

李红军, 马玉芬. 夏季区域极涡异常对塔里木河流域降水的影响. 应用气象学报, 2017, 28(5): 589-599.

DOI: 10.11898/1001-7313.20170507

# 夏季区域极涡异常对塔里木河流域降水的影响

李红军<sup>1)2)</sup>\* 马玉芬<sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

<sup>2)</sup>(中亚大气科学研究中心, 乌鲁木齐 830002)

## 摘 要

采用 1961—2015 年夏季大西洋—欧洲极涡面积指数和塔里木河流域 43 个站降水资料, 研究该区域极涡面积异常对该流域降水的影响。结果表明: 两者年际变化呈显著的反位相关关系; 在极涡面积异常偏小(大)年, 西风急流在西亚和中亚减弱(增强), 在东亚则相反; 500 hPa 欧洲中部和贝加尔湖地区的高压脊偏强(偏弱), 东亚低压槽偏弱(偏强), 中亚经向环流增强(减弱); 700 hPa 塔里木河流域天气扰动活跃(不活跃), 东风和西南风(西北风)的水汽输送增强, 西部和北部等主要降水区水汽辐合(辐散), 该流域降水偏多(偏少)。在极涡面积异常偏小年的夏季, 塔里木河流域水平风场和垂直运动从高纬度到低纬度的经向变化分布与大西洋—欧洲区相似, 大西洋—欧洲极涡区与塔里木河流域之间存在西北—东南的环流异常分布, 大西洋—欧洲极涡面积异常可能通过该环流异常分布影响塔里木河流域及周边风场、水汽输送和垂直运动, 进而影响到该流域降水。

**关键词:** 大西洋—欧洲极涡; 塔里木河流域降水; 大气环流异常

## 引 言

塔里木河流域地处天山和昆仑山之间, 是一个内陆水循环和水平衡相对独立与封闭的水文区域<sup>[1]</sup>。近 50 年来, 随着全球气候变暖, 塔里木河流域降水变化与西北东部多数区域变化不同, 流域降水增多, 河流径流量增多, 湖泊水位上升<sup>[2-7]</sup>。流域降水的这些变化, 引起了人们对其变化的关注<sup>[8-10]</sup>。对于塔里木河流域降水变化成因的研究主要集中在南亚、中亚和大西洋等地环流系统对流域降水的影响<sup>[11-15]</sup>, 但关于极区大气环流系统影响塔里木河流域降水研究的报道则较少。北极极涡是北极对流层中上层以上重要的大气环流系统, 极涡强度和面积变化对高纬度环流系统及北半球大气环流都有重大影响, 也直接影响我国降水。北极极涡的趋势性变化与全球气候变化之间可能存在联系<sup>[16]</sup>, 极涡活动影响江淮流域夏季降水和旱涝<sup>[17]</sup>; 冬季北极极涡强

度与我国东北次年夏季降水呈正相关<sup>[18]</sup>; 极涡指数与华北降水以正相关为主, 当亚洲和欧洲区极涡异常南扩, 北非、大西洋、北美副热带高压显著收缩减弱, 西太平洋和南海副热带高压明显北抬时, 华北降水易增加<sup>[19]</sup>, 当极涡收缩在北极附近时, 华北夏季易涝, 而极涡偏离北极极心时, 华北夏季易旱<sup>[20]</sup>; 在西南初夏多雨年份, 极涡收缩在极地附近, 而干旱年份极涡偏向亚洲大陆<sup>[21]</sup>; 冬季北半球极涡面积偏大时, 我国东部沿海、新疆、青海等区域夏季降水量为正距平<sup>[22]</sup>, 1 月极涡偏欧亚大陆, 强度指数与我国中部大部分地区及新疆西南部的少数地区同期月降水量呈显著正相关, 显著负相关区域主要分布在新疆中部<sup>[23-24]</sup>; 夏季亚洲极涡的面积和强度与东北、华北和西北东部的水汽输送通量散度和夏季降水呈正相关, 而与长江中下游、华南、西南、青藏高原和西北西部呈显著负相关<sup>[25]</sup>。

本文初步分析了夏季大西洋—欧洲极涡(以下简称极涡)面积变化和塔里木河流域降水变化以及

2017-02-09 收到, 2017-06-27 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金联合基金项目(U1503181), 气象公益院所专项(idm201603)

\* email: lihj@idm.cn

该区极涡对同期塔里木河流域降水的影响,从大气环流背景探讨了影响塔里木河流域降水变化的可能机制,这对揭示塔里木河流域干湿变化的成因有积极意义。

## 1 资料与方法

塔里木河流域地处亚欧大陆腹地(34°~44°N, 73.8°~94°E,流域和站点见图1),面积达 $1.05 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,是中国流域面积最大的内流河,地势西高东低,天山、昆仑山和阿尔金山环绕在其周边,中部是塔克拉玛干沙漠,边缘为山麓、戈壁和绿洲,海拔高度为800~8611 m。该流域属于典型的暖温带大陆性干旱气候,年平均降水量不足100 mm,极为干旱,对全球气候变化敏感。大西洋—欧洲区极涡范

围为30°W~60°E,北边界是北极点,南边界各月不同,具体见中国国家气候中心气候指数集<sup>[26]</sup>。

所用资料包括塔里木河流域43站夏季月降水量资料,大西洋—欧洲区极涡面积指数(30°W~60°E)(来自于中国国家气候中心气候指数集<sup>[26]</sup>)。大气环流和要素场分析采用NCAR/NCEP月平均再分析资料,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。文中夏季是指6—8月,时间长度为1961—2015年,多年平均为1961—2015年平均,极涡面积异常偏大和偏小距平场分别指下文选定极涡面积异常偏大年(9年)和偏小年(11年)的要素场平均值减去多年平均值,极涡面积异常偏小年与偏大年差异场指极涡面积异常偏小年(11年)要素场平均值减去偏大年(9年)平均值。

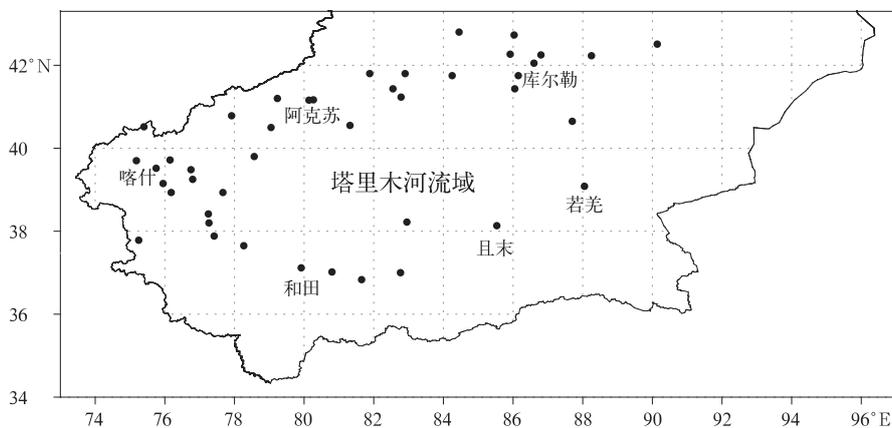


图1 研究区与观测站分布

Fig. 1 The target region and the distribution of stations

## 2 夏季极涡与塔里木河流域降水的关系

由夏季极涡面积与塔里木河流域降水序列(图2)比较可知,两者呈反位相变化趋势,相关系数为-0.4(达到0.01显著性水平)。从年代际变化能够更清楚地看到两者变化位相相反,这种年代际的反位相变化关系在20世纪70年代中期以后更为显著。1961—2015年夏季极涡面积共30年为正距平,其中22年夏季塔里木河流域降水量为负距平,占极涡面积正距平总年份的73.3%;夏季极涡面积共25年为负距平,其中17年夏季流域降水量为正距平,占极涡面积负距平总年份的68%。夏季极涡面积共9年超过0.9个标准差,其中夏季塔里木河

流域降水量7年为负距平;夏季极涡面积共11年低于-0.9个标准差,夏季塔里木河流域降水量8年为正距平。以0.9个标准差为划分标准,将夏季极涡面积值超过0.9个标准差的年份归为夏季极涡面积异常偏大年;低于-0.9个标准差的年份归为夏季极涡面积异常偏小年,选取极涡面积异常偏大年共9年(分别是1993,1963,1962,1985,1977,1965,1978,1980,1974年)和极涡面积异常偏小年共11年(分别是2010,1972,2006,1981,2013,1995,1983,2002,1989,1999,1996年)。

从夏季极涡面积异常偏大年 and 偏小年对应的塔里木河流域降水量距平合成图(图3)可以看到,在极涡面积异常偏大年(图3a),除个别站点,塔里木河流域降水量多为负距平,负值中心位于塔里木

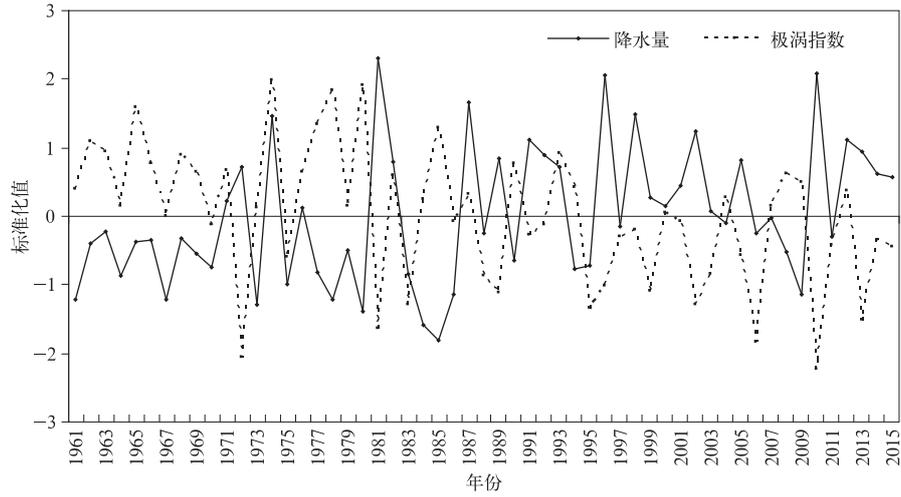


图 2 夏季塔里木河流域降水量和极涡面积指数标准化序列

Fig. 2 The normalized time series of the Tarim River Basin precipitation and the index of the north polar vortex area

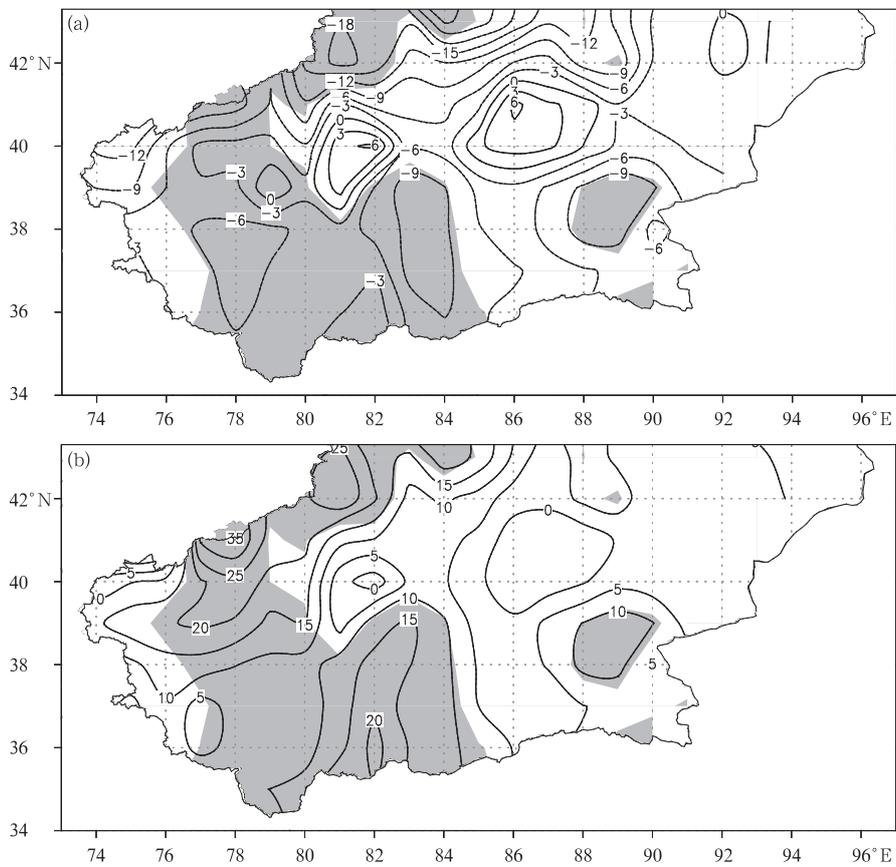


图 3 夏季极涡面积异常偏大年(a)和偏小年(b)塔里木河流域  
降水量距平(单位:mm)

(阴影表示达到 0.05 显著性水平)

Fig. 3 Composites of the Tarim River Basin precipitation anomalies(unit: mm) according to years of larger area(a) and smaller area(b) of north polar vortex in summer (the shaded denotes passing the test of 0.05 level)

河流域东南、北部、西部和南部地区,低于  $-12 \text{ mm}$ ;而在极涡面积异常偏小年(图 3b),塔里木河流域除东北小部分地区降水为负距平外,其余地区均为明显的正距平,高值中心位于西部和南部地区,西部地区中心值最大,超过  $30 \text{ mm}$ 。因此,在夏季极涡面积异常偏大年,塔里木河流域降水量易偏少,而在夏季极涡面积异常偏小年,塔里木河流域降水量易偏多,夏季流域西部和南部的降水量对极涡面积大小的变化响应最敏感。

### 3 夏季与极涡相关联的欧亚大气环流异常

在影响塔里木河流域降水的大气环流因子中,高空西风急流是重要的影响系统,当夏季西亚地区西风急流减弱,东亚  $35^\circ \sim 45^\circ \text{N}$ ,  $120^\circ \sim 160^\circ \text{E}$  地区西风急流增强时,新疆夏季降水偏多;反之,新疆夏季降水偏少<sup>[27]</sup>。在极涡面积异常偏大年(图 4a),200 hPa 纬向风距平场在北半球  $60^\circ \sim 80^\circ \text{N}$  为负距平区,塔里木河流域以北  $50^\circ \sim 60^\circ \text{N}$  为正距平区,对比 200 hPa 纬向风多年平均场(图 4c)可知,来自高纬度地区的冷空气在流域活动减弱、减少,而流域东

西侧分别为正距平区和负距平区,流域以西的中亚和西亚上空西风急流增强,流域以东的东亚  $35^\circ \sim 45^\circ \text{N}$ ,  $120^\circ \sim 160^\circ \text{E}$  上空西风急流减弱,这说明在极涡偏强年的夏季,塔里木河流域降水易偏少。在极涡面积异常偏小年(图 4b),200 hPa 纬向风距平场在  $60^\circ \sim 90^\circ \text{N}$  为正距平区,而流域以西的南、北方向分别为正距平区和负距平区,流域以东的南、北方分别为负距平区和正距平区,对比 200 hPa 纬向风多年平均场(图 4c)可知,流域更易受北半球中高纬度冷空气和中低纬度西南暖湿空气共同影响,而西亚上空西风急流减弱,塔里木河流域和东亚  $38^\circ \sim 50^\circ \text{N}$ ,  $100^\circ \sim 140^\circ \text{E}$  地区西风急流增强,也有利于塔里木河流域夏季降水量增多。从合成分布差值场(图略)能够清楚地看到夏季极涡面积异常偏小年与异常偏大年的西风急流差异:塔里木河流域东西两侧地区分别为显著的负距平和正距平,塔里木河流域以西的西亚和中亚地区西风急流强度明显减弱,而流域与东亚  $35^\circ \sim 45^\circ \text{N}$ ,  $120^\circ \sim 160^\circ \text{E}$  地区上空西风急流增强,影响流域的北方中高纬度地区冷空气和中低纬度地区西南暖湿空气增强和增多。

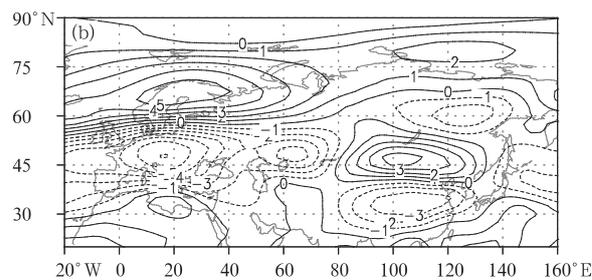
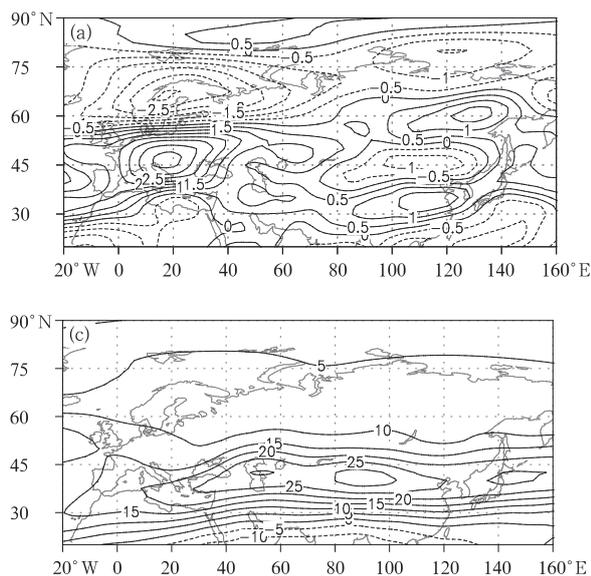


图 4 夏季极涡面积异常偏大年(a)和异常偏小年(b) 200 hPa 纬向风距平场及其多年平均场(c)(单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig. 4 Composite of 200 hPa zonal wind according to years of larger area(a) and smaller area(b) with the mean during 1961-2015(c) of the north polar vortex in summer(unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

由 500 hPa 高度距平场(图 5a)可以看到,在夏季极涡面积异常偏大年,欧亚地区多为负距平,主要呈现为整体较低,且西低东高的异常分布特征,这些异常区分别对应欧洲西部低压槽,乌拉尔山弱低压槽和亚洲东部低压槽,塔里木河流域处于中亚一小高压距平前部,与 500 hPa 多年平均高度场(图 5c)

比较可知,流域环流的经向梯度较小,北方冷空气难以入侵塔里木河流域,且脊前气流辐散,风速也较小,不利于降水发生。而在夏季极涡面积异常偏小年(图 5b)500 hPa 高度场与极涡面积异常偏大年相反,欧亚大陆主要是正距平场,西部距平值很高、东部低,欧洲中部和贝加尔湖地区的高压脊偏强,亚洲

东部低压槽偏弱,中亚区域环流经向度加大,塔里木河流域处于大的高压距平前部以及东西两个小的高低压距平的后部和前部,与 500 hPa 多年平均高度场

(图 5c)比较可知,高纬度地区冷空气易从大高压前部南下同小的高低压北上暖湿气流在塔里木河流域交汇,形成气流辐合且风速较大,有利于降水发生。

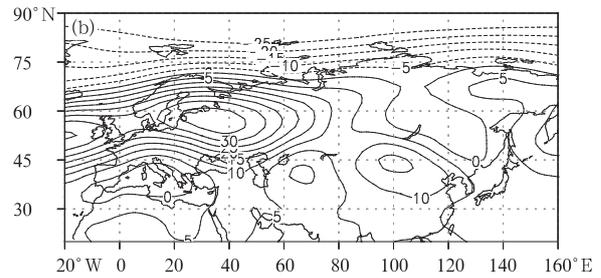
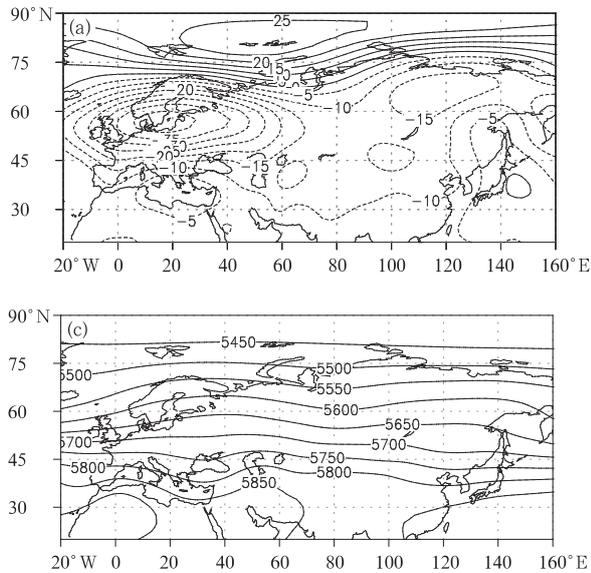


图 5 夏季极涡面积异常偏大年(a)和异常偏小年(b) 500 hPa 高度场距平及其高度场(c)(单位: gpm)  
Fig. 5 Composite of 500 hPa height according to years of larger area(a) and smaller area(b) with the mean during 1961—2015(c) of the north polar vortex in summer(unit: gpm)

夏季塔里木河流域降水与天气系统扰动密切相关。这里采用 700 hPa 经向风纬向偏差的平方表示扰动<sup>[28]</sup>。计算夏季极涡面积异常偏大年与异常偏小年的扰动情况,可以发现:在夏季极涡面积异常偏大年(图 6a),塔里木河流域主要为扰动负距平区,中亚的扰动较小也较少,流域及以外西北方天气上游区也主要为负距平区,表明流域及其上游区天气

系统不活跃,不利于降水发生;在夏季极涡面积异常偏小年(图 6b),塔里木河流域大部分区域转为扰动正距平区,流域西部和东部的扰动比较活跃,西北方天气上游区气流扰动较多年平均强,有利于降水发生。在极涡面积异常偏小与偏大年差值场上,塔里木河流域基本是正距平,扰动增强的特征更加明显,在夏季极涡面积异常偏小年,塔里木河流域的天气

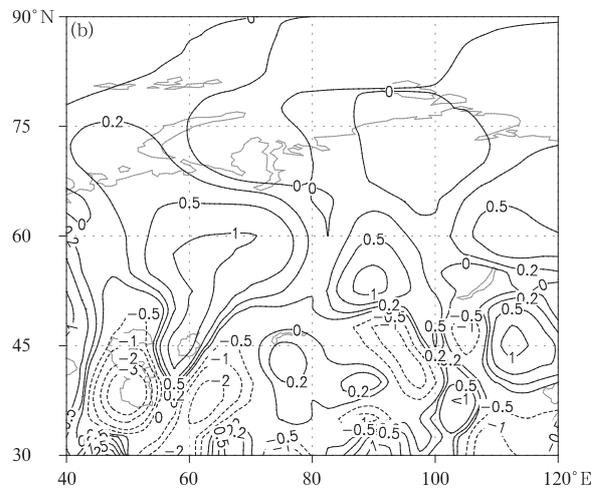
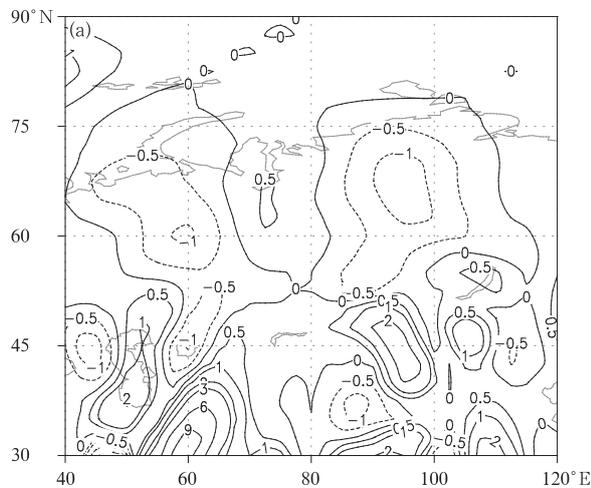
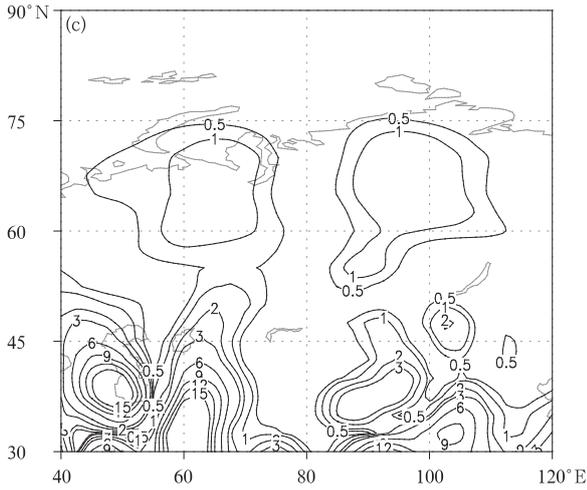


图 6 夏季极涡面积异常偏大年(a)和异常偏小年(b)700 hPa 扰动距平场及其多年平均场(c)(单位:  $m^2 \cdot s^{-2}$ )

Fig. 6 Composites of 700 hPa perturbation according to years of larger area(a) and smaller area(b) with the mean during 1961—2015(c) of the north polar vortex in summer(unit:  $m^2 \cdot s^{-2}$ )



续图 6

扰动和冷空气活动强度要明显强于异常偏大年,流域降水偏多。

夏季由极涡面积异常引起了塔里木河流域降水天气扰动的变化,进而引起了水汽输送、辐合和辐散的变化。因为塔里木河流域周边山脉海拔多超过 3000 m,而水汽主要在低层,所以这里用夏季极涡面积异常年 700 hPa 的水汽通量和水汽通量散度分析水汽变化(图 7),可以看到,夏季极涡面积异常偏大年(图 7a),对比多年平均水汽通量和水汽通量散度(图 7c)可知,塔里木河流域输入水汽多来源于西部边界外干冷的西北气流,流域东部边界输出的水汽也多于西部边界输入,在流域西部山区主要降水区为水汽通量散度正距平区,不利于降水发生;在夏

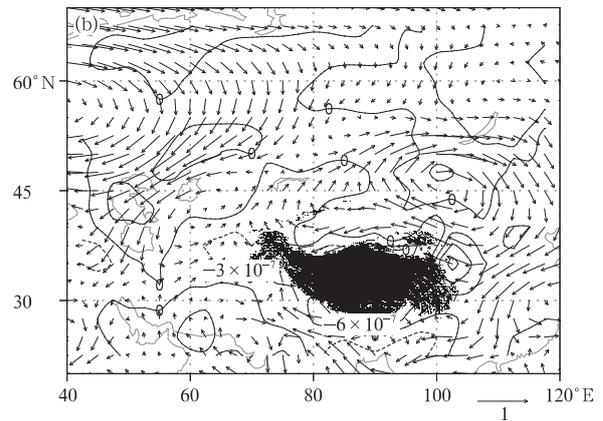
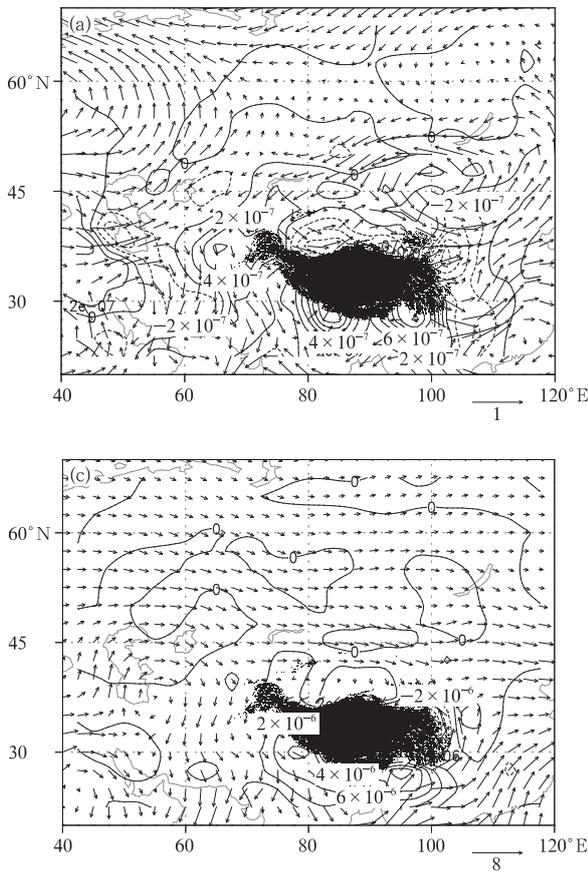


图 7 夏季极涡面积异常偏大年(a)和异常偏小年(b) 700 hPa 水汽通量距平场(矢量,单位:  $g/(hPa \cdot cm \cdot s)$ ) 与水汽通量散度距平场(等值线为散度,单位:  $g/(hPa \cdot cm^2 \cdot s)$ )及 700 hPa 水汽通量多年平均场和水汽通量散度多年平均场(c)

Fig. 7 Composites of 700 hPa vapor flux anomaly (vector, unit:  $g/(hPa \cdot cm \cdot s)$ ), divergence anomaly (contour, unit:  $g/(hPa \cdot cm^2 \cdot s)$ ) and mean field according to years of larger area(a) and smaller area(b) with the mean during 1961—2015(c) of north polar vortex in summer

季极涡面积异常偏小年(图 7b),对比多年平均水汽通量和水汽通量散度(图 7c)可知,塔里木河流域的水汽输入主要来源于东边界增强的东风气流,且多于西边界输出水汽,同时在流域西南边界南风输送水汽与东风输送的水汽汇合,在流域西部山区和上游区等主要降水区为水汽通量散度负距平区,且流

域西部山区的水汽通量散度较小。这些分析表明:在夏季极涡面积异常偏小年,流域东部输入的水汽要明显大于异常偏大年,流域西南部主要降水区又有南方暖湿水汽输入汇合,且流域主要降水区水汽辐合偏强,所以在极涡面积异常偏小年,流域降水偏多。

#### 4 夏季极涡影响塔里木河流域降水的可能机制探讨

夏季极涡面积异常会引起北半球经纬向环流系统异常,进而影响到高纬度和中纬度地区天气气候,其影响机制需进一步探讨。图 8 是夏季极涡面积异常偏小年与异常偏大年大西洋—欧洲地区(30°W~

60°E)和塔里木河流域(74°~100°E)夏季平均纬向风差异场的纬度-高度剖面图。图 8a 显示,在对流层,大西洋—欧洲地区极为负差异带,60°~80°N 为正差异带,50°N 附近为负差异带,25°~40°N 为正差异带,0°~25°N 大部为负差异带,只在 300 hPa 以上高层为正差异带。图 8b 显示,在塔里木河流域经度范围内自北向南也有一个负正交替变化的差异带。

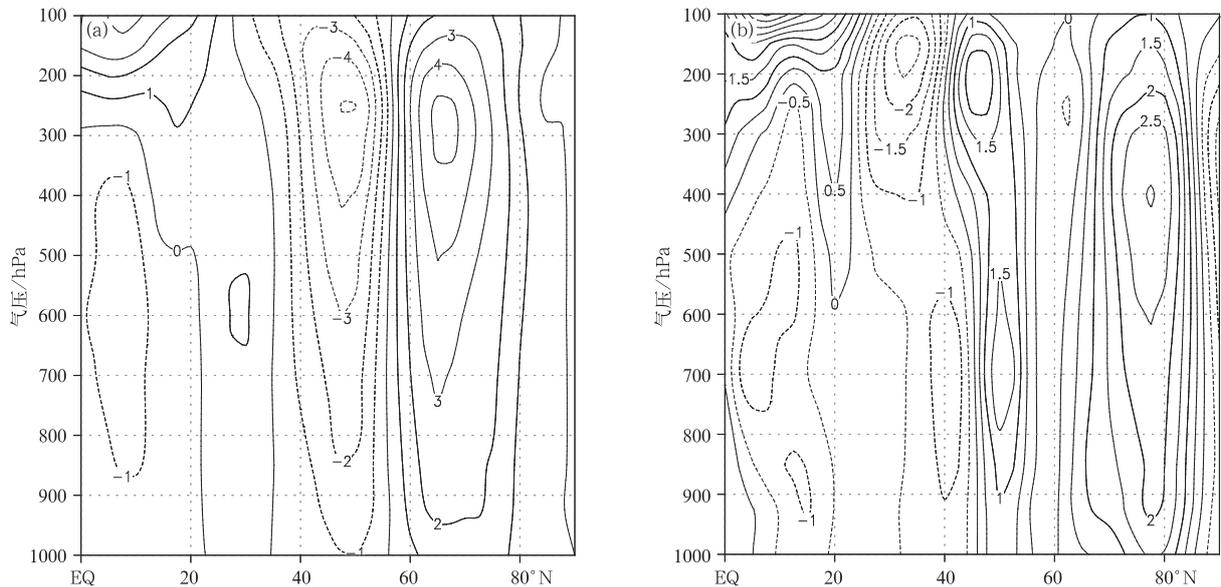


图 8 夏季极涡面积异常偏小年与异常偏大年大西洋—欧洲地区(30°W~60°E)(a)和塔里木河流域(74°~100°E)(b)平均纬向风差异场纬度-高度剖面图(单位:m·s<sup>-1</sup>)

Fig. 8 Latitude-height cross sections of mean zonal wind difference between years of smaller area and larger area of polar vortex in the Atlantic—European(30°W—60°E)(a) and that in the Tarim River Basin(74°—100°E)(b) in summer(unit: m·s<sup>-1</sup>)

北极地区大气环流系统通过纬向动量的涡动输送以及由涡动输送形成的平均经向环流影响极区以外大气环流系统<sup>[29]</sup>。比较经向风差异场垂直剖面图(图 9a)可以看到,在大西洋—欧洲经度范围内的对流层经向风自北向南为负正差异带交替分布,表明从高纬度到低纬度地区存在许多涡旋系统,极涡通过这些涡旋影响高纬度-低纬度天气;在塔里木河流域经度范围内经向风自北向南也是正负差异带交替出现,这与大西洋—欧洲经度范围内经向风差异带分布形态相似,但差异风带的风向基本相反,差异风带的南北位置略有差异(图 9b)。这是因为大西洋—欧洲区极涡面积变化通过向南影响大西洋—欧洲中纬度和低纬度地区环流系统,在西风环流作用下,影响下游塔里木河流域经度范围内的环流系统。

由夏季极涡面积异常偏小年与偏大年大气上升运动差异场的垂直剖面图(图 10a)可以看到,在大西洋—欧洲经度范围内,从高纬度到中纬度对流层整层的垂直运动变化呈负正交替变化,从北至南上升和下降加强区交替分布,上升加强区基本分布在南北风交汇处;在低纬度地区,极涡对环流影响小,对流层高层和低层的上升和下降加强不尽相同。由塔里木河流域经度范围内从高纬度到中纬度对流层的垂直运动变化(图 10b)可知,其变化也基本是上升和下降加强区交替分布,其中 42°~60°N 范围内大气低层和高层以及南北两侧垂直运动变化为正,中心为负,与大西洋—欧洲区相应范围内垂直运动略有不同,整体看塔里木河流域经度范围内从高纬度到中纬度对流层垂直运动变化与大西洋—欧洲的

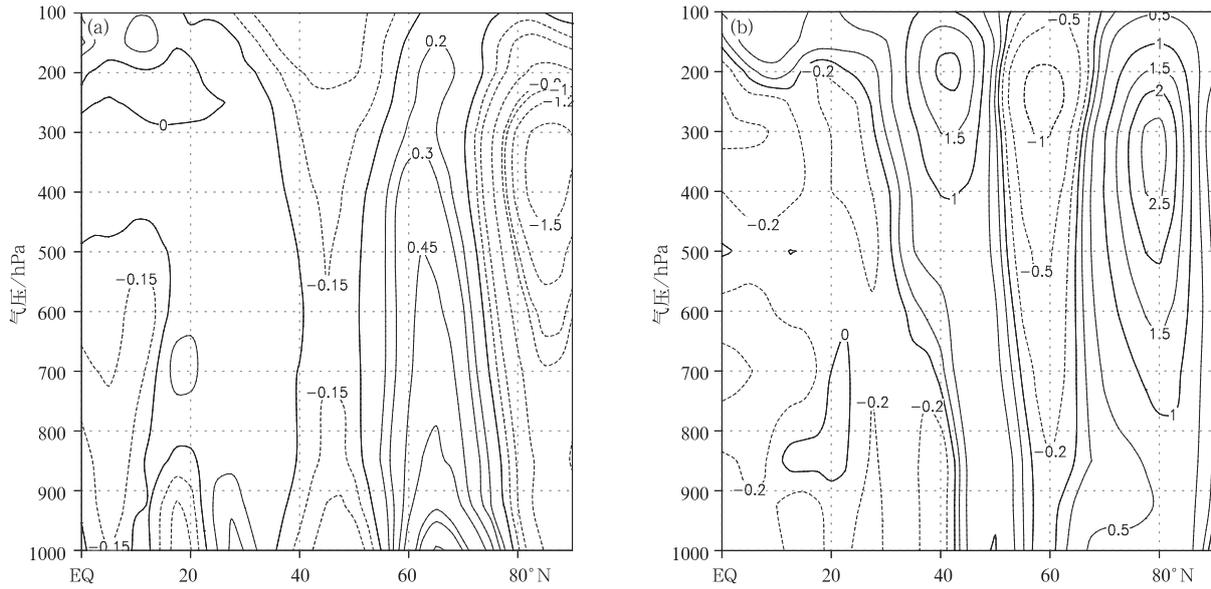


图9 夏季大西洋—欧洲地区(30°W~60°E)(a)及塔里木河流域(74°~100°E)(b)极涡面积异常偏小年与异常偏大年平均经向风差异场  
纬度-高度剖面图(单位:m·s<sup>-1</sup>)

Fig. 9 Latitude-height cross sections of the mean meridional wind difference between years of smaller area and larger area of polar vortex in the Atlantic—European(30°W—60°E)(a) with that in the Tarim River Basin(74°—100°E)(b) in summer(unit: m·s<sup>-1</sup>)

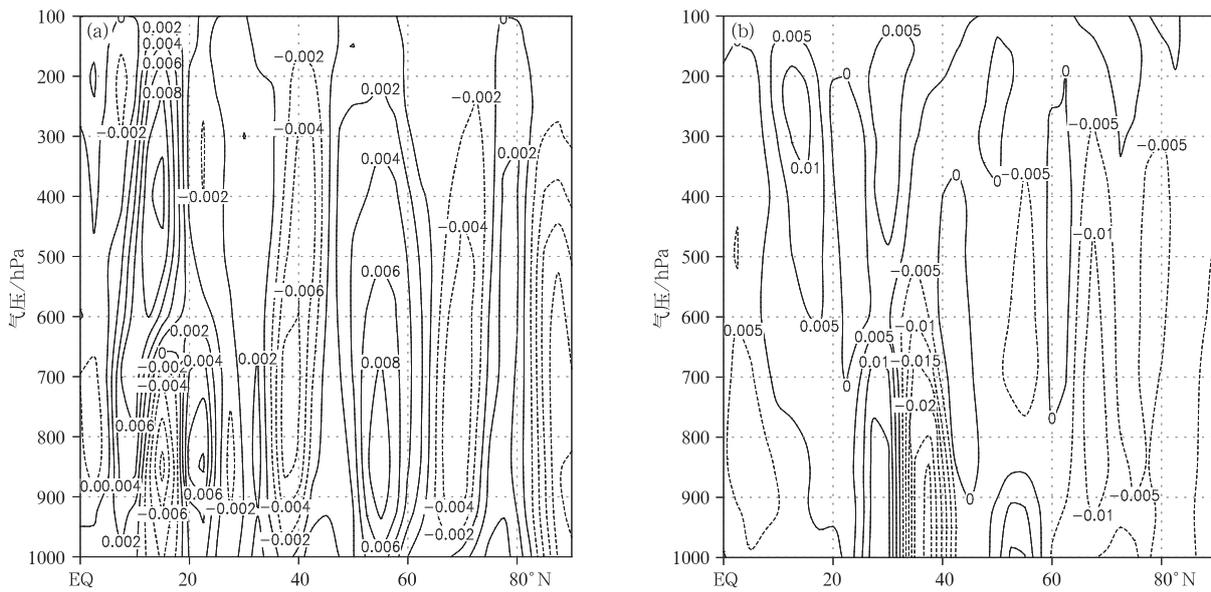


图10 夏季大西洋—欧洲地区(30°W~60°E)(a)及塔里木河流域(74°~100°E)(b)极涡异常偏小年与异常偏大年上升运动的平均差异场  
纬度-高度剖面图(单位:m·s<sup>-1</sup>)

Fig. 10 Latitude-pressure cross sections of the mean meridional upward motion difference between years of smaller area and larger area of polar vortex(a) in the Atlantic—European(30°W—60°E)(unit: m·s<sup>-1</sup>) with that in the Tarim River Basin(74°—100°E)(b) in summer(unit: Pa·s<sup>-1</sup>)

情况相似。

由以上对流层高层纬向风(图4)和环流形势(图5)分析可知,在夏季极涡面积异常偏小年(图4b),200 hPa 纬向风从大西洋—欧洲区高纬度至低纬度地区存在“+ - + -”异常分布,从大西洋—欧洲区高纬度至塔里木河流域也存在“+ - + -”200 hPa 纬向风异常分布,同样,500 hPa 高度场(图5b)也存在与200 hPa 纬向风异常位置相近、位相相反的高度场异常。以上分析表明:这些环流异常分布对塔里木河流域降水有正贡献,而在极涡面积异常偏大年,也存在基本相反的环流异常分布,对塔里木河流域降水有负贡献。研究表明:夏季大西洋区环流通过北半球中纬度的遥相关波列东传影响亚洲天气气候<sup>[30]</sup>,影响新疆夏季降水的途径是冰岛斯堪的纳维亚半岛—亚洲中纬度地区的西北—东南向传播的波列<sup>[12]</sup>,即大西洋—欧洲极涡面积异常导致环流异常分布,进而影响塔里木河流域降水。

与大西洋—欧洲极涡异常引发的环流异常对应,在塔里木河流域所在经度范围内,从高纬度至低纬度地区的经纬向风差异场的正负波列与大西洋—欧洲区的相似,正是这些环流异常分布影响的结果,而两区域大气垂直运动从高纬度到中纬度也有基本相似的环流异常分布,个别区域稍有差异,差异原因可能与垂直运动比水平运动量级小、波列能量耗散以及区域地形和地表的热力影响有关。以上分析表明,大西洋—欧洲极涡面积变化与塔里木河流域降水天气有关的大气环流异常联系紧密。

## 5 结 论

本文研究了1961—2015年夏季大西洋—欧洲区极涡面积异常对塔里木河流域降水的影响,得到以下结论:

1) 夏季大西洋—欧洲区极涡面积与塔里木河流域降水之间存在显著的负相关关系。当夏季该区域极涡面积异常偏小时,塔里木河流域降水易偏多;反之降水偏少。

2) 在极涡面积异常偏小年,对流层高层的西风急流在西亚和中亚减弱,而在塔里木河流域与东亚 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ , $120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 区域增强,中高纬度地区冷空气和中低纬度地区西南暖湿空气易影响塔里木河流域;在对流层中层欧洲中部和贝加尔湖的高压脊偏强,亚洲东部的低压槽偏弱,中亚区域环流经向梯

度加大,塔里木河流域处于高低压之间气流辐合地带;在对流层中低层,塔里木河流域西部和东部的天气扰动比较活跃,该流域的东风和西南风的水汽输送增强,该流域西部和北部等主要降水区水汽辐合加强,因此,有利于该流域降水。在极涡面积异常偏大年,不利于该流域降水。

3) 在塔里木河流域经度范围内,极涡面积异常偏小年与异常偏大年的经纬向风的差异场从高纬度至低纬度的经向分布波列与大西洋—欧洲区相似,两区域大气垂直运动的差异场从高纬度到中纬度的经向分布波列也相似,大西洋—欧洲区极涡区与塔里木河流域之间存在西北—东南向环流异常分布,大西洋—欧洲极涡面积异常可能通过该环流异常分布影响到塔里木河流域及周边风场、水汽输送和大气垂直运动,进而影响到该流域降水。

## 参 考 文 献

- [1] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:167-173.
- [2] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨. 冰川冻土,2002,24(3):219-226.
- [3] 陈亚宁. 全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能性影响. 中国科学(D辑),2004,34(11):1047-1053.
- [4] 马柱国,黄刚,甘文强,等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征. 大气科学,2005,29(15):671-681.
- [5] 李剑锋,张强,陈晓宏,等. 基于标准降水指标的新疆干旱特征演变. 应用气象学报,2012,23(3):322-330.
- [6] 栾晨,宋敏红,蔡英,等. 西北区西部夏半年强降水分布与变化特征. 高原气象,2012,31(3):629-637.
- [7] 陈春艳,王建捷,唐冶,等. 新疆夏季降水日变化特征. 应用气象学报,2017,28(1):72-85.
- [8] 李红军,江志红,魏文寿. 近40年塔里木河流域旱涝的气候变化. 地理科学,2007,27(6):801-807.
- [9] 王鹏祥,何金海,郑有飞,等. 近44年来中国西北干湿特征分析. 应用气象学报,2007,18(6):769-775.
- [10] 薛燕,韩萍,冯国华. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势. 干旱区研究,2003,20(2):127-130.
- [11] Zhao Yong, Zhang Huqiang. Impacts of SST warming in tropical Indian Ocean on CMIP5 model-projected summer rainfall changes over Central Asia. *Clim Dyn*, 2015, 2(2):233-248.
- [12] 杨莲梅,张庆云. 北大西洋涛动对新疆夏季降水异常的影响. 大气科学,2008,32(5):1187-1196.
- [13] 戴新刚,汪萍,张凯静. 近60年新疆降水趋势与波动机制分析. 物理学报,2013,62(12):29201-29207.
- [14] Zhao Y. Impact of the middle and upper troposphere cooling over central Asia on the summer rainfall in the Tarim Basin, China. *J Clim*, 2014, 7:4721-4732.
- [15] 张云惠,杨莲梅,肖开提·多莱特,等. 1971—2010年中亚低

- 涡活动特征. 应用气象学报, 2012, 23(3): 312-321.
- [16] Frauenfeld O W, Davis R E. Northern Hemisphere circumpolar vortex trends and climate change implications. *J Geophys Res*, 2003, 108(D14): 4423-4436.
- [17] 时珍玲. 九十年代以来江淮流域夏季典型早涝成因分析. 气象, 1996, 22(9): 35-38.
- [18] 姚秀萍, 董敏. 东北三江流域夏季早涝基本特征分析. 应用气象学报, 2000, 11(3): 297-303.
- [19] 张恒德, 金荣花, 张友姝. 夏季北极涡与副热带高压的联系及对华北降水的影响. 热带气象学报, 2008, 24(4): 417-422.
- [20] 谭桂容, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季早涝的环流特征分析. 气象科学, 2003, 23(2): 135-143.
- [21] 马振锋, 高文良, 刘富明, 等. 青藏高原东侧初夏早涝的季风环流分析. 高原气象, 2003, 22(增刊 I): 1-7.
- [22] 黄嘉佑, 刘舸, 赵昕奕. 副高、极涡因子对我国夏季降水的影响. 大气科学, 2004, 28(4): 517-526.
- [23] 熊光明, 陈权亮, 魏麟晓, 等. 平流层极涡偏移对我国冬季降水的影响. 应用气象学报, 2012, 23(6): 683-690.
- [24] 时兴合, 李凤霞, 扎西才让, 等. 1961—2004年青海积雪及雪灾变化. 应用气象学报, 2006, 17(3): 376-382.
- [25] 王遵娅, 丁一汇. 夏季亚洲极涡的长期变化对东亚环流和水汽收支的影响. 地球物理学报, 2009, 52(1): 20-29.
- [26] 极涡和气温预报课题协作组. 北半球 500 hPa 极涡特征参量的计算与使用说明. 吉林省气象科学研究所报告(2), 1989: 1-4.
- [27] 杨莲梅, 张庆云. 新疆夏季降水年际变化与亚洲副热带西风急流. 应用气象学报, 2008, 19(2): 171-179.
- [28] 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991: 19-26.
- [29] Richard E M, Cecilia M B, Eric J S. Dynamics of recent climate change in the Arctic. *Science*, 2002, 297: 1497-1502.
- [30] Ding Q, Wang B. Circumglobal teleconnection in the Northern Hemisphere summer. *J Clim*, 2005, 18: 3483-3505, DOI: 10.1175/JCLI3473.1.

## Impacts of the Regional North Polar Vortex Anomalies on Summer Precipitation of the Tarim River Basin

Li Hongjun<sup>1)2)</sup> Ma Yufen<sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup> (*Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002*)

<sup>2)</sup> (*Center for Central Asian Atmosphere Science Research, Urumqi 830002*)

### Abstract

With precipitation data of 43 stations in the Tarim River Basin and the polar vortex areas data in the Atlantic—European (polar vortex) in summer of 1961—2015, variation characteristics of the precipitation and the polar vortex, the correlation and impacts of north polar vortex anomaly on precipitation in the Basin are studied. The precipitation in the Basin has been increasing since 1961, while the polar vortex is decreasing, and a significant negative correlation is found. In negative (positive) polar vortex anomaly years, in the upper atmosphere layer, the significantly weaker (stronger) subtropical westerly jet in West Asia and Central Asia, while it is the opposite in East Asia ( $35^{\circ}-45^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}-160^{\circ}\text{E}$ ) and the Basin, where the high-middle latitude cold air and mid-low latitude warm wet air that enter the Tarim River Basin increase (decrease) and strengthen (weaken). In the middle layer, negative (positive) polar vortex anomaly may lead to stronger (weaker) Middle European ridge and the Baike Lake ridge, weaker (stronger) East Asia trough, increased (decreased) meridional circulation in the Central Asian, and converging (diverging) stream in this basin. In the low layer, negative (positive) polar vortex anomaly may lead to stronger (weaker) anomaly easterly and southwesterly (northwesterly and northeasterly), stronger (weaker) weather disturbance. More east vapor flux is found entering the Basin comparing to the west vapor flux outflowing away this Basin. Moreover, the southern and eastern vapor flux converging in the southwest borders, and the convergence of vapor flux are strengthened (weakened) in the main precipitation areas of the Basin, which all lead to the increasing (decreasing) of precipitation in the Tarim River Basin.

In summer, the polar vortex anomalies in the Atlantic—European have impacts on the meridional wind, zonal wind and the vertical motion from the high latitude to the low latitude by the meridional correlations. In the meridional range of the Tarim River Basin, the meridional variation distributions of the meridional wind, zonal wind and the vertical motion are formed from high latitudes to low latitudes by the zonal correlation, which are similar to those of the Atlantic—European, and anomalies of the wind field and the water vapor transition are also triggered in the Basin and its adjacent areas, impacting the precipitation. Therefore, the north polar vortex anomalies could possibly have significant denotative meaning on the Tarim River Basin precipitation in summer.

**Key words:** the Atlantic—European polar vortex; the Tarim River Basin precipitation; atmospheric circulation anomalies