

周兵, 王晓敏, 刘秋峰, 等. 2011 年 7 月七大江河流域气候特点及降水异常成因分析[J]. 气象, 2012, 38(5): 608-614.

2011 年 7 月七大江河流域气候特点 及降水异常成因分析^{* 1}

周 兵¹ 王晓敏^{1,2} 刘秋峰¹ 王东阡¹

1 国家气候中心, 北京 100081

2 南京信息工程大学, 南京 210044

提 要: 利用国家气候中心 723 站降水和气温资料、JRA-25 和 NCEP/NCAR I 再分析资料数据集、NOAA 气候预测中心海温资料等, 采用线性趋势、动力诊断、相关分析、小波分析等方法, 开展 2011 年 7 月我国七大江河流域气候特点及其变化特征研究, 揭示长江流域主汛期降水异常的可能机理。结果表明: 2011 年 7 月七大江河流域降水量总体偏少, 长江流域降水属异常偏少; 流域气温持续气候变暖特征, 以松嫩流域异常偏暖最为显著。降水变化线性趋势显示: 珠江流域和长江流域为线性增加型; 淮河流域为基本不变型; 辽河流域、海河流域、黄河流域和松嫩流域为线性减少型。但降水具有显著年际变化外, 长江流域、淮河流域、海河流域、黄河流域等具有显著年代际变化周期。2011 年 7 月长江流域降水异常偏少的主要原因: 大气对赤道中东太平洋外强迫的响应持续着 La Nina 的形态; 副热带高压异常活动与东亚南风环流强度指数偏弱; 长江流域整层水汽收支显著亏损, 降水效率低。

关键词: 七大江河, 气候特点, 长江流域, 降水异常, 成因分析

Study on Climate Characteristics of Seven Great River Valleys and Mechanism of Precipitation Anomaly in July 2011

ZHOU Bing¹ WANG Xiaomin^{1,2} LIU Qiufeng¹ WANG Dongqian¹

1 National Climate Centre, Beijing 100081

2 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Based on the precipitation and temperature data at National Climate Centre 723 stations, the JRA-25 and NCEP/NCAR I reanalysis data sets and the NOAA Climate Prediction Centre extended reconstructed SST data, using methods of linear trend, dynamical diagnosis, correlation analysis and wavelet analysis, the climate characteristics and variation features of seven great river valleys (SGRV) in July 2011 were researched, and the mechanism of precipitation anomalies of the Yangtze River Valley (YRV) during the dominant flood season was revealed. Results indicated that the precipitations of SGRV were overall less in July 2011, however, the precipitation of YRV was far less than normal; meanwhile, the temperatures of SGRV were characterized by continued climate warming, especially for Songhua River Valley. The linear trend of precipitation changing showed that Zhujiang River Valley and YRV were in a linearly increased trend, Huaihe River Valley maintained an unchanged condition, and Liaohe, Haihe, Huanghe and Songhua River Valleys where in a linearly decreased trend. In addition to the obvious interannual variability, the decadal changes of precipitation in YRV, Huaihe, Haihe and Huanghe River Valleys were also obvious. The main causes for the below-normal precipitation of YRV in July 2011 were as follows: The atmospheric

* 国家重大科学研究计划资助(2012CB955901)、国家科技支撑计划项目(2009BAC51B05)和气象行业专项(GYHY201006019)共同资助
2011 年 9 月 19 日收稿; 2012 年 2 月 29 日收修定稿
第一作者: 周兵, 主要从事亚洲季风降水的研究与应用. Email: bingz@cma.gov.cn

responses to external forcing of equatorial Middle-Eastern Pacific were the same as those to La Nina pattern; the subtropical high was abnormal and the East Asian southerly wind circulation intensity index (I_{ES}) was weak; besides, the water vapor budget had a deficit and the precipitation efficiency was low.

Key words: seven great river valleys (SGRV), climate characteristics, Yangtze River Valley (YRV), precipitation anomaly, mechanism analysis

引 言

我国是典型季风性气候国家,气候复杂,湿润区和半湿润区降水变率大,干旱灾害和洪涝灾害分别占气象灾害比例的53%和28%,气象灾害频发。我国大陆性气候明显,在全球变暖背景下,夏季高温现象更加突出。防汛抗旱是我国气象决策服务的重点,而主汛期七大江河流域的降水活动和汛情情况及其变化特征是关注的核心。

2011年7月全国大部温度较常年同期偏高,降水较常年同期偏少,呈干热天气特征。雨情、水情、汛情和旱情的特点为:一是降水偏少,干旱为主旋律;二是局部暴雨强度大,引发洪水灾害;三是主要江河水位正常,汛情总体平稳。目前全国七大江河流域基础性地形数据已初步建立^[1],但由于流域气候的差异性和复杂性,目前系统性地分析流域气候的工作相对较少^[2-3]。由于流域气候监测、预测、服务需求迫切,而影响夏季降水的因素复杂,如来自大气外强迫等^[4]。为此,本文从长江流域、淮河流域、黄河流域、珠江流域、海河流域、辽河流域和松嫩流域七大江河流域气候分析出发,分析东亚季风活动与流域降水异常及气候变化特征,开展2011年7月长江流域气候异常可能机理的成因研究。

1 资料和方法

本文降水和气温观测资料来自国家气候中心气候监测系统,再分析资料分别取自JRA-25高分辨数据集^[5]和NCEP/NCAR I数据集。海温资料来自NOAA气候预测中心,气候态为1971—2000年平均。分析方法包括线性趋势等统计技术、动力诊断、相关分析和小波分析。水汽收支采用文献^[6]方法,整层积分由表面到300 hPa。东亚南风环流指数 I_{ES} 定义为区域平均经向风距平垂直切变;南海南风环流指数 I_{SS} 为区域平均的经向风距平垂直切变^[7];同时,给出了东

亚夏季风指数 I_Z ^[8]和国家气候中心南海夏季风业务监测强度指数(I_{ss})^[1]。南风环流指数与传统指数的差异主要体现在季风涌上,实际计算公式为:

$$I_{ES} = V'_{850} - V'_{200} (10^{\circ}\text{S} \sim 25^{\circ}\text{N}, 100^{\circ} \sim 125^{\circ}\text{E});$$

$$I_{SS} = V'_{850} - V'_{200} (10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}, 100^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}).$$

本文选用常用的Morlet小波,角频率 $\omega_0 = 6$ 。小波功率谱 $E_{a,b}$ 定义为:

$$E_{a,b} = |W_f(a,b)|^2$$

全域小波功率谱 E_a 表征不同尺度 a 对应的能量密度,定义为:

$$E_a = \frac{1}{N} \sum_{b=1}^N |W_f(a,b)|^2$$

根据Torrence^[9]导出的关系,尺度 a 和周期 T 的对应关系:

$$T = \frac{4\pi a}{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}} \approx 1.033a$$

小波功率谱是否显著,用红噪声或白噪声标准谱进行检验,本文采用红噪声检验。

2 七大江河流域气候特点

2.1 流域降水特点及变化趋势

我国七大江河流域的面积相差较大,因此选定的流域气象观测站数也不同。从2011年7月七大江河流域降水特点及变化趋势的分析结果可以看到:主汛期流域面积降水量总体偏少,降水距平百分率除海河流域正常略偏多外(4.4%),淮河流域(-0.6%)、黄河流域(-5.4%)、珠江流域(-17.9%)、辽河流域(-16.0%)及松嫩流域(-4.4%)正常略偏少,而长江流域降水属异常偏少(-26.0%),是均方根差的1.3倍。流域降水量的气候特征分析发现,珠江流域7月降水量为221.9 mm,在七个流域中最多;黄河流域由于主要区域位置偏西,月降水量仅为99.5 mm。淮河流域、长江流域、海河流域和辽河流域的降水量一般在165~185 mm附近。

¹⁾ <http://ncc.cma.gov.cn/Monitoring/monsoon.htm>

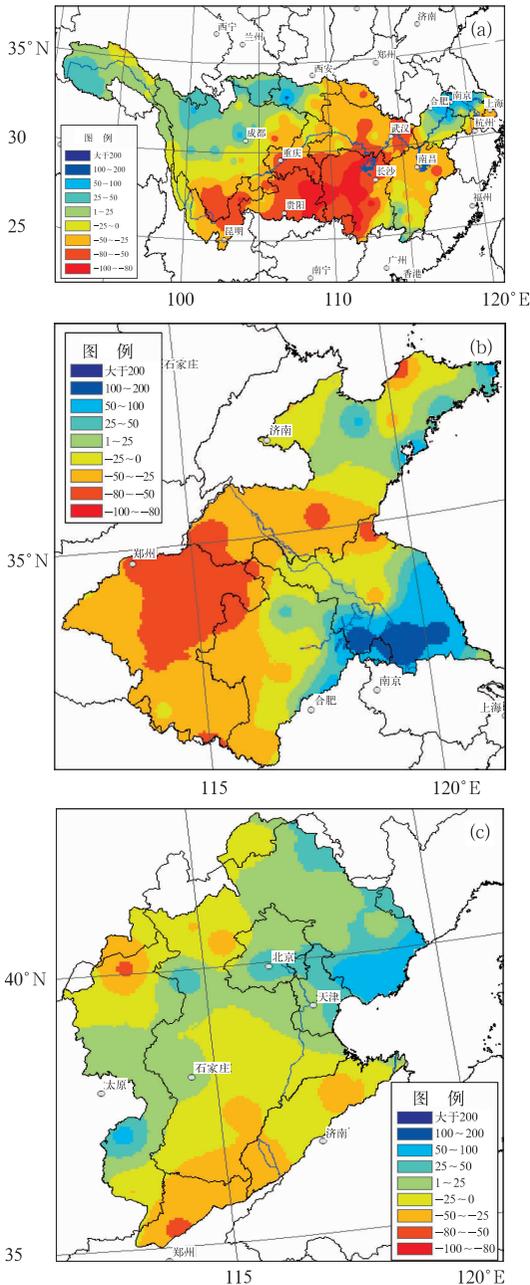


图 1 2011 年 7 月降水距平百分率(单位:%)

(a)长江流域,(b)淮河流域,(c)海河流域

Fig. 1 Percentage of precipitation anomaly in different river valleys in July 2011 (unit:%)

(a) Yangtze River Valley, (b) Huaihe River Valley, and (c) Haihe River Valley

流域降水距平百分率空间分布(图 1)的特征分析发现,2011 年 7 月长江流域异常偏少的区域主要集中在湖南大部、流域的贵州和云南一带、重庆中南部等附近,其中部分地区降水偏少 3~8 成;而降水偏多的区域相对较小,分布在长江下游的江北附近

和流域上游的四川北部、甘肃南部、陕西西南部一带,局部偏多 5 成至 2 倍(图 1a);淮河流域降水偏多的区域主要集中在东南沿线的苏北与皖东附近,山东半岛中部和南部降水偏多 2~5 成,其中,7 月 25 日乳山青山路南日降雨量 270.9 mm,造成严重地质灾害。但淮河流域降水总体接近正常略偏少(图 1b);黄河流域降水偏多区出现在河套中东部、流域上游的南部地区,整体正常略偏少(-5.4%);珠江流域西南地区段、广西大部、广东西部和东部降水异常偏少,整体偏少近 2 成;流域降水偏多区主要分布在流域西部,与东北冷涡的活动密切相关,7 月 26 日辽宁铁岭遭受特大暴雨袭击、27 日内蒙古扎鲁特旗遭罕见大暴雨,7 小时降雨量达到 100 mm,但整体偏少 1~2 成;松嫩流域的降水量接近正常略偏少。七大流域中唯一接近正常略偏多的海河流域(图 1c),偏多区分布在流域的中东部和中西部,局部偏多 5 成至 1 倍。

2.2 流域气温特点及变化趋势

表 1 给出了七大江河流域气温特点及变化趋势。不难发现,七大江河流域气温均持续气候变暖特征,表现为一致的正距平,尤以松嫩流域异常最为显著(1.1℃),是均方根差值的 1.25 倍;其他地区距平低于全国平均值(0.7℃)。七大江河流域气温变化线性趋势均表现出增温特征,除长江流域和淮河流域增温幅度较小外,其他流域增温幅度接近或高于 $1.5^{\circ}\text{C} \cdot (100 \text{ a})^{-1}$,其中松嫩流域和黄河流域线性增暖趋势最为显著。不同流域气温年际变率大,年代际变化特征显著,流域差异大,与全球变暖背景有关。

表 1 2011 年 7 月七大江河流域气温特点及变化趋势

Table 1 Surface temperature characteristics and the trend of SGRV in July 2011

流域名称	气温/℃	距平/℃	均方根差 (σ)	变化趋势/ $^{\circ}\text{C} \cdot (100 \text{ a})^{-1}$	流域 站数
长江流域	25.1	+0.6	0.71	+0.01	132
淮河流域	26.7	+0.2	0.94	+0.03	28
黄河流域	20.6	+0.3	0.79	+0.18	61
珠江流域	27.7	+0.4	0.46	+0.10	56
海河流域	25.5	+0.5	0.86	+0.15	32
辽河流域	23.9	+0.3	0.87	+0.09	34
松嫩流域	22.6	+1.1	0.88	+0.19	51

3 东亚季风活动与降水异常分析

大气环流监测表明:欧亚中高纬地区 2011 年 7

月主要为两脊一槽的环流形势,且槽脊均偏强。西太平洋副热带高压与常年同期相比,西伸脊点位置明显偏东,脊线持续偏北。副热带高压与常年同期相比,7 月中旬中期之前脊线位置明显持续偏北,之后则显著偏南(图 2),西伸脊点位置明显偏西。

数偏弱,导致长江流域降水偏少(图 4c),两者具有正相关性; I_{SS} 指数为正,南风强度偏强。作为比较,2010 年 7 月, I_{ES} 指数偏强,长江流域降水偏多; I_{SS} 指数为负,南风强度偏弱。图 4c 还可以看到:长江流域在 20 世纪 90 年代为相对湿阶段,而 50 年代和 70 年代为相对干阶段。

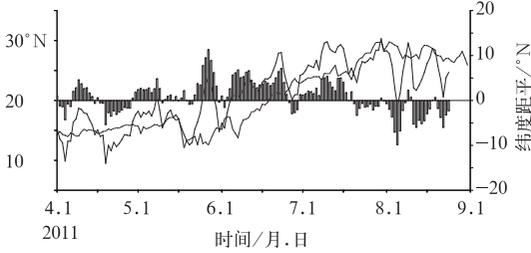


图 2 西太平洋副热带高压脊线平均位置($110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$,实线)、气候态(虚线)及距平(柱状)时间-纬度剖面
Fig. 2 Time-latitude section of WPSH ridge line mean position along $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ (solid line), climate mean (dashed line) and the anomalous (columnar)

我国北方季风区汛期降水在 7 月下旬强度达到盛期,随后东部季风区主要雨带开始南撤, 40°N 附近降水从 6 月中旬一直持续到 8 月中旬末(图 3),直接导致海河流域出现持续较长时间的降水。南海季风监测表明:南海夏季风强度 7 月具有阶段性偏强特点。

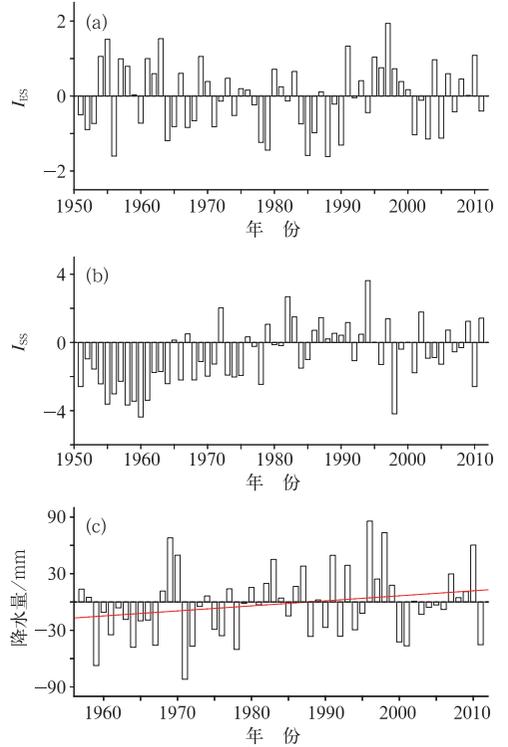


图 4 1951—2011 年 7 月区域季风指数 I_{ES} (a)、 I_{SS} (b)及长江流域降水距平(c,斜线为线性变化趋势)年际年际变化
Fig. 4 Regional monsoon intensity indices I_{ES} (a), I_{SS} (b) and annual variation of precipitation anomaly over Yangtze River Valley (c, solid line for linear tendency) in July 1950—2011

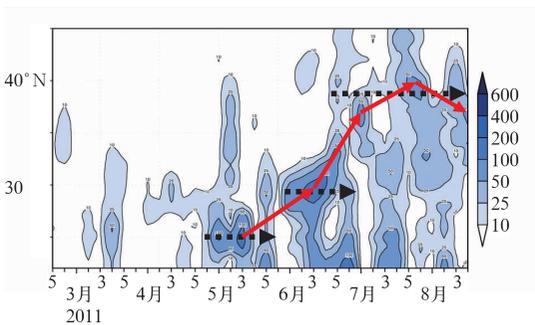


图 3 我国东部($110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)平均逐候降水纬度-时间剖面(单位: mm)
实箭头为降雨中心南北进退,虚箭头为降雨持续情况
Fig. 3 Time-latitude section of pentad precipitation mean along $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ over Eastern China (unit: mm)
(The red solid arrow for the northward and southward movement of rainfall center, the black dashed arrow for the rainfall maintaining)

图 4a 和 4b 给出了东亚南风环流指数 I_{ES} 和南海南风环流指数 I_{SS} 的年际变化,2011 年 7 月, I_{ES} 指

图 5 为 7 月降水与同期不同类别季风强度指数及超前 3 个月 Nino3.4 海表温度指数的相关分布特征。可以看到:在降水的空间场上,东亚南风环流指数 I_{ES} 与长江流域中游及江南一带为一致的正相关区,且能通过 0.05 的显著性水平检验,另一个显著正相关区在东北北部(图 5a)。7 月降水与东亚夏季风指数 $I_Z^{[8]}$ 的相关性主要表现在长江下游和中游的局部区域,且为负相关(图 5b)。南海夏季风强度指数 I_{scs} 与我国降水的正相关集中在华南东部,长江流域为不显著的负相关区(图 5c)。盛夏不同流域降水与海温同期或超前和滞后的赤道中东太平洋

Nino3.4 区海温指数的相关表明,对长江流域而言,海温超前 3 个月的情况相关性最好,随后迅速下降。7 月降水与超前 3 个月 Nino3.4 海表温度指数相关结果表明,与东亚南风环流指数 I_{ES} 类似,长江流域

中部为显著的正相关区,即春季 El Nino 事件有利于该地区 7 月降水偏多;La Nina 事件,则反之(图 5d)。

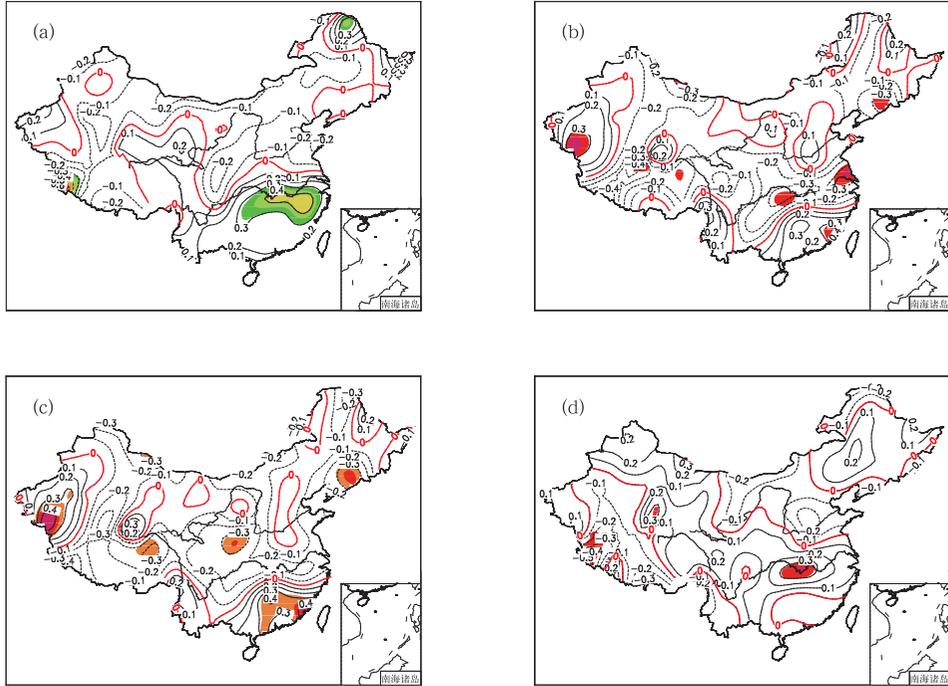


图 5 7 月降水与同期不同类别季风强度指数及超前 3 个月 Nino3.4 海表温度指数的相关分布 (阴影区表示通过 0.05 的显著性水平检验)

(a) I_{ES} , (b) I_Z , (d) I_{SCS} , (c) Nino3.4

Fig. 5 The linear correlation coefficient distributions of July precipitation with different monsoon indices and the Nino3.4 SSTA index ahead of 3 months (shaded areas indicate passing through the test at $\alpha=0.05$ significance level)

(a) I_{ES} , (b) I_Z , (c) I_{SCS} , (d) Nino3.4 index

为了分析不同流域 7 月降水不同尺度周期变化特征,对 20 世纪 50 年代以来长江流域、淮河流域、海河流域、黄河流域、珠江流域、辽河流域、松嫩流域等七大江河流域降水距平序列进行 Morlet 小波变换。长江流域降水功率谱在不同年代表现出不同的特征,70 年代前后以 4~6 a 周期最为显著,并通过 10% 的红噪声检验(图 6 阴影区黑色实线);90 年代后主要有 2~4 和 6~8 a 的周期;全域功率谱方差信度检验结果显示 10~12 a 周期能通过 10% 的红噪声检验(图 6 右侧),表明长江流域 7 月降水年代际变化显著。目前该流域降水处于年代际偏少阶段。淮河流域降水全域功率谱方差信度检验结果 2、8 和 16~20 a 三个显著的变化周期;海淮河流域

降水全域功率谱方差通过 5% 的红噪声检验的周期有 2、12~16 a;黄河流域具有 2~6 a 的周期和 16 a 左右的显著周期(图略)。

4 2011 年 7 月长江流域气候异常成因分析

分析表明,2011 年 7 月我国七大流域气候异常主要集中在长江流域,具体表现为降水显著偏少、气温明显偏暖,流域上游及湖南等地气象干旱发展,而其他流域降水基本接近正常。造成上述异常的主要原因大致有以下三个因素:即大气对外强迫响应、大气环流系统与东亚季风异常、长江流域整层水汽条件与降水效率。

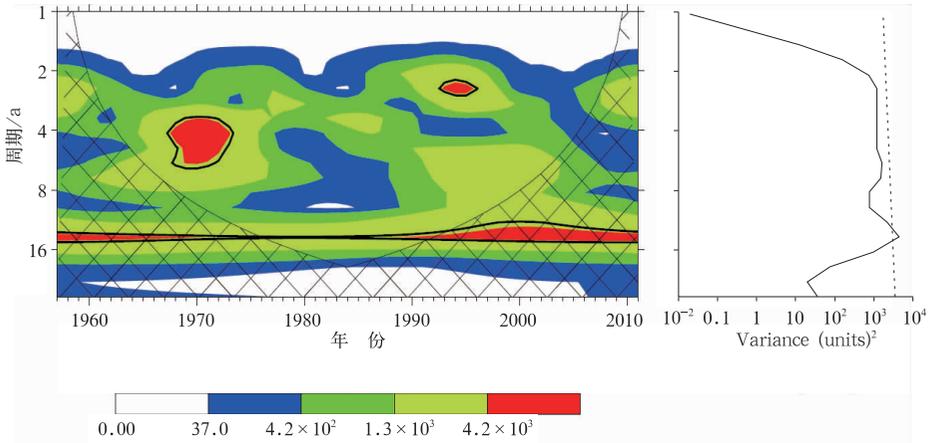


图 6 长江流域 7 月降水小波功率谱分析

(黑色轮廓通过 0.1 的显著性水平检验,阴影区为功率谱,右侧红噪音为通过 0.1 的显著性水平检验)

Fig. 6 Wavelet power spectrum of July precipitation over Yangtze River Valley,

The contour levels are chosen so that 75%, 50%, 25%, and 5% of the wavelet power are above each level, respectively. The cross-hatched region is the cone of influence, where zero padding has reduced the variance

Black contour is the 0.1 significance level, using a red-noise (autoregressive lag1) background spectrum

The right black line is global wavelet power spectrum and the dashed line is the significance for the global wavelet spectrum, assuming the same significance level and background spectrum

图 7 为 7 月 850 hPa 距平流场分布,可以看到热带西太平洋为一气旋性距平,南方涛动指数一直为正值,在海温超前 3 个月的曲线变化上尤为明显,表明大气对赤道中东太平洋海温状况的响应依然存在 2010/2011 年 La Nina 特征,统计分析表明 La Nina 年会导致于长江流域降水偏少。850 hPa 距平流场进一步表明长江流域为北风距平与发散气流,不利于冷暖空气的交汇;同时,热带孟加拉湾为反气旋性距平流场,印度西风气流偏弱,来自索马里越赤道西南转向的气流偏弱。因此,大气对外强迫 La Nina 特征的响应是长江流域降水偏少的气候背景原因。东亚南风环流指数 I_{ES} 即副热带季风强度指数偏弱(图 4a)和长江流域副热带地区正高度场距平(图 8)是长江流域降水偏少的直接原因。可以看到,赤道西太平洋副热带高压异常偏弱,鄂霍次克海阻塞高压异常强大,导致贝加尔湖一带冷空气向低压槽侵袭,7 月下旬华北和东北强降水频繁发生,我国东部雨带明显北抬。国家气候中心对长江中下游梅雨监测结果²⁾表明,2011 年出梅时间为 6 月 26 日,较常年偏早 12 天。

长江流域降水偏少的根本原因是该域降水效率低,整层水汽条件为亏损。根据资料条件,图 9a 给

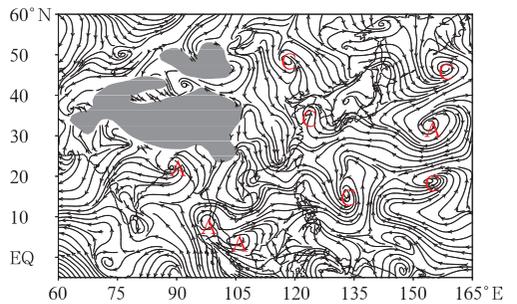


图 7 2011 年 7 月 850 hPa 距平流场分布

(阴影区为 1500 m 以上的高原,字符 A 和 C 分别表示反气旋和气旋性距平环流)

Fig. 7 The distribution of 850 hPa flow field anomaly in July 2011

(shaded region is 1500 m above plateau)

(Characters A and C express the anticyclone and the cyclone anomalous circulation, separately)

出了 25°~35°N、97.5°~117.5°N 范围(大致相当于长江流域)平均降水与气柱可降水量比值的逐日分布,可以看到流域降水效率在 10%~20% 左右,月平均降水效率为 12.7%。造成降水效率偏低的直接因素是流域内水汽收支为显著亏损(图 9b),进一

²⁾ 国家气候中心重要气候信息,2011(87)

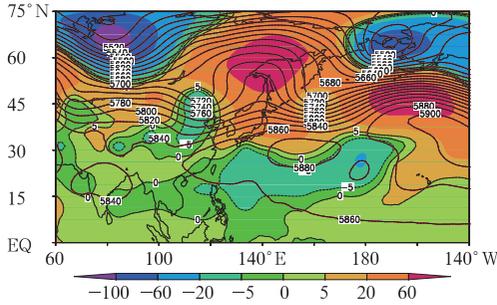


图 8 2011 年 7 月 500 hPa 高度及距平场分布(阴影区,粗线为临界特征)

Fig. 8 The distribution of monthly mean 500 hPa geopotential height and the anomaly (shaded, heavy line for critical characteristics) in July 2011

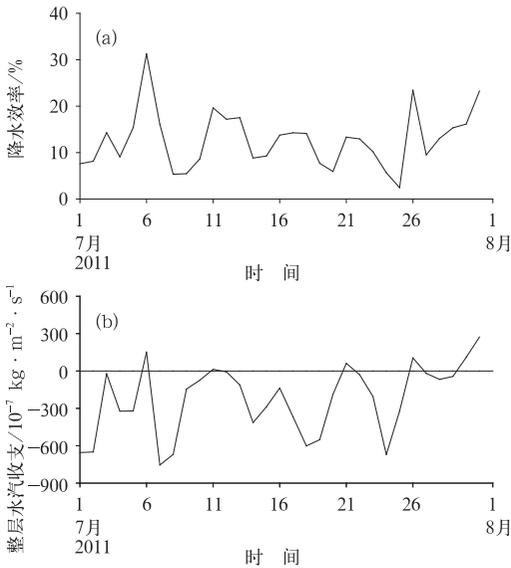


图 9 2011 年 7 月长江流域(25°~35°N, 97.5°~117.5°E)

降水效率(a, 单位: %)和整层水汽收支(b, 单位: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 9 Precipitation efficiency (a, unit: %) and total moisture budget of near Yangtze River Valley (b, unit: $10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in July 2011

步分析诊断表明, 总体亏损主要是由经向水汽输送为负贡献而造成。由于长江流域范围内对流活动减弱, 降水过程异常偏少, 降水强度异常偏弱。

5 结论

综上所述, 关于 2011 年 7 月我国七大江河流域气候特点、气候变化特征及长江流域降水异常成因分析, 可以得到以下结论:

(1) 2011 年 7 月七大江河流域降水量总体偏少, 除海河流域正常略偏多外, 淮河流域、黄河流域、

珠江流域、辽河流域和松嫩流域正常略偏少, 而长江流域降水属异常偏少(-26.0%); 流域气温继续维持变暖特征, 松嫩流域正距平最为显著(1.1°C), 为均方根差值的 1.25 倍。

(2) 七大江河流域近 60 年降水变化线性趋势可分为三种类型: 即珠江流域和长江流域的线性增加型; 淮河流域的基本不变型; 辽河流域、海河流域、黄河流域和松嫩流域的线性减少型; 流域气温变化线性趋势均表现出增温特征, 除长江流域和淮河流域增温幅度较小, 而松嫩流域和黄河流域线性增暖趋势最为显著。

(3) 不同流域降水年际变化和年代际变化显著。长江流域降水全域功率谱方差信度检验结果显示 10~12 a 周期能通过 10% 的红噪声检验, 目前处于降水年代际偏少阶段。淮河流域、海河流域和黄河流域等具有显著年代际变化特征。

(4) 东亚南风环流指数 I_{ES} 与长江流域中游及江南一带为一致的正相关, 且能通过 0.05 显著性水平检验; 7 月降水与超前 3 个月 Nino3.4 海表温度指数为显著的正相关区, 表明春季 La Nina 事件不利于长江流域降水偏多。

(5) 2011 年 7 月长江流域降水异常偏少的主要原因: 一是大气对赤道中东太平洋外强迫的响应持续着 La Nina 的形态; 二是东亚大气环流系统异常与东亚副热带季风偏弱, 副热带高压脊线位置阶段性先偏北后偏南, 梅雨提前结束, 雨带长时间北抬; 三是长江流域整层水汽条件差, 水汽收支显著亏损, 同时, 流域降水效率低。

参考文献

- [1] 唐新明, 李莉, 季小燕, 等. 全国七大江河流域重点防范区域数据流程模型(CDEM)数据库的建立[J]. 测绘通报, 2002, (6): 19-22.
- [2] 徐晶, 林建, 姚学祥, 等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用[J]. 气象, 2001, 27(11): 13-16.
- [3] 胡景高, 周兵, 陶丽. 南亚高压特征参数与我国夏季降水的关系分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 51-56.
- [4] 陶亦为, 孙照渤, 李维京, 等. ENSO 与青藏高原积雪的关系及其对我国夏季降水异常的影响[J]. 气象, 2011, 37(8): 88-95.
- [5] 戴泽军, 宇如聪, 李建, 等. 三套再分析资料的中国夏季降水日变化特征[J]. 气象, 2011, 37(1): 21-30.
- [6] 张文君, 周天军, 宇如聪. 中国东部水分收支的初步分析[J]. 大气科学, 2007, 31(2): 330-345.
- [7] 周兵, 何金海, 吴国雄, 等. 东亚副热带季风特征及其指数的建立[J]. 大气科学, 2003, 27(11): 123-135.
- [8] 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流[J]. 气象学报, 2003, 64(4): 559-568.
- [9] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79: 61-78.