

焦敏,李辑,王阳,等. 2014年盛夏辽宁异常少雨的大尺度环流特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(5): 751-757, [JIAO Min, LI Ji, WANG Yang, et al. Large-scale Circulation Characteristics of Anomalous Less Rainfall in Liaoning Province in Midsummer of 2014[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5): 751-757], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0751

2014年盛夏辽宁异常少雨的大尺度环流特征

焦敏,李辑,王阳,王莹,黄岩

(辽宁省气象科学研究所,辽宁 沈阳 110166)

摘要:利用辽宁省53个站点逐日降水量、国家气候中心逐月环流指数和NCEP/NCAR逐日再分析资料,分析了2014年盛夏辽宁地区异常少雨的大尺度环流特征。结果表明:2014年盛夏,辽宁全省降水量严重偏少,大部地区偏少5成,为历史同期最严重少雨事件。高低空大尺度环流的异常配置是导致2014年盛夏辽宁降水严重偏少的环流成因,辽宁地区位于高空急流轴以北,不利于上升运动的发展;西太平洋副热带高压和东亚副热带锋区位置较常年偏西偏南,辽宁地区缺少暖湿气流输送及冷暖空气交绥;低空急流位置偏东偏南,辽宁地区主要受偏西气流控制,缺少偏南暖湿水汽输送及辐合上升运动。异常下沉运动是导致2014年盛夏辽宁地区降水严重偏少的直接动力,辽宁南北两侧存在两个对称的异常环流圈,异常下沉运动在辽宁地区叠加,使得下沉运动异常加强。

关键词:2014年盛夏;异常少雨;大尺度环流

文章编号:1006-7639(2018)05-0751-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-05-0751

中图分类号:P434

文献标志码:A

引言

全球变暖背景下,中国干旱、少雨事件频发^[1],尤其中国北方地区,干旱发生频次及程度明显增加、增强^[2-3]。特别是2014年夏季,整个东北亚地区遭受了近60a以来的最严重干旱少雨事件^[4],其中辽宁省发生了严重夏旱,尤其盛夏干旱实属罕见,降水严重偏少给当地农业、林业、牧业以及群众生活等造成严重影响^[5-6]。因此,了解此次盛夏异常少雨事件的大尺度环流特征,不仅为辽宁夏季降水预报预测提供理论依据,还可为防灾减灾决策服务提供有益参考。

事实上,辽宁初夏和盛夏降水特征及形成机制存在显著差异。降水异常偏多时期,辽宁初夏和盛夏环流形势及影响系统明显不同,初夏对流层各层以冷涡活动影响为主,而盛夏则以200 hPa东亚副热带高空急流、500 hPa西太平洋副热带高压(简称“西太副高”)及850 hPa低空偏南急流共同影响为主^[7-8]。那么,夏季降水异常偏少时期,辽宁地区大

尺度环流特征及各层间的配置如何?影响系统是什么?相关研究比较少见。2014年盛夏,辽宁异常少雨,是1951年以来同期最严重少雨事件,鉴于此次异常少雨事件的严重性,本文参考前人研究成果^[9-12],开展2014年盛夏辽宁地区严重异常少雨事件的大尺度环流特征研究。

1 资料

所用资料为辽宁省气象信息中心1962—2014年辽宁省53站逐日降水量、国家气候中心1962—2014年逐月环流指数(包括西太副高面积指数、强度指数、脊线位置指数、北界位置指数及西伸脊点指数),以及美国国家环境预报中心/国家大气科学研究中心(National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research, NCEP/NCAR)1981—2014年逐日再分析资料^[13],水平分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$,要素场包括水平风速、垂直速度、比湿以及500 hPa位势高度和地表气压。其中,水平风速和垂直速度的垂直层数为12层(1000~

收稿日期:2018-02-02;改回日期:2018-05-17

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306021)、国家自然科学基金(41605087)和辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划项目(2015030)共同资助

作者简介:焦敏(1987—),女,硕士,工程师,主要从事气候变化研究. E-mail: minminjiao2006@163.com。

通信作者:李辑,正研级高工,主要从事气候预测及气候变化研究. E-mail: cqlji@sina.com。

100 hPa),比湿 8 层(1000 ~300 hPa)。

定义盛夏为 7 月 1 日至 8 月 31 日,共计 62 d;气候平均值为 1981—2010 年 30 a 平均。

2 辽宁 2014 年盛夏降水时空特征

图 1 是辽宁省 2014 年盛夏逐日降水量距平序列,发现辽宁 2014 年盛夏降水量距平平均为 -2.71 mm,盛夏 62 d 中有 54 d 降水量为负距平,占总天数的 87.1%,且 42 d(67.7%)降水负距平低于盛夏距平平均值,表明辽宁 2014 年盛夏降水量异常偏少。

降水距平百分率直观反映了降水的偏离程

度^[14]。从辽宁省 2014 年盛夏降水距平百分率空间分布[图 2(a)]可见,辽宁全省 2014 年盛夏降水较常年同期都偏少,大部分地区降水偏少 5 成以上。这种全区性的降水负异常特征与大尺度环流背景有关。从图 2(b)看出,辽宁 2014 年盛夏降水偏离气候平均值约 2 倍标准差(-1.95),为 1962 年以来的最小值,说明 2014 年盛夏异常少雨事件是 1962 年以来同期最严重少雨事件,也是 1951 年以来同期最严重少雨事件^[6]。

综上所述,辽宁 2014 年盛夏异常少雨事件持续时间久、涉及范围广,为历史同期最严重少雨事件。

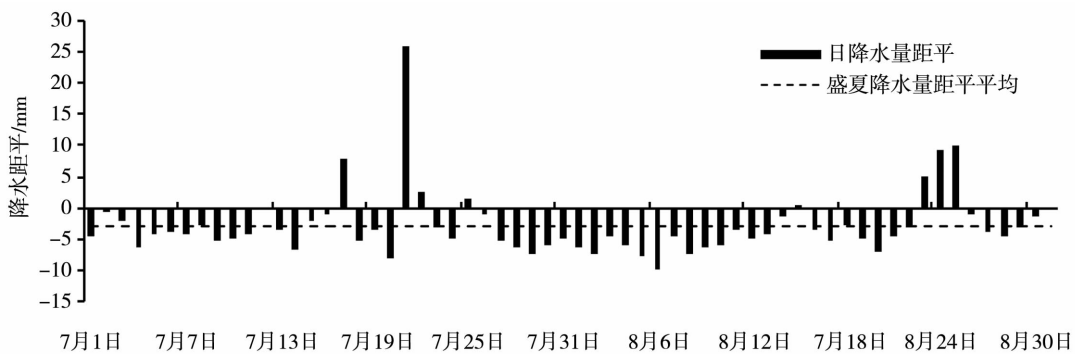


图 1 辽宁省 2014 年盛夏逐日降水量距平序列

Fig. 1 Daily precipitation anomaly in Liaoning Province in midsummer of 2014

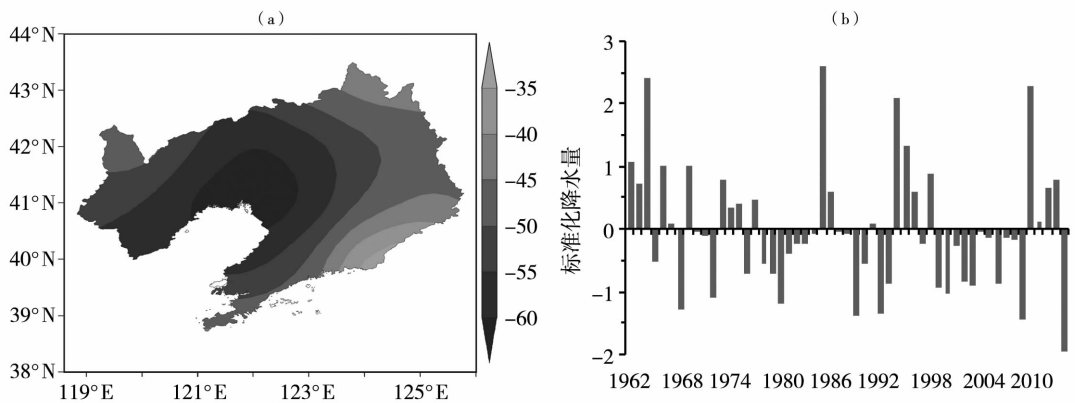


图 2 辽宁省 2014 年盛夏降水距平百分率(a,单位:%)空间分布和 1962—2014 年盛夏标准化降水时间序列(b)

Fig. 2 Spatial distribution of precipitation anomaly percentage in midsummer of 2014 (a, Unit:%) and normalized series of midsummer precipitation during 1962 -2014 (b) in Liaoning Province

3 2014 年盛夏东亚地区大尺度环流

3.1 200 hPa 纬向风场

东亚高空西风急流是影响我国东北地区夏季降水的关键系统,西风急流的强度和急流轴的南北位移均会引起东北地区盛夏降水异常^[15]。从 2014 年盛夏 200 hPa 纬向风场(图 3)看出,东亚副热带地区有一纬向风速大于 35 m · s⁻¹的急流中心,其位

置位于 40°N 附近中国新疆东部地区上空;中国东北地区东南部至日本海一带也有一急流带,急流中心纬向风速超过 25 m · s⁻¹,由于急流轴北侧风速具有气旋性切变,使得此处高层辐散有所减弱,不利于辽宁地区上升运动的发展和降水的产生。与辽宁盛夏少雨年的合成分析结果^[7]相比,急流轴位置偏南、强度偏强,辽宁地区高层辐散偏弱。另外,从纬向风距平场来看,中国东北地区东南部至日本海一

带急流轴以北为纬向风速低于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正距平区域,急流轴以南 112°E — 142°E 范围为纬向风速高于 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的正距平区域,说明急流轴南侧西风强度明显更强,急流轴位置较常年偏南。

上述分析可见,2014年盛夏东亚副热带急流东段辽宁上空的急流轴位于辽宁以南,且高层辐散减弱,不利于产生降水。

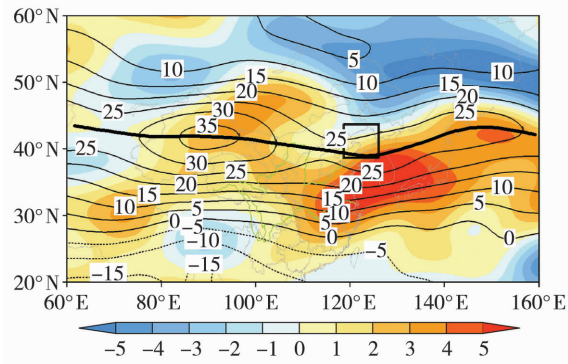


图3 东亚地区2014年盛夏200 hPa 纬向风场(等值线)及其距平场(阴影)(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (黑色粗实线为西风急流轴位置; 矩形框为辽宁地区,下同)

Fig. 3 The zonal wind field (contours) on 200 hPa and its anomaly field (shaded) in East Asia area in midsummer of 2014 (Black thick line for the location of westerly jet axis, rectangle box for the location of Liaoning Province, the same as below)

3.2 500 hPa 位势高度场

西太副高是影响我国天气气候异常的重要环流系统之一,其位置的季节性南北移动决定着我国雨带的大致位置^[16-17]。表1列出1962—2014年西太副高指数与辽宁盛夏降水的相关系数。可以看出,西太副高面积和强度指数与辽宁盛夏降水的相关性不显著,而脊线位置、西伸脊点及北界位置与辽宁盛

表1 1962—2014年辽宁盛夏降水与西太副高指数的相关系数

Tab. 1 The correlation coefficients between midsummer precipitation in Liaoning Province and indexes of western Pacific subtropical high during 1962 - 2014

面积	强度	脊线位置	西伸脊点	北界位置
0.15	0.14	0.36*	-0.28*	0.39*

注: * 表示通过0.05的显著性检验

夏降水显著相关,即当西太副高脊线和北界位置偏南、西伸脊点偏东时,辽宁盛夏降水偏少;当西太副高脊线和北界位置偏北、西伸脊点偏西时,辽宁盛夏降水偏多。

图4是2014年盛夏500 hPa位势高度场及其距平场。可以看出,辽宁上空受高空槽控制,且为负距平。冷空气活动虽频繁,但西太副高整体位置不利于降水产生。与气候平均态相比,西伸脊点明显偏西15个经度,北界位置略偏北,脊线位置偏南约3个纬度,这种分布型使得东亚副热带锋区位置明显偏西偏南,不利于暖湿气流沿副高西北侧输送到辽宁地区。另外,与辽宁盛夏少雨年合成分析结果^[7]相比,2014年盛夏,西太副高位置偏西,西伸脊点偏西约30个经度,说明合成分析结果并不能完全表征个例特点,个例分析还是有其必要性。2014年盛夏主雨带主要位于长江流域到华南一带,辽宁地区因缺乏暖湿气流输送及冷暖空气交汇,降水异常偏少。

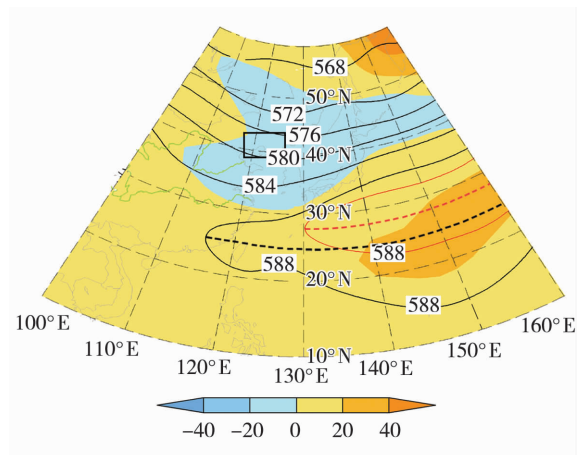


图4 2014年盛夏500 hPa位势高度场(等值线)及其距平场(阴影)(单位:dagpm) (黑色点线为2014年盛夏588 dagpm线的脊线,红色实线和点线分别为气候平均态588 dagpm特征线及其脊线)

Fig. 4 The 500 hPa geopotential height field (contours) and its anomaly field (shaded) in midsummer of 2014 (Unit: dagpm) (Black dotted line for ridge line of 588 dagpm in midsummer of 2014, while the red solid and dotted lines for climatological mean line of 588 dagpm and its ridge line, respectively)

3.3 850 hPa 风场

2014年盛夏850 hPa风场[图5(a)]显示,东亚地区对流层低层有两条气流带,一条是流经索马里

地区的越赤道气流,穿越阿拉伯海和印度半岛,沿孟加拉湾和中南半岛,到达中国南海地区后,转成西南气流北上;另一条是来自西太副高南侧的偏东气流,沿西太副高西侧的引导气流转成西南气流北上。然而,2014年盛夏两条气流带汇合位置与气候平均态下明显不同。气候平均态下[图5(b)],两条气流带在中国东海海域汇合加强北上,到达朝鲜半岛后转为西南气流,并在 30°N — 45°N 之间形成东亚—西太平洋低空急流带,该急流带西部边缘形成风切变式急流轴,急流轴位于朝鲜半岛南部(120°E —

130°E),辽宁地区位于低空急流轴左侧,风速具有气旋式切变,为降水提供了低空辐合上升的动力条件。2014年盛夏,两条气流带汇合的位置较气候平均态偏东偏南,急流轴位置明显偏东偏南,位于 25°N — 35°N 、 125°E — 135°E 的日本半岛南部,辽宁地区未受急流影响,处于偏西气流控制中,缺少偏南水汽输送和低层辐合上升条件,不利于降水产生。与辽宁盛夏少雨年合成分析结果^[7]相比,低空急流轴位置偏南偏西,说明2014年盛夏偏南水汽输送更加缺少。

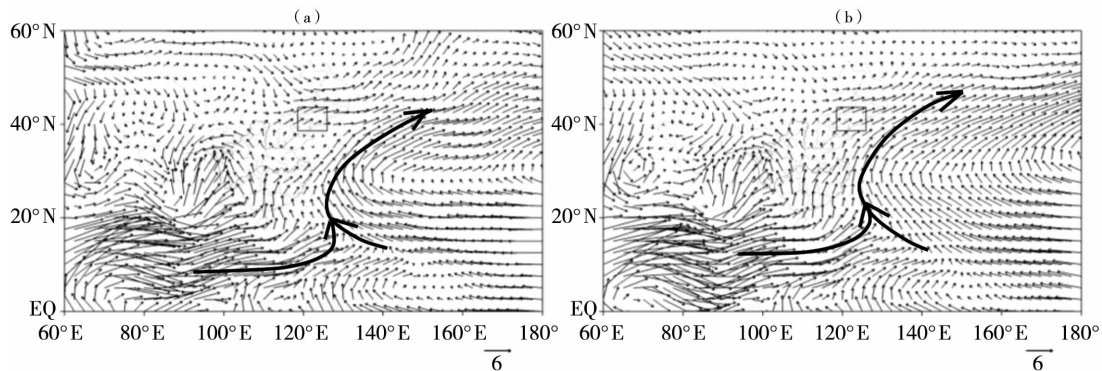


图5 2014年盛夏850 hPa风场(a)及气候平均场(b)(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(粗箭头线为低空急流)

Fig. 5 The 850 hPa wind field in midsummer of 2014 (a) and climatological mean field (b) (Unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
(Thick line with arrow for low-level jet)

综上所述,2014年盛夏辽宁地区位于200 hPa东亚副热带西风急流轴东段以北,高层辐散减弱,不利于上升运动的发展;500 hPa西太副高位置偏西偏南,东亚副热带锋区位置偏西偏南,辽宁地区缺少暖湿气流输送及冷暖空气交绥;850 hPa低空急流位置偏东偏南,辽宁地区处于偏西气流控制中,缺少偏南暖湿气流输送及辐合上升运动。

3.4 垂直运动

一个区域异常少雨,不仅有大尺度环流作为背景场,还与大尺度环流导致的局地异常状态有直接关系,高低层辐合辐散的异常变化是影响降水变化的动力条件之一^[18]。

图6是2014年盛夏对流层高层、中层及低层风场距平。200 hPa[图6(a)]上,整个中国东北地区受一异常气旋控制,低纬地区有一异常反气旋控制西太平洋地区;500 hPa的环流型与200 hPa基本一致,但辽宁及其附近地区的异常气旋较200 hPa偏东偏南,移至日本海,而低纬地区控制西太平洋地区的异常反气旋在500 hPa上变成两个中心,西侧中心位于台湾岛附近,东侧中心仍位于西太平洋上,且位置较200 hPa偏东偏北[图6(b)];850 hPa[图6(c)]

上,日本海上的异常气旋减弱为低槽,西太平洋地区仍受异常反气旋控制,辽宁地区为一异常反气旋性环流。由此可见,辽宁地区低层辐散、高层辐合,垂直方向为异常下沉运动,不利于产生降水,为异常少雨事件奠定了基础。

明显下沉运动是导致干旱少雨的动力因子^[19]。从图7可见,辽宁地区南北两侧存在两个对称的经向环流圈,这两个环流圈的异常下沉气流在辽宁地区叠加,使得下沉运动异常加强;辽宁地区上空存在一垂直速度正距平中心,表明该区域存在异常强的下沉运动。

综上所述,异常下沉运动是导致2014年盛夏辽宁地区异常少雨事件的直接动力。

3.5 水汽输送

大气环流异常导致的水汽输送异常是降水异常的主要原因^[19]。参考CHEN^[20]的方法,针对此次辽宁异常少雨事件,计算了水汽通量的旋转和辐散分量,这2个分量可以清晰地显示水汽的源汇及辐合辐散状况^[21]。

从图8可以看出,2014年盛夏辽宁地区整层异常水汽通量的旋转分量分布与850 hPa异常环流形

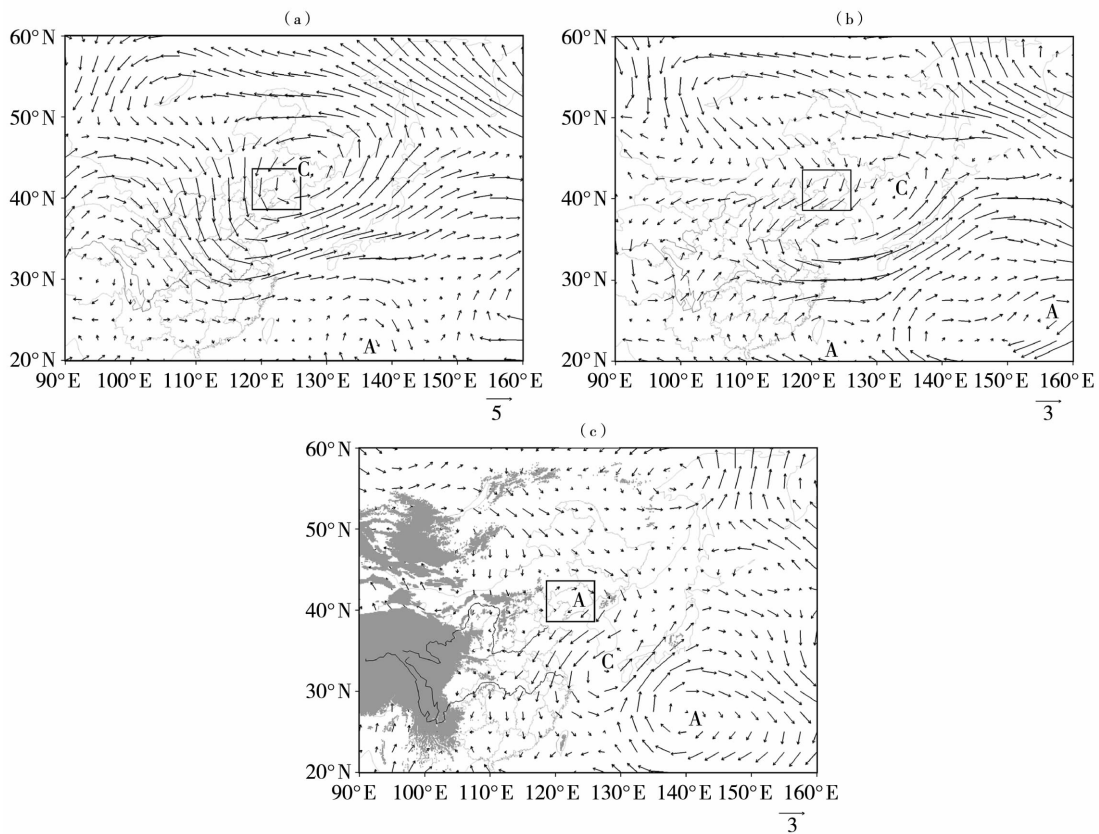


图 6 2014 年盛夏 200 hPa(a) ,500 hPa(b) ,850 hPa(c) 风场距平(单位: $m \cdot s^{-1}$)

Fig.6 The anomaly of wind field on 200 hPa (a) , 500 hPa (b) , 850 hPa (c) in midsummer of 2014 (Unit: $m \cdot s^{-1}$)

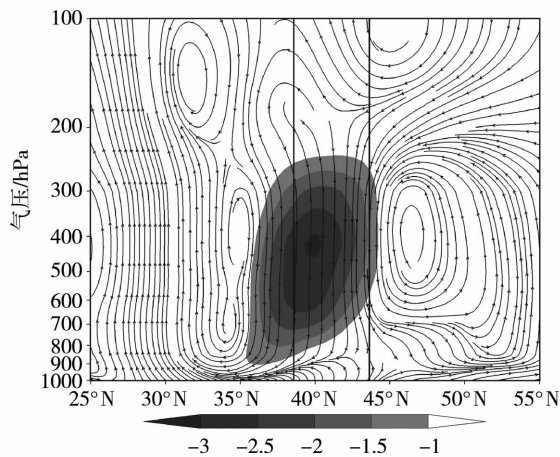


图 7 2014 年盛夏 118.6°E—126.0°E 范围平均经向环流距平(流线)和垂直速度距平(阴影,单位: $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$)的垂直剖面(经向环流由垂直速度和经向辐散风速合成,两条直线之间为辽宁省)

Fig.7 The vertical section of mean meridional circulation anomaly (streamline) and vertical velocity anomaly (shadows, Unit: $10^{-2} Pa \cdot s^{-1}$) over 118.6°E to 126.0°E area in midsummer of 2014 (Meridional circulation was composited of vertical velocity and divergence wind speed, the region between two straight lines for the location of Liaoning Province)

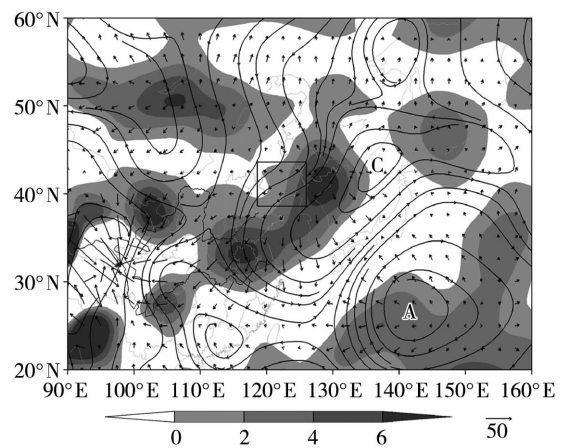


图 8 2014 年盛夏整层(地面至 300 hPa)水汽通量旋转分量(流线)、辐散分量(矢量)(单位: $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$)及水汽通量散度(阴影,单位: $10^{-5} kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)距平场

Fig.8 The anomaly fields of rotational (streamlines) and divergent (vectors) components of integrated moisture flux (Unit: $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$) and moisture flux divergence (shadows, Unit: $10^{-5} kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) from surface to 300 hPa in midsummer of 2014

势[图 6(c)]基本一致,即辽宁地区受异常气旋性水汽输送带影响,西太平洋地区受异常反气旋性水汽输送带影响,两条水汽输送带在日本半岛及其附近海域辐合,与低空偏南急流轴位置[图 5(a)]相对应,在日本半岛地区形成水汽辐合上升运动区,其中在辽宁以东的吉林和朝鲜东部地区有一散度极大值中心,辽宁地区的水汽通量散度为正,表现为辐散。由于缺少偏南暖湿气流输送及辐合上升运动,从而不利于产生降水。

为了更清晰地展示大尺度环流系统对 2014 年盛夏辽宁地区降水异常的影响,绘出了垂直环流示意图(图 9)。可以看出,2014 年盛夏,当 200 hPa 高空急流偏南偏强,500 hPa 冷空气位置偏北、西太副高位置偏西偏南,850 hPa 低空急流位置偏东偏南时,高、低空急流引起的高层辐合、低层辐散使得辽宁地区为异常下沉运动,加之缺少暖湿气流输送及冷暖空气交绥,从而导致辽宁地区降水异常偏少。

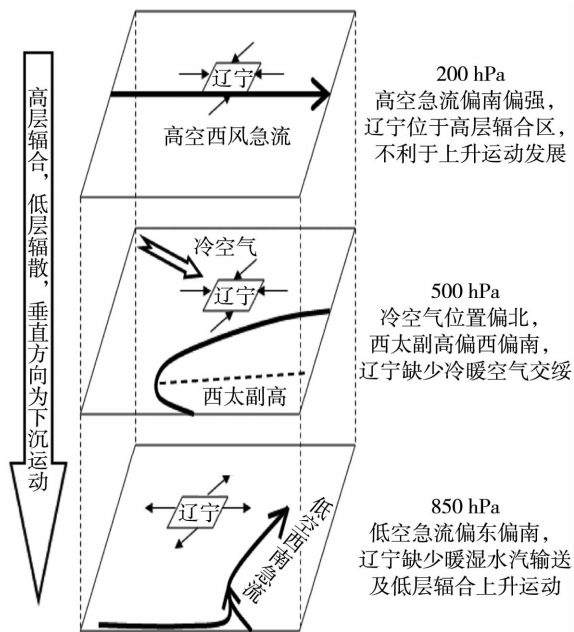


图 9 2014 年盛夏辽宁省异常少雨的垂直环流示意图

Fig. 9 Schematic diagram of vertical circulation of anomalous less rainfall

in Liaoning Province in midsummer of 2014

4 结论

(1) 2014 年盛夏,辽宁省降水严重偏少,盛夏 62 d 中有 54 d 降水异常偏少,绝大部分地区降水量偏少 5 成以上,偏离气候平均值约 2 倍标准差,为历史同期最严重少雨事件。

(2) 高低空大尺度环流的异常配置是导致 2014 年盛夏辽宁地区降水严重偏少的环流成因。

200 hPa 上,辽宁地区位于高空急流轴以北,高层辐散减弱,不利于上升运动的发展;500 hPa 上,西太副高和东亚副热带锋区位置较常年偏西偏南,辽宁地区缺少暖湿气流输送及冷暖空气交绥;850 hPa 上,低空急流位置偏东偏南,辽宁地区主要受偏西气流控制,缺少偏南暖湿水汽输送及辐合上升运动。

(3) 异常下沉运动是导致 2014 年盛夏辽宁降水严重偏少的直接动力。辽宁地区低层辐散、高层辐合,处于下沉运动区,加之南北两侧存在两个对称的异常环流圈,异常下沉运动在辽宁地区叠加,使得下沉运动异常加强。

参考文献:

- [1] 王闪闪,王素萍,冯建英. 2017 年全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2017,35(2):342-351.
- [2] ZHANG Y X, WU M X, LI D L, et al. Spatio-temporal decompositions of summer drought in China and its teleconnection with global sea surface temperatures during 1901-2012[J]. Journal of Climate, 2017,30:6391-6412.
- [3] CHEN H P, SUN J Q. Changes in drought characteristics over China using the standardized precipitation evapotranspiration index[J]. Journal of Climate, 2015,28(13):5430-5447.
- [4] ZHANG L X, ZHOU T J. Drought over East Asia: a review[J]. Journal of Climate, 2015,28(8):3375-3399.
- [5] WANG H J, HE S P. The North China/Northeastern Asia severe summer drought in 2014[J]. Journal of Climate, 2015,28:6667-6681.
- [6] 王玉成. 辽宁省 2014 年特大夏旱分析评估[J]. 防旱抗旱, 2015,25(4):47-50.
- [7] 李辑,李菲,胡春丽,等. 辽宁盛夏降水大尺度环流及 2010 年降水异常成因分析[J]. 高原气象,2014,33(4):1076-1085.
- [8] 李辑,房一禾,李菲,等. 辽宁初夏降水大尺度环流影响因子及 2012 年初夏异常多雨成因分析[J]. 气象,2014,40(9):1114-1122.
- [9] 罗小莉,韦晨,覃卫坚. 2011 年盛夏广西北部特大干旱的环流异常特征[J]. 气候与环境研究,2015,20(3):257-268.
- [10] 罗伯良,李易芝. 2013 年夏季湖南严重高温干旱及其大气环流异常[J]. 干旱气象,2014,32(4):593-598.
- [11] 王文,许金萍,蔡晓军,等. 2013 年夏季长江中下游地区高温干旱的大气环流特征及成因分析[J]. 高原气象,2017,36(6):1595-1607.
- [12] 许金萍,王文,蔡晓军,等. 长江中下游地区 2011 年冬春连旱及 2013 年夏季高温干旱环流特征及其与 Rossby 波活动的联系对比分析[J]. 热带气象学报,2017,33(6):992-999.
- [13] KALNAY E, KANAMITSU M, KISTLER R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996,77(3):437-472.
- [14] 陈权亮,华维,熊光明,等. 2008-2009 年冬季我国北方特大旱成因分析[J]. 干旱区研究,2010,27(2):182-187.
- [15] 孙力,安刚,廉毅,等. 中国东北地区夏季旱涝的大气环流异常特征[J]. 气候与环境研究,2002,7(1):102-113.

- [16] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,2008:480-484.
- [17] 俞亚勋,王式功,钱正安,等. 夏半年西太副高位置与东亚季风雨带(区)的气候联系[J]. 高原气象,2013,32(5):1510-1525.
- [18] 晏红明,程建刚,郑建萌,等. 2009年云南秋季特大干旱的气候成因分析[J]. 大气科学学报,2012,35(2):229-239.
- [19] 段海霞,王素萍,冯建英. 2010年全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2011,29(1):126-132.
- [20] CHEN T C. Global water vapor flux and maintenance during FGGE [J]. Monthly Weather Review, 1985,113:1801-1809.
- [21] 王桂臣,张红华,姜有山,等. 2008年初江苏暴雪天气的诊断分析[J]. 气象科学,2010,30(1):60-66.

Large – scale Circulation Characteristics of Anomalous Less Rainfall in Liaoning Province in Midsummer of 2014

JIAO Min, LI Ji, WANG Yang, WANG Ying, HUANG Yan

(*Institute of Meteorological Sciences of Liaoning Province, Shenyang 110166, China*)

Abstract: Based on the daily precipitation at 53 stations in Liaoning Province, monthly circulation indexes from National Climate Centre of China and daily reanalysis data from NCEP/NCAR, the large – scale circulation characteristics of anomalous less rainfall in Liaoning Province in midsummer of 2014 were analyzed. The results show that the rainfall in midsummer of 2014 was seriously less than the climatology mean in Liaoning Province, the precipitation anomaly in most days (87.1%) was negative, and the precipitation in most parts was 50% less than the normal, which was the most serious less rainfall event in the same period in the historically. The configuration of large – scale circulation in upper and lower levels wasn't extremely beneficial to rainfall in Liaoning Province in midsummer of 2014. Liaoning Province was located in the north of the upper – level jet stream axis, which wasn't conducive to the development of upward movement. The location of the west Pacific subtropical high and East Asian subtropical frontal zone were to the west and the south compared with the normal, which caused the lack of warm and wet airflow transportation, so cold and warm air didn't meet in Liaoning Province. The location of lower level jet stream was more eastward and southward than the normal, the westerly airflow controlled Liaoning Province, where warm and wet airflow transportation and convergence as well as ascending motion lacked. Abnormal sinking motion provided direct driving power for the serious less rainfall in Liaoning Province in midsummer of 2014. The lower level divergence and upper level convergence resulted in the abnormal sinking movement over Liaoning region. Meanwhile, there were two symmetrical abnormal circulations in the north and south sides of Liaoning respectively, which strengthened the sinking movement over Liaoning.

Key words: midsummer of 2014; anomalous less rainfall; large – scale circulation