

江淮流域夏季降水对前冬持续时间长短的响应*

苏涛¹⁾ 张世轩¹⁾²⁾ 支蓉^{2)†} 陈丽娟²⁾

1) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2) (国家气候中心, 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2012年10月19日收到; 2012年11月1日收到修改稿)

利用 NCEP/NCAR 再分析资料计算得到江淮流域 1961—2011 年前冬持续时间, 分析其时空变化特征, 并进一步探究它与后期江淮流域夏季降水的关系. 结果表明, 江淮流域前冬持续时间存在着明显的年际和年代际变化, 前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份的前冬温度低、气压高、北风强, 表明温度、气压、经向风可能是反映江淮流域前冬持续时间的关键因子, 且不同区域各气象要素对季节长度的影响存在一定差异; 1961—2011 年江淮流域前冬持续时间与该区域夏季降水呈显著正相关关系; 统计分析亦发现, 前冬持续时间显著偏长(偏短)的代表年份中, 夏季降水以偏多(偏少)为主; 对典型代表年份环流场进行合成分析发现, 前冬持续时间显著偏长时, 乌拉尔山与鄂霍次克海地区夏季易形成阻塞形势, 进而会对江淮流域夏季降水产生影响; 最后利用奇异值分解从空间场相关的角度探讨了两者的联系, 发现江淮流域夏季降水与前冬持续时间存在非常显著的关系.

关键词: 江淮流域, 季节划分, 前冬持续时间, 夏季降水

PACS: 92.60.Wc

DOI: 10.7498/aps.62.069203

1 引言

江淮流域地处中国东部, 受夏季风的影响, 夏季降水年际变率大, 易发生旱涝灾害, 如 1954 年、1991 年、1998 年的洪涝, 以及 1959 年、1961 年、1978 年的干旱, 都给该地区人民生产和生活造成了非常严重的损失. 因此, 探寻江淮流域夏季旱涝异常的前期信号, 并对夏季降水进行预测具有十分重要的意义.

以往的研究主要集中于从不同的角度揭示江淮流域夏季降水的成因, 例如早在 1962 年, 陶诗言等^[1]就指出, 江淮流域持久性旱涝与 500 毫巴高度场流型的持续性异常有密切联系; 宣守丽等^[2]的研究也表明, 夏季各月东亚高空急流位置、强度以及急流扰动的异常与我国淮河流域降水异常密切相关, 环流型的异常会影响江淮流域上空冷暖气流的强度, 进而影响该地区降水; 赵亮等^[3,4]发现厄尔尼诺 - 南方涛动 (ENSO) 循环可以通过影响东

亚夏季风环流异常的范围而使雨带位置发生变化, 而东亚夏季风强弱会使雨量发生变化; 赵勇和钱永甫^[5]则指出青藏高原东部和其以北区域的大尺度热力差异对江淮流域夏季降水有很好的指示性; 司东等^[6]的研究发现, 20 世纪 90 年代末由于江淮梅雨期东亚中纬度地区对流层明显增暖, 东亚副热带大气扩张, 导致东亚副热带急流北移, Hadley 环流圈拓宽北伸和中纬度西风带北移, 使得梅雨雨带向北移动, 导致长江以南降水减少, 长江以北降水增多.

综上所述, 以往的研究多从环流型的持续性异常、ENSO 循环、青藏高原的热力作用、水汽输送^[7]等角度揭示了江淮流域夏季降水的成因, 研究的影响因子多为同期要素, 缺少预测意义. 近来, 张世轩等^[8]利用多要素相似度量季节划分方法研究了中国东部地区前冬季节来临早晚与我国夏季雨带的联系, 发现前冬来临早晚与夏季雨型具有一定的对应关系. 而事实上, 夏季季节的长短决定了雨季的长短, 因而仅使用冬季季节来临时间不能

* 国家自然科学基金(批准号: 41175067, 41105055, 41275073)、国家重点基础研究发展计划(批准号: 2012CB955902)和公益性行业(气象)科研专项(批准号: GYHY200806005, GYHY201106016)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: zhirong@cma.gov.cn

全面地把握冬季特征对夏季降水的影响, 而使用冬季季节持续时间作为指标, 既包含了冬季来临时间也包含了结束时间, 能够更为全面地代表前冬季节长短与夏季降水的关系. 因此, 本文利用季节划分方法计算江淮流域冬季持续时间, 并进一步探讨了江淮流域夏季降水对前期冬季持续时间长短的响应, 然后利用奇异值分解从空间场相关的角度探讨了两者的联系, 结果显示二者关系密切, 江淮流域前冬持续时间是其夏季降水多寡的一个显著前期信号.

2 资料和方法

2.1 分区与资料

根据王遵娅^[9]提出的气候分区方法, 本文江淮流域的选取范围为 (27.5—35°N, 107.5—122.5°E). 使用的资料主要包括:

1) NCEP/NCAR 提供的 1960—2011 年日平均再分析资料, 主要包括地面温度、气压、相对湿度、经向风和纬向风; 1961—2011 年月平均再分析资料, 主要包括高度场、比湿、地面气压、经向风和纬向风等, 分辨率均为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; 其中位于江淮流域 (27.5—35°N, 107.5—122.5°E) 的共有 28 (7×4) 个格点;

2) 中国气象局气象信息中心资料室提供的 1961—2011 年中国 160 站月平均降水资料, 选取江淮流域范围内的 34 个站点.

2.2 季节划分方法

张世轩等^[8]将利用多要素构造气候状态变量的观点^[10,11]应用于相似性度量季节划分方法上, 提出一种多要素相似度量季节划分方法. 本文主要根据此季节划分方法计算江淮流域前冬的起始、结束以及持续时间. 具体步骤简介如下.

将日平均温度、气压、相对湿度和风速 (分别用 P, T, R_H, U, V 表示) 资料进行候平均 (以 5 天为一候) 处理, 得到各个要素的候平均资料序列; 然后利用上述要素在空间上构造一个气候态变量 $\mathbf{F}(t)$, 其表达式如下:

$$\mathbf{F}(t) = (P, T, R_H, U, V), \quad (1)$$

取 1 月和 7 月的平均场分别作为冬季和夏季的典型气候状态场 (分别记为 \mathbf{F}_w 和 \mathbf{F}_s), 消去其两者

的公共部分 $\mathbf{F}^* = 1/2(\mathbf{F}_w + \mathbf{F}_s)$, 得到偏差量 \mathbf{F}'_w 和 \mathbf{F}'_s ; 然后计算各候气候变量 $\mathbf{F}(t)$ 的偏差量 $\mathbf{F}'(t)$ ($\mathbf{F}'(t) = \mathbf{F}(t) - \mathbf{F}^*$). 并进一步计算各个时段偏差量 $\mathbf{F}'(t)$ 与 \mathbf{F}'_w (或 \mathbf{F}'_s) 的相似系数 $R(t)$:

$$R(t) \equiv (\mathbf{F}'(t), \mathbf{F}'_w) / [\|\mathbf{F}'(t)\| \cdot \|\mathbf{F}'_w\|], \quad (2)$$

上式右端各变量均为矢量, $R(t)$ 就可以表征某一候实际场与典型的冬季 (或夏季) 场的相似程度, 当实际场与典型场达到一定的相似度时 (即 $R(t)$ 达到一定量值), 便可将这一时间点 t 定义为季节的开始时间.

最后, 根据 $R(t)$ 的投影角 $\phi(t) = \arccos R(t)$ 给出四季的划分标准: 本文选取当 $0 \leq \phi(t) < \pi/4$ 为冬季开始, $3\pi/4 < \phi(t) \leq \pi$ 为夏季开始, $\pi/4 \leq \phi(t) \leq 3\pi/4$ 为春季或秋季开始, 各季节的终止日期即为下一个季节起始日期的前一天.

从构造的气候态变量的定义 $\mathbf{F}(t) = (P, T, R_H, U, V)$ 可以看出, 这一气候态变量综合考虑了气压、温度、湿度和风等气象要素, 这些气象要素能够全面地表征一定地点和特定时刻大气的基本特征, 因而能够比较准确地刻画各地区一年四季的演变.

3 江淮流域前冬持续时间与夏季降水的变化特征分析

3.1 江淮流域前冬持续时间与夏季降水的变化特征

利用第 2.2 节的季节划分方法计算得到 1961—2011 年江淮流域前冬平均持续时间序列 (图 1(a)); 图 1(b) 为 1961—2011 年江淮流域夏季降水距平百分率序列.

由图 1(a) 可见, 近 50 年江淮流域前冬平均持续时间约为 122 d, 前冬持续时间最长的年份是 1998 年, 为 140 d; 最短的年份是 1973 年, 仅为 106 d, 两者相差 34 d, 表明前冬持续时间的年际变率很大. 此外, 由前冬持续时间的标准化距平累加量曲线可以看到, 江淮流域前冬持续时间也同时具有非常明显的年代际变化: 1961—1980 年前冬持续时间存在逐渐缩短的趋势, 1980—2001 年左右则又逐渐增长, 2001 年之后逐渐变短. 而由图 1(b) 可见, 1961—2011 年江淮流域夏季降水距平百分率最大值为 32.5% (1998 年), 最小值为 -39.5% (1978 年),

表明江淮流域夏季降水的强度也存在很强的年际变化;由夏季降水距平百分率的标准化距平累加量曲线可见,江淮流域夏季降水在 1961—1979 年都是以偏少为主,1980 年之后降水逐渐增多,特别是 90 年代中期之后降水量增大趋势最为明显。

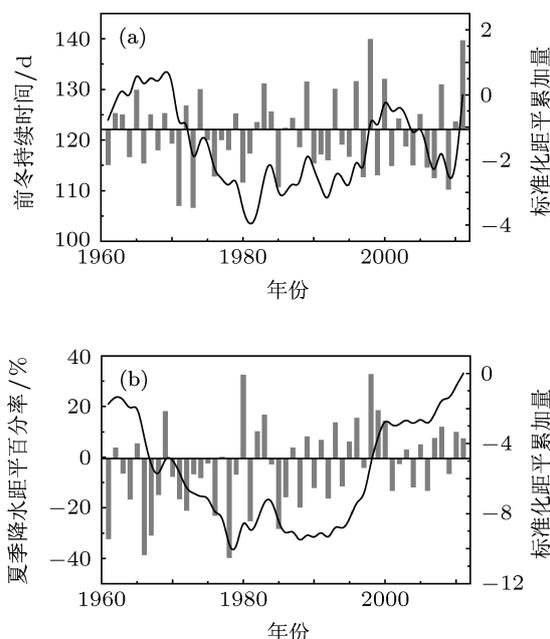


图 1 1961—2011 年江淮流域前冬持续时间 (a) 与夏季降水距平百分率; (b) 序列变化 (曲线为标准化距平累加量)

江淮流域 1961—2011 年前冬持续时间与夏季降水距平百分率的相关系数为 0.445, 置信水平达到 99%, 表明近 50 年江淮流域前冬持续时间与夏季降水存在显著的正相关关系。

3.2 江淮流域前冬持续时间与中国夏季降水的相关性分析

为了探究江淮流域前冬季节持续时间与夏季降水之间的联系, 本文计算了 1961—2011 年前冬持续时间序列与中国 160 站夏季降水距平百分率的相关分布, 得到时滞相关系数空间分布, 如图 2。

由图 2 可以看出, 江淮流域 1961—2011 年前

冬持续时间与中国 160 站降水的相关系数在江淮流域存在明显的高值区, 大部分区域置信水平都达到 95%, 表明江淮流域前冬持续时间与夏季降水存在显著的正相关, 即前冬持续时间显著偏长 (偏短) 时, 夏季降水偏多 (偏少)。

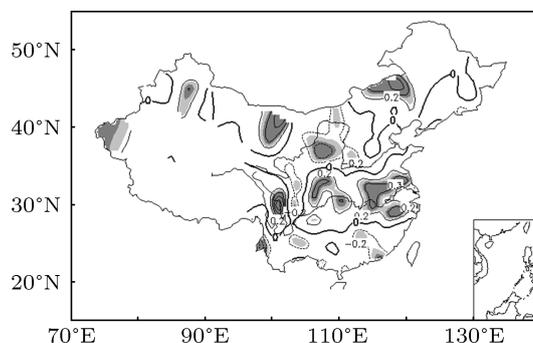


图 2 1961—2011 年江淮流域前冬持续时间与全国 160 站夏季 (6—8 月) 降水量相关系数分布图 (阴影区分别为置信水平达到 90%, 95% 的区域)

3.3 江淮流域前冬持续时间与夏季降水的统计分析

江淮流域 1961—2011 年前冬持续时间的标准偏差约为 8.0, 本文以此作为标准选取江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份作为典型代表年份, 并研究这些典型年份对应的夏季降水特征。前冬平均持续时间距平 (PWLA, preceding winter lengths anomalies, 单位: d) 与夏季降水距平百分率 (SRAP, summer rainfall anomalies percentage, 单位:%) 的对应关系见表 1。

由表 1 可见, 在前冬持续时间显著偏长的 8 年中, 除 1974 年 SRAP 为负值外, 其余年份 SRAP 均为正值, 即夏季降水偏多, 表明江淮流域前冬持续时间显著偏长时, 夏季降水易偏多; 而在前冬持续时间显著偏短的 9 年中, 1980, 1999, 2007 年 SRAP 为负值, 占 3/9, 其余年份 SRAP 均为正值, 占 6/9; 表明当江淮流域前冬持续时间显著偏短时, 夏季降水以偏少为主。

表 1 江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份对应的夏季降水距平百分率

偏长	1974	1983	1989	1996	1998	2000	2008	2011	
PWLA	8.6	9.7	10.1	10.2	18.5	10.6	9.5	18.2	
SRAP	-7.9	16.5	8.0	15.3	32.5	14.1	11.7	7.2	
偏短	1971	1973	1976	1980	1985	1997	1999	2007	2009
PWLA	-14.2	-14.6	-8.4	-9.6	-10.5	-8.5	-8.1	-8.6	-11.0
SRAP	-16.3	-6.5	-22.9	32.3	-28.1	-3.9	18.3	7.3	-6.4

3.4 江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份对应的气象特征分析

本文采用的季节划分方法是基于日平均温度、气压、相对湿度和风场来确定一年四季的起始与结束时间,并进而划定四季的长度,因此接下来分析江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份对应的日平均温度、气压、相对湿度和风场的差异,探究造成前冬持续时间长度出现差异的原因.为了得到有统计意义的结果,分别对上述气象要素进行统计假设检验^[12-14].此处为了便于分析,图3中计算前冬各气象要素差值时取的是前一年12月与当年1,2月的平均值.

由图3(a)可以看出,前冬持续时间显著偏长与偏短年份温度的差值在整个江淮流域均为负值,除东北部分地区外,其余地区置信水平平均达到95%,即江淮流域前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份温度低.由图3(b),江淮流域前冬持续时间显著

偏长年份比偏短年份气压高,除西部与东南部分地区外,其余地区置信水平平均达到95%.图3(c)是相对湿度的差值分布,可以发现整个江淮流域均未通过显著性检验,在西北与东南地区差值为正值,其余地区则为负值,表明江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份,相对湿度的差异并不明显,相对湿度对前冬持续时间的影响可能比较小.图3(d)是风场的差值分布,可以看到江淮流域中部与东部沿海地区置信水平平均达到95%,并且整个区域均为异常偏北风控制,说明江淮流域前期冬季持续时间显著偏长年份北风比偏短年份的强.

根据以上分析,江淮流域前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份温度低、气压高、北风强,而相对湿度的差异不是特别明显,表明温度、气压、经向风可能是影响江淮流域前冬持续时间的关键因子,而相对湿度的影响可能较小,并且在不同的区域各个气象要素对季节长度的影响也可能存在差异.

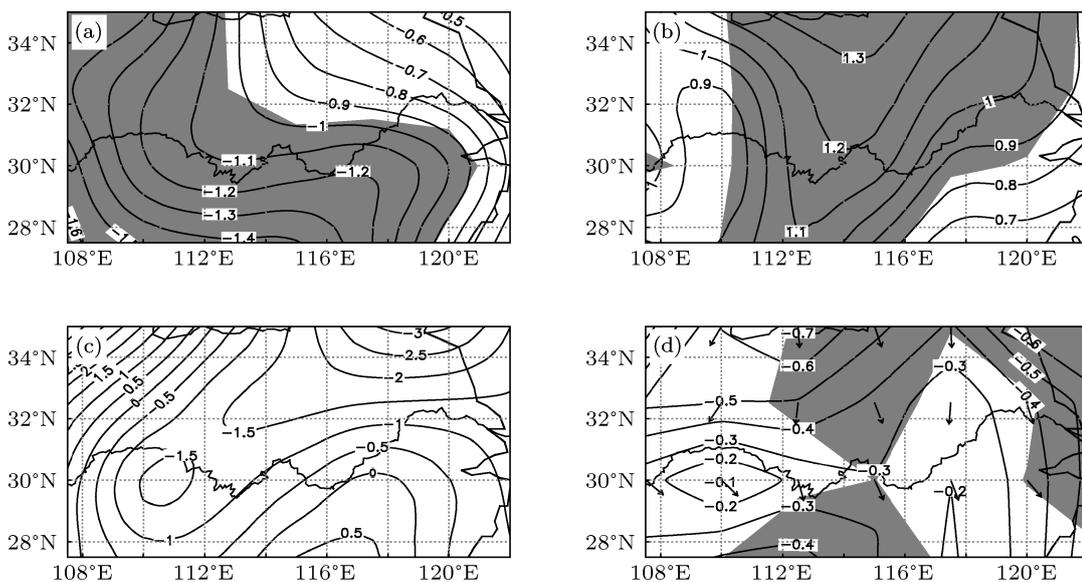


图3 持续时间显著偏长与偏短年份冬季(前一年12月与当年1,2月平均)地面温度(a),单位 $^{\circ}\text{C}$;气压(b),单位hPa;相对湿度(c),单位%;经向风和纬向风(d),单位m/s的差值分布(阴影区为置信水平达到95%的区域)

4 江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份夏季大气环流场和水汽输送场分析

江淮流域夏季降水与全球500 hPa环流形势关系紧密^[15],同时,夏季东亚地区上空夏季水汽输送通量与江淮流域降水也密切相关,水汽输送最大中心与最大降水中心有很好的对应,并且在水汽辐合带附近能够产生大量降水^[16-20],所以本文接下

来利用合成分析研究江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份夏季大气环流场与水汽输送通量场的异同,并进一步分析造成江淮流域夏季降水产生差异的原因.

4.1 前冬持续时间显著偏长与偏短年份对应的夏季环流场分析

首先,分别对前冬持续时间显著偏长与偏短年份的夏季500 hPa高度场,850 hPa风场进行合成分

析, 得到结果如图 4 所示.

由图 4(a), 前冬持续时间显著偏长时, 欧亚大陆中高纬度 500 hPa 高度场距平由西向东均呈现“+, -, +”的分布特点, 乌拉尔山、鄂霍次克海附近位势高度偏高, 贝加尔湖北部地区位势高度偏低, 江淮流域上空形成一个西风槽. 乌拉尔山、鄂霍次克海附近 850 hPa 风场各形成一个明显的反气旋式环流, 而贝加尔湖北部则形成了一个气旋性涡旋, 这种环流形势有利于欧亚大陆的偏冷空气向南输送, 导致江淮流域北部易受异常偏北风影响. 同时, 江淮流域南部则为异常偏南风, 南北气流在江淮流域上空形成了一条明显的切变线.

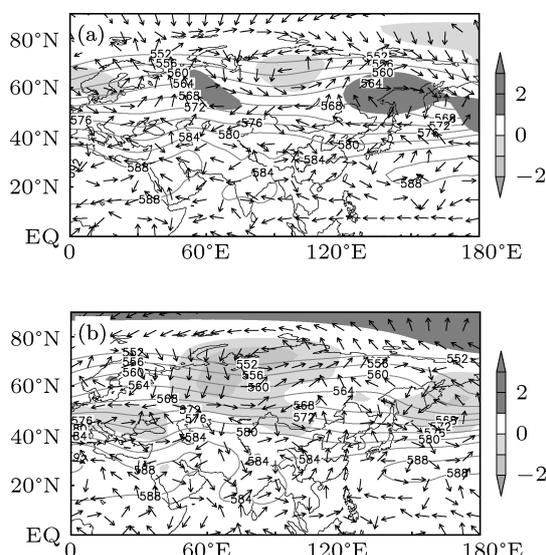


图 4 前冬持续时间显著偏长年份 (a) 与偏短年份 (b) 对应的夏季 500 hPa 高度场与 850 hPa 距平风场的合成分布 (阴影区为位势高度距平值, 等值线为位势高度, 单位 dagpm; 矢量线为距平风场, 单位 m/s)

当前冬持续时间显著偏短时 (图 4(b)), 乌拉尔山、鄂霍次克海附近地区 500 hPa 高度场位势高度偏低, 江淮流域西风带平稳. 同时, 乌拉尔山、鄂霍次克海附近地区 850 hPa 风场分别形成气旋性涡旋, 欧亚大陆上空的冷空气向江淮流域输送的强度比较弱, 江淮流域受异常偏南气流控制.

4.2 江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份夏季 500 hPa 高度场差值分析

由于 500 hPa 环流形势对江淮流域夏季降水能够产生很大的影响, 因此为了研究江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份夏季 500 hPa 高度场的差异, 本文接下来对它们的差值进行合成分析.

如图 5 所示, 江淮流域前冬持续时间显著偏长

与偏短年份夏季 500 hPa 高度场的差值分布, 在乌拉尔山与鄂霍次克海地区置信水平平均达到 95%, 表明前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份夏季乌拉尔山与鄂霍次克海地区 500 hPa 位势高度显著偏高, 因此乌拉尔山与鄂霍次克海地区易形成阻塞环流形势. 而相关研究也表明^[21-23], 夏季乌拉尔山与鄂霍次克海地区的阻塞高压对江淮地区降水有很大影响, 陆日宇和黄荣辉^[23]就指出阻塞高压日数多的年份基本上都是江淮地区的涝年, 而阻塞高压日数少的年份则都是江淮地区的早年. 因此, 可能正是 500 hPa 环流形势的这种显著性差异造成了江淮流域夏季降水的多寡.

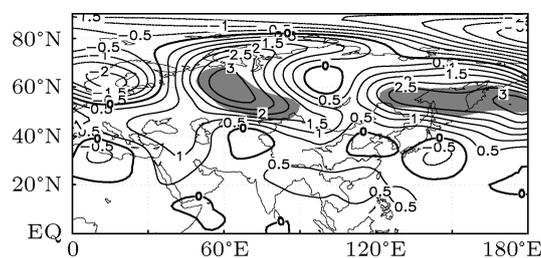


图 5 前冬持续时间显著偏长与偏短年份对应的夏季 500 hPa 高度场差值分布 (等值线为高度场差值, 单位 dagpm; 阴影区为置信水平达到 95% 的区域)

4.3 前冬持续时间显著偏短与偏短年份对应的夏季水汽输送场分析

江淮流域夏季降水同时受很多因子的共同影响, 而水汽条件始终是其中一个重要的因子. 江淮流域夏季降水的强度与水汽输送形势密切相关, 水汽输送的强弱、路径以及辐合辐散能够直接影响降水的强度与范围. 图 6 是江淮流域前冬持续时间显著偏长与偏短年份分别对应的水汽输送场, 它们明显存在着很大的差异.

我国夏季降水的水汽源地主要位于孟加拉湾、南海以及西太平洋等地区^[19]. 当江淮流域前冬持续时间显著偏长时 (图 6(a)), 江淮流域主要是受异常偏南的水汽输送控制, 图 6(a) 阴影区显示, 由南海向江淮流域的水汽输送明显异常偏强, 而来自孟加拉湾与西太平洋地区水汽输送则比较弱. 同时, 江淮流域北部则主要是异常偏北水汽输送, 南北暖湿、干冷空气在江淮流域交绥, 形成了一条明显的切变线, 进而形成锋区, 因而导致江淮流域降水偏多. 图 6(a) 中江淮流域大部分地区水汽输送通量距平散度均为负值, 也表明该地区存在异常水汽输送辐合. 前冬持续时间显著偏短时 (图 6(b)), 江淮流域受异常偏南水汽输送控制, 南海与西太平洋等地区

的南方暖湿水汽输送较强,而来自欧亚大陆的北方干冷空气活动比较弱,冷暖空气难以在江淮流域辐合,导致江淮流域降水相对偏少.图 6(b)中,江淮流域大部分地区水汽输送通量距平散度均为正值,也表明该地区水汽输送存在异常辐散,因而不利于在该区域形成降水.此外,根据 4.1 节的分析,水汽输送形势与 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场也存在很好的对应关系,说明大气环流形势与水汽输送存在非常紧密的联系.

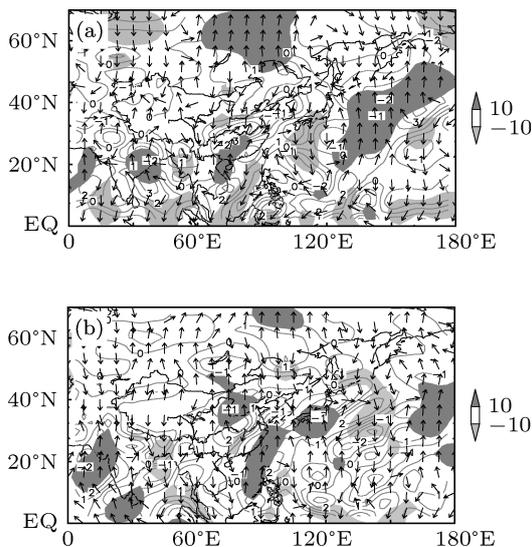


图 6 前冬持续时间显著偏长年份 (a) 与偏短年份 (b) 对应的夏季整层 (垂直积分从地面气压至 300 hPa) 水汽输送通量场的合成分布 (阴影区为经向水汽通量距平,正值表示异常向北,负值表示异常向南,单位 kg/s; 矢量线为水汽输送通量距平,单位 kg/s; 等值线为水汽输送通量距平散度,单位 10^{-5} kg/m·s $^{-1}$)

5 江淮流域前冬持续时间与夏季降水的奇异值分解

奇异值分解是对两个场交叉协方差矩阵进行广义对角化运算,它能同时在时间和空间上考虑两个要素场的相互关系,并得到两要素场数对相关的空间分布,而且这种空间分布能最大解释要素场的方差 [24,25]. 为了研究江淮流域前冬持续时间与夏季降水之间相关场的空间结构,揭示两个场关系密切的地域分布,本文接下来利用奇异值分解探讨它们的联系.

根据采用的奇异值分解方法及分析的需要,以江淮流域 1961—2011 年 28 个格点的前冬持续时间为左场,34 个站点夏季降水距平百分率为右场,对它们进行 SVD 分解,得到奇异值和左、右奇异向量,这两个向量分别对应于江淮流域前冬持续时间和夏季降水场的空间分布型.

表 2 给出了江淮流域前冬持续时间与夏季降水场前 4 对奇异向量协方差占总方差的百分比、相应模态的相关系数、左右奇异向量对各自场的方差贡献率等指标.从表 2 中看出,前 4 对空间分布型可以解释总方差的 65.34%,这说明前 4 对奇异向量能表示出前冬持续时间与夏季降水场耦合作用的大部分特征,研究这 4 对奇异向量的对应关系,即可以较真实地反映前冬持续时间与夏季降水场的对应关系和特征,因此以下只分析前 4 对空间分布型的特征.

空间分布型在一定程度上反映了两个场的遥相关特征,每一对奇异向量分别对应于前冬持续时间和夏季降水场的一种空间分布型,成对空间分布型清晰地展示出两个场相关的空间结构.第一对奇异向量解释总方差的 22.38%,首先分析第一对空间分布型的特征即同性相关系数分布.

表 2 江淮流域前冬持续时间与夏季降水奇异值分解结果

奇异向量	第 1 对	第 2 对	第 3 对	第 4 对
协方差百分比/%	22.38	16.83	15.25	10.88
相关系数	0.60	0.52	0.54	0.64
PWLA 方差百分比/%	11.22	15.99	17.67	7.00
SRAP 方差百分比/%	9.47	6.73	4.98	6.54

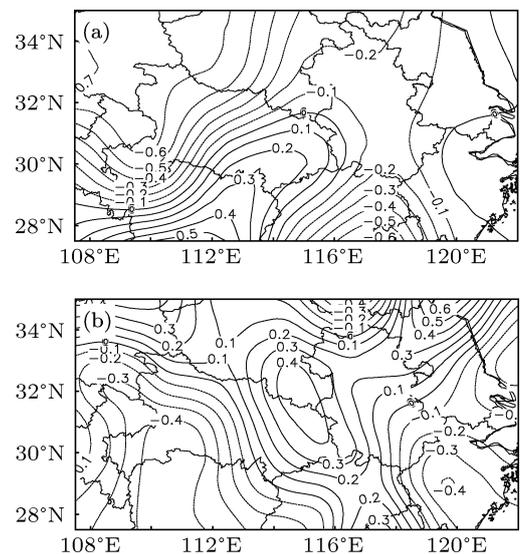


图 7 江淮流域前冬持续时间 (a) 与夏季降水 (b) 第一空间分布型

图 7 为第一对空间分布型,从图 7(a) 右奇异向量分布型看出,江淮流域除西南部分地区外,其余大部分地区都为负值区,西北大部分地区和江西省北部地区相关系数都小于 -0.3 ,置信水平达到 95% ($\alpha_{0.05} = 0.271$),部分地区相关系数甚至小于 -0.7 .

右奇异向量(图 7(b)) 的空间分布型表现为江淮流域西南、东南大部分地区是负值区, 西北、东北部分地区以及中部是正值区, 大部分地区置信水平都达到 95%.

图 8 为第二对空间分布型, 解释总方差的 16.83%. 由左奇异向量(图 8(a)) 其空间分布型可以看出, 江淮流域整个区域均为正值区, 这是全区域一致性分布型态, 并且绝大部分地区相关系数都在 0.4 以上, 置信水平达到 99% ($\alpha_{0.01} = 0.351$). 而从夏季降水场奇异向量(图 8(b)) 来看, 江淮流域西北、东南以及中部地区是正值区, 西南部以及江西省北部地区为负值区, 并且整个江淮流域绝大部分

地区均是正值区, 这表明当江淮流域前冬持续时间偏长时, 江淮流域夏季降水整体上是偏少的.

图 9 为第三对空间分布型, 解释总方差的 15.25%. 左奇异向量(图 9(a)) 与第二对左奇异向量(图 7(a)) 分布型比较一致, 均表现为全区域一致性正值区的分布型态, 高值区位于江淮流域中北部, 正值中心位于湖北北部和安徽北部, 可解释其原始场方差的 17.67%. 夏季降水场奇异向量(图 9(b)) 表现为江淮流域全区大部分地区均为正值区, 正值中心分别位于北部和南部地区. 而湖北省大部分地区与浙江省北部地区则是负值区, 负值中心分别位于湖北省西部和浙江省东部.

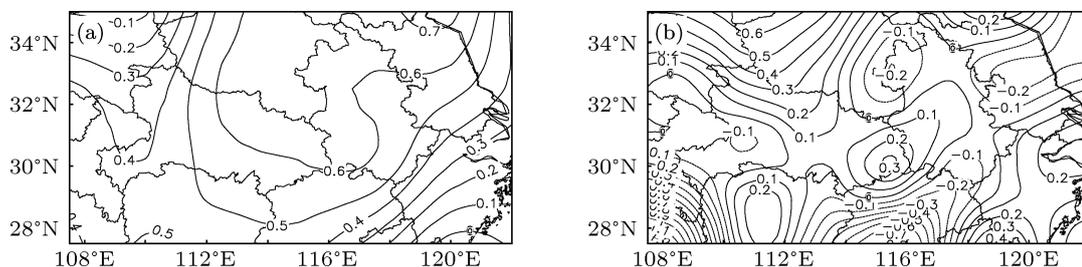


图 8 江淮流域前冬持续时间 (a) 与夏季降水 (b) 第二空间分布型

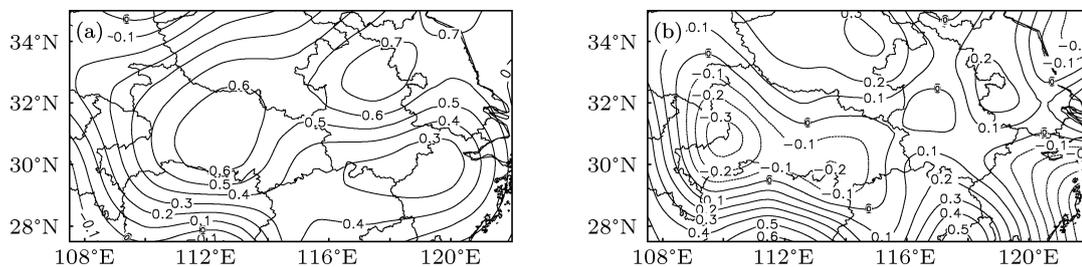


图 9 江淮流域前冬持续时间 (a) 与夏季降水 (b) 第三空间分布型

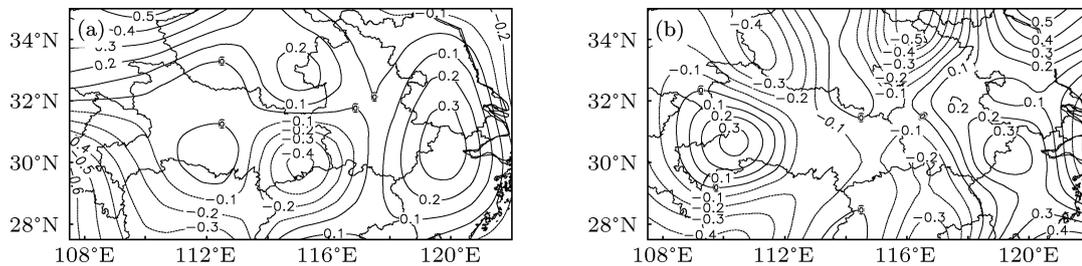


图 10 江淮流域前冬持续时间 (a) 与夏季降水 (b) 第四空间分布型

图 10 为第四对空间分布型, 解释总方差的 10.88%. 前冬持续时间奇异向量(图 10(a)) 表现为江淮流域西南部为负值区, 而西北与东南部则为正值区. 夏季降水场奇异向量(图 10(b)) 在湖北省西

部与江苏、浙江省大部地区是正值区, 其余部分则为负值区, 正值区位于湖北西部和江苏、浙江交界处, 负值中心位于河南西南部、安徽北部以及湖南中南部.

上述奇异值分解表明:江淮流域前冬持续时间与夏季降水存在明显的遥相关,由前四对奇异向量可以发现,江淮流域夏季降水与前冬持续时间呈现显著的正相关.本节利用奇异值分解得到的江淮流域前冬持续时间与夏季降水的空间分布型与3,4节根据统计、合成分析得到的结果也比较一致.

6 结论

中国大部分地区位于中纬度,季节变化明显,受太阳辐射的驱动,造成地面温度、降水、大气环流等发生调整,导致一年内春、夏、秋、冬四季的更替,因而四季的转变实际上反映的是气象要素和气候现象状态的变化^[26-30].本文利用多要素相似度量季节划分方法研究了江淮流域前冬持续时间的变化特征,并且进一步利用统计、合成分析与奇异值分解等方法分析了江淮流域夏季降水对前冬持续时间长短的响应,发现二者确实存在着一定的遥相关关系.主要结论如下:

1) 江淮流域前冬持续时间的年际变率很大,并且具有明显的年代际变化,1961—1980年前冬持续时间存在逐渐缩短的趋势,1980—2001年左右则又逐渐变长,2001年之后逐渐变短.此外,根据典型代表年份的合成分析可以发现,江淮流域前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份温度低、气压高、北风强,而相对湿度的差异不是特别明显,表明温度、

气压、经向风可能是影响江淮流域前冬持续时间的关键因子,并且在不同的区域各个气象要素对季节长度的影响也可能存在差异.

2) 1961—2011年江淮流域前冬持续时间与夏季降水指数的相关系数为0.445,置信水平达到99%,说明近50年江淮流域前冬持续时间与夏季降水指数存在显著的正相关关系.通过分析发现,前冬持续时间显著偏长年份比偏短年份夏季乌拉尔山与鄂霍次克海地区500 hPa位势高度高,而当乌拉尔山与鄂霍次克海地区形成阻塞形势时,易造成江淮流域夏季降水偏多.

3) 江淮流域前冬持续时间与夏季降水的奇异值分解表明,江淮流域前冬持续时间与夏季降水存在明显的遥相关.由前四对奇异向量可以发现,江淮流域夏季降水与前冬持续时间呈现显著的正相关关系.

以上为江淮夏季降水对前冬持续时间长短响应的初步结论,江淮流域位于东亚季风区,其夏季降水同时受夏季风、西太平洋副热带高压、极涡、阻塞形势、青藏高原的动力与热力作用等因素的共同影响^[31-35],并且各个因子之间的相互作用也很复杂,因此仅从其前冬持续时间依然是难以准确地确定其夏季降水的强度.本文的工作也仅是为江淮流域夏季降水的预报提供一定的参考,而如何合理利用这些结果预报我国夏季降水还需要更加深入的研究.

- [1] Tao S Y, Xu S Y 1962 *Acta Meteor. Sin.* **32** 1 (in Chinese) [陶诗言,徐淑英 1962 气象学报 **32** 1]
- [2] Xuan S L, Zhang Q Y, Sun S Q 2011 *Climat. Environ. Res.* **16** 231 (in Chinese) [宣守丽,张庆云,孙淑清 2011 气候与环境研究 **16** 231]
- [3] Zhao L, Zou L, Wang C L, Yin H B 2006 *J. Tropical Meteorol.* **22** 360 (in Chinese) [赵亮,邹力,王成林,尹洪波 2006 热带气象学报 **22** 360]
- [4] Zhao L, Zou L, Wang E H 2007 *Sci. Meteorol. Sin.* **27** 618 (in Chinese) [赵亮,邹力,王恩华 2007 气象科学 **27** 618]
- [5] Zhao Y, Qian Y F 2007 *Chin. J. Atmos. Sci.* **37** 154 (in Chinese) [赵勇,钱永甫 2007 大气科学 **37** 154]
- [6] Si D, Ding Y H, Liu Y J 2010 *Chin. Sci. Bull.* **55** 68 (in Chinese) [司东,丁一汇,柳艳菊 2010 科学通报 **55** 68]
- [7] Jiang Z H, Liang Z R, Liu Z Y, Zhu Y L 2011 *Chin. J. Atmos. Sci.* **35** 361 (in Chinese) [江志红,梁卓然,刘征宇,朱云来 2011 大气科学 **35** 361]
- [8] Zhang S X, Zhi R, Feng G L, Shen B Z 2012 *Chinese J. Atmos. Sci.* **36** 564 (in Chinese) [张世轩,支蓉,封国林,沈柏竹 2012 大气科学 **36** 564]
- [9] Wang Z Y 2004 *M.S. Dissertation* (Nanjing: Nanjing Institute of Meteorology) (in Chinese) [王遵娅 2004 硕士学位论文(南京:南京气象学院)]
- [10] Hou W, Sun S P, Zhang S X, Zhao J H, Feng G L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 109201 (in Chinese) [侯威,孙树鹏,张世轩,赵俊虎,封国林 2011 物理学报 **60** 109201]
- [11] Sun S P, Zhang L, Hou W, Feng G L 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 029201 (in Chinese) [孙树鹏,张璐,侯威,封国林 2011 物理学报 **60** 029201]
- [12] Shi N, Gu W B 1993 *Meteorological Monthly* **19** 32 (in Chinese) [施能,古文保 1993 气象 **19** 32]
- [13] Wu Z W, Li J P, Jiang Z H, Ma T T 2012 *J. Climate* **25** 2481
- [14] Shi N, Gu J Q, Huang X X, Liu J X, Gu Z 2004 *Chin. J. Atmos. Sci.* **28** 950 (in Chinese) [施能,顾骏强,黄先香,刘锦涛,顾泽 2004 大气科学 **28** 950]
- [15] Chen L T, Wu R G 1998 *Chin. J. Atmos. Sci.* **22** 849 (in Chinese) [陈烈庭,吴仁广 1998 大气科学 **22** 849]
- [16] Huang R H, Chen J L, Huang G, Zhang Q L 2006 *Chin. J. Atmos. Sci.* **30** 545 (in Chinese) [黄荣辉,陈际龙,黄刚,张启龙 2006 大气科学 **30** 545]
- [17] Shen L L, He J H, Zhou X J, Chen L X, Zhu C W 2010 *Acta Meteor. Sin.* **68** 918 (in Chinese) [申乐琳,何金海,周秀骥,陈隆勋,祝从文 2010 气象学报 **68** 918]
- [18] Shi X Y, Shi X H, Mao J F 2009 *Acta Geograph. Sin.* **64** 861 (in Chinese)

- Chinese) [施小英, 施晓晖, 毛嘉富 2009 地理学报 **64** 861]
- [19] Zhou X X, Ding Y H, Wang P X 2008 *Acta Meteor. Sin.* **66** 59 (in Chinese) [周晓霞, 丁一汇, 王盘兴 2008 气象学报 **66** 59]
- [20] Dai X G, Wang P, Zhang K J 2012 *Chin. Phys. B* **21** 119201
- [21] Zhang Q Y, Tao S Y 1998 *Acta Meteor. Sin.* **56** 199 (in Chinese) [张庆云, 陶诗言 1998 气象学报 **56** 199]
- [22] Zhang C J, Song L C, Li Y H 2004 *Acta Meteor. Sin.* **62** 119 (in Chinese) [张存杰, 宋连春, 李耀辉 2004 气象学报 **62** 119]
- [23] Lu R Y, Huang R H 1999 *Chin. J. Atmos. Sci.* **23** 533 (in Chinese) [陆日宇, 黄荣辉 1999 大气科学 **23** 533]
- [24] Wei F Y, Cao H X 1997 *Plateau Meteorology* **16** 174 (in Chinese) [魏凤英, 曹鸿兴 1997 高原气象 **16** 174]
- [25] Wei D M, Li C Y, Tan Y K 2011 *Climat. Environ. Res.* **16** 255 (in Chinese) [韦道明, 李崇银, 谭言科 2011 气候与环境研究 **16** 255]
- [26] Zhao J H, Feng G L, Zhang S X, Sun S P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 099205 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 张世轩, 孙树鹏 2011 物理学报 **60** 099205]
- [27] Dong W J, Jiang Y D, Yang S 2010 *Climatic Change* **99** 81
- [28] Thomson D J 2009 *Climatic Change* **22** 391
- [29] Choi G Y, Robinson D A, Kang S Y 2010 *Journal of Climate* **23** 5305
- [30] Trenberth K E 1983 *Bulletin American Meteorological Society* **64** 1276
- [31] Wang Z Y, Ding Y H 2009 *Chin. J. Geophys.* **52** 20 (in Chinese) [王遵娅, 丁一汇 2009 地球物理学报 **52** 20]
- [32] Huang J Y, Gao S T 2003 *Progress in Natural Science* **13** 206 (in Chinese) [黄嘉佑, 高守亭 2003 自然科学进展 **13** 206]
- [33] Zhang D Q, Feng G L, Hu J G 2008 *Chin. Phys. B* **17** 0736
- [34] Li F, Ding Y H 2004 *Acta Meteor. Sin.* **62** 347 (in Chinese) [李峰, 丁一汇 2004 气象学报 **62** 347]
- [35] Shen B Z, Zhang S X, Yang H W, Wang K, Feng G L 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 109202 (in Chinese) [沈柏竹, 张世轩, 杨涵洵, 王阔, 封国林 2012 物理学报 **61** 109202]

Summer precipitation response to the length of the preceding winter over yangtze-huaihe river valley*

Su Tao¹⁾ Zhang Shi-Xuan¹⁾²⁾ Zhi Rong^{2)†} Chen Li-Juan²⁾

1) (College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2) (National Climate Center, Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 19 October 2012; revised manuscript received 1 November 2012)

Abstract

By using NCEP/NCAR reanalysis datasets, the length of preceding winter (LPW) in the Yangtze-Huaihe River valley (YHRV) from 1961 to 2011 is derived. We investigate the variation of LPW and the relationship between LPW and following summer precipitation, and the results indicate that LPW clearly displays interannual and decadal changes in the period of 1961–2011. The variation of LPW is closely related to temperature, pressure and meridional wind speed, statistical analysis indicates that a longer LPW corresponds to a lower temperature, a higher pressure and a stronger meridional wind, which shows that temperature, pressure, meridional wind are probably the key factors of adjusting the LPW. These characteristics also vary from region to region. There is significantly positive correlation between the summer precipitation and LPW. The statistical analysis also indicates that the longer (shorter) the LPW, the more (less) the summer precipitation in YHRV is. The comprehensive analysis of the circulation field indicates that when LPW is significantly longer than climatic status, a blocking situation is formed easily in the region of Ural Mountains and the Sea of Okhotsk in the summer, which will affect the summer rainfall in YHRV. By using singular value decomposition method, it is found that the relationship between summer precipitation and LPW is also very significant.

Keywords: Yangtze-Huaihe river valley, season division, lengths of the preceding winter, summer flood season precipitation

PACS: 92.60.Wc

DOI: 10.7498/aps.62.069203

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41175067, 41105055, 41275073), the National Basic Research Program of China (Grant No. 2012CB955902), Special Scientific Research Fund of Meteorological Public Welfare Profession of China (Grant Nos. GYHY200806005, GYHY201106016).

† Corresponding author. E-mail: zhirong@cma.gov.cn