

广东沿海夏季降水年代际变化成因分析

郑 彬, 林爱兰, 谷德军, 李春晖

(中国气象局 广州热带海洋气象研究所, 中国气象局 热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘要: 利用零降水日对广东沿海夏季降水的年代际变化成因进行统计相关分析, 结果表明: 南海表层海温(SST)对次年夏季广东沿海地区降水有明显影响, 并且这种影响作用在 20 世纪 70 年代有一个明显的年代际变异; 南海 SST 影响广东省夏季降水的敏感区域在不同的年代际阶段都非常靠近广东省, 局地性非常明显。局地的海气相互作用对广东沿海夏季降水的短期气候预测有显著的意义。

关键词: 零降水日; 夏季降水; 南海表层海温; 年代际变异

中图分类号: P461

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)03-0100-08

旱涝天气对我国危害极大, 而降水异常是导致旱涝发生的根本原因。关于中国降水变化的研究, 我国科学家已经作了不少工作。孙淑清^[1]研究了近 50 a 华北地区的旱涝特征, 指出华北地区降水有 20 a 左右的交替变化, 并且与大气环流的异常有密切相关。赵声蓉等^[2]和张庆云等^[3]分别研究了亚洲季风对华北和中国东部地区汛期降水的影响。而我国南方地区濒临南海, 夏季气象灾害(如旱涝异常)与南海夏季风(东亚热带季风)活动有密切关系, 是导致该地区旱涝发生的重要影响系统^[4]。许多研究还表明, ENSO 事件同中国大陆降水有关。例如, 刘永强等^[5]和龚道溢等^[6]的研究都指出 ENSO 事件对中国大陆降水有明显影响, 但似乎其产生的降水异常并不在夏季。此外, 台风、对流层准两年振荡(TBO)等等都会影响中国降水。可见影响中国降水的因子很多, 这也正是中国降水与 ENSO 的相关性并不高的重要原因^[7]。

广东省夏季(6~8月)降水主要受台风和季风的影响, 其中季风作用基本影响了整个夏季, 而台风降水影响的时间虽然短, 但是降水量和降水强度却很大。季风和台风都有年代际的变化^[8-9], 而且都与海表温度(SST)有关。为了研究季风对广东沿海地区夏季降水年代际的影响, 我们引入零降水日, 目的是为了消除降水小尺度因素的影响, 将降水因子锁定在大尺度长期稳定影响这一范围。如果夏季的天数是一个集合区域, 零降水日和降水日分别是它的一个子集, 而降水日又可以有稳定降水和突发(小尺度)降水两个子集, 其中稳定降水几乎覆盖整个降水日,

也即是说在突发降水(例如台风降水)的日子, 稳定降水依然可以在发生。零降水日与稳定降水日密切相关, 而突发降水对零降水日的贡献就很小。相反地, 突发降水对降水量的贡献就不同, 它可以占较大的比例。因此, 利用零降水日研究对夏季降水年代际变化是值得尝试的。本文将以东广东省沿海城市的夏季降水为研究对象, 利用零降水日研究其与南海海温异常(SSTA)的关系。

1 资料及预处理

文章中使用的降水资料是广东省沿海 5 个城市(湛江、阳江、广州、深圳和汕头)1954~2000 年夏季日降水量的资料, 以每年夏季 6~8 月降水为零的天数和平均降水重新组成时间长度为 47 a 的序列, 其中零降水包括了微量降水。南海表层海温资料使用的是简单海洋同化资料(SODA, the Simple Ocean Data Assimilation)中 7.5 m 深的海温资料, 研究的南海海域范围取为 110°~120°E, 5°~20°N。SODA 海洋资料是月平均资料, 对其再进行处理, 得到 1954~2000 a 的季平均资料, 其中季的划分: 3~5 月为春季(MAM), 6~8 月为夏季(JJA), 9~11 月为秋季(SON), 12 月~次年 2 月为冬季(DJF)。

为了分析以上 5 个广东省沿海城市 JJA 的零降水日与平均降水及南海 SST 的关系, 对这 5 个城市

收稿日期: 2010-04-14; 修回日期: 2011-12-07

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目第四课题“东亚季风年际-年代际变异预测模型及其应用”(2010CB950304)

作者简介: 郑彬(1976-), 男, 福建光泽人, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气研究, E-mail: zbin@grmc.gov.cn

JJA 的零降水日和降水序列进行自然正交分解(EOF), 得到零降水日的第一个主分量 ZPC1 的解释方差为 99.11%, 平均降水量的第一个主分量 PPC1 的解释方差为 95.52%, 因此用 ZPC1 和 PPC1 已经可以很好地代表这 5 个站 JJA 的零降水日和平均降水量的年变化。

2 资料分析

2.1 广东省沿海地区 JJA 零降水日的年代际变化特征

从直观的概念来看, JJA 零降水天数多的应该对应着较小的降水量, 反之亦然。图 1 即是从 ZPC1 和 PPC1 得到的 JJA 零降水日与平均降水量的时间演变, 图中显示的是距平值。从图 1 中可以看出, JJA 零降水天数多的年, 基本对应着降水的负距平, 即平均

降水量偏少。同样, JJA 零降水天数少的年, 基本对应着降水的正距平, 计算它们的相关系数达到 -0.66 。但是应该注意, 它们之间的意义是有区别的。

表 1 显示了广东省沿海 5 个城市 JJA 零降水日的统计信息, 其中 A 时段为 1954~1976 年, B 时段为 1977~2000 年。可以看出, 在 B 时段的广东省沿海地区 JJA 的零降水日大于 46 d 的年数比 A 时段都有所增大, 其中广州增大最多, 是 B 时段的 2.8 倍。此外, 深圳汕头 JJA 的零降水日大于 46 d 的年数在 B 时段都有了零的突破。从平均值来看, 同样表现出 B 时段的零降水天数增多的情况, 而且最大值出现的年份有 4 个站是在 B 时段。事实上, 从图 1 中 ZPC1 线也可以看出这种变化, 在 A 时段, ZPC1 距平值小于零的年份有 14 a, 而在 B 时段, 大于零的年份有 16 a, 即 B 时段零降水的的天数普遍大于 A 时段。

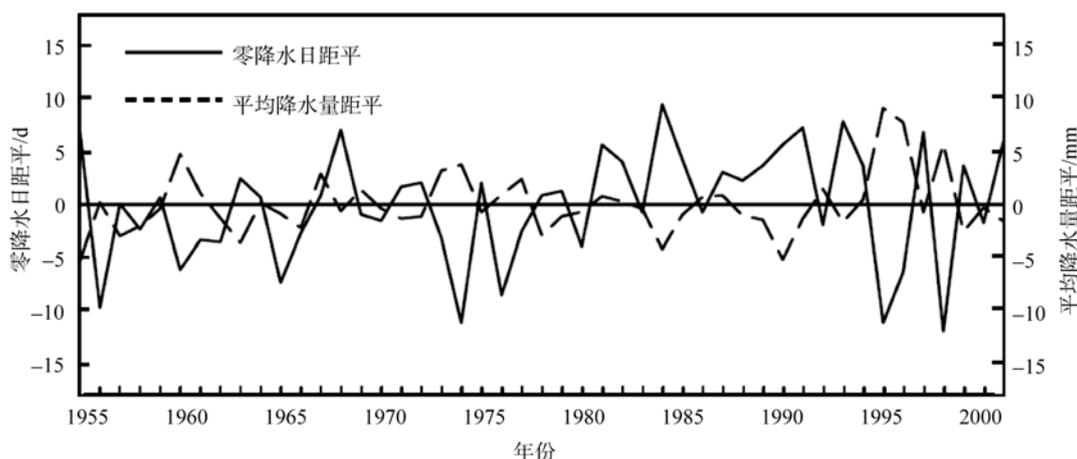


图 1 JJA 的零降水日与平均降水量的关系

Fig. 1 No-rainfall days and mean precipitation in JJA

从图 1 可以看到, 平均降水量的年代际变化与零降水日相似, 但是更不明显。在 A 时段, 平均降水的距平接近零, 而之后一直到 1994 年的平均降水偏少, 1995 年之后又开始偏多。之所以平均降水量的年代际变化没有零降水日显著, 可能是季风降水和台风降水叠加的效果。文献[9]指出影响广东的热带气旋个数和总降水量都有年代际变化, 并且二者有很好的正相关关系。在 20 世纪 50 年代, 热带气旋(这里指的是影响广东的热带气旋, 下同)个数偏少, 总降水量则偏少; 20 世纪 60 年代到 1976 年, 热带气旋个数偏多, 总降水量也偏多; 1977~1987 年是偏少年, 1988~2000 年又变为偏多年。但是如果考虑平均降水量, 则热带气旋降水的年代际变化就不会很明显,

二者的变化相抵消。实际上不可能完全抵消, 热带气旋的强度也会影响降水。从文献[9]可知, 热带气旋的强度有变强的趋势, 在 1976 年之前偏弱, 而 1976 年之后偏强。则相应的有台风降水的年代际突变, 在 1976 年之前偏少, 1976 年之后偏多, 这与季风降水的情况正好相反。由此可知, 季风降水和热带气旋降水叠加后的平均降水量的年代际变化不如单独的季风降水(这里用零降水日代表)年代际变化显著。

以上分析可知, 广东省沿海地区 JJA 的零降水日在 1976 年前后有明显的年代际变化, 1954~1976 年 JJA 的零降水天数相对偏少, 相应的季风降水偏多; 而 1977~2000 年 JJA 的零降水天数相对偏多, 相应的季风降水偏少。

2.2 零降水日与南海 SST 的关系

广东省地处沿海, 气候变化明显受海温异常的影响。纪忠萍等^[10]研究表明, 7~9 月西太平洋海温的变化直接影响到副高的变化, 进而通过 PNA 和 WAE 遥相关波列影响到广东春季低温阴雨的程度。梁建茵等^[11]研究认为前期 12~2 月西太平洋暖池海温是广东前汛期旱涝变化的重要强信号之一, 暖池海温偏高(低), 广东前汛期正常偏旱(涝); 后汛期旱涝年份对比分析表明, 亚洲夏季风系统偏强(弱)是造成广东省后汛期偏涝(旱)的最重要因素。谢炯光等^[12]的研究进一步指出不同时期、不同海区的海温对前、后汛期降水的影响是不一样的。而吴国雄等^[13]研究表明, 中国的降水受邻海海温的影响似乎要比远海海域更明显。王谦谦等^[14-15]也注意到在西太平洋暖池

海温异常相同的分布形势下, 我国江淮流域却可能出现相反的降水情形, 她认为可能是我国近海表层温度异常(SSTA)的不同分布形势在其中起了重要的作用。因此, 本文主要分析广东省领海海域, 即南海的 SST 对广东省沿海城市 JJA 降水的影响。

对 47 a 南海各季表层海温与 ZPC1 和滞后一年的 ZPC1 的相关分析结果表明(图略), 它们的相关系数较小, 都达不到 95% 的统计检验水平, 即是说 1954~2000 年南海各季表层海温似乎对广东沿海 JJA 降水影响不大。但是从前面的分析可以看出, 零降水日在不同的年代际阶段有明显的差异, 那海温与降水是否在不同的年代际阶段有不同的相关关系? 从而导致这总的 47 a 的相关偏低, 出现南海表层海温对广东沿海 JJA 降水影响不大的虚假结论? 这正是

表 1 广东省沿海 5 个城市 JJA 的零降水日统计表

Tab. 1 Statistics for no-rainfall days in five coastal cities in Guangdong

城市	零降水日 ≥ 46 d 的时间(a)		零降水日最大值(d) (出现年份)	零降水日平均值(d)		
	A 时段	B 时段		A 时段	B 时段	1954~2000 年
湛江	11	16	59(1978)	45.35	48.71	47.06
阳江	2	5	51(1983)	39.39	41.33	40.38
广州	5	14	62(1954)	43.87	46.38	45.15
深圳	0	4	49(1983)	35.43	38.88	37.19
汕头	0	1	46(1992)	30.43	35.13	32.83

下面要讨论的问题。

这里先介绍一下本文关于相关的检验。本文使用的是依赖 t 分布的 t 检验方法, 检验的统计量为:

$\frac{r}{\sqrt{1-r^2}}\sqrt{n^*}$, 其中 r 为相关系数, n^* 为自由度。一般

情况下, n^* 取为 $n - 2$, n 为序列长度。但是有研究表明, 计算相关系数的两个变量具有的持续性或高的自相关时, 检验的自由度就不能用 $n - 2$, 应该用有效自由度^[16]。事实上, 海表温度具有很强的持续性,

必须使用有效自由度检验。有效自由度为 $\frac{n}{T}$, 其中

$T = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau)R_{yy}(\tau)$, $R_{xx}(\tau), R_{yy}(\tau)$ 分别是变量 x, y 的自相关系数, τ 为时间滞后^[17-18], 即:

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} x_i^* x_{i+\tau}^*$$

$$R_{yy}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} y_i^* y_{i+\tau}^*$$

其中 τ 取为 n 的一半, “*”表示标准化。

与前一节相同, 将资料分为 A、B 两个时间段序列, 并分别在这两个时间段作南海各季 SSTA 与同年 JJA 零降水日的相关系数, 如图 2 所示。从图 2 中可以看出, 在 A 时段 DJF 的相关图中, 靠近广东省的一块海域有较大的相关系数。另外, 同样在 A 时段, SON 海温异常同零降水日在巴拉望岛南部也有一块相关较大的区域。而 B 时段各季都没有这样的相关区域。另外, 在 MAM 和 JJA, A、B 时段都没有明显的相关。这表明 A、B 时段南海 SSTA 对同年 JJA 广东省沿海降水影响不大, 反倒是沿海地区 JJA 降水对同年 SON 和 DJF 的南海表层海温有一定的影响。

图 3 是 A、B 两个时段南海各季 SSTA 与滞后一年的 ZPC1 的相关图。从图中可以看出, A 时段对广东省隔年 JJA 降水有明显影响的是 MAM 的南海表层海温, 敏感海域靠近广东省沿海地区。而 B 时段对广东省 JJA 降水有明显影响的则是前冬的南海 SSTA, 敏感海域也是非常靠近广东省沿海地区。A、B 时段南海表层海温影响广东省沿海 JJA 降水不仅

表现出季节的差异,而且还具有相反的影响系数。从图中可以看出, A 时段 MAM 南海表层海温与零降水日有正的相关, 即与季风降水有负相关, 而 B 时段 DJF 南海表层海温与零降水日的关系则正好相反。

仔细比较图 3(a), (b)可以发现。对应 A 时段

MAM 的最大相关区, B 时段相关系数减小了, 甚至出现了负相关; 同样, 对应 B 时段 DJF 的最大相关区, A 时段也是小相关系数或正相关。正是因为 JJA 零降水日与南海表层海温这种关系的年代际变化, 使得在分析 1954~2000 年总的相关系数时出现较差的相关关系。

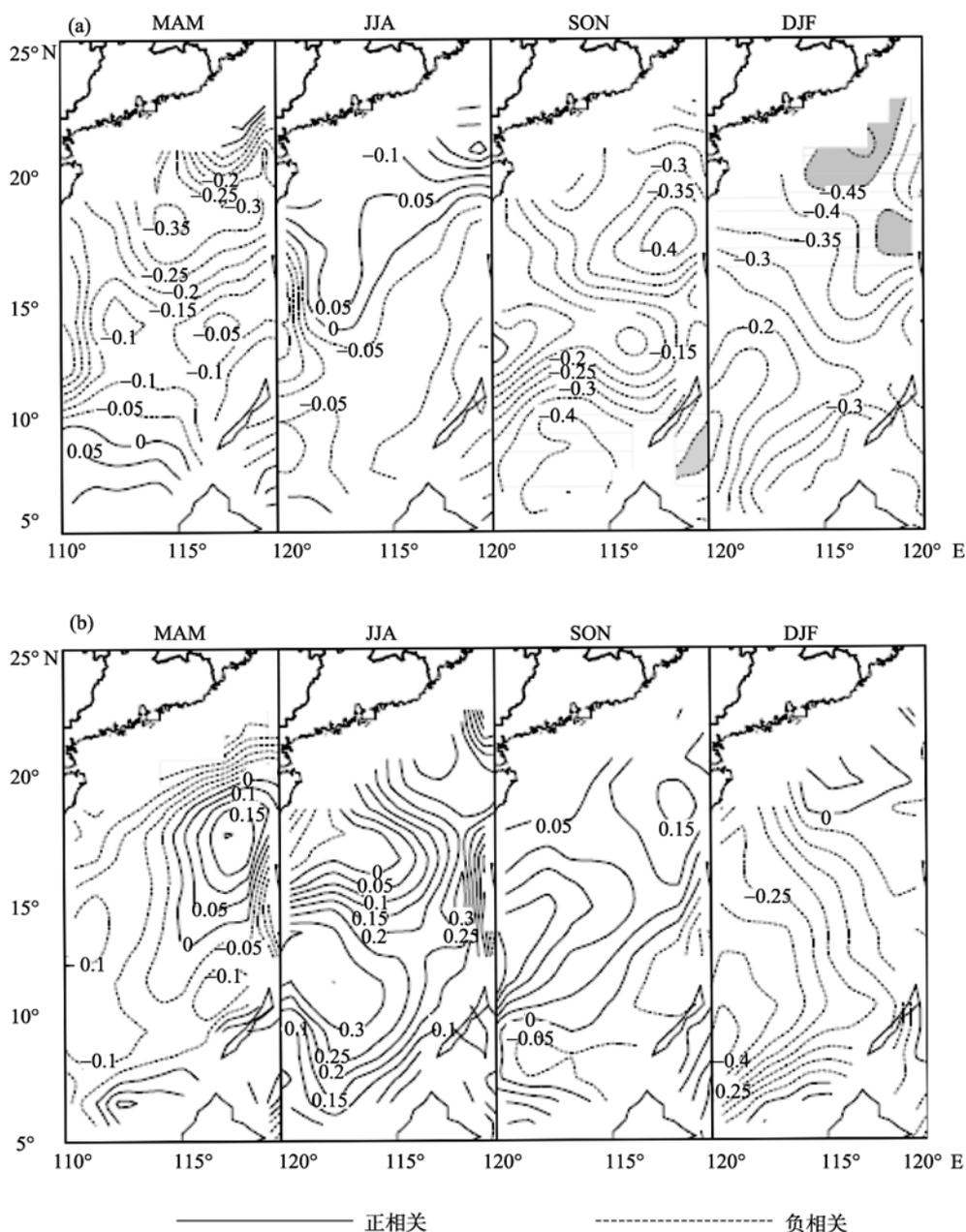


图 2 南海各季海 SSTA 与零降水日的相关系数分布图

Fig. 2 Correlation coefficients between seasonal SSTA and no-rainfall days

(a) A 时段 1954~1976 年; (b) B 时段 1977~2000 年; 图中阴影为大于 0.05 信度的区域; 等值线间隔为 0.05(图 3 同)

(a) 1954~1976, named A spell; (b) 1977~2000, named B spell; Areas exceeding 0.05 confidence are shaded and interval is 0.05(the same as Fig.3)

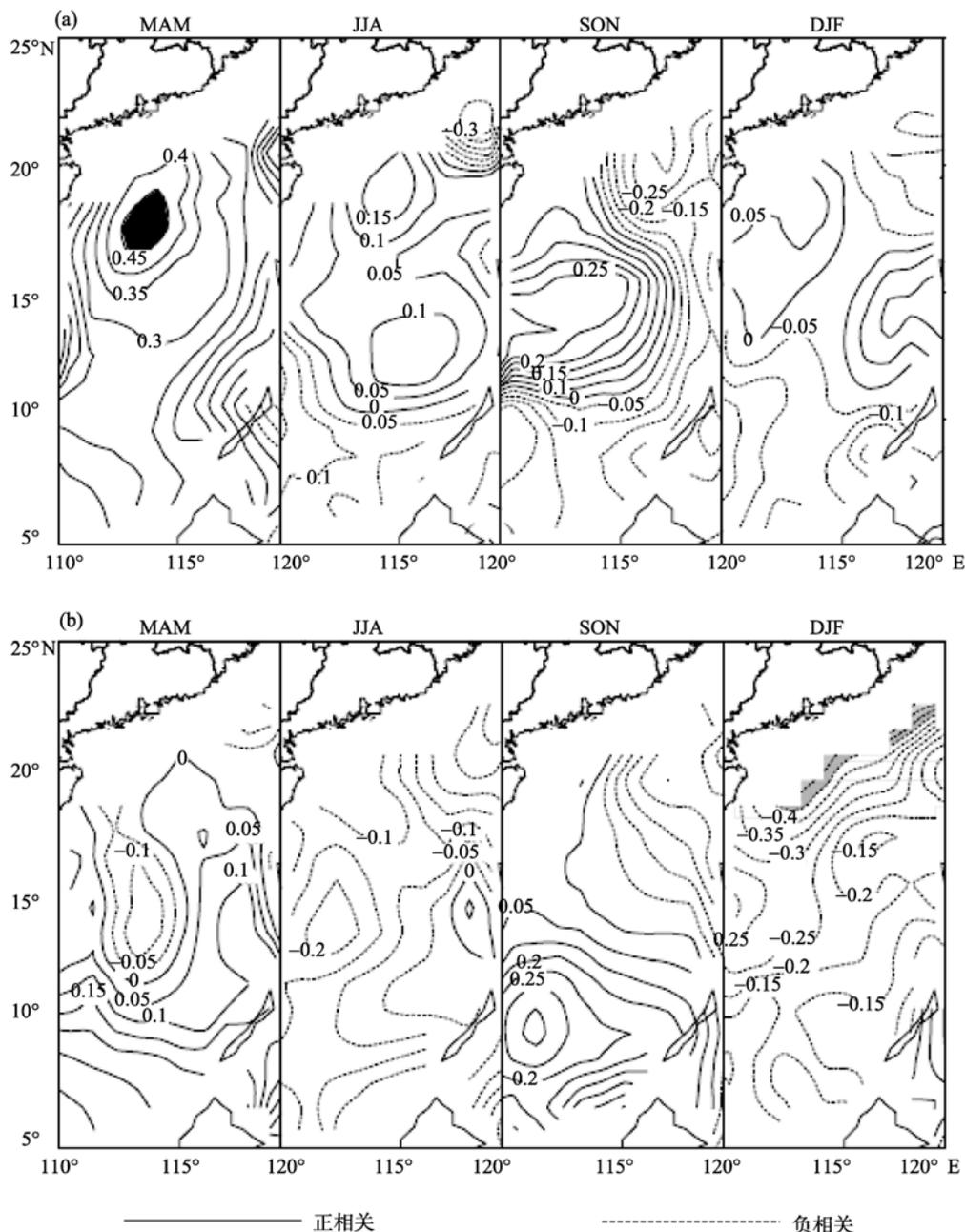


图3 南海各季海 SSTA 与滞后 1 a 零降水日的相关系数分布图

Fig. 3 Correlation coefficients between seasonal SSTA and 1 a lagged no-rainfall days

同样地，如果利用南海各季表层海温与 JJA 的平均降水量求相关，在 A、B 时段的各个季节都没有显著的相关区域(图略)。由此可见，利用 JJA 的零降水日代替平均降水量，可以更突出地描述长期稳定影响因子对 JJA 降水的作用。

2.3 SST 影响零降水日年代际变化的机制

SST 是如何影响零降水日，即季风降水的呢？我们首先来看一看广东沿海 SSTA 的变化，如图 4。

可以看到，在 1976 年以前，广东沿海 SSTA 虽然负趋势较弱，但变率较大；而 1976 年之后，正趋势明显，但变率减小。广东沿海 SSTA 的这种年代际变异可能是导致零降水日年代际变化的原因。那么，广东沿海 SSTA 是通过什么物理机制影响季风降水的呢？从图 5 可以看出，当处于 A 时段时，由于前一年春季广东沿海的暖海温，加热了低层大气，导致了前一年夏季低层大气异常的南风；由于科氏力的作用，前一年秋季在南海进一步形成气旋性异常，而冬季的

盛行东北风将气旋性异常向西南平流，从而使冬季在赤道附近形成辐合；赤道附近的辐合引起异常降水，潜热释放形成了第二年 MAM 在南海及华南沿海地区对流层中层的经向负气温梯度；MAM 的负温度梯度则使得南海夏季风环流减弱，从而造成夏季风降水减少，即零降水日增加。

海地区对流层中层的经向负气温梯度；MAM 的负温度梯度则使得南海夏季风环流减弱，从而造成夏季风降水减少，即零降水日增加。

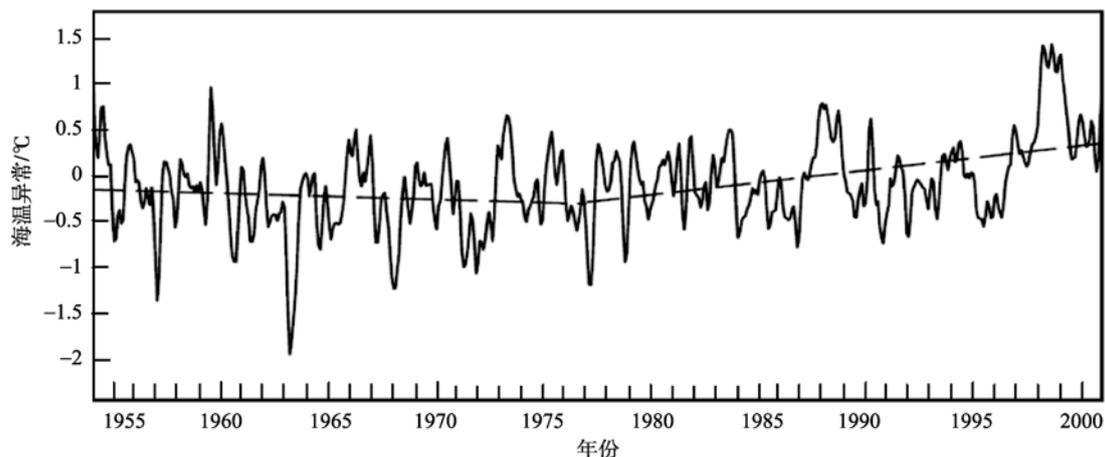


图 4 广东沿海 SSTA 的时间变化

Fig. 4 Time series of Guangdong circumlittoral SSTA

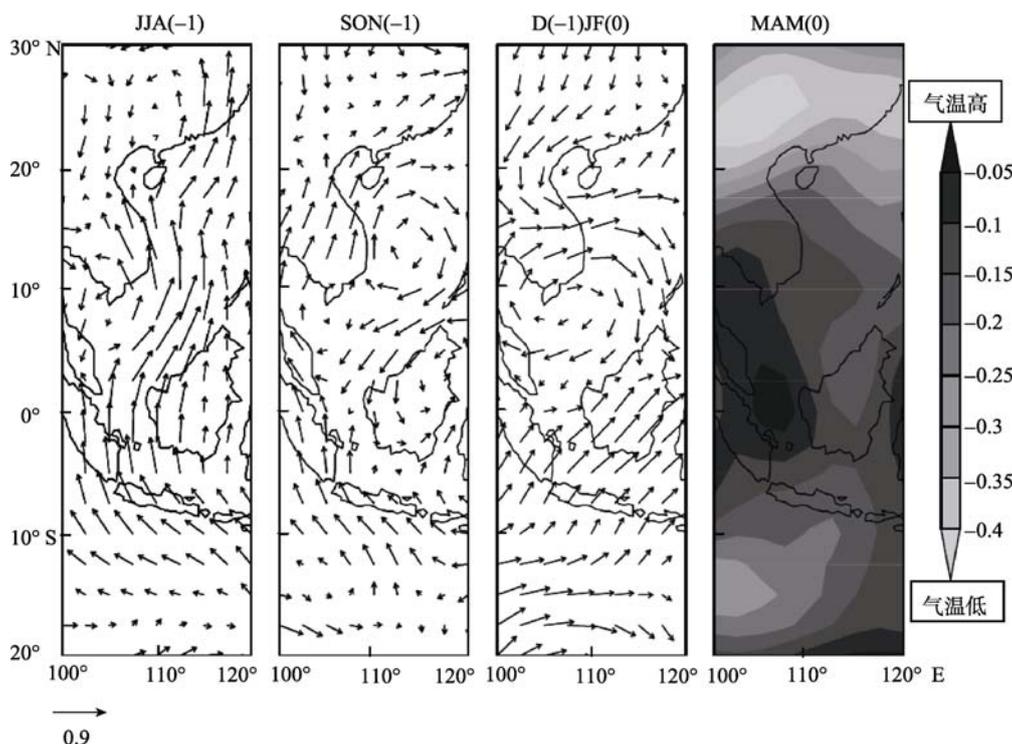


图 5 广东沿海 MAM 的 SSTA 与 850 hPa 风场及 500 hPa 温度场 A 时段的相关分布图

Fig. 5 Correlation coefficients between Guangdong circumlittoral SSTA of MAM and 850 hPa winds and 500 hPa air temperature during A spell

(-1)代表当前年份的前一年; (0)表示当前年(图 6 同)

(-1) represents last year ; (0) for present year(the same as Fig.6)

图 6 显示了 B 时段广东沿海 DJF 的 SSTA 与 DJF 的 850 hPa 风场及第二年 MAM 的 500 hPa 温度场的相关分布，从中可以看到，当广东沿海 DJF 的海温

偏高，此时低层的暖湿大气吸引了大陆的北风和海洋上的南风，从而加强了随后 MAM 期间的前汛期降水，造成南海中北部及华南地区对流层中层大气

的经向正温度梯度异常,导致了南海夏季风环流的加强,因而使得夏季风降水增多,零降水日减少。

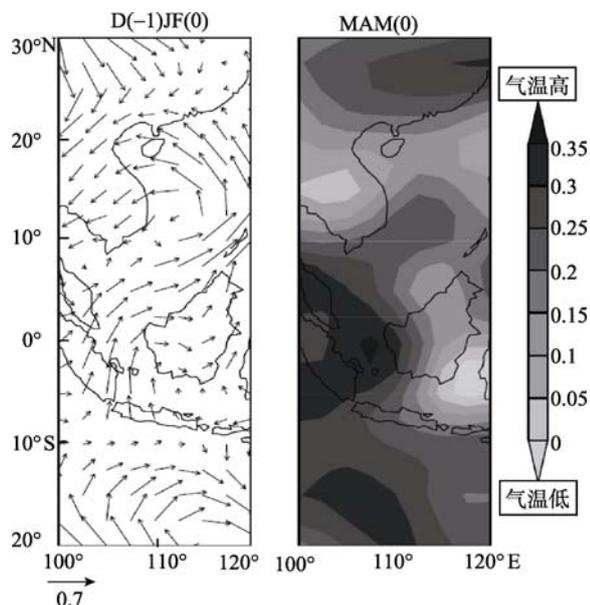


图6 广东沿海 DJF 的 SSTA 与 850 hPa 风场及 500 hPa 温度场 B 时段的相关分布

Fig. 6 Correlation coefficients between Guangdong circumlittoral SSTA of DJF and 850 hPa winds and 500 hPa air temperature during B spell

3 结论

通过对比分析不同年代际阶段广东省沿海地区夏季零降水日与南海各季表层海温的关系,结果表明:(1)利用零降水日研究对降水有长期稳定影响的因子比用平均降水量更具有优越性。(2)广东省沿海夏季零降水日有明显的年代际变化,1977~2000 年与 1954~1976 年相比,夏季零降水天数明显增多。(3)南海表层海温对广东省沿海地区降水的影响也有明显的年代际变异。在 1954~1976 年,当年春季的南海表层海温异常显著影响次年夏季的广东沿海零降水日,具有正的相关,即海温上升,则零降水日增加,季风降水较少,反之亦然;1977~2000 年,转变成当年冬季南海表层海温显著影响次年夏季的广东沿海零降水日,而且具有负的相关,即海温上升,零降水日减少,季风降水增多,反之亦然。但是它们也有一个共同点,就是显著影响夏季降水的敏感海区都非常靠近广东省沿海地区,具有明显的局地性。(4)A 时段广东沿海 MAM 的 SSTA 偏暖,会造成第二年 MAM 南海及华南沿海地区对流层中层大气的温度负梯度,进而减弱南海夏季风环流,减少夏季风降

水; B 时段广东沿海 DJF 的 SSTA 偏暖,会造成第二年 MAM 南海中北部及华南沿海地区对流层中层大气的温度正梯度,使得南海夏季风环流增强,增加夏季风降水。

参考文献:

- [1] 孙淑清. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨[J]. 高原气象,1999, 18(4): 541-551.
- [2] 赵声蓉, 宋正山, 纪立人. 华北汛期降水与亚洲季风异常关系的研究[J]. 气象学报, 2002, 60(1): 68-75.
- [3] 张庆云, 陶诗言. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水[J]. 应用气象学报, 1998, 9(增刊): 17-23.
- [4] 梁建茵, 吴尚森. 夏季广东降水异常变化与夏季风[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 38-47.
- [5] 刘永强, 丁一汇. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 200-208.
- [6] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 315-320.
- [7] 江爱良. 全球变化与亚洲季风[J]. 第四纪研究, 1995, 15(3): 232-242.
- [8] 谷德军, 纪忠萍, 王东晓, 等. 不同时间尺度上南海夏季风强度与海洋热力条件的关系[J]. 热带气象学报, 2007, 23(1): 14-20.
- [9] 袁金南, 郑彬. 广东热带气旋降水年代际变化特征的分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(4): 385-391.
- [10] 纪忠萍, 谢炯光. 广东省春季低温阴雨的年景变化趋势分析[J]. 热带气象学报, 2000, 16(1): 76-84.
- [11] 梁建茵, 吴尚森. 广东省汛期旱涝成因的前期影响因素探讨[J]. 热带气象学报, 2001, 17(2): 97-108.
- [12] 谢炯光, 纪忠萍. 西北太平洋海温与广东省汛期降水的关系[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 56-63.
- [13] 吴国雄, 刘还珠. 降水对热带海表温度异常的邻域响应[J]. 大气科学, 1995, 19: 422-434.
- [14] 王谦谦, 钱永甫. 1991 年太平洋海温异常对降水影响的数值实验[J]. 南京气象学院学报, 1995, 18: 200-205.
- [15] 王谦谦, 钱永甫. 1991 年夏季江淮洪涝成因的数值实验——西太平洋海温异常的影响[J]. 气象学报, 1995, 53(增刊): 595-603.
- [16] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 244.

- [17] Davis R E. Predictability of sea-surface temperature and sea-level pressure anomalies over the North Pacific Ocean[J]. *J Phys Oceanogr*, 1976, 6: 249-266.
- [18] Chen W Y. Fluctuation in Northern Hemisphere 700mb Height field Associated with Southern Oscillation[J]. *Mon Wea Rev*, 1982, 110: 808-823.

A possible cause for interdecadal variations of summer precipitation along Guangdong coast

ZHENG Bin, LIN Ai-lan, GU De-jun, LI Chun-hui

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China)

Received: Apr.,14,2010

Key words: no-rainfall days; summer rainfall; sea surface temperature of the South China Sea; interdecadal change

Abstract: No-rainfall days were used to separate the steady rainfall from occasional ones, and coefficient analysis was adopted to explore the effects of the sea surface temperature (SST) of the South China Sea on the summer precipitation, and the results indicate that the South China Sea SST anomalies (SSTA) affect the rainfalls in Guangdong coast and the relationship of them have made interdecadal changes in 1970s. Moreover, at different interdecadal phase, both of the sensitive sea areas of the South China Sea SST on summer rainfall were very close to Guangdong Province. Local air-sea interactions play important role in short range climate prediction for the summer precipitation in Guangdong coast.

(本文编辑: 刘珊珊)