

肖科丽, 王娜, 魏娜, 等. 2014. 2010 年陕西盛夏极端多雨的气候特征及成因研究 [J]. 气候与环境研究, 19 (3): 311–320, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12175. Xiao Keli, Wang Na, Wei Na, et al. 2014. Climatic features and cause analysis of extreme rain events in Shaanxi during the midsummer of 2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (3): 311–320.

2010 年陕西盛夏极端多雨的气候特征及成因研究

肖科丽¹ 王娜² 魏娜² 王越² 肖舜²

¹ 陕西省气象学会, 西安 710016

² 陕西省气候中心, 西安 710015

摘 要 利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 对陕西省 2010 年盛夏极端多雨的形成机理进行了个例分析研究。结果表明: 2010 年盛夏极端多雨的主要成因是大尺度环流形势异常及海温异常等多种因素综合作用的结果。在 500 hPa 高度场上欧亚中高纬区为“两脊一槽”型分布, 乌拉尔山阻塞高压与威海到巴尔喀什湖的低压槽稳定维持, 低槽分裂冷空气沿中纬度西风带东移, 与西太平洋副热带高压外围西北侧暖湿气流在陕西上空相汇, 是造成 2010 年陕西盛夏极端多雨的直接原因。来自南海的水汽输送在 850 hPa、700 hPa 上表现都很显著, 来自孟加拉湾的水汽只有 850 hPa 表现明显。La Niña 事件当年陕西盛夏降水易偏多利于出现极端降水。盛夏降水量年代际变化特征显示, 陕西中部和南部 2010 年处于一个年代际的多雨期内, 出现极端降水的可能性增大。

关键词 极端降水 环流形势 年代际变化 海温异常

文章编号 1006-9585 (2014) 03-0311-10

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12175

Climatic Features and Cause Analysis of Extreme Rain Events in Shaanxi during the Midsummer of 2010

XIAO Keli¹, WANG Na², WEI Na², WANG Yue², and XIAO Shun²

¹ Shaanxi Provincial Meteorological Society, Xi'an 710016

² Shaanxi Provincial Climate Center, Xi'an 710015

Abstract Based on analyzed NCEP/NCAR data, the mechanisms for extreme rain events during the midsummer of 2010 has been investigated. The results show an abnormal general circulation caused mainly by the sea surface temperature. There is a two ridges and one trough circulation pattern above mid-high latitude at 500 hPa, where the Eurasia and the Ural blocking highs and the low between the Aral Sea and Lake Balkhash were kept stable, and the small trough split from the low migrated eastwards along the westerly in mid-latitude Asia, converging with warm humid air masses from the northwest edge of the west Pacific subtropical high above Shaanxi. These factors directly resulted in extremely rainy weather during the high summer of 2010. The greater amounts of water vapor from the periphery of the Arabian Sea, the highs in the South China Sea and the western Pacific subtropics transported to Shaanxi at 850 hPa, and the formation of a strong cyclonic convergence zone in Shaanxi and its upstream region were all very conducive to the occurrence and continuation of extreme precipitation. At 700 hPa, two clear vapor conveyor belts and, upstream of Shaanxi, a generating and developing southwest vortex (the main system causing the rainstorm in Shaanxi) occurred. Decadal variations in precipitation during high summer also indicated that after 2010 Shaanxi was in a decadal period

收稿日期 2012-10-25 收到, 2013-02-07 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421406, 中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放基金课题 LPM2012004, 陕西省气象局研究型业务重点科研项目 2013Z-6

作者简介 肖科丽, 女, 1964 年出生, 高工, 主要从事气候预测理论与气候诊断分析研究。E-mail: xklnew@126.com

during which the possibility of extremely rainy weather was quite great. Further, during La Niña event years, the high summer in Shaanxi also favours extremely rainy weather.

Keywords Extreme precipitation, Circulation pattern, Interdecadal variation, Sea surface temperature anomaly

1 引言

2010 年全球和区域气候出现了很多异常, 全球平均气温比 1961~1990 年 30 年的平均气温偏高 0.53 °C, 是 1880 年以来最热的一年, 世界各地极端天气和气候事件频发(陈洪滨和范学花, 2011)。2010 年中国因洪涝气候灾害造成的经济损失极为严重(黄荣辉等, 2012)。2010 年 5~7 月, 中国华南、江南先后遭受 14 轮暴雨袭击, 7 月, 长江流域发生 3 次明显的集中强降雨阶段, 出现有实测记录以来仅次于 1998 年的大洪水, 大部分地区降水比常年同期偏多 5 成以上(赵俊虎等, 2011)。7 月中旬至 9 月上旬中国北方和西部地区遭受 10 轮暴雨袭击, 特别是 8 月 8 日, 甘肃省甘南地区舟曲县发生突发性暴雨, 导致特大山洪、泥石流灾害, 造成 1700 多人失踪和死亡。2010 年陕西的洪涝灾害也是近年来最为严重的一年。盛夏(7~8 月)共出现 4 次暴雨天气过程, 26 个暴雨日, 161 站/次暴雨, 其中大暴雨 23 站/次, 有 11 站突破建站以来的历史极值, 因暴雨引发的山洪、泥石流、滑坡、城市内涝等次生灾害, 共造成受灾人口 520 万人, 死亡 134 人, 失踪 190 人, 直接经济损失约 223.49 亿元。极端降水给陕西经济、社会及人民群众生命财产造成巨大损失。因此, 迫切需要对这种异常气候形成的原因进行深层次的研究, 揭示其气候成因、机理, 以做到趋利避害, 促进陕西国民经济建设健康、快速和可持续发展。

关于中国北方地区极端降水成因分析, 已有很多的研究(赵振国, 1999; 王会军, 2000; Wang et al., 2000; 白虎志和董文杰, 2004; 朱玉祥和丁一汇, 2007; 刘芸芸等, 2011; 郝立生和丁一汇, 2012; 胡娟和严华生, 2012), 主要揭示了季风系统、西风带系统、大陆高压异常、西太平洋副热带高压(以下简称副高)、海温异常、青藏高原积雪等因素对气候的影响, 而极端降水的形成是诸多影响过程和因子多尺度、多因子复杂的相互作用的结果(Wang et al., 2012)。于淑秋等(2003)、翟盘茂和潘晓华(2003)、赵传成等(2011)利用时间序列方法对中国西北部的气候进行分析, 得出相近的分

析结果, 即: 近年以及未来一段时期, 我国西北地区降水处于上升的多雨时段, 这些结果对研究极端降水事件有着重要的参考价值。

陕西地处青藏高原东北侧, 是东亚季风的边缘带和过渡地带, 不但受西风带系统影响, 同时还受副热带系统的影响, 气候变率大。因此, 大气环流、海温异常等因素的影响更加复杂。对于陕西汛期降水的成因分析, 肖科丽等(2006, 2008)揭示了陕西汛期典型旱涝年的大气环流特征, 通过分析陕西汛期降水与关键区海温异常和大气环流变化等因子的关系, 得到了汛期降水预测的前期强信号, 如西风漂流区海温、Niño3 区海温、东亚冬季风指数、北太平洋涛动指数等, 建立了物理概念模型, 为汛期降水预测提供方法。白爱娟和施能(2004)对东亚冬、夏季风强度指数及其与陕西降水的关系进行探讨, 表明强(弱)的东亚夏季风, 易造成陕西夏季北部多(少)雨、南部少(多)雨。张宏平和徐小红(1997)分析了 El Niño 事件当年与次年陕西夏季降水的特点及差异性。表明在 El Niño 事件当年, 陕北夏季降水偏少, 易发生干旱, 而 El Niño 事件次年, 陕北夏季降水偏多, 易发生洪涝。

虽然针对汛期极端多雨的气候成因分析有很多的研究, 但产生强降水的气候成因非常复杂, 仍有很多的未知因素。因此加强对灾害性极端降水成因的研究, 为今后的短期气候预测提供思路和指导, 对防汛减灾、安全度汛具有重要的现实意义。过去的陕西极端降水个例研究多是 20 世纪的例子, 但是气候变化和年代际波动使得气候背景变化很大, 因此深入研究新世纪开始后的极端降水个例是很重要的。

2 资料和方法

采用 NCEP/NCAR 2.5°(纬度)×2.5°(经度)再分析资料, 中国气象局国家气候中心 74 项环流特征量资料, 陕西省 1959~2010 年 52 a 的盛夏(7~8 月)月降水量资料。地面降水资料和环流特征量的平均值使用 1971~2000 年 7~8 月的 30 a 平均值; 高空资料的平均值选用 1971~2000 年 7 月

13 日至 8 月 25 日 30 a 的平均值。用气候统计诊断分析和天气气候动力学分析方法对极端多雨的成因进行分析; 为了得出 2010 年盛夏降水的气候趋势, 应用 Marr 小波分析方法, 选取榆林、西安和安康 3 站分别代表陕西省的北部、中部、南部(简称陕北、关中、陕南) 3 个自然气候区域, 对降水的年代际变化进行分析。

3 2010 年盛夏极端多雨的气候成因及海温异常分析

3.1 降水量空间分布及时间变化特征分析

由图 1 可见, 降水量由北向南逐步增加, 陕北 150~250 mm, 关中大部 250~400 mm, 陕南大部 400~600 mm, 安康南部 650~950 mm, 其中镇巴最大, 达 999.2 mm。从降水距平百分率分布(图 1 b)可以看出, 除陕北西北部略偏少外, 省内其余地区普遍偏多, 其中, 关中大部地区偏多 40%~60%, 其中, 关中东部偏多 60%~100%, 陕南西部及东部偏多 40%~80%, 陕南中部的安康地区偏多 60%~170%。从降水距平与标准差的比值来看(图略), 除陕北外, 关中、陕南偏多都在 1 倍标准差以上, 大部分在 1.5~3.0 之间, 安康达 4.5 倍标

准差, 说明关中、陕南降水异常偏多。7~8 月, 共出现了 4 次较强的降水过程, 分别是: 7 月 14~19 日、7 月 22~25 日、8 月 9~14 日、8 月 18~25 日。根据区域站资料分析 2010 年 7 月 22~23 日, 宝鸡市出现了有气象记录以来最强的暴雨天气过程, 全市有 18 个乡镇降水量达 100 mm 以上, 千阳县和陇县有 9 个乡镇大于 200 mm, 其中陇县杜阳镇达 336.1 mm, 东风镇达 336.7 mm。

为了说明 2010 年降水的极端性, 均匀地选取了关中、陕南历史资料年代较长的 23 个气象站资料, 制作了历年盛夏(7~8 月)气候区域平均降水量距平百分率历史变化(图 2)。由图 2 可见, 降水距平百分率大于 60% 的年份仅有 3 年, 分别是 1981 年、1998 年和 2010 年, 由此可见, 2010 年 7~8 月降水量是仅次于 1981 年的次大值。

3.2 大尺度环流特征分析

极端多雨期必然伴有相应的大气环流异常。2010 年 7 月 13 日至 8 月 25 日, 500 hPa 高空(图 3a)欧亚中高纬度为“两脊一槽”型分布, 乌拉尔山西侧为一较强的高压脊, 叶尼塞河至新西伯利亚为一较深的低压槽, 鄂霍次克海为一高压脊; 中纬度西风带咸海至巴尔喀什湖为低槽, 亚洲区西风带气流平直, 极涡呈单极型, 中心偏向东半球, 西太

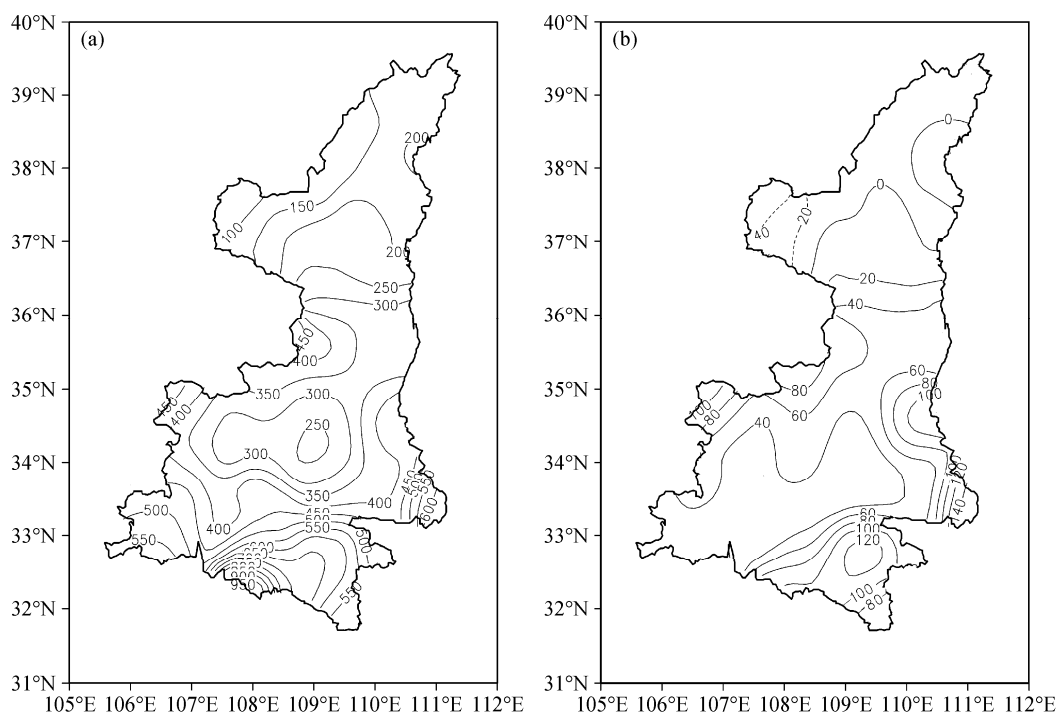


图 1 陕西省 2010 年 7~8 月降水 (a) 实测值 (单位: mm) 和 (b) 距平百分率 (单位: %)

Fig. 1 (a) Measured rainfall (mm) and (b) rainfall deviation in percentage of Shaanxi Province during Jul-Aug 2010

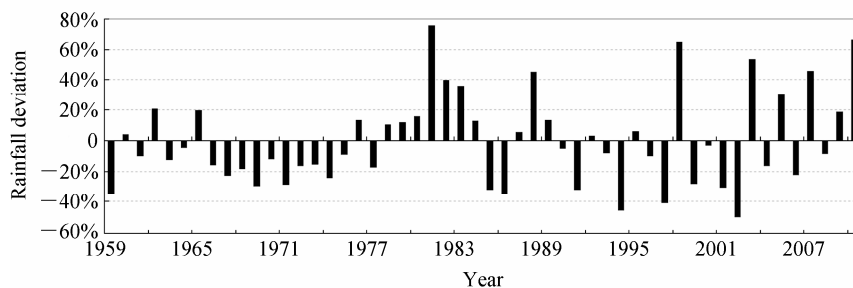


图2 关中、陕南 7~8 月气候区域平均降水量距平百分率时间变化

Fig. 2 Variation of deviation of averaged July–August precipitation in the central and southern parts of Shannxi

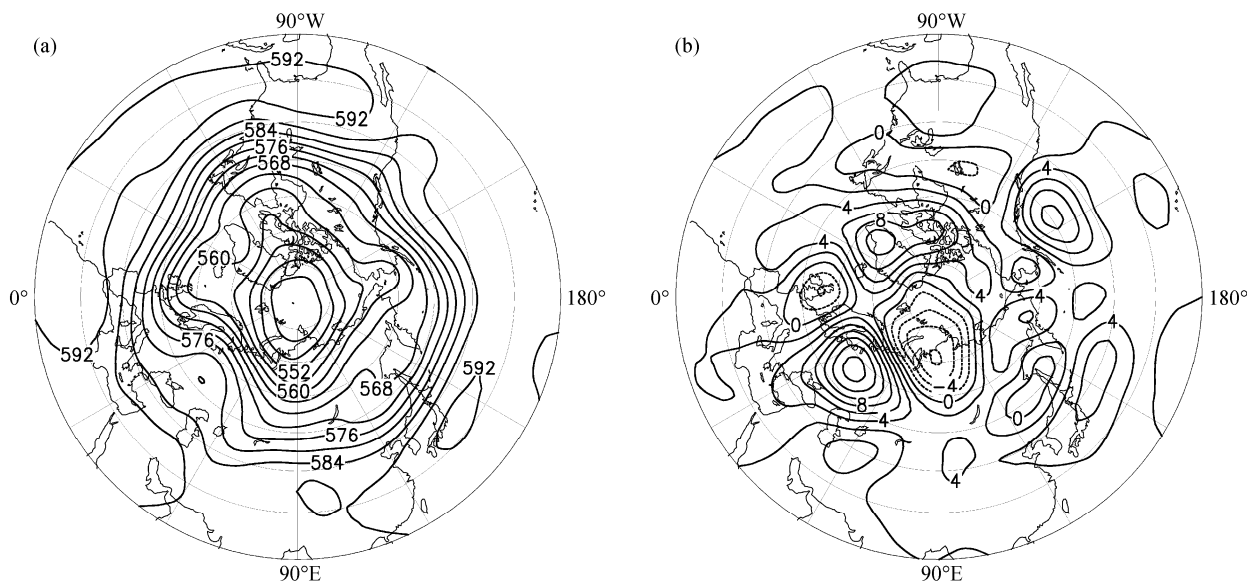


图3 2010 年 7 月 13 至 8 月 25 日北半球 (a) 500 hPa 高度及其 (b) 距平 (单位: dagpm)

Fig. 3 (a) 500-hPa geopotential height and (b) its deviation field (dagpm) in the Northern Hemisphere during 13 Jul–25 Aug 2010

平洋副热带高压 (以下简称副高) 显著偏强, 脊线位置异常偏北, 平均脊线位置在 32°N 左右, 西伸脊点偏西, 处于约 110°E 附近。由于乌拉尔山阻塞高压的稳定维持, 极涡偏强并偏向东半球, 来自极区的强冷空气沿乌拉尔山高压脊前下滑并堆积, 使巴尔喀什湖低槽存在且加深, 低槽分裂小波动沿西风带东移, 与来自副高西北侧边缘的暖湿气流在陕西上空相汇。500 hPa 高空距平 (图 3b) 显示, 欧亚中高纬度自西向东为 “+ - +” 的距平分布特征, 乌拉尔山阻塞高压距平中心强度达 12 dagpm, 叶尼塞河低压负距平中心强度为 -8 dagpm, 鄂霍次克海阻塞高压距平中心为 6 dagpm。极涡区距平达 -8 dagpm, 极涡偏强。东亚遥相关型从低纬到高纬表现为 “+ - +” 的距平分布型, 东亚高纬度地区, 由于鄂霍次克海阻塞高压的存在, 使得东亚中高纬度西风带出现分支现象, 南支锋区位于 45°N 左右, 北支锋区位于 62°N 附近。副高中心位于日

本东部附近海面, 距平中心为 6 dagpm, 强度偏强。

700 hPa 矢量风 (图 4a) 分析表明: 新西伯利亚至巴尔喀什湖有气旋性切变存在, 亚洲中纬度地区气流平直。副高外围的偏南气流范围广、强度大, 而且暖湿气流主要是来自中国南海。从矢量风距平 (图 4b) 上看, 副高西侧外围为明显的西南气流正距平 (通过 10% 信度检验)。700 hPa 孟加拉湾地区西南风不明显, 距平风图上该地区为明显的东风, 说明 700 hPa 孟加拉湾水汽对 2010 年陕西盛夏的极端降水贡献不显著。

水汽输送是造成极端降水产生的必要条件, 由 850 hPa 水汽通量矢量 (图 5a) 可以更清楚地看出水汽输送情况, 副高外围有大量水汽输送到陕西; 另外也有一支越赤道气流经过阿拉伯海、印度半岛、孟加拉湾后分为两支, 一支沿青藏高原南缘输送到陕西, 另一支经中南半岛继续向东, 在中国南海与副高外围的东南气流合并, 将南海水汽输送到

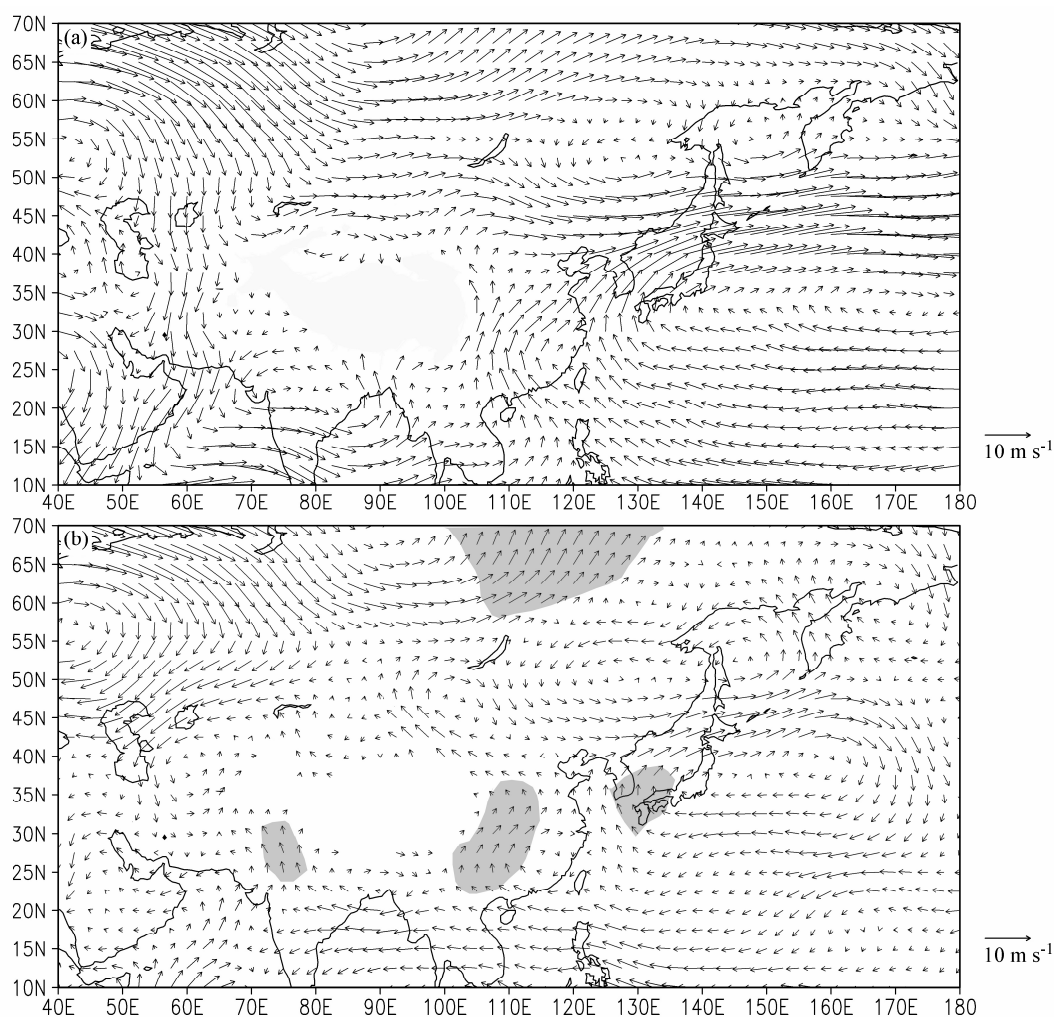


图 4 2010 年 7 月 13 至 8 月 25 日欧亚地区 (a) 700 hPa 风场及其 (b) 距平 (阴影区通过 90% 信度检验)

Fig. 4 (a) 700-hPa wind field and (b) its deviation in the Eurasia during 13 Jul–25 Aug 2010 (shadings are above 90% significance level)

陕西，并且在陕西形成一个气旋性辐合区。从 850 hPa 水汽通量矢量距平 (图 5b) 上看，通过显著性检验的水汽输送区域只有副高西侧外围，说明副高外围的水汽输送对陕西关中、陕南盛夏异常多雨非常重要。

欧亚地区海平面气压距平 (图 6) 显示，蒙古为大范围气压正距平控制区，并向东南方向伸展，说明蒙古高压强度偏强，为盛夏极端降水提供了所需的低层冷空气来源。

3.3 环流特征量异常特征

计算 2010 年 7~8 月具有明显物理意义的 11 个环流特征量 (见表 1)，结果表明：除印缅槽指数和北半球极涡中心强度指数外，其他环流特征量均出现了显著异常，这些异常对形成 2010 年陕西盛夏极端多雨具有重要的指示意义。

环流特征量的主要异常特征如下：

(1) 欧亚地区西风环流指数为 -0.18，表明欧亚地区西风带以经向环流为主，乌拉尔山阻塞高压存在，欧亚地区经向度加大，有利于北极冷空气的南下。

赵俊虎等 (2011) 指出，2010 年前冬海温和积雪异常是导致 2010 年夏季副高偏强、西伸的主要原因，而副高的异常主导着中国雨带的分布。

(2) 西太平洋副高面积指数 (110°E~180°) 为正距平 22.4，相当于 2.3 倍标准差，脊线位置正距平 4.6，偏北 0.8 倍标准差，北界位置正距平 6.7，偏北 1.1 倍标准差，西伸脊点比平均值偏西 26 个经度，偏西 1.4 倍标准差，说明当年盛夏西太平洋副高面积异常偏大，位置偏北且异常偏西。

(3) 青藏高原指数与前期青藏高原积雪关系密切，500 hPa 青藏高原 A (25°N~35°N, 80°E~100°E) 指数和青藏高原 B (30°N~40°N, 75°E~

表 1 2010 年 7~8 月的 11 个环流特征量指数
Table 1 11 circulation characteristic values during Jul-Aug in 2010

	欧亚纬向环流指		欧亚经向环流指数		副高面积指数	副高脊线位置	副高北界位置
	太阳黑子数	数 (0°~150°E)	(0°~150°E)	(0°~150°E)	(110°E~180°)	(110°E~150°)	(110°E~150°)
标准差倍数	-1.1	0.5	2.4	2.3	0.8	1.1	
距平值	-593.0	4.3	9.6	22.4	4.6°N	6.7°N	
均值	771.6	84.8	40.9	21.6	23.9°N	28.8°N	

	副高西伸脊	北半球极涡中心	青藏高原 A (25°N~35°N,	青藏高原 B (30°N~40°N,	印缅槽 (15°N~20°N,	
	点	强度	80°E~100°E) /dagpm	75°E~105°E) /dagpm	80°E~100°E) /dagpm	
标准差倍数	-1.4	0.3	2.7	2.6	1.9	
距平值	-26.0°E	-0.5	16.7	20.2	11.7	
均值	118.5°E	39.0	593.8	843.8	19.8	

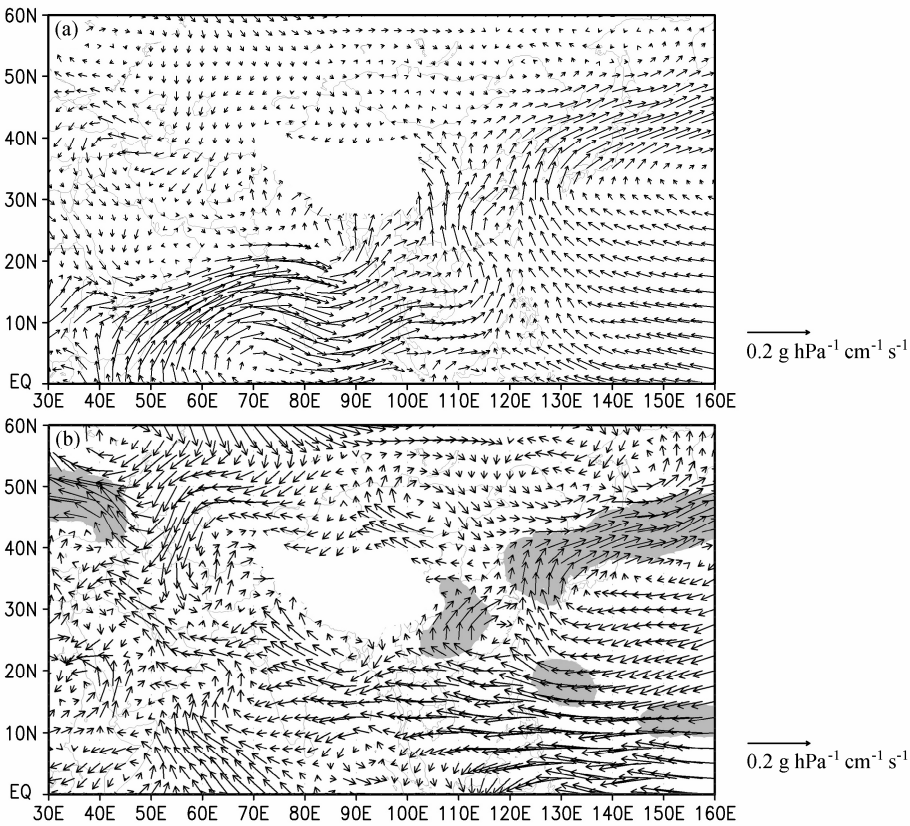


图 5 同图 4, 但为 850 hPa 水汽通量
Fig. 5 Same as Fig. 4, but for 850-hPa water vapor flux

105°E) 指数均为正距平, 说明 2010 年 7~8 月青藏高原位势高度偏高, 研究表明: 青藏高原位势高度偏高时, 西太平洋地区位势高度也偏高, 有利于西太平洋副高位置西伸北抬, 对应的雨带偏北; 夏季青藏高原为热源, 海洋为冷源, 青藏高压偏强, 海陆热力差异增强, 因此夏季风偏强, 夏季我国易出现北方类雨带, 对陕西盛夏的降水非常有利。其余的指数不再一一赘述。

3.4 赤道太平洋海表温度异常分析

ENSO 事件反映了赤道太平洋中东部地区海水

温度的分布状况及其变化, 是气候系统中最强的年际气候信号, 对中国盛夏旱涝的影响不可忽视, 对陕西的影响也非常重要。2010 年 7 月赤道太平洋中、东部出现 La Niña 事件。南方涛动指数达 1.8, 属于异常偏强年份, 仅次于 1975 年。结合 2009~2010 年赤道太平洋海气演变特点 (即 El Niño 事件结束后, 赤道中、东太平洋海温迅速下降并形成 La Niña 事件), 分析 1951 年以来海温演变特征, 历史上有 5 次与 2010 年类似的降温过程, 均是在 El Niño 事件结束当年 2~6 个月后进入 La Niña 状态, 并持续

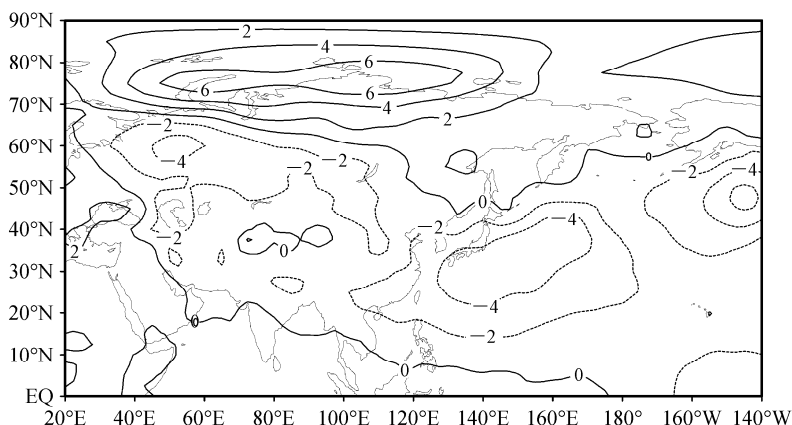


图 6 2010 年 7 月 13 至 8 月 25 日欧亚地区海平面气压距平分布 (单位: hPa)

Fig. 6 Sea level pressure deviation (hPa) in the Eurasia during 13 Jul–25 Aug 2010

发展形成 La Niña 事件。而且前期也出现赤道中、东太平洋次表层海温为负距平控制并持续东扩抬升, 南方涛动指数迅速上升, Walker 环流增强等特征, 这与 2010 年春末以来赤道太平洋地区海洋大气的演变特征相似。

这 5 次 El Niño、La Niña 事件的时间分别是: 1963 年 7 月~1963 年 12 月、1964 年 3 月~1965 年 1 月; 1968 年 11 月~1970 年 1 月、1970 年 6 月~1972 年 1 月; 1972 年 4 月~1973 年 2 月、1973 年 5 月~1974 年 5 月; 1994 年 10 月~1995 年 2 月、1995 年 9 月~1996 年 5 月; 2006 年 1 月~2007 年 4 月、2007 年 8 月~2008 年 4 月; 对上述 5 次 El Niño—La Niña 事件相似年的 7~8 月降水距平百分率进行合成 (图 7), 表明合成图除陕西南部偏少外, 陕西境内大部地区为多雨, 说明 La Niña 事件当年, 陕西盛夏降水易偏多。而将合成图与 2010 年 7~8 月降水距平百分率实况 (图 1b) 进行对比分析显示: 除陕西南部外, 关中和陕南大部分地区降水偏多的趋势基本一致, 但合成图降水量值偏小, 两幅图中对应的关中、陕南所有气象站 (69 个) 降水的相关系数为 0.25, 通过了信度 95% 的显著性检验。陕北两幅图的分布相反, 说明 2010 年影响陕西特别是陕北降水还有其他重要因素, 比如, 陕北盛夏降水处于偏少的气候背景下。

4 年代际变化特征分析

为了分析陕西盛夏降水所处的年代际背景特征, 根据地理位置和气候特点将陕西分为陕北、关

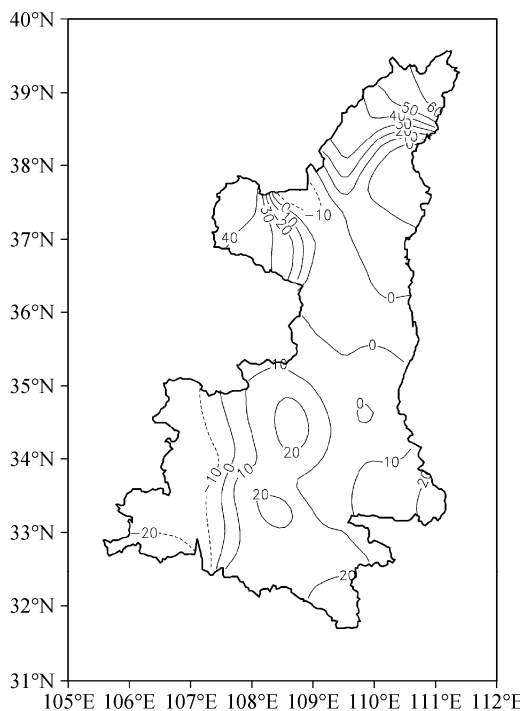


图 7 La Niña 事件相似年陕西省 7~8 月降水距平百分率合成 (单位: %)

Fig. 7 Composed precipitation deviation (%) during Jul–Aug of Shaanxi Province in La Niña years

中及陕南 3 部分, 并依次选取榆林、西安和安康作为 3 部分的代表站, 对 3 个代表站的 1959~2010 年的盛夏 (7~8 月) 降水资料分别进行了 Marr 小波分析变换 (图 8)。

小波分析不仅可以给出气候序列变化的尺度, 还可以显示出变化的时间位置。小波系数为正, 表示处于多雨时期, 小波系数为负, 处于少雨时期。等值线越密集, 表示降水量的年际变化振幅越大。图 8a 为榆林站小波系数分布图, 在时间尺度为 21.1 a

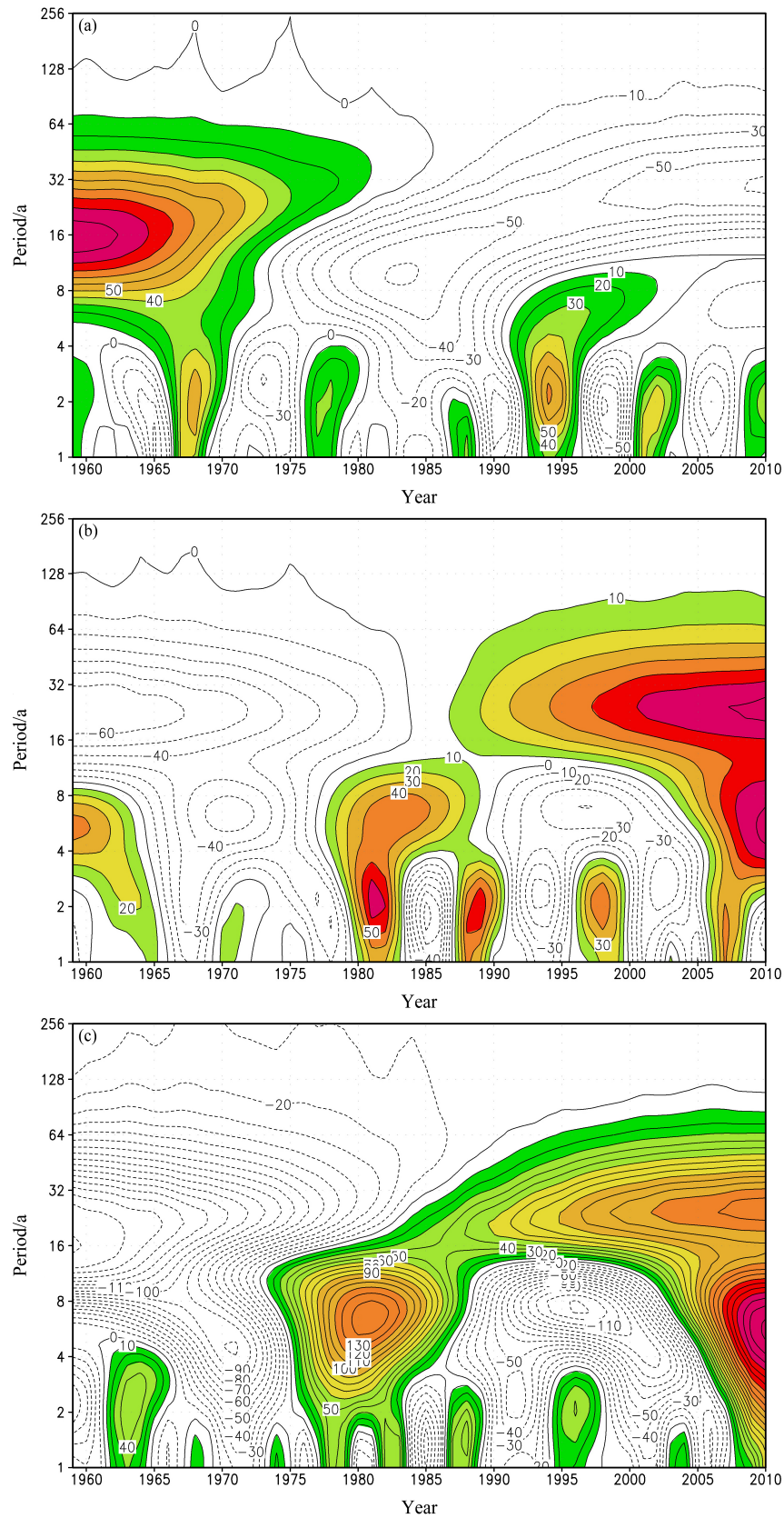


图 8 陕西省 (a) 榆林、(b) 西安、(c) 安康 7~8 月降水 Marr 小波系数分布

Fig. 8 Distributions of Marr wavelet coefficients of precipitation during Jul-Aug at (a) Yulin, (b) Xi'an, and (c) Ankang stations of Shaanxi Province

时, 小波系数的方差贡献为第一峰值, 榆林盛夏降水在此时间尺度上 1977 年出现由多到少的转折, 且少雨趋势一直持续到 2010 年。在时间尺度为 2 a 时, 小波系数的方差贡献为次峰值, 这时的小波系数呈现较为明显的 10 a 周期性变化, 2010 年处在这一时间尺度的多雨期。从所有时间尺度上看, 达 70% 的累计方差贡献显示, 2010 年榆林为少雨期, 而且等值线还未闭合, 盛夏少雨的气候态还有持续的趋势。图 8b 是西安站 Marr 小波系数分布。方差贡献第一峰值的时间尺度是 32 a, 该尺度上显示, 1984 年西安盛夏降水出现了由少到多的转折, 多雨趋势一直持续到 2010 年, 而且等值线未闭合, 明显偏多的趋势将持续; 方差贡献第二峰值的时间尺度是 8 a, 该尺度上显示出比较明显的周期性振荡, 周期约为 30 a, 2010 年也处在振荡的多雨期内。总方差贡献有 80% 的尺度上显示西安 2010 年处于多雨期内。所以, 从盛夏降水的气候背景上看, 2010 年西安站盛夏处于明显的多雨期。图 8c 是安康站小波系数分布, 其分布特征与西安非常相似, 几乎在所有尺度上都显示 2010 年处于多雨期, 所以安康站 2010 年盛夏降水处在非常明显的多雨气候背景下。

综上所述: 盛夏降水年代际变化特征显示, 陕西的关中和陕南 2010 年处于一个年代际的多雨期内, 期间出现极端降水的可能性增大。而陕北处于年代际的少雨期。Zhu et al (2011) 指出, 1999 年以后我国夏季降水异常的区域开始北移, 导致淮河流域降水增多。赵宗慈等 (2003)、宋帅等 (2008) 利用数值模式同样得出 21 世纪前半叶我国西北地区处于多雨时期的预估结论。陕西的关中和陕南进入 21 世纪后, 多年夏季降水偏多, 且洪涝灾害频发, 如: 2003 年、2005 年、2007 年、2010 年陕西夏季的极端多雨均出现在这一多雨期内, 所以年代际变化是近年来陕西盛夏关中、陕南极端多雨的宏观气候背景。

5 结论

从文中可以得到以下初步结论:

欧亚中高纬度为“两脊一槽”型, 距平场表现为“+ - +”的波列分布, 乌拉尔山阻塞高压与威海至巴尔喀什湖低压槽稳定维持, 鄂霍次克海阻塞高压存在, 来自极区的强冷空气在巴尔喀什湖一带堆积, 并沿着亚洲中纬度西风带东移, 与副高西北

侧边缘的暖湿气流在陕西上空相汇, 因此造成 2010 年陕西盛夏极端降水天气频繁发生。

700 hPa 高空水汽输送主要来自中国南海, 并通过副高外围的西南气流输送到陕西, 由于印缅槽不存在, 孟加拉湾的水汽在 700 hPa 对陕西降水贡献相对较小; 而在 850 hPa 上, 中国南海的水汽输送明显, 并通过了显著性检验。

赤道太平洋 El Niño 事件结束后, 进入 La Niña 事件当年, 陕西盛夏降水易偏多。

盛夏降水量年代际变化表明, 陕西关中、陕南 2010 年盛夏降水处于多雨时期, 陕北则处于年代际变化的少雨期。所以, 盛夏降水的年代际变化是近年来陕西关中、陕南易出现暴雨洪涝的气候背景。

参考文献 (References)

- 白爱娟, 施能. 2004. 东亚冬、夏季风强度指数及其与陕西降水变化的关系 [J]. 南京气象学院学报, 27 (4): 519-526. Bai Aijuan, Shi Neng. 2004. East-Asian winter/summer monsoon intensity indexes and their relationship with precipitation in Shaanxi Province [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (4): 519-526.
- 白虎志, 董文杰. 2004. 华西秋雨的气候特征及成因分析 [J]. 高原气象, 23 (6): 884-889. Bai Huzhi, Dong Wenjie. 2004. Climate features and formation causes of autumn rain over southwest China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (6): 884-889.
- 陈洪滨, 范学花. 2011. 2010 年极端天气和气候事件及其他相关事件的概要回顾 [J]. 气候与环境研究, 17 (3): 789-804. Chen Hongbin, Fan Xuehua. 2011. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (3): 789-804.
- 郝立生, 丁一汇. 2012. 华北降水变化研究进展 [J]. 地理科学进展, 31 (5): 593-601. Hao Lisheng, Ding Yihui. 2012. Progress of precipitation research in North China [J]. Progress in Geography (in Chinese), 31 (5): 593-601.
- 胡娟, 严华生. 2012. 南半球西风指数变化与中国夏季降水的关系 [J]. 气候与环境研究, 17 (2): 223-232. Hu Juan, Yan Huasheng. 2012. The relationship between the variation of zephyr index in the Southern Hemisphere and the rain patterns in China during summer [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (2): 223-232.
- 黄荣辉, 陈栋, 刘永. 2012. 中国长江流域洪涝灾害和持续性暴雨的发生特征及成因 [J]. 成都信息工程学院学报, 27 (1): 1-19. Huang Ronghui, Chen Dong, Liu Yong. 2012. Characteristics and causes of the occurrence of flooding disaster and persistent heavy rainfall in the Yangtze River Valley of China [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology (in Chinese), 27 (1): 1-19.
- 刘芸芸, 张雪芹, 孙杨. 2011. 全球变暖背景下西北干旱区雨季的降水时空变化特征 [J]. 气候变化研究进展, 7 (2): 97-103. Liu Yunyun, Zhang Xueqin, Sun Yang. 2011. Spatiotemporal variations of rainy

- season precipitation in northwest China arid region under global warming [J]. *Advances in Climate Change Research (in Chinese)*, 7 (2): 97–103.
- 宋帅, 鞠永茂, 王汉杰. 2008. 有序人类活动造成的土地利用变化对区域降水的可能影响 [J]. *气候与环境研究*, 13 (6): 759–774. Song Shuai, Ju Yongmao, Wang Hanjie. 2008. Possible impacts of land use change on regional rainfall associated with orderly human activities [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 13 (6): 759–774.
- 王会军. 2000. 关于我国几个大水年大气环流特征的几点思考 [J]. *应用气象学报*, 11 (增刊): 79–86. Wang Huijun. 2000. Characteristics of the atmospheric general circulation in three flood years in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 11 (Suppl.): 79–86.
- Wang H J, Matsuno T, Kurihara Y. 2000. Ensemble Hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by use of the CCSR/NIES atmospheric general circulation model [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 78 (4): 357–365.
- Wang H J, Sun J Q, Chen H P, et al. 2012. Extreme climate in China: Facts, simulation and projection [J]. *Meteorologische Zeitschrift*, doi: 10.1127/0941-2948/2012/0330.
- 肖科丽, 赵国令, 王越, 等. 2006. 陕西汛期降水时空分布及典型旱涝年环流特征 [J]. *气象科技*, 34 (4): 410–414. Xiao Keli, Zhao Guoling, Wang Yue, et al. 2006. Spatial and temporal distribution of rainfall in flood season and circulation characteristics in canonical drought/flood years in Shaanxi Province [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 34 (4): 410–414.
- 肖科丽, 赵国令, 方建刚, 等. 2008. 影响陕西汛期降水空间分布的强信号 [J]. *气象科技*, 36 (4): 400–403. Xiao Keli, Zhao Guoling, Fang Jiangang, et al. 2008. Characteristic analysis of strong signals influencing spatial distribution of rainfall during flood season in Shaanxi [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 36 (4): 400–403.
- 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 2003. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化 [J]. *气候与环境研究*, 8 (1): 9–18. Yu Shuqiu, Lin Xuechun, Xu Xiangde. 2003. The climatic change in northwest China in recent 50 years [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 8 (1): 9–18.
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. *地理学报*, 58 (S1): 1–10. Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 58 (S1): 1–10.
- 张宏平, 徐小红. 1997. 厄尔尼诺事件与陕西夏季降水及历史旱涝 [J]. *陕西气象*, (1): 18–21. Zhang Hongping, Xu Xiaohong. 1997. Relationship between El Niño events and summer rainfall and historical drought/flood pattern in Shaanxi [J]. *Journal of Shaanxi Meteorology (in Chinese)*, (1): 18–21.
- 赵传成, 王雁, 丁永建, 等. 2011. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化 [J]. *高原气象*, 30 (2): 385–390. Zhao Chuancheng, Wang Yan, Ding Yongjian, et al. 2011. Spatial-temporal variations of temperature and precipitation in northern China in recent 50 years [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 30 (2): 385–390.
- 赵俊虎, 封国林, 王启光, 等. 2011. 2010 年我国夏季降水异常气候成因分析及预测 [J]. *大气科学*, 35 (6): 1069–1078. Zhao Junhu, Feng Guolin, Wang Qiguang, et al. 2011. Cause and prediction of summer rainfall anomaly distribution in China in 2010 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 35 (6): 1069–1078.
- 赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场 [M]. 北京: 气象出版社. Zhao Zhenguo. 1999. *China Summer Drought/Flood Pattern and Its Environmental Fields (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- 赵宗慈, 丁一汇, 徐影, 等. 2003. 人类活动对 20 世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21 世纪预测 [J]. *气候与环境研究*, 9 (1): 26–34. Zhao Zongci, Ding Yihui, Xu Ying, et al. 2003. Detection and prediction of climate change for the 20th and 21st century due to human activity in northwest China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 9 (1): 26–34.
- Zhu Y L, Wang H J, Zhou W, et al. 2011. Recent changes in the summer precipitation pattern in East China and the background circulation [J]. *Climate Dyn.*, 36 (7–8): 1463–1473, doi: 10.1007/s00382-010-0852-9.
- 朱玉祥, 丁一汇. 2007. 青藏高原积雪对气候影响的研究进展和问题 [J]. *气象科技*, 35 (1): 1–8. Zhu Yuxiang, Ding Yihui. 2007. Influences of snow cover over Tibetan Plateau on weather and climate: Advances and problems [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 35 (1): 1–8.