

陈海山,杨静秋,张莞昕,等.中国东北初夏降水与冷涡活动及西亚春季陆面热力异常的可能联系[J].海洋气象学报,2018,38(1):10-16.

Chen Haishan, Yang Jingqiu, Zhang Wanxin, et al. Possible linkages among early summer precipitation in Northeast China, cold vortex and spring land surface thermal anomaly over West Asia[J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(1): 10-16. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.002. (in Chinese)

中国东北初夏降水与冷涡活动及 西亚春季陆面热力异常的可能联系

陈海山^{1,2}, 杨静秋^{1,2}, 张莞昕^{1,2}, 滕方达³

(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/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害教育部重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044; 3. 沈阳中心气象台, 辽宁 沈阳 110001)

摘要: 基于国家气候中心提供的站点降水资料、欧洲中期天气预报中心(ECMWF)再分析 ERA-Interim 陆面温度资料及美国国家环境预报中心和大气研究中心(NCEP/NCAR)位势高度、风场再分析资料,采用相关、合成、线性回归等多种统计分析方法,初步探讨了东北初夏降水与西亚前期(春季)陆面热力异常的可能联系。研究发现,东北初夏降水与前期春季西亚地区的陆面温度存在较为密切的联系,西亚地区(30~70°E, 25~45°N)陆面春季异常增暖,对应东北初夏降水减少,尤其是东北地区东北部降水减少显著。进一步分析表明,西亚地区春季陆面异常增暖能引起初夏贝加尔湖附近地区反气旋性异常环流,导致初夏东北冷涡活动偏弱,东北初夏降水减弱。上述结果表明,西亚春季的陆面热力异常可以为东北初夏降水预测提供有效的前期信号。

关键词: 东北初夏降水; 东北冷涡; 陆面热力异常

中图分类号: P434 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)01-0010-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.01.002

Possible linkages among early summer precipitation in Northeast China, cold vortex and spring land surface thermal anomaly over West Asia

CHEN Haishan^{1,2}, YANG Jingqiu^{1,2}, ZHANG Wanxin^{1,2}, TENG Fangda³

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 3. Shenyang Central Meteorological Observatory, Shenyang 110001, China)

Abstract Based on the station precipitation data in Northeast China provided by the National Climate Center of China, the ERA-Interim land surface temperature reanalysis data provided by the ECMWF, the geopotential height and wind speed reanalysis data from the NCEP/NCAR, the possible relationship between early summer precipitation in Northeast China and spring land surface thermal anomaly over West Asia is investigated by using statistical methods including correlation, composite analysis and linear regression. Results indicate that early summer rainfall in Northeast China bears a close relationship with spring land surface temperature over West Asia (25—45°N, 30—70°E). The warming of land surface can

收稿日期: 2017-11-08; 修订日期: 2017-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41625019, 41230422)

作者简介: 陈海山, 男, 博士, 教授, 主要从事陆面过程模拟、陆-气相互作用、气候-生态系统相互作用及气候数值模拟等研究, haishan@nuist.edu.cn。

induce abnormal anticyclonic circulation at the mid and upper levels of troposphere around the Lake of Baikal in the early summer, causing weakened cold vortex and decreased early summer precipitation in Northeast China, especially in the northeast part. The above results suggest that spring land surface thermal condition over West Asia can provide prediction of early summer precipitation over Northeast China in advance.

Key words early summer precipitation in Northeast China; cold vortex in Northeast China; land surface thermal anomaly

引言

中国东北地区地处亚洲大陆的东北部,其降水主要集中于夏季,夏季降水异常及其引起的旱涝灾害对东北地区的社会经济发展有重要影响;此外,随着全球气候变暖,具有较强地域特征的东北夏季降水也愈发多变。因此,研究东北夏季降水的时空变化及影响因子有重要的现实意义和科学价值。

孙力等^[1]通过诊断分析指出东北夏季降水异常的空间分布既有整体一致性,也存在由于地理位置、地形分布和影响系统等因素造成的差异。孙照渤等^[2]讨论了东北 6—8 月降水的空间分型,并分析了不同月份降水型对应的异常环流特征。研究还发现近 50 a 东北夏季降水呈缓慢减少趋势^[3],且表现出明显的多年代际变化特征^[4],大致在 20 世纪 80—90 年代经历了明显的年代际突变^[5]。

大气环流异常和海温异常等外强迫被认为是影响东北夏季降水的重要因素。孙力等^[6]研究认为东亚夏季风的强弱在很大程度上决定了偏南气流能否推进到东北及推进时间的早晚,进而影响东北地区降水;沈柏竹等^[7]研究发现,随着夏季东亚上空高层西风急流的北移和低层西太平洋副热带高压的西伸北进,向北输送到东北地区上空的水汽增多,东北降水也随之偏多。而 Xie and Bueh^[8]指出,当东北冷涡为雅库茨克—鄂霍次克型和乌拉尔山型时,东北地区降水偏多;刘宗秀等^[9]认为,当北太平洋涛动区前冬季 500 hPa 呈现类似“北正南负”涛动的负位相阶段时,夏季东北冷涡活动持续偏多,降水整体也偏多。此外,何金海等^[10]发现当前期 2 月北极环状模强度偏强时,东北地区冷涡活动偏弱,有利于东北夏季降水偏少。武炳义等^[11]研究认为当北极大气偶极子异常处于正位相,对应北极极涡中心位于北极西部时,东北夏季降水增多。除了环流异常的影响外,大量研究表明副热带东南太平洋海温^[12]、黑潮海温^[13]、北冰洋纬向温度梯度^[14]等也对东北夏季降水产生重要影响。

事实上,欧亚大陆的陆面热力状况对其上空大气环流有非常重要的作用,陆面温度的时空变化及持续性异常同样通过影响北半球大气环流影响东亚地区的降水。Zhou et al.^[15-16]分析认为,20 世纪 50 年代以来,全球地表平均温度持续稳定地增长,1979 年之后陆面温度呈现较强的增暖趋势,尤其是在干旱半干旱地区存在明显的增暖放大效应。沈学顺和木本昌秀^[17]指出,当春季欧亚中高纬度地表气温为正距平时,鄂霍次克高压偏强,初夏梅雨较活跃;吴荷等^[18]分析发现,春季欧亚中高纬地表感热偏强期,长江中下游夏季降水偏多。晏红明等^[19]认为春末夏初印度半岛暖下垫面的加热作用有利于亚洲夏季季风环流的偏早建立,也有利于亚洲夏季季风环流的加强;徐康等^[20]研究指出,夏季环贝加尔湖地表气温增暖可能导致华北地区夏季降水的持续性减少;黄菱芳等^[21]发现,当夏季欧亚中纬度印度以北地区和我国中东部地区地表气温偏高时,江淮流域降水偏少,华南和北方地区降水偏多,当欧亚大陆中高纬贝加尔湖以东及以西地区夏季地表气温偏高而我国东北部地区夏季地表气温偏低时,东南沿海及内蒙古中部降水偏少,东部其余地区降水偏多;陈圣劫等^[22]研究认为,当冬季北亚地表感热冷源偏强时,江淮梅雨降水偏多,梅雨期偏长,出梅偏晚,梅雨期间东北冷涡的活动也偏强;徐晨等^[23]分析发现,冬季欧亚中高纬陆面增暖对大气的加热作用导致欧亚中高纬高空西风环流异常偏弱;Chen et al.^[24]分析认为蒙古西部地表温度的显著增暖导致东亚中纬度气旋活动的减少;张莞昕和陈海山^[25]也研究指出,东亚中纬度地区陆面年代际增暖,是引起温带气旋活动年代际减弱的一个重要原因。

最近,王迪等^[26]的研究发现前期春季西亚地表热力因子与东北冷涡活动之间存在密切的联系:西亚地表异常偏冷,东北冷涡活动偏强;而西亚地表异常偏暖对应了偏弱的冷涡活动;研究指出西亚地表热力因子可能通过影响大气环流分布并通过遥

相关型影响我国初夏东北地区冷涡。而冷涡作为影响东北初夏降水的关键环流系统,其异常变化对东北降水具有十分重要的影响。例如:沈柏竹等^[7]研究表明东北地区降水变化对应的环流异常在初夏和盛夏具有明显不同的性质,东北冷涡活动主要影响初夏降水的多少。那么,陆面热力异常作为影响东北冷涡的一个重要因子,是否能通过东北冷涡的“桥梁”作用,对东北初夏的降水产生影响。因此,本文试图探讨前期陆面热力异常与东北初夏(6月)降水的可能联系,试图为东北初夏降水的预测提供一定物理依据。

1 资料与方法

采用资料包括 1980—2015 年国家气候中心 160 站月平均降水;陆面温度资料为 1980—2015 年欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 的 ERA-interim 月平均再分析数据 (第三层土壤温度 STL3、地表温度 SKT、地表 2 m 温度 TM2),分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;大气环流场资料选用 1980—2015 年美国国家环境预报中心和大气研究中心 (NCEP/NCAR) 的月平均位势高度场再分析数据,垂直方向分为 17 层,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。主要采用了相关、线性回归、合成分析、 t 检验等统计方法。

2 初夏东北冷涡异常活动与降水的关系

首先采用苗春生等^[27]提出的方法,计算得到了 1980—2015 年表征初夏东北冷涡异常活动的冷涡

指数 (NECVI),如图 1 所示。正 NECVI 表示冷涡偏强年,其绝对值越大,冷涡越强;负 NECVI 表示冷涡偏弱年,其绝对值越大,则冷涡越弱。不难发现,NECVI 一方面表现出明显的年际变化,同时在该时段东北冷涡存在明显的减弱趋势。为了探究东北冷涡强度变化对东北初夏降水的影响,计算了 NECVI 与初夏 (6 月) 降水的相关 (图 2a),结果显示冷涡与东北初夏降水存在明显的正相关,且相关程度自西南—东北递增,表明东北冷涡活动主要与东北东北部初夏降水的关系最为密切;冷涡活动偏弱,通常对应东北初夏降水偏少;反之亦然。NECVI 回归得到的降水分布和 NECVI 高、低值年初夏降水的合成场也得到了较为一致的结果 (图 2b、c)。

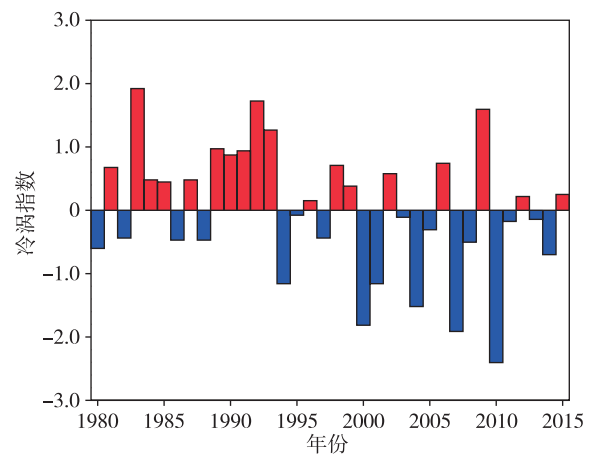


图 1 1980—2015 年初夏东北冷涡指数的时间序列

Fig. 1 Time series of NECVI in early summer during 1980—2015

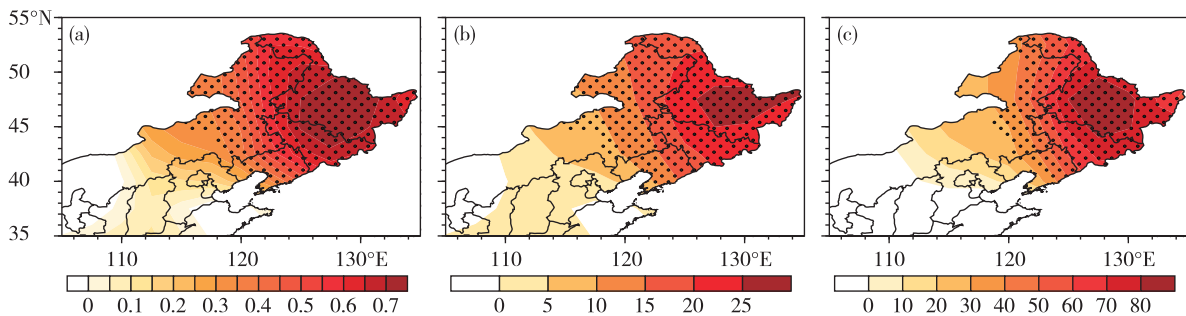


图 2 1980—2015 年初夏 NECVI 与同期东北地区降水场的相关分布 (a)、初夏 NECVI 回归得到的同期东北地区降水场 (b; 单位: mm) 和 NECVI 高、低值年初夏东北地区降水的差值场 (c; 单位: mm) (打点区域表示通过 $p=0.05$ 的显著性检验)

Fig. 2 Spatial distributions of (a) correlation between NECVI and precipitation in Northeast China, (b) regression of precipitation (units: mm) in Northeast China onto NECVI, and (c) composite difference of precipitation (units: mm) in Northeast China between the high and low NECVI years in early summer during 1980—2015 (Dotted areas pass the significance test at $p=0.05$)

选择中国东北地区 125°E 以东, 45°N 以北的区

域作为重点研究区域,计算得到了 1980—2015 年研

究区域内平均的初夏降水的标准化值,定义表征东北初夏降水异常程度的降水指数 PI (Precipitation Index)。如图 3 所示,可以看出在研究时段内,PI 也呈现比较明显的减少趋势。通过与图 1 比较,不难发现,冷涡活动强度与东北东北部区域的降水变化具有很好的一致性。为了探究东北初夏降水异常年的环流背景特征,进一步计算得到了东北初夏降水正($PI \geq 1.0$)、负($PI \leq -1.0$)异常年初夏欧亚大陆上空 200 hPa、500 hPa、850 hPa 位势高度的差值分布(图 4)。可以看出,东北初夏降水异常偏多年份,高、低层大气环流异常均表现出大概一致的空间分布特征,但异常强度由高层到低层逐渐减弱。具体表现为:东北上空存在深厚的气旋性异常环流中心,新地岛—乌拉尔山以东—中西伯利亚上空和雅库茨克—鄂霍次克海上空存在深厚的反气旋性异常环流中心。以上环流形势表明,降水偏多(少)年,东北初夏冷涡活动偏强(弱),而其上游的乌拉尔山阻塞高压和下游的雅库茨克—鄂霍次克阻塞高压活动加强(减弱)。

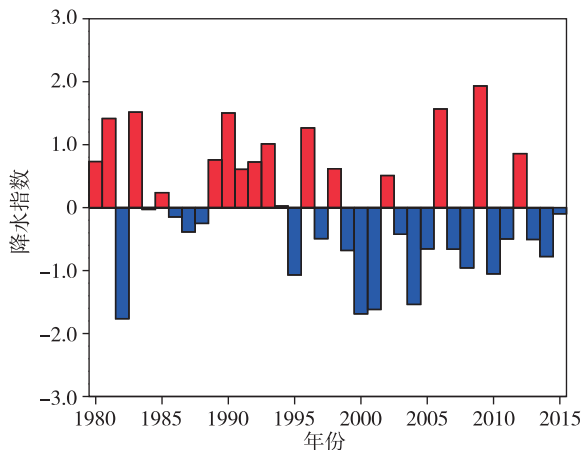


图 3 1980—2015 年初夏东北地区降水指数的时间序列
Fig.3 Time series of early summer precipitation index in Northeast China during 1980—2015

3 东北初夏降水与西亚春季陆面热力异常的可能联系

为了进一步分析东北初夏降水与春季陆面热力异常的可能联系,计算了 1980—2015 年间东北初夏降水指数(PI)序列与春季欧亚大陆地表 2 m 温度(T2M)、地表温度(SKT)、第三层土壤温度(STL3)的相关(图 5)。结果表明,东北初夏降水与前期春季的陆面热力指标确实存在较为密切的联系,尤其是与前期春季西亚地区的陆面温度存在显

著的负相关。选择(30~70°E, 25~45°N)为影响东北初夏降水的陆面热力异常关键区。计算了春季三层(T2M, SKT, STL3)陆面资料的关键区平均温度标准化值,定义为表征春季西亚陆面热力异常的指数 T2MI (Temperature of 2 Meters Index)、SKTI (Surface Skin Temperature Index)、STL3I (Soil Temperature of Level 3 Index),发现它们与-PI 有很好的对应关系(图 6);分别计算了三个陆面热力异常指数与 PI 的相关系数,分别为-0.39、-0.42、-0.42,均通过了 $p=0.02$ 的显著性检验。此外,为避免长期趋势的影响,还分别计算了序列去倾之后的相关系数,分别为-0.32、-0.35、-0.36,均通过了 $p=0.05$ 的显著性检验。上述结果表明,西亚地区(30~70°E, 25~45°N)陆面春季异常增暖,通常对应东北初夏降水减少,尤其是东北地区的东北部降水减少显著。为了验证上述关系,图 7 给出了利用 T2MI、SKTI、STL3I 回归得到的东北初夏降水,可以看出降水的负异常主要集中在东北部,西亚春季的陆面异常增暖,通常对应中国东北地区初夏降水的异常减少。

为了更好地理解西亚春季陆面热力异常与东北初夏降水的联系,分析了春季西亚陆面热力异常对应的大气环流异常特征,进一步说明西亚关键区的陆面热力异常可能通过影响初夏东北冷涡而对降水产生影响。图 8 给出了 T2MI、SKTI、STL3I 回归的初夏 200 hPa、500 hPa 和 850 hPa 位势高度场。不难发现,与西亚春季的陆面异常增暖相对应,高、低层大气环流在贝加尔湖到中国东北地区上空均出现了明显的反气旋性异常环流,其大值中心位于贝加尔湖附近上空,同时欧亚大陆高纬地区的乌拉尔山东部上空和雅库茨克—鄂霍次克海上空出现较弱的气旋性异常环流,而这样的异常环流分布对应偏弱的东北冷涡活动。王迪等^[26]指出春季西亚陆面热力异常引起的大气环流异常可能通过夏季欧亚大陆上空的大气遥相关型影响初夏东北冷涡的活动。综上所述,春季西亚地区的陆面异常增暖,引起上空对流层中高层明显的反气旋性异常环流,上述异常环流信号沿西风急流向下游传播,并对我国东北地区后期的大气环流产生影响,导致初夏东北冷涡活动偏弱,进而减弱东北初夏降水。

4 结论与讨论

通过分析 1980—2015 年的冷涡指数(NECVI),探讨了东北冷涡活动对东北初夏降水的可能影响,

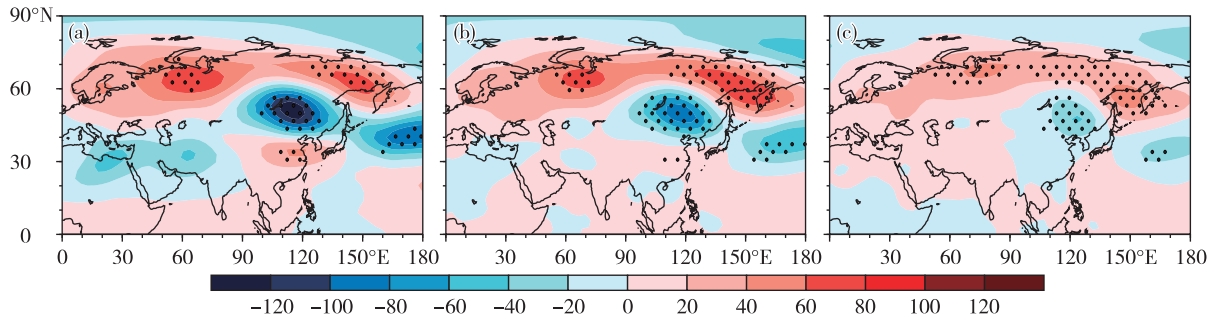


图4 初夏降水正、负异常年同期 200 hPa(a)、500 hPa(b)、850 hPa(c)位势高度的合成差值场(单位:gpm;打点区域表示通过 $p=0.05$ 的显著性检验)

Fig.4 Composite difference distributions of (a)200 hPa,(b)500 hPa and (c)850 hPa geopotential height between the more and less precipitation years in early summer(units:gpm;Dotted areas pass the significance test at $p=0.05$)

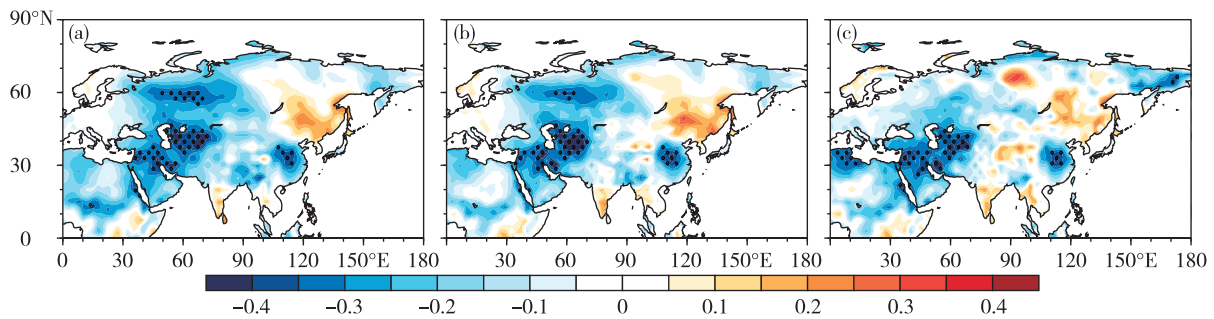


图5 初夏东北降水指数与春季欧亚大陆 TM2(a)、SKT(b)和 STL3(c)的相关分布(打点区域表示通过 $p=0.05$ 的显著性检验)

Fig.5 Distributions of correlations between early summer precipitation index in Northeast China and (a) TM2,(b) SKT,and (c) STL3 over the Eurasia in spring (Dotted areas pass the significance test at $p=0.05$)

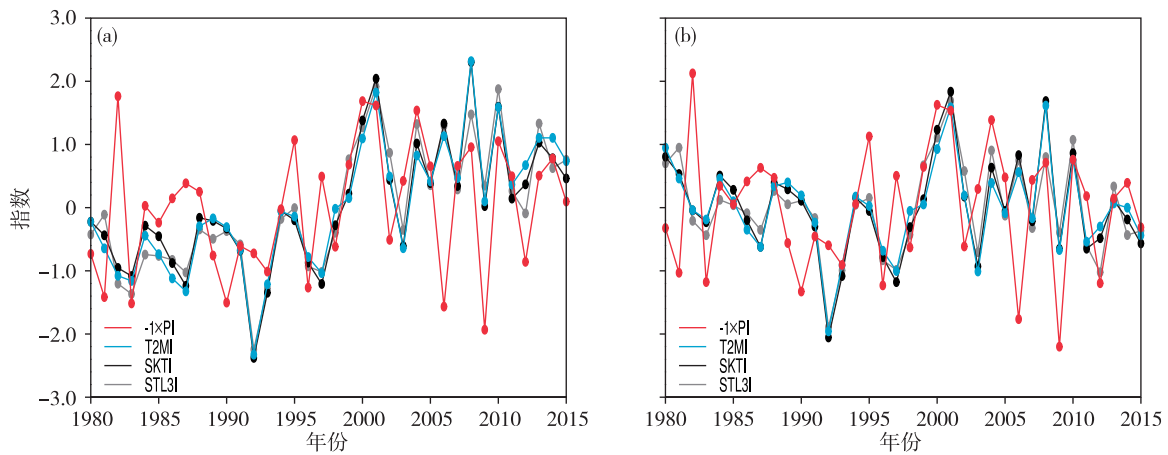


图6 1980—2015年初夏东北降水指数(乘以-1.0)和春季西亚陆面热力异常指数(T2MI、SKTI、STL3I)的时间序列:(a)未去趋势;(b)已去趋势

Fig.6 Time series of early summer precipitation index multiplied by -1.0 in Northeast China and spring land surface thermal anomaly indices (T2MI,SKTI,and STL3I) in West Asia during 1980—2015:(a) no detrended;(b) detrended

在此基础上以东北冷涡活动为“桥梁”,讨论了春季西亚陆面热力异常与东北初夏降水的可能联系,主要结论如下:

1)初夏东北冷涡活动的强度与同期东北降水存在明显的正相关关系,且相关程度自西南—东北向递增,即东北冷涡活动主要对东北地区的东北部

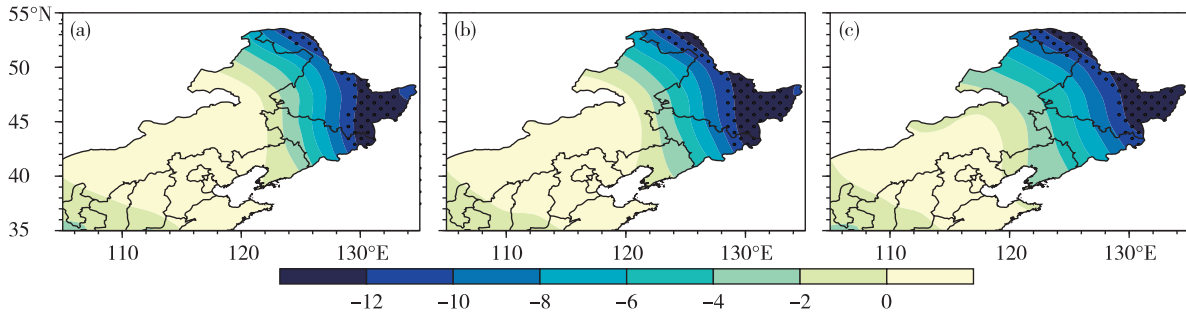


图 7 T2MI(a)、SKTI(b)、STL3I(c)回归得到的初夏东北地区降水场(单位:mm;打点区域表示通过 $p=0.05$ 的显著性检验)

Fig.7 Regression of early summer precipitation in Northeast China onto (a) T2MI, (b) SKTI and (c) STL3I (units:mm; Dotted areas pass the significance test at $p=0.05$)

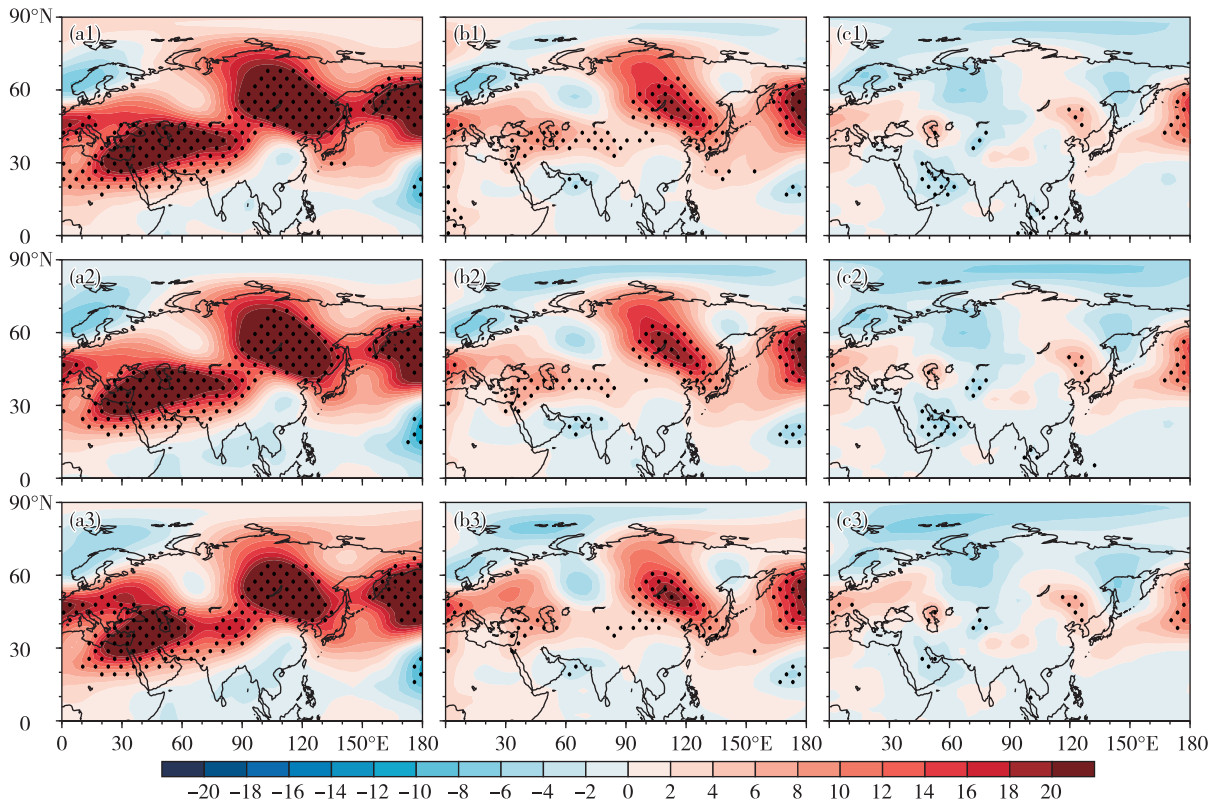


图 8 T2MI(1)、SKTI(2)、SKT(3)回归得到的 200 hPa(a)、500 hPa(b)和 850 hPa(c)位势高度场(单位:gpm;打点区域表示通过 $p=0.05$ 的显著性检验)

Fig.8 Regression of(a) 200 hPa, (b) 500 hPa and (c) 850 hPa geopotential heights onto (1) T2MI, (2) SKTI and (3) STL3 (units:gpm; Dotted areas pass the significance test at $p=0.05$)

降水产生影响。

2) 春季西亚地区(30~70°E, 25~45°N)陆面热力异常与东北初夏降水存在明显的负相关, 西亚陆面春季异常增暖, 通常对应东北初夏降水减少, 尤其是东北地区的东北部降水减少显著。

3) 西亚春季陆面热力异常影响东北初夏降水的可能机制为: 春季西亚地区的陆面异常增暖, 能够引起贝加尔湖附近区域上空对流层中高层明显

的反气旋性异常环流, 导致初夏东北冷涡活动偏弱, 进而减弱东北初夏降水。

值得注意的是, 本文仅仅通过统计分析探讨了西亚春季陆面热力异常与东北初夏降水的联系, 相关的结果可以为深入理解东北初夏降水异常的原因提供一定的参考。但是, 西亚春季地表热力异常究竟如何影响东北初夏降水, 相关的机理还有待深入研究。

参考文献:

- [1] 孙力,安刚,丁立,等.中国东北地区夏季降水异常的气候分析[J].气象学报,2000,58(1):70-82.
- [2] 孙照渤,曹蓉,倪东鸿.东北夏季降水分型及其大气环流特征[J].大气科学学报,2016,39(1):18-27.
- [3] 韩艳凤,江志红,王冀,等.东北地区夏季降水时空变化特征[J].气象科技,2005,33(2):136-141.
- [4] 丁婷,陈丽娟,崔大海.东北夏季降水的年代际特征及环流变化[J].高原气象,2015,34(1):220-229.
- [5] 侯依玲,李栋梁,施雅风,等.50 a 来我国东北及邻近地区年降水量的年代际异常变化[J].冰川冻土,2005,27(6):838-845.
- [6] 孙力,安刚,唐晓玲.东北亚地区夏 850 hPa 南风异常与东北旱涝的关系[J].大气科学,2003,27(3):425-434.
- [7] 沈柏竹,林中达,陆日宇,等.影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流特征分析[J].中国科学:地球科学,2011(3):402-412.
- [8] Xie Z, Bueh C. Different types of cold vortex circulations over Northeast China and their weather impacts[J]. Mon Wea Rev, 2015, 143(3):845-863.
- [9] 刘宗秀,廉毅,沈柏竹,等.北太平洋涛动区 500 hPa 高度场季节变化特征及其对中国东北地区降水的影响[J].应用气象学报,2003,14(5):553-561.
- [10] 何金海,吴志伟,祁莉,等.北半球环状模和东北冷涡与中国东北夏季降水关系分析[J].气象与环境学报,2006,22(1):1-5.
- [11] 武炳义,张人禾, Rosanne D A. 北极偶极子异常与中国东北夏季降水[J].科学通报,2008(12):1422-1428.
- [12] 高晶,高辉.副热带东南太平洋海温对东北夏季降水的影响及可能机制[J].大气科学,2015,39(5):967-977.
- [13] 高辉,高晶.黑潮冬季海温对我国东北地区夏季降水预测信号的增强[J].海洋学报,2014,36(7):27-33.
- [14] 时晓曦,孙雅文,孙即霖.北冰洋纬向温度梯度对中国东北地区夏季降水影响的分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2014,44(2):11-16.
- [15] Zhou L, Chen H, Dai Y. Stronger warming amplification over drier ecoregions observed since 1979 [J]. Environ Res Lett, 2015, 10(6):064012.
- [16] Zhou L, Chen H, Hua W, et al. Mechanisms for stronger warming amplification over drier ecoregions observed since 1979 [J]. Climate Dyn, 2016, 47(9/10):2955-2974.
- [17] 沈学顺,木本昌秀.春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候意义[J].大气科学,2007,31(1):19-27.
- [18] 吴荷,陈海山,黄菱芳.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,2015,20(1):119-128.
- [19] 晏红明,杨辉,王灵,等.印度半岛热力变化对亚洲季风环流异常的影响[J].高原气象,2010,29(6):1452-1463.
- [20] 徐康,何金海,祝从文.近 50 年中国东部夏季降水与贝加尔湖地表气温年代际变化的关系[J].气象学报,2011,69(4):570-580.
- [21] 黄菱芳,陈海山,郑旭程,等.欧亚大陆夏季地表热力异常与同期中国东部夏季降水的可能联系[J].气候与环境研究,2015(6):620-634.
- [22] 陈圣劫,李栋梁,何金海.北亚大陆冬季地表感热通量对我国江淮梅雨的影响[J].高原气象,2012,31(2):359-369.
- [23] 徐晨,陈海山,黄菱芳,等.冬季欧亚中高纬陆面热力异常与同期大气环流的联系[J].高原气象,2015,34(6):1584-1592.
- [24] Chen H, Teng F, Zhang W, et al. Impacts of anomalous mid-latitude cyclone activity over East Asia during summer on the decadal mode of East Asian summer monsoon and its possible mechanism[J]. J Climate, 2017, 30(2):739-753.
- [25] 张莞昕,陈海山.陆面热力异常与东亚夏季中纬度气旋年代际变化的联系[J].气象科学,2017,37(4):458-465.
- [26] 王迪,陈海山,赵昶昱.春季西亚地表热力异常与初夏东北冷涡活动年代际变化的联系[J].大气科学,2018,42(1):70-80.
- [27] 苗春生,吴志伟,何金海,等.近 50 年东北冷涡异常特征及其与前汛期华南降水的关系分析[J].大气科学,2006,30(6):1249-1256.