

王月,张强,顾西辉,等. 淮河流域夏季降水异常与若干气候因子的关系. 应用气象学报,2016,27(1):67-74.
doi:10.11898/1001-7313.20160107

淮河流域夏季降水异常与若干气候因子的关系

王月¹⁾²⁾³⁾ 张强^{1)2)*} 顾西辉¹⁾²⁾ 孔冬冬¹⁾²⁾

¹⁾(中山大学水资源与环境系,广州 510275)

²⁾(中山大学华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室,广州 510275)

³⁾(广西师范大学环境与资源学院,桂林 541004)

摘 要

基于旋转经验正交函数分解(EOF)方法探讨淮河流域 1961—2010 年夏季降水与厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)、北大西洋涛动(NAO)、印度洋偶极子(IOD)、太平洋年代际振荡(PDO)之间的关系,并进一步分析各气候因子不同位相单独以及联合对淮河流域夏季降水的影响。结果表明:淮河流域夏季降水与 ENSO, PDO, NAO, IOD 等气候因子具有较稳定的相关性,其中, PDO 和 IOD 是影响淮河流域夏季降水的关键因子,且 PDO 与夏季降水呈显著负相关关系;各气候因子的冷暖位相单独及联合对淮河流域夏季降水的影响不同, PDO 的冷期以及 NAO, IOD 冷位相使流域北部的夏季降水量呈显著增加趋势, PDO 分别联合 ENSO, NAO 和 IOD 的冷、暖位相相对流域北部地区和淮河上游地区的夏季降水影响显著。

关键词: 淮河流域; 夏季降水; 气候因子

引 言

淮河流域是我国十大流域之一,位于东部季风区,是重要的粮、棉、油的主产区之一,对保障我国粮食安全、促进经济和生态的可持续发展具有重要作用^[1]。已有大量研究表明,厄尔尼诺/南方涛动(El Niño/Southern Oscillation,简称 ENSO)是全球范围内大尺度海气相互作用的结果^[2],对全球气候变化产生显著影响^[3-4]。ENSO 与淮河流域降水异常之间有明显的相关性,ENSO 暖期(冷期)淮河流域冬、春季降水明显增多(减少)^[5]。淮河流域汛期降水与 ENSO 冷、暖位相的遥相关具有较为显著的阶段性特征^[6],流域的夏季降水与前期 ENSO 的对应关系则在 20 世纪 70 年代前后发生逆转^[7]。另有研究认为,除受 ENSO 影响外,淮河流域降水还受太平洋年代际振荡(Pacific Decadal Oscillation,简称

PDO)^[8-9]、北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation,简称 NAO)^[8]、北太平洋涛动(North Pacific Oscillation,简称 NPO)^[10]等多种气候因子影响。Wei 等^[9]研究发现,当 PDO 处于冷位相且东亚季风处于年代际偏弱时,淮河流域夏季降水呈增加趋势。郝立生等^[11]发现,受 ENSO 循环和 IOD 影响,淮河流域夏季多雨。

ENSO 通过影响东亚季风,进而对我国大部分区域夏季降水产生重要影响^[12]。此外,影响东亚季风的气候因子很多,包括 NAO, IOD, PDO 等^[13-14]。ENSO 影响东亚季风通常是 IOD 和 PDO 协调作用^[15]。利用 PDO 等气候因子与夏季降水的关系建立预测模型可对夏季降水进行预测^[16]。目前,综合多气候因子联合对淮河流域夏季降水影响的研究不多见。本文分析 ENSO, NAO, IOD 和 PDO 对淮河流域夏季降水的影响,并诊断这种影响的稳定性,辨别影响淮河流域夏季降水的主要气候因子,

2015-07-21 收到, 2015-11-02 收到再改稿。

资助项目: 国家杰出青年科学基金项目(51425903), 安徽省自然科学基金项目(1508085MD65)

* 通信作者, email: zhangq68@mail.sysu.edu.cn

以及各气候因子如何联合并对淮河流域夏季降水产生影响。本研究可为淮河流域夏季降水预测及淮河流域水资源管理与防灾减灾提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

本文选用 1961—2010 年淮河流域 35 个气象站逐日降水资料,该资料由中国气象局国家气象信息中心提供并经过质量控制,气象站分布见图 1。本文厄尔尼诺/南方涛动指数采用 ENSO Modoki 指数(简称 EMI),1961—2010 年逐月 EMI 数据取自日本海洋研究开发机构。1961—2010 年逐月 NAO, PDO 资料来源于美国国家海洋和大气管理局。1961—2010 年逐月 IOD 资料来源于日本海洋研究开发机构。ENSO, NAO, IOD, PDO 处于冷、暖位相的年份详见文献[17-19]。本文夏季为 6—8 月,夏季降水量是 6—8 月降水量之和。

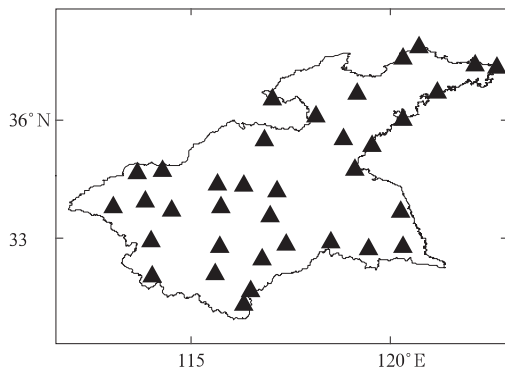


图 1 研究区域气象站分布

Fig. 1 Distributions of the study region and stations

1.2 方法

采用大气科学、海洋科学及地球物理学中常用的旋转经验正交函数分解(REOF)方法^[20-23]将淮

河流域 1961—2010 年夏季降水序列分解为空间模态(用 EOF 表示)和相应的时间系数(用 PC 表示)。考虑到气候因子能够影响流域当年与次年的降水,因此,采用相关分析方法研究前一年和当年气候因子分别与淮河流域夏季降水 REOF 主成分的相关系数,并进行显著性检验^[24]。同时,以 5 年为时间步长,计算各气候因子与夏季降水序列间的滑动相关系数,以探讨气候因子对淮河流域夏季降水序列影响的稳定性。分析各气候因子冷、暖位相时夏季降水变化的特征,计算冷位相夏季降水量相对于暖位相降水量变化的大小,并用曼-惠特尼 U (Mann-Whitney U) 方法^[25],检验冷、暖位相下夏季降水变化差异的显著性(下文中所指显著均为达到 0.05 显著性水平)。

2 气候因子对夏季降水的影响

2.1 夏季降水 REOF 因子的选取

对夏季降水距平序列经旋转经验正交分解后,前 5 个模态累积解释方差为 72.54%。对夏季降水序列进行 11 次旋转经验正交函数分解后,发现从第 6 个模态开始,解释方差发生急剧变化并趋近于 0,因此,保留前 5 个模态,其解释方差占总方差的比例分别为 12.88%,12.8%,11.23%,9.7% 和 8.05%。

2.2 气候因子对夏季降水时空分布影响

2.2.1 气候因子对夏季降水时间序列影响

为判断气候因子与淮河流域夏季降水的遥相关关系,分别计算前一年、当年各气候因子与夏季降水序列时间系数相关系数,超过 ± 0.25 为显著(表 1,表 2)。由表 1 和表 2 可知,夏季降水序列旋转经验正交函数分解的 PC3 与同年 PDO 呈显著负相关,而与前一年 IOD 呈显著正相关;而 PC4 则受同年 PDO 显著的负相关影响。

表 1 REOF 时间系数和前一年气候因子相关系数

Table 1 Correlation coefficients between the temporal pattern of the REOF and climate indices one year ahead

| 前一年气候因子 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ENSO | 0.06 | -0.04 | -0.02 | -0.08 | 0.11 |
| NAO | 0.17 | 0.11 | -0.15 | -0.17 | 0.18 |
| PDO | 0.004 | -0.08 | -0.09 | -0.19 | -0.17 |
| IOD | 0.15 | 0.23 | 0.30 | -0.04 | -0.19 |

表 2 REOF 时间系数和当年气候因子相关系数
Table 2 Correlation coefficients between the temporal pattern of the REOF and climate indices in current year

| 当年气候因子 | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ENSO | -0.06 | -0.03 | 0.03 | -0.13 | 0.05 |
| NAO | -0.13 | 0.01 | -0.14 | -0.20 | -0.02 |
| PDO | 0.12 | -0.05 | -0.41 | -0.33 | 0.10 |
| IOD | 0.02 | 0.03 | -0.12 | -0.12 | -0.04 |

2.2.2 气候因子对夏季降水空间模态影响

图 2 为淮河流域夏季降水序列 REOF 后的空间模态分布情况。由图 2 可知,夏季降水序列与空间模态相对应的 PC3,PC4 受到气候因子的显著影响(表 1 和表 2)。结合图 2 和表 1、表 2 可知,同一

年的负 PDO 和前一年的正的 IOD 分别引起流域北部山东沿海诸河、淮河水系的夏季降水的增加与减少(EOF3)。同一年负的 PDO 引起流域北部山东沿海诸河的夏季降水呈增加趋势(EOF4),这与 PC3 中 PDO 的影响一致。

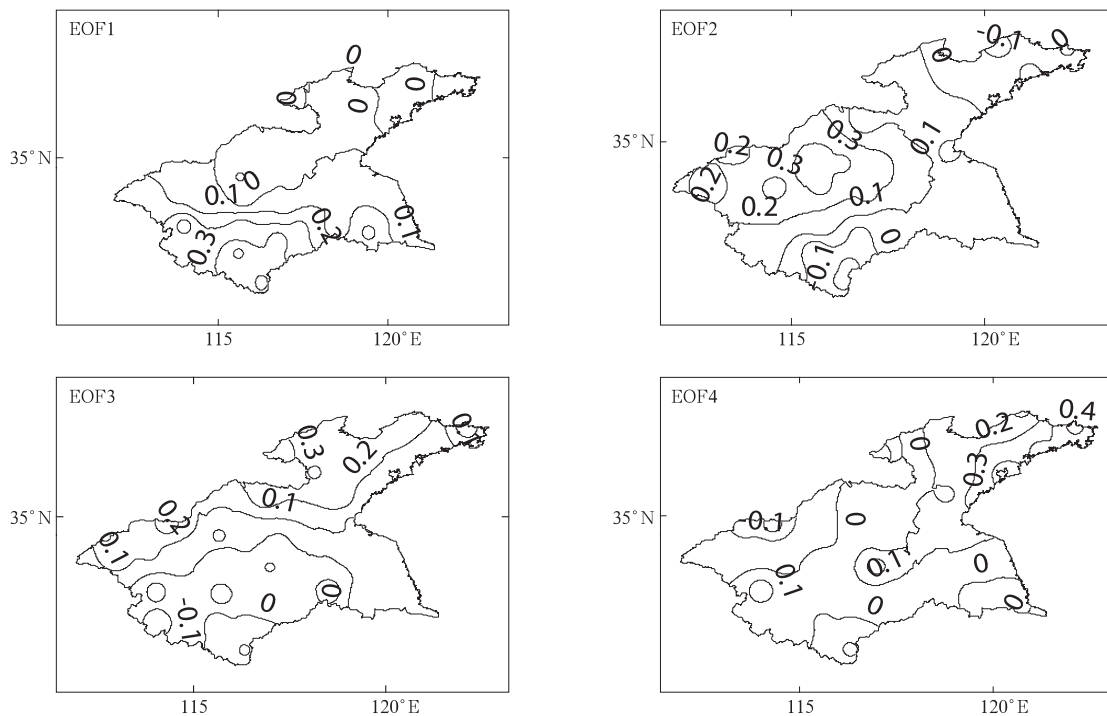


图 2 夏季降水距平序列 REOF 空间模态分布

Fig. 2 Four leading spatial patterns of REOF for summer precipitation anomalies

2.3 气候因子对夏季降水影响的稳定性

由于 ENSO,NAO,IOD 和 PDO 其遥相关的影响区域广阔,而在某一小区域范围内其影响随时间变化具有非平稳性。因此,在前文分析的基础上,研究 ENSO,NAO,IOD,PDO 与夏季降水序列 REOF 时间系数之间的滑动相关系数,这对基于气候因子的夏季降水预测非常重要。从 1961 年开始,至少 21 年的时间间隔,以 5 年为步长,构造滑动窗口,计算 REOF 时间系数和气候因子不同时间尺度

(1961—1981 年最终滑动到 1991—2011 年)的相关系数。

由计算结果可知,前一年 ENSO 对 PC5 的正相关影响逐渐加强,且对 PC2,PC3,PC4 的负相关逐渐减弱,对 PC1 的弱负相关在 1971 年之后转为弱正相关。前一年 NAO 对 PC1,PC2 有较稳定的弱的负相关影响,而对 PC3,PC4 的影响较弱,对 PC5 的正影响逐渐加强。前一年 IOD 对 PC1 的影响不明显,对 PC2,PC3 的正相关影响和对 PC5 的弱负

相关影响逐渐增强。前一年的 PDO 对 PC1, PC2, PC5 影响较弱,对 PC3 和 PC4 由负相关关系转为弱的正相关关系。与前一年的气候因子的影响不同,同一年的 ENSO 对 PC1, PC2, PC5 影响不明显,且对 PC3 的影响由弱负相关在 1971 年后转为正相关并逐渐增强,对 PC4 的负相关影响较弱。同一年 NAO 对 PC1, PC2, PC5 的影响较弱,但对 PC4 的负相关影响逐渐增强。同一年 IOD 对 PC1, PC2, PC5 的影响较弱,对 PC3, PC4 的弱的负相关影响较稳定。同一年的 PDO 对 PC3 的负相关影响比较稳定,对 PC1, PC2 的弱的正相关和负相关影响有弱的增强趋势,对 PC4 的负相关影响逐渐减弱,而对 PC5 的弱正相关有增强趋势。

综上所述,结合表 1、表 2 和图 2,夏季降水距平序列的 REOF 时间系数与对其有显著影响的气候因子,两者之间的不同时间尺度的滑动相关往往具有较强相关程度及前后相关一致性且相关程度较稳定(如当年 PDO 与 PC3,前一年 IOD 与 PC3 等),

有利于基于气候因子对夏季降水进行预测。由于 ENSO, NAO 和 IOD 均具有数年的周期, PDO 则具有数十年的年代际振荡周期,因此, PDO 对淮河流域夏季降水年代际影响较大,且影响较稳定,而 ENSO 和 NAO 主要对夏季降水的年际变化产生影响且年际变化较明显(如当年 ENSO 与 PC1, PC2 等)。就气候因子而言,相比 ENSO 和 NAO, PDO 和 IOD 对夏季降水的 REOF 时间系数不同时间尺度的影响更具平稳性,其中,IOD 对夏季降水距平的 REOF 时间系数整体上均有较强的平稳性且具有趋于加强的相关程度。因此,在选择气候因子作为夏季降水预测的指示标识时,IOD 和 PDO 可能是较好的选择。

3 气候因子对夏季降水影响的综合分析

3.1 单一气候因子的影响

图 3 给出的是在 ENSO, PDO, NAO, IOD 不同

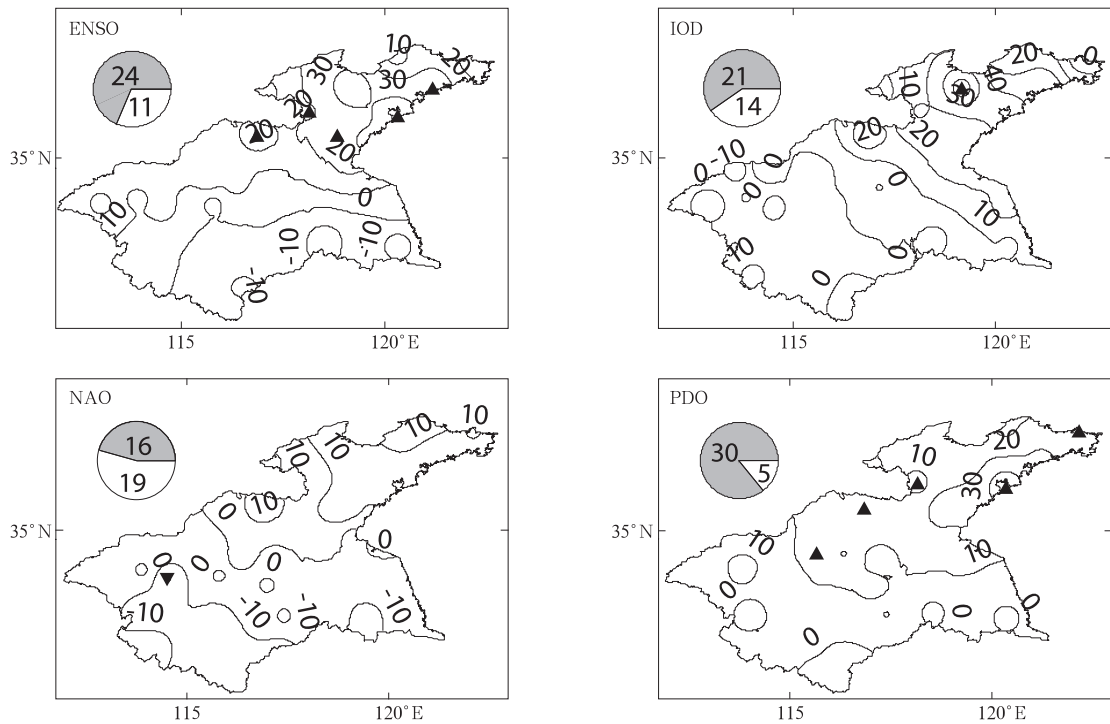


图 3 单一气候因子不同冷、暖位相(时期)对夏季降水的影响(单位:%)

(饼图中,灰色区域代表上升的站点,白色区域代表下降的站点;▲代表显著上升,▼代表显著下降)

Fig. 3 Precipitation anomaly for cold and warm periods of each climatic index in summer(unit:%)

(the gray area in the pie bar denotes the number of stations with increasing, and the white area in the pie bar denotes the number of stations with decreasing; ▲denotes significant increasing, ▼denotes significant decreasing)

冷、暖位相下淮河流域夏季降水的差异性。选取冷位相(时期)对应年份下的夏季降水序列平均值与暖位相(时期)对应年份下的降水序列平均值之差除以暖位相(时期)对应年份下的降水序列平均值,差异显著性采用 Mann-Whitney *U* 方法进行检验。

由图 3 可知,对于 ENSO 而言,冷位相相对于暖位相的降水量增加的有 24 个站,集中分布在淮河上游和流域北部的山东沿海诸河,其中,有 5 个站达到 0.05 显著性水平;流域南部淮河水系中下游地区有 11 个站在 ENSO 冷位相降水量低于 ENSO 暖位相降水量。对于 IOD 而言,冷位相相对于暖位相的降水量增加的有 21 个站,集中分布在流域东北部的山东沿海诸河,其中,在潍坊差异最大,达到 55.12%。NAO 冷、暖位相下的夏季降水量的异常与 ENSO 较相似,在流域的西北部呈增加趋势,而在流域南部的淮河水系有 19 个站呈下降趋势,其中,下降幅度最大的是西华,下降幅度为 20.36%。对于 PDO 而言,冷时期相对于暖时期的降水量增加的站达 30 个,主要分布在流域北部的山东沿海诸河,且有 5 个站达到 0.05 显著性水平;仅在流域的南部有 5 个站

呈下降趋势,且下降幅度不大,这与文献[9]的结果一致,当 PDO 处在冷位相时,淮河流域夏季降水呈增多趋势。这可能是影响淮河流域夏季降水的大气环流形势发生异常变化^[9]、东亚夏季风环流异常强弱范围而使雨带位置发生变化导致的^[26]。

综上所述,ENSO,NAO,IOD,PDO 的冷位相(时期)比暖位相(时期)的流域北部、东北部夏季降水量有显著增加,而对流域南部的淮河水系影响则有不同程度减少。

3.2 气候因子对降水影响的综合分析

不同位相(时期)下单个气候因子对夏季降水的影响差异较大(图 3),也意味着同一地区同时受不同位相(时期)气候因子的影响。因此,分析气候因子不同位相(时期)对夏季降水的联合影响具有重要意义。ENSO,NAO 和 IOD 均具有数年的周期,而 PDO 则具有数十年的周期变化。ENSO,NAO 和 IOD 冷、暖位相分别耦合 PDO 冷暖时期下的 6 种情形(表 3),夏季降水差异性见图 4,图 4 中的 A~F 情形分别对应表 3 中的 6 种情形。

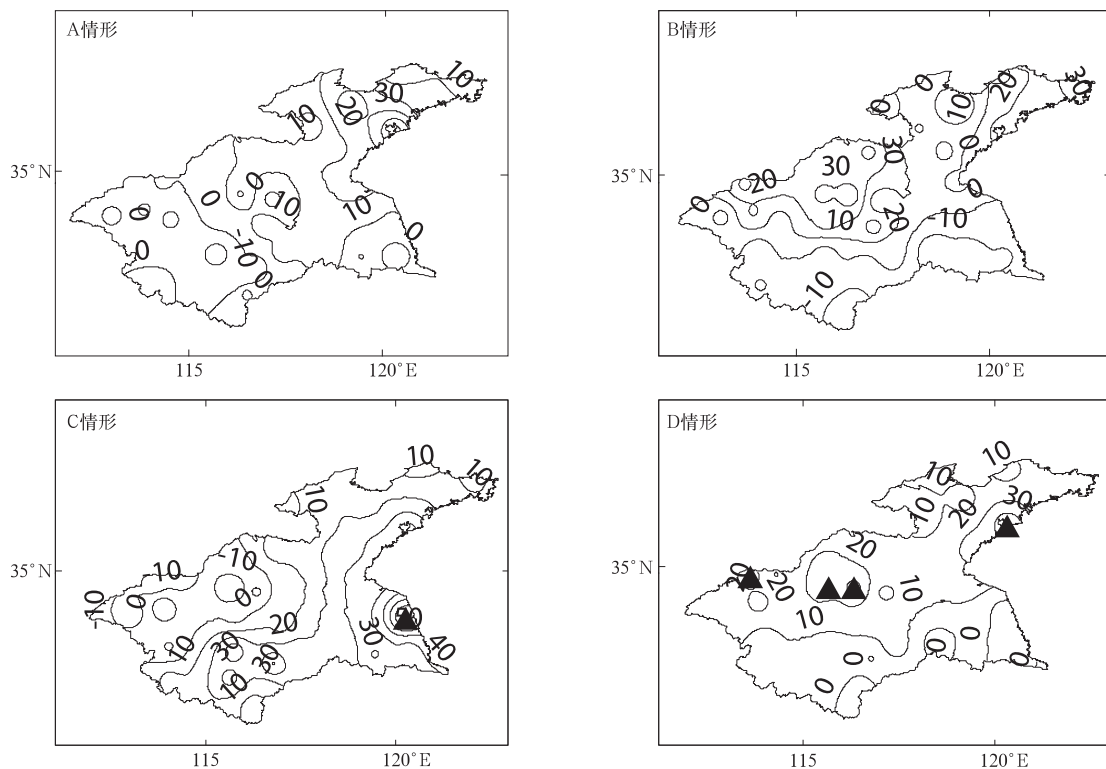
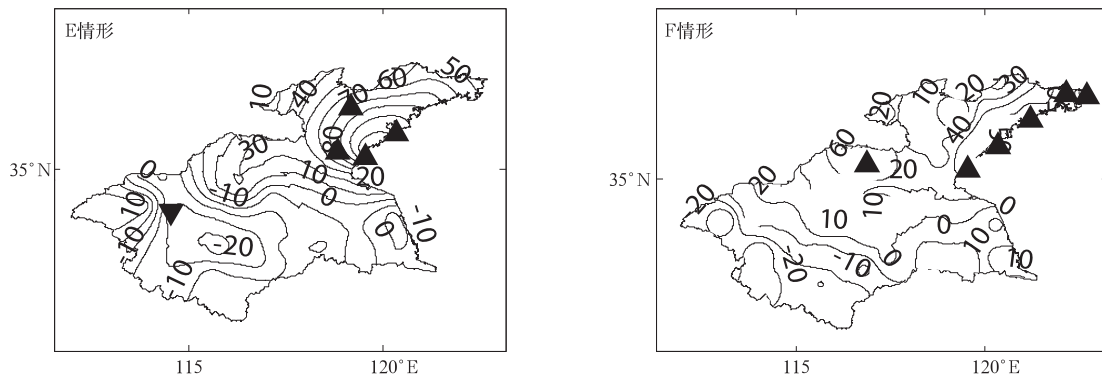


图 4 多气候因子联合对夏季降水的影响(单位:%;▲代表显著上升,▼代表显著下降)

Fig. 4 Impacts combined with different periods of two climate indicis on summer precipitation(unit:%)
(▲denotes significant increasing, ▼denotes significant decreasing)



续图 4

表 3 各气候因子不同位相组合的情况
Table 3 Different combinations of climatic indices

| 情形 | 气候因子位相 |
|----|-----------------------------------|
| A | ENSO 冷位相/PDO 冷位相—ENSO 冷位相/PDO 暖位相 |
| B | ENSO 暖位相/PDO 冷位相—ENSO 暖位相/PDO 暖位相 |
| C | NAO 冷位相/PDO 冷位相—NAO 冷位相/PDO 暖位相 |
| D | NAO 暖位相/PDO 冷位相—NAO 暖位相/PDO 暖位相 |
| E | IOD 冷位相/PDO 冷位相—IOD 冷位相/PDO 暖位相 |
| F | IOD 暖位相/PDO 冷位相—IOD 暖位相/PDO 暖位相 |

由图 4 可知,在 PDO 冷时期,ENSO 无论处于冷位相还是暖位相时,流域南部淮河水系大部分区域的夏季降水量呈下降趋势,这与图 3 中 ENSO 冷位相引起流域南部降水减少相似。但在流域北部,无论 ENSO 处于冷位相还是暖位相,由于 PDO 的冷期影响,这一区域的降水量增加并不显著,这与单独 ENSO 冷位相影响下的流域北部降水显著增加差异较大。NAO 暖位相在 PDO 冷时期下,流域北部、西部区域降水量大幅度增加,增加了区域性洪涝灾害的风险。NAO 冷位相在 PDO 冷时期下,使流域南部和北部区域的降水量增大,尤其在淮河的下游地区增加幅度较大,应密切关注这种气候信号的发生,以预防洪涝灾害。在 PDO 冷时期,IOD 无论是冷位相还是暖位相,均使流域北部和东北部区域降水显著增多,且在 IOD 的暖位相有 6 个站达到 0.05 的显著性水平,这意味着在流域北部,在 PDO 冷时期要注意 IOD 的发生,及早做好预防洪涝灾害发生的准备。

PDO 分别联合 ENSO,NAO 和 IOD 对夏季降水的影响改变了各气候因子单独影响的正负方向和空间分布(图 4)。气候因子之间的联合涛动对淮河流域夏季降水的影响在空间分布上并不是完全均匀,且没有明显清晰的变化模式可供识别,气候因子

联合涛动影响差异较大。如在 PDO 冷时期,NAO 暖位相、IOD 冷位相以及 IOD 暖位相的联合影响均使流域北部夏季降水显著增加。气候因子联合影响的空间分布非均匀性与单独影响空间分布也不具有一致性。从物理机制上分析气候因子联合涛动对淮河流域夏季降水的影响较复杂,但联合涛动对夏季降水的影响则具有相当程度的一致性,这为基于气候因子预测不同时期的夏季降水提供了参考,也可为预测洪旱灾害的发生提供预警信号。

4 结论与讨论

基于 REOF 方法将 1961—2010 年淮河流域夏季降水序列分别分解为空间模态和相应的时间系数,分析了气候因子(ENSO,NAO,IOD 和 PDO)对夏季降水的影响及其影响强度的时间稳定性,进一步评价了气候因子不同位相单独和联合影响夏季降水的空间变化规律,得到以下主要结论:

1) PDO,IOD 是影响整个淮河流域夏季降水的关键因子。其中,IOD 对淮河水系的影响显著,而 PDO,NAO 对山东沿海诸河及沂沭泗水系的联合影响比较显著。

2) 淮河流域夏季降水与气候因子之间具有稳定的相关性,这有利于基于大尺度气候因子对夏季降水进行预测,其中,PDO 和 IOD 可能是较好的选择。

3) ENSO,NAO,IOD,PDO 的冷位相(时期)相比暖位相(时期)淮河流域北部、东北部夏季降水量显著增加,而淮河流域南部的淮河水系则有不同程度减少。

4) PDO 分别联合 ENSO,NAO 和 IOD 的不同位相对淮河流域夏季降水影响不仅改变了各气候因

子单独影响的正负方向,更改变了其空间分布。流域北部山东沿海诸河的降水量在 PDO 联合 NAO 暖位相、IOD 冷位相和暖位相情况下均显著增加。

本文仅从统计诊断的角度分析表明,PDO,EN-SO,NAO 和 IOD 等气候因子的联合对淮河流域夏季降水异常产生影响,但影响的物理机制,特别是气候因子之间的相互作用仍需进一步探讨。此外,研究发现,除了气候因子外,青藏高原高原积雪、土壤湿度等因子也能够导致东亚夏季风的异常变化^[27-30],从而使淮河流域极端降水事件增多。有关各类因子对淮河流域夏季降水的综合影响有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 高歌,陈德亮,徐影. 未来气候变化对淮河流域径流的可能影响. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 741-748.
- [2] Jones D A, Trewin B C. On the relationships between the El Niño-Southern Oscillation and Australian land surface temperature. *International Journal of Climatology*, 2000, 20: 697-719.
- [3] Wang B, Wu R, Fu X. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *Climate*, 2000, 13: 1517-1536.
- [4] Raut B, Jakob C, Reeder M J. Rainfall changes over Southwestern Australia and their relationship to the Southern annular mode and ENSO. *J Climate*, 2014, 27(15): 5801-5814.
- [5] 信忠保,谢志仁. ENSO 事件对淮河流域降水的影响. *海洋预报*, 2005, 22(2): 38-46.
- [6] 叶正伟,许有鹏,潘光波. 江淮下游汛期降水与 ENSO 冷暖事件的关系. *地理研究*, 2013, 32(10): 1824-1832.
- [7] 高辉. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化. *应用气象学报*, 2006, 17(1): 1-9.
- [8] Xiao M Z, Zhang Q, Singh V P. Influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on seasonal precipitation regimes in the Yangtze River basin, China. *International Journal of Climatology*, 2014, doi: 10. 1002/joc.4228.
- [9] Wei F Y, Zhang T. Oscillation characteristics of summer precipitation in the Huaihe River valley and relevant climate background. *Sci China, Ser D: Earth Sci*, 2009, doi: 10. 1007/s11430-009-0151-7.
- [10] 周波涛,夏冬冬. 淮河流域夏季降水与前冬北太平洋涛动联系的年代际变化. *中国科学:地球科学*, 2013, 43: 547-555.
- [11] 郝立生,丁一汇,闵锦忠. 东亚季风环流演变的主要模态及其与中国东部降水异常的联系. *高原气象*, 2012, 31(4): 1007-1018.
- [12] 刘永强,丁一汇. ENSO 事件对我国天气气候的影响. *应用气象学报*, 1992, 13(4): 473-481.
- [13] Zhang Q, Xiao M Z, Singh V P, et al. Max-stable based evaluation of impacts of climate indices on extreme precipitation processes across the Poyang Lake basin, China. *Global and Planetary Change*, 2014, 122: 271-281.
- [14] Wang Y M, Li S L, Luo D H. Seasonal response of Asian monsoonal climate to the Atlantic Multidecadal Oscillation. *J Geophys Res*, 2009, 114: D02112.
- [15] Chakravorty S, Chowdary J S, Gnanaseelan C. Spring asymmetric mode in the tropical Indian Ocean: Role of El Niño and IOD. *Climate Dyn*, 2013, 40(5-6): 1467-1481.
- [16] Liu N, Li S H. Predicting Summer Rainfall over the Yangtze-Huai Region Based on Time-scale Decomposition Statistical Downscaling. *Amer Meteor Soc*, 2014, 29: 162-176.
- [17] Bai X Z, Wang J, Sellinger C, et al. Interannual variability of Great Lakes ice cover and its relationship to NAO and ENSO. *J Geophys Res*, 2012, 117: C03002.
- [18] Meyers G, McIntosh P, Pigot L, et al. The years of El Niño, La Niña, and interactions with the tropical Indian Ocean. *J Climate*, 2007, 20: 2872-2880.
- [19] Ouyang R, Lin W, Fu G, et al. Linkages between ENSO/PDO signals and precipitation, streamflow in China during the last 100 years. *Hydrology and Earth System Science*, 2014, 18: 3651-3661.
- [20] Hannachi A, Jolliffe I T, Stephenson D B. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(9): 1119-1152.
- [21] Zhang Q, Sun P, Li J F, et al. Spatiotemporal properties of droughts and related impacts on agriculture in Xinjiang, China. *International Journal of Climatology*, 2015, doi: 10. 1002/joc. 4052.
- [22] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.
- [23] Hannachi A, Jolliffe I T, Stephenson D B. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 2007, 27(9): 1119-1152.
- [24] 东高红,刘黎平. 雷达与雨量计联合估测降水的相关性分析. *应用气象学报*, 2012, 23(1): 30-39.
- [25] 裴浩,郝璐,韩经纬. 近 40 年内蒙古气候降水变化趋势. *应用气象学报*, 2012, 23(5): 543-550.
- [26] 赵亮,邹力,王成林,等. ENSO 年东亚夏季风异常对中国江淮流域夏季降水的影响. *热带气象学报*, 2006, 22(4): 360-366.
- [27] Yu R C, Wang B, Zhou T J. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. *Geophys Res Lett*, 2004, 31: L22212.
- [28] 吴统文,钱正安. 青藏高原冬春积雪异常与中国东部地区夏季降水关系的进一步分析. *气象学报*, 2000, 58(5): 570-581.
- [29] 孙丞虎,李维京,张祖强,等. 淮河流域土壤湿度异常的时空分布特征及其与气候异常关系的初步研究. *应用气象学报*, 2005, 16(2): 129-138.
- [30] 杜银,谢志清,肖卉. 中国东部夏季降水异常与青藏高原冬季积雪的关系. *气象科学*, 2014, 34(6): 647-655.

Summer Precipitation in the Huaihe River Basins and Relevant Climate Indices

Wang Yue¹⁾²⁾³⁾ Zhang Qiang¹⁾²⁾ Gu Xihui¹⁾²⁾ Kong Dongdong¹⁾²⁾

¹⁾ (*Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275*)

²⁾ (*Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275*)

³⁾ (*School of Environment and Resources, Guangxi Normal University, Guilin 541004*)

Abstract

ENSO having significant impacts on global climate changes. Evident relations are found between ENSO and precipitation anomaly changes across the Huaihe River Basins. Besides, impacts on precipitation changes in the Huaihe River Basins can also be expected from PDO, NAO and other climate indices. These influences and related stability of the influence are investigated, and combined effects of these climate indices on seasonal precipitation changes in the Huaihe River Basins are studied. In this case, objectives of this paper are to investigate influences of ENSO, NAO, IOD and PDO on the summer precipitation regimes across the Huaihe River Basins, and related stability of the influence; explore whether ENSO, NAO, IOD and PDO are the dominant influencing factors behind occurrences or intensities of precipitation events across the Huaihe River Basins; and understand how climate indices influence seasonal precipitation changes across the Huaihe River Basins, especially from the viewpoint of water vapor transportation. The result may provide valuable information for improving the long-term forecasting of precipitation using its relationship with ENSO, NAO, IOD and PDO, and will provide important theoretical basis for water resources management and disaster prevention.

Based on rotated empirical orthogonal decomposition method (REOF), the relationship between the summer precipitation in the Huaihe River Basins and the El Niño/Southern Oscillation (ENSO), the North Atlantic Oscillation (NAO), the Indian Ocean Dipole (IOD), the Pacific Decadal Oscillation (PDO) is analyzed. Influences of individual climatic factor or combined influences of climate factors on summer precipitation in the Huaihe River Basins are discussed.

Results indicate that PDO and IOD are the key factors influencing summer precipitation in the Huaihe River Basins, where the PDO is in negative significant correlation with summer precipitation. Strong correlation is found between the REOF time coefficients for the summer precipitation anomaly and the climatic factors, and correlations are persistent and steady. Warm and cool periods of ENSO, NAO, IOD, PDO have different impacts on summer precipitation. Cold periods of IOD, NAO and PDO can trigger significantly increasing trend of summer precipitation in the northern Huaihe River Basins. PDO combined with ENSO, NAO and IOD heavily affects summer precipitation and this influence modifies spatial patterns of summer precipitation under influences of individual climate factor. Combined PDO, ENSO, NAO and IOD have evident impacts on summer precipitation, and evident impacts of these climatic factors are also found on precipitation in the northern Huaihe River Basins, also the upper Huaihe River Basins.

Key words: the Huaihe River Basins; precipitation in summer; climate indices