

# 夏季热带西太平洋对流与长江中下游降水关系的研究

闵锦忠<sup>1</sup> 李春<sup>2</sup> 吴芃<sup>2</sup>

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室, 南京 210044

2 中国海洋大学海洋-大气相互作用与气候实验室, 青岛 266003

**摘 要** 利用 1979~2001 年 NCEP/NCAR 月平均再分析格点资料、OLR 和中国 160 站的月平均降水资料, 研究了夏季热带西太平洋对流活动与长江中下游降水的关系。结果表明, 夏季热带西太平洋上空对流活动强(弱)时, 长江中下游地区夏季降水显著偏少(多)。而西太平洋副热带高压在夏季热带西太平洋对流和长江中下游地区降水之间起到了桥梁作用, 通过副高的东西位置、面积、强度异常等影响东亚夏季风异常, 进而造成长江中下游地区夏季降水异常。另外, 热带西太平洋对流异常显著对应着在热带和中纬度地区呈经向分布的 Rossby 波列(即东亚遥相关波列), 该波列结构的异常与长江中下游地区夏季降水异常也有密切的关系。

**关键词** 热带对流 长江中下游降水 副高 东亚遥相关

**文章编号** 1006-9895(2005)06-0947-08

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

## A Study of the Relationship Between Summer Tropical Convection over the Western Pacific and the Rainfall in the Middle - Lower Reaches of the Yangtze River

MIN Jin-Zhong<sup>1</sup>, LI Chun<sup>2</sup>, and WU Peng<sup>2</sup>

1 *Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044*

2 *Key Laboratory of Sea-Air Interaction and Climate, Ocean University of China, Qingdao 266003*

**Abstract** Using the NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) monthly reanalysis data, OLR (Outgoing Long-wave Radiation) data and monthly precipitation data of 160 stations from 1979 to 2001, the relationship between the summer tropical convection over the western Pacific and the precipitation in the middle - lower reaches of the Yangtze River is studied. Enlightened by the distribution of correlation coefficients between summer rainfall in the middle - lower reaches of the Yangtze River and OLR over the East Asia - the western Pacific region from 1979 to 2001, summer rainfall index ( $I_{\text{rain}}$ ) is defined as the averaged precipitation over 17 stations in the middle - lower reaches of the Yangtze River, summer tropical convective index ( $I_{\text{OLR}}$ ) is defined as the regional averaged OLR over the region ( $10^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ ) over the western Pacific. The years with greater  $I_{\text{OLR}}$  anomalies (weak convection), like 1980, 1983, 1993, 1996 and 1998, and the years with less  $I_{\text{OLR}}$  anomalies (strong convection), like 1981, 1984, 1985, 1999, 2000 and 2001 are chosen to compose geopotential height and wind fields at 500 hPa and 850 hPa levels respectively. In order to highlight the differences in the associations of convection, the relationship between  $I_{\text{OLR}}$  and the western Pacific subtropical high (WP-SH) indices and the relationship between  $I_{\text{OLR}}$  and the East Asian remote connection indices ( $I_{\text{EARC}}$ , defined based on the correlation coefficients between  $I_{\text{OLR}}$  and 500 hPa geopotential height over the East Asia region from 1979 to

**收稿日期** 2004-08-23, 2005-03-07 收修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 40331010、40305009, 南京信息工程大学 KLME 开放课题 Kjs0305

**作者简介** 闵锦忠, 男, 1965 年出生, 博士, 副教授。目前主要从事年代际变化、海气相互作用和中尺度数值预报及资料同化的研究。  
E-mail: minjz@nuist.edu.cn。

2001) are studied. The results show that tropical convection over the northwestern Pacific has a close positive relation with summer precipitation over the middle - lower reaches of the Yangtze River. If the summer tropical convection is stronger, WPSH would expand greatly and extend westward remarkably over the subtropical western Pacific; if westerlies is weaker at the northwestern edge of the WPSH, the summer precipitation in the middle - lower reaches of the Yangtze River would be less; when the summer tropical convection is weaker, WPSH would occupy less area and contract eastward remarkably over the subtropical western Pacific, resulting in stronger westerlies at the northwestern edge of the WPSH and more summer precipitation over the middle - lower reaches of the Yangtze River. Ridge of WPSH shows a significant change in the north - south direction but its northern border does not. Therefore, the WPSH serves as an important bridge between tropical convection and summer precipitation in the middle - lower reaches of the Yangtze River. The anomalous WPSH can cause the anomalies of East Asia summer monsoon, thus leading to the anomalies of summer rainfall in the middle - lower reaches of the Yangtze River. In addition, the differences in composite geopotential height and wind fields at 500 hPa or 850 hPa show that tropical convection inspires Rossby wave propagating from the tropics to high latitudes (i. e. East Asian teleconnection type). The spacial structure of the anomaly is closely related to tropical convection over the eastern Pacific and the summer precipitation anomaly over the middle - lower reaches of the Yangtze River.

**Key words** tropical convection, summer rainfall in the middle - lower reaches of the Yangtze River, subtropical high, East Asia teleconnection

## 1 引言

我国东部夏季旱涝灾害频繁发生。长江中下游夏季降水的异常及其成因问题备受关注,西太平洋副热带高压(简称副高)作为东亚夏季风的主要成员,直接影响我国东部夏季降水雨带分布和旱涝异常<sup>[1, 2]</sup>,而西太平洋暖池及其上空的对流加热异常对东亚夏季风和副高的位置和强度有显著的影响<sup>[3, 4]</sup>。陆日宇<sup>[5]</sup>利用 850 hPa 位势高度场定义了副高的南北指数、东西指数,并研究了副高和 SST、西太平洋暖池上空对流的关系<sup>[6~8]</sup>,结果表明西太平洋暖池上空弱(强)对流显著对应的大气环流表现为副高的西伸(东退)以及副高西北侧更强的西风,而副高西伸(东退)对应东亚夏季风区夏季多雨(少雨)。显然,副高同时与热带对流和长江中下游降水都有很密切的关系,但副高以什么样的具体变化起到联系这两者的桥梁作用,目前尚不十分清楚。

一些研究指出,西太平洋暖池上空对流异常激发从赤道向极地传播的大气 Rossby 波列,这个波列称为太平洋-日本(P-J)波列<sup>[9]</sup>或东亚遥相关型(EAP)波列<sup>[10]</sup>,造成长江中下游地区夏季降水异常<sup>[11]</sup>。这种 Rossby 波列的各异常中心之间的关系如何?热带西太平洋对流与这些异常中心分别有什么样的关系?本文将对这些问题进行研究。

## 2 资料和方法

本文使用了两套资料,一是 NCEP/NCAR 月

平均再分析资料,包括海平面气压场(SLP),500 hPa和 850 hPa 高度场、风场以及长波辐射外逸(OLR)资料,格距是 2.5°经度×2.5°纬度;另一套是中国气象局国家气候中心提供的中国 160 站月平均降水和副高指数资料,时间均为 1979~2001 年。

选取南京、合肥、上海、杭州、安庆、宁波、南昌、衢县、长沙、屯溪、常德、贵溪、汉口、岳阳、宜昌、钟祥、九江等 17 个台站代表长江中下游地区。用这 17 个站每年 6、7、8 月三个月降水总量的平均降水量表示长江中下游地区夏季降水指数( $I_{\text{rain}}$ )<sup>[12]</sup>。文中使用相关分析、合成分析等方法研究了长江中下游地区夏季降水与热带对流的关系。

## 3 长江中下游夏季降水与同期 OLR 场的相关

图 1 给出了 1979~2001 年长江中下游夏季降水和同期 OLR 场的相关分布,从图上可以看出,长江中下游夏季降水和 OLR 场有很好的相关关系,其中最明显的是在菲律宾周围及其以东热带西北太平洋上空有显著的正相关,相关系数达到 0.6 以上,而在长江中下游地区呈现显著的负相关,相关系数均在一 0.7 以下。这说明菲律宾周围及其以东热带西北太平洋暖池上空对流异常强时,长江中下游地区夏季降水偏少,容易发生干旱;而菲律宾周围及其以东热带西北太平洋暖池上空对流异常弱时,长江中下游地区夏季降水偏多,容易发生洪

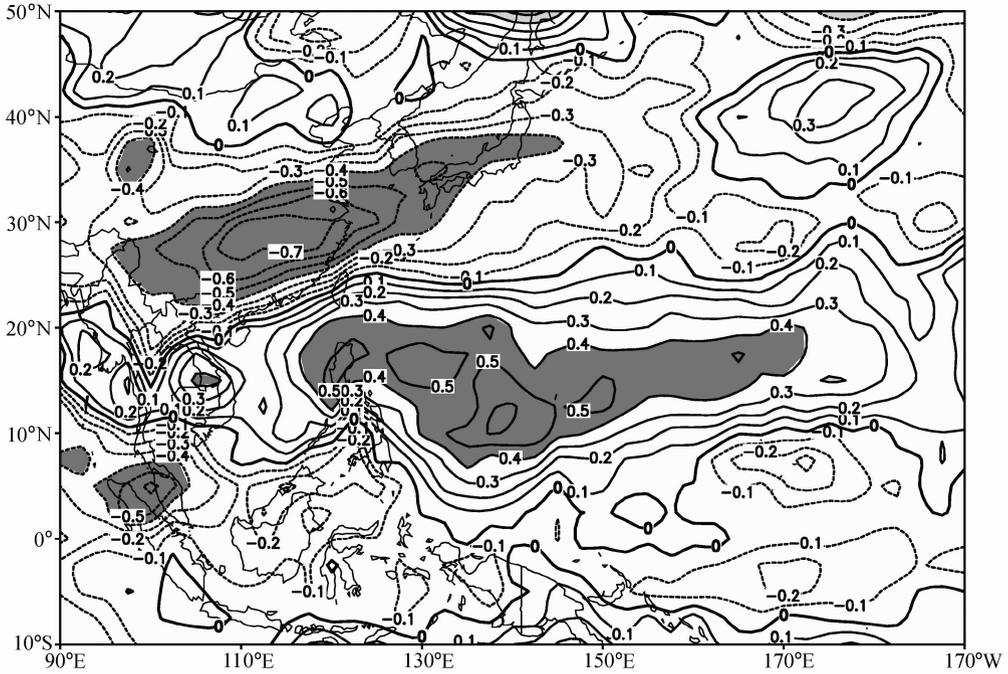


图 1 1979~2001 年长江中下游夏季降水与同期东亚-太平洋地区 OLR 场相关分布 (阴影区表示超过 95% 的显著性  $t$  检验)  
 Fig. 1 The distribution of correlation coefficients between summer precipitation in the Yangtze River valley and OLR over the East Asia - the western Pacific region from 1979 to 2001 (Areas with confidence level of 95% by  $t$ -test are shaded)

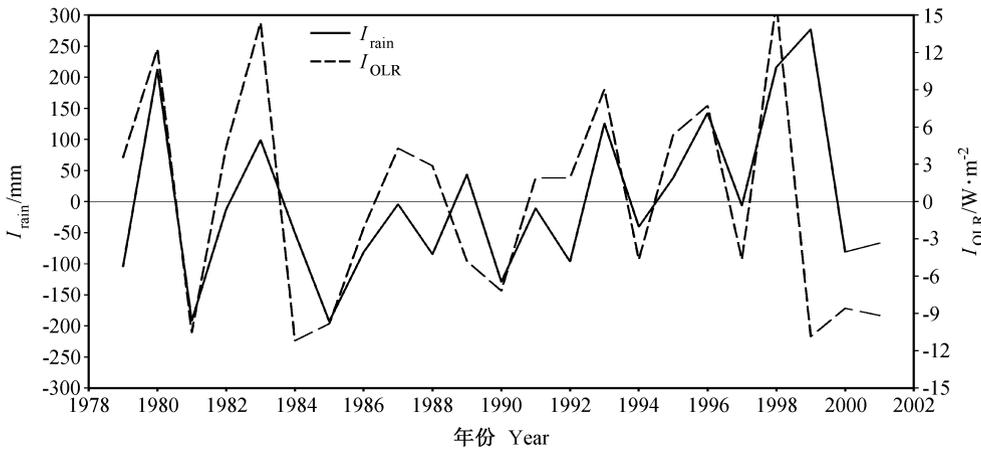


图 2 夏季热带对流指数  $I_{OLR}$  和长江中下游地区夏季降水指数  $I_{rain}$  距平的年际变化  
 Fig. 2 Annual variations of anomalies of summer tropical convective index  $I_{OLR}$  and summer precipitation index  $I_{rain}$  in the Yangtze River valley

涝,与黄荣辉<sup>[11]</sup>的结果一致。另外,夏季东亚-太平洋地区 OLR 场的方差分布也表明在菲律宾周围及其以东热带西北太平洋上空 OLR 值变化最为显著<sup>[6]</sup>。

为了进一步研究热带西北太平洋暖池上空对流异常与长江中下游地区夏季降水的关系,我们定义夏季(10°N~20°N, 120°E~150°E)区域内 OLR 值的面积平均为夏季热带对流指数( $I_{OLR}$ )。 $I_{OLR}$  值越大表明该区域对流活动越弱,  $I_{OLR}$  值越小表明该区

域对流活动越强。

图 2 给出了夏季热带对流指数和长江中下游夏季降水指数距平的年际变化曲线,从图上可以看出  $I_{OLR}$  有明显的年际变化,1984~1998 年期间有明显的上升趋势,表明夏季热带西太平洋上空对流逐渐减弱。此外,  $I_{OLR}$  与长江中下游夏季降水指数( $I_{rain}$ )有很好的对应关系,计算表明两者的相关系数达到 0.54,因此,热带对流指数( $I_{OLR}$ )能够很好地反映

长江中下游夏季旱涝特征。

令  $\sigma$  代表  $I_{OLR}$  的标准化距平, 我们选取  $\sigma \geq 1.0$  的 1980、1983、1993、1996、1998 年作为对流指数偏大(即对流偏弱)的年份, 选取  $\sigma \leq -1.0$  的 1981、1984、1985、1999、2000、2001 年作为对流指数偏小(即对流偏强)的年份。并由这些年份, 进行了等压面高度和风场的合成分析。

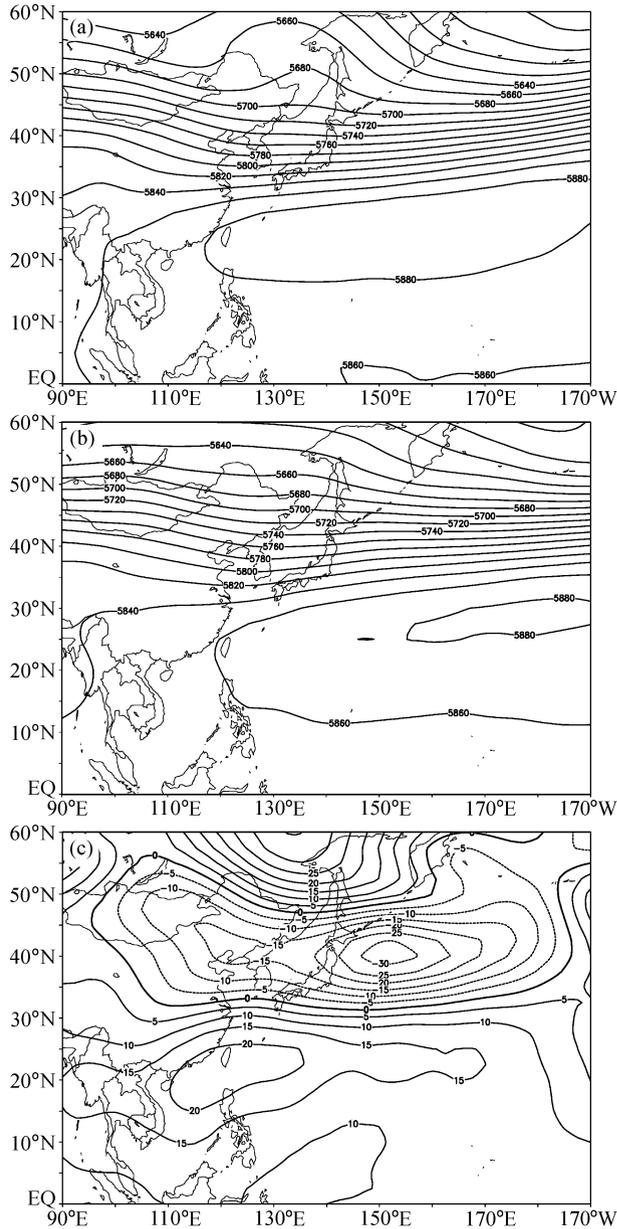


图 3 东亚-太平洋地区夏季 500 hPa 高度场合成图(单位: gpm): (a)  $I_{OLR}$  大值年; (b)  $I_{OLR}$  小值年; (c)  $I_{OLR}$  大值年减  $I_{OLR}$  小值年  
Fig. 3 Composite maps of summer 500 hPa height over the East Asia and the Pacific region (units: gpm): (a)  $\sigma \geq 1.0$ ; (b)  $\sigma \leq -1.0$ ; (c) their difference

#### 4 热带对流指数与副高

从 500 hPa 位势高度场合成图(图 3)可以清楚地看出, 对流偏弱的年份(图 3a) 500 hPa 副高(588 dagpm 线范围内)比对流偏强的年份(图 3b)面积偏大, 西伸脊点偏西<sup>[8]</sup>, 南北位置略偏南, 这种大气环流形势有利于长江中下游地区夏季降水偏多, 发生洪涝; 而对流偏强的年份容易使长江中下游地区夏季

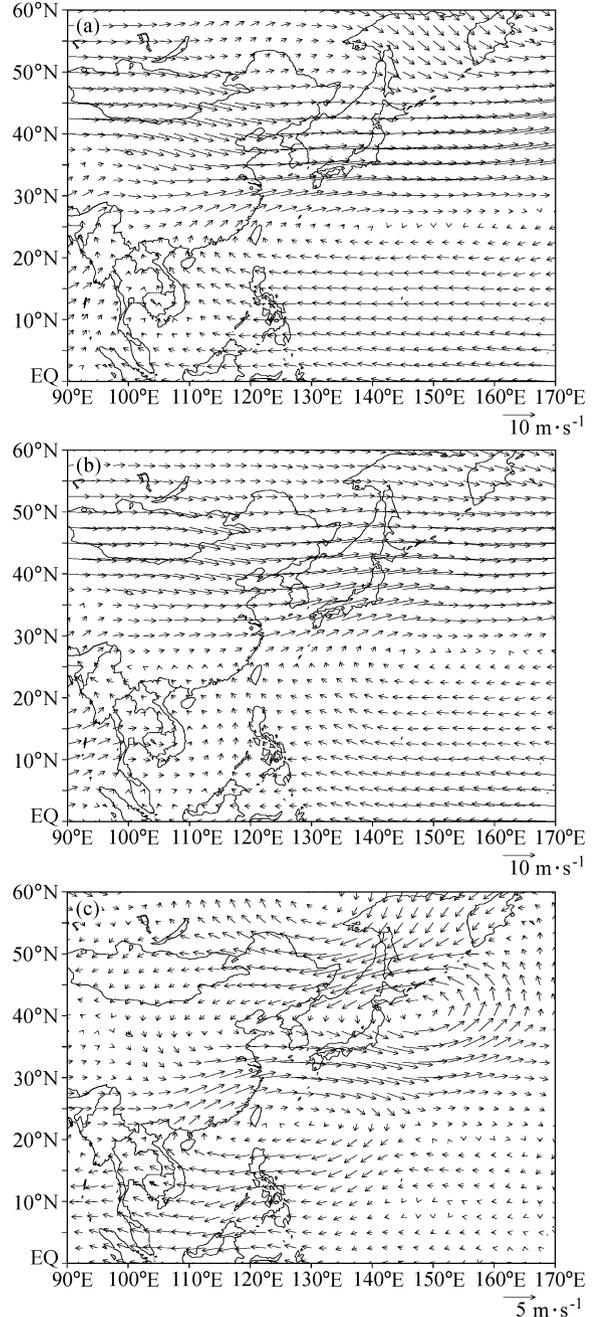


图 4 同图 3, 但为风场

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for wind field

降水减少, 出现干旱。这一点从其差值图(图 3c)上更容易看出, 这种“正、负、正”的东亚遥相关波列使得我国夏季多雨区出现在长江中下游地区<sup>[11]</sup>。

从 500 hPa 风场合成图(图 4)可以看出, 对流弱的年份(图 4a), 西太平洋副热带高压异常西伸, 华南上空由其西北侧的西南气流控制, 这支西南气流与来自中高纬度的西北气流在长江中下游地区会合, 在东北亚上空存在反气旋式环流。而对流强的年份(图 4b), 西太平洋上空副热带高压东撤, 华南上空西南气流很弱, 江淮及以北地区气流比较平直。在差值图(图 4c)上, 从我国华北、东北到西北太平洋地区出现反气旋式风场异常, 而在 30°以南的我国华南到西太平洋地区出现气旋式风场异常, 长江中下游地区正位于两者之间的异常气流汇合处, 副高北侧西风明显加强。

850 hPa 高度场及风场合成图(图略)与 500 hPa 的类似。因此, 菲律宾周围及其以东热带西北太平洋上空对流异常对副高的影响, 主要反映在对流层中下部副高的东西位置<sup>[8]</sup>、面积、强度上。夏季热带西太平洋对流强(弱)年份, 副高的位置、强度、面积以及夏季西南风都存在显著的差异, 从而造成长江中下游夏季降水异常少(多)。

表 1 给出热带对流指数与副高各特征指数关

系, 从中可见, 对流偏弱的年份副高脊线和北界位置偏南, 副高面积偏大, 强度偏强, 异常西伸, 长江中下游地区夏季降水偏多, 容易出现洪涝; 而对流偏强的年份副高各特征指数与对流偏弱的年份相反, 长江中下游地区夏季降水偏少, 容易出现干旱。

夏季热带对流指数与副高各特征指数的相关系数列在表 2, 它和副高的东西位置、面积的关系最为密切, 其次是副高脊线, 而与副高北界指数相关较小。说明在热带对流与长江中下游地区夏季降水的联系中, 副高可能起到了一个很重要的桥梁作用。

从图 2 和表 1 可知, 1999 年夏季菲律宾周围及其以东热带西北太平洋上空对流与长江中下游地区夏季降水的关系比较特别。1999 年夏季热带西北太平洋对流偏强(OLR 距平为负值), 而在热带中太平洋对流比较弱(OLR 距平为正值)(图略)。按照上述分析, 1999 年夏季长江中下游地区降水应该偏少, 而实际情况恰好相反, 降水异常偏多, 并发生了洪涝。为什么会产生这种情况? 这可能是因为影响长江流域夏季降水的其他因素也起了很大作用, 如该年夏季 500 hPa 在贝加尔湖到蒙古地区为反映阻塞活动频繁的正距平中心, 850hPa 风场为

表 1 热带对流异常强(弱)年份的副高特征指数和长江中下游夏季降水的统计特征

Table 1 Statistic characteristics of subtropical high indices and summer precipitation in the Yangtze River valley in different years of the tropical convective indices anomalies

$I_{OLR}$	偏大(对流偏弱) Large (weak convection)					偏小(对流偏强) Small (Strong convection)					
	1980	1983	1993	1996	1998	1981	1984	1985	1999	2000	2001
脊线 Ridge line (°N)	22.3	20.3	22.3	23.3	23.3	24.7	24.3	27.0	28.0	27.3	26.3
北界 North boundary (°N)	30.3	29.0	28.3	28.3	29.7	30.3	29.3	32.0	32.7	31.3	30.3
面积(格点) Acreage (grid point)	28.3	31.0	32.0	25.7	40.0	21.3	9.0	17.0	12.0	9.3	11.0
西伸 Western extension (°E)	109.7	105.0	105.0	106.7	98.3	120.3	144.0	132.0	135.0	133.3	120
降水 Rainfall/ mm	775.1	661.6	688.3	704.8	778.8	307.7	511.8	369.8	839.5	481.4	495.6

表 2 热带对流指数与副高指数、长江中下游夏季降水指数的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between tropical convective indices, subtropical high indices and summer precipitation in the Yangtze River valley

	副高指数 Subtropical high indices				
	脊线指数 Ridge line index	北界指数 North boundary index	面积指数 Acreage index	西伸指数 Western extension index	降水指数 Precipitation index
相关系数 Correlation coefficients	-0.68	-0.30	0.74	-0.76	0.54

反气旋式异常风场,日本以东海洋上空也有类似异常情况(各图略),而这种异常环流形势均有利于长江中下游地区夏季降水偏多<sup>[13,14]</sup>。此外,青藏高原上空热源异常及亚洲低纬度西南气流异常也对该年降水异常可能也起了重要作用<sup>[15]</sup>。

## 5 热带对流指数与东亚遥相关

图 5 给出夏季热带对流指数与东亚-太平洋地区同期 500hPa 位势高度场的相关分布,在热带南海、菲律宾周围及其以东西太平洋上空为显著的正相关,相关系数最大在台湾和菲律宾之间,达到 0.9,因此热带对流异常对副热带高压的位置和强度异常有显著的影响;在中纬度日本海地区为负相关区,其相关系数在日本中部上空负相关最显著,相关系数达 -0.60,说明热带对流异常对中纬度西风带强度异常也有明显影响,但其相关程度比热带、副热带地区小;在东北亚地区上空相关系数比较小,最大相关系数为 0.36。因此,在东亚-太平洋上空存在一个从热带到高纬度的“十一十”遥相关的相关波列,其传播方向可能是从热带向高纬度传播。

根据图 5 并结合图 1、图 3c,我们定义了一个

能够综合反映东亚地区不同纬度大气环流异常特征的东亚遥相关指数。A 区域为(55°N ~ 70°N, 125°E~145°E),表示东北亚阻塞高压活动情况,B 区域为(35°N ~ 45°N, 115°E~160°E),表示日本海附近西风带活动情况,C 区域为(10°N ~ 25°N, 95°E~135°E),指数表示副热带高压强弱和南北位置的情况,将 A、B、C 区域位势高度距平和的标准化值定义为 A、B、C 区域的指数( $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ ),再将 A 区指数( $I_A$ )减去 B 区指数( $I_B$ )加上 C 区指数( $I_C$ )的标准化值,定义为东亚遥相关指数( $I_{EAP} = I_A - I_B + I_C$ )<sup>[16]</sup>。

表 3 给出了热带对流指数( $I_{OLR}$ )、东亚遥相关指数( $I_{EAP}$ )以及各区指数( $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ )之间的相关系数。从表 3 可知,夏季热带对流异常指数与东亚遥相关型(EAP 型)大气环流异常波列有很好的相关关系,两者的相关系数达到 0.83。夏季热带对流异常对副热带地区的大气环流异常影响最大( $I_{OLR}$ 与  $I_C$ 的相关系数为 0.88),其次是对中纬度地区西风带的相关( $I_{OLR}$ 与  $I_B$ 的相关系数为 -0.56),但对高纬度大气环流影响较小( $I_{OLR}$ 与  $I_A$ 的相关系数为 0.33)。而东亚遥相关指数( $I_{EAP}$ )与 A 区指数( $I_A$ )、B 区指数( $I_B$ )、C 区指数( $I_C$ )的相关系数分别为

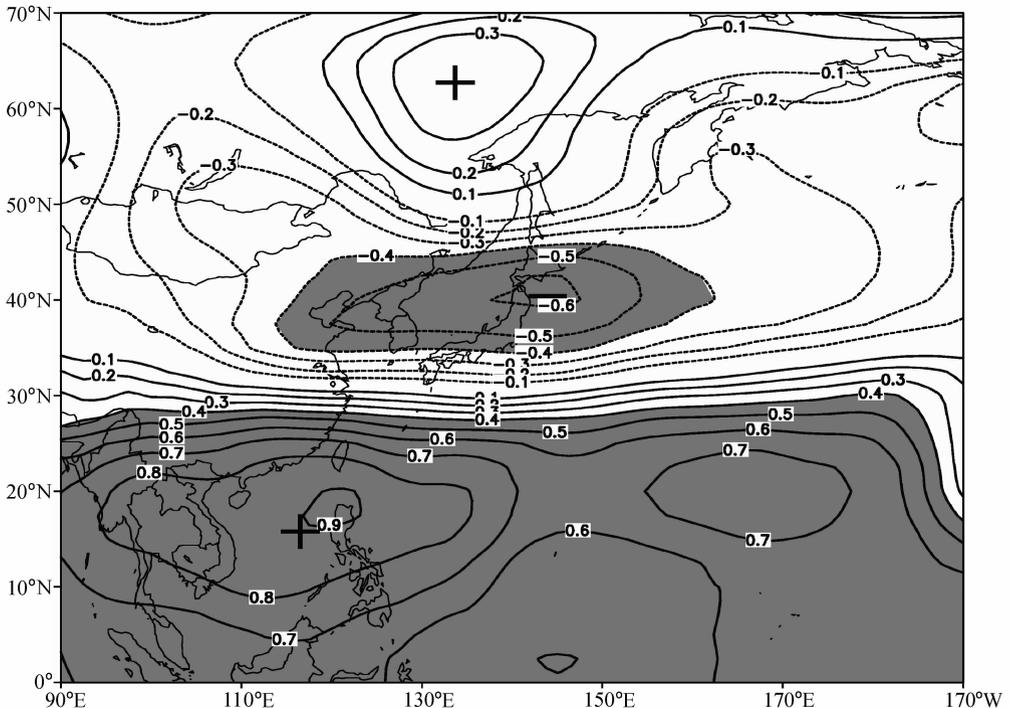


图 5 1979~2001 年夏季热带对流指数与东亚地区 500 hPa 高度的同期相关系数分布(阴影区表示超过 95% 的显著性检验)

Fig. 5 The distribution of correlation coefficients between summer tropical convective indices and 500 hPa height over the East Asia region from 1979 to 2001(Areas with confidence level of 95% by *t*-test are shaded)

表 3 热带对流指数、东亚遥相关指数以及各区指数之间的相关系数

Table3 Correlation coefficients between tropical convective indices, East Asian remote connection indices and three different regional indices

	$I_{EAP}$	$I_C$	$I_B$	$I_A$
$I_{OLR}$	0.83*	0.88*	-0.56*	0.33
$I_{EAP}$		0.81*	-0.67*	0.65*
$I_C$			-0.39	0.34
$I_B$				-0.04

\* 表示通过 99% 的显著性检验

\* indicates the correlation is significant at 99% level

0.65、-0.67、0.81。A 区指数 ( $I_A$ )、B 区指数 ( $I_B$ )、C 区指数 ( $I_C$ ) 之间的相关系数比较小。热带对流异常影响中、高纬度大气环流异常的具体物理过程有待进一步研究。

## 6 结论与讨论

(1) 热带对流指数和长江中下游地区夏季降水之间呈显著的正相关, 即夏季热带对流活动偏强(弱), 长江中下游地区夏季降水偏少(多), 易出现干旱(洪涝)。

(2) 西太平副热带高压在热带对流和长江中下游地区夏季降水之间起到桥梁作用, 通过副高的位置、面积、强度异常, 影响东亚夏季风和长江中下游地区夏季降水异常。

(3) 除副高外, 东亚遥相关型也与热带对流有比较好的关系。热带对流异常激发由热带向北极传播的经向 Rossby 波列(即东亚遥相关波列), 该波列结构的异常导致长江中下游地区夏季降水异常。研究发现该波列各中心之间不存在显著的相关关系。

本文分析了夏季热带对流活动与长江中下游同期降水异常的关系, 未涉及与其他季节(例如春季)的前后联系。本文还指出热带对流活动可以通过副高、东亚遥相关波列异常影响长江中下游夏季降水异常, 但可能还存在其他途径影响长江中下游夏季降水异常。此外, 也未讨论热带对流异常激发出的波列北传到中、高纬度地区的具体物理过程。这些问题留待以后进一步研究。

致谢 陆日宇研究员在本文的完成过程中提出许多宝贵的建议, 在此表示感谢!

## 参考文献 (References)

- [1] Tao Shiyun, Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian Summer Monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, Chang C P and Krishnamuti T N, Eds., Oxford University Press, 1987. 60~92
- [2] 徐国强, 朱乾根. 1998 年我国东部大陆夏季风特征研究. *气象*, 2002, **28**(3): 8~13  
Xu Guoqiang, Zhu Qianguan. Study of summer monsoon features of 1998 in eastern China. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2002, **28**(3): 8~13
- [3] 蒋尚城, 戴志远. 卫星观测的西太平洋副热带高压的气候学特征. *科学通报*, 1989, **34**(19): 1492~1493  
Jiang Shangcheng, Dai Zhiyuan. Satellite derived climatological feature of subtropical high over West Pacific. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1989, **34**(19): 1492~1493
- [4] 许晨海, 倪允琪, 朱福康. OLR 资料描述西太平洋副热带高压的一种方法. *应用气象学报*, 2001, **12**(3): 377~382  
Xu Chenhai, Ni Yunqi, Zhu Fukang. A method for describing West Pacific subtropical high by OLR data. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2001, **12**(3): 377~382
- [5] Lu Riyu. Indices of the summertime western north Pacific subtropical high. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, **19**(6): 1004~1027
- [6] Lu Riyu. Atmospheric circulations and sea surface temperatures related to the convection over the western Pacific warm pool on the interannual scale. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18**(2): 270~282
- [7] Lu Riyu. Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2001, **79**(3): 771~183
- [8] Lu Riyu, Dong Buwen. Westward extension of North Pacific subtropical high in summer. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2001, **79**(6): 1229~1241
- [9] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **65**(2): 373~390
- [10] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制. *大气科学*, 1988, **12**(特刊): 107~116.  
Huang Ronghui, Li Weijing. The impact of heating anomaly over tropical West Pacific in summer on subtropical high over East Asian and its mechanism. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1988, **12**(Special Issue): 107~116
- [11] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究. *大气科学*, 1990, **14**(1): 108~117

- Huang Ronghui. Studies on the teleconnections of the general circulation anomalies of East Asia causing the summer drought and floods in China and their physical mechanism. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1990, **14**(1): 108~117
- [12] 葛旭阳, 李砚华, 蒋尚城. 热带对流活动与长江中下游和华北地区夏季旱涝的关系. *南京气象学院学报*, 2000, **23**(3): 391~398
- Ge Xuyang, LI Yanhua, Jiang Shangcheng. Relationship between tropical convection and summer rainfall over the mid-lower valleys of the Yangtze and north China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2000, **23**(3): 391~398
- [13] 李春, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季降水的年代际变化及其与东亚地区大气环流的联系. *南京气象学院学报*, 2002, **25**(4): 455~462
- Li Chun, Sun Zhaobo, Chen Haishan. Inter-decadal variation of North China summer precipitation and its relation with east Asian general circulation. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2002, **25**(4): 455~462
- [14] 李春, 孙照渤. 中纬度阻塞高压指数与华北夏季降水的联系. *南京气象学院学报*, 2003, **26**(4): 458~464
- Li Chun, Sun Zhaobo. Association of mid-latitude blocking high index with summer precipitation in North China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **26**(4): 458~464
- [15] Ding Yihui, Sun Ying. A study on anomalous activities of East Asian summer monsoon during 1999. *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**: 1119~1137
- [16] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 75~78
- Zhao Zhenguo. *Study on Droughts - Floods and Its Environment Fields in Summer in China*. Beijing: China Meteorological Press, 1999. 75~78