

吴荷, 陈海山, 黄菱芳. 2015. 欧亚中高纬春季地表感热异常与长江中下游夏季降水的可能联系 [J]. 气候与环境研究, 20 (1): 119–128, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.14003. Wu He, Chen Haishan, Huang Lingfang. 2015. Possible linkage between spring surface sensible heat flux anomalies over the mid–high latitudes of the Eurasian Continent and summer precipitation in the middle–lower reaches of the Yangtze River [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 20 (1): 119–128.

欧亚中高纬春季地表感热异常与长江中下游 夏季降水的可能联系

吴荷^{1,2} 陈海山^{1,2} 黄菱芳^{1,2}

¹ 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 气象灾害教育部重点实验室, 南京 210044

² 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

摘 要 利用国家气候中心提供的中国区域 753 站降水观测资料、ECMWF 逐月地表感热通量再分析资料和 NECP/NCAR 再分析资料, 讨论了欧亚大陆中高纬春季地表感热异常与长江中下游夏季降水之间的联系及其相关的物理机制。分析发现欧亚大陆中高纬春季地表感热异常与长江中下游地区夏季降水存在显著的正相关: 感热偏强期, 长江中下游夏季降水偏多; 感热偏弱期, 长江中下游夏季降水偏少。春季感热异常偏强时, 夏季东亚副热带西风急流主体位置偏东、强度偏强、范围偏大, 长江中下游地区主要受辐合上升气流控制, 水汽输送条件好, 降水异常偏多。而春季感热偏弱时, 情况大致相反, 则夏季降水异常偏少。研究表明欧亚大陆中高纬春季地表感热通量异常变化对我国长江中下游夏季降水预测具有一定的指示意义。

关键词 欧亚大陆中高纬 地表感热通量 大气环流异常 长江中下游 夏季降水

文章编号 1006-9585 (2015) 01-0119-10

中图分类号 P461

文献标识码 A

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2014.14003

Possible Linkage between Spring Surface Sensible Heat Flux Anomalies over the Mid–High Latitudes of the Eurasian Continent and Summer Precipitation in the Middle–Lower Reaches of the Yangtze River

WU He^{1,2}, CHEN Haishan^{1,2}, and HUANG Lingfang^{1,2}

¹ Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

² School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract On the basis of daily precipitation observations at 743 stations in China and monthly surface sensible heat flux data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis data (ERA40 and ERA-interim) as well as that of NCEP/NCAR reanalysis data, the physical mechanism and possible linkage between spring surface sensible heat flux anomalies in the mid–high latitudes of the Eurasian Continent and summer precipitation over the middle–lower reaches of the Yangtze River is analyzed in this study. The results show a significant positive correlation between them. Further analysis indicates that strong spring surface sensible heating in the mid–high latitudes of the Eurasian Continent

收稿日期 2014-01-03; **网络预出版日期** 2014-05-12

资助项目 国家自然科学基金 41230422, 科技部公益性行业(气象)科研专项 GYHY201206017, 江苏省自然科学基金——杰出青年基金项目 BK20130047, “新世纪优秀人才支持计划”

作者简介 吴荷, 女, 1988 年出生, 硕士研究生, 主要从事陆面过程与短期气候预测研究。E-mail: wuhe1029@163.com

通讯作者 陈海山, E-mail: haishan@nuist.edu.cn

always exists concurrently with the eastward shifted and strengthened East Asia subtropical westerly jet. In such a situation, evidently anomalous ascension and divergence of the water vapor transport result in increased summer precipitation over the middle-lower reaches of the Yangtze River. On the contrary, weak surface sensible heating tends to cause less precipitation in this area. Therefore, the spring surface sensible heat flux anomalies over the Eurasian Continent in the mid-high latitudes can be a potential predictor for the summer precipitation prediction in the middle-lower reaches of the Yangtze River.

Keywords Mid-high latitudes of the Eurasian Continent, Surface sensible heat flux, Atmospheric general circulation anomaly, Middle-lower reaches of the Yangtze River, Summer precipitation

1 引言

长江中下游地区属于典型的东亚季风气候,受东亚夏季风的影响,夏季降雨量大且集中,洪涝频发。据统计长江中下游地区约每2~3年发生一次洪涝灾害(姜彤和施雅风,2003),其对人民生命财产及社会和谐发展都带来了巨大影响。

自20世纪70年代末以来,我国夏季降水发生了显著的年代际变化,东部地区夏季降水空间分布呈现南涝北旱型,同期环流形势也发生了显著年代际变化(李崇银等,2002; Yang and Zhang, 2003; 黄荣辉等,2006)。近年来,我国长江流域夏季降水减少,而华北、东北降水增多,南涝北旱型的降水分布形势可能会逐渐转变成南旱北涝的分布特征(翟建青等,2009; Xu et al., 2011),这种形势的转变将直接影响到长江中下游地区夏季旱涝灾害的发生。

我国夏季降水受多重因素共同影响。众多学者从季风(张庆云等,2003; 刘芸芸和丁一汇,2009)、环流形势(陶诗言等,1958; 马音等,2012)等角度出发,研究了大气环流异常与我国夏季降水的关系。还有一些学者从海洋热状况出发,研究了不同海域的热状况异常与中国夏季降水的可能联系(肖子牛等,2002; 苗秋菊等,2002; 邓伟涛等,2009)。相比而言,针对陆面过程,尤其是陆面热力异常对气候及大气环流影响的研究还不够完善。叶笃正等(1991)早期的研究已指出陆面异常变化引起的气候变异可以对大范围的气候产生重要影响。陆地表面是整个气候系统中一个既重要又复杂的分量,陆面与大气及其他圈层之间的相互作用可以对大气环流及气候状况产生极大影响(孙菽芬,2005)。陆地表面是大气运动的重要下边界条件,土壤温度(汤懋苍等,1982,1986,1987)、土壤湿度(孙丞虎等,2005; 梁乐宁和陈海山,2010)、感热通

量(李栋梁等,2003)等重要陆面因子,均对气候变化有着重要影响。欧亚大陆作为地球表面最大的一块陆地,其陆面状况复杂多变,下垫面热力状况的变化势必会对大气环流产生重要影响。地气间的感热交换是地气能量交换的主要形式,地表感热通量、潜热通量在很大程度上决定着地表能量平衡,地表能量平衡通过与其上层大气作用影响局地乃至更大范围的大气环流(钱正安等,2001; 布和朝鲁等,2002)。

就地表感热通量对气候影响,前人已取得了一些进展,但多数研究重点集中于欧亚大陆中低纬地区地表感热异常的作用。例如:李栋梁等(2003)、柏晶瑜等(2003)研究发现青藏高原感热异常对长江中下游地区夏季降水存在显著影响。周连童和黄荣辉(2008)、高荣等(2008)发现中国西北地区地表感热与长江中下游地区夏季降水存在很好的正相关关系。周长春等(2009)指出中亚不同季节感热异常对我国西北温度、降水有着不同程度的影响。而梁姗姗和钱永甫(2006)、李超等(2012)研究认为亚非、北非感热异常对我国东部地区降水存在滞后影响,且具有较好的持续性。

相比而言,目前针对欧亚大陆中高纬地区感热通量异常影响的研究不多,其影响机制也仍不十分明确。研究指出欧亚中高纬地区产生的外强迫能够使得大气产生低频遥响应,对东亚气候及全球大气环流有着重要影响(李崇银和肖子牛,1993; Wu et al., 2009)。我国地处东亚,位于欧亚大陆中高纬下游,长江中下游地区夏季降水受环流异常的影响更为直接。欧亚大陆中高纬地区感热通量异常与长江中下游降水之间是否存在一定联系?基于以上考虑,本文将重点分析欧亚大陆中高纬地区春季地表热通量与长江中下游地区夏季降水的关系,并通过相应环流异常特征分析初步探讨其影响长江中下游地区夏季降水的物理

机制。

2 资料与方法

本文采用的降水资料是国家气候中心提供的 1951~2012 年中国区域 753 站逐日平均降水观测资料；考虑到资料缺测问题，本文最终选取 478 个站点。

NCEP/NCAR 和 ECMWF 再分析资料是目前应用较为广泛的两套再分析资料，前人研究发现 ECMWF 再分析资料对于地表感热通量的表达较好（Renfrew et al., 2002；刘晓冉等，2008），因此本研究采用 ECWMF ERA-40 和 ERA-interim 逐月地表感热通量再分析资料，空间分辨率分别为 2.5° （纬度） $\times 2.5^\circ$ （经度）和 1.5° （纬度） $\times 1.5^\circ$ （经度），时段分别为 1959~2002 年和 1979~2011 年。本文研究时段为 1961~2010 年，由于资料长度有限，为延长资料的时间序列需对两段资料进行处理：对两段资料重叠年份即 1979~2000 年 22 年春季地表感热进行了时空分布特征及平均场的对比，两段资料重叠年份变化特征较一致（图略），因此选取 1961~2000 年的 ERA-40 感热资料、2000~2010 年的 ERA-interim 感热资料，空间分辨率均处理成 2.5° （纬度） $\times 2.5^\circ$ （经度），合并作为 1961~2010 年春季地表感热资料进行分析。考虑到资料的连续性，环流场的资料使用 NECP/NCAR 逐月再分析资料，资料长度为 1959~2010 年。

在研究欧亚大陆春季地表感热的异常变化和 中国夏季降水的变化特征时，主要采用了经验正交展开（EOF）和旋转经验正交展开（REOF）等方法（吴洪宝和吴蕾，2005）。

3 欧亚中高纬春季地表感热异常与长江中下游夏季降水的关系

为了研究欧亚大陆中高纬春季地表感热与长江中下游夏季降水的关系，选取南京、合肥、上海、杭州、九江、汉口、宜昌、宁波、南昌、长沙等 49 个站点代表长江中下游地区（图 1）。欧亚大陆范围广阔，为了确定欧亚中高纬春季地表感热与长江中下游夏季降水关系密切的区域，对欧亚中高纬春季地表感热与长江中下游夏季降水进行相关分析，发现长江中下游的夏季降水与欧亚大陆中高纬春季

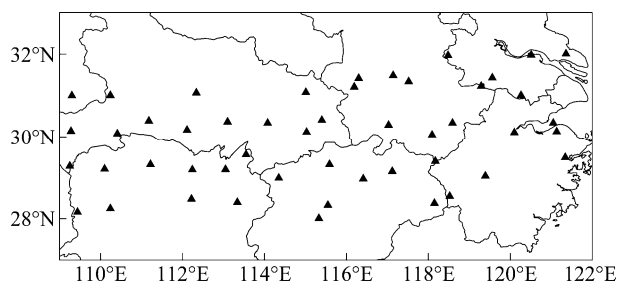


图 1 长江中下游 49 站的分布情况

Fig. 1 Spatial distribution of 49 stations in the middle-lower reaches of the Yangtze River

感热存在一个显著的正相关区（图略），且 $\alpha=0.05$ 显著性检验，因此选取此相关显著区（ $57.5^\circ\text{N}\sim 70^\circ\text{N}$ ， $105^\circ\text{E}\sim 160^\circ\text{E}$ ）作为感热异常关键区，并重点关注该区域春季地表感热异常与长江中下游夏季降水的可能联系。

图 2 给出了关键区春季感热标准化距平与中国夏季降水的相关分布，可以看到关键区春季感热异常与长江中下游夏季降水存在显著正相关，相关系数高达 0.49，通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验；即欧亚大陆中高纬春季感热增强，长江中下游同年夏季降水增多；感热减弱，则夏季降水减少。

上述分析表明欧亚中高纬春季地表感热的年际异常与长江中下游夏季降水的关系，最近的研究表明长江中下游夏季降水存在明显的年代际变化（顾薇等，2005），中国东部夏季降水异常主要表现为“南旱北涝”与“南涝北旱”的空间分布特征，且两者在 1970 年代中后期时发生了年代际异常的转换，但在 1990 年代末期后，长江中下游地区降水呈现减少趋势（图略）。那么欧亚中高纬春季地表感热与长江中下游夏季降水在年代际尺度上是否存在联系？图 3 给出了 1961~2010 年长江中下游夏季降水和关键区春季感热标准化距平时间曲线及 5 年滑动平均。从图 3a 中可以看到长江中下游夏季降水具有明显的年代际变化特征：1978 年之前降水偏少，1979~1998 年降水偏多，而 1999~2010 年降水偏少。而关键区春季地表感热也存在明显年代际变化特征（图 3b）：感热大致于 1977 年和 1999 年前后发生 2 次年代际转变，1961~1977 年感热偏弱，1978~1999 年感热异常偏强，2000 年后感热总体偏弱。不难发现，关键区春季感热与长江中下游夏季降水存在相似的年代际变化特征。为了进一步考察二者的可能联系，本文对比分析了

1961~1975 年和 1980~2000 年两个时段降水异常和感热异常的特征。图 4 给出了两个时段即 1961~1975 年平均与 1980~2000 年平均降水距平的差值

场(图 4a)及关键区春季感热距平的差值场(图 4b): 关键区感热偏弱对应长江中下游夏季降水显著减少; 感热偏强期, 降水偏多。

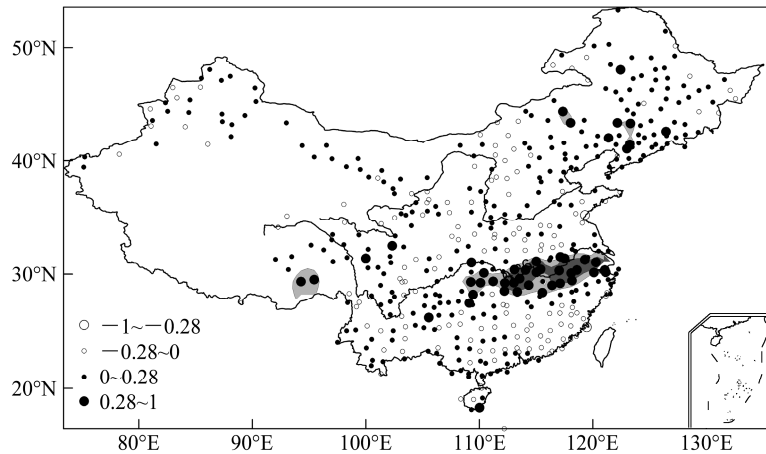


图 2 关键区感热标准化距平与中国夏季降水的相关分布(深、浅阴影分别为通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 2 Correlation between standardized spring sensible heat flux anomalies averaged over the key area and summer precipitation in China (dark and light shaded are significant at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$)

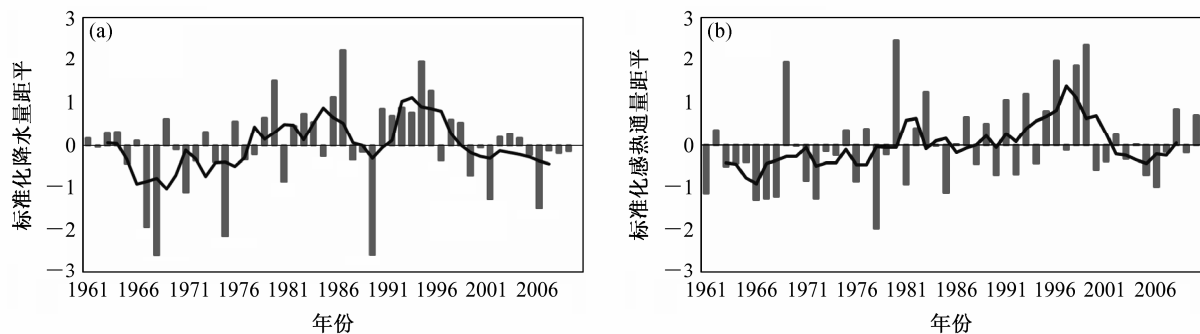


图 3 (a) 长江中下游夏季降水标准化距平和 (b) 关键区春季地表感热通量标准化距平的年际变化及其 5 年滑动平均

Fig. 3 Interannual variations of standardized anomalies of (a) summer mean precipitation over the middle-lower reaches of the Yangtze River and (b) spring sensible heat flux over the key area, and their 5-year running averages

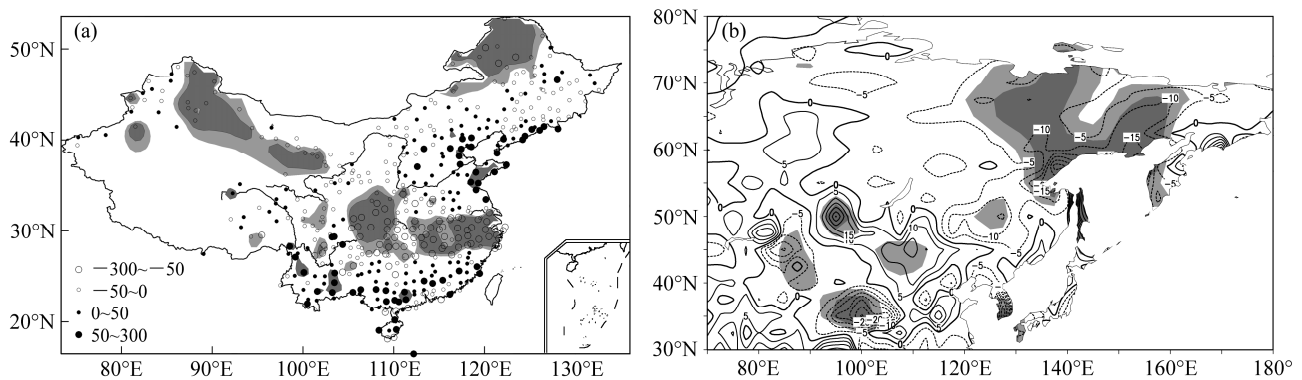


图 4 (a) 中国夏季降水距平和 (b) 关键区春季感热距平的差值场(1961~1975 年减 1980~2000 年)。深、浅阴影分别为通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性检验的区域

Fig. 4 Differences (1961-1975 minus 1980-2000) in (a) summer precipitation anomalies in China and (b) spring sensible heat flux anomalies over the key area (dark and light shadings pass the test at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ significance levels, respectively)

4 欧亚中高纬春季地表感热异常影响长江中下游夏季降水的可能机制

通过以上分析可知, 欧亚大陆中高纬春季感热强弱与中国长江中下游夏季降水显著相关, 但春季感热异常是如何对长江中下游夏季降水产生影响的呢? 大气环流异常往往是影响大范围气候异常的原因, 以下重点分析与欧亚大陆中高纬春季感热异常相关的大气环流异常特征, 以期理解欧亚大陆中高纬春季感热与我国长江中下游夏季降水之间的可能联系提供一些参考。

为了便于进一步研究两者之间的关系及环流场合成分析的需要, 这里将关键区春季感热标准化距平绝对值大(小)于等于 1.1 (−1.1) 个标准差的年份定义为感热强(弱)年, 在研究时段内选取了 7 个感热弱年(1967 年、1968 年、1971 年、1975 年、1990 年、2002 年和 2007 年)和 5 个感热强年(1980 年、1986 年、1987 年、1995 年和 1996 年)。在此基础上通过对感热强弱年环流场的分析, 重点从东亚副热带西风急流、西太平洋副热带高压、垂直环流和水汽输送等角度来探讨欧亚大陆中高纬春季感热异常影响中国长江中下游地区夏季降水的可能物理机制。

4.1 东亚副热带急流

地表感热通量作为陆面过程的一个重要因子, 其异常变化势必会对大气温度产生一定影响。图 5a 关键区春季感热通量的标准化距平与春季 500~200 hPa 平均温度场的相关分布, 可以看到相关系数自高纬向低纬呈“+ − +”的分布特征, 欧亚大陆较高纬中上层平均温度与关键区春季感热为正相关, 与中纬地区(45°N~55°N)呈显著负相关, 而与低纬则呈正相关; 因此, 感热异常增强年, 将有利于中纬地区温度降低、低纬地区温度升高, 导致中低纬交界区域南北温度梯度增大; 同时, 根据热成风原理, 南北热力差异的改变势必会对西风急流强度和位置产生影响。况雪源和张耀存(2006a)的研究指出东亚副热带西风急流的强度变化及位置移动与对流层中上层气温南北差异的分布结构有很好的对应关系, 非绝热加热对急流中心的东西移动有引导作用。东亚副热带西风急流作为影响东亚夏季气候的重要因素, 急流强度、位置的变化与中国东部夏季降水分布形势有着密切联系(杨莲梅

和张庆云, 2007, 2008; 杜银等, 2008; 张耀存和况雪源, 2008), 上述的相关分析得出感热偏强年, 增大的温度梯度应使得副热带西风急流强度增强, 这一推论由图 5b 给出的感热强弱年夏季 200 hPa 西风急流中心位置及感热与夏季 200 hPa 纬向风的相关系数分布得到证实: 温度梯度增大区域的东亚副热带急流(25°N~40°N, 90°E~130°E)强度与关键区春季感热存在显著正相关, 即而感热强年急流强度显著增强, 且急流的位置也发生相应变化: 根据宣守丽等(2011, 2013)研究中对急流中心的划分, 可以看到图中 55°E 左右为西亚急流中心, 90°E 左右为东亚急流中心, 在感热强弱年西亚急流中心没有发生显著变化, 而东亚急流的主体发生明显的东西摆动, 即感热弱年东亚急流中心主要位于欧亚大陆中部 95°E, 感热强年范围向东延伸至西太平洋洋面上。因此, 感热强年东亚副热带急流范围向东延伸, 且强度显著增强, 这种东亚急流形势有利于长江中下游地区夏季降水的增多(杜银等, 2008)。

4.2 西太平洋副热带高压

东亚副热带西风急流的强弱变化与东亚环流形势密切相关。况雪源和张耀存(2006b)的研究表明, 副热带西风急流中心位置的变化对西太平洋副热带高压的强度和位置均能产生重要影响。西太平洋副热带高压作为影响东亚气候的一个重要大气环流系统, 其夏季异常对东亚气候具有直接的影响, 尤其是与我国夏季降水异常关系密切(陶诗言等, 2001), 因此, 以下重点分析感热异常典型年份对应的夏季副热带高压的活动特征。

通过对比春季感热强、弱年 5880 gpm 和 5860 gpm 等高线的分布情况(图 6a), 可以发现感热强年副高位置较弱年偏西, 且范围更大, 这有利于我国长江流域夏季降水。总体说来, 感热强年西太平洋副热带高压活动的异常有利于长江中下游地区夏季降水偏多; 而感热弱年, 则使得长江中下游地区降水减少。进一步对关键区春季感热异常与 500 hPa 位势高度场做了相关分析(图 6b), 结果表明关键区春季感热异常与夏季 500 hPa 位势高度场在西太平洋副热带高压活动区域呈显著正相关, 感热强年副热带高压范围增大, 强度增强, 中心位置偏西, 此时我国长江中下游地区位于副热带高压的脊线北侧, 这种形势场更有利于西南气流向长江中下游地区进行水汽输送, 进而使得我国长江中下游地区夏季降水增多。而与此相反, 感热弱年副热带高

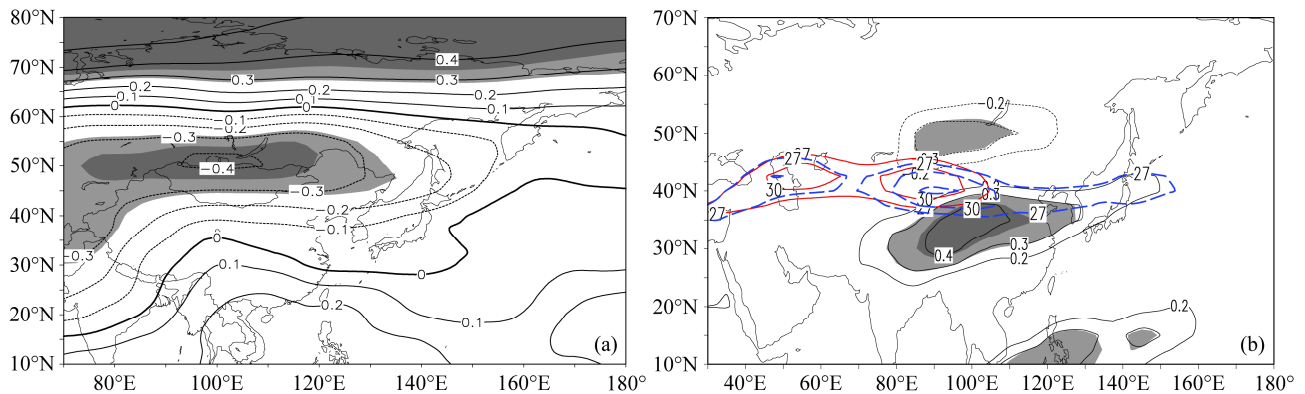


图5 关键区春季感热通量的标准化距平与 (a) 春季 500~200 hPa 平均温度场和 (b) 夏季 200 hPa 纬向风的相关系数分布 (黑色等值线)。深、浅阴影分别为通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性检验, 红色实线、蓝色虚线分别表示感热弱、强年夏季 200 hPa 西风急流中心位置

Fig. 5 Correlation coefficients between standardized spring sensible heat flux anomalies averaged over the key area and (a) spring 500–200-hPa average temperature and (b) summer 200-hPa zonal wind. Dark and light shadings pass the test at $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ significance levels, respectively; locations of summer westerly jet at 200-hPa in strong (blue dashed line) and weak (red solid line) spring sensible flux years

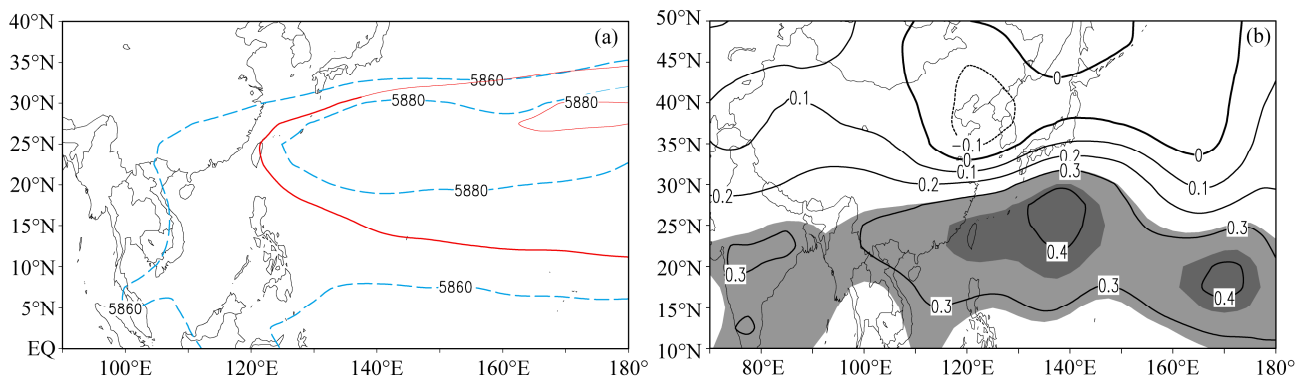


图6 (a) 感热强 (蓝色虚线)、弱 (红色实线) 年夏季 5880 gpm 和 5860 gpm 线的位置和 (b) 欧亚春季感热与 500 hPa 位势高度场的相关分布 (深、浅阴影分别为通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 6 (a) Composites of summer 5880 gpm and 5860 gpm geopotential height contours for the strong sensible heat flux years (blue dashed lines) and the weak sensible heat flux years (red solid lines) and (b) correlation between the standardized spring sensible heat flux in the key area and summer 500-hPa geopotential height (regions at significance levels $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.01$ are shaded)

压范围减小, 强度减弱, 中心位置偏东, 不利于西南气流向长江中下游地区进行水汽输送, 长江中下游地区夏季降水减少。

由以上对环流场的分析, 欧亚中高纬春季地表感热异常增强可能引起陆气之间能量交换异常, 通过大气内部运动使得中纬度中上层大气温度降低, 增大东亚地区南北热力差异, 从而导致东亚副热带西风急流强度增强, 范围向东延伸, 增强的急流可阻挡北方冷空气南下, 这有利于急流南侧大气温度升高、西太平洋副热带高压强度增强和位置向西偏移, 西南气流沿副高脊线向我国长江中下游地区输送水汽, 进而使得长江中下游地区夏季降水增多。

4.3 垂直环流和水汽输送

垂直积分的水汽输送通量与降水密切相关, 而在异常的大气环流背景下, 我国夏季水汽输送条件必然会受到影 响。图 7a 给出了感热强弱年份长江中下游地区垂直积分 (1000~300 hPa) 的夏季水汽输送合成差矢量分布及散度合成差值分布 (弱年减强年), 可以看出: 感热弱年长江中下游地区为水汽辐散区, 盛行显著的东北风, 不利于水汽沿副高西北侧向长江中下游地区的输送。另外, 结合东亚地区 (110°E~125°E) 感热强弱年经圈环流距平的纬度—高度剖面图 (图 7b), 感热弱年长江中下游地区为显著下沉区, 说明感热弱年该地区夏季对流

活动受到抑制。因此感热弱年的对流活动和水汽条件都不利于长江中下游地区降水的发生，降水减少；感热强年形势相反，有利于长江中下游地区产生降水，使得降水增多。

综上所述，当欧亚大陆中高纬春季地表感热通量偏强时，中纬地区春季上空温度偏低，南北纬温度梯度增大，夏季东亚副热带西风急流增强，有利于夏季副热带高压西伸加强和西南气流向长江中下游地区的水汽输送，同时，长江中下游地区受辐合上升气流控制，长江中下游地区夏季降水增多。相反，当欧亚大陆中高纬春季感热偏弱时，中纬度地区春季上空温度偏高，南北纬温度梯度减小，夏季东亚副热带西风急流强度减弱，不利于夏季副热带高压的西伸加强和西南气流向长江中下游地区的水汽输送，且长江中下游地区受辐散下沉气流控制，导致长江中下游地区夏季降水减少。图 8 给出欧亚大陆中高纬地区春季地表感热通量异常对长江中下游夏季降水影响的可能物理机制示意图。

5 结论与讨论

本文利用国家气候中心提供的中国区域 753 站降水观测资料、ECMWF 地表感热通量逐月再分析资料和 NECP/NCAR 再分析资料，选取了感热关键区，探讨了欧亚大陆中高纬春季感热通量与长江中下游夏季降水的相关性；利用环流场再分析资料，进一步探讨了欧亚大陆中高纬春季感热通量异常对长江中下游夏季降水影响的可能机制。得到以下结论：

(1) 欧亚大陆中高纬春季地表感热通量与我国长江中下游夏季降水存在显著正相关，具体表现为：当欧亚大陆中高纬春季感热通量增强，同年长江中下游夏季降水增多；当欧亚大陆中高纬春季感热通量减弱，同年长江中下游夏季降水减少。另外欧亚大陆中高纬春季地表感热通量与长江中下游夏季降水年代际变化密切相关：感热偏弱时期，长

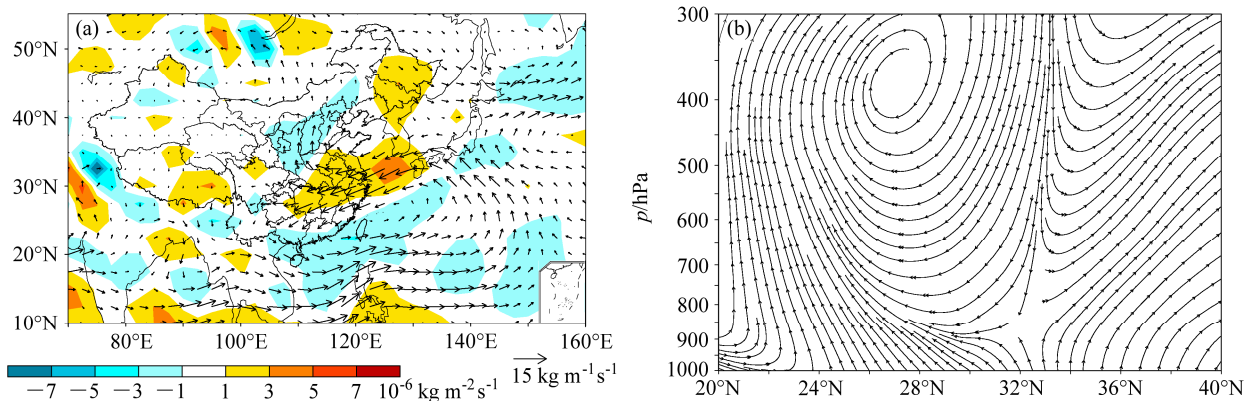


图 7 (a) 感热强、弱年垂直积分的水汽通量差值场 (箭头) 及水汽输送通量散度差值场 (填色); (b) 东亚地区 ($110^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 平均) 经圈环流差值的纬度-高度剖面图 (v 单位: m/s , w 单位: 0.01 m/s)

Fig. 7 (a) Differences (strong sensible heat flux years minus weak sensible heat flux years) of 850-hPa water vapor fluxes (vector) and their divergence (color filled) and (b) latitude-pressure cross section of the velocity difference (v in m/s and w in 0.01 m/s) averaged along $110^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ over East Asia

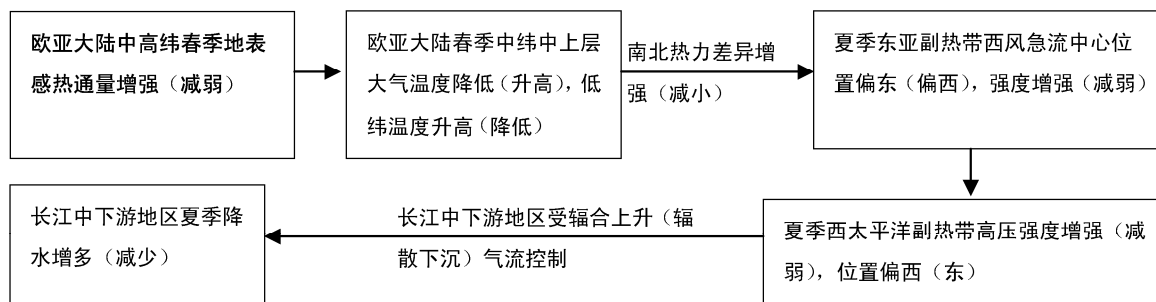


图 8 欧亚大陆中高纬春季地表感热异常对长江中下游夏季降水影响的可能机制

Fig. 8 Possible mechanism that spring sensible heat flux anomalies in the mid-high latitudes over Eurasia affect summer precipitation in the middle-lower reaches of the Yangtze River

江中下游夏季降水偏少;感热偏强时期,降水偏多。

(2) 欧亚大陆中高纬春季地表感热通量与长江中下游夏季降水之间的显著正相关与环流异常有着密切联系。当欧亚大陆中高纬春季感热通量增强,中纬地区温度降低,低纬地区温度升高,南北温度梯度增大,夏季东亚副热带西风急流主体位置偏东,强度偏强,西太平洋副热带高压强度增强,位置偏西,长江中下游地区受辐合上升气流控制,水汽输送条件好,则长江中下游地区夏季多雨。与之相反,当欧亚大陆中高纬春季感热减弱时,欧亚大陆中高纬春季感热减弱,南北温度梯度减小,夏季东亚副热带西风急流主体位置偏西,强度偏弱,太平洋副热带高压强度减弱,位置偏东,长江中下游地区受辐散下沉气流控制,水汽输送条件差,则长江中下游地区夏季少雨。

因此,欧亚大陆中高纬春季感热异常变化可作为我国长江中下游地区夏季降水的一个预报因子,对增强我国夏季气候预测的准确性具有一定实际意义。值得注意的是,感热异常可能并不是唯一引起环流异常的原因,欧亚大陆常年积雪覆盖,积雪异常对气候有重要影响。分析表明感热异常与积雪异常之间有较为密切的联系:春季融雪量高值年,地表感热偏弱,反之春季融雪量低值年,地表感热偏强,两者之间存在显著的负相关。因此感热异常可能是积雪异常引起的地表加热异常的一个重要原因,积雪异常可能是一个能够联系春季感热异常与夏季环流的纽带,因此积雪、感热、环流异常之间的具体关系有待进一步研究。另外需要指出的是,鉴于感热通量观测资料的缺乏,本文分析结果是基于 ECMWF 再分析资料得出的,且对所使用的 ERA-40 (1961~2000 年)和 ERA-interim (1979~2000 年)两段资料的处理不够完善;此外,影响我国东部夏季降水的因素有很多,陆气相互作用和大气运动过程复杂,本文仅对感热异常年环流场做了相关和合成分析,试图解释欧亚大陆中高纬春季地表感热通量影响我国长江中下游夏季降水的过程,相关影响机制还停留在统计分析上,仍需借助数值模拟进一步予以验证。

参考文献 (References)

- 布和朝鲁, 纪立人, 崔茂常. 2002. 夏季我国干旱半干旱区陆面过程能量平衡及其局地大气环流 [J]. 气候与环境研究, 7(1): 61-73. Bueh Chaolaw, Ji Liren, Cui Maochang. 2002. Energy balance of land surface process in the arid and semi-arid regions of China and its relation to the regional atmospheric circulation in summer [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (1): 61-73.
- 柏晶瑜, 徐祥德, 周玉淑, 等. 2003. 春季青藏高原感热异常对长江中下游夏季降水影响的初步研究 [J]. 应用气象学报, 14 (3): 363-368. Bai Jingyu, Xu Xiangde, Zhou Yushu, et al. 2003. Preliminary research on inhomogeneous distribution of Tibetan Plateau sensible heat fluxes in spring [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 14 (3): 363-368.
- 邓伟涛, 孙照渤, 曾刚, 等. 2009. 中国东部夏季降水型的年代际变化及其与北太平洋海温的关系 [J]. 大气科学, 33 (4): 835-846. Deng Weitao, Sun Zhaobo, Zeng Gang, et al. 2009. Interdecadal variation of summer precipitation pattern over eastern China and its relationship with the North Pacific SST [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (4): 835-846.
- 杜银, 张耀存, 谢志清. 2008. 高空西风急流东西向形态变化对梅雨期降水空间分布的影响 [J]. 气象学报, 66 (4): 566-576. Du Yin, Zhang Yaocun, Xie Zhiqing. 2008. Impacts of longitude location changes of East Asian westerly jet core on the precipitation distribution during Meiyu period in middle-lower reaches of Yangtze River valley [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (4): 566-576.
- 顾薇, 李崇银, 杨辉. 2005. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析 [J]. 气象学报, 63 (5): 728-739. Gu Wei, Li Chongyin, Yang Hui. 2005. Analysis on interdecadal variation of summer rainfall and its trend in east China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (5): 728-739.
- 高荣, 董文杰, 韦志刚. 2008. 西北干旱区感热异常对中国夏季降水影响的模拟 [J]. 高原气象, 27 (2): 320-324. Gao Rong, Dong Wenjie, Wei Zhigang. 2008. Numerical simulation of the impact of abnormality of sensible heat flux in northwest arid zone on precipitation in China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (2): 320-324.
- 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系 [J]. 大气科学, 30 (5): 730-743. Huang Ronghui, Cai Rongshuo, Chen Jilong, et al. 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (5): 730-743.
- 姜彤, 施雅风. 2003. 全球变暖、长江水灾与可能损失 [J]. 地球科学进展, 18 (2): 277-284. Jiang Tong, Shi Yafeng. 2003. Global climatic warming, the Yangtze floods and potential loss [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 18 (2): 277-284.
- 况雪源, 张耀存. 2006a. 东亚副热带西风急流季节变化特征及其热力影响机制探讨 [J]. 气象学报, 64 (5): 564-575. Kuang Xueyuan, Zhang Yaocun. 2006a. The seasonal variation of the East Asian subtropical westerly jet and its thermal mechanism [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (5): 564-575.
- 况雪源, 张耀存. 2006b. 东亚副热带西风急流位置异常对长江中下游夏季降水的影响 [J]. 高原气象, 25 (3): 382-389. Kuang Xueyuan, Zhang Yaocun. 2006b. Impact of the position abnormalities of East Asian subtropical westerly jet on summer precipitation in middle-lower reaches of Yangtze River [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 25 (3): 382-389.

- 李崇银, 肖子牛. 1993. 大气对外强迫低频遥响应的数值模拟——II: 对欧亚中高纬“寒潮”异常的响应 [J]. 大气科学, 117 (5): 523–531. Li Chongyin, Xiao Ziniu. 1993. Numerical simulation of the atmospheric low frequency teleresponse to the external forcing, II: Response to the anomalous “cold wave” over the middle-high latitude Eurasian area [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 117 (5): 523–531.
- 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 2002. 年代际气候变化研究 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 209–219. Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. 2002. The study of interdecadal climate variability [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 209–219.
- 李超, 魏建苏, 孙泓川, 等. 2012. 北非感热年际变化与中国东部降水的遥相关 [J]. 气象科学, 32 (4): 443–450. Li Chao, Wei Jiansu, Sun Hongchuan, et al. 2012. Correlation analysis between the decadal character of sensible heat in north Africa and rainfall in east China [J]. Journal of the Meteorological Sciences (in Chinese), 32 (4): 443–450.
- 李栋梁, 魏丽, 李维京, 等. 2003. 青藏高原地面感热对北半球大气环流和中国气候异常的影响 [J]. 气候与环境研究, 8 (1): 60–70. Li Dongliang, Wei Li, Li Weijing, et al. 2003. The effect of surface sensible heat flux of the Qinghai-Xizang Plateau on general circulation over the Northern Hemisphere and climatic anomaly of China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (1): 60–70.
- 梁乐宁, 陈海山. 2010. 春季华南土壤湿度异常与中国夏季降水的可能联系 [J]. 大气科学学报, 33 (5): 536–546. Liang Lening, Chen Haishan. 2010. Possible linkage between spring soil moisture anomalies over South China and summer rainfall in China [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (5): 536–546.
- 梁姗姗, 钱永甫. 2006. 亚非感热异常时空特征及其与我国降水异常的关系 [J]. 南京气象学院学报, 29 (5): 620–626. Liang Shanshan, Qian Yongfu. 2006. Sensible heat oscillation character of Asian and African continents and its relation to precipitation anomaly of Eastern China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 29 (5): 620–626.
- 刘晓冉, 李国平, 程炳岩. 2008. 青藏高原前期冬春季地面热源与我国夏季降水关系的初步分析 [J]. 大气科学, 32 (3): 561–571. Liu Xiaoran, Li Guoping, Cheng Bingyan. 2008. The preliminary analysis of the relationships between the surface heat source over the Tibetan Plateau in winter and spring and the summer rainfall over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (3): 561–571.
- 刘芸芸, 丁一汇. 2009. 西北太平洋夏季风对中国长江流域夏季降水的影响 [J]. 大气科学, 33 (6): 1225–1237. Liu Yunyun, Ding Yihui. 2009. Influence of the western North Pacific summer monsoon on summer rainfall over the Yangtze River basin [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (6): 1225–1237.
- 苗秋菊, 徐祥德, 张雪金. 2002. 长江中下游旱涝的环流型与赤道东太平洋海温的遥相关波列特征 [J]. 气象学报, 60 (6): 687–697. Miao Qiuju, Xu Xiangde, Zhang Xuejin. 2002. Characteristics of teleconnection wave train for circulation pattern of flood/drought in the middle and lower reaches of Yangtze River and sea surface temperature over equatorial East Pacific [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60 (6): 687–697.
- 马音, 陈文, 冯瑞权, 等. 2012. 我国东部梅雨期降水的年际和年代际变化特征及其与大气环流和海温的关系 [J]. 大气科学, 36 (2): 397–410. Ma Yin, Chen Wen, Feng Ruiquan, et al. 2012. Interannual and interdecadal variations of precipitation over eastern China during Meiyu season and their relationships with the atmospheric circulation and SST [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (2): 397–410.
- 钱正安, 吴统文, 宋敏红, 等. 2001. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题 [J]. 地球科学进展, 16 (1): 28–38. Qian Zhengang, Wu Tongwen, Song Minhong, et al. 2001. Arid disaster and advances in arid climate researches over Northwest China [J]. Advance in Earth Sciences (in Chinese), 16 (1): 28–38.
- Renfrew I A, Moore G, Guest P S, et al. 2002. A comparison of surface layer and surface turbulent flux observations over the Labrador Sea with ECMWF analyses and NECP reanalyses [J]. J. Phys. Oceanogr., 32 (2): 383–400.
- 孙承虎, 李维京, 张祖强, 等. 2005. 淮河流域冬春季土壤湿度异常对夏季降水的影响及其应用的研究 [J]. 气象学报, 63 (1): 115–122. Sun Chenghu, Li Weijing, Zhang Zuqiang, et al. 2005. Impact of Huaihe River basin soil temperature and humidity abnormality in pre-winter and springtime on the anomalous summer rainfall and its application [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (1): 115–122.
- 孙菽芬. 2005. 陆面过程的物理、生化机理和参数化模型 [M]. 北京: 气象出版社, 61–70. Sun Shufen. 2005. Physical Biochemical Mechanism and Parametric of Land Surface Processes (in Chinese) [M]. Beijing: Chinese Meteorological Press, 61–70.
- 汤懋苍, 孙淑华, 钟强, 等. 1982. 下垫面能量储放与天气变化 [J]. 高原气象, 1 (1): 24–34. Tang Maocang, Sun Shuhua, Zhong Qiang, et al. 1982. The energy variation of the underlying surface and the changes of the weather and climate [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 1 (1): 24–34.
- 汤懋苍, 尹建华, 蔡洁萍. 1986. 冬季地温分布与春、夏降水相关的统计分析 [J]. 高原气象, 5 (1): 40–52. Tang Maocang, Yin Jianhua, Cai Jieping. 1986. A statistical relationship between the field of soil temperature in winter and of the precipitation in spring and flood season [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 5 (1): 40–52.
- 汤懋苍, 张建, 王敬香. 1987. 用冬季地温预报汛期降水距平的初步方法 [J]. 高原气象, 6 (3): 244–255. Tang Maocang, Zhang Jian, Wang Jingxiang. 1987. A primary method for predicting rainfall amount of flood season by winter's soil temperature [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 6 (3): 244–255.
- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 2001. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动 [J]. 气象学报, 59 (6): 747–758. Tao Shiyang, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. 2001. An observational study on the behavior of the subtropical high over the West Pacific in summer [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 59 (6): 747–758.
- 陶诗言, 赵焯佳, 陈晓敏. 1958. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系 [J]. 气象学报, 29 (2): 119–134. Tao Shiyang, Zhao Huangjia, Chen Xiaomin. 1958. The relationship between may-yü in far east and the behavior of circulation over Asia [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 29 (2): 119–134.
- 吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 371pp. Wu Hongbao, Wu Lei. 2005. Diagnosis and Prediction Methods of Climate Variability (in Chinese) [M]. Beijing: Chinese Meteorological

- Press, 371pp.
- Wu B Y, Yang K, Zhang R H. 2009. Eurasian snow cover variability and its association with summer rainfall in China [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 26 (1): 31–44.
- 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 2002. 印度洋地区异常海温的偶极震荡与中国降水及海温的关系 [J]. *热带气象学报*, 18 (4): 335–344. Xiao Ziniu, Yan Hongming, Li Chongyin. 2002. The relationship between Indian ocean SSTA dipole index and the precipitation and temperature over China [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 18 (4): 335–344.
- 宣守丽, 张庆云, 孙淑清. 2011. 夏季东亚高空急流月际变化与淮河流域降水异常的关系 [J]. *气候与环境研究*, 16 (2): 231–242. Xuan Shouli, Zhang Qingyun, Sun Shuqing. 2011. Relationship between the monthly variation of the East Asia westerly jet and the Huaihe River valley rainfall anomaly in summer [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 16 (2): 231–242.
- 宣守丽, 张庆云, 孙淑清, 等. 2013. 夏季逐月东亚高空急流异常对我国降水的影响 [J]. *气候与环境研究*, 18 (6): 781–792. Xuan Shouli, Zhang Qingyun, Sun Shuqing, et al. 2013. Influence of the monthly variation of the East Asia westerly jet on summer rainfall in China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 18 (6): 781–792.
- Xu Kang, He Jinhai, Zhu Congwen. 2011. The interdecadal linkage of the summer precipitation in eastern China with the surface air temperature over Lake Baikal in the past 50 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 69 (4): 570–580.
- 杨莲梅, 张庆云. 2007. 夏季东亚西风急流 Rossby 波扰动异常与中国降水 [J]. *大气科学*, 31 (4): 586–595. Yang Lianmei, Zhang Qingyun. 2007. Anomalous perturbation kinetic energy of Rossby wave along East Asian westerly jet and its association with summer rainfall in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (4): 586–595.
- 杨莲梅, 张庆云. 2008. 夏季亚洲副热带西风急流气候特征 [J]. *气候与环境研究*, 13 (1): 10–20. Yang Lianmei, Zhang Qingyun. 2008. Climate features of summer Asia subtropical westerly jet stream [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 13 (1): 10–20.
- Yang Haijun, Zhang Qiong. 2003. On the decadal and inter decadal variability in the Pacific ocean [J]. *Advances in Atmospheric Science*, 20 (2): 173–184.
- 叶笃正, 曾庆存, 郭裕福. 1991. 当代气候研究 [M]. 北京: 气象出版社, 256pp. Ye Duzheng, Zeng Qingcun, Guo Yufu. 1991. *Current Research in Climate (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 256pp.
- 周长春, 高晓清, 陈文, 等. 2009. 中亚感热异常对我国西北温度、降水的影响 [J]. *高原气象*, 28 (2): 395–401. Zhou Changchun, Gao Xiaoqing, Chen Wen, et al. 2009. The impact of sensible heat flux anomaly over central Asia on temperature and precipitation in Northwest China [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 28 (2): 395–401.
- 翟建青, 曾小凡, 苏布达, 等. 2009. 基于 ECHAM5 模式预估 2050 年前中国旱涝格局趋势 [J]. *气候变化研究进展*, 5 (4): 220–225. Zhai Jianqing, Zeng Xiaofan, Su Buda, et al. 2009. Patterns of dryness/wetness in China before 2050 projected by the ECHAM5 model [J]. *Advance in Climate Change Research (in Chinese)*, 5 (4): 220–225.
- 周连童, 黄荣辉. 2008. 中国西北干旱、半干旱区感热的年代际变化特征及其与中国夏季降水的关系 [J]. *大气科学*, 32 (6): 1276–1288. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2008. Interdecadal variability of sensible heat in arid and semi-arid regions of Northwest China and its relation to summer precipitation in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (6): 1276–1288.
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流 [J]. *气象学报*, 61 (4): 559–568. Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Chen Lieting. 2003. The inter-annual variability of east Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 61 (4): 559–568.
- 张耀存, 况雪源. 2008. 东亚副热带西风急流位置变化与亚洲夏季风爆发的关系 [J]. *暴雨灾害*, 27 (2): 97–103. Zhang Yaocun, Kuang Xueyuan. 2008. The relationship between the location change of the East Asian subtropical westerly jet and Asian summer monsoon onset [J]. *Torrential Rain and Disasters (in Chinese)*, 27 (2): 97–103.