文章编号:1000-7601(2017)06-0277-07 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2017.06.40

辽宁夏季干旱环流特征分析

房一禾[1,2],吴 琼[1],杜秉宸[3],秦美欧[1],徐方姝[4],林中冠[4],王 当[5],于 杨[6]

(1.沈阳区域气候中心,辽宁 沈阳 110016;2.南京信息工程大学大气科学学院,江苏 南京 210044;
3.南京航空航天大学 航空宇航学院,江苏 南京 210016;4.辽宁省气象服务中心,辽宁 沈阳 110166;
5.中国气象局气象干部培训学院辽宁分院,辽宁 沈阳 110016;6.辽宁省气象信息中心,辽宁 沈阳 110016)

摘 要:利用辽宁省 54 站 1963—2015 年夏季月平均降水量资料及 NCEP/NCAR 月平均环流场再分析资料,对辽宁夏季降水变化特征及异常年环流特征进行了分析,结合 2014 和 2015 年夏季环流场与异常年环流场的对比分析,揭示辽宁夏季干旱环流特征及造成 2014、2015 年辽宁夏季干旱的环流场因素。研究发现:东亚地区对流层各层大尺度环流系统相互配合是造成辽宁夏季降水异常的主要原因。2014 和 2015 年辽宁夏季干旱的环流场特征均与辽宁夏季异常干旱年情况类似:西太平洋副热带高压脊线位置偏南,且副高西北侧为负的位势高度距平,不利于副高西伸北进;由于副高偏南,辽宁地区西南水汽输送不充足;副热带西风急流轴位于辽宁以南地区上空,且辽宁以南上空 200 hPa 纬向风距平为正,以北为负。这种不同高度层大尺度环流配置是造成 2014 和 2015 年辽宁夏季干旱的主要环流原因。

关键词:夏季干旱;环流特征;副热带高压;副热带西风急流轴;辽宁省

中图分类号:P462.3 **文献标志码**:A

Analysis of drought circulation characteristics in summer of Liaoning Province

FANG Yi-he[1,2], WU Qiong[1], DU Bing-chen[3], QIN Mei-ou[1], XU Fang-shu[4],
LIN Zhong-guan[4], WANG Dang[5], YU Yang[6]

(1. *Regional Climate Center of Shenyang*, *Shenyang*, *Liaoning* 110016, *China*;
2. *School of Atmospheric Sciences*, *Nanjing University of Information Science & Technology*, *Nanjing*, *Jiangsu* 210044, *China*;
3. *College of Aerospace Engineering*, *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, *Nanjing*, *Jiangsu* 210016, *China*;
4. *Liaoning Meteorological Service Center*, *Shenyang*, *Liaoning* 110016, *China*;
5. *Liaoning Branch of Meteorological Cadres Training Institute CMA*, *Shenyang*, *Liaoning* 110016, *China*;
6. *Liaoning Meteorological Information Center*, *Shenyang*, *Liaoning* 110016, *China*)

Abstract: Based on the monthly mean rainfall data from 54 observational stations in summer during 1963 to 2015 in Liaoning Province and the NCEP/NCAR monthly circulation field reanalysis information, we analyzed the variation characteristics of precipitation in summer and the circulation characteristics in anomaly years. Combined with comparative analysis of circulation field in summer during 2014 to 2015 with the circulation field in abnormal years, we clarified the drought circulation characteristics in summer and the circulation field factors caused drought in summer during 2014 to 2015 in Liaoning. The results showed that: The cooperation of large scale circulation system in different height of troposphere in East Asia was the main reason for the anomaly precipitation in summer in Liaoning. The circulation fields characteristics of drought in summer during 2014 to 2015 in Liaoning were all similar with the condition of anomaly drought in summer. The position of west pacific subtropical ridge line was partial to south, and its northwest side was negative anomaly, so it was unuseful to subtropicalhigh towards west and north. Because the subtropicalhigh was inclined to south, so the southwest water vapor transport was not sufficient in Liaoning region. The subtropical westerly jet axis was located in south of Liaoning and the 200 hPa zonal wind anomaly over the south of Liaoning was positive, northern part was negative. This allocation of large scale circulation in different height of troposphere was the main circulation reason

收稿日期:2016-07-04 **修回日期**:2017-10-12
基金项目:辽宁省科技厅农业攻关及产业化项目(2015103038);辽宁省气象局科学技术研究项目(201502)
作者简介:房一禾(1986—),男,辽宁沈阳人,博士生,工程师,主要从事短期气候预测研究。E-mail:49954570@qq.com。
通讯作者:于 杨(1983—),男,高级工程师,主要从事气象数据分析研究。E-mail:47517989@qq.com。

for the summer drought during 2014 to 2015 in Liaoning.

Keywords: drought in summer; circulation characteristics; subtropical anticyclone; subtropical westerly jet axis; Liaoning Province

辽宁省位于中国东北地区南部,濒临黄海和渤海,是中国主要的商品粮基地之一,对全国粮食总产量的贡献不容忽视[1]。辽宁省全年的降水量主要集中在夏季,因此,夏季降水量对农业生产至关重要。

国内学者对全国各地降水变化特征的研究较多,如姚玉璧等[2]、贾小龙等[3]、李广霞等[4]和廉毅等[5]分别对中国、东北地区、辽宁省和吉林省的夏季降水变化特征进行了研究。在夏季降水对应的环流特征分析方面,孙力等[6]曾以东北地区为研究对象,分析了东北夏季旱涝的大气环流特征。杨文艳等[7]分析了辽宁夏季降水大气环流特征,认为辽宁夏季降水主要受到东亚夏季风强度、西太平洋副热带高压位置和南亚高压位置等因素的影响。何金海等[8]曾对东北冷涡与东北夏季降水的关系进行过研究并指出:夏季东北冷涡强度偏强有利于东北夏季降水增多。沈柏竹等[9]指出,东北地区初夏(5 月和 6 月)降水主要受东北冷涡的影响,随着西太平洋副热带高压的北进,东北冷涡的影响逐渐减弱,东亚夏季风在盛夏(7 月和 8 月) 开始对东北地区降水产生影响。李辑等[10-11]也分别对辽宁初夏和盛夏降水异常成因展开过研究并认为:东北冷涡活动是造成辽宁初夏降水异常的主要原因,而副热带西风急流位置、西太平洋副热带高压脊线位置及低空偏南急流,是辽宁盛夏降水的主要影响因子。其他学者也进行过类似的研究,并得到了类似的结论[12-17]。

以往对于辽宁夏季降水的研究,多注重降水偏多情况的分析,而对辽宁干旱特征和成因的分析相对较少。由于 2014 和 2015 年辽宁夏季发生了严重的干旱,造成粮食绝收等,对农业产生了较大的影响。因此,对辽宁夏季干旱的研究意义重大。为此,本文通过对辽宁夏季降水变化特征和异常年环流场特征的分析,结合 2014 和 2015 年夏季环流场与异常年环流场的对比,揭示了辽宁干旱的环流特征及 2014、2015 年辽宁夏季干旱的成因,为辽宁地区夏季降水趋势的准确预测提供了理论支撑。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本文所用要素的站点资料为:辽宁省 54 个观测站,1963—2013 年夏季(6、7 和 8 月)月平均降水量资料,站点地理分布图如图 1 所示。环流场格点资料为:NCEP/NCAR 全球逐日再分析的 500 hPa 高度场、850 hPa 风场和 200 hPa 风场资料,分辨率为 2.5°×2.5°。

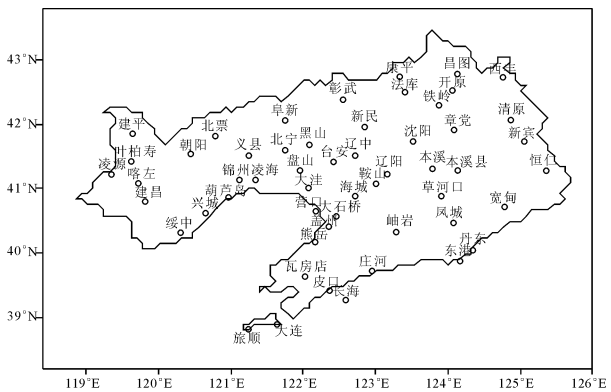

图 1 辽宁省 54 站的站点地理分布图

Fig.1 The geographic distribution of 54 stations in Liaoning Province

1.2 研究方法

本文主要采用经验正交函数分解(EOF)方法[18]和合成分析方法对研究内容进行分析。合成分析时,降水异常年份的定义方法为:对 1961—2013 年辽宁 54 站夏季降水量进行 EOF 分解,将 EOF 第一模态标准化时间系数大于 1 且由大到小排名前 5 的年份定义为多雨年,小于 -1 且由小到大排名前 5 的年份定义为少雨年(干旱年)。由此得到 5 个少雨年:2014、2000、1992、1972 和 2009;5 个多雨年:1994、1995、2010、1964 和 1985 年。

2 辽宁夏季降水时空变化特征

2.1 辽宁夏季降水 EOF 分析

为分析辽宁夏季降水时空变化特征,对 1963—2015 年的辽宁夏季降水距平场进行 EOF 分析,得到空间载荷向量和对应的时间系数。图 2a 和 2b 给出了辽宁 54 站夏季降水距平 EOF 第一空间载荷向量及对应的第一时间系数。其中,第 1 模态方差贡献率约为 52.7%,第 2 模态方差贡献率仅为 9.5%,第一模态能反映出辽宁夏季降水距平场时空变化的主要特征,因此,此后的分析主要基于 EOF 第一模态展开。由图 2a 可见,辽宁夏季降水距平场 EOF 第一模态空间向量主要特征体现为全省一致的正值,表明辽宁夏季降水距平场具有全省一致偏多或偏少的异常特征。由图 2b 可见,第一时间系数在 1963—

2015 年期间呈波动略下降的趋势(下降趋势不能通过显著性检验)。由 10 年滑动平均曲线可见,20 世纪 60 年代初至 70 年代后期,时间系数呈下降趋势,即降水呈减少趋势;20 世纪 80 和 90 年代,辽宁夏季降水变化趋势平缓;21 世纪初开始,辽宁夏季降水呈现波动变化特征。

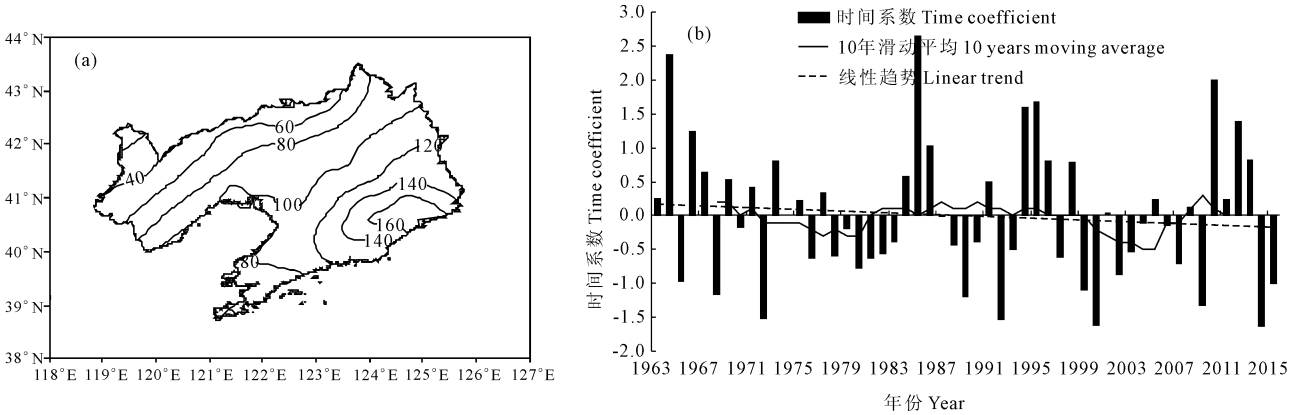

图 2　辽宁省 54 站降水距平 EOF 第一模态空间向量(a);第一时间系数及 10 年滑动平均曲线(b)

Fig.2　The first mode's spatial vector of the precipitation anomalies EOF of 54 stations in Liaoning Province (a); The first time coefficient and its 10 years moving average curve (b)

2.2　2014 和 2015 年辽宁夏季降水情况

据统计,2014 年夏季,辽宁省全省平均降水量为 240.4 mm,较常年(417.5 mm)偏少 42.4%;2015 年夏季,辽宁省全省平均降水量为 317 mm,较常年(417.5 mm)偏少 24.1%。2014 和 2015 年夏季,影响辽宁省农业生产的主要气象灾害为干旱。

图 3a 和 3b 分别为 2014 和 2015 年辽宁夏季降水距平百分率空间分布图。由图 3a 可见,2014 年辽宁夏季降水在全省绝大部分地区均偏少,其中,辽宁中部、南部及辽西南部偏少 5 成以上,其它地区偏少 1—4 成;由图 3b 可见,2015 年辽宁夏季降水同样在全省绝大部分地区均偏少,其中,辽宁中西部地区偏少 3 成以上,其它大部分地区偏少 1—3 成。

3　辽宁夏季降水异常年环流场特征

在分析 2014 和 2015 年辽宁夏季干旱成因之前,结合 2.2 中对辽宁夏季降水异常年的定义,首先对辽宁夏季降水异常年各层环流场特征进行分析。

3.1　辽宁夏季降水异常年 500 hPa 位势高度场特征

500 hPa 位势高度场异常是导致降水异常的直接原因。图 4a 和 4b 分别给出辽宁夏季少雨年和多雨年对应的 500 hPa 位势高度场合成图。对比两图可见,少雨年,西太平洋副热带高压的西伸脊点位置较多雨年偏东,但副高脊线的南北位置二者相差不大。值得注意的是,二者最明显的差异为:少雨年副高西北侧(日本和朝鲜半岛上空,即红色圆圈内)500 hPa 位势高度值为负距平,而多雨年副高西北侧 500 hPa 位势高度值为正距平。二者的差值 t 检验图中(图略),日本和朝鲜半岛上空的 500 hPa 位势高度差值为负值,且通过了0.05信度的显著性检验。说明,副高西北侧若为负距平,对应副高的南撤东退,对应辽宁夏季降水偏少;同理,副高西北侧若为正距平,对应副高的西伸北进,对应辽宁夏季降水偏多。这与沈柏竹等[9]对东北盛夏降水分析得到的结论类似。因此,红色圆圈区域可作为判断辽宁夏季降水异常信号的关键区。

3.2　辽宁夏季降水异常年 850 hPa 矢量风场特征

850 hPa 风场主要反映对流层低层平均环流特征,且能在一定程度上反映低空水汽输送情况。图 5a 和 5b 分别给出辽宁夏季少雨年和多雨年对应的 850 hPa 矢量风场合成图。对比两图可见,少雨年,大于 4 $m\cdot s^{-1}$的风速区不会影响辽宁地区;而多雨年,辽宁地区能够受到副高西北侧大于 4 $m\cdot s^{-1}$的西南风影响,意味着多雨年较少雨年辽宁地区受到更多的西南暖湿气流影响。这与 4.1 中分析的多雨年副高西伸脊点较少雨年更偏西是一致的。

3.3　辽宁夏季降水异常年 200 hPa 纬向风场特征

200 hPa 高度层上,东亚中纬度地区上空受西风带控制,副热带西风急流在此层体现较明显。图 6a 和 6b 分别给出辽宁夏季少雨年和多雨年对应的 200 hPa 纬向风场合成图。对比两图可见,少雨年和多雨年副热带西风急流轴南北位置基本一致,均位于北纬 40 度附近。二者最显著的差别在于:少雨年辽宁以南地区 200 hPa 纬向风距平为正,以北为负,多雨年相反,辽宁以南地区 200 hPa 纬向风距平为负,以北为正(红色圆圈区域)。二者的差值图中(图

略),红色圆圈区域的 200 hPa 纬向风差值通过了 0.05 信度的显著性检验。出现这种环流特征的原因在于:少雨年,辽宁地区位于副热带高空西风急流轴北侧,急流轴北侧高空辐合,低空辐散,盛行下沉气流[19],且辽宁以南区域急流轴偏强(正距平),下沉气流偏强,对应辽宁夏季降水偏少。红色圆圈区域可作为判断辽宁夏季降水异常信号的关键区。

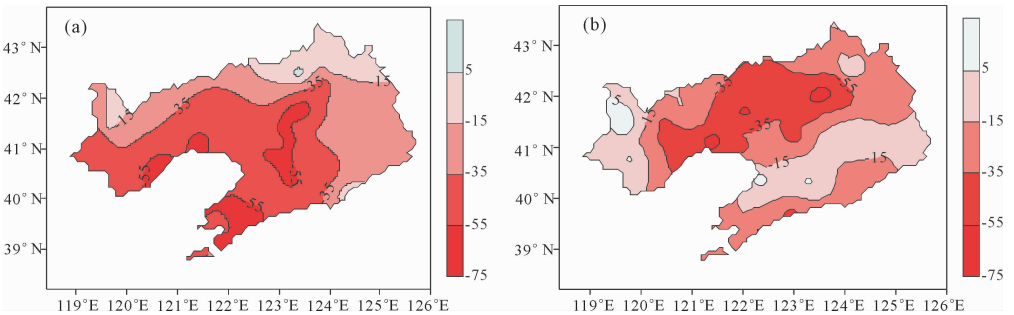

图 3 2014(a)和 2015 年(b)辽宁夏季降水距平百分率分布图/%

Fig.3 Distribution of precipitation anomaly percentage in summer of Liaoning 2014(a) and 2015(b)

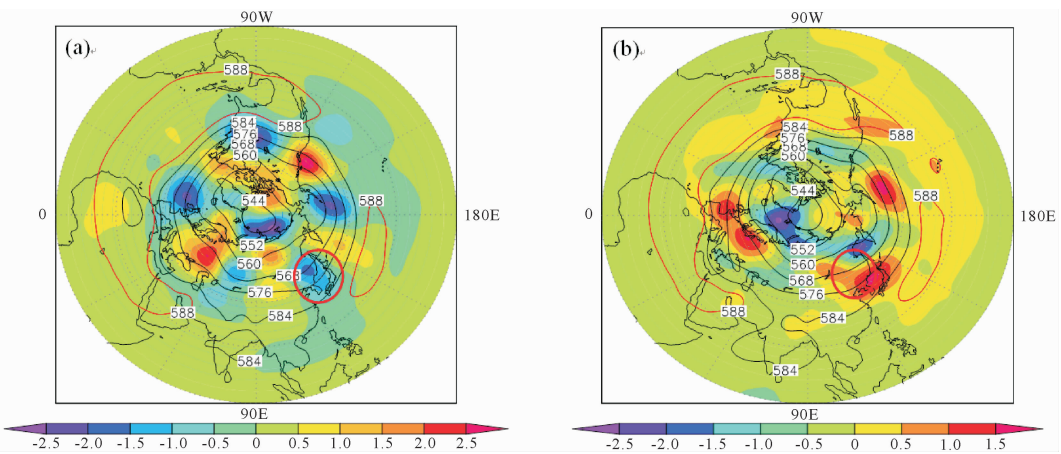

图 4 辽宁夏季异常少雨年(a)、多雨年(b)的 500 hPa 高度(等值线)和距平(阴影)场/十位势米

Fig.4 The 500 hPa height (contour line) and anomaly field (shaded area) of drought year (a) and rainy year (b) in summer of Liaoning/(10 geopotential meter)

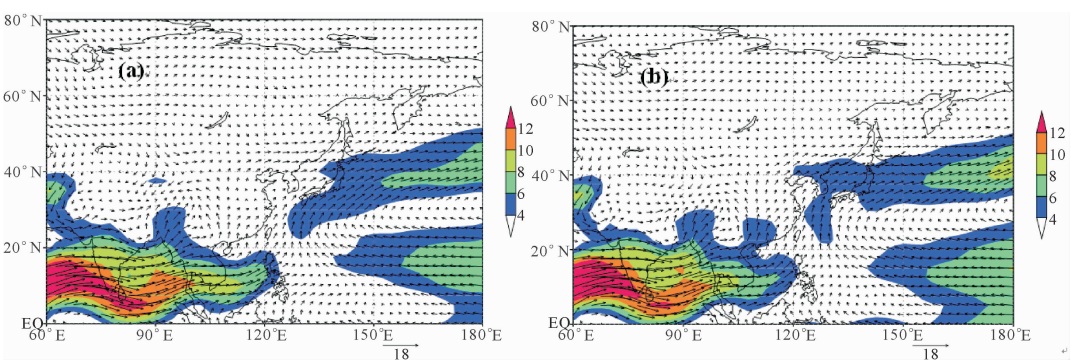

图 5 辽宁夏季异常少雨年(a)和多雨年(b)的 850 hPa 高度风场/(m·s^{-1})

Fig.5 The 850 hPa height wind field in drought year (a) and rainy year (b) in summer of Liaoning

通过以上对辽宁夏季降水异常年各高度层环流场特征的分析可知,在进行辽宁夏季降水趋势预测时,可通过对以上环流关键区的预测,进而给出降水趋势的预测结论。

4 2014 和 2015 年各层环流场情况

为分析 2014 和 2015 年干旱的环流背景,分别给出 2014 和 2015 年夏季不同高度层环流场分布

图,并通过与辽宁夏季降水异常年的环流场进行对比分析,总结造成 2014 和 2015 年辽宁夏季干旱的环流因素。

4.1　2014 年各层环流场分析

图 7a、图 7b 和图 7c 分别给出 2014 年夏季 500 hPa 位势高度场、850 hPa 矢量风场和 200 hPa 纬向风场实况图。500 hPa 位势高度场方面:由图 7a 可见,虽然西太平洋副热带高压西伸脊点较异常少雨年明显偏西,但脊线位置较常年平均位置(图略)偏南,且副高西北侧(日本和朝鲜半岛上空)为负的位势高度距平,不利于副高西伸北进。同时注意到,从极地到贝加尔湖再到日本和朝鲜半岛上空,500 hPa 位势高度距平呈现“- + -”的波列分布形势,这种位势高度场分布类似图 4a 中少雨年的 500 hPa 位势高度场分布形势。850 hPa 矢量风场方面:由图 7b 可见,大于 4 $m\cdot s^{-1}$风速的西南风位于日本南部,不能达到辽宁地区,对应辽宁地区水汽不充足,辽宁夏季降水偏少,这可能与副高位置偏南有关。200 hPa 纬向风场方面,由图 7c 可见,副热带西风急流轴位于辽宁以南地区上空,且辽宁以南上空 200 hPa 纬向风距平为正,以北为负,与图 6a 中 200 hPa 纬向风场分布形势一致,对应辽宁夏季降水偏少。

4.2　2015 年各层环流场分析

图 8a、图 8b 和图 8c 分别给出 2015 年夏季 500 hPa 位势高度场、850 hPa 矢量风场和 200 hPa 纬向风场实况图。500 hPa 位势高度场方面:由图 8a 可见,与 2014 年情况类似,西太平洋副热带高压西伸脊点较异常少雨年明显偏西,但脊线位置较常年平均位置偏南,且副高西北侧受负的位势高度距平控制,不利于副高西伸北进。且从极地到贝加尔湖再到日本和朝鲜半岛上空,500 hPa 位势高度距平也呈现“- + -”的波列分布,同样类似于图 4a 中少雨年的 500 hPa 位势高度场分布形势。850 hPa 矢量风场方面:由图 8b 可见,大于 4 $m\cdot s^{-1}$风速的西南风位于日本上空,不能达到辽宁地区,对应辽宁地区水汽不充足,辽宁夏季降水偏少。200 hPa 纬向风场方面,由图 8c 可见,副热带西风急流轴位于辽宁以南地区上空,且辽宁以南上空 200 hPa 纬向风距平为正,以北为负,与图 6a 中 200 hPa 纬向风分布形势基本一致,对应辽宁夏季降水偏少。

从以上三个层次的环流场来看,2014 年与 2015 年的环流特征类似。但值得注意的是,理论上,西太平洋副热带高压西伸脊点偏西应更有利于辽宁降水偏多,但从 2014 和 2015 年 500 hPa 位势高度场的对比分析可见,2014 年西太平洋副热带高压西伸脊点位置较 2015 年更偏西,但 2014 年夏季干旱却较 2015 年更为严重,这可能是由二者副高脊线位置均较常年偏南造成的,即西太平洋副热带高压脊线位置和西伸脊点的位置等指标,不会单独对辽宁夏季降水产生明显影响。因此,在预测辽宁夏季降水趋势时,应综合参考副高的各种指标(包括副高脊线位置、西伸脊点位置副高强度等)。

5　讨论与结论

通过对辽宁夏季降水变化特征和异常年环流场特征的分析,结合 2014 和 2015 年夏季环流场与异常年环流场的对比,揭示了辽宁干旱的环流特征及 2014、2015 年辽宁夏季干旱的成因,最终得到以下主要结论:

(1) 东亚地区对流层各层大尺度环流系统相互配合是造成辽宁夏季降水异常的主要原因。

(2) 2014 和 2015 年辽宁夏季干旱的环流场特征均与辽宁夏季异常干旱年情况类似:西太平洋副热带高压脊线位置偏南,且副高西北侧为负的位势高度距平,不利于副高西伸北进,且从极地到贝加尔湖再到日本和朝鲜半岛上空,500 hPa 位势高度距平呈现“- + -”的波列分布形势;辽宁地区西南水汽输送不充足;副热带西风急流轴位于辽宁以南地区上空,且辽宁以南上空 200 hPa 纬向风距平为正,以北为负。这种不同高度层大尺度环流配置是造成 2014 和 2015 年辽宁夏季干旱的主要原因。

(3) 西太平洋副热带高压脊线位置和西伸脊点的位置等,不会单独对辽宁夏季降水产生明显影响。在预测辽宁夏季降水趋势时,应综合分析副高的各种指标(包括副高脊线位置、西伸脊点位置副高强度等)。

(4) 预测时,可基于前期太平洋海表温度及北极海冰等外强迫因素,与日本和朝鲜半岛上空 500 hPa 位势高度距平、极涡及 200 hPa 副热带西风急流轴位置和辽宁以南、以北上空纬向风距平等的关系,对辽宁夏季降水进行预测。

以上的分析揭示了导致辽宁夏季异常少雨年及 2014、2015 年夏季干旱的大气环流特征。

大气环流的异常分布是造成降水异常的直接原因,而环流的异常又是大气圈内部因子和其它圈层的外部强迫共同作用造成的。其中,外部强迫可能包括海表温度、积雪面积、积雪深度或海冰密集度的异常等。以往的研究成果发现,基于北太平洋海表温度与副高、500 hPa 位势高度场及副热带西风急流的可能关系[20-21],可通过北太平洋海表温度对副高各种指标、副高西北侧关键区位势高度场距

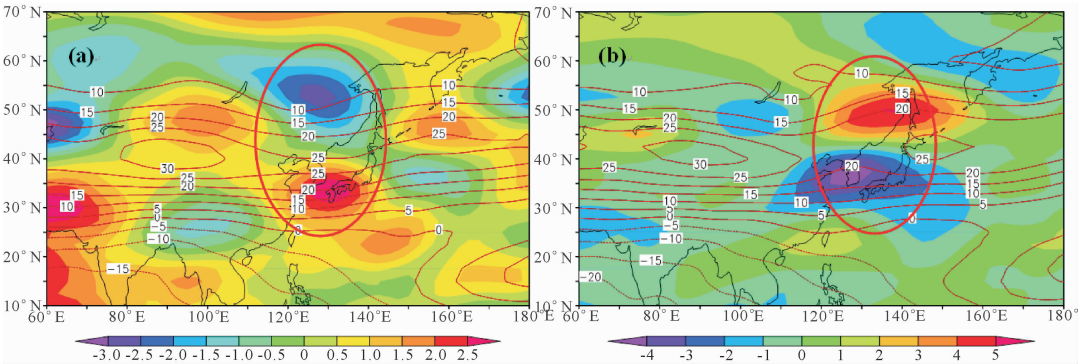

图 6 辽宁夏季异常少雨年(a)和多雨年(b)的 200 hPa 高度风场(阴影区代表距平,单位:$m \cdot s^{-1}$)

Fig.6 The 200 hPa height wind field of drought year (a) and rainy year (b) (Shaded area represent the anomaly, unit: $m \cdot s^{-1}$)

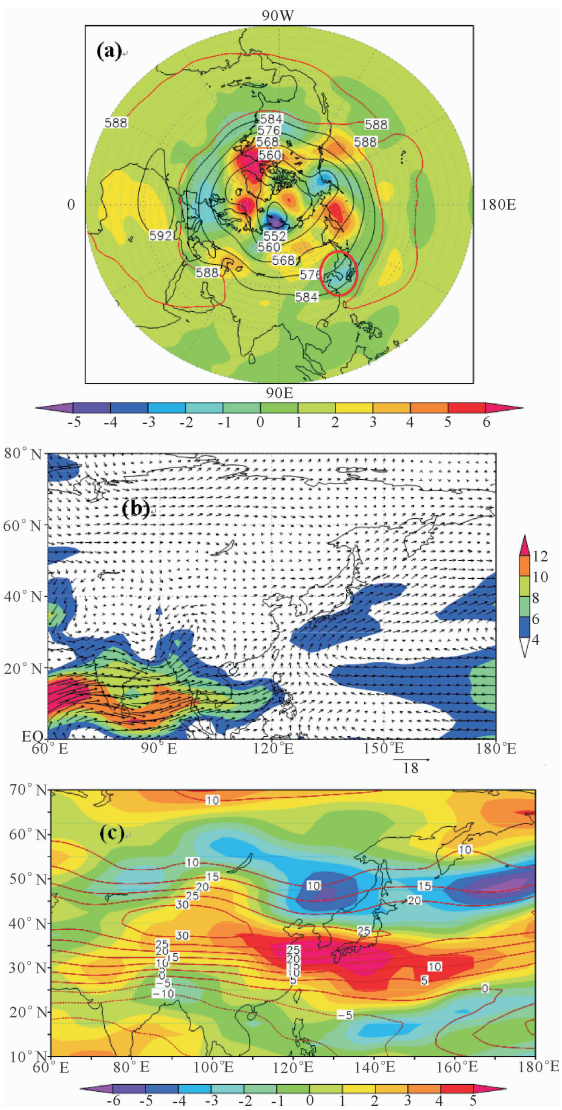

图 7 2014 年夏季 500 hPa 位势高度场(a)/十位势米、850 hPa 矢量风场(b)/($m \cdot s^{-1}$)和 200 hPa 纬向风场(c)/($m \cdot s^{-1}$)

Fig.7 The 500 hPa geopotential height field (a)/(10 geopotential meter), 850 hPa vector wind field (b)/($m \cdot s^{-1}$) and 200 hPa zonal wind field (c)/($m \cdot s^{-1}$) in summer of 2014

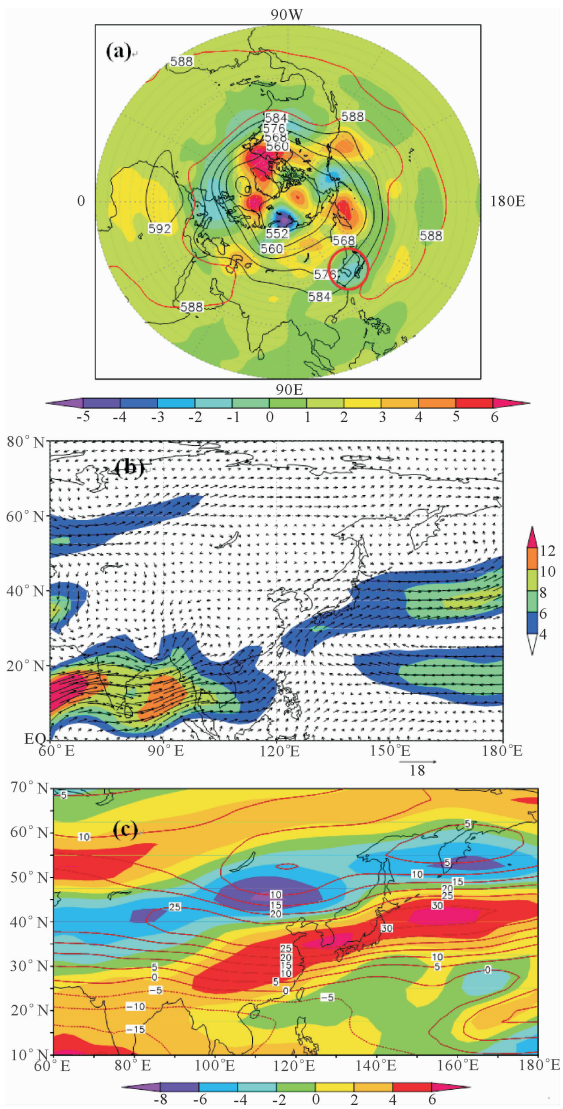

图 8 2015 年夏季 500 hPa 位势高度场(a)/十位势米、850 hPa 矢量风场(b)/($m \cdot s^{-1}$)和 200 hPa 纬向风场(c)/($m \cdot s^{-1}$)

Fig.8 The 500 hPa geopotential height field (a)/(10 geopotential meter), 850 hPa vector wind field (b)/($m \cdot s^{-1}$) and 200 hPa zonal wind field (c)/($m \cdot s^{-1}$) in summer of 2015

平及副热带西风急流进行预测。同时,基于北极海冰和北半球极涡的相互关系[22],可依据海冰的异常信号,预测极涡面积和强度等指标的异常,进而对辽宁夏季降水趋势进行定性预测。然而,外强迫因素与大气环流是如何通过相互作用,从而造成要素异常的原因需要进一步分析研究。

参 考 文 献:

[1] 程叶青,张平宇.中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应[J].地理科学,2005,25(5):513-520.

[2] 姚玉璧,董安祥,张秀云,等.中国夏季区域干旱特征比较研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):248-264.

[3] 贾小龙,王谦谦,周宁芳.近 50 a 东北地区降水异常的气候特征分析[J].南京气象学院学报,2003,26(2):164-171.

[4] 李广霞,陈传雷,才奎志.辽宁夏季降水变化特征分析[J].气象与环境科学,2008,31(2):31-34.

[5] 廉　毅,安　刚,等.吉林省近 40 年来气温和降水的变化[J].应用气象学报,1997,8(2):197-204.

[6] 孙　力,安　刚,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):102-112.

[7] 杨文艳,王谦谦.辽宁汛期降水异常的环流因子分析[J].高原气象,2006,25(5):969-974.

[8] 何金海,吴志伟,祁　莉,等.北半球环状模和东北冷涡与我国东北夏季降水关系分析[J].气象与环境学报,2006,22(1):1-5.

[9] 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,2011,41(3):402-412.

[10] 李　辑,房一禾,李　菲,等.辽宁初夏降水大尺度环流影响因子及年初夏异常多雨成因分析[J].气象,2014,40(9):1114-1122.

[11] 李　辑,李　菲,胡春丽.辽宁省盛夏降水大尺度环流影响因子及 2010 年降水异常[J].高原气象,2013,33(4):1076-1085.

[12] 房一禾,龚志强,赵连伟,等.中国东北区域盛夏雨季的客观识别[J].物理学报,2014,63(20):209202 – 1 – 209202 – 12.

[13] 白虎志,李栋梁,陆登荣,等.西北地区东部夏季降水日数的变化趋势及其气候特征[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):133-140.

[14] 贾小龙,王谦谦.东北地区汛期降水异常的大气环流特征分析[J].高原气象,2006,25(2):309-318.

[15] 王　娜,方建刚,崔　巍,等.陕西夏季旱涝环流特征及预测方法[J].干旱地区农业研究,2014,32(1):246-251.

[16] 房一禾,龚志强,陈海山.东北冷涡降水集中期的客观识别研究[J].气象,2016,42(1):80-88.

[17] 刘明春,李玲萍,史志娟,等.石羊河流域径流量分布特征及对气候变化的响应—以西营河为例[J].干旱地区农业研究,2014,31(1):193-198.

[18] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:115-122.

[19] 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.

[20] 曹　杰,尤亚磊,黄　玮.夏季西太副高脊面年际变化与太平洋海温关系的研究[J].高原气象,2009,28(2):411-418.

[21] 吕俊梅,琚建华,张庆云,等.热带西太平洋海温距平与 Rossby 波传播对 1993 和 1994 年东亚夏季风异常影响的差异[J].大气科学,30(5):977-987.

[22] 贾建颖,孙照渤.北极海冰和北半球 500 hPa 极涡的相互关系[J].南京气象学院学报,2006,29(1):75-81.

(上接第 215 页)

[20] 游来勇,李　冰,王昌全,等.秸秆还田量对麦 – 稻轮作体系作物产量、氮素吸收利用效率的影响[J].核农学报,2015,29(12):2394-2401.

[21] 李国媛.秸秆腐熟菌剂的细菌种群分析及其腐熟过程的动态研究[D].北京:中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,2007.

[22] 李继福,鲁剑巍,李小坤,等.麦秸还田配施不同腐秆剂对水稻产量、秸秆腐解和土壤养分的影响[J].中国农学通报,2013,29(35):270-276.

[23] 郑支林.土壤肥力逐年下降,秸秆还田势在必行[J].现代化农业,1998,(10):205-206.

[24] 刘　震,徐明岗,段英华,等.长期不同施肥下黑土和红壤团聚体氮库分布特征[J].植物营养与肥料学报,2013,19(6):1386-1392.

[25] 李　仟,关小康,杨明达,等.不同秸秆还田处理对麦玉两熟制作物产量及氮素利用的影响[J].河南农业大学学报,2015,49(2):171-176.

[26] Qadir M, Schubbert S, Ghafoor A, et al. Amelioration strategies for sodic soil; a review[J]. Land Degradation & Development, 2001, 12(4):357-386.

[27] 胡乃娟,韩新忠,杨敏芳,等.秸秆还田对稻麦轮作农田活性有机碳组分含量、酶活性及产量的短期效应[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):371-377.

[28] 葛立立,王康君,范苗苗,等.秸秆还田对土壤培肥与水稻产量和米质的影响[J].中国农学通报,2012,28(12):1-6.

[29] 刘世平,聂新涛,戴其根,等.免耕套种秸秆还田对水稻生长和稻米品质的影响[J].中国水稻科学,2007,21(1):71-76.

[30] 李宝灿.麦秸秆全量还田对水稻产量和品质的影响[J].现代农业科技,2011,(6):60-61.