

简茂球, 乔云亭. 2012. 华南秋旱的大气环流异常特征 [J]. 大气科学, 36 (1): 204–214. Jian Maoqiu, Qiao Yunting. 2012. Characteristics of general circulation anomalies related to the drought events in fall in South China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (1): 204–214.

华南秋旱的大气环流异常特征

简茂球 乔云亭

中山大学季风与环境研究中心, 环境科学与工程学院大气科学系, 广州 510275

摘 要 利用实测降水量资料及 NCEP 再分析资料, 通过统计方法分析了华南秋旱及其相关的环流异常特征。结果发现, 华南秋旱以全区性的干旱出现居多。华南秋旱事件对应的同期海温异常分布型大致可分两类。一类是热带中东太平洋的负海表温度距平 (SSTA) 区的极值中心位于赤道东太平洋, 在海洋性大陆和热带西太平洋有马蹄形的正 SSTA, 而在热带西印度洋, 南海至日本东、南部西北太平洋是负 SSTA; 另一类是热带中东太平洋正 SSTA 极值中心位于赤道中太平洋, 热带一副热带西太平洋、南海和热带印度洋为负 SSTA 区, 副热带北太平洋东部和南太平洋东部为显著的正 SSTA。与第一类 SSTA 相关的华南秋旱与海洋性大陆区域上空的上升运动异常增强 (与其下垫面海温异常偏暖有关)。而与第二类 SSTA 相关的华南秋旱则与中纬度环流的长波调整造成的东北亚上空的异常上升运动距平有关。而两类华南秋旱都是通过大气环流对华南地区的异常下沉运动产生强迫作用而产生的。另外, 华南秋旱还与菲律宾和台湾东侧洋面上空出现上升运动距平有关。两类华南秋旱都与南海中北部热带气旋频数偏少, 菲律宾和台湾东侧热带气旋频数偏多有关, 因此, 使得登陆华南的热带气旋偏少, 导致华南秋季干旱。

关键词 干旱 大气环流 海表温度 热带气旋 华南

文章编号 1006–9895 (2012) 01–0204–11

中图分类号 P434

文献标识码 A

Characteristics of General Circulation Anomalies Related to the Drought Events in Fall in South China

JIAN Maoqiu and QIAO Yunting

Center for Monsoon and Environment Research, Department of Atmospheric Sciences, School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

Abstract The Characteristics of regional droughts in fall in South China and related general circulation anomalous patterns are statistically analyzed with the observed precipitation data and the NCEP/NCAR reanalysis data from 1968 to 2009. The seasonal droughts in fall in South China occurred mainly in the region-wide event. There exist two dominant patterns of sea surface temperature anomalies (SSTA) related to the fall droughts in South China. The first SSTA pattern shows positive anomalies in the tropical western Pacific and the Maritime Continent in a horseshoe-shape and negative anomalies in the western tropical Indian Ocean, the area from the South China Sea north-eastward to the subtropical northwestern Pacific and the central and eastern tropical Pacific with a cooling center in the east. The second SSTA pattern exhibits a feature of negative anomalies in the tropical and subtropical western Pacific, the South China Sea, and the tropical Indian Ocean, and positive anomalies in the tropical central and east-

收稿日期 2011–02–21, 2011–05–03 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40730951, 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421404

作者简介 简茂球, 男, 1965 年出生, 教授, 主要从事热带大气环流和气候研究。E-mail: eesjmq@mail.sysu.edu.cn

ern Pacific and the subtropical northeastern and southeastern Pacific. Corresponding to the first SSTA pattern, the fall droughts in South China result from the enhanced ascending motion over the Maritime Continent and its surrounding area, which is forced by the warmer underlying sea surface temperature. However, corresponding to the second SSTA pattern, the droughts in South China mainly result from the prominent anomalous ascending motion over Northeast Asia which might be forced by the adjustment of the large-scale synoptic activities in the mid-latitudes. The anomalous ascending motion over the subtropical northwestern Pacific to the east of Taiwan and the Philippines exerts also influence on the fall drought events in South China. Two categories of fall droughts in South China are induced by the anomalous descending motions over South China, which are forced by the anomalous general circulation. Furthermore, the two categories of droughts in South China are related to the decrease of tropical cyclones in fall over the central and northern South China Sea and the increase of tropical cyclones over the subtropical northwestern Pacific east of Taiwan and the Philippines, which reduces the frequency of tropical cyclone landfall on South China and thus results in the fall drought events.

Key words drought, general circulation, sea surface temperature, tropical cyclone, South China

1 引言

华南是旱涝灾害多发地区。近几年来, 发生在华南秋冬季节的干旱灾害现象愈加频繁。2004 年和 2007 年华南秋冬连旱灾害便是其中两个典型例子。在华南地区, 虽然秋季相对于春、夏季而言是一个少雨的季节, 其降水量约为春季的一半、夏季的三分之一, 但秋季还是华南农业生产活动的重要季节之一, 因此秋旱的发生不仅会影响同期的农业生产, 还会造成冬季人们的生活用水、农业生产的灌溉用水的短缺等等。所以对华南秋旱的规律、成因进行研究有着非常重要的现实意义。

到目前为止, 已有一些工作对华南前汛期、后汛期降水的时空变化特征进行了分析(吴尚森等, 1990; 吴尚森和梁建茵, 1992; 林爱兰和吴尚森, 1996; 贺海晏, 1998)。而在关于华南秋旱的研究方面, 在 1970 年代关于珠江流域秋旱的研究(中央气象局研究所一室二组, 1977)表明, 如果南海—西北太平洋低纬区域夏季海表温度偏高(低), 可以导致西太平洋副高偏强(弱), 从而使得华南秋季降水偏多(少)。张勇等(2000)认为造成广东秋旱的两个主要原因为, 一是影响广东的热带气旋少, 从而带来的降雨少, 另一个原因是西北副热带高压强盛, 控制广东境内, 因此降水偏少。还有一些工作则是针对发生在华南地区的秋旱个例进行分析(陆丹, 2001; 赵运峰等, 2005)。最近, 林爱兰等(2009)分析广东跨季节持续性干旱事件与海温外强迫之间的关系及其物理过程, 发现赤道东太平洋海温负异常型和赤道中太平洋海温正异常型两种

类型都与广东持续干旱有关。梁巧倩等(2009)分析了广东秋冬春连旱的发生与极涡和南支槽的活动较常年偏弱有关。

然而, 从现有的研究工作看, 利用较长时间序列数据针对华南区域秋季干旱的特征及相关的大气环流等异常特征进行气候学诊断分析还较少, 对华南秋旱的成因的了解也还不是非常清楚。本文拟对华南秋季降水量异常的空间变化特征及相关的大气环流异常特征进行分析, 为进一步研究华南干旱的机理提供观测事实诊断基础。

本文所用的测站降水量资料来源于国家气候中心整编的 1968~2009 年中国 160 个站的月降水量。另外, 还用到 1968~2009 年美国 NCEP/NCAR 月平均再分析资料(V1)、NOAA 的海平面温度资料(ERSST V3b)(Smith et al., 2008); 1968~2007 年太平洋热带气旋频数资料(来自于 Joint Typhoon Warning Center-JTWC)。本文对该资料进行了以下处理: 对各年秋季热带气旋频数按 $4^{\circ} \times 4^{\circ}$ 经纬度网格统计, 即以某格点为中心, 以 2° 为半径扫描所在范围出现(经过)的热带气旋便统计累加, 所得热带气旋个数为该格点的频数。本文所说的秋季是指 9~11 月份。

2 华南秋季干旱特征

为了检验华南各地的秋季降水量是否存在同相的年际变化特征, 我们首先对华南(106°E 以东, 25.5°N 以南共 16 个站: 郴县、桂林、厦门、梅县、汕头、曲江、河源、广州、阳江、湛江、海口、柳州、梧州、南宁、北海和百色)(如图 1 所示)的秋季降

水量作经验函数分解 (EOF) 分析。EOF 的初值场是由各站秋季各月降水量标准化后再求和, 然后再标准化得到。由于华南秋季各月降水量差别较大, 上述资料处理的目的是使得秋季三个月的降水量变化都能得到较均衡的体现, 这对考虑秋旱问题是非常有利的。

EOF 分析的前三个模态的方差贡献率分别为 41%、14.8% 和 8.8%, 说明第 1 模态是华南秋雨变异的一种主要模态。图 2 给出了华南秋季降水量

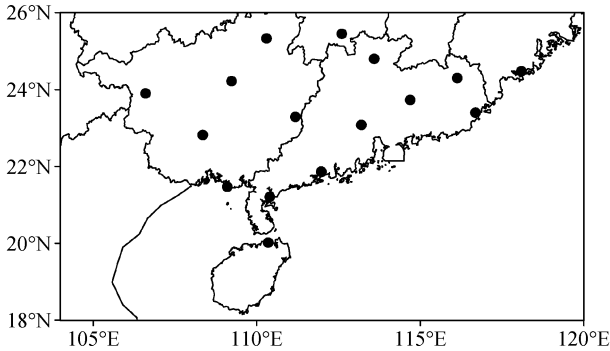


图 1 华南站点分布
Fig. 1 Station location in South China

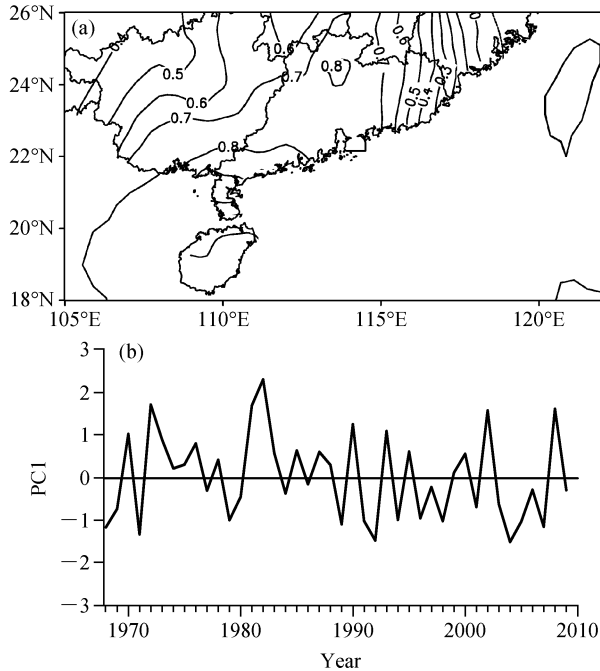


图 2 华南秋季降水量的 EOF 第 1 模态: (a) 第 1 特征向量场; (b) 第 1 主分量
Fig. 2 The first EOF mode for the autumn precipitation over South China. (a) The first eigen vector; (b) the first principal component (PC1)

EOF 分析的第 1 模态。从特征向量场 (图 2a) 可知, 华南地区有同号分布特征, 说明华南各地秋季降水量距平的逐年变化总体上是显著同相的; 相应的时间系数序列 (图 2b) 主要以年际变化为主, 没有明显的趋势变化。

另外, 华南秋季降水 EOF 分析的第 2、第 3 特征向量的空间分布分别呈东西反号型和南北反号型 (图略), 但由于它们的方差贡献率比第 1 模态要小得多, 在此不作详细讨论。上述结果表明, 华南秋季降水异常分布主要以全区一致型为主。因此, 下面将主要分析华南全区秋季降水量偏多、偏少的特征及其相关的大气环流异常特征。为此, 我们用上述华南区域 16 个测站平均的季降水量来代表华南的季降水量, 它们的标准化距平序列如图 3 所示。从 1980 年代中至 1990 年代末, 华南秋季降水异常的幅度有所减弱, 但 2000 年代起又有增强的迹象, 从长期趋势看, 华南秋季降水有微弱减少的趋势。根据图 3 的华南秋季降水量距平序列, 如果取 -1 倍标准差为标准来划分降水量偏少 (干旱) 年份, 则有 9 个旱年: 1968、1971、1979、1992、1994、1996、2004、2005 和 2007 年, 其中有 6 个偏旱年出现在 1990 年后, 说明近 20 年华南秋旱有频发的迹象。另外, 取 +1 倍标准差为标准来划分降水量偏多年份, 也有 9 年: 1970、1972、1973、1981、1982、1990、1993、2002 和 2008 年。在下面做 t 检验时, 取的正常年是指去除上述降水量偏多和偏少年后余下的年份。

进一步分析上述偏旱年 9、10 和 11 月华南区域平均降水量距平发现, 除了 1979 和 1996 年的 9

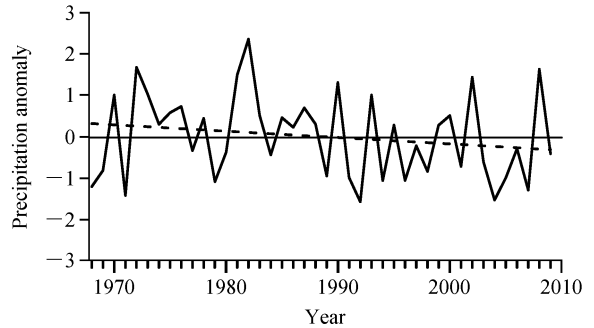


图 3 华南区域平均秋季雨量标准化距平曲线 (虚线为线性趋势)
Fig. 3 Normalized seasonal precipitation anomalies averaged over South China for autumn. The dashed line denotes the long-term trend

月为正距平外，其它 25 个月份均为负距平（图略），说明上述划分的秋旱年主要为季节性干旱年。

3 华南秋旱的环流异常特征

下面将根据上一节划分出的华南秋季偏旱年份对华南秋旱的环流（如风、位势高度、海温场等）进行合成分析，以便找出相关的环流异常特征。

3.1 海表温度

海表温度（SST）尤其是热带 SST 异常对大气环流有显著的影响。许多研究已指出海温异常对中国夏季降水的影响（陈烈庭，1988；黄荣辉和孙凤英，1994；陈烈庭和吴仁广，1998；宗海锋等，2010）。那么与华南秋旱相关的海温异常特征又如何？经分析发现，上述华南秋旱年份对应的同期热带太平洋 SST 的距平（SSTA）分布可大致分为两类：一类是赤道中东太平洋 SST 为负距平而热带西太平洋为正距平（简称 NCEEP 型，包括 1971、1992、1996、2005 和 2007 年），另一类是赤道中东太平洋 SST 为正距平而热带西太平洋为负距平（简称 PCEEP 型，包括 1968、1979、1994 和 2004 年）。图 4a 是华南秋旱年 NCEEP 型合成的 SSTA 分布，其分布特征与秋季 La Niña 型 SSTA 分布较相似，热带中东太平洋的负 SSTA 区的极值中心位于赤道东太平洋，在热带西太平洋有马蹄形的正 SSTA，但在南海至日本东、南部西北太平洋是负海温距平，这点与 La Niña 型 SSTA 分布有所不同。而对 PCEEP 型（图 4b），热带太平洋正 SSTA 极值中心位于赤道中太平洋，热带一副热带西太平洋、南海和热带印度洋为负 SSTA 区。值得注意的

是，副热带北太平洋东部 SST 呈显著的正距平。PCEEP 型 SSTA 分布与秋季 El Niño 型 SSTA 分布（图略）也是有一定差异的，尤其是西北太平洋区域的差别较大。需说明的是，我们在对图 4 做 t 检验时把华南秋季降水正常年中的 1975、1987、1988 和 1997 年剔除，不参与统计，因为这 4 年属于赤道中东太平洋 SSTa 极端异常的 El Niño/La Niña 年份，它们按“正常年”参与统计检验是不太合理的。在下面的分析将会发现，两类完全不同的 SSTA 分布型都与华南秋旱有物理联系，所以，下面将按上述两组年份分别对与华南秋旱相关的大气环流异常特征进行合成分析。

3.2 500 hPa 垂直运动场和高低层水平风场

降水的多寡与垂直运动的强弱直接相关。图 5 给出了两组秋旱年合成的 500 hPa 层 p 坐标垂直运动距平场分布。对应 NCEEP 型的垂直运动距平场（图 5a），在中国南方至朝鲜半岛和日本上空有明显的下沉运动距平，而在其四周为上升运动距平区，其中以菲律宾及赤道东印度洋至赤道西太平洋上空的距平上升运动最显著。为了进一步了解与华南上空异常下沉运动相联系的周边异常上升运动关键区，我们给出了沿华南地区的经、纬向垂直剖面距平环流（由垂直速度距平和水平风距平的辐散分量组成）（如图 6 所示）。从经向距平环流看（图 6a），与 $20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 范围距平下沉运动相联系的距平上升运动位于 20°N 以南的低纬和赤道地区，这表明位于海洋性大陆上空的异常上升运动对其北侧的华南地区上空的异常下沉运动可能有非常重要的强迫影响。另外，从纬向距平环流看（图 6b），与华南

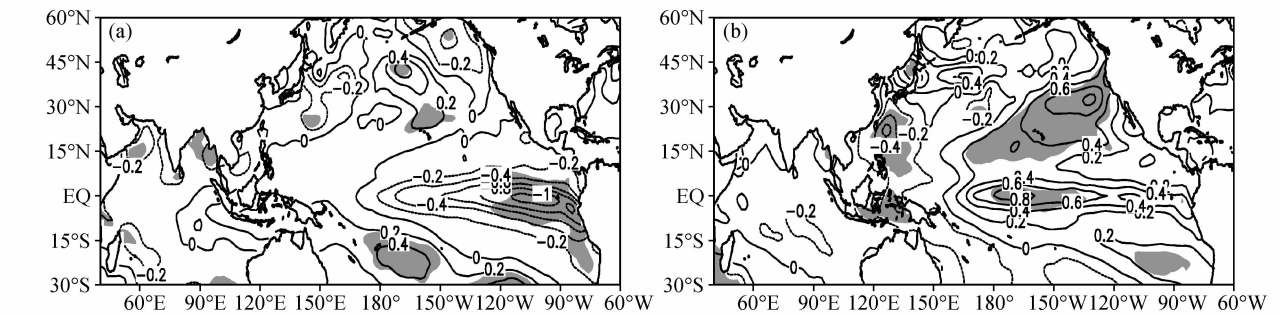


图 4 华南秋旱年合成的秋季平均海表温度距平（单位： $^{\circ}\text{C}$ ）：(a) 赤道中东太平洋负海温型（NCEEP）；(b) 赤道中东太平洋正海温型（PCEEP）。阴影：通过 90% 信度 t 检验

Fig. 4 Composite seasonal mean anomalies of sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) for the fall drought years in South China: (a) Pattern of negative SST anomalies in the central and eastern equatorial Pacific (NCEEP); (b) pattern of positive SST anomalies in the central and eastern equatorial Pacific (PCEEP). The shaded areas are at 90% confidence level

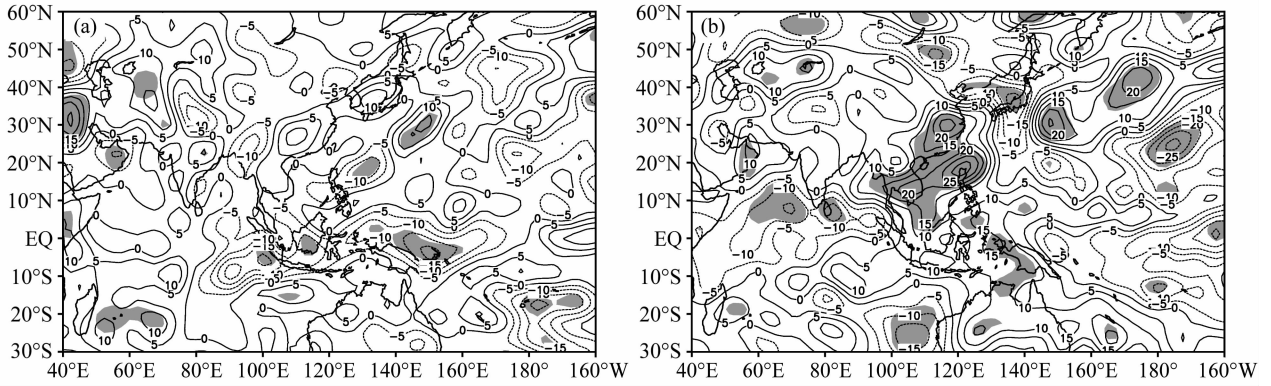


图 5 华南秋旱年合成的 500 hPa 垂直运动距平场 (单位: 10^{-3} Pa/s): (a) NCEP 型; (b) PCEP 型。阴影区通过信度为 95% 的 t 检验
Fig. 5 Composite anomalies of 500-hPa vertical motion (10^{-3} Pa/s) for the autumn drought cases in South China: (a) NCEP pattern; (b) PCEP pattern. The shaded areas are at 95% confidence level

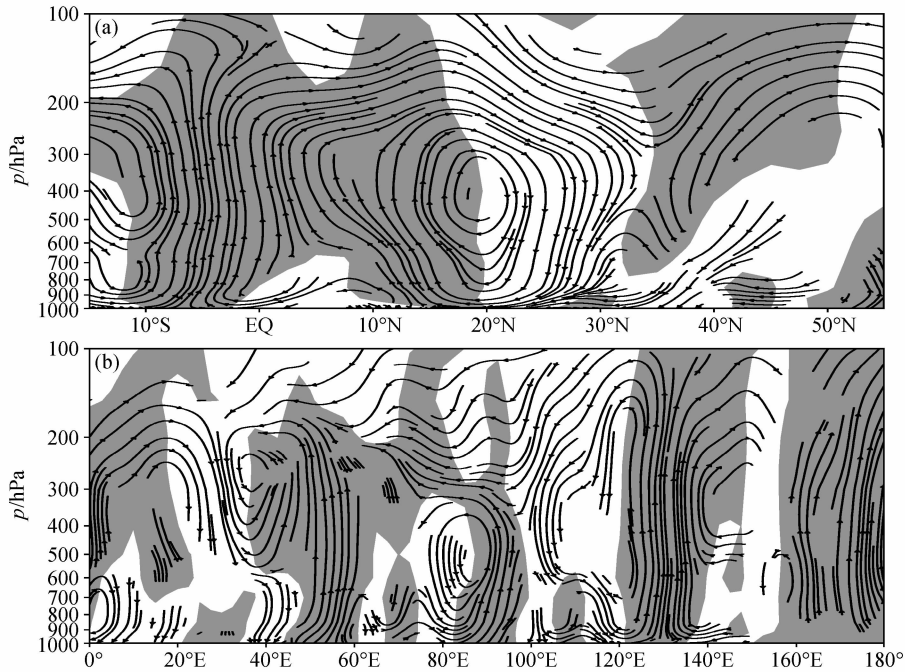


图 6 NCEP 型华南秋旱年合成的经向和纬向剖面距平环流: (a) 沿 $100^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的经向剖面距平环流; (b) 沿 $20^{\circ}\text{N} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 平均的纬向剖面距平环流。阴影: 距平上升运动区
Fig. 6 Composite (a) meridional circulation anomalies averaged along $100^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{E}$ and (b) zonal circulation anomalies averaged along $20^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$ for the NCEP-type autumn drought cases in South China. The ascend motion areas are shaded

地区 ($105^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$) 的异常下沉运动密切相关的异常上升运动区位于华南东侧的 $120^{\circ}\text{E} \sim 140^{\circ}\text{E}$ 范围, 说明台湾及菲律宾东部的异常上升运动对华南地区的异常下沉运动也可能有重要的强迫作用。

PCEP 型华南秋旱年的垂直运动距平场 (图 5b) 与 NCEP 型垂直运动距平场 (图 5a) 有明显的差别, 在中国南方向南至海洋性大陆为大片的距平下沉运动区, 其中以中国南方至南海中北部区域

最为显著, 而在热带北印度洋、赤道中西太平洋和东北亚、日本南面的副热带西北太平洋有较显著的距平上升运动。从经向垂直剖面距平环流看 (图 7a), 与 $20^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$ 范围距平下沉运动密切相联的距平上升运动位于 $40^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$ 范围, 这表明位于东北亚和朝鲜半岛、日本附近上空的异常上升运动对华南地区上空的异常下沉运动可能有非常重要的强迫作用。另外, 从纬向垂直剖面距平环流看 (图

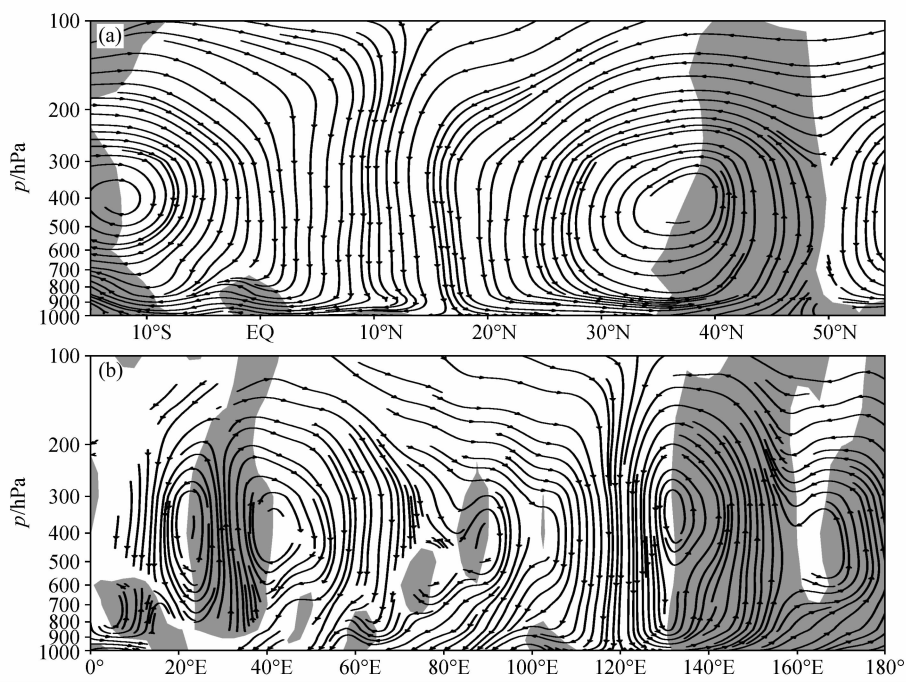


图 7 同图 6，但为 PCEEP 型

Fig. 7 Same as in Fig. 6, but for PCEEP-pattern

7b)，华南东、西两侧的异常垂直环流都与华南地区（105°E~120°E）的异常下沉运动密切相关，说明台湾及菲律宾东部上空的异常上升运动及热带北印度上空的异常上升运动对华南地区的异常下沉运动有明显的强迫作用。因此，中、低纬大气环流系统异常对 PCEEP 型华南秋旱都有密切联系。

前面的分析从次级环流（垂直运动）的角度寻找出与华南秋旱密切相关的相邻异常上升运动关键区。而这些异常上升运动区又与高低层气流的异常辐散辐合有关。图 8a 给出了 NCEEP 型秋早年低层大气的速度势函数距平场及相应的辐散风距平场，从图可知，在热带印度洋—太平洋区域，速度势函数距平呈负—正—负分布，与之相对应的辐散风则呈辐散（向四周流出）—辐合（向中心流入）—辐散（向四周流出）型分布，这样的距平流场分布与 SSTa 的负—正—负分布型（图 4a）有着很好的对应关系。另外，在华南区域附近，尽管距平辐散风都表现出较一致的西北风，但从速度势函数等值线的疏密和距平辐散风的大小还是能明显分辨出该区域是风场辐散区（散度为正）。对应的 200 hPa 的速度势距平场及辐散风距平场形式则与低层相反（图 9a），在赤道西印度洋有负速度势函数距平（辐合型距平风场），在海洋性大陆区域为正距

平（辐散型距平风场），而在赤道东太平洋为负距平（辐散型距平风场）。高低层的距平辐散风场分布也进一步证实了海洋性大陆上空的环流异常对 NCEEP 型华南秋旱的影响作用。从上述海温异常分布与流场异常的对应关系可知，偏暖的 SST 区通过热力异常强迫出低层风场的辐合型异常，并导致异常上升运动，而偏冷 SST 区则易出现低层辐散型异常，并出现异常下沉运动。

在 PCEEP 型秋早年，低层大气的速度势函数距平场及相应的辐散风距平场如图 8b 所示。在热带印度洋至太平洋，速度势和辐散风距平场的分布与 NCEEP 型的形势（图 8a）大致相反，但中心区较后者要偏北至赤道北侧。华南也是处于明显的距平风场辐散区中（散度为正）。这样的距平流场分布也与热带印度洋—太平洋 SSTa 的正—负—正的分布型（图 4b）有着很好的对应关系。而高层 200 hPa 的速度势距平场及辐散风距平场形式则与低层基本相反（图 9b）。与 NCEEP 型情形相似，偏暖的 SST 区通过热力异常强迫出低层风场的辐合型异常，并导致异常上升运动，而偏冷 SST 区则易出现低层辐散型异常，并出现异常下沉运动。这些结果也进一步证实了 PCEEP 型华南秋旱与热带北印度洋、日本南侧西北太平洋和东北亚上空的环

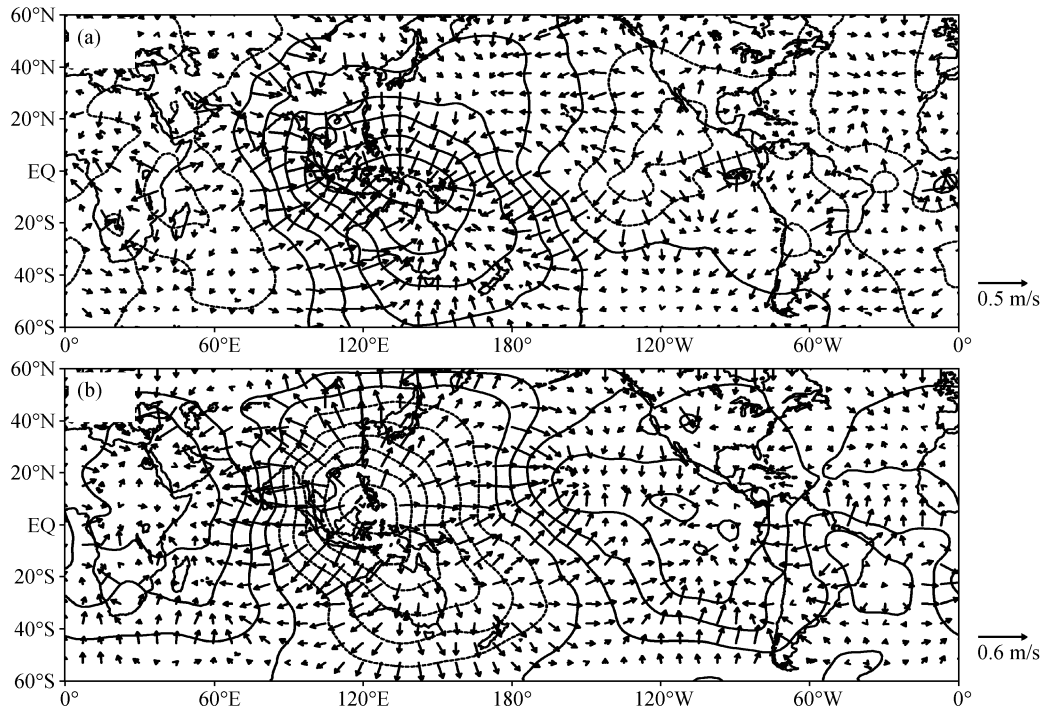


图 8 华南秋旱年合成的 850 hPa 速度势函数距平场 (等值线间隔为 $2 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$, 虚线为负值) 和辐散风距平场 (单位: m/s): (a) NCEEP 型秋旱年; (b) PCEEP 型秋旱年

Fig. 8 Composite anomalies of velocity potential function and divergent wind at 850 hPa for (a) the NCEEP-type drought cases and (b) the PCEEP-type drought cases in fall in South China. The interval of velocity potential contours is $2 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$, the dashed lines are negative

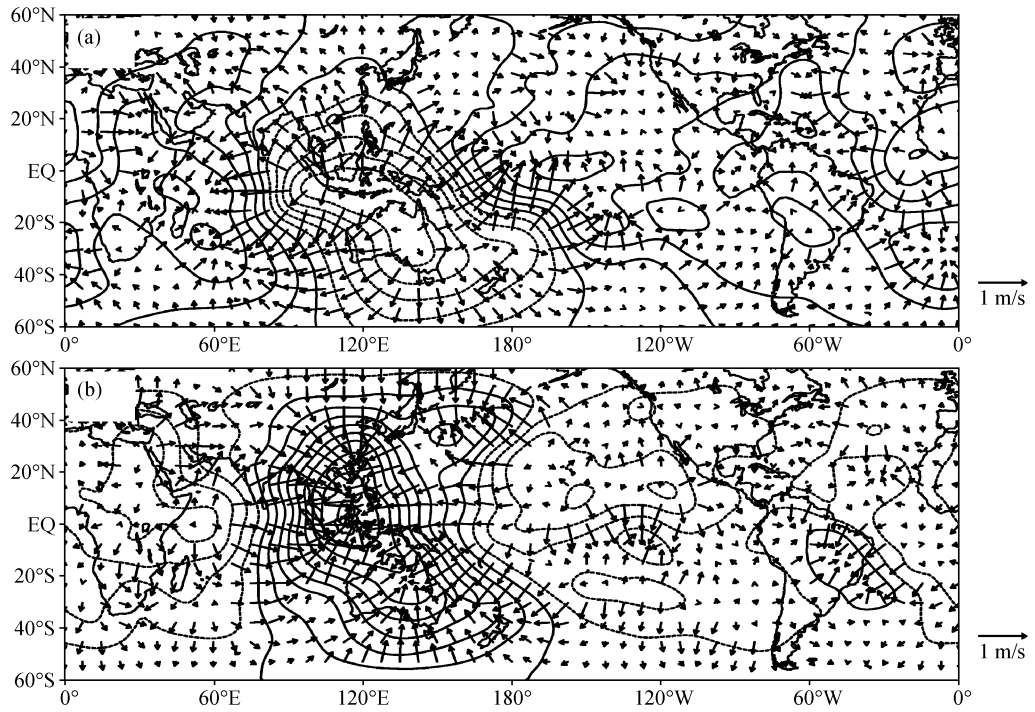


图 9 同图 8, 但为 200 hPa

Fig. 9 Same as in Fig. 8, but for 200 hPa

流异常密切相关。

前面的分析已表明，中纬度环流异常对于 PCEEP 型华南秋旱也有重要影响（图 7a、图 8b 和图 9b）。为此，图 10 给出了两种华南秋旱对应的 500 hPa 距平高度场的分布，它们相似之处是在乌拉尔山附近地区有显著的正位势高度距平，尽管正中心位置不一致，而差别较大区域位于东亚地区尤其是东北亚地区，对于 PCEEP 型华南秋旱（图 10b），在东北亚上空有明显的正高度距平，而自贝加尔湖西侧向东南延伸至台湾东面是负高度距平区，这样一种高度距平分布意味着东亚大槽主体较常年明显偏弱并略有西移。而在 NCEEP 型秋旱（图 10a），虽然在东北亚上空位势高度场也有正距平，但其幅度要远小于 PCEEP 型对应区域的正距平，而且在日本东面有负高度距平，说明东亚大槽位置较常年偏东。这反映出两组华南秋旱年中纬度大气环流的长波调整（异常）是有着显著差别的。值得一提的是，在两组秋旱年东亚大槽附近的位势高度正异常的幅度与日本附近海域的海温正异常幅度（图 4）有很好的定性对应关系，即图 4b 中日本邻近海域的正 SSTA 较图 4a 对应区域的正 SSTA 要明显偏强，对应地，图 10b 东北亚至西北太平洋上空的位势高度正距平也比图 10a 的明显偏强。这意味着该区域的海气间可能存在着正反馈的相互影响过程。值得注意的是，图 10a 和图 10b 都反映出在台湾—菲律宾以东的副热带西北太平洋上空出现负高度距平，说明在两种华南秋旱型发生期间，西太平洋副热带高压（简称西太副高）的强度都是有所减弱的。

上述图 10 反映出两组华南秋旱年中纬度中层大气环流的长波调整（异常）是有着显著差别的，这意味着东亚地区上空高层大气的副热带西风急流在华南秋旱年也可能出现显著的变异，从而可能影响到东亚上空甚至华南上空高层气流的辐散。华南两种秋旱年合成的对流层高层距平风场及其散度如图 11 所示。在 NCEEP 型华南秋旱年（图 11a），在东亚副热带急流的中西部出现一距平反气旋环流，但它对急流区的风速整体影响不大，只是使急流中心纬向风速有所增大，在急流入口右侧存在辐合异常中心（位于长江中上游上空）。另外，在我国西南、华南西部上空也存在一辐合异常中心，有利华南干旱的发生，但该中心似乎与东亚副热带急流的变异联系不大。而在 PCEEP 型华南秋旱年（图 11b），东亚急流区的左前方和右后方分别出现了一距平反气旋和一距平气旋，使得东亚急流西风减弱。另外，在急流右后方的距平气旋区是明显的辐合异常区，正好位于我国南方上空，从而有利于华南干旱的发生。以上的结果也表明了两种华南秋旱的高层环流异常特征有明显的差别。

4 南海—西北太平洋热带气旋频数异常与华南秋旱的联系

由于影响华南秋季降水的主要天气系统是热带气旋（TC），因此，我们也分析了南海—西北太平洋 TC 频数的年际变异与华南秋季降水异常的联系。图 12 给出了两组华南秋旱年南海—西北太平洋 TC 频数距平分布图，从图中可看出，两组华南秋旱年 TC 频数异常的共同特征是南海北部的 TC

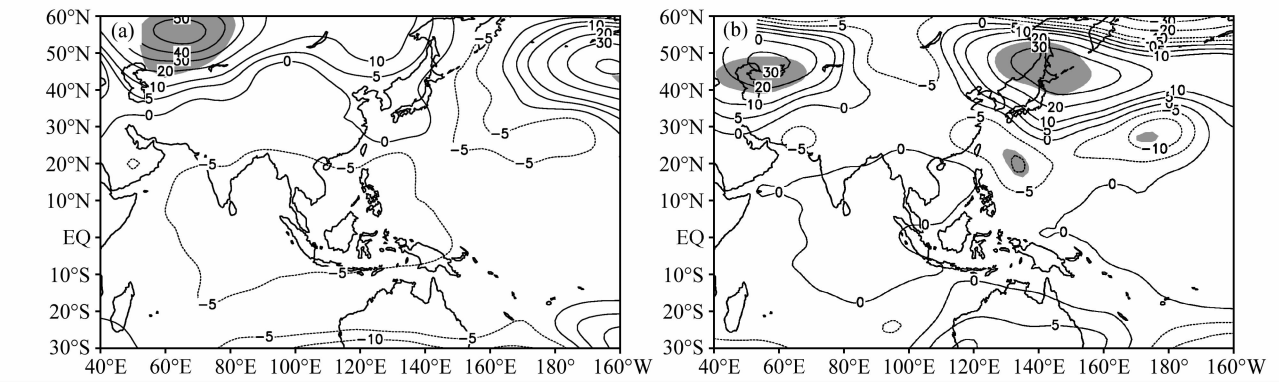


图 10 华南秋旱年合成的 500 hPa 位势高度距平场（单位：gpm）：(a) NCEEP 型；(b) PCEEP 型。阴影：通过信度为 95% 的 t 检验
Fig. 10 Composite anomalies of 500-hPa geopotential height (gpm) for the autumn drought cases in South China: (a) NCEEP pattern; (b) PCEEP pattern. The shaded areas are at 95% confidence level

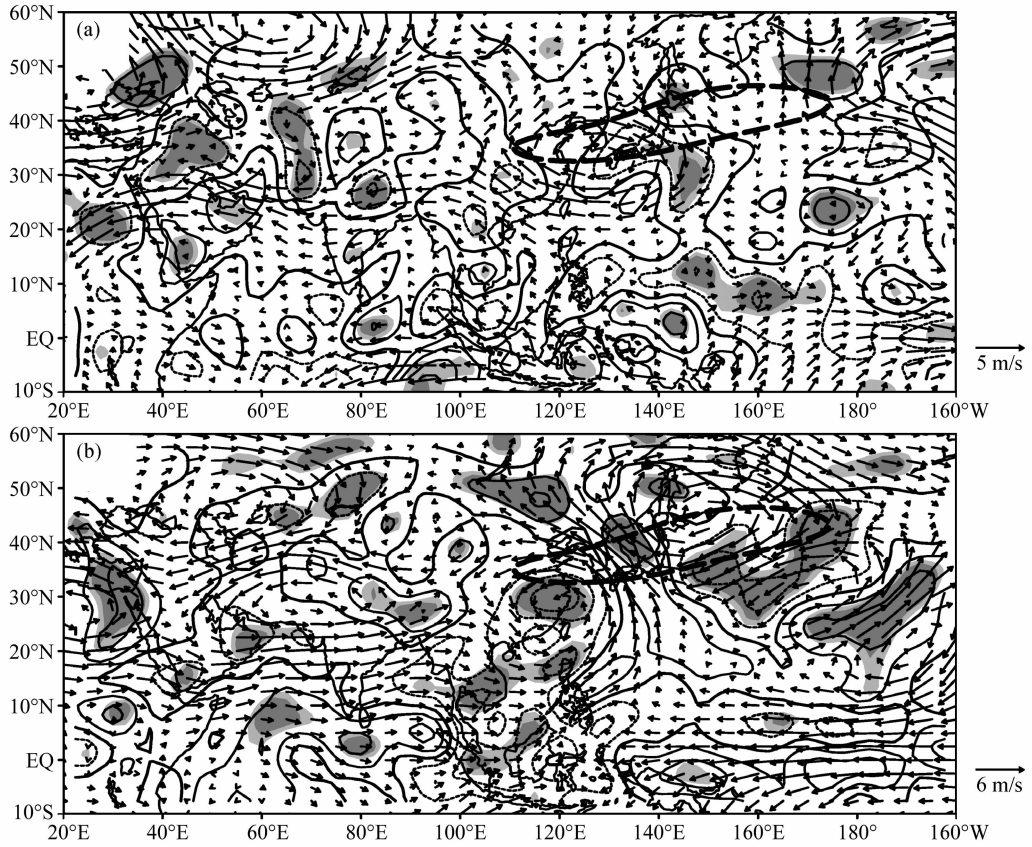


图 11 华南秋旱年合成的 200 hPa 风场距平及其散度(等值线, 间隔: $5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$): (a) NCEEP 型; (b) PCEEP 型。粗实线: 零线; 实线: 正值; 虚线: 负值; 粗虚线: 气候平均副热带高空急流的 40 m/s 全风速值范围。浅、深阴影: 散度距平通过 90%、95% 信度检验
Fig. 11 Composite anomalies of 200-hPa wind and divergence (contour lines, the interval is $5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$) for the autumn drought cases in South China; (a) NCEEP pattern; (b) PCEEP pattern. The thick solid line is zero; the solid lines are positive and the dashed negative; the thick dashed line indicates the 40 m/s wind speed coverage of climatological subtropical high level jet. The light and dark shaded areas are at 90% and 95% confidence levels for divergence anomalies, respectively

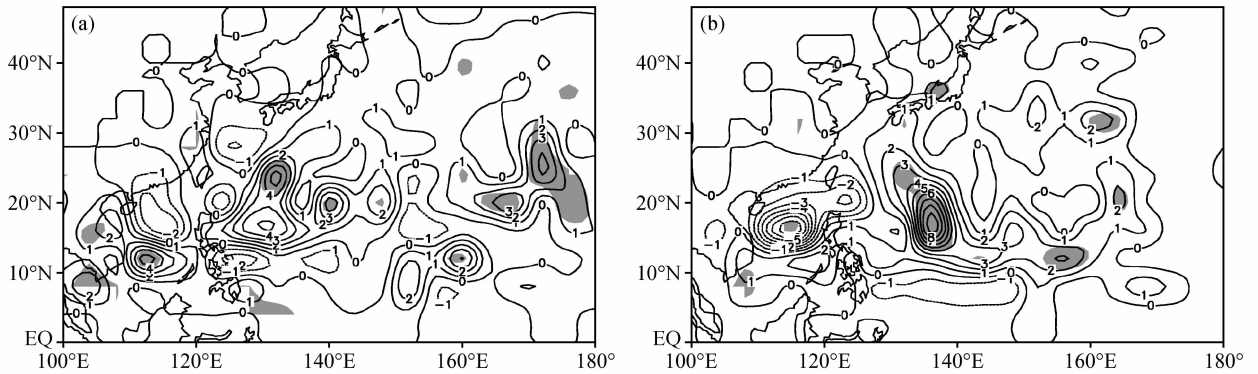


图 12 华南秋旱年合成的热带气旋频数距平场: (a) NCEEP 型; (b) PCEEP 型。阴影: 通过信度为 95% 的 t 检验
Fig. 12 Composite anomalies of tropical cyclone frequency for the fall drought cases in South China; (a) NCEEP pattern; (b) PCEEP pattern. The shaded areas are at 95% confidence level

频数较常年减少, 南海中部 TC 频数偏多, 而在台湾和菲律宾东面的西北太平洋是 TC 频数显著偏多的区域。这些气旋频数异常的分布表明, 如果南海

北部的 TC 频数偏少, 而台湾—菲律宾以东洋面的 TC 频数偏多, 那么影响华南的 TC 数就偏少, 因此导致秋季降水量偏少。另外, 对比图 12a、b 还可看

出两图的一些显著差异, 即 PCEEP 型的 TC 频数距平在南海北部和西北太平洋的数值都要比 NCEEP 型对应区域的数值显著得多, 而且 PCEEP 型西北太平洋 TC 正距平中心区要比 NCEEP 型的偏东偏南, 这是否与 PCEEP 型的赤道太平洋 SST 正距平区比 NCEEP 型的偏东有关 (图 4), 还有待进一步的分析研究。另一方面, 前面图 10 反映出的两种秋旱年西太副高的强度都有所减弱, 这有利于热带气旋的路径偏东, 因而也可以造成经过副热带西北太平洋的 TC 频数偏多。

5 总结与讨论

由以上对华南秋旱及其相关的环流异常特征的分析, 可得出以下结论:

华南秋旱以全区性的干旱出现居多。华南秋旱事件对应的同期海温异常分布型大致可分两类。一类 (NCEEP 型) 是热带中东太平洋的负 SSTA 区的极值中心位于赤道东太平洋, 在热带西太平洋有马蹄形的正 SSTA, 但在热带西印度洋, 南海至日本东、南部西北太平洋是负海温距平, 其空间分布特征与 La Niña 型 SSTA 分布既有相似性, 也存在差异; 另一类 (PCEEP 型) 是热带太平洋正 SSTA 极值中心位于赤道中太平洋, 热带一副热带西太平洋、南海和热带印度洋为负 SSTA 区, 副热带北太平洋东部 SST 呈显著的正距平。PCEEP 型 SSTA 分布与秋季 El Niño 型 SSTA 分布也是有一定差异的。NCEEP 型华南秋旱与海洋性大陆区域上空的上升运动异常增强 (与其下垫面海温异常偏暖有关)、菲律宾和台湾东侧洋面上空出现上升运动距平有关。而 PCEEP 型华南秋旱与中纬度环流的长波调整造成的东北亚上空的异常上升运动距平、以及菲律宾和台湾东侧洋面上空出现上升运动距平有关。而 NCEEP 型和 PCEEP 型华南秋旱都是通过大气环流对华南地区的异常下沉运动产生强迫作用而产生干旱的。另外, 两种华南秋旱都与南海中北部热带气旋频数偏少, 菲律宾和台湾东侧热带气旋频数偏多有关, 从而使得登陆华南的热带气旋偏少, 导致华南秋季干旱。

另外, 对两类华南秋旱前期夏季的 SSTA 的分布 (图略) 与秋季同期 (图 4) 作比较发现, 每一类的前期夏季的 SSTA 与秋季的 SSTA 分布是非常相似的, 只是在幅度上有差别。这说明与华南秋旱

相关的海温异常在前期夏季就已表现出来, 这可为华南的秋旱的短期气候预测研究提供线索。

以上主要是对华南秋旱的环流异常特征作了统计分析, 对海温影响华南秋旱的具体物理机制, 尤其是对各海区海温异常影响华南秋旱的相对重要性还需要进一步的诊断和数值模拟研究。

参考文献 (References)

- 陈烈庭, 吴仁广. 1998. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响 [J]. 大气科学, 22 (5): 718–726. Chen Lieting, Wu Renguang. 1998. The joint effects of SST anomalies over different Pacific regions on summer rainbelt patterns in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 22 (5): 718–726.
- 陈烈庭. 1988. 热带印度洋—太平洋海温纬向异常及其对亚洲夏季风的影响 [J]. 大气科学, 12 (特刊): 142–148. Chen Lieting. 1988. Zonal anomaly of sea surface temperature in the tropical Indo-Pacific Ocean and its effect on summer Asia monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 12 (Special Issue): 142–148.
- 贺海晏. 1998. 近 40 年广东省的旱涝特征 [J]. 热带气象学报, 14 (4): 297–305. He Haiyan. 1998. Features of dryness and wetness in Guangdong Province during a period of nearly 40 years [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 14 (4): 297–305.
- 黄荣辉, 孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响 [J]. 大气科学, 18 (2): 141–151. Huang Ronghui, Sun Fengying. 1994. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalies in East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 18 (2): 141–151.
- 梁巧倩, 梁玉琼, 纪忠萍, 等. 2009. 广东秋冬春连旱的时空变化及环流演变特征 [J]. 热带气象学报, 25 (1): 123–128. Liang Qiaoqian, Liang Yuqiong, Ji Zhongping, et al. 2009. Spatial-temporal distribution and circulation evolution of drought from autumn to spring in Guangdong [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 25 (1): 123–128.
- 林爱兰, 吴尚森. 1996. 近 40 年华南汛期旱涝变化及趋势预测 [J]. 热带气象学报, 12 (2): 160–166. Lin Ailan, Wu Shangsen. 1996. Variations and trend prediction of rainfall of rainy season in South China in 1951–1991 [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 12 (2): 160–166.
- 林爱兰, 郑彬, 谷德军, 等. 2009. 与广东持续性干旱事件有关的两类海温异常型 [J]. 高原气象, 28 (5): 1189–1195. Lin Ailan, Zhen Bin, Gu Dejun, et al. 2009. Two types of sea surface temperature anomaly related to persistent drought events in Guangdong Province [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (5):

- 1189–1195.
- 陆丹. 2001. 1998 年秋到 1999 年春华南特大干旱气候成因 [J]. 气象, 27 (1): 48–52. Lu Dan. 2001. The origin study of South China extraordinary drought from autumn 1998 to spring 1999 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 27 (1): 48–52.
- Smith T M, Reynolds R W, Peterson T C, et al. 2008. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006) [J]. J. Climate, 21: 2283–2296.
- 吴尚森, 黄成昌, 薛惠娴. 1990. 华南后汛期降水的年际变化 [J]. 热带气象, 6 (4): 348–356. Wu Shangsen, Huang Chengchang, Xue Huixian. 1990. On interannual variation of precipitation during the second rainy season in South China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 6 (4): 348–356.
- 吴尚森, 梁建茵. 1992. 华南前汛期旱涝时空分布特征 [J]. 热带气象, 8 (1): 87–92. Wu Shangsen, Liang Jianyin. 1992. Temporal and spatial characteristics of the drought and flood during the rainy season in South China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 8 (1): 87–92.
- 张勇, 王春林, 罗晓玲, 等. 2000. 广东干旱害的气候成因及其防御对策 [J]. 热带地理, 20 (1): 16–21. Zhang Yong, Wang Chunlin, Luo Xiaoling, et al. 2000. Climatic causes of drought in Guangdong and its disaster reduction [J]. Tropical Geography (in Chinese), 20 (1): 16–21.
- 赵运峰, 赵见海, 陈秀清. 2005. 2004 年广西秋旱的气候特征 [J]. 广西气象, 26 (1): 28–30. Zhao Yunfeng, Zhao Jianhai, Chen Xiuqing. 2005. Climatic characteristic of autumn drought in Guangxi 2004 [J]. Journal of Guangxi Meteorology (in Chinese), 26 (1): 28–30.
- 中央气象局研究所一室二组. 1977. 珠江流域秋旱和南海表层海温 [J]. 大气科学, 1 (1): 13–17. Institute of Meteorology, Central Meteorological Bureau. 1977. The autumn drought in the valley of the Pearl River and the sea-surface temperature of the South China Sea [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 1 (1): 13–17.
- 宗海锋, 陈烈庭, 张庆云. 2010. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征 [J]. 大气科学, 34 (1): 184–192. Zong Haifeng, Chen Lieting, Zhang Qingyun. 2010. The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (1): 184–192.