

ENSO 与中国东部夏季降水异常关系的年代际变化

郭品文,郎丽玲

南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏 南京 210044

* 联系人, E-mail: guo@nuist.edu.cn

2015-01-17 收稿, 2015-11-12 接受

中国气象局气候变化专项项目(CCSF201535);国家自然科学基金资助项目(41305079)

摘要 根据 1960—2011 年 HadISST 资料集中的月平均海表温度资料和中国 753 站逐日降水资料,基于转经验正交函数分解等分析方法,发现中国夏季降水的变化具有明显的独立性特征,可以分为相对独立的 11 个雨区,并在此基础上讨论了 11 个雨区夏季降水与 ENSO 的相关关系及其年代际变化,发现不同雨区的夏季降水与 ENSO 相关关系的年代际变化特征不尽相同,据此可分为 3 种类型:第 1 类为稳定不相关型,代表区为东北地区、长江中下游地区、江南地区、闽赣地区、环琼州海峡地区;第 2 类为稳定相关型,代表区为河套地区、黄河中下游地区;第 3 类为相关关系变化型,代表区为辽吉地区、黄淮地区、淮河流域以及两广地区。而在第 3 类相关关系变化型中,4 个雨区夏季降水与 ENSO 相关关系的年代际突变时间也存在差异,两广地区的突变年份在 1975 年左右,辽吉地区和黄淮地区的突变年份在 1980 年左右,淮河流域的突变年份在 1985 年左右。

关键词

ENSO;

中国东部夏季

降水;

相关关系;

年代际变化;

相关型

ENSO 作为热带太平洋地区海气系统年际变率最强信号,不仅对全球气候异常有着重要的影响(朱益民等,2007),也是导致亚洲季风异常和我国旱涝发生的重要因素(宗海锋等,2010)。大量研究表明(Huang and Wu,1989;黄荣辉等,1996;邹力和倪允琪,1997;陈烈庭,1998;陈文,2002)东亚季风与 ENSO 关系密切。在 El Niño 年,东亚夏季风减弱,我国夏季主要季风雨带偏南,江淮流域多雨的可能性较大,而北方地区特别是我国华北到河套一带常出现少雨和干旱(陶诗言和张庆云,1998)。同时,东亚夏季风的强弱与我国夏季雨带类型之间有着一定的联系(赵汉光和张先恭,1996)。有研究指出,我国夏季雨带类型与 ENSO 有关(赵振国和蒋伯仁,2000;施能等,2001),在 El Niño 当年多出现 II 类雨型,次年多出现 I 类和 III 类雨型;而在 La Niña 年,多出现 I 类雨型,次年多出现 III 类雨型(孙照渤等,2010)。

随着气候基本态的改变,ENSO 与我国夏季降

水异常之间的关系也存在长期变化。Kinter et al. (2002)指出,ENSO 与中国夏季气候异常之间的相关关系是变化的,亚洲季风与 ENSO 的关系在 1976 年左右从高相关期转入低相关期。曾刚等(2013)发现热带太平洋海表温度年代际背景的变化对东亚夏季风在 20 世纪 70 年代中后期的年代际减弱有重要作用。高辉(2006)研究发现,淮河夏季降水与前期 ENSO 的关系在 20 世纪 70 年代中期发生了一次明显的突变,由突变前的显著负相关转变为弱的正相关。宗海锋等(2010)指出,东亚夏季风、中国夏季降水与 ENSO 的关系在长期变化中是不稳定的。Wang(2002)通过对东亚夏季风指数与同期 Niño3 区海温的交叉谱分析发现,东亚夏季风与 ENSO 的相关关系在 1983 年发生了一次明显的突变,从低相关期变为 1983 年后的高相关期,因而东亚夏季风与 ENSO 之间的相关关系存在年代际变化特征。游泳等(2005)也有类似的发现,在 1983 年前后,夏季 Niño3 区海温与中国东部夏季降水的相关区域发生

引用格式:郭品文,郎丽玲,2017. ENSO 与中国东部夏季降水异常关系的年代际变化[J]. 大气科学学报, 40(4):463-472.

Guo P W, Lang L L, 2017. Interdecadal variation of the relationship between ENSO and East-China summer rainfall[J]. Trans Atmos Sci, 40(4):463-472. doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20150117001. (in Chinese).

了变化。许婷婷等(2010)通过对中国东部夏季雨型与 ENSO 的相关关系的分析发现,我国东部夏季雨型对 ENSO 事件的响应在 1978 年存在一个明显的突变,由突变前的弱负相关转变为突变后的显著正相关。

然而,过去的研究大都选择季风指数或雨型来分析与 ENSO 的相关关系,而无论是东亚季风还是三类雨型都是将我国夏季降水作为一个相互联系的整体来考虑。邓伟涛等(2009)在分析中国东部夏季降水型的年代际变化时,对我国东部夏季降水进行 EOF 分解,用第 1、2 特征向量的时间系数代表我国东部夏季降水型的时间序列,然而 EOF1 和 EOF2 的总方差贡献率仅为 30.7%,这说明我国东部夏季降水 70% 的部分未得到解释,因此用雨型来代表我国东部夏季降水是不够完善的。有研究表明(王晓春和吴国雄,1996),我国东部夏季降水具有明显的区域性特征。金大超(2014)通过对我国夏季降水进行 REOF 分析,将我国夏季降水分为 21 个降水区,并对 21 个区域夏季降水与各区所对应的 REOF 特征向量的时间系数进行两两相关分析,发现除了与自身相关较高之外,其他相关系数均很小,这说明我国夏季降水 21 个区域之间是相互独立的,每个区域都有很强的局地性。因此,本文在前人的基础上,认为非常有必要检测我国东部独立区域夏季降水与 ENSO 相关关系的变化,并揭示其年代际变化特征。

1 研究资料

本文所用的资料包括中国气象局气象信息中心提供的 1951—2011 年 753 个常规气象台站的逐日降水资料;英国 Hadley Centre 的 HadISST 资料集中的月平均 SST 资料,分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。由于我国 1960 年之前的 753 站逐日降水资料中缺测站点太多,故选取 1960—2011 年共 52 a 的夏季(6—8 月)降水资料。

表 1 中国东部 11 个降水区的划分

Table 1 Division of 11 subdivisions of summer rainfall in eastern China

A 区	B 区	C 区	D 区	E 区	F 区	G 区	H 区	I 区	J 区	K 区
东北 地区	辽吉 地区	河套 地区	黄河 中下游地区	黄淮 地区	淮河 流域	长江 中下游地区	江南 地区	两广 地区	闽赣 地区	环琼州海峡 地区

为了研究我国东部夏季降水与 ENSO 的相关关系,用 Niño3 区($150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$)海温距平(SSTA, Sea Surface Temperature Anomaly)的变化来表示热带太平洋 ENSO 事件的强弱。并对夏季(6—8 月)Niño3 区 SSTA 序列进行标准化,通过与同期中国东部夏季降水的滑动相关分析,滑动窗口取为 21 a,由此探讨夏季 ENSO 事件与同期中国夏季降水关系的年代际变化特征。

2 中国东部夏季降水的空间分区

为了研究中国东部夏季降水的区域特征,参考金大超等(2010)的分区方法,对我国东部地区 359 个站夏季降水量标准化处理后进行旋转 EOF(ReOF)分析,旋转后前 11 个特征向量的方差贡献较大,其总方差贡献率为 55.4%。ReOF 的前 11 个模态的空间分布如图 1a—1k 所示。根据这些特征向量的高载荷(等值线大于等于 0.4)分布,将中国东部夏季降水分为 11 个降水区域(图 1l),对应名称见表 1。通过将上述 11 个雨区平均夏季降水序列分别与各个分区对应的 ReOF 特征向量的时间系数进行两两相关分析发现(表 2),各区夏季降水与该区对应的 ReOF 特征向量的时间系数相关都很高,均通过 99.9% 的置信度检验。一些区由于边界上有重合的因素,亦存在较好的相关,例如东北地区和辽吉地区、环琼州海峡地区与两广地区。其中淮河流域与河套地区的相关也较高,这是因为如图 1c 所示的河套地区对应的 ReOF 特征向量的时间系数在一定程度上也反映了淮河流域东部夏季降水的年际变化。总体上,各区之间的相关系数均很小,可以认为这 11 个雨区是相互独立的。这与金大超(2014)所得到的结论一致。而以往的研究常常将中国东部夏季降水作为相互联系的整体进行分析,忽略了各雨区自身很强的局地性。

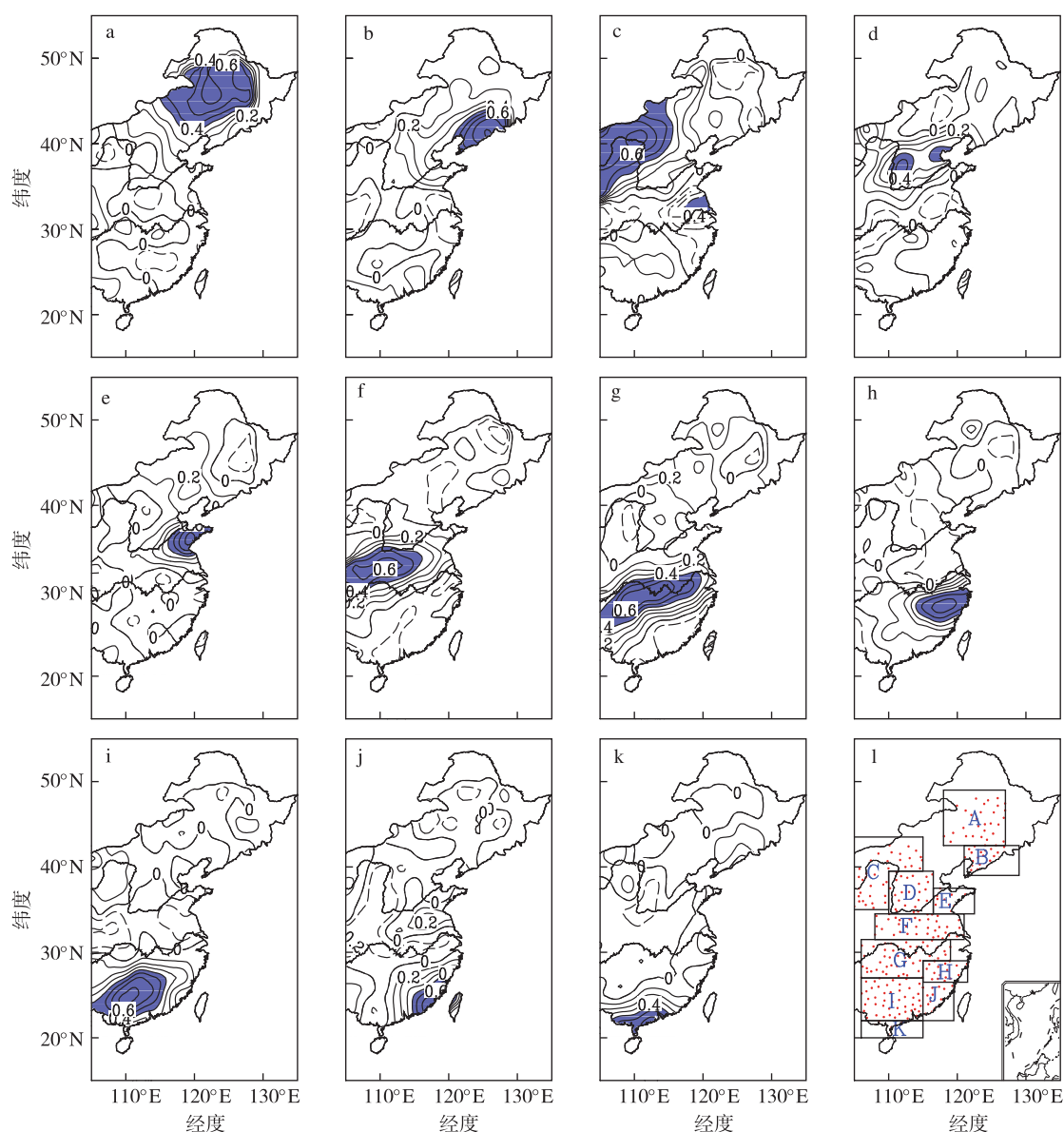


图1 REOF 分析的第4(a)、第5(b)、第2(c)、第10(d)、第11(e)、第6(f)、第1(g)、第7(h)、第3(i)、第8(j)、第9(k)空间模态及相应的区域划分(l)(阴影区表示载荷向量绝对值大于等于0.4)

Fig.1 Spatial patterns of the (a) fourth, (b) fifth, (c) second, (d) tenth, (e) eleventh, (f) sixth, (g) first, (h) seventh, (i) third, (j) eighth and (k) ninth rotated EOF (REOF) modes, and (l) the corresponding subdivisions (areas with values larger than 0.4 are shaded)

3 ENSO 与我国东部各个雨区夏季降水的相关关系

我国东部夏季降水各区之间的独立性很强,这种特点不仅表现在其两两相关上,也表现在与 ENSO 的关系上。如图 2 所示,将 1960—2011 年我国东部 11 个雨区夏季降水序列分别与太平洋海温进行相关分析,发现在东北、长江中下游、两广地区、环琼州海峡地区夏季降水与太平洋海温的各个相关场中,在赤道中东地区均无相关区域。而河套、黄河

中下游、辽吉地区的夏季降水均与赤道中东太平洋海温有显著的负相关,且通过 95% 的置信度检验。黄淮地区夏季降水的相关区主要位于赤道东太平洋,亦为显著负相关。而在淮河流域、江南地区和闽赣地区的平均夏季降水与海温的相关场中,正相关区主要位于赤道中东太平洋,但相关区域都很小,且不通过显著性检验,可见相关较弱。从以上分析可见,淮河以北的雨区(除东北地区以外)的夏季降水与同期太平洋海温的显著相关区域都主要位于赤道

表 2 中国东部 11 个的夏季降水序列与对应的 REOF 特征向量的时间系数的两两相关系数

Table 2 Correlations among summer rainfall in 11 subdivisions of eastern China and the corresponding time coefficients of the 11 leading REOF modes

	T_A	T_B	T_C	T_D	T_E	T_F	T_G	T_H	T_I	T_J	T_K
R_A	0.93 ¹⁾	0.31 ¹⁾	-0.03	0.03		-0.06	0.06	-0.06	-0.02	-0.06	0.04
R_B	0.18	0.93 ¹⁾	0.10	0.12	0.16	-0.05	0.09	-0.05	0.04	-0.02	0.09
R_C	0.05	0.07	0.92 ¹⁾	0.14	-0.01	-0.02	-0.06	-0.07	0.13	-0.06	0.03
R_D		0.18	0.43 ¹⁾	0.57 ¹⁾	0.09	0.16	0.06	-0.14	-0.01	-0.06	-0.08
R_E	0.09	0.31 ¹⁾		0.08	0.83 ¹⁾	0.14	-0.05	-0.20			-0.08
R_F	-0.04	-0.09	-0.41 ¹⁾	-0.11	0.12	0.72 ¹⁾	0.24	-0.19	-0.16	0.13	-0.02
R_G	0.09	0.03	-0.08	-0.04	-0.04	0.12	0.91 ¹⁾	0.26	0.11	-0.11	-0.05
R_H	-0.08	-0.01	-0.09	-0.09	-0.05	0.01	0.09	0.88 ¹⁾	0.28 ¹⁾	0.28 ¹⁾	-0.01
R_I	0.02	0.06	0.13	0.06		-0.12	0.07	0.07	0.88 ¹⁾	0.14	0.34 ¹⁾
R_J	-0.12	0.06	0.07	-0.06	0.02	-0.10	-0.24	0.12	0.23	0.83 ¹⁾	0.23
R_K	-0.02	0.17	0.03	-0.05	0.13	-0.07	-0.13	0.06	0.23	0.10	0.87 ¹⁾

注:11 个区夏季降水量分别记为 R_A-R_K (下同),其对应的 REOF 特征向量的时间系数记为: T_A-T_K ;1)表示通过 95%的置信度检验.

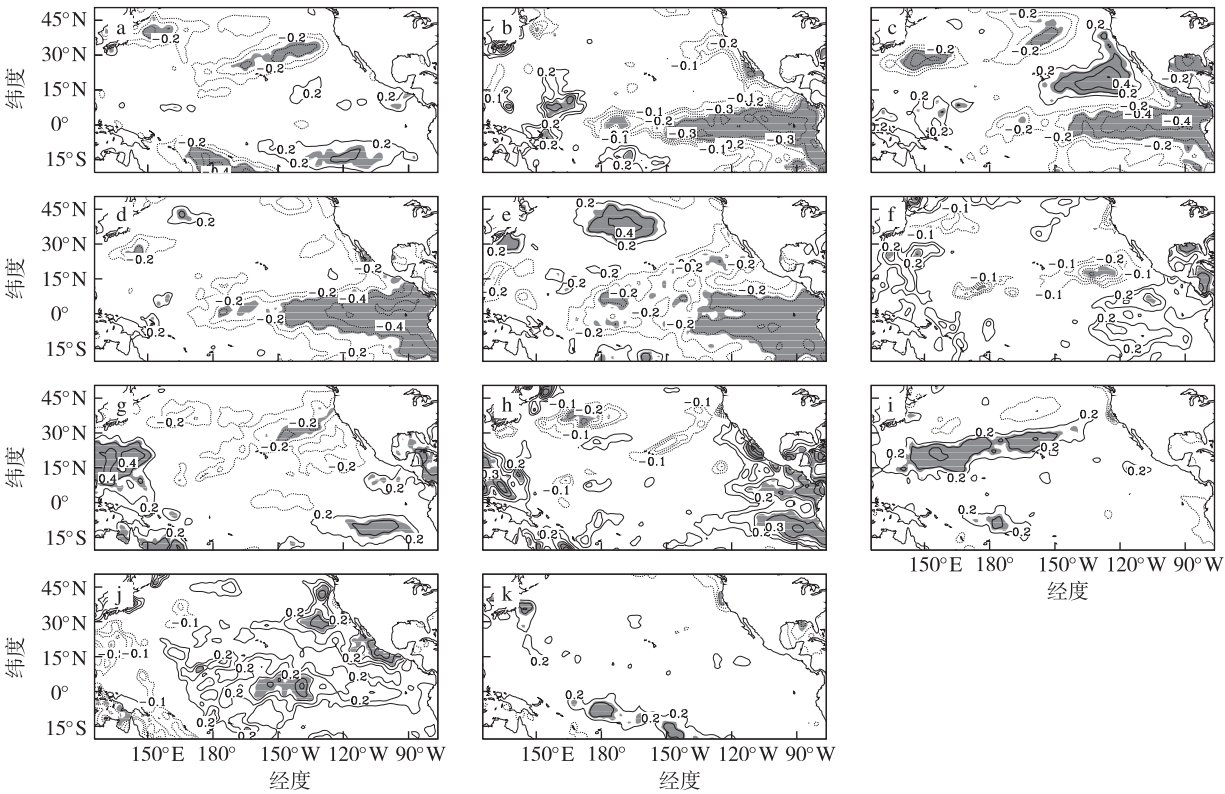


图 2 1960—2011 年夏季太平洋 SSTA 分别与 11 个雨区(A—K)夏季降水序列的相关分布(阴影区表示通过 95%的置信度检验)

Fig.2 Correlation of summer Pacific SSTA with summer rainfall in 11 subdivisions(A—K) for the period of 1960—2011(Shading indicates correlation significant at 95% significance level)

中东太平洋地区,且均为较强的负相关;而淮河以南雨区的夏季降水与太平洋海温的相关区域比较零散,且总体较弱。

根据 Wang (2002) 和游泳等 (2005) 的研究结论,分析 1983 年前后各雨区夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 相关关系的变化特征。如表 2 所示,在

1960—2011 年期间,夏季 Niño3 区 SSTA 只与 B 区、C 区、D 区、E 区的降水存在较强的负相关,且相关系数均通过 99% 的置信度检验,而与其他雨区几乎不相关。这与图 2 所得的结论一致,说明 ENSO 对淮河以北地区的夏季降水存在较强的影响,而与淮河以南地区夏季降水关系不大。对比 1960—1983 年和 1984—2011 年两个时段 Niño3 区 SSTA 与各区夏季降水的相关关系可以看出,河套地区(C 区)和黄河中下游(D 区)夏季降水一直和 Niño3 区 SSTA 保持显著的负相关,而东北地区(A 区)、长江中下游(G 区)、江南地区(H 区)、闽赣地区(J 区)和环琼州海峡地区(K 区)夏季降水与 Niño3 区 SSTA 的相关系数一直很小,保持稳定的不相关。

同时,也存在变化的相关关系,主要表现为:1983 年之后 B 区的相关系数从 -0.56 变为 -0.27,从显著负相关变为不相关,ENSO 与辽吉地区(B 区)夏季降水的相关性明显减弱,E 区也存在类似 B 区的年代际变化特征;值得注意的是,F 区和 I 区与 Niño3 区 SSTA 在 52 a 的长度上相关关系都不大,而在 1960—1983 年期间,F 区、I 区与 Niño3 区 SSTA 的相关系数分别为 0.41 和 -0.47,均通过 95% 的置信度检验;在 1984—2011 年期间,其相关系数均变得很小,尤其是 F 区,相关系数几乎为 0。即在 1983 年之前,ENSO 与淮河流域(F 区)、两广地区(I 区)夏季降水的关系较为密切,之后相关系数明显减弱,影响不大。

根据以上分析,可以将中国东部夏季降水与 ENSO 相关关系的变化分为 3 类,第 1 类为稳定不相关型,代表区有 A、G、H、J、K 区;第 2 类为稳定相关型,代表区为 C 区和 D 区;第 3 类为相关关系变化型,代表区有 B、E、F、I 区。

4 ENSO 与我国东部夏季降水相关关系的年代际变化特征

4.1 ENSO 与 11 个雨区夏季降水的滑动相关分析

为了进一步说明我国东部各个雨区夏季降水与 ENSO 相关关系的年代际变化特征,根据上述相关关系的 3 种类型,图 3 分别给出了各类的代表雨区夏季平均降水量与同期 Niño3 区 SSTA 的 21 a 滑动相关分析。由图 3a 可见,第一类代表区 A、G、H、J、K 区平均夏季降水量与同期 Niño3 区 SSTA 的 21 a 滑动相关系数均一直在 -0.36 ~ 0.36 之间变化,即相关系数一直不超过 90% 的置信度检验,尤其是东北地区(A 区)夏季降水,其与 Niño3 区 SSTA 的相

关系数始终在 0 附近摆动。虽然长江中下游(G 区)和环琼州海峡地区(K 区)的相关系数存在一定的趋势变化,但基本上都没有通过置信度检验,故其相关性仍不存在变化。所以,东北、长江中下游、江南、闽赣以及环琼州海峡地区平均夏季降水与 ENSO 的相关关系均始终较差,不存在明显的年代际变化,因此将他们归为一类是合理的。

图 3b 中,河套地区(C 区)夏季降水与 Niño3 区 SSTA 的 21 a 滑动相关系数基本维持在 -0.4 左右,为显著的负相关,且大部分相关系数都通过 95% 的置信度检验。虽然在 20 世纪 90 年代中后期其相关性有减弱的趋势,但趋势较弱,且只有 3 个点的相关系数较差,不能说明存在突变。黄河中下游(D 区)夏季降水与 Niño3 区 SSTA 的相关系数也大体都通过 90% 的置信度检验,尤其是在 80 年代中期以后,负相关尤为显著,相关系数基本维持在 -0.6 左右,且通过了 99% 的置信度检验。因此,河套地区和黄河中下游夏季降水与 ENSO 的相关关系均较为稳定,始终呈密切相关。当为 El Niño 年时,该年夏季河套地区和黄河中下游地区降水偏少,这与陶诗言和张庆云(1998)所得的结论一致。

图 3c 中,两广地区(I 区)夏季降水与 Niño3 区 SSTA 在 20 世纪 70 年代中期之前为显著的负相关,1975 年之后相关关系迅速减弱,变为不相关。与之变化趋势相似,辽吉地区(B 区)和黄淮地区(E 区)夏季降水与 Niño3 区 SSTA 的相关关系在 80 年代初之前为显著的负相关,之后相关系数基本都稳定在 -0.2 左右,没有通过 90% 的置信度检验,相关较差。而 Niño3 区 SSTA 与淮河流域(F 区)夏季降水在 80 年代中期以前为显著的正相关,而在 80 年代中期之后相关性突然下降,相关系数在 0 附近摆动。因此,F 区夏季降水与 Niño3 区 SSTA 的相关关系在 80 年代中期发生了一次明显的突变。由此可见,辽吉地区、黄淮地区、淮河流域以及两广地区与 ENSO 的相关关系均存在明显的年代际变化,且相关关系在突变之后均为一致的减弱趋势,都从显著相关变为几乎不相关。然而,不同区域的夏季降水与 ENSO 相关关系的突变年份并不一致,I 区的突变年份在 1975 年左右,B 区和 E 区的突变年份在 1980 年左右,F 区的突变年份在 1985 年左右。这与前人的研究结论存在差异,Wang(2002)将中国东部夏季降水作为一个相互联系的整体,认为整个东部夏季降水与 ENSO 相关关系的突变年份是一致的。而这种不同雨区与 ENSO 相关关系突变年份

表 3 夏季 Niño3 区 SSTa 分别与 11 个雨区夏季降水序列的相关系数

Table 3 Correlations between Niño3 SSTa and summer rainfall in 11 subdivisions

	R_A	R_B	R_C	R_D	R_E	R_F	R_G	R_H	R_I	R_J	R_K
Niño3 ₍₁₎	0.01	-0.39 ²⁾	-0.41 ²⁾	-0.5 ²⁾	-0.36 ²⁾	0.22	0.03	0.17	-0.04	0.23	0.03
Niño3 ₍₂₎	-0.14	-0.56 ²⁾	-0.44 ¹⁾	-0.41 ¹⁾	-0.52 ²⁾	0.41 ¹⁾	0.11	0.23	-0.47 ¹⁾	0.2	-0.17
Niño3 ₍₃₎	0.10	-0.27	-0.36 ¹⁾	-0.56 ²⁾	-0.19	0.07	-0.10	0.10	0.23	0.25	0.09

注: Niño3₍₁₎、Niño3₍₂₎、Niño3₍₃₎ 分别表示 1960—2011 年、1960—1983 年、1984—2011 年的 Niño3 区 SSTa 序列; 1) 表示通过 95% 的置信度检验, 2) 表示通过 99% 的置信度检验。

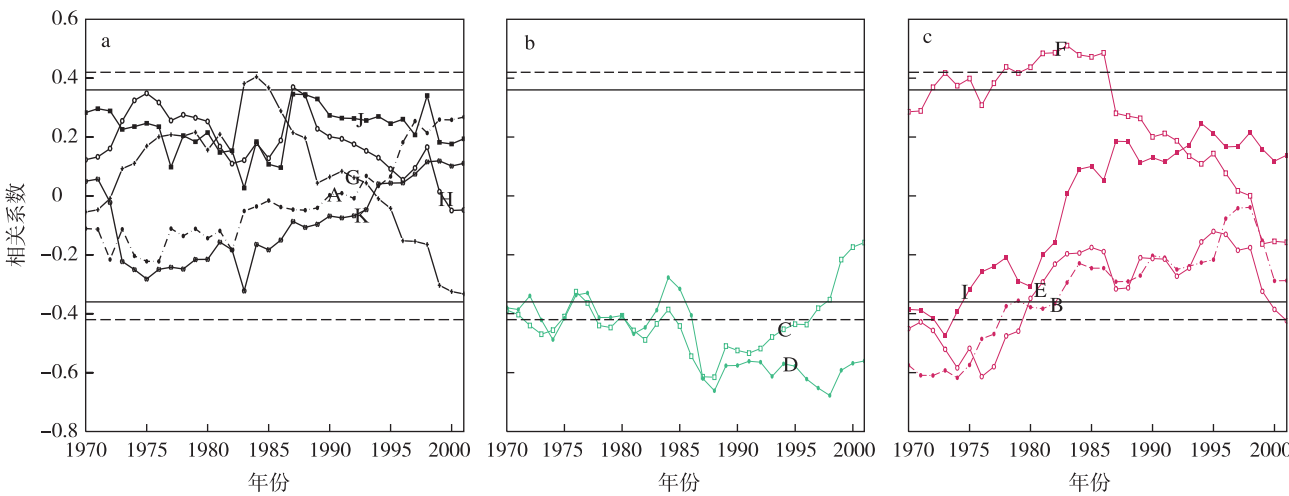


图 3 1960—2011 年 11 个雨区夏季降水序列分别与同期 Niño3 区 SSTa 的 21 a 滑动相关系数的变化 (实线为 90% 置信度检验线, 虚线为 95% 置信度检验线) a. A、G、H、J、K 区; b. C、D 区; c. B、E、F、I 区

Fig.3 11-year sliding correlation of area mean summer rainfall with simultaneous Niño3 SSTa for the period of 1960—2011 (dashed lines; correlation significant at 90% significance level; solid lines with dots; correlation significant at 95% significance level): (a) Subdivisions A, G, H, J and K; (b) Subdivisions C and D; (c) Subdivisions B, E, F and I

的不一致性在一定程度上也体现出我国东部不同雨区之间的相互独立性。

4.2 ENSO 与第 3 类雨区夏季降水相关关系的年代际变化

根据上述的讨论, 将 ENSO 与我国东部不同雨区夏季降水的相关关系在长期中的变化分为 3 类是合理的。由于第 1 类和第 2 类都较为稳定, 均无明显的年代际突变, 因而下面将详细讨论第 3 类代表雨区夏季降水与 ENSO 相关关系的年代际变化特征。

上述滑动相关分析可知, 两广地区 (I 区) 夏季降水与同期 Niño3 区 SSTa 的相关关系在 20 世纪 70 年代中期发生了一次突变, 由显著负相关变为近乎不相关。因此, 以 1975 年为界, 进一步分析在两个阶段 I 区夏季降水与同期太平洋海温的相关分布。如图 4a 所示, 在 1960—1975 年, I 区夏季降水与同期赤道东太平洋海温有显著负相关, 中心极值可达 -0.5, 且通过 95% 的置信度检验。在北太平洋

有一条中西走向的狭长的显著正相关区域, 并与赤道西太平洋的正相关区域相衔接。说明在 1975 年前, 太平洋海温对我国华南夏季降水有较强的影响。而在 1976—2011 年, 整个太平洋海温与 I 区夏季降水的相关都减弱了。赤道东太平洋的负相关区消失了, 北太平洋的正相关区也明显缩小, 且较为零散。而值得注意的是, 赤道中太平洋有一显著的正相关区, 中心极值可达 0.4, 并通过 95% 的置信度检验。因此, 有理由认为, ENSO 与华南夏季降水在 1975 年前后的相关关系发生了模态上的转变, 1975 年前为东部型, 1975 年之后转变为中部型。

由于辽吉地区 (B 区) 和黄淮地区 (E 区) 的夏季降水与同期 Niño3 区 SSTa 的相关关系均在 20 世纪 80 年代初发生明显的年代际变化, 故通过进一步分析 1960—1980 年和 1981—2011 年两个阶段 B 区、E 区夏季降水与太平洋海温的相关分布发现: 比较图 5a、5b, 80 年代初以前, B 区夏季降水与太平洋海温的相关区域主要在赤道东太平洋地区, 为显著

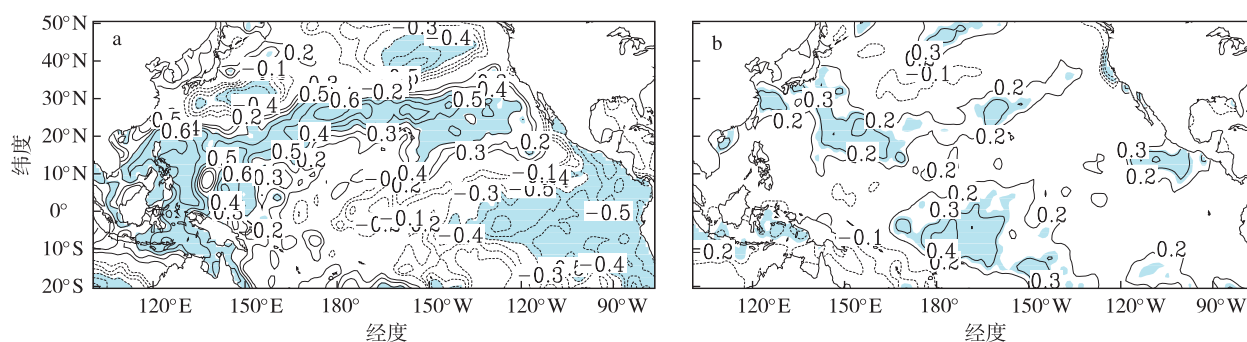


图4 1960—1975年(a)和1976—2011年(b)太平洋海温与两广地区(I区)夏季降水的相关分布(阴影区表示通过90%的置信度检验)

Fig.4 Correlation of summer Pacific SSTA with summer rainfall in the Guangdong-Guangxi area (Subdivision I) for the periods of (a) 1960—1975 and (b) 1976—2011 (shading indicates correlation significant at 90% significance level)

的负相关,极值达-0.5,且通过95%的置信度检验。当发生暖ENSO事件时,该年夏季辽吉地区偏旱。而1980年以后,赤道东太平洋地区的显著相关区域近乎消失,并且整个太平洋几乎都不存在显著相关区域。因此在1980年以后,ENSO对辽吉地区的夏季降水几乎没有影响。黄淮地区夏季降水在80年代初之前与赤道中东太平洋海温均存在显著负相关,尤其是赤道中太平洋地区,极值可达-0.5,并通过99%的置信度检验。同时在北太平洋中部有一个较强的正相关区,中心极值高达0.6(图5c)。而

在1981—2011年期间(图5d),相关场的模态发生了变化,日本、菲律宾以东洋面上都存在显著的正相关区,而赤道中东太平洋的负相关明显减弱,尤其是赤道中太平洋,相关区域完全消失,仅在Niño1+2区存在一小块显著负相关区。说明在1980年以后,ENSO与黄淮地区夏季降水的相关关系明显减弱。

滑动相关分析表明(图3c),淮河流域(F区)夏季降水与Niño3区SSTA的相关关系在20世纪80年代中期存在一个明显的年代际变化。图6分别给出了1985年前后两个时期的淮河流域夏季降水与

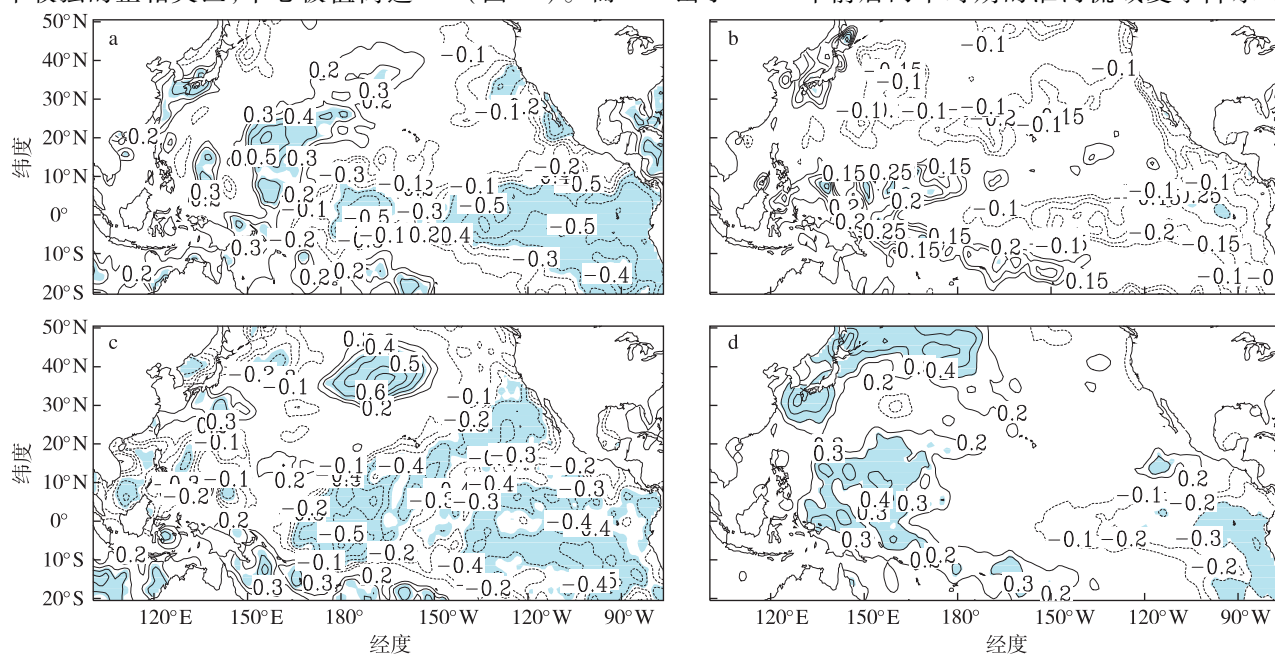


图5 1960—1980年(a,c)和1981—2011年(b,d)太平洋海温与辽吉地区(B区)(a,b)、黄淮地区(E区)(c,d)夏季降水的相关分布(阴影区表示通过90%的置信度检验)

Fig.5 Correlation of summer Pacific SSTA with summer rainfall in the (a,b) Liaoning-Jilin area (Subdivision B) and (c,d) Yellow River-Huaihe River area (Subdivision E) for the periods of (a,c) 1960—1980 and (b,d) 1981—2011 (shading indicates correlation significant at 90% significance level)

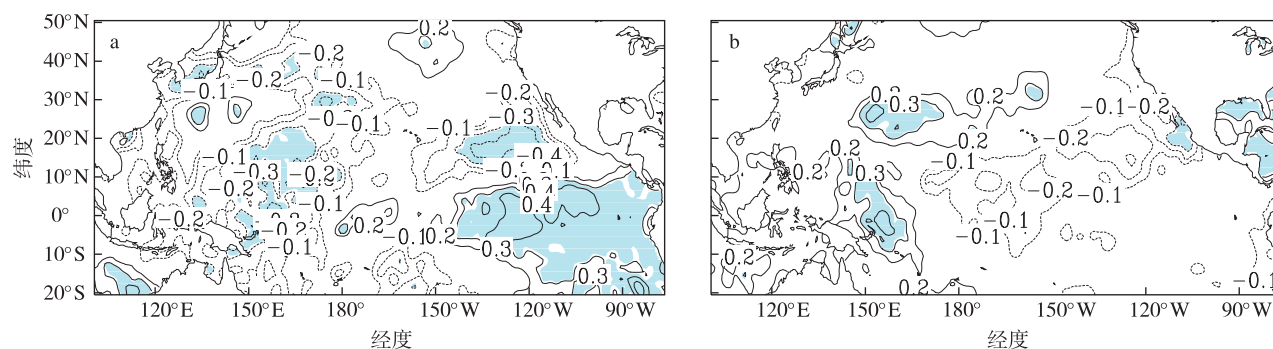


图 6 1960—1985 年(a)和 1986—2011 年(b)太平洋海温与淮河流域(F 区)夏季降水的相关分布(阴影区表示通过 90% 的置信度检验)

Fig.6 Correlation of summer Pacific SSTA with summer rainfall in the Huaihe River area(Subdivision F) for the periods of (a) 1960—1985 and (b) 1986—2011(shading indicates correlation significant at 90% significance level)

太平洋海温的相关分布,可见,在 1960—1985 年(图 6a),赤道东太平洋为显著的正相关区,中心极值达 0.4,且通过 95% 的置信度检验。这与其他雨区的相关关系明显不同,无论 B 区、E 区还是 I 区,其与赤道东太平洋海温均为显著负相关,而 F 区为显著正相关。而在 1986—2011 年(图 6b),赤道东太平洋的显著相关区域显然消失,且整个太平洋除了西太平洋有小块显著相关区外,整体均与淮河流域夏季降水相关不大。故在 80 年代中期以前,当发生暖 ENSO 事件时,该年淮河流域夏季降水偏多。而在 80 年代中期以后,ENSO 对淮河流域夏季降水几乎无影响。

5 结论

通过将我国东部夏季降水进行空间分区,并分析各雨区夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 的相关关系及其年代际变化特征,得到以下结论:

1) 过去的研究常常将中国东部夏季降水作为相互联系的整体进行分析,忽略了不同地区夏季降水的局地性与独立性,本文根据最新的研究结果,对中国东部夏季降水进行 REOF 分析,将中国东部夏季降水分为 11 个雨区,并证实该 11 个雨区的确是

相互独立的。

2) 通过分析 11 个雨区夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 的相关关系发现,并不是每个雨区夏季降水都与同期 Niño3 区 SSTA 密切相关。总体而言,淮河以北雨区(除东北地区)的夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 的相关较为密切,而淮河以南雨区的夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 的相关均较差。

3) 根据 11 个雨区夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 相关关系的年代际变化特征,将我国东部夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 的相关关系分为 3 类:第 1 类为稳定不相关型,代表区为东北地区、长江中下游地区、江南地区、闽赣地区、环琼州海峡地区;第 2 类为稳定相关型,代表区为河套地区、黄河中下游地区;第 3 类为相关关系变化型,代表区为辽吉地区、黄淮地区、淮河流域以及两广地区。

4) 在第 3 类相关关系变化型中,4 个雨区夏季降水与同期 Niño3 区 SSTA 相关关系的年代际突变时间也存在差异,两广地区的突变年份在 1975 年左右,辽吉地区和黄淮地区的突变年份在 1980 年左右,淮河流域的突变年份在 1985 年左右。这种相关关系年代际变化的不一致性也正体现了不同雨区之间的独立性。

参考文献(References)

- 陈烈庭,1988.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(特刊):142-148. Chen L T,1988.Zonal anomaly of sea surface temperature in the tropical Indo-Pacific Ocean and its impact on the Asian summer monsoon[J].Scientia Atmospherica Sinica(Special Issue):142-148.(in Chinese).
- 陈文,2002.El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响[J].大气科学,26(5):597-609. Chen W,2002.Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon[J].Chin J Atmos Sci,26(5):597-609.(in Chinese).
- 邓伟涛,孙照渤,曾刚,等,2009.中国东部夏季降水型的年代际变化及其与北太平洋海温的关系[J].大气科学,33(4):835-846. Deng W T, Sun Z B, Zeng G, et al.,2009.Interdecadal variation of summer precipitation pattern over eastern China and its relationship with the North Pacific SST[J].Chin J Atmos Sci,33(4):835-846.(in Chinese).

- 高辉,2006.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[J].应用气象学报,17(1):1-9. Gao H,2006.Decadal variation of the relationship between summer precipitation along the Huaihe River Valley and SST over the equatorial eastern Pacific[J].J App Meteor Sci,17(1):1-9.(in Chinese).
- Huang R,Wu Y,1989.The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism[J].Adv Atmos Sci,6:21-32.
- 黄荣辉,傅云飞,臧晓云,1996.亚洲季风与 ENSO 循环的相互作用[J].气候与环境研究,1(1):38-54. Huang R H,Fu Y F,Zang X Y,1996.Asian monsoon and ENSO cycle interaction[J].Climatic Environ Res,1(1):38-54.(in Chinese).
- 金大超,2014.中国东部夏季降水年际变化区域性特征及重大异常事件形成机理[D].南京:南京信息工程大学. Jin D C,2014.Interdecadal variation of the extremes of regional rainfall in East China during boreal summer:phenomena and mechanisms[D].Nanjing:Nanjing University of Information Science & Technology.(in Chinese).
- 金大超,管兆勇,蔡佳熙,等,2010.近 50 年华东地区夏季异常降水空间分型及与其相联系的遥相关[J].大气科学,34(5):947-961. Jin D C,Guan Z Y,Cai J X,et al.,2010.Anomalous summer rainfall patterns in East China and the related teleconnections over recent 50 years[J].Chin J Atmos Sci,34(5):947-961.(in Chinese).
- Kinter J L,Miyakoda K,Yang S,2002.Recent change in the connection from the Asian Monsoon to ENSO[J].J Climate,15(10):1203-1215.
- 施能,杨永胜,陈辉,2001.我国东部夏季降水百年雨型的多时间尺度变化特征研究[J].气象科学,21(3):316-325. Shi N,Yang Y S,Chen H,2001.A study on the features of East-China summer rainfall pattern on the multi-time scale in the past 98 years[J].Scientia Meteorologica Sinica,21(3):316-326.(in Chinese).
- 孙照渤,陈海山,谭桂容,等,2010.短期气候预测基础[M].北京:气象出版社. Sun Z B,Chen H S,Tan G R,et al.,2010.Elements of short period climate predictions[M].Beijing:China Meteorology Press.(in Chinese).
- 陶诗言,张庆云,1998.亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应[J].大气科学,22(4):399-407. Tao S Y,Zhang Q Y,1998.Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events[J].Scientia Atmospheric Sinica,22(4):399-407.(in Chinese).
- Wang H,2002.The instability of the East Asian summer Monsoon-ENSO relation[J].Adv Atmos Sci,19(1):1-11.
- 王晓春,吴国雄,1996.利用空间均匀网格对中国夏季降水异常区域特征的初步分析[J].气象学报,54(3):324-332. Wang X C,Wu G X,1996.Regional characteristics of summer precipitation anomalies over China identified in a spatial uniform network[J].Acta Meteorologica Sinica,54(3):324-332.(in Chinese).
- 许婷婷,郭品文,谢洁,等,2010. ENSO 与我国东部夏季雨型异常关系的年代际变化[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2(4):367-372. Xu T T,Guo P W,Xie J,et al.,2010.Interdecadal change of relationship between ENSO and the summer rain pattern of eastern China[J].Journal of Nanjing University of Information Science & Technology(Natural Science Edition),2(4):367-372.(in Chinese).
- 游泳,郭品文,廖勇,等,2005. ENSO 与中国东部地区夏季降水相关性年代际变化特征[J].气象科技,33(2):142-146. You Y,Guo P W,Liao Y,et al.,2005.Interdecadal features of correlation between ENSO and summer rainfall in East China[J].Meteorological Science and Technology,33(2):142-146.(in Chinese).
- 曾刚,伯仲凯,孙照渤,等,2013.海表温度异常影响东亚夏季风年代际变化的数值模拟[J].大气科学学报,36(3):286-296. Zeng G,Bo Z K,Sun Z B,et al.,2013.Numerical simulation of SSTA effect on interdecadal variation of East Asian summer monsoon[J].Trans Atmos Sci,36(3):286-296.(in Chinese).
- 朱益民,杨修群,陈晓颖,等,2007. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化[J].热带气象学报,23(2):105-116. Zhu Y M,Yang X Q,Chen X Y,et al.,2007.Interdecadal variation of the relationship between ENSO and summer interannual climate variability in China[J].J Trop Meteor,23(2):105-116.(in Chinese).
- 宗海锋,陈烈庭,张庆云,2010. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征[J].大气科学,34(1):184-192. Zong H F,Chen L T,Zhang Q Y,2010.The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China[J].Chin J Atmos Sci,34(1):184-192.(in Chinese).
- 邹力,倪允琪,1997. ENSO 对亚洲夏季风异常和我国夏季降水的影响[J].热带气象学报,13(4):306-314. Zou L,Ni Y Q,1997.Impact of ENSO on the variability of the summer monsoon over Asia and the summer rainfall in China[J].J Trop Meteor,13(4):306-314.(in Chinese).
- 赵汉光,张先恭,1996.东亚季风和我国夏季雨带的关系[J].气象,22(4):8-12. Zhao H G,Zhang X G,1996.The relationship between the summer rain belt in China and the East Asian monsoon[J].Meteor Mon,22(4):8-12.(in Chinese).
- 赵振国,蒋伯仁,2000. ENSO 事件对中国气候的可能影响[J].山东气象,20(1):4-12. Zhao Z G,Jiang B R,2000.Impact of ENSO event on the climate in China[J].Journal of Shandong Meteorology,20(1):4-12.(in Chinese).

Interdecadal variation of the relationship between ENSO and East-China summer rainfall

GUO Pinwen, LANG Liling

Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

In this study, based on the monthly sea surface temperature data and daily rainfall of 753 stations over China, 11 subdivisions of summer rainfall in eastern China were found by using the rotated empirical orthogonal function (REOF), and other methods. The 11 subdivisions of summer rainfall were shown by statistical methods to be independent from each other, which differs from the three types of summer rainfall patterns of eastern China, thus representing the connection of summer rainfall in eastern China. Based on the interdecadal variation of the relationship between ENSO and 11 subdivisions of summer rainfall, three categories of the correlation between SSTa in the Niño3 region and summer rainfall were defined by means of moving correlation, composite analysis, etc. In the first category, the correlation is always very weak in the long term, such as in northeastern China, the middle and lower reaches of the Yangtze River, south of the Yangtze River, the Fujian-Jiangxi area, and the Qiongzhou Rim strait. In the second category, the significant correlation is fairly stable, such as in the Hetao area and middle and lower reaches of the Yellow River. In the third category, the relationship shows noticeable changes, as such as in the Liaoning-Jilin, Yellow River-Huaihe River, Huaihe River and Guangdong-Guangxi areas. In the fourth category, the abrupt year of the interdecadal variation of the relationship between ENSO and four subdivisions of summer rainfall in eastern China differ. The correlation between SSTa in the Niño3 region and the summer rainfall in the Guangdong-Guangxi area abruptly changed in 1975. However, the relationship between ENSO and summer rainfall in the Liaoning-Jilin and Yellow River-Huaihe River areas was weak after 1980. The interdecadal variation of the relationship between ENSO and summer rainfall of the Huaihe River occurred around 1985.

ENSO; summer rainfall in East China; relationship; interdecadal variation; type of the correlation

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20150117001

(责任编辑:孙宁)