

# 东亚夏季风的演变特征及其与热带海温的联系

王诗瑜, 王伟

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年6月2日; 录用日期: 2022年6月30日; 发布日期: 2022年7月7日

## 摘要

为了探讨东亚夏季风的演变特征及其与热带海温的联系, 本文利用欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的ERA5海洋表层海温、降水、重力势、850 hPa、500 hPa和200 hPa风场再分析资料, 通过小波分析、合成分析、相关分析等方法, 研究讨论了1979~2020年的东亚夏季风的演变特征, 其次探讨了异常夏季风年的环流形势与降水, 最后讨论了东亚夏季风与热带海表温度的相关联系。结果表明: 1) 东亚夏季风有着明显的年代际变化特征, 在近40年, 东亚夏季风有2~8年的周期变化。2) 在弱东亚夏季风年, 中层在华中地区有反气旋式环流异常, 低层在东南地区海上有反气旋式环流异常, 西北太平洋海上在高中低层都有气旋式环流异常, 有利于长江流域降水量偏多, 华南和华北部分地区降水量偏少, 强东亚季风年的情况基本相反。3) 与东亚夏季风有着较好超前相关的关键区域有赤道中东太平洋, 热带大西洋以及印太交汇区。印太交汇区的海温与东亚夏季风的相关性在前秋和前冬基本呈现为正相关, 但在前春表现为不同的相关性, 在同期夏季则呈现为强的负相关关系; 赤道中东太平洋与东亚夏季风的相关性由前秋的负相关逐渐加强, 并在前冬达到高值, 于前春明显减弱, 在同期的夏季呈现为正相关关系; 热带大西洋与东亚夏季风的相关性与赤道中东太平洋的情况基本相反。

## 关键词

东亚夏季风指数, 合成分析, 相关分析, 热带海表温度

# Evolution of East Asian Summer Monsoon and Its Relationship with Tropical SST

Shiyu Wang, Wei Wang

College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 2<sup>nd</sup>, 2022; accepted: Jun. 30<sup>th</sup>, 2022; published: Jul. 7<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In order to explore the evolution characteristics of the East Asian summer monsoon and its rela-

relationship with the tropical sea surface temperature, this paper uses the reanalysis data of the ERA5 ocean surface temperature, precipitation, gravity potential, 850 hPa, 500 hPa and 200 hPa wind field of the European Center for Medium-term Weather Forecast (ECMWF), and studies the evolution characteristics of the East Asian summer monsoon from 1979 to 2020 by wavelet analysis, synthesis analysis and correlation analysis. Secondly, the circulation situation and precipitation in the abnormal summer monsoon year are discussed. Finally, the correlation between the East Asian summer monsoon and the tropical sea surface temperature is discussed. The results show that: 1) The East Asian summer monsoon has the obvious characteristics of interannual and decadal variability. In the past 40 years, the East Asian summer monsoon has 2~8 years of periodic variation. 2) In the weaker East Asian summer monsoon years, there is an anticyclonic circulation in central China at the middle level, and it also exists at low layer in the southeast sea. There is a cyclonic circulation over the northwest Pacific sea in middle and low layers. These configurations are conducive to more precipitation in Yangtze River basin and less precipitation in some parts of South and North China. Meanwhile the configuration of the stronger East Asian Summer monsoon years is basically contrary information. 3) The key areas associated with the East Asian summer monsoon are the equatorial Middle East Pacific, tropical Atlantic and Indo-Pacific intersection. The correlation over the Indo-Pacific intersection is basically positive in the pre-autumn and the pre-winter, but opposite in the summer. The correlation over the equatorial Middle East Pacific is strong opposite in the pre-autumn and pre-winter, and it is weakened significantly in the pre-spring and became positive during the summer. The correlation over the tropical Atlantic is basically contrary with that over the equatorial Middle East Pacific.

## Keywords

East Asian Summer Monsoon Index, Composite Analysis, Correlation Analysis, Tropical Sea Surface Temperature

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国地处东亚季风区, 是受季风影响最显著的国家之一。东亚夏季风是亚洲季风的重要组成部分, 是东亚地区夏季气候的主要环流系统, 并且对降水也有重要作用[1]。东亚夏季风的异常经常为我国带来干旱、洪涝等灾害。例如 2019 年, 我国夏季旱涝有明显分布, 江南、华南以及东北地区涝灾严重, 云南和黄淮地区干旱天气长时间持续[2]。旱涝灾害是我国常见的且影响最大的气象灾害, 并对我国造成巨大的人员伤亡和经济损失。特别是 20 世纪 90 年代之后, 我国由于气象灾害, 每年可造成相当于 90 年代后期我国 GDP 的 3%~6% 的经济损失和大量的粮食损失, 在气象灾害所造成的农作物受影响的面积中, 旱涝造成的作物受损面积可达到 80%, 这对我国的经济可持续发展有严重影响[3]。因此, 对东亚季风系统的研究分析有利于对东亚夏季风变化规律的把握, 对我国洪涝等灾害性天气的预防有十分重要的科学意义。

为研究夏季风强弱变化, 郭其蕴[4]提出定义一种夏季风指数来研究东亚夏季风的年际变化, 将东亚地区海平面气压差定义为夏季风指数, 并讨论其变化特征; 东亚季风环流系统复杂, 东亚季风雨带也经常偏移, 由于研究目的不同, 有许多不同的夏季风指数定义, 例如施能等[5]在郭其蕴[6]的基础上取 20~50°N, 并进行了两次标准化处理, 避免了不同格点均方差不同带来的影响; 黄刚等[7]利用 EAP 大气遥相关型概念, 定义了东亚夏季风环流异常指数; 王亚非等[8]定义了一个新的能够表示梅雨带强弱的东

亚夏季风指数; 李建平等[9]提出一个新的夏季风指数, 并且该东亚夏季风指数能够很好地表示长江中下游地区夏季降水的年际变化。Zhao 等[10]提出了一个新的 EASM 指数, 并且该指数可以较好地反应与 EASM 相关的年际气候异常与和年际变化, 在 EASM 预测方面也具有一定优势。东亚夏季风有一定的年际变化。郭其蕴[4]分析了东亚夏季风强弱变化, 并发现随着夏季风的强弱变化, 我国降水的分布也有明显变化。赵汉光等[11]进一步研究东亚夏季风与我国雨带的关系, 通过对季风强度的分析发现, 东亚夏季风的强弱对我国夏季的雨带类型和夏季风来临的时间有一定的影响。施能等[12]人研究发现我国夏季气温、降水的异常与东亚夏季风的强度有关, 强夏季风时, 我国雨带偏北, 长江中下游多为旱年, 夏季有大范围高温。刘宁微等[13]对中国东部臭氧和风场进行分析, 研究发现在东亚夏季风的背景下, 东部臭氧浓度有一定的季节变化。这些研究都表明, 东亚夏季风的强弱变化对我国气候有重要影响。

许多研究表明, 东亚夏季风受青藏高原、西太平洋副热带高压、南极涛动异常、北极涛动异常和北极海冰、ENSO 以及海表温度异常、中高纬环流异常等影响。例如, 黄荣辉等[14]研究指出东亚夏季风与西太平洋副热带高压的突跳有一定关系, 并且进一步影响江淮流域夏季降水; 黄刚等[15]研究并指出青藏高原西侧绕流偏北风系强弱会影响东亚夏季风的偏南风分量, 使得向华北地区输送的水汽发生变化, 对华北地区夏季降水有重要影响。包庆等[16]通过数值试验研究了青藏高原增暖引起的东亚夏季风变化。武炳义等[17]揭示了东亚夏季风年际变化率的第 2、3 模态特征及其与中、高纬大气环流之间的相关联系。长期的研究表明, 对东亚夏季风预测而言, 海温异常是最强最重要的因子。陈月娟等[18]对 ENSO 循环各个阶段和该期间的海温异常东亚夏季风的变化影响进行研究分析, 并指出赤道东太平洋海表温度与东亚夏季风指数变化为负相关关系, 且前者的变化导致的亚洲大陆的地面温度和气压的变化是引起 ENSO 在不同阶段时东亚夏季风变化的主要原因。柯宗建等[19]从东亚夏季风先兆信号的意义出发, 研究了海温异常对其变化的影响, 并指出了东亚夏季风强度与先兆信号之间的联系主要来源于热带海洋, 这对先兆信号指数在预测业务的应用有更好的指示作用。胡娟等[20]对前期海温信号与东亚夏季风的关系进行了探讨, 研究指出了影响东亚夏季风变化的海温关键区, 这两个关键区主要位于热带, 其海温与东亚夏季风和季风区降水有一定关系。在全球变暖的环境下, Li 等[21]等指出 EASM 对气候变暖的主要反应为位置变化, 并且这种位置变化可能导致东亚洪水和干旱的空间共存。

赵宗慈等[22]用三个区域气候模式对东亚夏季季风气候进行洪涝模拟, 并成功模拟了 1991 年几次洪涝和暴雨过程, 较好的模拟出了对应的大气环流形势。丁一汇等[23]通过南海季风实验对东亚夏季风有了更深入的了解, 并且改进数值模拟与预报, 促进了东亚夏季风的模拟与预报的研究发展。Fan 等[24]研究开发了两种新的统计预测方案, 能够更好的对东亚夏季风进行预测。李建平等[25]对亚洲区域的海-陆-气相互作用进行研究, 并讨论了其对全球和亚洲气候变化的作用, 研究在气候动力学、气候预测方法和观测等不同方向都取得了一定的成果。

我国地处东亚季风区, 是受季风影响最显著的国家之一。东亚夏季风是亚洲季风的重要组成部分, 是东亚地区夏季气候的主要环流系统, 并且对降水也有重要作用[1]。对东亚夏季风的演变特征的研究有利于对我国气候变化的研究和对旱涝灾害的预防, 而热带海洋海表温度对东亚夏季风有明显影响, 是东亚夏季风强度预测的主要依据, 因此研究东亚夏季风的演变特征及其与热带海温的联系十分必要。本文将选用合适的东亚夏季风指数, 分析近 40 多年东亚夏季风年际变化的特征, 并通过合成分析、相关分析, 探讨强弱夏季风年的典型环流形势及其与热带海洋超前滞后相关的关键区。

## 2. 数据和方法

### 2.1. 数据简介

本文分析中选用的数据集有:

1) 欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 ERA5 再分析资料, 气象要素包括: 海表温度、200 hPa、500 hPa 和 850 hPa 的 U、V 风场和降水等, 所选时间段为 1979~2020 年, 水平分辨率为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ , 时间分辨率为逐月。

2) 季风指数选用李建平等[9]提出的东亚夏季风指数。

## 2.2. 研究方法

本文的研究过程中用到的研究方法有: Mann-Kendall 气候突变检测; 小波分析; 合成分析; 相关分析及 t 检验, 方法介绍详见《现代气候统计诊断与预测技术》[26]。

## 3. 研究结果

### 3.1. 东亚夏季风年际变化特征

为了反映东亚夏季风年际变化, 许多学者提出了不同的季风指数, 本文选用李建平等[9]提出的东亚夏季风指数, 该指数能够很好地反映出东亚夏季风区域内的风场、降水 and 气温的变化。

图 1 给出了 1948~2020 年东亚夏季风标准化指数进行 M-K 气候突变检测结果。由图 1 可以看到, 在置信区间内, 20 世纪 50 年代、70 年代初和 70 年代末时 UF 都与 UB 有交点, 表明在这些时间段东亚夏季风都有突变。依据上述分析结果, 本文后续将对 1979~2020 年的东亚夏季风的变化特征进行相关研究。

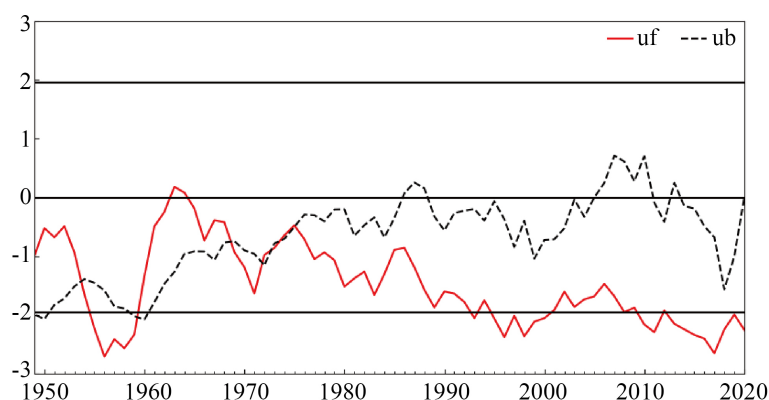


Figure 1. The result of Mann-Kendall mutation test about East Asian Summer Wind Standardization Index from 1948 to 2020

图 1. 1948~2020 东亚夏季风标准化指数的 M-K 突变检验

图 2 为 1979~2020 年东亚夏季风指数的标准化时间演变序列。从图 2 中可以看出, 东亚夏季风的演变表现出一定的年际变化, 42 年来弱季风年的情况明显多于强季风年。结合小波功率谱图(图 3)可以看到, 从 1979~2020 年东亚夏季风指数存在有 2~8 年的周期, 其中, 在 20 世纪 90 年代中期到 21 世纪初期, 存在一个周期约 3 年的强变化周期, 且通过显著性检验。在 21 世纪 00 年代末到 10 年代初, 存在有较强的 2~4 年变化周期和较弱的 6~8 年变化周期。

综上所述, 东亚夏季风的在 20 世纪 70 年代末存在明显的突变, 1979~2020 年的东亚夏季风的演变特征表现为 2~8 年的周期变化, 其中在 1994 年左右到 21 世纪初期有约 3 年的强变化周期。

### 3.2. 东亚夏季风强、弱年的环流形势分析

为研究异常年东亚地区环流形势情况, 根据图 1, 选取东亚夏季风指数的标准化值大(小)于 1 (-1)个

标准化单位的年份定义为异常强(弱)年。选出来的东亚夏季风强年一共有 3 年: 1985, 2012, 2018 年; 弱年一共有 12 年: 1980, 1983, 1988, 1995, 1996, 1998, 2003, 2008, 2010, 2013, 2017, 2020 年。

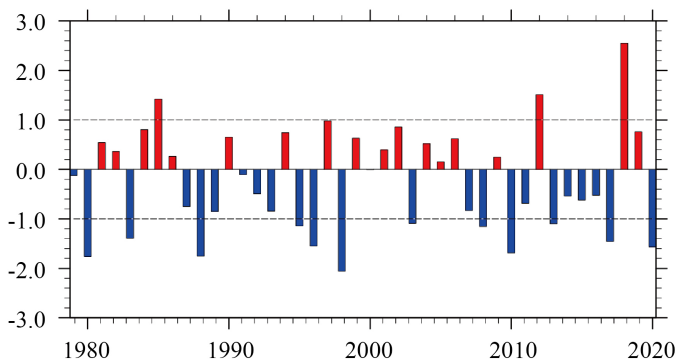


Figure 2. The normalized time series of East Asian Summer Monsoon index (EASMI) for the period of 1979~2020.

图 2. 1979~2020 年东亚夏季风指数标准化时间演变序列

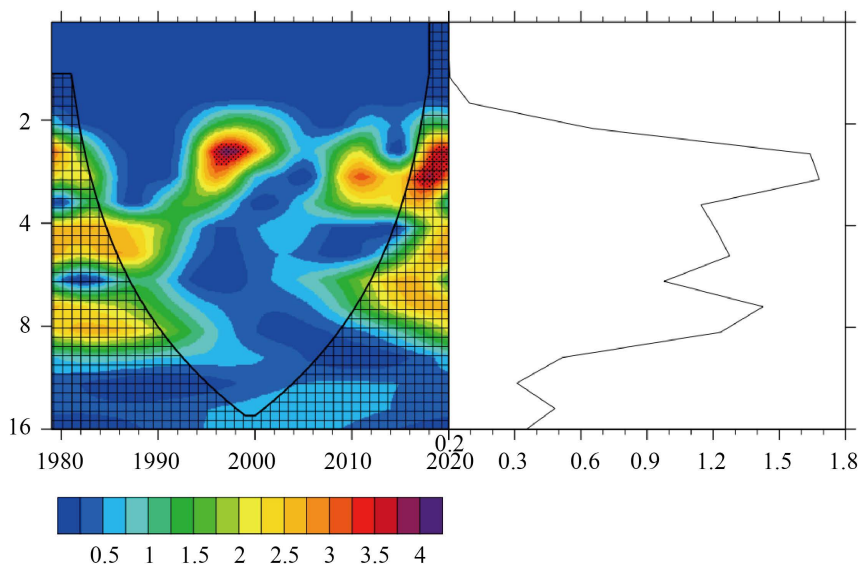


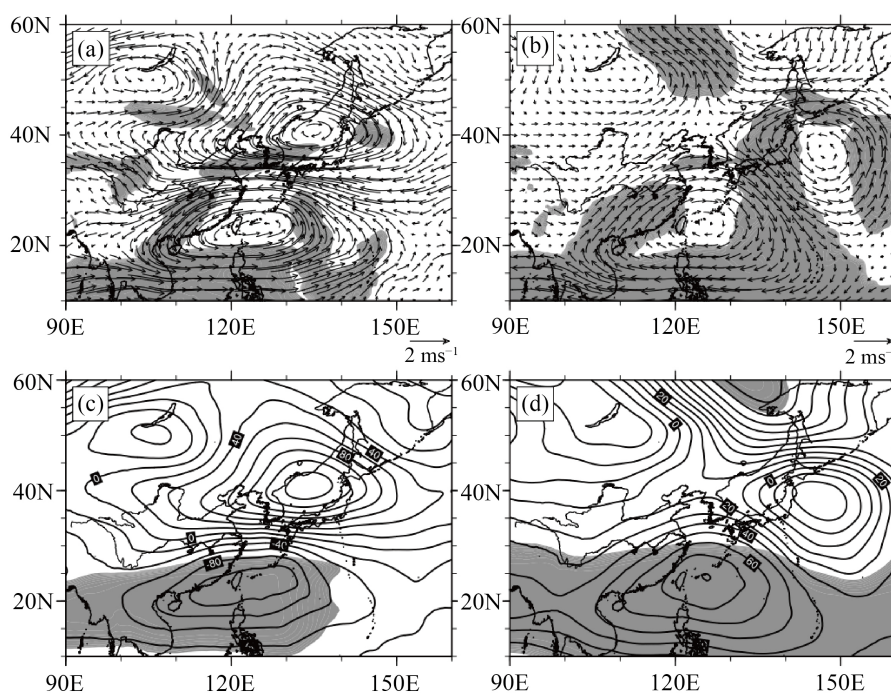
Figure 3. The wavelet power spectrum of EASMI from 1979 to 2020 (the range surrounded by the grid has passed the significance test of 0.05, the horizontal axis represents the original time series, the vertical axis represents the change period, and the color in the figure represents the intensity of the change period)

图 3. 1979~2020 年东亚夏季风指数小波功率谱(网格包围的范围为通过了 0.05 的显著性检验, 水平轴代表原时间序列, 垂直轴代表变化周期, 图中颜色代表变化周期的强度)

图 4 给出了强、弱东亚夏季风年 500 hPa 位势高度场和风场的合成分布形势。强夏季风年 500 hPa 风场的合成图(图 4(a))显示: 长江以南沿海及附近海域存在异常气旋环流, 并通过显著性检验; 在其东北部有一中心位于 40°N、135°E 附近的反气旋式异常环流; 在贝加尔湖附近有一个较弱的气旋式环流。在上述南部反气旋北部气旋的形势控制下, 我国 35°N 以南的大部分地区有强的偏东风异常, 40°N 以北的大部分地区有强的西南风偏差。结合图 4(c)位势高度场的合成图分析, 位势高度异常分布与风场异常相匹

配, 位势高度 0 偏差线在长江流域附近, 我国长江流域以北处于位势高度偏高区, 西北太平洋海面气压偏高, 长江流域以南对应位势高度偏低区, 22°N、125°E 附近有位势高度异常的低值中心, 且通过显著性检验, 对应有西太平洋夏季副热带高压的强度减弱, 这对我国夏季降水有重要影响。

弱夏季风年风场合成图(图 4(b)), 我国东南部海上为一异常的反气旋式环流, 在其东北部海上有一中心位于 35°N、148°E 附近的气旋式环流, 且这两个环流系统都通过了信度检验, 以贝加尔湖为中心存在一异常气旋式环流。在上述流场形势控制下, 我国 38°N 以南的中部和东部地区有异常的西南风, 这与强夏季风年(图 4(a))相反, 而 38°N 以北大部分地区仍有异常的偏西风, 但偏差相对强夏季风年小, 黑龙江省附近有异常的东南风。结合图 4(d)可以看到, 我国基本都位于位势高度偏高区, 30°N 以南大部分地区通过显著性检验, 在我国东南部海上有与风场异常对应的位势高度正的偏差中心, 对应有副热带高压的增强, 而西北太平洋地区海上气压降低, 有利于我国长江流域降水。

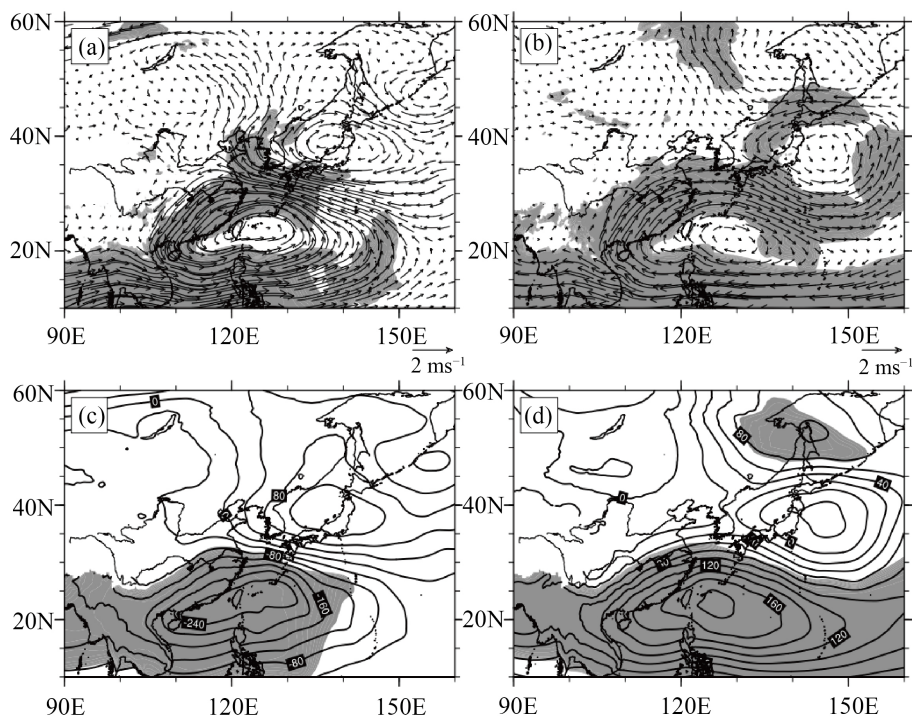


**Figure 4.** Synthetic distribution of 500 hPa wind field (a, b; unit: m/s) and geopotential height field (c, d; unit: gpm) on the stronger or weaker EASM year. (a), (c) are the stronger, (b), (d) are the weaker, and the shaded area passes the 90% reliability test area

**图 4.** 强、弱东亚夏季风年 500 hPa 风场(a, b; 单位: m/s)与位势高度场(c, d; 单位: gpm)的合成分布形势。(a), (c)为强东亚夏季风年, (b), (d)为弱东亚夏季风年, 阴影区为通过 90%显著性检验的区域

图 5 给出了强、弱东亚夏季风年 850 hPa 风场与位势高度场的合成图。强夏季风年(图 5(a)), 低层(850 hPa)中国东南部地区海上有强的异常气旋式环流并西伸至 115°E, 该气旋环流通过信度检验, 在其东北地区的日本北部有一反气旋式异常环流, 同时贝加尔湖附近有一小的气旋式异常环流, 在这种流场形势控制下, 我国 33°N 以南、125°E 以东大部分地区有强的东北风异常, 而我国华北和东北地区受异常的偏南风影响。与 500 hPa (图 4(c))类似, 850 hPa 位势高度场合成图(图 5(c))上, 我国南方位于位势高度偏低区, 东南部海上有偏低中心, 且通过 90%显著性检验, 对应有副热带高压的减弱, 太平洋西北部海上有位势高度异常偏高中心, 对应海上气压的异常升高。

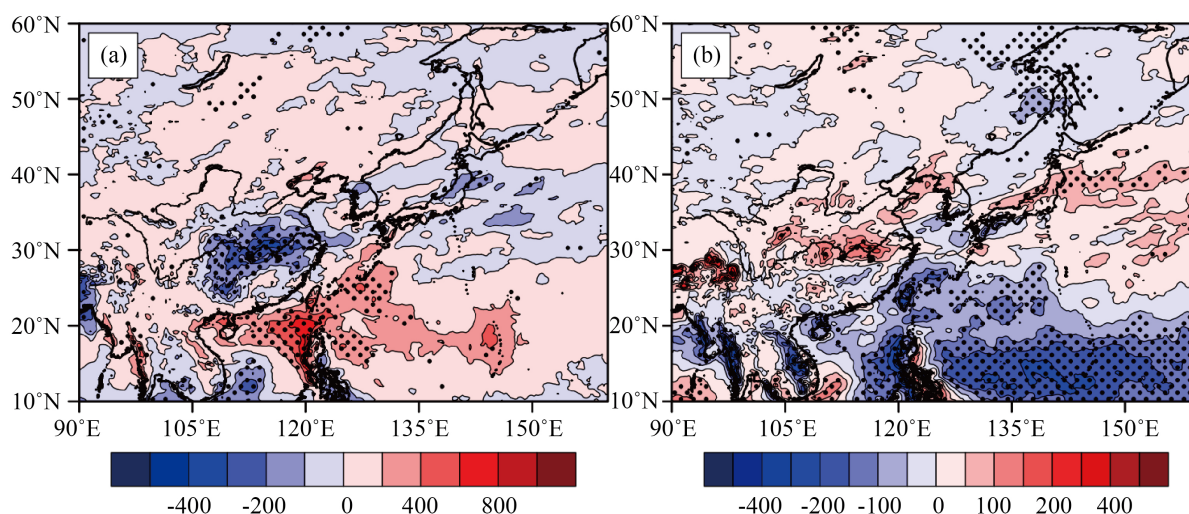
在弱东亚夏季风年(图 5(b)), 中国东南地区海面上有反气旋式异常环流, 其位置相对强夏季风年中国东南海上的气旋式异常环流位置偏东南, 日本海北部海陆交界处有一异常的反气旋式环流, 且这两个环流系统都通过信度检验, 在这种流场形势控制下, 我国在  $35^{\circ}$  以南的中部和东部大部分地区在弱夏季风年有强的异常的西南风, 我国西部和华北地区风的偏差较小, 我国东北地区有异常的偏南风。在强夏季风年(图 5(d))我国南部位于位势高度偏低区, 且通过显著性检验, 西北太平洋在  $850\text{ hPa}$  低层仍有气压的升高, 东南部海上在  $20^{\circ}\text{N}$ 、 $118^{\circ}\text{E}$  和  $23^{\circ}\text{N}$ 、 $127^{\circ}\text{E}$  附近有位势高度负的偏差中心, 副热带高压有所减弱; 在弱夏季风年, 我国大部分地区位于位势高度偏高区, 东部海上在  $20^{\circ}\text{N}$ 、 $130^{\circ}\text{E}$  附近有正的位势高度偏差中心, 对应有副热带高压的增强。



**Figure 5.** Synthetic distribution of  $850\text{ hPa}$  wind field (a, b; unit:  $\text{m/s}$ ) and geopotential height field (c, d; unit:  $\text{gpm}$ ) on the stronger or weaker EASM year. (a, c) are the stronger, (b, d) are the weaker, and the shaded area passes the 90% reliability test area

**图 5.** 强、弱东亚夏季风年  $850\text{ hPa}$  风场(a, b; 单位:  $\text{m/s}$ )与位势高度场(c, d; 单位:  $\text{gpm}$ )的合成分布形势。(a, c)为强东亚夏季风年, (b, d)为弱东亚夏季风年, 阴影区为通过 90% 显著性检验的区域

图 6 为强、弱东亚夏季风年降水量的合成分布形势。在强夏季风年(图 6(a)),  $105^{\circ}$  以东地区的陆地降水偏低区, 而海上为降水量偏高地区, 有降水量偏高中心。我国在  $35^{\circ}$  以南、 $105^{\circ}$  以东的大部分地区降水量偏低, 特别是长江中下游为降水的偏差低值中心, 最大的偏低值可达  $400\text{ mm}$  以上, 且通过显著性检验; 我国其他地区降水量偏高, 大部分地区降水量偏高值在  $0\sim 200\text{ mm}$  之间, 华北部分地区降水量偏高值在  $200\text{ mm}$  以上。在弱夏季风年(图 6(b)),  $105^{\circ}$  以东地区的陆地降水偏高区, 而海上为降水量偏低区。我国大部分地区降水量在偏高区, 特别是长江中下游有正的异常中心, 最大的偏差值在  $150\text{ mm}$  以上, 偏差中心通过显著性检验。我国华南大部分地区降水量偏低, 最大的偏差在  $100\text{ mm}$  以上, 还有东北北部、华北北部、西南部分地区和西北地区降水也偏少, 偏少值在  $0\sim 50\text{ mm}$  之间。



**Figure 6.** Synthetic distribution of summer precipitation (unit: mm) on the stronger or weaker EASM year. (a) is the stronger, (b) is the weaker, and the dotted area passes the 90% reliability test area

**图 6.** 强、弱夏季风年夏季降水量(单位: mm)合成图。(a) 强夏季风年, (b) 弱夏季风年, 打点区为通过 90%显著性检验的区域

综上所述: 强东亚夏季风年期间, 我国东南部海域有气旋式环流异常, 日本海地区有反气旋式环流异常。在异常环流形势影响下, 我国中部和东部的南方大部分地区高中低层都有偏东风异常。东北地区有偏南风异常, 中高层为西南风异常, 低层为南风或东南风异常。华北地区高层有偏东风异常, 中低层有偏南风异常。我国北方位于位势高度偏高区, 南方位于位势高度偏低区, 且东南部海上副热带高压强度减弱, 西北太平洋海上气压升高。我国南方特别是长江中下游流域降水量偏少, 其他大部分地区降水量偏多, 特别是华北北部地区有降水量偏多中心。弱季风年合成情况与之基本相反, 环流形势有利于长江流域降水偏多。

### 3.3. 东亚夏季风与热带海温的关系

许多研究表明热带海温对东亚夏季风有较大影响, 为了探讨两者之间的关系, 本文对近 40 多年热带海温与东亚夏季风指数进行相关分析。图 7 分别为前期秋、冬、春季和同期夏季热带海温与东亚夏季风指数的相关分布形势。

由图 7(a)可以看到, 通过信度检验区域有  $5^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $40^{\circ}\sim 65^{\circ}\text{E}$  区域的热带西印度洋,  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$  范围内的热带印度洋 - 太平洋交界、 $20^{\circ}\text{S}\sim 15^{\circ}\text{N}$  范围内的热带中东太平洋和  $20^{\circ}\text{S}$  以南的热带南大西洋小部分地区, 最典型的关键区在热带中东太平洋和热带印度洋 - 太平洋交界, 通过信度检验的区域广, 相关系数绝对值也较大。其中, 热带中东太平洋、热带西印度洋和热带南大西洋部分区域的海温与东亚夏季风呈负相关, 表明这些区域前秋的冷(暖)海温有利于东亚夏季风的增强(减弱)。热带印度洋 - 太平洋交界和热带大西洋  $5\sim 15^{\circ}\text{S}$  区域的海温与东亚夏季风为正相关, 表明这些区域前冬的冷(暖)海温有利于东亚夏季风的减弱(增强)。

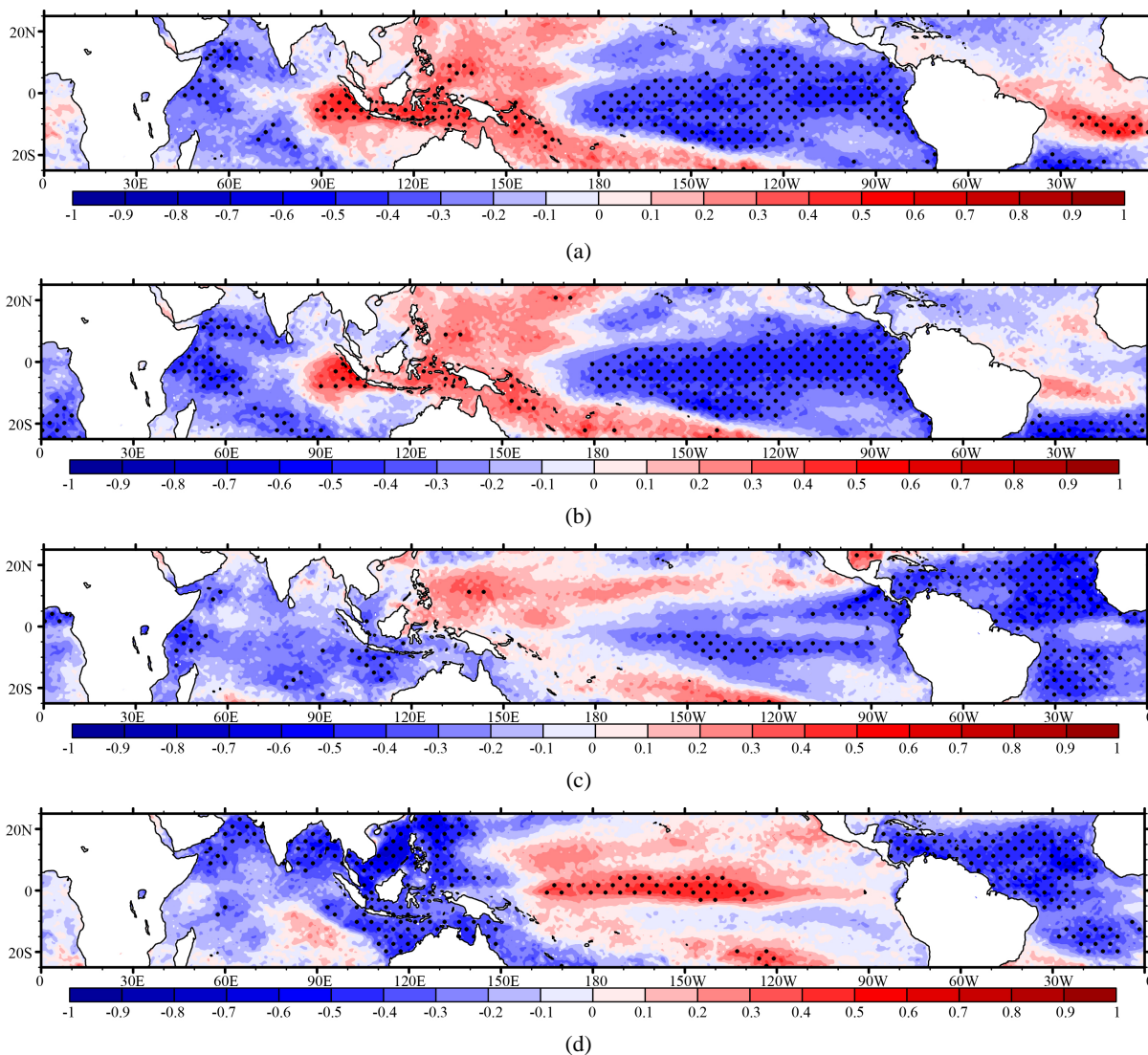
由图 7(b)可以看到, 前冬热带海温与东亚夏季风指数的相关分布与前秋较为相似, 但呈现负相关关系区域的强度较前秋更显著, 通过信度检验的区域也更广, 而呈现正相关关系的区域较前秋明显减小且减弱。

由图 7(c)可以看到, 通过信度检验的区域主要为热带大西洋、 $160^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$  范围内的赤道太平洋、热带印度洋西部分及东部部分地区和热带西太平洋暖池的部分地区。最典型的海温关键区为热带大西洋,



相关系数绝对值较大, 通过信度检验的范围大, 表明前春热带大西洋对东亚夏季风影响较为显著。与前秋和前冬相比较, 热带中东太平洋在前春时期与东亚夏季风相关关系有所减弱, 热带印度洋 - 太平洋交汇区海温与东亚夏季风的相关性变得更为复杂。

由图 7(d) 可以看到, 热带印度洋北部、 $80^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$  区域内的热带印度洋 - 太平洋交界和热带太平洋西部、热带太平洋  $160^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$  中部赤道附近和热带大西洋通过了信度检验, 其中热带印度洋 - 太平洋交界处、热带太平洋西部, 热带太平洋  $160^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$  中部赤道附近和热带大西洋为典型的海温关键区。热带太平洋西部海面温度与东亚夏季风的负相关从前春持续到同期的夏季。



**Figure 7.** The lead-lag correlation distribution of the tropical SST with EASMI from 1980 to 2020. (a) the autumn, (b) the winter, (c) the spring, (d) the summer, and the dotted area passes the 95% reliability test area

**图 7.** 1980~2020 年夏季热带海温与东亚夏季风指数的超前滞后相关分布。(a) 前秋海温, (b) 前冬海温, (c) 前春海温, (d) 同期海温, 打点阴影区为通过了 95% 显著性检验的区域

#### 4. 结论

本文利用 ERA5 再分析资料和东亚夏季风指数(李建平等, 2005)资料, 采用统计分析方法初步分析了

近 40 多年(1979~2020 年)东亚夏季风的演变特征及其与热带海温的联系, 得出了以下结论:

1) 东亚夏季风有着明显的年际变化, 在 20 世纪 70 年代末有突变, 1979~2020 年期间, 东亚夏季风有 2~8 年的周期变化。

2) 在东亚夏季风年强年, 我国东南地区海上有气旋式环流异常, 日本海地区有反气旋式环流异常, 我国南方特别是长江流域降水量偏少, 其他大部分地区降水量偏高多。在东亚夏季风年弱年, 高层在华中地区有反气旋式环流异常, 低层在东南地区海上有反气旋式环流异常, 西北太平洋海上高中低层都有气旋式环流异常, 我国大部分地区特别是长江流域降水量偏多, 而在东北北部部分地区、华北北部、华南部分地区、西南少部分地区、西北部分地区降水量偏少。

3) 热带海表温度与东亚夏季风有着很好的超前相关。热带印度洋中西部与东亚夏季风的相关性由前秋**的强负相关**维持到前冬, 在前秋和同期夏季明显减弱且有些区域转变为弱的正相关关系; 印太交汇区的海温与东亚夏季风的相关性在前秋和前冬基本呈现为**正相关**, 但在前春表现为不同的相关性, 在同期夏季则呈现为**强的负相关**关系; 赤道中东太平洋与东亚夏季风的相关性由前秋**的负相关**逐渐加强, 并在前冬达到高值, 于前春明显减弱, 在同期的夏季呈现为**正相关**关系; 热带大西洋与东亚夏季风的相关性与赤道中东太平洋的情况基本相反。

## 基金项目

本文由成都信息工程大学 2019~2021 年本科教育教学研究与改革项目暨本科教学工程项目(JYJG2021034)与省级“课程思政”示范课程-大气流体力学项目共同资助完成。

## 参考文献

- [1] 丁一汇, 司东, 等. 论东亚夏季风的特征、驱动力与年代际变化[J]. 大气科学, 2018, 42(3): 533-558.
- [2] 丁婷, 高辉. 2019 年夏季东亚大气环流异常及对我国气候的影响[J]. 气象, 2020, 46(1): 129-137.
- [3] 王会军, 范可. 东亚季风近几十年来的主要变化特征[J]. 大气科学, 2013, 37(2): 313-318.
- [4] 郭其蕴. 东亚夏季风的变化与中国降水[J]. 热带气象, 1985(1): 44-52.
- [5] 施能, 鲁建军, 等. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化[J]. 南京气象学院学报, 1996(2): 168-177.
- [6] 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析[J]. 地理学报, 1983, 38(3): 207-217.
- [7] 黄刚, 严中伟. 东亚夏季风环流异常指数及其年际变化[J]. 科学通报, 1999, 44(4): 421-424.
- [8] 王亚非, 张雁, 等. 一个能反映梅雨现象的东亚夏季风指数[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(2): 146-152.
- [9] 李建平, 曾庆存. 一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 351-365.
- [10] Zhao, G., Huang, G., Wu, R., et al. (2015) A New Upper-Level Circulation Index for the East Asian Summer Monsoon Variability. *Journal of Climate*, 28, 9977-9996. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0272.1>
- [11] 赵汉光, 张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系[J]. 气象, 1996, 22(4): 8-12.
- [12] 施能, 朱乾根, 等. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常[J]. 大气科学, 1996(5): 575-583.
- [13] 刘宁微, 李晓岚, 等. 东亚夏季风对中国东部臭氧输送过程的影响[J]. 大气科学学报, 2021, 44(2): 261-269.
- [14] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响[J]. 大气科学, 1994(4): 456-465.
- [15] 黄刚, 周连童. 青藏高原西侧绕流风系的变化及其与东亚夏季风和我国华北地区夏季降水的关系[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(2): 316-330.
- [16] 包庆, 王斌, 等. 青藏高原增暖对东亚夏季风的影响-大气环流模式数值模拟研究[J]. 大气科学, 2008, 32(5): 997-1005.
- [17] 武炳义, 张人禾. 东亚夏季风年际变率及其与中、高纬度大气环流以及外强迫异常的联系[J]. 气象学报, 2011, 69(2): 219-233.

- [18] 陈月娟, 简俊, 等. ENSO 循环各阶段东亚夏季风特征的诊断研究[J]. 高原气象, 2002, 21(5): 441-446.
- [19] 柯宗建, 华丽娟, 等. 海温异常对东亚夏季风强度先兆信号的影响[J]. 应用气象学报, 2015, 26(5): 536-544.
- [20] 胡娟, 晏红明, 等. 影响东亚夏季风降水异常的前期海温信号[J]. 热带气象学报, 2018, 34(3): 401-409.
- [21] Li, J., Wu, Z., Jiang, Z. and He, J. (2009) Can Global Warming Strengthen the East Asian Summer Monsoon? *Journal of Climate*, **23**, 6696-6705. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3434.1>
- [22] 赵宗慈, 罗勇, 等. 东亚夏季风的模拟研究——3 个区域气候模式的对比[J]. 应用气象学报, 1997, 8(A00): 116-123.
- [23] 丁一汇, 李崇银, 等. 南海季风试验与东亚夏季风[J]. 气象学报, 2004(5): 561-586.
- [24] Fan, K., Liu, H. and Chen, H. (2012) Improving the Prediction of the East Asian Summer Monsoon: New Approaches. *Weather and Forecasting*, **27**, 1017-1030. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-11-00092.1>
- [25] 李建平, 任荣彩, 等. 亚洲区域海-陆-气相互作用对全球和亚洲气候变化的作用研究进展[J]. 大气科学, 2013, 37(2): 518-538.
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.