

东亚夏季风与北太平洋 SSTA 关系的年代际变化特征及其机制研究

李 峰, 何金海

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要: 利用 NCEP/NCAR 提供的 40 年再分析资料和英国气象局提供的海温资料以及中国气象局整编的 160 站降水资料, 分析了东亚夏季风以及我国华北夏季降水的年代际变化特征及其与北太平洋 SSTA 的关系。指出东亚夏季风在 70 年代中期发生显著变化, 1976 年前东亚夏季风偏强, 受其影响华北地区夏季降水偏多; 1976 年以后, 东亚转为弱夏季风阶段, 华北地区进入少雨期。研究表明, 1976 年前北太平洋 SSTA 对大气作用显著, 北太平洋海温异常对大圆波列会产生 1 种年际尺度的“刺激”作用叠加在年代际背景上, 加强或减弱波列强度, 造成强夏季风阶段华北夏季降水偏多气候态下的年际变化。1976 年后, 北太平洋地区海气温差小, 海温对大气加热作用不明显, 因此北太平洋海温异常通过大圆波列与东亚夏季风的联系也变得淡漠, 对我国华北地区夏季降水的影响不再显著。

关键词: 东亚夏季风, 华北降水, 海温异常, 大圆波列, 年代际变化

中图分类号: P732.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0199-08

许多研究表明, 北太平洋 SSTA 对我国东部夏季降水有明显的作^[1~2]。最近, 朱乾根等^[3]提出了北太平洋中纬海温异常对中国东部夏季降水影响的可能途径, 指出前期北太平洋海温首先对同期 850 hPa u 场斜压波列施加影响, 该波列又对其后期斜压波列施加影响, 此斜压波列影响中国东部夏季降水异常。我们发现, 上述研究都是建立在年际或季节变化的基础之上, 对于气候系统存在明显的年代际背景很少考虑。众所周知, 在不同的气候态下, 气候子系统之间的相互作用会有明显不同, 因此, 忽略了气候系统的年代际背景, 单纯分析海洋与我国东部降水的关系, 所得到的结果, 必然在某一阶段适用, 而在另外的时期不够准确。

研究表明, 东亚夏季风气候有明显的年代际变化特征^[4], 尤其中国华北地区夏季降水异常表现出明显的阶段性, 50 年代至 60 年代前期为多降水期, 70 年代为平降水期, 70 年代末到 80 年代为少降水期^[5]。许多观测事实表明, 70 年代中期北太平洋海温也发生一次突变, 造成大气环流的显著异常^[6]。本文主要讨论东亚夏季气候的年代际异常与海温场突变存在的内在联系及在气候显著变化前后的不同气候态下, 太平洋海温与中国夏季风气候以及区域降水关系的变化和变化机理。

收稿日期: 2000-06-20; 修订日期: 2000-10-30

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“中国区域气候变化分析和机理研究”课题(49735170)

作者简介: 李 峰, 男, 1974 年 10 月生, 硕士, 现在国家气象中心工作

1 资料

本文主要利用英国气象局提供的 $1^\circ \times 1^\circ$ 的海温场资料和 NCEP/NCAR 提供的 1958 ~ 1997 年 40 年 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 高度和风场资料。降水资料是中国气象局整编的全国 160 标准站 45 年资料。

本文引用孙秀荣^[7]提出的定义东亚夏季风强度年际异常的新方法,直接用东亚地区海陆热力差异表示东亚夏季风强度,既包含纬向海陆热力差异,也包含经向海陆热力差异。用东亚季风区($27^\circ \sim 35^\circ \text{N}$, 105°E 以东的大陆)范围内的地表气温和副热带西北太平洋($15^\circ \sim 30^\circ \text{N}$, $120^\circ \sim 150^\circ \text{E}$)的海表温度之差表示东西向热力差异,用华南地区(27°N 以南, 105°E 以东的大陆)的气温和南海($105^\circ \sim 120^\circ \text{E}$, $5^\circ \sim 18^\circ \text{N}$)海表温度之差表示南北向海陆热力差,然后加权求和,称为东亚海陆温差指数,简称为 I_{LSTD} (land-sea thermal difference 或 land-sea temperature difference),表示如下,

$$I_{\text{LSTD}} = \frac{4}{5}(T_{\text{EC}} - \text{SST}_{\text{STNWP}}) + \frac{1}{5}(T_{\text{SC}} - \text{SST}_{\text{SCS}}).$$

该指数能很好的反映东亚夏季风的环流形势以及与夏季季风降水异常的关系,具体方法和意义请参考文献[7]。

2 北太平洋 SSTA 与东亚夏季风及华北降水的年代际关系

2.1 东亚夏季风及华北夏季降水的年代际变化特征

长期观测资料分析表明,我国季风气候和区域降水存在明显的年代际变化特征^[4,5]。

图 1 给出 1958 ~ 1993 年东亚夏季海陆热力差指数的年际演变及高斯 9 点平滑曲线。由此可见, I_{LSTD} 不但有明显的年际变化,而且具有显著的年代际变化趋势。如虚线所示,70 年代中期前, I_{LSTD} 多数年份为正值,数值偏大,反映了东亚夏季风偏强,70 年代中期以后,多为负值,绝对值偏大,反映了东亚夏季风偏弱。根据孙秀荣^[7]的定义,选取 $I_{\text{LSTD}} > 1.0$ 为强 LSTD 年,表示东亚强夏季风, $I_{\text{LSTD}} < -1.0$ 为弱 LSTD 年,表示东亚弱夏季风,则 1959、1961、1967、1971、1978、1990 年共 6 年为强 LSTD 年,其中 4/6 发生在 70 年代中期之前;1980、1982、1983、1987、1989、1992、1993 年共 7 年为弱 LSTD 年,且全部发生在 70 年代中期以后。9 点平滑曲线

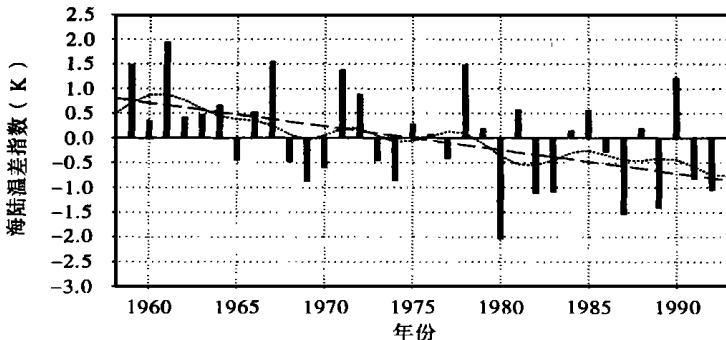


图 1 1958 ~ 1993 年的东亚夏季海陆温差指数 I_{LSTD} 的年际演变
直方图为 I_{LSTD} 年际演变, 虚直线为趋势线, 虚曲线为 9 点平滑曲线

Fig. 1 Interannual variation of east Asian land-sea temperature difference index from 1958 to 1993

Dashed line for trend, dotted curve for 9 a running mean

更好地反映了年代际特征, 图中 1958 年到 70 年代初, 曲线全为正值, 70 年代末到 90 年代初全部转为负值, 70 年代中期为过渡期。为了更好地确定东亚夏季风在 70 年代中期的气候转折点, 利用 M-K 方法进行了突变点检验, 确定 1976 年为东亚夏季风的突变点, 1958~1975 年为东亚强夏季风阶段, 1976~1993 年东亚地区转为弱夏季风阶段。

图 2 给出 1958~1993 年夏季华北地区降水距平的 5 a 滑动平均曲线, 它清楚地表明华北地区夏季降水存在明显的年代际变化。50 年代末到 60 年代中期为多雨期, 1965~1970 年降水偏少, 70 年代初到后期降水偏多, 70 年代后期到 90 年代初降水明显偏少, 华北进入干旱期。

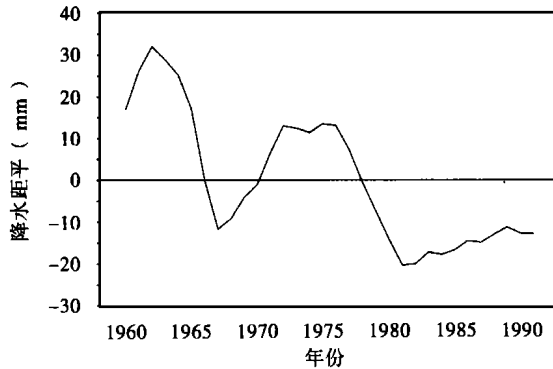


图 2 华北地区夏季平均降水距平的 5 a 平滑曲线(单位: mm)

Fig. 2 5 a running mean of summer precipitation departure in north China (unit: mm)

2.2 东亚夏季风及华北降水与太平洋海温的年代际关系

研究表明, 东亚夏季风在 70 年代中期发生了显著变化, 与此同时, 太平洋海温也发生了突变⁶⁾, 我国华北地区夏季降水也表现了明显的年代际变化特征。

为了分析东亚夏季风与太平洋海温的关系, 利用 I_{LSTD} 与夏季太平洋 SSTA 求相关(图略)可以看出, 1958~1993 年, 与 I_{LSTD} 相关较好的区域是北太平洋和赤道中东太平洋两个海区, 中心均可以通过 0.05 信度检验。1976 年东亚夏季风气候突变后, I_{LSTD} 与夏季太平洋 SSTA 的负相关在中东太平洋仍然存在, 而原来位于北太平洋的正相关显著区消失了, 说明北太平洋海温的作用在 1976 年以前是重要的, 而 1976 年以后中东太平洋海温与东亚夏季风关系密切, 北太平洋 SSTA 的作用变得不显著。

图 3 给出 1976 年前后华北夏季降水与太平洋 SSTA 的相关分布。由图可见, 1976 年之前, 北太平洋存在一片正的相关显著区, 而 1976 年之后, 华北夏季降水与太平洋 SSTA 关系普遍不好, 没有显著区存在, 北太平洋显著区也消失了。这说明 1976 年前北太平洋海温异常与我国华北降水关系好, 影响华北夏季降水, 1976 年以后, 北太平洋 SSTA 对华北地区夏季降水的作用变得不明显。

由上分析可知, 1958~1993 年东亚夏季风与夏季太平洋海温关系密切的区域有两处, 北太平洋和赤道中东太平洋。1976 年前后东亚夏季风发生了显著变化。1976 年前东亚夏季风与北太平洋海温的关系显著, 北太平洋 SSTA 影响华北地区夏季降水; 1976 年以后中东太平洋夏季海温场的作用重要, 北太平洋 SSTA 对华北降水的作用不再显著。下面将尝试解释 70 年代中期前后北太平洋区域海温异常对华北降水的影响由强转弱的原因。

3 夏季风与北太平洋海温关系的变化及其对华北夏季降水的影响

50 年代末到 70 年代中期东亚夏季风处于偏强的阶段, 70 年代中期到 90 年代初东亚处于

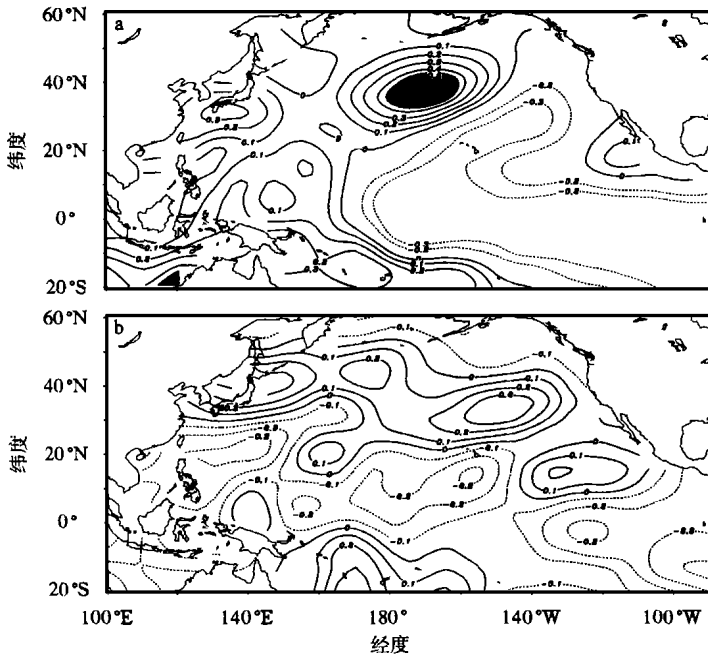


图 3 华北地区夏季降水与太平洋夏季 SSTA 的同期相关分布

a. 1958 ~ 1975; b. 1976 ~ 1993

阴影区为通过 0.05 信度检验的相关显著区

Fig. 3 The simultaneous correlation between north China rainfall and Pacific SSTA in summer

a. 1958 ~ 1975; b. 1976 ~ 1993

Shaded for regions of passing the test at 0.05 confidence level

弱夏季风阶段。现在我们的目的,就是研究在东亚夏季风强、弱不同年代的气候背景下,为什么东亚夏季风与北太平洋海温异常的关系会有如此明显的变化。

根据强弱夏季风的定义,选取 1958 ~ 1975 年中极端强海陆温差指数年(1959、1961、1967、1971 年)的合成来代表 1976 年以前强夏季风阶段的背景场,选取 1976 ~ 1993 年中极端弱海陆温差指数年(1980、1982、1983、1987、1989、1992、1993 年)的合成表示 1976 年以后的弱夏季风阶段的背景场。图 4 是强弱夏季风背景下 500 hPa 高度场异常形势。由图可见,强夏季风背景下(图 4a),从菲律宾到中南半岛、我国南部,经由我国华北地区、朝鲜半岛、日本南部、鄂霍次克海、北太平洋,一直到北美西岸存在一个明显的波列,菲律宾到中南半岛和鄂霍次克海分别为负异常,位势偏低,朝鲜半岛与北太平洋上空分别为正异常中心,位势偏高,东北太平洋为负异常中心,北美西海岸为正异常。这种分布形势减弱了鄂霍次克海高压,减弱了中高纬经向环流,有利于西太平洋副高北上;强度减弱,西风带北推,有利于夏季风北进,与偏北的冷空气作用,使梅雨锋位置偏北,从而使华北地区降水偏多。另外,菲律宾上空的高度场偏低,有利于该地区的对流增强,从而使华北降水偏多,而江淮流域处于单一强劲的夏季风气流控制下容易发生干旱。而弱夏季风背景下(图 4b),该波列依然明显,但位相相反,从菲律宾、中南半岛到北美西海岸成“+ - + - + -”分布。这种分布形势加强了鄂霍次克海高压,加强了中高纬度的经向环流,使副高位置偏南,西风扰动偏南,有利于北方冷空气南下与夏季风交汇于江淮流域,使江淮降水偏多,华北旱。另外,菲律宾周围上空位势偏高,对流减弱,也有利江淮流域降水。而该波列与我国学者所说的 EAP 型(东亚太平洋型)很相似,其路径成一大圆,因此我们称之为

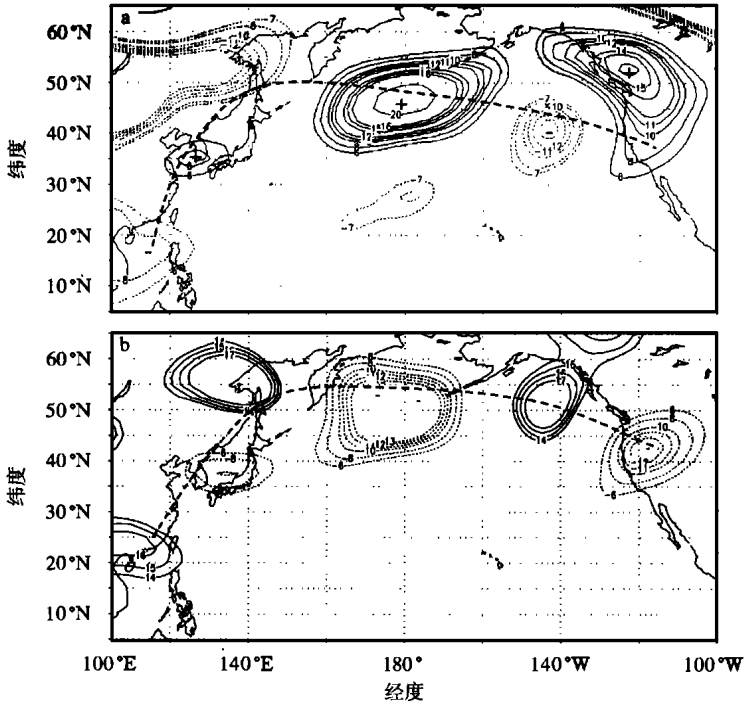


图 4 强夏季风背景(a)、弱夏季风背景(b)亚太地区 500 hPa 高度场异常形势

Fig. 4 Composed Height departure distribution at 500 hPa for strong LSTD (a) and weak LSTD (b) summers

“大圆波列”。

强弱夏季风的环流异常形式可以解释华北地区夏季降水的年代际变化的原因,但是不能说明东亚夏季风及华北降水与北太平洋 SST A 的关系在 1976 年前后由强转弱的原因。

为了研究上述大圆波列与北太平洋海温异常的关系,我们在北太平洋地区、鄂霍次克海地区、朝鲜半岛至日本南部、中南半岛至菲律宾分别选取两点,定义一个大圆指数 I_{CC} (Great Circle Index, 即东亚-太平洋遥相关 EAP 型指数),

$$I_{CC} = (H_1 - H_2 + H_3 - H_4) / 4.$$

式中, H_1 是(50 N, 180 °), (50 N, 175 °W) 两点的平均值, 代表北太平洋区域; H_2 是(55 N, 135 °E), (55 N, 140 °E) 两点的平均值, 代表鄂霍次克海地区; H_3 是(35 N, 135 °E), (40 N, 130 °E) 两点的平均值, 代表朝鲜半岛及日本南部; H_4 是(15 N, 105 °E), (10 N, 120 °E) 两点的平均值, 代表中南半岛及菲律宾地区。 H_1, H_2, H_3, H_4 均经过标准化处理。

图 5 是 I_{CC} 的年际变化图, 曲线为 5 年滑动平均。由图可见, I_{CC} 有明显的年代际变化特征。从 50 年代末到 70 年代中期, I_{CC} 基本上为正值, 70 年代中期以后转为负值, 与图 4 强弱夏季风不同阶段波列呈现的正负位相一致。

I_{CC} 与东亚海陆温差指数的关系稳定, 1976 年前后相关系数分别为 0.444 7、0.487 1, 均通过 0.05 的信度检验, 说明东亚夏季海陆热力差异可能会使能量沿大圆路径传播形成一个波列。1976 年以前东亚强夏季风海陆热力差异大, 造成大圆波列呈正位相分布; 1976 年以后东亚弱夏季风造成大圆波列呈反位相分布。

图 6 是 1976 年前后 I_{CC} 与太平洋夏季海温的相关分布。由图可见, 大圆波列与北太平洋

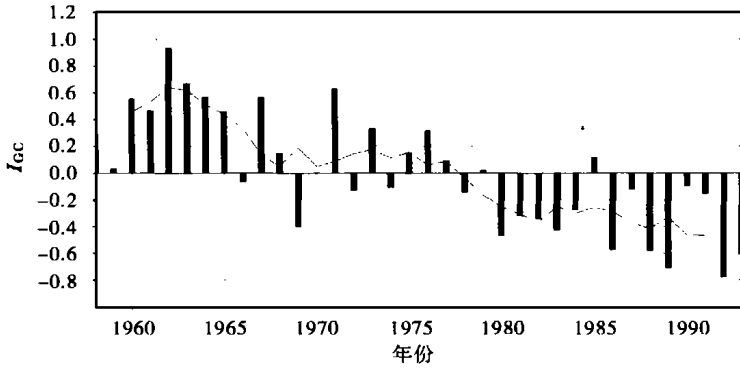


图 5 夏季大圆波列指数 I_{CC} 的年际演变直方图(曲线为 5 年滑动平均)

Fig. 5 Interannual variation of I_{CC} (curve for 5 a running mean)

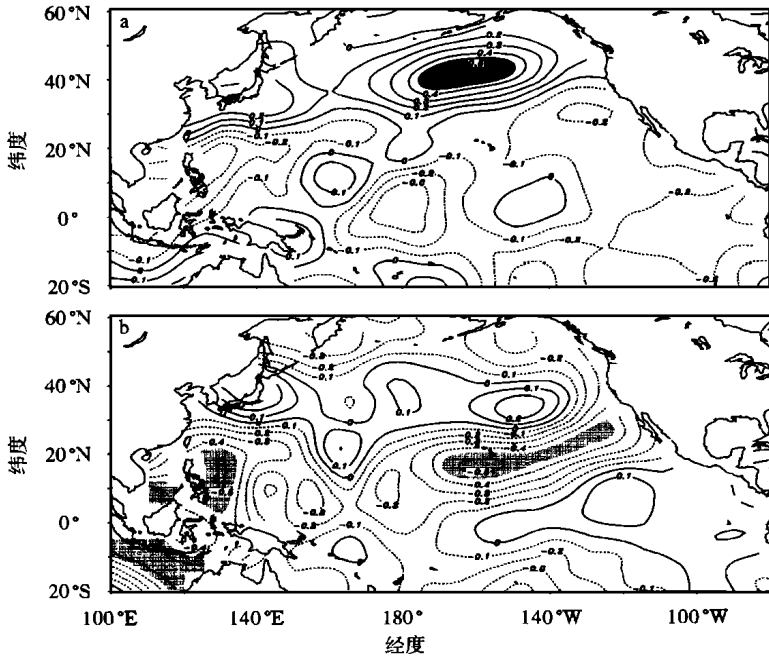


图 6 大圆波列指数 I_{CC} 与夏季太平洋 SSTA 的同期相关分布

阴影区为通过 0.05 信度检验的相关显著区

a. 1958 ~ 1975 年; b. 1976 ~ 1993 年

Fig. 6 The simultaneous correlation between I_{CC} and Pacific SSTA in summer

a. 1958 ~ 1975; b. 1976 ~ 1993

Shaded for regions of passing the test at 0.05 confidence level

SSTA 的关系在 1976 年前后有明显的变化。1958 ~ 1975 年,大圆波列与北太平洋 SSTA 关系显著,1976 年之后北太平洋地区的显著区消失,而与热带西太平洋海温的关系较好。众所周知,海洋与大气的相互作用是通过海气之间的通量交换进行的。海温高于气温时,海洋通过向大气输送热量和水汽,对大气有加热作用;而海温低于气温时,海洋对大气有冷却作用。且海气温差的输送一般与海温和近海气温的差成正比,海气温差越大,则海洋向大气输送的通量越大,对大气的作用越明显,反之,海洋对大气作用就不明显。

图 7 给出了北太平洋区域平均海表温度与近海层气温差值的 9 点平滑曲线。由图可见,北太平洋区域夏季海气温差为正值,且有明显年代际变化。1976 年前的海气温差值明显大于 1976 年以后,说明 1976 年以前北太平洋地区海温对大气的加热作用明显,造成该地区高度场异常。这样北太平洋海温异常对大圆波列会产生一种年际尺度的“刺激”作用叠加在年代际背景上,加强或减弱波列强度,北太平洋的海温异常就通过大圆波列这一“桥梁”加强了与东亚夏季环流的联系,造成强夏季风阶段华北夏季降水偏多气候态下的年际变化。1976 年后,北太平洋区域海气温差小,海温对大气作用不明显,因此北太平洋海温与大圆波列的关系也变得不明显,与东亚夏季风的关系也变得淡漠,北太平洋 SSTA 对我国华北地区夏季降水的影响不再显著。

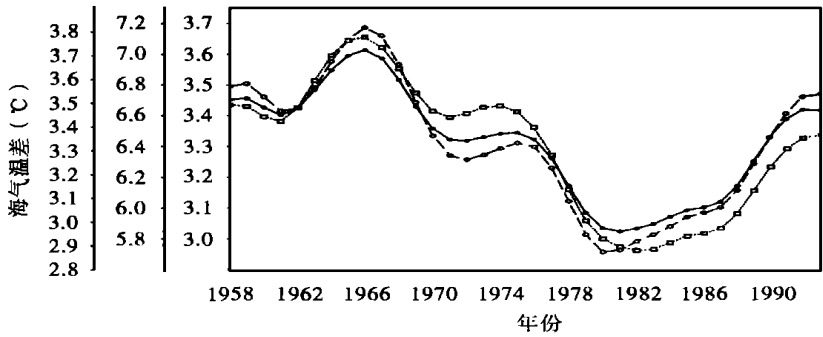


图 7 北太平洋区域平均海气温差高斯 9 点平滑曲线(单位:)

划线为 $SST - T_{925hPa}$ (纵坐标为右); 虚线为 $SST - T_{850hPa}$ (纵坐标为中); 实线为 $SST - T_{925hPa} - 850hPa$ (纵坐标为左)

Fig. 7 9 a running mean curves of air-sea temperature difference in north Pacific region (unit:)

dashed line for $SST - T_{925hPa}$ (ordinate: right); dotted line for $SST - T_{850hPa}$ (ordinate: middle);

solid line for $SST - T_{925hPa} - 850hPa$ (ordinate: left)

4 结 论

(1) 东亚夏季风在 70 年代中期发生显著变化, 1976 年前东亚夏季风偏强, 受其影响华北地区夏季降水偏多; 1976 年以后, 东亚转为弱夏季风阶段, 华北地区进入少雨期。太平洋海温在 70 年代中期也发生了显著变化, 促使与东亚夏季风密切相关的海温关键区发生了转移, 70 年代中期以前, 东亚夏季风与北太平洋关系密切, 北太平洋 SSTA 影响华北地区夏季降水的年际变化; 70 年代中期以后, 东亚夏季风转而与赤道中东太平洋的关系强烈显著, 北太平洋 SSTA 的作用变得不再显著。

(2) 东亚夏季风与北太平洋关系由强转弱的原因: 70 年代中期以前, 东亚强夏季风背景下, 存在一个从菲律宾、中南半岛经北太平洋到北美西海岸成“- + - + - +”分布的大圆波列, 该时期北太平洋地区海气温差大, 北太平洋 SSTA 对大气作用明显, 北太平洋 SSTA 对大圆波列会产生一种年际尺度的“刺激”作用叠加在年代际背景上, 加强或减弱波列强度, 北太平洋 SSTA 就通过大圆波列这一“桥梁”加强了与东亚夏季环流的联系, 影响我国华北降水的年际变化; 1976 年以后, 该波列转为反位相, 从菲律宾、中南半岛经北太平洋到北美西海岸成“+ - + - + -”分布, 这一时期北太平洋地区海气温差小, 会造成海气通量小, 北太平洋 SSTA 对大圆波列的热力作用变得不显著, 因此北太平洋 SSTA 与东亚夏季风之间的关系变得淡漠。

参考文献:

- [1] 毛天松, 许乃道, 徐启春. 北太平洋海温距平对 6 月长江中下游夏季季风的影响及其机制的分析[J]. 热带气象, 1988, 4(4): 327 ~ 335
- [2] 林学椿. 北太平洋海表持续加热对夏季中国降水及大气环流的影响[J]. 热带气象学报, 1999, 15(3): 258 ~ 266
- [3] 朱乾根, 滕 莺, 徐国强. 北太平洋中纬海温异常对中国东部夏季降水影响的可能途径[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 1 ~ 8
- [4] 李崇银, 李桂龙, 龙振夏. 中国气候年代际变化的大气环流形势对比分析[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增刊): 1 ~ 8
- [5] 王伯民. 我国降水标准序列的趋势变化分析[C]. 见: 85-913 项目 02 课题论文编委会主编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集). 北京: 气象出版社, 1996. 200 ~ 206
- [6] TRENBERTH K E. Recent observed interdecadal climate change in the northern hemisphere[J]. Bull Americ Meteor Soc, 1990, 71(7): 988 ~ 993
- [7] 孙秀荣. 东亚海陆热力差指数的年际变化及其与环流和降水的关系:[学位论文][D]. 南京: 南京气象学院大气科学系, 1999

Study on interdecadal relation features of north Pacific SSTA with east Asian summer monsoon as well as its mechanism

LI Feng, HE Jin-hai

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Interdecadal features of east Asian monsoon and rainfall over north China and its relation with north Pacific SSTA are investigated by using NCEP/NCAR reanalysis data, SST data and Chinese station precipitation data. It's pointed out that east Asian summer monsoon varies obviously, with the precipitation in north China being abundant during strong east Asian summer monsoon phase before 1976, and the precipitation being deficient after 1976. Results also show that SSTA over north Pacific forces atmosphere mightily, which puts interannual scale "incitation" on interdecadal background field. A wavetrain is strengthened or weakened, by this way that SSTA over north Pacific connects with east Asian summer circulation, which causes the interannual variation of rainfall in north China with more precipitation before 1976, and v. v. after 1976.

Key words: east Asian summer monsoon, precipitation in north China, SSTA, great circle wavetrain, interdecadal variation