

王春学, 马振峰, 王佳津, 等. 2015. 华西秋雨准 4 年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系 [J]. 大气科学, 39 (3): 643–652, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1408.14141. Wang Chunxue, Ma Zhenfeng, Wang Jiajin, et al. 2015. The characteristics of Huaxi autumn rain and its relationship with sea surface temperatures over the equatorial Pacific [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 39 (3): 643–652.

华西秋雨准 4 年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系

王春学¹ 马振峰¹ 王佳津² 王劲廷¹

¹ 四川省气候中心, 成都 610072

² 四川省气象台, 成都 610072

摘 要 利用 1959~2011 年华西地区气象台站资料、NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 海表温度资料, 采用多锥度一奇异值分解 (MTM-SVD) 方法, 研究了华西秋雨的准 4 年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的协同变化关系。研究结果表明: 华西秋雨具有显著的准 4 年周期, 其典型循环表现为“偏强, 略偏强, 偏弱, 略偏弱”的特点。在准 4 年周期上赤道中太平洋海表温度对华西秋雨的协同变化表现为“偏低, 略偏低, 偏高, 略偏高”, 这种协同变化从初夏就体现出来, 并一直持续到秋末。同时在准 4 年周期上, 华西秋雨对 ENSO 事件也存在一定的响应, 但是主要体现在发生强 ENSO 事件时。准 4 年周期的环流分析表明, 夏季到秋季赤道中太平洋海表温度偏低 (高) 时, 秋季 500 hPa 高度场出现东亚/太平洋 (EAP) 遥相关波列正 (负) 异常, 西太平洋副热带高压偏西 (东), 华西地区来自南海西太平洋和孟加拉的水汽输送偏多 (少), 华西秋雨偏强 (弱)。

关键词 华西秋雨 多锥度一奇异值分解 周期 海温

文章编号 1006-9895(2015)03-0643-10

中图分类号 P461

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1408.14141

The Characteristics of Huaxi Autumn Rain and its Relationship with Sea Surface Temperatures over the Equatorial Pacific

WANG Chunxue¹, MA Zhenfeng¹, WANG Jiajin², and WANG Jinting¹

¹ Climate Center of Sichuan Province, Chengdu 610072

² Sichuan Provincial Meteorological Observatory, Chengdu 610072

Abstract Features of Huaxi Autumn Rain (HAR) quasi-four-year period and their relationship to Sea Surface Temperature (SSTs) over the equatorial Pacific Ocean are examined using data from meteorological stations in Huaxi, NCEP/NCAR reanalysis data, NOAA SST data and the Multi-Taper Method-Singular Value Decomposition (MTM-SVD) method. Results show that central equatorial Pacific SSTs cause a notable quasi-four-year period in the HAR, with yearly characteristics that are stronger, a bit strong, weaker, and a bit weak, during each year within the period, and SST joint features that are lower, a bit low, higher, and a bit high during each year. The signal is present from early summer until late fall. Circulation analysis indicates that the HAR is strong (weak) when the summer central equatorial Pacific SST anomaly is low (high), the 500-hPa height field anomaly is positive (negative), the west Pacific subtropical winds are westerly (easterly), and moisture transport from the south China Sea and Bay of Bengal is more (less). The HAR also

收稿日期 2014-03-10; **网络预出版日期** 2014-09-11

资助项目 国家自然科学基金项目 41275097, 四川省气象局科学技术研究开发课题 (2014 青年-10), 科技部公益性行业 (气象) 科研专项项目 GYHY201306022

作者简介 王春学, 男, 1985 年出生, 硕士, 主要从事短期气候诊断与预测研究。E-mail: 2005wangchunxue@163.com

responds to the El Niño-Southern Oscillation (ENSO), and is mainly evident during strong ENSO events.

Keywords Huaxi autumn rain, Multi-Taper Method-Singular Value Decomposition (MTM-SVD), Period, Sea surface temperature

1 引言

华西秋雨是我国西部地区秋季多雨的特殊天气现象。梁健洪(1989)认为陕南到川北地区是华西秋雨典型分布区。何敏(1984)的研究表明陇南、陕南、川东和川北为华西秋雨明显区。罗霄等(2013)指出典型华西秋雨区有两个,北部中心位于陇南、关中、陕南、川东和川北,南部中心位于川南至云南中西部,其中北部的典型区范围更广。蒋竹将等(2013)的研究表明典型华西秋雨区主要位于四川盆地、湖北湖南西部、汉水流域和渭水流域。总结前人研究结论可知,陕南到川北及其附近地区是典型华西秋雨区。

以往关于华西秋雨周期特征的研究,由于所用资料和方法的不同,研究结论存在一定差异,冯丽文和郭其蕴(1983)使用功率谱方法分析了秋季径流量资料,指出华西秋雨具有准3、13、17年的周期;梁健洪(1989)使用谐波分析方法研究了华西地区区域平均降水量资料,指出华西秋雨具有10~15年和准30年周期;薛春芳等(2012)使用小波分析方法研究了渭河流域秋季降水,指出华西秋雨存在准2、6、8年周期;蒋竹将等(2013)、罗霄等(2013)也分别使用小波分析方法分析了不同的华西秋雨指数,表明华西秋雨具有4~8年周期和5~8年周期。

华西秋雨的强弱主要受大气环流系统和外强迫系统的影响。白虎志和董文杰(2004)的研究表明巴尔喀什湖低压槽、西太平洋副热带高压和印缅槽是影响华西秋雨强弱的主要环流系统。陈忠明等(2001)的研究指出,青藏高原地表热状况与华西秋雨之间存在显著的负相关关系。目前关于海温异常影响华西秋雨的研究还比较少,但是许多研究已经指出赤道太平洋海温异常对中国的秋季降水异常有一定的影响。其中龚道溢和王绍武(1998)的研究指出热带太平洋海表温度异常对我国四季降水都有一定影响。刘永强和丁一汇(1995)的研究表明长江中下游地区显著降水异常并不发生在夏季,而在太平洋海表温度异常的当年春、秋季和次年春季。朱炳瑗和李栋梁(1992)发现,厄尔尼诺当年西北地区东部3~9月降水偏少,厄尔尼诺次

年偏多,并且这种联系是稳定存在的。李耀辉等(2000)的研究表明赤道中东太平洋海表温度异常与西北秋季大范围区域性降水异常有较好的对应关系。顾薇等(2012)的研究表明,当热带东太平洋和中太平洋一致偏暖(冷)时,长江以北地区(包括江淮、黄淮、华北和四川盆地北部至河套地区)降水易偏少(多)。热带太平洋海温异常的不同分布可能通过激发不同的热带地区异常垂直环流形势而对降水产生影响。韩晋平等(2013)的研究指出热带中太平洋海表偏冷(暖)时,副热带高压偏强(弱)偏西(南),我国北方秋雨偏多(少)。

前人对华西秋雨的特征及其影响因子进行了大量研究,并得到许多有价值的结论,但是对于华西秋雨的周期特征,前人的研究往往只是给出华西秋雨存在的主要周期,对具体的周期循环演变及其影响因子并没有进行深入研究。另外前人进行周期分析时大多使用谱分析和小波分析等方法,而这些方法只能分析一维时间序列,如果要分析一个气候要素场,则必须用区域平均等方法构建一个时间序列,这一方面增加了工作量,另一方面也在一定程度上改变了原始资料中所包含的信息。多锥度—奇异值分解(MTM-SVD)方法则可以分析多站点气候变量场的周期特征,并且该方法可以有效地防止通常谱分析、小波分析等方法出现谱泄漏现象,分析结果更加真实。另外该方法还可以方便的分析两个变量场的耦合特征,利用耦合场空间和时间信号重建,得到两个变量场在不同时间尺度上的相关关系。

本文将使用新的周期分析方法(MTM-SVD),分析华西秋雨的周期特征及其与赤道太平洋海表温度的协同变化关系。对华西秋雨周期演变特征的分析,一方面有助于深入理解华西秋雨的特征和机理,另一方面对华西秋雨的预测研究也具有一定的实际意义。

2 资料方法

2.1 资料

本文使用的资料有,陕南到川北及其附近地区(典型华西秋雨区)33个气象台站1959~2011年9~10月的逐日降水量和日照时数资料。同期

NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 月平均 500 hPa 高度场和 1000~300 hPa 经向、纬向风场, 比湿场等再分析资料, 分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 以及 1959~2011 年 1~12 月 NOAA 月平均海表温度资料, 分辨率 $2^\circ \times 2^\circ$ 。本文使用的 ENSO 指数为 NOAA 的多变量 ENSO 指数 (Multivariate ENSO Index, MEI)。它是通过综合各种 ENSO 的观测资料得出的一种具有普遍意义的 ENSO 指数。

2.2 方法

(1) 蒋竹将等 (2013) 引入日照时数因子提出了一种新的华西秋雨逐年监测指数 (Huaxi Modified Autumn Rain Index, 简称 HMARI)。HMARI 能够更好地反映华西秋雨易发地区的地理分布及其强度变化, 能更准确地表征华西秋雨的年际、年代际变化特征, 所以本文采用了 I_{HMARI} 来表示华西秋雨的强度:

$$I_{\text{HMARI}} = (R_{\text{aut}}/R_{\text{year}}) \times L,$$

其中, R_{aut} 是 9~10 月秋雨期内降水量, R_{year} 为年降水量, L 为华西秋雨日数。秋雨指数单位为 d。若某一天气象台站出现有效降水 (日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$) 且日照时数小于 0.1 h, 则算为一个雨日, 否则为一个非雨日。

(2) MTM-SVD 方法是由 Mann and Park (1994) 提出的一种多变量频域分解技术。这是一种将谱分析的多锥度方法 (Multi-Taper Method, MTM) 和变量场的奇异值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 方法结合在一起的气候信号检测技术, 详细

内容参阅相关文献 (Mann and Park, 1996, 1999; 魏凤英, 2007)。近年来 MTM-SVD 被广泛使用在气象科研领域中 (Han et al., 2008; Small and Islam, 2008; 王春学和李栋梁, 2012)。

3 华西秋雨准 4 年周期特征分析

图 1 给出了华西秋雨指数 (HMARI) 的 EOF 展开第一模态空间型及其对应的时间系数, 第一模态的解释方差贡献率达到 57.7%, 通过了显著性检验, 可以认为是华西秋雨异常变化主模态。第一模态空间型为全区一致分布型, 异常大值中心在陕西东南部地区, 对比相应的时间系数可知, 全区一致变化型存在年际和年代际波动, 1959~1986 年华西秋雨偏强, 1987~2011 年华西秋雨偏弱, 但是进入 21 世纪以来华西秋雨有弱的增强趋势。图 1b 中同时给出了区域平均降水距平百分率变化曲线 (虚线), 对比第一模态时间系数不难发现二者变化非常一致, 尤其是在显著异常的年份, 这一方面说明 HMARI 表征华西秋雨强度的合理性, 另一方面也体现了华西秋雨异常变化主模态的代表性。

使用 MTM-SVD 方法对 1959~2011 年的 HMARI 进行周期分析, 从图 2a 中可以看到 HMARI 有两个较为显著的周期带, 年代际变化尺度的准 12 年周期达到了 90% 的信度水平; 而年际变化尺度的准 4 年周期达到了 95% 的信度水平, 另外还存在准 2 年周期, 但是没有达到了 90% 的信度水平。

上文的周期分析是针对 HMARI 进行的, 那么真实的华西秋雨是否存在相应的周期特征还有待进一步验证。华西秋雨的一个显著特征就是“阴雨

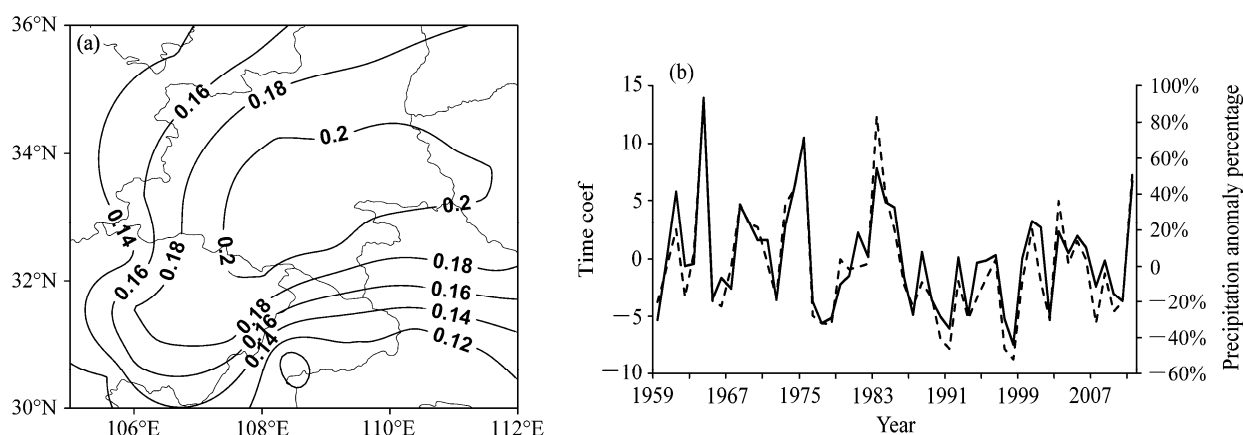


图 1 华西秋雨指数 (HMARI) (a) EOF 展开第一模态空间型及其对应的 (b) 时间系数 (实线) 和区域平均降水距平百分率 (虚线)
Fig. 1 (a) The first EOF mode (EOF1) of the Huaxi Modified Autumn Rain Index (HMARI), (b) the time coefficient (solid line) and the percentage of regional mean precipitation anomaly (dashed line)

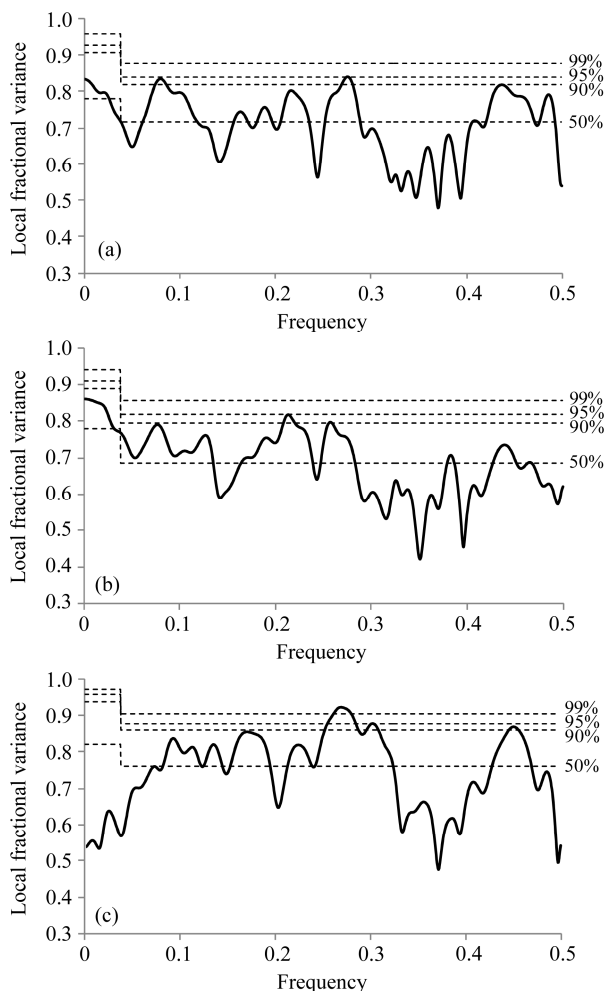


图2 1959~2011年 (a) 华西秋雨指数、(b) 秋季降水量、(c) 秋季日照时数的LFV (Local Fractional Variance) 谱分析。虚线: 蒙特卡洛信度水平

Fig. 2 The Local Fractional Variance (LFV) spectra of (a) HMARI, (b) autumn precipitation, and (c) hours of autumn sunshine from 1959 to 2011. Dashed lines: Monte Carlo simulations confidence levels

寡照”,即秋季的降水量大、日照时数少,所以接下来使用MTM-SVD方法对典型华西秋雨区的秋季降水量和日照时数分别进行周期分析。分析结果(图2b、2c)表明:典型华西秋雨区的秋季降水量存在4~5年周期(达到90%信度水平),秋季日照时数存在准4年周期(达到99%信度水平)和准2年周期(达到90%信度水平)。对比HMARI的周期分析结果可知,HMARI可以真实的反映出华西秋雨的周期特征,即华西秋雨最显著的周期为准4年周期,所以本文接下来重点分析华西秋雨准4年周期的变化特征。

利用MTM-SVD方法对HMARI在准4年周期

上进行典型循环重建,图3给出了其在准4年周期循环过程中的空间分布特征($0^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 位相)。第一年(0° 位相),华西秋雨整体正异常,空间分布与EOF展开第一模态空间型类似;第二年(90° 位相),华西秋雨仍然为整体正异常,但是正异常大值中心出现在陕西西南到四川北部地区,并且正异常强度变弱;第三年(180° 位相),华西秋雨整体偏弱,负异常大值中心在陕西东南部地区;第四年(270° 位相),华西秋雨整体偏弱,负异常中心在陕西西南到四川北部,但负异常强度较弱;第五年(360° 位相),开始下一个准4年典型循环,与第一年异常分布一致(图略)。

分析可知,华西秋雨准4年典型循环过程表现为整体“偏强—略偏强—偏弱—略偏弱”的循环演变特征,异常空间分布与HMARI的EOF展开第一模态空间型十分相似,这说明华西秋雨的准4年周期循环体现了其主模态的周期特征。

4 华西秋雨与赤道太平洋海温的关系

4.1 HMARI和海表温度耦合场在准4年周期上的典型循环重建

接下来将HMARI和海表温度耦合场在准4年周期上进行循环重建。图4给出了HMARI分别与当年6、8、10月海表温度耦合场在准4年周期上的典型循环重建,对比图3可以发现,第一年(华西秋雨偏强),6、8、10月赤道中东太平洋海表温度都为明显的负异常;第二年(华西秋雨略偏强),6月赤道中西太平洋海表温度负异常,东太平洋海表温度为弱的正异常,8月份中太平洋海表温度负异常范围缩小,东太平洋海表温度正异常增强并向西扩展,10月份中西太平洋海表温度异常不明显,东太平洋海表温度为弱的正异常;第三年(华西秋雨偏弱),6、8、10月赤道中东太平洋海表温度都明显偏高;第四年(华西秋雨略偏弱),6月赤道中西太平洋海表温度出现正异常,东太平洋海表温度出现弱的负异常,8月份中太平洋海表温度正异常范围缩小,东太平洋海表温度负异常增强并向西扩展,10月份中西太平洋海表温度异常不明显,东太平洋海表温度为弱的负异常。

进一步分析表明在准4年循环过程中,赤道中太平洋海表温度与华西秋雨存在稳定的协同变化关系,当强拉尼娜事件发生时,赤道中太平洋海表温度为负异常,弱厄尔尼诺事件发生时赤道中太平

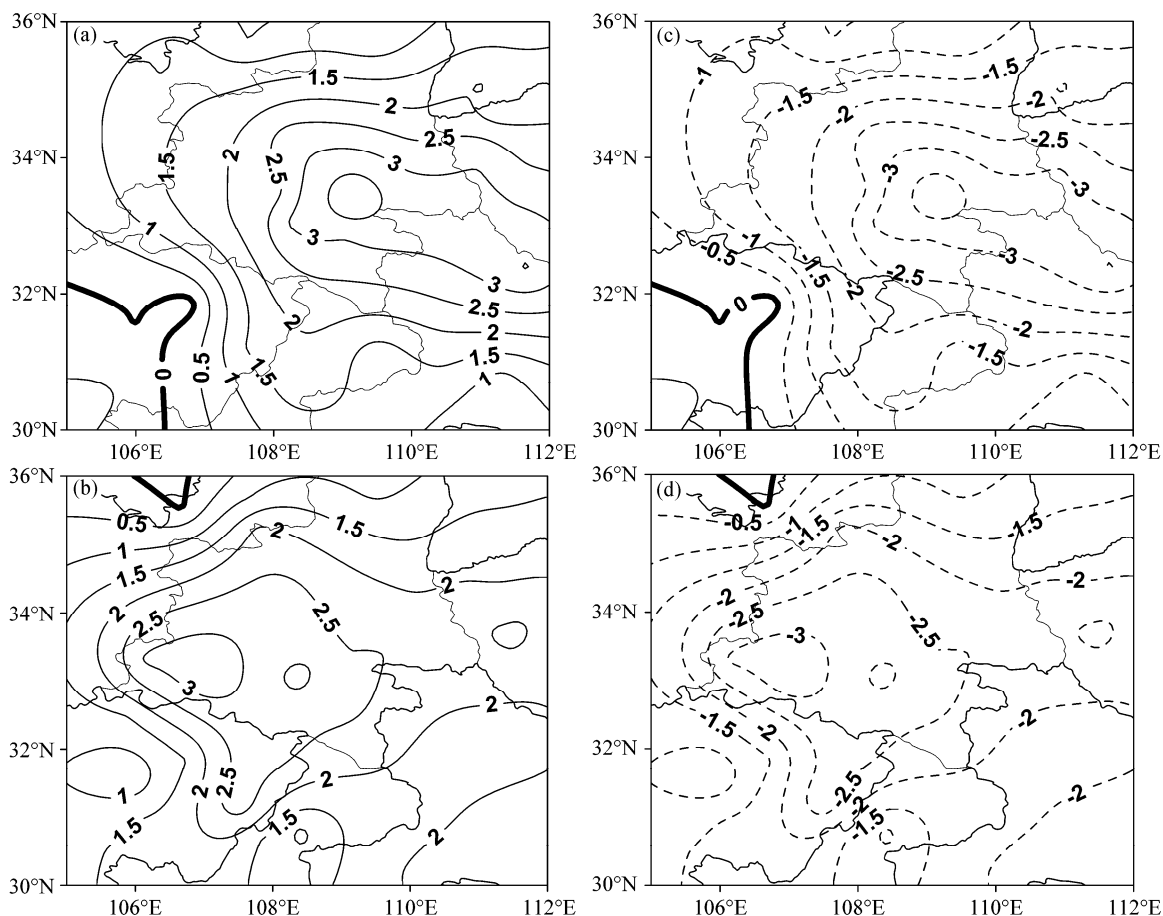


图3 HMARI 距平的准 4 年周期典型循环重建 (a-d 依次表示 0°, 90°, 180°, 270°位相)。单位: d

Fig. 3 Spatial reconstruction of evolutions of HMARI anomalies with quasi-four-year period: (a-d) Phases 0°, 90°, 180°, 270°. Units: d

洋海表温度同样为负异常,同时二者都对应华西秋雨偏强;相反强厄尔尼诺事件发生时赤道中太平洋海表温度正异常,弱拉尼娜事件发生时赤道中太平洋海表温度也为正异常,二者都对应华西秋雨偏弱。

前面的研究指出,在准 4 年周期循环过程中,华西秋雨和赤道中太平洋海表温度有很好的协同变化关系,那么二者的关系是否一直存在呢?接下来选取了华西秋雨异常大值中心代表站(镇安站)和赤道中太平洋海表温度异常大值中心代表点(0°, 172°W),在准 4 年周期上进行时间重建。从图 5 中可以发现,二者的准 4 年周期在 1959~1975 年最为明显,1976~1985 年准 4 年周期信号变得很弱,随后 1986~1996 年又变得十分显著,1997~2011 年准 4 年周期稳定存在,但是信号强度有所减弱。这说明华西秋雨和赤道中太平洋海表温度的协同变化关系并不是一直稳定存在的,而是有明显的

年代际变化特征。

4.2 与 ENSO 的相关分析

由于 ENSO 的发生发展有一定的连续性,所以本文对 HMARI 的 EOF 展开第一模态 (EOF1) 时间系数分别与 1959~2011 年 1~12 月 ENSO 指数、重建点 (0°, 172°W) 海温进行相关分析 (图 6)。分析指出, EOF1 时间系数和 MEI 有较好的负相关关系, 1~4 月的相关没有通过 0.05 的显著性检验,但是从 5 月份开始相关系数迅速增大, 5~12 月的相关系数都通过了 0.01 的显著性检验。由于 ENSO 往往在冬季达到盛期,所以二者的相关系数在 12 月达到最大 (-0.46)。 EOF1 时间系数和重建点海温的相关系数更强, 4 月份开始相关系数即通过了 0.01 的显著性检验,除 6、8、12 月华西秋雨和 MEI 的负相关系数稍高外,其余月份华西秋雨和重建点海温的负相关系数更高。

用典型华西秋雨区秋季降水量和日照时数代

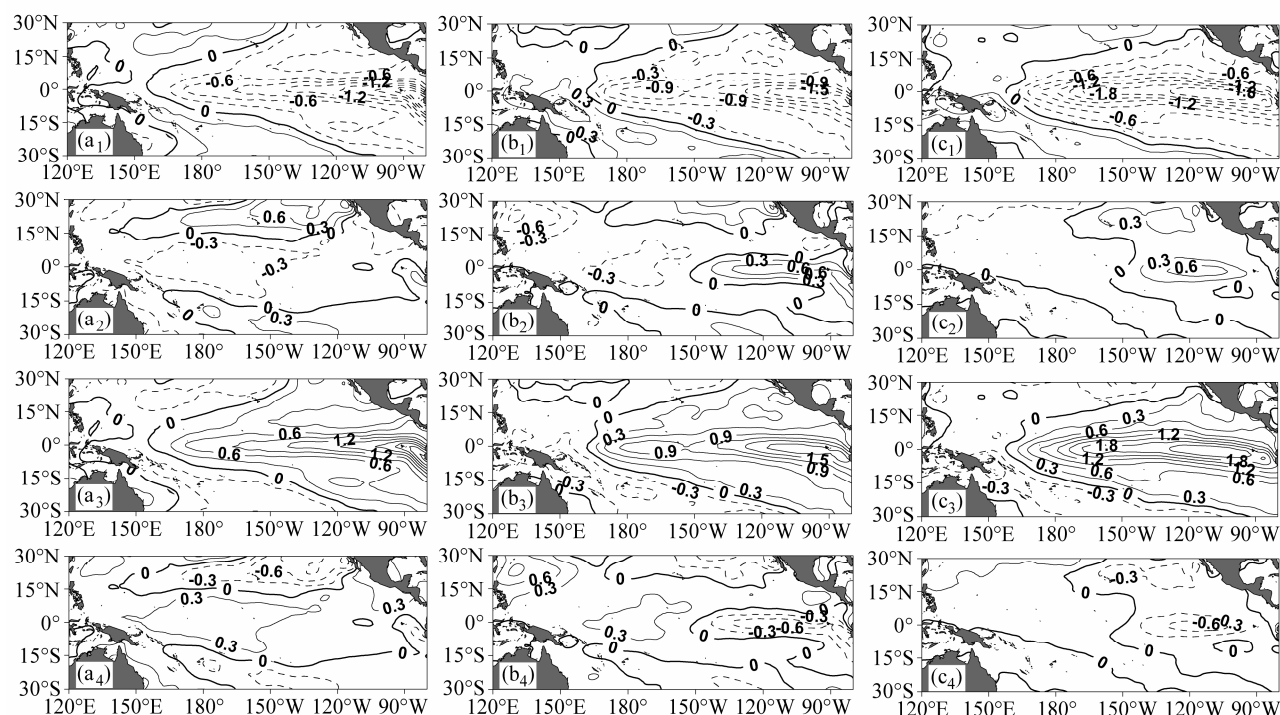


图4 HMARI 距平分别与 (a₁, a₂, a₃, a₄) 6 月、(b₁, b₂, b₃, b₄) 8 月、(c₁, c₂, c₃, c₄) 10 月赤道太平洋海表温度距平耦合场在准 4 年周期上的典型循环重建 (下标 1~4 分别表示 0°, 90°, 180°, 270° 位相)。单位: °C

Fig. 4 Spatial joint reconstruction of the SST anomalies over the equatorial Pacific in (a₁, a₂, a₃, a₄) June, (b₁, b₂, b₃, b₄) August, and (c₁, c₂, c₃, c₄) October and HMARI anomalies at quasi-four-year timescale. Subscripts 1–4 represent phase 0°, phase 90°, phase 180°, phase 270°, respectively. Units: °C

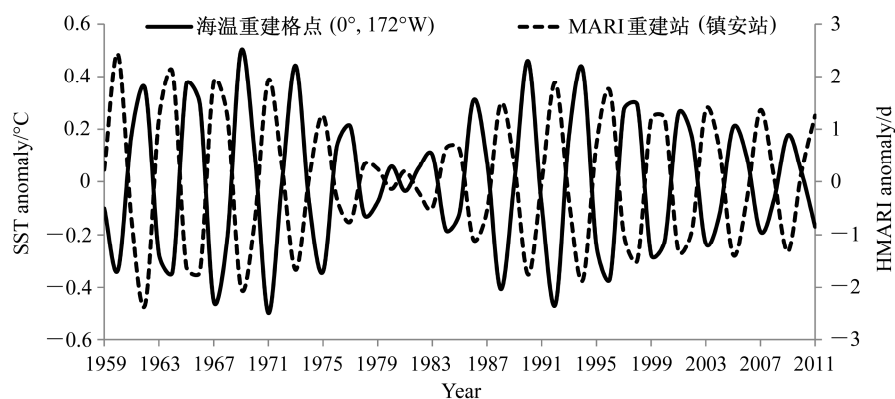


图5 HMARI 代表站 (镇安站) 和赤道中太平洋海表温度代表点 (0°, 172°W) 在准 4 年周期上的时间重建 (距平值)

Fig. 5 Temporal reconstruction of SST representative point (0°, 172°W) in the central Pacific and HMARI representative point [station Zhen'an (33.87°N, 109.15°E)] at quasi-four-year timescale (anomalies)

替 HMARI 进行以上类似的相关分析, 得到统一的结论, 即 5~12 月秋季降水量和 MEI、重建点海温的负相逐渐增加 (通过 0.05 显著性检验, 图略); 5~12 月秋季日照时数和 MEI、重建点海温的正相关逐渐加强 (通过 0.05 显著性检验, 图略)。

这与前面的典型循环重建的结果一致, 即华西秋雨的强弱与赤道中太平洋海温异常有很好的对

应关系, 但对 ENSO 事件响应上与事件强弱有关。结合 4.1 的分析可知, 当出现强拉尼娜事件时华西秋雨显著偏强, 当出现强厄尔尼诺事件时华西秋雨显著偏弱。即华西秋雨和 ENSO 的协同变化关系主要体现在强 ENSO 事件上, 不同强度的 ENSO 对应着不同的华西秋雨异常情况。薛峰和刘长征 (2007) 的研究也曾得到类似结论, 即 ENSO 的强

度变化在气候影响中有着重要作用, 不同强度的 ENSO 对东亚夏季风的影响有着本质的不同。

5 华西秋雨准 4 年循环的环流背景分析

5.1 水汽输送通量分析

水汽输送往往对降水的产生起着相当重要的作用, 所以要研究华西秋雨准 4 年周期特征有必要分析一下其水汽输送特征。平均情况下(图 7) 9~10 月华西秋雨的水汽来源主要有两个: 一是来自西南的暖湿气流, 这部分水汽是由孟加拉湾向东的水汽输送和南海西太平洋向西的水汽输送在中南半岛西部汇合后的向北输送; 二是来自西边的干冷气

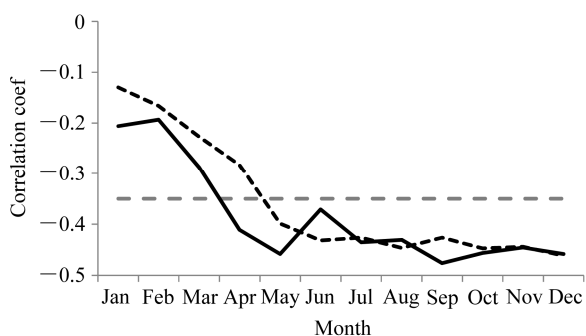


图 6 华西秋雨指数 EOF 分析第一模态时间系数分别与 1~12 月 MEI (黑色虚线)、重建点海温 (黑色实线) 的相关系数变化 (灰色虚线为 0.01 显著性水平)

Fig. 6 Changes of the correlation coefficients between the time coefficient of EOF1 of HMARI and the Multivariate ENSO Index (MEI) (black solid line), SST at reconstruction point (black dashed line) from January to December (gray dashed line: 0.05 significant level)

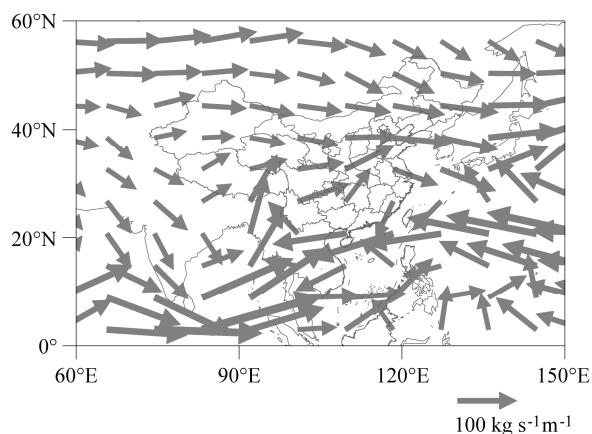


图 7 1959~2011 年秋季 (9~10 月) 平均 1000~300 hPa 水汽输送通量矢量场, 单位: $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$

Fig. 7 The average (1959-2011) autumn (from September to October) water vapor transport fluxes from 1000 hPa to 300 hPa (vectors), units: $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$

流, 这部分水汽是由中高纬度的西风气流带来的。

为了进一步分析华西秋雨的准 4 年周期循环特征, 图 8 给出了 HMARI 和 1000~300 hPa 水汽输送通量耦合场在准 4 年周期上的典型循环重建。第一年 (华西秋雨偏强), 在菲律宾地区出现水汽输送通量的异常辐合, 这支异常辐合水汽先向北输送, 在中国东南沿海地区突然向西转向一直到达华西地区, 在南海出现气旋式异常水汽输送通量, 即来自南海西太平洋的暖湿气流偏强, 北方干冷气流偏弱。第二年 (华西秋雨略偏强), 在孟加拉湾东北部出现水汽输送通量的异常辐合, 从华南到华西存在水汽输送通量异常向北输送, 并在华西地区出现异常辐合, 即来自孟加拉湾的暖湿气流偏强, 北方干冷气流偏弱。第三年 (华西秋雨偏弱), 南海地区出现反气旋式水汽输送通量异常, 来自南海和孟加拉湾的暖湿气流都异常弱, 东北路径干冷气流偏强。第四年 (华西秋雨略偏弱), 孟加拉湾北部有向东北方向的水汽输送通量异常, 中国中东部都为向南的水汽输送通量异常, 来自南海西太平洋的暖湿气流异常弱, 西北路径干冷气流偏强。

5.2 500 hPa 高度场特征分析

图 9 给出了 HMARI 和 500 hPa 高度场在准 4 年周期上的典型循环重建, 第一年 (华西秋雨偏强), 从孟加拉湾到南海地区高度场为负异常, 我国东海地区为正异常, 日本东北部为负异常, 白令海峡西北部正异常, 阿拉斯加地区为负异常, 美国西海岸为正异常, 即出现类似东亚/太平洋遥相关 (EAP) 分布型 (这里称为 EAP 正异常), EAP 波列向北伸展到 70°N 左右。第二年 (华西秋雨略偏强), 500 hPa 高度场异常分布呈现与第一年类似的 EAP 分布型, 但是 EAP 波列向北伸展只达到 50°N 左右。第三年 (华西秋雨偏弱), 从孟加拉湾到南海地区高度场为正异常, 我国东海地区为负异常, 日本东北部为正异常, 白令海峡西北部负异常, 阿拉斯加为正异常, 美国西海岸为负异常, 即与第一年的 EAP 波列反位相 (这里称为 EAP 负异常), 波列位置偏北。第四年 (华西秋雨略偏弱), 500 hPa 高度场异常情况与第二年相反, 波列位置偏南。

结合前面分析可知, 华西秋雨的准 4 年周期循环与太平洋海表温度有很好的协同变化关系。当夏季赤道中太平洋海表温度负 (正) 异常, 同时出现明显拉尼娜 (厄尔尼诺) 位相时, 接下来的秋季 500 hPa 高度场会出现正 (负) 异常 EAP 波列, 并且波

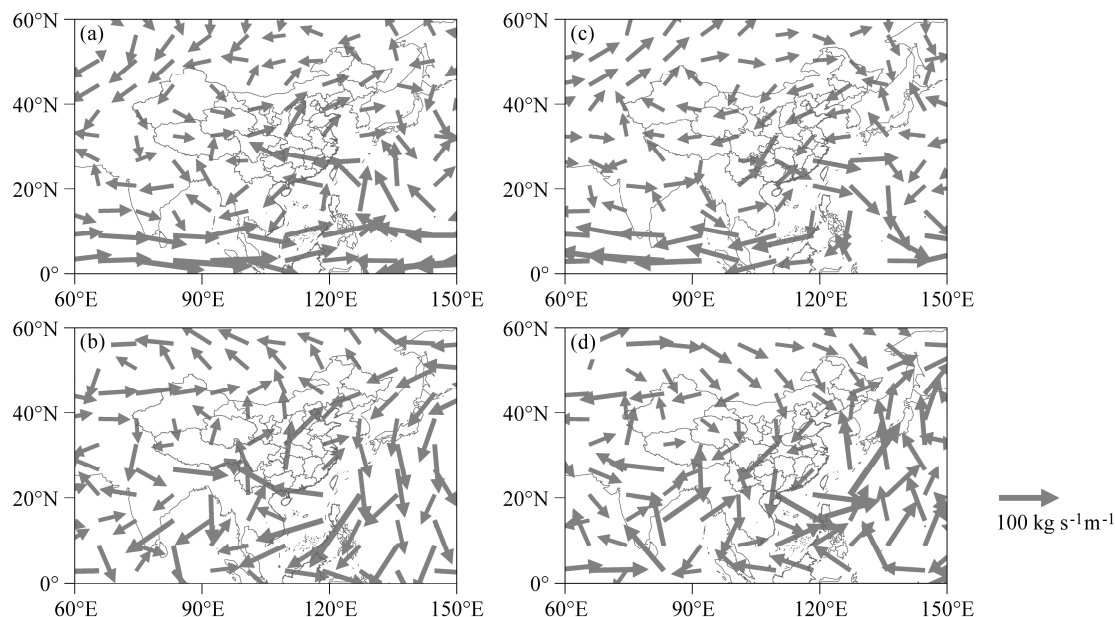


图8 HMARI与1000~300 hPa水汽输送通量耦合场在准4年周期上的典型循环重建(a-d依次表示0°、90°、180°、270°位相),单位: $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$
Fig. 8 Spatial joint reconstruction of HMARI and the water vapor transport fluxes from 1000 hPa to 300 hPa (vectors) at quasi-four-year timescale (a-d: Phases 0°, 90°, 180°, 270°), units: $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$

列向北伸展,导致南海西太平洋向华西地区的正(负)异常水汽输送通量,华西秋雨偏强(弱)。当夏季赤道中太平洋海表温度负(正)异常,但出现弱的厄尔尼诺(拉尼娜)位相时,接下来的秋季500 hPa高度场也会出现正(负)异常EAP波列,但EAP波列位置偏南,导致孟加拉湾向华西地区的水汽输送通量略偏强(弱),华西秋雨略偏强(弱)。

6 结论与讨论

(1) 华西秋雨的最显著周期为准4年周期,达到了95%的信度水平,典型循环过程表现为整体“偏强—略偏强—偏弱—略偏弱”的循环演变特征,异常空间型与其主模态空间型基本一致。

(2) 赤道中太平洋海表温度与华西秋雨在准4年周期上存在稳定的协同变化,当赤道中太平洋海表温度为负异常时,华西秋雨偏强;相反当赤道中太平洋海表温度正异常时,华西秋雨偏弱。这种协同变化在1959~1975年最为明显,1976~1985年准4年周期信号变得很弱,随后1986~1996年又变得十分显著,1997~2011年准4年周期稳定存在,但是信号强度有所减弱。

(3) 夏季到秋季赤道中太平洋海表温度偏低(高)时,秋季500 hPa高度场容易出现正(负)

异常东亚/太平洋(EAP)遥相关波列,西太平洋副热带高压偏西(东),华西地区来自南海西太平洋和孟加拉的水汽输送偏多(少),华西秋雨偏强(弱)。

(4) 一些研究(Nitta, 1987; 黄荣辉和李维京, 1988; 黄荣辉, 1990; Huang, 1992; Huang and Sun, 1992)表明夏季热带西太平洋海温和对流活动异常会激发出东亚/太平洋(EAP)型异常,造成东亚大气环流异常,进而影响中国夏季降水。本文虽然指出当夏秋季节赤道中太平洋海温异常时,秋季会出现异常EAP波列,但没有给出其产生机理,秋季异常EAP波列是其夏季异常的延续还是秋季海温异常激发产生的,还有待进一步研究。

(5) 秋季来自中低纬的暖湿空气和中高纬的干冷空气在华西地区交汇,形成阴雨绵绵的天气。本研究从太平洋海温和EAP波列入手,主要体现了中低纬暖湿空气的作用。然而从图9上还可以看到一个类似EU(欧亚遥相关)的波列存在,并且随华西秋雨准4年循环同样有较明显的强弱和位置的变化,该波列可能影响入侵我国华西地区的冷空气路径和强度,从而使华西秋雨的范围及强弱发生变化。而究竟该波列对我国华西秋雨是否有显著影响、如何影响,以及该波列产生的机理是什么,本

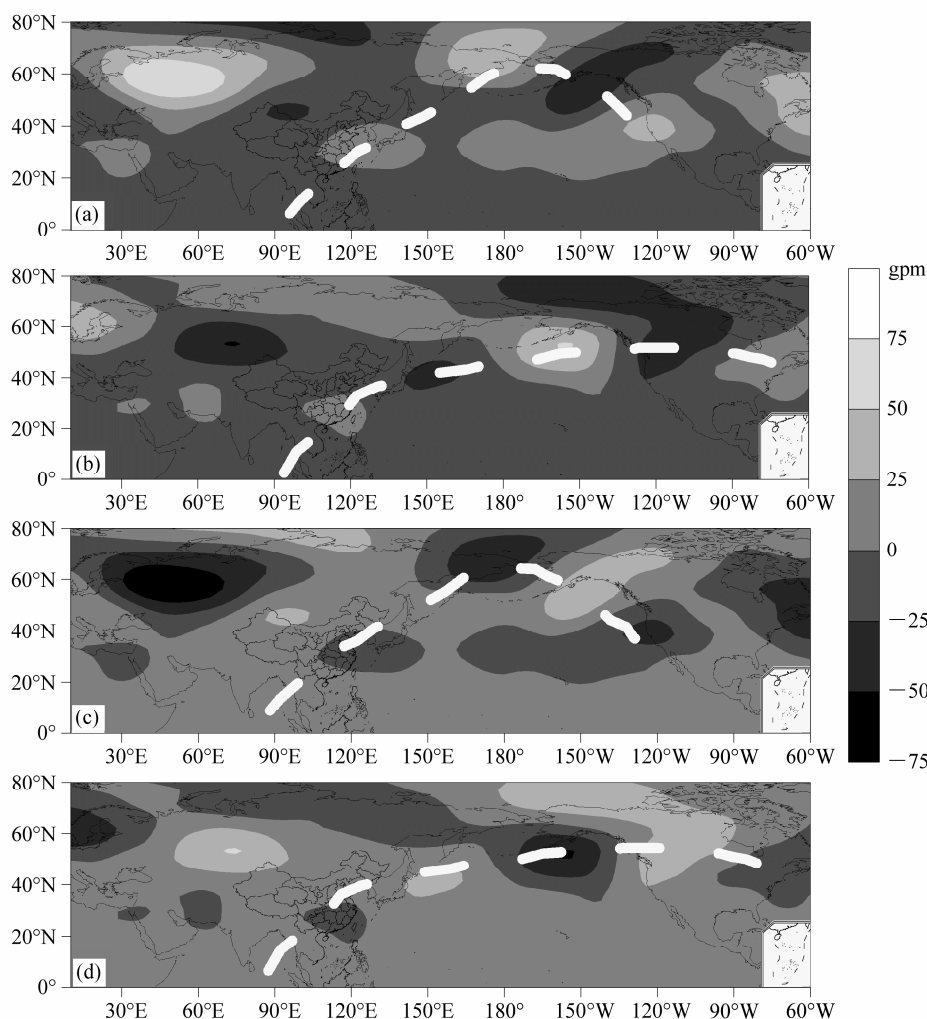


图 9 HMARI 与 500 hPa 高度场在准 4 年周期上的典型循环重建 (a-d 依次表示 0°、90°、180°、270° 位相)。单位: gpm; 白色虚线: EAP 波列的延伸

Fig. 9 Spatial joint reconstruction of HMARI and the 500-hPa geopotential height at quasi-four-year timescale (a-d: Phases 0°, 90°, 180°, 270°). Units: gpm; white dashed line: The extension of East Asia-Pacific (EAP)

文没有进行分析, 还有待进一步研究。

参考文献 (References)

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.

陈忠明, 刘富明, 赵平, 等. 2001. 青藏高原地表热状况与华西秋雨 [J]. 高原气象, 20 (1): 94-99. Chen Zhongming, Liu Fuming, Zhao Ping, et al. 2001. Relationship between the surface heating fields over Qinghai-Xizang Plateau and precipitation of Southwest China in autumn [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 20 (1): 94-99.

冯丽文, 郭其蕴. 1983. 华西秋雨的多年变化 [J]. 地理研究, 2 (1): 74-84. Feng Liwen, Guo Qiyun. 1983. The fluctuation of autumn rain in Southwest China [J]. Geographical Research (in Chinese), 2 (1): 74-

84.

龚道溢, 王绍武. 1998. ENSO 对中国四季降水的影响 [J]. 自然灾害学报, 7 (4): 44-52. Gong Daoyi, Wang Shaowu. 1998. Impact of ENSO on the seasonal rainfall in China [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 7 (4): 44-52.

顾薇, 李维京, 陈丽娟, 等. 2012. 我国秋季降水的年际变化及与热带太平洋海温异常分布的关系 [J]. 气候与环境研究, 17 (4): 467-480. Gu Wei, Li Weijing, Chen Lijuan, et al. 2012. Interannual variations of autumn precipitation in China and their relations to the distribution of tropical Pacific sea surface temperature [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 17 (4): 467-480.

韩晋平, 张人禾, 苏京志. 2013. 中国北方秋雨与热带中太平洋海表冷却的关系 [J]. 大气科学, 37 (5): 1059-1071. Han Jinping, Zhang Renhe, Su Jingzhi. 2013. Relationship between cooling of tropical Pacific sea surface temperature and autumn precipitation in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (5): 1059-1071.

- 何敏. 1984. 我国主要秋雨区的分布及长期预报 [J]. 气象, 10 (9): 10–13.
He Min. 1984. Distribution and long-term forecast of Chinese autumn rainfalls [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 10 (9): 10–13.
- 黄荣辉, 李维京. 1988. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制 [J]. 大气科学, 12 (S1): 107–116.
Huang Ronghui, Li Weijing. 1988. Influence of heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia and its physical mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 12 (S1): 107–116.
- 黄荣辉. 1990. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究 [J]. 大气科学, 14 (1): 108–117. Huang Ronghui. 1990. Studies on the teleconnection of the general circulation anomalies of East Asia causing the summer drought and flood in China and their physical mechanism [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 14 (1): 108–117.
- Huang Ronghui. 1992. The East Asia/Pacific pattern teleconnection of summer circulation and climate anomaly in East Asia [J]. Acta Meteor. Sinica, 6 (1): 25–37.
- Huang Ronghui, Sun Fengying. 1992. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asia summer monsoon [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 70 (1): 243–256.
- Han X, Wei F Y, Tourre Y M, et al. 2008. Spatio-temporal variability of Northern Hemispheric Sea Level Pressure (SLP) and precipitation over the mid-to-low reaches of the Yangtze River [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 25 (3): 458–466.
- 蒋竹将, 马振峰, 刘佳, 等. 2013. 一种改进的华西秋雨指数及其气候特征 [J]. 大气科学, 38 (1): 32–44. Jiang Zhujiang, Ma Zhenfeng, Liu Jia, et al. 2013. Improved index and climatological characteristics of the autumn rain in western China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 38 (1): 32–44.
- 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云, 等. 2000. 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, 5 (2): 205–213. Li Yaohui, Li Dongliang, Zhao Qingyun, et al. 2000. Effect of ENSO on the autumn rainfall anomaly in Northwest China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5 (2): 205–213.
- 梁健洪. 1989. 华西秋雨的时空分布 [J]. 地理科学, 9 (1): 51–59. Liang Jianhong. 1989. The regional and seasonal distribution of autumn rain in West China [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 9 (1): 51–59.
- 罗霄, 李栋梁, 王慧. 2013. 华西秋雨演变的新特征及其对大气环流的响应 [J]. 高原气象, 32 (4): 1019–1031. Luo Xiao, Li Dongliang, Wang Hui. 2013. New evolution features of autumn rainfall in West China and its responses to atmospheric circulation [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 32 (4): 1019–1031.
- 刘永强, 丁一汇. 1995. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响 [J]. 大气科学, 19 (2): 200–208. Liu Yongqiang, Ding Yihui. 1995. Reappraisal of the influence of ENSO events on seasonal precipitation and temperature in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 19 (2): 200–208.
- Mann M E, Park J. 1994. Global-Scale modes of surface temperature variability on interannual to century timescales [J]. J. Geophys. Res., 99 (D12): 25819–25833.
- Mann M E, Park J. 1996. Joint spatiotemporal modes of surface temperature and sea level pressure variability in the Northern Hemisphere during the last century [J]. J. Climate, 9 (9): 2137–2162.
- Mann M E, Park J. 1999. Oscillatory spatiotemporal signal detection in climate studies: A multiple-taper spectral domain approach [J]. Advances in Geophysics, 41: 1–131.
- Nitta T. 1987. Convective activities in the tropical western Pacific and their impacts on the Northern Hemisphere summer circulation [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 65 (3): 373–390.
- Small D, Islam S. 2008. Low frequency variability in fall precipitation across the United States [J]. Water Resources Research, 44 (4): W4426.
- 王春学, 李栋梁. 2012. 基于 MTM-SVD 方法的黄河流域夏季降水年际变化及其主要影响因子分析 [J]. 大气科学, 36 (4): 823–834.
- Wang Chunxue, Li Dongliang. 2012. Analysis of the interannual variation of the summer precipitation over the Yellow River basin and the effect factors based on MTM-SVD method [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (4): 823–834.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 (第二版) [M]. 北京: 气象出版社. Wei Fengying. 2007. Modern Climate Statistical Technology of Diagnosis and Prediction Meteorology Press (2nd ed.) (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- 薛春芳, 董文杰, 李青, 等. 2012. 近 50 年渭河流域秋雨的特征与成因分析 [J]. 高原气象, 31 (2): 409–417. Xue Chunfang, Dong Wenjie, Li Qing, et al. 2012. Climate characteristic and formative cause of autumn rain in Weihe River basin in recent 50 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 31 (2): 409–417.
- 薛峰, 刘长征. 2007. 中等强度 ENSO 对中国东部夏季降水的影响及其与强 ENSO 的对比分析 [J]. 科学通报, 52 (23): 2798–2850. Xue Feng, Liu Changzheng. 2008. The influence of moderate ENSO on summer rainfall in eastern China and its comparison with strong ENSO [J]. Chinese Science Bulletin, 53 (5): 791–800.
- 朱炳瑗, 李栋梁. 1992. 1845—1988 年厄尔尼诺事件与我国西北旱涝 [J]. 大气科学, 16 (2): 185–192. Zhu Bingyuan, Li Dongliang. 1992. The relationship between the El Niño events and the drought or excessive rain of Northwest China during 1845 to 1988 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 16 (2): 185–192.