

柳艳菊,孙冷,孙丞虎,等. 2011 年秋季华西秋雨异常及成因分析[J]. 气象,2012,38(4):456-463.

2011 年秋季华西秋雨异常及成因分析^{* 1}

柳艳菊 孙 冷 孙丞虎 王遵娅 王艳姣 袁 媛

国家气候中心,北京 100081

提 要: 本文对 2011 年秋季我国的降水异常特征及成因进行了分析,结果表明 2011 年秋季,华西秋雨较为典型,主要呈现以下 3 个特点:多雨区位置较常年偏东、偏北,阴雨日数偏多;秋雨阶段性显著;极端性强。2011 年华西秋雨异常突出表现为对 2011 年 9 月开始的 La Nina 事件响应的特征。此外,年代际的变化也可能是造成华西秋雨异常的重要原因之一。

关键词: 气候异常, 华西秋雨, La Nina, 成因分析

Analysis of Anomalies of Autumn Rain in West China in 2011 and Its Possible Mechanism

LIU Yanju SUN Leng SUN Chenghu WANG Zunya WANG Yanjiao YUAN Yuan

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: The characteristics of anomalous precipitation in the autumn of 2011 and its possible mechanism were investigated. The results showed that autumn rain of 2011 in West China was very typical, with the following features, namely the easterly and northerly being more precipitation areas, more overcast or rainy days, prominently concentrated precipitation phases, and strong extremeness. The anomaly of autumn rain in West China was featured mainly by a response to the typical La Nina event which started in September 2011. Furthermore, the decadal variation may be one of the important causes for the anomalous autumn rain in West China.

Key words: climate anomalies, autumn rain in West China, La Nina, mechanism

引 言

华西秋雨是我国西部地区秋季多雨的一种特殊型天气现象,主要指渭水流域、汉水流域、川东、滇东等地区的秋雨。秋季频繁南下的冷空气,因受地形阻滞,易与停滞在该地区的暖湿空气相互激荡,使锋面加剧,产生降水天气。其特点是降水量一般多于春季,仅次于夏季,形成一个次极大值。在水文上则表现为显著的秋汛^[1]。2011 年秋季,我国华西秋雨较为典型,影响范围偏大,主要表现出降水异常偏

多、持续时间长、阶段性突出等特点,期间共出现了两次降水集中期。前期(9 月 2—20 日)平均降水量为 98.5 mm,为 1951 年以来同期最多;后期(10 月 19 日至 11 月 8 日)平均降水量为 35.8 mm,为 1997 年以来最多。受持续强降雨影响,四川、陕西、重庆、湖北 4 省(市)遭受洪涝、滑坡、泥石流等灾害,共造成 1577.7 万人受灾,因灾死亡 79 人,失踪 22 人,紧急转移安置 95.7 万人,农作物受灾面积 65.34 万 hm²,其中绝收 8.31 万 hm²;房屋倒塌 17.9 万间,直接经济损失 251.3 亿元。此外,华西秋雨还导致嘉陵江、汉江以及渭河等出现超警戒洪水,多次出现

^{*} 973 项目(2012CB417205)、国家科技支撑计划(2009BAC51B02)和国家自然科学基金重点项目(41130960)共同资助
2012 年 1 月 16 日收稿; 2012 年 3 月 13 日收修定稿
第一作者:柳艳菊,主要从事气候及气候变化研究. Email:liuyan@ema.gov.cn

洪峰,一些水库出现超汛限水位,秋汛严重。

关于华西秋雨的气候特征、异常、成因及影响研究,最早可追溯到 20 世纪 50 年代。在那时,高由禧等就对华西秋雨作了研究,此后,相继出现了一些关于华西秋雨的特征、变率、成因及预报等的研究^[2-10]。及时深入分析和探讨监测中出现的异常现象一直是国家气候中心的一项十分重要的诊断业务^[11-12],因此深入探讨今年华西秋雨的特点及异常成因将有助于为未来的监测和预测工作提供有力的参考依据。

1 资料与方法

本文主要使用了国家气象信息中心提供的 1951—2011 年中国 700 站逐日平均气温和降水量资料及美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的 NCEP/NCAR 再分析数据集。本文使用的气候平均值为 1971—2000 年平均。

2 2011 年华西秋雨的特点

2011 年华西秋雨较为典型,可以概括为以下 3 个主要特征:

(1) 多雨区位置较常年偏东、偏北。从降水量分布图看(图 1),常年华西秋雨区(四川东部、贵州、重庆、云南、甘肃东部和南部、宁夏南部、陕西关中和陕南及湖南西部、湖北西部)秋季累计雨量普遍超过 250 mm。雨量最大值中心位于常年华西秋雨区的东北部,陕西南部、四川盆地东北部、重庆东北部、湖北西北部和湖南西北部秋季累积雨量达 250~500 mm。与常年同期相比,2011 年秋季四川盆地东北部、重庆北部、陕西、甘肃南部和东部、宁夏南部雨量普遍偏多 5 成至 2 倍(图 2),其中陕西、甘肃、宁夏、重庆四省(区、市)区域平均雨量 186 mm,较常年同期偏多 57.6%,为 1951 年以来的历史同期第三高值,仅次于 1975 和 1964 年,是近 36 年来最高值(图 3)。从秋季降水日数的距平分布看,四川盆地东北部、重庆北部、甘肃东部、宁夏大部 and 陕西秋季阴雨天气日数较常年同期普遍偏多 6~10 d,另外陕南局地偏多 12 d 以上(图 4)。

(2) 秋雨阶段性显著。2011 年秋季共出现了两段降水集中期,前期(9 月 2—20 日)降水异常偏多区位于常年秋雨区的北部(图 5a),累计雨量达 100~400 mm,尤其陕南、甘肃东部较常年同期偏多 2 倍以上,四省(区、市)区域平均雨量 98.5 mm,较常年同期(45.3 mm)偏多 117%,为 1951 年以来最

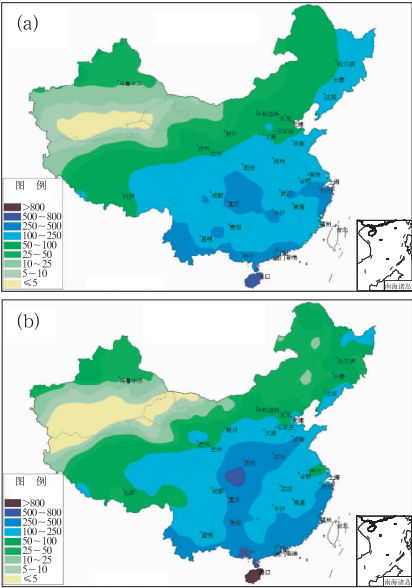


图 1 气候态(a)及 2011 年秋季(b)全国降水量分布图(单位: mm)
(国家气候中心绘图)

Fig. 1 The distributions of precipitation amount over China for (a) autumn seasonal mean during 1971—2000, and (b) the autumn of 2011 (unit: mm)
(Drawing: NCC)

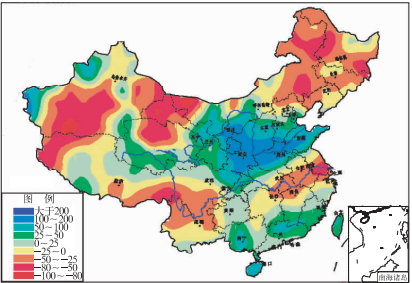


图 2 2011 年秋季全国降水距平百分率分布图(单位: %)

Fig. 2 The distribution of precipitation percentage anomalies over China in autumn of 2011 (unit: %)

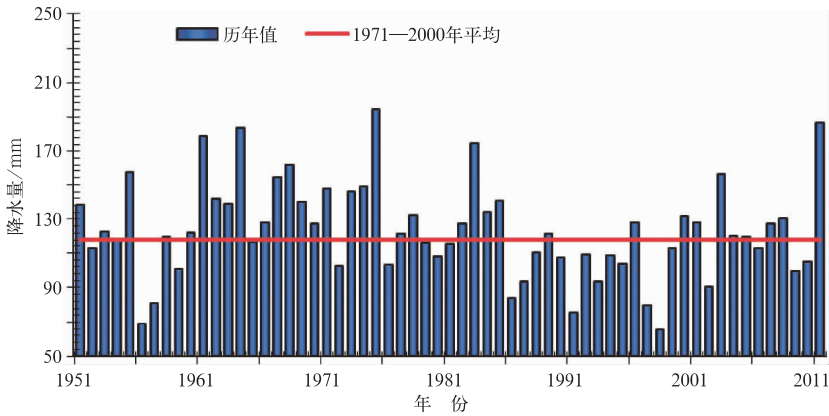


图 3 1951—2011 年陕、甘、宁、渝四省(区、市)秋季区域平均降水量历年变化(单位: mm)

Fig. 3 Time series of autumn mean rainfall averaged over Shaanxi, Gansu, Ningxia and Chongqing during 1951 to 2011 (unit: mm)

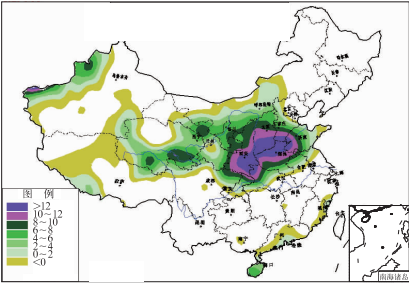


图 4 2011 年秋季全国降水日数距平分布(单位: d)

Fig. 4 Distribution of rainy day anomalies over China in the autumn of 2011 (unit: d)

多。后期(10 月 19 日至 11 月 8 日),秋雨范围有所扩大,但降水强度较前期偏弱,降水量普遍为 20~150 mm,是常年同期的 1~2 倍(图 5b)。四省(区、市)区域平均雨量 35.8 mm,较常年同期(17.4 mm)偏多 106%,为 1997 年以来最多。

(3) 极端性强。从 9 月开始,华西秋雨区局部地区降水强度大,9 月 17—19 日陕南地区累计雨量达 100~150 mm(图 6),陕西省共有 11 站 3 日连续降水量达到极端事件监测标准,其中周至(159.7 mm)和眉县(141.8 mm)3 日连续降水量突破历史纪录。此外,整个秋季陕南、四川盆地东北部、重庆北部、湖北西北部连续降水日数达到极端事件标准,其中四川芦山(25 d)、名山(22 d)、贵州绥阳(22 d)、湖北丹

江口(17 d)、重庆城口(17 d)、陕西紫阳(17 d)等 6 站极端连续降水日数突破历史极值;陕西紫阳站极端连续降水量达到 496 mm。

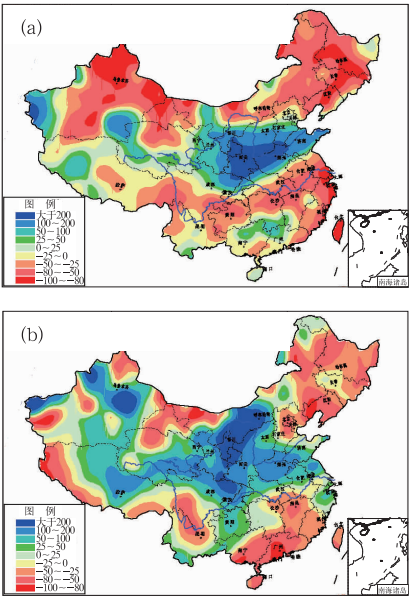


图 5 2011 年 9 月 2—20 日(a)和 10 月 19 日至 11 月 8 日(b)全国降水量距平百分率分布图(单位: %)

Fig. 5 The distributions of precipitation percentage anomalies over China during September 2 to 20 (a) and October 19 to November 8 (b) in 2011 (unit: %)

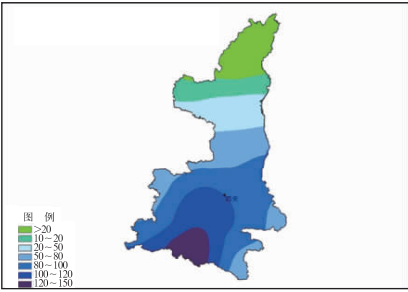


图 6 2011 年 9 月 17—19 日陕西省过程累积雨量分布图(单位: mm)

Fig. 6 Distribution of precipitation amount over Shaanxi Province during September 17 to 19 in 2011 (unit: mm)

3 华西秋雨异常的主要成因

影响降水的最直接因素就是大气环流。一般而言,进入秋季以后大气环流出现调整,副热带系统逐渐减弱,西风带系统明显增强。华西地区位于青藏高原的东侧,秋季频繁南下的冷空气沿着青藏高原

东部南下,与停滞在该地区的暖空气相遇使锋面活动加剧而产生较长时间的阴雨。

3.1 大尺度环流的异常

9 月上旬至中旬,欧亚中高纬地区维持两槽一脊环流型,乌拉尔山到西西伯利亚上空为异常的正距平区,而贝加尔湖及其以东地区为一东北—西南向的异常低槽区,槽后的偏西北气流有利于北方冷空气从新疆地区东移影响我国华西北部地区(图 7a);同时孟加拉湾北部为负异常区,说明印缅槽偏强,从而有利于来自孟加拉湾地区的水汽向我国西北及南海地区的输送。与此同时在南海洋面有一异常气旋性环流,而在我国华东地区上空有一异常反气旋环流(图 7b),该异常反气旋南侧的来自东海的偏东气流与来自南海的异常气旋性环流东侧的偏南气流一起,促使热带海洋中的水汽不断向我国西北地区输送(图 8a)。另外,从地面风场上(图 7b)可以看出在贝加尔湖地区有一异常的反气旋性环流,地面冷高压的存在有助于其南侧回流的冷空气影响我国北方大部,造成冷暖气流在我国华西东北

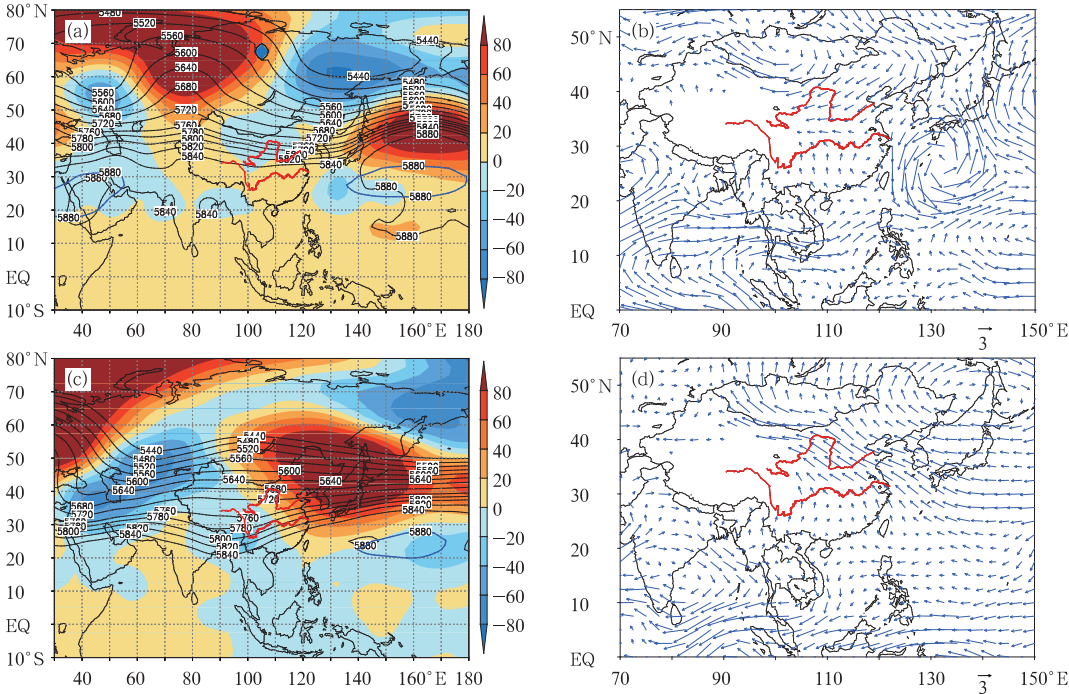


图 7 2011 年 9 月 2—20 日(a 和 b)和 10 月 19 日至 11 月 8 日(c 和 d)500 hPa 高度场和距平(a 和 c,单位:gpm,图中蓝线为气候态下 5880 线)及 850 hPa 风场距平(b 和 d,单位: $m \cdot s^{-1}$)
Fig. 7 Mean geopotential heights and anomalies at 500 hPa (a and c, unit: gpm, 5880 gpm of climatology in blue lines) and 850 hPa wind pattern (b and d, unit: $m \cdot s^{-1}$) during the periods of September 2 to 20 (a and b) and October 19 to November 8 of 2011 (c and d)

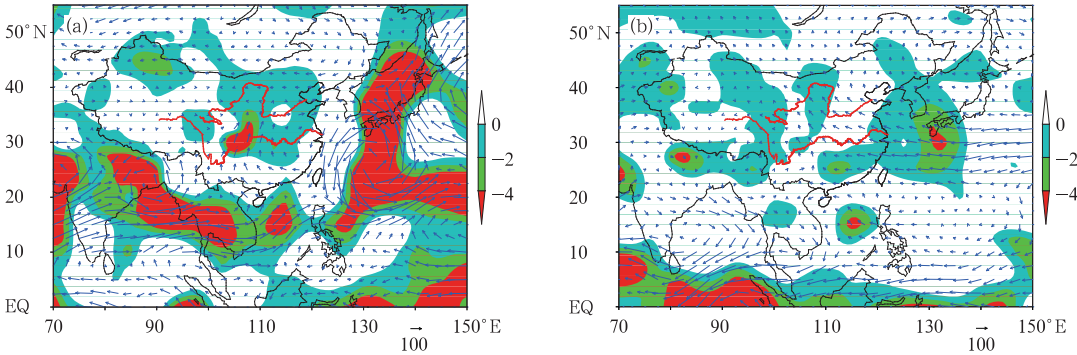


图 8 2011 年 9 月 2—20 日(a)和 10 月 19 日至 11 月 8 日(b)地面至 300 hPa 整层积分的水汽输送距平(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)和水汽通量散度距平(单位: $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴影区表示水汽通量散度辐合)

Fig. 8 Moisture transport anomalies vertically integrated from surface to 300 hPa (unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence of moisture transport anomalies (unit: $10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, the shaded area means moisture transport convergence) during the periods of September 2 to 20 (a) and October 19 to November 8 (b) in 2011

部上空交汇,形成一异常的水汽辐合区,从而造成了持续半个月以上的华西秋雨(图 5a)。与常年相比,2011 年华西秋雨的位置之所以偏北、偏东与冷空气的活动势力相对较弱而低纬热带系统相对比较活跃、西太平洋副热带高压的位置明显偏北密切相关;同时由于低纬多异常气旋性环流(图 7a),因而副高位置明显偏东,所以雨带位置也偏东。

华西秋雨的第二段降水集中期,欧亚中高纬的环流形势与前一阶段明显不同,由前期的两槽一脊转变为东高西低的环流型(图 7b),从里海到巴尔喀什湖及至我国西部地区基本上处于负距平区,从而有利于冷空气从西路影响我国西部地区。与第一阶段明显不同的是在 850 hPa 风场上,鄂霍次克海地区维持一异常的反气旋环流(图 7c)。受其影响,来自该反气旋南侧的异常偏东风或东南风水汽为这一阶段降水的产生提供了主要的水汽供应,而来自孟加拉湾和南海的水汽输送相对较弱(图 8b)。

上述分析表明 2011 年华西秋雨降水集中的两阶段,欧亚中高纬的环流型明显不同,前者为两槽一脊型,后者为东高西低型;前者主要为西北路径的冷空气,后者主要为西路冷空气;前者西南水汽输送较强,后者东南水汽输送较强。但共同的特点是,来自中高纬的冷空气势力相对较弱,而西太平洋副热带高压位置明显偏北、偏东,从而造成今年华西秋雨位置偏北、偏东的事实。

3.2 La Nina 事件的影响

ENSO 作为最强的年际气候信号之一,对我国的气候异常有显著影响^[13-19]。有研究表明,ENSO 对我国秋季气候异常的影响甚至超过了对夏季的影响。龚道溢等^[15]的研究表明,El Nino 年江南地区降水偏多,北方偏少;La Nina 年情况相反。湛芸等^[17]的分析表明 El Nino 年我国秋季降水出现南多北少分布型的频率增加近 20%,而 La Nina 年出现南多北少型的频率减少 20%。贾小龙等^[19]的研究也表明,2007 年秋季我国北方地区降水异常偏多与这一年夏、秋季开始的 La Nina 事件密切相关。ENSO 对我国西北地区秋季降水也有显著影响,El Nino 年我国西北地区秋季降水易偏少,而 La Nina 年易偏多。

国家气候中心的监测显示,继 2010 年 7 月至 2011 年 3 月的 La Nina 事件结束后,赤道中东太平洋海表温度经过 5 个月的短暂调整后,于 2011 年 9 月份再次进入 La Nina 状态,并在秋季不断加强发展,−0.5℃ 海温异常区向西扩展到 180°E 附近(图 9)。同时,北太平洋中纬度海温为显著的正异常,异常中心区位于 40°N、170°E 附近。那么这些地区的海温异常是否对 2011 年的华西北部异常偏多的降水产生一定的影响?

进一步的分析还发现:秋季初期开始发展的

La Nina 事件可能是 2011 年华西秋雨显著的重要外强迫之一。这里用 1951—2010 年陕、甘、宁、渝四省(区、市)区域平均秋季降水量曲线与全球海温求相关,可以发现在北半球显著的正相关区正是北太平洋中纬度地区,也即 2011 年秋季海温最大正异常区;显著的负相关区主要分布在赤道东太平洋地区(图 10)。以上分析说明,当陕、甘、宁、渝四省(区、市)区域平均降水量偏多时,北太平洋中纬度海温为正异常,赤道中东太平洋是负异常。值得注意的是,2011 年陕、甘、宁、渝四省(区、市)的降水量与赤道印度洋及北大西洋海温的分布并不一致,这说明不同区域的海洋对华西北部降水的作用可能是不同的。

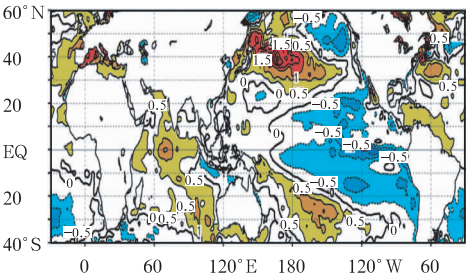


图 9 2011 年秋季海表温度距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
Fig. 9 SST anomalies (unit: $^{\circ}\text{C}$)
in autumn of 2011

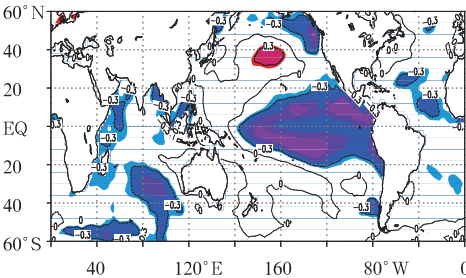


图 10 1951—2010 年陕、甘、宁、渝四省
(区、市)区域平均秋季降水量与
全球海温的相关分布
Fig. 10 Distribution of correlation between
the precipitation averaged over Shaanxi,
Gansu, Ningxia and Chongqing and global
sea surface temperature in
autumn of 1951 to 2010

此外,挑选历史上 8—10 月开始的 La Nina 事件(1962、1967、1974、1984、1995、1998 和 2007 年)进行合成分析。如图 11a 所示,在 La Nina 发生年的秋季,经孟加拉湾的西南气流强盛,并且西太平洋

副高西侧的偏南气流偏强,这两支气流有利于来自海洋的水汽不断向北输送;同时,巴尔喀什湖至贝加尔湖上空维持异常低槽区(图 11b),引导冷空气频繁南下影响我国的偏西偏北地区,冷暖气流易在西北东部至黄淮一带汇合从而形成较大范围的降水集中区。对秋季降水的合成分析也发现(图 11c),在 La Nina 事件开始于秋季初期的年份易于出现华西秋雨偏多的情况。因而,2011 年 9 月初开始并在赤

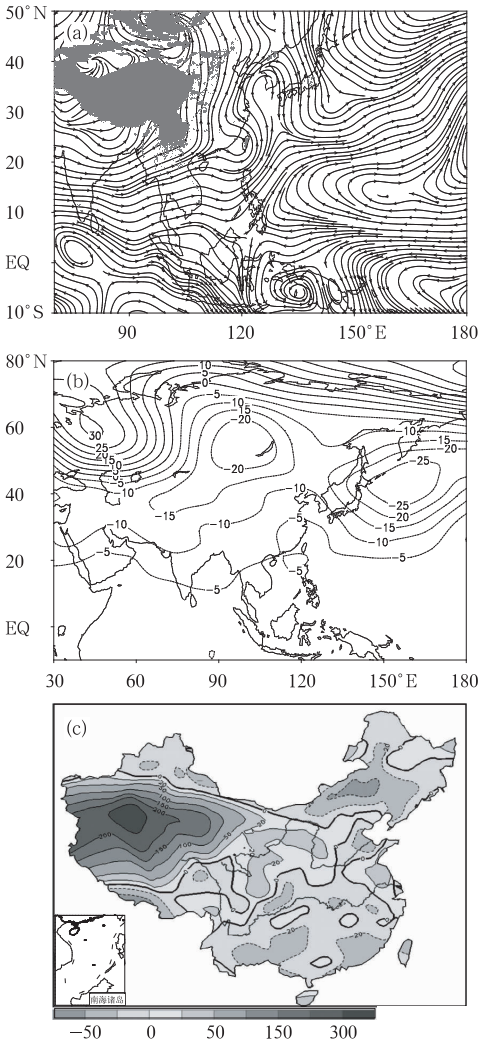


图 11 8—10 月开始的 La Nina 年份
合成的秋季 850 hPa 流场(a)、
500 hPa 高度场距平(b,单位:gpm)
和降水距平百分率(c,单位:%)
Fig. 11 Composite of 850 hPa wind
field (a), 500 hPa geopotential
height (b,unit: gpm) and precipitation
anomalies (c,unit: %) in autumn in
the years of La Nina which started
in August to October

道中东太平洋维持的 La Nina 状态可能是 2011 年华西秋雨显著的一个重要外强迫条件之一,这是在秋季降水预测中需要关注的问题。

3.3 年代际变化的影响

华西秋雨有明显的年代际变化特征,进入 21 世纪我国又出现了较明显的华西秋雨现象。这里以陕西、安康和汉中的降水量变化为代表(图 12),可以看出华西秋雨的年代际变化趋势十分明显,其中 20

世纪 50 和 80 年代中后期到 21 世纪前 10 年华西秋雨相对偏少,而 20 世纪 60—70 年代中期及 80 年代初为相对多雨期,这与前人的研究结论基本一致^[8,19]。从陕西、安康和汉中的降水量的演变看,2011 年华西北部地区的秋雨增加非常显著,并达到了历史极值,这种现象的出现似乎预示着华西秋雨进入一个年代际的北移阶段,对此仍需进一步的密切监测和分析。

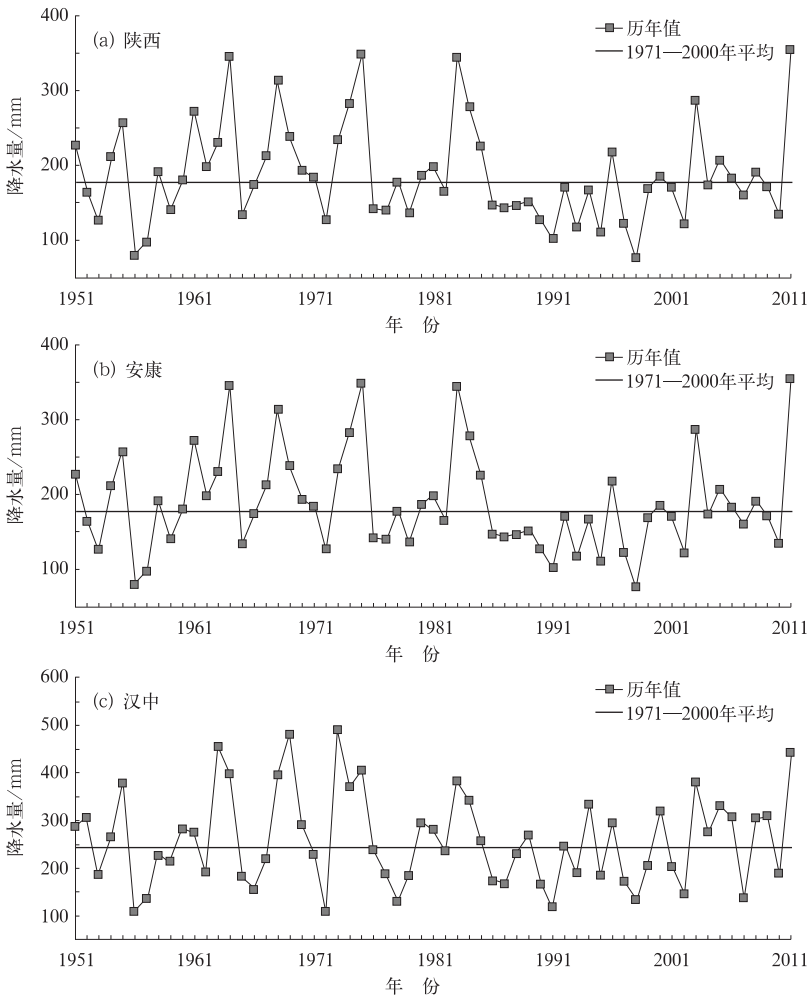


图 12 1951—2011 年典型台站秋季降水的演变曲线
(陕西省、安康和汉中)(单位:mm)

Fig. 12 Time series of autumn rainfall amount in typical stations
(Shaanxi Province, Ankang and Hanzhong)
during 1951 to 2011 (unit: mm)

4 结 论

(1) 2011 年华西秋雨较为典型,主要呈现出降

水量大、持续时间长、阶段强、雨区偏北、偏东等特点。整个秋季共出现了两次降水集中期,前期(9 月 2—20 日)降水异常偏多区位于常年秋雨区的东北部,后期(10 月 19 日至 11 月 8 日),秋雨范围有所

扩大。

(2) 在降水集中的两阶段,欧亚中高纬的环流型明显不同,前者为两槽一脊型,后者为东高西低型;前者主要为西北路径的冷空气,后者主要为西路冷气;前者孟加拉湾低槽比较活跃,后者相对要弱。在第一阶段,由于印缅槽偏强,异常活跃的西南季风加强了来自孟加拉湾和南海的水汽输送,同时与源自西北太平洋经南海的偏南风水汽一起为这一阶段的降水提供了充足的水汽供应。第二阶段,造成降水异常的水汽源主要来自西北太平洋地区,而西南水汽供应相对要弱很多。

(3) 2011 年 9 月开始的 La Nina 事件可能是华西秋雨异常的一个重要外强迫条件之一。此外,初步分析也表明年代际变化也可能是华西秋雨偏多的重要原因之一。关于 La Nina 事件及年代际变化如何相互作用影响华西秋雨的物理机制,将在今后的监测和诊断研究工作中进行深入分析和探讨。

致谢:本文成文过程中参考了国家气候中心的多期重要气候信息和气候监测室 11 月值班班组的多份决策材料和产品,在此表示感谢!

参考文献

[1] 《大气科学词典》编委会. 大气科学辞典[M]. 北京:气象出版社,1994:980.

[2] 高由禧. 东亚的秋高气爽[J]. 气象学报,1958,29(2):83-92.

[3] 高由禧,郭其蕴. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报,1958,29(4):264-273.

[4] 任炳潭,李惠颖. 两千年华西秋雨的初步研究[J]. 气象,1987,

13(9):21-24.

[5] 何敏. 我国主要秋雨区的分布及长期预报[J]. 气象,1984,10(9):10-13.

[6] 徐桂玉,林春育. 华西秋雨特征及成因探讨[J]. 气象科技,1994,14(2):149-154.

[7] 鲍媛媛,阿布力米提,李峰,等. 2001 年华西秋雨时空分布特点及其成因分析[J]. 应用气象学报,2003,14(2):215-222.

[8] 白虎志,董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象,2004,23(6):884-889.

[9] 方建刚,白爱娟,陶建玲,等. 2003 年陕西秋季连阴雨降水特点及环流条件分析[J]. 应用气象学报,2005,16(4):509-517.

[10] 赵珊珊,张强,陈峪,等. 渭河、汉水流域秋季降水的变化特征[J]. 气候变化研究进展,2006,2(4):181-183.

[11] 司东,柳艳菊,马丽娟,等. 2011 年初夏我国长江中下游降水的气候特征及成因[J]. 气象,2012,待刊.

[12] 王遵娅,任福民,孙冷,等. 2011 年夏季气候异常及主要异常事件成因分析[J]. 气象,2012,38(4):448-455.

[13] 刘永强,丁一汇. El Niño 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.

[14] 姚辉,李栋梁. 厄尔尼诺事件与中国降水及历史旱涝. 应用气象学报,1992,3(2),228-234.

[15] 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.

[16] 施能. 厄尔尼诺/南方涛动与我国秋季大尺度降水预报[J]. 南京气象学院学报,1990,13(2):174-183.

[17] 湛芸,施能. 厄尔尼诺/南方涛动与我国秋季气候异常[J]. 热带气象学报,2003,19(2):137-146.

[18] 李耀辉,李栋梁,赵庆云,等. ENSO 对中国西北地区秋季异常降水的影响[J]. 气候与环境研究,2000,5(2):205-213.

[19] 贾小龙,张培群,陈丽娟,等. 2007 年我国秋季降水异常的成因分析[J]. 气象,2008,34(4):86-94.