

春季长江中下游旱涝的环流特征及 对前期海温异常的响应^{* 1}

李超^{1,2} 张庆云^{2,3}LI Chao^{1,2} ZHANG Qingyun^{2,3}

1. 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心,北京,100029

2. 中国科学院大学,北京,100049

3. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,北京,100029

1. *International Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*3. *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

2012-06-03 收稿,2013-01-10 改回.

李超,张庆云. 2013. 春季长江中下游旱涝的环流特征及对前期海温异常的响应. 气象学报, 71(3): 452-461

Li Chao, Zhang Qingyun. 2013. The circulation characteristics of spring precipitation anomalies over the Yangtze River valley and their response to the preceding SSTA. *Acta Meteorologica Sinica*, 71(3): 452-461

Abstract The spring precipitation over the Yangtze River valley is characterized by obvious variability on interdecadal and interannual timescales. The drought events over the Yangtze River valley tend to occur more frequently since 2000. The characteristics of interannual variability of spring (March – May) precipitation over the Yangtze River valley are analyzed by using the observed data at the 160 stations in China and the monthly National Centers for Environmental Prediction–National Center for Atmospheric Research reanalysis dataset during 1951 – 2009. The analyzed results show that the spring precipitation over the Yangtze River valley is above (below) normal while the East Asian jet stream shifts northward (southward), a blocking high pattern persists over the Ural Mountain (Okhotsk Sea), the position of the western Pacific subtropical high is norther (souther) than that of the climatic mean state, and the southerly wind anomaly over southern China and associated water vapor transport at lower levels are intensified (weakened). Further analyses indicate the northward (southward) shift of the East Asian jet is due to the upper levels divergence (convergence) of Eliassen-Palm flux anomalies over the mid-latitudes of East Asia (90° – 130°E, 40°N) and the converse pattern in the south (30°N). Moreover, the El Niño (La Niña)-like sea surface temperature anomalies over the tropical Pacific Ocean is closely related to the anomalies of the atmospheric circulation which cause more (less) spring rainfall over the Yangtze River valley.

Key words Spring precipitation over the Yangtze River valley, East Asian circulation, Quasi-stationary planetary waves, SSTA

摘要 春季长江中下游降水有显著的年际、年代际变化特征,进入 21 世纪以来长江中下游春季降水偏少现象频繁发生。根据中国国家气候中心 160 站月平均降水资料和美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)月平均再分析资料,重点探讨春季(3—5月)长江中下游地区降水异常的环流特征、可能成因、机理以及对外强迫的响应。春季长江中下游降水异常偏

* 资助课题: 国家自然科学基金面上项目(40975022),全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2012CB957804)和国家重点基础研究发展计划项目(2013CB430201、2009CB421401)。

作者简介: 李超,主要从事天气、气候诊断和统计分析研究。E-mail: lichao@mail.iap.ac.cn

通讯作者: 张庆云,主要从事亚洲季风与短期气候变化成因机理及预测理论研究。E-mail: zqy@mail.iap.ac.cn

多(少)的环流主要特征是:高层 200 hPa 风场上东亚副热带西风急流中心位置比气候态偏北(南);中层 500 hPa 亚洲地区的阻塞高压主要发生在乌拉尔山(鄂霍次克海)附近、西太平洋副热带高压位置偏北(南);低层 850 hPa 风场的东亚沿海地区为偏南(北)风距平,有利于(不利于)水汽向长江中下游地区输送。大气环流内部动力过程的分析指出:东亚地区上空 Eliassen-Palm(EP)通量散度在 40°N 为正(负)异常、30°N 为负(正)异常,有利于东亚高空西风急流中心位置偏北(南),从而导致春季长江中下游降水偏多(偏少)。春季长江中下游降水异常偏多(少)年最显著的前期外强迫信号表现为赤道太平洋海温呈现厄尔尼诺(拉尼娜)型。

关键词 春季长江中下游降水,东亚环流,准定常行星波,海温异常

中图法分类号 P426.6 P434

1 引言

受东亚夏季风的影响,中国东部地区夏季降水存在显著的年际、年代际变化,东亚夏季风环流多时间尺度变化对长江流域降水影响一直受到气象工作者的高度关注,其相关研究已取得一系列有应用价值的成果(Ding, 1992;陶诗言等, 1998;张庆云等, 2003;Lu, 2004)。大气环流持续性异常是造成降水异常的最直接原因,降水异常是不同纬度诸多环流因子共同作用的结果,有关不同纬度环流及其相互作用对中国东部夏季降水影响的研究已取得一系列成果(Wu, et al, 2000;陶诗言等, 2001;张庆云等, 2003)。夏季东亚低纬度热带环流、特别是西太平洋副热带高压位置、形态等变化对中国东部降水分布有直接影响(张庆云等, 2003);Liang 等(1998)利用大气环流模式(GCM)及观测资料研究指出,东亚中纬度高空西风急流经向位置变化对中国东部降水异常有重要作用;张庆云等(1998, 2008)研究了亚洲中高纬度环流与中国东部降水异常的关系,指出东部地区夏季和冬季降水异常都与中高纬度的环流,特别是乌拉尔山或鄂霍次克海阻塞高压的建立和维持有关,可见中国东部地区降水异常变化与东亚低、中、高纬度环流及其相互作用有直接关系。

一些研究也指出:中国夏季降水异常受不同海域海温影响,如钱维宏等(2009)研究指出,江淮梅雨的变化与前期热带中东太平洋海温异常型有关。海温对降水的影响实际上是通过大气环流对海温的响应完成。大量统计、诊断以及数值试验结果表明,热带海温异常对亚洲低、中、高纬度大气环流异常变化有重要影响(Qian, et al, 2002;陆日宇, 2005;Li, et al, 2007, 2008)。张庆云等(2006)研究赤道海温与东亚环流关系指出,冬、夏季东亚季风环流异常变化对赤道东太平洋热状况的响应是通过赤道太平洋纬向及东亚局地经向环流异常变化完成。

迄今为止,有关降水、环流以及与海温关系的研究,多数主要集中在冬、夏季降水异常的成因机理。近年来,对大量天气过程分析表明,春、秋季的降水

异常事件同样对中国工农业生产及国民经济造成重大损失,如 2009 年秋至 2010 年春季中国西南地区大范围持续性干旱事件,2010 年 10 月上旬海南持续性强降雨异常事件以及 2010—2011 年冬、春季长江中下游地区连续干旱事件等都给工农业生产及人民生活带来了严重影响。春季正值农作物播种和生长季节,同时也是东亚冬季风环流向夏季风环流的转换期。有研究指出,春季长江中下游降水同样存在显著的年际、年代际变化(王永光等, 2005),然而其成因机理并不十分清楚。深入探讨春季长江中下游降水异常年东亚大气环流异常特征及成因,不仅是工农业生产与人民生活的需要,同时也有利于深入了解冬、夏季东亚季风环流转换期的春季大气环流演变特征。

2 资料和方法

1951—2009 年中国 160 站降水资料由国家气候中心提供,1948—2009 年逐月、逐日的位势高度场、风场和温度场 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 资料来自美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析资料(Kalnay, et al, 1996);1851—2009 年月平均海表温度 $1^\circ \times 1^\circ$ 资料由英国气象局哈得来中心提供(Rayner, et al, 2003);Nino3.4 指数来自美国气候预测中心。长江中下游地区的降水根据“九五”重中之重项目的定义用上海、南京、合肥、杭州、安庆、屯溪、九江、汉口、钟祥、岳阳、宜昌、常德、宁波、衢县、贵溪、南昌、长沙等 17 个观测站的实测降水量来代表。

为了讨论中高纬度阻塞高压活动对春季长江中下游降水的影响,使用 Tibaldi 等(1990)提出的阻塞识别法(以下简称 TM90)。TM90 阻塞识别方法使用逐日 500 hPa 高度场沿纬圈分别计算

$$H_{GS} = \frac{Z(\phi_0) - Z(\phi_s)}{\phi_0 - \phi_s} \quad (1)$$

$$H_{GN} = \frac{Z(\phi_n) - Z(\phi_0)}{\phi_n - \phi_0} \quad (2)$$

其中 $\phi_n = 80^\circ + \Delta$, $\phi_0 = 60^\circ + \Delta$, $\phi_s = 40^\circ + \Delta$, $\Delta = -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ$ 。在 3 个 Δ 中至少有一个 Δ 同时满足

$H_{GS} > 0$, $H_{GN} < -10 \text{ m}/(^{\circ})$ 这两个条件时,即认为该经度发生了阻塞形势。此处还使用了中国国家气候中心提供的亚洲经向、纬向环流指数来具体刻画降水异常年的环流型特点。

Eliassen-Palm(EP)通量是行星波活动和异常的重要诊断分析工具,本文利用 Plumb(1985)推导的三维球面 EP 通量讨论北半球春季准静止行星波的活动特点。三维 EP 通量在对数压力坐标系中为

$$F_s = p \cos \phi \times \begin{pmatrix} v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\phi} \frac{\partial(v'\Phi')}{\partial \lambda} \\ -u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin 2\phi} \frac{\partial(u'\Phi')}{\partial \lambda} \\ \frac{2\Omega \sin \phi}{S} [v'T' - \frac{1}{2\Omega a \sin 2\phi} \frac{\partial T'\Phi'}{\partial \lambda}] \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中, Ω 为地转角速度, a 为地球半径, ϕ 为纬度, λ 为经度, p 为气压, u' 、 v' 分别为纬向风距平和经向风距平, Φ' 为位势高度距平, T' 为温度距平, S 为静力稳定度参数,公式中距平为纬向距平。为了讨论准定常行星波活动的特征,将月平均场进行纬向傅立叶展开,取1—3波合起来代表准定常行星波(van Loon, et al, 1973)。本文气候平均态是1951—

2009年平均,文中的合成、相关分析的显著性检验均采用学生 t 检验。

3 环流特征和大气内部动力过程

3.1 降水多时间尺度特征

根据中国国家气候中心提供的160站月降水资料,对1951—2009年春季(3—5月)长江中下游17站降水平均得到标准化时间序列(图1)。从图1清楚可见,春季长江中下游降水有显著的年代际和年际变化,进入21世纪以来春季长江中下游降水异常偏少的现象频繁发生,2000、2001、2005、2007、2008年春季降水都小于-1.0标准差。利用功率谱分析方法,计算了春季长江中下游降水不同时间尺度变化在总方差中所占比重,计算显示:春季长江中下游降水年际变化(1—9年)占78.6%,年代际变化(10—20年)占18.6%,20年以上变化所占的比重更小,这表明春季长江中下游降水最显著特征是年际变化。本文重点探讨春季长江中下游降水年际变化的环流特征及成因机理。根据逐年春季长江中下游降水资料,把春季降水距平的绝对值大于1个标准差的年定义为长江中下游降水异常年(表1)。

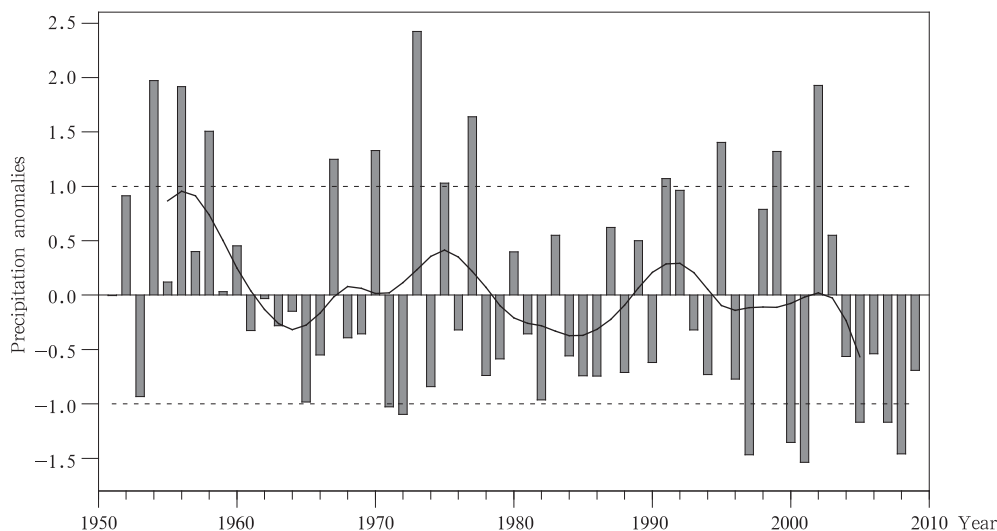


图1 1951—2009年春季(3—5月)长江中下游降水标准化距平时间序列
(黑线为利用 Lanczos 滤波器滤去10年以下变化)

Fig. 1 Normalized time series of the spring (March–May) precipitation anomalies over the Yangtze River valley during 1951–2009 (Thick solid line represents data smoothed with a 10 year Lanczos filter)

表1 春季(3—5月)长江中下游降水异常年(降水距平的绝对值大于1个标准差)
Table 1 Spring (March–May) precipitation anomalous years over the Yangtze River valley
(Threshold for selection is the absolute value of deviation which is greater than one standard deviation)

春季长江中下游降水异常年	
降水偏多年	1954, 1956, 1958, 1967, 1970, 1973, 1975, 1977, 1991, 1995, 1999, 2002
降水偏少年	1971, 1972, 1997, 2000, 2001, 2005, 2007, 2008

3.2 东亚大气环流特征

为了深入探讨春季长江中下游降水异常年环流特征,首先给出春季亚洲高、中、低层大气环流气候平均态(图2)。从春季200 hPa纬向风及500 hPa高度场(等值线)平均气候态(图2a)可见,200 hPa最大西风出现在 32.5°N , 90° — 150°E 附近的东亚

中纬度地区,500 hPa高度场的高中纬度乌拉尔山地区(60°E 附近)为高压脊区, 120° — 150°E 鄂霍次克海附近为槽区,东亚大槽主要位于 30°N 以北地区,西太平洋副热带高压在 20°N 以南;从春季850 hPa风场的气候态分布(图2b)可见,850 hPa风场上东亚 30°N 以南地区为西南风。

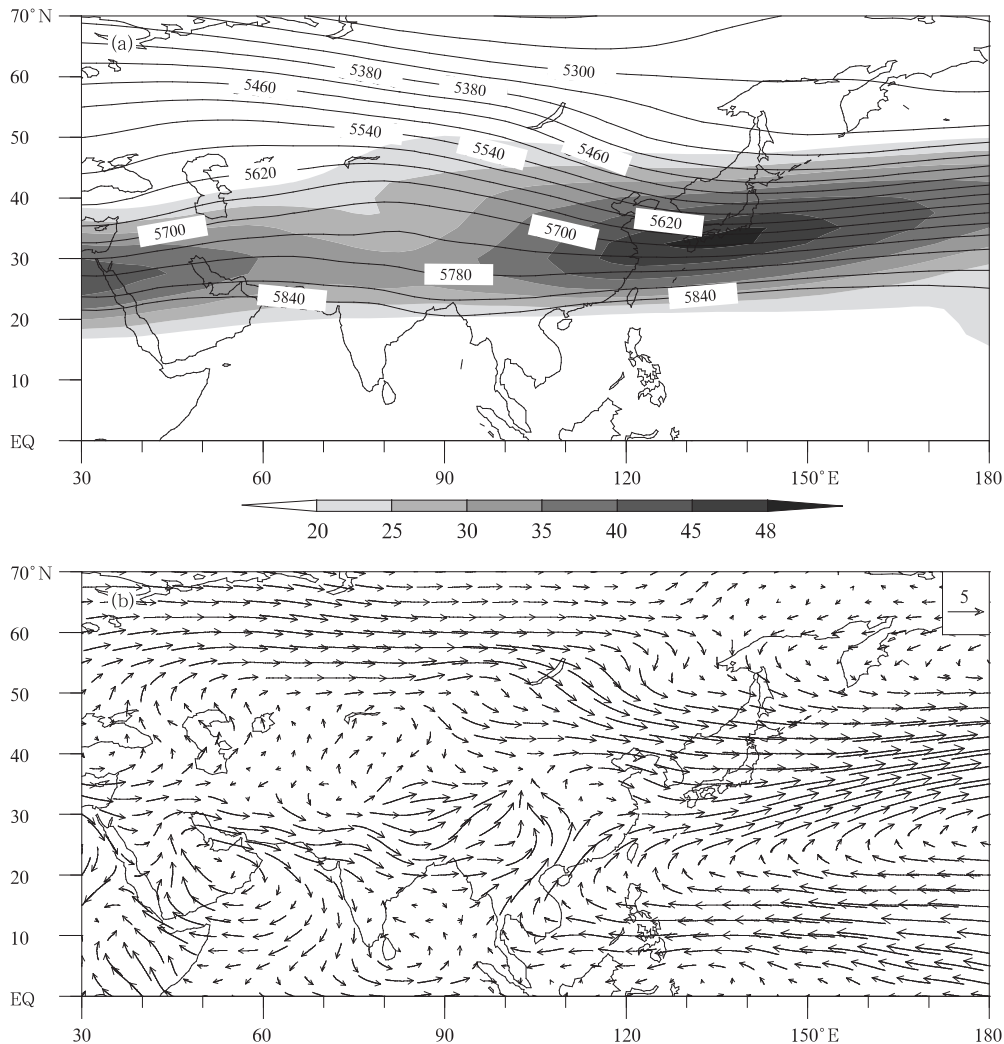


图2 1951—2009年春季(3—5月)东亚地区大气环流气候平均态
(a. 200 hPa纬向风场(阴影区为风速大于20 m/s,单位:m/s)和500 hPa位势高度场(等值线,单位:gpm); b. 850 hPa风场,单位:m/s)

Fig. 2 Climatological means of the spring (March–May) atmospheric fields from 1951–2009
(a. the zonal wind above 20 m/s at 200 hPa (shading, unit: m/s) and the geopotential height at 500 hPa (contour, units: gpm), b. the wind vector at 850 hPa, unit: m/s)

从春季长江中下游降水偏多年的200 hPa纬向风距平场(图3a)可见,东亚地区 35°N 以北地区为显著西风距平, 30°N 以南地区为显著的东风距平,考虑到气候态东亚200 hPa西风急流中心位于 32.5°N 附近(图2a),纬向风距平分布表明东亚副热带西风急流中心位置偏北。在降水异常偏多年的

500 hPa高度距平场(图3c)上,亚洲高纬度 60°E 附近为正高度距平中心,这可能与乌拉尔山地区阻塞高压活动加强有关, 40°N 以北的东亚地区(90°E — 180°)为负距平区,这表明 40°N 以北的东亚大槽偏强;东亚中纬度区(20° — 40°N)为正距平区,由于气候态副热带高压位于 20°N 以南(图2a), 20° — 40°N

正高度距平表明西太平洋副热带高压位置相对偏北。850 hPa 风场(图 3e)上东亚低纬度沿海地区出现西南风距平,来自低纬度的西南风加强,向长江中下游地区输送的水汽偏多。在降水偏少年的 200 hPa 风场(图 3b)上,最大西风距平(纬向风正距平)出现在 30°N, 90°—150°E 地区,说明东亚副热带西风急流中心位置偏南。500 hPa 高度距平场(图 3d)上亚洲高纬度 60°E 附近为负距平中心,说

明乌拉尔山高压减弱,60°N 附近的 140°E—180°为 正距平区,表明鄂霍次克海地区位势高度偏高,有利于鄂霍次克海阻塞高压建立;东亚中纬度地区(20°—40°N)为负距平区(图 3c),说明副热带高压位置偏南。850 hPa 风场(图 3f)上东亚沿海地区为 东北风距平,来自低纬度的西南气流减弱,使得向长江中下游输送的水汽减少。

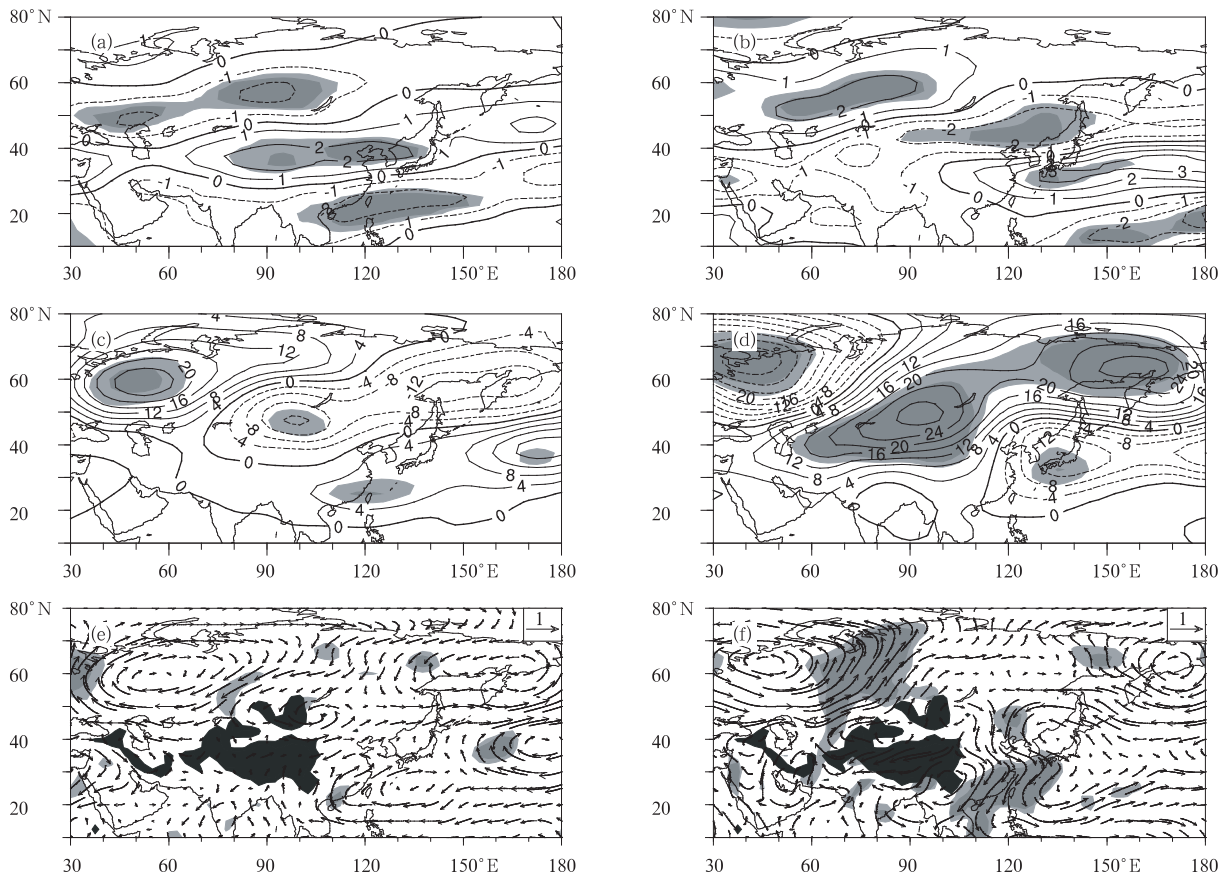


图 3 春季(3—5 月)长江中下游降水多雨年(a,c,e)和少雨年(b,d,f)

位势高度场(单位:gpm)和风场(单位:m/s)的距平合成

(a,b. 200 hPa 纬向风场,c,d. 500 hPa 位势高度场,e,f. 850 hPa 风场;

图中浅和深的阴影区分别代表信度水平超过 90%和 95%的区域;黑色区域代表地形高度超过 1500 m)

Fig. 3 Composites of the atmospheric anomalies fields based on the spring (March - May) precipitation anomalies over the Yangtze River valley

(a, c, e. wet years, b, d, f. dry years; a, b. 200 hPa monthly mean zonal wind anomalies (units: m/s),

c, d. 500 hPa geopotential height anomalies (units: gpm), e, f. 850 hPa wind anomalies (unit: m/s);

light and dark shadings are for the areas that are significant at the 90% and 95% confidence level, respectively)

欧亚大陆中高纬度阻塞高压形势对长江中下游地区夏季、特别是梅雨期降水起重要作用(张庆云等,1998),阻塞高压稳定的环流形势可使冷空气持续不断南下入侵中国,因此,重点探讨春季长江中下游降水异常年中高纬度阻塞高压活动特征。图 4 给

出春季长江中下游降水异常年中高纬度阻塞高压发生频率随经度的分布。降水偏多年(图 4 中实线)和偏少年(图 4 中虚线)中高纬度乌拉尔山(50°—70°E)阻塞高压发生频率分别是 7%和 1%,阻塞高压发生频率的差异超过 99%显著性检验;降水偏多

年和偏少年中高纬度鄂霍次克海(140°—180°E)阻塞高压发生频率分别是4%和14%,差异也超过99%的显著性检验。进一步计算降水偏多(少)年亚洲经向、纬向环流指数变化,分析发现,降水偏多年春季平均的亚洲经向环流指数(58.14)高于偏少年(56.21),降水偏少年春季平均的亚洲纬向环流指数(123.13)高于偏多年(121.72);这表明乌拉尔山阻塞高压发生频率偏高年,对应的亚洲环流经向型环流加强,可为降水提供持续的冷空气,有利于降水发生;鄂霍次克海阻塞高压发生频率偏高时,对应的亚洲环流纬向型环流加强,为降水提供的冷空气偏弱,不利于降水的发生。

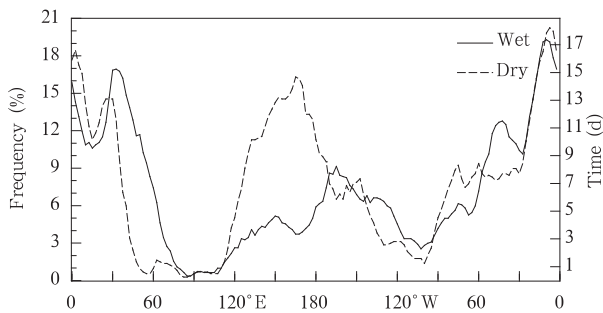


图4 春季(3—5月)长江中下游地区多雨年(实线)和少雨年(虚线)阻塞高压发生频率分布

Fig. 4 Spring (March - May) longitudinal frequency distribution of the blocking occurrence in wet years (solid line) and dry years (dashed line) over the Yangtze River valley

综上所述,春季长江中下游降水偏多(少)年环流异常特征为:200 hPa 高空东亚西风急流中心位置偏北(南);500 hPa 高度距平场上东亚高纬度环流呈“西高-东低”(“西低-东高”)型,对应乌拉尔山(鄂霍次克海)阻塞高压活动加强,西太平洋副热带高压位置偏北(南);850 hPa 风场上东亚低纬度呈反气旋性(气旋性)的异常环流,东南沿海西南风距平加强(减弱),向长江中下游输送的水汽加强(减弱)。分析发现,春季长江中下游降水偏多(少)年亚洲高、中、低层环流基本呈现为正压结构,说明东亚高、中、低层内部环流系统有相互适应的动力过程,为此进一步探讨春季长江中下游降水异常偏多(少)年东亚大气环流内部动力过程特征。

3.3 大气环流内部动力过程

EP 通量是诊断大气环流自身变化的重要工具(Andrews, et al, 1976;李崇银, 2000)。从多年平均

春季亚洲区域上空 300 hPa 上 EP 通量及散度分布(图 5a)可见,春季多年平均亚洲大陆中高纬度地区的准定常行星波在乌拉尔山地区呈现为自西向东传播的特征,西北太平洋海域上空的准定常行星波表现为从中纬度向低纬度传播,这和 Plumb(1985)的结论一致。

从春季长江中下游降水偏多年东亚地区 300 hPa 上 EP 通量和 EP 通量散度距平分布(图 5b)可见,降水偏多年,乌拉尔山高压加强,乌拉尔山为 EP 通量异常辐散中心,乌拉尔山东传的准定常行星波加强;EP 通量在贝加尔湖地区(100°E)出现异常辐合,上游的行星波传播特征有利于贝加尔湖地区位势高度负距平中心的维持(图 3c),可见春季长江中下游降水偏多年亚洲中高纬度“西高-东低”型的分布受大气环流内部动力过程准定常行星波活动影响。从图 5b 还可见,东亚—西太平洋地区中纬度向低纬度的准定常行星波传播减弱,长江中下游以及 30°N 附近 EP 通量异常辐合,使该地区纬向西风减弱;同时 35°N 以北的华北、东北地区为 EP 通量的异常辐散,使西风加强,EP 通量的散度分布特征造成东亚副热带西风急流位置偏北,西风急流位置偏北和西太平洋副热带高压位置偏北是一致的(Park, et al, 2010)。

在春季长江中下游降水偏少年,东亚地区 EP 通量和 EP 通量散度距平分布(图 5c)表明,降水偏少年乌拉尔山高压强度减弱,乌拉尔山东传的准定常行星波减弱,贝加尔湖地区(100°E)为 EP 通量的异常辐散中心。同时东亚—西太平洋地区中纬度向低纬度的准定常行星波传播加强,造成长江中下游 30°N 附近为 EP 通量异常辐散,35°N 以北的华北、东北地区为 EP 通量的异常辐合,少雨年东亚地区 EP 通量的分布特征造成东亚副热带西风急流位置以及西太平洋副热带高压位置偏南。

4 前期外强迫信号

第 3 节探讨了春季长江中下游降水异常年大气环流内部动力过程变化,大气环流内部动力过程异常往往与大气环流外强迫因子异常变化有关,因此,有必要进一步探讨前期外强迫因子对春季长江中下游降水异常的影响。从给出的春季长江中下游降水

与2月(前期)海表温度距平(SSTA)相关分布(图6)可见,赤道中东太平洋地区为显著的正相关区,赤道西太平洋为负相关区,赤道太平洋地区的相关分布场类似于 ENSO 型海温异常,也就是说,冬季赤

道中东太平洋海温正(负)异常可能是春季长江中下游降水偏多(少)的重要前期信号,因此,需要进一步分析春季亚洲大气环流对前期赤道东太平洋海温的响应。

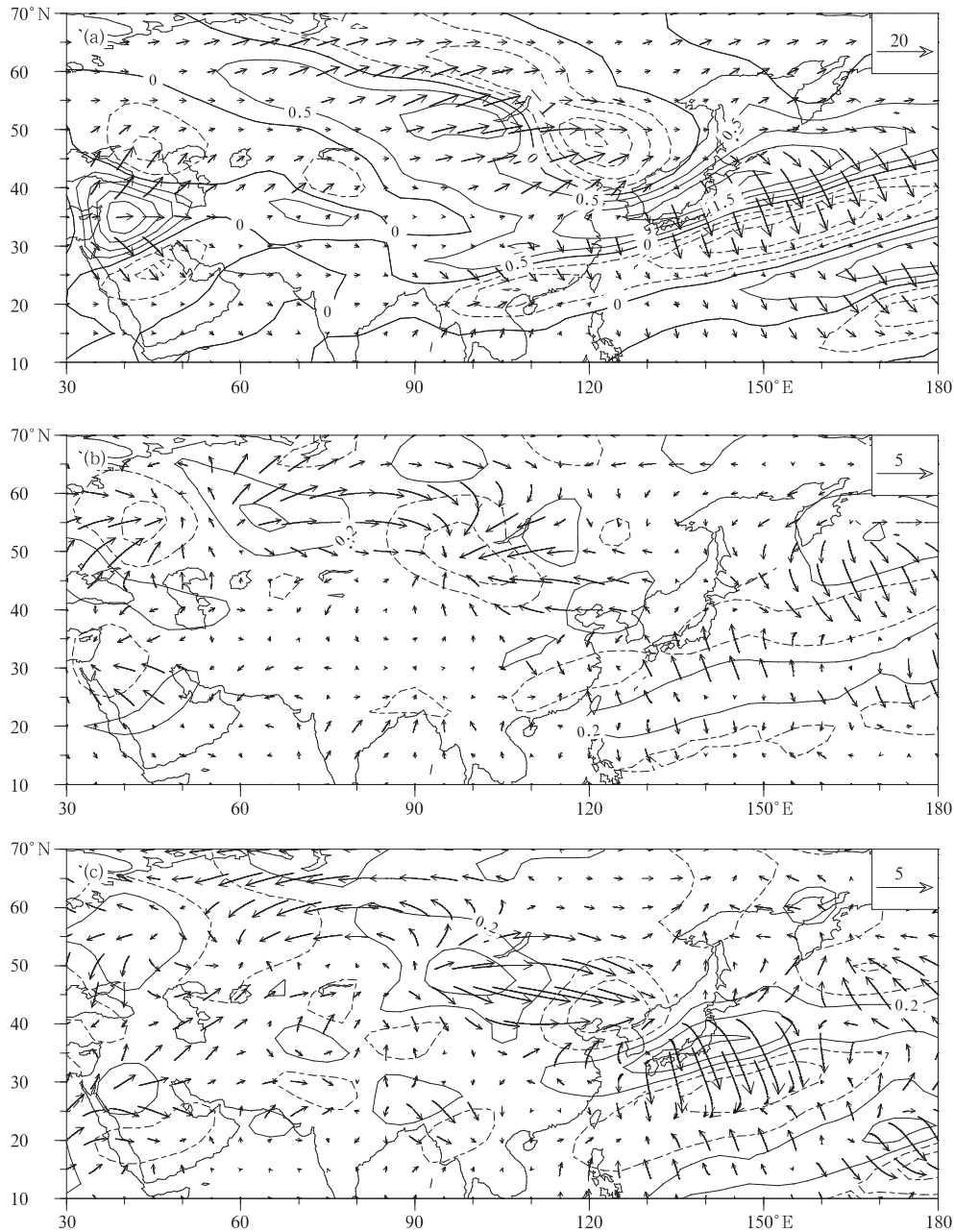


图5 北半球春季(3—5月)300 hPa EP 通量(箭头,单位: m^2/s^2)和 EP 通量散度(等值线,单位: m/s^2)

(a. 气候态(1951—2009年), b. 多雨年距平的合成, c. 少雨年距平的合成;等值线间隔为 $0.5 \times 10^{-5} \text{ m}/\text{s}^2$)

Fig. 5 Boreal spring (March–May) EP flux (unit: m^2/s^2) and its corresponding divergence (unit: m/s^2) at 300 hPa for (a) climatology (1951–2009), (b) wet years and (c) dry years, respectively (Contour intervals are $0.5 \times 10^{-5} \text{ m}/\text{s}^2$)

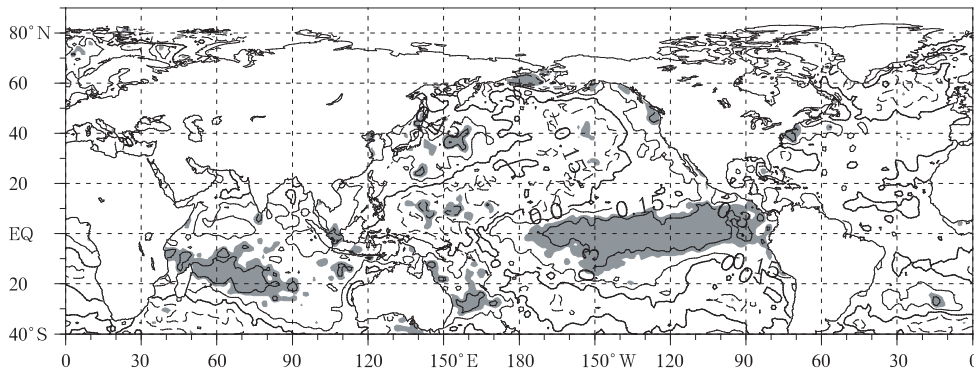


图6 1951—2009年春季(3—5月)长江中下游降水同前期2月海温距平的相关
(阴影区代表通过95%的显著性检验)

Fig. 6 Correlation coefficients between the spring (March - May) precipitation anomalies over the Yangtze River valley and the February SST anomalies
(The shading denotes the regions that are significant at the 95% confidence level)

2月 Nino3.4 指数与春季 850 hPa 的 u 、 v 风场回归得到的回归系数(图 7a)表明,经向风回归显著异常区主要出现在中国南海和东南沿海地区(30°N 以南),表明当赤道东太平洋为正(负)海温异常时,东亚沿海低纬度地区出现西南风(东北风)距平,有利于来自低纬度向长江中下游输送的水汽加强(减弱)。受冬季厄尔尼诺(拉尼娜)事件影响,西太平洋暖池海域海温偏低(偏高),通过海-气热力差异进一步改变感热、潜热通量,春季西太平洋对流层低层反气旋性(气旋性)异常环流加强,东亚沿海低纬度出现偏南(偏北)风距平,与长江中下游降水偏多年(偏少年)850 hPa 风场东亚沿海低纬度出现偏南(偏北)风距平一致(图 3e、f),这与吴国雄等(1996)的研究结果也基本一致。Wang 等(2000)指出西太平洋

海温冷异常引起局地大气下沉运动,赤道东太平洋暖海温异常也可以通过沃克环流引起西太平洋地区的下沉运动加强,共同作用导致西太平洋的反气旋环流异常,反气旋环流异常的西侧偏南风异常,有利于水汽向长江流域输送。从图 7a 还可见,乌拉尔山地区为反气旋性环流异常中心,鄂霍次克海地区为气旋性环流异常中心,这说明东亚中高纬度环流呈“西高-东低”(“西低-东高”)可能与冬季赤道中东太平洋海温正(负)异常有关。

图 7b 是 2 月 Nino3.4 指数与春季 500 hPa 位势高度场的回归系数,中低纬度西太平洋地区(30°N 以南)500 hPa 位势高度为显著的正相关;鄂霍次克海地区为显著的负相关区,乌拉尔山地区为正相关区(但未达信度检验)。上述回归分析说明,

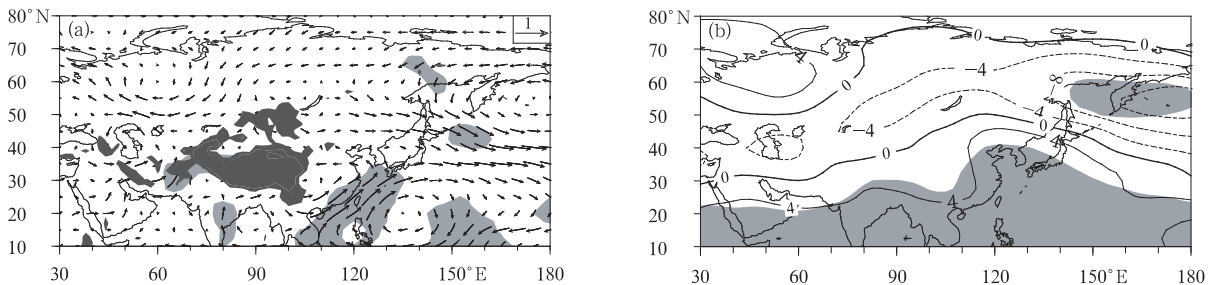


图7 1951—2008年2月 Nino3.4 指数回归的春季(3—5月)

(a)850 hPa 风场(单位:m/s)和(b)500 hPa 高度场(单位:gpm)

(灰色阴影区为回归系数通过95%的信度检验;黑色区域代表地形高度超过1500 m)

Fig. 7 Regression of the (a) 850 hPa wind anomalies (unit: m/s) and (b) 500 hPa geopotential height (unit: gpm) against the February Nino3.4 index
(The shading denotes the regions that are significant at the 95% confidence level)

前期中东太平洋出现正(负)海温异常时,有利于春季西太平洋副热带高压偏强偏北(偏弱偏南),中高纬度环流场出现“西高-东低”(“西低-东高”),对应亚洲经向(纬向)型环流加强,从而有利于长江中下游地区降水偏多(偏少)。可能的影响机制是,在厄尔尼诺年,低纬度地区对流层中显著偏暖(图略),加大了低纬度与中高纬度的热力对比,中高纬度定常波活动加强,从而有利于低纬度向中高纬度能量输送的加强(吕克利等,1996)。厄尔尼诺年,500 hPa上乌拉尔山(60°N,60°E)附近显著偏暖,鄂霍次克海附近偏冷(图略),有利于乌拉尔山地区出现正高度距平,鄂霍次克海附近出现负高度距平,呈现“西高-东低”的特点,考虑到春季环流的气候态特征(图2a)，“西高-东低”的环流场特点有利于环流经向性加强,定常波活动加强,这和降水偏多年的环流特点(图3c)较为类似。拉尼娜年的情况则基本相反。Li (2010a, 2010b)的数值试验表明,太平洋海温增暖会导致北极极涡活动减弱,东亚中纬度环流呈现“西高-东低”(Li,2010b),有利于冷空气南下,与此处分析的长江中下游地区降水偏多的中高纬度环流特征一致,进一步证实了上述分析。

综上所述,前期赤道东太平洋出现厄尔尼诺(拉尼娜)型海温时,春季850 hPa风场东亚低纬度沿海地区响应出偏南(北)风距平,500 hPa位势高度场亚洲中高纬度呈现出“西高-东低”(“西低-东高”)分布,有利于春季长江中下游降水偏多(少),可见冬季赤道东太平洋海温正(负)异常是春季亚洲低、中、高纬度环流异常重要的外强迫因子。

5 结论和讨论

文中探讨了春季(3—5月)长江中下游降水异常年东亚大气环流异常与大气环流内部准定常行星波活动关系及其对冬季赤道东太平洋海温异常的响应。主要结论如下:

(1)春季为冬夏过渡期,中高纬度环流具有更多冬季特征,乌拉尔山高压加强,鄂霍次克海地区低压加强,即呈现“西高-东低”;低纬度环流具有更多夏季特征,副热带高压位置、西风急流位置偏北,有利于长江流域降水偏多。长江中下游降水偏少年的环流场特点与此基本相反。

(2)春季长江中下游降水偏多(少)年,对流层高层的中高纬度准定常行星波活动存在显著不同,多

雨(少雨)年对流层上层乌拉尔山以东地区准定常行星波自西向东传播加强(减弱),东亚—太平洋地区中纬度向低纬度准定常行星波传播减弱(加强),东亚高空(40°N,90°—130°E)附近EP通量表现为辐散(辐合),34°N以南地区EP通量为辐合(辐散),造成东亚高空西风急流位置偏北(南)。

(3)冬季赤道东太平洋海温正(负)异常是春季长江中下游降水偏多(少)年重要的前期外强迫信号。导致降水偏多的水汽条件和副热带高压位置异常偏北有关,副热带高压异常偏北主要和前期厄尔尼诺型海温外强迫有关;冷空气条件则和中高纬度的“西高-东低”型环流有关,乌拉尔山地区阻塞高压加强,环流的经向性加强,这可能和低纬度对流层中一致偏暖、中高纬度和低纬度的热力对比增大有关。前期的外强迫因子可以为春季长江流域降水预测提供一定的依据。

需要指出的是,本文仅仅探讨了春季平均情况下长江中下游降水年际异常变化的大气环流内部特征与大气外强迫因子的关系。实际上,春季长江中下游降水也存在较显著的季节内及年代际变化特征,特别是进入21世纪以来,春季长江中下游降水出现了显著的年代际偏少,然而其成因机理并不清楚,东亚中高纬度环流型异常对中国东部降水异常有重要作用(张庆云等,1998),因此,需要进一步开展春季长江中下游降水季节内、年代际异常变化与东亚中高纬度环流的物理过程的研究。Li(2004)、Han等(2011)工作指出,北大西洋海温异常对冬季乌拉尔山环流异常变化有影响,武炳义等(2011)、Li等(2013)研究发现,北极地区海冰同冬季欧亚中高纬度的环流异常变化有一定关系。春季乌拉尔山、鄂霍次克海阻塞高压活动及其影响因子的物理过程的变化等需要进一步研究。

参考文献

- 李崇银. 2000. 气候动力学. 北京: 气象出版社, 225-232
- 陆日宇. 2005. 华北汛期降水量年际变化与赤道东太平洋海温. 科学通报, 50(11): 1131-1135
- 吕克利, 徐银梓, 谈哲敏. 1996. 动力气象学. 南京: 南京大学出版社, 244-267
- 钱维宏, 朱江, 王永光等. 2009. 江淮梅雨和赤道太平洋区域海温变化的关系. 科学通报, 54(1): 79-84
- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998. 1998年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件. 气候与环境研究, 3(4): 290-299

- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 2001. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. *气象学报*, 59(6): 747-758
- 王永光, 龚振淞, 许力等. 2005. 中国温度、降水的长期气候趋势及其影响因子分析. *应用气象学报*, 16(3): 85-91
- 武炳义, 苏京志, 张人禾. 2011. 秋-冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响. *科学通报*, 56(27): 2335-2343
- 吴国雄, 王敬方. 1996. 热带和热带外海表温度异常与低空环流特征比较. *气象学报*, 54(4): 387-397
- 张庆云, 陶诗言. 1998. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. *气象学报*, 56(2): 199-211
- 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. *气象学报*, 61(5): 559-568
- 张庆云, 王媛. 2006. 冬夏东亚季风环流对太平洋热状况的响应. *气候与环境研究*, 11(4): 487-498
- 张庆云, 宣守丽, 彭京备. 2008. La Niña 年冬季亚洲中高纬环流与我国南方降雪异常关系. *气候与环境研究*, 13(4): 385-394
- Andrews D, McIntyre M E. 1976. Planetary waves in horizontal and vertical shear: The generalized Eliassen-Palm relation and the mean zonal acceleration. *J Atmos Sci*, 33(11): 2031-2048
- Ding Y. 1992. Summer monsoon rainfalls in China. *J Meteor Soc Japan*, 70(1): 373-396
- Han Z, Li S L, Mu M. 2011. The role of warm North Atlantic SST in the formation of positive height anomalies over the Ural Mountains during January 2008. *Adv Atmos Sci*, 28(2): 246-256
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3): 437-471
- Li C, Zhang Q Y. 2013. January temperature anomalies over North-east China and precursors. *Chinese Sci Bull*, 58(6): 377
- Li S L. 2004. Impact of northwest Atlantic SST anomalies on the circulation over the Ural Mountains during early winter. *J Meteor Soc Japan*, 82(4): 971-988
- Li S L, Robinson W A, Hoerling M P, et al. 2007. Dynamics of the extratropical response to a tropical Atlantic SST anomaly. *J Climate*, 20(3): 560-574
- Li S L, Lu J, Huang G, et al. 2008. Tropical Indian Ocean basin warming and East Asian summer monsoon: A multiple AGCM study. *J Climate*, 21(22): 6080-6088
- Li S L. 2010a. A comparison of polar vortex response to Pacific and Indian Ocean warming. *Adv Atmos Sci*, 27(3): 469-482
- Li S L. 2010b. Polar vortex response to Pacific Ocean warming and its additive nonlinearity with the Indian Ocean. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 3(6): 303-307
- Liang X Z, Wang W C. 1998. Associations between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Quart J Roy Meteor Soc*, 124(552): 2597-2623
- Lu R. 2004. Associations among the components of the East Asian summer monsoon system in the meridional direction. *J Meteor Soc Japan*, 82(1): 155-165
- Park J S, Jhun J G, Kwon M H. 2010. Prominent features of large-scale atmospheric circulation during spring droughts over north-east Asia. *Int J Climatol*, 30(8): 1206-1214
- Plumb R A. 1985. On the Three-dimensional propagation of stationary waves. *J Atmos Sci*, 42(3): 217-229
- Qian W H, Hu H R, Deng Y, et al. 2002. Signals of interannual and interdecadal variability of air-sea interaction in the basin-wide Indian Ocean. *Atmos Ocean*, 40(3): 293-311
- Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *J Geophys Res*, 108(D14), doi:10.1029/2002JD002670
- Tibaldi S, Molteni F. 1990. On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42(3): 343-365
- van Loon H, Jenne R, Labitzke K. 1973. Zonal harmonic standing waves. *J Geophys Res*, 78(21): 4463-4471
- Wang B, Wu R G, Fu X H. 2000. Pacific-east Asian teleconnection: How does ENSO affect east Asian climate? *J Climate*, 13(9): 1517-1536
- Wu R G, Wang B. 2000. Interannual variability of summer monsoon onset over the western North Pacific and the underlying processes. *J Climate*, 13(14): 2483-2501