

前期中高纬大气环流异常与我国汛期 雨带类型关系的研究

严华生¹ 杨素雨¹ 胡 娟¹ 陈建刚²

¹ 云南大学大气科学系, 昆明 650091

² 云南省气象局, 昆明 650034

摘 要 使用国家气候中心提供的 1951~2002 年北半球 500 hPa 高度上的月平均格点资料, 对前期(1~5 月)中高纬大气环流的异常与中国汛期雨带类型分布的关系进行了研究。结果表明, 冬季(1~2 月)500 hPa 环流的时空演变与中国汛期雨带类型分布有明显的相关, 春季(3~5 月)是转换季节, 与雨带类型分布的关系不如冬季密切。尽管不同的雨带类型对应不同的高度距平合成场, 但各雨型的高度距平之间只存在三个显著性差异区, 且各雨带类型的西风指数显著性差异区与同期高度距平合成场的显著性差异区的经度范围一致。1、2 月第一与第二显著性关键区分别位于 150°E~170°E 和 100°W~80°W, 第三个显著性关键区出现在 80°W~45°W 的大西洋上。关键区内西风指数相对平均西风指数较高(低)时, 高度场上对应负(正)距平, 说明西风指数与中国汛期雨带类型的分布也存在密切关系。因此, 前期中高纬西风带大气环流的异常变化与中国汛期降水的关系可为预报我国夏季大范围旱涝的分布提供一些新的线索和信号。

关键词 雨带类型 显著性关键区 中高纬环流 西风指数

文章编号 1006-9895(2006)02-0285-08

中图分类号 P461

文献标识码 A

A Study of the Relationship Between the Winter Middle - High Latitude Atmospheric Circulation Change and the Principal Rain Patterns in Rainy Season over China

YAN Hua-Sheng¹, YANG Su-Yu¹, HU Juan¹, and CHEN Jian-Gang²

¹ Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091

² Meteorological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650034

Abstract Based on the data of monthly mean 500 hPa height field and the observation of 160 stations in summer of China from the National Climate Center from 1951 - 2002, the relationship between summer rain patterns over East China and the northern atmospheric circulation from January to May is studied by using the composite analysis and multi-variable factors variance. It is found that there is a significant correlation between the spatial and temporal evolution of atmospheric circulation at 500 hPa during the period from January to February and the distribution of rain patterns in rainy season over China, but the correlation is not close in spring because it is the transition season generally. Even though the distribution of rain patterns in rainy season responds to different previous atmospheric circulation fields, there are still only three key areas which pass the significant test in the previous periods, especially in January and February. Further research indicates that the longitude range of westerly index in the key areas is consistent with that of height anomaly field. The 1st and 2nd key areas are respectively located in 150°E - 170°E and

收稿日期 2004-10-20, 2005-07-04 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40565001, 云南省重点基金项目 2003D0014Z

作者简介 严华生, 男, 1955 年出生, 教授, 主要从事气候变化、农业气象、统计气象研究。E-mail: ynkmyhs@163.com

100°W - 80°W in January and February, which lie respectively in the front of East Asian trough and the backside of North American trough. The 3rd key area lies in 80°W - 45°W of the Atlantic Ocean in February. In the significant key areas, the higher (lower) westerly index is usually corresponding to negative (positive) anomaly of height field from January to February. That is to say, if there is higher westerly index around the area of the Atlantic Ocean (80°W - 45°W) and the anomaly of height field in the 3rd key area is consistent with the mean of 500 hPa geopotential height, especially in February, the 1st rain pattern will appear in the coming summer. If the westerly index is lower and the anomaly of height field is positive in the 1st key area, and the distributions of westerly index and the anomaly of height field are opposite synchronously in the 2nd key area, the 2nd rain pattern will appear in the coming summer, and, contrariwise, the 3rd rain pattern will appear. These show that there is a close relationship between the westerly index and the rain patterns in rainy season over China too. Therefore, it is valuable to analyze the influence of middle - high latitude atmosphere circulation in winter for finding some new prediction clues of the summer precipitation over China.

Key words rain pattern, significant key area, middle-high latitude circulation, westerly index

1 引言

近年来,我国夏季降水的气候变化分析预测研究已有了不少成果^[1~23],在有关中国降水的天气气候学研究中,对低纬地区环流与中国夏季降水的影响关系研究比较多,但对中高纬西风带大气环流异常波动与中国雨带类型分布的关系研究较少,许多问题还未搞清楚。对此,许多气象工作者进行了探讨,例如,叶笃正等^[5]较系统地分析了长江、黄河流域旱涝发生的大尺度环流异常特征,并强调了冬夏季风系统位置和强度异常的影响;王会军^[14]则强调了欧亚中高纬大气环流春季异常对东亚夏季大气环流和降水异常所起的重要作用;陈烈庭等^[10]指出,中高纬和低纬环流不同季节变异及其相互作用可能是导致中国东部各种雨带分布类型的一个重要因素;陈兴芳等^[7, 15]的结果表明,北太平洋冬季(12~2月)500 hPa 环流变化与初夏大气环流和我国降水分布型有一定的相关性;琚建华等的分析^[13]同样显示冬季大气环流形势与中国夏季东部的降水具有较大的相关,冬季 500 hPa 环流形势上槽脊的加深或减弱将密切影响雨带的分布。然而,根据前期大气环流异常作后期汛期雨带类型预测的天气气候依据还不十分清楚。本文就是针对这一问题,重点分析中国汛期雨带类型与前期北半球中高纬西风带 500 hPa 环流的关系,特别是研究各雨型之间中高纬高空环流的显著性差异区的环流特征,确定与中国汛期雨带类型分布关系密切的显著性关键区,为根据前期中高纬高空环流异常作后期天气气候预测增加一些新的天气气候学预测

依据。

2 资料与方法

2.1 资料

选用国家气候中心提供的两种资料:(1)1951~2002 共 52 年 1~5 月,北半球 500 hPa 高度(H) 30°N 以北的月平均格点资料,网格距为 5°×10°;(2)根据廖荃荪等^[2]的分型方法划分的各年夏季雨型资料(见表 1),其中 I 类雨型有 18 年,II 类雨型有 15 年,III 类雨型有 19 年。

三类雨型的分布特征:

I 类(北方型):主要多雨带位于黄河流域及其以北地区,江淮流域大范围少雨,梅雨较弱并常有较明显的伏旱。

II 类(中间型):主要多雨带位于黄河至长江之间,雨带中心在淮河流域一带,黄河以北及长江以南大部地区少雨。

表 1 1951~2002 夏季三类雨型相应年份
Table 1 The years for three principal rain patterns in summer from 1951 to 2001

雨型 Rain pattern	年份 Year
I	1953, 1958, 1959, 1960, 1961, 1964, 1966, 1967, 1973, 1976, 1977, 1978, 1981, 1985, 1988, 1992, 1994, 1995
II	1956, 1957, 1962, 1963, 1965, 1971, 1972, 1975, 1979, 1982, 1984, 1989, 1990, 1991, 2000
III	1951, 1952, 1954, 1955, 1968, 1969, 1970, 1974, 1980, 1983, 1986, 1987, 1993, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002

III类(南方型): 主要多雨带位于长江流域或江南一带, 淮河以北大部及东南沿海地区少雨。

2.2 分析方法

根据所用资料, 首先对各雨带类型 1~5 月份 500 hPa 的高度距平场作合成分析, 以确定不同雨型的高度距平分布。但这些距平分布是否存在显著的差异, 究竟哪些区域的环流异常才对中国汛期雨带类型的分布有显著影响, 仅靠分析高度场距平合成场是不够的。为此, 第二步, 我们应用多变量方差分析方法^[24~26]对高度距平场做显著性检验, 从三类雨型高度距平分布中, 确定出可能影响中国夏季雨带类型分布的显著性关键区。

通常, 气象中常用两组样本平均值差异的显著性检验方法对距平分布进行检验, 但我们讨论的是三类雨带类型, 即有三组样本, 多变量方差分析方法可以解决三组样本平均值差异的显著性检验问题。

根据多变量方差分析理论, 设总变差为 S , 组间差和组内差分别为 S_1 和 S_2 , 则有 $S = S_1 + S_2$, 用 F 检验它们之间的差异是否显著,

$$F = \frac{\frac{S_1}{f_1}}{\frac{S_2}{f_2}} \sim F(f_1, f_2),$$

其中, f_1 和 f_2 分别为分子和分母的自由度, 把在 90% 以上显著性水平的区域称为显著性关键区。基本计算步骤如下:

设某月 500 hPa 高度场总资料阵为 $\mathbf{Y}_{p \times n}$ ($p = 572$, 表示格点数; $n = 52$, 表示年份, 即样本数)。从原始资料阵 $\mathbf{Y}_{p \times n}$ 中分别挑出三类雨型的年份, 记为三组样本 $b = 3$, 各雨型资料分别用矩阵 $\mathbf{Y}_{p \times n_1}^{(1)}$, $\mathbf{Y}_{p \times n_2}^{(2)}$, $\mathbf{Y}_{p \times n_3}^{(3)}$ 表示 (其中 $n_1 = 18$, $n_2 = 15$, $n_3 = 19$ 分别表示各类雨型的样本数), 那么总资料阵 $\mathbf{Y}_{p \times n} = (\mathbf{Y}_{p \times n_1}^{(1)}, \mathbf{Y}_{p \times n_2}^{(2)}, \mathbf{Y}_{p \times n_3}^{(3)})$ 。

对某个格点而言, 令

$$P = \frac{1}{\sum_{i=1}^b n_i} \left(\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^{n_i} y_{ji} \right)^2,$$

$$Q = \sum_{i=1}^b \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ji} \right)^2,$$

$$R = \sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^{n_i} y_{ji}^2,$$

其中, y_{ji} 为某个格点第 i 类雨型的第 j 年资料。由此, 有

组间差: $S_1 = Q - P$, 自由度 $(b-1)$;

组内差: $S_2 = R - Q$, 自由度是每个雨型自由度的和, 即: $a = (n_1 - 1) + (n_2 - 1) + (n_3 - 1)$;

总变差: $S = S_1 + S_2 = R - P$;

平均组间差: $\bar{S}_1 = S_1 / (b-1)$;

平均组内差: $\bar{S}_2 = S_2 / a$ 。

上述推导过程详见文献[24~26]。

应用显著性检验公式:

$$F = \bar{S}_1 / \bar{S}_2,$$

可得三类雨型间在各个格点的显著性差异, 并结合各雨型的高度距平场确定具体显著性差异区。

根据西风指数公式:

$$I = H_{35} - H_{55},$$

用同样的资料和多变量方差分析方法, 探讨了 1951~2002 年 1~5 月各雨带类型各经度上西风指数的显著性差异, 并结合高度距平合成场作进一步分析。

3 结果分析

3.1 1~2 月各雨带类型大气环流的特征

分析 1 月份和 2 月份高度距平合成场及三类雨型之间的显著性检验图发现: 1 月份大气环流特征与 2 月份很相似, 由于 2 月份各雨型之间的显著性差异特征更明显, 以下仅给出 2 月份三类雨型之间的显著性差异分析结果。

由图 1a 可以看出, 2 月份不同雨带类型的中高纬西风带环流形势明显存在显著性差异, 显著性关键区分别位于 $150^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{W}$ 及 $120^\circ\text{W} \sim 80^\circ\text{W}$ 的中高纬西风带, 称为第一和第二关键区, 分别对应朝鲜半岛、鄂霍次克海附近至阿留申群岛和加拿大及其以北高纬地区, 也就是 500 hPa 高空东亚大槽槽前和北美大槽槽后附近。第三个关键区位于大西洋 $70^\circ\text{W} \sim 30^\circ\text{W}$ 地区。结合 1 月份各雨型的高度距平合成场, 对不同雨带类型在关键区内的环流形势分析如下:

I 类雨型(图 1b), 中高纬环流形势与多年平均的差异相对较小, 鄂霍次克海附近为弱负距平, 阿拉斯加湾以南的东太平洋为弱正距平, 大西洋 $70^\circ\text{W} \sim 30^\circ\text{W}$ 附近为负距平。II 类雨型(图 1c), 从朝鲜半岛、鄂霍次克海至阿留申群岛为主要正距平

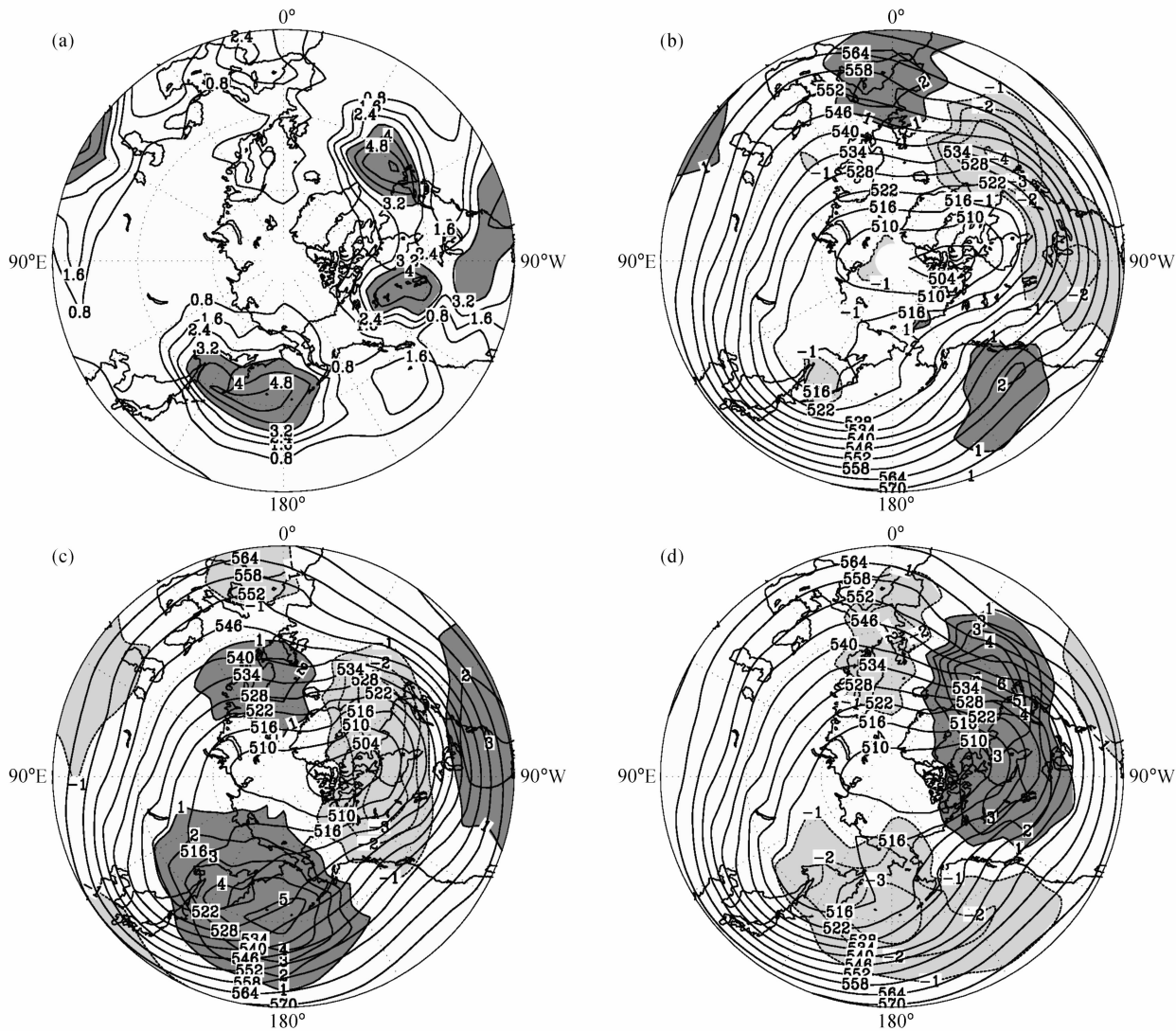


图 1 2 月各雨型 500 hPa 高度距平合成场之间的显著性检验 (a) 及 I (b)、II (c)、III(d)类雨型 500 hPa 平均高度和平均高度距平(单位: dagpm)。 (a) 阴影为超过 95%置信水平的值; (b~d) 深灰色阴影为距平大于 1 dagpm 区域, 浅灰色表示小于 -1 dagpm 的区域
Fig. 1 The significant test of height anomalies at 500 hPa (a) and geopotential height and its anomalies at 500 hPa of rain patterns I (b), II (c) and III (d) in Feb (units: dagpm). In (a), the shadow areas indicate significant confidence level is more than 95%; in (b - d), the dark (light) shaded areas indicate anomalies are more (less) than 1 (-1) dagpm

区,对应东亚大槽槽前。加拿大及其以北高纬大部分地区为主要负距平区,对应北美大槽槽后; III 类雨型(图 1d)与 II 类雨型的距平形势大致上是相反分布的,即北美大槽槽后为正距平,大西洋 70°W~30°W 附近为正距平区;在第三个关键区内, III 类雨型的距平形势与 I 类雨型的恰好相反。

3.2 3~5 月各雨带类型大气环流的特征

用同样的方法分析 3~5 月 500 hPa 高度场上各雨带类型高度距平场的显著性检验(图 2),并与 1、2 月份结果进行比较,发现各雨型在中高纬西风

带附近也存在显著性差异,但通过显著性差异检验的格点比 1~2 月少得多。由此可见,尽管 1~5 月各雨带类型具有不同的高度距平分布,但这些距平场之间只有一部分显著性差异明显,而且这种显著性关键区在冬季 1~2 月份分布更是明显。

3.3 西风指数与雨带类型分布的关系

西风指数是中高纬沿两个纬圈的平均高度差,正比于两个纬圈内的平均西风风速。如果某一时期的指数与多年平均值存在显著差异时,则反映大气环流和气候状态明显异常。下面,我们从西风指数

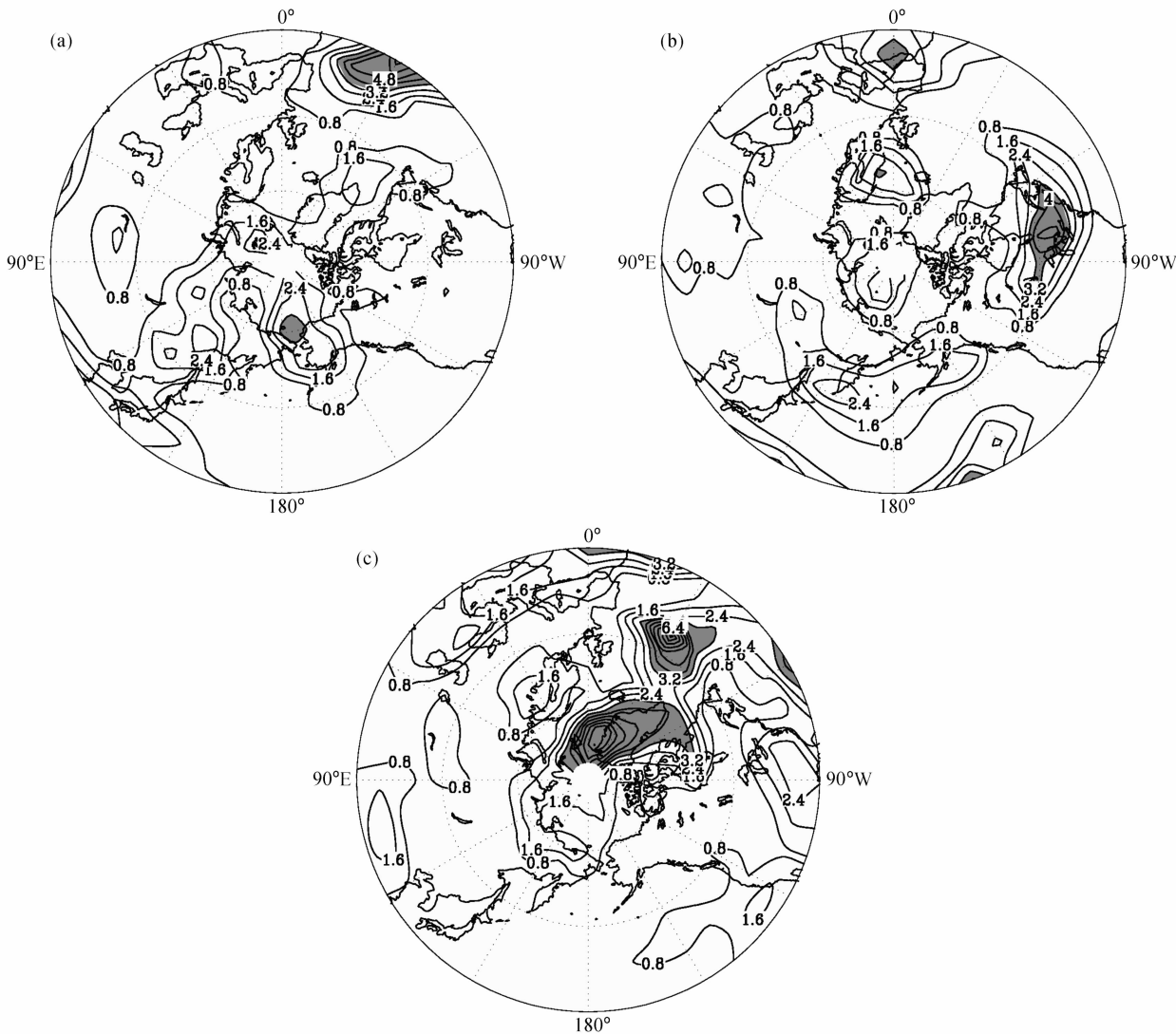


图 2 I、II、III 类雨型高度距平合成场的显著性检验(阴影为通过 95% 以上显著性水平的区域)；(a)3 月份；(b)4 月份；(c)5 月份
Fig. 2 The significant test of the composite height anomaly field for rain patterns I, II, III in (a) Mar, (b) Apr and (c) May (shadow: significance area with a confidence level more than 95%)

变化的角度分析三类雨型的显著性差异，以进一步深入讨论冬季中高纬大气环流异常与我国汛期雨带类型关系。

分析 1 月份和 2 月份三类雨型西风指数之间的显著性检验图，可以看出显著性关键区的经度位置与分析高度距平场的结果一致，以下仍以 2 月份为例进行分析。

由图 3 可以看出：2 月份各雨型西风指数主要有两个显著性差异区，分别位于 150°E~170°E 和 100°W~45°W。其中，第二个关键区位于高度距平场的第二和第三个显著性关键区之间。结合同期高度距平合成场(图 1)可见，II 类雨型时，在关键区

150°E~170°E，西风指数相对于多年平均较低，而同期距平合成场(图 1c)为正距平；在 100°W~45°W，西风指数相对平均西风指数较高，同期距平合成场(图 1c)为负距平。III 类雨型的西风指数高低在关键区内与 II 类雨型的相反。三个关键区内 II 类和 III 类雨型的西风指数相对于平均西风指数基本上是相反配置的，而第 I 类雨型和平均状况接近。

用同样方法，探讨 3~5 月西风指数与雨带类型分布的关系，发现 3~5 月提供的信息也没有前期 1~2 月的显著，说明冬季 1~2 月的西风指数与雨带类型分布的关系更密切。

由以上分析可见，西风指数显著性关键区与高

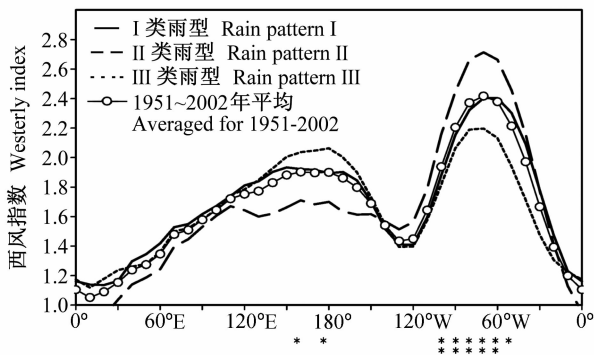


图3 2月各雨带类型西风指数的纬向变化(垂直方向上星号个数代表显著性水平, 1个星号表示通过90%的显著性水平, 2个表示通过95%的显著性水平)

Fig. 3 The zonal variation of westerly index (I) for three rain patterns in Feb (the longitudes marked by 1 and 2 stars show those passing the significant test of 90% and 95% respectively)

度距平成场上的三个显著性关键区的经度位置一致, 且1~2月关键区内西风指数相对平均西风指数较高(低)时, 高度距平成场上对应负(正)距平。可见, 冬季(1~2月)三类雨型西风指数之间的显著性关键区的环流异常与中国汛期雨带类型分布的关系十分密切, 于是, 我们把高度场上通过检验的三个区域称为三类雨型在中高纬西风带的显著性关键区。

4 讨论及应用

由前面的分析可见, 我国汛期雨带类型分布与冬季中高纬西风带大气环流异常密切相关, 各雨带类型对应不同的前期大气环流特征。尽管我国夏季雨型的形成比较复杂^[16~19], 但不同的雨型分布与大气环流和西风指数变化之间有很好的对应关系。究其原因, 我们认为汛期南下冷空气是影响降雨的一个重要因素, 冷空气活动的频率、强度、路径受中高纬西风带大气环流变化的控制, 而夏季中高纬西风带大气环流的异常变化又与冬季中高纬西风带大气环流的异常变化有关。我们把这一分析结果应用到2004年全国汛期旱涝分析预测中^[27], 从2004年1、2月份的平均高度距平场(图略)可以看出, 1月份和2月份时, 东亚大槽槽前为正距平区, 其环流形势与前期1~2月500 hPa第II类雨带类型的多年平均高度距平场(图1c)距平分布基本一致, 其中2月份更是明显。结合对2004年1、2月份环高度场的分析, 对预报结果进行空间平滑订正后, 得

到最终集成预报结果(图略)。与2004年夏季实况对比表明, 我们的预报基本上是成功的。因此, 分析前期中高纬度大气环流和西风指数的异常变化对中国夏季汛期降水的影响具有一定的天气气候学意义, 可为预报我国夏季大范围旱涝的分布提供一些新的线索和信号。

5 结论

(1) 冬季(1~2月)500 hPa高空环流的时空演变与中国汛期雨带类型分布相关明显, 春季(3~5月)是转换季节, 其与中国汛期雨带类型分布的关系不如冬季密切。

(2) 尽管不同的雨带类型对应不同的高度距平成场, 但是1~2月各雨带类型之间的环流形势只存在三个显著性差异区, 且三个关键区都位于中高纬西风带附近。第一和第二个关键区分别位于150°E~170°E和100°W~80°W, 分别对应于东亚大槽槽前和北美大槽槽后, 第三个关键区出现在80°W~45°W的大西洋上。

(3) 在关键区内, 1~2月份I类雨型的中高纬环流形势与多年平均的差异相对较小, 大西洋80°W~45°W附近为负距平; II类雨型时东亚大槽槽前为正距平, 北美大槽槽后为负距平; III类雨型时东亚大槽槽前为负距平, 北美大槽槽后为正距平, 大西洋80°W~45°W附近为正距平区。

(4) 1~2月各雨带类型的西风指数之间的显著性差异区与同期高度距平场之间的显著性差异区的经度范围大致相同, 且1~2月关键区内西风指数相对平均西风指数较高(低)时, 500 hPa高度场上对应负(正)距平, 说明西风指数与中国汛期雨带类型的分布也存在密切关系。

因此, 用多变量方差分析方法确定三类雨型之间的显著性差异区, 分析前期冬季中高纬度西风带大气环流的异常变化与中国夏季汛期降水的相关结果, 可为预报我国夏季大范围旱涝的分布提供一些新的线索和信号, 但相关原因有待进一步探讨。

参考文献 (References)

- [1] 廖荃荪, 赵振国. 东亚阻塞形势与西太平洋的关系及其对我国降水的影响. 见: “长期天气预报理论、方法和资料库建立”研究项目总课题组. 长期天气预报论文集. 北京: 气象出版社, 1990. 125~135
Liao Quansun, Zhao Zhenguo. The relationship between East

- Asian blocking situations and West Pacific and the effect on precipitation in China. *Collected Works of Long-Range Weather Forecast* (in Chinese). General Task Working Group of the Project "Long-Range Weather Forecast Theory, Method and the Establishment of Database". Beijing: China Meteorological Press, 1990. 125~135
- [2] 廖荃荪, 赵振国. 我国东部夏季降水的季度预报方法. 应用气象学报, 1992, **3**(增刊): 1~10
Liao Quansun, Zhao Zhenguo. The method for seasonal prediction of summer precipitation in East China. *J. Appl. Meteor.* (in Chinese), 1992, **3** (Supplement): 1~10.
- [3] Song Zhengshan, Zhu Baozhen, Yang Hui, et al. Summer subtropical anomaly circulation regimes over Western Pacific and its relation to the rainfall anomalies over China. *Climate Variability*. Ye Duzheng et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 1993. 104~113
- [4] 严华生, 张青, 尤卫红. 大气环流变化对云南 5 月雨量的影响及其预报. 高原气象, 1994, **13**(2): 217~223
Yan Huasheng, Zhang Qing, You Weihong. Effect of circulation variation on precipitation in may in Yunnan Province and its long-range forecast. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1994, **13**(2): 217~223
- [5] 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. 273~285
Ye Duzheng, Huang Ronghui. *Studies on the Regularity and Cause of Droughts and Floods in the Yangtze River Valley and the Yellow River Valley* (in Chinese). Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996. 273~285
- [6] 宋文玲, 陈兴芳. 江淮梅雨强度的平均环流特征和短期气候预报. "八五"长期天气预报理论和方法的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 88~93
Song Wenling, Chen Xingfang. The mean circulation characteristics of Meiyu prediction intensity and short-range forecast in the Changjiang-Huaihe Region. *The Theories and Methods of Long-Range Weather Forecast in "85"* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1996. 88~93
- [7] 陈兴芳, 宋文玲. 初夏降水的大气环流和海温特征分析及其预报. "八五"长期天气预报理论和方法的研究. 北京: 气象出版社, 1996. 10~107
Chen Xingfang, Song Wenling. The characteristic analysis and prediction of atmospheric general circulation and SST about the rainfall during early Summer. *The Theories and Methods of Long-Range Weather Forecast in "85"* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1996. 10~107
- [8] 陶诗言, 李吉顺, 王昂生. 东亚季风与我国洪涝灾害. 中国灾害, 1997, **7**(4): 17~24
Tao Shiyan, Li Jishun, Wang Angsheng. East Asian monsoon and flood hazard of China. *China Calamity* (in Chinese), 1997, **7**(4): 17~24
- [9] 王晓春, 吴国雄. 中国夏季降水异常模与副热带高压的关系. 大气科学, 1997, **21**(2): 161~169
Wang Xiaochun, Wu Guoxiong. The analysis of the relationship between the spatial modes of summer precipitation anomalies over China and the general circulation. *Chinese J. Atmos. Sci.* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1997, **21**(2): 161~169
- [10] 陈烈庭, 吴仁广. 中国东部夏季雨带类型与前期北半球 500 hPa 环流异常的关系. 大气科学, 1998, **22**(6): 849~857
Chen Lieting, Wu Renguang. Relationship between summer rainbelt patterns in the Eastern China and 500 hPa circulation anomalies over the Northern Hemisphere. *Chinese J. Atmos. Sci.* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1998, **22**(6): 849~857
- [11] 严华生, 陈兴芳, 谢应齐, 等. 中国近百年雨量与大气环流因子的关系. 热带气象学报, 1998, **14**(3): 251~257
Yan Huasheng, Chen Xingfang, Xie Yingqi, et al. The relationship between the Chinese precipitation and the atmospheric circulation factors during the recent 100 years. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1998, **14**(3): 251~257
- [12] 张庆云, 陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报, 1998, **56**(2): 199~211
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 1998, **56**(2): 199~211
- [13] 尉建华, 邓松, 陈兴芳, 等. 冬春 500 百帕高度场与中国夏季降雨场的场相关分析. 热带气象学报, 1999, **15**(2): 154~157
Ju Jianhua, Deng Song, Chen Xingfang, et al. Field correlation analysis between the monthly-mean 500 hPa height anomaly from January to May and rainfall of China in summer. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1999, **15**(2): 154~157
- [14] 王会军. 关于我国几个大水年大气环流特征的几点思考. 应用气象学报, 2000, **11**(增刊): 78~86
Wang Huijun. Characteristics of the atmospheric general circulation in three flood years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, **11**(Supplement): 78~86
- [15] 陈兴芳, 赵振国. 夏季降水气候分析. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京: 气象出版社, 2000. 1~20
Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. Climate analysis of the rainfall during summer. *Study and Application of Rainfall Prediction During Rainy Season over China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 1~20
- [16] 赵振国, 王永光, 陈桂英, 等. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 2000. 68~72, 79~85
Zhao Zhenguo, Wang Yongguang, Chen Guiying, et al. *Drought/Flood and Environment Field of Summer in China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 68

~72, 79~85

- [17] 宋正山, 杨辉. 夏季东亚季风区 500 hPa 月环流异常及与我国降水关系的向量 EOF 分析. *大气科学*, 2001, **25**(3): 401~410
Song Zhengshan, Yang Hui. Vector EOF expansion of summer monthly anomalous wind fields at 500 hPa over East Asia relation to rainfall over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25**(3): 401~410
- [18] Zhang Renhe. Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**(5): 1005~1017
- [19] Li Xiaodong, Zhu Yafen, Qian Weihong. Spatiotemporal variations of summer rainfall over Eastern China during 1880~1999. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19**(6): 1055~1068
- [20] 李维京, 赵振国, 李想, 等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究. *干旱气象*, 2003, **21**(4): 1~5
Li Weijing, Zhao Zhengguo, Li Xiang, et al. The drought characteristics analysis in North China and its causes of formation. *Arid Meteor.* (in Chinese), 2003, **21**(4): 1~5
- [21] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究. *大气科学*, 2003, **27**: 770~787
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and the East Asia climate system. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**: 770~787
- [22] 李跃凤, 丁一汇. 中国东部夏季降水的多尺度时空分布特征. 见: 黄荣辉, 李崇银, 王绍武等编. 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 2003. 218~226
Li Yuefeng, Ding Yihui. The features of spatial and temporal distribution of summer precipitation in the Eastern China. In: Huang Ronghui, Li Chongyin, Wang Shaowu, et al., Eds. *Studies of Heavy Climate Disasters of Droughts and Floods in China and the Forming Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 218~226
- [23] 严华生, 严小冬. 前期高度场和海温场变化对我国汛期降水的影响. *大气科学*, 2004, **28**(3): 405~414
Yan Huasheng, Yan Xiaodong. Impact of the preceding Northern Hemisphere 500 hPa geopotential height and Pacific SST variation on the predictability of the flood season precipitation over China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28**(3): 405~414
- [24] 中国科学院数学研究所统计组编. 常用数理统计方法. 北京: 科学出版社, 1974. 56~61
Institute of Mathematics, Chinese Academy of Sciences. *Common Mathematics and Physics Statistical Method* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1974. 56~61
- [25] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 1982. 580pp
Zhang Yaoting, Fang Kaitai. *The Conduction of Statistic Multianalysis* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1983. 580pp
- [26] 严华生, 王学仁. 多因变量及要素场统计预报. 北京: 气象出版社, 1991. 38~44
Yan Huasheng, Wang Xueren. *Multi-Variable Factors and Statistic Forecast of Elements Field* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 38~44
- [27] 严华生, 杨素雨, 严小冬. 2004 年汛期降水趋势预测. *气候预测评论*, 2004, **10**: 96~101
Yan Huasheng, Yang Suyu, Yan Xiaodong. Rainfall trend prediction about rainy season for 2004. *Review on Climate Prediction* (in Chinese), 2004, **10**: 96~101