

王晓敏,周顺武,周兵. 2009/2010年西南地区秋冬春持续干旱的成因分析[J]. 气象, 2012, 38(11): 1399-1407.

# 2009/2010年西南地区秋冬春持续干旱的成因分析<sup>\*1</sup>

王晓敏<sup>1,2</sup> 周顺武<sup>1</sup> 周兵<sup>2</sup>

1 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

2 国家气候中心, 北京 100081

**提 要:** 利用国家气候中心提供的 1951—2010 年逐日综合气象干旱指数(CI)和大气环流监测指数, 结合西南地区 335 个站的逐日降水资料、逐日 NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 提供的逐日 OLR 资料, 通过 REOF 提取干旱空间分布型, 采用合成分析和相关分析等方法, 从西太平洋副热带高压、印缅槽、对流活动、水汽输送及垂直运动等几个方面, 揭示了 2009/2010 年西南地区秋冬春持续干旱的大气环流异常特征。研究发现此次极端干旱事件发生在中等强度中部型 El Niño 背景下, 受其影响, 反 Walker 环流导致赤道 120°E 附近形成显著异常的下沉运动, 菲律宾周边地区存在一个强大的异常反气旋, 同时, 西南地区受异常西北气流控制, 两者的共同作用, 使对流层低层存在明显气流辐散区, 其持续异常是极端干旱发生的重要原因。

**关键词:** 西南地区, 秋冬春, 持续干旱, 成因分析, 大气环流异常

## Causative Analysis of Continuous Drought in Southwest China from Autumn 2009 to Spring 2010

WANG Xiaomin<sup>1,2</sup> ZHOU Shunwu<sup>1</sup> ZHOU Bing<sup>2</sup>

1 Ministry of Education Key Laboratory of Meteorological Disasters,

Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 National Climate Centre, Beijing 100081

**Abstract:** Based on the 1951—2010 daily Compound Index (CI) and atmospheric circulation monitoring index provided by National Climate Center, the daily precipitation data of the 335 stations in the Southwest China, the daily NCEP/NCAR reanalysis data and the daily OLR data of NOAA, the distribution of the drought patterns in the Southwest China was analyzed by using the REOF method, and the characteristics of atmospheric circulation anomalies such as western Pacific subtropical high (WPSH), Indian-Burma trough, convection activities, water vapor transportation, and vertical motion of the continued drought from autumn 2009 to spring 2010 in the Southwest China were revealed according to the composite analysis and correlation analysis methods. It was found that the extreme drought occurred in the medium strength and central pattern El Niño background, instead of statistical typical La Niña background. The results indicated that influenced by the central type El Niño, the anti-Walker circulation caused the significantly abnormal sinking movement around 120°E in the equator and a strong abnormal anti-cyclone in the South China Sea and the surrounding areas of Southeast Asia. At the same time, the Southwest China was affected by the abnormal northwest air stream. By both influences, an obvious airflow divergence area occurred in the lower troposphere and its persistence was the key cause for the extreme drought.

\* 国家科技支撑计划项目(2009BAC51B05)和公益行业(气象)科研专项(GYHY201006019, GYHY200806004)共同资助  
2011年10月31日收稿; 2012年2月28日收修定稿  
第一作者: 王晓敏, 主要从事气候动力学研究. Email: imisstar@hotmail.com

**Key words:** Southwest China, autumn-winter-spring, continued drought, causative analysis, atmospheric circulation anomalies

## 引 言

西南地区是我国干旱发生频率较高的地区之一,每年 10 月至次年 4 月为干季。历史干旱灾害统计资料显示,西南地区几乎每年都有不同程度的干旱灾害发生,大范围、长时间的严重干旱 5~10 年就会出现一次,近年来连续发生了 2006/2007 年和 2009/2010 年两次特大干旱,尤以 2009—2010 年的干旱最为严重<sup>[1]</sup>。其中,贵州、云南、广西、四川和重庆等西南 5 省(区、市)降水量普遍偏少 2~3 成,部分地区偏少 5~8 成;气温较常年同期偏高 1~2℃。此次干旱持续时间长、影响范围广,并造成了严重的经济损失。因此,分析该地区干旱的特征以及干旱成因,对于提高干旱预测水平,防御干旱灾害具有重要意义。

干旱指标是研究干旱气候的基础,也是衡量干旱程度的标准和关键环节。目前应用广泛的干旱指标有 Palmer 干旱指数(PDSI)<sup>[2]</sup>、标准化降水指数(SPI)<sup>[3]</sup>、相对湿润度指数(M)、降水距平百分率等。Lu<sup>[4]</sup>在 SPI 基础上发展出加权平均降水指数(WAP),考虑了同期降水和前期降水衰减作用的影响,可用于评估旱涝的年际变化和长期过程。2006 年我国建立了以标准化降水指数、相对湿润度指数和降水量为基础的综合气象干旱指数(Compound Index, CI)<sup>[5]</sup>,该指数包含了前期降水量统计分布特征的标准化降水指数 SPI,也包含了降水与蒸发之间的平衡关系。CI 气象干旱指数,既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度(影响农作物)水分亏欠情况,适合于实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估。

对旱涝成因和预测方面的研究,国外主要集中在对美洲、澳洲、欧洲及非洲干旱事件的研究<sup>[6-8]</sup>,而国内学者多着眼于大气环流与海温异常对我国东部旱涝的影响<sup>[9-11]</sup>;马柱国等<sup>[12-13]</sup>利用地表湿润指数系统分析,西北的干旱化趋势和形成机理。

目前西南地区的干旱研究主要集中在夏季旱涝时空变化趋势特征<sup>[14-15]</sup>以及对夏季旱涝事件的成因分析<sup>[16-18]</sup>,而对于秋、冬和春季旱涝事件的成因研究相对较少<sup>[19-20]</sup>。针对 2009/2010 年发生在西南地

区的秋冬季持续干旱事件,目前主要是环流特征方面的分析<sup>[21]</sup>,与热带中东太平洋 SSTA 异常等大气外强迫的联系较少。

El Niño(La Niña)是迄今为止人类所观测到的全球大气和海洋相互耦合的最强信号之一。2009/2010 年西南地区极端干旱事件,发生在 El Niño Modoki 背景下。本文采用国家气候中心综合气象干旱指数(CI),首先通过 REOF 方法客观提取干旱空间分布型,在此基础上从西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)、印缅槽、大气对流活动、水汽输送及垂直运动等方面分析西南地区秋冬季持续干旱基本特征,采用合成分析和相关分析的方法,探讨热带中东太平洋海温异常对西南干旱的影响。

## 1 资料和方法

本文选用资料包括:(1)国家气候中心提供的 1951—2010 年 722 个站逐日综合气象干旱指数以及同期的南方涛动指数(SOI)和 Niño 3.4 指数;(2)国家气候中心提供的逐日降水资料,其中西南地区代表站 335 个(22.5°~31.5°N,99°~108°E);(3)NCEP/NCAR 逐日再分析数据资料集,包括纬向风、经向风、地面气压、比湿及垂直速度,水平分辨率为 2.5°×2.5°;(4)NOAA 提供的逐日 OLR 资料,水平分辨率为 2.5°×2.5°;(5)NOAA 气候预测中心(CPC)提供的 Niño3.4 指数及 ONI 指数。

主要采用旋转经验正交函数展开(EOF)<sup>[22]</sup>、合成分析和相关分析等方法。本文中,除特别说明外,均采用 1971—2000 年的平均值为气候平均态。

## 2 西南地区干旱及降水异常特征

图 1 是 1950—2010 年西南地区冬春季(11 月至次年 3 月)平均干旱指数距平及降水距平百分率逐年变化。由图 1a 可以看出,2009/2010 年是 1951 年以来干旱程度最为严重的一年,平均干旱指数距平达到最小值 -1.16。而从降水距平百分率逐年变化(图 1b)可以看出,1953/1954、1954/1955 及 1982/1983 年为偏涝年,降水距平百分率大于 40%;1962/1963 与 2009/2010 年为偏旱年,降水距平百

分率小于-40%，其中 2009/2010 年降水距平百分率为 1951 年以来次小值为-45.8%。

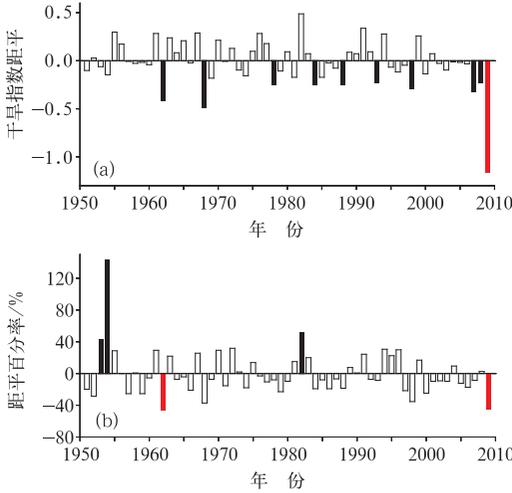


图 1 1950—2010 年西南地区冬春季 (11 月至次年 3 月) 平均干旱指数距平(a) 及降水距平百分率(b) 逐年变化特征

Fig. 1 The yearly variation of average CI anomalies (a) and precipitation anomaly percentage (b) in winter and spring

(November—ensuing March) in the Southwest China

图 2 为经过 11 点平滑处理的 2009 年 4 月 1 日至 2010 年 4 月 30 日西南地区逐日降水变化,由图可见,2009 年汛期开始前总体上降水(实线)较常年(虚线)偏少,2009 年 4 月下旬至 2010 年 3 月下旬,除主汛期 7 月 1 候前后和 8 月 1 候前后 2 个阶段降水偏多外,西南地区降水均较常年异常偏少。2009 年西南地区雨季提早于 8 月上旬末结束,秋雨期(8 月 21 日至 11 月 13 日)降水明显偏少,造成了西南地区持续性干旱的发生。

为了客观提取干旱发生的空间范围和时间段,

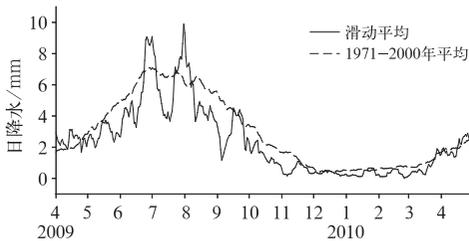


图 2 2009—2010 年西南地区逐日降水变化特征 (实线,虚线为气候平均)

Fig. 2 Time series (solid) of the daily precipitation in the Southwest China from 2009 to 2010

(Dash line denotes the climatic mean of 1971—2000)

对 2009—2010 年逐日综合气象干旱指数进行 REOF 分解,第一特征向量为江南秋旱,方差贡献为 10.3%;第二特征向量(图 3)为西南地区秋冬春持续干旱,方差贡献为 10.7%。其中图 3a 给出了西南地区干旱的空间范围(22.5°~31.5°N,99°~108°E,图中实线方框所示),包括广西、重庆、四川、贵州、云南 5 个省(区、市)。图 3b 中的 A 段给出了主要干旱阶段(2009 年 10 月 29 日至 2010 年 4 月 3 日),历时 157 天,跨越秋、冬、春三个季节,B 段为显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)。

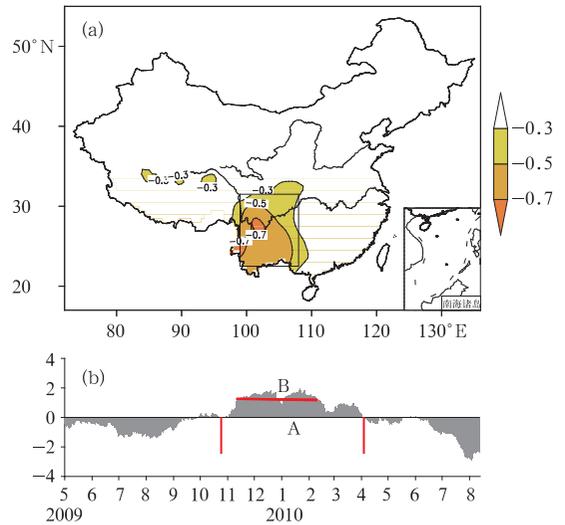


图 3 干旱指数 REOF 的第二特征向量(a)及其时间系数(b)

Fig. 3 The second REOF component spatial pattern of the CI (a) and its time coefficient (b)

### 3 大气环流异常特征分析

研究表明,干旱过程常常是某种状态异常环流型持续发展 and 长期维持的结果。2009/2010 年西南地区秋冬春持续干旱,在西太副高、印缅槽、大气对流活动、水汽输送及垂直运动等几个方面存在显著异常。西太副高是造成低纬高原地区旱涝的主要天气系统之一。表 1 列出了 2009 年 11 月至 2010 年 2 月西太副高的几个特征指数与多年平均值,可以看到,从其面积指数和西伸脊点来看,11 月至次年 2 月西太副高面积都偏大,脊线偏西。但强度、脊线和北界指数,各月有所不同。强度指数,除 2009 年 11 月略偏弱,其他各月都明显偏强;而脊线指数与北界指数则显示西太副高南北位置来回振荡。11 月至次

表 1 2009 年 11 月至 2010 年 2 月西太副高的特征指数与多年平均值比较

Table 1 Comparison of the average characteristic index values of WPSH from November to ensuing February in 2009/2010 with their climatological means over 1971—2000

| 指数类型    | 11 月 |      | 12 月 |      | 1 月  |      | 2 月  |      | 11—2 月 |           |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|-----------|
|         | 多年平均 | 2009 | 多年平均 | 2009 | 多年平均 | 2010 | 多年平均 | 2010 | 多年平均   | 2009—2010 |
| 面积指数    | 16   | 19   | 13   | 19   | 8    | 17   | 8    | 15   | 11     | 18        |
| 强度指数    | 29   | 24   | 23   | 29   | 14   | 23   | 14   | 36   | 20     | 28        |
| 脊线指数/°N | 19   | 19   | 16   | 13   | 13   | 14   | 13   | 12   | 15     | 15        |
| 北界指数/°N | 23   | 23   | 20   | 16   | 17   | 18   | 16   | 17   | 19     | 19        |
| 西伸脊点/°E | 115  | 100  | 114  | 100  | 131  | 105  | 123  | 90   | 121    | 99        |

年 2 月整个阶段,西太副高较常年面积偏大,强度偏强,脊线偏西。

从 2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)500 hPa 位势高度场及距平(图 4)也可以看出,西太副高较常年偏强,面积偏大,西伸明显,使得西南地区长期受其控制,孟加拉湾的水汽无法向该地区输送,导致降水偏少,这与黄慧君等<sup>[23]</sup>的分析一致。秦剑等<sup>[24]</sup>指出印缅槽是 500 hPa 南支西风气流上的短波槽,印缅槽一年四季均有出现,尤以冬半年出现较为频繁。由图 4 可见,整个低纬地区均处于位势高度正距平区,西南地区的正距平值高于 2 dagpm,持续受晴好天气控制。而孟加拉湾也在正距平控制区内,表明与常年相比,印缅槽偏弱,槽前西南气流减弱,来自孟加拉湾的水汽强度减弱,造成了西南地区严重干旱。

向外长波辐射(OLR)是揭示热带低纬度地区对流活动较好的物理参数。2009/2010 年显著干旱

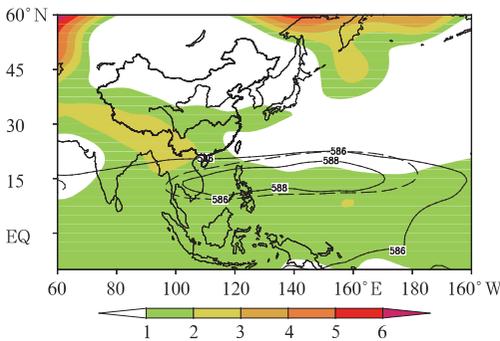


图 4 2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)500 hPa 位势高度场及其距平(单位:dagpm,虚线为气候平均,阴影区表示距平 $\geq 1$  dagpm)

Fig. 4 The 500 hPa geopotential height field and its anomalies for the period of significant drought in 2009/2010 (unit: dagpm, dashed line for long-term mean, shaded areas indicate anomalies  $\geq 1$  dagpm)

期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)OLR 距平场(图 5a)上,西南地区为正距平,距平值达到  $18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  以上,表明该地对流活动较常年明显偏弱。进一步分析低纬地区对流活动对西南干旱的影响,图 5b 给出了历年显著干旱期西南地区干旱指数与 OLR 场的相关关系,分析可见,西南地区干旱指

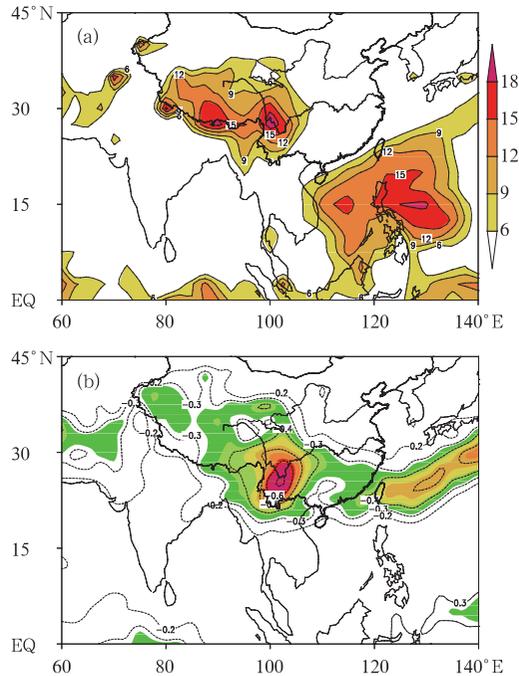


图 5 2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)OLR 距平场(a,单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )及 1975/1976—2009/2010 年显著干旱期西南地区干旱指数与 OLR 的相关(b,阴影区通过 0.05 的显著性水平检验)

Fig. 5 The OLR field for the period of significant drought in 2009/2010 (a, unit:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) and the correlation between OLR and CI of the Southwest China for the period of significant drought from 1975/1976 to 2009/2010 (b, shaded areas denote the correlation passing the test at 0.05 significance level)

数与青藏高原和西太平洋的 OLR 存在显著负相关(通过了 0.05 的显著性水平检验),表明上述两个相关区的 OLR 值越高,西南地区干旱越严重。结合图 5a 可知,以上两个相关区内的 OLR 值异常特征最明显区位于青藏高原地区。李栋梁等<sup>[25]</sup>的研究表明,青藏高原 OLR 值偏高时,对流层气温偏高,由于热力作用使得西南地区为高位势区,不利于降水产生。

水汽是形成降水的必要条件之一,大气中的水汽主要集中在 500 hPa 以下气层中,水汽含量峰值出现在 850~700 hPa<sup>[26]</sup>。2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)700 hPa 水汽通量及散度距平场上(图 6a),西南地区为异常的西北水汽输送,表明来自南方海洋上的暖湿水汽输送较常年明显偏弱;且该地区处于水汽辐散中心,不利于水汽在该地区汇合。分析 300 hPa 水

汽通量及散度距平场(图 6b),可以看出西南地区为水汽辐合区。这种水汽在高层辐合、低层辐散的高低空配置,不利于水汽从低层输送到高空。

由 2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)沿 97.5°~107.5°E 平均经向垂直环流距平场(图 7a),可以看出,在 40°N 附近

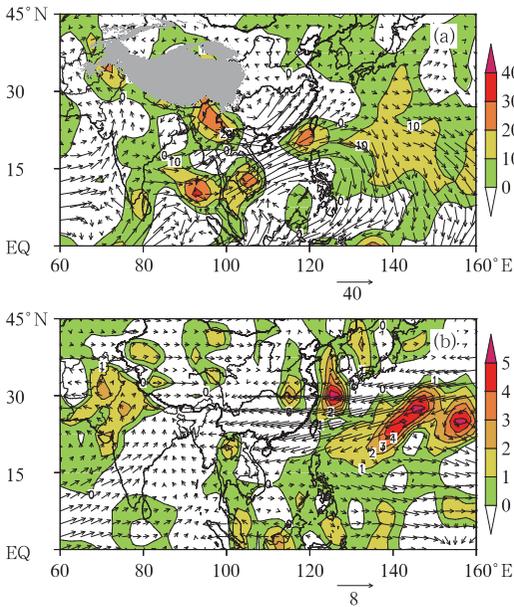


图 6 2009/2010 年显著干旱期(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)700 hPa(a)、300 hPa(b)水汽通量距平场(单位:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )及水汽通量散度距平场(阴影为正距平,单位:  $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ )

Fig. 6 The moisture flux anomalies of 700 hPa (a) and 300 hPa (b) (unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ) and moisture flux divergence anomalies (positive anomalies are shaded, unit:  $10^{-6} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ) for the period of significant drought in 2009/2010

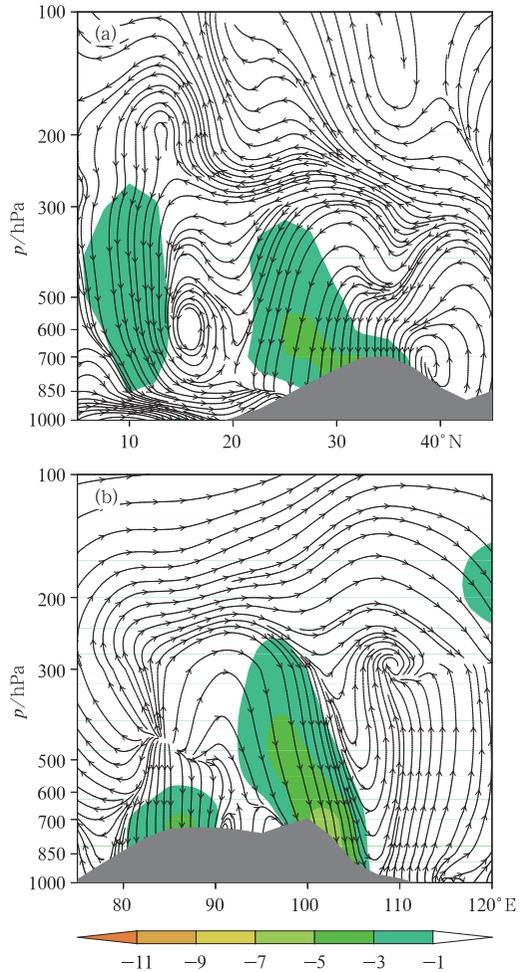


图 7 2009/2010 年显著干旱期

(2009 年 11 月 12 日至 2010 年 2 月 10 日)沿 97.5°~107.5°E 平均经向垂直环流距平场(a)及沿 22.5°~32.5°N 平均纬向垂直环流距平场(b)(阴影表示  $\omega \leq -1$ ,垂直风速扩大 100 倍,单位:  $10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,纬向风和经向风单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 7 The anomaly field of the average meridional vertical circulation along the 97.5°-107.5°E (a) and the average zonal vertical circulation along the 22.5°-32.5°N (b) for the period of significant drought in 2009/2010 (Shaded areas indicate  $\omega \leq -1$ . The vertical wind speed is magnified by 100 times; unit:  $10^{-2} \text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ , the unit of zonal and meridional wind:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

存在一个异常气旋式闭合垂直环流,受其影响从高原流出的气流在其南部下沉,西南地区上空 300 hPa 以下盛行异常下沉运动;由于地表感热作用,20°N 附近 850 hPa 以下存在一支较浅薄的上升气流。相应的纬向垂直环流距平场(图 7b),从高原流出的气流向东输送,在西南地区上空的整层对流层形成强盛的异常下沉运动。因此,该年西南地区的上升运动较常年异常减弱,下沉运动明显加强。

#### 4 热带海表温度异常对西南干旱的影响

NOAA 气候预测中心(Climatic Prediction Center, CPC)在业务上主要使用的海洋尼诺指数(Oce-

anic Niño Index,  $ONI^*$ ) 是基于 Niño 3.4 区 ERSST.v2 海温资料<sup>[27]</sup>的 3 个月滑动平均值与其 1971—2000 年长期平均值的距平。当  $ONI \geq +0.5^\circ\text{C}$ (或  $ONI \leq -0.5^\circ\text{C}$ )且持续 5 个月以上时称为一次 El Niño(或 La Niña)事件。根据该指数,确定了历次 El Niño 事件和 La Niña 事件的起止时间。表 2 给出了 1951 年以来西南地区当年 11 月至次年 3 月干旱年份(见图 3a)及对应的 ENSO 事件。由表可见,20 世纪 80 年代以来,冬春季西南地区干旱多发生在 La Niña 事件背景下,这与蒋兴文等<sup>[28]</sup>提出的 El Niño 年西南地区冬季降水偏多的结论一致。而 2009/2010 年的干旱却发生在 El Niño 事件背景下。分析冬春季西南地区平均干旱指数与 Niño3.4 指数逐年变化(图略)进一步发现,20 世纪

表 2 1951 年以来西南地区冬春季(11 月至次年 3 月)干旱年及对应的 ENSO 事件  
Table 2 Drought years and corresponding ENSO events in winter and spring (November—ensuing March) in the Southwest China since 1951

| 干旱年份      | CI    | ONI   | La Niña           | El Niño           |
|-----------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| 1962—1963 | -0.60 | -0.46 | 1962/09 至 1963/01 |                   |
| 1968—1969 | -0.67 | 0.90  |                   | 1968/11 至 1969/06 |
| 1978—1979 | -0.44 | -0.06 |                   |                   |
| 1984—1985 | -0.43 | -0.88 | 1984/10 至 1985/09 |                   |
| 1988—1989 | -0.43 | -1.62 | 1988/05 至 1989/05 |                   |
| 1993—1994 | -0.42 | 0.24  |                   |                   |
| 1998—1999 | -0.48 | -1.24 | 1998/07 至 2000/06 |                   |
| 2007—2008 | -0.51 | -1.26 | 2007/09 至 2008/05 |                   |
| 2008—2009 | -0.41 | -0.58 |                   |                   |
| 2009—2010 | -1.34 | 1.54  |                   | 2009/06 至 2010/04 |

80 年代以来,西南地区冬春季干旱年份,CI 与 Niño3.4 指数均呈正相关;而 2009/2010 年平均 CI 达到历史最低值 -1.34,CI 与 Niño3.4 指数呈负相关。由此可见,20 世纪 80 年代以来,La Niña 是西南地区冬春季干旱的强信号,而 2009/2010 年的干旱却是发生在 El Niño 背景下。

根据周兵等<sup>[29]</sup>定义的 Walker 环流强度指数:(5°S~5°N,160°E~120°W)高空 200 hPa 与低层 850 hPa 标准化纬向风的差值,计算了 2009 年 Walker 环流强度指数与显著干旱期 CI 的 50 天超前相关关系(图 8)。可见,西南、西北及青藏高原地区,CI 与 Walker 环流强度指数呈显著正相关(通过了 0.05 的显著性水平检验),华北新疆西部和东北局部地区呈显著负相关。表明 Walker 环流强度指数与 2009/2010 年西南地区干旱有显著的相关性,即 Walker 环流强度指数越小,西南地区干旱越严重。张东凌等<sup>[30]</sup>指出,El Niño 年份 Walker 环流强

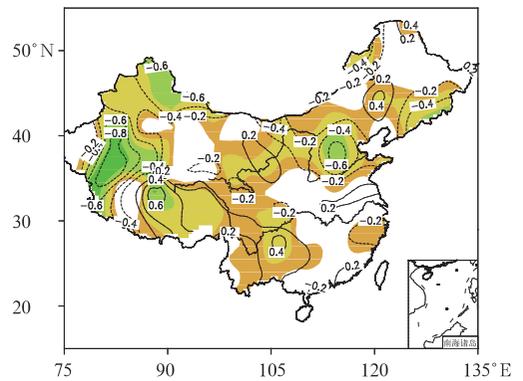


图 8 2009 年 Walker 环流强度指数与显著干旱期 CI 的 50 天超前相关分布(阴影区通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 8 The correlative distribution of the Walker circulation intensity index in the previous 50 days and CI in the significant drought in 2009 (Shaded areas indicate the correlation passing the test at 0.05 significance level)

度将减小。而 2009/2010 年的 El Niño 事件使得反 Walker 环流强度增大,从而影响西南地区干旱。

气候状态下,700 hPa 风场西南地区的气流主要来自于孟加拉湾印缅槽前西南气流(图略)。图 9a 为 2009/2010 年冬春季(11 月至次年 3 月)700 hPa 距平风场,环流发生很大异常,在菲律宾附近上空存在一个强大的异常反气旋(图中 A 所示),受其影响,印缅槽前西南气流并未按照历年路径进

入西南地区,而是在 103°E 附近转向,部分进入长江中下游地区,部分汇入该反气旋中。西南地区长期受干冷的异常西北气流控制,且处于气流辐散区,这种形势不利于西南地区降水的产生。如图 9b 2009/2010 年冬春季沿 99°~108°E 平均经圈环流距平场所示,北半球中低纬地区(10°~40°N)对流层盛行强盛的异常下沉气流,表明受 El Niño 年反 Walker 环流增强的影响,菲律宾上空产生异常下沉运动,通过经圈环流影响到中国西南地区,从而造成了西南地区干旱的发生。

Ashok 等<sup>[31]</sup>的研究表明,热带太平洋 ENSO 事件有两类,即热带东太平洋增温型和热带中太平洋增温型(El Niño Modoki)。Weng 等<sup>[32]</sup>的研究表明 El Niño Modoki 对太平洋周边气候异常的影响不同于典型的 El Niño 事件的影响。Lee 等<sup>[33]</sup>指出 2009/2010 年是 El Niño Modoki 类型,黄荣辉等<sup>[34]</sup>研究表明 1994/1995、2002/2003 和 2006/2007 年都为 El Niño 中部型。为了比较 2009/2010 年与其他 El Niño Modoki 年份对环流造成的不同影响。图 10

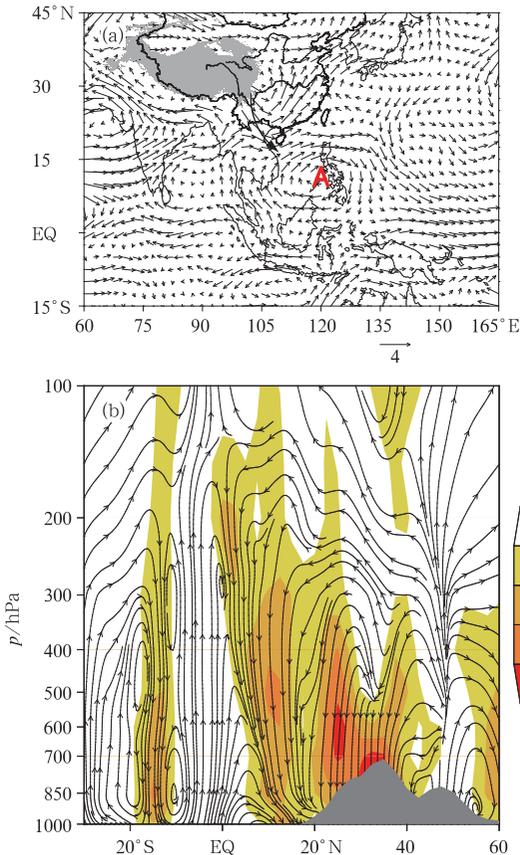


图 9 2009/2010 年冬春季(11 月至次年 3 月) 700 hPa 距平风场(a,单位:  $m \cdot s^{-1}$ )、沿 99~108°E 经向平均垂直环流距平场及垂直速度场(b,阴影表示下沉运动,垂直风速扩大 100 倍,单位:  $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$ , 经向风单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 9 The 700 hPa anomaly wind field (a, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ), the anomaly field of the average meridional vertical circulation along the 99°-108°E and vertical velocity field (b, sinking movements shaded, the vertical wind speed magnified by 100 times, unit:  $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$ , the unit of meridional wind;  $m \cdot s^{-1}$ ) in winter and spring (November-ensuing March) in 2009/2010

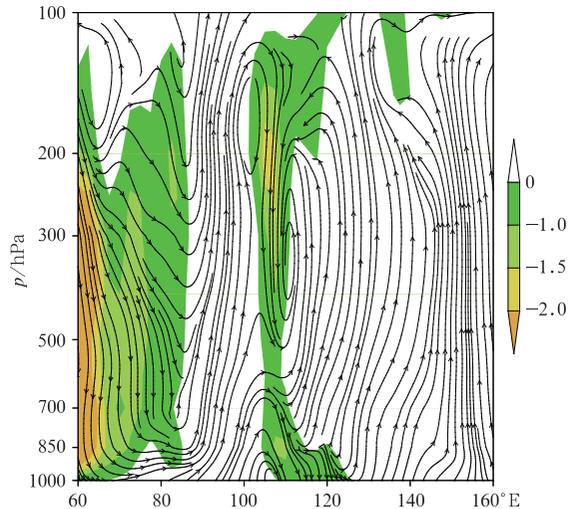


图 10 2009/2010 年与 1994/1995、2002/2003 和 2006/2007 合成年 11 月至次年 1 月平均 Walker 环流差值

(阴影表示下沉运动,垂直风速扩大 100 倍,单位:  $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$ , 纬向风单位:  $m \cdot s^{-1}$ )  
Fig. 10 The average Walker circulation of the composite difference between 2009/2010 and 1994/1995, 2002/2003 and 2006/2007 in November-ensuing January (Shaded areas indicate sinking movements, the vertical wind speed is magnified by 100 times, unit:  $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$ ; The unit of zonal wind;  $m \cdot s^{-1}$ )

给出了 2009/2010 与 1994/1995、2002/2003 年和 2006/2007 合成年 El Niño 成熟期(11 月至次年 1 月)平均 Walker 环流差值,可以看出,与菲律宾上空的强大反气旋相对应(图 9a),在 120°E 附近盛行明显的下沉运动。因此可以得出,2009/2010 年的 El Niño 事件与同类型的 El Niño 事件相比,对 Walker 环流的影响表现出不同的特点,即菲律宾上空盛行明显下沉运动,在低层形成强大的反气旋,又通过经圈环流影响到西南地区,造成该地区干旱的发生。

## 5 结 论

本文从西太副高、印缅槽、对流活动、水汽输送及垂直运动等几个方面,对西南地区 2009/2010 年秋冬春持续干旱事件进行了系统分析,特别探讨了热带海表温度异常对西南干旱的影响,得到主要结论如下:

(1)2009/2010 年是西南地区 1951 年以来干旱程度最严重的年份,干旱与大气环流异常有很大的关系。西太副高较常年面积偏大,强度偏强,脊线偏西。

(2)西南地区处于 OLR 的正距平区,对流活动受到抑制;该地区干旱指数与青藏高原和西太平洋的 OLR 呈显著负相关,而 2009/2010 年 OLR 异常特征最明显的是青藏高原地区,该地 OLR 值偏高时,西南地区为高位势区,不利于降水产生。

(3)2009/2010 年显著干旱期水汽通量及其散度场上,西南地区来自南方海洋上的暖湿水汽输送有所减弱,该地区处于水汽辐散中心,水汽在高层辐合、低层辐散;垂直运动场上,西南地区的上升运动异常减弱,下沉运动明显加强。

(4)20 世纪 80 年代以来,La Niña 是西南地区冬春季干旱的强信号,而 2009/2010 年的干旱过程发生在 El Niño Modoki 背景下。2009/2010 年 El Niño 事件增大反 Walker 环流强度,使得 120°E 上空产生异常下沉运动,菲律宾附近存在一个强大的异常反气旋,通过经圈环流影响中国西南地区。而西南地区受干冷的异常西北气流控制,且处于气流辐散区,其环流形势非常不利于西南地区降水的产生。

另外,2009 年西南地区夏季雨季提早结束,秋雨期降水明显偏少。而冬春季印缅槽较常年明显偏

弱,槽前西南气流减弱,导致西南地区无暖湿水汽输送,加剧了干旱的发展。本文仅对 ENSO 影响 2009/2010 年西南地区秋冬春持续干旱做了初步的统计诊断分析,具体的物理机制还需利用数值模式进行进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 马建华. 西南地区近年特大干旱灾害的启示与对策[J]. 人民长江, 2010, 41(24): 7-12.
- [2] Palmer W C. Meteorologic drought[M]. U S Weather Bureau Res, 1965, 45-48.
- [3] McKee T B, Doedken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston, 1993: 179-184.
- [4] Lu E. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation: Rationale[J]. Geophys Res Lett, 2009, 36, L12707, doi:10.1029/2009GL038817.
- [5] 张强, 邹旭恺, 肖风劲, 等. GB/T20481-2006, 气象干旱等级[S]. 中华人民共和国国家标准. 北京: 中国标准出版社, 2006, 1-17.
- [6] Filippo G, Linda O M, Christine S, et al. A regional model study of the importance of local versus remote controls of the 1988 drought and the 1993 flood over the central United States[J]. J Climate, 1996, 9: 1150-1162.
- [7] Ricardo G H, Daniel P, Ricardo M T, et al. The outstanding 2004/05 drought in the Iberian Peninsula: Associated atmospheric circulation[J]. J Hydrometeorology, 2007, 3: 483-498.
- [8] Diriba K, Anthony G B. Predictability of June-September rainfall in Ethiopia[J]. Mon Wea Rew, 2007, 2: 628-650.
- [9] 刘舸, 张庆云, 孙淑清. 澳大利亚东侧环流及海温异常与长江中下游夏季旱涝的关系[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 231-241.
- [10] 梁平德, 段丽瑶, 周鸣盛, 等. 华北盛夏旱涝的环流特征及其在初夏的预兆[J]. 气象学报, 2006, 64(3): 385-391.
- [11] 林爱兰, 郑彬, 谷德军, 等. 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, 2009, 28(5): 1189-1201.
- [12] 马柱国, 符焯斌. 1951—2004 年我国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报, 2006, 51(20): 2429-2439.
- [13] 马柱国, 邵丽娟. 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, 2006, 30(3): 464-474.
- [14] 白莹莹, 高阳华, 张焱, 等. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的影响[J]. 气象, 2010, 36(9): 47-54.
- [15] 李永华, 徐海明, 白莹莹, 等. 我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.
- [16] 李永华, 徐海明, 刘德. 2006 年夏季西南地区东部特大干旱及其大气环流异常[J]. 气象学报, 2009, 67(1): 122-132.
- [17] 陈丽华, 周率, 党建涛, 等. 2006 年盛夏川渝地区高温干旱气候形成的物理机制研究[J]. 气象, 2010, 36(5): 85-91.

- [18] 刘晓冉, 杨茜, 程炳岩. 2006 年川渝伏旱同期环流场和水汽场异常特征分析[J]. 气象, 2009, 35(8): 27-34.
- [19] 唐伍斌. 广西秋冬季旱涝的时空分布特征及同期环流分析[J]. 气象, 2009, 35(1): 108-113.
- [20] 陶诗言, 卫捷, 孙建华, 等. 2008/2009 年秋冬季我国东部严重干旱分析[J]. 气象, 2009, 35(4): 3-10.
- [21] 张新主, 章新平, 关华德, 等. 我国西南地区 2009 年秋季特大旱灾大气环流特征分析[J]. 热带地理, 2011, 31(1): 21-27.
- [22] 吴洪宝, 吴蕾. 气候变率诊断和预测方法[M]. 北京: 气象出版社, 2005, 33-44.
- [23] 黄慧君, 李庆红, 高月忠, 等. 云南省 2009/2010 年秋冬季罕见干旱诊断分析[J]. 热带地理, 2011, 31(1): 28-33.
- [24] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997, 59-60.
- [25] 李栋梁, 章基嘉, 吴洪宝. 青藏高原 OLR 的气候特征及其对北半球大气环流的影响[J]. 高原气象, 1996, 15(3): 259-268.
- [26] 李秀珍, 梁卫, 温之平. 华南秋、冬、春季水汽输送特征及其与降水异常的联系[J]. 热带气象学报, 2010, 26(5): 626-632.
- [27] Smith T M, Reynolds R W. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854—1997) [J]. Journal of Climate, 2003, 16: 1495-1510.
- [28] 蒋兴文, 李跃清. 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子[J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1325-1335.
- [29] 周兵, 吴国雄, 梁潇云. 孟加拉湾深对流加热对东亚季风环流系统的影响[J]. 气象学报, 2006, 2(1): 48-56.
- [30] 张东凌, 曾庆存. 大气环流中 ENSO 循环的动力统计分析[J]. 自然科学进展, 2007, 17(10): 1401-1409.
- [31] Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al. El Niño Modoki and its possible teleconnection[J]. J Geophys Res-Ocean, 2007, 112(11): C11007, doi: 10. 1029/ 2006JC003798.
- [32] Weng H Y, Ashok K, Behera S K, et al. Impacts of recent El Niño Modoki on dry/ wet conditions in the Pacific rim during boreal summer[J]. Climate Dynamics, 2007, 29: 113-129, doi: 10. 1007/ s00382-007-0234-0.
- [33] Lee, T., McPhaden M J. Increasing intensity of El Niño in the central-equatorial Pacific[J]. Geophys Res Lett. 2010, 37, L14603, doi: 10. 1029/ 2010GL044007.
- [34] 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 691-719.