

张丰启,郝燕,张凯静,2017. 青岛市汛期降水阶段划分及其环流背景特征[J]. 气象,43(8):962-972.

青岛市汛期降水阶段划分及其环流背景特征^{*}

张丰启^{1,2} 郝 燕² 张凯静²

1 青岛市气象灾害防御工程技术研究中心,青岛 266003

2 青岛市气象局,青岛 266003

提 要: 应用 1961 年 1 月到 2011 年 12 月的中国 722 站降水、NCEP/NCAR 再分析和青岛市辖 7 站降水等逐日资料,分析青岛汛期降水阶段及对应的环流气候背景。结果表明:青岛市汛期有 5 个降水阶段,分别是主汛期开始阶段(6 月 29 日至 7 月 3 日),黄淮雨期阶段(7 月 9—25 日),华北雨季阶段(7 月 27 日至 8 月 6 日),热带低压阶段(8 月 11—20 日)和主汛期结束阶段(8 月 29 日至 9 月 4 日)。其中主雨季(7—8 月)呈明显的双峰分布,分别是黄淮雨期阶段和热带低压阶段两个主要降水阶段。副热带高压的季节性移动及其高低空的配置是形成青岛汛期降水阶段的主要成因,各降水阶段对应着相对稳定的天气气候阶段,各降水阶段间的大气环流有明显的突变现象,该研究为细化青岛汛期降水气候预测提供了理论支持。

关键词: 汛期降水,降水阶段,大气环流,天气阶段,副热带高压

中图分类号: P466

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.08.007

The Stage Division of Flood Season in Qingdao and Associated Circulation Background

ZHANG Fengqi^{1,2} HAO Yan² ZHANG Kaijing²

1 Qingdao Engineering Technology Research Center for Meteorological Disaster Prevention, Qingdao 266003

2 Qingdao Meteorological Bureau of Shandong, Qingdao 266003

Abstract: Based on the rainfall data from 722 stations in China, NCEP/NCAR reanalysis data, and the daily rainfall data from 7 stations in Qingdao from January 1961 to December 2011, the precipitation phases of flood season in Qingdao and the corresponding climatic circulation background are analyzed. The results show that 5 stages could be identified in the Qingdao summer flood season, including the initial stage of the main rainy season (29 June to 3 July), the stage of the Yellow River-Huaihe River rainy season (9—25 July), the stage of North China rainy season (27 July to 6 August), the stage of tropical depression (11—20 August), and the end stage of the main rainy season (29 August to 4 September), respectively. In each stage, the corresponding climatic circulation background and the impact systems are relatively stable. The stage of the Yellow River-Huaihe River rainy season and the stage of tropical depression are two major precipitation stages with strong intensity and longer duration. The main reasons for the formation of the stages in flood season in Qingdao are the seasonal movement of subtropical high and the circulation configuration in high and low levels. The circulation between different stages shows clearly the phenomenon of abrupt changes.

Key words: precipitation in flood season, the stage of precipitation, atmospheric circulation, synoptic stage, subtropical high

^{*} 国家自然科学基金项目(41221064)资助

2016 年 8 月 4 日收稿; 2017 年 5 月 16 日收修定稿

第一作者:张丰启,主要从事汛期降水和季风研究. Email:zhangfengqi0@163.com

引言

汛期降水预测对防灾减灾、趋利避害具有巨大的推动作用,为满足经济社会发展的需求,汛期降水气象服务向着精细化的方向发展。青岛市地形复杂,影响的天气系统众多,汛期降水的阶段划分有助于细致了解汛期降水的变化特征,对细化青岛汛期降水的气候预测具有重要意义。

夏季风的演变及推进对中国降水和旱涝产生深刻影响(丁一汇和村上胜人,1994;孙颖和丁一汇,2002;何金海等,2006;施晓晖和徐祥德,2009;祝从文等,2011)。根据夏季风的推进过程,可将我国汛期降水划分为多个阶段。气候平均而言,我国东部主雨带首先出现在华南地区,4—6月的华南降水称为前夏雨季或华南前汛期(Ding, 1994; Chang, 2004);6月中旬雨带北跳到长江中下游,称为梅雨季(Ding, 1992;胡娅敏等,2008);7—8月季风雨带北移至华北和东北地区,称为华北雨季和东北雨季(Tao and Chen, 1987;廉毅等,2003;戴新刚等,2003),其中7月中旬前后季风雨带在黄淮地区停滞形成的雨季,称为黄淮雨期(张丰启等,2013);另外,高由禧和郭其蕴(1958)指出西南、长江下游等地区存在明显的秋雨现象,秋雨从8月底9月初开始,10月中旬结束。上述这些对雨季划分的研究多集中在较大区域雨带停滞所形成的某个雨季。近期,也有研究对中国降水的阶段划分进行了更为细致的研究。王遵娅和丁一汇(2008)指出全国雨季最早爆发于华南中部,最晚结束于华西地区,中国东部为季风雨季,西部主雨季局地性较强。黄琰等(2014)用客观定量的方法对中国各地的全年的降水进行分析,划分出各地全年不同的雨季特征并分析了地区间雨季的差异,提出了全国各地降水多种不同的雨季特征,指出黄淮和华北地区有春雨季、主雨季、秋雨季和旱季组成,但是对雨季内部的降水特征没有进行再细致的划分。

受东亚季风系统和其他天气系统的影响,中国降水的不同阶段主要影响系统不同。赵平等(2008)分析了东亚副热带季风和降水的气候特征及成因,指出青藏高原东侧低压槽的加强和向东延伸,以及西太平洋副热带高压的加强和向西移动,都影响着副热带西南季风的开始和发展。赵俊虎等(2012)提出夏季西太平洋副高的不同类型(脊线位置、西伸脊

点位置的配置)对中国汛期降水大尺度旱涝分布有明显影响。袁媛等(2012)发现偏强的乌拉尔山高脊导致南下的冷空气偏强,与低层偏强的副热带高压配合为华南提供大量水汽导致华南前汛期降水异常偏多。冯文等(2015)发现南海北部的偏东风低空急流是海南岛后汛期特大暴雨发生的最强信号,低空急流由热带低值系统东北侧的东南风、冷高压前缘的东北风和副热带高压南缘的偏东风汇合而成。蒋薇和高辉(2013)指出2000年以来,在PDO负位相,热带西太平洋海温偏高的背景下,副热带高压偏强偏西偏北,水汽输送路径偏北偏西至淮河及以北地区,导致梅雨降水减少。周宁芳等(2014)分析了2012年夏季华北降水的低频环流特征,指出强降水过程发生在低频振荡的波峰处。陈丽娟等(2013)和王艳姣等(2013)分析了2012年夏季我国降水异常特征和汛期前的前兆信号。

虽然很多研究工作对我国降水阶段进行了划分,但每个区域均有其特点,了解局地降水和影响系统的细致特征有助于开展精细气象服务。曹钢锋等(1991)提出自然天气阶段的时间尺度在自然天气周期和自然天气季节之间。自然天气阶段与自然的降水阶段相对应,自然降水阶段划分比自然天气阶段划分更准确更容易。因此,本研究将根据青岛汛期降水逐日气候平均值的变化特征对汛期(主雨季)进行更细致的降水阶段划分,通过各主要降水阶段的逐日环流气候背景场和全国汛期降水主雨带的分析佐证汛期降水阶段划分的科学性。汛期降水阶段划分的目的是了解汛期降水的构成和分布特征,认识各阶段相对稳定的大气环流,分析气候因子对各阶段降水量的不同贡献,为实现分阶段细化预测青岛市汛期降水提供理论支持。

1 资料和方法

使用1961—2011年青島全市7站(青島、嶗山、黃島、膠州、即墨、萊西、平度)的逐日降水資料,計算7個測站6—9月的逐日氣候平均和5d滑動平均,分析青島7個測站汛期降水的气候一致性,根据青島汛期降水多年逐日5d滑動平均的变化规律,划分青島汛期降水的主要阶段。使用1961—2011年NCEP/NCAR再分析資料,計算青島市汛期降水各阶段的大气环流气候平均场,分析各阶段对应的环流气候背景和导致青島降水发生的天气系统。使用

1961—2011 年全国 722 站逐日降水资料,对 722 站逐日降水进行客观分析后,计算全国逐日降水量的气候平均值,分析青岛市汛期各降水阶段对应的全国降水量分布特征及其与我国汛期雨带的关系。

2 青岛市汛期主要降水阶段的划分

图 1a 是青岛全市 7 站 6—9 月逐日 5 d 滑动气候平均降水量分布,可以看到,在 7 月 3 日前,青岛全市 7 站降水的气候平均值变化具有较好的一致性。在 7 月 3 日以后,平度、莱西两站与其他 5 站降水的气候平均降水量变化一致性较差,尤其是 7 月 3 日至 8 月 18 日,其变化趋势几乎相反。可以看出,6—9 月,青岛、崂山、即墨、胶州、黄岛 5 站之间的逐日气候平均降水量变化趋势具有较好的一致性;平度和莱西两站之间的逐日气候平均降水量变化趋势具有较好的一致性,与其他 5 站的逐日气候平均降水量变化趋势不一致。本文讨论内容是青岛、崂山、即墨、胶州、黄岛 5 站的汛期降水阶段划分及对应的环流气候背景。

图 1b 是青岛、崂山、即墨、胶州、黄岛 5 站 6—9 月逐日平均和逐日 5 d 滑动平均降水量。从整体上看,降水量表现为两头小,中间大,汛期的降水分布型非常明显。把汛期(6—8 月)的多年日平均降水量 4.7 mm(图 1b 中虚直线)作为主汛期划分的标准,逐日 5 d 滑动平均降水量 ≥ 4.7 mm 的首日表示主汛期开始,逐日 5 d 滑动平均降水量 ≥ 4.7 mm 的最后日期表示主汛期结束。青岛市主汛期的时间是 6 月 29 日至 9 月 4 日。在主汛期中,5 d 滑动平均日降水量有 4 个峰值期,分别是开始和结束时期的两个次峰值及主雨季 7—8 月的两个主峰值。

汛期降水阶段的划分原则和方法。汛期降水阶段划分原则:(1)相邻两个阶段降水量变化大;(2)阶段内降水量相对稳定;(3)降水阶段内的大气环流相对稳定。青岛汛期降水阶段划分的方法:根据以上分析,结合阶段划分原则,4 个峰值期划分为 4 个降水阶段,另外在两个主峰值之间,还有一个降水相对较少,持续时间较长的时期符合阶段划分原则,这样主汛期的降水被划分为 5 个降水阶段。具体划分的标准是:主汛期的开始和结束阶段,以主汛期划分的标准(5 d 滑动日平均降水量 ≥ 4.7 mm)为标准,以连续达标的首个 5 d 滑动内的首个日平均降水量 ≥ 4.7 mm 的日期为开始日期,最后一个 5 d 滑动内的最后一个日平均降水量 ≥ 4.7 mm 的日期为结束日

期。其余 3 个降水阶段分布在 7—8 月的主雨季里,7—8 月的多年日平均降水量 5.7 mm(图 1b 中实直线),2 个主峰降水阶段以 5 d 滑动平均降水量 ≥ 5.7 mm 为标准,以连续达标的首个 5 d 滑动内的首个日平均降水量 ≥ 5.7 mm 的日期为开始日期,最后一个 5 d 滑动内的最后一个日平均降水量 ≥ 5.7 mm 的日期为结束日期,划分两个主峰值降水阶段。两主峰值间的少雨阶段以 5 d 滑动平均降水量 < 5.7 mm 为标准,以连续达标的首个 5 d 滑动平均降水量 < 5.7 mm 内的最后一个日平均降水量 < 5.7 mm 的日期为开始日期,最后一个 5 d 滑动内的首个日平均降水量 < 5.7 mm 的日期为结束日期。青岛汛期降水阶段的划分结果是:6 月 29 日至 7 月 3 日为主汛期开始阶段,8 月 29 日至 9 月 4 日为主汛期结束阶段;7 月 9—25 日为前主峰降水阶段,时间上与我国黄淮雨期(张丰启等,2013)相对应,称之为黄淮雨期阶段,8 月 11—20 日为后主峰降水阶段,主要是热带低压造成的降水(见下节分析),称之为热带低压阶段。两主峰间的少雨阶段是 7 月 27 日至 8 月 6 日,正处在我国华北的雨季中,故称之为华北雨季阶段。在 5 个降水阶段中,黄淮雨期阶段和热带低压阶段是降水多、持续时间长的两个主要降水阶段,即青岛主雨季,其中后一个峰值(热带低压阶段)的降水强度相对更强。

与现有成果相比,王遵娅和丁一汇(2008)将中国雨季划分为 6 个阶段(江南春雨期、华南前汛期、江淮梅雨期、东北和华北雨季、华南后汛期和华西秋雨期),其中 39—45 候(7 月 11 日至 8 月 15 日)为华北和东北雨季,主雨季为单峰型。华南后汛期的峰值出现在 45 候(8 月 9—13 日),相对青岛汛期的热带低压阶段峰值(8 月 15—20 日)稍偏早。黄琰等(2014)认为黄淮和华北地区在 36 候(6 月底)前后进入盛夏雨季,44—50 候(8 月 11 日至 9 月 10 日)结束。廉毅等(2007)提出华北地区东亚夏季风建立在 36—38 候(6 月 26 日至 7 月 10 日),撤退时间在 46—48 候(8 月 16—31 日)。按 Lau and Yang(1997)的季风雨季标准,青岛汛期 5 个阶段的降水同属东亚夏季风影响的降水,把汛期降水作为一个整体,起止时间(6 月 29 日至 9 月 4 日)也和上述研究基本一致。本文则是针对青岛雨季进行再划分,分析了雨季内部的主要降水阶段。另外,已有研究成果采用候平均资料,本研究使用逐日 5 d 滑动平均资料,在起止时间的确定上可以更精确。

3 青岛市汛期降水各阶段的环流气候背景

3.1 主汛期开始阶段的环流气候背景

图 2 是主汛期开始阶段(6 月 29 日至 7 月 3

日)的亚欧大气环流气候(1961—2011 年,下同)平均场和全国 722 站降水量气候平均分布。可以看出,500 hPa(图 2a)中高纬度(55°N 以北)呈一脊一槽型,脊线位于鄂霍次克海,高脊强大;中纬度(45°N)环流平直,青岛上游低槽较深伴有冷空气影响;副热带高压(以下简称副高)呈东西带状分布,5880 线西伸脊点在 23.5°N、123°E;副高外围与鄂霍次克海

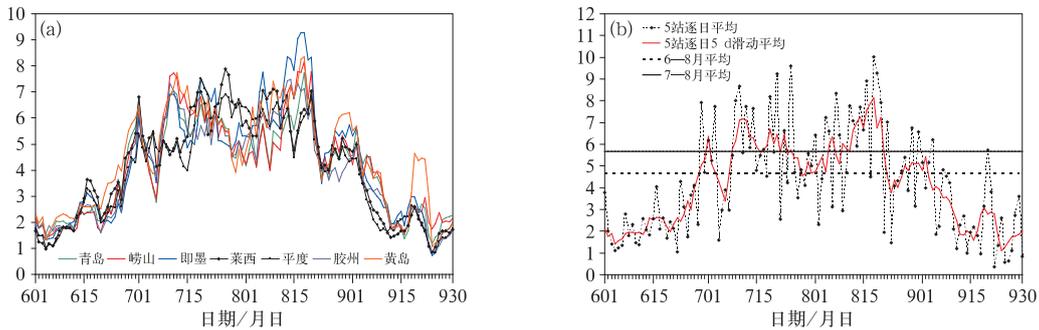


图 1 青岛市 1961—2011 年 6—9 月逐日 5 d 滑动平均降水量(a)和 5 站 6—9 月逐日平均和逐日 5 d 滑动平均降水量(b, 单位:mm)

Fig. 1 (a) The 5 d running mean precipitation from June to September for 7 stations in Qingdao, (b) daily and 5 d running mean precipitation from June to September for 5 stations (Qingdao, Laoshan, Jimo, Jiaozhou, Huangdao) in 1961—2011

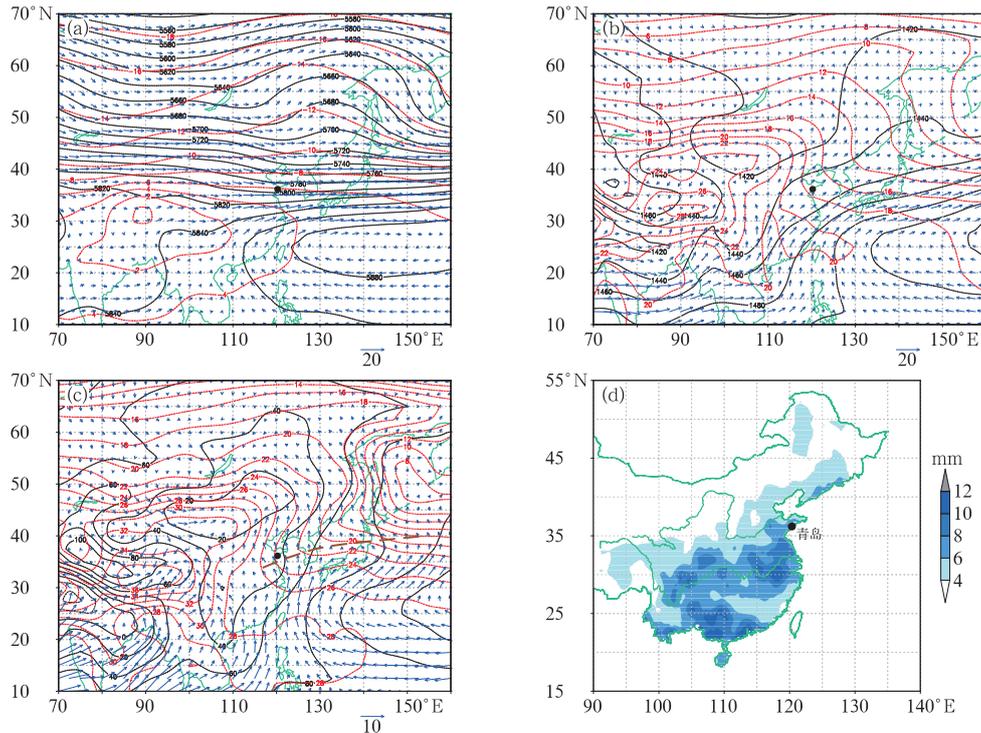


图 2 主汛期开始阶段的大气环流气候平均场和全国降水量气候平均场 (a)500 hPa, (b)850 hPa, (c)1000 hPa, (d)地面平均降水量(单位:mm)

(图 2a,2b,2c 中黑实线为位势高度,单位:gpm;红虚线为温度,单位:°C;蓝矢量箭头为风,单位:m·s⁻¹)

Fig. 2 Climatological atmospheric circulation and precipitation in China in the initial stage of the main rainy season

(a) 500 hPa, (b) 850 hPa, (c) 1000 hPa, (d) surface mean precipitation (unit: mm)

[geopotential height (black line, unit: gpm), temperature (red dotted line, unit: °C), and winds (blue vectors, unit: m·s⁻¹) in Figs. 2a, 2b and 2c]

高脊位相一致,青岛上空处在副高西北侧脊后的西南气流里。850 hPa(图 2b)副高中心位于 160°E 以东, 1520 线西伸脊点在 24.0°N 、 133°E ,副高西北侧与鄂霍次克海高压叠加形成高压坝;来自孟加拉湾旺盛的西南气流经我国东南沿海输送到江淮流域。1000 hPa(图 2c)来自我国南海显著的偏南暖湿气流和来自副高南侧海洋的东南气流向我国东南沿海地区输送,江淮地区到日本本州南部有一条东西向的暖式切变线(图中棕色粗虚线)和暖锋锋区。同一时期的全国降水量(图 2d)分布显示,我国汛期的主要降雨带(副热带季风雨带)仍位于长江流域,在江苏北部和山东的南部(含青岛)也出现了较大的降水。由于主汛期开始阶段持续时间较短,这可能是一次雨带北抬的强降水过程。产生的原因可能是强的大陆高压与同期偏强的副高同位相叠加,导致脊后西南气流向北扩展,使位于长江流域的副热带季风雨带北抬造成青岛产生较强降水,预示青岛开始进入主汛期。

3.2 黄淮雨期阶段的环流气候背景

图 3 是黄淮雨期阶段(7 月 9—25 日)的亚欧大

气环流气候平均场和全国 722 站降水量气候平均分布。可以看出,500 hPa(图 3a)中高纬度呈一槽一脊的纬向型环流,宽广的脊线位于东西伯利亚地区;中纬度(40°N)环流平直多弱槽脊活动,青岛上游有弱冷空气影响;副高呈东西带状分布,5880 线西伸脊点跳过 25.0°N ,位于 27.0°N 、 125.5°E ;青岛处在副高西北侧边缘的西南气流里,同时处于西风槽前。850 hPa(图 3b)副高中心位于 160°E 以东, 1520 线西伸脊点在 27.0°N 、 141°E ,副高与鄂霍次克海高压同位相叠加成为一体,副高西北侧是弱冷槽;孟加拉湾暖湿气流通过中南半岛大量地输送到我国黄淮流域。1000 hPa(图 3c)黄淮地区到日本本州北部有一条东西向的暖式切变线(图中棕色粗虚线)和暖锋锋区,青岛正位于副高西北侧的锋区中。来自我国南海的偏南气流和来自东海的东南气流向锋区输送大量的水汽和能量。同一时期的全国降水量(图 3d)显示,副热带季风雨带位于淮河和黄河之间,青岛位于主雨带降水中心区的偏北位置。可以看出,青岛黄淮雨期阶段的降水来自我国汛期降水的主雨带(副热带季风雨带),主雨带在黄淮之间相对稳定形成了青岛汛期的黄淮雨期阶段降水。

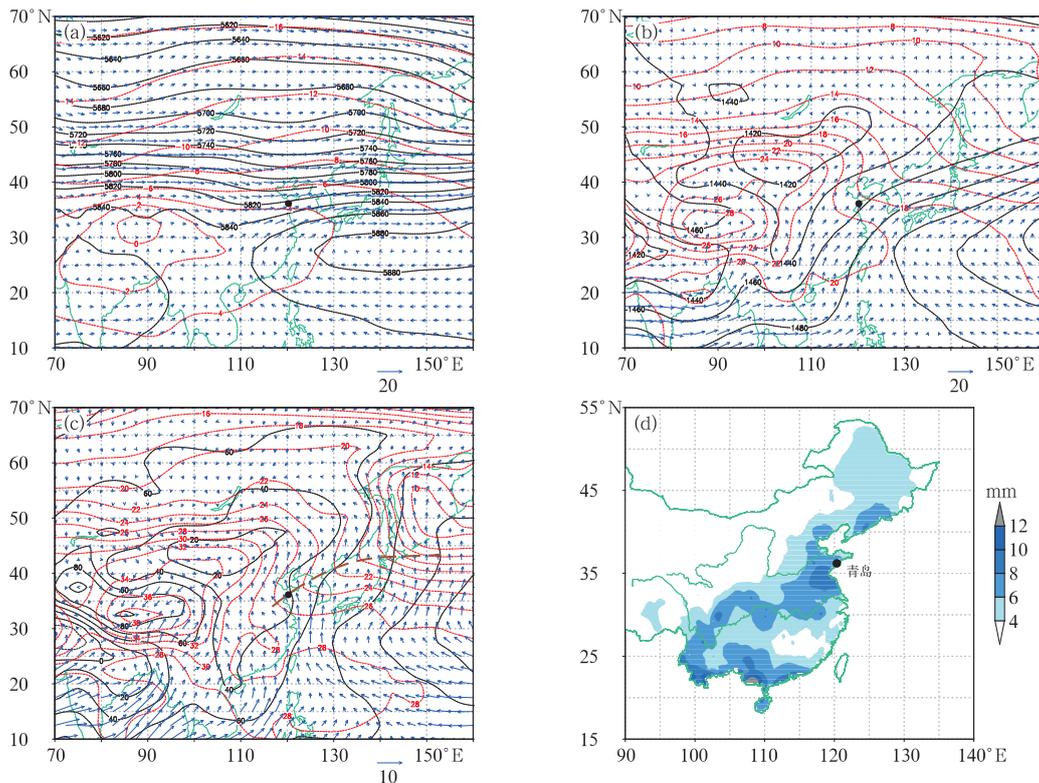


图 3 同图 2, 但为黄淮雨期阶段

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the stage of the Yellow River-Huaihe River rainy season

3.3 华北雨季阶段的环流气候背景

图 4 是华北雨季阶段(7 月 27 日至 8 月 6 日)的大气环流气候平均场和全国 722 站降水量气候平均分布。可以看出,500 hPa(图 4a)中高纬度呈一槽一脊型,宽广的高脊位于东西伯利亚地区;中纬度(40°N)环流平直多弱槽脊活动,弱冷空气活动的位置在青岛以北;副高呈东西块状,西块中心位于 32.0°N、140°E 附近,中心高度 5880 gpm 以上,5880 线西伸脊点北跳到 32.0°N、137.5°E;青岛处在副高西北侧的西南气流里,达到距离副高脊线最近位置。850 hPa(图 4b)副高中心位于 160°E 以东,1520 线西伸脊点在 32.0°N、146.5°E,120°E 脊线位于 35.0°N 附近,青岛位于副高西北侧;来自副高东南侧海上的暖湿气流向我国华北地区输送。1000 hPa(图 4c)华北地区到东北部有一条东北—西南向的辐合线(图中棕色粗虚线,主要表现为风速辐合)和锋区,青岛正处于副高西侧的脊线附近。来自我国东海的东南气流和来自南海的偏南气流向锋区输送大量的水汽和能量。同一时期的全国降水量

(图 4d)显示,副热带季风槽雨带位于华北和东北南部,青岛不在主雨带降水区中,这一阶段是青岛主汛期的相对少雨时段。可以看出,华北雨季阶段对流层低层的副高脊线位于青岛附近,不利于青岛产生降水,是青岛主汛期的少雨阶段。

3.4 热带低压阶段的环流气候背景

图 5 是热带低压阶段(8 月 11—20 日)的亚欧大气环流气候平均场和全国 722 站降水量气候平均分布。可以看出,500 hPa(图 5a)中高纬度呈一槽一脊型纬向型环流,宽广的高脊位于东西伯利亚地区;中纬度(40°N)环流平直多弱槽脊活动;副高呈东西块状,中心位于 31.5°N、143°E 附近,中心高度 5880 gpm 以上,副高较华北雨季阶段略有南撤但明显西伸,5880 线西伸脊点在 31.0°N、135.0°E,5860 线西伸到 111°E。青岛处在副高西北侧边缘西风槽前的西南西气流里。850 hPa(图 5b)副高中心位于 160°E 以东,副高脊线较华北雨季阶段继续北抬,脊线呈东南—西北走向,130°E 脊线位置接近 35°N,青岛位于脊线附近;来自孟加拉湾暖湿气流输送到热

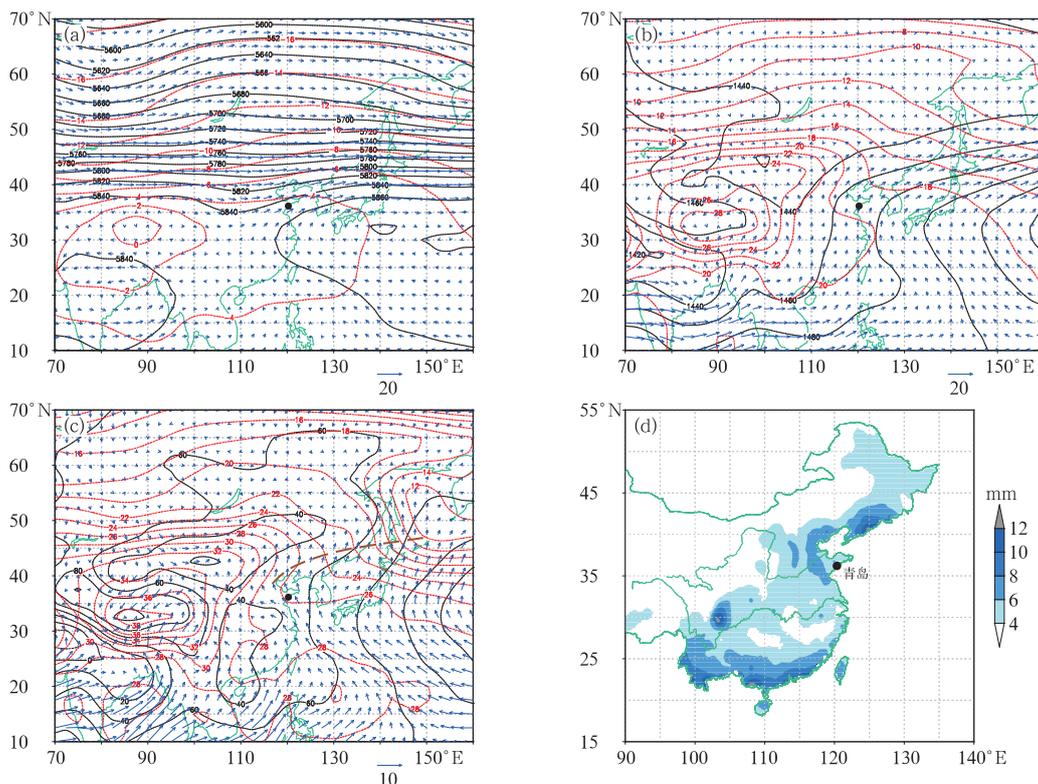


图 4 同图 2, 但为华北雨季阶段

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for the stage of North China rainy season

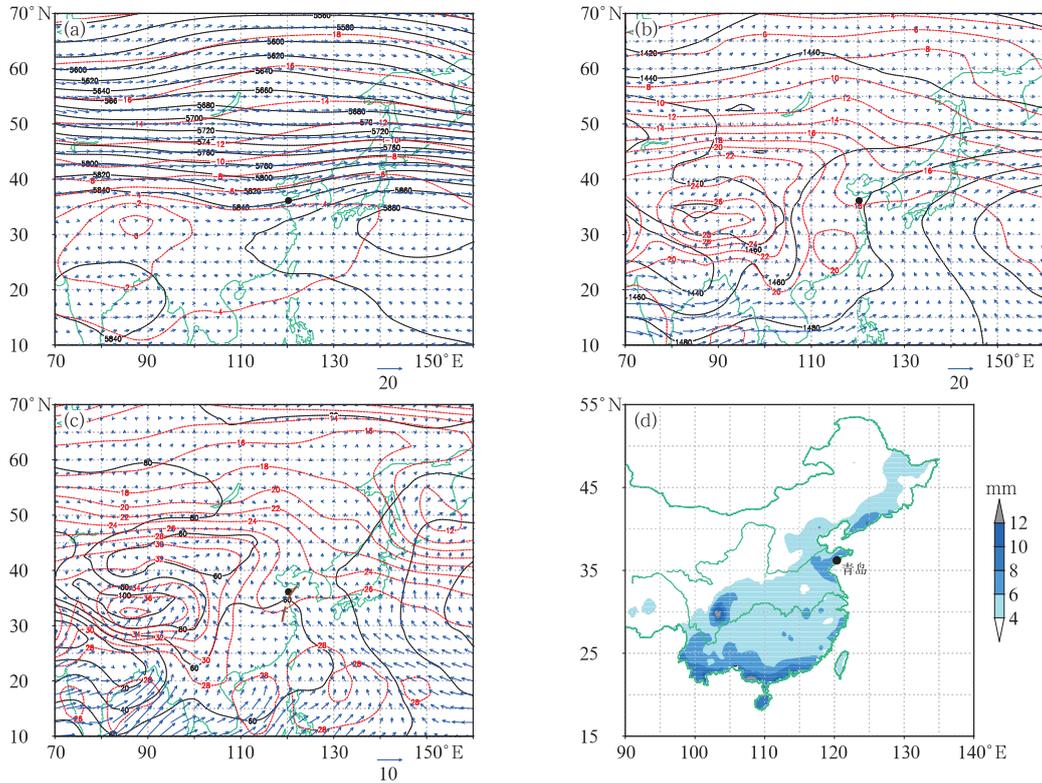


图 5 同图 2, 但为热带低压阶段

Fig. 5 Same as Fig. 2, but for the stage of tropical depression

带季风槽, 热带季风槽达到最北的位置(22.5°N)。1000 hPa(图 5c), 130°E 副高脊线位置到达 40°N 。江苏北部到山东半岛处在副高脊线南侧, 高低空存在明显的垂直风切变。热带季风槽位于最北位置, 有利于季风槽内的热带低气压系统在偏北位置生成、发展、西移、北上, 直接或间接影响(如: 提供高能的气流等)青岛造成强降水。另外, 江苏北部到山东半岛存在弱的东风波动(图中棕色粗实线), 也有利于对流天气发生。还有青岛海陆交界及下垫面地形对这类天气形势的降水也有增强作用。同一时期的全国降水量(图 5d)显示, 在江苏北部到山东半岛南部有一片降水大值区, 青岛正位于这片降水大值区中。低层副高脊线继续北抬影响到华北区域, 致使华北降水减弱。同时热带低压系统的降水拦截了向华北的水汽输送, 对华北降水也有减弱作用。

3.5 主汛期结束阶段的环流气候背景

图 6 是主汛期结束阶段(8 月 29 日到 9 月 4 日)的亚欧大气环流气候平均场和全国 722 站降水量气候平均分布。可以看出, 500 hPa(图 6a)中高

纬度呈一槽一脊型纬向环流, 宽广的高脊位于东西伯利亚地区; 中纬度(40°N)环流平直, 东北到山东的槽相对较深; 副高中心位于 30.0°N 、 150°E 附近, 中心高度 5880 gpm 以上, 副高较前期明显南压, 外围脊线进一步西伸, 5880 线西伸脊点在 28.5°N 、 135°E , 5860 线西伸到 120°E 、 95°E , 副高脊线在我国东部南撤到 27°N 。青岛处在槽前西南西气流中。850 hPa(图 6b)副高脊呈东西走向, 1520 线西伸脊点在 31.0°N 、 145.0°E 。我国东北到山东有明显的冷槽, 副热带季风槽锋区位于黄淮地区到日本本州。1000 hPa(图 6c)华北高脊加强, 冷空气前沿(图中棕色粗虚线)在黄淮地区, 青岛受副热带季风槽(冷锋)影响。来自我国东海的东南暖湿气流向副热带季风槽输送水汽和能量。同一时期的全国降水量(图 6d)显示, 华西秋雨已经开始, 副热带季风槽雨带位于东北南部到山东半岛(含青岛)一带。江苏北部上空仍是高空西南风低层偏东风的强垂直切变不稳定层结, 导致该地区降水明显。可以看出, 主汛期结束阶段的环流主要表现为副高的回撤和冷槽的南压, 副热带季风槽锋区在南撤过程中影响青岛带来

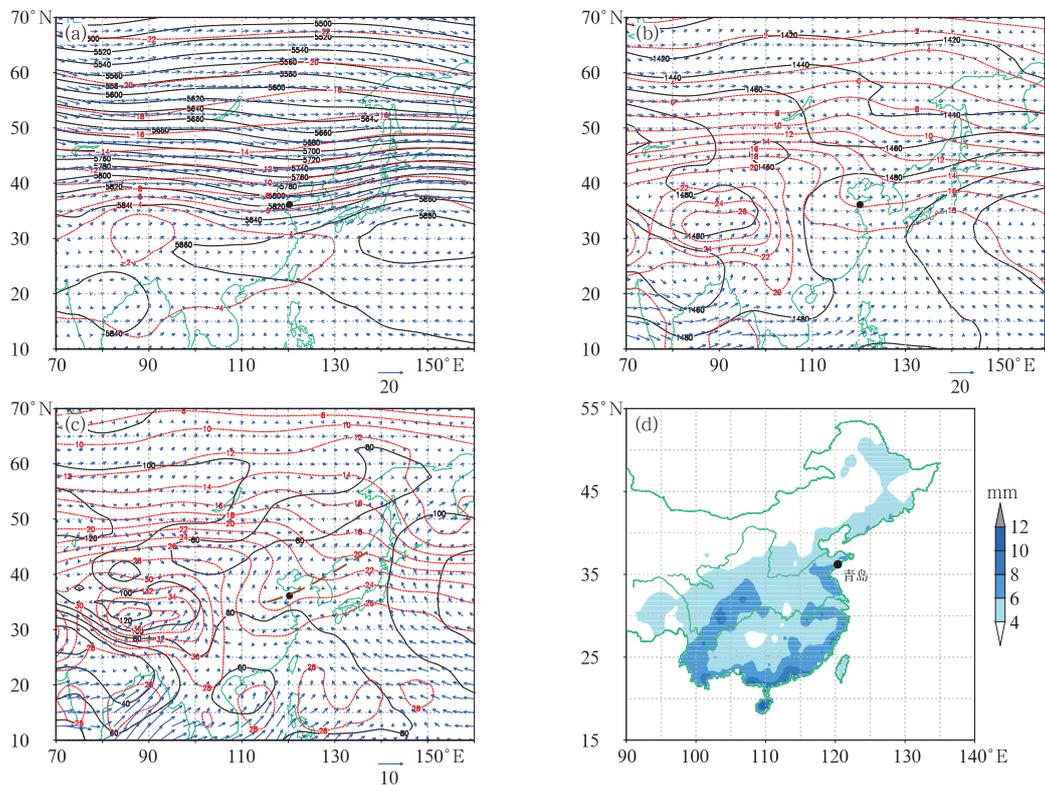


图 6 同图 2,但为主汛期结束阶段

Fig. 6 Same as Fig. 2, but for the end stage of the main rainy season

较强降水。

以上分析可以看到,副热带季风槽和热带季风槽是造成青岛汛期降水的主要影响系统,副高的季节性移动及其高、低空的配置是形成青岛汛期降水阶段的主要成因。从大气环流的逐日气候变化看(图略),青岛汛期各降水阶段内,大气环流的气候特征是相对稳定的,即各降水阶段对应着相对稳定的天气气候阶段。各降水阶段之间,对应的大气环流

气候特征有明显的突变现象,主要表现为副高的三维位置变化及其引起的降水系统的改变(表 1)。与曹钢锋等(1991)提出的山东省夏季的 5 个自然天气阶段的划分方法相比,利用降水阶段划分得到的天气气候阶段在起止时间确定上更准确,各阶段大气环流的物理意义表达更清晰,划分天气气候阶段的方法更简便。

表 1 青岛汛期降水各主要阶段的环流气候背景特征

Table 1 Circulation climatic characteristics of each major precipitation stages of flood season in Qingdao

降水阶段	环流气候背景	影响系统
主汛期开始阶段	5880 gpm 线西伸脊点在 23.5°N、123.0°E,强大的大陆高脊与副高脊同位相叠加形成具有阻塞性质的高压坝,使得位于江淮的副热带季风雨带北抬影响青岛。	副热带季风雨带
黄淮雨期阶段	5880 gpm 线西伸脊点在 27.0°N、125.5°E,大陆高脊与副高脊的同位相合为一体,使副高强大稳定,副热带季风雨带稳定在黄淮地区。持续影响青岛产生强降水。	副热带季风雨带
华北雨季阶段	5880 gpm 线西伸脊点在 32.0°N、137.5°E,副高到达最北位置,副热带季风雨带位于华北到东北的南部地区。低层的副高脊控制山东半岛,形成青岛主汛期少雨阶段。	低层副热带高压脊
热带低压阶段	5880 gpm 线西伸脊点在 31.0°N、135.0°E,副高维持在较北位置,低层副高越过山东半岛到达最北位置,山东半岛处于副高南侧的东风环流中,其上空有明显的垂直风切变。东亚热带季风槽同时也到达最北位置,热带低压系统在偏北位置生成、发展并向西北移动,影响青岛有利于产生不稳定强降水。	热带低压系统
主汛期结束阶段	5880 gpm 线西伸脊点在 28.0°N、135.0°E,华北大陆冷高压增强,冷槽南压,迫使副热带季风雨带南撤,副热带季风雨带在南撤过程中影响青岛产生强降水。	副热带季风雨带

4 各降水阶段 500 hPa 环流与主汛期平均环流的差异分析

图 7a 是青岛主汛期的欧亚 500 hPa 平均环流,

副高比较强大,中心强度 5880 gpm 以上,脊线位于 28.5°N 附近,5880 线西伸脊点为 135°E。中纬度(38°~45°N)环流平直,我国华北地区有西风槽并伴有冷空气。中高纬度(50°~0°N)是宽广的高脊,脊线位于贝加尔湖东部附近。青岛位于副高西北侧边

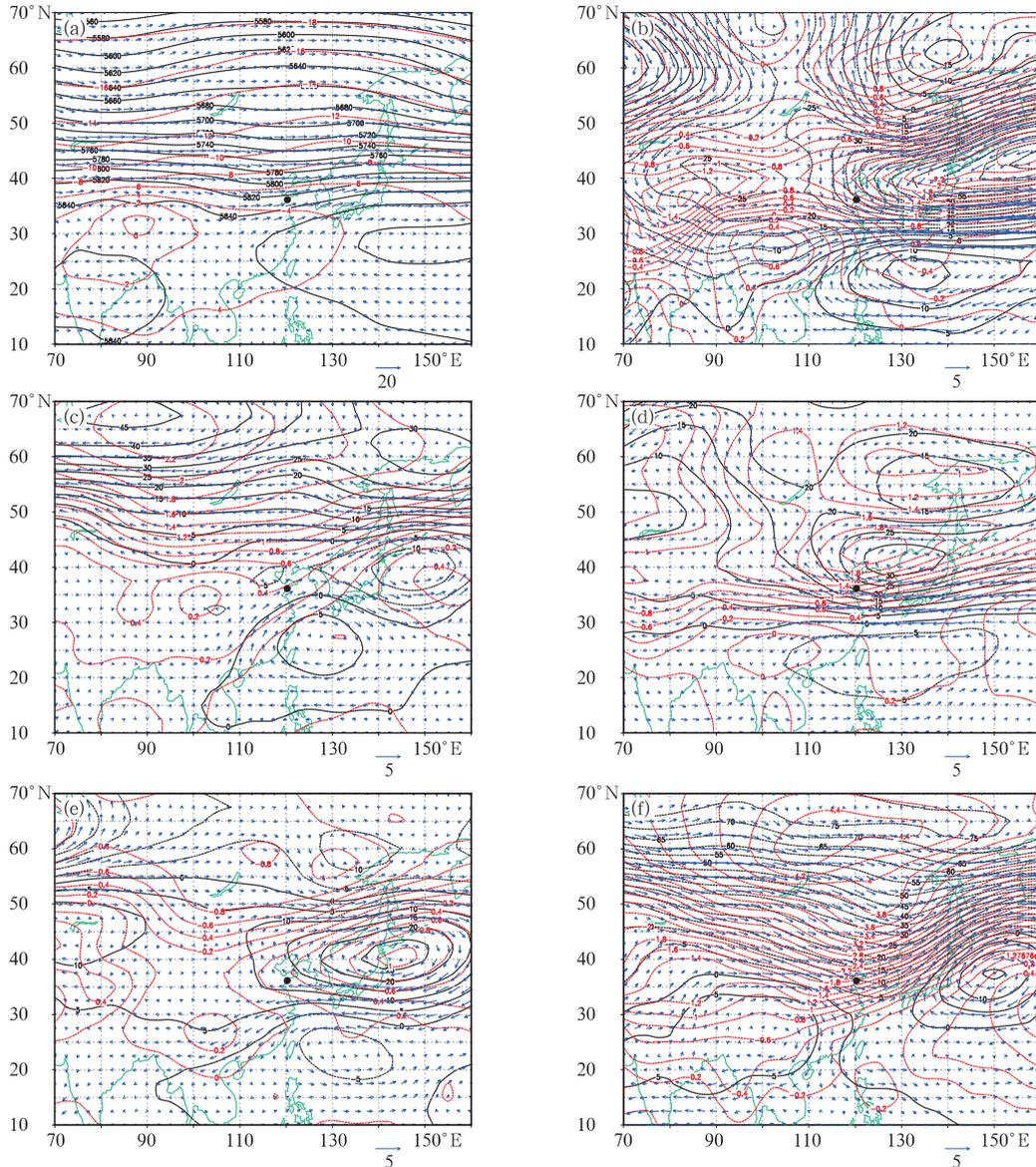


图 7 青岛市主汛期 500 hPa 平均环流场(a)与主汛期各降水阶段平均环流的距平场(b,c,d,e,f)
(a) 主汛期平均环流; (b) 主汛期开始阶段与主汛期平均环流的距平; (c) 同图 7b, 但为黄淮雨期阶段;
(d) 同图 7b, 但为华北雨期阶段; (e) 同图 7b, 但为热带低压阶段; (f) 同图 7b, 但为主汛期结束阶段
(黑色线为位势高度, 单位: gpm; 红虚线为温度, 单位: °C; 蓝色矢量箭头为风, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 7 Atmospheric circulation at 500 hPa (a) during the main rainy season and the anomaly fields (b,c,d,e,f) of each precipitation stage

(a) averaged field at 500 hPa during the main rainy season; (b) anomaly field of the initial stage of the main rainy season departure from Fig. 7a; (c) same as Fig. 7b, but for the rainy season over Yellow River-Huaihe River; (d) same as Fig. 7b, but for the North China rainy season; (e) same as Fig. 7b, but for the stage of tropical depression;

(f) same as Fig. 7b, but for the end stage of the main rainy season

(Black line is for geopotential height, unit: gpm, and blue vectors are for winds, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

缘,西风槽前强盛的西南气流中。青岛主汛期开始阶段的环流与平均环流差异较大(图7b),位势高度场,副热带在 23°N 、 135°E 有正距平中心,中纬度(40°N 附近)是东西向显著的负距平带,中心位于东亚地区。中高纬度在乌拉尔山和鄂霍茨克海分别有一个正距平中心。主汛期开始阶段与平均环流相比,副高位置偏南,中纬度多冷槽活动,中高纬度乌山高压、鄂霍茨克海高压活动频繁。黄淮雨季阶段(图7c),位势高度场,中高纬度(45°N 以北)均为正距平,且高纬度正距平显著,中心位于 68°N 、 85°E 附近;中纬度负距平较弱,中心在 40°N 、 145°E ;副热带地区, 27.5°N 、 127.5°E 有正距平中心。与平均环流相比,中高纬度位势高度普遍升高,环流趋于平直,冷空气明显减弱;副高北抬过程中西伸较为明显。华北雨季阶段(图7d),位势高度场, 30°N 以北均为正距平,贝湖地区和副高北侧(41°N 、 128°E)是显著的正距平中心。 30°N 以南是负距平,负距平中心较弱,位于西太平洋及我国长江以南地区。与平均环流相比,长江以北位势高度增加,贝湖的高脊更为强大,副高在偏西位置明显北抬加强,达到鼎盛时期,冷空气活动最弱,热带低值系统在长江以南的活动开始活跃。热带低压影响阶段(图7e),位势高度场,高纬度地区是弱的负距平,并伴随气温负距平。中纬度及副热带地区为正距平,正距平中心位于 41°N 、 145°E ,与平均环流相比,中高纬度位势高度开始下降,说明冷空气在北部开始活跃,副高中心在偏北的纬度上东退。我国东南沿海及以东海面为负距平,台湾东部洋面有弱的负距平中心。使我国北部沿海的位势高度较华北雨季阶段降低,有利于热带低值系统北上或向北扩张。青岛主汛期结束阶段(图7f),位势高度场,中纬度以北均为负距平,分布为北强南弱,并伴有明显的冷空气活动。在 37.5°N 、 150°E 有一个正距平中心。可以看出这一阶段冷空气已控制我国北方并向南推进,副高受冷槽的挤压,外围减弱缩小,中心在偏东位置也稍向南压,逐步失去对青岛的直接影响。

以上分析表明,(1)5个降水阶段间的副高位置变化显著。与主汛期平均环流相比,开始阶段副高位置整体偏南,黄淮雨季阶段副高变化主要表现为西伸并略有北抬,华北雨季阶段副高在偏西的位置上明显北抬,热带低压阶段副高又在偏北位置上东退,主汛期结束阶段副高在偏东的位置上南压。(2)西风带位势高度变化具有规律性。主汛期开始阶段

中高纬度是经向环流且具有阻塞特征,其他几个阶段多为纬向环流。黄淮雨季阶段西风带位势高度普遍升高,正距平呈纬向分布,中高纬度最显著。华北雨季阶段西风带位势高度仍普遍是正距平,但整体强度减弱。热带低压阶段中高纬度出现位势高度负距平,中心在乌拉尔山地区呈爆发态势。主汛期结束阶段位势高度负距平爆发南压,我国东部沿海负距平到达 30°N 。(3)副高在偏北位置上,中心偏东有利于热带低值系统在我国东部沿海向北发展。可以看出,根据副高特征、西风带位势高度和热带低值系统的异常,可以判断某个降水阶段在整个主汛期占有主导地位,预测全国的汛期降水分布。对于青岛区域而言,可以分别预测各个降水阶段的强度,从而达到细化汛期降水预测的目标。

5 结论与讨论

(1) 青岛市汛期降水划分为5个降水阶段,分别是主汛期开始阶段,气候时间是6月29日至7月3日;黄淮雨季阶段,气候时间是7月8—26日;华北雨季阶段,气候时间是7月27日至8月6日;热带低压阶段,气候时间是8月11—22日;主汛期结束阶段,气候时间是8月31日至9月4日。其中黄淮雨季阶段和热带低压阶段是降水多、持续时间长,主汛期降水呈现双主峰分布,后一个主峰(热带低压阶段)的降水强度相对更强,稍落后于华南后汛期的峰值。

(2) 副热带季风槽和热带季风槽是造成青岛汛期降水的主要影响系统,副高的季节性移动及其高低空的位置差异是形成青岛汛期降水阶段的主要成因,各降水阶段对应着相对稳定的天气气候阶段,各降水阶段间的大气环流有明显的突变现象。

(3) 与主汛期平均环流相比,各个降水阶段的副高特征、西风带位势高度和热带低值系统的异常显著,对预测全国的汛期降水分布和青岛区域汛期各个降水阶段的强度都有指示意义。

参考文献

- 曹钢锋,王慧真,赵从兰,等,1991.山东省夏季的自然天气阶段[J].青岛海洋大学学报,21(3):22-32.
- 陈丽娟,高辉,龚振淞,等,2003.2012年汛期气候预测的先兆信号和应用[J].气象,39(9):1103-1110.
- 戴新刚,汪洋,丑纪范,2003.华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变[J].科学通报,48(23):2483-2487.

- 丁一汇,村上胜人,1994. 亚洲季风[M]. 北京:气象出版社:1-29.
- 冯文,符式红,赵付竹,2015. 近 10 年海南岛后汛期特大暴雨环流配置及其异常特征[J]. 气象,41(2):143-152.
- 高由禧,郭其蕴,1958. 我国的秋雨现象[J]. 气象学报,29(4):264-273.
- 何金海,温敏,丁一汇,等,2006. 亚澳“大陆桥”对流影响东亚夏季风建立的可能机制[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,36(10):959-967.
- 胡娅敏,丁一汇,穆菲,2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征[J]. 大气科学,32(1):101-112.
- 黄琰,张人禾,龚志强,等,2014. 中国雨季的一种客观定量划分[J]. 气象学报,72(6):1186-1204.
- 蒋薇,高辉,2013. 21 世纪长江中下游梅雨的新特征及成因分析[J]. 气象,39(9):1139-1144.
- 廉毅,沈柏竹,高枫亭,等,2003. 东亚夏季风在中国东北区建立的标准、日期及其主要特征分析[J]. 气象学报,61(5):548-558.
- 廉毅,沈柏竹,高枫亭,等,2007. 确定东亚-西北太平洋地区夏季副热带季风建立和活动范围的一种方法[J]. 气象学报,65(4):503-510.
- 施晓晖,徐祥德,2009. 华南及邻近海域春季海陆温差减弱与东亚夏季风强度关系的分析和模拟[J]. 高原气象,28(1):108-114.
- 孙颖,丁一汇,2002. 1997 年东亚夏季风异常活动在汛期降水中的作用[J]. 应用气象学报,13(3):277-287.
- 王艳姣,周兵,司东,等,2013. 2012 年夏季我国降水异常及成因分析[J]. 气象,39(1):118-122.
- 王遵娅,丁一汇,2008. 中国雨季的气候学特征[J]. 大气科学,32(1):1-13.
- 袁媛,任福民,王艳姣,等,2012. 2012 年华南前汛期降水特征及环流异常分析[J]. 气象,38(10):1247-1254.
- 张丰启,李丽,丁一汇,等,2013. 黄淮雨期气候特征及其与青岛汛期降水的联系[C]//创新驱动与转型发展——青岛市第十一届学术年会论文集. 青岛:青岛出版社:153-158.
- 赵俊虎,封国林,杨杰,等,2012. 夏季西太平洋副热带高压的不同类型与中国汛期大尺度旱涝的分布[J]. 气象学报,70(5):1021-1031.
- 赵平,周秀骥,陈隆勋,等,2008. 中国东部-西太平洋副热带季风和降水的气候特征及成因分析[J]. 气象学报,66(6):940-954.
- 周宁芳,康志明,赖芬芬,2014. 2012 年夏季华北降水和环流形势的低频振荡特征分析[J]. 气象,40(9):1106-1113.
- 祝从文,周秀骥,赵平,等,2011. 东亚副热带夏季风建立与中国汛期开始时间[J]. 中国科学:地球科学,41(8):1172-1181.
- Chang C P, 2004. East Asian Monsoon[M]. Singapore: World Scientific Publishing:561-562.
- Ding Y H, 1992. Summer monsoon rainfalls in China[J]. J Meteor Soc Japan,70(1B):373-396.
- Ding Y H, 1994. Monsoons Over China[M]. London: Kluwer Academic Publishers:135-136.
- Lau K M, Yang S, 1997. Climatology and interannual variability of the southeast Asian summer monsoon[J]. Adv Atmos Sci, 14(2):141-162.
- Tao S Y, Chen L X, 1987. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China[M]//Chang C P, Krishnamurti T N. Monsoon Meteorology. London: Oxford University Press: 60-92.