

文章编号: 1000-2022(2000)04-0594-07

山东夏季降水与热带海气相互作用区域特性的相关分析

张苏平¹, 李丽平², 程亚军², 王盘兴²

(1. 山东省气象科学研究所, 济南 250031; 2. 南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要: 采用一种能够反映热带海气相互作用区域特性的指数, 分析了热带 5 个洋区(西太平洋、中太平洋、东太平洋、大西洋、印度洋)的海气相互作用指数与山东夏季(6~8月)降水的相互联系。结果表明, 只有热带印度洋的海气相互作用的第 1 模态与山东夏季降水存在显著相关。热带印度洋海温偏高时山东夏季降水偏少, 反之偏多。热带西印度洋区域 1 000 hPa 风向赤道区域异常辐合, 并伴随出现正海表温度异常的年份, 山东夏季降水往往偏少, 反之偏多。进一步分析表明, 山东夏季干旱的区域差异还与热带印度洋 1 000 hPa 西风 and 向西海表温度梯度的减弱有关。

关键词: 热带; 海气相互作用; 山东夏季降水; 相关联系

中图分类号: P461⁺. 2 **文献标识码:** A

关于热带海洋, 特别是热带西太平洋、印度洋, 其海表温度异常与我国东部夏季降水异常的关系, 已有过大量研究^[1-5]。山东地处华北东南部, 夏季降水异常与太平洋 SSTA 的关系也有过不少研究^[6-8]。但是, 随着全球大气观测及分析工作的深入, 发现热带太平洋 SSTA 与山东夏季降水异常的相关并不显著。众所周知, ENSO 是热带太平洋、特别是热带中、东太平洋区域海气系统中最强的年际异常信号; 但是, 根据叶笃正等^[3]对 1950~1993 年间 10 次 ENSO 事件不同发展阶段, 我国夏季平均降水距平百分率所作的合成分析, 发现: 无论 ENSO 发生的当年还是次年, 降水距平百分率的零线均从山东中部通过。该结果说明, 山东夏季降水年际异常有一定的区域特性。在考虑热带海温异常对其影响时, 应更为细致。另外, 马丽平等^[1]的最新研究结果使我们有条件直接分析热带海洋海气相互作用的区域性与山东夏季降水的关系。

1 资料及预处理

(1) 区域海气相互作用指数^[1], 记为 I_{OA} 。它为热带 5 个洋区(表 1)上标准化月海表温度距平和 1 000 hPa 风距平场时间序列奇异值分解的第 1 奇异向量的对应时间系数, 时段为 1958-01~1995-10。它给出了各洋区海气相互作用主要模态的时间演变。

(2) 夏季区域降水指数, 记为 I_R (该指数的定义式由“九五”气候攻关课题技术组提供)。 t_y

收稿日期: 1999-10-19; 改回日期: 2000-04-19

基金项目: 国家重中之重科技资助项目(96-908-05-06-10)

作者简介: 张苏平, 女, 1956 年 11 月生, 学士, 高级工程师

1) 马丽平, 王盘兴, 吴洪宝. 热带海洋海气相互作用区域特性的初步分析及应用. 气象科学, 待发表

年 I_R 定义为

$$I_R(t_y) = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (P_i(t_y) / \bar{P}_i + k^+(t_y) / m)}{\sum_{i=1}^m P_i + k^+(t_y) / m} \right] \times 100 \%。$$

表 1 热带海洋的 5 个洋区

Table 1 Five regions of tropical ocean

区域名称	所在经度	格点数
热带西太平洋(WP)	120 ~ 170 E	138
热带中太平洋(MP)	175 E ~ 135 W	154
热带东太平洋(EP)	130 ~ 80 W	146
热带印度洋(IO)	50 ~ 100 E	130
热带大西洋(AO)	50 W ~ 0	132

其中 $P_i(t_y)$ 为该区第 i 站 t_y 年夏季降水量, \bar{P}_i 是第 i 站多年平均夏季降水量(取 1961 ~ 1990 年共 30 a 的平均), m 是代表站总数, $k^+(t_y)$ 是 t_y 年 m 站中降水量距平大于等于 0 的站数。表 2 给出了华北、长江中下游地区及山东省的代表站。据此求得了华北、长江中下游和山东的 I_R 序列。

表 2 华北、长江中下游地区和山东省的代表站

Table 2 Stations representing North China, middle and lower reaches of the Yangtze River, and Shandong Province

	m	代表站
华北	17	承德、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州、长治、太原、临汾
长江中下游	17	南京、合肥、上海、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
山东	13	德州、惠民、临清、兖州、菏泽、淄博、济南、泰安、临沂、烟台、莱阳、青岛、潍坊

2 热带海洋海气相互作用的区域特性

为了阐明指数 I_{0A} 的意义, 这里简要引用文献 1) 的主要结论, 给出最重要的图表。表 3 集中了热带 5 洋区第 1 奇异向量的重要参数。

(1) λ_1 。第 1 对奇异向量 X_1, Y_1 对标准化 T_{SSA} 和 V_{1000} 协方差矩阵模的平方(简称模方)的拟合率, 是奇异向量重要性的相对度量。蒙特卡洛检验表明, 其信度均达到了 0.001。

(2) λ_1, λ_1 。 X_1, Y_1 对 T_{SSA}, V_{1000} 模方的拟合率, 它们是 X_1, Y_1 在构成 T_{SSA}, V_{1000} 中重要性的相对度量; 从随机情形下能量按自由度均分角度判断, λ_1, λ_1 都很大。这个结论的重要性在于 X_1, Y_1 给出的是有用信号而非噪音, 它们可以被观测到, 因此可以用于预报。

(3) r_{11} 。它是 T_{SSA}, V_{1000} 在 X_1, Y_1 上的时间系数序列的相关系数; 由于序列的长度很大(为 454), 所有正相关达到很好的信度。

根据文献[9], 可以由表 3 的参数得到: 1) λ_1 很大表明, 各区第 1 奇异向量在拟合 T_{SSA}, V_{1000} 相关函数模方上都是非常重要的; 统计检验表明在 MP、EP 中, 它们是唯一重要的分量, 在 WP、IO 中, 它们是两个重要分量中最重要的一个; 2) λ_1, λ_1 很大表明, X_1, Y_1 给出的是 T_{SSA}, V_{1000} 中的强信号, 它们可以被观测发现, 因此可以被用于预测; 3) r_{11} 很大表明, X_1, Y_1 的时间系数 T_{f_1}, T_{g_1} 具有相似的演变, 我们可以从中选出一个来表示由 X_1, Y_1 和 T_{f_1}, T_{g_1} 给出的海气相

相互作用过程。

表 3 热带 5 洋区 SVD 的 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 r_1

Table 3 Values for λ_1 , λ_2 , λ_3 , r_1 of SVD in five regions of tropical ocean

区域	$\lambda_1 / \%$	$\lambda_2 / \%$	$\lambda_3 / \%$	r_1
WP	42.9	10.4	9.8	0.704
MP	75.0	20.3	14.3	0.774
EP	69.5	23.4	11.2	0.704
IO	55.3	19.2	8.0	0.633
AO	46.0	13.2	10.4	0.708

本文选择了各区 X_1 (与 T_{SSA} 对应的第 1 奇异向量) 的时间系数 ${}_1T_f$ 作 I_{OA} , 并且已对它们作了 13 个月长度的滑动平均, 以突出我们关心的年际异常。图 1 给出了热带 3 个洋区 SVD 第 1 奇异向量时间系数。可见, 热带中(图略)、东太平洋(图 1b) 的第 1 奇异向量时间系数存在清晰的年际振荡, 与 ENSO 存在密切的关系, 此期间发生的 8 次 El Nino 事件和 7 次 La Nina 事件几乎均与曲线的峰和谷对应。热带西太平洋、印度洋(图 1a、c) 的第 1 奇异向量时间系数的年际变化在振荡周期上较热带东、中太平洋缩短, 与 ENSO 循环的关系表现出明显的减弱, 如热带印度洋上真正与峰对应的 El Nino 事件只有 4 次。因此, 该两区海气相互作用的第 1 模态反映较复杂的现象, ENSO 循环仅是其部分过程。热带大西洋(图略) 的第 1 奇异向量时间系数与 ENSO 循环的联系更弱。由图 1 还可以看出, 左右第 1 奇异向量的时间系数变化趋势是非常一致的。

图 2 给出了热带 3 个洋区第 1 奇异向量。图 2a、b 表明了西风异常加强与热带西太平洋海温负异常和热带中(图略)、东太平洋海温正异常同时存在, 这就是信风减弱与 El Nino 事件的联系, 信风减弱主要出现在中太平洋赤道附近。可见, 太平洋区第 1 模态给出了 ENSO 循环中海气异常的主要事实及联系。文献[10] 认为热带太平洋海气相互作用第 1 模态及其时间系数描述了 ENSO 循环的一个驻波振荡, 它给出了 ENSO 循环暖(冷)位相阶段中、东太平洋区域伴随发生 Hadley 环流加强(减弱)及中太平洋区域伴随发生 Walker 环流明显减弱(加强)的基本特征。

热带大西洋第 1 奇异向量(图略) 主要给出以赤道为界的南北半球符号相反的异常与冷半

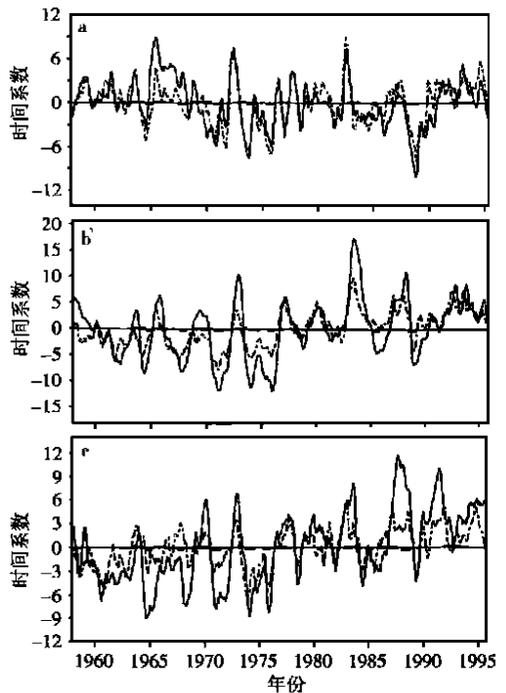


图 1 热带洋区第 1 奇异向量时间系数
实线为 ${}_1T_f$ (海温距平场), 虚线为 ${}_1T_g$ (风场)

a. 西太平洋; b. 东太平洋; c. 印度洋

Fig. 1 Time coefficient of the first SVD in tropical ocean (Solid line: ${}_1T_f$ (SST A), dashed line: ${}_1T_g$ (wind))

a. Western Pacific; b. Eastern Pacific; c. Indian Ocean

球异常辐散、暖半球异常辐合之间的关系。由其时间系数(图略)知,它是独立于 ENSO 循环之外的一种年际海气相互作用,目前对其物理背景的了解还不够。

由图 2c, 热带印度洋第 1 奇异向量给出的 T_{SSA} 在整个印度洋上符号基本一致,但东部较西部小。由于赤道印度洋的海温的气候分布是东暖西冷,由此产生的 Walker 环流与太平洋上空的 Walker 环流方向相反^[11]。符淙斌^[12,13]用实测资料计算和卫星所测云量分布的分析证实了它的存在。由此,热带印度洋海气相互作用第 1 模态实质上反映了海表东西向温度梯度的减弱,伴随低层西风的减弱。陈烈庭^[14]用 1957~1978 年海温资料研究表明,西印度洋的海温不仅有明显的年际变化,还与东赤道太平洋海温有密切的正相关关系,即当东赤道太平洋冷水带偏暖时,西印度洋冷水区也偏暖,反之当东赤道太平洋冷水带偏冷时,西印度洋冷水区也偏冷。吕建华^[15]的研究指出,赤道东太平洋和印度洋海温的这种相关性,秋冬季最好,夏季无明显联系。我们的分析表明,热带印度洋海气相互作用具有两种显著模态,其中第 1 模态反映了热带印度洋东西向海温梯度的减弱伴随低层西风的减弱,即印度洋上空 Walker 环流的减弱,这是最重要的海气相互作用,且部分地与 ENSO 暖事件有关。热带印度洋海气相互作用第 2 模态(图略) T_{SSA} 为东正西负分布,反映热带印度洋东西向温差加大,伴随低层西风的加强,即印度洋上空 Walker 环流的增强,这是仅次于前一种状态的重要的海气相互作用,且部分地与 ENSO 冷事件有关。Saha^[16]的研究指出,印度洋海温纬向差异所引起的不均匀加热经常存在,并有明显的季节变化,它的差异可以大大地修改季风环流。

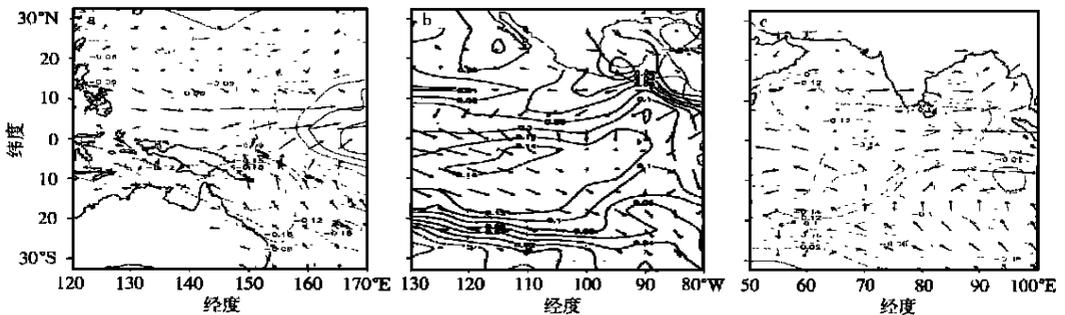


图 2 热带洋区第 1 奇异向量(等值线为 X_1 (海温距平场),箭头为 Y_1 (风场))
a. 西太平洋; b. 东太平洋; c. 印度洋

Fig. 2 The first singular vectors of SVD in tropical ocean(isoline: X_1 (SST A), arrow: Y_1 (wind))
a. Western Pacific; b. Eastern Pacific; c. Indian Ocean

3 热带各洋区 SVD 第 1 模态与 3 省区夏季降水的相关

各洋区夏、春季(3~5月)的 I_{OA} 与山东、华北、长江中下游区夏季降水指数 I_R 的同时、时滞相关系数见表 4、5。

表 4 夏季 I_{OA} 与 I_R 的同时相关系数

Table 4 Simultaneous correlative coefficient between I_{OA} and I_R in summer

	WP	MP	EP	IO	AO
山东	-0.120	0.132	0.000	-0.390	0.078
华北	-0.114	0.061	-0.056	-0.223	0.319
长江中下游	-0.008	-0.013	-0.060	0.317	-0.157

由表 4, 热带太平洋各洋区 I_{OA} 与山东、华北和长江中下游区 I_R 的同期相关很弱, 特别是热带中、东太平洋区。这表明, 这些地区夏季降水与 ENSO 的同时关系不密切。该结果与已有的一些研究结果是一致的^[17~19]。

表 4 中只有山东夏季 I_R 与印度洋 I_{OA} 的负相关达到了信度 0.05; 由表 5 知, 春季印度洋海气相互作用与山东夏季降水的负相关比较强。这种符号一致的较强时滞相关有一定的预报应用价值。热带印度洋 I_{OA} 与长江中下游区 I_R 为持续弱正相关联系。由于印度洋 I_{OA} 中包含了 ENSO 和其他过程(文献 1) 认为可能是季风年际异常), 因此, 不宜过分强调这种联系的 EN-SO 背景。

表 5 春季 I_{OA} 与夏季 I_R 的时滞相关系数

Table 5 Lagged correlation coefficient between I_{OA} in spring and I_R in summer

	WP	MP	EP	IO	AO
山东	- 0.161	0.144	- 0.134	- 0.310	0.154
华北	- 0.108	0.029	- 0.020	- 0.201	0.262
长江中下游	0.137	0.026	- 0.030	0.304	- 0.129

4 热带印度洋 T_{SSA} 与山东夏季降水 SVD 分析

为了进一步研究印度洋海温与山东降水的关系, 用印度洋 $T_{SSA}(F)$ 和山东夏季降水 $R(G)$ 做 SVD 分析。表 6 给出了前 4 个模态对相关函数 FG^T 模方的拟合率 h 及 X_h, Y_h 对 F, G 的模方拟合率 $f_{h, g, h}$, 以及相应时间系数的相关系数 r_h 。

表 6 夏季印度洋海温与夏季山东降水 SVD 分析参数

Table 6 SVD analysis parameters for SST in Indian Ocean and rainfall in Shandong Province in summer

	h			
	1	2	3	4
拟合率(h)	0.386	0.120	0.080	0.072
模方拟合率(f_{h})	0.268	0.080	0.025	0.036
模方拟合率(g_{h})	0.382	0.157	0.123	0.081
相关系数(r_h)	- 0.584	- 0.515	- 0.693	0.637

由 h 可见, 印度洋海温与山东夏季降水关系的第 1 模态的作用明显大于其他模态, 我们的分析仅限于它。图 3a 为第 1 模态的时间系数, 可以看出两者存在明显的年际振荡和反相关关系, 且 T_{SSA} 的系数(实线)表现出一定的 ENSO 振荡特征。印度洋 T_{SSA} 的第 1 模态基本上是一致的正异常, 具有 ENSO 暖事件 SSTA 特征(图 3b); 另外, 数值大的区域在阿拉伯海南部及南印度洋西部, 东印度洋及孟加拉湾为低值区, 表明印度洋西部海温的增加较东部大, 即印度洋东西向海表温度梯度减小。由前所述, 这反映了印度洋上空 Walker 环流的减弱, 也在一定程度上与 ENSO 暖事件相联系。而山东夏季降水的第 1 模态也基本为一致的 SVD 为正值(图 3c); 高值区在鲁西南, 次大区在济南和青岛, 半岛北部为低值区。说明, 印度洋东西向海温梯度减小时, 山东夏季降水减少(时间系数呈反相关关系); 鲁西南减少的最明显, 济南、青岛次之, 其余部分减少不明显。这一点, 与以前的研究结论 El Nino 年山东(华北)夏季降雨偏少是吻合的^[1, 2, 6~8]。前面已经指出, 前期春季印度洋海温异常与山东夏季降水的相关性也比较大, 所以

看来, 印度洋纬向热力差异的变化对山东夏季降水可能有重要的预报意义。

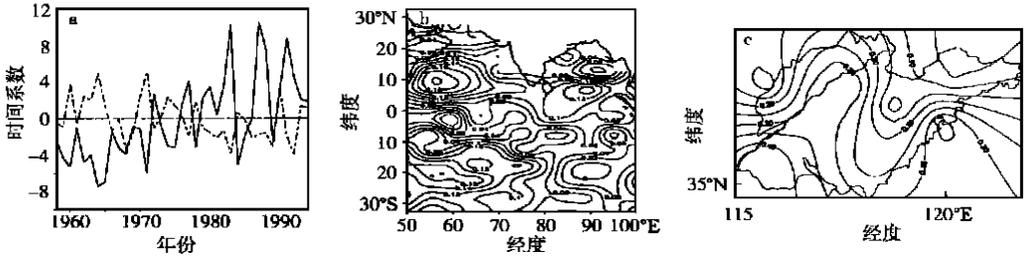


图 3 热带印度洋 T_{SSA} 与山东夏季降水的 SVD 第 1 模态

a. 时间系数(实线为 ${}_1T_f$, 虚线为 ${}_1T_g$); b. X_1 (海温距平场); c. Y_1 (降水)

Fig. 3 The first mode of SVD between SSTA in

tropical Indian Ocean and Shandong summer precipitation

a. time coefficient (solid line: ${}_1T_f$, dashed line: ${}_1T_g$); b. X_1 (SSTA); c. Y_1 (precipitation)

5 结 论

本文分析了文献[9]求得的 ${}_1T_f$ (与 T_{SSA} 对应的第 1 奇异向量的时间系数)的物理含义, 论证了它们作为海气相互作用参数的可能性。在此基础上研究了热带 5 个洋区海气相互作用与山东、华北、长江中下游区夏季降水年际异常的关系, 得到了如下结论:

(1) 相关分析表明, 5 个洋区第 1 模态的时间系数中, 有且只有印度洋夏季海温异常与山东夏季降水负相关显著; 春季印度洋海温异常与山东夏季降水的相关性也比较大, 春季印度洋纬向热力差异的变化对山东夏季降水有重要的预报意义。

(2) 因为热带中、东太平洋的 I_{OA} 主要反映 ENSO 循环, 这两个区的 I_{OA} 与华北、长江中下游区夏季 I_R 同期及时滞相关弱的统计事实表明, 不宜单独强调 ENSO 循环对我国夏季降水异常的影响, 而应对热带海温异常影响作全面分析。

(3) 印度洋 T_{SSA} 和山东夏季降水的 SVD 分析表明, 印度洋纬向海表温度梯度减小(部分与 ENSO 暖事件相联系), 山东夏季降水减少(时间系数呈反相关关系), 鲁西南减少的最明显, 济南、青岛次之, 半岛区域减少最不明显。

参考文献:

- [1] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制[J]. 大气科学, 1988, 12 (特刊): 107 ~ 116
- [2] 黄荣辉, 孙凤英. 夏季热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J]. 大气科学, 1994, 18(2): 141 ~ 151
- [3] 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 222 ~ 258
- [4] 罗绍华, 金祖辉, 陈烈庭. 印度洋和南海海温与长江中下游夏季降水的相关分析[J]. 大气科学, 1985, 9(3): 314 ~ 320
- [5] 金祖辉, 沈如桂. 长江中下游旱梅和涝梅年海温场及大气环流系统的特征[C]. 见: 中国气象科学研究院编. 气象科学技术集刊. 北京: 气象出版社, 1987. 83 ~ 88
- [6] 胡桂芳, 张苏平. 山东季降水与北太平洋海温的相关分析及预测[J]. 大气科学研究与应用, 1998, 14(1): 73 ~ 78
- [7] 张苏平, 朱平盛, 胡桂芳. 山东夏季降水与北太平洋 SST 和大气环流的关系[J]. 气象, 1997, 23(4): 3 ~ 8
- [8] 奚秀芬, 郑世芳. 厄尼诺现象与山东旱涝的关系[J]. 山东气象, 1988, 8(4): 16 ~ 19
- [9] 王盘兴, 周伟灿, 王 欣, 等. 气象向量场奇异值分解方法及其应用[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(2): 152 ~ 157

- [10] 王盘兴, 周伟灿, 薛志华, 等. 赤道太平洋区域风应力与海表温度年际异常的奇异值分解[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 265 ~ 272
- [11] BJERKNES J. Atmospheric teleconnection from the equatorial Pacific[J]. Mon Wea Rev, 1969, 97(3): 163 ~ 172
- [12] 符淙斌. 平均经圈环流的转换与长期天气过程[J]. 气象学报, 1979, 37(1): 74 ~ 85
- [13] 符淙斌. 用卫星云图分析平均经圈环流和纬圈环流的一个尝试[J]. 气象学报, 1979, 37(1): 10 ~ 15
- [14] 陈烈庭. 热带印度洋—太平洋海温纬向异常及其对亚洲夏季风的影响[J]. 大气科学, 1988(特刊): 142 ~ 148
- [15] 吕建华. 热带海气系统年际变化的季节特征一些简单的统计分析: [学位论文][D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1994
- [16] SAHA K. Zonal anomaly of sea surface temperature in equatorial Indian ocean and its possible effect upon monsoon circulation[J]. Tellus, 1970, 22(5): 403 ~ 409
- [17] ROPELEWSKI C H, HALPERT M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with ENSO[J]. Mon Wea Rev, 1987, 115(18): 1606 ~ 1626
- [18] 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦. 东亚季风[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 220 ~ 237
- [19] 吴国雄, 刘还珠. 降水对热带海表温度异常的邻域响应——1 数值模拟[J]. 大气科学, 1995, 19(4): 422 ~ 434

Relationship between summer rainfall in Shandong Province and the regional features of atmosphere-ocean interaction in tropic zones

Zhang Su-ping¹, Li Li-ping²,
Cheng Ya-jun², Wang Pan-xing²

(1. Shandong Meteorological Institute, Ji nan 250031; 2. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: An index which can show the regional features of atmosphere-ocean interaction in tropical zones is used in the paper. Correlation between summer rainfall (Jun. to Aug.) in Shandong province and atmosphere-ocean interaction in five tropical regions which are the western, central and eastern Pacific, the Indian Ocean and the Atlantic is analyzed based on the index. The results illustrate that significant correlation exists only between atmosphere-ocean interaction in tropic Indian Ocean and summer precipitation in Shandong province. There is probably less (more) summer rainfall in Shandong when Indian Ocean has rather higher (lower) sea surface temperature (SST). In addition, when wind at 1 000 hPa over western tropic Indian Ocean converges equatorward exceptionally and positive SST anomaly appears simultaneously, dry summer often occurs in the province. Further studies also demonstrate that the changes of summer rainfall in different districts in Shandong province are likely to connect with the weakening of westerly at 1 000 hPa over tropical Indian Ocean and westward SST gradient.

Key words: tropical zone; atmosphere-ocean interaction; summer rain in Shandong province; correlation