

新疆夏季降水年际变化与亚洲副热带西风急流^{* 1}

杨莲梅¹⁾²⁾ 张庆云²⁾

¹⁾(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,乌鲁木齐 830002)

²⁾(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,北京 100029)

摘 要

利用 1960—2003 年 NCEP/NCAR 再分析和新疆 75 个气象站月降水资料,分析了新疆夏季降水与亚洲副热带西风急流的关系,新疆夏季降水与西亚急流的南北位置和准静止波活动密切联系。通过波作用量的动力学诊断分析,研究了新疆降水异常年准静止波活动特征,新疆降水异常年斯堪的纳维亚半岛向东传播的中高纬静止波传播方式的不同,从而影响沿副热带西亚西风急流传播的静止波活动,进而影响新疆夏季降水,并存在沿 60°E 自南极高纬低层经向上传至低纬对流层顶部,并在北半球副热带地区转为经向下传至北半球中纬地区的波列,该波列活动与西亚急流变化联系。

关键词: 西亚急流;准静止波传播;新疆夏季降水异常

引 言

新疆位于我国西北部,气候不受季风系统的直接影响^[1-2],是独特的干旱、半干旱沙漠气候,中部横亘全境的天山将其分为北疆和南疆,北疆和南疆平原地区年降水量分别为 206 mm 和 59 mm 左右,南、北疆气候具有显著差异,降水主要集中于夏季(6—8 月)。从大气环流系统上看,中高纬波动、伊朗高压、西太平洋副热带高压和南亚高压都能对新疆夏季降水产生影响,旱涝成因十分复杂,干旱背景下的季节旱涝异常的年际预测能力是目前气候研究中的一项非常重要的内容。

夏季亚洲西风急流恰好位于新疆上空,是影响新疆降水天气过程的重要大气环流系统之一^[3],急流的位置、强弱、轴向对新疆夏季大范围强降水过程有重要影响,从天气学上已有比较详细的研究,但由于资料的限制,从气候角度研究新疆夏季降水的年际变化与西风急流的关系还很缺乏,且中高纬环流系统变化一直是影响我国旱涝气候预测水平提高的难点和重点。目前对西风急流与环流和气候关系的

研究多集中于亚洲—太平洋地区上空急流^[4-14],大气环流 6 月和 10 月的突变、南海夏季风的爆发、东亚梅雨的开始和结束、中国东部同期和后期降水等都与亚洲西风急流位置变化密切相关。同时亚洲西风急流是北半球夏季的一个波导,沿亚洲急流上 Rossby 波活动对北半球夏季中纬度地区气候变化有重要影响^[15-18]。Lu 等^[19]研究了 7 月沿亚洲急流的静止 Rossby 波的年际变化,指出亚洲西风急流可能是联系东亚季风和印度季风的机制,并且急流上 Rossby 波活动和 ENSO 是两个相互独立的影响东亚气候因子。Ding 等^[20]认为夏季北半球沿西风急流存在环半球波列,是中纬地区气候变化的一个重要影响源,而 Tokyo-Chicago 快车、印度季风-东亚季风遥相关、西亚—中亚—日本波列均是环半球波列的局地表现,可见夏季亚洲西风急流位置及其上的波列活动是非常重要的。

上述研究表明,夏季亚洲西风急流位置的南北变化、急流上 Rossby 波活动对东亚季风系统及天气气候变化有重要影响。本研究主要讨论对新疆地区降水有影响的西亚西风急流的位置和 Rossby 波活动特征,以进一步认识我国西北干旱区气候异常机理。

* 国家自然科学基金项目(40775056)、中央级公益性科研院所基本科研业务专项资金项目“新疆强天气发生机理及数值模式方法研究”和新疆气象科学基金(200609)共同资助。

2006-10-25 收到,2007-07-10 收到再改稿。

1 资料和方法

应用1960—2003年夏季(6—8月)新疆75个气象站、全国160站月降水量资料和美国国家环境预测中心和大气研究中心NECP/NCAR提供的再分析资料($2.5^\circ \times 2.5^\circ$),再分析资料空间层次为1000~30 hPa,共15层。气候平均为1971—2000年平均值。

首先,对1960—2003年新疆75个气象站夏季降水量标准化值进行经验正交函数(EOF)分析,以了解新疆夏季降水量分布特征,图1为方差最大的两个特征模,第一模态占总方差的22.5%,空间分布为全疆降水变化的一致性,天山山区和南疆降水

变化比其他地区大;第二模态占总方差的17.1%,空间分布为南、北疆降水的相反变化;第三模态占总方差的7.2%,表现为天山山区及其两侧与其他地区降水的反位相变化(图略)。图1c,d为对应的主分量正规化时间序列,第一模态有显著的线性增加趋势和年代际变化,表明新疆夏季降水具有全区一致增多,1964—1987年为全疆降水偏少年代,1988—2000年为全疆降水偏多年代,第二模态有显著的年代际变化,1970—1985年为南疆降水偏多、北疆降水偏少年代,1986—1999年为南疆降水偏少、北疆降水偏多年代。通过相关分析表明第一模态变化与西风急流联系密切,而第二模态变化与急流联系不大,因此,这里着重讨论第一模态降水与急流的关系。

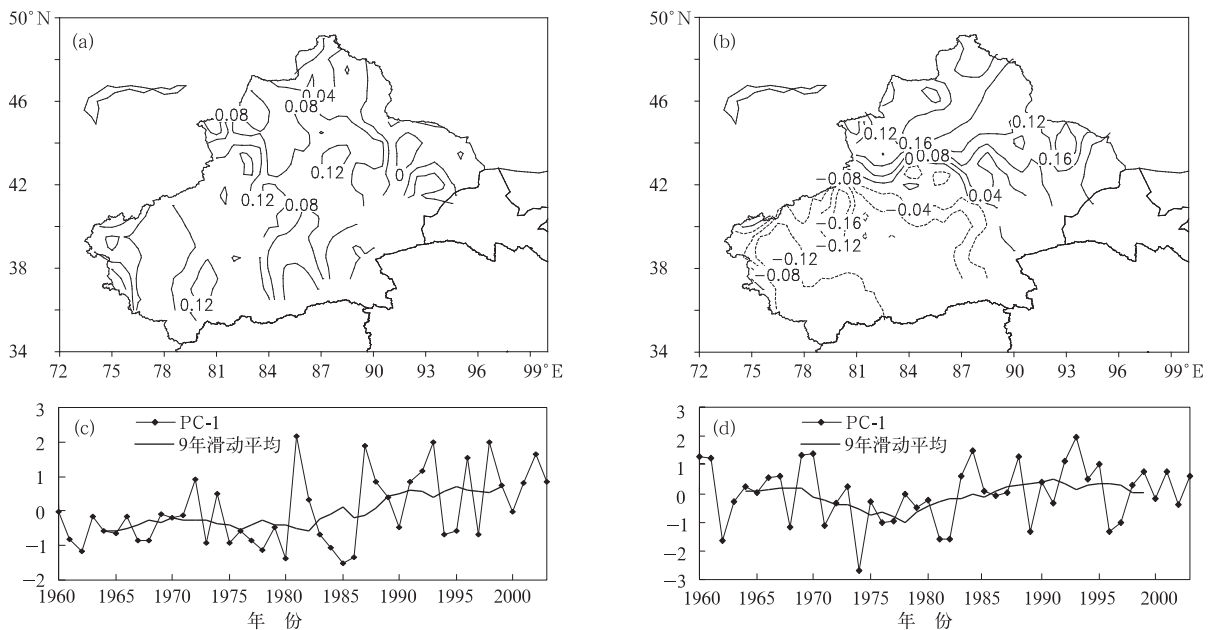


图1 新疆75站夏季降水量标准化序列 EOF 方差最大的前两个特征模态(a, b)及对应的主分量正规化时间序列(c, d)

Fig. 1 The patterns of the eigenvectors of the first two gravest EOF modes (a, b) and corresponding time series(c, d) of 75 stations normalized rainfall over Xinjiang in summer

新疆夏季降水第一主分量时间序列与全国160站夏季降水的相关(图略)表明,新疆降水与我国其他地区降水关系很弱,仅与甘肃西部有较强的相关,表明新疆(西北地区西部)降水具有自己的特征。由于第一主分量具有显著的年代际变化(图1c),偏多年出现在1988年以后,偏少年出现在1987年以前,这显然是年代际变化的反映,为了消除年代际变化的影响,先作9年滑动平均表示年代际变化,年

际变化为年变化值减去相应年的年代际值,并将大于0.8个标准差的年定义为降水异常偏多年(1972, 1974, 1981, 1982, 1987, 1993, 1996, 1998年),共8年,小于-0.8个标准差的年定义为降水异常偏少年(1978, 1980, 1984, 1985, 1986, 1990, 1994, 1995, 1997, 2000年),共10年。

EP 通量是研究波流相互作用、波动传播和地转位涡输送的有效方法,是行星波活动和异常的重要

诊断工具, Takaya 等^[21]根据 Plumb 等人的工作给出了沿变化的基本气流静止波活动通量的公式, 表述为:

$$W = \frac{p}{2|U|} \left\{ \begin{aligned} &U(\Psi_x'^2 - \Psi'\Psi_{xx}') + V(\Psi_x'\Psi_y' - \Psi'\Psi_{xy}') \\ &U(\Psi_x'\Psi_y' - \Psi'\Psi_{xy}') + V(\Psi_y'^2 - \Psi'\Psi_{yy}') \\ &\int_0^2 \{ U(\Psi_x'\Psi_p' - \Psi'\Psi_{xp}') + \\ &V(\Psi_y'\Psi_p' - \Psi'\Psi_{yp}') \} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

夏季平均(6—8月)滤去了瞬变扰动, 这里的静止波为相对于基本气流的定常扰动。为了研究准静止 Rossby 波活动, 对 200 hPa 流函数进行傅立叶(Fourier)谐波分析, 参考文献[18]对准静止 Rossby 波的定义, 定义波数 $k < 3$ 为基本气流场, $k \geq 3$ 为定常静止波扰动, 因此式(1)中 Ψ' 为谐波分析滤去了波数小于 3 后的扰动流函数, $|U|$ 为水平风速, p 为

气压, U, V 为基本气流的纬向和经向分量, S^2 为静力稳定度参数。本研究应用上式讨论 $k \geq 3$ 的 Rossby 波传播特征。

2 新疆夏季降水异常年的西风急流特征

图 2a 为气候平均纬向风场, 沿 40°N 附近为西风急流带, 西亚—西北太平洋纬向风速大于 25 m/s , 这里称为亚洲急流, 有 3 个中心, 分别位于里海上空、 $80^\circ \sim 100^\circ\text{E}$ 的中国西部地区(最大风速超过 30 m/s)和 140°E 以东的日本及其洋面上(最大风速为 25 m/s)。新疆夏季降水偏多年(图 2b)只有一个急流中心, 位于南疆上空, 西亚地区急流减弱, 东亚地区急流增强, 而降水偏少年(图 2c)急流有 3 个中心, 位置与气候平均基本一致, 但西亚地区急流增强, 东亚地区急流减弱。

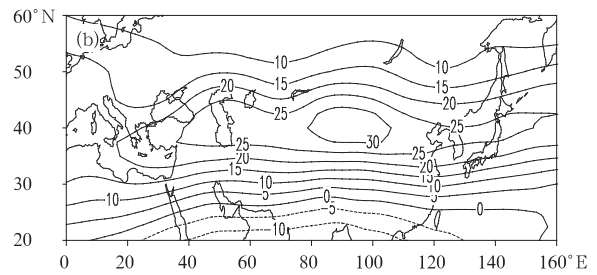
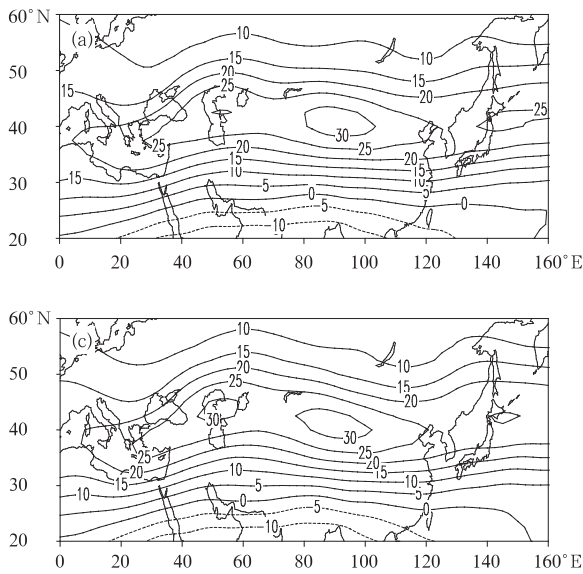


图 2 夏季 200 hPa 纬向风(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(a) 气候平均, (b) 降水偏多年, (c) 降水偏少年
Fig. 2 Zonal winds at 200 hPa
in summer (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(a) climate mean, (b) in more rainfall
years, (c) in less rainfall years

为了进一步了解降水异常年的亚洲急流差异, 降水异常年的纬向风距平场(图略)分布表明, 降水偏多年亚洲急流变化呈 Ω 型, 急流轴南侧风速增强, 北侧新疆 ($80^\circ \sim 110^\circ\text{E}$) 上空风速增强, 而急流轴北侧中、西亚 ($40^\circ \sim 80^\circ\text{E}$) 和东亚地区 ($110^\circ \sim 150^\circ\text{E}$) 上空风速减弱, 新疆上游的西亚急流变化最明显, 通过 0.05 显著性 t 检验, 降水偏少年急流变化则相反。新疆夏季降水量第一主分量时间序列与 200 hPa 纬向风相关分布(图 3), 表明西亚急流与新疆夏季降水呈显著相关, 降水与急流北侧风速呈显著负相关, 与南侧风速呈显著正相关, 即与西亚急流南北位移呈显著相关, 西亚急流偏南新疆降水偏多。

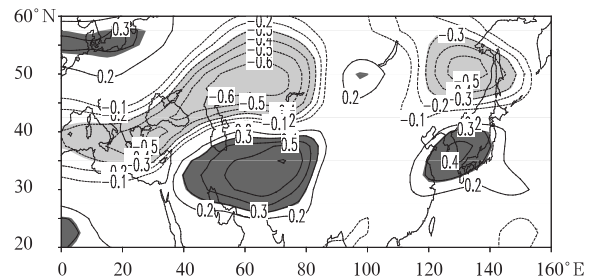


图 3 新疆夏季降水第一主分量时间序列
与夏季 200 hPa 纬向风的相关分布
(阴影区表示通过 0.05 显著性检验)
Fig. 3 Linear correlation between first mode of Xinjiang
summer rainfall EOF and zonal winds in summer
(shaded areas indicate the level exceeding 0.05)

西亚急流($40^{\circ} \sim 80^{\circ}\text{E}$) EOF 分析(图略)表明第一模态占总方差的 35.4%, 空间分布为急流南北位置变化, 第二模态占总方差的 24.0%, 空间分布为急流强度的变化, 第一和第二模态对应的时间序列与新疆夏季降水量第一主分量时间序列的相关系数分别为 -0.63 和 0.12 , 表明西亚急流偏南则新疆夏季降水偏多, 反之相反, 西亚急流强度则与新疆降水关系不大。

夏季 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}\text{E}$ 纬向风纬度-高度分布(图略)表明, 气候平均副热带-高纬对流层为西风, 急流轴位于 42.5°N 附近, 最大在 200 hPa, 新疆降水偏多(少)年对流层 40°N 以北西风减弱(增强), 减弱(增强)最明显位于 200 hPa 达 4 m/s (3.5 m/s), 40°N 以南西风增强(减弱), 最强也在 200 hPa 达 3 m/s (2 m/s), 可见新疆降水异常年西亚地区上空整个对流层的西风均有显著差异。

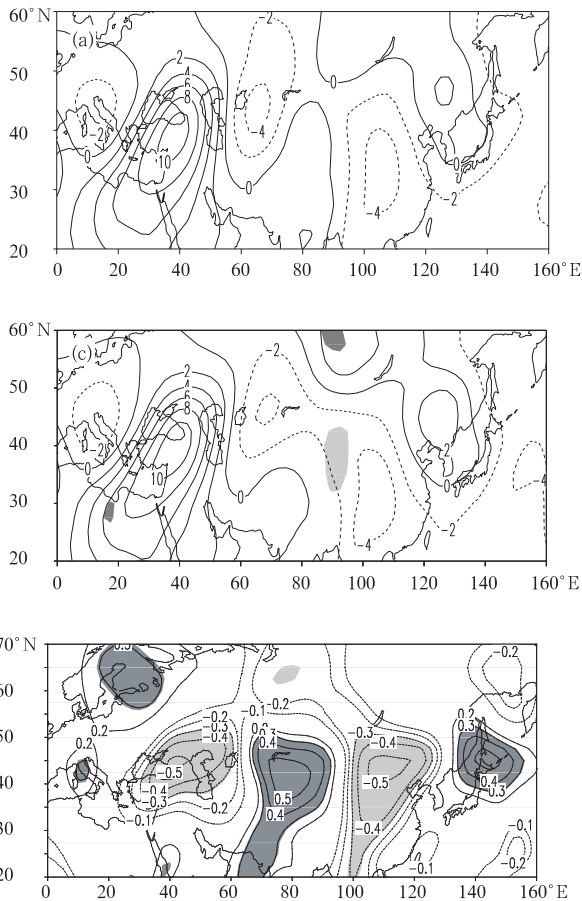


图 5 同图 3, 但为经向风

Fig. 5 Same as in Fig. 3, but for meridional winds

图 6 为夏季 $70^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$ 散度经向-高度分布, 图 6a 表明气候平均青藏高原上空为一致的辐散, 最

图 4a 为气候平均经向风场, 沿急流隔 $2000 \sim 3000 \text{ km}$ 南北风交替出现, 表明静止 Rossby 波的存在, 其中亚洲急流入口区(地中海东部—里海)南风最强超过 10 m/s , 恰好处于南亚高压最西端的北侧, 其以东则南北风明显减弱。降水偏多年(图 4b)急流入口处南风仅为 8 m/s , 但其以东 $70^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 南北风有明显增强, 尤其是新疆上空南风增强显著, 表明静止 Rossby 波增强, 而降水偏少年(图 4c)急流入口处经向风基本无变化, 但 $60^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 南北风有所减弱, 表明静止波减弱。进一步给出新疆夏季降水量第一主分量时间序列与 200 hPa 经向风相关分布(图 5), 表明新疆夏季降水量与斯堪的纳维亚半岛向东南方向传播, 在亚洲急流入口处进入急流, 然后沿急流主体传播静止波有显著相关, Rossby 波的传播用 EP 通量分析在下文讨论。

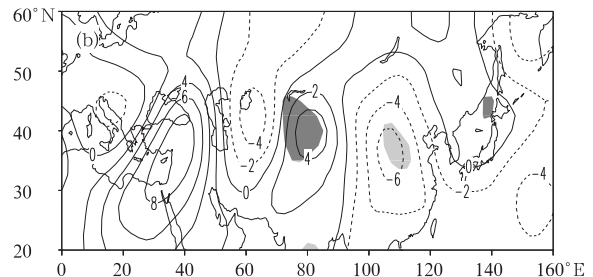


图 4 同图 2, 但为经向风

(阴影区表示通过 0.05 显著性检验)

Fig. 4 Same as in Fig. 2, but for meridional winds

(shaded areas indicate the level exceeding 0.05)

强辐散位于 100 hPa 附近, 而其北侧的新疆上空 200 hPa 以下为一致的辐合, 与新疆干旱、半干旱气候一致。降水偏多年青藏高原上空 150 hPa 以下辐散有所增强, 150 hPa 以上辐散有所减弱, 新疆上空高空急流的加强使辐合减弱, 有利于新疆下沉运动的减弱, 而降水偏少年青藏高原上空 150 hPa 以下辐散有所减弱, 以上辐散有所增强, 新疆上空高空急流的减弱促进辐合进一步增强, 有利于下沉运动增强, 使得新疆干旱加剧。上述分析表明新疆夏季降水与西风急流南北位置和静止波均有密切关系, 随着急流的变化, 新疆上空的动力条件发生变化。

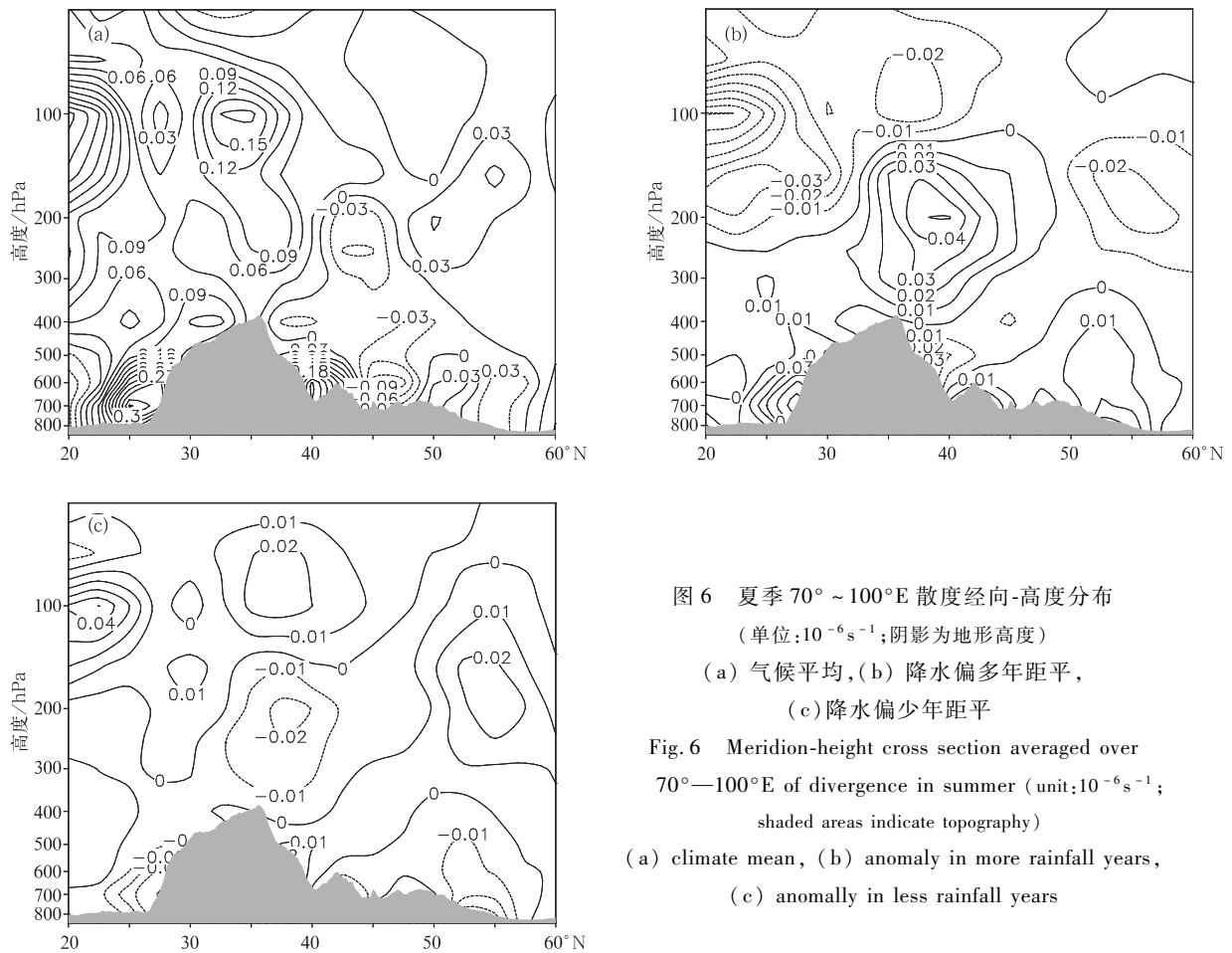


图6 夏季 70°~100°E 散度经向-高度分布

(单位: 10^{-6} s^{-1} ; 阴影为地形高度)

(a) 气候平均, (b) 降水偏多年距平,

(c) 降水偏少年距平

Fig. 6 Meridion-height cross section averaged over 70°–100°E of divergence in summer (unit: 10^{-6} s^{-1} ; shaded areas indicate topography)

(a) climate mean, (b) anomaly in more rainfall years,

(c) anomaly in less rainfall years

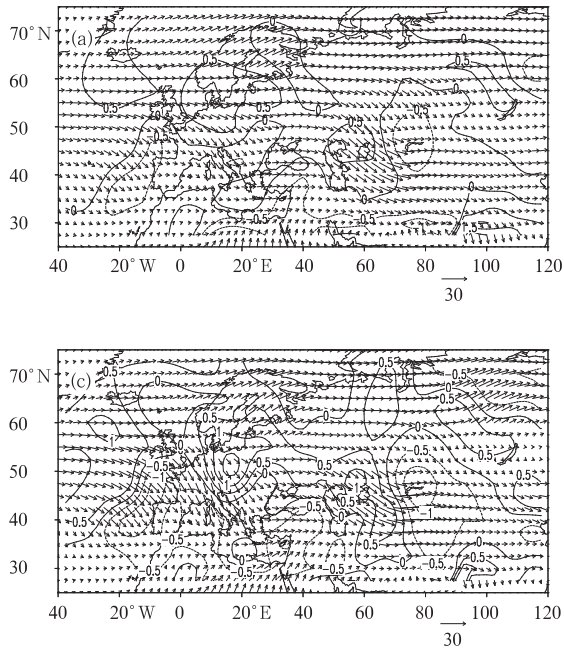
3 新疆夏季降水异常年沿西风急流准静止波差异

图 7a 是气候平均 200 hPa 水平波活动通量和散度分布,北大西洋—斯堪的纳维亚半岛为水平波活动矢量强辐散中心,该中心水平波通量向东和东南传播,向东传播的波通量在乌拉尔山附近转向东南方向传播,在里海、咸海和中亚上空进入副热带西风急流并继续向东传播,直接向东南方向传播的波通量在地中海东部和黑海附近进入副热带西风急流并沿急流向东传播,表明高纬北大西洋—斯堪的纳维亚半岛水平波活动通过二条路径影响沿西风急流波活动,里海、咸海地区—中亚存在强 EP 通量辐散-辐合中心,表明沿西亚西风急流存在强 Rossby 波活动。

降水偏多年 200 hPa 水平波活动通量和散度分布见图 7b, EP 通量强辐散中心位于 $55^{\circ} \text{N}, 30^{\circ} \text{E}$, 比气候平均偏东,该强辐散中心水平波通量在高纬向东传播,部分在乌拉尔山附近转向东南在里海、咸海

和中亚上空进入副热带西风急流并继续向东传播,中亚—新疆 EP 通量辐散、辐合中心表明该区域西风急流存在强波流相互作用,北大西洋—斯堪的纳维亚半岛向地中海东部和黑海附近传播的水平波通量较弱。距平分布(图略)表明北大西洋—斯堪的纳维亚半岛 EP 通量辐散减弱,斯堪的纳维亚半岛以东 EP 通量辐散增强,水平波作用量矢量向东传播在乌拉尔山转向东南向传播并进入副热带西风急流分支增强,而直接向东南向传播进入西风急流入口处部分减弱,使得 60°E 以西沿急流波传播减弱,而中亚—新疆急流波传播增强,表明里海、咸海地区—新疆 EP 通量辐散-辐合增强是由高纬水平波作用量矢量活动向西风急流传播增强引起,急流入口处波活动减弱由斯堪的纳维亚半岛—中欧向东南方向波传播减弱所致。降水偏少年(图 7c)表明 EP 通量强辐散中心约位于 $52.5^{\circ} \text{N}, 17.5^{\circ} \text{E}$, 比气候平均偏南、偏西,该强辐散中心水平波通量直接向东南向传播并在地中海东部和黑海附近进入副热带西风急流,向东传播进入西风急流部分很弱,中亚—新疆

EP 通量辐散、辐合中心比降水偏多年位置偏东。其距平分布(图略)表明北大西洋—斯堪的纳维亚半岛 EP 通量辐散减弱,斯堪的纳维亚半岛以南的中欧地区 EP 通量辐散增强,斯堪的纳维亚半岛—中



欧水平波作用量矢量在高纬地区向东传播在乌拉尔山向东南方向在里海、咸海—新疆地区进入西风急流的水平波作用量矢量传播减弱,另一方面,直接向东南向传播并进入西风急流入口的波增强,可见,西

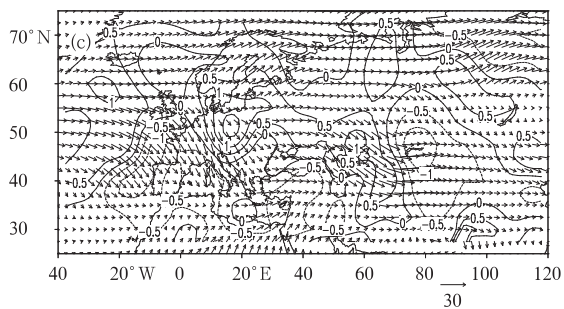
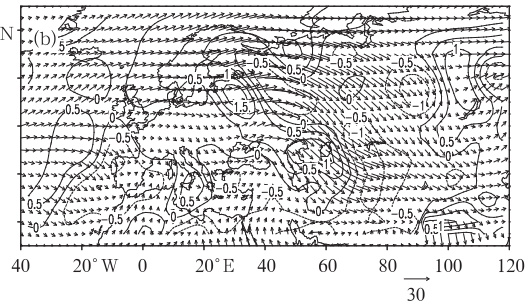


图7 夏季 200 hPa 水平波活动通量(矢量,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)和通量散度(等值线,单位: $10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
(a)气候平均,(b)降水偏多年,(c)降水偏少年
Fig. 7 The horizontal wave activity flux (vectors, unit: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) and its divergence (contours, unit: $10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) at 200 hPa in summer
(a) climate mean, (b) in more rainfall years, (c) in less rainfall years

亚急流波活动强弱与高纬斯堪的纳维亚半岛—中欧地区向东传播波活动密切联系,初步研究表明新疆夏季降水变化与北大西洋涛动存在密切联系,另文进行讨论。

为了进一步了解对流层大尺度定常波的情况,参考文献[22]构造的大尺度定常波的方法,给出了由纬向风速偏差和垂直速度偏差构造矢量表示大气定常波沿 40°N 高度-纬向剖面(图略),可以看出,气候平均对流层高层沿西风急流 $0^\circ \sim 120^\circ\text{E}$ 约有 2 个大气定常波动,地中海和黑海附近在急流以下为一致下沉气流,沿急流大气定常波起源于地中海和黑海附近,对流层中低层波活动比高层强,里海急流中心以下有一波动,新疆上空波动随高度西倾,600 hPa 以下波活动较明显,而对流层中高层较弱。降水偏多和偏少年差值表明降水偏多年与偏少年相比大气定常波源和里海附近次级环流减弱,与西亚急流减弱对应,但新疆上空波活动增强,与急流增强对应,可见新疆降水异常并不受沿急流入口处波源强弱影响,而是与新疆上游西亚和其上空对流层大气定常波动关联,因此深入研究西亚急流变化的原因有重要意义。

刘忠辉等^[23]分析发现,1980 年夏季 200 hPa 60°E 和 120°E 附近存在两支经向波导,并沿大圆路

径呈 Rossby 波射线状由南半球伸向北半球,称之为西亚波导和东亚波导,姚文清等^[24]、苗秋菊等^[25]研究指出夏季对流层沿 120°E 附近自南极—北半球中纬经向波列(东亚波导)与江淮流域旱涝密切相关。图 8 给出了沿 60°E EP 通量散度垂直剖面分布,由图可见,气候平均 EP 通量辐合辐散相间排列特征显著,即 EP 通量散度经向波列自南半球高纬低层经向上传至低纬对流层顶,并在北半球副热带地区转为经向下传至北半球中纬区域,西亚地区对流层高层 40°N 辐散,则西风基本气流要加速,对应里海上空的急流中心,降水偏多年(图 8b)仍存在这个经向波列,但该波列有所增强,尤其西亚地区对流层高层 40°N 以南辐散增强,北侧辐合增强,对应急流轴南侧西风增强、北侧西风减弱,降水偏少年(图 8c)同样存在该经向波列,与气候平均差异不大,只是在西亚地区对流层高层 40°N 南侧辐散明显减弱,北侧辐合也减弱,则对应西亚急流轴南侧西风减弱、北侧西风增强。降水偏多与偏少年差值表明该经向波列强弱有所差异,最大的差异在西亚地区对流层中高层 40°N 南北两侧,降水偏多年 40°N 南侧辐散增强、北侧辐合增强,导致对流层西亚地区 40°N 南侧西风增强、北侧西风减弱,其他经度剖面则不存在这

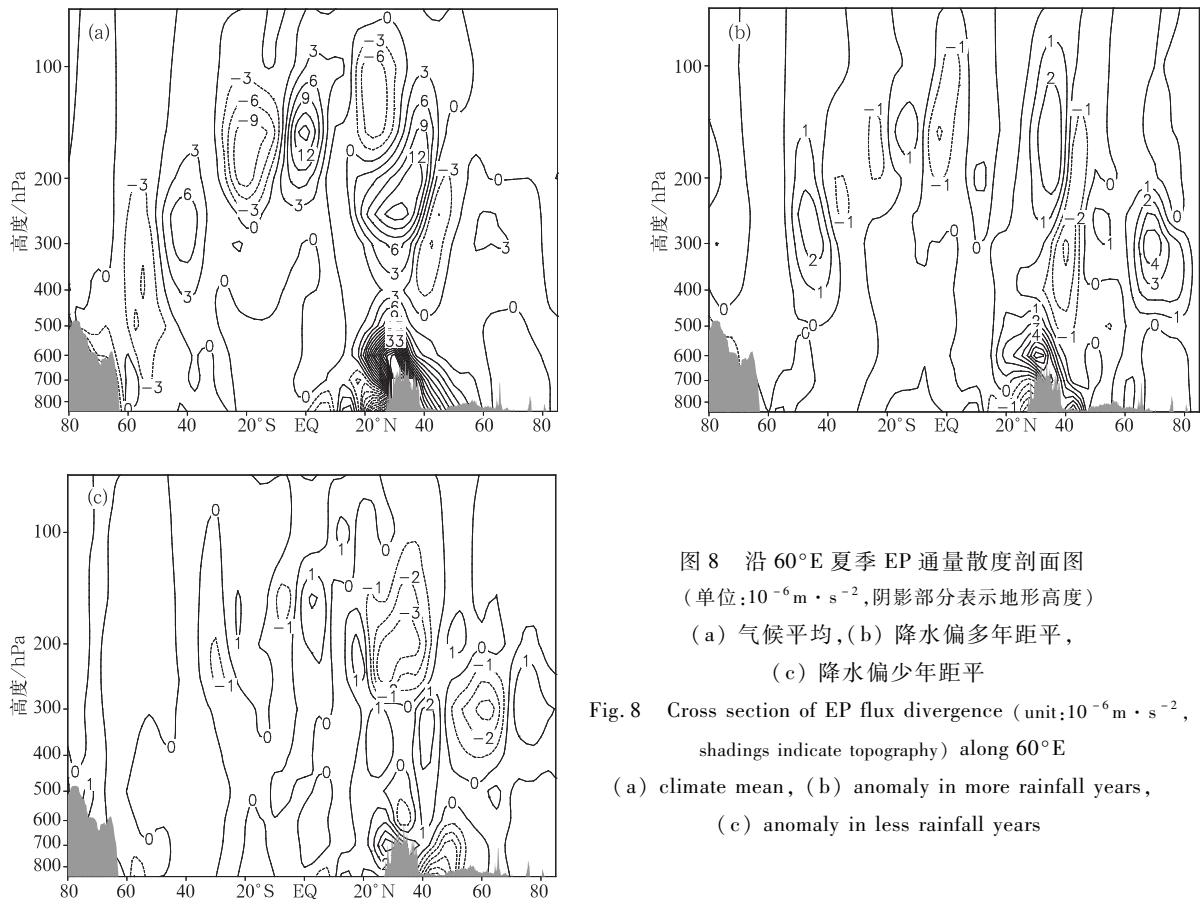


图 8 沿 60°E 夏季 EP 通量散度剖面图

(单位: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 阴影部分表示地形高度)

(a) 气候平均, (b) 降水偏多年距平,

(c) 降水偏少年距平

Fig. 8 Cross section of EP flux divergence (unit: $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, shadings indicate topography) along 60°E

(a) climate mean, (b) anomaly in more rainfall years,

(c) anomaly in less rainfall years

样的经向波导,值得深入讨论。

4 结 论

1) 新疆夏季降水变化与西亚急流南北位置和沿急流准静止波活动显著相关, 西亚急流轴偏南则新疆夏季降水偏多, 整个对流层副热带西风也偏南, 反之相反, 由此导致新疆上空对流层辐合、辐散异常。

2) 西亚地区对流层大气定常波活动减弱(增强)和新疆区域大气定常波活动增强(减弱), 则新疆降水偏多(少)。 斯堪的纳维亚半岛—中欧地区波活动及其传播在新疆夏季降水偏多和偏少年存在明显差异, 降水偏多年(偏少年), 斯堪的纳维亚半岛—中欧地区水平波活动通量散度中心偏东(偏西、偏南), 水平波作用量矢量向东传播增强(减弱), 引起在乌拉尔山附近向东南方向传播在威海—新疆地区进入副热带西风急流并继续向西传播波活动增强(减弱), 另一支直接向东南方向传播在地中海东部和黑海附近进入副热带西风急流波传播

减弱(增强), 沿西亚急流静止波活动减弱(增强)。新疆夏季降水与斯堪的纳维亚半岛—中欧—沿亚洲副热带西风急流波活动密切联系。

3) 大气沿 60°E 存在行星尺度的经向波列, 西亚地区急流变化与自南极高纬低层经向上传至低纬对流层顶部, 并在北半球副热带地区转为经向下传至北半球中纬区域的波列有关, 该波列在西亚上空对流层中高层 40°N 两侧相反变化, 导致高空西风变化不同, 降水偏多(少)年, 40°N 南侧 EP 通量辐散增强(减弱)、北侧辐合增强(将弱), 导致 40°N 南侧西风增强(减弱)、北侧西风减弱(增强)。

参 考 文 献

- [1] 张存杰, 谢金南, 李栋梁. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响. 高原气象, 2002, 21(2): 193-198.
- [2] 王宝鉴, 黄玉霞, 何金海, 等. 东亚夏季风期间水汽输送与西北干旱的关系. 高原气象, 2004, 23(6): 912-918.
- [3] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 457.
- [4] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, 29(4): 249-263.

- [5] 陶诗言, 赵煜佳, 陈小敏. 东亚的梅雨与亚洲上空大气环流季节变化的关系. *气象学报*, 1958, 29(2): 119-134.
- [6] 孙安健. 江淮旱涝年份准定常行星波分布于平均纬向风速的差异. *应用气象学报*, 1994, 5(1): 68-76.
- [7] Liang P D, Liu A X. Winter Asia jet stream and seasonal precipitation in East China. *Adv Atmos Sci*, 1994, 11(3): 311-318.
- [8] Liang X Z, Wang W C. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1998, 124(6): 2597-2623.
- [9] 李崇银, 王作台, 林士哲, 等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究. *大气科学*, 2004, 28(5): 641-658.
- [10] 廖清海, 高守亭, 王会军, 等. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响. *地球物理学报*, 2004, 47(1): 10-18.
- [11] Lu R Y. Associations among the components of the East Asian summer monsoon system in the meridional direction. *J Meteor Soc Japan*, 2004, 82(1): 155-165.
- [12] 庄世宇, 赵声蓉, 姚明明. 1998年夏季西太平洋副热带高压的变异分析. *应用气象学报*, 2005, 16(2): 54-65.
- [13] 陶诗言, 卫捷. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳. *应用气象学报*, 2006, 17(5): 513-525.
- [14] 毛睿, 龚道溢, 房巧敏. 冬季东亚中纬度西风急流对我国气候的影响. *应用气象学报*, 2007, 18(2): 11-20.
- [15] Terao T. Barotropic disturbances on intraseasonal time scales observed in the midlatitudes over the Eurasian continent during the northern summer. *J Meteor Soc Japan*, 1998, 76: 419-436.
- [16] Krishnan R, Sugi M. Baiu rainfall variability and associated monsoon teleconnections. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 851-860.
- [17] Enomoto Takeshi, Hoskins B J, Matsuda Yoshihisa. The formation mechanism of the Bonin high in August. *Quart J Roy Meteor Soc*, 2003, 587: 157-178.
- [18] Enomoto Takeshi. Interannual variability of the Bonin High associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. *J Meteor Soc Japan*, 2004, 82: 1019-1034.
- [19] Lu R Y, Oh J H, Kim B J. A teleconnection pattern in upper-level meridional wind over the North African and Eurasian continent in summer. *Tellus*, 2002, 54A: 44-55.
- [20] Ding Q H, Wang B. Circumglobal teleconnection in the Northern Hemisphere summer. *J Climate*, 2005, 18: 3483-3505.
- [21] Takaya Koutarou, Nakamura Hisashi. A formulation of a wave-activity flux for stationary Rossby waves on a zonally varying basic flow. *Geophys Res Lett*, 1997, 24: 2985-2988.
- [22] 段安民, 吴国雄, 刘屹岷. 定常条件下感热和地形影响的 Rossby 波. *气象学报*, 2006, 62(2): 129-136.
- [23] 刘忠辉, 喻世华. 夏季对对流层高层的低频波导. *热带气象学报*, 1993, 9(2): 142-149.
- [24] 姚文清, 徐祥德, 冉令坤. 江淮流域旱涝年夏季 E-P 通量特征分析. *气象*, 2004, 30(4): 11-14.
- [25] 苗秋菊, 徐祥德, 姚文清. 高层大气三维热力结构异常及其遥相关特征对江淮流域旱涝的影响. *气象学报*, 2003, 61(4): 457-465.

Interannual Variation of Summer Precipitation in Xinjiang and Asian Subtropical Westerly Jet Stream

Yang Lianmei¹⁾²⁾ Zhang Qingyun²⁾

¹⁾ (Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002)

²⁾ (State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The relationships between Asian subtropical westerly jet stream (ASWJS) and summer precipitation in Xinjiang are examined using the NCEP/NCAR reanalysis dataset and 75 stations monthly precipitation data in Xinjiang from 1960 to 2003. Summer precipitation in Xinjiang is closely related to meridional displacement of west Asian jet stream and quasi-stationary wave activity along ASWJS. It is confirmed by Eliasson-Palm flux diagnoses that stationary waves propagation over Scandinavian Peninsula-middle Europe has important impacts on stationary waves activity along ASWJS. It is found that anomalous summer more (less) rainfall in Xinjiang is related to the West Asian Westerly Jet axis moving to Southern (Northern) rather than normal, and subtropical westerly front also migrates southward (northward) over the whole troposphere. As a result, anomalous convergence and divergence occur over Xinjiang. The composite plots show the troposphere atmospheric steady wave weakens or strengthens over West Asia

and strengthens or weakens over Xinjiang which are associated with more or less rainfall in Xinjiang. It is investigated that the horizontal wave vector propagation is obviously different between more and less rainfall years. During more (less) rainfall years, it is found that horizontal wave activity flux divergence center over Scandinavian Peninsula-middle Europe is favorable for moving eastward (westward and southward), and horizontal wave activity propagation strengthens (weakens) toward eastward leading to turning to southeastward near Ural mountain and entering ASWJS at Aral Sea-Xinjiang and the wave propagation strengthens (weakens). In the meantime, the direct wave propagation toward southeastward enters ASWJS in the east Mediterranean and Black Sea and weakens (strengthens) because of which quasi-stationary wave activity along West Asian westerly jet stream weakens (strengthens). Xinjiang summer rainfall is closely related to wave activity and propagation over Scandinavian Peninsula-middle Europe-ASWJS. Furthermore, the meridional wave train along 60°E connecting the two hemispheres is revealed, and this wave train which propagates meridionally upward from lower-troposphere in polar region to low-latitude tropopause and continues turning downward to mid-latitude in northern hemisphere is associated with west Asian jet variation. This wave train EP flux divergence performs opposite the variation near the south and north along 40°N , leading to different west Asian westerly jet stream intense variation near the south and north along 40°N for drought/flood years. EP flux divergence to the south (north) of 40°N and convergence to the north (south) of 40°N enhances (weakens) in flood (drought) years leading to the enhanced (weakened) upper level westerly to the south of 40°N and weakens (enhances) upper level westerly to the north of 40°N .

Key words: West Asian westerly jet stream; quasi-stationary wave propagation; summer precipitation anomaly in Xinjiang

欢迎订阅《应用气象学报》

《应用气象学报》是由中国气象科学研究院、国家气象中心、国家卫星气象中心、国家气候中心、国家气象信息中心和中国气象局大气探测技术中心联合主办的大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊。《应用气象学报》将向您提供有关我国大气科学领域内研究和应用成果的最新论文、资料、方法等大量信息,内容包括气象预报、卫星气象、农业气象、海洋气象、航空气象、环境气象、人工影响天气、应用气象、大气探测、遥感技术以及计算机应用技术等学科;还向您介绍国内外现代科技的最新理论与新技术在大气科学中应用的研究论文及信息。主要栏目有论著、短论、综合评述、业务系统、学术论坛、研究简报、书刊评介等。本刊被《中文核心要目总览》确认为大气科学(气象学)类核心期刊,并已首批入选“中国科学引文数据库”(CSCD),中国科学技术期刊文摘(CSTA)国家数据库(英文版)收录的刊源名单,并被美国气象学会“气象与地球天体物理学文摘”(MGA)和美国国际科学应用协会(SAIC)以及中国科学文摘(英文版)等多种文摘摘录。本刊还首批入选“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。《应用气象学报》面向广大的气象科研、业务技术人员、在校有关专业的研究生、大专院校师生等专业人员。

《应用气象学报》为双月刊,逢双月出版,可以随时汇款订阅或购买(户名:中国气象科学研究院,账号:11001028600056086013,开户行:建行北京白石桥支行)。2008年6期(每期定价30.00元),总订价180.00元(含邮资)。

订阅地址:北京市中关村南大街46号中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部;邮政编码:100081。

联系电话:(010) 68407086,68408638。E-mail地址:yyqxxb@cams.cma.gov.cn,yyqxxb@163.com。