

文章编号: 1000-2022(2006) 05-0644-06

印度洋偶极子与中国秋季降水的关系

刘宣飞, 袁慧珍

(南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘 要: 利用 1950—1999 年 Hadley 中心全球海温资料、NCEP/NCAR 再分析资料以及国家气象局整编的 160 站降水资料, 分析讨论了夏季印度洋偶极子与中国秋季降水的时滞关系及秋季印度洋偶极子与同期中国降水的关系。结果表明: 夏、秋季印度洋偶极子均与中国南方秋季降水有很好的正相关关系; 通过对印度洋偶极子时期秋季异常环流场特征分析, 发现正偶极子时期中国西南部受中层槽前西南气流影响, 带来充足水汽, 同时低层为异常气旋性环流控制, 使该地区降水增加。

关键词: 印度洋偶极子; 中国秋季降水; 相关分析

中图分类号: P732 **文献标识码:** A

Relationship between the Indian Ocean Dipole and Autumn Rainfall in China

LIU Xuan-fei YUAN Hui-zhen

(Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract On the basis of 1950—1999 fifty year data of Hadley Center global SST, NCEP/NCAR reanalysis and China 160 station precipitations, investigation has been conducted on the relationship between summer as well as autumn Indian Ocean Dipole (IOD) and autumn precipitation over China. Evidence shows that the IOD, both in summer and autumn, bears a close positive correlation with autumn rainfall over southern China. Further analysis shows that during the occurrence of positive IOD episode it is the southwestly (cyclonic) anomalies in the middle (lower) troposphere over southwest China that cause the plenty water vapour and then the increase of rainfall in that region.

Key words Indian Ocean Dipole; autumn rainfall in China; correlation analysis

0 引言

近年来, 印度洋偶极子 (IOD) 已经成为研究热带印度洋—太平洋地区气候变化的热点, 它是一种能够自我维持的强海气耦合系统, 在季节到年际尺度的气候变率中可起到非常积极和独立的作用。偶

极子这一概念最早由 Saji 等^[1]和 Webster 等^[2]提出, 即西印度洋赤道附近的海表温度正距平、东南印度洋海表温度负距平的现象。Saji 等^[1]定义了偶极子指数 (IODI_{IOD}), 指出这一现象具有季节锁相特征, 海温显著异常从 6 月开始出现, 并持续发展至 10 月达到最强盛。此后不少学者研究了 IOD 的发

收稿日期: 2006-03-07 改回日期: 2006-04-28

基金项目: 江苏省气象灾害重点实验室课题资助

作者简介: 刘宣飞 (1965-), 男, 江西赣州人, 副教授, 博士, 研究方向: 海气相互作用, xflaijw@nuist.edu.cn

生、发展机制^[3-5]以及年际、年代际变化特征^[6-7], 及其与 ENSO 之间的关系^[8]。

印度洋海温的偶极子振荡作为海温异常现象对东亚大气环流和气候产生了重要影响。闵锦忠等^[9]研究了南海和印度洋海温异常对东亚大气环流及降水的影响, Guan 等^[10]认为 DD 对 1994 年东亚地区干热起重要作用; 闫晓勇等^[11-12]研究认为 DD 通过影响西南季风来影响我国大陆降水, 且赤道东太平洋海温异常和 DD 有协同作用; 肖子牛等^[13]、刘青春等^[14]通过相关普查得出, IOD 与中国各地区夏季降水和气温有较好相关; 唐卫亚等^[15]认为 DD 通过东亚夏季风影响中国降水。

已有研究表明, IOD 发展具有季节锁相特征, 夏季是发展时期, 秋季是最强盛时期, 且 DD 对东亚包括中国气候都有重要影响, 因此研究这两个季节 DD 与中国降水的关系具有较大意义。同时, 秋季降水对农业生产和国民经济建设有重要影响, 要全面了解气候异常特征, 预防各种可能的自然灾害, 秋季降水是不能忽视的, 且秋季大尺度降水异常与来年汛期降水也有一定的关系^[16], 而之前的研究都集中在夏季, 对秋季的研究较少。因此这两个季节的 DD 与中国秋季降水关系如何, 夏季 DD 能否为秋季降水预报提供参考依据等, 将是本文讨论的内容。

1 资料和方法

本文采用了 1950—1999 年 Hadley 中心 $1^\circ \times 1^\circ$ 全球月平均海温资料, 1950—1999 年 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ NCEP/NCAR 再分析 500 hPa 高度场、850 hPa 风场月平均资料, 以及国家气象局整理的 1951—2000 年 160 站月降水资料, 同时采用了相关分析、合成分析、奇异值分解 (SVD) 以及 t 检验等方法。SVD 是研究两个气象场相关结构的诊断技术, 它给出两个要素之间相互配对的典型空间分布和每个典型空间分布的权重系数序列, 用于分析两个气象要素场序列之间的相关关系, 所谓相互配对的典型空间分布是指每对典型分布之间有尽可能大的协方差。 t 检验用于检验合成分析的结果差异是否显著。

2 夏、秋季印度洋偶极子指数

Saji 等^[1]定义的 I_{DD} 为赤道印度洋西部 ($50 \sim 70^\circ\text{E}$, $10^\circ\text{S} \sim 10^\circ\text{N}$) 和东部 ($90 \sim 110^\circ\text{E}$, $10^\circ\text{S} \sim 0^\circ$) 平均海温距平差。图 1 是近 50 a (1950—1999 年) 印度洋夏季 (6—8 月) 和秋季 (9—11 月) I_{DD} 变化直方图。从图 1 可以看出, IOD 在秋季强于夏季, 正位

相强于负位相; DD 振荡存在较明显的年代际变化, 在 20 世纪 80 年代 IOD 振荡偏弱, 60 和 90 年代偏强, 其中 50 年代以负偶极振荡为主, 60 年代以正偶极振荡为主, 这一点在图 1b 中更明显。分别从两图中选出季节内发展较强的偶极子, 把夏季 $I_{\text{DD}} > 0.4$ 的年份定为夏季 IOD 正位相年, $I_{\text{DD}} < -0.35$ 的年份定为夏季 DD 负位相年, 据此得到 6 个 DD 正位相年 (1961, 1963, 1972, 1983, 1993, 1994 年) 和 6 个 DD 负位相年 (1956, 1958, 1959, 1960, 1984, 1992 年)。同样, 把秋季 $I_{\text{DD}} > 0.6$ 的年份定为秋季 IOD 正位相年, $I_{\text{DD}} < -0.4$ 的年份定为秋季 IOD 负位相年, 据此得到 5 个 DD 正位相年 (1961, 1963, 1972, 1994, 1997 年) 和 7 个 DD 负位相年 (1954, 1958, 1959, 1960, 1975, 1996, 1998 年)。

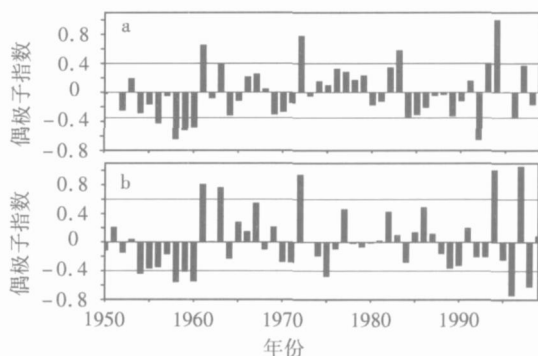


图 1 1950—1999 年夏、秋季 I_{DD} 逐年变化直方图

a 夏季; b 秋季

Fig 1 The bar of interannual variations of the Indian Ocean Dipole Index during 1950—1999
a in summer b in autumn

为了解 DD 与中国秋季降水前期到同期关系的演变, 普查了前 1 年 12 月到同年 11 月的逐月 I_{DD} 与中国 160 站秋季降水的相关, 得到了通过 0.05 显著性检验的站点数 (表略)。由普查结果得出, 通过检验的站点数在 7 月和 9 月最多, 分别为 27 和 26 个。同时也求了前冬、前春、前夏季和同期秋季 I_{DD} 与中国秋季降水的相关 (表略), 发现前冬、前春与秋季降水关系不明显, 通过 0.05 显著性检验站点较少, 前期夏季通过检验的站点数为 22 个, 而同期秋季通过检验的站点数最多, 有 26 个。可见夏、秋季 DD 与中国秋季降水都有较好的相关关系。下面将具体分析这种关系。

3 夏季 IOD 与中国秋季降水关系

3.1 夏季 IOD 与中国秋季降水相关

由图 2 可见, 夏季 IOD 与中国秋季降水在北方

多以负相关为主,但相关较小,西藏、云南交界处以及华北北部有很小的负相关中心;南方有较强的正相关,在中国西南一带有大片地区通过 0.05 显著性检验,部分地区相关系数达到 0.5 以上,通过 0.001 显著性水平检验,说明夏季 IOD 与中国南方降水有很好的正相关关系, IOD 正位相年将有利于这一带秋季降水的增加。

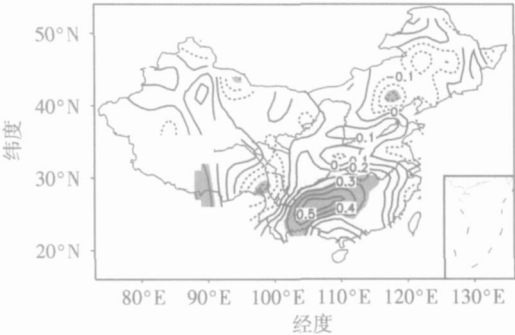


图 2 夏季 IOD 与中国秋季降水的相关分布
(阴影区通过 0.05 显著性水平检验)

Fig 2 The correlation coefficients between the summer IOD and autumn rainfall in China(shaded represents the regions passing the 0.05 significance level of test)

3.2 夏季 IOD 正、负位相年的中国秋季降水合成

对本文第 2 节得到的夏季 IOD 正、负位相年的中国秋季降水距平分别进行合成,得到图 3。由图 3a 可见,除西藏、云南部分地区外,全国大部分地区表现出正异常,图 3a 和图 2 的分布形势较为一致,降水明显偏多的区域都在中国南部,包括中南、西南大片地区。图 3b 的分布形势与图 3a 大体相反,黄河以南的大部分地区为降水负异常,北方异常不明显。总体而言,合成分析的结论和相关分析的结论是一致的,即夏季 IOD 正位相有利于中国南方秋季降水增加。

3.3 夏季印度洋海温与中国秋季降水耦合关系

对赤道印度洋夏季海温场(左场)和中国 160 站秋季降水场(右场)的耦合关系进行 SVD 分析,以进一步验证上述相关和合成分析中得到的结论。取前两对 SVD 模态,第一对异类相关模态为印度洋海温一致时两场间的耦合关系,第二对异类相关模态反映了东、西印度洋变化不一致时两场间的耦合关系,这里重点讨论第二模态。图 4a、b 分别为 SVD 分析结果的第二对左场和右场的异类相关分布图(为了使海温分布与 IOD 正位相一致以便于说明,两图均乘以 -1),图 4a 中矩形框所在区域为东、西

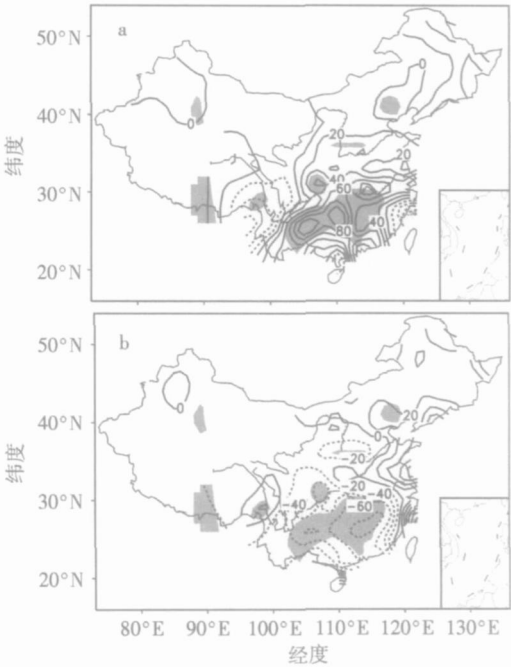


图 3 夏季 IOD 正(a)、负位相年(b)的中国秋季降水距平合成(阴影区通过 0.05 显著性水平检验;单位: mm)

Fig 3 The composite autumn precipitation anomalies in China for positive phase(a) and negative phase(b) of the summer IOD (shaded represents the regions passing the 0.05 significance level of test units mm)

印度洋指标区。该对分布场解释了总协方差平方和的 23.77%,海温场的自解释方差为 11.67%,降水场的自解释方差为 10.54%,该对典型场之间的相关系数达到 0.72 表明这对空间分布型有着密切的关系。从图中可以看出,当赤道印度洋夏季海温西高东低时(IOD 正位相),中国东北、西北、西藏、云南交界带以负相关为主,但相关系数不大;中国黄河以南大部分地区以正相关为主,高相关中心位于西南地区,相关系数在 0.5 以上。该分布型与图 2 很相似,大值区也大体一致。SVD 分析也证实了夏季 IOD 正位相有利于中国南方,特别是西南地区秋季降水的增加。

3.4 夏季 IOD 与秋季 500 hPa 高度场的相关

为了解这种相关较好的原因,这里求了夏季 IOD 与秋季 500 hPa 高度场的相关系数(图 5)。图中大部分区域都为正值区,只在中纬小部分地区为负相关,正相关显著区在低纬及中东印度洋地区。由图可见,在孟加拉湾东岸有一浅槽,槽前的中国西南地区有西南气流异常,该气流从孟加拉湾携带的丰沛水汽可能使得西南地区降水增加。

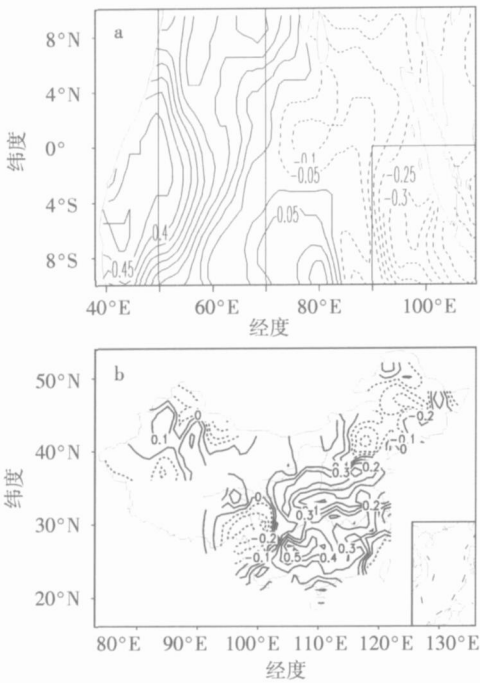


图 4 印度洋夏季海温 (a) 和中国秋季降水 (b) 的 SVD 第 2 对奇异向量的异类相关分布

Fig 4 The heterogeneous correlation of the second SVD mode for the Indian Ocean summer SSTa (a) and China autumn rainfall (b)

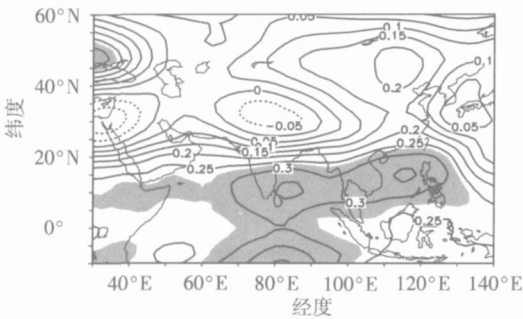


图 5 夏季 I_{OD} 与秋季 500 hPa 高度场的相关分布 (阴影区通过 0.05 显著性水平检验)

Fig 5 The correlation coefficients between summer I_{OD} and autumn 500 hPa height (shaded represents the regions passing the 0.05 significance level of test)

4 秋季 IOD 与中国秋季降水的关系

4.1 秋季 IOD 与中国秋季降水的相关

由图 6 可见, 中国北方大部分地区为负相关, 但相关不强, 负相关较大区在四川省西北部; 长江以南地区均为正相关, 相关显著区也在中南、西南大部分地区。比较图 6 和图 2 发现两者较相似, 通过检验区域大体相同, 相关显著区略向中东部偏移扩大, 说明秋季 IOD 与同期中国南方降水也有很好的相关

性, 同时这种相关具有较好的季节持续性。这种持续性可能与 IOD 从夏季到秋季改变过程中的季节锁相有关。这种结果为利用夏季 IOD 异常来预测中国南方的秋季降水异常提供了一种新的途径。

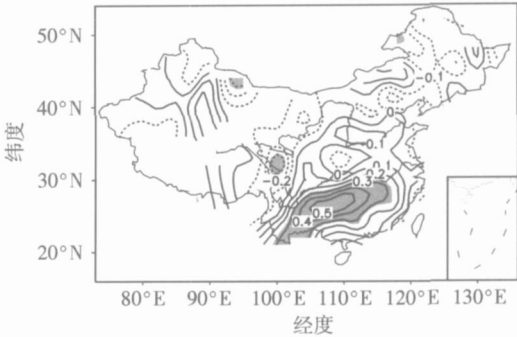


图 6 秋季 I_{OD} 与中国秋季降水的同期相关 (阴影区通过 0.05 显著性水平检验)

Fig 6 The correlation coefficients between I_{OD} and the rainfall in China in autumn (shaded represents the regions passing the 0.05 significance level of test)

4.2 秋季 IOD 正、负位相年的中国秋季降水合成

图 7 给出了秋季 IOD 正、负位相年的中国秋季降水距平合成图。图 7a 和图 7b 趋势大致相反, 在长江以南大部分地区正位相年为降水正异常, 而负

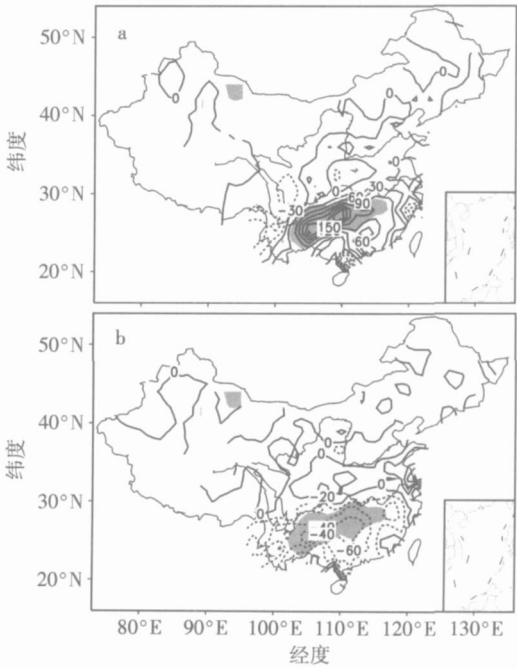


图 7 秋季 IOD 正 (a)、负位相年 (b) 的中国秋季降水距平合成 (阴影区通过 0.05 显著性水平检验; 单位: mm)

Fig 7 The composite autumn precipitation anomalies in China for positive phase (a) and negative phase (b) of the autumn IOD (shaded represents the regions passing the 0.05 significance level of test; units: mm)

位相年则为降水负异常,与图 3 得到的结论一致,不过图 7a 中降水正异常数值更大。图 7a 和图 6 的分布形势相似,长江以南大部分地区为正值区,其余地区的异常情况不明显。因此秋季 DD 与中国南方降水一样也有很好的相关关系,且与夏季时滞相关较为一致。

4 3 秋季印度洋海温与中国秋季降水耦合关系

图 8 同图 4 但为秋季印度洋海温。该对分布场解释了总协方差平方和的 15.37%,海温场的自解释方差为 12.84%,降水场的自解释方差为 8.03%,该对典型场之间的相关系数为 0.71。从图中可以看出,当赤道印度洋秋季海温西高东低时(DD 正位相),黄河以北大部分地区,西藏、四川部分地区为负相关,但相关较小;中国黄河以南大部分地区仍为正相关,相关系数达到 0.3 以上的区域在中南、西南和华北中西部地区,其中西南地区达到 0.5 以上。SVD 分析证实了秋季 DD 与中国南方秋季降水同期相关显著。

4 4 印度洋偶极子时期环流场特征

下面从环流场角度讨论秋季 IOD 与中国秋季部分地区降水同期关系较好的原因。为此做了秋季 I_{IOD} 与 500 hPa 秋季高度场的相关系数图(图略),其分布形势与图 5 相似,在孟加拉湾东岸的弱槽仍然存在,西南气流带来的丰富水汽有利于中国西南地区降水增加。再取秋季 DD 正、负位相年 850 hPa 风场距平进行合成,求其差值场,得到图 9。从图中可以看出在赤道印度洋低空有东风异常,这种东风异常与文献[1,7]中合成得到的偶极子时期表面风

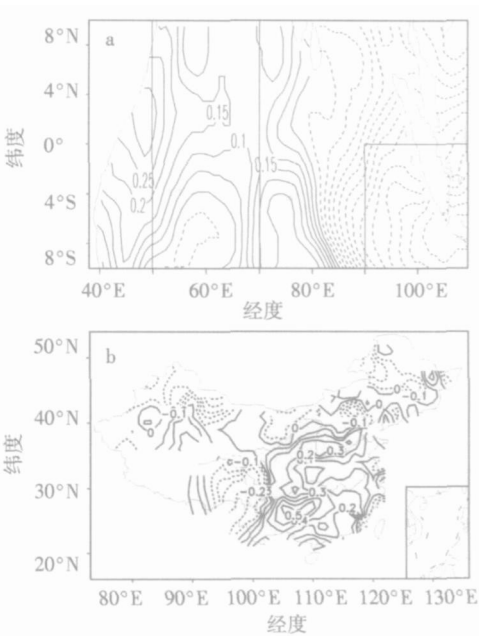


图 8 印度洋秋季海温 (a) 和同期中国降水 (b) 的 SVD 第 2 对奇异向量的异类相关分布

Fig 8 The heterogeneous correlation of the second SVD mode for the Indian Ocean autumn SSTa (a) and China autumn rainfall(b)

是一致的。李东辉等^[5]认为这种表面东风引起的异常环流结构是偶极子发生、发展的主要动力学原因。同时,图中孟加拉湾、南海有异常反气旋,不利于这些地区降水增加;在我国中南部有一异常气旋性环流,虽然强度较小但仍较明显,这一形势有利于中国西南地区降水增加;此外我国北方有支南下气流穿过内蒙与北上气流在华北中部相遇交汇入海,可能使得华北部分地区降水增加。

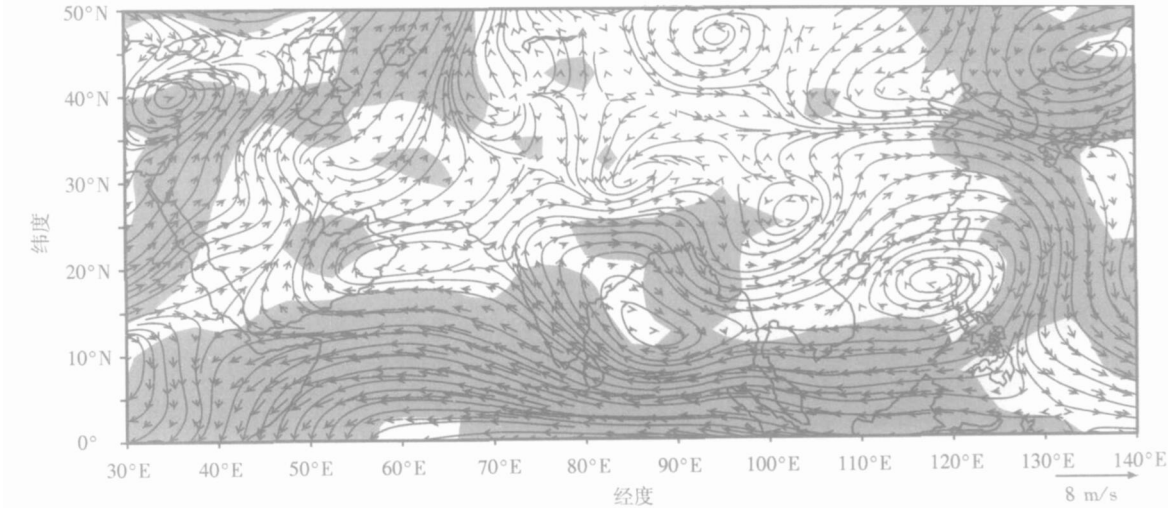


图 9 秋季 DD 正、负位相年 850 hPa 风场合成差值 (阴影区通过 0.1 显著性水平检验;单位: m/s)

Fig 9 The difference in 850 hPa autumn flow fields between the positive and negative phases of autumn IOD (shaded represents the regions passing the 0.1 significance level of test units m/s)

5 结论

(1)夏季 I_{DD} 与中国南方秋季降水有较显著的相关关系, 相关最显著区域在中南、西南大部分地区, 且为正相关, 可见 DD 可能使得该地区降水增加。合成分析和 SVD 分析都验证了以上结论。这种时滞相关可供中国西南地区秋季降水预报参考。

(2)秋季 I_{DD} 与中国南方秋季降水也有显著的相关, 且与夏季时滞相关较为一致, 说明 DD 对中国秋季降水有较好的延续性。

(3)通过对秋季中层高度场和低层风场的分析, 在 500 hPa IOD 正位相年孟加拉湾东岸有一异常浅槽, 槽前的中国西南地区有西南气流异常, 该气流带来的丰沛水汽可能使得西南地区降水增加。低层 850 hPa 风场中, DD 正位相年中国西南部有异常气旋性环流, 有助于这一地区降水增加。

参考文献:

[1] Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al A dipole in the tropical Indian Ocean[J]. Nature, 1999(401): 360-363

[2] Webster P J, Moore A M, Loschnigg J P, et al Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997—98[J]. Nature, 1999(401): 356-360

[3] 李崇银, 穆明权. 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响[J]. 大气科学, 2001, 25(4): 433-443.

[4] 殷永红, 史历, 倪允琪. 近 20 年热带印度洋与热带太平洋海气系统相互作用特征的诊断研究[J]. 大气科学, 2001, 25(3): 355-371.

[5] 李东辉, 张铭, 张瑰, 等. 热带印度洋偶极子发生和演变机制的

数值研究[J]. 海洋科学进展, 2005 23(2): 135-143

[6] 钱海峰, 殷永红, 倪允琪. 热带印度洋偶极子次表层模态及其 1997/1998 年过程诊断分析研究[J]. 应用气象学报, 2003 14(2): 129-139.

[7] 谭言科, 张人禾, 何金海. 热带印度洋海温的年际异常及其海气耦合特征[J]. 大气科学, 2003 27(1): 53-66

[8] 晏红明, 琚建华, 肖子牛. ENSO 循环的两个不同位相期印度洋海表温度异常的特征分析[J]. 南京气象学院学报, 2001 24(2): 242-249.

[9] 闵锦忠, 孙照渤, 曾刚. 南海和印度洋海温异常对东亚大气环流及降水的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000 23(4): 542-548

[10] Guan Zhaoyong, Yamagata Toshio The unusual summer of 1994 in East Asia: DD teleconnections[J]. Geophys Res Lett 2003 30(10): 1544. doi 10.1029/2002GL016831

[11] 闫晓勇, 张铭. 印度洋偶极子对东亚季风区天气气候的影响[J]. 气候与环境研究, 2004 19(3): 435-440

[12] 闫晓勇, 张铭. 赤道东太平洋海温异常期间印度洋偶极子对东亚季风区影响的数值模拟[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 375-382

[13] 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 印度洋地区异常海温的偶极振荡与中国降水及温度的关系[J]. 热带气象学报, 2004, 18(4): 335-344

[14] 刘青春, 秦宁生, 李栋梁, 等. 印度洋海温的偶极振荡与高原汛期降水和温度的关系[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 350-356.

[15] 唐卫亚, 孙照渤. 印度洋海温偶极振荡对东亚环流及降水的影响[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(3): 316-322

[16] 施能. 我国秋、冬月降水、气温场的时空结构特征及其在我国初夏降水预报中的应用[J]. 大气科学, 1988, 12(3): 283-291.