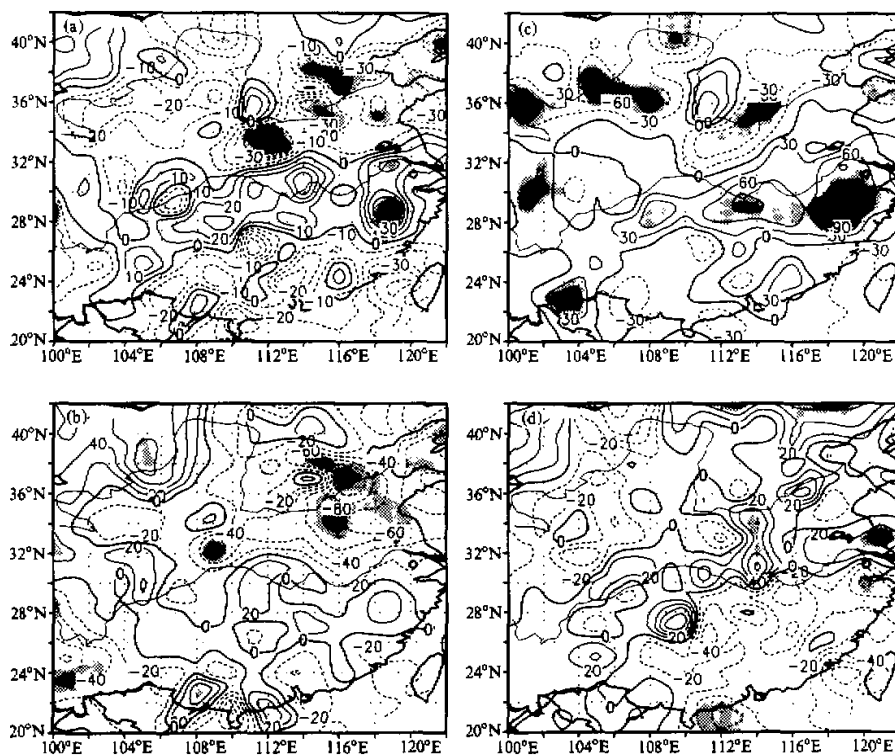


图 3 El Niño 次年与准常态年夏季降水偏差的特征
说明同图 1

1) 吴仪芳, 根据赤道东太平洋海温变化与我国夏季降水关系制作汛期预报, 我国东部夏季旱涝预报方法及其预报试验(中国科学院大气物理研究所)

雨, 其中华北南部、山东西部达到了 95% 信度。7 月份 (图 3c) 东部地区以多雨为主 (黄河以南地区均为正偏差区), 长江中下游及江南地区雨量可偏多 60%~80% (其中部分地区信度达到了 95%); 黄河流域均为负偏差区, 其中河南北部、甘肃东部达到了 95% 信度。8 月份的特征是长江以南和黄河中上游偏少; 华北东部、江淮及长江中上游雨量偏多 (图 3d), 但是多数地区没有达到 95% 的显著水平。

比较 El Niño 发展年和 El Niño 次年夏季降水距平百分率偏差分布 (图 2 和图 3) 可知, 两者主要的差别是多雨区位置不同, El Niño 发展年的多雨区位置偏北 (长江以北), 后者偏南 (长江及其以南)。另外, 上述的结果与以前的研究有一定的差异, 如文献[7]指出在 El Niño 次年夏季东北西部、华北大部、陕甘宁、湖南、江西、广东、福建、西南大部分地区多雨, 江淮及四川东部等地区少雨。这可能是 El Niño 次年的个数和年次的不同及选用的降水平均值不一样所致。

4.4 La Niña 年与准常态年的比较

La Niña 是 El Niño 现象的反位相过程, 由于 Niño 3 区负海温距平很大, 该地区热源的变化必将导致大气响应的变化, 它对中国的气候产生与 El Niño 现象不同的影响。图 4a 是 La Niña 年与准常态年夏季降水距平百分率的差异, 可以清楚地看出它与

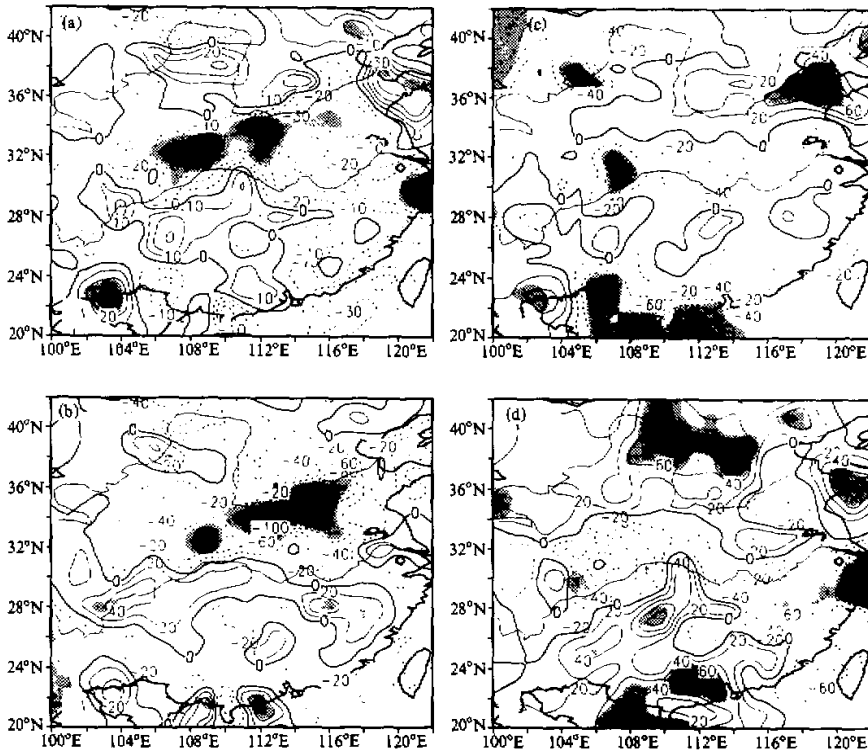


图 4 La Niña 年夏季与准常态年夏季雨量差异特征
说明同图 1

El Niño 发展年和 El Niño 次年特征的明显不同。就 6~8 月平均来看(图 4a)正(负)偏差区域呈现东-西向分布,约 35°N 以北地区和西南地区是正偏差区,中心在山东半岛和陕西中部,但没有达到 95%显著水平;黄河以南、长江流域和华南是负偏差区,其中河南北部、陕西南部、浙江东部地区差异最大(达到 95%显著水平)。这表明就 La Niña 年 6~8 月平均而言黄河以南、长江流域雨量偏少;山东、河北东部及西南部地区雨量正常偏多。从夏季各个月的情况来看,6 月(图 4b)长江以北雨量显著偏少,其中黄河下游达到 95%显著水平;长江以南雨量正常偏多。7 月份(图 4c)黄河中下游雨量正常偏多,山东部分地区达到 95%显著水平。长江以南雨量减少;负偏差区出现在长江流域。8 月份(图 4d)北边的正雨量偏差区向南扩张,偏差值增大,华南、西南雨量偏多;长江流域及浙江、江西、福建雨量显著偏少。

看来,在 La Niña 年夏季雨量分布的主要特征是:前夏(6 月份)长江以南雨量正常偏多,长江以北雨量偏少,特别是黄河的中下游地区;7~8 月份华北及黄河河套地区多雨,长江中下游地区雨量偏少。由上所见 ENSO 循环的不同位相影响着中国夏季降水时空变化的复杂性。

至于冬季中国东部降水对 ENSO 的响应,陶诗言和张庆云^[10]曾分析 ENSO 冷暖期与冬季降水的关系,发现在 ENSO 暖期长江以南地区多雨,以北地区少雨(如图 5 所示,引自文献[10])。但冷期 ENSO 信号对降水的影响不清楚。

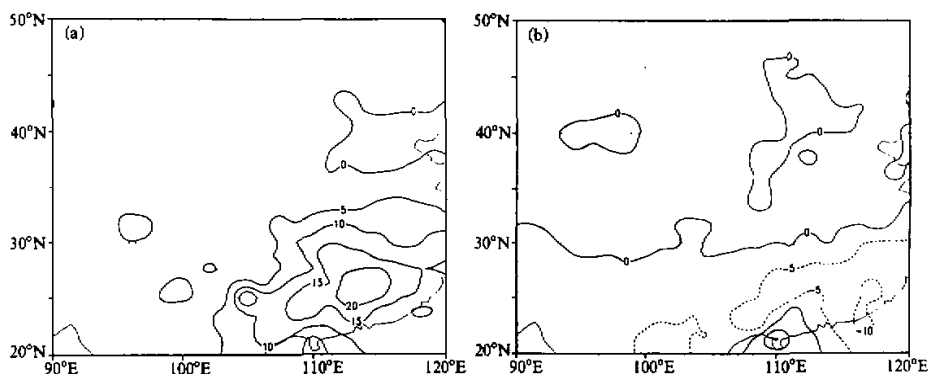


图 5 冬季(12~2 月)降水距平百分率合成图
(a) 5 个 El Niño 年; (b) 5 个 La Niña 年

5 讨论

本文研究了 ENSO 循环各位相与我国冬、夏季降水的关系,其主要结果如下:

(1) 准正常年夏季平均降水量与气候平均值在某些区域和月份有较大差异,在差异最大的月份和地区其值可达 3~6 成。达到 95%显著水平的区域有黄河的河套地区、山西及河南的部分地区和陕西的部分地区(6 月份);7 月份是黄河的河套地区、甘肃中部

及河南、华南部分地区; 8 月份则是长江中下游及其以南地区。故用气候均值来揭示 ENSO 与中国夏季降水关系时, 在上述地区可能会扩大 ENSO 事件对降水的影响。

(2) El Niño 发展年夏季降水的特征是雨量偏少的区域大大超过雨量偏多的区域, 其中黄河的河套地区和甘肃东部雨量偏少的状况几乎持续整个夏季, 黄河下游雨量偏少的时间主要在 6 月。多雨区在长江与黄河之间, 多雨期主要发生在 7、8 两个月。

(3) El Niño 次年夏季是长江中下游及江南部分地区雨量偏多, 雨量偏多时间主要是 7 月; 黄河流域大部、华北地区、华南、西南雨量偏少。

(4) La Niña 年夏季突出的特征是长江—黄河之间、东南及华南大部分地区雨量显著偏少; 黄河流域大部分地区 and 西南大部分地区雨量正常偏多。

(5) 差异的显著性检验表明, 达到 95% 显著水平的区域比较小, 有时尽管差值不小, 但是显著水平仍较低。我们认为其原因可能包含了两个方面, 其一是每个统计样本的容量太小, 基本上还属少数个例的合成, 统计代表性不高; 其二也可能反映了 ENSO 现象与局部地区降水关系的复杂性, 因为 ENSO 是全球范围的现象, 而中国东部降水则是局部地区的现象, 它受到各种时空尺度环流系统综合影响和热带以外环流系统的相互作用。

本文只考虑 ENSO 与降水的关系。在作降水季度预报时, 不能单考虑 ENSO 影响, 还需注意其他因素的影响, 例如中高纬度环流的异常对降水的影响。

参 考 文 献

- 1 Horel, J. D. and J. M. Wallace, 1981, Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813~829.
- 2 Rasmusson, E. M. and T. H. Carpenter, 1982, Variations in tropical sea temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation / El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813~829.
- 3 李崇银, 1995, 气候动力学引论, 北京: 气象出版社, 246~253.
- 4 Wang Shaowu, 1992, Reconstruction of El Niño event chronology for the last 500 year period, *Acta Meteor. Sinica*, **8**, 47~57.
- 5 Huang Ronghui and Wu Yifang, 1989, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, *Adv. Atmos. Sci.*, **6**, 21~31.
- 6 黄荣辉、郭裕福, 1994, 1991 年夏季特大洪涝及预测回顾, 气候环境预测研究中心研究公报, 北京: 气象出版社, No. 1, 6~8.
- 7 史久恩、林学椿等, 1983, 厄尔尼诺现象和我国夏季(6~8月)降水、气温的关系, *气象*, No. 4, 2~5.
- 8 徐予红、陶诗言, 1996, 东亚季风的年际变化与江淮流域梅雨期早涝, 灾害性气候的过程及诊断, 北京: 气象出版社, 31~40.
- 9 殷显曦, 1983, 厄尼诺现象及对长期天气和气候变化的影响, *气象*, No. 4, 6~9.
- 10 陶诗言、张庆云, 1998, 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应, *大气科学*, **22**(4), 398~406.

A Study on the Relationships between ENSO Cycle and Rainfalls during Summer and Winter in Eastern China

Jin Zuhui and Tao Shiyan

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract Relationships between ENSO for different phase and precipitation are investigated on the basis of SST data of Niño 3 area over the Pacific and monthly mean rainfalls for 160 stations throughout China. It has been found that rainfalls and its spatial, temporal variability in the eastern China during summer and winter are greatly effected by ENSO cycle. During the growth of ENSO deficiency summer rainfalls are over most of eastern China with the 30~50 percentage below normal in the some areas, and abundance rainfall band located in the area of the Changjiang-Huaihe basin. In the period of ENSO cold phase, the deficiency rainfalls are in the southeastern China and the area extended from the Changjiang River to the Huanghe River, but near normal rainfalls are occurred outside above areas. During the quasi-normal phase, the rainfall distribution is characterized by the positive anomalies to the north of the Changjiang River and near normal rainfalls over large part of the south of the Changjiang River. It has been explored too that there exist obvious relationships between the rainfalls during winter and ENSO warm phase. Because of the ENSO quasi-normal phase rainfall mean values are used to instead of the general climate mean, our results obtained are obviously better than other studies earlier.

Key words ENSO sea surface temperature anomaly precipitation