

梁平德, 刘爱霞, 段丽瑶, 等. 亚洲中部春夏季大气环流持续性异常与我国东部夏季旱涝的关系. 大气科学, 2008, **32** (5): 1174~1186
Liang Pingde, Liu Aixia, Duan Liyao, et al. The relationship between the persistent anomaly of spring and summer atmospheric circulation in the middle part of Asia and the summer drought/waterlogging in eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2008, **32** (5): 1174~1186

亚洲中部春夏季大气环流持续性异常与 我国东部夏季旱涝的关系

梁平德^{1, 2} 刘爱霞¹ 段丽瑶³ 周鸣盛¹ 周梁丹⁴

1 天津市气象科学研究所, 天津 300074

2 天津市气象台, 天津 300074

3 天津市气候中心, 天津 300074

4 天津科技服务中心, 天津 300074

摘 要 通过对北半球 (20°N 以北) 1958~2002 年 500 hPa 月平均高度场各格点的点对点月际相关系数的分析, 探讨了环流的持续性。结果表明, 亚洲中部上空存在北半球中高纬度唯一的显著的高度场持续区, 它的中心区位于 (30°N~50°N, 70°E~110°E), 这里正是广袤的青藏高原北坡、蒙古高原及黄土高原地区, 一年中各月的持续性有明显的季节变化, 冬末春初的 2 月对 3 月和 3 月对 4 月基本上没有持续性可言; 4~5 月出现了明显的持续性, 相关系数突然增长到 0.6; 5 月对 6 月的持续性继续增加, 相关系数达到 0.8。夏季至初秋 (6~9 月) 各个月际稳定地保持着 0.8 的高相关系数。秋、冬各月持续性逐渐减弱, 直至春季降到了最低。将 1958~2002 年中 5~9 月的月平均高度距平正、负持续最明显的两个 7 年的逐月环流和季环流作对比分析, 得知在正持续年夏季东亚中纬度大气环流呈“西高东低”型; 而负持续年的夏季则是“东高西低”型。它们都具有气候意义的稳定性。相应的, 在明显正持续年夏季中国东部降水分布呈“北少南多”; 而在明显负持续年则是“北多南少”。在这 45 年间, 夏季亚洲中纬度 500 hPa 的月高度距平由负持续转为正持续, 与中国东部降水由“北多南少”转为“南多北少”是对应的。分区逐日识别 500 hPa 天气系统的结果表明, 正持续年亚洲中纬地区盛行高脊, 长江中下游地区多低槽和辐合流型; 负持续年则盛行低槽, 长江中下游多副高控制和西南流型。揭示了中国夏季发生区域旱涝灾害的两种不同的气候进程和盛行天气过程。这样在 5、6 月份即可预测东亚夏季或盛夏环流形势与中国的降水趋势。

关键词 月平均高度场的持续性 月际相关 气候进程 中国夏季旱涝 短期气候预测

文章编号 1006-9895 (2008) 05-1174-13

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Relationship between the Persistent Anomaly of Spring and Summer Atmospheric Circulation in the Middle Part of Asia and the Summer Drought/Waterlogging in Eastern China

LIANG Pingde^{1, 2}, LIU Aixia¹, DUAN Liyao³, ZHOU Mingsheng¹, and ZHOU Liangdan⁴

1 Tianjin Meteorological Institute, Tianjin 300074

2 Tianjin Meteorological Observatory, Tianjin 300074

3 Tianjin Climate Centre, Tianjin 300074

4 Tianjin Meteorological Technical Service Centre, Tianjin 300074

Abstract Based on the analysis of the point-to-point correlation coefficient of the monthly mean 500-hPa geopotential height in the Northern Hemisphere (north of 20°N) from 1958 to 2002, the persistence of circulation is investi-

收稿日期 2007-02-06, 2007-07-19 收修定稿

资助项目 天津市科委项目 06YFSDSF04500

作者简介 梁平德, 女, 1933 年出生, 高级工程师, 从事天气气候分析预报业务和科研工作。E-mail: tjlyduan@yahoo.com.cn

gated. It is shown that there is a significant persistent area in middle latitudes of Asia, and this area is only one in the extratropics of the Northern Hemisphere. The central area is located in ($30^{\circ}\text{N} - 50^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E} - 110^{\circ}\text{E}$), which is over the Tibetan Plateau, the Mongolian Plateau and the Loess Plateau. The persistence varies clearly with season. The persistence between February and March is little, between March and April is little too. Then persistence between April and May increases sharply, the inter-monthly correlation coefficient reaches 0.6; between May and Jun, it increases to 0.8. For summer to early autumn (June - September) every inter-monthly correlation coefficient remains over 0.8 stably. In autumn and winter the persistence weakens month by month, until early spring, reaches the lowest point.

The analysis is made from May to September during the most significant positive persistent seven years and negative persistent seven years in 1958 - 2002. It is shown that in the most significant positive persistent years circulation pattern “west-high - east-low” appears in middle latitudes of East Asia in summer; in the most significant negative persistent years circulation pattern “west-low - east-high” appears. In the positive persistent years eastern China summer rainfall is “north-below average - south-abundant”; in the negative persistent years summer rainfall is “north-abundant - south-below average”. The mean 500-hPa height anomaly changes from negative persistence to positive persistence during the 45 years, and correspondingly the eastern China summer rainfall pattern changes from “north-abundant - south-below average” to “north-below average - south-abundant”. The day-to-day recognition for weather system shows that high and ridge are prevailing over the middle part of Asia, trough and convergence zone systems are prevailing over the middle and lower reaches of the Yangtze River during the summer of positive persistent years; low and trough are prevailing over the middle part of Asia, subtropical high and southwest pattern are prevailing during the summer of negative persistent years. It is shown that there are two kinds of climatic courses and prevailing weather processes for summer drought and water logging in China. So, this work may be beneficial to predicting summer rainfall trend in China and summer circulation over East Asia in May and June.

Key words monthly mean height field persistence, inter-monthly correlation, climatic course, summer drought and water logging, short-range climatic prediction

1 引言

对于月和季时间尺度的气候变化, 大气环流的持续异常或盛行天气系统是其主要反映。因此, 大气环流的持续性异常及其规律和机制对于月和季时间尺度的气候变化和预报都有重要意义, 也是当代气候研究的重要内容^[1]。关于行星尺度的持续异常大气阻塞过程, 几十年来的研究虽然得到了许多有意义的结果^[2~4], 但目前还很难用于短期气候预测。周鸣盛等^[5]和梁平等^[6]曾探讨华北盛夏旱涝环流形势及其在初夏的预兆, 看到在亚洲中部存在一定的持续性。本文针对短期气候分析预测的需要, 研讨 500 hPa 月平均高度场的持续性与相应的环流实体, 以及对中国夏季旱涝发生的影响, 希望对短期气候预测有所帮助。

2 亚洲中高纬度 500 hPa 高度场的持续性分析

应用 1958~2002 年 NCEP/NCAR 逐年各月

500 hPa 高度资料对北半球 (20°N 以北) 相邻月的 500 hPa 高度场做点对点的相关分析, 即 1 月对 2 月、2 月对 3 月……、12 月对次年 1 月, 考察是否在某些地区、某些月份之间存在持续性。审视这 12 张月际相关图, 按信度 0.001 考虑, 对 45 年序列来说相关系数在 0.5 或以上显著的 ($n-2=40$, 0.001 信度, $r=0.4896$), 这种情况主要发生在亚洲的夏半年, 而在北半球中高纬度其余绝大部分地区没有明显的相关性。图 1 是北半球 3 月与 4 月 500 hPa 高度场点对点相关图, 从中可见相关系数都很小, 只是在加拿大东北和阿拉斯加有相关系数在 0.4 以上小范围的正相关区, 这表明普遍没有明显的持续性, 而负相关区更小更弱, 说明也没有明显的转折倾向。4 月以后亚洲中纬度出现显著的月际正相关区。4、5 月间显著相关的中心区域相关系数达 0.6 以上 (图略); 5、6 月间中心区域达 0.8 以上 (图略); 6、7 月间相关系数又有增加。图 2 是北半球 6 月与 7 月点对点相关图, 图中大部分地区相关系数仍很小, 但亚洲大陆中纬度地区呈现出

大范围显著的正相关, 相关系数在 0.6 以上的区域为 ($20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$); 相关系数在 0.8 以上的中心区域东西向达 15 个经度, 南北向达 10 个纬度; 最大相关系数 0.865 位于 (40°N , 100°E) 附近。这是北半球最突出的特征, 表明亚洲中纬度大气环流有较大范围显著的月际持续性。5、6 月, 7、8 月和 8、9 月的相关图在亚洲区都与图 2 相似, 只是相关系数和显著相关区域略小些。

为了解各月总的情况, 将 12 张月际相关图做了综合。图 3 是北半球各格点相邻月相关系数 ≥ 0.6 连续出现的次数。如果 n 月与 $n+1$ 月该格点相关系数 ≥ 0.6 , 则次数记为 1; 若 n 月与 $n+1$ 月相关系数 ≥ 0.6 , 且 $n+1$ 月与 $n+2$ 月的相关系数也 ≥ 0.6 , 则相关持续次数计为 2; 其余类推, 没有相邻月相关系数 ≥ 0.6 的, 则持续次数记为 0。从图 3 可见在整个北半球 30°N 以北, 只有亚洲区域有月际相关系数 ≥ 0.6 的区域, 这个区域从 $65^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$, 它的北界达到 50°N , 持续相关次数在 3 次以上的区域为 ($30^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$), 持续 5 次以上的区域在 ($30^{\circ}\text{N}\sim 47.5^{\circ}\text{N}$, $75^{\circ}\text{E}\sim 105^{\circ}\text{E}$) 之间; 持续相关次数在 6 次以上的区域在 ($37.5^{\circ}\text{E}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $82.5^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$) 之间。这说明在该区域存在连续 6 个月的高相关, 也就是说在亚洲中纬度地区大气环流具有近半年的显著持续性。此外, 在阿

拉伯半岛和北非也有相关系数 ≥ 0.6 , 且持续 3 次以上的区域, 不过都在 30°N 以南了。图 3 展示的情景令人关注, 在亚洲中部青藏高原北坡, 从帕米尔高原到蒙古高原和黄土高原的广袤高原区有如此显著的持续性, 而北半球其余中高纬度无论是海洋还是大陆都没有这种现象。我们还作了相关系数 $\geq$

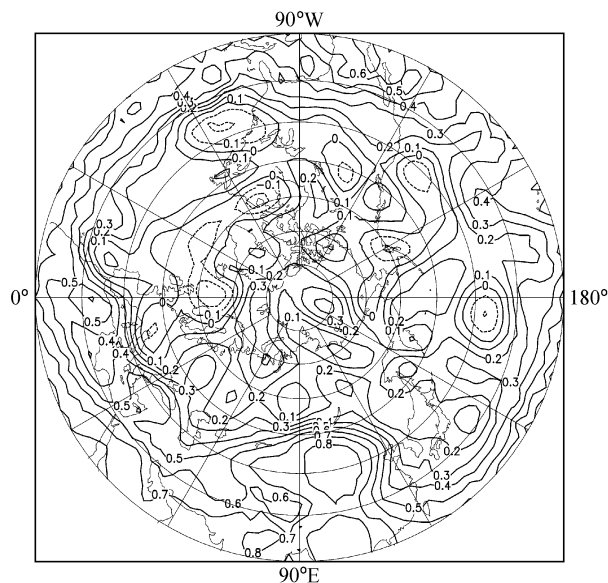


图 2 同图 1, 但为 6 月与 7 月点对点相关图

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for correlation between Jun and Jul

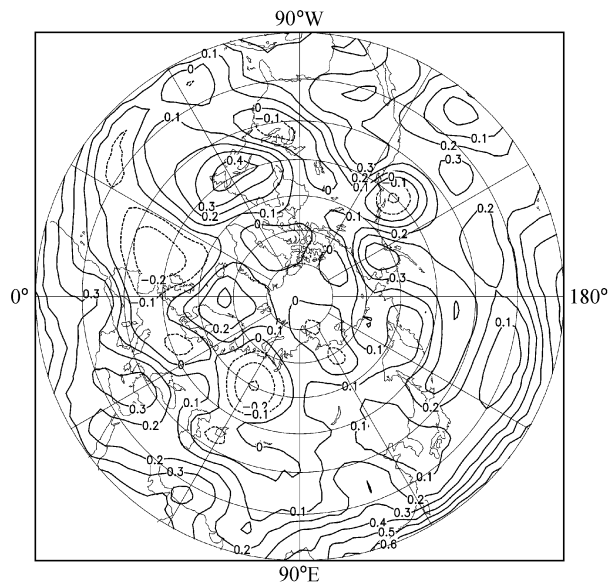


图 1 1958~2002 年 500 hPa 月平均高度 3 月与 4 月点对点相关图

Fig. 1 Correlation coefficient for point to point of the monthly mean 500-hPa height between Mar and Apr during 1958-2002

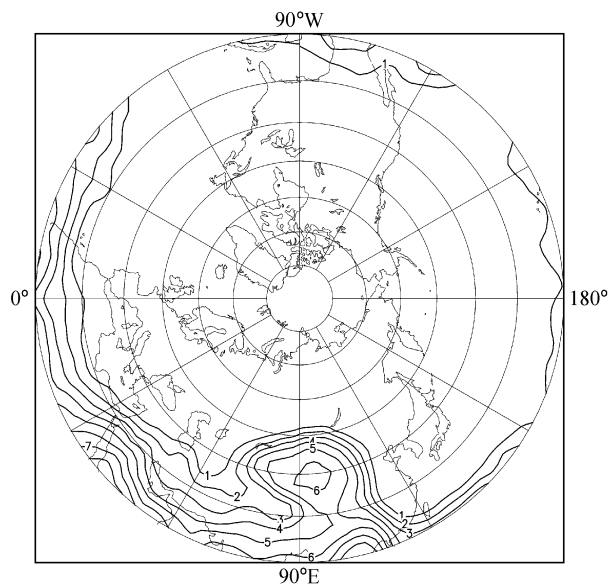


图 3 1958~2002 年 500 hPa 高度月际相关系数 ≥ 0.6 各格点持续次数分布图

Fig. 3 The persistent times of grid points for the inter-monthly correlation coefficient of 500-hPa height ≥ 0.6 during 1958-2002

0.5、 ≥ 0.7 的持续次数分布图(图略), ≥ 0.5 的高持续区范围有扩大, 持续次数增加 1~2 次; ≥ 0.7 的图与图 3 较相似, 高持续的范围略有缩小。可见, 图 3 是很有代表性的。以 ≥ 0.6 、且持续 3 次以上作为显著持续性的标准, 可以说亚洲中纬度高度场显著持续区域在 ($30^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$)。

3 亚洲中纬度地区气压场持续性的季节特征

为了解亚洲大陆中部 500 hPa 上这个区域高度的持续性的影响时间与范围。取 (40°N , $65^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$), 即西起乌兹别克斯坦中部, 东至渤海西岸, 横跨约 5000 km, 以各经度为横坐标轴, 月际的相关系数为纵坐标轴(即 1~2 月、2~3 月……、12~1 月)作时间剖面图(图 4)。从图 4 中可以看出:

- (1) 从 5~11 月, 月际相关系数在 0.6 以上的横跨 45 个经度, 其中 6~8 月东西跨度最大, 在 $67.5^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 之间。5~9 月正相关系数达到 0.8 以上, 东西向达 15° 经度。可见亚洲中部的持续性主要在夏半年, 尤以夏季为最。
- (2) 冬季和初春月际相关系数很小, 其中 2 月对 3 月和 3 月对 4 月新疆以西的区域甚至出现 -0.168 的负相关。
- (3) 图中相关系数等值线的分布显示, 从 9 月到 1 月相关系数缓慢下降, 2~3 月相关系数最低;

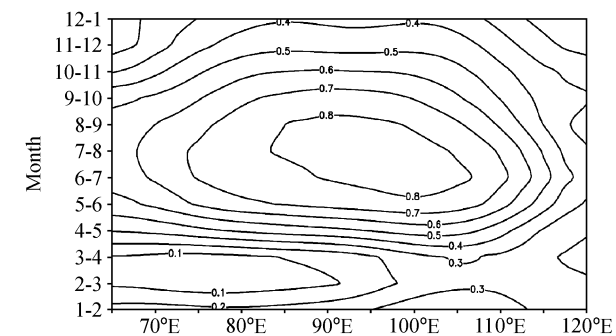


图 4 1958~2002 年亚洲 40°N 月际相关系数时间剖面图。纵坐标轴: “1-2” 表示 1 月对 2 月的相关系数, …… “12-1” 表示 12 月对 1 月的相关系数
Fig. 4 Time cross-section of the inter-monthly correlation coefficients of 500-hPa height for 40°N in Asia during 1958-2002. For the ordinate, “1-2” expresses the correlation coefficient between Jan and Feb, ..., “12-1” between Dec and Jan

4 月以后相关系数大幅度增强, 而 5~9 月稳定维持高相关。这表明从秋到冬高度场的持续性减弱是缓慢的, 而后冬到初春持续性最弱, 仲春以后持续性快速增强, 春末经夏季到初秋保持了相当高的持续性。

4 亚洲中部 500 hPa 月平均高度显著持续区域的连贯性

前面已经指出夏季亚洲中纬度 ($30^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$) 区域存在显著的持续性。问题是 6 月与 7 月高相关, 7 月与 8 月高相关, 6 月与 8 月也高相关? 或者说 6 月对后期各月都高相关? 这还需进一步研讨。夏半年各月对后期各月是否稳定维持高相关? 从 5~9 月分别计算各月平均高度场对后期各月的点对点相关。图 5 是 6 月对 8 月和 6 月对 9 月的相关图, 从中可以看出相关系数的中心数值都在 0.8 以上, 相关系数 ≥ 0.6 的范围基本覆盖了 $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 。相关系数的大小和高相关所在区域也变化很小, 与图 2 比较无大变化。这让我们看到不仅 6~9 月 4 个月它们之间是高相关的, 而且 6 月对 8、9 月也是高相关的, 也就是说这种持续性从 6 月一直贯穿到 9 月, 与以往做的前后期相关不同, 6 月与 9 月的高相关是连贯而来的。这表明亚洲中部月平均高度场的持续性是一个连续的稳定持续过程。为省略许多相关图, 现将各月对后期各月点对点相关亚洲的中心值和相关系数 ≥ 0.6 和 ≥ 0.7 的点数列于表 1。从表 1 可以看出 5~9 月对后期各月相关系数的中心数值都在 0.7 以上, 但高相关区的大小不同。NCEP/NCAR 资料是 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 的, 理论上每点代表着 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 经纬度区域, 如果考虑边界点, 例如 ($35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$) 区域(即 10° 纬度, 40° 经度)就要 85 个点。从中比较可知 6 月对后期的持续性最好, 直到 6 月对 9 月, 最大相关系数都在 0.85 以上, 高相关区范围仍在 $10^{\circ}\times 40^{\circ}$ 经纬度之上, 5 月对后期的相关也维持较好的稳定性。虽然 5 月对 8 月的相关已不到 0.8, 但高相关的范围并不小, 只是到 9 月明显减小了。还可以看出各月对 10 月的高相关区范围都比较小。总之通过对后期各月的相关分析。表明亚洲中纬度高度场的持续性是稳定连贯的, 在 5 月、6 月就有可能比较明晰地预示未来 7~9 月高度场的特征。

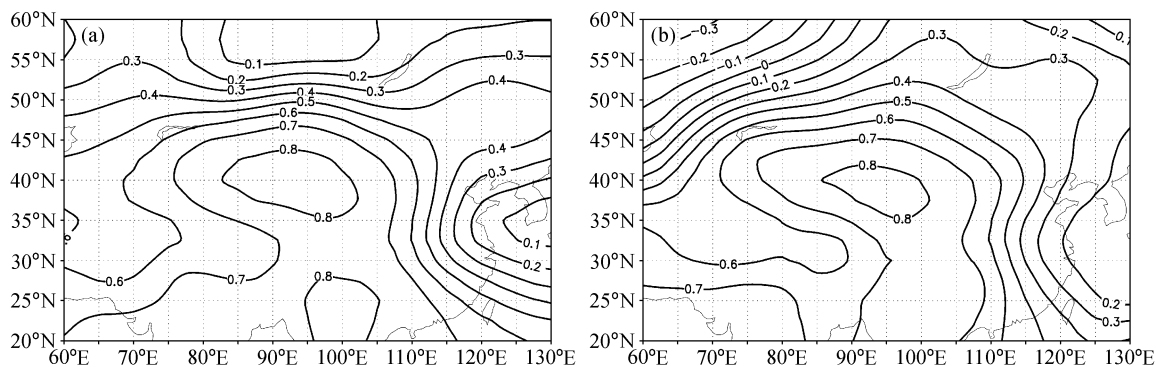


图 5 1958~2002 年亚洲 500 hPa 月平均高度点对点相关图: (a) 6 月对 8 月; (b) 6 月对 9 月
Fig. 5 The correlation coefficient of monthly mean 500-hPa height for point to point in Asia between (a) Jun and Aug, (b) Jun and Sep during 1958–2002

表 1 亚洲中纬度 5~9 月对后期各月的点对点相关系数中心值及相关系数 ≥ 0.6 和 ≥ 0.7 的点数
Table 1 The central values of point-to-point correlation coefficients between May–Sep and their following months, and the point numbers for correlation coefficients ≥ 0.6 and ≥ 0.7 in middle latitudes of Asia

	中心值					≥ 0.6 点数					≥ 0.7 点数				
	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
6 月	0.861					112					84				
7 月	0.833	0.865				105	130				69	86			
8 月	0.780	0.850	0.871			118	118	140			51	68	98		
9 月	0.723	0.850	0.818	0.862		51	99	122	108		9	57	80	70	
10 月	0.659	0.760	0.727	0.781	0.779	27	49	45	46	61	0	13	9	17	26

5 500 hPa 高度场正、负持续期间各月的环流态势

月高度场持续就其距平而论,有正持续也有负持续。取显著持续性区域的中心部分(37.5°N~42.5°N,95°E~100°E),计算其自1958~2002年5~9月各月高度逐年的距平标准化值。这里的各月距平同样有很好的持续性,在45年中无一例相邻月距平 ≥ 0.5 转变为 ≤ -0.5 ,也无一例 ≤ -0.5 转变为 ≥ 0.5 。以标准化距平 ≥ 0.5 且持续4个月或以上为明显的正持续年,以标准化距平 ≤ -0.5 且持续4个月或以上为明显的负持续年。按这样的条件各有7个明显的正、负持续年(以下简称正、负持续年)。正的是1980、1996、1997、1998、1999、2001和2002年,负的是1958、1959、1960、1961、1962、1963和1964年。下面对上述两个不同7年的状况进行分析和研讨。其他年份虽然正、负程度不如这14年,但持续性同样存在,有的是弱正距平持续,有的是弱负距平持续,这里不再一

一列举。

分别作正、负持续各7年5~9月500 hPa月平均图和沿100°E上的西风分布图(图6)。从正持续7年5月的平均环流及其距平图(图6a)可以看出,整个亚洲大陆为大片正距平,中心在贝加尔湖西侧的95°E附近,达54 gpm。亚洲中高纬是宽平的长波脊,总体呈西高东低态势。而孟加拉湾以北的南支急流上有明显的低槽,它与中纬的脊大体在同一经度。从80°E向东到120°E形成了清晰的辐合形势,30°N以北是西北风,以南是西南风,可见江淮梅雨形势发展的端倪。

负持续的5月形势图上(图6b)亚洲大陆有大范围的负距平,中心位于蒙古西部到我国新疆东部,达-63 gpm。相应的是宽阔的长波槽。正距平在120°E以东的黄海、朝鲜向东至日本一带。距平分布呈东高(正)西低(负)态势,显现了我国北方夏季多雨的前兆^[5~7]。这时孟加拉湾低槽不明显,长江中下游30°N南、北都是偏西风。可以看出正持续的5月与负持续的5月是两类完全不同的环流形势。

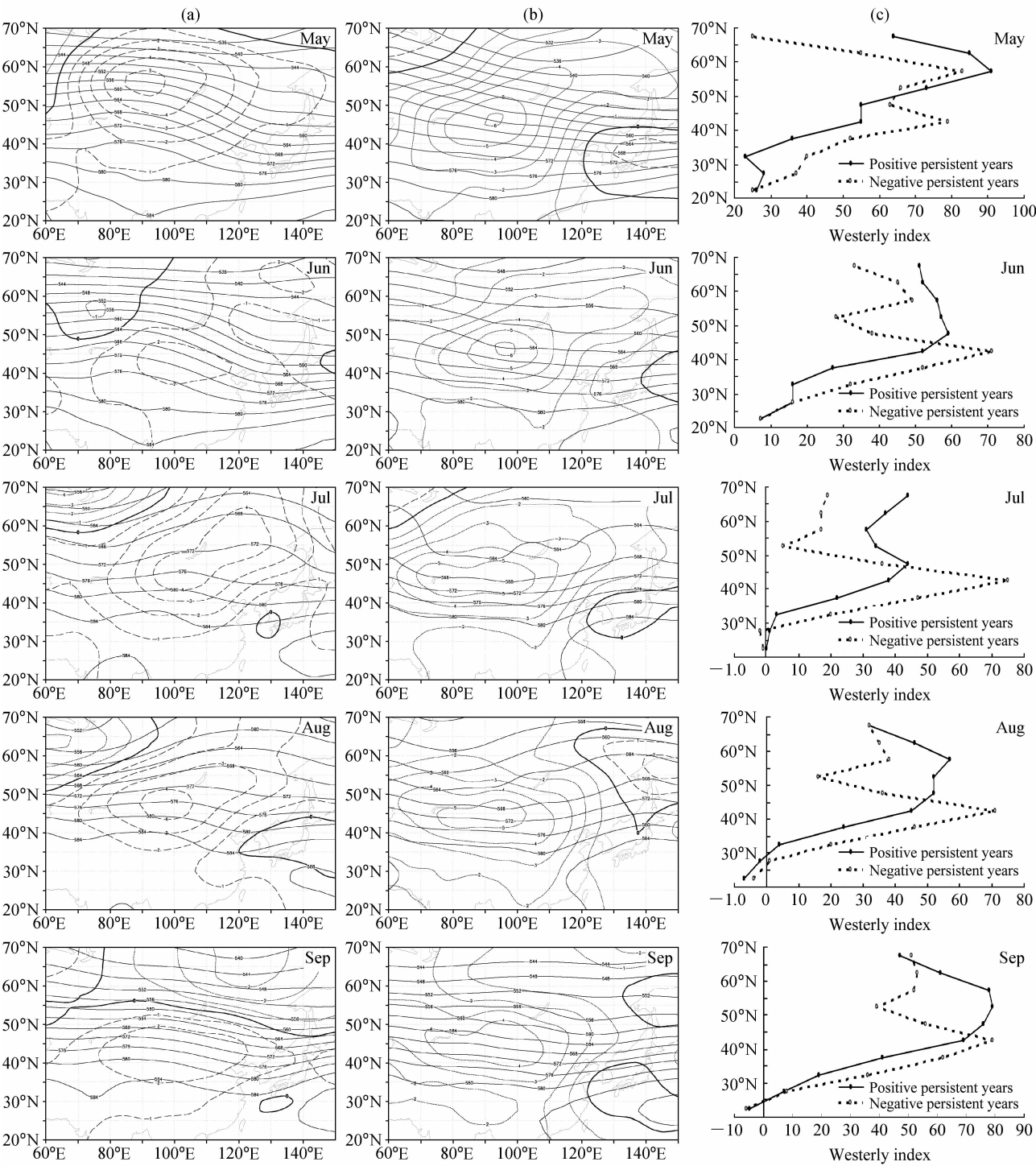


图 6 正持续和负持续 7 年各月 500 hPa 高度平均图 [(a) 正持续年, (b) 负持续年] 以及 100°E 500 hPa 平均西风指数 (c)。 (a、b) 实线为高度, 虚线为正距平, 点线为负距平, 黑实线为零线; (c) 实线为正持续年, 虚线为负持续年
Fig. 6 (a, b) Monthly mean 500-hPa height (solid lines) and its anomaly (dashed lines are positive, dotted lines are negative, black solid lines are zero) for (a) seven positive and (b) seven negative persistent years; (c) the mean 500-hPa westerly index at 100°E for seven positive and seven negative persistent years

为探讨这两类环流形势的锋区特征, 分析了 100°E 上每隔 5 纬度的西风指数 (指数为 20°N 高

度减 25°N 高度差、25°N 高度减 30°N 高度差, 余类推) 如图 6c, 发现正持续的 5 月最强的独支西风

急流在 60°N 附近, 锋区明显偏北, 45°N 以南西风很弱。而负持续的 5 月呈现两支急流, 南支在 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, 这里的西风明显大于正持续年。

正持续年的 6 月平均图上亚洲大陆仍是大片正距平, 中心 27 gpm, 位于中蒙交界处, 相应的长波脊略东移至 110°E 。在 55°N 以北乌拉尔山以东有低槽, 贝湖东北高纬出现西风分支。鄂海西北有正距平中心, 鄂海西岸形成阻塞形势。中纬依然为西高东低态势。 $100^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$, 30°N 以北为西北气流, 以南为西南气流。长江中下游还是辐合形势。

负持续年的 6 月平均图与 5 月一样, 在亚洲大陆中部维持大范围负距平, 中心 -64 gpm, 对应的低槽更清晰些。中纬度自大陆到海洋距平分布仍呈东高西低态势。

图 6c 上 6 月负持续的年份北支急流减弱, 而在 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 的南支突出。正持续年则情况相反, 45°N 以南西风减弱, 而以北保持大范围强西风。

分析正持续年 7 月的平均形势和距平发现: 7 月与 6 月相比正距平范围扩大且增强, 两个中心分别在蒙古西部和贝加尔湖东边, 强度为 49 和 47 gpm。亚洲中部仍是宽平的长波脊。贝加尔湖东部锋区有明显分支, 勒拿河上游为阻塞形势。在中纬度 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 为西高东低形势, 长江中下游辐合形势虽不如 6 月明显, 但西北风仍到达 35°N 。

负持续年的 7 月高度距平的分布和中心强度与 6 月很相似。而且由日本海到黄海的正距平增强了, 东正西负的距平分布使得贝湖蒙古到我国北方的大低槽有所发展。 $110^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 是较强的西南气流。副高控制着我国东南地区。

对应 7 月在 100°E 上的西风分布图 6c (7 月) 上, 负持续年份 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 上的一支强西风急流十分显眼, 而正持续年的强西风带仍维持在 45°N 以北。这些特点比 6 月更突出了。

8 月的平均环流、距平和西风指数分别承续了各自 7 月正、负持续的特征。

到了 9 月, 正负距平的分布和西风急流的位置都仍保持 8 月的状况, 显示了它们的持续性, 但季节的转变特征很清晰。图 6a (9 月) 贝加尔湖以东锋区分支已经消失, 亚洲大陆西北气流增强。图 6b (9 月) 上因季节影响贝加尔湖大低槽已不存在, 且锋区有所增强, 但由于蒙古到新疆存在强的负距平, 亚洲大陆以偏西气流为主。

对 5~9 月正、负持续年的逐月分析表明两者区别明显, 且各自的特征稳定少变。在正持续年份亚洲中纬度长波脊的建立和维持, 形成了大陆东部到日本海一带持续的西高东低态势, 也使华北上空一直维持西北气流。这种不利于华北降水的形势^[8, 9, 10]持续四、五个月, 难免发生干旱。本文所列正持续年的 500 hPa 月平均环流与有学者指出的^[9]“华北年代际干旱过程的主要环流特征是东亚大陆 $35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 中纬度带为正距平”一致。5~7 月持续的西北气流在江淮地区上空与南方的西南气流形成辐合, 极易导致江淮梅雨增强^[9, 11, 12]。亚洲中纬度的长波脊北方强而宽阔的西风区阻挡了极区冷空气南下, 可能也有利于中纬度长波脊度的维持。相反在负持续年份亚洲大陆中纬度是低槽发生发展的地区。河套以东 7、8 月都是明显的西南气流, 易于引导夏季风北上, 北方降水增多。5、6 月 $30^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 是偏西气流, 难于在长江中下游形成西北气流与西南气流的辐合, 不利梅雨发展, 且 7 月副高又控制在长江中下游, 导至这里少雨干旱。贝加尔湖大低槽底部 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 强西风北侧的正涡度有利于大低槽维持。

比较图 6c (6~9 月), 一个十分有趣的现象是以 45°N 为界, 在正持续年 6~9 月北侧的西风指数都明显大于负持续年, 而在南侧则相反, 正持续年西风指数明显弱于负持续年。5 月份大体也是这样, 只是分界线略偏北在 50°N 。

以上 5~9 月 500 hPa 高度场正、负持续年各自的逐月环流特征和西风分布揭示出从暮春到初秋, 东亚两类不同的天气气候发展进程。它们直接导致中国夏季区域性旱涝灾害的发生。

6 正、负持续年夏季的平均环流与中国降水分布

我国绝大部分地区降水集中在夏季 (6~8 月), 此时也常是旱涝灾害肆虐的时节。为此, 我们将正、负持续年的 6~8 月的平均环流与我国 160 站的降水作对比分析。

图 7a 是正持续的 7 年 (1980、1996~1999、2001 和 2002) 6~8 月 500 hPa 平均图及距平, 从中可以看出整个夏季亚洲中高纬有大范围的正距平, 中心达 40 gpm。 50°N 以北锋区呈西南东北走向, 贝加尔湖以东形成阻塞形势。贝加尔湖以南有

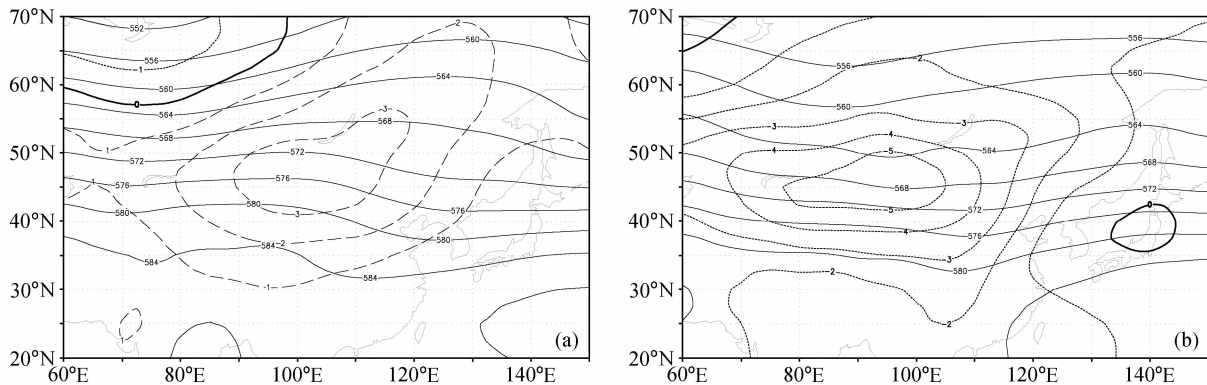


图 7 正持续 (a) 和负持续 (b) 的 7 年 6~8 月平均 500 hPa 高度 (实线) 及其距平。虚线：正距平；点线：负距平；黑实线：零线
Fig. 7 Jun - Aug mean 500-hPa height (solid lines) and its anomaly (dashed lines are positive, dotted lines are negative, black solid lines are zero) for (a) seven positive and (b) seven negative persistent years

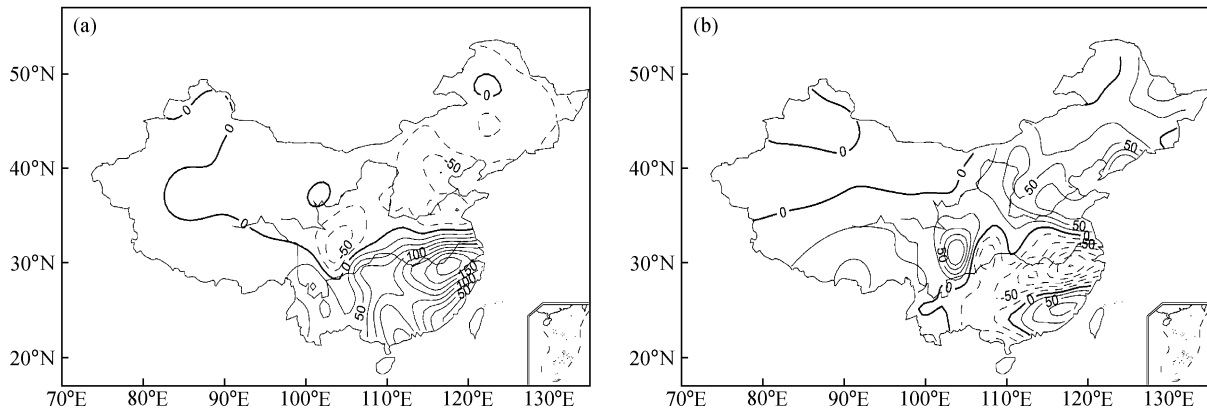


图 8 正持续 (a) 和负持续 (b) 异常 7 年 6~8 月我国 160 站降水量距平。实线：正距平；点线：负距平；黑实线：零线
Fig. 8 The mean rainfall anomaly for 160 stations of China during Jun - Aug of (a) seven positive and (b) seven negative persistent years. Solid lines are positive, dotted lines are negative, black solid lines are zero

宽平的高压脊，在 30°N~50°N 亚洲大陆到海洋为“西高东低”气压场形势。高压脊前华北上空的西北气流与南方北上的西南气流在江淮一带形成辐合。再看此时我国的降水量距平分布（图 8a），以大巴山和淮河为界，北边是大片的少雨区，从河西走廊直到东北都以少雨为主，少雨中心在京、津、冀一带。少雨区正对应着图 7a 的高压脊和脊前的西北气流区。而长江流域与图 7a 中的辐合区相对应，从重庆到上海降水正距平都在 100 mm 以上，特别是长江中下游正距平多在 200 mm 以上，其中屯溪正距平达到 309 mm。这表明在亚洲中纬度正持续时，我国东部降水南多北少的分布十分突出。

负持续的 7 年（1958~1964）500 hPa 6~8 月的平均如图 7b，亚洲大陆中高纬度是长波大低槽，相应的有大范围的负距平，中心达 -60 gpm。35°N

以北从大陆到海洋呈东高西低形势。我国东部除东南福建沿海一带处于副高边缘外，其他是大范围的西南气流，这种情形正如竺可桢先生所说夏季风长驱直入，使得季风雨带北移，华北、东北雨量激增^[13]。对应的我国降水量距平分布（图 8b）仍以大巴山和淮河为界，我国北方从黄河上游到东北都以多雨为主，主要中心在华北、山东和辽东，正距平都在 100 mm 以上。这个多雨区正位于图 7b 的低槽及以东地区。而南侧的长江流域及以南是少雨区。特别是长沙到上海负距平都超过 100 mm。可见负持续时我国东部降水北多南少的分布也是显著的。

7 正、负持续年夏季（6~8 月）的盛行天气系统

上文已经给出正、负持续年反映的两种完全不

同的天气气候进程。它们的盛行天气系统如何？这是天气气候工作者最感兴趣的问题。然而，人工分析逐日天气系统和天气型，既麻烦费时又难于客观一致。于是，我们采用以计算机识别的方法^[14, 15]，先作区域分割，使该区域中一般只有一个天气系统，为此分区不宜过大，还要让这种分割适合一定的天气过程。本文作了三个分区：第 1 区位于（35°N~45°N，100°E~117.5°E），是正持续年亚洲中纬度平均脊的前部，也是负持续年亚洲平均槽区；第 2 区位于（35°N~45°N，80°E~100°E）（识别边界为 97.5°E，当有槽、脊位于 100°E 时统计在 1 区），它紧邻 1 区，在正持续年平均脊的后部和负持续年平均槽后部。这两个分区是针对亚洲中纬度显著持续区确定的。前面的工作表明亚洲中纬度正、负持续状况对长江中下游降水也有重大影响，于是增加了针对长江中下游的第 3 区，它位于（25°N~35°N，110°E~120°E）区域。再确定识别的天气系统和天气型，并设计算法模型。对于 1 区和 2 区识别的天气系统有槽、低压、脊、副高脊和高压；天气型有西南流型和西北流型。对于 3 区识别的天气系统有槽（含接近东西向的槽）、低压、副高脊；天气型有锋区辐合型和西南流型（槽脊的概念与基本天气学一致，不另赘述）。对 1 区、2 区西北流型是指在规定区域内没有脊（如在脊前）而等高线呈西北东南走向，西南流型指在规定区域内没有槽（如在槽前）等高线呈西南东北走向。对 3 区副高脊线规定在 27.5°N~32.5°N。锋区辐合型指在 110°E~120°E 之间 32.5°N~40°N 为西北气流，以南为偏西南气

流，等高线呈辐合形态。这种天气型在本文的图 6a（5、6、7 月）和图 7a 中都可以看到。3 区的西南流型指在 110°E~120°E 之间 25°N~40°N 都是西南气流，这种情况下夏季风径直北上，长江中下游少雨。识别结果分别列于表 2。

从表 2 可见在 1 区正持续的 7 年，有利于华北降水的槽、低压和西南流型共 239 天，占总日数（7 年 6~8 月的总日数为 644 天）的 37.6%；而不利于降水的脊、高压、副高脊（副高偏北脊线达 35°N 或以北，且西脊点达 115°E）和西北流型共 397 天，占总日数的 61.6%，显然脊、高压和西北流型占优势。在负持续年槽和西南流型都多于正持续年，共 463 天，占总日数的 71.9%；而脊、高压和西北流型都少于正持续年，仅 175 天，占 27.2%。显然，槽和西南流型占优势，这表明正、负持续年 1 区盛行的天气系统和流型有显著的差异。1 区的天气系统和流型对华北的降水有直接影响。在正持续年 500 hPa 上多高压、脊和西北流型，不利于降水，而易出现高温干旱；在负持续年低槽和暖湿气流活跃有利于发生大到暴雨，降水偏多。

2 区在正持续年仍是脊与高压占优势，远多于槽和低压；负持续年则是槽和低压多于脊和高压。另外因远离海洋没有了副高脊。又因 2 区正持续年多在脊后易出现西南流型，相反在负持续年 2 区常在槽的后半部易出现西北流型。1 区和 2 区共同说明了亚洲中纬度在正、负持续年盛行天气系统的明显差异。

从 3 区可以看出在正持续年槽、低压及锋区辐

表 2 正、负持续年 6~8 月 1~3 区天气系统和天气型的日数

Table 2 The days of different weather systems and weather patterns in three areas during Jun - Aug of positive and negative persistent years

	1 区 (35°N~45°N, 100°E~117.5°E)		2 区 (35°N~45°N, 80°E~100°E)		3 区 (25°N~35°N, 110°E~120°E)	
	正持续年	负持续年	正持续年	负持续年	正持续年	负持续年
槽和低压	232	436	163	303	311	224
西南流型	7	27	33	11	30	137
脊和高压	202	119	417	259		
副高脊	109	35			39	83
西北流型	86	21	22	62		
锋区辐合					82	43
脊					81	75
其他	8	6	9	9	101	82
合计	644	644	644	644	644	644

合等有利于长江中下游降水的天气系统和天气型天数远多于负持续年, 共 393 天占总日数的 61%, 而不利于此地降水的脊、副高脊和西南流型远少于负持续年, 仅 150 天占总日数的 23.2%。在负持续年槽、低压和锋区辐合型共 267 天, 占总日数的 41.5%, 只及正持续年的 2/3; 而不利于此地降水的有 295 天占总日数的 45.8%, 约为正持续年的一倍。表 2 中“其他”的日数较多, 如副高脊线在 25°N 或以南、西南气流仅到 35°N 或 37.5°N、锋区辐合位置较 32.5°N 略偏北到 35°N 的。还有些是因为这里等高线稀疏不易识别的, 如有的西南涡本应包含在低压之内, 却可能漏识别。虽然对 3 区的识别不够充分, 但正、负持续年夏季盛行天气系统和天气型差异还是明显的, 它们反映了长江中下游多雨或少雨的天气气候特征。

总之, 在正、负持续年夏季亚洲大陆中纬度和长江中下游分别有不同的盛行天气系统和天气型, 它们直接影响了我国北方和长江流域的夏季旱涝。

在对比分析逐年亚洲中纬度 500 hPa 高度距平的正、负持续过程中, 可以看到这 45 年中最强的负持续年份集中在 20 世纪 50、60 年代 (按照中央气象台 500 hPa 位势高度资料应为 50~70 年代), 而正持续最强的年份则出现在 80、90 年代, 甚至延续到 21 世纪初。近年来有气象学家指出: 中国东部夏季降水存在 20 世纪 50、60 年代为“南旱北涝”, 80、90 年代为“南涝北旱”的相反状况^[16~18]。他们对环流形势的分析指出北太平洋海温, 东亚季风, 中高纬阻塞高压和北极涛动等很多系统都与中国东部夏季降水年际变化密切相关。但这些系统在多大程度上影响中国东部夏季降水, 它们之间又是如何相互作用, 都有待进一步研究^[16]。本文的工作给出的夏季亚洲中高纬度 500 hPa 高度距平正、负持续及其相应的高脊和低槽的环流模型和对应的中国东部区域性的降水分布, 在一定程度上给出了些许补充。

8 资料差异检验

在工作基本完成后, 有专家指出, 本文所用的 NCEP/NCAR 资料存在欠缺。方之芳等^[19]和黄刚^[20]分析了 NCEP/NCAR、ERA-40、中央气象台 500 hPa 位势高度场资料及我国东部的部分探空资料, 指出 1958~1967 年 NCEP 资料存在问题, 并

认为 1968 以后上述资料基本一致。于是, 我们用 1968~2002 NCEP 资料和 1958~2002 中央气象台资料重做了部分工作。鉴于本文主要探讨 5~9 月的持续性, 所以只对 5~9 月作重新计算。结果如下:

(1) 亚洲中纬度 500 hPa 存在着北半球唯一显著的高度场持续区。1968~2002 NCEP 资料的 5 月对 6 月、6 月对 7 月、7 月对 8 月、8 月对 9 月的月际点对点相关图表明, 亚洲中纬度是显著高相关区, 它们的相关系数中心值分别为 0.634、0.770、0.707、0.695, 都远在 0.001 信度之上。6 月对 7 月的相关图与图 2 的高相关中心区域、形态都很相似, 只是相关系数值从 0.865 减为 0.770。取信度 0.001 的相关系数按图 3 的办法作综合, 其结果与图 3 形态也很相像。可见, 在此期间只有亚洲中部有显著的持续的相关区。由此可知, 不考虑 1958~1967 年的数据亚洲中纬度的持续性仍然存在, 而且在北半球中高纬是唯一的。

(2) 我国中央气象台 500 hPa 位势高度资料显示在 1958~2002 亚洲中部持续性同样存在。对持续区域的中心区 (35°N~45°N, 95°E~105°E) 共 5 点平均值作 5~9 月的月际相关计算, 得出它们的相关系数: 5 月对 6 月为 0.415, 6 月对 7 月为 0.556, 7 月对 8 月为 0.460, 8 月对 9 月为 0.539。它们的信度都在 0.01 或 0.001。可知中央气象台的数据也表明亚洲中纬度存在稳定的持续性。

(3) 负持续年在中央气象台资料上的表现。文献^[19, 20]指出 1958~1967 年 NCEP 数据偏低, 那么前文所述 1958~1964 年的负持续年环流特征是否还有意义? 我们用中央气象台资料重做了这 7 年夏季各月平均图, 其中最主要的 7 月平均亚洲 45°N~65°N 为大范围的负距平, 40°N 虽有弱正距平, 但河套到华北有弱槽, 在 (35°N, 120°E~130°E) 有较强的正距平, 呈东高西低态势, 与图 6b (7 月) 相似; 同时 100°E 的西风分布在 45°N 以南仍然保持了强劲的西风急流与图 6c (7 月) 一致。这表明, 虽然从距平上这 7 年平均在亚洲 40°N 以及以南是弱正距平, 但在环流上仍有前述 NCEP 的负距平年的特点。

9 结语与讨论

关于我国旱涝重大气候灾害及其形成机理的问

题,我国的学者已有研究^[21]。本文是作者在夏季旱涝预测研讨的实践中,感知到在亚洲中部大气环流可能存在某种持续性后进行的工作。

(1) 本文揭示了亚洲大陆中部存在着北半球中高纬度唯一显著的大范围的 500 hPa 高度场稳定的持续区,这是一种长时期大空间的天气气候现象。在 5~9 月各自的正负距平保持着稳定的一致性。正持续明显的年份夏季亚洲中部为长波脊控制,强西风急流远在 50°N 以北,位于脊的北部。中国大陆到海上呈现“西高东低”的环流背景;而负持续显著时则完全相反,从贝加尔湖到中国内蒙古为大低槽,在 45°N 以南盛行强劲的西风急流,呈现“东高西低”型的气压场特征。这两种不同的持续现象,构建了具有气候尺度稳定性的大气环流系统,体现了两类不同的东亚夏季气候进程。

(2) 中国是地球上最显著的季风区之一。中国夏季旱涝的天气气候分析研究^[21],已经揭示了西北太平洋副热带高压的强度和位置对中国受夏季风影响极为重要的作用。近年来,有学者^[22]提出东亚气候系统的概念,所给出的示意图指出东亚季风活动异常是由于西北太平洋副高活动异常和西风带异常的结果。本文分析夏季正、负持续年的平均环流及其对应中国的降水分布,得知在正持续时期,中国东部降水呈“北少南多”;而负持续时期则是“北多南少”。这表明亚洲中纬度环流显著持续的地区,正是直接影响中国区域旱涝的气候敏感区,这里的大气环流状况对中国夏季区域性旱涝的发生可能有着举足轻重的作用。

(3) 本项工作可以直接用于天气气候预测业务。亚洲高度场持续性显著的区域,在中纬度横跨 45 个经度,占了中纬度一周的 1/9,覆盖了我国新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、西藏、四川等省区,而对周边的省区,如京、津、河北、河南、湖北等也有重要影响。从 5 月份开始关注 500 hPa 亚洲中纬度上空的高度场变化并把握持续性显著区环流形势的演变,能有效地增强对当年东亚夏季环流和中国夏季发生区域性降水趋势预见性。这种持续性还有助于对夏季高温的短期气候预测。有研究表明北京夏季持续高温过程出现在有河套高压的环流形势下^[23],而本文揭示的气压场持续性表明河套高压的出现也会有前期征兆。还有研究表明华北气温与西北相关最为显著^[24],这也说明上游

的环流对华北气温有重要影响,上游气压场的持续性也有助于我们做好华北夏季高温预测。

(4) 考虑到 NCEP/NCAR 资料在 1958~1967 年可能存在缺欠,我们重新对 1968~2002 年作关于持续性的计算,并用中央气象台的资料作对比分析,表明亚洲中纬度春夏的显著持续区是存在的,并且是北半球中高纬唯一的显著持续区。可知本文给出的持续区的基本特点是客观存在。

我们的工作还只局限于 500 hPa。对中国(和亚洲)特有的天气气候现象的认识还有许多事情要做,至于如何去作更深的物理解释,更有待深入研究。

参考文献 (References)

- [1] 李崇银. 气候动力学引论(第二版). 北京: 气象出版社, 2000. 18~19, 454~460
Li Chongyin. *Introduction of Climatic Dynamics* (second ed.) (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 18~19, 454~460
- [2] Dole R M. 北半球热带外地区冬季环流的持续异常. 见: Hoskins B, Pearce R. 大气中大尺度动力过程. 孙照渤等译. 北京: 气象出版社, 1987. 95~110
Dole R M. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere winter time circulation. In: Hoskins B, Pearce R. *Large-scale Dynamical Processes in the Atmosphere* (in Chinese). Translated by Sun Zhaobo et al. Beijing: China Meteorological Press, 1983
- [3] 李金龙, 李志锦, 纪立人. 北半球夏季环流持续性异常及其发展特征. 大气科学, 1998, **22** (1): 57~68
Li Jinlong, Li Zhijin, Ji Liren. Persistent anomalies in the Northern Hemisphere during summer time and characteristics of their development. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese). 1998, **22** (1): 57~68
- [4] 张存杰, 宋连春, 李耀辉. 东亚地区夏季阻塞过程的研究进展. 气象学报, 2004, **62** (1): 119~127
Zhang Cunjie, Song Lianchun, Li Yaohui. Advances on the research of East Asia blocking high in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (1): 119~127
- [5] 周鸣盛, 段丽瑶, 周梁丹. 天津盛夏降水趋势与初夏华北高压的统计分析. 气象科技, 2004, **32** (6): 482~484
Zhou Mingsheng, Duan Liyao, Zhou Liangdan. Statistical analysis of Tianjin precipitation in mid-summer and North China high in early summer. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2004, **32** (6): 482~484
- [6] 梁平德, 段丽瑶, 周鸣盛, 等. 华北盛夏旱涝的环流型特征

- 及其在初夏的预兆. 气象学报, 2006, **64** (3): 385~391
- Liang Pingde, Duan Liyao, Zhou Mingsheng, et al. The circulation pattern for midsummer drought/flood in North China and their omen. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2006, **64** (3): 385~391
- [7] 李跃凤, 丁一汇. 近 50 年东亚及西北太平洋环流形势与中国东部夏季降水. 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. 29~38
- Li Yuefeng, Ding Yihui. The atmosphere circulation at Asia and Northwest Pacific Ocean and East China rainfall during last 50 years. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 29~38
- [8] 梁平德. 华北平原夏季干旱的天气气候分析. 北方天气文集 (6). 北京: 北京大学出版社, 1987. 139~143
- Liang Pingde. Synoptic and climatic analysis on the summer drought in Northern China Plain. *Weather in Northern China* (6) (in Chinese). Beijing: Beijing University Press, 1987. 139~143
- [9] 丁一汇, 孙颖, 李跃凤, 等. 20 世纪 90 年代东亚严重旱涝事件的大尺度条件分析. 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. 260~275
- Ding Yihui, Sun Ying, Li Yuefeng, et al. The large scale circulation analysis for serious drought and water logging events during the 1990s. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 260~275
- [10] 张庆云, 陶诗言, 卫捷, 等. 夏季中国灾害性气候的环流异常特征. 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. 243~259
- Zhang Qingyun, Tao Shiyao, Wei Jie, et al. The abnormal circulation characteristic of summer disaster climate in China. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 243~259
- [11] 杨辉, 李崇银. 江淮流域夏季严重旱涝与大气季节内振荡. 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. 276~285
- Yang Hui, Li Chongyin. Atmosphere intraseasonal variability and serious drought and water logging. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 276~285
- [12] 毛江玉, 吴国雄. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. 气象学报, 2005, **63** (5): 762~770
- Mao Jiangyu, Wu Guoxiong. Intraseasonal variability in the Yangtze-Huaihe River rainfall and subtropical high during the 1991. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (5): 762~770
- [13] 竺可桢. 东南季风与中国之雨量. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979. 283~297
- Zhu Kezhen. Southeast monsoon and rainfall in China. *Zhu Kezhen Collected Works* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1979. 283~297
- [14] 傅京孙. 模式识别及其应用. 北京: 科学出版社, 1983
- Fu K S. *Syntactic Methods in Pattern Recognition*. New York: Academic Press, 1974
- [15] 梁平德, 刘爱霞, 周廷泽. 模式识别及其在气象中的应用. 北京: 气象出版社, 1992
- Liang Pingde, Liu Aixia, Zhou Tingze. *Pattern Recognition and Its Application in Meteorological Work* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1992
- [16] 顾薇, 李崇银, 杨辉. 中国东部夏季主要降水型的年代际变化及趋势分析. 气象学报, 2005, **63** (5): 728~739
- Gu Wei, Li Chongyin, Yang Hui. Analysis on interdecadal variation of summer rainfall and its trend in East China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2005, **63** (5): 728~739
- [17] 马柱国, 黄刚, 甘文强, 等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征. 大气科学, 2005, **29** (5): 671~681
- Ma Zhuguo, Huang Gang, Gan Wenqiang, et al. Multi-scale temporal characteristics of the dryness/wetness over northern China during the last century. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (5): 671~681
- [18] 李新周, 马柱国, 刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系. 大气科学, 2006, **30** (3): 464~474
- Li Xinzou, Ma Zhuguo, Liu Xiaodong. Inter-decadal characteristics of aridification over northern China associated with the variation of atmospheric circulation during the past 50 years. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (3): 464~474
- [19] 方之芳, 张丽. 夏季 NCEP 资料质量和 20 世纪 70 年代东亚热低压的突变. 高原气象, 2006, **25** (2): 179~189
- Fang Zhifang, Zhang Li. NCAR-NCEP data quality and abrupt changes of East Asia low in summer of 1970's. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2006, **25** (2): 179~189
- [20] 黄刚. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化. 气候与环境研究, 2006, **11** (3): 310~320
- Huang Gang. The assessment and difference of the interdecadal variations of climate change in northern part of China with the NCEP/NCAR and ERA-40 reanalysis data. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (3): 310~320
- [21] 黄荣辉, 李崇银, 王绍武. 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
- Huang Ronghui, Li Chongyin, Wang Shaowu. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: Chi-

na Meteorological Press, 2003

[22] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童. 东亚气候系统与重大气候灾害. 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. 3~18
Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong. East Asia climatic system and damage. *The Study for Serious Climatic Damage of Drought and Water Logging and Their Form Mechanism* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 3~18

[23] 钱婷婷, 王迎春, 郑祉芳, 等. 造成北京连续高温的河套高压结构分析. 应用气象学报, 2005, **16** (2): 168~173
Qian Tingting, Wang Yingchun, Zheng Zhifang, et al. A case study of the structure of the Hetao high which causes long hot weather in Beijing. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese). 2005, **16** (2): 168~173

[24] 李克让, 张丕远. 中国气候变化及其影响. 北京: 海洋出版社, 1992. 271~272
Li Kerang, Zhang Piyuan. *Climate Change and Its Impact in China* (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1992. 271~272

.....

勘 误

《大气科学》第 32 卷第 4 期“东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展”一文中第 700 页右栏第二行“黄荣辉等^[30, 57]……”应为“黄荣辉等^[30]……”。