

杨辉, 宋洁, 晏红明, 等. 2012. 2009/2010年冬季云南严重干旱的原因分析 [J]. 气候与环境研究, 17 (3): 315-326, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10134. Yang Hui, Song Jie, Yan Hongming, et al. 2012. Cause of the severe drought in Yunnan Province during winter of 2009 to 2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (3): 315-326.

2009/2010年冬季云南严重干旱的原因分析

杨辉¹ 宋洁¹ 晏红明² 李崇银^{1,3}

1 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, 北京 100029

2 云南省气象局气候中心, 昆明 650034

3 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘要 2009/2010年冬季我国云南省出现严重干旱, 这次大范围严重干旱是较长时期降水稀少所造成的。首先讨论云南省冬季降水偏多和偏少时大气环流和海温的统计特征, 基于它们的统计关系, 再对2009/2010年冬季我国云南省的严重干旱进行个例对比分析。研究表明西风带环流系统异常是造成这次干旱灾害的主要成因。贝加尔湖为高度负距平, 东亚沿海为高度正距平, 从贝加尔湖以西到东亚中高纬度西风带较平直, 冬季冷空气偏弱, 很难影响西南地区。尤其是副热带中东急流减弱, 从欧洲东部到里海为高压脊控制, 西风带的扰动系统不易东移到东亚上空; 青藏高原上空为稳定的高压脊, 孟加拉湾南支槽减弱, 云南省受异常西北气流控制。对太平洋和印度洋海温的分析表明, 虽然海温异常可以影响冬季的云南降水, 但海温异常并不是2009/2010年冬季云南省降水偏少的最重要原因。

关键词 云南 干旱 大气环流异常 海温异常

文章编号 1006-9585 (2012) 03-0315-12 **中图分类号** P732 **文献标识码** A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10134

Cause of the Severe Drought in Yunnan Province during Winter of 2009 to 2010

YANG Hui¹, SONG Jie¹, YAN Hongming², and LI Chongyin^{1,3}

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Yunnan Climate Center, Kunming 650034*

3 *School of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

Abstract In the winter of 2009 to 2010, a rare severe drought struck Yunnan Province. This severe drought is due to the lack of rainfall for a long period. The statistical features of the atmospheric circulation and the sea surface temperature for anomalous precipitation in winter over Yunnan Province are studied. Furthermore, the severe drought in the winter of 2009 to 2010 is analyzed. Study shows that the occurrence of this severe drought is related to the anomalies of the atmospheric circulation systems in the westerly belt. Positive height anomalies control Lake Baikal and negative height anomalies are sustained over the coastal areas of East Asia, which weakens the northwesterly and force of cold air from the north. Thus cold air can not southward extend into Yunnan Province. Espe-

收稿日期 2010-11-20 收到, 2011-12-26 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金—云南联合资助基金项目 U0833602, 国家科技支撑计划课题 2009BAC51B02, 国家自然科学基金项目 40875049

作者简介 杨辉, 女, 1962年出生, 副研究员, 主要从事气候变化的研究。E-mail: yanghui@mail.iap.ac.cn

cially the Middle East jet stream is weakened. Because a high pressure ridge develops from East Europe to the Caspian Sea, the perturbations of the westerly belt could hardly reach East Asia. Over the Tibetan Plateau there is a high pressure ridge, which leads to the dry northwesterly prevails over Yunan Province. Although the sea surface temperature anomalies in the Pacific can influence the winter precipitation over Yunan Province, it does not give cause for the drought in winter of 2009 to 2010.

Key words Yunnan Province, drought, atmospheric circulation anomaly, sea surface temperature anomaly

1 引言

在我国气象灾害中, 干旱引起的灾害是第一位的, 占 55%。由于在许多干旱灾害发生的同时, 往往同时出现高温, 致使旱情加重, 不仅耕地受旱严重导致农业减产甚至绝收, 大面积的持续干旱还往往造成人畜饮水困难和工业生产用水的短缺, 从而给社会经济发展和人民生活都带来重大损失和严重影响。我国的干旱灾害不仅面积广, 而且出现干旱的季节还较多, 有时持续时间较长。图 1 给出的是全国年干旱频数的分布, 可以看到中国干旱最为频繁的地区位于华北中和南部, 以及云南和四川南部, 其年干旱频率达 60% 以上。

云南地处东亚季风和南亚季风交汇影响的区域, 干湿季节分明, 年降水量的 85% 左右的降水主要集中在 5~10 月, 而干季 (11 月至次年 4 月) 降水稀少, 云南大面积的冬春干旱和初夏干旱非常明显。与全中国情况一致, 干旱也是云南最严重的气象灾害, 占有所有气象灾害的 43% (程建刚

等, 2009)。2009/2010 年云南出现了历史上罕见秋冬春连旱, 干旱从 2009 年秋季一直持续至 2010 年春季, 干旱持续时间之长为历史罕见, 其影响范围也非常大, 对工农业生产和人民生活造成极大影响。据统计, 截至 2010 年 3 月下旬, 干旱使 2405 万人受灾, 农作物受旱面积超过 $315 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 农业经济损失高达 170×10^8 元, 同时, 干旱也使花卉、林业、茶叶、橡胶、水电等遭受了巨大损失, 有必要对这次干旱过程的原因作进一步的探讨。

一个地区发生持续的严重干旱, 影响因素较多, 物理机制是极为复杂的。对于云南不同季节的干旱现象而言, 春旱和夏旱是云南最常见的两种干旱形式, 过去的一些研究对这两种干旱进行了研究, 得到不少有意义的结论 (严华生等, 1994; 晏红明等, 2001; 解明恩等, 2005; 晏红明等, 2007), 但对于冬季干旱而言, 由于其季节本身的降水稀少, 还未引起人们的高度重视, 目前有关对云南冬季干旱的研究还比较少。云南 2009/2010 年的持续性干旱过程涵盖了秋季、冬

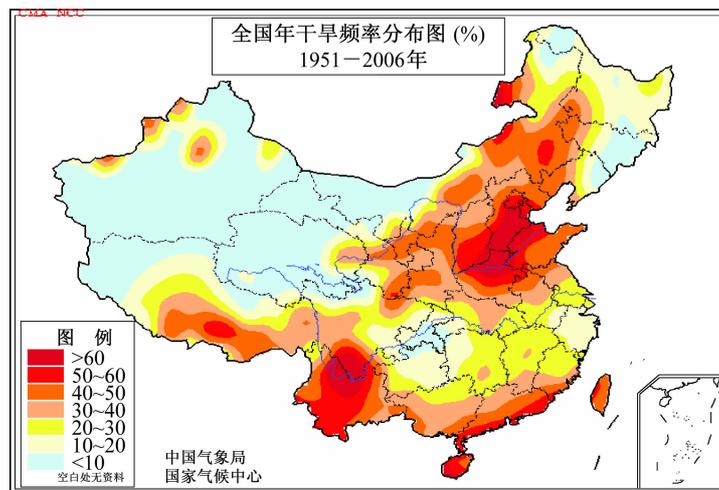


图 1 中国年干旱频数 (%) 分布图 (引自中国气象局国家气候中心)

Fig. 1 Annual drought frequency (%) over China (from the National Climate Center, China Meteorological Administration)

季和春季 3 个季节, 冬季刚好是这次持续性干旱过程的中间季节, 其环流的异常和一些下垫面热力背景场的影响对这次干旱过程的维持起着至关重要的作用。

云南虽然是干旱发生较为频繁的地区, 但像 2009/2010 年冬季这样的严重干旱还是少有的, 值得认真研究。已有关于我国干旱灾害的研究比较侧重于华北及长江流域, 因为华北地区干旱严重, 而长江流域干旱所造成的影响比较大。已有的研究表明, 无论是华北还是长江流域, 干旱的发生都与一定形式的海温异常强迫有关(李崇银, 1992; 张琼等, 2003; 卫捷等, 2004; 黄荣辉等, 2005; 陈文等, 2006), 也与大气环流的内部异常, 尤其是副热带高压和中纬度阻塞高压的强大和位置异常有关(黄荣辉等, 2003; 张庆云等, 2003; 彭京备等, 2007), 而气候系统的年代际变化也被认为是干旱灾害发生的原因之一(Li and Xian, 2003; 马柱国和邵丽娟, 2006; 周连童和黄荣辉, 2006)。当然, 人类活动也是干旱发生及加剧的原因之一, 因为人类活动排放大量温室气体, 加剧温室效应, 破坏了自然生态系统的正常循环; 土地的过度开发和利用, 使湖泊面积缩小、沙漠化进程加快, 从而可能导致了干旱灾害的多发、频发。

一个地区发生持续的严重干旱, 影响因素较多, 物理机制是极为复杂的。为了搞清 2009/2010 年冬季云南出现严重干旱的原因, 我们将在本文从大气环流异常和海温异常强迫的角度进行分析研究; 我们还将从北大西洋涛动(NAO)异常的角度研究其对这次干旱灾害发生的可能影响(宋

洁等, 2011)。

2 所用资料

本文所用资料时间跨度为 1961 年 1 月至 2010 年 3 月。降水资料取自云南气象局 122 个气象站的降水观测资料。大气数据来自美国 NCEP/NCAR 逐月再分析资料, 其水平分辨率为 2.5° (纬度) \times 2.5° (经度), 垂直方向分为 17 层。所使用的逐月的全球海表温度资料为 NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V3b, 下载网址为 <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.html> [2010-10-01], 该资料的水平分辨率为 2.0° (纬度) \times 2.0° (经度)。

3 2009/2010 年冬季云南干旱情况

云南处于南亚季风控制区, 主要表现为旱季和湿季的显著特征, 平均来讲 5~10 月降水较多为湿季, 11 月至次年 4 月降水较少为旱。由于季风活动变化性较大, 云南及其附近地区成为我国干旱最为频繁发生的地区之一(图 1)。干旱是一个累积过程, 自然降水偏少是引发大范围干旱的最主要原因, 2009 年 9 月至 2010 年 3 月, 云南降水持续偏少, 该时段内全省平均降水仅为 148.1 mm, 比历年同期偏少 199 mm, 是自有资料记录以来降水偏少最明显的年份。图 2 为云南 1961~2010 年 9 月至 3 月降水距平百分率变化。可以看到 2009 年 9 月至 2010 年 3 月云南降水距平百分率为 -57.3% , 其降水偏少属最明显的年份。

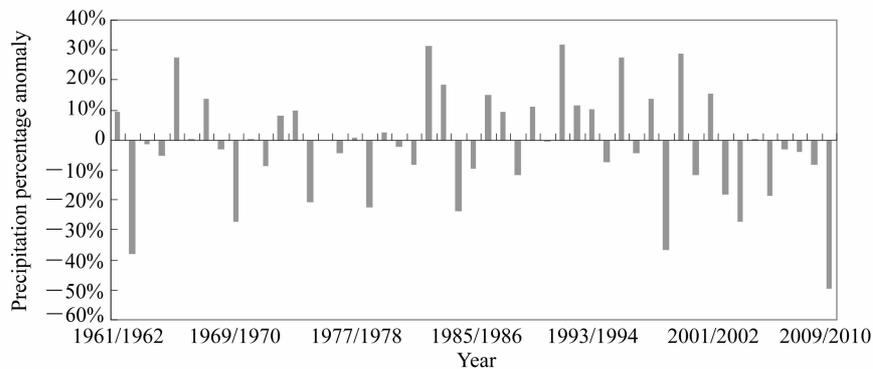


图 2 1961~2010 年 9 月至次年 3 月云南全省平均降水距平百分率变化

Fig. 2 Series of precipitation percentage anomalies over Yunnan Province from September to March 1961/1962 - 2009/2010

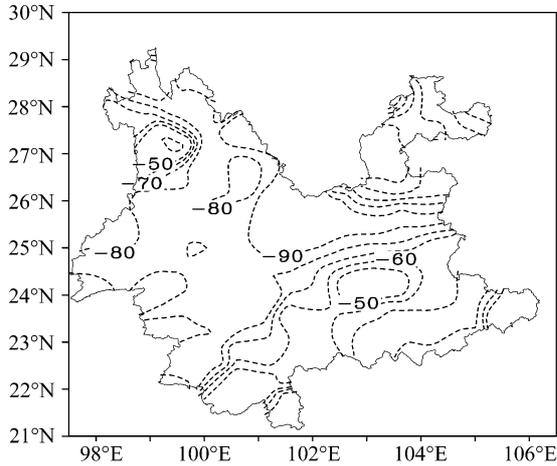


图3 2009/2010年冬季云南降水距平百分率(%)分布
Fig. 3 Precipitation anomaly percentage (%) over Yunnan Province during winter of 2009 to 2010

冬季的降水偏少也极为明显,与多年同期相比,除西双版纳南部地区的降水偏少0~20%外,其余地区的降水均偏少了20%以上,其中云南西部、中部和东南部的大部分地区降水偏少比较明显,比历年同期偏少了60%以上(图3)。全省平均降水仅为15 mm,比历年同期偏少了34.3 mm。从1961/1962~2009/2010年共49个冬季云南平均的降水距平百分率变化可以看到,这次干旱是近50年比较严重的,降水距平百分率接近-70%(图4)。

2009/2010年冬季云南发生了严重的干旱,从图2所给出的1961~2010年9月至次年3月云南(122个站)平均的降水距平可以看到,2009年9月至2010年3月这次干旱是近50年最为严重的,平均降水距平接近-60%,并且2009年12

月至2010年1月的距平接近-70%(图4)。

4 大气环流形势分析

大气环流异常是影响降水异常的直接因素。首先我们将利用历史资料分析云南省冬季降水异常和大气环流异常之间的统计关系。利用1961/1962~2008/2009年(48个冬季)标准化的云南省冬季降水指数,我们挑选出云南省冬季降水偏多(降水指数大于等于1)和偏少(降水指数小于等于-1)的年份(参见图4)。其结果有8个降水偏多的冬季(1965/1966年、1967/1968年、1970/1971年、1982/1983年、1991/1992年、1992/1993年、1994/1995年、2002/2003年)和8个降水偏少的冬季(1962/1963年、1968/1969年、1973/1974年、1978/1979年、1985/1986年、1988/1989年、1995/1996年、2008/2009年)。我们分别合成分析了上述云南省降水偏多和偏少的环流特征。图5给出了云南省降水偏多和偏少的500 hPa高度和高度距平。从图5a可以看出,当云南省降水偏多时,有大片的正距平区分布在高纬度地区,而在极地为负距平区。尤其是格陵兰、北美和北大西洋东部,达到显著性水平5%的检验标准。这说明云南省降水偏多时,北大西洋涛动(NAO)为正位相;而当云南省降水偏少时(图5b),北大西洋涛动(NAO)为负位相。也就是说我国云南冬季降水与NAO在统计上存在一定的联系。NAO如何影响云南的降水,我们将在下一步的工作中进行研究。再看欧亚大陆,云

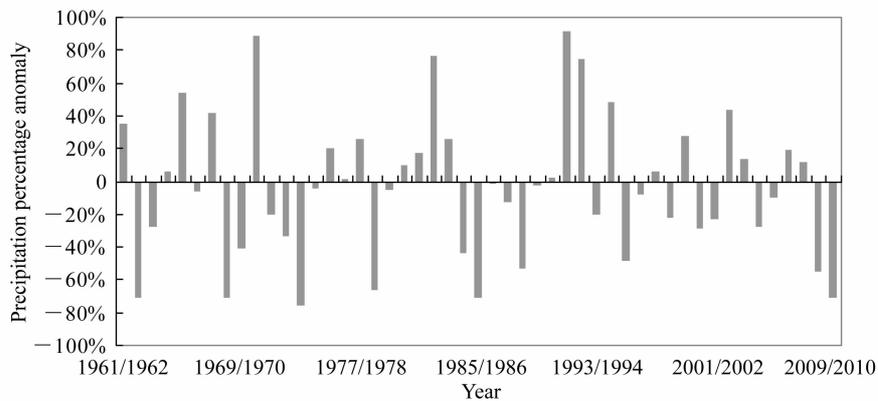


图4 1961~2010年12月至次年2月云南全省平均降水距平百分率变化
Fig. 4 Series of precipitation percentage anomalies over Yunnan Province from December to February of 1961/1962 - 2009/2010

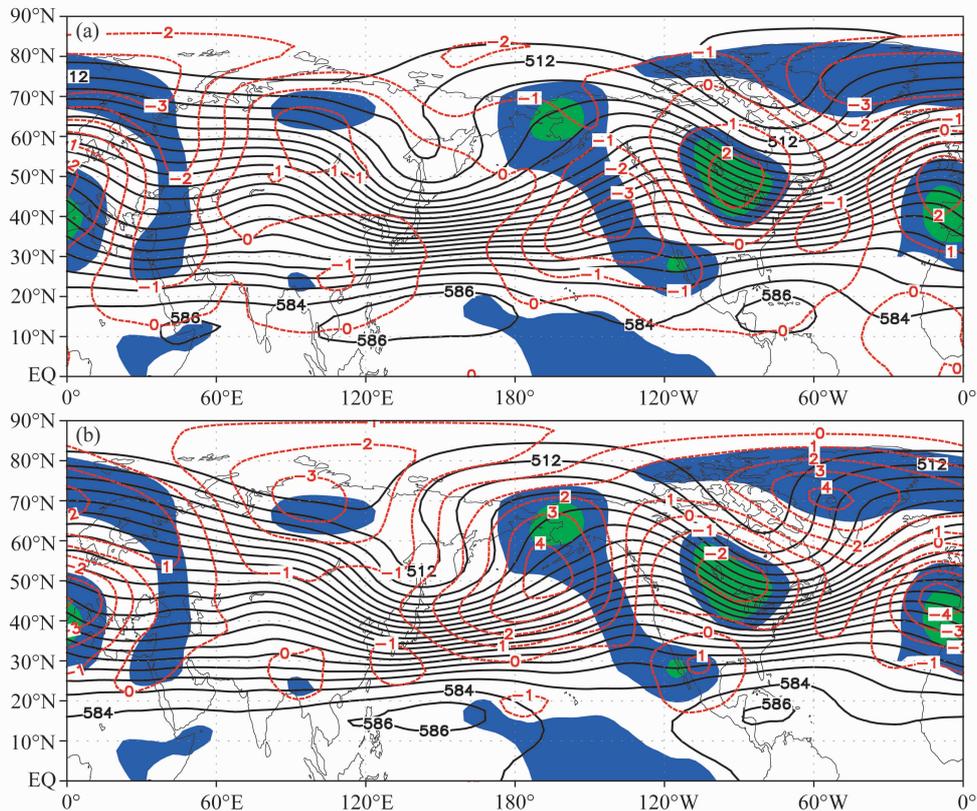


图5 云南省 (a) 多雨年和 (b) 少雨年冬季 (DJF) 合成的同期的 500 hPa 高度场 (实线, 等值线间隔为 4 dagpm) 和异常场 (虚线, 等值线间隔为 1 dagpm)。图中绿色和蓝色阴影处为达到显著性水平 2% 和 5% 的地区

Fig. 5 Composite maps of geopotential height (solid, contour spacing 4 dagpm) and anomaly (dotted, contour spacing 1 dagpm) at 500 hPa for the (a) wet and (b) drought winters over Yunan Province. The green and blue shading shows the significant test at significant level of 2% and 5%

南省降水偏多时, 贝加尔湖附近为正距平, 表示该地区高压脊加强, 由于高压脊的加强, 脊前的西北气流带来的冷空气向南深入到西南地区。此外在 40°E 附近从极区到里海为一大片负距平区。这说明欧洲东部长波槽加深。值得注意的是青藏高原上为负距平区控制, 表明南支急流中正涡度系统活跃。当云南省降水偏少时, 贝加尔湖附近为负距平, 表示该地区高压脊减弱, 在 40°E 附近从极区到里海为一大片正距平区。这说明欧洲东部长波槽减弱, 青藏高原上为正距平区控制。与降水偏多时的情况正好相反。图 6 分别给出云南省降水偏多和偏少的 850 hPa 水平风场距平。从风场对比分析不难看到, 孟加拉湾槽前为偏南风距平, 表示印缅槽加强, 向云南输送的水汽加强。而在高原的东侧为偏北风距平, 北方冷空气向南侵入西南地区, 与印度洋上来的偏强暖湿气流汇合, 有利于降水的增加。而云南省降水偏少时,

高原的东侧为偏南风距平, 冷空气活动减弱, 孟加拉湾槽前为偏北风距平, 向云南输送的水汽减少。

从图 7a 上的 300 hPa 风场距平可看出, 云南省冬季降水偏多时, 亚洲副热带急流的加强从中东到青藏高原南侧上空明显, 为南支波动的活跃提供了波导基础。Rossby 能量从中东到东亚, 可引起青藏高原—孟加拉湾低压槽的加深 (纪立人等, 2008)。由图 7a 可见, 英国附近的反气旋环流异常扰动以波列的形式向我国西南地区传播, 青藏高原东南侧为气旋环流异常。反之, 云南省冬季降水偏少时, 从中东到青藏高原南侧上空副热带急流减弱, 英国附近为气旋环流异常, 青藏高原东南侧为反气旋环流异常。

由此可见, NAO 位相、欧洲东部长波槽、贝加尔湖高压脊、孟加拉湾南支槽以及中东急流的强度与我国云南的降水的变化有密切的关系。云

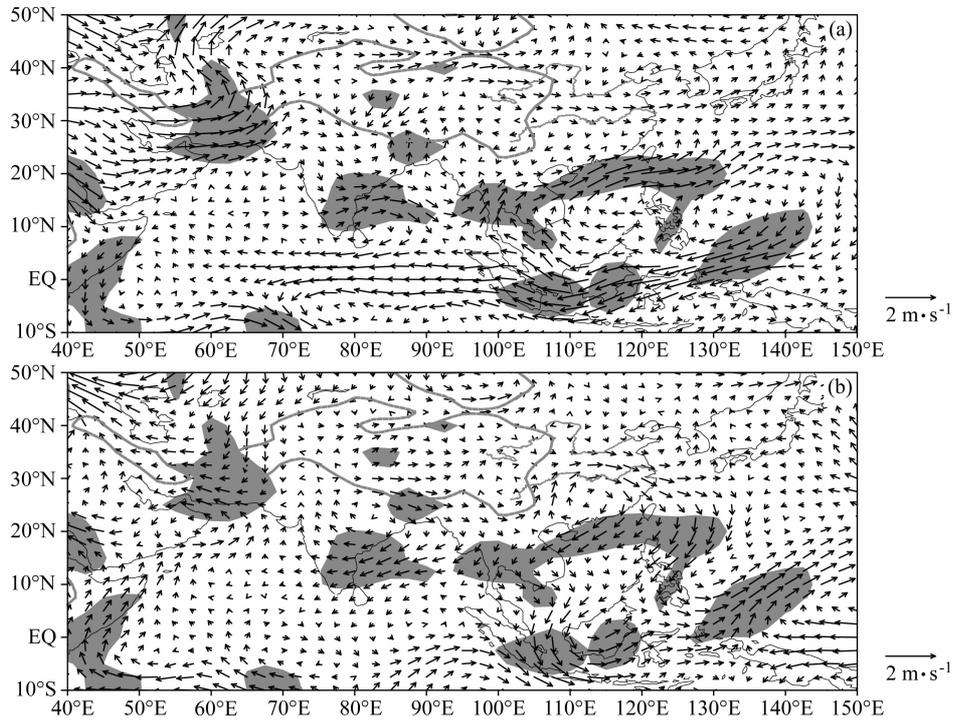


图 6 云南省 (a) 多雨年和 (b) 少雨年冬季 (DJF) 合成的同期的 850 hPa 异常风场。图中阴影处为多雨年和少雨年之差达到显著性水平 5% 的地区

Fig. 6 Composite maps of wind anomaly at 850 hPa for the (a) wet and (b) drought winters over Yunan Province. The shading shows the significant test at significant level of 5%

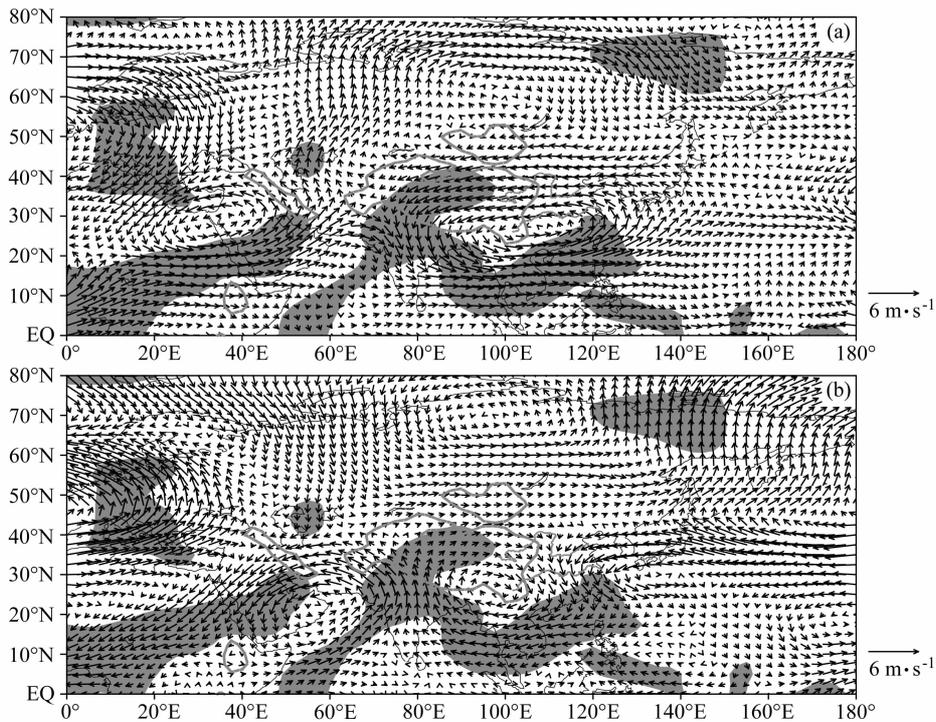


图 7 同图 6, 但为 300 hPa 异常风场

Fig. 7 As Fig. 6, but for wind anomaly at 300 hPa

南省冬季降水偏少时，青藏高原高压脊发展并控制了我国云南省，给该地区干旱的出现造成有利条件。

2009/2010 年冬季我国云南省出现了持续的干旱天气。下面分析该年的环流形势。图 8 是 2009/2010 年冬季 500 hPa 高度和高度距平图。该年冬

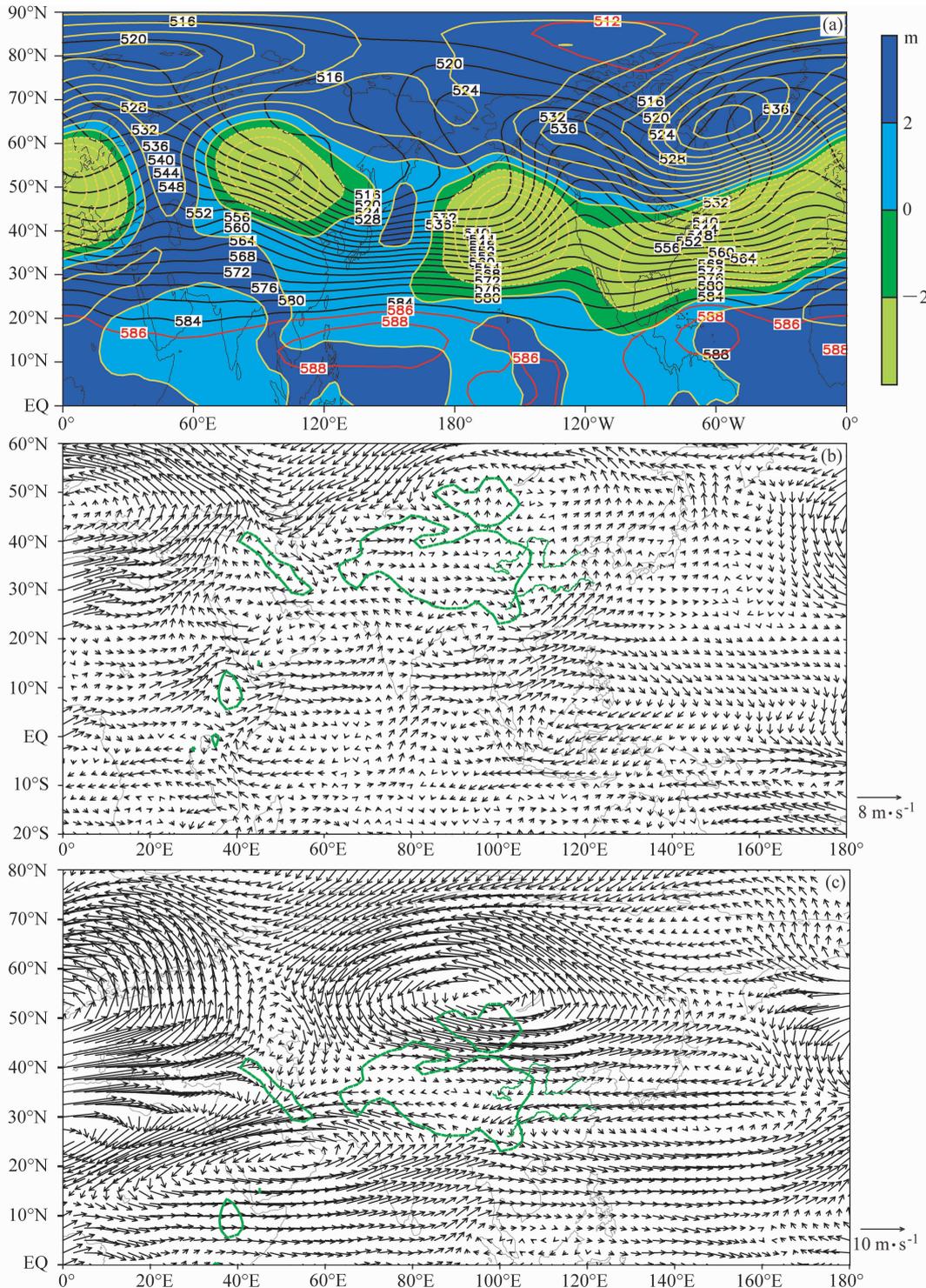


图 8 2009/2010 冬季 (a) 500 hPa 高度 (黑色等值线) 和高度距平 (黄色等值线和阴影), (b) 850 hPa 风场距平, (c) 300 hPa 风场距平
Fig. 8 (a) Geopotential height (black line) and anomaly (yellow line and shading) at 500 hPa, (b) wind anomaly at 850 hPa, and (c) wind anomaly at 300 hPa during winter of 2009 to 2010

季的主要特点是中高纬度为负距平,最大的负中心在大西洋和太平洋上;北极为正距平,最大的正距平中心在格陵兰附近,反映NAO为负位相。50°E附近从北极到里海为正距平,该正距平区伸到青藏高原。而贝加尔湖为负距平区,最大的负距平中心值可达-30 gpm。这些距平特征与统计特征完全相同。高度场上反映的是从欧洲东部到里海的高压脊,阻挡了西风带上游的低压扰动向高原以东传播,尤其是青藏高原出现的是高压脊,脊前的西北气流给我国带来的是干冷空气。东亚大槽的特征与统计不同。2009/2010年冬季亚洲东海岸附近为高度正距平区,表示东亚大槽偏弱。西太平洋副热带高压区皆为正距平,因此西太平洋副热带高压要明显偏强。西太平洋副热带高压北界位于20°N以南,西脊点位于110°E附近,为我国东南部输送暖湿气流提供了条件(图8b)。2009/2010年冬季西太平洋副热带高压与前面讨论的多年云南冬季多雨年的合成图(图5a)的相似,这是由于2009/2010年冬季和云南冬季多雨年,热带中东太平洋海温为正距平,有研究表明冬季西太平洋副热带高压与热带中东太平洋海温为正相关(应明和孙淑清,2000),也就是说热带中东太平洋海温增加有利于副热带高压。虽然西太平洋副热带高压强度偏强并西伸,但由于孟加拉湾地区呈现高度场正距平(图8a),表明南支槽强度偏弱,不利于来自孟加拉湾和印度洋暖湿空气向西南地区输送,再加上北方冷空气的减弱,使云南省出现严重持续的干旱。从850 hPa看,云南省为西北距平风控制,这说明从南面海洋上输入的水汽要比平均值低得多。在300 hPa上,中东上空副热带急流减弱,英国附近为气旋环流异常,青藏高原东南侧为反气旋高压脊异常,云南省处于脊前异常西北气流控制下,给该地区干旱的出现造成了有利条件。

根据前面由历史资料合成分析得到的云南省冬季降水和大气环流异常之间的关系,以及2009/2010年冬季的个例分析,我们看到,2009/2010年冬季云南省的严重干旱的大气环流具有与往年合成结果相同的特征,也有它自己的特征。相同的是,它们都处于NAO为负位相的背景下。在西风带,英国附近为高度负距平,从欧洲东部到里海以及青藏高原为正距平,贝加尔湖为负距平。

特别是2009/2010年冬季欧洲东部到里海以及青藏高原上高压脊强烈发展,西风带的扰动系统不易东移到东亚上空。高层中东副热带西风急流减弱,影响Rossby波的活动,不利于孟加拉湾南支槽的建立。与合成结果不同的是,2009/2010年冬季西太平洋副热带高压强度大,西伸明显,低层水汽输送路径偏南偏东,进入云南的水汽减少。

5 海表温度异常分析

已有的研究表明,在年际尺度上海表温度异常(SSTA)是影响大气环流异常的重要因素之一。这一节中,我们将利用历史资料分析云南省冬季降水异常和全球SSTA之间的统计关系。基于它们两者之间的统计关系,再分析2009/2010年冬季观测的全球SSTA,我们将从SSTA的角度研究2009/2010年冬季云南省降水偏少的可能原因。

我们分别合成分析了第4节所提及的8个云南省降水偏多和偏少年冬季的全球SSTA,如图9所示。它们的结果表明,在云南省降水偏多的冬季,热带中东太平洋海温为显著的正异常;在南太平洋的副热带海区分布着带状的负异常海温,而在更高纬度的南太平洋则又为海温正异常;同时在南半球的中纬度海区(30°S~60°S),有一带状的海温负异常区从南大西洋一直延伸至南印度洋;在北半球的太平洋和大西洋也存在一定的海温异常,但这些海温异常并不显著。在云南省降水偏少的冬季,与降水偏多的冬季相反合成的海温异常在热带中东太平洋为负异常,但这一海温异常并没有通过显著性检验,在北半球的西太平洋副热带海区存在通过信度检验的海温正异常;在南半球的大西洋、印度洋以及太平洋则为显著的海温负异常。整体而言,对应云南省降水偏多和偏少的冬季所合成的全球SSTA表明,云南省冬季降水和热带中东太平洋以及南半球中纬度海区的SSTA存在一定统计上的联系。其中合成的热带中东太平洋SSTA的空间分布类似于ENSO事件的海温分布特征,云南省降水偏多(偏少)的冬季对应着ENSO暖(冷)位相。而在南半球海区,云南省降水偏多(偏少)的冬季对应着南太平洋中纬度海区的海温异常偏高(偏低)。在南

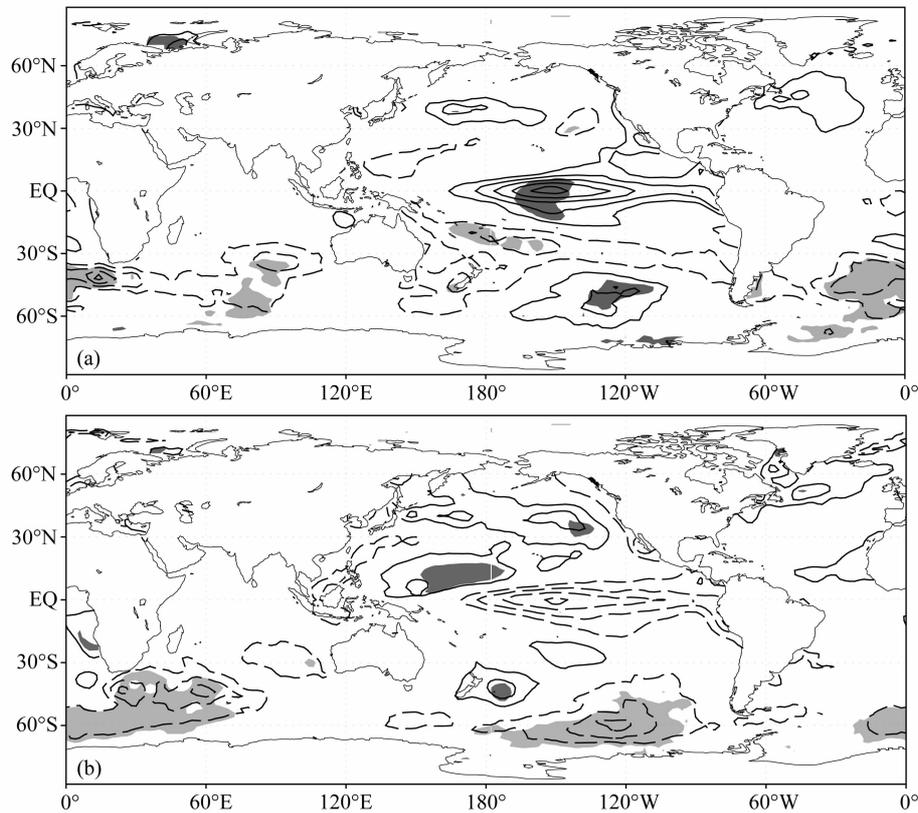


图9 云南省 (a) 多雨年和 (b) 少年冬季 (DJF) 合成的同期的 SST 异常 (等值线间隔为 0.2 °C, 实线为正值, 虚线为负值), 阴影区表示合成结果达到显著性水平 5% 的地区

Fig. 9 Composite SST anomalies (the contour interval is 0.2 °C, solid lines are positive values, dashed lines are negative values) during the (a) wet and (b) drought winters (DJF) of Yunnan Province. The shading denotes significant test at 5% significant level

大西洋和南印度洋中纬度海区, 云南省降水偏多和偏少的冬季均对应着该海区的海温异常偏低, 但相对于降水偏多的冬季, 在降水偏少的冬季该海区的负海温异常位于更高的纬度。

云南省冬季降水异常与热带中东太平洋类似于 ENSO 模的 SSTA 存在一定的联系, 还可以从云南省冬季降水指数和 Niño3.4 指数之间的相关系数上看出。对两个系数所作的相关计算表明, 其相关系数为 0.297。已有的关于 ENSO 对全球降水影响的研究 (Dai and Wigley, 2000; Seager et al., 2005) 也表明, 在北半球冬季, ENSO 的暖 (冷) 位相对应着在我国的西南部有降水偏多 (偏少) 的情况, 这和我们利用云南省冬季降水指数所合成的全球 SSTA 显示的结果相一致。ENSO 事件和云南省冬季降水之间存在一定联系的可能物理机制是: ENSO 事件通过改变 Walker 环流, 影响暖池区域的对流, 进而通过向北传播的

遥相关波列或是随着暖池区域对流强度变化而改变该区域的局地 Hadley 环流、改变东亚地区的副热带急流, 进而影响云南省冬季降水。但具体的物理机制不是本文讨论的重点, 我们将在另外的研究中专门讨论。

上面的观测事实分析为我们从海温异常上研究 2009/2010 年冬季云南省降水异常的原因提供了一定的依据。图 10 给出了自 2009 年 12 月 16 日至 2010 年 3 月 10 日平均的全球海表温度异常形势, 可以代表 2009/2010 年冬季平均的全球海温异常场。非常清楚, 在 2009/2010 年冬季全球海表温度异常主要是位于热带中东太平洋和南太平洋中高纬度海区 (以 40°S 为中心) 的明显正异常 (异常的极值超过 3 °C)。在北大西洋, 从高纬到热带地区, 分布着正、负、正的三极型海温异常, 这可能与 2009/2010 年冬季, 北大西洋涛动 (NAO) 为显著的负位相有关。同时, 在南大西

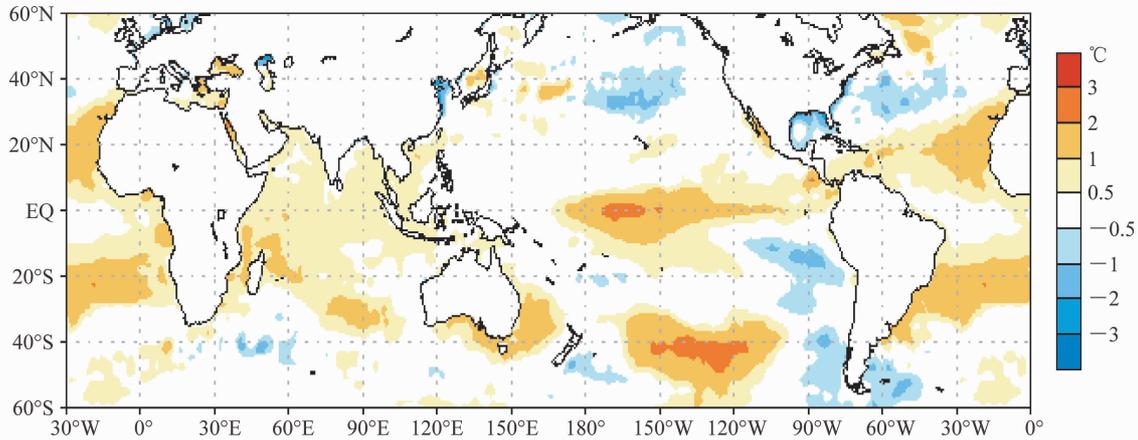


图 10 2009 年 12 月 16 日到 2010 年 3 月 10 日平均的全球 SSTA 分布 (<http://www.ncep.noaa.gov>[2010-10-20])

Fig. 10 The distribution of global SST anomalies averaged from 16 Dec 2009 to 10 Mar 2010 (<http://www.ncep.noaa.gov>[2010-10-20])

洋副热带海区 and 印度洋海盆也存在正的较弱海表温度异常。根据前面由历史资料合成分析得到的云南省冬季降水和海温异常之间的关系，若仅从 2009/2010 年海温异常的角度分析（尤其是太平洋的海温异常形势），该年冬季云南省降水与气候值比较而言应属于偏多。但这个结果与该年冬季云南省出现明显干旱、降水偏少的事实相反。因此可以认为，虽然海温异常可以影响冬季的云南降水，但 SSTA 并不是 2009/2010 年冬季云南省降水偏少的最重要原因，还需要从其它方面探讨 2009/2010 年冬季云南干旱的物理机制。

6 结论与讨论

本文对云南省近几十年冬季的降水异常做了统计分析和对 2009/2010 年冬季做了个例诊断，主要的结论如下：

(1) 云南省冬季降水偏少时，NAO 或 AO（北极涛动）为负位相。在西风带，英国附近为高度负距平，从欧洲东部到里海以及青藏高原为正距平，贝加尔湖为负距平。反应在高度场上，欧洲东部长波槽、青藏高原北面的长波脊以及孟加拉湾南支槽都减弱。高层中东副热带西风急流减弱，影响 Rossby 波的活动，不利于孟加拉湾南支槽的建立，向云南省输送的水汽减少。而由于青藏高原北面高压脊的减弱，脊前的西北风减小，带来的冷空气减弱，云南省为西南面西北距平风和北面的偏南距平风形成的低层辐散控制，容易

形成干旱。而云南省冬季降水偏多时正好相反。

(2) 2009/2010 年冬季严重干旱的个例分析表明，2009/2010 年冬季环流具有与往年合成结果相同的特征，特别是 2009/2010 年冬季欧洲东部到里海以及青藏高原上高压脊强烈发展，阻挡了西风带上游的低压扰动向高原以东传播，孟加拉湾南支槽减弱，使云南省处于异常西北气流控制下。与合成结果不同的是，2009/2010 年冬季西太平洋副热带高压强度大，西伸明显，低层水汽输送路径偏南偏东，进入云南的水汽减少。2009/2010 年冬季西太平洋副热带高压强与这年冬季中东太平洋海温为正异常有关。

(3) 云南省降水偏多（偏少）的冬季对应着 ENSO 暖（冷）位相；而在南半球海区，对应着南太平洋中纬度海区的海温异常偏高（偏低）。2009/2010 年冬季全球海表温度异常主要是位于热带中东太平洋和南太平洋中高纬度海区（以 40°S 为中心）的明显正异常（异常的极值超过 3°C）。2009/2010 年冬季海温呈现出与降水偏多一致或者说与降水偏少相反的结果。因此，虽然海温异常可以影响冬季的云南降水，但 SSTA 并不是 2009/2010 年冬季云南省降水偏少的最重要原因，还需要从其它方面探讨 2009/2010 年冬季云南干旱的物理机制。

造成降水异常的因素比较多，就云南及附近地区 2009/2010 年的严重干旱问题本文仅讨论了冬季干旱发生的部分原因，主要分析了大气环流异常的重要影响，也分析了 SSTA 是否起到了重

要作用。关于其它因素的影响, 例如北半球北极涛动、大气季节内振荡活动等的影响, 以及 2009 年秋季云南的干旱问题, 我们将在其它文章中给予专门讨论。

参考文献 (References)

陈文, 康丽华, 王珂. 2006. 我国夏季降水与全球海温的耦合关系分析 [J]. 气候与环境研究, 11 (3): 259 - 269. Chen Wen, Kang Lihua, Wang Ding. 2006. The coupling relationship between summer rainfall in China and global sea surface temperature [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 259 - 269.

程建刚, 晏红明, 严华生, 等. 2009. 云南重大气候灾害特征和成因分析 [M]. 北京: 气象出版社, 250pp. Cheng Jiangan, Yanhongming, Yan Huasheng, et al. 2009. Analysis on Characteristic and Cause of Severe Climate Disaster in Yunnan [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 250pp.

Dai Aiguo, Wigley T M L. 2000. Global patterns of ENSO induced precipitation [J]. Geophys. Res. Lett., 27 (9): 1283 - 1286.

黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 2003. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究 [J]. 大气科学, 27 (4): 770 - 788. Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. 2003. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and the East Asia climate system [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (4): 770 - 787.

黄荣辉, 顾雷, 徐予红, 等. 2005. 东亚夏季风爆发和北进的年际变化特征及其与热带西太平洋热状态的关系 [J]. 大气科学, 29 (1): 20 - 36. Huang Ronghui, Gu Lei, Xu Yuhong, et al. 2005. Characteristics of the interannual variations of onset and advance of the East Asian summer monsoon and their associations with thermal states of the tropical western Pacific [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 29 (1): 20 - 36.

纪立人, 布和朝鲁, 施宁, 等. 2008. 2008 年初我国南方雨雪低温天气的中期过程分析 III: 青藏高原一孟加拉湾气压槽 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 446 - 458. Ji Liren, Bueh Cholaw, Shi Ning, et al. 2008. On the medium-range process of the rainy, snowy and cold weather of South China in early 2008 Part III: Pressure trough over the Tibetan Plateau/Bay of Bengal [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 446 - 458.

李崇银. 1992. 华北地区汛期降水的一个分析研究 [J]. 气象学报, 50 (1): 41 - 49. Li Chongyin. 1992. An analytical study on the precipitation in the flood period over Huabei area [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 50 (1): 41 - 49.

Li Chongyin, Xian Peng. 2003. Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20 (6): 859 - 874.

马柱国, 邵丽娟. 2006. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际

振荡的关系 [J]. 大气科学, 30 (3): 464 - 474. Ma Zhuguo, Shao Lijuan. 2006. Relationship between dry/wet variation and the Pacific decade oscillation (PDO) in northern china during the last 100 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (3): 464 - 474.

彭京备, 张庆云, 布和朝鲁. 2007. 2006 年川渝地区高温干旱特征及其成因分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (3): 464 - 474. Peng Jingbei, Zhang Qingyun, Bueh Cholaw. 2007. On the characteristics and possible causes of a severe drought and heat wave in the Sichuan - Chongqing region in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (3): 464 - 474.

Seager R, Harnik N, Robinson W A, et al. 2005. Mechanisms of ENSO forcing of hemispherically symmetric precipitation variability [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131 (608): 1501 - 1527.

宋洁, 杨辉, 李崇银. 2011. 2009/2010 年冬季云南严重干旱原因的进一步分析 [J]. 大气科学, 35 (6): 1009 - 1019. Song Jie, Yang Hui, Li Chongyin. 2011. A causality study on severe drought in Yunnan during the 2009/2010 winter [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (6): 1009 - 1019.

卫捷, 张庆云, 陶诗言. 2004. 1999 及 2000 年夏季华北严重干旱的物理成因分析 [J]. 大气科学, 28 (1): 125 - 137. Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyun. 2004. Physical causes of the 1999 and 2000 summer severe drought in North China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 28 (1): 125 - 137.

解明恩, 程建刚, 范波, 等. 2005. 2003 年云南夏季罕见高温干旱的诊断研究 [J]. 气象, 31 (7): 32 - 37. Xie mingen, Chen Jiangan, Fan Bo, et al. 2005. Diagnosis of high temperature and drought event in summer 2003 in Yunnan [J]. Meteorological Monthly (in Chinese). 31 (7): 32 - 37.

晏红明, 杞明辉, 肖子牛. 2001. 云南 5 月雨量与热带海温异常及亚洲季风变化的关系 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 366 - 376. Yan Hongming, Qi Minghui, Xiao Ziniu. 2001. Relationship between precipitation in May over Yunnan and the changes of tropical Sea Surface Temperature and Asia monsoon [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 12 (3): 366 - 376.

晏红明, 段旭, 程建刚. 2007. 2005 年春季云南异常干旱的成因分析 [J]. 热带气象学报, 23 (3): 300 - 306. Yan Hongming, Duan Xu, Chen Jiangan. 2007. Study on a severe drought event over Yunnan in spring 2005 [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 12 (3): 300 - 306.

严华生, 张青, 尤卫红. 1994. 大气环流变化对云南 5 月雨量的影响及其预报 [J]. 高原气象, 13 (2): 217 - 223. Yan Huasheng, Zhang Qing, You Weihong. 1994. Effect of circulation variation on precipitation in may in Yunnan province and its long-range forecast [J]. Plateau Meteorological (in Chinese), 13 (2): 217 - 223.

- 应明, 孙淑清. 2000. 西太平洋副热带高压对热带海温异常响应的研究 [J]. 大气科学, 24 (2): 193 - 206. Ying Ming, Sun Shuqing. 2000. A study on the response of subtropical high over the western Pacific on the SST anomaly [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 24 (2): 193 - 206.
- 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 2003. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征 [J]. 气候与环境研究, 8 (3): 307 - 318. Zhang Qingyun, Wei Jie, Tao Shiyan. 2003. The decadal and interannual variations of drought in the Northern China and association with the circulations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 307 - 318.
- 张琼, 刘平, 吴国雄. 2003. 印度洋和南海海温与长江中下游旱涝 [J]. 大气科学, 27 (6): 992 - 1006. Zhang Qiong, Liu Ping, Wu Guoxiong. 2003. The relationship between the flood and drought over the lower reach of the Yangtze River Valley and the SST over the Indian Ocean and the South China Sea [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (6): 992 - 1006.
- 周连童, 黄荣辉. 2006. 中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化特征及其对华北夏季降水年代际变化的影响 [J]. 气候与环境研究, 11 (1): 1 - 13. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2006. Characteristics of interdecadal variability of the difference between surface temperature and surface air temperature in spring in arid and semi-arid region of Northwest China and its impact on summer precipitation in North China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (1): 1 - 13.