

山西省夏季旱涝的大气环流异常特征

王智娟^{1,3} 周顺武² 杨双艳² 史海平³ 李义石³

(1. 北京大学物理学院,北京 100871; 2. 南京信息工程大学大气科学学院;
3. 山西省临汾市气象局)

提 要: 利用山西省 61 个台站 44 年(1961—2004 年)夏季降水资料和 NCAR/NCEP 再分析资料,对山西省夏季旱涝的大气环流异常特征进行了合成分析。结果表明:旱(涝)年春、夏季欧亚中高纬度地区 500hPa 位势高度距平场呈现出“正(负)一负(正)一正(负)”的分布特征,中高纬度地区以纬(经)向环流为主,冷空气活动明显偏弱(强),与此同时在我国东部地区对流层低层表现出明显的偏北(南)风距平,不(有)利于南方暖湿水汽向北的输送。

关键词: 旱涝 大气环流 合成分析

Anomalous Characteristics of General Circulation in Drought/Flood Years of Shanxi Province

Wang Zhijuan^{1,3} Zhou Shunwu² Yang Shuangyan² Shi Haiping³ Li Yishi³

(1. School of Physics at Peking University, Beijing 100871; 2. School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology; 3. Shanxi Province Linfen Meteorological Office)

Abstract: By using the 44a (1961—2004) monthly precipitation data at 61 meteorological stations in Shanxi Province and NCAR/NCEP reanalysis data, the unusual characteristics of general circulation in drought and flood years of Shanxi are investigated. The results show that in the year of drought (flood), a positive (negative)-negative (positive)-positive (negative) distribution of the 500hPa geo-potential height anomaly is presented in the mid- high latitudes over Europe and Asia in spring and summer. In the area of mid- high latitudes, a zonal circulation (meridional circulation) is displayed primarily, and evidently weaker (stronger) activity of the cold air is also displayed. At the same time a distinctly northerly (southerly) wind anomaly is presented in the wind field of 850hPa over eastern area of China.

Key Words: drought and flood general circulation composite analysis

资助项目:“中国气候系统的协同观测与预测研究”项目(批准号:GYHY200706005)和江苏省气象灾害重点实验室基金项目(编号:KJS 0304)联合资助

收稿日期:2008年7月7日; 修定稿日期:2008年7月29日

引言

山西省位于华北平原西部、黄土高原东部,境内地势大致为北高南低,除中南部的盆地和谷地海拔较低外,大部分地区的海拔都在1000m以上,故又称山西高原。与同纬度的华北平原相比,因其地势较高,气温偏低,且又因东被太行山,西被吕梁山、南被中条山、北被恒山环绕,故受海洋影响减少,降水量比周邻省份都小^[1-2]。山西省地处内陆,属温带大陆性季风气候,冬冷夏热,雨热同季。山西省也是全国水资源最缺的省份之一,一方面降水量少,另一方面降水集中在夏季,且多以暴雨形式出现,给农业等各方面带来严重危害^[2-3]。

许多学者已对我国北方地区,尤其是华北地区的旱涝规律及其成因进行了大量的研究^[4-16],得到了许多研究成果。但旱涝发生具有明显的区域性特点,特殊的地域、地形和地貌使山西省旱涝具有不同于其它地区的特点^[17-18],目前对于山西本地旱涝异常成因的分析还很少,本文依据山西省61个台站月平均降水资料,对山西省夏季发生旱涝时的前期和同期大气环流异常特征进行分析,这对认识该地区旱涝异常成因,为短期气候预测提供理论依据有重要意义。

1 资料与分析方法

根据山西省气象信息中心提供的该省109个台站自建站以来至2004年的月平均降水资料,考虑到资料的年限,选取自1961年以来有观测记录的61个台站共44年(1961—2004年)的夏季(6—8月)降水资料。

对山西省夏季旱涝年前期(3—5月)和同期(6—8月)位势高度和风场分别进行合成分析,并用涝年减去旱年得到合成差值场,

信度检验采用了 t 分布检验。

文中使用的位势高度场和风场资料来自美国NOAA气候诊断中心提供的NCEP/NCAR月平均再分析资料^[19]。

2 山西省夏季降水的空间分布型及其旱涝年的确定

为了揭示山西省夏季降水的时空分布特征,首先对标准化的夏季降水量序列进行EOF分解,图1为EOF分解的前3个特征场的空间分布,由图可知,第1特征场的特征值在全省均为正值(图1a),大值区集中在晋中地区,其方差贡献占总方差的48.51%,表明山西省夏季降水具有旱涝同步变化的特征,这明显是受大尺度天气系统的影响。

第2特征场的方差贡献为14.94%,其特征场的零线位置大致在 37°N 附近,表现为南正北负的空间分布特征(图1b),这反映了山西省夏季降水也存在着南北反位相变化,表明山西省夏季降水既受到北方天气系统的影响,又受到南方天气系统的影响。

第3特征场由南到北呈现出“正—负—正”的分布特征(图1c),即晋中地区的夏季降水与南部和北部存在着一定的反相变化关系,该特征场的方差贡献占总方差的6.85%,反映了各地夏季降水的局地性特征,这可能与地形、地貌有关。

前3个特征场累计方差贡献超过了70%,表明山西省夏季降水具有很好的收敛性,尤其是第1特征场的方差贡献几乎占到总方差的一半,说明山西省夏季降水EOF分解的第1特征场能较好地揭示全省夏季降水。图2a为EOF分解的第1特征场的时间序列及全省夏季降水量距平序列的年际变化,图中两序列的逐年演变几乎完全一致。对降水量距平序列进行功率谱分析后(图略),发现山西省夏季降水存在着2~4年和

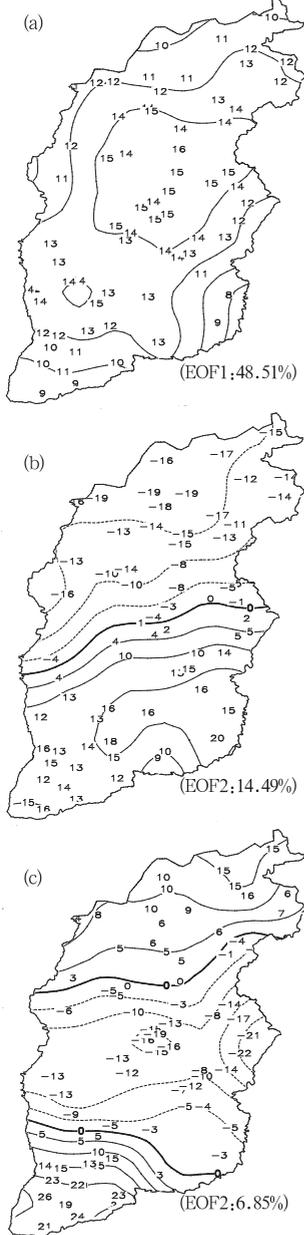


图 1 山西省夏季降水量 OF 分解的第 1(a)、第 2(b)和 第 3(c)特征场空间分布 (图中数值放大了 100 倍)

8 年左右的周期变化。此外还可以看出,近 44 年来全省夏季降水呈明显的下降趋势,大约每 10 年减少了 9.5mm。

为了进行合成分析,选用能客观反映旱

涝等级的 Z 指数来表示山西省夏季旱涝程度,表 1 为依据 Z 指数确定的旱涝等级标准^[20],选取达到大涝(旱)以上等级的年份作为山西省涝(旱)年。

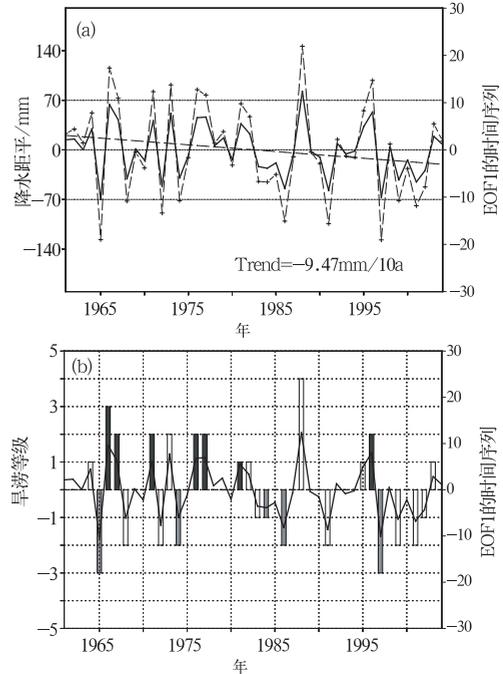


图 2 山西省夏季降水 EOF 分解第 1 特征场的时间序列(实线,右坐标)与山西省夏季降水量距平序列(虚线,左坐标)(a) 以及与以 Z 指数为指标的山西省夏季旱涝等级(b)的际年变化 (图 a 中虚直线为线性趋势线,点直线表示降水距平等于±70mm,图 b 中柱状表示旱涝等级(左坐标),其中深(浅)色实心柱分别为夏季风北边缘偏北(南)年^[21])

表 1 以 Z 指数为指标的旱涝等级划分

等级	Z 值	旱涝类型
4	$Z \geq 2.000$	重涝
3	$1.645 < Z < 2.000$	大涝
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	涝
1	$0.542 < Z \leq 1.037$	偏涝
0	$-0.542 \leq Z \leq 0.542$	正常
-1	$-1.037 \leq Z < -0.542$	偏旱
-2	$-1.645 \leq Z < -1.037$	旱
-3	$-2.000 < Z < -1.645$	大旱
-4	$Z \leq -2.000$	重旱

表 2 给出了依据 Z 指数确定的 8 个涝年和 8 个旱年,其中涝(旱)年平均降水距平百分率为 34.03(-34.12),这与依据降水 EOF

分解第 1 个特征场的时间序列绝对值大小定义的涝旱年是一致的(图 2b)。

表 2 山西省夏季旱涝年统计

洪涝年	1966	1967	1971	1973	1976	1977	1988	1996	平均
距平百分率(%)	40.94	25.81	29.11	32.47	30.09	27.39	51.78	34.69	34.03
旱涝等级	3	2	2	2	2	2	4	2	/
干旱年	1965	1968	1972	1986	1991	1997	1999	2001	平均
距平百分率(%)	-44.91	-25.63	-31.56	-35.62	-36.91	-45.01	-25.39	-27.94	-34.12
旱涝等级	-3	-2	-2	-2	-2	-3	-2	-2	/

3 合成分析结果

3.1 旱涝年 500hPa 位势高度的差异

对上述旱涝年前期位势高度场进行合成分析,图 3a 为涝年春季 500hPa 高度场合成距平图,由图可见,乌拉尔山脉(以下简称乌山)和贝加尔湖(以下简称贝湖)上空分别为异常的正距平区和异常的负距平区,表明涝年春季乌山高压脊和贝湖低压槽均较常年明显,欧亚中高纬地区经向环流加强。此外,在黄河以南的我国东部地区和欧洲南部分别为较弱的正距平区和负距平区。

在旱年春季 500hPa 高度场合成距平图(图 3b)中,各距平区的符号与涝年基本相反,欧亚中高纬地区 80°E 以西(东)为大片的负(正)距平,表明旱年春季欧亚中高纬地区环流较平直。

分析涝年减旱年春季 500hPa 高度场差值图(图 3c),可以清楚地看出,从里海经乌山至贝湖高度场距平呈现出“负-正-负”的分布特征,这种距平场分布意味着涝(旱)年春季乌山高压脊增强(减弱)和贝湖高空槽加深(变浅)。

环流异常是引起降水异常的直接原因,分析山西省涝年夏季 500hPa 高度距平合成图(图 4a),由图可见,与涝年春季 500hPa 高

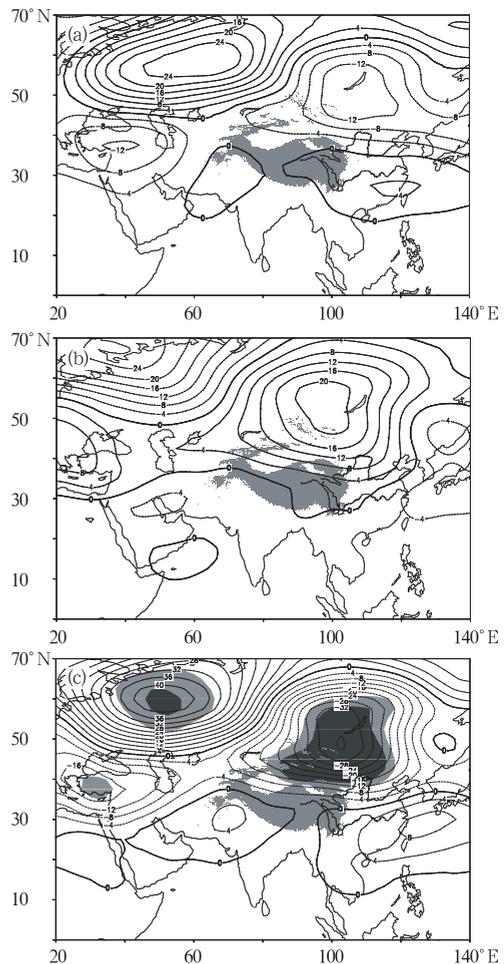


图 3 涝年(a)和旱年(b)春季 500hPa 位势高度合成距平图及涝年减去旱年合成差值图(c)(图 c 中浅(深)色阴影区分别表示通过 0.10(0.05) 的信度检验,单位:位势米)

度场距平合成图(图 3a)相似,乌山附近上空为明显的正距平,在其东西两侧的里海和贝湖上空为负距平,此距平分布表明涝年夏季欧亚中高纬地区以经向环流为主,北半球中高纬度冷空气活动频繁,山西省位于贝湖至蒙古的低压槽前,有利于降水偏多。

分析早年夏季 500hPa 高度合成距平图(图 4b),其距平场分布与涝年几乎完全相反,从欧洲大陆到东亚上空的高度场上呈现出“正—负—正”的距平分布,表明早年夏季中高纬地区以纬向环流为主,中高纬度冷空气活动偏弱,同时东亚大槽较弱,华北地区处在高压脊区,导致降水偏少。

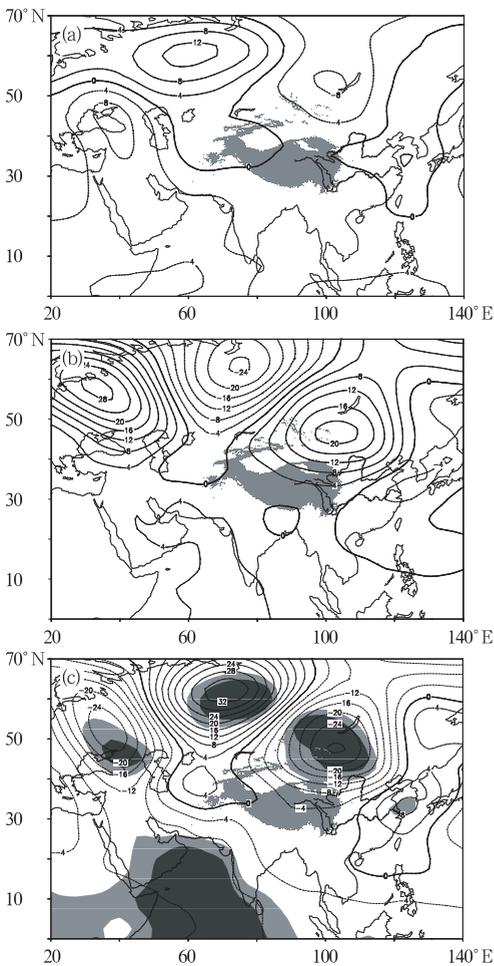


图 4 8 个涝年(a)和 8 个早年(b)夏季 500hPa 位势高度合成距平及涝年减去早年合成差值图(c)
(说明同图 3)

在涝年减早年夏季 500hPa 高度场差值图(图 4c)上,欧亚大陆(30~120°E)上空高度距平场呈现出“负—正—负”的分布特征,这使得涝年夏季乌山高压脊发展,贝湖高空槽变深,经向环流表现突出。结合图 3c 的分析可知,欧亚中高纬大气环流异常,尤其是乌山附近、贝湖附近高度场的变化对山西省夏季降水有很大的影响,而且这种影响并未随季节而改变,显示出较高的稳定性,只是由春到夏正负距平的中心位置略有东移。

张庆云等^[13]分析了华北地区典型干旱年的大气环流特征后认为:干旱年的夏季 500hPa 高度距平场上,欧亚中高纬地区出现 EU 遥相关型的距平波列,华北大部分地区受高压中心控制。范广洲等^[14]对比分析了华北地区夏季水量丰、枯年气候特征差异后也指出,华北地区干旱(丰雨)年,北半球中高纬度槽脊发展较弱(强),冷空气活动较弱(频繁),北半球大气环流指数为低(高)指数。

3.2 旱涝年 850hPa 风场差异

对比山西省涝年和早年春季 850hPa 风场合成距平图(图略)可知,与 500hPa 高度合成距平场相对应(图 3a 和图 3b),涝(旱)年春季乌山和贝湖上空分别为反气旋式(气旋式)和气旋式(反气旋式)距平环流,北半球中高纬地区无(有)明显的冷空气影响华北地区。

分析山西省旱涝年夏季对流层低层流场后,发现旱涝年的流场也存在着明显的差异:在涝年夏季 850hPa 风场距平图(图 5a)中,乌山上空为反气旋式距平环流,贝湖地区为气旋式距平环流。同时可见,在我国东南沿海和日本海上空分别为反气旋性和气旋性距平环流,沿此反气旋东侧有偏南气流向北输送暖湿空气,而在此气旋西北部有冷空气南下进入华北地区,很明显受南北两支气流共同影响,有利于山西省夏季降水偏多。

由早年 850hPa 风场距平图(图 5b)可见,从欧洲大陆经乌山到贝湖以南的蒙古上空呈现为反气旋、气旋和反气旋式距平环流,受蒙古反气旋环流的影响,我国东部地区上空出现了明显的偏北风距平,该偏北气流向南一直流中南半岛,显然阻碍了南方暖湿水汽向北的输送,导致山西省夏季降水偏少。

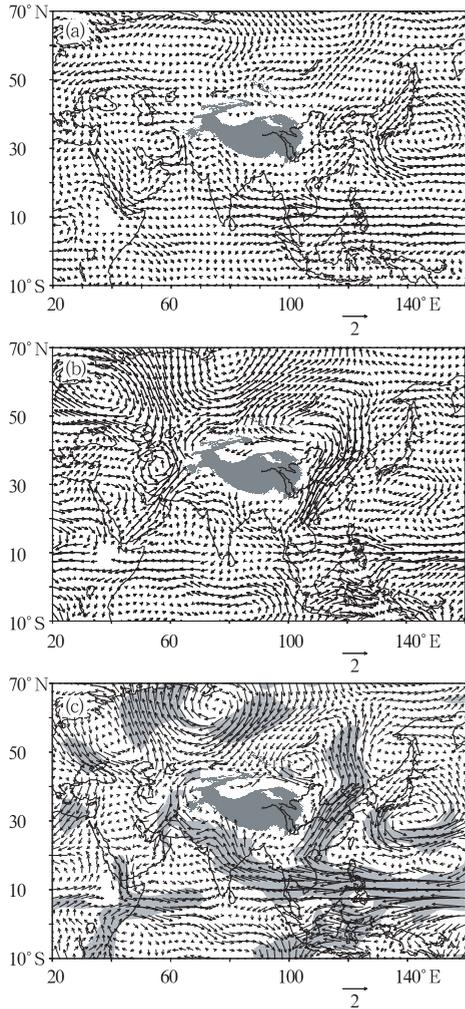


图5 8个涝年(a)和8个早年(b)夏季850hPa风场合成距平及涝年减去早年合成差值图(c) 图c中阴影区表示通过0.05的信度检验,单位: $m \cdot s^{-1}$)

为了更加清楚地显示旱涝年夏季风场的差异,图5c给出了涝年减早年夏季850hPa风场差值图,与夏季500hPa高度差值图(图

4c)上欧亚中高纬地区高度场呈现出的“负—正—负”的距平分布相对应,从欧亚(30~120°E)中高纬地区(40~70°N)上空分别为“气旋—反气旋—气旋”距平环流,同时我国东部地区表现为强劲的偏南风,持续出现的偏南风,有利于水汽向北方输送,夏季风偏北,从而造成夏季风偏强,早年反之。

张庆云等^[13]认为导致华北降水减少的主要原因是850hPa风矢量距平场在中国东部110~120°E范围内偏南气流比气候平均态偏弱,使得能够到达华北地区的水汽减少。柳艳香等^[16]也指出华北干旱年中蒙地区气压场偏高,其东部的偏北气流阻止了南来的水汽向北的输送,进而减弱了东亚夏季风,使华北地区降水减少。

最近汤绪等^[20]根据标准化降水量指数和可降水量极值差定义了夏季风北边缘,在他们给定的1961—2000年期间出现的8个夏季风北边缘偏北年中,山西省有6年夏季为大洪年,1年(1981)为轻涝年(见图2b);而同时期的9个夏季风北边缘偏南年中,山西省夏季降水有4年(1965, 1974, 1986和1997)为大旱,1年(1984)为轻旱年,其余4年为正常(见图2b)。由此可见,夏季风爆发强弱及其夏季风的北边缘与山西夏季旱涝事件有密切联系。

4 小结与讨论

通过对山西省夏季旱涝年前期和同期位势高度场和风场的合成分析,讨论了大尺度环流异常与山西省夏季旱涝的关系。初步得到以下结论:

(1) 欧亚中高纬位势高度异常直接影响着山西省夏季降水的异常,涝年春、夏季500hPa位势高度在乌山和贝湖附近上空分别为异常正距平和异常负距平,中高纬地区以经向环流为主,山西省位于蒙古低压槽前;

旱年春、夏季欧亚中高纬地区位势高度在乌山和贝湖上空呈相反的距平分布,且中高纬地区以纬向环流为主,华北地区处在蒙古高压脊区。

(2) 旱涝年春、夏季 850hPa 风场在也存在明显的差异,涝年在我国东部地区出现了南风距平,有利于南方暖湿水汽向华北输送;旱年在我国东部地区表现为异常的北风距平,阻断了暖湿水汽向华北的输送。

以上分析表明,欧亚中高纬地区环流(特别是乌山和贝湖附近高度距平的变化)以及我国东部地区经向风的异常是直接影响山西省夏季降水的重要环流因子。并且这种关系在前期和同期均比较稳定,因此可将其视为

山西省夏季旱涝预测的一个主要强信号。

以上结论取决于旱涝年的选取,为此,对文中给出的 44 年期间山西省出现的 8 个偏涝年和 8 个偏旱年与其他一些文献中定义的华北地区夏季多雨年和少雨年进行比较。在山西省夏季 8 个洪涝年中(表 3),整个华北地区只有 3 年(1971、1973、1996)为大涝年,特别是在 1988 年,山西省出现了近 44 年中最严重的一次洪涝(表 2),但在其他文献中该年华北地区夏季降水均为正常;而多数文献确定的 1964 和 1994 年为华北多雨年,这 2 年山西省夏季降水分别为轻涝和正常(图 2b)。由此可见,山西省夏季发生洪涝的环流背景与华北地区多雨年的环流背景不同。

表 3 不同标准定义的涝年之比较

不同标准定义		洪涝年份							
文中定义		1966	1967	1971	1973	1976	1977	1988	1996
孙淑清 ^[5] 定义	1961	1964		1971	1973				1994 /
于润玲等 ^[6] 定义	1963	1964		1971	1973				1996
马京津等 ^[7] 定义	1963	1964		1971	1973				1996
孙燕等 ^[8] 定义	1961	1964		1971	1973				1994

注:表中当年为 La Nina 年的年份^[22]以斜黑体表示。

在山西省夏季 8 个干旱年中(表 4),有 7 年也是多数文献中确定的华北地区少雨年,仅 2001 年不同,也是因受到资料年限的限

制。因此可以认为,山西省夏季干旱的发生是在整个华北地区干旱背景下产生的。

表 4 不同标准定义的旱年之比较

不同标准定义		干旱年份									
文中定义	1965	1968	1972			1986	1991	1997	1999	2001	
孙淑清 ^[5] 定义	1965	1968	1972	1980	1983	1986	1989	1991	1992	/ / /	
于润玲等 ^[6] 定义	1965	1968	1972		1983	1986		1991	1997	/ / /	
马京津等 ^[7] 定义		1968		1980	1982				1997	1999	/
孙燕等 ^[8] 定义	1965	1968	1972	1980	1983	1986		1991		1999	/

注:表中当年为 El Nino 年的年份^[22]以斜黑体表示。

综上所述,山西省夏季旱涝的环流异常型既有与整个华北夏季旱涝年典型的环流型存在着相同之处,也有其特殊性,这反映了山西省夏季降水的特殊性和局地复杂性。事实上,影响山西省夏季旱涝的因素是多方面的,

例如在上述山西省 8 个洪涝(干旱)年中各有 5(6)年处于在 ENSO 的冷(暖)位相发展期间^[22](表 3、表 4),大量研究和观测事实表明,ENSO 事件对我国华北夏季降水存在明显的影响^[6, 9, 23-24]。

以上通过合成分析侧重于对大尺度环流异常的特征进行分析,至于其他因子对山西省夏季降水的影响,仍有待于今后进一步深入研究。

参考文献

- [1] 钱林清,郑炎谋. 山西气象[M]. 北京:气象出版社,1991.
- [2] 张怀德,刘荣,郑定英,等. 东亚季风进退对山西降水的影响[J]. 山西气象,2000,52(3):21-25.
- [3] 杨致强,姚昆中. 山西省暴雨洪水规律研究[M]. 太原:山西人民出版社,1996.
- [4] 叶笃正,黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究[M]. 济南:山东科学技术出版社,1996.
- [5] 孙淑清. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨[J]. 高原气象,1999,18(4):551-561.
- [6] 于润玲. 华北夏季降水异常规律及其成因的初步分析[D]. 南京气象学院硕士论文,2002.
- [7] 马京津,高晓清,曲迎乐. 华北地区春季和夏季降水特征及与气候相关的分析[J]. 气候与环境研究,2006,11(3):321-329.
- [8] 孙燕,王谦谦,钱永甫. 华北地区夏季降水与全球海温异常的关系[J]. 高原气象,2006,25(6):1127-1138.
- [9] 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[J]. 高原气象,1999,18(4):465-476.
- [10] 赵声蓉,宋正山. 华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常[J]. 高原气象,1999,18(4):535-540.
- [11] 毕慕莹. 近40年来华北干旱的特点及其成因[M]. 旱涝气候研究进展. 北京:气象出版社,1990.
- [12] 魏凤英,张京江. 华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号[J]. 气象学报,2003,61(3):354-367.
- [13] 张庆云,卫捷,陶诗言. 近50年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J]. 气候与环境研究,2003,8(3):307-318.
- [14] 范广洲,吕世华,程国栋. 华北地区夏季水量丰枯年气候特征对比分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2001,37(5):111-116.
- [15] 郝立生,闵锦忠,姚学祥. 华北地区夏季降水减少的原因分析[J]. 干旱区研究,2007,24(4):522-527.
- [16] 柳艳香,郭裕福. 中高纬度气压系统异常对东亚夏季风年代际变化的影响[J]. 高原气象,2005,24(2):129-135.
- [17] 杜云宝. 山西省汛期旱涝规律和预测方法研究[M]. 北京:气象出版社,1994.
- [18] 李智才. 山西夏季降水的预测模型[J]. 山西气象,1998,42(1):18-21.
- [19] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project[J]. Bull Amer Soc., 1996,77(3):437-471.
- [20] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-33.
- [21] 汤绪,钱维宏,孙国武. 亚洲夏季风北边缘研究[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [22] 王绍武,龚道溢. 近百年来的 ENSO 事件及其强度[J]. 气象,1999,25(1):9-13.
- [23] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism[J]. Adv Atmos Sci, 1989,6:21-30.
- [24] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究[J]. 大气科学,1990,14(1):108-117.