

热带环流指数与夏季长江中下游旱涝的年际变化[‡]

祝从文¹⁾ 何 敏²⁾ 何金海¹⁾

(1) 南京气象学院气象学系, 南京 210044, 2) 国家气候中心, 北京 100081)

摘 要 比较利用海—陆气压差和南亚季风环流定义的夏季风指数对夏季长江中下游旱涝年际变化的表征能力, 根据影响东亚季风的主要热带环流定义了一个环流指数, 该指数与长江中下游旱涝的年际变化存在很好的对应关系。利用 1982 年~1994 年夏季平均可降水量距平、北半球 500 hPa 位势高度场距平, 通过高、低指数合成和高度场与同期的热带海表温度异常的 SVD 分析, 结果表明, 热带环流指数的高、低差异和年际变化对影响东亚夏季降水的大气环流型具有较强的分辨能力。

关键词 热带环流指数, 夏季旱涝, 年际变化, 长江中下游

分类号 P434.4

亚洲是世界的主要季风区之一, 由于海陆热力分布和青藏高原大地形的影响不同, 东亚与印度季风存在本质的差异^[1]。夏季降水是夏季风活动导致的直接结果, 东亚夏季风的季节变化表现为季风环流的季节进程及由此决定的雨带由南向北推进的快慢和停滞时间的长短。印度季风主要表现为季风的活跃和中断, 降水一般体现为大陆中部雨量的变化。与印度不同, 由于东亚季风活动区域的经向跨度较大, 影响系统的复杂, 从降水角度出发, 很难从强度上给出东亚季风一个明确的定义。

许多学者对中国夏季旱涝的年际变化做过大量的研究, 多数的研究结果表明旱涝的年际变化分布存在区域性差异, 具体表现为以华南、长江中下游、华北为中心, 由南向北呈“+、-、+”的带状波列分布或反相分布^[2,3], 长江中下游基本上位于波列中心, 该地区的旱涝变化对东亚夏季降水具有明显的指示意义, 其年际变化基本反映了东亚夏季旱涝的主要分布特征。

一些作者从季风的主要成因和季风环流变化角度对夏季风的强弱问题做过研究^[4,5], 试图以指数的形式对季风的整体变化加以刻画。由于东亚季风年际变化的复杂性, 因此很难找到一个衡量东亚夏季风强弱的统一的标准。

本文以长江中下游旱涝的年际变化为标准, 讨论了东亚季风指数存在的问题, 从影响东亚季风的主要热带环流出发定义了一个热带环流指数, 并对其识别导致长江中下游旱涝的主要环流型的能力进行了分析。

文中的海表温度资料取自中国气象局气候中心, 网格距为 $5^\circ \times 5^\circ$; 其他资料来源于美国 NCEP/NCAR 再分析数据集, 起始时间为 1982 年~1994 年, 网格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。严重旱涝

收稿日期: 1997-04-28; 改回日期: 1997-10-03

[‡] 中国气象局季风研究基金和中国气象局中日合作季风研究活动资助项目

第一作者简介: 祝从文, 男, 1967 年 3 月生, 博士研究生

年的选取参照项目执行专家组(1995年气候攻关旱涝项目执行专家研究组)1997年的划定标准。按上述标准,1982年~1994年夏季,长江中下游地区严重的涝年为:1983、1989、1991和1993年;严重的旱年为1985年。其中严重涝(旱)年的降水指数距平均()25%。

1 热带环流指数与长江中下游旱涝年际变化

1.1 夏季风指数对比分析

海-陆热力差异的季节变化是季风的主要成因之一,依据此理论,郭其蕴^[5]利用夏季6月~8月平均的海平面气压,采用10°N~50°N,以110°E(代表陆地)的气压减去同纬度160°E(代表海洋)的气压的平均值表征季风强度(负值为南风),定义了一个夏季风强度指数(简称SMI),SMI小表示这一年的夏季风强,反之则弱。Webster & Yang^[6]采用40°E~110°E,0°N~20°N的850 hPa和200 hPa的平均纬向风切变,从环流角度定义了表征夏季风强弱的大尺度季风强度指数(简称SAMI),平均纬向风切变大,表示夏季风强,反之则弱。

采用海-陆气压差异和热带风场的年际变化来描述季风的强弱变化代表了定义季风指数的主要着眼点。利用1982年~1994年月平均海平面气压场、850 hPa和200 hPa纬向风场计算了SAMI和SMI。由图1a可见,两种指数均存在明显的季节变化,冬夏对比显著,1月和7月分别达到冬夏季风指数最强。同样两个夏季风指数也存在明显的年际变化(图1b所示),对应SMI谷值(强夏季风年)的年份为1984、1985、1988、1993和1994年,峰值年份(弱夏季风年)为1983、1986和1991年。依据长江中下游旱涝标准,1985年是典型的旱年,而1993年却是典型的涝年,它们均发生在SMI的强季风年份中。如果SMI的峰值年份(弱季风年)能代表长江流域的夏季涝年,除了1983和1991年外,1986年却是正常年份。因此,夏季SMI的年际异常变化对东亚的旱涝反映很容易产生混淆,即SMI的强弱年份均有可能对应江淮的旱年或者涝年。

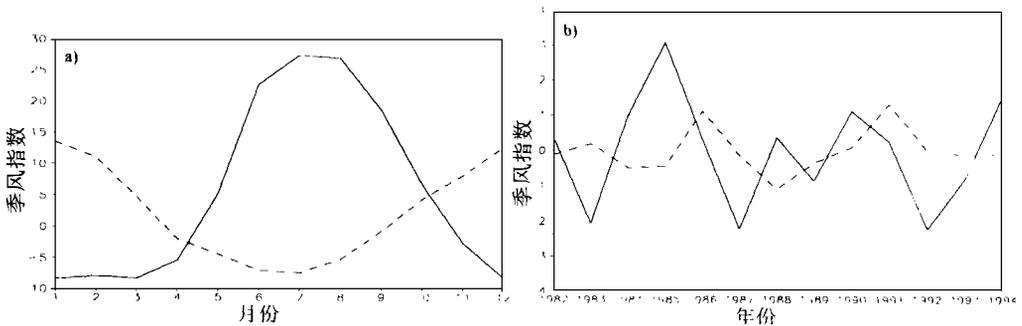


图1 SAMI和SMI的季节和年际异常变化
实线表示SAMI,虚线为SMI

a. 季节变化($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); b. 年际变化(hPa)

Fig. 1 Variation in SAMI (large-scale monsoon index, full line) and SMI (summer monsoon intensity index, dotted dashed line)

a. seasonal anomaly (June-August mean, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); b. interannual anomaly (hPa)

相比之下,夏季SAMI的年际异常变化在一定程度上反映了长江中下游旱涝的年际变化,如主要涝年份中的1983、1987、1989、1993年均出现在SAMI谷值年份(弱夏季风年),峰值对应长江流域相对旱年,其中以1985年表现最为明显,但1991年对应关系不好。进一步分析

可看出 SAMI 的谷值年份几乎都对应 El Niño 年, SAMI 的年际变化与 El Niño 存在较好的对应关系。我们知道, El Niño 年印度夏季降水少, 容易干旱, 而 80 年代以后, 中国长江流域大多表现相反的变化特征。由此可看出, 夏季长江中下游与印度大陆降水与 ENSO 很可能存在密切的联系。

1.2 热带环流指数定义及其与长江中下游旱涝年际变化关系

影响东亚的夏季风降水除南亚季风和副热带季风外, 南海季风也是相对重要的角色, 它与热带 Walker 环流共同作用可以影响东亚天气和气候。考虑两者间的共同影响, 何敏¹⁾分别在南海季风活动的区域(0°N ~ 20°N, 100°E ~ 140°E) 和 Walker 环流活动的主要范围(5°S ~ 5°N, 160°E ~ 100°W), 利用 850 hPa 和 200 hPa 的区域平均纬向风切变($U_{850} \sim U_{200}$) 定义南海热带季风指数(STMI) 和 Walker 环流指数(WKCI), 将上述两个量的差值(STMI - WKCI) 定义为热带环流指数(TCIX)。TCIX 值大表示南海季风和 Walker 环流强, 反之, 则相反。因此, 该指数变化反映了热带南海季风与 Walker 环流的相互作用和共同影响程度。

TCIX 存在季节变化(图 2a), 在夏季 8 月份达到指数最强, 冬季在 12 月份达到谷值, 从秋到冬和从春到夏存在波动, 夏季是相对的稳定期。与 SAMI 和 SMI 比较, 很显然其季节转换不如前两者变化有规律。分析夏季 TCIX 的年际变化(图 2b) 可以明显地发现它与长江中下游旱涝年具有很好的对应关系, 并且这种趋势在 5 月份就明显地表现出来。何敏¹⁾分析了 1980 ~

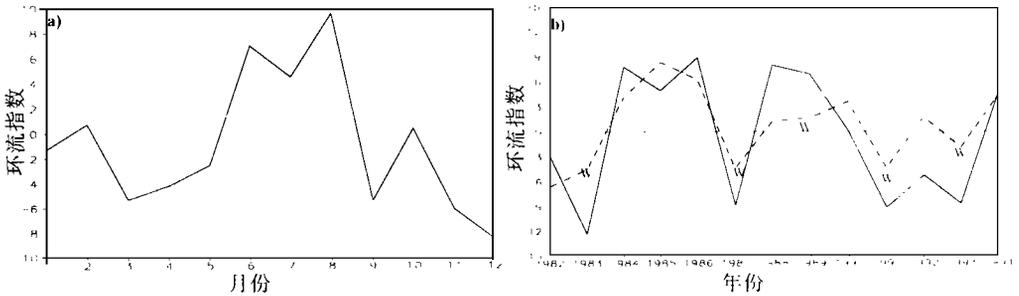


图2 TCIX 的季节和年际异常变化
实线为春季, 虚线为夏季, W 代表长江流域涝年, 单位: $m \cdot s^{-1}$
a. 季节变化; b. 年际变化

Fig. 2 Seasonal and interannual variation of tropical circulation index (TCIX).
W denotes the year of flood in the target valleys ($m \cdot s^{-1}$)
a. seasonal plot; b. interannual plot for spring (March-May mean, full line)
and summer (June-August) dotted-dashed line)

1996 年夏季 TCIX 与中国 160 个测站降水关系, 发现 TCIX 与夏季长江中下游降水明显存在反相关, 最大相关系数可达 -0.71, 通过 0.01 信度检验。除 1989 年外, 典型的长江中下游涝年, 如 1980、1983、1987、1991、1995、1996 年都出现在 TCIX 的低指数年中, 而 1985、1988 年长江中下游旱年表现在 TCIX 的高值年, 其他峰值年份没有一年与涝年对应, 因此该指数能较好地反映夏季长江旱涝的变化。从图 2 还可看到 TCIX 的前期变化可预示夏季长江中下游旱涝。它们之间内在联系有待以后进一步研究。

1) He min. Summer monsoon and Yangtze river basin precipitation, WMO tropical meteorology research programme (TMRP) commission for atmospheric sciences. (CAS), indonesia, 1997, 67 ~ 68

2 夏季热带环流高、低指数合成分析

从 SAMI、TCIX 和夏季长江中下游旱涝的年际变化关系可以看出, 东亚、印度和 El Niño 存在密切的联系, 由于长江中下游旱涝与 SAMI 并不存在一一对应关系, 相反却与 TCIX 的关系很好。因此可以推断 El Niño 对东亚和印度的降水均有影响, 但影响的途径可能是有差异的。为了分析 TCIX 的年际变化对降水和影响东亚的主要环流型的分辨能力, 接下来对夏季 TCIX 高、低指数年份同期的降水、北半球 500 hPa 位势高度和西太平洋副热带高压指数分别作合成分析。便于进行整体比较, 降水选取网格的可降水量场。其中, TCIX 的极端低指数年份取为 1982、1983、1987、1991 和 1993 年; 极端高指数年份取为 1985、1990、1992 和 1994 年。以下高、低指数合成分别指上述年份。需要指出的是, 由于所选个例有限, 很难从统计角度对合成结果做严格检验。

由图 3 可以明显地看出, 夏季 TCIX 的高、低指数年份, 东亚(100°E 以东), 从南到北降水异常呈现带型波状分布, 长江中下游位于波状分布的中心, 降水与华北和华南呈反相分布特

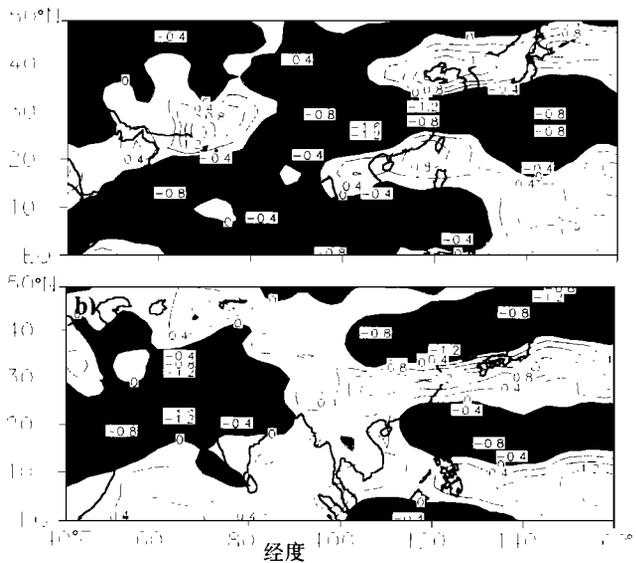


图 3 夏季高、低 TCIX 年可降水量距平合成

阴影区为降水负异常, 单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

a. 高指数年; b. 低指数年

Fig. 3 Composite rainfall in the years of anomaly in the high and low tropical circulation

index (TCIX) with negative rainfall anomaly areas shaded. Units: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

a. high index year; b. low index year

征, 这一特征与采用夏季降水分析旱涝的结果是一致的。南亚夏季降水异常在高、低指数年份表现出相反的特征。东亚地区不仅旱涝年的雨型相反, 而且旱涝的中心位置也存在差异, 具体表现为对应低指数年, 东亚以长江流域为中心表现为中间涝, 南北两端旱的分布, 高指数年降水异常呈反相分布。

东亚夏季降水属副热带性质, 中高纬度西风和西北太平洋副热带高压是影响东亚天气和气候的最重要的系统, 高压的强度、位置和持续时间的长短直接对东亚的降水造成影响。对比分析可以发现(图 4 所示), 在 TCIX 的高、低指数年份, 北半球夏季 500 hPa 位势高度异常在

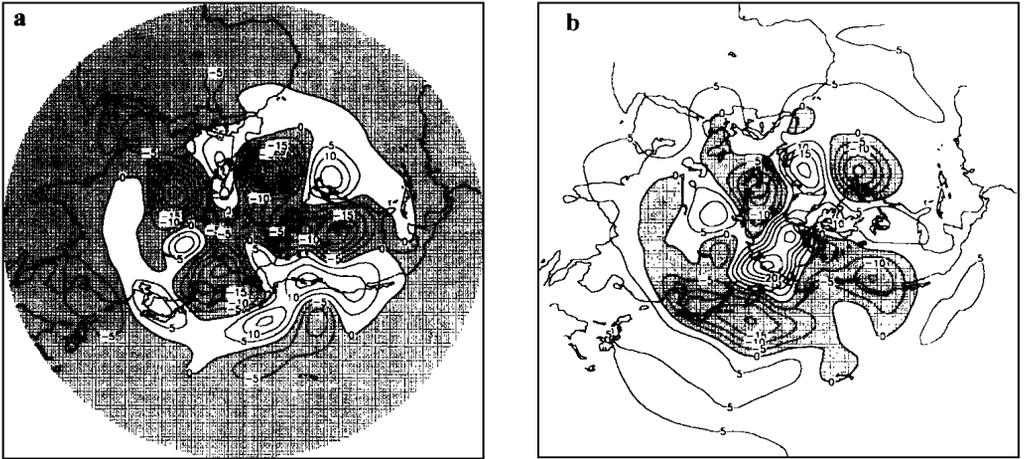


图 4 夏季高、低 TCIX 年北半球 500 hPa 高度距平合成

阴影区为高度异常, 单位: dagpm

a. 高指数年; b. 低指数年

Fig. 4 Composit diagram of northern 500 hPa height anomaly in the years of high (a) and low TCIX (b) with areas of negative

高纬度地区虽表现为明显的四波结构, 但位置呈现相反的分布, 在东亚 120°E ~ 180° 表现最为明显。低指数年, 东亚 30°N 以北为负异常, 南部为正异常, 这样的高度场异常配置容易导致中纬度西风活跃和西太平洋副热带高压位置的偏南, 长江中下游位于副高的北部, 冷暖空气交汇成云致雨, 该地区易涝。在 TCIX 的高指数年份, 30°N 以北为正距平, 表现为南低北高, 中纬度东风盛行, 西风带北缩, 副高位置偏北, 长江流域受其控制而导致旱。

对 500 hPa 的西太平洋副热带高压的脊线位置合成分析进一步表明(图 5 所示), 对应 TCIX 的低指数年, 夏季副高脊线位置明显偏南, 在整个夏季平均稳定在 24°N 左右, 而高指数年份明显偏北, 在 8 月份, 最北可达 30°N。

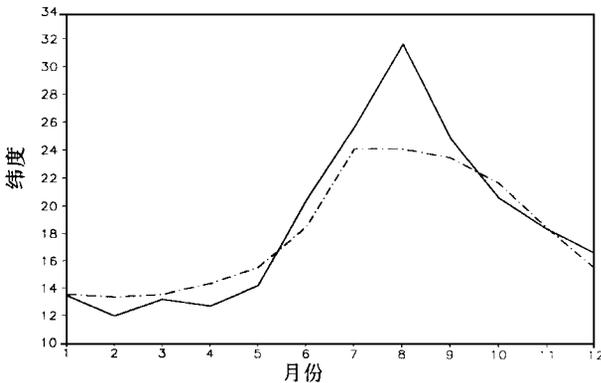


图 5 高、低 TCIX 年西太平洋副高脊线位置合成

实线为高指数年, 虚线为低指数年

Fig. 5 Composite plot of western Pacific subtropical high s positions in the years of high (solid line) and low (dotted-dashed)

3 夏季北半球 500 hPa 位势高度场与太平洋海温相关分析

为了揭示高、低指数年份长江中下游发生旱、涝的原因,对夏季(6月~8月)平均的 500 hPa 位势高度与同期的太平洋海表温度采用 SVD(Singular Value Decomposition)方法作相关分析(图 6 所示)。左、右奇异向量场分别表示 500 hPa 位势高度和 SST A 的特征场的第一模态,两场共同解释方差为 45%,相关系数为 0.91,它们分别占原始场方差的 30% 和 17%。分

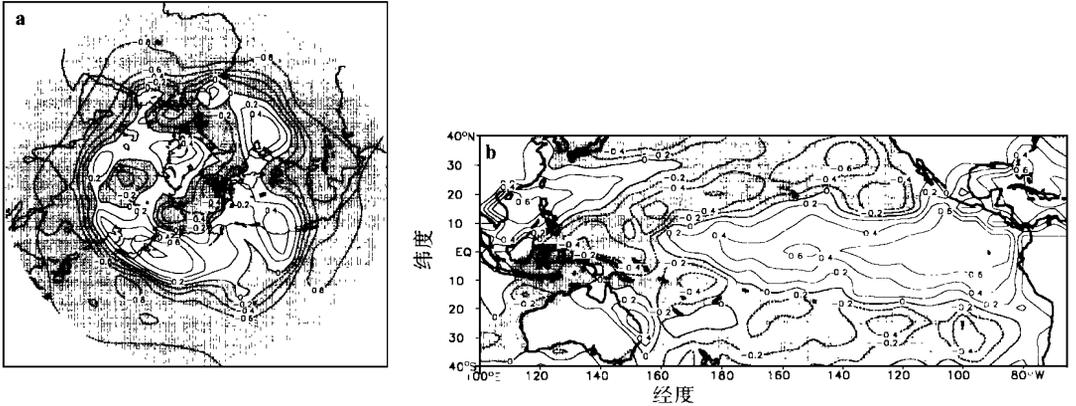


图 6 夏季 500 hPa 位势高度异常与 SSTA 的 SVD 左、右奇异向量第一模态

a. 左奇异向量; b. 右奇异向量

Fig. 6 First-pair coupling mode of SVD of summer (June-August) northern mean 500 hPa height and simultaneous Pacific SST A

a. left singular vector; b. right singular vector

析左、右奇异特征向量场可以看到,30°N 以南,500 hPa 高度场与中东太平洋和黑潮海域的海温异常明显表现为正相关,最大相关系数达到 0.6,东亚的中高纬度地区,500 hPa 高度场存在大范围的正相关中心,30°N 左右的 100°E~180° 范围内,南北交界处等相关系数线分布密集,是正负相关区的过渡带,根据地转风原理,这种分布同时也反映了夏季西风带的活动,配合

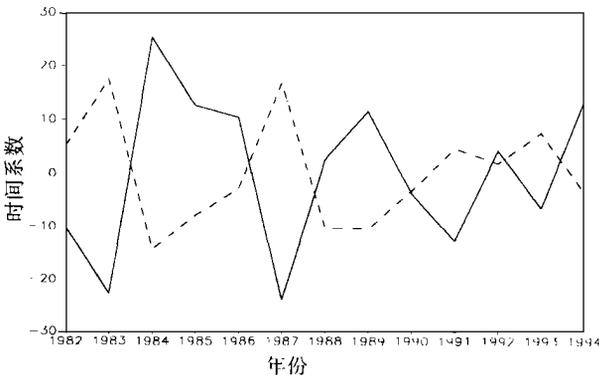


图 7 夏季 500 hPa 位势高度异常与 SSTA 的 SVD 左、右奇异向量第一模态时间系数

Fig. 7 Time coefficients of the first-pair coupling mode of SVD (see Fig. 6) with the coefficients of left (right) singular vector indicated by full (dotted-dashed) line

时间系数(图 7)可以看出,在时间系数的谷值,高度场相关系数表现为南正北负,对应高度场

距平为南高北低, 西风活跃, 轴线位置偏南, 西太平洋副高位置容易偏南。反之, 则相反。长江流域旱(涝)年份几乎与高度场第一模态的峰(谷)值一一对应。

右奇异向量基本反映了 El Niño 的主要分布特征, 但 SSTA 模态从西北到东南的日界线附近表现为一种“+、-、+”相关分布。何金海等⁶⁾分析旱、涝年季节转换特征时发现, 旱涝年的海温较差在 4 月份就表现为从菲律宾以东近赤道地区向东北伸展至中太平洋为一显著的负较差区, 从赤道日界线到东亚以东海域, 以负较差为轴, 海温较差呈现一种西北—东南向的“+、-、+”分布, 并且, 这种分布在整个夏季具有很好的持续性。根据热成风原理, 东亚到 160°E 的范围内, 以 30°N 为轴的海温南北正负分布, 有利于西太平洋副高在南部加强和北部的西风活跃, 而在反相分布时情形则相反。从时间系数可以明显看出: 右时间系数的每个峰值均对应一次 El Niño 事件, 而谷值对应 La Niña, 与时间系数的峰(谷)值对应, 1989 年除外, 长江流域几乎均发生一次涝(旱)事件。

上述相关分析可看出: 1980 年以来, 长江流域旱涝与 El Niño 的活动密切相关, 太平洋海表温度异常可以影响北半球高度场和副热带高压及夏季西风带的位置, 通过改变东亚季风环流场从而影响东亚的夏季降水异常, 而 TCIX 的高、低指数年份基本反映了上述海温与 500 hPa 高度场异常的主要本质差异。因此, TCIX 的年际变化在很大程度上表征了江淮旱涝趋势。

4 结论与讨论

由以上分析, 可以得出如下初步结论:

1) 依据影响东亚季风大尺度热带环流来定义的指数, 它不仅具有明确的物理意义, 而且更好地反映东亚夏季环流和季风降水的年际变化趋势, 并且其前期的变化对夏季旱涝预报具有指示意义。

2) 热带太平洋海表温度异常是影响东亚夏季降水的主要原因之一, 在 El Niño 位相, 西北太平洋副热带高压偏南, 中纬度西风带南压, 长江中下游易涝, La Niña 位相情形则相反, TCIX 的年际变化由于对上述特征具有较强的分辨能力, 因此它在很大程度上反映了江淮的旱涝年际变化趋势。

3) TCIX 的高、低变化体现了 Walker 环流和南海季风年际变动关系, 它与 ENSO 的年际变化对应关系表明: 海温的东西异常变化可以影响热带 Walker 环流和南海季风的变动, 从而对东亚夏季的降水构成影响。因此可以推论, 南海—西太平洋很可能是影响东亚天气和气候的关键地区之一。

TCIX 反映的是热带环流的年际变化主要特征, 由于中高纬度环流和热力因子对东亚季风亦有影响, 虽然整个环流体系存在大体的一致性变化特征, 但在个别年份也会存在差异, 如何在 TCIX 指数中考虑上述因素需要做进一步的研究。另外, 限于资料的原因, 本文仅仅是 13 年的分析结果, 上述结论有待于更长资料的进一步验证。

参 考 文 献

- 1 Tao S Y, L X Chen. A review of recent research on the East Asian Summer monsoon in China. In: Chang, C-P, Monsoon Meteorology, . Monsoon. Meteorology, Oxford: Oxford University press, 1987, 60 ~ 92
- 2 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状况及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 1994, 18 (2): 141 ~ 151
- 3 孙柏民, 孙淑清. 海温在东亚冬季风影响江淮流域旱涝中的作用. 见黄荣辉主编. 灾害性气候过程及诊断, 北京: 气象

出版社, 1995. 46 ~ 53

- 4 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. 地理学报, 1983, 38(3): 207 ~ 216
- 5 Webster P J, S Yang. Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. Q J R, Meteor Soc, 1992, 118(57): 877 ~ 926
- 6 何金海, 温敏, 罗京佳. 东亚季风区旱涝年季节转换的不同特征. 见: 何金海主编. 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 82 ~ 87

TROPICAL CIRCULATION INDEX AND ITS RELATION TO INTERANNUAL VARIATION OF YANGTZE FLOOD/DROUGHT

Zhu Congwen

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

He Min

(National Climate Center, Beijing 100081)

He Jinhai

(Department of Meteorology, NIM, Nanjing 210044)

Abstract Summer monsoon index defined by land-sea pressure contrast is compared to that by south-Asian monsoon circulation in characterizing the interannual variation of floods/droughts over the mid-lower valleys of the Yangtze. In terms of principal tropical circulation of east Asian monsoon defined is the summer monsoon index that is found to reflect well the interannual variation in the flood/droughts. The study shows that the difference in both higher and low index and the interannual variation has higher ability to identify the pattern of atmospheric circulation related to east Asian summer rainfall through the use of the index compositing and SVD analysis of northern 500 hPa height and synchronous SST A at tropics in the context of 1982 ~ 1994 mean precipitation (precipitable water) and the 500 hPa height anomalies.

Keywords tropical circulation index, summer flood/drought, interannual variation, mid-lower valleys of the Yangtze