

# 东亚夏季风环流异常指数与夏季 气候变化关系的研究\*

黄 刚

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

## 提 要

利用东亚夏季风环流异常指数  $I_{EAP}$ , 研究了该指数对东亚地区夏季气候要素的描述能力及其与中、日、韩三国的气候要素变化的关系。结果表明, 该指数可以较好地反映东亚地区的夏季气候要素场的变化。

关键词: 东亚夏季风环流异常指数 大气遥相关 年际变化 旱涝

## 引 言

东亚夏季有许多特征天气系统, 如夏季我国江淮流域的梅雨、朝鲜半岛的“Changma”以及日本的“Baiu”。它们的建立以及维持的时间长短, 直接对东亚诸国的国民经济造成了巨大的影响。东亚夏季的旱涝气候灾害发生频率高, 尤其在从长江流域、淮河流域与韩国南部到日本南部地区<sup>[1]</sup>。

研究东亚夏季风的变化, 必须明确夏季风的含义, 或者定义一个能表征夏季风变化的指标。黄荣辉等<sup>[1-3]</sup>为了确定夏季风在我国各地的起止日期, 曾用假相当位温或综合考虑降水、湿度、风场的变化作为表征夏季风活动的标准。近些年随着东亚季风的研究, 东亚季风强度指数的定义也比较多。一般说来, 印度夏季风的强弱通常是以季风季节(6~9月)总雨量的多少来表示, 雨量多, 表明夏季风来临早, 西南季风强; 雨量少, 表明夏季风来临迟, 西南风弱。但我国夏季风降水的性质和原因与印度不同, 各地降水与夏季风强弱的关系十分复杂; 由于不同地区的地理位置不同, 与季风的关系也各异。给夏季风强弱一个明确的定义, 对研究夏季风的年际变化和多年变化规律都是必要的, 因此关于季风指数的定义是目前国际上关于季风研究的一个重要问题。由于我国处于东亚季风区, 因此东亚季风指数一直备受人们的重视。目前关于季风指数大致有两种定义<sup>[1-12]</sup>, 一种从热力学要素出发, 另一种从动力学要素出发, 如图1所示。

这些季风指数定义各有优缺点, 例如从热力因素出发定义易受局地的影响, 而从动力因素出发, 例如 Webster 和 Lau 利用高低层的纬向风或经向风差作为季风强度指数, 但只适用于热带性质的季风, 而东亚夏季风还包含有副热带季风的性质。总之, 近年来关于

\* 国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”96-908-01-01 课题和中国科学院项目“亚洲季风变迁与全球变化”资助

1998-12-10 收到, 1999-01-15 收到修改稿

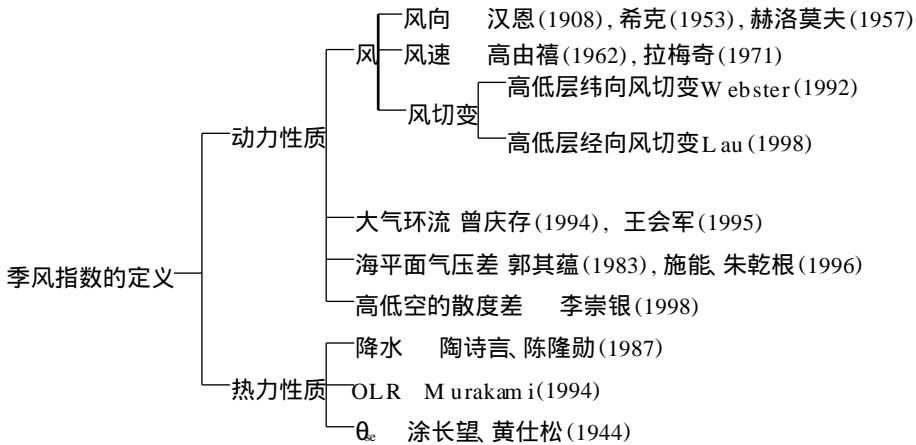


图1 季风指数的定义方法

夏季风指数的定义,以动力为主的方法定义季风占了绝大多数,但是也应看到,每个季风指数的定义各有其优缺点,它们确实能够反映季风的某些方面的特征,但就每一项指标来看,它很难反映季风的全部特性,因此,研究者从不同角度出发定义不同的指数,这种情况也从侧面反映季风的复杂性。多指数的情况在东亚季风的定义上尤为突出。90年代末,随着对东亚夏季风动力系统以及热力性质的了解和加深,将有助于定义较为合适的东亚夏季风强度指数。但无论如何,对东亚夏季风强弱的定义是亟待解决的问题。

实际上,东亚地区夏季(6~8月)气候异常的变化是在特殊的环流异常背景下发生的,因此有必要从大尺度环流异常的角度来研究东亚夏季风变化的问题。研究表明<sup>[13,14]</sup>,东亚夏季气候变化与东亚-太平洋型(EAP)大气遥相关型有密切的联系。作者<sup>[15]</sup>定义了一个反映东亚夏季风环流异常的指数,并进一步证明这一环流异常指数不仅可以描述东亚夏季风降水的年际变化,并且还可描述其它一些与夏季风有关的气候要素场的年际变化。

## 1 东亚夏季风环流异常指数的定义

由于EAP大气遥相关型与东亚夏季风气候关系密切,因此作者依据黄荣辉等提出的EAP大气遥相关型的概念,定义了一个东亚夏季风环流异常指数 $I_{EAP}$ <sup>[15]</sup>(简称EAP指数),并借助于这个环流异常指数来研究夏季东亚地区季风环流的年际变化及其与东亚诸国的一些气候要素场变化的关系。 $I_{EAP}$ 具体定义方法如下:

$$I_{EAP} = \text{Nor}(-0.25Z_s(20^{\circ}\text{N} \sim 125^{\circ}\text{E}) + 0.50Z_s(40^{\circ}\text{N} \sim 125^{\circ}\text{E}) - 0.25Z_s(60^{\circ}\text{N} \sim 125^{\circ}\text{E})) \quad (1)$$

其中 $Z_s = Z \sin 45^{\circ} \sin \varphi$ ,  $Z = Z - \bar{Z}$  ( $Z$ 为某年夏季该点的500 hPa位势高度,  $\bar{Z}$ 为气候平均态),  $\varphi$ 为纬度,  $\text{Nor}(X)$ 为对 $X$ 进行标准化处理。

因为东亚夏季风环流异常也是东亚夏季风强弱的一种表象,故也可把它称作东亚夏季风强度指数。当 $I_{EAP}$ 为高状态( $I_{EAP} = 1$ )的时候,称之为强夏季风;当 $I_{EAP}$ 为低状态( $I_{EAP} = -1$ )的时候,称之为弱夏季风。

## 2 资料和方法

本研究采用了美国NCAR/NCEP的月平均再分析资料(1958~1997年)的高度场、风场、相对湿度场和温度场月平均资料,以及中国160个台站(1951~1996年)的降水和温度资料、韩国的14个代表站(1953~1994年)的温度及降水资料、日本36个台站(1951~1986年)的降水资料和50个台站(1946~1996年)的温度资料。通过统计相关分析、合成分析的方法研究了东亚夏季风环流异常指数与我国东部地区、日本和韩国的温度及其降水的变化关系,具体研究区域为江淮区域(29°~33°N, 114°~125°E)。

## 3 东亚夏季风环流异常指数与东亚夏季风的年际变化

利用式(1)计算东亚夏季风异常环流指数得到图2,从图2中可看到东亚夏季风的年

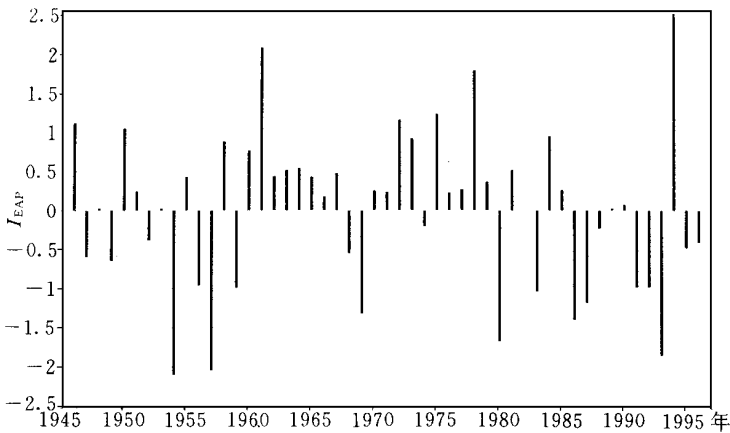


图2 1946~1996年 $I_{EAP}$ 的年际变化

际变化是非常显著的。 $I_{EAP}$ 可以较好的反映我国江淮地区的旱涝形势,诸如1954, 1969, 1980, 1983, 1986, 1987, 1991, 1993年江淮地区发生洪涝灾害,  $I_{EAP} > 1$ ;而在1994, 1978, 1975, 1972, 1961年,江淮地区发生了干旱的灾害,  $I_{EAP} < -1$ 。

(1)  $I_{EAP}$ 与中国江淮地区夏季季风降水及温度变化的关系 为了便于比较 $I_{EAP}$ 和江淮地区旱涝的关系,计算了江淮地区夏季降水的年际变化(标准化值),如图3所示, $I_{EAP}$ 和江淮地区的降水有很好的反相关趋势<sup>[15]</sup>。说明当 $I_{EAP}$ 偏高的时候,对应江淮流域的干旱;而 $I_{EAP}$ 偏低的时候,对应江淮流域的洪涝灾害。 $I_{EAP}$ 和江淮流域降水变化的相关系数达到

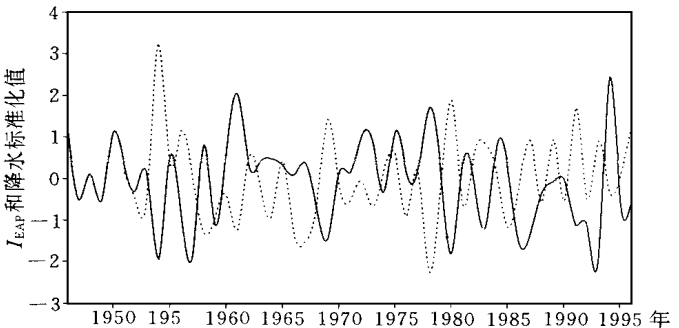


图3  $I_{EAP}$ (1946~1996)与江淮流域的夏季降水变化(1951~1996)的关系(实线 $I_{EAP}$ ,虚线:江淮流域夏季降水)

- 0.59, 可以很好的表征该地区的降水特征。同样, 也计算了  $I_{EAP}$  和江淮地区温度变化的关系, 表现为明显的正相关(图略), 相关系数达 0.53, 均超过了 0.01 的信度检验标准

(2)  $I_{EAP}$  与韩国夏季气候变化的关系 选择韩国 14 个代表站的降水和温度资料 (1953~ 1994 年), 分别计算了它们与  $I_{EAP}$  的关系, 图 4a 表示  $I_{EAP}$  和韩国夏季降水变化的关系, 图 4b 表示  $I_{EAP}$  和韩国夏季温度的关系, 结果显示  $I_{EAP}$  和韩国降水的变化为负相关, 其相关系数为 - 0.37, 达到 0.05 的信度检验, 但并不象想象的那么高, 究其原因主要是韩国多山地, 夏季降水除了季风还受到局地的影响。  $I_{EAP}$  与韩国的温度变化, 有明显的正相关, 相关系数高达 0.77, 其原因还需进一步研究。但从初步结果来看,  $I_{EAP}$  和韩国的主要气候要素的变化还是有比较密切的关系

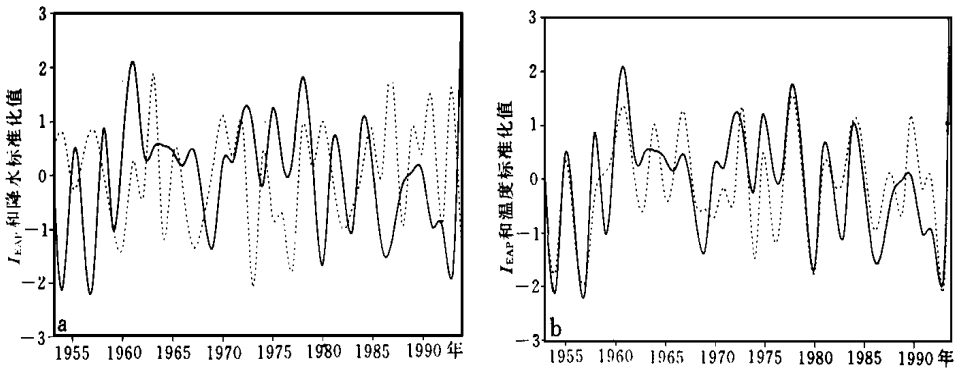


图 4  $I_{EAP}$  (1946~ 1996 年) 与韩国夏季降水变化 (1951~ 1986 年) (a) 及与夏季温度变化 (1953~ 1994 年) (b) 的关系 (实线:  $I_{EAP}$ , 虚线(a): 韩国夏季降水, 虚线(b): 韩国夏季温度)

(3)  $I_{EAP}$  与日本夏季气候变化的关系 为了对东亚诸国的气候变化和  $I_{EAP}$  有一个全面的了解, 计算了 1951~ 1986 年日本 36 个代表站的降水变化 (资料取自全球降水资料序列), 而 1946~ 1996 年温度资料取自日本气象厅, 台站数为 50 个。图 5a, b 分别表示  $I_{EAP}$  与日本夏季降水 (a) 及温度 (b) 的关系, 由此可见,  $I_{EAP}$  和日本降水呈明显的负相关, 和温度呈明显的正相关。且相关系数都超过了 0.01 的信度检验

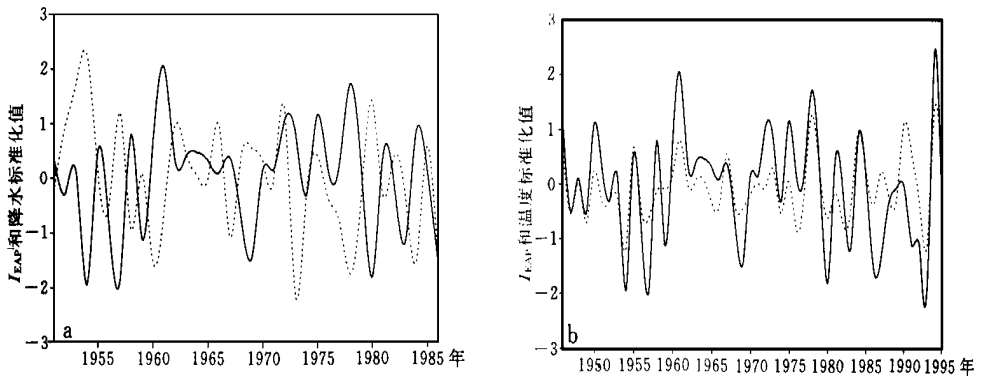


图 5  $I_{EAP}$  与日本夏季降水 (a) 和日本夏季温度 (b) 的关系 (实线:  $I_{EAP}$ , 虚线 (a): 日本夏季降水, 虚线 (b): 日本夏季温度)

综上所述,  $I_{EAP}$  与中、日、韩的气候要素场的变化有密切的关系, 中国的江淮地区、韩国及日本的气候变化在长期的变化上趋于一致, 并且与东亚-太平洋遥相关型有密切的关系。  $I_{EAP}$  为高指数状态时, 或强夏季风状态时, 我国江淮地区、韩国以及日本处于偏旱的状态, 而当  $I_{EAP}$  为低指数状态时, 或弱夏季风状态时, 上述地区呈现多雨的气候状态。

#### 4 东亚夏季风环流异常指数的合成分析

(1) 东亚夏季气候要素水平场变化的合成分析 为了研究高、低  $I_{EAP}$  的环流场的变化, 作者<sup>[15]</sup>采用合成分析的方法分别对高、低  $I_{EAP}$  年东亚夏季水平场的变化进行合成分析。其中高  $I_{EAP}$  年选取  $I_{EAP} = 1$  的年份, 低  $I_{EAP}$  年选取  $I_{EAP} = -1$  的年份。从图 6 可明显看

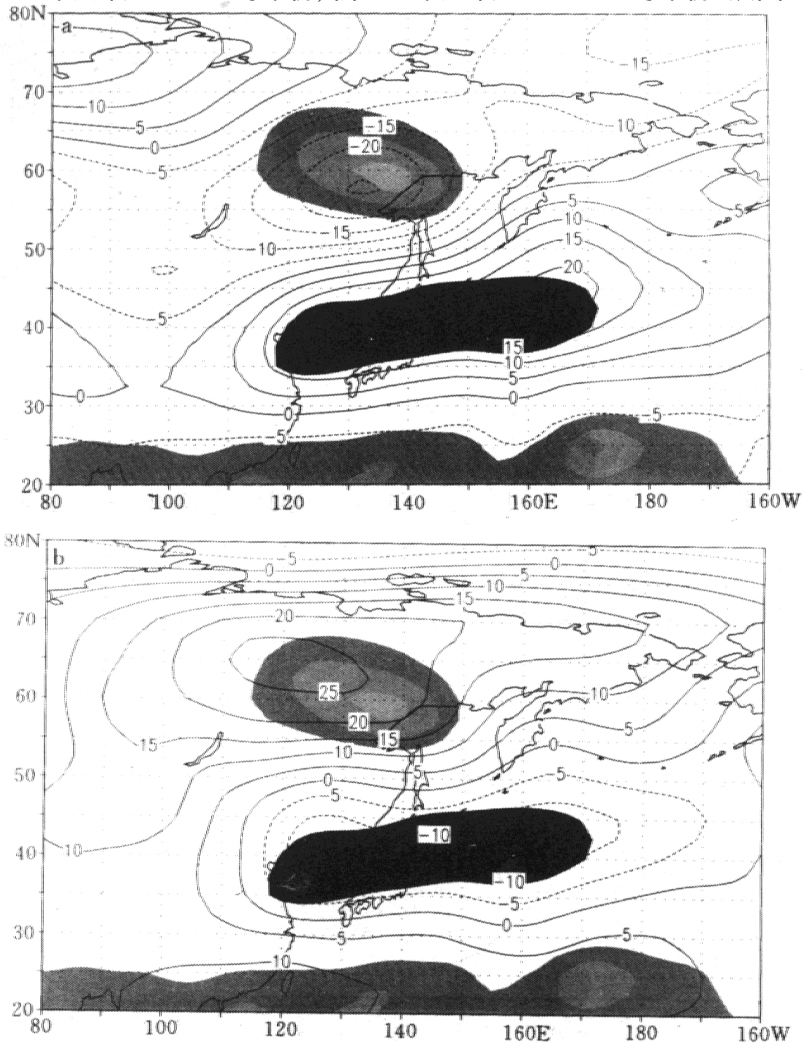


图 6 根据  $I_{EAP}$  状况合成的东亚夏季 500 hPa 位势高度距平  
(a) 高  $I_{EAP}$  年 (b) 低  $I_{EAP}$  年(单位: gpm)

出高  $I_{EAP}$  年合成 500 hPa 距平分布与低  $I_{EAP}$  年合成的分布在东亚地区有相反的形式 当  $I_{EAP}$  为高值时, 即强东亚夏季风时, 西太平洋副热带高压偏北, 江淮流域少雨, 反之, 当  $I_{EAP}$  为低值时, 即弱东亚夏季风时, 则西太平洋副热带高压偏南, 江淮流域多雨 另外还进行了海平面气压等气候要素的合成分析(图略), 结果均显示了  $I_{EAP}$  可以较好的反映东亚夏季风的强弱状态(对水平场状态而言).

(2) 东亚夏季气候要素垂直场变化的合成分析 图 7 为对经向风场垂直结构变化的合成分析图, 是利用  $100 \sim 160 \text{E}$  的经向平均来看东亚夏季经向风垂直结构随纬度的变化 由图可见: 高  $I_{EAP}$  年和低  $I_{EAP}$  年的经向风场出现明显相反的结构, 在东亚夏季风强年, 我国华北地区、韩国及日本的经向风场上均出现从低层到高层整层的增加, 即意味着南风将加大, 并且是从低层到高层一致的变化, 且极大值出现在 300 hPa 到 200 hPa 附近 弱

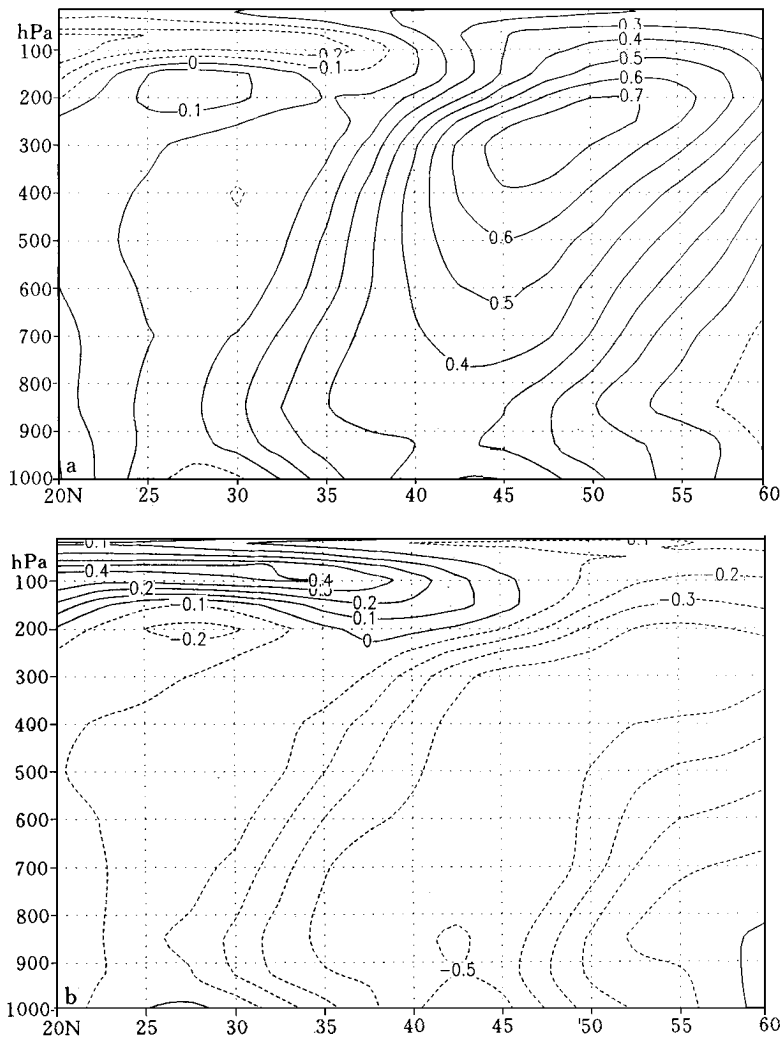


图 7 根据  $I_{EAP}$  状况合成的东亚夏季经向风垂直结构的变化  
(a) 高  $I_{EAP}$  年 (b) 低  $I_{EAP}$  年 (单位: m/s)

夏季风年在上述地区出现相反的变化, 从低层到高层出现北风异常, 即南风减弱的状态  
图 8 为对温度场垂直结构变化的合成分析图, 它利用  $100^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$  的经向平均来看东亚夏季温度垂直结构随纬度的变化, 由图可见, 高  $I_{EAP}$  年和低  $I_{EAP}$  年温度场的变化也出现明显相反的结构 在东亚夏季风强年, 我国华北地区、韩国及日本的温度场变化从地面到 200 hPa 出现升温, 高层 200 hPa 到平流层出现降温, 即对流层出现增温, 而平流层出现降温的结构, 有两个极大值, 一个在 300 hPa 到 200 hPa 附近 另外一个较弱, 在近地面层 极低值中心出现在 100 hPa 附近 弱夏季风年, 在上述地区出现相反的变化, 即对流层出现降温, 而平流层出现升温 极大值中心位于 100 hPa 附近, 有两个极小值中心, 分别位于 400 hPa 到 200 hPa 和近地面层

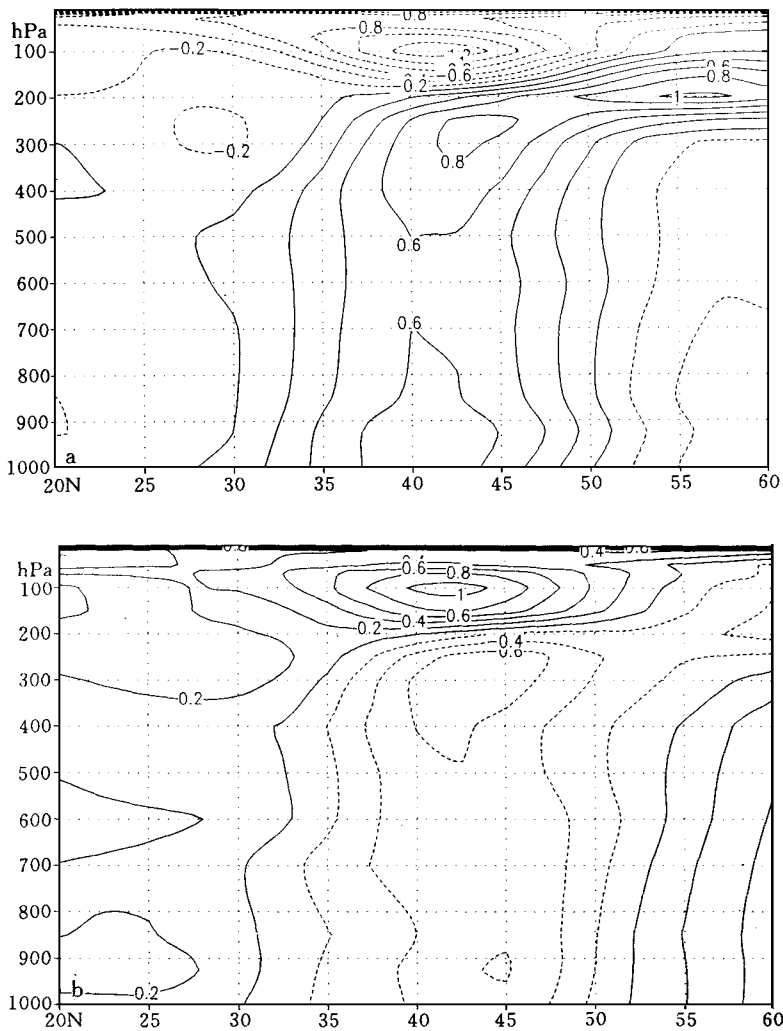


图 8 根据  $I_{EAP}$  状况合成的东亚夏季温度垂直结构的变化  
(a)高  $I_{EAP}$  年 (b)低  $I_{EAP}$  年(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

## 5 结 论

(1) 东亚地区夏季风环流、降水和温度的变化与从 EAP (东亚-太平洋) 大气遥相关型出发定义的东亚夏季风环流异常指数密切相关, 且中国的江淮地区、韩国及日本的气候变化趋于一致。当  $I_{EAP}$  为高指数状态时, 或强夏季风状态时, 我国江淮地区、韩国及日本处于偏旱的状态, 西太平洋副热带高压偏北; 而当  $I_{EAP}$  为低指数状态时, 或弱夏季风状态时, 对应我国江淮地区、韩国以及日本多雨, 西太平洋副热带高压偏南。

(2)  $I_{EAP}$  可较好地反映东亚夏季气候场的年际变化特征, 即东亚夏季气候要素的水平场的变化和气候要素垂直结构的变化。

致谢: 对导师叶笃正院士对本文的精心指导以及陆日宇、武炳义博士, 严中伟研究员的热情帮助深表谢意。

## 参 考 文 献

- 1 黄荣辉, 黄刚, 任保华. 东亚夏季风的研究进展及其需进一步研究的问题. 大气科学, 1999, 23(2): 129~ 141.
- 2 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 192~ 244.
- 3 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科技出版社, 1996. 61~ 93.
- 4 Ramage C S. 季风气象学. 见: 冯秀藻译. 北京: 科学出版社, 1978. 3~ 50.
- 5 Chang C P, Krishnamurti T N. Monsoon Meteorology. New York: Oxford University Press, 1987. 60~ 93.
- 6 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~ 217.
- 7 Webster P J and Yang S. Monsoon and ENSO: Selectively interactive system. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 1992, 118: 877~ 926.
- 8 Zeng Q C, Zhang B L, Liang Y L, et al. East Asian summer monsoon—a case study. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* 1994, A 60(1): 81~ 96.
- 9 Murakami T, Matsumoto J. Summer monsoon over the Asian continent and western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1994, 10: 719~ 745.
- 10 涂长望, 黄土松. 中国夏季风之进退. 气象学报, 1944, 18: 81~ 92.
- 11 Huang Gang and Yan Zhongwei. East Asian summer monsoon circulation anomaly index and interannual variations. International Conference on Monsoon and Hydrologic Cycle, Korea, Kyongju, 22~ 25 April, 1998. 236~ 241.
- 12 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 东亚季风区的水汽输送特征及其与印度季风区的差别. 大气科学, 1998, 22(4): 460~ 470.
- 13 Huang R H and Sun F Y. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, 72(6): 937~ 957.
- 14 Huang R H. The East Asia/Pacific pattern teleconnection of summer circulation and climate anomaly in East Asia. *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, 6(1): 25~ 36.
- 15 黄刚, 严中伟. 东亚夏季风环流异常指数及其年际变化. 科学通报, 1994, 44(4): 421~ 424.



**STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN  
SUMMER MONSOON CIRCULATION ANOMALY  
INDEX AND THE CLIMATIC VARIATIONS IN EAST ASIA**

Huang Gang

*(Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100080)*

**Abstract**

Based on the East Asian Summer Monsoon Circulation Anomaly index presented previously by the author, the further examination on the ability of description on the summer climatic variation in East Asia is carried out, and the relationships between the index and the climatic element variations in China, Japan and Korea are also studied. The results show that the index could well describe the variations of summer climatic anomaly in East Asia.

**Key words:** East Asian summer monsoon circulation anomaly index Atmospheric teleconnection Interannual change Drought/flood