

西北太平洋夏季风的气候学研究^{* 1}

王 慧

(南京信息工程大学气象学院, 南京, 210044)

丁一汇

何金海

(国家气候中心, 北京, 100081)

(南京信息工程大学气象学院, 南京, 210044)

摘 要

西北太平洋季风区($5^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$)是亚洲-太平洋季风区与亚洲-澳大利亚季风区的一个重要部分, 也是一个独立的季风区。文中对西北太平洋夏季风进行了气候学研究, 发现西北太平洋夏季风的爆发发生在 31 候(6 月上旬)前后。爆发后, 夏季风经历了 3 次活跃-中断循环, 每个循环都相应于独立的干期和湿期。第 1 个循环是从 6 月初到 7 月中旬, 降水与低层西风的中心主要位于 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 。第 2 个循环是 7 月下旬至 9 月下旬, 降水与低层西风明显向东北方向移动, 位于 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 。这个循环是西北太平洋夏季风最强盛的时期。第 3 个循环是从 9 月末到 10 月末, 降水与低层西风又向南退回到 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, 达到了西北太平洋夏季风最弱的阶段。这个循环的结束也就预示着西北太平洋夏季风的结束。西北太平洋季风区有明显的季节内振荡(ISO), 这种气候的季节内振荡(CISO)主要由 30~60 d 与 10~20 d 两种周期组成, 但是主要以 30~60 d 的低频振荡为主。根据西北太平洋的对流和低层西风在不同位相分布的分析, 可以看出西北太平洋的低频对流和西风是向西向北传播的。西北太平洋的季风降水、对流与西风的活跃-中断循环在很大程度上受 30~60 和 10~20 d 低频振荡的调制。

关键词: 西北太平洋夏季风, 季节演变, 低层西风, 季节内振荡。

1 引 言

20 世纪 80 年代, Tao 和 Chen^[1]曾提出亚洲夏季风包括两个系统: 印度季风和东亚季风。把东亚和西北太平洋季风作为一个整体。后来又有人提出西北太平洋是一个独立的季风区^[2]。Wang 等^[3]提出亚洲-太平洋夏季风按照雨季特征可划分为 3 个季风区: 印度季风区、东亚季风区和西北太平洋(WNP)季风区。印度季风和西北太平洋季风属于热带季风, 而东亚季风属于副热带季风。而近年来研究较多的南海夏季风属于东亚夏季风的一部分。对中国天气和气候影响显著的东亚夏季风的主要系统包括: 南海和西太平洋季风槽(或 ITCZ)、 100°E 以东的越赤道气流、澳大利亚冷高压、西太平洋副热带高压、高层东北气流、沿着季风槽的对流、梅雨锋和中纬度扰动^[1]。而西北太平洋夏季风的主要成员

包括: 西北太平洋副热带高压、季风槽、偏东信风和高层南亚高压^[4], 系统明显比东亚夏季风简单。印度西南季风受经向的陆地-海洋热力对比和青藏高原热源的影响, 东亚季风区主要受东西向的海陆热力对比控制, 而西北太平洋处于暖池地区, 季风爆发和演变受到海温的年变化和东西太平洋海温梯度影响, 进而受到西北太平洋季风槽的控制。总之, 这 3 个季风系统既有区别又有联系。

西北太平洋夏季风环流对台风、ITCZ 等都有很大的影响^[5], 并且对东亚季风区的天气和气候也有很大的影响^[6]。所以研究西北太平洋季风对进一步了解亚洲与东亚的天气与气候有重要的意义。从气候上, 西北太平洋夏季风的发展是由菲律宾附近开始向东北方向逐渐发展的^[4,7]。另一方面, Wang 和 Xu^[8]发现北半球夏季风的气候季节内振荡(CISO)存在 4 个干湿循环。Lin 和 Wang^[9]指出亚洲-

* 初稿时间: 2004 年 10 月 26 日; 修改稿时间: 2005 年 4 月 15 日。

资助课题: 中国科学技术部攀登项目 A“南海季风试验”。

作者简介: 王慧, 女, 1979 年生, 南京信息工程大学在读硕士。主要从事: 季风研究。E-mail: wanghui_ilmm@126.com

太平洋夏季风的年循环主要由两次季风爆发过程组成,每次都有独立的干湿循环。上述研究表明,西北太平洋季风区作为亚洲-太平洋季风区的一个组成部分已引起了相当的重视。

季风的同热带季节内振荡密切相关^[8],南海及其临近地区大气季节内振荡的局地振荡对南海夏季风爆发有很重要的作用^[10],西北太平洋地区的季节内振荡对该地区夏季风也有明显的作用。在季风地区,低频振荡的活动与季风环流系统及其降水变化有密切关系^[11]。早期,Madden 和 Julian^[12]提出热带太平洋地区存在 40~50 d 振荡,在这之后很多学者^[13,14]都对西北太平洋的对流活动、降水、风等的季节内振荡做了大量研究。西太平洋的对流活动在大气季节内振荡的湿位相时是加强的。因而,西北太平洋季风区除了基本气流具有明显的季节变化之外,其季节内的变率在该地区季风气候的形成中也起到重要作用。

以往的研究主要侧重西北太平洋夏季风爆发前后降水和 OLR 的变化,没有对西北太平洋季风爆发前后以及整个活跃-中断循环做系统性研究。本文主要从气候角度对西北太平洋夏季风爆发和演变过程中降水、风场、OLR、海温气象要素的平均气候特征做了综合分析。在此基础上,进一步分析了夏季风的季节内变率,尤其是作为主要模态的 30~60 d 的低频振荡对季风的作用,这可为了解这个地区的季风气候学以及夏季风活动对台风、ITCZ 等的作用提供事实和背景。

2 资 料

研究中所用的资料:(1)NCEP 再分析 1971~2000 年的 30 a 逐日的风场资料;(2)CMAP 降水的 1979~2002 年 24 a 候平均资料;(3)NOAA 的 1975~2003 年 29 a 内差的 OLR 的逐日资料;(4)NCEP 再分析 1982~2003 年 22 a 逐周的海温资料。前 3 个数据集的水平分辨率是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,海表温度的水平分辨率是 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。本文中资料的时间是国际上通用的 73 候。

3 西北太平洋夏季风的定义及气候平均状况

本文把西北太平洋夏季风定义为西北太平洋地区日平均降水量大于 8 mm,同时 850 hPa 低空风由东风转变为西风,且 OLR 小于 230 W/m^2 ,持续 3 候以上。一般情况下西北太平洋地区降水达到 8

mm/d 时,OLR 值也就小于 230 W/m^2 。同南海、印度季风等不同的是本文降水量采用 8 mm/d 为临界值,而南海等地是采用 6 mm/d 为爆发值,这是因为西北太平洋地区降水量比较大。

图 1 给出气候平均的 850 hPa 纬向风、200 hPa 速度势及辐散风、OLR 与降水在夏季(6~8 月)的平均。850 hPa,西风在夏季向东延伸到 150°E ,且主要位于 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 的热带地区。200 hPa 热带地区主要受东风控制。由 200 hPa 速度位势和辐散风图可以看出,夏季,西北太平洋地区高空主要是一个大尺度辐散环流,其中心位于菲律宾附近。辐散中心的位置同降水与对流中心的位置配合得很好(图 1b, c, d)。夏季对流和降水在整个西北太平洋是比较强的,它们主要位于西太平洋热带地区的 ITCZ 中。

为了研究西北太平洋地区季风爆发与演变的趋势,文中做了一些主要气象要素的时间-纬度剖面(图 2)和时间-经度剖面(图略)。在西北太平洋的西部(图 2a),8 mm/d 的降水线在 31 候开始向北扩展,到 38 候已经到达 15°N ,在 41 候降水又迅速北扩到 25°N 。从 52 候降水开始逐渐减少,并且南退。到了 60 候已经向南退到了 13°N 。因而降水的季节进程是很清楚的。西北太平洋东部地区($150^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$)(图略)的降水也有向北推进的过程。但不同的是东部北推的时间比较晚,在 40 候开始以后也推进到 25°N ,但在该纬度持续的时间较短。OLR(图略)也有相同的过程。850 hPa 西风(图 2b)也在 32 候时开始出现,到 36 候时西风位于 10°N ,在 40 候时西风迅速地向北扩展,在短短的两候内就推进到了 22°N ,之后一直持续到 49 候开始减弱南退,到 60 候时已经回到了 7°N ,夏季风结束。由 SST 图(图略)可以看出在 30 候的时候西北太平洋的高海温(大于 29°C)开始向北扩展,到 42 候时高海温达到最北 25°N ,之后逐渐缓慢地向南撤退。因而,海温的季节进退显示了与季风、降水与对流活动类似的变化。它们之间的物理联系以及相互作用是目前研究的一个关键问题。

由时间-经度剖面图(图略)可以看出,在 32 候时西北太平洋地区降水开始增多,此时南海地区降水也明显增加。从 40 候 8 mm/d 的等值线开始向东扩展,特别是 12 mm/d 的降水区,这表明西北太平洋地区降水明显达到了旺盛期。在 53 候以后大于 12 mm/d 的降水已经消失了,降水强度减小,但是 8 mm/d 的降水还继续向东扩展。OLR 的变化

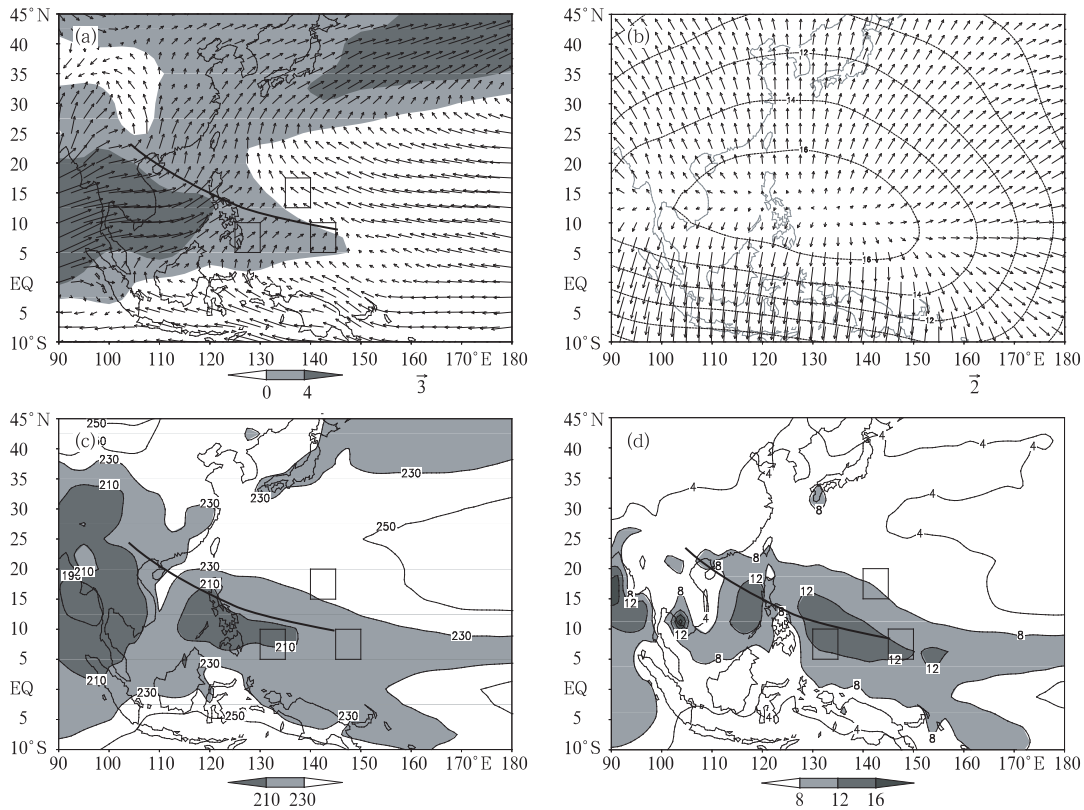


图 1 夏季(6~8月)的气候平均场

(a. 850 hPa 风场, 阴影区表示西风, 单位: m/s ; 3 个方框代表 850 hPa 纬向风在西北太平洋关键区 ($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$; $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$; $12.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $135^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$); b. 200 hPa 速度位势, 10^6 s^{-1} 和辐散风, m/s ; c. OLR, W/m^2 , 阴影区表示低于 230 W/m^2 的 OLR, d. CMAP 降水, mm/d ; 阴影区表示大于 8 mm/d 的降水, (c) 和 (d) 中方框代表 OLR 和降水的西北太平洋关键区 ($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$; $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $145^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$; $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$). 图中粗线是 ITCZ 或季风槽槽线)

Fig. 1 The climatological average fields in summer (June–August)

(a. 850 hPa wind (m/s), b. 200 hPa velocity potential (10^6 s^{-1}) and divergent wind (m/s), c. OLR (W/m^2), d. CMAP precipitation (mm/d); shading in (a) denotes west wind, shading in (c) denotes OLR below 230 W/m^2 , shading in (d) denotes precipitation above 8 mm/d , three squares in (a) denote the key regions ($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$; $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$; $12.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $135^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) of 850 hPa latitudinal wind in WNP, and the squares in (c) and (d) denote the key regions ($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$; $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $145^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$; $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$) of OLR and precipitation. The thick contour denote ITCZ or the monsoon trough line)

同样是相似的。850 hPa 西风在 28 候首先在南海建立, 在 32 候开始向东发展到西北太平洋地区, 在 40 候时西风迅速向东扩展到 150°E , 而在 52 候扩展到 155°E 。之后开始减弱西退, 在 60 候时 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 就已经没有西风了, 西风已经退到了 5°N 以南。而高海温在 24 候时出现, 在 40 候时海温已经到达了 160°E , 之后一直向东扩展, 到 58 候时已经达到了 180° , 之后开始减弱。

总之, 由以上剖面图看出, 西北太平洋的降水、对流、西风和海温都有随季节向东向北扩展的趋势。在 31 或 32 候时降水、对流、西风和海温开始在该地

区增强, 且都向东向北扩展, 在 41 候左右时都迅速达到最北地区, 强度达到了最盛期, 之后强度虽有些弱, 但仍继续向东扩展。在 60 候左右开始向西向南撤退。西北太平洋季节海温的变化对季风的东北方向发展是起很大作用的^[3]。

4 西北太平洋夏季风的爆发

根据第 3 部分中西北太平洋夏季风的定义, 文中取日平均降水量 8 mm/d 以及 230 W/m^2 的 OLR 值作为西北太平洋地区夏季风爆发的临界值。由于季风在西北太平洋随季节是向东和向北推进的, 其

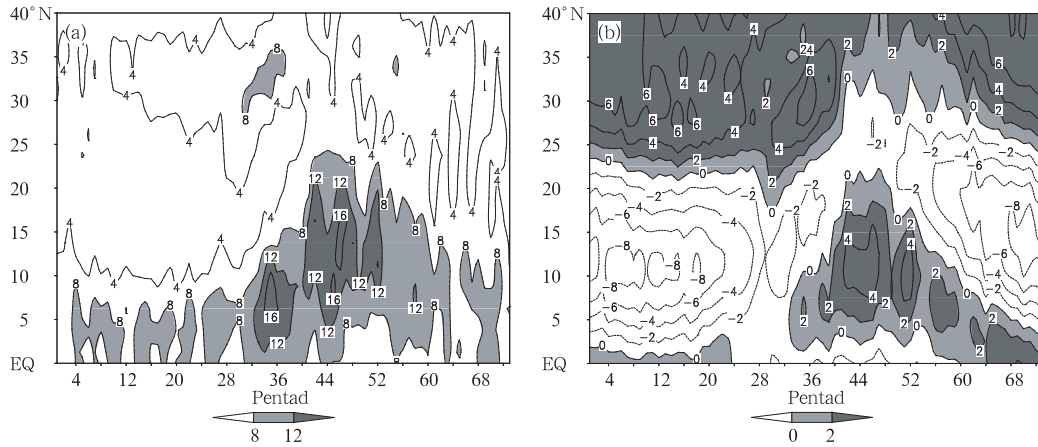


图2 西北太平洋地区降水和850 hPa纬向风时间-纬度剖面

(a. $130^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 平均降水, 单位: mm/d; b. 850 hPa 纬向风 $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 平均, 单位: m/s)

Fig. 2 Time-latitude cross-section in WNP

(a. precipitation (mm/d) is averaged over $130^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$, b. 850 hPa latitudinal wind (m/s) is averaged over $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$)

不同地区的季风会有一些的差异,因此在主要强降水区选取了两个西北太平洋夏季风的代表区(如图1中方框),在北部也选择了一个区域,据此研究了季风的季节变化。分别对上述这3个区域做了平均,得到图3。由图3a看出,在西北太平洋西部($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$)和东部($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $145^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$)地区,都是在32候时降水量(R)超过8 mm/d的,OLR也开始低于 230 W/m^2 ,两者都是持续到60候左右才结束的。而西风(图3b)则有一点不同,在西北太平洋的西南部($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$)西

风是在33候开始出现的,但是东南部($5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$)是晚到37候时才开始出现西风,这说明西风的向东推进需20 d左右才达到较东部的地区。而在北部($15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$)则爆发的比较晚,在41候时降水和对流才变得强盛,西风也开始出现,但是持续时间较短,到54候左右降水、对流和西风已经开始减弱消失。因而西北太平洋夏季风的长度具有明显的区域差异,南部从32候到60候可达5个月,而北部,则只有2个月左右。

根据气候平均降水量逐候演变图(图略)分析可

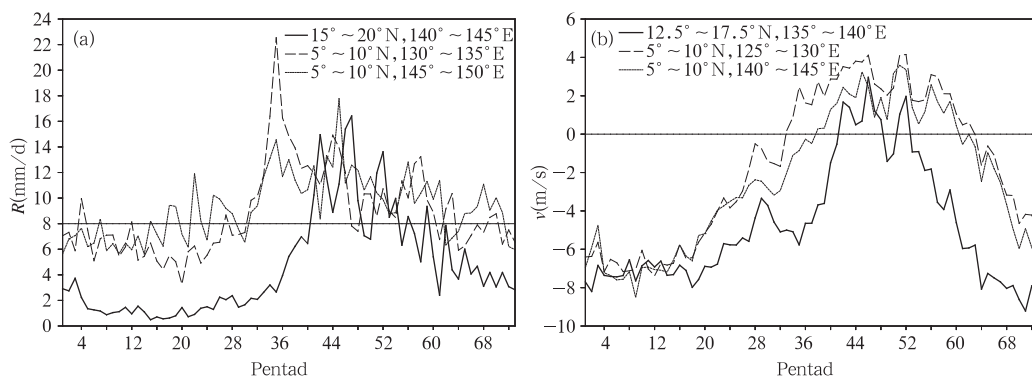


图3 西北太平洋关键区(如图1中方框)的降水量(a)、850 hPa纬向风(m/s)的区域平均(b)

Fig. 3 The region-averaged picture in key regions over WNP (squares in Fig. 1)

(a. precipitation (mm/d), b. 850 hPa latitudinal wind (m/s))

以得到,降水在夏季的演变大致可分为3个循环,其中每一个循环包括一个活跃和中断期。首先在32候季风爆发后降水开始明显增多,在37候时降水第

一次达到最大值,之后减弱。从41候开始降水再一次增大,并且向北推进,在47候时达到第二次峰值。之后是第二循环的减弱时期。到54候降水又一次

开始增长,并且向南退,一直到60候降水最后一次减弱,代表西北太平洋夏季风的结束。西风的演变基本是相匹配的,也有3个循环。在33候西风开始在西北太平洋出现,并且逐渐增强,中心位置在 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 。第二循环从42候开始西风开始明显北跳,中心位置已经到了 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$,且强度要比第一循环要大,这种情况持续到了52候。到53候开始进入第三循环,西风进入减弱南退阶段。

为了更明显地看出降水和西风的3个循环过程,分别做了3个循环的平均图(图4,5,6,7)。由图4中看出,在爆发前西北太平洋地区降水偏弱,大于 8 mm/d 的只有很小一部分。夏季风爆发后降水明显增多,整个西北太平洋的南部地区(15°N 以南)

都超过了 8 mm/d ,最大的可以超过 16 mm/d 。爆发后与爆发前降水的增多由图4c看得更加明显,降水增大的区域主要位于 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 的西部地区,变化的最大值超过了 6 mm/d 。在第一个循环的减弱时期,降水减少,而这种现象由图4e看得更加清楚。爆发前在西北太平洋不存在西风(图7a),爆发后第一循环时 850 hPa 的西风开始在西北太平洋出现,西风的中心位置是 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$,向东延伸到了 148°E ,并且西风风速都不大于 4 m/s 以内(图7b)。

到了41候(7月22~26日),进入了西北太平洋夏季风的第二个循环(图5),这时降水和西风明显向北推进,中心都到达了 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$,这和图2a是一致的。而且第二循环的降水和西风都比第一循

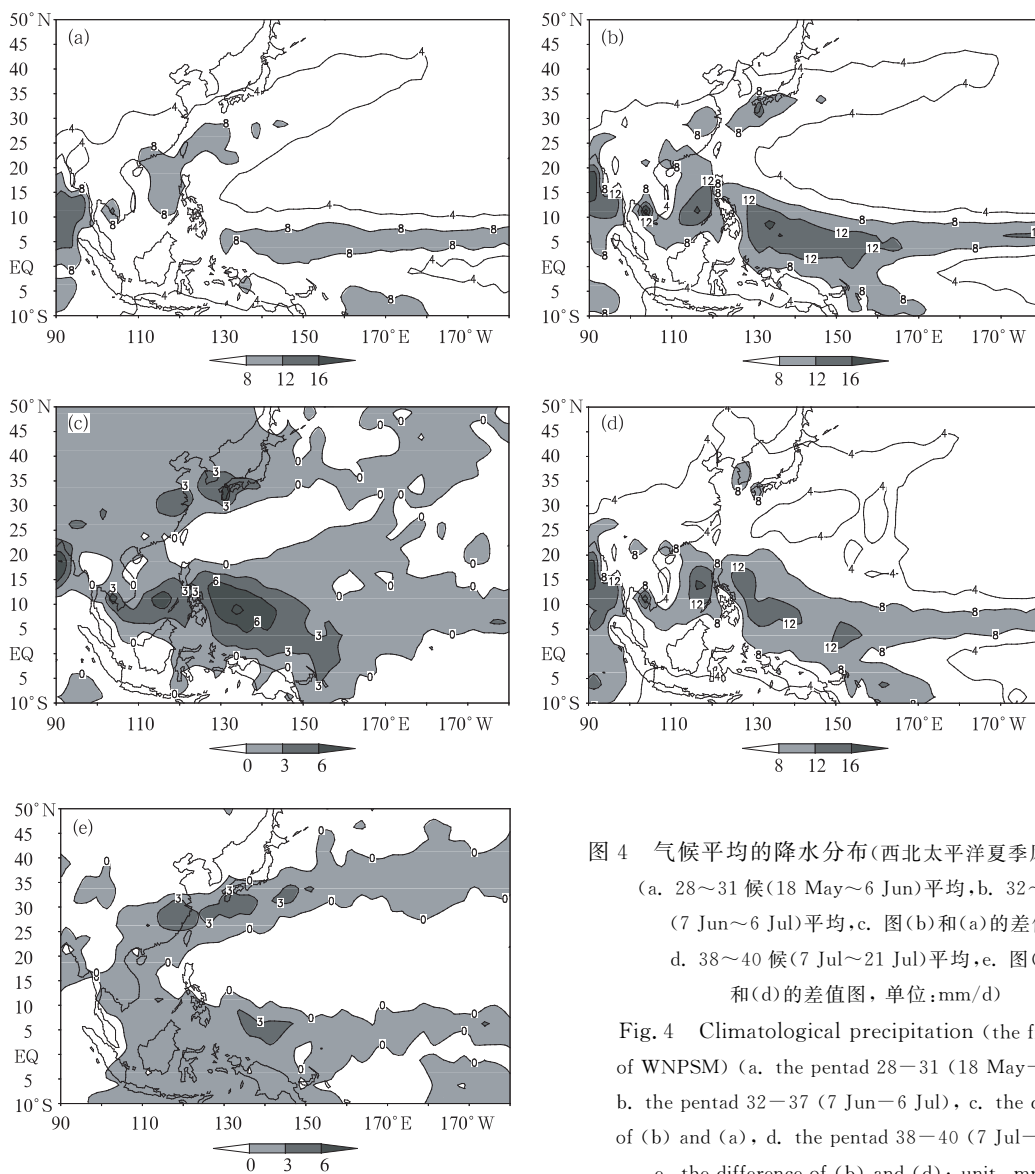


图4 气候平均的降水分布(西北太平洋夏季风第一循环)

(a. 28~31候(18 May~6 Jun)平均, b. 32~37候(7 Jun~6 Jul)平均, c. 图(b)和(a)的差值, d. 38~40候(7 Jul~21 Jul)平均, e. 图(b)和(d)的差值图, 单位: mm/d)

Fig. 4 Climatological precipitation (the first cycle of WNPMS) (a. the pentad 28-31 (18 May-6 Jun), b. the pentad 32-37 (7 Jun-6 Jul), c. the difference of (b) and (a), d. the pentad 38-40 (7 Jul-21 Jul), e. the difference of (b) and (d); unit: mm/d)

环强,此时西北太平洋的降水多在 12 mm/d 以上,超过 16 mm/d 的范围也扩大了,西风也向东延伸到了 152°E,并且西部的西风风速超过了 4 m/s,对应西北太平洋夏季风的强盛时期(图 7c)。到了 48 候

(8 月 26~30 日)开始了第二次减弱,降水减少。由第二循环的盛期与衰退期的差值图也可看出此循环中降水是向东向北扩展的。

在第三次循环(图 6),从 54 候(9 月 25~29 日)

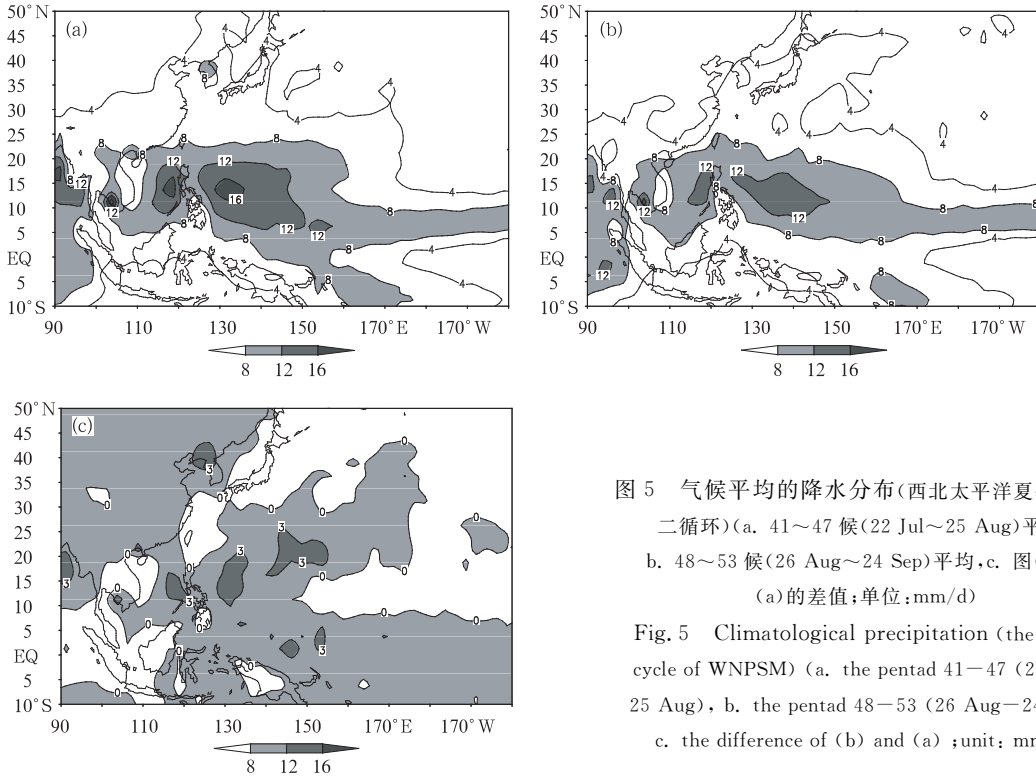


图 5 气候平均的降水分布(西北太平洋夏季风的第二循环)(a. 41~47 候(22 Jul~25 Aug)平均, b. 48~53 候(26 Aug~24 Sep)平均, c. 图(b)和 (a)的差值;单位:mm/d)

Fig. 5 Climatological precipitation (the second cycle of WNPMSM) (a. the pentad 41-47 (22 Jul-25 Aug), b. the pentad 48-53 (26 Aug-24 Sep), c. the difference of (b) and (a); unit: mm/d)

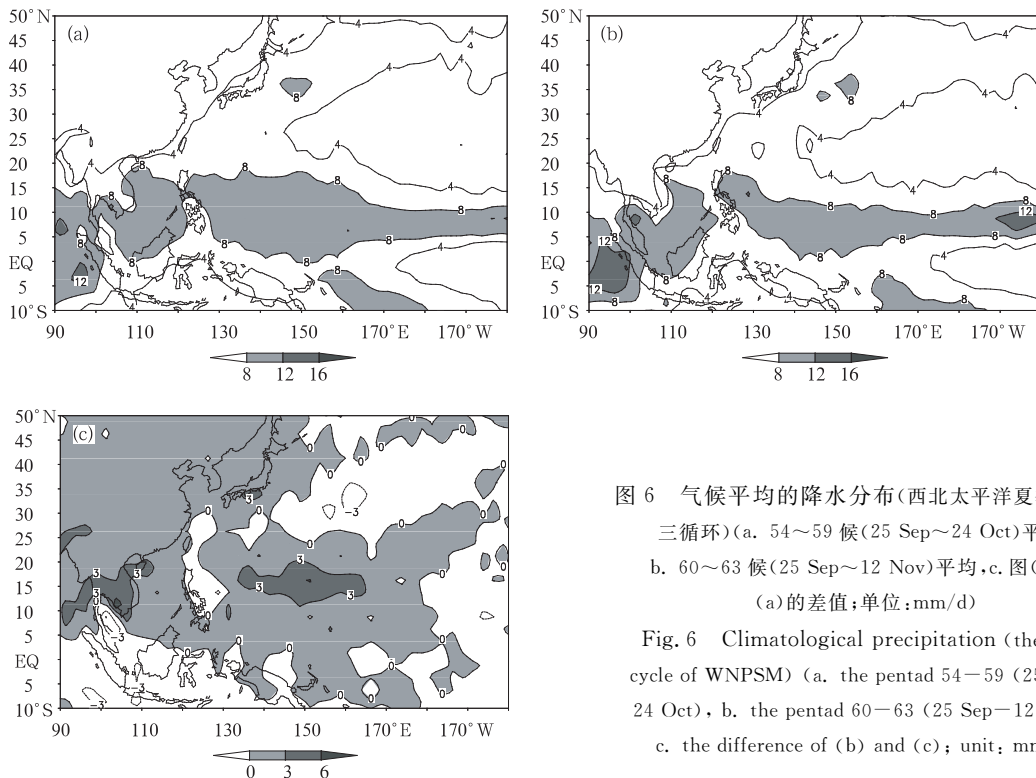


图 6 气候平均的降水分布(西北太平洋夏季风的第三循环)(a. 54~59 候(25 Sep~24 Oct)平均, b. 60~63 候(25 Sep~12 Nov)平均, c. 图(b)和 (a)的差值;单位:mm/d)

Fig. 6 Climatological precipitation (the third cycle of WNPMSM) (a. the pentad 54-59 (25 Sep-24 Oct), b. the pentad 60-63 (25 Sep-12 Nov), c. the difference of (b) and (a); unit: mm/d)

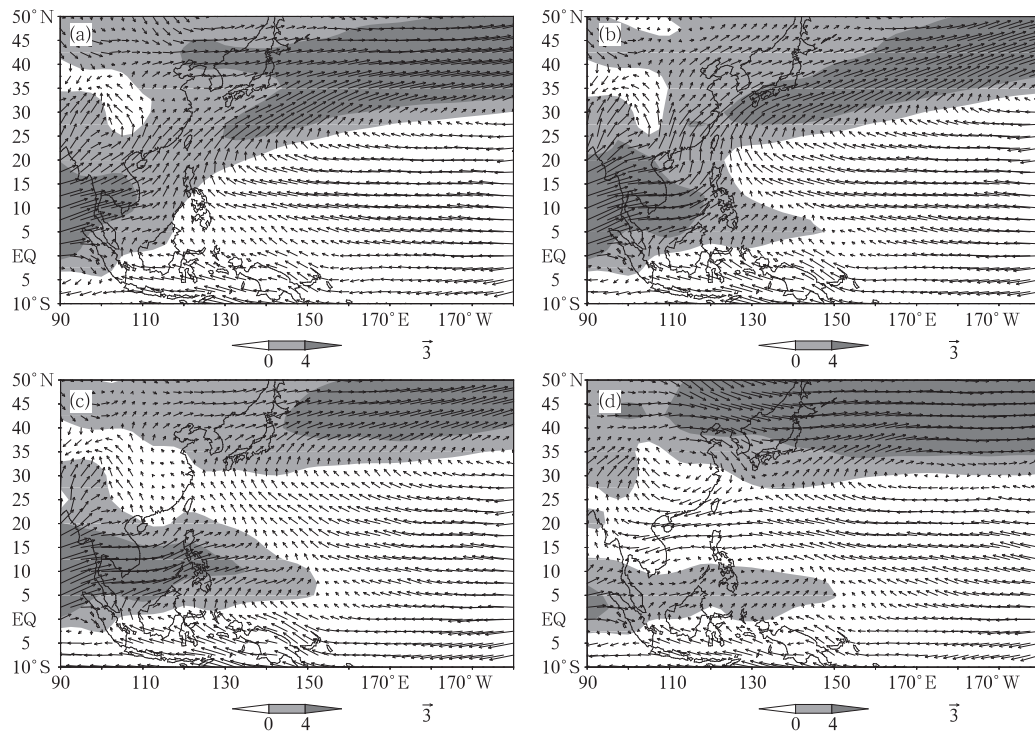


图7 气候平均的850 hPa风场分布(西北太平洋夏季风3个循环)

(a. 29~32候(23 May~11 Jun)平均, b. 33~41候(12 Jun~26 Jul)平均, c. 42~52候(27 Jul~19 Sep)平均, d. 53~63候(20 Sep~9 Nov)平均;单位:m/s)

Fig. 7 Climatological 850 hPa wind (three cycles of WNPMSM)

(a. the pentad 29–32 (23 May–11 Jun), b. the pentad 33–41 (12 Jun–26 Jul), c. the pentad 42–52 (27 Jul–19 Sep), d. the pentad 53–63 (20 Sep–9 Nov); unit: m/s)

开始,是西北太平洋夏季风最弱的时期,整个西北太平洋降水和西风都较第二循环弱,且都向南退回到了 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$,此时西北太平洋的降水都减弱到 8 mm/d ,西风风速也不大于 4 m/s (图7a)。而到了60候(10月25~29日)以后降水强度恢复到爆发前(图6a)的状况。相应的,西北太平洋夏季风结束。

上述分析表明,西北太平洋夏季风爆发和演变共经历3个循环,且在总体上呈增强—盛期—减弱的趋势,即第二个循环是夏季风最强盛的时候。每个循环都有独立的活跃与中断期,它们分别对应湿期和干期。在第一循环(6月初~7月中旬)季风降水和西风等主要位于 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$,西北太平洋降水的强度为 12 mm/d ,西风风速不大于 4 m/s 。到了第二循环(7月下旬~9月下旬)季风降水和西风都明显向东向北推进,达到 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$,局部地区降水强度超过 16 mm/d ,西部的西风风速也超过 4 m/s 。最后在第三个循环(9月末~10月末)中,降水、西风等都较小,降水量平均只有 8 mm/d ,西风风速小于 4 m/s 。这个循环也是西北太平洋夏季风最弱的时

期,此循环的结束表示了西北太平洋夏季风的结束。

图8是西北太平洋夏季风爆发等时线的演变过程。为了同Wang Bin等^[8]的图对比,本文也采用 240 W/m^2 做为爆发临界值。不同的是取连续至少3候的第一候作为爆发候。而且还做了850 hPa纬向风的前进等时线图(图8b)。可以看出,在28候(5月中下旬)南海夏季风爆发,之后逐渐向西北太平洋扩展。西北太平洋夏季风在6月初(30~32候)首先在菲律宾岛附近爆发。而低层西风在34候才到达菲律宾岛以西。这同上文所述的西风一般发生在对流或降水的西南部相一致。爆发后对流和西风都逐渐向东北方向前进,到40候(7月中下旬)夏季风对流已经达到了最北部(20°N 附近),西风也达到了 15°N 附近,之后都向南撤退。这同以上分析的结果相同,而且同文献^[8]的图8的结果是相近的。总之,西北太平洋夏季风的爆发总体上呈现出先向东北方向发展,再向南撤退的过程。

图8中还应提及一个现象,在 15°N 以北,对流与西风是向东南扩展推进的(热带与副热带西风与

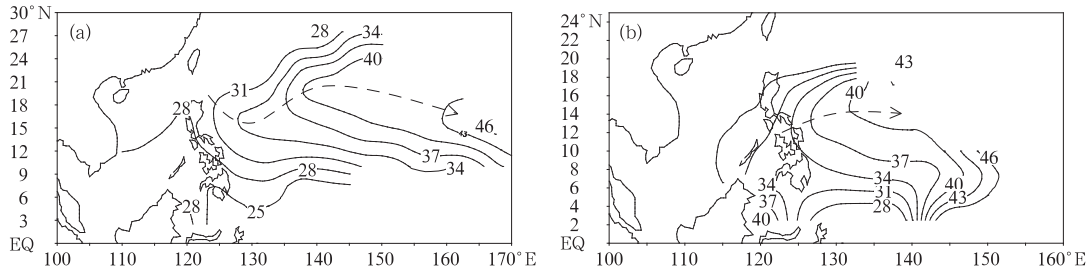


图 8 西北太平洋夏季风爆发日期的演变

(a. 运用每个格点的气候平均的 OLR 值最先低于 240 W/m^2 的候并且连续 3 候都低于 230 W/m^2 , 则该候定义为爆发候, b. 运用每个格点的气候平均的 850 hPa 纬向风的值最先大于 0 m/s 的候并且持续 3 候都大于 0 m/s , 则该候定义为爆发候; 图中虚线箭头表示等时线前进的方向)

Fig. 8 The onset dates of the WNP summer monsoon

(a. The onset pentad is defined by the first pentad when the climatological pentad-mean OLR lower than 230 W/m^2 at each grid point and lasting three pentads, b. the onset pentad is defined by the first pentad when the climatological pentad-mean 850 hPa zonal wind higher than 0 m/s at each grid point and lasting three pentads; the arrows denote the direction isochronal line forward)

对流活动), 它与从西北太平洋低纬北推的西风和对流活动在 $15^\circ \sim 20^\circ \text{N}$ 汇合。这个特征在其他季风区是不存在的。这个汇合区是西北太平洋东西风和对流最活跃的地区。

西北太平洋夏季风从 6 月开始, 10 月结束, 历时 5 个月的时间。而东亚夏季风的生命期是 5~9 月 5 个月的时期, 只是东亚夏季风爆发的时间早, 结束也早。东亚夏季风是以阶段性而非连续的方式进行季节推进和撤退。而季风前沿的两次北跳和三次静止, 形成了华南、长江和华北 3 个地区的雨季。最早的南海夏季风爆发(5 月末)导致了华南降水。东亚夏季风的两次北跳是发生在 6 月中旬和 7 月上旬, 分别对应长江流域雨季和华北雨季。最北可达到东北地区, 在 8 月中开始撤退。而西北太平洋夏季风爆发发生在 6 月, 当时正是长江流域的雨季, 而华北雨季对应着西北太平洋夏季风的第一循环的结束时期。第二循环开始的 7 月下旬对应着东北雨季开始。而华南雨季时期西北太平洋夏季风还没有开始。西北太平洋夏季风在 9 月末开始减弱时, 东亚的雨季早已结束。这可以说明东亚夏季风爆发的要早, 向北扩展到比西北太平洋夏季风纬度更高。因而与中高纬系统有明显的相互作用。而西北太平洋夏季风主要是热带季风, 以热带系统活动为主。西北太平洋夏季风对中国降水的影响有待于进一步研究。

5 西北太平洋夏季风的季节内变化

如引言中所述, 很多学者对西北太平洋的低频

变化特征做了分析, 发现西北太平洋的对流和纬向风都有 $30 \sim 60 \text{ d}$ 的振荡。本节主要分析多年平均状态下的季节内振荡(CISO)的气候学特征。本文对 $5 \sim 10$ 月的逐日 OLR($5^\circ \sim 15^\circ \text{N}$, $130^\circ \sim 150^\circ \text{E}$)和 850 hPa 纬向风($5^\circ \sim 15^\circ \text{N}$, $120^\circ \sim 140^\circ \text{E}$)的气候序列做了小波分析, 之后又采用了 Batterworth 带通滤波。在做小波分析之前, 对原气候序列做了处理, 去掉了年循环和季节趋势。

图 9 是 OLR 在夏季($5 \sim 10$ 月)的小波变换。由图 9a 可以看出, 对 $30 \sim 60 \text{ d}$ 周期, 在 5 月中下旬、6 月下旬和 10 月中旬小波系数出现了最大值, 表明在这 3 个时期 OLR 出现了最强的振幅。其次是在 8 月初和 9 月中旬也出现了比较大的中心。准双周的 $10 \sim 20 \text{ d}$ 的振荡也比较明显。由图 9b 也可以看出, 即使对气候的 $30 \sim 60$ 和 $10 \sim 20 \text{ d}$ 的振荡都有很大部分通过了 95% 的信度检验。无论对对流和 850 hPa 纬向风, 都是以 $30 \sim 60 \text{ d}$ 振荡为主的。

同样 850 hPa 纬向风的小波变换也得到了相似的结论(图略)。在 5 月下旬、6 月下旬和 10 月中旬都出现了强的振幅。 $30 \sim 60$ 和 $10 \sim 20 \text{ d}$ 的振荡也很明显。

本文进一步对西北太平洋地区的多年平均的 OLR 和 850 hPa 纬向风做了 $30 \sim 60$ 和 $10 \sim 20 \text{ d}$ 的滤波和综合位相图。对 $30 \sim 60 \text{ d}$ 滤波, 取夏季的 4 个完整的振荡周期(图略), 将序列中的每一个完整振荡分解成 8 个位相, 第 3 位相分别代表低频对流最旺盛和 850 hPa 纬向风最大值时刻, 第 7 位相分

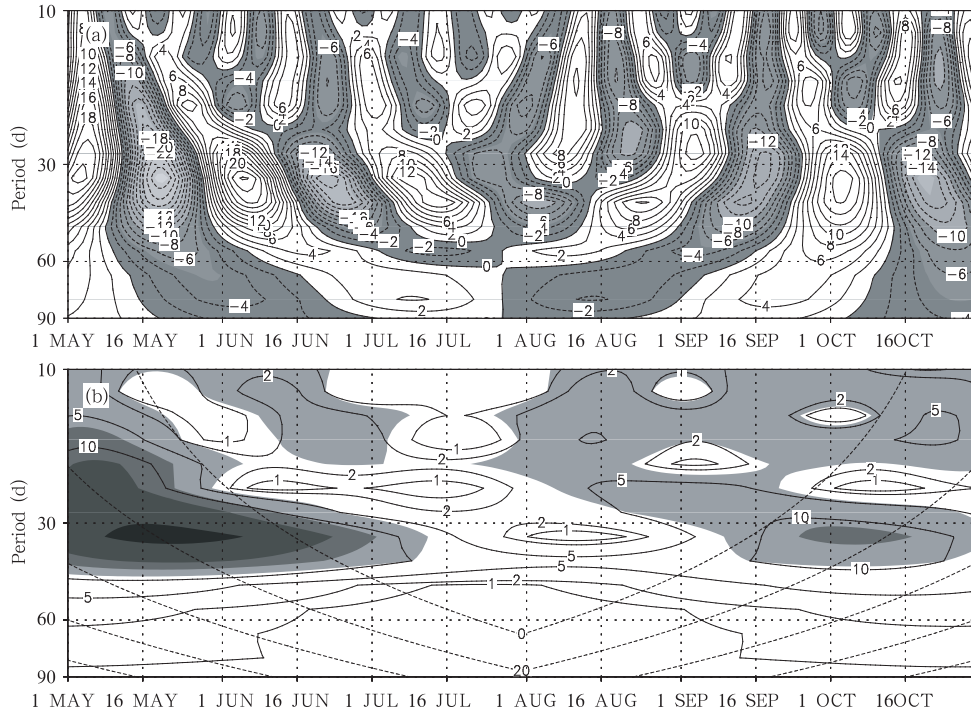


图9 夏季(5~10月)OLR的小波变换

(a. 图中数值是小波系数,阴影表示对流活跃时期,b. 中阴影表示对应的周期通过了95%检验)

Fig. 9 Wavelet transform of OLR in summer (May–October)

(a. the number in picture is wavelet coefficient, shading denote the periods of active convection, b. shading denotes the periods through 95% test)

别代表对流最弱和纬向风最小值时期。以每个位相对应的天为基准,对西北太平洋关键区的每个点的相同位相值进行合成分析,最后可得到各个位相的低频对流和850 hPa纬向风的分布。对10~20 d振荡用同样的方法得到合成位相图(图略)。

由OLR和850 hPa纬向风的30~60 d滤波的8个位相综合图(图10,11)看出,第1位相时西北太平洋上对流负中心主要位于南部地区,并且在东南—西北方向有负—正—负—正的结构。西风的分布是正—负—正—负的结构,说明西风强的时候对流也较强。到第2位相时对流开始活跃,负中心开始增强,同时西北太平洋的西风明显地增大,并且有向北推进的趋势。第3位相对流和西风最强,几乎整个西北太平洋对流都很活跃,并且和北部的负中心合并。西风也明显增强。第4位相对流开始减弱,只在西部很小的区域活跃,并且向北推进。西风有同样的情况。二者都在西北太平洋的北部形成了一个中心。第5,6位相时,对流和西风都变得更弱,两个中心逐渐合并。第7位相是对流和西风最不活跃的时期,整个西北太平洋几乎没有对流活

跃,大部分受东风控制。西风中心已经移到了20°N以北。第8位相对流又开始活跃,负中心又开始向北推进,西风也开始出现,预示着下一循环的开始。这表明西北太平洋的夏季风明显地是受30~60 d低频振荡调制的。

OLR和850 hPa纬向风合成的10~20 d振荡的8个位相的演变(图略)的结果也是相似的。在位相1时,只在西北太平洋的中部有微弱的对流,此时的西风也是比较弱的,而且西风的范围较小。东南—西北方向分别呈现出负—正—负—正和正—负—正—负的结构。之后对流开始向西北太平洋的西部扩展,西风也加强。到第3位相时,对流和西风都达到了最强,在西北太平洋都有明显的中心。之后二者都开始减弱,东风增强。到第7位相时,对流在西北太平洋的西部是最不活跃时期。此时西北太平洋上也是东风控制的。而到第8位相西风又开始发展,已经出现了正的中心,并且又呈现了正—负—正—负的结构。北部的对流也开始增强,向南扩展。

在30~60和10~20 d振荡的演变过程中对流和西风中心都是向西北方向移动的,这同Zhu和

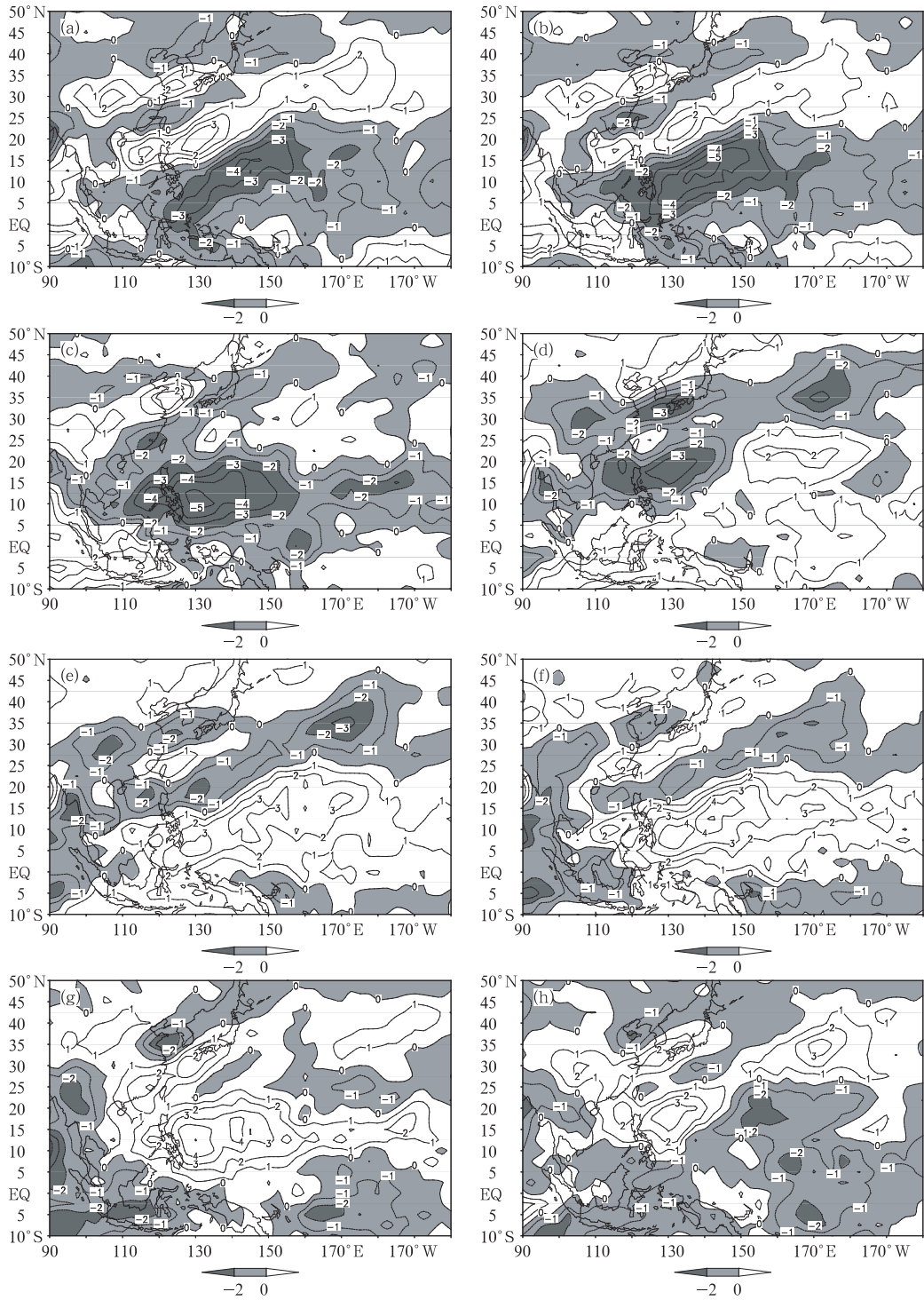


图 10 30~60 d 滤波的 OLR(W/m²)在夏季的 8 个位相的合成(阴影区表示对流旺盛区)

Fig. 10 The composed picture of 30—60 day filter OLR (W/m²) of eight phases in summer (shading denotes active convection)

Wang^[18]发现的发展于西太平洋的低频对流系统是向西或者向北传播的结论是一致的。Wang 和 Xu^[9]指出,对流的异常和风场有很高的相关性,因

此对流区西部低层纬向风的低频振荡与对流的低频振荡是有密切关系的。我们这里的结果从气候上证实了这种关系的正确性。

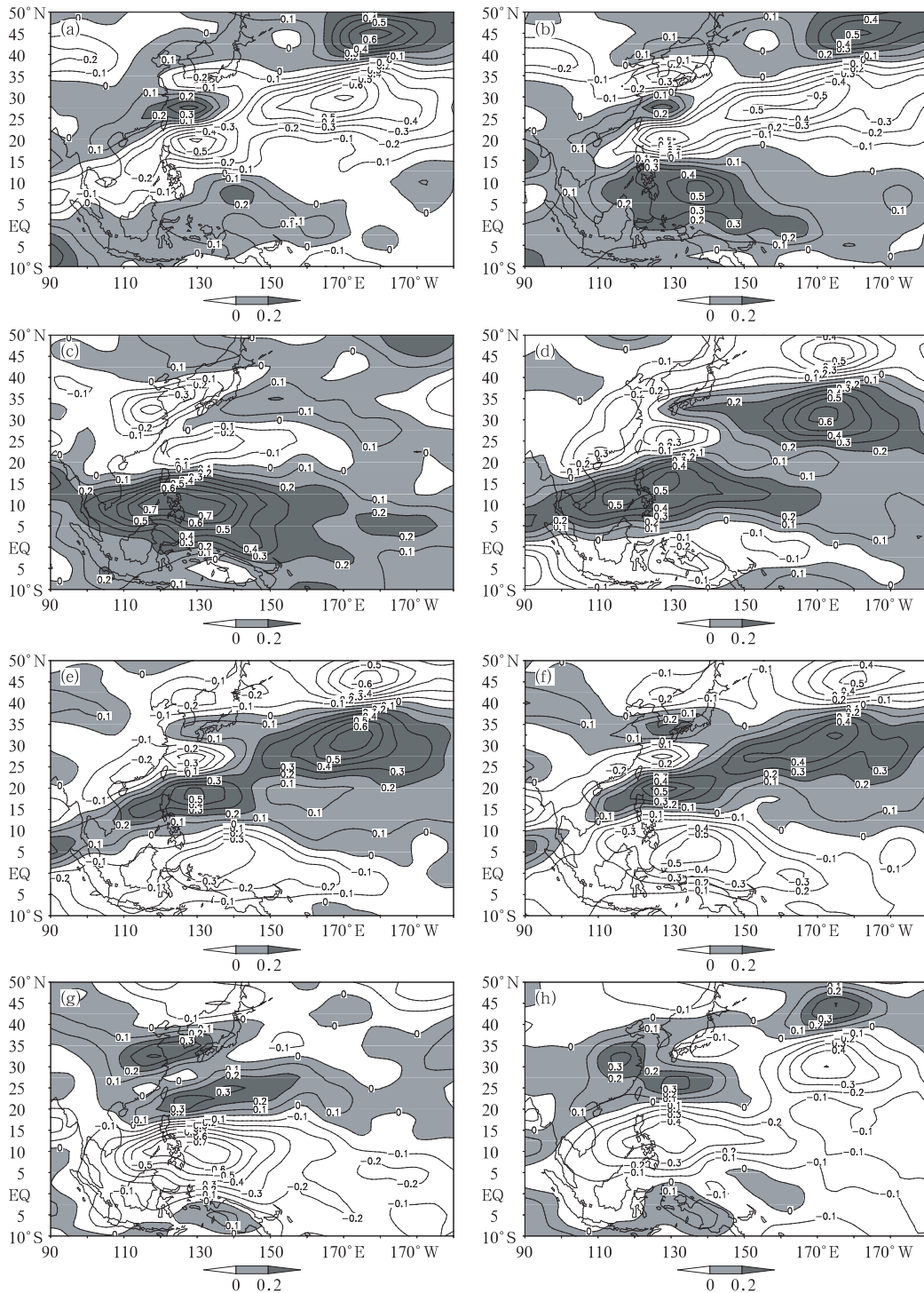


图 11 30~60 d 滤波的 850 hPa 纬向风(m/s)在夏季的 8 个位相的合成(阴影区表示西风)

Fig. 11 The composed picture of 30—60 day filter 850 hPa latitudinal wind (m/s) of eight phases in summer (shading denotes west wind)

6 结 论

本文主要研究了西北太平洋夏季风爆发时期的气候学特征和季节演变的 3 次循环过程,并且分析

了季节内振荡对西北太平洋夏季风的作用。所得主要结论如下:

(1) 西北太平洋夏季风在 31 候(6 月初)前后爆发,60 候(10 月末)结束,历时 5 个月。爆发时间比

南海季风晚 20 d 左右。爆发后的特征是降水、对流和低层西风在西北太平洋大范围增强和扩展。

(2) 西北太平洋夏季风的季节演变,降水、对流、西风和海温都有向东向北扩展的趋势。在 31 或 32 候(6 月初)季风爆发后降水、对流、西风和海温开始向东向北扩展,在 41 候(7 月下旬)左右时都迅速达到最东最北地区,之后强度减弱,但仍有向东扩展的趋势。在 60 候(10 月末)左右开始向西向南撤退。

(3) 西北太平洋夏季风的季节演变由 3 次循环组成。第 1 个循环(6 月初~7 月中旬),季风降水和西风等都主要位于 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$,西北太平洋降水的强度平均不大于 12 mm/d,西风风速小于 4 m/s。到了第 2 循环(7 月下旬~9 月下旬)季风降水和西风都明显向东向北推进,达到 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$,在局部地区降水强度超过 16 mm/d,西部的西风也超过 4 m/s,是西北太平洋夏季风的强盛时期。第 3 个循环(9 月末~10 月末)代表季风的减弱阶段,这个阶段的结束代表了西北太平洋夏季风的结束。在这个循环中,降水、西风等都向南退回到了 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$,降水平均只有 8 mm/d,西风风速也在 4 m/s 以下,是夏季风最弱的一次循环。在每一循环中,存在活跃与中断期,它们分别对应湿期与干期。

(4) 西北太平洋地区的对流和 850 hPa 纬向风的气候季节内振荡表现出 30~60 和 10~20 d 振荡的两种模态。西北太平洋地区的低频对流和西风都是向西向北传播的。西北太平洋夏季风 3 次循环中的活跃与中断期(雨期与干期)与 30~60 和 10~20 d 的低频振荡是有密切联系的,这将在另文讨论。

致谢:感谢张祖强为本文提供 CMAP 降水资料及计算速度势和辐散风的程序和温敏、王遵娅对该论文完成中的帮助。

参考文献

- [1] Tao Shiyun, Chen Longxun. A review of recent research on the east Asian summer monsoon in China. In: Chang C-P, Krishnamurti T N, eds. Monsoon Meteorology. Oxford University Press, 1987. 60-92
- [2] Murakami T, Wang Bin, Lyons S W. Contrasts between summer monsoon over the Bay of Bengal and the eastern North Pacific. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70:597-611
- [3] Wang Bin, Lin Ho. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J Climate*, 2002, 15:386-398
- [4] Wu R, Wang Bin. Multi-stage onset of the summer monsoon over the western North Pacific. *Climate Dyn*, 2001, 17:277-289
- [5] 孙颖,丁一汇. 1998 和 1999 年西北太平洋热带气旋的异常特征及其大尺度条件. *气象学报*, 2002, 60(5):527-537
Sun Ying, Ding Yihui. Anomalous activity of tropical cyclone over the western North Pacific and the related large-scale circulation features during 1998 and 1999. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2002, 60(5):527-537
- [6] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1987, 65:373-390
- [7] Wang Bin, Fan Zhen. Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bull Amer Meteor Soc*. 1999, 80:629-638
- [8] Wang Bin, Xu Xihua. Northern hemisphere summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation. *J Climate*, 1997, 10:1071-1085
- [9] Ho Lin, Wang Bin. The time-space of the Asian-Pacific summer monsoon: A fast annual cycle view. *J Climate*, 2002, 15: 2001-2019
- [10] 穆明全,李崇银. 1998 年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动. *气候与环境研究*, 2000, 5:376-387
Mu Mingquan, Li Chongyin. On the outbreak of South China Sea summer monsoon in 1998 and activity of atmospheric intraseasonal oscillation. *Climate Environ Res (in Chinese)*, 2000, 5:376-387
- [11] 何金海. 关于准 40 天振荡经向传播机制的讨论. *南京气象学院学报*, 1989, 12(3):239-248
He Jinhai. The discussion on propagation mechanism of quasi-40 day oscillation. *J Nanjing Insti Meteor (in Chinese)*, 1989, 12(3):239-248
- [12] Roland A Madden, Paul R Julian. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the Tropical Pacific. *J Atmos Sci*, 1971, 28:702-708
- [13] Zhu Baozhen, Wang Bin. The 30-60 day convective seesaw between the tropical Indian and western Pacific oceans. *J Atmos Sci*, 1993, 50:184-199
- [14] Chen Tsingchang, Masato Murakami. The 30-60 day variation of convective over the western Pacific ocean with emphasis on the Northwestern region. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 892-906

THE CLIMATE RESEARCH OF SUMMER MONSOON OVER THE WESTERN NORTH PACIFIC

Wang Hui

(*NIM, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*)

Ding Yihui

(*National Climate Center, CMA, Beijing 100081*)

He Jinhai

(*NIM, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044*)

Abstract

The monsoon region of western North Pacific(WNP)($5^{\circ}-25^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}-160^{\circ}\text{E}$) is an important part of Asian-Pacific and Asian-Australian monsoon region, and is a distinct monsoon region. The climate features of WNP summer monsoon have been studied. The results show that WNP summer monsoon onsets in pentad 31 (early June) or so. After onset, summer monsoon experiences three active-break cycles. Every cycle has a dry and wet period. The first cycle is from early June to mid-July and the center of precipitation and lower-level west wind is mainly located between $5^{\circ}-10^{\circ}\text{N}$. The second cycle is from late July to late September, precipitation and lower-level west wind move to northeast obviously and are located between $10^{\circ}-20^{\circ}\text{N}$. In this cycle, WNP summer monsoon is the most prosperous. The third one is from late September to early October and is the weakest period, in which the precipitation and lower-level west wind retreat south again and lie between $5^{\circ}-10^{\circ}\text{N}$. The end of the third cycle indicates the end of WNP summer monsoon. There are obviously intraseasonal oscillation (ISO) in WNP monsoon region, this climatological ISO is mainly composed of 30–60 and 10–20 day oscillation. But low-frequency oscillation of 30–60 days is significant. Base on the analysis of convection and lower-level west wind distributing in different phases over WNP, low-frequency convection and west wind propagate to northwest. To a large extent, the active-break cycle of monsoon rain, convection and lower-level west wind over WNP are all modulated by 30–60 and 10–20 day low-frequency oscillation.

Key words: WNP summer monsoon, Seasonal evolution, Lower-level west wind, Intraseasonal oscillation.