

长江中下游地区冬夏干湿韵律特征分析^{*1}

李 瑜^{1,2} 李维京² 任宏利² 左金清²LI Yu^{1,2} LI Weijing² REN Hongli² ZUO Jinqing²

1. 中国气象科学研究院, 北京, 100081

2. 国家气候中心中国气象局气候研究开放实验室, 北京, 100081

1. *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*2. *Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*

2014-11-15 收稿, 2015-01-06 改回.

李瑜, 李维京, 任宏利, 左金清. 2015. 长江中下游地区冬夏干湿韵律特征分析. 气象学报, 73(3):496-504

Li Yu, Li Weijing, Ren Hongli, Zuo Jinqing. 2015. Analysis of dry/wet rhythms in winter and summer precipitations over the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin. *Acta Meteorologica Sinica*, 73(3):496-504

Abstract By analyzing the monthly mean gauge precipitation data from the 160 stations in China during 1952–2013, this paper reveals a significant rhythm phenomenon in winter and summer precipitations in the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin. That is, if in winter there is less (more) precipitation than the normal over this region, precipitation in the following summer tends to be less (more) as well. Such a phenomenon is referred to as dry/wet rhythms. It is showed that the atmospheric circulation anomalies between dry and wet rhythm years are basically contrary to each other over the East Asia-Northwest Pacific region. For example, in the winters of wet rhythm years, 500 hPa height anomalies are mainly negative in the continental China, but positive in its east ocean, which yields that eastern South China is mainly dominated by southerly anomalies, and thus the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin tends to be more rainy. In the following summers, the western North Pacific subtropical high is preferentially intensified, which tends to induce anomalous southerly wind and hence increase precipitation in the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin. The results further indicate that the winter-summer dry/wet rhythms are intimately associated with intensity of the winter and summer monsoon activities in East Asia; i. e., the wet rhythms usually correspond to both weaker winter and summer monsoons, while the dry rhythms to both stronger winter and summer monsoons.

Key words Dry/wet rhythms, Precipitation in the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin, Atmospheric circulation, Winter and summer monsoons

摘 要 通过分析中国 160 站 1952—2013 年的月平均降水观测资料, 揭示了长江中下游地区冬季和夏季降水间存在显著的韵律现象, 即当该地区冬季降水异常偏少(偏多)时, 次年夏季降水也趋于异常偏少(偏多), 这里称之为干(湿)韵律现象。对干、湿韵律年大气环流背景的分析结果显示, 干韵律年和湿韵律年对应的环流形势基本相反: 在干(湿)韵律年冬季, 东亚地区 500 hPa 位势高度距平呈现西高东低(东高西低)的分布型, 中国南方东部主要受偏北(南)风异常控制, 这不利(有利)于低纬度暖湿气流向长江中下游地区输送, 导致该地区冬季降水异常偏少(多); 在次年夏季, 西北太平洋副热带高压异常偏弱(强), 不利(有利)于西南暖湿气流向中国东部地区输送, 使得长江中下游地区夏季降水也异常偏少(多)。研究进一步指出, 长江中下游地区的冬夏干、湿韵律现象与东亚冬夏季风活动的强度密切相关。干、湿韵律现象多在东亚冬夏季风强度变化一致的情

* 资助课题: 国家重点基础研究发展计划项目(2013CB430203)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406022、GYHY201306033)、国家自然科学基金项目(41375062、41205058)。

作者简介: 李瑜, 主要从事短期气候异常诊断分析。E-mail: liyu0815@126.com

通讯作者: 李维京, 主要从事气候动力学与短期气候预测研究。E-mail: liwj@cma.gov.cn

况下出现:冬、夏季风一致偏强时多导致干韵律现象,而一致偏弱时易导致湿韵律现象。

关键词 干、湿韵律现象,长江中下游降水,大气环流,冬夏季风

中图法分类号 P461

1 引言

天气韵律是指在准稳定时间间隔内某种天气现象的重现,这种现象最早由苏联学者Мультановский提出(杨鉴初,1956)。这种韵律现象通常具有3个主要特点:两个天气现象之间有准稳定的时间间隔;不能从第一个现象本身的演变过程去推算第二个现象的出现;只出现在固定的季节(赵宗慈等,1982)。根据该定义,天气韵律是指同一天气现象在某一准稳定时间间隔内重复出现的现象。不过,王绍武等(1982)把这个概念扩大到两个不同类天气现象的关系上,即把预报量和预报因子间相隔几个月的相关关系(即隔季相关)也称为韵律。本研究关注的是前一种定义的韵律现象。

研究表明,天气韵律存在于海洋和大气之中。Namias(1978)在研究美国气温的持续性时发现,滞后两季的气温间具有较好的自相关。臧恒范等(1983)指出,北太平洋西风漂流区夏季和冬季海温存在显著的相关关系。林学椿(1991)发现,北半球500 hPa高度距平场存在冬、夏隔季相关现象,且这种现象在亚洲地区最为明显。方之芳等(2005)指出,北极海冰具有较明显的隔季相关和隔年相关关系。这些气候意义上的韵律现象通常具有2—11个月不等的的时间间隔,其中大约半年间隔的韵律较为常见,且具有明显的区域性特征,主要集中在北太平洋、北大西洋以及亚洲南部到西太平洋(赵宗慈等,1982)。

半年尺度气候韵律现象的存在可能与大气环流中低频波振荡分布有密切关系(李麦村,1985;张庆云等,1992;吴晓红等,1996; Yan, et al, 2011),为长期天气预报(或称短期气候预测)提供了重要的参考依据(李德明等,1979;王绍武等,1983;刘惠霞,1998;魏凤英,2011;贾小龙等,2013;毛炜峰等,2013;曾庆存,2013)。然而,至今对于中国气候要素中的半年韵律现象关注较少,作为一种经验性的统计现象,其产生的物理机制更不清楚。为此,本研究将着眼于中国台站观测降水量,考察其冬季和夏季的隔季韵律(称之为干、湿韵律)现象,分析韵律基本

特征,并初步探讨这种韵律现象的可能成因。

2 资料和方法

所用资料主要包括:(1)中国国家气候中心整编的中国160站月平均降水资料;(2)美国环境预报中心/大气研究中心(NCEP/NCAR)的月平均再分析资料(Kalnay, et al, 1996),包括标准等压面上分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的位势高度、纬向风、经向风和相对湿度等变量。所用资料的分析时段均为1951年1月至2013年12月。同时还采用Chen等(2000)定义的东亚冬季风指数和Wang等(2008)定义的东亚夏季风指数。

研究方法主要包括相关分析、合成分析、一元线性回归等常用统计方法,其中相关分析采用 t 检验方法进行显著性检验。文中分析所指冬季平均值为前一年12月—当年1月,如1951/1952年冬季指1951年12月—1952年1月的平均值(文中简写为1952年冬季);夏季平均则为6月和7月的平均值。在诊断分析之前,去除了所有资料序列的线性趋势。

3 分析结果

3.1 冬、夏干、湿韵律现象

为了揭示中国冬、夏干、湿韵律现象,对前冬-后夏与前夏-后冬的站点逐月降水量进行了超前滞后交叉相关分析。结果显示,12、1月和后期6、7月的月平均降水量存在较强的隔季相关,尤其是在长江中下游地区这种相关最为明显。因此,本文以12月和1月代表冬季,6月和7月代表夏季,计算了中国160站前冬和后夏平均降水量的相关(图1a)。可以看到,前冬和后夏降水量在长江中下游地区存在显著的正相关,而其他区域的相关系数相对较小。进一步的计算结果显示,前冬和后夏长江中下游地区(27° — 30°N , 111° — 120°E)区域平均降水量的相关系数高达0.55,通过了99%显著性检验(图2)。相比之下,前夏和后冬的降水相关相对较弱,几乎不存在统计意义上的显著区域(图1b)。

这些结果表明,当长江中下游冬季降水偏少(多)时,该地区后期夏季降水也往往偏少(多),将这

种现象称为长江中下游冬、夏干(湿)韵律现象。这种韵律关系对于长江中下游地区汛期降水的预报可能具有重要指示意义。尤其是该地区冬季 12—1 月降水量与次年 6—7 月降水量存在较强的相关, 冬季

降水量的变化可能是夏季降水量变化的前兆信号之一, 前者可考虑作为后者预报时的一个参考量。因此, 接下来将重点研究长江中下游地区冬、夏干、湿韵律的可能成因。

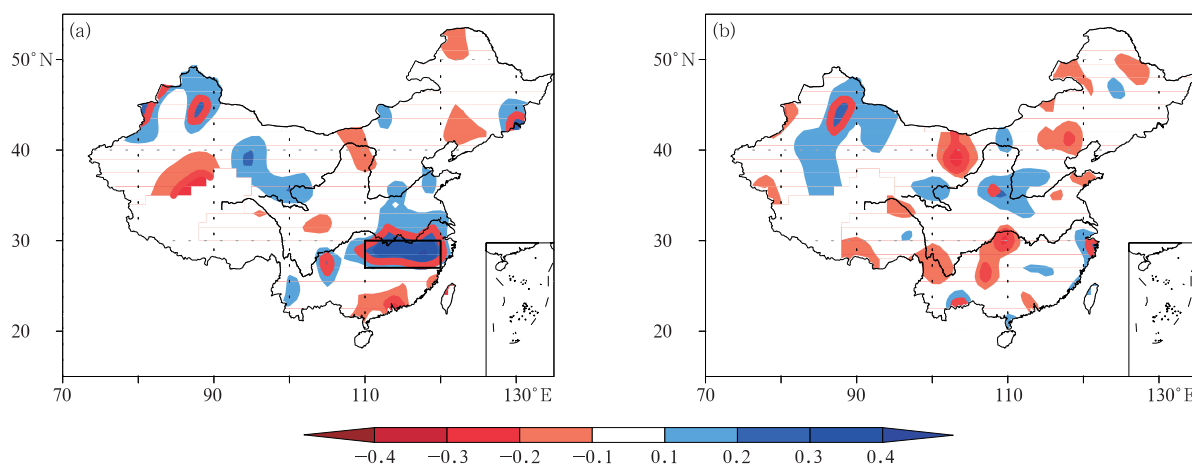


图 1 1952—2013 年前冬-后夏(a)和前夏-后冬(b)中国 160 站降水的相关系数分布

(红色等值线表示通过 90% 显著性检验)

Fig. 1 Averaged correlations of precipitation at the 160 stations between winter and the following summer (a) and summer and the following winter (b) in China over the period from 1952 to 2013

(The red contour that it is significant at the 90% confidence level)

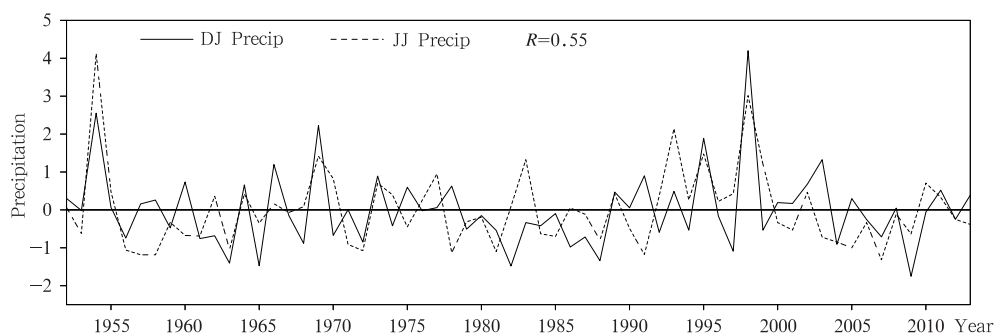


图 2 1952—2013 年长江中下游冬夏降水显著相关区的标准化降水序列

(实线为冬季 12、1 月区域平均降水, 虚线为夏季 6、7 月区域平均降水)

Fig. 2 Normalized time series of the precipitation averaged over the mid-lower reaches of the Yangtze River Basin from 1952 to 2013

(Solid line indicates the regional mean precipitation in the winter of Dec - Jan and dotted line in the summer of Jun - Jul)

3.2 环流特征分析

为了揭示长江中下游地区冬、夏干、湿韵律的可能成因, 首先对该地区干、湿韵律年的高度场、风场以及水汽通量场进行了合成分析。根据冬季和夏季长江中下游区域平均降水序列进行统计, 得到湿(干)韵律年 14(20)年, 其他年份(称之为无韵律年)为 28 年(表 1)。

从冬、夏干、湿韵律年 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场距平的合成分布(图 3)可见, 在湿韵律年冬季的 500 hPa 位势高度距平场上(图 3a), 包含日本岛在内的中纬度西北太平洋主要受正距平控制; 同时, 巴尔喀什湖地区上空存在一个负距平中心, 使得东亚地区 500 hPa 位势高度距平呈现东高西低的分布型。在这种环流配置下, 中国南方东部主要受

偏南风异常控制,进而有利于低纬度水汽向长江中下游地区输送。相反,在干韵律年冬季(图 3b),东亚上空 500 hPa 位势高度距平呈现西高东低的分布

型,中国东部主要受偏北风异常控制,因此不利于低纬度暖湿气流向长江中下游地区输送。

在湿韵律年夏季(图3c),菲律宾至东北亚地区

表 1 1952—2013 年中国长江中下游地区冬夏干湿韵律年
Table 1 The winter-summer dry and wet rhythm years over the mid-lower reaches of the Yangtze River from 1952 to 2013

湿韵律年	干韵律年	无韵律年
1952,1954,1955,1964, 1966,1969,1973,1977, 1989,1993,1995,1998, 2002,2011	1953,1956,1959,1961,1963, 1965,1967,1972,1979,1980, 1981,1984,1985,1987,1988, 2004,2006,2007,2009,2012	1957,1958,1960,1962,1968,1970,1971, 1974,1975,1976,1978,1982,1983,1986, 1990,1991,1992,1994,1996,1997,1999, 2000,2001,2003,2005,2008,2010,2013

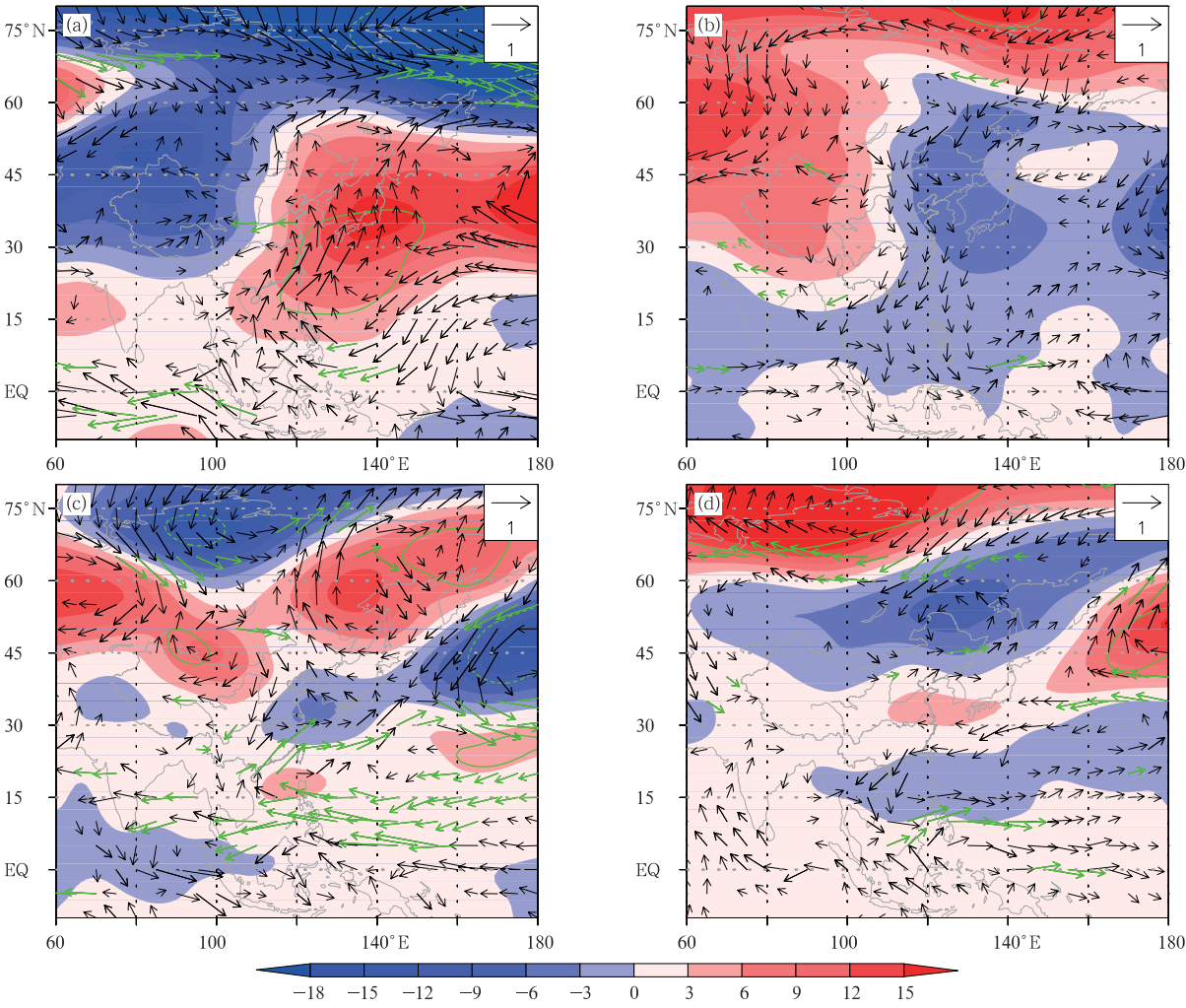


图 3 长江中下游冬(a,b)夏(c,d)湿韵律年(a,c)和干韵律年(b,d)500 hPa 高度场(单位:gpm)及 850 hPa 风场(单位:m/s)距平的合成分布
(绿色等值线/箭头表示通过 90%显著性检验)

Fig. 3 Composite distribution of 500 hPa geopotential height (unit: gpm) and 850 hPa wind (unit: m/s) anomalies corresponding to the winter-summer wet rhythm years (a, c) and dry rhythm years (b, d) over the mid-lower reaches of the Yangtze River during winter (a, b) and summer (c, d)
(The green contour/arrow indicates that it is significant at the 90% confidence level)

上空 500 hPa 位势高度距平呈“+ - +”分布型,这种环流形势与东亚夏季风偏弱(长江流域夏季降水偏多)年相似。其中,菲律宾上空低层主要受反气旋异常控制,其西侧的偏南风异常有利于暖湿气流向中国东部地区输送,并与高纬度南下的偏冷气流交汇于长江中下游地区,进而导致该地区降水偏多。干韵律年夏季(图 3d)的情况则相反,菲律宾至东北亚地区上空的 500 hPa 高度距平呈“- + -”分布型,菲律宾受气旋异常控制,不利于西南暖湿气流向长江中下游地区输送。

从长江中下游冬、夏干、湿韵律年冬季和夏季整层积分水汽通量距平的合成分布(图 4)可以看到,在湿韵律年冬季(图 4a),南海至中国南方地区上空存在显著的向北水汽输送异常,并在长江中下游地区形成水汽辐合,进而导致该地区降水偏多。相反,在干韵律年冬季(图 4b),由低纬度海洋向中国大陆输送的水汽明显偏弱,而且长江中下游上空为水汽辐散区,因此该地区降水偏少。对于干湿韵律年夏季的水汽输送异常(图 4c、d),也可得到类似结论。总之,在干(湿)韵律年冬季和夏季,经中国南海向长

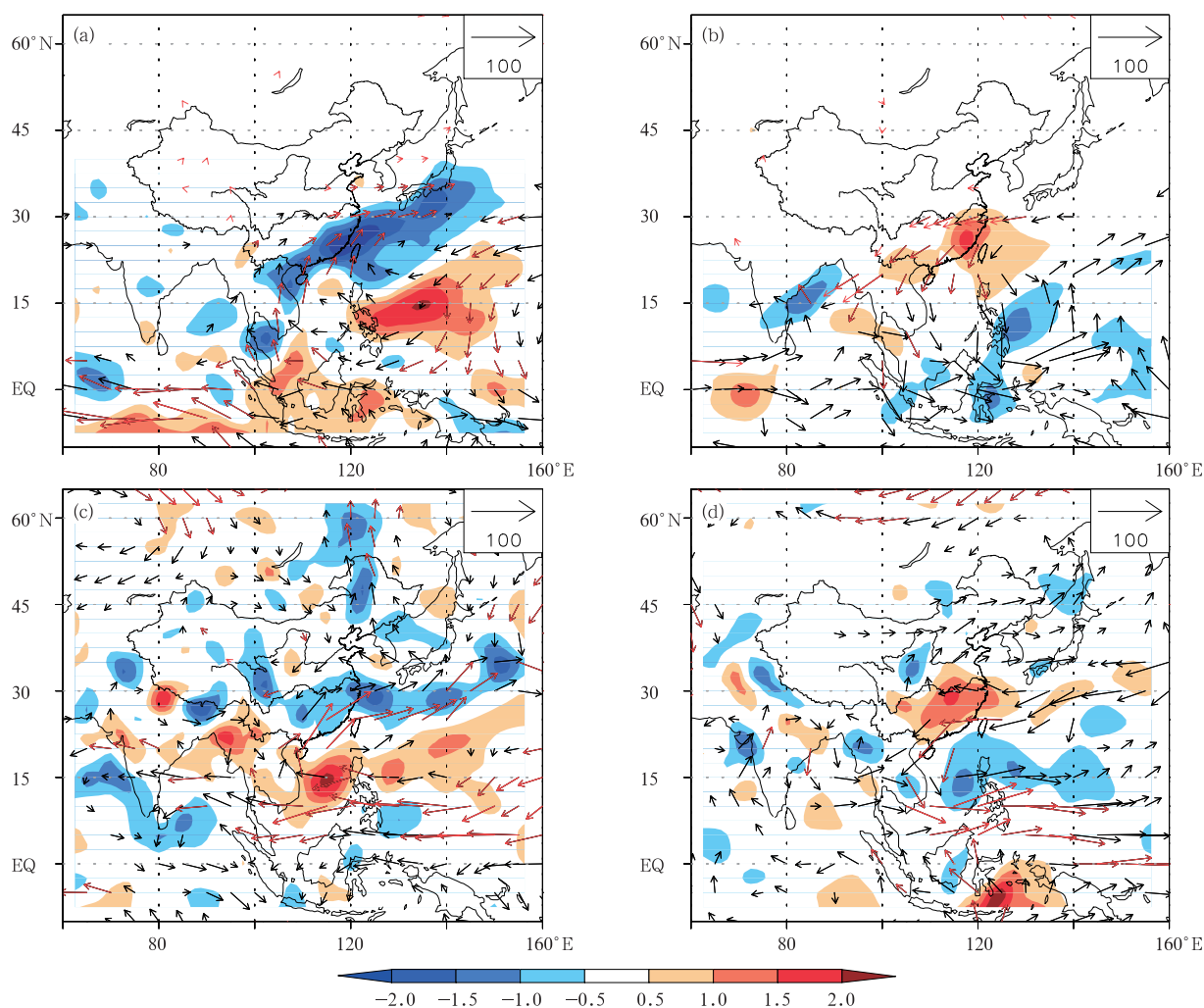


图 4 中国长江中下游冬(a,b)夏(c,d)湿韵律年(a,c)和干韵律年(b,d)整层水汽通量(单位: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$)及水汽通量散度(单位: $10^{-7} \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)距平的合成分布(红色箭头表示通过 90% 显著性检验)

Fig. 4 Composite distribution of vertical-integrated water vapor flux (unit: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$) and water vapor flux divergence (unit: $10^{-7} \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) anomalies corresponding to the winter-summer wet rhythm years (a, c) and dry rhythm years (b, d) over the mid-lower reaches of the Yangtze River during winter (a, b) and summer (c, d) (The red arrow indicates that it is significant at the 90% confidence level)

江中下游的水汽输送往往都偏弱(强),使该地区降水偏少(多)。

上述分析结果表明,在湿韵律年,东亚冬季风和夏季风往往一致偏弱;相反,在干韵律年,东亚冬季风和夏季风往往一致偏强。因此,长江中下游地区冬、夏干湿韵律现象的出现可能与东亚冬、夏季风强弱变化有关。

3.3 干、湿韵律与东亚季风的关系

由于东亚季风系统变化的复杂性,以往研究对其理解和分析的切入点各有不同,因此出现多达数十种东亚季风指数的定义方式(高辉等,2003;高辉,2007;Wang, et al, 2008; Li, et al, 2010; 王宁, 2010; 李茜等, 2011; Liu, et al, 2012; 邵鹏程等, 2012; 刘舸等, 2013)。本研究在综合分析对比的基础上,选用了Chen等(2000)定义的东亚冬季风指数和Wang等(2008)定义的东亚夏季风指数来分别表征东亚冬、夏季风的强弱变化。

Chen等(2000)定义的东亚冬季风指数可以归类于风场特征类,表征西伯利亚冷高压向南爆发产生偏北风即是冬季风。东亚冬季风以低空风系为主要特征,对流层低层和地面经向风的变化在一定程度上可以反映冬季冷涌的强弱,通过对东亚两个区域的低层经向风场进行区域平均后相加,以此定义东亚冬季风指数(EAWM)

$$I_{EAWM} = \bar{V}_{10m}(25^{\circ}-40^{\circ}N, 120^{\circ}-140^{\circ}E) + \bar{V}_{10m}(10^{\circ}-25^{\circ}N, 110^{\circ}-130^{\circ}E) \quad (1)$$

可以看到,该指数越大,表示南风越强,东亚冬季风则越弱;反之,该指数越小,表示北风越强,东亚冬季风则越强。从图5a可以看到,该东亚冬季风指数与中国东部大部分地区的冬季降水量存在显著的正相关,表明东亚冬季风的偏弱(强)往往对应着长江中下游冬季降水的偏多(少)。

Wang等(2008)定义的东亚夏季风指数也可以归类于风场特征类,为了较好地反映夏季东亚风场变化与中国东部汛期降水的关系,将东亚热带季风槽区($5^{\circ}-15^{\circ}N, 90^{\circ}-130^{\circ}E$)与东亚副热带地区($22.5^{\circ}-32.5^{\circ}N, 110^{\circ}-140^{\circ}E$)夏季平均的850 hPa风场的纬向风距平差,定义为东亚夏季风指数(EASM):

$$I_{EASM} = U'_{850}(5^{\circ}-15^{\circ}N, 90^{\circ}-130^{\circ}E) - U'_{850}(22.5^{\circ}-32.5^{\circ}N, 110^{\circ}-140^{\circ}E) \quad (2)$$

当该指数偏大时,对应长江流域夏季降水偏少;

而当该指数偏小时,长江流域夏季降水易于偏多,即该东亚夏季风指数与长江中下游地区夏季降水成反相关(图5b)。

上述分析结果发现,长江中下游地区冬、夏干、湿韵律现象的出现可能与东亚冬、夏季风的强弱变化密切相关。为了进一步验证此猜测,对东亚冬季风和夏季风一致偏弱或偏强年(大于0.5个标准差强度的年份)中国160站冬季和夏季的降水距平分别进行了合成分析(图5c—f),可以清楚地看到,在东亚冬、夏季风一致偏弱年(共9年,其中湿韵律年有5年,占56%),中国长江中下游地区冬季和夏季的降水均明显偏多(图5c、d)。相反,在东亚冬、夏季风一致偏强年(共14年,其中干韵律年有9年,占64%),长江中下游地区冬季和夏季的降水均显著偏少(图5e、f)。尤其在夏季,冬、夏季风一致偏弱年与偏强年的降水异常中心均与干、湿韵律区非常吻合。这些结果进一步证实,长江中下游冬、夏干、湿韵律与东亚季风强弱变化存在密切联系。

从东亚冬季风和夏季风指数的散点分布(图6,用不同颜色区分长江中下游冬、夏干、湿韵律年)可以看出,干韵律年多分布在第一象限,对应东亚冬、夏季风一致偏强的情况;湿韵律年多分布在第三象限,对应东亚冬、夏季风一致偏弱的情况;而无韵律年则分布在各个象限之中。进一步的统计分析发现,在干(湿)韵律年,东亚冬、夏季风一致偏强(弱)的发生概率为50%(50%),远高于东亚冬、夏季风其他强度配置组合的发生概率(表2);尤其是在大于0.5个标准差的典型干(湿)韵律年,东亚冬、夏季风一致偏强(弱)的发生概率高达56%(80%)。由此表明,当东亚冬、夏季风强弱变化一致时,中国长江中下游地区易于出现冬夏干湿韵律现象,与上述分析结果一致。

4 结论和讨论

基于中国160站1952—2013年的月平均降水观测资料,研究了中国冬季和夏季降水的准半年韵律现象。分析结果指出,长江中下游地区存在显著的冬、夏干、湿韵律现象,即当该地区冬季12—1月降水异常偏少(偏多)时,后期夏季6—7月降水也倾向于异常偏少(偏多)。这种冬、夏干、湿韵律现象的存在,为长江中下游地区汛期降水预测提供了重要的前兆信号。

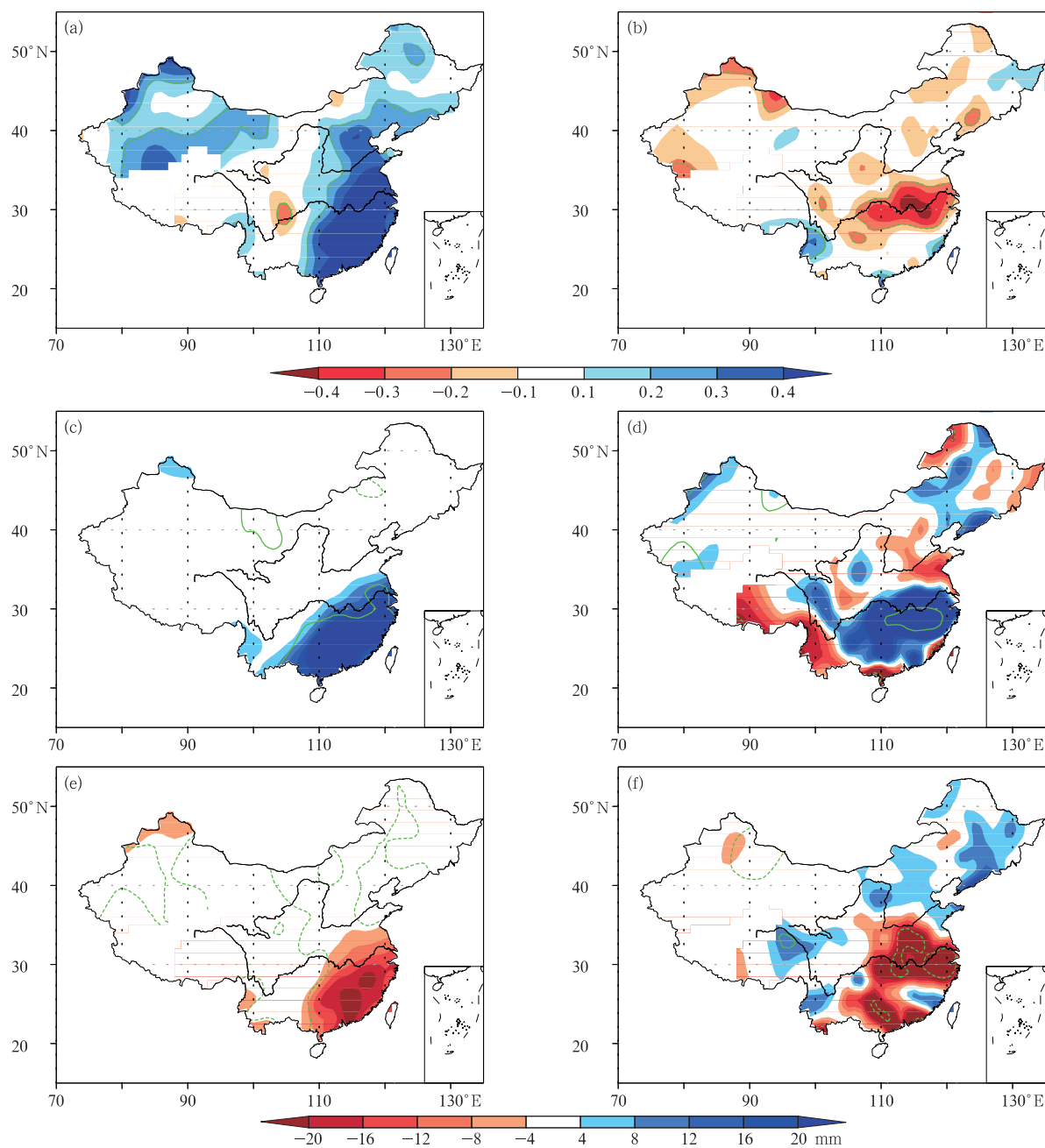


图5 1952—2013年东亚冬季风(a)和东亚夏季风(b)指数与中国160站降水的相关系数分布以及东亚冬季风和夏季风一致偏弱(c,d)/偏强(e,f)年冬季(c/e)和夏季(d/f)降水距平的合成分布
(绿色等值线表示通过90%显著性检验)

Fig. 5 Correlation distribution of the East Asian winter (a) and summer (b) monsoon indices and precipitation in the 160 China stations, and the composite distribution of winter (c/e) and summer (d/f) precipitation anomalies corresponding to the weaker (c,d)/stronger (e,f) East Asian winter and summer monsoon years from 1952 to 2013

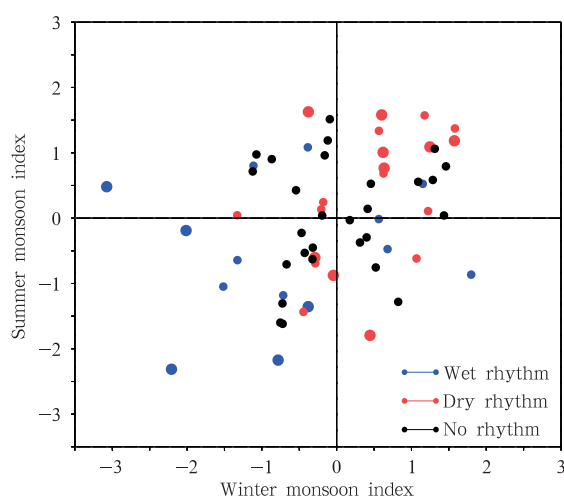


图6 1952—2013年东亚冬季风和夏季风指数的散点分布
(蓝(红)色表示湿(干)韵律年,黑色为无韵律年;
较大圆点表示大于0.5个标准差的干湿韵律年)

Fig. 6 Scatter diagram of the East Asian winter and summer monsoons indices from 1952 to 2013

(The blue (red) dot indicates wet (dry) rhythm years, and the black dot indicates no rhythm years. The bigger dot indicates the dry/wet rhythm years above the 0.5 standard deviation)

表2 1952—2013年长江中下游地区冬夏干湿韵律年东亚冬季风和夏季风不同强度配置的发生概率
Table 2 Occurrences (percentage) of the different configurations of the East Asian winter and summer monsoons with respect to the dry/wet rhythm years over the mid-lower reaches of the Yangtze River during 1952–2013

	总年份	强冬/强 夏季风	弱冬/弱 夏季风	强冬/弱 夏季风	弱冬/强 夏季风
湿韵律年	14	1(7%)	7(50%)	3(21%)	3(21%)
	5	0(0%)	4(80%)	0(0%)	1(20%)
干韵律年	20	10(50%)	4(20%)	2(10%)	4(20%)
	9	5(56%)	2(22%)	1(11%)	1(11%)

注:表中加粗字体为大于0.5个标准差的典型干湿韵律年份。

为了探索长江中下游冬、夏干、湿韵律现象的可能形成原因,进一步分析了典型干湿韵律年水汽输送和环流异常特征,并讨论了干、湿韵律与东亚季风强、弱变化的关系。结果表明,在湿韵律年冬季,东亚地区500 hPa位势高度距平呈现“东高西低”的分布型,东亚大槽往往偏弱,中国南方东部主要受偏南风异常控制,这有利于低纬度暖湿气流向长江中下游地区输送,进而导致该地区冬季降水偏多;在次年夏季,菲律宾至东北亚地区上空500 hPa高度距平呈“+ - +”分布型,菲律宾地区受反气旋异常控制,其西侧的偏南风异常有利于西南暖湿气流向中国东

部地区输送,使得长江中下游地区夏季降水也偏多。简言之,在湿韵律年冬季(夏季),东亚地区环流异常的分布与东亚冬(夏)季风偏弱年相似,均有利于长江中下游地区降水偏多;相反,在干韵律年冬季和夏季,环流异常的分布则分别与东亚冬季风和夏季风偏强年相似,皆不利于水汽向长江中下游地区输送,从而导致该地区降水偏少。

研究进一步证实,长江中下游地区的冬、夏干、湿韵律现象与东亚冬、夏季风活动的强度变化密切相关:干、湿韵律现象多在冬、夏季风强度变化一致的情况下出现,冬、夏季风一致偏强时多导致干韵律现象,而一致偏弱时易导致湿韵律现象。尽管如此,对于东亚季风活动如何调制长江中下游冬、夏干、湿韵律、以及这种韵律现象产生的根本物理成因仍不清楚,这将在下一步工作中进行探索。

致谢:感谢中国气象局国家气候中心陈丽娟研究员、张培群研究员给予的大量指导和帮助。感谢国家气候中心提供的月平均台站降水资料,感谢美国NOAA提供的NCEP/NCAR再分析资料。

参考文献

- 方之芳,张丽,程彦杰. 2005. 北极海冰的气候变化与20世纪90年代的突变. 干旱气象, 23(3): 1-11. Fang Z F, Zhang L, Cheng Y J. 2005. The decrease of the Arctic sea ice and the abrupt changes of sea ice in 1990s. Arid Meteor, 23(3): 1-11 (in Chinese)
- 高辉,张芳华. 2003. 关于东亚夏季风指数的比较. 热带气象学报, 19(1): 79-86. Gao H, Zhang F H. 2003. Discussion and comparison of East Asia summer monsoon index. J Trop Meteor, 19(1): 79-86 (in Chinese)
- 高辉. 2007. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表征. 气象学报, 65(2): 272-279. Gao H. 2007. Comparison of four East Asian winter monsoon indices. Acta Meteor Sinica, 65(2): 272-279 (in Chinese)
- 贾小龙,陈丽娟,高辉等. 2013. 我国短期气候预测技术进展. 应用气象学报, 24(6): 641-655. Jia X L, Chen L J, Gao H, et al. 2013. Advances of the short-range climate prediction in China. J Appl Meteor Sci, 24(6): 641-655 (in Chinese)
- 李德明,张隐君. 1979. 韵律预报方法的统计检验. 气象, 5(8): 27-28. Li D M, Zhang Y J. 1979. The statistical test of rhythm forecast method. Meteor Mon, 5(8): 27-28
- 李麦村. 1985. 大气环流的准半年重现现象与长期天气过程. 北京: 科学出版社, 1-14. Li M C. 1985. Quasi Half-Year Recurrence Phenomenon of the Atmospheric Circulation and Long-Range Weather Process. Beijing: Science Press, 1-14 (in Chinese)
- 李茜,魏风英,李栋梁. 2011. 近159年东亚夏季风年代际变化与

- 中国东部旱涝分布. 地理学报, 66(1): 25-37. Li Q, Wei F Y, Li D L. 2011. Interdecadal variations of East-Asian summer monsoon and drought/flood distribution over eastern China in last 159 years. *J Geogr Sci*, 66(1): 25-37 (in Chinese)
- 林学椿. 1991. 长期天气过程的隔季相关. 热带气象学报, 7(4): 348-354. Lin X C. 1991. Correlations at 5-7 month intervals in long-range weather processes. *J Trop Meteor*, 7(4): 348-354 (in Chinese)
- 刘舸, 宋文玲, 朱艳峰. 2013. 一个反映中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数的统计预测方法. 气象学报, 71(2): 275-285. Liu K, Song W L, Zhu Y F. 2013. A statistical prediction method for an East Asian winter monsoon index reflecting winter temperature changes over the Chinese mainland. *Acta Meteor Sinica*, 71(2): 275-285 (in Chinese)
- 刘惠霞. 1998. 用韵律、周期相结合做长期降水天气过程预报. 新疆气象, 21(6): 45-46. Liu H X. 1998. Long-range precipitation on weather process forecast with the combination of rhythm and cycle. *Xinjiang Meteor*, 21(6): 45-46 (in Chinese)
- 毛伟峰, 刘长征, 李维京. 2013. 因子的持续和转折对我国盛夏降水预测效果的影响. 气象, 39(9): 1176-1181. Mao W Y, Liu C Z, Li W J. 2013. Influence of continuity and transition of circulation factors on prediction of midsummer precipitation over China. *Meteor Mon*, 39(9): 1176-1181
- 邵鹏程, 李栋梁. 2012. 东亚冬季风指数的分类和比较. 气象科学, 32(2): 226-235. Shao P C, Li D L. 2012. Classification and comparison of East Asian winter monsoon indices. *Scientia Meteor Sinica*, 32(2): 226-235 (in Chinese)
- 王宁. 2010. 东亚冬季风指数研究进展. 地理科学, 27(Z1): 103-110. Wang N. 2010. Progress on researches of East Asian winter monsoon indices. *Scientia Geogr Sinica*, 27(Z1): 103-110 (in Chinese)
- 王绍武, 赵宗慈. 1982. 近十年来我国长期天气预报的进展. 气象科技, (5): 1-10. Wang S W, Zhao Z C. 1982. Advances of long-range weather forecast in China in the last ten years. *Meteor Sci Technol*, (5): 1-10
- 王绍武, 赵宗慈, 陈振华. 1983. 月平均环流异常的持续性与韵律性和海气相互作用. 气象学报, 41(1): 33-42. Wang S W, Zhao Z C, Chen Z H. 1983. The persistence and the rhythm of anomalies of monthly mean atmospheric circulation in relation to ocean-atmospheric interactions. *Acta Meteor Sinica*, 41(1): 33-42 (in Chinese)
- 魏凤英. 2011. 我国短期气候预测的物理基础及其预测思路. 应用气象学报, 22(1): 1-11. Wei F Y. 2011. Physical basis of short-term climate prediction in China and short-term climate objective prediction methods. *J Appl Meteor Sci*, 22(1): 1-11 (in Chinese)
- 吴晓红, 王绍武. 1996. 对流层大气环流的甚低频振荡. 气象学报, 54(4): 427-436. Wu X H, Wang S W. 1996. Very low frequency oscillations in the variations of tropospheric atmospheric general circulation. *Acta Meteor Sinica*, 54(4): 427-436 (in Chinese)
- 杨鉴初译. 1956. 苏联在天气过程韵律作用方面的新研究. 北京: 科学出版社, 1-79. Translated by Yang J C. 1956. The New Research on the Effects of Rhythm in Weather Progress in USSR. Beijing: Science Press, 1-79 (in Chinese)
- 臧恒范, 王绍武. 1983. 海温韵律与海冰的长期预报. 海洋学报, 5(2): 163-171. Zang H F, Wang S W. 1983. Long-range forecast of sea temperature and seawater. *Acta Oceanol Sinica*, 5(2): 163-171 (in Chinese)
- 曾庆存. 2013. 天气预报: 由经验到物理数学理论和超级计算. 物理, 42(5): 300-314. Zeng Q C. 2013. Weather forecast: From empirical to physico-mathematical theory and super-computing system engineering. *Physics*, 42(5): 300-314 (in Chinese)
- 张庆云, 陈烈庭. 1992. 东亚大气环流的低频振荡及与韵律的关系. 大气科学, 16(3): 333-338. Zhang Q Y, Chen L T. 1992. Low-frequency fluctuation of atmospheric circulation over East Asia and its association with the rhythmic phenomena. *Chin J Atmos Sci*, 16(3): 333-338 (in Chinese)
- 赵宗慈, 王绍武, 陈振华. 1982. 韵律与长期天气预报. 气象学报, 40(4): 464-474. Zhao Z C, Wang S W, Chen Z H. 1982. Rhythm and long-range weather forecasting. *Acta Meteor Sinica*, 40(4): 464-474 (in Chinese)
- Chen W, Graf H F, Huang R H. 2000. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Adv Atmos Sci*, 17(1): 48-60
- 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 Y Q, Yang S. 2010. A dynamical index for the East Asian winter monsoon. *J Climate*, 23(15): 4255-4262
- Liu G, Ji L R, Sun S Q, et al. 2012. Low- and mid-high latitude components of the East Asian winter monsoon and their reflecting variations in winter climate over eastern China. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 5(3): 195-200
- Namias J. 1978. Persistence of U. S. seasonal temperatures up to one year. *Mon Wea Rev*, 106(11): 1557-1567
- Wang B, Wu Z W, Li J P, et al. 2008. How to measure the strength of the East Asian summer monsoon. *J Climate*, 21(17): 4449-4463
- Yan H M, Yang H, Yuan Y, et al. 2011. Relationship between East Asian winter monsoon and summer monsoon. *Adv Atmos Sci*, 28(6): 1345-1356