

东亚季风指数的定义及其与 中国气候的关系*

乔云亭** 陈烈庭 张庆云

P4 A

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘要 利用 NCEP/NCAR 850 hPa 月平均风场再分析资料, 在客观地选定定义地区范围的基础上, 定义了一组新的东亚季风指数: 西南季风面积和强度指数, 东南季风面积和强度指数, 偏北季风面积和强度指数。研究了各季风指数的相互关系、季节变化和年际变异。这 6 个东亚季风指数突出反映了东亚西南季风、东南季风及偏北季风 3 支季风气流强度和范围变化的特征。分析表明, 它们相互之间既有一定联系, 又有独立性。各季风指数存在明显的季节变化和年际变化。另外, 分析了各季风指数与中国夏季降水和冬季气温的联系, 以考察其解释我国气候异常分布的能力。结果表明, 这些指数与我国夏季降水和冬季气温有很好的关系, 并各自对应有一定的降水和气温分布。特别是西南季风与东南季风影响我国夏季降水的地区有很大差异。因此, 我们指出, 研究东亚夏季风时, 区别西南季风与东南季风是很有必要的, 用单一指数不足以表征它们不同的变化。

关键词: 东亚季风; 中国; 气候

1 引言

为了反映大范围季风的季节变化和年际变化, 定义一个或几个有代表性的表征季风强弱变化的指数是十分必要的。但是, 如何客观和定量地描述大范围季风的变化是个难题, 特别是由于东亚季风的复杂性, 至今仍无比较一致的见解和定义。如郭其蕴^[1]取 10~50°N 范围内每 10 度纬圈上 110°E 与 160°E 之间的海平面气压差 ≤ -5 hPa 的所有数值之和来表征东亚夏季风的强度。赵汉光和张先恭^[2]引用郭其蕴的方法, 建立了冬季风强度指数。施能^[3,4]为了消去不同格点均方差不均匀造成的影响, 取 20~50°N 范围内每 5 个纬度的 110°E、160°E 的标准化的海平面气压差之和的序列的标准化值为东亚季风指数。陶诗言和黄真^[5]取 6~8 月 (0~40°N, 90~150°E) 范围内平均的 850 hPa 南风分量与北风分量的比率作为东亚夏季风的强度指数。梁建茵和吴尚森^[6]取南海 (5~20°N, 105~120°E) 区域, 候平均的西南风分量及 OLR 值综合成南海西南季风指数。Fujikawa^[7]则在东南亚地区取 4 个区域平均的 OLR 值来反映亚洲夏季风的变化。在南亚季风指数方面, Webster 和 Yang^[8]为反映南亚季风的强度用 (5~20°N, 40~110°E) 范围内 850 hPa 和 200 hPa 之间的平均纬向风垂直切变值来定义。王斌和樊

2000-07-11 收到, 2000-12-26 收到再改稿

* 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”和国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900 第一部分共同资助

** 现在中山大学大气科学系读博士学位, 广州市 510275

真^[9]指出, Webster 和 Yang 的指数不仅反映了印度夏季风的强度, 同时也在一定程度上也反映了东南亚夏季风的强度, 但这两个地区对流的年际变化相关很弱, 用单一的指数来反映整体的南亚夏季风强度不是很好。因此, 他们提出用两个对流指数, 即孟加拉湾区域 ($8.75 \sim 23.75^{\circ}\text{N}$, $70 \sim 100^{\circ}\text{E}$) 和菲律宾群岛附近 ($8.75 \sim 21.25^{\circ}\text{N}$, $115 \sim 140^{\circ}\text{E}$) 平均的负的 OLR 值分别来反映印度季风和东南亚夏季风的年际变化。吴爱明和倪允琪^[10]仿效 Webster 和 Yang 指数, 取 ($0 \sim 20^{\circ}\text{N}$, $40 \sim 110^{\circ}\text{E}$) 范围内 850 hPa 和 300 hPa 的平均纬向风垂直切变为印度季风指数, 取 ($20 \sim 30^{\circ}\text{N}$, $110 \sim 130^{\circ}\text{E}$) 范围内平均的 850 hPa 经向风速距平为东亚季风指数。这些季风指数定义各有各的优点, 在研究和业务上起了一定的作用。但是我们考虑: (1) 南亚季风和东亚季风是两个既有联系又是相互独立的季风系统。在南亚地区定义的季风指数显然不能充分反映东亚地区季风活动的特征。(2) 东亚地区季风活动不仅受热带季风的作用, 而且还受副热带季风的影响。这两种不同性质的季风也是既有联系又相互独立的, 用一个季风指数显然不能描述它们各自变化的特点。(3) 东亚地区中高纬的影响占有非常重要的地位, 但目前还没有一个季风指数来反映中高纬环流的变化。总之, 东亚季风比南亚季风要复杂得多, 用单一指数来描述东亚季风的全貌显然是不够的。因此, 本文试图定义一组新的东亚季风指数, 一方面能反映东亚地区各支气流变化的特征, 另一方面天气气候意义又比较清楚, 且便于在气候诊断和预测中应用。并在此基础上分析各季风指数之间的关系, 它们的季节变化和年际变化的特征, 及其与我国夏季降水和冬季温度的关系, 考察其解释我国气候异常分布的能力。

2 资料与分析方法

本文所用的资料主要包括: NCEP/NCAR 再分析数据集月平均资料子集中的全球 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 网格点 850 hPa u 、 v 分量资料, 中国气象局提供的西太平洋副高脊线位置特征指数资料和中国 160 个站点月降水和温度资料。资料年代均为 1968~1997 年。

东亚地区基本上受东南季风、西南季风和偏北气流的影响, 为了反映这 3 支季风气流的变化, 计算各支季风的指数, 需要判定确定地区各格点的风向和速度。在本文中, 我们利用 850 hPa $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 格点的 u 、 v 分量来确定每个格点上风的风向及大小, 具体步骤如下: 首先, 判断 v 的符号, 有三种情形: (1) 若 $v < 0$, 则该格点为偏北风, 此时, 不考虑 u , 取其大小为 $|v|$ 。(2) 若 $v > 0$, 则该格点为偏南风。此时, 再考虑 u , 则又有三种情形: (a) 若 $u > 0$, 则该格点为西南风。(b) 若 $u < 0$, 则该格点为东南风。(c) 若 $u = 0$, 则累加以该格点为中心的 9 个格点的 u 值, 其正负号确定为该格点的 u 的符号, 确定为东南风或西南风。凡东南风或西南风, 其大小均为 $(u^2 + v^2)^{1/2}$ 。(3) 若 $v = 0$, 则以与 (c) 同样的方法来判断 v 的符号, 确定为偏北风或偏南风, 再以相同步骤进行计算。这样, 我们就得到了每个格点的风向与风速。

3 东亚季风指数的定义

3.1 范围的选取

为了定义东亚季风指数, 首先应当客观地确定定义地区的范围。如前面引言中所

述, 东亚地区主要受来自南亚的西南气流, 西太平洋副高南侧的东南气流以及中高纬度的偏北气流的影响。所以, 选取定义的范围必须综合考虑这 3 支季风气流的活动及其变化最强的地区。由于西太平洋副高不仅对我国汛期降水有重要影响, 而且从大气环流角度来看, 副高的位置和强度, 特别是位置的变化与南亚季风和东亚季风的强度, 乃至南亚季风爆发的早晚等都有密切关系。因此, 这里我们通过计算和分析西太平洋副高脊线位置特征指数与东南亚地区 850 hPa u 和 v 分量相关分布的特征来确定东亚季风指数定义的范围。

图 1a 和 b 给出了 1968~1997 年夏季西太平洋副高脊线位置特征指数与同期东南

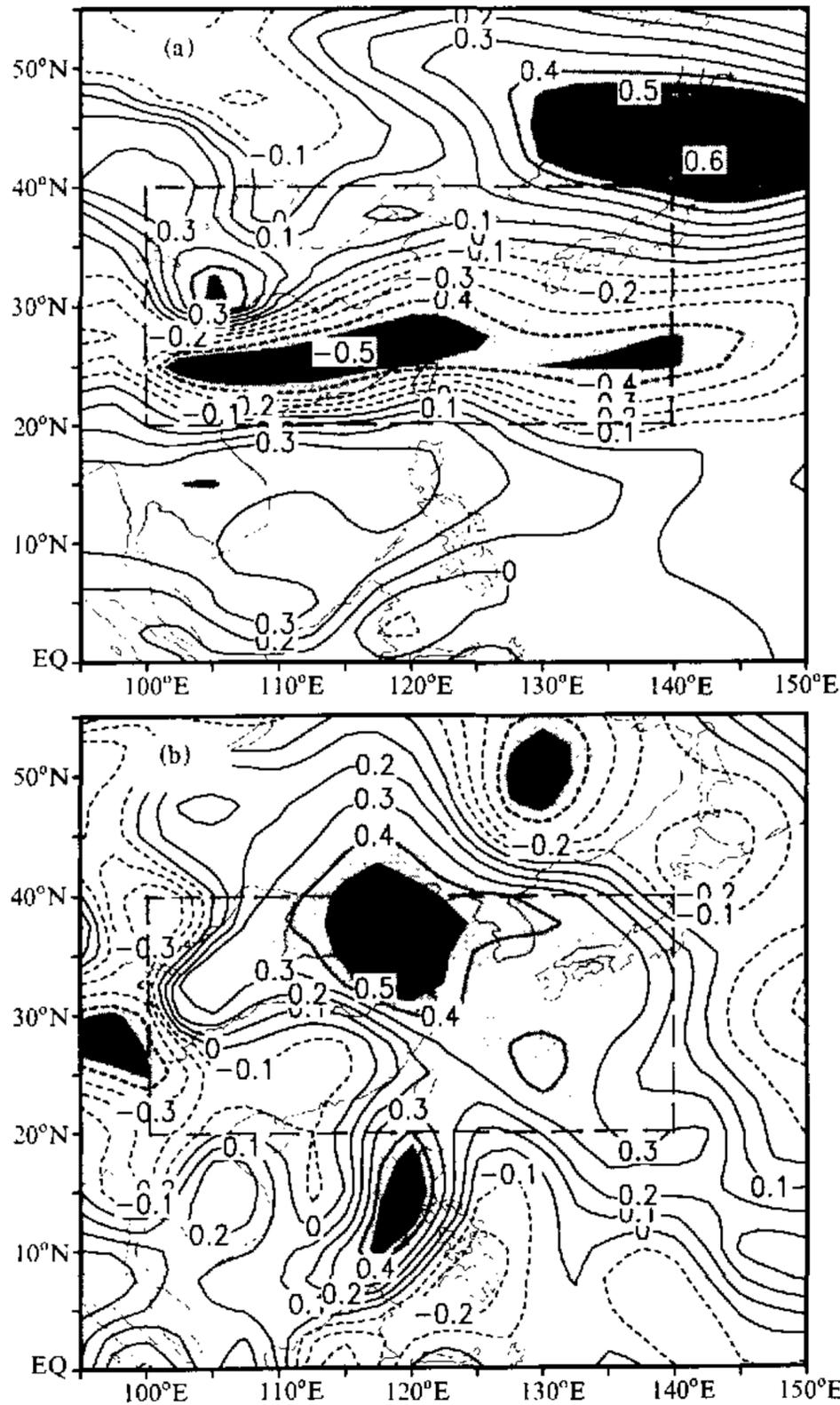


图 1 1968~1997 年夏季西太平洋副热带高压脊线位置特征指数与同期东亚 850 hPa u 分量 (a) 和 v 分量 (b) 的相关分布

亚 ($0\sim 55^{\circ}\text{N}$, $95\sim 150^{\circ}\text{E}$) 850 hPa u 和 v 分量的相关分布。图中实线为正相关, 虚线为负相关, 由浅到深三种不同阴影区分别为相关系数 $|r|\geq 0.35$ 、 0.45 和 0.55 的区域, 相当于 0.05 、 0.01 和 0.001 的信度水平。在图 1a 上可以看出, 大致以 110°E 为界, 东西两侧的相关分布是不同的。在 110°E 以东为呈东西向的带状分布: 35°N 以北为正相关带, 正相关中心在 (44°N , 140°E) 附近; $20\sim 35^{\circ}\text{N}$ 为负相关带, 负相关中心在 (27°N , 120°E) 附近; 20°N 以南又为正相关带。这一相关分析表明, 当西太平洋副高脊线指数为正距平 (即位置偏北) 时, 35°N 以北和 20°N 以南吹西风距平气流, 其间盛行东风距平气流。当西太平洋副高脊线指数为负距平 (即位置偏南) 时, $20\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间吹西风距平气流, 其南北两侧盛行东风距平气流。东、西距平气流交界处相当于西太平洋副高脊线之所在。在 110°E 以西地区比较复杂, 我们重点注意 30°N 南北两侧的两个高相关区。北侧 $30\sim 40^{\circ}\text{N}$ 为正相关区; 南侧 $20\sim 30^{\circ}\text{N}$ 为负相关区, 这表明当西太平洋副高偏北时, 110°E 以西 30°N 北侧地区吹西风距平气流, 南侧地区吹东风距平气流。当副高偏南时, 情况相反。图 1b 上, 在 110°E 以东地区有一个呈“<”形的高正相关区。在 110°E 以西地区, 30°N 北侧为正相关区, 南侧为负相关区。当西太平洋副高位置偏北时, 正相关均吹南风距平气流。当西太平洋副高位置偏南时, 负相关区均吹南风距平气流。

把图 1a 与 b 进行比较, 即可发现图 1a 中 35°N 附近的东、西风距平气流交界线与图 1b 中“<”形高相关区的拐点位置很吻合, 它们相当于西太平洋副高的脊线和西伸脊点。因此, 综合图 1a 和 b 可见, 当西太平洋副高脊线位置指数为正距平时, 副高脊线南侧 $20\sim 35^{\circ}\text{N}$ 地区盛行东南季风, 西北侧吹由东南季风转向的西南风, 43°N 以北为偏北风, 中国地区西南季风较弱, 基本上只出现在 20°N 以南地区; 当西太平洋副高脊线位置指数为负距平时, 东南季风较弱只出现在 20°N 以南的太平洋上, 中国 30°N 以南地区盛行西南季风, 30°N 以北吹偏北风。因此, 它清楚地反映了夏季西太平洋副高脊线位置的变化与中国各支季风气流活动的关系。

综上所述, 我们选取 ($20\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100\sim 140^{\circ}\text{E}$) 地区 (见图 1 上虚线所框地区) 作为定义东亚季风指数的范围, 它基本上包括了反映中国夏季各支季风气流活动的高相关区。

3.2 指数的确定

在上述确定的区域内, 取经度和纬度都为每隔 2.5 度的网格点作为我们统计各季风指数的网格点。在 ($20\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100\sim 140^{\circ}\text{E}$) 范围内共有 153 个格点。由于季风的强弱一般与其范围和强度的大小都有密切的关系, 所以我们分西南风 ($u > 0, v > 0$)、东南风 ($u < 0, v > 0$) 和偏北风 ($v < 0$) 考虑面积和强度两个因素定义了如下 6 个季风特征指数:

- (1) 西南季风面积 (A_{SW}) 和强度 (I_{SW}) 指数:

$$A_{\text{SW}} = n_{\text{SW}} / N, \quad I_{\text{SW}} = \sum u_{\text{SW}} / n_{\text{SW}},$$

- (2) 东南季风面积 (A_{SE}) 和强度 (I_{SE}) 指数:

$$A_{\text{SE}} = n_{\text{SE}} / N, \quad I_{\text{SE}} = \sum u_{\text{SE}} / n_{\text{SE}},$$

(3) 偏北季风面积(A_N)和强度(I_N)指数:

$$A_N = n_N / N, \quad I_N = \sum u_N / n_N,$$

其中 n_{SW} 、 n_{SE} 和 n_N 为 850 hPa 定义范围内西南风、东南风和北风的网格点数。 u_{SW} 、 u_{SE} 和 u_N 为西南风、东南风和北风格点的风速。 N 为定义范围内总的网格点数。

根据以上 6 个季风特征指数的定义, 我们计算了 1968~1997 年共 30 年逐年逐月的时间序列。

3.3 各季风指数之间的关系

3.3.1 全年

为了了解上述 6 个季风特征指数相互之间变化的关系, 首先求出各季风指数 1968~1997 年共 30 年逐年逐月的距平值, 然后计算它们两两之间的同时相关系数, 其结果列于表 1 中。由于计算相关的资料长度为 360 个月 ($n=30 \times 12$), 相关系数 $|r| \geq 0.11$ 、0.14 和 0.17 相当于统计信度超过 0.05、0.01 和 0.001。从表 1 可以看出: (1) 面积指数之间的关系: A_N 与 A_{SW} 、 A_N 与 A_{SE} 和 A_{SW} 与 A_{SE} 彼此均为负相关。相关系数分别为-0.73、-0.52 和-0.21, 均超过 0.001 信度。表明偏北季风大范围盛行时, 西南季风和东南季风的范围小。西南季风大范围盛行时, 东南季风的范围小; 反之相反。(2) 强度指数之间的关系: 除 I_{SW} 与 I_{SE} 相关系数较大达 0.46 外, 其他 I_N 与 I_{SE} 和 I_N 与 I_{SW} 的相关都很小, 相关系数只有 0.03 和-0.04。彼此之间有一定独立性。(3) 面积指数与强度指数的关系: A_N 与 I_N 、 A_{SE} 与 I_{SE} 和 A_{SW} 与 I_{SW} 彼此均为正相关。相关系数分别为 0.50、0.40 和 0.27, 超过 0.001 的信度。说明各季风气流范围大, 一般其强度也强。(4) 偏北季风与西南和东南季风之间, A_N 与 I_{SW} 、 A_N 与 I_{SE} 、 I_N 与 A_{SW} 和 I_N 与 A_{SE} 的相关系数分别为-0.32、-0.31、-0.40 和-0.22, 也都超过了 0.001 的信度。说明偏北季风范围大、强度强时, 西南季风和东南季风的强度弱, 范围小; 反之相反。但西南季风与东南季风之间, A_{SE} 与 I_{SE} 的相关系数为 0.03, A_{SE} 与 I_{SW} 为 0.12, 相关也很弱。有独立性。

表 1 全年东亚各季风特征指数相互间的相关系数

	A_N	A_{SE}	A_{SW}	I_N	I_{SE}	I_{SW}
A_N	1.00	-0.52	-0.73	0.50	-0.31	-0.32
A_{SE}	-0.52	1.00	-0.21	-0.22	0.40	0.12
A_{SW}	-0.73	-0.21	1.00	-0.40	0.03	0.27
I_N	0.50	-0.22	-0.40	1.00	0.03	-0.04
I_{SE}	-0.31	0.40	0.03	0.03	1.00	0.46
I_{SW}	-0.32	0.12	0.27	-0.04	0.46	1.00

以上相关分析表明, 我们定义的 6 个季风指数相互之间有一定联系, 但也有独立性。

3.3.2 5~9 月

西南季风和东南季风的的活动主要出现在 5~9 月。在此期间, 不仅强度强而且变异也很大, 讨论这些月份各季风指数相互之间的关系可能更有意义。所以, 我们还计算了 1968~1997 年逐年 5~9 月它们两两之间的相关系数, 其结果列于表 2 中。资料长度为

150 个月 ($n=30 \times 5$), 相关系数 $|r| > 0.16$, 0.21 和 0.26 表示统计信度超过 0.05、0.01 和 0.001。从表 2 可以看出, 它与全年的情况有些差异: (1) 面积指数之间的关系, A_N 与 A_{SW} 和 A_N 与 A_{SE} 的相关略有减小, 而 A_{SW} 与 A_{SE} 的相关系数由 -0.21 增至 -0.52。说明在夏半年西南季风面积指数与东南季风面积指数反相关的关系显著增大。(2) 强度指数之间的关系, I_N 与 I_{SW} 和 I_N 与 I_{SE} 的相关仍然很小, 而 I_{SW} 与 I_{SE} 相关明显增大, 相关系数由 0.46 增至 0.66。说明在夏半年西南季风强度指数与东南季风强度指数正相关的关系显著增大。(3) 面积指数与强度指数的关系, A_N 与 I_N 和 A_{SE} 与 I_{SE} 的相关变化不大, 但 A_{SW} 与 I_{SW} 相关系数由 0.27 减至 -0.01, 说明在夏半年西南季风的面积指数与强度指数是相互独立的。(4) 偏北季风与西南和东南季风之间, A_N 与 I_{SE} 和 I_N 与 A_{SE} 的相关分别为 -0.33 和 -0.29, 略有增大。但 A_N 与 I_{SW} 和 I_N 与 A_{SW} 的相关分别由 -0.40 减至 -0.15 和由 -0.32 减至 -0.17。说明在夏半年偏北季风的面积和强度指数与西南季风的强度和面积指数的反相关关系明显减小。

表 2 5~9 月东亚各季风特征指数相互间的相关系数

	A_N	A_{SE}	A_{SW}	I_N	I_{SE}	I_{SW}
A_N	1.00	-0.42	-0.56	0.45	-0.33	-0.17
A_{SE}	-0.42	1.00	-0.52	-0.29	0.41	0.18
A_{SW}	-0.56	-0.52	1.00	-0.15	0.07	-0.01
I_N	0.45	-0.29	-0.15	1.00	-0.10	0.03
I_{SE}	-0.33	0.41	-0.07	-0.10	1.00	0.60
I_{SW}	-0.17	0.18	-0.01	0.03	0.60	1.00

以上相关分析表明: 5~9 月东亚地区夏季风代替了冬季风, 但夏季风的进退活动与北方冷空气活动面积指数之间仍有非常密切的联系, 但强度指数则具有一定独立性。就夏季风本身而言, 西南季风的变化与东南季风的变化之间面积指数存在反相的趋势, 强度指数存在同相的趋势。因此, 不分东南季风和西南季风而笼统作为夏季风来研究是不完全合适的。

4 东亚季风指数的变化

4.1 季节变化

4.1.1 面积指数

图 2a 给出了西南季风 (点线)、东南季风 (虚线) 和偏北季风 (实线) 面积指数多年平均 (1968~1997 年) 的季节变化曲线。可以看出, 它们的季节变化是很大的。西南季风的面积冬半年很小, 4 月开始范围明显增大, 6~7 月份达到最大, 其面积约占整个确定区域的 73%。以后开始迅速减小, 12 月达最小, 面积只占 17%。西南季风面积指数的这一季节变化过程与东亚热带季风季节性北移的进程十分一致^[11]。东南季风气流主要来自西太平洋副高南侧的副热带海洋地区, 其范围同西南季风比较要小得多。从初夏开始, 随着西太平洋副高的一次次西伸北跳, 其范围不断扩大。到 8 月份达最大, 占整个确定区域的 44% 左右。其南撤时间与副高一致, 要比西南夏季风撤退缓慢。偏

北季风面积季节变化的特征是, 在9、10月份突然迅速增大。冬季面积指数达最大, 约占整个确定区域的70%; 4月开始明显缩小, 夏季最小, 尤其是7月份, 面积只占确定区域的4%。其变化的幅度与西南季风相当, 只是位相刚好相反。说明西南夏季风的建立和撤退与偏北冬季风的撤退和建立有非常密切的关系, 而且主要受北方冷空气活动的控制。

综上所述, 可以认为, 我们定义的西南季风、东南季风和偏北季风面积指数较好地反映了东亚各支季风气流季节变化的气候特征。

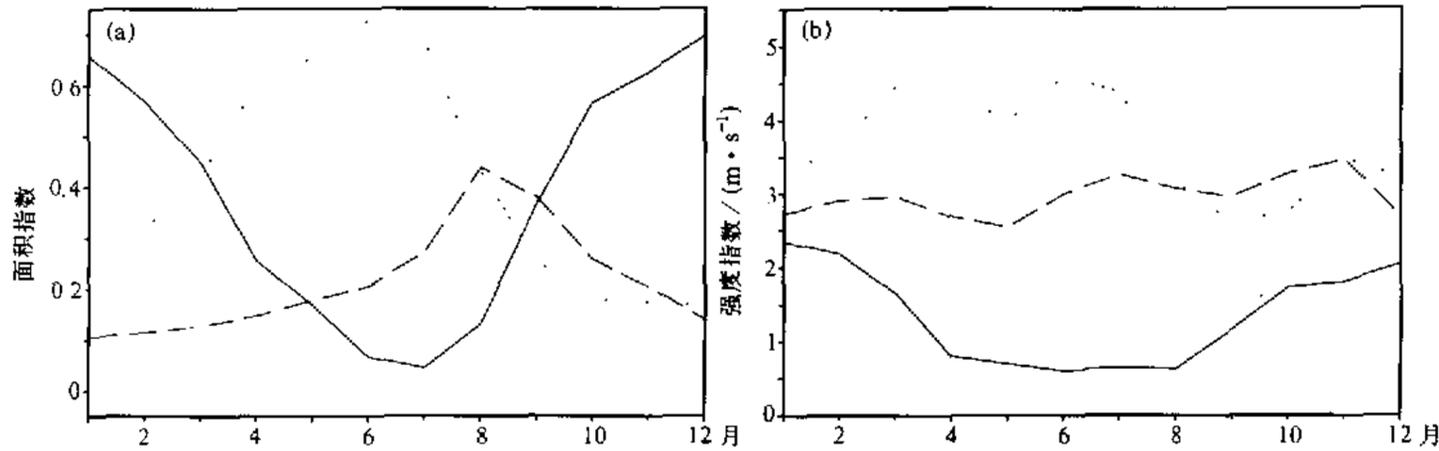


图2 西南季风(点线)、东南季风(虚线)和偏北季风(实线)面积指数(a)及强度指数(b)多年平均(1968~1997)的季节变化曲线

4.1.2 强度指数

图2b为各季风强度特征指数多年平均的季节变化曲线。可以看出, 偏北季风强度指数冬强夏弱, 西南季风强度指数春夏强、秋冬弱, 季节变化比较明显, 而东南季风强度指数夏秋季相对较强。

4.2 年际变化

上面讨论的是多年平均的情况, 实际上各季风指数年与年之间有很大差异。下面我们就夏季和冬季来分析各季风指数的强弱变化。

4.2.1 夏季风

图3是1968~1997年夏季(6~8月)6个季风特征指数标准化距平的逐年变化曲线, 其中点线、虚线和实线分别表示西南季风、东南季风和偏北季风的情况。它们分别反映夏季东亚热带、副热带和温带季风系统的变化。从图3a可以清楚地看出: 各季风面积指数存在明显的年际变异, 且西南季风面积指数的年际变化与东南季风和偏北季风存在明显相反变化的趋势。其相关系数分别为-0.86和-0.62, 统计信度均超过0.001的水平。说明东亚当西南季风大范围盛行时, 东南季风和偏北季风的范围一般较小。而当西南季风范围小时, 情况相反。如果取距平 ≥ 1.0 标准差为范围异常大年, ≤ -1.0 标准差为范围异常小年, 则西南季风属于大年的有: 1968、1969、1971、1973、1976、1987和1988年7年; 属于小年的有: 1985、1989、1991、1992和1994年5年。东南季风属于大年的有: 1972、1978、1985、1989和1994年5年; 属于小年的有: 1969、1971、1988和1993年4年。偏北季风属于大年的有: 1977、1986、1990、1991和

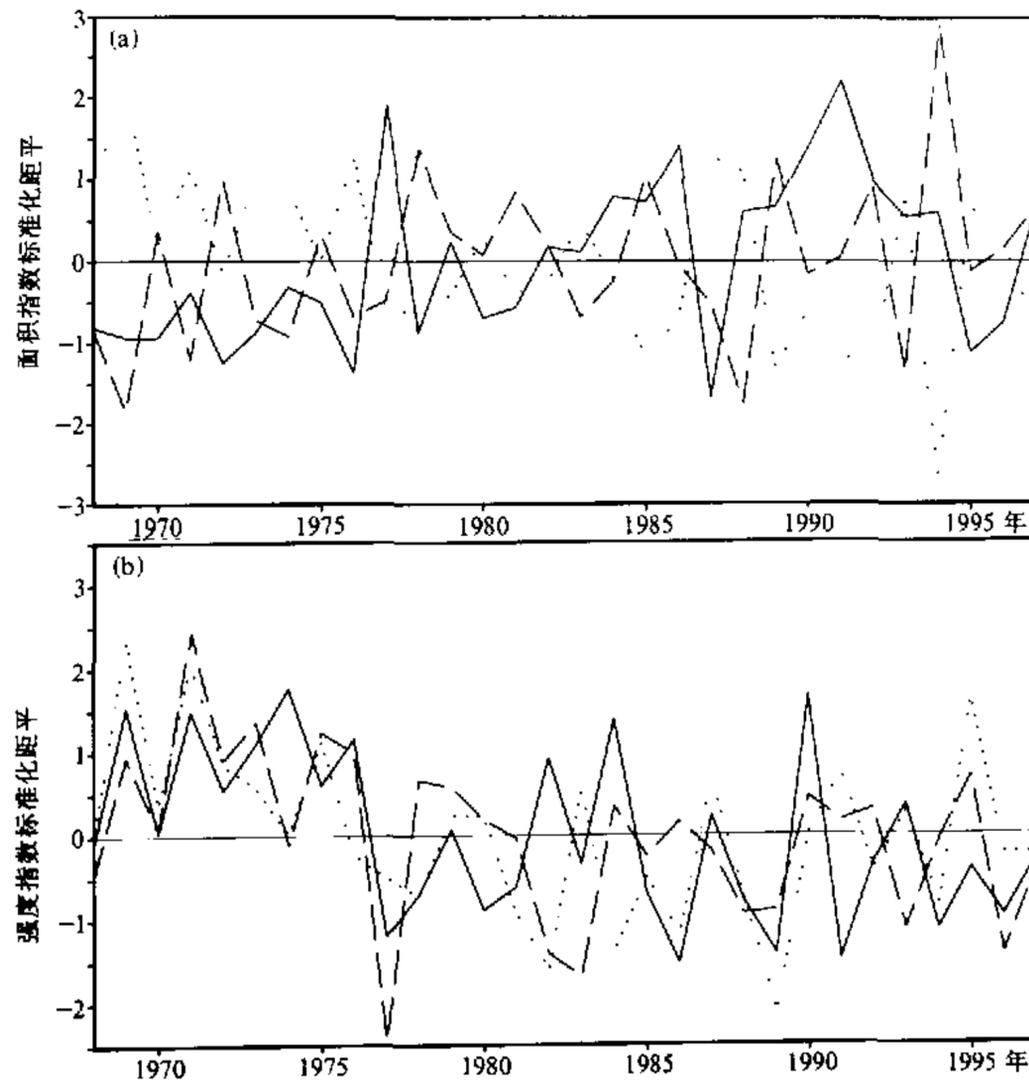


图3 1968~1997年夏大(6~8月)西南季风(点线)、东南季风(虚线)和偏北季风(实线)面积指数(a)及强度指数(b)标准化距平的逐年变化曲线

1992年5年;属于小年的有:1972、1976、1987和1995年4年。

在图3b上,各季风强度指数的年际变异也很大,且西南季风强度指数的年际变化与东南季风存在明显同相变化的趋势,其相关系数为0.51,超过0.001信度水平。同样,取距平 ≥ 1.0 标准差为异常强年, ≤ -1.0 标准差为异常弱年。西南季风强度指数属于强年的有:1969、1971、1975和1995年4年;属于弱年的有:1982、1984、1986和1989年4年。东南季风强度指数属于强年的有:1971、1973、1975和1976年4年;属于弱年的有:1977、1982、1983、1993和1996年5年。偏北季风强度指数属于强年的有1969、1971、1973、1974、1976、1984和1990年7年;属于弱年的有:1977、1986、1989、1991、1994和1996年6年。

4.2.2 冬季风

由于冬季东亚主要受偏北冬季风的控制,这里只讨论偏北季风指数的情况。图4a和b分别为1968~1997年冬季(12~2月)偏北季风面积指数和强度指数标准化距平的逐年变化曲线。图中1967年12月~1968年2月冬季为1968年冬季,其余类推。标准定义与夏季风的相同。面积指数属于异常大年的有:1980/1981、1985/1986、1993/1994、1995/1996和1996/1997年5个冬季;属于异常小年的有:1968/1969、1971/1972、1972/1973、1974/1975、1984/1985和1989/1990年6

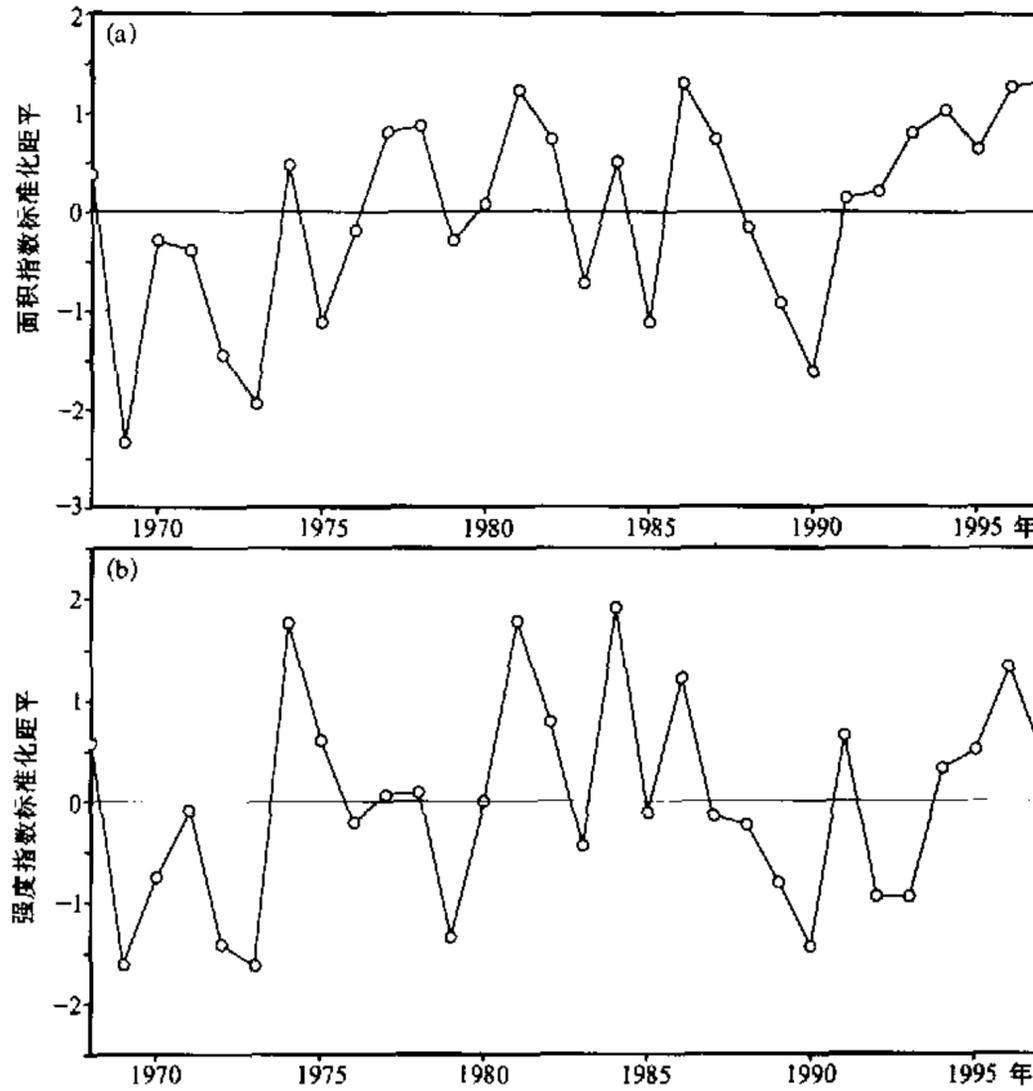


图4 1968~1997年冬季(12~2月)偏北季风面积指数(a)和强度指数(b)标准化距平的逐年变化曲线

个冬季。而强度指数属于异常强年的有: 1973/1974、1980/1981、1983/1984、1985/1986和1995/1996年5个冬季; 属于异常弱年的有: 1968/1969、1971/1972、1972/1973、1978/1979和1989/1990年5个冬季。

把上述结果与已有的冬、夏季风指数^[3,4]进行比较, 可以看出, 冬季风指数的变化两者有很好的一致性, 特别是强、弱年。夏季风指数, 由于我们分为西南和东南两个季风指数及考虑面积和强度两个因素, 不太好比较。一般来说, 夏季风强年, 大多数是东南季风大范围盛行年, 部分是西南季风大范围盛行年; 夏季风弱年, 大多数为东南季风不盛行, 部分为西南季风不盛行。

5 季风指数与中国夏季降水和冬季温度的关系

5.1 夏季风指数与中国夏季降水的关系

5.1.1 西南季风

图5a和b是1968~1997年夏季(6~8月)西南季风面积指数和强度指数标准化距平与同期我国降水距平百分率的相关分布。图中实线为正相关, 虚线为负相关, 由浅到深三种不同阴影区分别为相关系数 $|r| \geq 0.35$ 、0.45和0.55的区域, 相当于0.05、

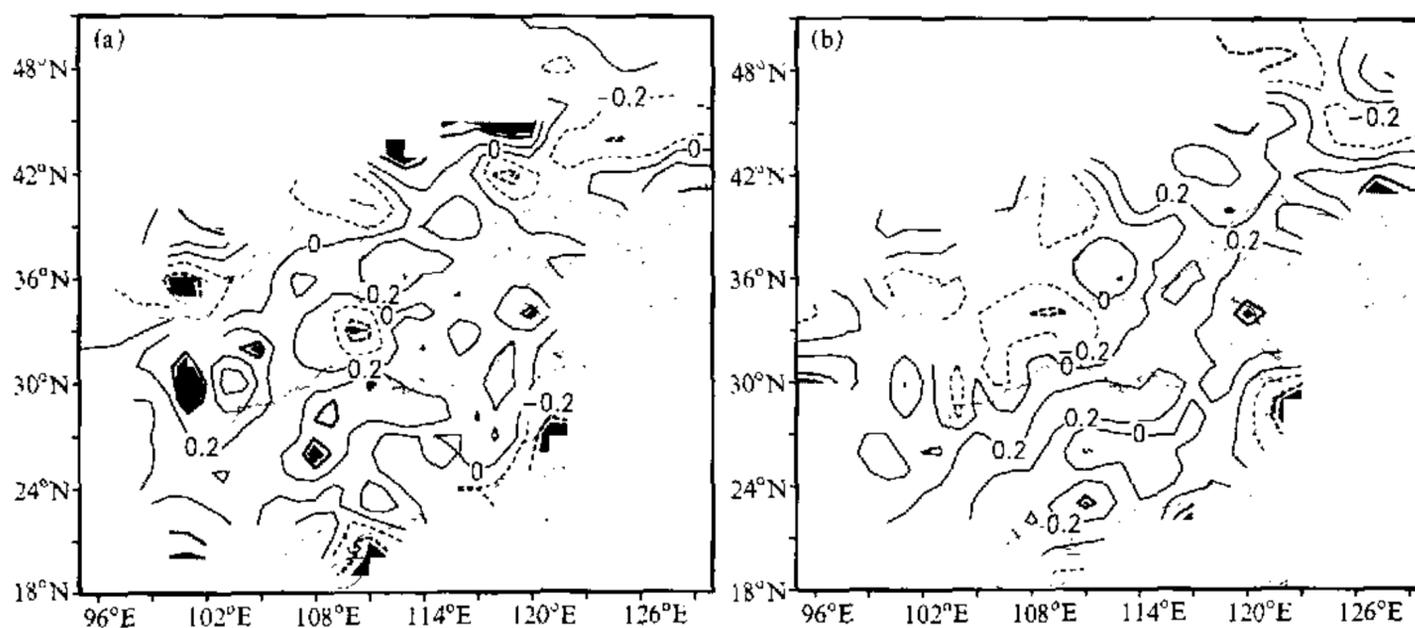


图5 1968~1997年夏季(6~8月)西南季风面积指数(a)和强度指数(b)与同期我国降水的相关分布

0.01和0.001的信度水平(下同)。在图5a上,可以看出主要有两条正相关带:一条从云南经四川、陕西到山西一线,高相关中心位于滇西、川西和晋南;另一条在江淮流域,高相关中心位于贵州、湖南、江西和淮河地区。黄河上、中游至东北南部一线和东南沿海为负相关区。这一相关分布表明:当夏季西南季风大范围盛行时,华北西部、四川西部和长江南侧地区多雨,而黄河河套、东北南部和东南沿海地区少雨。陈烈庭和吴仁广的气候分析表明^[12],6月有一多雨区从滇西沿横断山脉伸向川西地区,另一多雨区从南海经广西、贵州伸向长江流域;7月主要多雨区北进至川西到陕西一线;8月到达黄河河套地区。周玉孚和徐淑英指出^[13],我国西部这些雨季的起迄和雨区的移动与先后来自孟加拉湾季风低压和阿拉伯海季风低压南侧的两支西南季风的进退活动有关。另外,徐予红和陶诗言指出^[14],江淮流域持久性洪涝时期,长江中下游为受热带西南季风气流影响,干旱时期主要受副热带东南季风控制。说明这些地区多雨与热带西南季风的影响有很大关系。另一方面,也说明了我們定义的西南季风指数比较好地解释了热带西南季风与我国夏季降水异常联系的区域性特征。图5b西南季风强度指数与降水的相关分布基本上与图5a相似,但相关减弱。

5.1.2 东南季风

图6a和b为1968~1997年夏季(6~8月)东南季风面积指数和强度指数标准化距平与同期我国降水距平百分率的相关分布。可以看出图6a上也有两条正相关带:一条从黄河上游经河套至东北南部一线;另一条在东南沿海地区。沿长江流域及其南侧为负相关带。这一相关分布同西太平洋副高脊线位置与我国夏季降水量的相关十分一致^[15],说明当夏季东南季风大范围盛行时,西太平洋副高位置偏北,主要雨带位于黄河上游经河套至东北南部一线和东南沿海地区,江淮流域为少雨带。反之,当东南季风的范围小时,西太平洋副高位置偏南,我国主要雨带位于江淮流域,而黄河河套至东北南部和华南相对少雨。这也与徐予红和陶诗言的分析结果一致^[14]。图6b的相关分布总的趋势与图6a基本相似,但黄淮平原地区的正相关很显著。说明当夏季东南季风强度

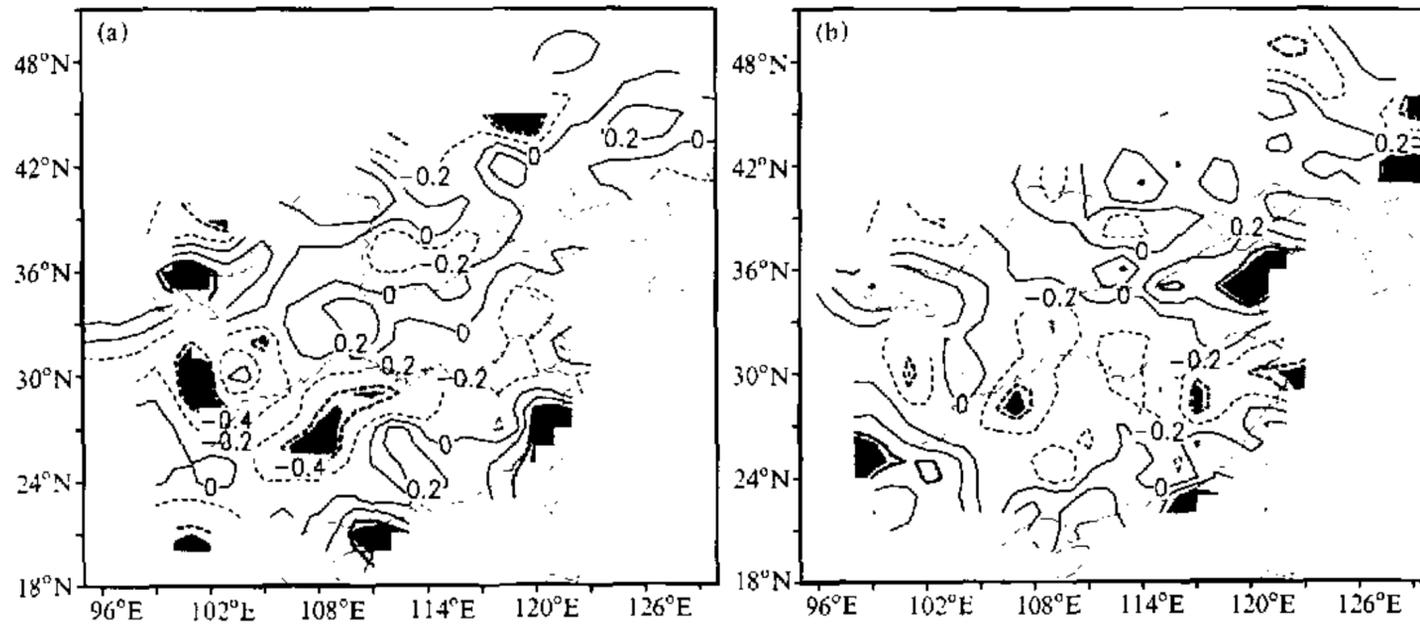


图6 1968~1997年夏季(6~8月)东南季风面积指数(a)和强度指数(b)与同期我国降水的相关分布

强时,我国主要雨带位于黄淮平原地区。

5.1.3 偏北季风

图7a和b为1968~1997年夏季(6~8月)偏北风面积指数和强度指数标准化距平与同期我国降水距平百分率的相关分布。总的来说图7a的相关比图7b的要弱,但图7a上东北地区的正相关很显著。说明当夏季偏北风大范围盛行时,我国东北地区多雨。图7b上显著的正相关区位于黄淮平原地区。说明当夏季偏北风强度强时,我国主要雨带位于黄淮平原地区。

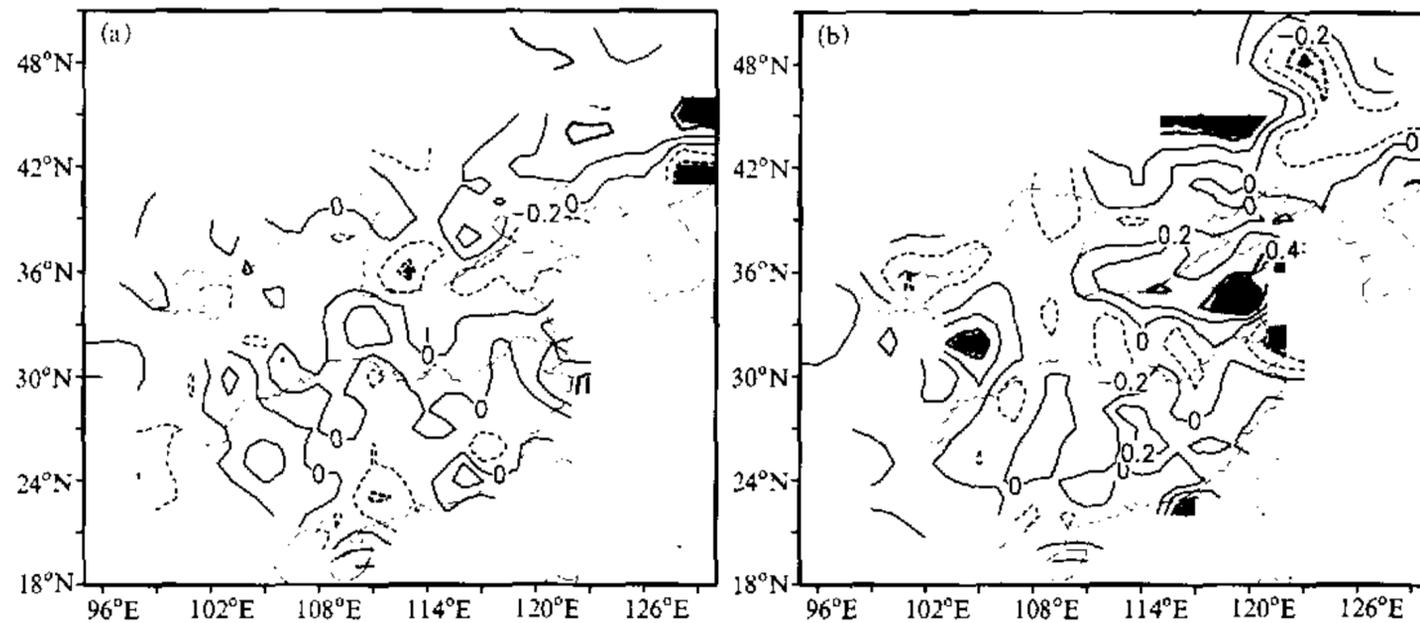


图7 1968~1997年夏季(6~8月)偏北风面积指数(a)和强度指数(b)与同期我国降水的相关分布

5.2 冬季风指数与中国冬季气温的关系

同样,利用1968~1997年我国冬季(12~2月)气温资料,计算了它与同期偏北季风面积指数和强度指数标准化距平的相关。结果如图8所示,图例说明同图5。从图8a可以看到,冬季偏北季风面积指数与我国气温在东北南部、华东沿海和西南地区呈

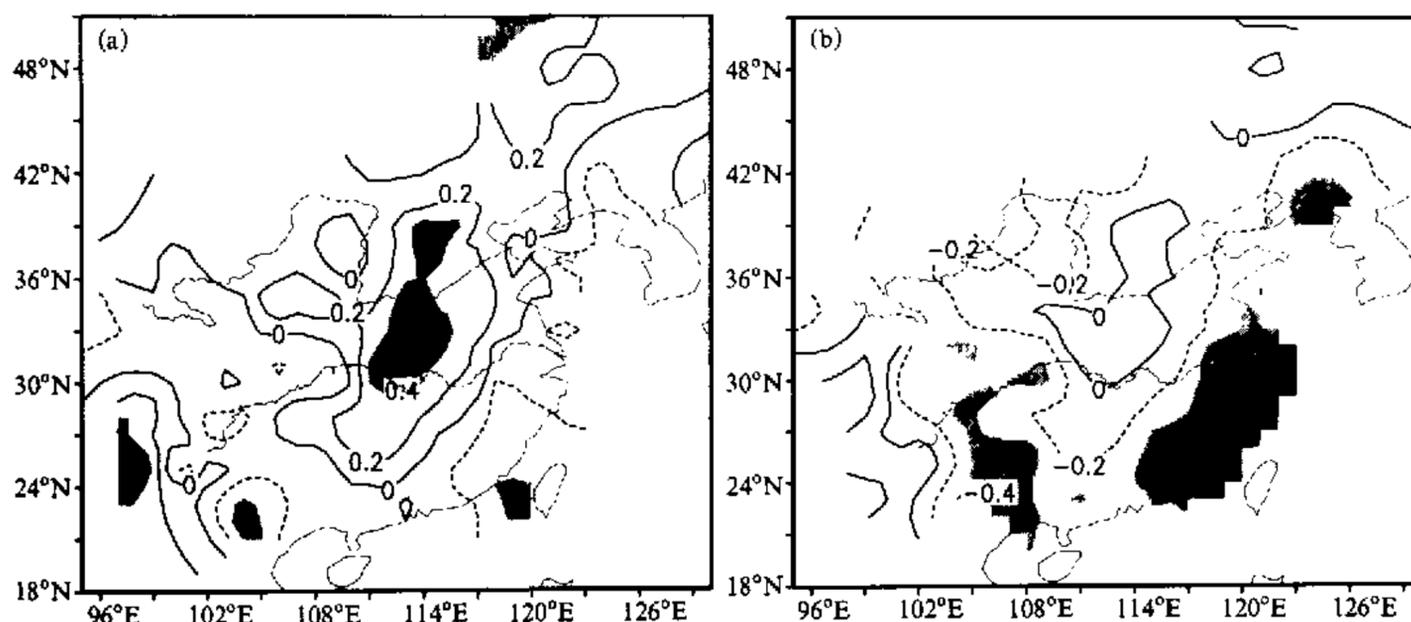


图 8 1968~1997 年冬季 (12~2 月) 偏北季风面积指数 (a) 和强度指数 (b) 与同期我国气温的相关分布

负相关。在内陆大部地区为正相关。正相关比负相关显著, 最大正相关区位于太行山至巫山东缘一线。图 8b 偏北季风强度指数的相关分布与图 8a 非常相似, 但负相关的显著性比图 8b 要强得多。相关最大地区也分布在东北南部、华东沿海和西南地区。这些高相关区正是东亚冷空气向南侵袭的通道。因此, 这一相关分布表明, 当冬季风强时, 相应南下冷空气的强度较强, 使这些地区出现明显的降温。而在我国内陆大部分地区气温则相对偏高。

6 总结

本文从东亚季风结构和活动的特点出发, 定义了一组新的东亚季风特征指数, 分析了各季风指数的相互关系、季节变化和年际变化, 探讨了其与中国夏季降水和冬季气温的关系, 主要结果有如下几个方面:

(1) 东亚季风由西南季风、东南季风和偏北季风 3 支季风气流组成。为了反映它们各自的特征, 我们定义了 6 个东亚季风特征指数: 西南季风面积指数、西南季风强度指数、东南季风面积指数、东南季风强度指数、偏北季风面积指数和偏北季风强度指数。它们相互之间有一定联系, 但也有独立性。

(2) 从多年平均的各季风特征指数的年循环来看, 它们都比较好地反映了东亚各支季风气流季节变化的气候特征。从冬至夏, 随着偏北冬季风的减弱北撤, 西南季风和东南季风加强北进。7 月西南季风达到它的最北位置, 西南季风面积指数达最大, 偏北风面积指数达最小。而东南季风面积指数, 由于西太平洋副高 8、9 月份仍维持在较高纬度 (出现所谓秋高气爽天气), 到 8、9 月才达最大值。从夏至冬, 西南季风和东南季风面积指数的减小, 以及偏北季风面积指数的增大, 比从冬至夏它们变化的速度要迅速得多。这与东亚冷空气活动的气候特征也是一致的。

(3) 各季风指数存在明显的年际变化, 这也反映了东亚季风年际变异大的特点。然而, 值得指出的是, 夏季西南季风面积指数与东南季风面积指数变化的趋势是反相的,

即当西南季风大范围盛行时, 东南季风的范围一般较小, 而当西南季风不盛行时, 情况相反。因此, 研究东亚夏季风时, 区别西南季风与东南季风是很有必要的, 用单一指数不足以表征它们不同的变化。

(4) 相关分析表明, 各季风特征指数与我国夏季降水和冬季气温有很好的关系。而且, 各支季风气流都有其各自不同的影响地区, 各季风指数均对应一定的降水与气温分布。在夏季, 西南季风大范围盛行时, 我国主要雨带偏西, 位于从云南经川西、陕西至华北西部一线和长江流域。东南季风大范围盛行时, 我国主要雨带偏北, 位于黄河上游经河套至东北南部一线和东南沿海地区。东南季风的强度强时, 我国主要雨带位于黄淮平原地区。偏北风大范围盛行和强度强时, 我国主要雨带偏东, 分别位于东北和黄淮平原地区。这里特别值得注意的是, 西南季风与东南季风对我国夏季降水影响的地区有很大差异。在冬季, 偏北风大范围盛行且强度强时, 降温主要出现在东北南部、华东沿海以及西南地区。而内陆地区气温相对偏高。

致谢: 陶诗言院士和王绍武、倪允琪、郭其蕴、孙淑清、张人禾诸位教授对本文提出许多宝贵意见, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 赵汉光、张先恭, 东亚季风和我国夏季雨带的关系, 气象, 1994, 22(4), 8~12.
- 3 施能, 近40年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系, 应用气象学报, 1996, 7(2), 175~182.
- 4 施能、朱乾根、吴彬贵, 近40年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常, 大气科学, 1996, 20(5), 575~583.
- 5 Tao Shiyun and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 1988, 60~92.
- 6 梁建茵、吴尚森, 南海夏季风的建立及强度变化, 热带气象学报, 1999, 15(2), 97~105.
- 7 Fujikawa, N., K. Ishihara and K. Tada, Synthetic study of the monsoon circulation, JEXAM Annual Report, 1997, 139~146.
- 8 Webster, P. J. and S. Yang, Monsoon and ENSO, selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, 118, 877~926.
- 9 王斌、樊真, 论南亚夏季风指数的选择, 东亚季风和中国暴雨——庆贺陶诗言院士80华诞, 中国科学院大气物理研究所编, 北京: 气象出版社, 1998, 170~183.
- 10 Wu Aiming and Ni Yunqi, The influence of Tibetan Plateau on the interannual variability of Asian monsoon, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, 14(4), 491~504.
- 11 陈隆勋、朱乾根、罗会邦, 东亚季风, 北京: 气象出版社, 1991, 66~75.
- 12 陈烈庭、吴仁广, 中国东部的降水区划及各区旱涝变化的特征, 大气科学, 1994, 18(5), 586~595.
- 13 周玉孚、徐淑英, 1979年夏季风活动与西南地区降水, 1981年全国热带夏季风学术会议论文集, 昆明: 云南人民出版社, 1983, 64~73.
- 14 徐予红、陶诗言, 东亚夏季风的年际变化与江淮流域梅雨期旱涝, 灾害性气候过程及诊断, 黄荣辉主编, 北京: 气象出版社, 1996, 31~39.
- 15 廖圣孙、赵振国, 7~8月西太平洋副热带高压的南北位置异常变化及其对我国天气的影响, 长期天气预报和日地关系研究, 章基嘉、黄荣辉主编, 北京: 海洋出版社, 1992, 131~139.

The Definition of East Asian Monsoon Indices and Their Relationship to Climate in China

Qiao Yunting, Chen Lieting and Zhang Qingyun

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract A set of new East Asian monsoon indices (EAMI), on the basis of objectively selecting the area defined, have been defined by using the 850 hPa u and v component data reanalyzed by NCAR / NCEP for the period of 1968–1997. Their relationship to each other, seasonal and interannual variability is studied. This set of monsoon indices include the southwest monsoon indices A_{SW} and I_{SW} , southeast monsoon indices A_{SE} and I_{SE} , and north monsoon indices A_N and I_N , in which A and I indicate the area and intensity. The EAMI successfully depict the variability of the southwest monsoon, the southeast monsoon and the north monsoon over China. They have both the relationship and some independence to each other and show considerably seasonal and interannual variability. Further, we analyze the relationship between the EAMI and summer rainfall and winter air temperature in China to evaluate the EAMI's ability in explaining the distribution of climatic anomalies there. The results show that the EAMI corresponds with summer rainfall and winter air temperature over China in distinctive patterns. Especially, there is an obvious difference in the effect on summer rainfall anomaly in China between the southwest and southeast monsoons. Therefore, we may point out that it is necessary to distinguish the southwest monsoon from the southeast monsoon when studying the East Asian summer monsoon. A single index is not enough to characterize their different variability.

Key words: East Asian monsoon; China; climate