

广东汛期开始日期的年际和年代际变化研究

纪忠萍¹ 熊亚丽¹ 谷德军² 梁建茵² 谢炯光¹

¹ 广州中心气象台, 广州 510080

² 广州热带海洋气象研究所, 广州 510080

摘 要 用小波分析和相关统计等方法, 对近 50 多年来广东开汛的年际和年代际变化及与副高、PDO 指数的关系进行了研究, 同时也研究了它与后期天气、前期 500 hPa 环流场和海温场的关系。结果表明, 近 50 年来广东开汛呈偏早的趋势, 具有明显的 2~7 年左右的年际和 34 年左右的年代际周期振荡; 开汛的年代际振荡与副高、PDO 指数是一致的, 并与它们存在反向的关系, 且突变的时间也均发生在 20 世纪 70 年代中后期; 广东开汛与后期天气的相关分析表明, 它与广东 4 月降水的相关最好, 与 5、6 月的相关则差; 与广东降水集中期初日只有在 1986 年以后至今才具有显著的正相关, 而与降水集中期次数却在 1977 年之前就具有显著的负相关; 广东开汛的早晚与前冬 500 hPa 高度场存在几个显著的相关中心, 与前秋北太平洋西风漂流区的海温异常也有明显的相关。

关键词 开汛 年代际变化 500 hPa 环流场 海温场

文章编号 1006-9895(2005)02-0292-09

中图分类号 P468

文献标识码 A

A Study of Interannual and Interdecadal Variations of the Rain Season Onset Dates in Guangdong Province

Ji Zhong-Ping¹, XIONG Ya-Li¹, GU De-Jun², LIANG Jian-Yin², and XIE Jiong-Guang¹

¹ Guangzhou Central Meteorological Observatory, Guangzhou 510080

² Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology, Guangzhou 510080

Abstract On the basis of wavelet and correlation analysis, the interannual and interdecadal variations of the Rain Season Onset Dates (RSOD) in Guangdong Province in the past 52 years (from 1951 to 2002) are studied, and its relation to the index of the Northwest Pacific subtropical high intensity and Pacific interdecadal Oscillation (PDO) in March–May, the subsequent weather in April–June and the 500 hPa circulation in the preceding winter and Sea Surface Temperature Anomaly (SSTA) in the North Pacific Ocean in the preceding autumn is also investigated. The main results show that RSOD has an earlier tendency in the past 52 years and has the main oscillation periods of quasi-2–7 years and quasi-34 years; the subtropical high and PDO also have the main oscillation periods of quasi-34 years, show an opposite phase relation to the RSOD in decadal variations and have an abrupt climatic jump in the middle and late period of the 1970s with RSOD; there exists a better correlation between RSOD and rainfall amount in April than in May or June; there also exists a pronounced positive correlation to the first date of concentrated rainstorm period in Guangdong Province in April–June after 1986, but a negative correlation to the frequency of concentrated rainstorm period before 1977; the relation between RSOD and 500 hPa circulation and SSTA in the North Pacific Ocean shows that there exists several high correlation centers to 500 hPa geopotential height and one high correlation center to SSTA near (40°N, 175°W–160°W) in the North Pacific, which has important implication for the prediction on rain season onset dates.

Key words rain season onset date, interdecadal variation, 500 hPa circulation field, SST field

1 引言

广东省地处低纬,濒临南海,有丰富的水汽来源,是我国降水最多的地区之一。省内降水季节的分配明显,每年的雨季大致在 4~9 月,即以锋面降水为主的前汛期(4~6 月)和以台风降水为主的后汛期(7~9 月)其中前汛期的雨量约占年雨量的 40%~50%^[1],是汛期中的主要时段,也是暴雨集中期和各种强对流天气多发季节,常导致局地性山洪爆发、泥石流和山体滑坡等地质灾害,也可导致江河水位上涨,造成严重的暴雨洪涝,给国民经济建设和人民生活带来严重的威胁和巨大的损失。因此,在每年广东汛期趋势预报中,开汛的早晚是一个预报的重要内容,它关系到广东前汛期开始的早晚,对政府合理安排工农业生产和防洪、防涝具有重要的意义。

关于广东省前汛期暴雨、前汛期降水的气候变化规律、成因、预测已有很多研究^[1-5],然而关于开汛的早晚变化及与后期天气、前期 500 hPa 环流场和海温场的关系等方面的研究则不多见。本文从研究广东开汛日的变化特征着手,并从短期气候预测的角度研究它和前期 500 hPa 环流场和海温场的关系,以加强广东省汛期的天气趋势预报。

2 资料

选用 1951~2002 年共 52 年逐年广东开汛日期及 4~6 月降水资料、降水集中期资料,逐月西北太平洋副热带高压的强度及 PDO 指数、北半球 500 hPa 5°×10°共 576 个格点高度场、北太平洋(10°S~50°N,120°E~80°W)范围的 5°×5°共 286 个格点海表温度资料。

其中,广东开汛日期等资料取自广州中心气象台中长期科 500 hPa 高度场及海温资料为中国气象局国家气候中心下发的产品, PDO (Pacific interdecadal Oscillation) 指数是 20°N 以北的北太平洋 SST 的 EOF 的第一主分量^[6]。

3 广东开汛的年际和年代际变化

3.1 年际变化和演变趋势

根据广州中心气象台中长期科关于广东开汛日的定义,开汛是指“每年自 3 月 1 日起,全省有二分之一站日雨量≥38 mm 的日期”。表 1 为按上述标准统计出的 1951~2002 年开汛日期资料。

由表 1 可见,广东开汛日具有明显的年际变化特征,多数在 4 月份开汛(占 71.2%),少数在 3 月、5 月开汛(分别占 15.4%和 11.5%),个别在 6 月。其中,开汛最早为 1983 年 3 月 16 日开汛,最迟为 1963 年,迟至 6 月 4 日才开汛,最早和最迟日期相差 80 天之久。图 1 为广东开汛日 1951~2002 年际变化和演变趋势曲线,零值线代表 1951~2002 年开汛的平均日期,为 4 月 15 日。根据广州中心气象台中长期科开汛评分标准,以与平均日期相差±10 天以内为正常,±20 天以外为异常。由此可见,异常偏早的年份有 4 年(1975,1983,1987,2002),异常偏迟的年份有 5 年(1955,1962,1963,1969,1977)。异常偏迟的年份大多在 70 年代中期以前,而异常偏早的年份大多在 70 年代中期以后。

用线性倾向的最小二乘法来估计开汛日的气候变化趋势(见图 1 直线)。可见,近 50 多年以来开汛日期呈下降的趋势,即呈偏早的趋势,线性倾向值 $b =$

表 1 广东省 1951~2002 年开汛日期统计资料

Tabel 1 The yearly statistical data of rainy season onset dates in Guangdong from 1951 to 2002

年份 Year	开汛日期 Rainy season onset dates	年份 Year	开汛日期 Rainy season onset dates	年份 Year	开汛日期 Rainy season onset dates	年份 Year	开汛日期 Rainy season onset dates
1951	04-06	1964	04-27	1977	05-17	1990	04-09
1952	04-05	1965	04-06	1978	04-16	1991	05-01
1953	04-28	1966	04-04	1979	04-08	1992	03-26
1954	04-13	1967	04-12	1980	04-11	1993	04-17
1955	05-08	1968	03-29	1981	04-12	1994	04-25
1956	04-30	1969	05-06	1982	04-22	1995	04-19
1957	04-13	1970	04-12	1983	03-16	1996	03-30
1958	04-27	1971	05-03	1984	04-18	1997	04-03
1959	04-24	1972	04-23	1985	03-28	1998	04-11
1960	04-25	1973	04-08	1986	04-20	1999	04-20
1961	04-06	1974	04-17	1987	03-17	2000	04-02
1962	05-10	1975	03-22	1988	04-20	2001	04-04
1963	06-04	1976	04-18	1989	04-04	2002	03-24

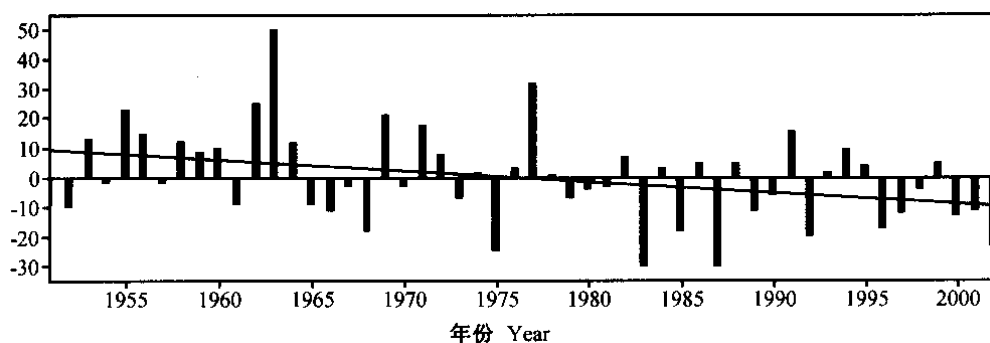


图1 1951~2002年广东开汛日期的年际变化和演变趋势曲线。直方图表示年际变化,细直线为线性拟合趋势线

Fig. 1 The rainy season onset dates in Guangdong from 1951 to 2002 and its linear trend. The bar represents the rainy season onset dates and the thin line represents its linear fitting trend

-0.360, 反映近50年来以3.6天/10年的线性倾向提前开汛。相关系数 $r = -0.350$, 通过 $\alpha = 0.02$ 显著性检验, 说明这种偏早的趋势是明显的。1978年之前开汛日期多为正值, 反映开汛偏晚; 1978年之后, 开汛多为负值, 反映开汛偏早。

3.2 周期变化和突变现象

为了更清楚地了解广东开汛的周期变化和突变现象, 我们选用墨西哥帽小波母函数对广东开汛日期的距平时间序列进行小波分析。图2a为广东1951~2002年开汛日期的小波系数变化图(尺度 a 取0.5~50)。图2左侧纵坐标为 N , 它与放大因子 a 成对数关系, 即 $\alpha(N) = c_1 \exp(c_2 N)$, c_1 和 c_2 是由 $\alpha(1) = 50$ 和 $\alpha(50) = 0.5$ 决定的常数, 纵坐标向下表示 a 逐渐增大, 正值用实线表示, 负值用虚线表示, 等值线间隔为10。从图2的上方等值线极值中心和正负相间演变来看, 广东开汛主要存在准2~3年、4~7年、15年左右的周期变化。其中, 准2~3年的周期主要存在于1953~1955年、1967~1971年、1982~1989年, 4~7年的周期振荡主要存在于1960~1980年, 15年左右的周期振荡主要存在于20世纪80年代到90年代中期。在图2a的下方, 1951年~2002年小波系数呈一正一负两个明显的中心分布, 对应50~60年左右的周期振荡, 反映了开汛日期的年代际变化。其零值线位于1977/1978年左右, 考虑到1977年开汛仍偏晚, 说明广东开汛的年代际变化的突变发生在1978年左右。1978年之前, 小波系数为正值, 反映开汛偏迟; 1978年之后, 小波系数为负值, 反映开汛偏早。这也说明, 近50多年以来开汛日期呈下降的趋势, 即呈偏早的趋势。这与前面用线性倾向的最小二乘法来估计开汛日的气候变化趋势是一致的。

大量的观测分析表明, 太平洋(特别是北太平洋区域)海气系统在1976年前后经历了一次明显的年代际

调整^[7,8], 这种变化影响到北美气候乃至整个北半球大气环流系统^[9], 对亚洲季风和中国的气候变化也有很大影响^[10,11]。西太平洋副热带高压是影响我国降水异常的重要因子, 蔡学湛等^[12]和李江南等^[13]认为西太平洋副热带高压在20世纪70年代中后期也具有突变性。图2b和c是广东开汛同期1951~2002年3~5月副高强度与PDO指数距平的小波系数变化图。可见, 在年代际的时间尺度上, 小波系数都是由负到正, 代表副高和PDO指数的由弱到强, 一负一正的两个极值中心对应50~60年左右的周期振荡。说明它们与广东开汛有着一致的年代际周期振荡和相反的变化趋势, 即在年代际尺度上, 副高的偏弱和PDO指数的偏低对应广东开汛的偏迟, 副高的偏强和PDO指数的偏高对应广东开汛的偏早。另外, 从年代际小波系数的零值线可见, 副高强度和PDO指数分别在1978, 1976年左右发生突变, 与广东开汛日期有大致一致的突变时间, 即均在70年中后期发生突变。张琼等^[14]研究南亚高压的面积和强度在1978年具有突变性, 1978年南亚高压的面积和强度由弱变强。这些说明广东开汛与PDO指数和北半球大气环流有着大致一致的年代际周期振荡和突变时间。但是否由70年代中期PDO指数的突变, 导致北半球大气环流的显著异常, 从而导致广东开汛的年代际突变, 有待于做深入的研究以了解气候系统各组成部分之间的相互作用。

由图2广东开汛和副高、PDO指数小波系数的低频部分可以看出, 三者的低频部分具有非常高的相关性, 而在高频部分的相关则不高。为了验证这一结论, 我们又对三者进行小波逆变换, 分别对小波系数图中对应周期为2~7年、20~136年的部分进行反演, 并求其相关系数。得到在高频部分广东开汛与副高、PDO指数的相关系数分别为0.011和-0.289, 而在低频部分广东开汛与副高、PDO指数的相关系数分别高达

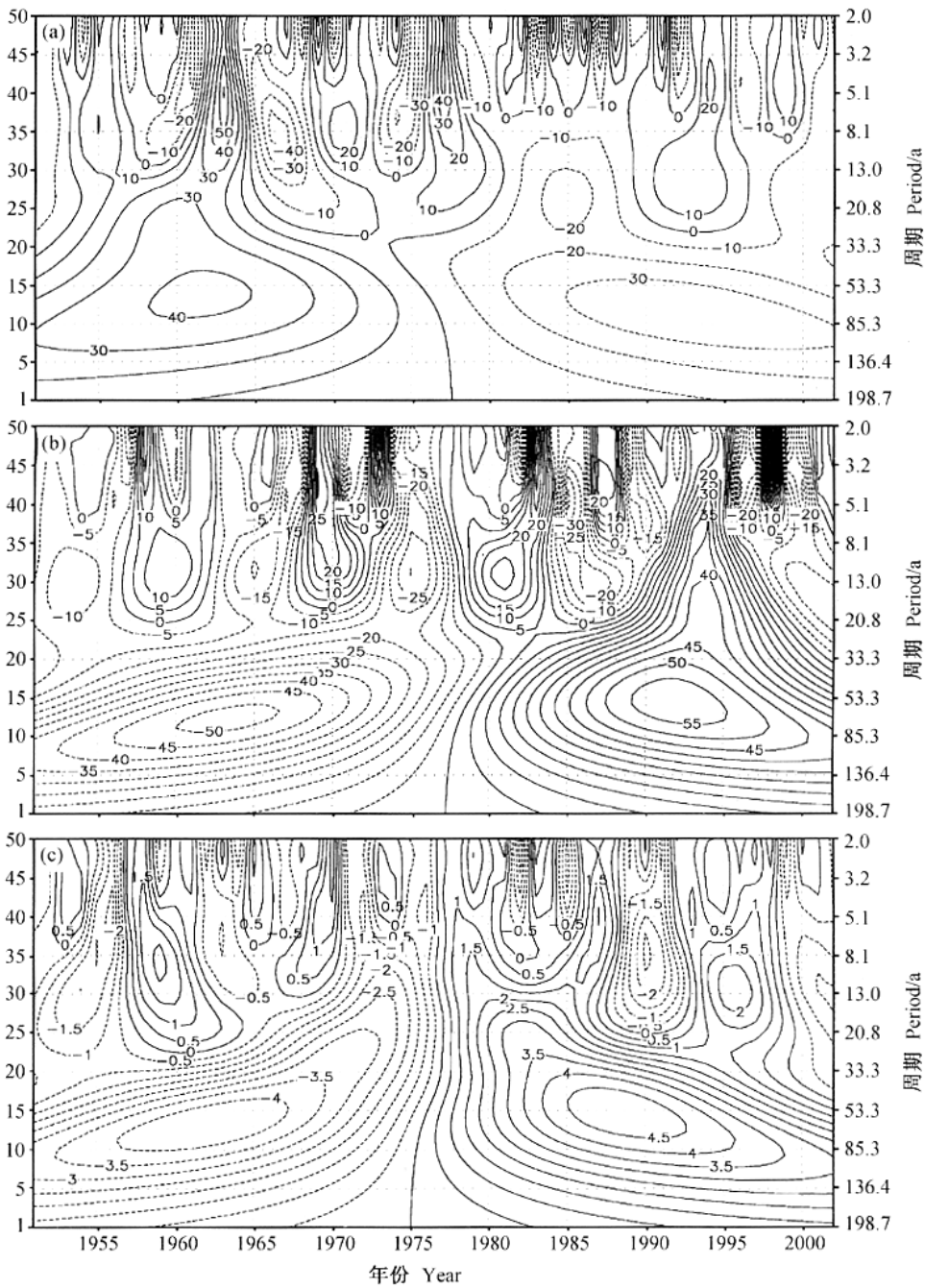


图2 1951~2002年广东开汛(a)、3~5月副高强度指数(b)及3~5月PDO指数(c)距平的小波系数变化

Fig.2 The wavelet transform coefficient for the rainy season onset dates (a), the Northwest Pacific subtropical high intensity indices during March – May (b) and Pacific interdecadal Oscillation (PDO) indices during March – May (c) for 1951 – 2002. The right axis is the Fourier period (units : a) corresponding to the wavelet scale on the left axis

-0.891 和 -0.939。说明广东开汛与副高、PDO 指数在年际尺度上相关不高,而在年代际尺度上具有非常高的反向关系。

为了更清楚地了解序列中蕴涵的主要周期信号,我们又对上述3种时间序列进行功率谱分析(图3)。图3a中有4个明显的峰值,分别对应34年、6.8年、4.3年、2.3年,虽然没有达到0.05的显著水平,但其

功率谱值较大,仍是序列中存在的主要周期,其中年际周期与小波系数图中所反映的主要周期振荡是一致的,由于资料长度的限制,年代际周期部分分析不出小波系数图中50~60年左右的周期。图3b中反映副高的显著周期为3.8年,其次为34年,其中3.8年的主要周期与慕巧珍^[15]用近百年副高资料所反映的春季副高强度的主要周期振荡是一致的,图3c有2个明显

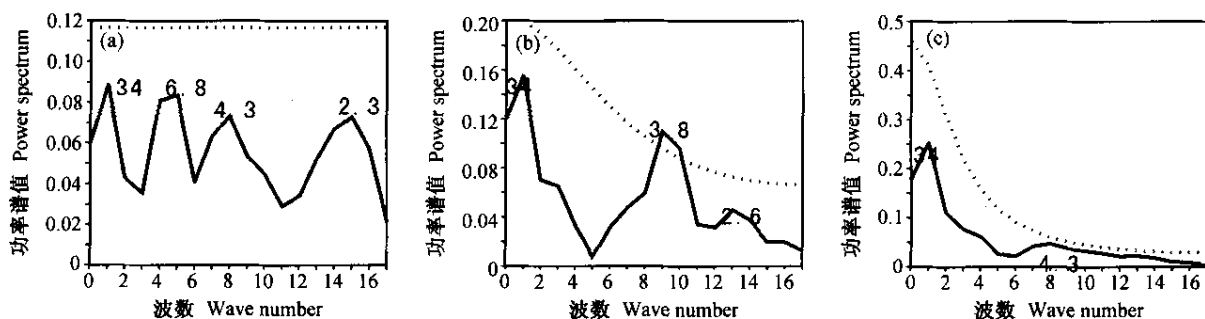


图3 广东 1951~2002 年开汛日 (a) 3~5 月副高强度 (b) PDO 指数 (c) 功率谱图, 虚线为 0.05 信度线

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the Fourier power spectrum analysis. The dashed line is the spectrum with 95% confidence

的峰值, 虽然也没有达到 0.05 的显著水平, 但其功率谱值仍较大, 分别对应 34 年、4.3 年的周期。由此可见, 广东开汛日与副高强度、PDO 指数具有一致的 34 年左右的年代际周期变化。

4 广东开汛的变化与后期天气的关系

4.1 与前汛期降水量的关系

为了探讨广东开汛的早晚与前汛期降水的关系, 我们计算了开汛日期与广东 19 个代表站 1961~2002 年 4~6 月逐月降水的相关系数。发现它与 4 月降水的相关最好, 与 5 月相关较差 (与 5 月仅有 2 个站的相关系数通过 0.05 的显著水平, 6 月没有一个能通过 0.05 的显著水平)。如图 4 为开汛日期与广东 19 个代表站 4 月降水的相关系数分布, 可见开汛日期与广东的韶关—清远—广州—台山一线以东的相关系数除去惠州以外, 其余均通过信度为 0.05 的显著性检验 (相应相关系数为 0.304), 特别是与梅州—河源以南、广州—深圳的相关系数均大于 0.4, 通过信度为 0.01 的显著性检验 (相应相关系数为 0.393)。这些说明开汛越早, 广东的西北部偏东、东部及珠江三角洲降水以偏多为主; 反之, 则这些地区的降水以偏少为主。

4.2 与降水集中期的关系

广州中心气象台关于降水集中期的定义: “每年 4 月 1 日到 6 月 30 日, 全省有十分之一站在连续 5 天内日雨量 ≥ 80 mm 的时段”, 即前汛期暴雨集中的时段, 一般说每年有 4 次 (1951~2000 年多年平均 3.86 次), 因此它也是每年汛期预报的重要内容之一。这里探讨它与广东开汛早晚的关系, 是否开汛愈早, 降水集中期的初日愈早? 次数也愈多?

我们计算 1951~2002 年 ($N=52$) 开汛日期与同期降水集中期初日与次数的相关系数分别为 0.1632 和 -0.243, 前者远没有通过明显的信度检验, 后者仅通过信度为 0.10 的显著性检验 (相应相关系数为

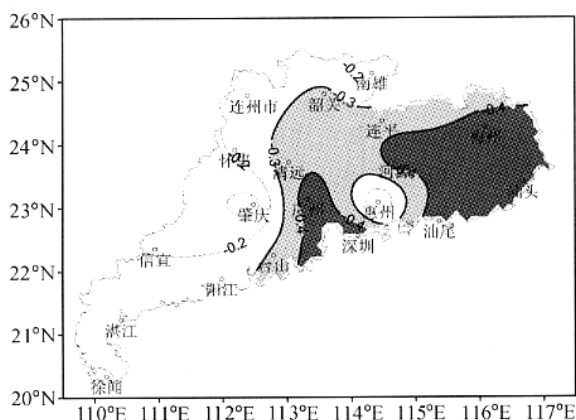


图4 广东开汛日期与广东 19 个代表站 4 月降水的相关系数分布, 阴影区为通过 0.05 的显著性检验

Fig. 4 The correlation coefficient between the rainy season onset dates and the rainfall amount at 19 representative stations in Guangdong in April (the shaded contour is the 95% confidence level)

0.2306)。由于开汛与降水集中期在不同年代会有不同的相关关系, 我们又采用滑动相关方法做进一步的分析。考虑到广东开汛的年代际变化的时间尺度及其突变, 选取 27 年为滑动样本长度, 进行滑动相关系数的计算 (图 5)。各年的相关系数值反映了该年前后共 27 年的相关关系, 由此可动态考察广东开汛早晚与降水集中期之间的动态关系。

由图 5a 可见, 开汛与集中期初日在 1986 年之前的相关系数较低, 均没有通过 0.05 的信度检验, 而 1986 年以后至今, 开汛与集中期初日具有明显的正相关, 均通过了 0.05 的信度检验。这说明 1986 年至今, 开汛愈早, 出现降水集中期也早, 而 1986 年之前, 没有这种显著的关系。

由图 5b 可见, 1977 年之前, 广东开汛与降水集中期次数之间的相关系数大多都通过 0.05 的信度检验, 特别是 1967~1970 年, 相关系数均达到 -0.5 以下, 可通过 0.01 的信度检验, 而 1977 年之后, 相关系数的绝

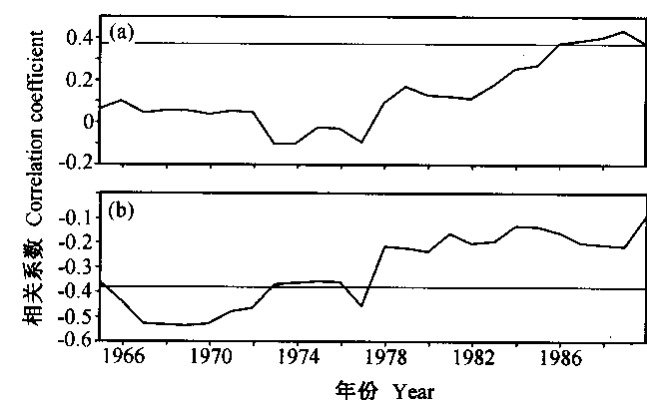


图5 广东开汛日期与降水集中期初日(a)和次数(b)的27年滑动相关,直线为95%置信度值

Fig. 5 The 27-year running correlation coefficient between the rainy season onset dates in Guangdong and the first date of concentrated rainstorm period during April – June (a) and its frequency (b). The horizontal line is the 95% confidence level

对值大多在0.2附近,远没有通过显著性检验。这些说明广东开汛与降水集中期次数在1977年之前具有显著的负相关,而1977年之后相关不显著。

5 广东开汛的变化与前期500 hPa环流及海温场的关系

前面的分析表明,广东开汛的早晚与大气环流及海温场有一定的联系。很多研究表明,北半球冬季环流的变化对后期的环流存在一定的影响,大气环流对海温场的变化具有一定的滞后性。研究表明,海气相互作用的强度具有季尺度的特征^[16]。下面就探讨广东开汛的早晚与前冬500 hPa环流及其与前秋海温场的关系。

5.1 与前冬12~2月500 hPa环流的关系

图6a为广东开汛日与前冬12~2月北半球500 hPa高度场的相关系数分布图,在高纬有2个显著的较大范围的正值中心,一个在极区附近格陵兰及其西部上空,最大相关系数达0.47,另一个在阿留申群岛以北上空,中心最大值为0.40;在中纬有2个显著的负相关中心,一个在北美洲美国中东部附近,中心最大值达-0.48,另一个在大西洋东北部到欧洲西海岸,中心最大值达-0.51;在中低纬的太平洋上也有2个负相关中心,其中一个范围较大强度较强中心位于在日本岛以南、琉球群岛以东到150°E附近的西北太平洋上,另一个范围较小强度较弱中心位于夏威夷群岛附近,它们的中心最大值分别为-0.40和-0.33。这些说明广东开汛的早晚与冬季的大气环流异常存在着一定的联系,对比12~2月500 hPa历年平均环流场(图略)可

知,高纬的2个正值中心与冬季极涡的位置及强弱有关,中低纬的3个明显的负值中心分别与北美东岸的大槽、欧洲大槽、东亚大槽的位置及强弱有关。

另外,从图6a相关系数的分布还可看出,就局地而言,广东开汛与南海对流区相关不高。这反映了广东省前汛期降水过程的开始主要是由北方冷空气与暖湿气流相互作用的结果,而与南海热带对流的关系并不密切。根据吴尚森等^[17]的研究,广东省降水量显著增加的开始日期(即雨季的来临)大多数与西沙地面东南季风开始的时间一致,但南海中北部地区从高空到低层均为反气旋控制,西沙地区对流较弱,云量不多,降水较少。这与文献[1]所描述的广东雨季开始的环流形势“副高开始西伸并在南海中部出现一闭合环流圈。广东的偏南气流主要是副高西侧的气流影响,南海为相对干区”较为一致。与林爱兰等^[18]研究OLR与广东降水的关系所指出的“广东省前汛期降水过程主要受北方天气系统的影响”也一致。

为了更清楚地了解广东开汛的早晚所对应的冬季500 hPa环流场特征,选取上文所定义的开汛异常偏早年(1975,1983,1987,2002)与异常偏迟年(1955,1962,1963,1969,1977),作其前期冬季(12~2月)500 hPa高度的距平差值合成图,并进行了 t 检验(图6b)。可见,开汛异常偏早年与异常偏迟年之间的差异是非常显著的。在高纬有2个明显的负值中心,一个在格陵兰附近上空,另一个在阿留申群岛附近的150°E~120°W的北太平洋,且两个低值中心值均在-120 gpm以下,中心区域的 t 值也均达到了0.05的信度标准;在中低纬有4个明显的正值中心,一个在北美洲,一个在大西洋到欧洲西部,还有另外2个分别在贝加尔湖和太平洋的中途岛附近(中心值均在40 gpm以上),除贝加尔湖附近 t 值没有达到0.05的显著水平,其余三个正值中心区域的 t 值均达到了0.05显著水平;另外,在20°N以南120°E~150°E的西太平洋也有一通过0.05信度标准的正值区域。这种开汛异常偏早年与偏迟年的差值距平中心分布基本上与上述500 hPa相关场的中心分布相一致。反映在500 hPa平均高度场上表现为,开汛异常偏早年(图7a),极涡较强[中心强度为5040 gpm,对应中心距平为明显的负距平(图略)],中心位于格陵兰以东的巴芬岛附近上空,北美东岸的大槽较弱、欧洲槽偏东,东亚大槽较弱(3个槽区的中心距平均为明显的正距平),副热带高压面积庞大,西伸到中南半岛附近,强度偏强,位置偏西;而开汛异常偏迟年(图7b),极涡较弱(中心强度为5120 gpm),北美大槽较深,欧洲槽偏西,东亚大槽较深(3个槽区的中心距

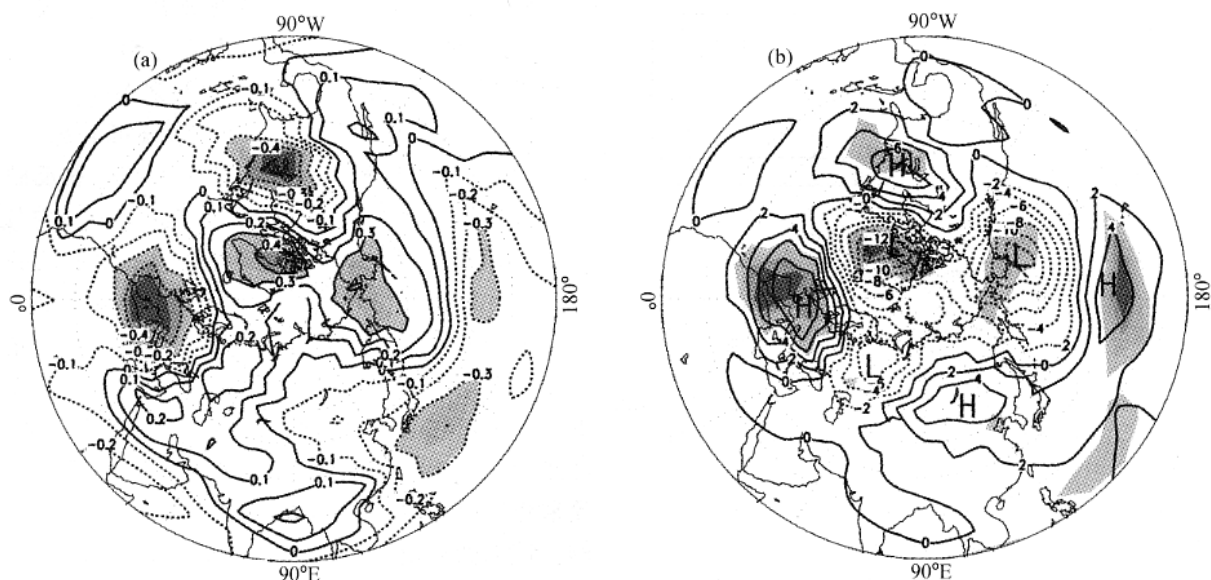


图 6 (a) 广东开汛日与北半球冬季 500 hPa 高度场的相关系数, 等值线间隔 0.1; (b) 广东开汛偏早与偏迟年 500 hPa 高度场距平的差值分布及其 t 检验 (单位: 10 gpm), 阴影区均为通过 0.05 的信度检验

Fig. 6 (a) Correlation coefficients between the rainy season onset dates and mean 500 hPa geopotential height in the Northern Hemisphere in winter (December – February) (contour interval is 0.1); (b) composite difference of 500 hPa geopotential height anomaly between the earlier and later year of the rainy season onset dates and its t -test for significance (units: 10 gpm) (the shaded contour is the 95% confidence level)

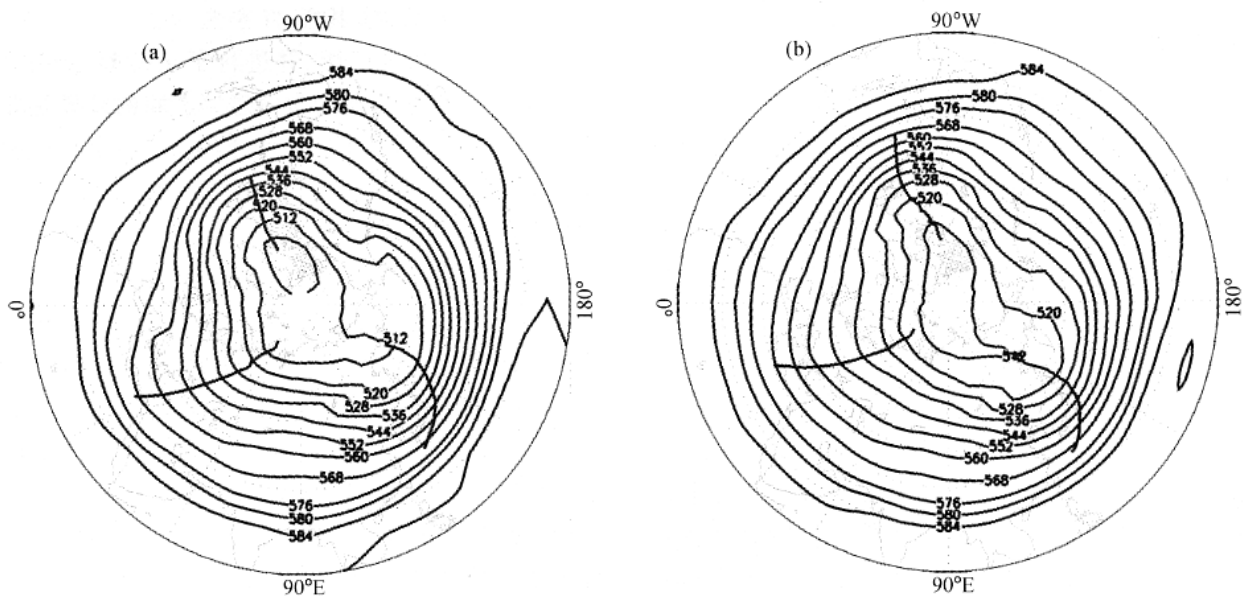


图 7 广东开汛异常偏早年 (a) 和偏迟 (b) 年北半球冬季 500 hPa 高度场合成分布 (单位: 10 gpm)

Fig. 7 500 hPa geopotential height composites in winter (December – February) corresponding to the earlier year (a) and later year (b) of the rainy season onset dates (units: 10 gpm)

平均为明显的负距平), 副热带高压面积异常偏小、强度弱, 位置异常偏东。

5.2 与前秋 9~11 月海温场的关系

图 8 为广东开汛日与前秋 (9~11 月) 海温场的关系。由图 8 可见, 广东开汛日与 (40°N, 160°E~150°W) 附近的北太平洋西风漂移区具有正相关, 最大正相关

区为 (40°N, 175°W~160°W) 附近的西风漂移区的东半部, 通过了 0.05 的信度检验。而与太平洋其他区域相关不显著, 特别是与用来表征 ENSO 事件的 Niño 3+4 区 (5°S~5°N, 180°~90°W) 无显著相关。

从广东开汛偏早年与异常偏迟年前秋 (9~11 月) 的海温场合成分布 (图略) 可见, 开汛异常偏早年, 日界

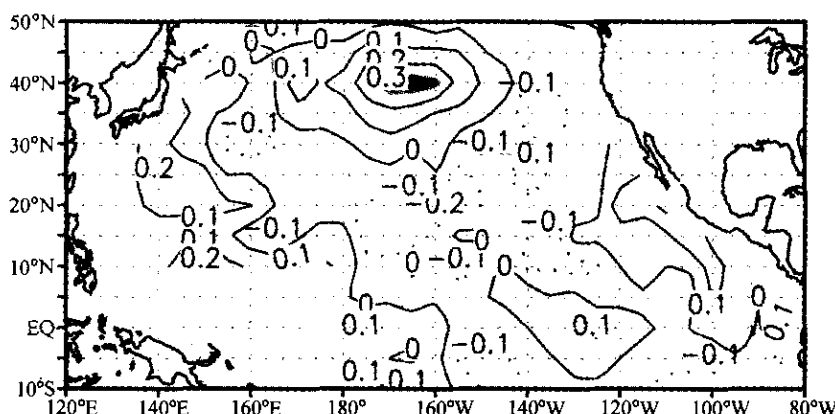


图 8 广东开汛与前秋(9~11月)海温场的相关,等值线间隔 0.1,阴影区 通过 0.05 的信度检验区

Fig.8 Correlation coefficients of the rainy season onset dates with SSTA in the North Pacific in autumn (September – November) (contour interval is 0.1 and the shaded contour is the 95% confidence level)

线以西的太平洋海温均为负距平,其中西风漂流区为 -0.3 到 -0.1 的负距平;日界线以东的太平洋海温大部分为正距平,其中 Niño3 区为海温正距平, Niño4 区为负距平,而开汛异常偏迟年, 20°N 及其以北的太平洋中北部海温大部分正距平,其中西风漂流区为明显的正距平, Niño3 + 4 区大部分也为明显的正距平。这与上面所求的相关分析的结果基本上是一致的,即 ENSO 信号对预测广东开汛的早晚无明显的指示意义,而与西风漂流区的海温异常有关。

6 结论

(1) 广东近 50 年来开汛呈偏早的趋势, 1978 年之前开汛多偏晚, 1978 年之后多偏早。

(2) 近 50 多年来广东开汛具有明显的 2~7 年左右的年际周期振荡和 34 年左右的年代际周期振荡, 且在年代际尺度上的突变发生在 1978 年左右。

(3) 广东开汛与副高强度指数、PDO 指数具有一致的年代际周期振荡和非常高的反向变化趋势。即在年代际尺度上, 副高的偏弱和 PDO 指数的偏低对应广东开汛日期的偏迟, 副高的偏强和 PDO 指数的偏高对应广东开汛的偏早。三者年代际尺度上的突变时间均发生在 20 世纪 70 年代中后期。

(4) 广东开汛与 4 月降水的相关最好, 与 5、6 月则差。开汛越早, 广东的西北部偏东、东部及珠江三角洲 4 月降水以偏多为主; 反之, 这些地区的 4 月降水以偏少为主。

(5) 广东开汛与降水集中期初日在 1986 年之前无显著的相关, 而 1986 年至今具有显著的正相关, 即开汛愈早, 出现降水集中期也早。广东开汛与降水集中期次数在 1977 年之前具有显著的负相关, 而 1977

年之后相关不显著。

(6) 广东开汛的早晚与前冬 12~2 月 500 hPa 高度场存在显著的相关。开汛异常偏早年, 极涡较强, 北美东岸的大槽较浅, 欧洲槽偏东, 东亚大槽较弱, 副热带高压异常偏强, 位置偏西; 而开汛异常偏迟年, 极涡较弱, 北美大槽较深, 欧洲槽偏西, 东亚大槽较深, 副热带高压异常偏东偏弱。

(7) 广东开汛的早晚与前秋 9~11 月海温场的相关分析表明, Niño 3 + 4 区对预测广东开汛的早晚无明显指示意义, 而与西风漂流区的海温异常有关, 即开汛异常偏迟年, 西风漂流区的海温为正异常, 而偏早年为海温负异常。

致谢 感谢审稿者对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献

- [1] 广东省热带海洋气象研究所编著. 广东前汛期暴雨. 广州: 科学普及出版社广州分社, 1984, 1~19
Guangdong Institute of Tropical and Oceanic Meteorology. Rainstorm in Flood Season in Guangdong (in Chinese). Guangzhou: Science Popularization Press, 1984, 1~19
- [2] 谢炯光. 广东前汛期降水分布趋势的分析与预测. 应用气象学报, 1997, 8(4): 452~459
Xie Jiongguang. Analysis and forecast of precipitation distribution trend prior to flood season in Guangdong Province. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 1997, 8(4): 452~459
- [3] 纪忠萍, 谷德军, 谢炯光. 广州近百年气候变化的多时间尺度分析. 热带气象学报, 1999, 15(1): 38~47
Ji Zhongping, Gu Dejun, Xie Jiongguang. Multiple time scales of climate variation in Guangdong during the last 100 years. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 1999, 15(1): 38~47
- [4] 梁建茵, 吴尚森. 广东汛期旱涝成因和前期影响因子探讨. 热带气象学报, 2001, 17(2): 97~108
Liang Jianyin, Wu Shangsen. Formation reasons of drought and flood in the

- rain season of Guangdong and preceding impact factors. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese) 2001 ,**17** (2) : 97 ~ 108
- [5] 林爱兰. 广东省前汛期月降水异常的强信号及预测概念模型. *热带气象学报* 2002 ,**18** (3) : 219 ~ 226
- Lin Ailan. The study of strong signals and conceptual models of monthly precipitation anomaly forecast in Guangdong first raining spell. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese) 2002 ,**18** (3) : 219 ~ 226
- [6] Mantua N J , Hare S R , Zhang Y , et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* , 1997 ,**78** : 1069 ~ 1079
- [7] Douglas A V , Cayan D R , Namas J. Large-scale changes in North Pacific and North American weather patterns in recent decades. *Mon. Wea. Rev.* , 1982 ,**112** : 1255 ~ 1265
- [8] Trenberth K E , Hurrell J W. Decadal atmosphere ocean variations in the Pacific. *Climate Dyn.* , 1994 ,**9** : 303 ~ 319
- [9] Minobe S. Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific : Role in climatic regime shifts. *Geophys Res. Lett.* , 1999 ,**26** : 855 ~ 858
- [10] Li Chongyin. The quasi-decadal oscillation of air-sea system in the northwestern Pacific region. *Adv. Atmos. Sci.* , 1998 ,**15** (1) : 31 ~ 40
- [11] 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. *热带气象学报* 2000 ,**16** (3) : 260 ~ 271
- Li Feng , He Jinhai. The decadal change of the interaction between Northern Pacific SSTA and East Asian summer monsoon. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese) 2000 ,**16** (3) : 260 ~ 271
- [12] 蔡学湛 , 温珍治 , 吴滨. 西北太平洋副高与 ENSO 的关系及其对福建雨季降水分布的影响. *热带气象学报* 2003 ,**19** (1) : 36 ~ 42
- Cai Xuezhan , Wen Zhenzhi , Wu Bin. Relationship between West Pacific subtropical high and ENSO and its influence on rainfall distribution of rainy season in Fujian. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese) , 2003 ,**19** (1) : 36 ~ 42
- [13] 李江南 , 蒙伟光 , 王安宇 , 等. 西太平洋副热带高压强度和位置的气候特征. *热带地理* 2003 ,**23** (1) : 35 ~ 39
- Li Jiangnan , Meng Weiguang , Wang Anyu , et al. Climatic characteristics of the intensity and position of the subtropical high in the Western Pacific. *Tropical Geography* (in Chinese) 2003 ,**23** (1) : 35 ~ 39
- [14] 张琼 , 钱永甫 , 张学洪. 南亚高压的年际和年代际变化. *大气科学* 2000 ,**24** (1) : 67 ~ 78
- Zhang Qiong , Qian Yongfu , Zhang Xuehong. Interannual and interdecadal variations of the South Asia high. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese) 2000 ,**24** (1) : 67 ~ 78
- [15] 慕巧珍 , 王绍武 , 龚道溢. 近百年四季西太平洋副热带高压的变化. *气象学报* 2002 ,**60** (6) : 668 ~ 679
- Mu Qiaozhen , Wang Shaowu , Gong Daoyi. Variations of Western Pacific subtropical high in four seasons during the last hundred years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese) 2002 ,**60** (6) : 668 ~ 679
- [16] 吴国雄 , 丑纪范 , 刘屹岷 , 等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京 : 科学出版社 2002 , 190 ~ 192
- Wu Guoxiong , Chou Jifan , Liu Yimin , et al. *Dynamics of the Formation and Variation of Subtropical Anticyclones* (in Chinese). Beijing : Science Press 2002 , 190 ~ 192
- [17] 吴尚森 , 梁建茵. 南海西沙地区季风季节变化的气候特征. *大气科学* 1998 ,**22** (5) : 771 ~ 777
- Wu Shangsen , Liang Jianyin. Seasonal evolution of climatic characteristics of summer monsoon over Xisha area , *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese) , 1998 ,**22** (5) : 771 ~ 777
- [18] 林爱兰 , 梁建茵. 向外长波辐射 (OLR) 与广东降水. *热带气象学报* , 1993 ,**9** (3) : 248 ~ 255
- Lin Ailan , Liang Jianyin. Correlation between outgoing longwave radiation (OLR) and precipitation in Guangdong. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese) , 1993 ,**9** (3) : 248 ~ 255