

近20年华北地区干旱期大气 环流异常特征*

卫捷 张庆云 陶诗言

(中国科学院大气物理研究所,北京100029)

摘要

利用 NCAR/ NCEP 再分析资料和中国气象局整编的中国 160 站气温、降水月平均资料,计算并分析了 1951 年 1 月—2000 年 10 月中国华北地区 Palmer drought severity index (PDSI)。研究表明:近 50 年来华北干旱有显著的年际和年代际变化。从 20 世纪 80 年代以来,华北出现了持续性严重干旱现象;另外,华北地区干旱持续时间一般都在两年以上。华北夏季典型干旱年的前期(冬季和春季)及同期环流特征是:北半球中高纬度 500 hPa 高度距平场出现 EU 型遥相关分布,华北地区长期处于大陆暖高压控制下。

关键词:华北 干旱 大气环流异常特征 EU 遥相关型

引言

华北地区降水从 1965 年以后明显减少,干旱日趋严重^[1]。频繁的干旱使华北水资源显得更为紧张^[2];干旱引发的华北地区环境变化也已初见端倪:我国北方地区干旱和暖冬现象日益加剧,加之不合理的人为活动的干扰,造成了大面积植被的破坏,加剧沙化。所以,华北地区的干旱及由此衍生的华北资源与环境变化趋势预测研究成为我国气候变化研究的重要课题之一。

我国对干旱的研究已取得很多结果^[3~6]。这些研究多限于将干旱作为洪涝的相反过程,但干旱的产生、发展和维持与洪涝过程有明显的不同。例如,洪涝往往限于某一流域,与天气过程密切相关;而干旱的范围甚广,维持时间较长,与气候异常紧密联系。另外,干旱与其他的气象灾害不同,它是一种复杂的气象现象,干旱出现、持续还与下垫面的状况有密切关系。因此,选择适当的干旱指数表征干旱的基本特征十分重要。

本文根据美国分析干旱事件以及干旱监测上广泛应用的 Palmer 干旱指数,并根据安顺清^[7]针对我国季风气候区所作的订正,计算并分析了近 50 年来华北地区干旱变化特征,重点研究了华北地区夏季严重干旱大气环流异常特征,探讨 EU 型遥相关在华北夏季干旱发生与维持时期的作用。

* 本研究得到中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目(编号 KZCX2-203)和“国家重点基础研究发展规划”项目(编号 G199804900)第一部分的资助。

2002-01-08 收到,2002-05-27 收到修改稿。

1 资料与 Palmer 干旱指数

本文使用 NCEP/NCAR 再分析资料,位势高度场、气压场、风场及温度场等垂直方向为 17 个等压面层,相对湿度为 8 个等压面层,其水平分辨率为 2.5×2.5 经纬度网格。逐日资料从 1958 年 1 月—2000 年 12 月,月平均资料从 1951 年 1 月—2000 年 12 月。气温与降水资料采用中国气象局整编的 1951 年 1 月—2000 年 10 月中国 160 站气温、降水月平均资料。

Palmer 将干旱定义为:干旱期是这样一个时段,在数月或数年内,水分供应持续低于气候上所期望的水分供给,干旱指数是水分亏缺量与持续时间的函数^[8]。为了进行我国的干旱评估、分析和干旱影响评价工作,安顺清等利用中国济南、郑州资料得到修正的 PDSI 指数公式。根据 1951 年 1 月—2000 年 10 月中国 160 站气温、降水月平均资料,利用修正的 PDSI 指数计算公式,我们计算了近 50 年中国华北逐月干旱指数。我们以 1998、1999 年我国旱涝过程为例,对修正的 PDSI 指数与降水距平表征旱涝的强度进行了对比分析。结果表明:对于我国东部地区的干旱、洪涝过程,特别是持续性旱涝灾害,PDSI 指数有很好的指示意义。对照 PDSI 指数干旱等级的定义(表 1),便可得到有关地区的干旱情况。分析其时间变化特征,可以定量地看出干旱的发生、发展、减弱和结束过程,从而为干旱监测、评估提供依据。

表 1 Palmer 指数干湿等级

指数值(x)	等级	指数值(x)	等级
≥ 4.00	极端湿润	- 1.00 ~ - 1.99	轻微干旱
3.00 ~ 3.99	严重湿润	- 2.00 ~ - 2.99	中等干旱
2.00 ~ 2.99	中等湿润	- 3.00 ~ - 3.99	严重干旱
1.00 ~ 1.99	轻微湿润	$\leq - 4.00$	极端干旱
0.99 ~ - 0.99	正常		

2 近 50 年来华北地区干旱的时间变化特征

根据国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”项目的规定,在华北地区均匀选取 17 个代表站(承德、北京、天津、石家庄、德州、邢台、安阳、烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、郑州、长治、太原、临汾),计算以上各站月平均的 PDSI 指数,取其区域各站算术平均代表华北区域平均 PDSI 指数。

图 1 给出华北春、夏及年平均标准化的 Palmer 指数逐年变化曲线,图中实线是 PDSI 指数二项式滤波曲线,以其变化特征讨论华北干旱的年代际变化趋势。华北干旱的突出特点是:不仅年际变化较大,年代际变化也十分明显。1965 年以前,华北相对湿润的年份较多;60 年代中期—70 年代中后期,华北由年代际湿润阶段向干旱时段过渡,旱涝气候灾害特征不明显;大约从 1976 年开始,华北地区处于年代际干旱的状况。值得一提的是,在

年代际干旱的背景下,若叠加年际干旱的环流形势,如 1999~2000 年,会造成华北干旱气候灾害非常严重。

近 50 年来华北旱涝的另一显著特征是其持续性,这在图 2 上有较好的反映:1955 年夏季—1957 年夏季、1962 年夏季—1965 年春季以及 1973 年春季—1977 年夏季,是华北地区相对湿润的时段;1980 年夏季—1984 年夏季、1986 年初—1989 年底以及 1998 年秋季—2000 年秋季,华北地区处于干旱阶段,一般持续时间都在两年以上。

由于华北春季旱涝与夏季旱涝往往具有连续性,华北地区夏季 PDSI 指数与年平均 PDSI 指数基本一致(图 1),这说明华北夏季干旱基本反映了全年干旱的情况。我们取图 1 b 中 PDSI 指数序列中正距平超过 1 的标准差(对应表 1 中的严重湿润)和负距平超过 -1 个标准差(对应表 1 中的严重干旱)的年份分别代表华北典型湿年和典型干旱年(除去 1999 和 2000 年,这两年的干旱另文分析),得出 1968、1972、1981、1982、1992、1997 年 6 年为干旱年,1954、1956、1963、1964、1971、1990 年 6 年为湿年,据此重点分析华北夏季典型干旱年大气环流的异常特征。

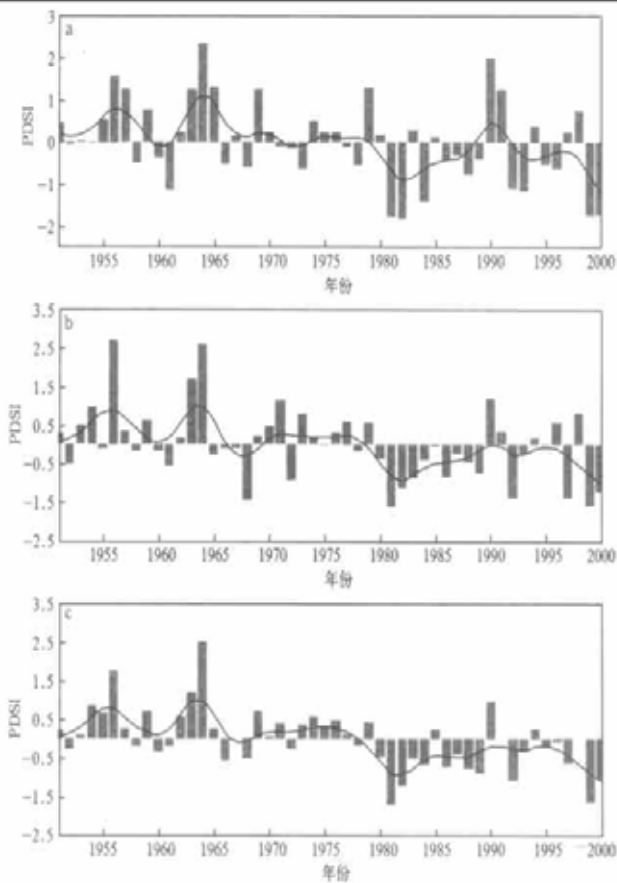


图 1 华北春(a)、夏(b)及年平均(c)标准化的 Palmer 指数(黑色框)年际变化及其二项式滤波(实线)

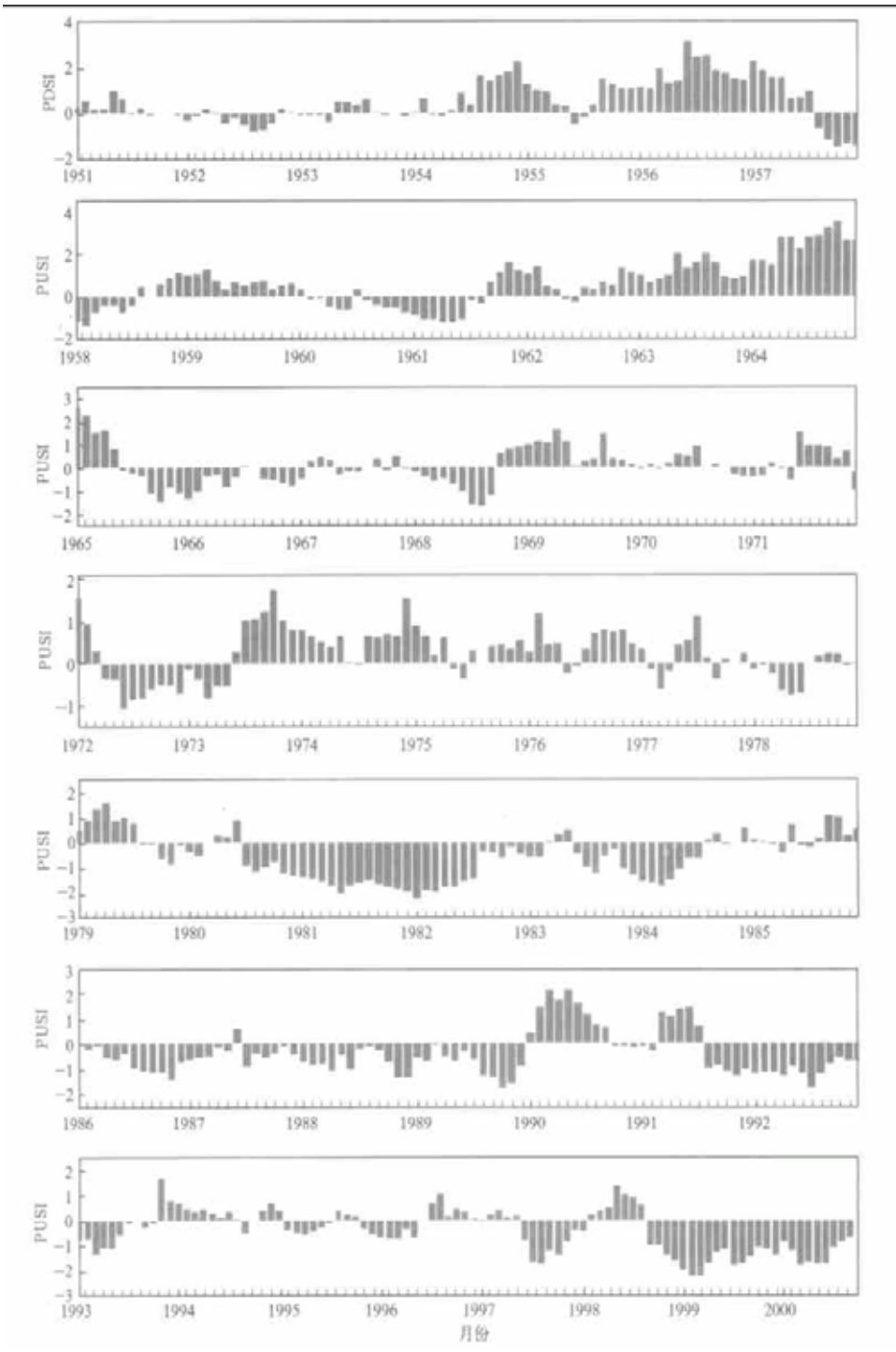


图 2 1951 年 1 月—2000 年 10 月华北区域平均标准化 PDSI 指数逐月变化图

3 华北夏季典型干旱年大气环流异常特征

大气环流异常是干旱气候灾害产生的直接原因。华北严重干旱发生时及其前期大气环流有哪些明显的异常特征呢?为了对比分析华北旱涝大气环流形势的差异,我们利用上节选取的华北典型的6个干旱年和6个湿润年,分别对其夏季7月及其前期1-4月500 hPa月平均高度距平作合成图(图3,图4)。

典型干旱年7月合成的500 hPa月平均距平场上(图3a),在 $60^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{E}$ 和 $130^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$ 附近高度距平场为负距平,反映准静止低压槽所在;与这两个负距平相邻的 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{E}$ 和 $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 为正距平,反映准静止高压脊所在。500 hPa高度距平场主要异常区位于欧亚大陆中高纬度地区,其主要中心可以通过信度95%的检验。这种高度距平场分布类似于Barnston和Livezey^[9]指出的EU2遥相关型,我们称其为夏季EU遥相关型。此外,在 55°N 以北的亚洲范围为负距平所盘踞,而在其南为正距平区。这种高度距平场分布与1999~2000年华北夏季干旱的大气环流形势基本一致。

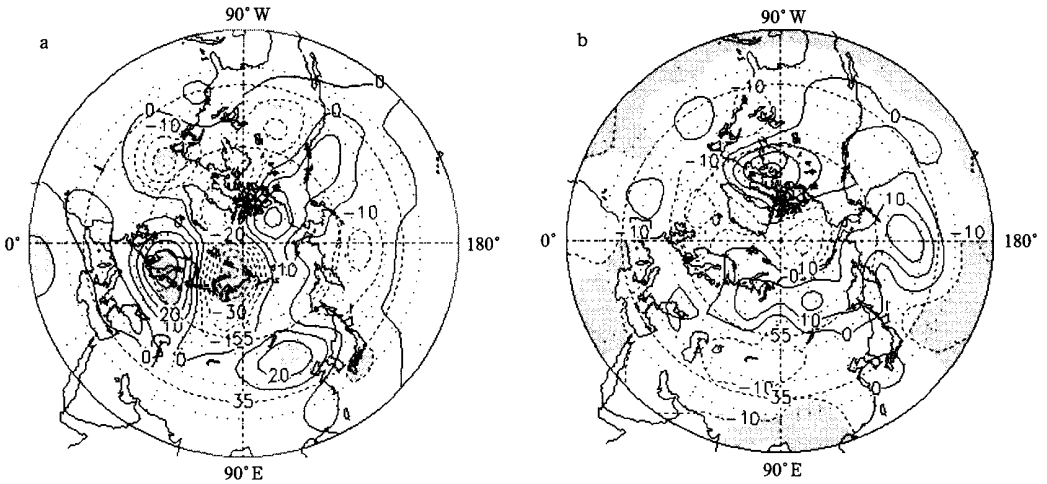


图3 华北6个干旱年(a)和6个湿年(b)7月500 hPa月平均高度距平合成图
(阴影区为通过信度95%的区域)

在典型湿年的7月(图3b),亚洲上空乌拉尔山和鄂霍次克海阻塞形势明显。从亚洲大陆到太平洋中部地区,500 hPa高度距平场基本上呈带状分布。在 55°N 以北为正距平控制区,有利亚洲阻塞高压活动,欧亚大陆中高纬度地区波列分布并不明显;而在 55°N 以南地区为负距平带,亚洲中纬度地区500 hPa高度距平场为大范围的负距平区控制,反映瞬变低压槽活跃。500 hPa高度距平场异常主要表现在低纬度地区,且500 hPa高度距平场在低纬地区变化较小。

在华北夏季典型的湿润年和典型的干旱年,对流层中部环流形势的差异并不是简单相反分布。干旱与欧亚中高纬度纬向环流异常关系紧密,而洪涝与自低纬度开始的经向环流异常相关。环流的差异还表现在中国的东部海域是副热带高压所控制,还是低压

槽控制。在华北夏季的湿润年,西太平洋副高脊线位于 35°N 附近的 $125^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$ 范围内,而在干旱年夏季,该地区为低压槽控制(图略)。

图 4 是华北夏季典型干旱年和湿润年的前期 1 月、4 月 500 hPa 高度距平合成图。在华北典型干旱年前期 1 月和 4 月,欧亚大陆中高纬度地区 EU2 遥相关型很明显,并且 EU 型准静止波列强度要比夏季强得多(图 4a、b)。Barnston 和 Livezey^[9]指出 EU 遥相关型秋冬季最明显。夏季 500 hPa 高度距平场与前期冬、春季形势相似,中国东海岸附近为低压槽盘踞,华北长期处于准静止低压槽后的反气旋控制区,这种环流形势延续了冬半年的大气环流形势。因此,我们也可说在环流形势上表现为“夏行冬令”。夏季的中、短期天气预报经验也指出,当有一个低压槽在日本附近发展、停滞时,华北地区出现干旱高温天气,这也是“夏行冬令”的表现。这种冬、春、夏环流的延续性可能是华北地区常常发生春夏连旱的原因之一。欧亚大气环流持续性异常值得深入研究。在华北夏季典型湿润的年份,1

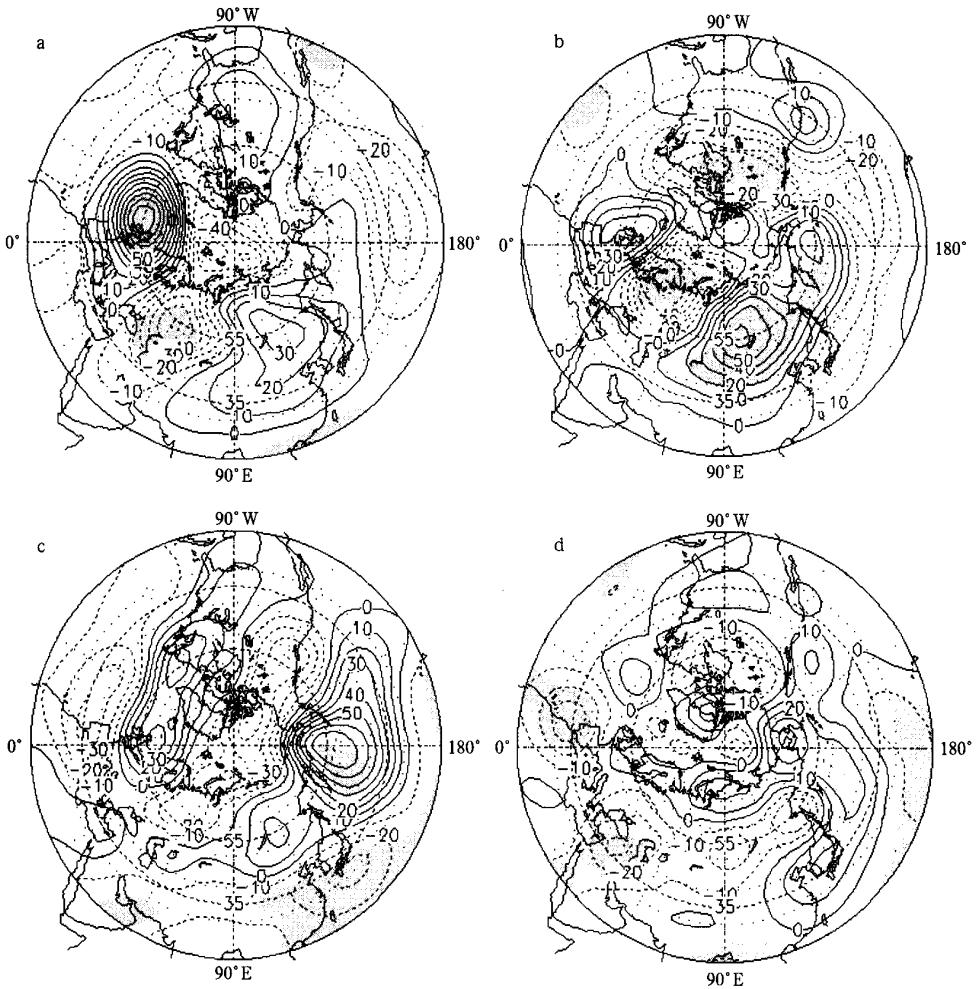


图 4 华北地区夏季典型干旱年(a、b)和湿润年(c、d)的前期 500 hPa 高度距平合成图

(a) 干旱年前期 1 月,(b) 干旱年前期 4 月,(c) 湿润年前期 1 月,(d) 湿润年前期 4 月(其它说明同图 3)

月 500 hPa 高度距平场的突出特征是 PNA 型遥相关,而 4 月环流的遥相关特征并不明显,与 7 月 500 hPa 高度距平场分布有相似之处(图 4c、d)。

4 华北夏季严重干旱大气环流异常分布型

我们用 SVD 方法和回归型诊断方法,将 1951~1999 年 7 月中国 160 站月平均 PDSI 指数与同期北半球 30°N 以北,0°~180° 500 hPa 高度场进行 SVD 分析。500 hPa 高度场选择北半球 30°N 以北的范围是为了突出中高纬度环流特征与我国旱涝的关系。

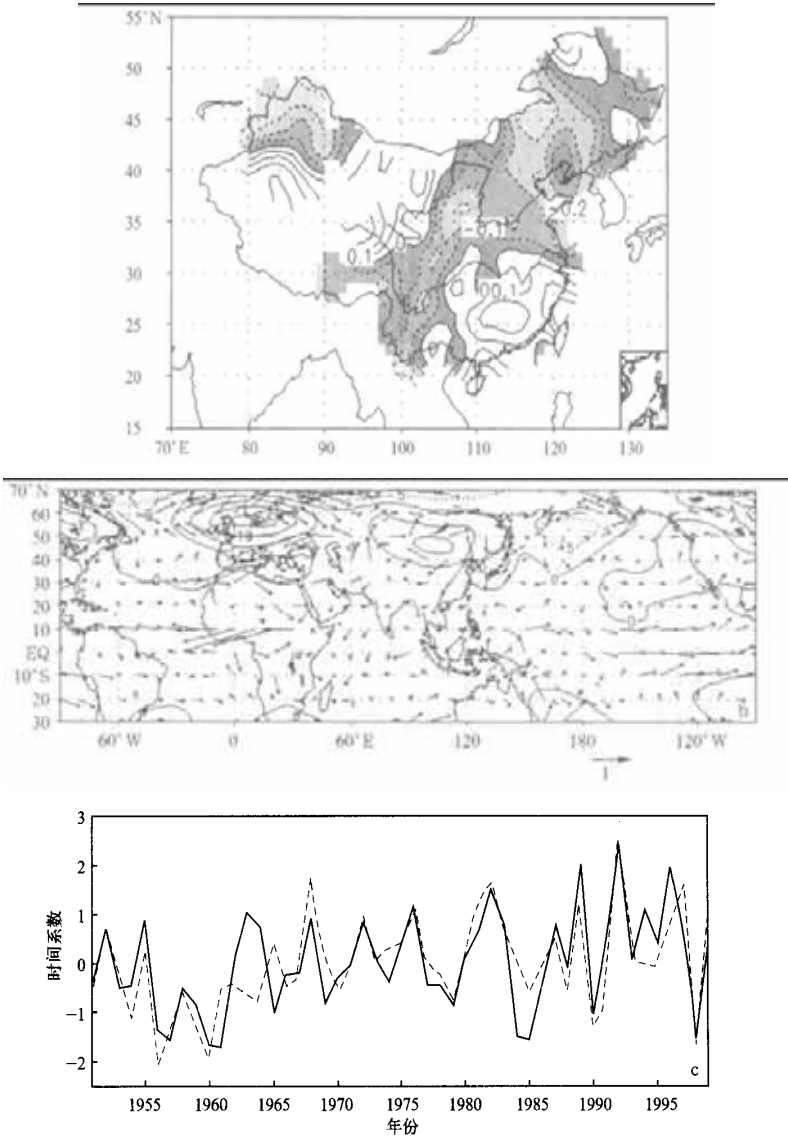


图 5 (a) PDSI 指数第一模态空间分布,(b) PDSI 时间系数求出的 500 hPa 高度场第一回归模态,(c) 第一时间系数 (实线:高度场序列,虚线:PDSI 指数序列)

图 5a 是 PDSI 指数第一模态(占总方差的 30.6%),其最显著的特征是表现在华北和东北地区的干旱特征,也说明华北夏季干旱灾害与北半球中高纬度环流有密切关系。为了将大气环流异常扩展到南半球,利用 SVD 分析所得的 500 hPa 高度场第一时间系数,求出 30°S 以北, $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内的 500 hPa 高度距平场、850 hPa 风距平场的回归型,分析华北夏季严重干旱发生与维持时期大气环流异常分布型(图 5 b)。可以清楚地看出,在华北夏季发生严重干旱的年份,其 500 hPa 高度距平场的特征是:华北大部分地区为高度正距平分布,乌拉尔山地区是高度场的负距平区,斯堪的纳维亚半岛是正距平区,东亚沿岸为负距平区,西北太平洋副热带高压较常年偏南,欧亚大陆中高纬度地区 500hPa 高度距平场呈准静止 Rossby 长定波波列分布;第二个环流异常特征是:在 $70^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$ 的亚洲范围内, 60°N 以北为负距平带,而在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}\text{N}$ 为正距平中心。说明在典型干旱年,高频瞬变扰动带主要出现在 $40^{\circ} \sim 65^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ} \sim 130^{\circ}\text{E}$ 的纬度带内,亚洲上空的鄂霍次克海阻塞形势和乌拉尔山阻塞形势一般不易出现。当 $35^{\circ} \sim 48^{\circ}\text{N}$ 纬度带为正高度距平时,这表示亚洲中纬度地区反气旋活动频繁。华北典型干旱年夏季盘踞在中纬度的高气压系统既非阻塞高压也非副热带高压,严重干旱正是出现在贝加尔湖以南浅高压脊(高度正距平区)的附近和高压脊的下游,在这里对流层中、上部空气下沉运动甚强,并引起对流层中部绝热增温,静力稳定度加大(出现逆温层盖子)抑制云层发展。同时,850 hPa 风距平场的基本特征为:华北大部分地区受反气旋环流、偏北风距平控制,使得正常年份的夏季 7 月最盛的夏季风不能达到华北地区,来自南海的丰沛的水汽输送比正常年份弱得多。而北非 SAHEL 地区亦处于反气旋环流控制区,越赤道气流弱,赤道东太平洋偏西风盛行。SVD 分析第一模态 PDSI 与 500 hPa 高度距平场,其时间系数基本上——对应,其峰与谷值分别对应着华北夏季典型干旱年与湿润年。值得注意的是,第一时间系数(图 5 c)的年代际变化比较明显,在 70 年代中后期,华北干旱年的 EU 型波列分布占优势。

5 EU 型遥相关对华北夏季严重干旱气候灾害的影响

从上节的分析可以看出,华北严重干旱气候灾害大气环流异常最突出特征是欧亚大陆受 EU 遥相关型环流的控制。图 6 是典型干旱年 7 月 $37.5^{\circ} \sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 范围内位势高度距平气压-经度剖面图。可以看出,夏季欧亚大陆准静止 Rossby 波列分布在对流层上层(200~300 hPa)十分明显。这也说明华北夏季出现严重干旱的年份,夏季欧亚大陆准静止 Rossby 波列分布表现得十分清楚。

过去人们认为遥相关型在冬季显著,在夏季不明显^[9~10]。Barnston 和 Livezey 所用的资料截止到 1984 年,而华北自 80 年代以来干旱气候灾害愈加显著。李金龙等人^[11]在对北半球夏季环流持续性异常及其发展特征的研究中指出,北半球夏季环流持续性异常具有遥相关结构,它们在相当程度上同冬季遥相关型相似,存在 EU 遥相关型。所以,有必要用更新的资料对夏季 500 hPa 高度场进行分析。

我们将 1951~2000 年 7 月北半球 30°N 以北 500 hPa 高度距平场进行经验正交函数展开。第一模态(图 7a,占总方差的 30.6%) 在亚洲的空间分布特征与 Barnston 和 Livezey 分析的亚洲夏季遥相关型类似,亚洲大陆在 45°N 以北距平场上表现为正距平;而

在 45°N 以南地区为负距平带。第一模态对应的时间系数年际变化较大(图 7b)。

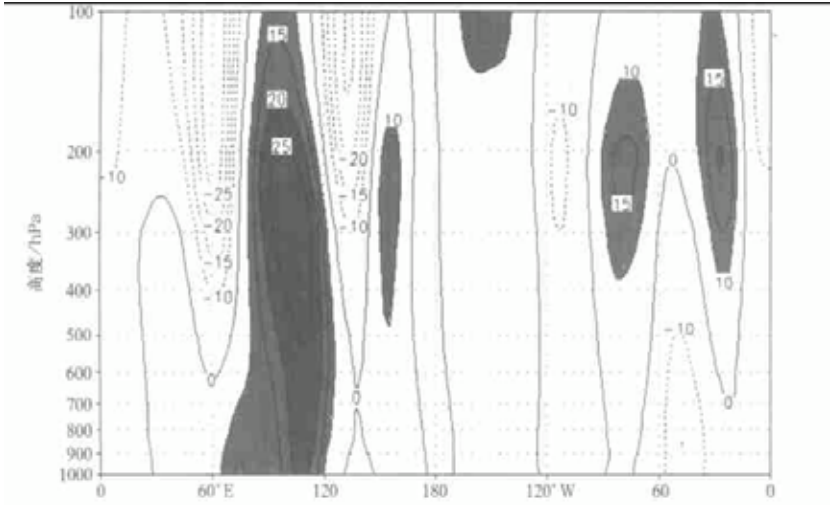


图 6 典型干年 7 月 37.5° ~ 42.5° N 范围内位势高度距平气压-经度剖面图

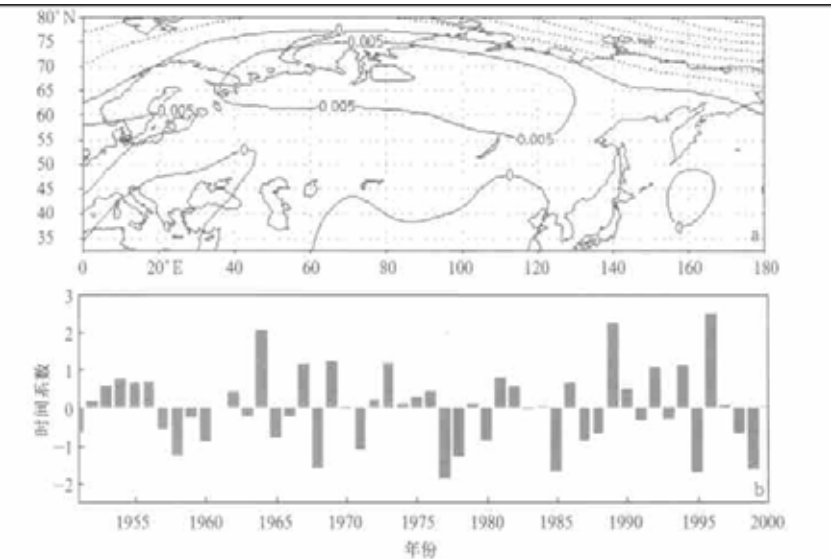


图 7 北半球 7 月 500 hPa 高度距平场 EOF 分解第一模态的空间分布(a)及对应的时间系数(b)

第二模态的空间分布(图 8a),其解释方差为 12.2%,表现为典型的 EU 分布型,其时间系数的谷值(表示夏季 EU 遥相关型出现的年份)与华北地区夏季严重干旱年份对应较好;但时间系数的峰值,即夏季出现与 EU 遥相关型波列相反年份,与华北地区夏季严重洪涝年份对应不好,这进一步说明虽然从降水这个气象要素来看,干旱与洪涝是相反的气象现象,但它们环流异常的特征并不是完全相反的,产生洪涝的大气环流更为复杂。第二模态时间系数不仅年际变化较大,而且,在 70 年代中期前后也呈现出相反的年代际变

化趋势(图 8b)。

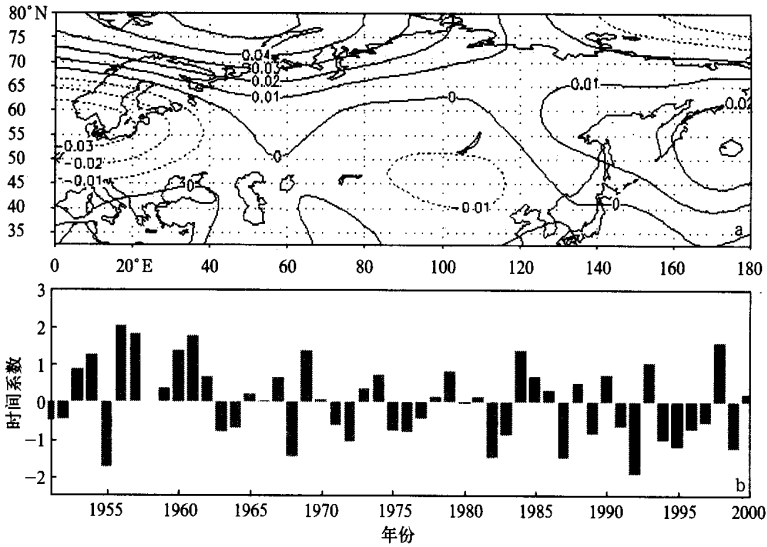


图 8 北半球 7 月 500 hPa 高度距平场 EOF 分解第二模态的空间分布(a)及对应的时间系数(b)

陶诗言、徐淑英^[12]早在 1962 年总结夏季江淮流域持久性干旱的环流特征时指出:在夏季江淮流域出现持久性干旱时,中高纬度高度场都表现为一定的流型,而且环流形式具有相当的稳定性,只是当时没有从遥相关的观点去分析。Namias^[13]指出,在夏季,当美国中部大平原出现持续性干旱时,在干旱区上空出现一个高空反气旋,同时在中太平洋也出现一个高空反气旋,而在美国西海岸以及东海岸出现高空低压槽。这种高空高低压系统与华北典型干旱年欧亚上空的分布很类似。刘家铭等人^[14]根据 44 年的美国夏季月平均降水、NCPE 再分析 850 hPa 风、500 hPa 位势高度资料进行 SVD 分析发现:美国夏季旱涝气候灾害与两类气候遥相关型有关联,而且,这两类遥相关型与亚洲夏季风的年际变异有关。Park Chung-Kyu 等人^[15]对日本、韩国 1994 年夏季干旱成因进行了分析,结果也发现,欧洲大陆北部准静止波列的维持与发展与其下游东亚反气旋的异常发展有关联。看来夏季不论在亚欧大陆或太平洋—北美大陆,均存在遥相关型,并且这种遥相关型与美国和东亚地区夏季旱涝气候灾害有密切关系。

通过比较 7 月 PDSI 指数与北半球 500 hPa 高度场 SVD 分析的第一回归模态和北半球 7 月 500 hPa 高度距平场 EOF 分析的第二模态分布特征,我们也发现两者的分布基本一致,这也说明夏季 EU 遥相关型存在,并且是产生华北地区夏季严重干旱灾害的一种主要的大气环流型式。

关于夏季欧亚环流 EU 遥相关型产生与维持的物理机制目前还不清楚。海洋温度异常对大气环流和气候有非常大的影响。Wallace 和 Jiang^[16]分析了北大西洋和北太平洋海表温度变化与大气环流异常的关系,发现大气遥相关型在大西洋和太平洋副热带地区与海温异常的最大特征向量密切相关。李金龙等人^[11]指出,扰动在东北太平洋和北大西洋增强很快。瞬变扰动对平均流的加强作用使得欧亚大陆 EU 型遥相关波列易于产生

与维持。这个问题我们将在以后的工作中进一步研究。

6 结 论

通过华北地区近 20 年来干旱状况的分析及其大气环流异常特征分析,主要结论如下:

(1) 华北地区旱涝的持续性非常强,持续时间一般都在两年以上,并且,华北地区干旱年际变化大,而且年代际变化明显。在 70 年代中期以前,华北地区降水处于偏多阶段,而严重干旱年主要发生在 70 年代以后,且干旱强度有所增加。

(2) 华北夏季典型干旱年大气环流异常特征表现为:500 hPa 高度距平场上,在 $55^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 南北两侧距平场分布相反;并且在咸海和大陆东海岸为负距平,在这两个负距平之间为正距平,夏季 EU 遥相关型是存在的,并且是产生华北地区夏季干旱灾害的一种主要的大气环流分布型。

(3) 华北地区夏季出现干旱的年份,从冬到夏 500 hPa 高度距平场 EU 遥相关型分布具有连续性。

(4) 华北地区干旱灾害大气环流异常特征并不仅在局地有所表现,它是北半球大气环流异常在东亚地区的天气气候反应。

致谢:中国气象科学研究院安顺清研究员对修正的 Palmer 干旱指数的计算多次提出了宝贵意见,谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势.高原气象,1999,18(4):465~475.
- 2 张庆云.1880年以来华北降水及水资源的变化.高原气象,1999,18(4):486~495.
- 3 叶笃正,黄荣辉,等.长江黄河流域旱涝规律和成因研究.山东:山东科学技术出版社,1996.
- 4 魏凤英,曹鸿兴.华北干旱异常的地域特征.应用气象学报,1998,9(2):205~217.
- 5 叶笃正,黄荣辉主编.旱涝气候研究进展.北京:气象出版社,1990.
- 6 严中伟.华北降水年代际振荡及其与全球温度变化的联系.应用气象学报,1999,10(增刊):16~22.
- 7 安顺清,邢久星.帕尔默旱度模式的修正.气象科学研究院院刊,1986,1(1):75~82.
- 8 Palmer W C. Meteorological Drought. U.S Weather Bureau. Res. Pap., 1965,(45):1~58.
- 9 Barnston A G, Livezey R E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation pattern. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**: 1083~1126.
- 10 Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **112**: 2135~2147.
- 11 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.
- 12 陶诗言,徐淑英.夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征.气象学报,1962,32:1~10.
- 13 Jerome Namias. Some cause of United States drought. *Journal of Climate and Applied Meteor.* 1983,22:30~39.
- 14 Lau K M, Kim K M, Yang S. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian summer monsoon. *J. Climate*, 2000, **13**:2461~2481.
- 15 Chung Kyu Park, Schubert S D. On the nature of the 1994 east Asian summer drought. *J. Climate*, 1997, **10**:1056~

1069 .

- 16 Wallace J M, Jing Q R. On the observed structure of the interannual variability of the atmosphere/ocean climate system. Cattle H, Ed. Atmosphere and ocean variability. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1987, **12**:17 ~ 43 .

CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ANOMALIES DURING PERSISTENT DROUGHTS IN NORTH CHINA FOR LAST TWO DECADES

Wei Jie Zhang Qingyun Tao Shiyan

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

Abstract

The persistent droughts during the last two decades in North China are studied. The main results are as follows: (1) The Palmer Drought Severity Index (PDSI) shows that there is inter-annual variation in droughts in North China. The inter-decadal variation is even more remarkable. Before the mid-1970s, there was wet summer climate, while since 1970, there were more drought years in North China. Moreover, the most severe droughts happened after the 1980s. (2) Summer droughts in North China are the consequence of persistent anomalous circulation over the Eurasia. The main features of the anomalous circulation include that there is height anomaly in the region of 55° to 65° N, 60° to 135° E and that there was EU teleconnection and it is the main type of atmospheric circulation anomalies that causes the persistent summer droughts in North China. (3) During the summer drought years, there is continuity in the distribution of the 500 hPa height anomaly field from winter to summer. (4) The anomalies of the general atmospheric circulation during droughts in North China are not local phenomena, but the responses to the Northern Hemisphere general atmospheric circulation anomaly.

Key words: North China Summer drought Atmospheric circulation anomalies EU teleconnection