袁杰,魏凤英,马晓玲.山西省春播期降水时空变化及环流异常特征[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(6):133-140. doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.06.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



山西省春播期降水时空变化及环流异常特征

袁 杰1,魏凤英2,马晓玲1

(1.阳泉市气象局,山西 阳泉 045000;2.中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081)

摘 要:利用山西省72个国家气象站1961—2020年4—5月的降水量资料、NECP/NCAR月 平均再分析资料和 UKMO HADISST1 海表温度资料,采用 EOF、气候倾向率、滑动平均、小波分 析、合成分析等方法,对春播期降水的时空变化及环流异常特征进行分析。结果表明:(1)山西省 春播期降水量场主要有全省一致型、南北差异型,以及南北与中部差异型3种主要模态,分别占 总年数的63.3%,25%和11.7%。(2)春播期降水量的增多趋势不显著,共经历了5个气候变化阶 段,并存在2~3和12~13 a 的振荡周期。(3)在春播期异常多雨年,500 hPa 高度场呈"东高、西低" 等分布特征,850 hPa 风场我国中东部地区盛行偏南气流,海平面气压场呈北高南低分布型,前冬 赤道中东太平洋呈 El Nino 分布型,印度洋呈偶极子分布型,大西洋呈三极子分布型;而在异常少 雨年,环流及海温特征则基本相反。

关键词:春播期;降水;大气环流;海温;山西省 中图分类号:P426.614 文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)06-0133-08

随着全球气候变化的发展,气象工作者从多个 方面对气候变化的特征及其影响进行了研究,不同 时期和区域的气候变化对农业生产的影响不尽相 同,其中异常降水事件除了与西风带高空槽、阻塞高 压、西北太平洋副热带高压等关键天气系统的环流 异常密切相关外,还受到海洋、积雪等外强迫因子的 影响,此外降水在不同的地理位置和地形地貌下也 会表现出不同的特征¹¹⁻⁶。春播期是越冬作物生长和 春播作物播种、出苗等关键时期,其气象条件对粮食 丰收起着重要作用。山西省地处华北西部的黄土高 原东翼,南北跨度大,地形地貌特征较为复杂,是重 要的小杂粮产区,由于山西大部分地区光热条件较 好,降水成为影响农业生产的主要气象因素,因此研 究山西省春播期降水的时空变化规律及影响因素十 分重要¹⁷⁻¹⁰。郭江勇等¹¹¹对甘肃东部地区春播期干旱 特征的变化进行了研究,赵玲、胡春丽等^{[12-13}对东北 地区的春播期降水特征分别进行了分析,钱锦霞、 王振华等^[14-15]对 2008 年以前山西省春季的气候特 征及干旱情况进行了研究。但目前专门针对山西省 春播期降水时空变化及环流异常特征的研究还未涉 及,本文利用 72 个国家气象站数据,结合大气环流、 海表温度等资料,开展相关研究,可以弥补山西省关 于春播期降水研究的不足,对春播期降水的中长期 预测和合理安排春播期间的农业生产具有一定的意 义。

1 资料与方法

1.1 资料来源

(1)选用 1961—2020 年山西省春播期(4—5月)72个国家气象站的月降水量资料,站点分布均匀
(图 1),具有代表性,所选资料全部连续,仅有个别年份缺测值使用该站所在地市的同期平均值代替。

(2)选用 NECP/NCAR 的 1961—2020 年 500 hPa 位势高度场、850 hPa 风场和海平面气压场的月平 均再分析资料,空间分辨率为 2.5°×2.5°。

收稿日期:2022-08-05;修回日期:2023-05-08

基金项目:山西省气象局科研项目(SXKMSDW20195636);阳泉市重 点研发项目(2019Z10)

作者简介:袁杰(1988—),男,高级工程师,主要从事天气预报和气候 变化与预测研究。E-mail:yuanshao1234@126.com

(3)选用 UKMO HADISST1 的 1961—2020 年 全球月平均海表温度(SST),空间分辨率为 1°×1°。



1.2 研究方法

采取经验正交函数(EOF)方法分析山西省春播 期(4—5月)降水的区域特征;使用气候倾向率、滑 动平均、小波分析等方法,分析降水的时间变化规 律;采用合成分析方法进行异常年的大气环流和前 期海表温度特征研究^[16]。其中使用的滑动平均方法 具体步骤为:

(1)使用 Butterworth 带通滤波器,对气候序列进行平滑;

(2)分别用模、斜率和粗糙度这3种边界约束方 案计算出序列两端的平滑值;

(3)分别计算 3 种约束方案得到的平滑序列的 均方误差(MSE),选取最小 MSE 的平滑序列作为最 优的平滑方案。

2 春播期降水的时空分布特征

1961—2020 年和 1991—2020 年山西省春播期 平均降水量分布见图 2。这 2 个时段内春播期降水 量呈北向南逐渐递增的趋势,在北中部地区存在 U 型分布特征,即东西两侧的降水量大于中部地区,在 南部地区两者的降水分布也较为相似。2 个时段内 春播期降水具有很大的相似性,但也有不同之处,平 均降水量场发生了一定的变化。结合图 1 可知,山西 省春播期降水在北部中部地区存在的 U 型分布特 征与东西两侧的太行山脉和吕梁山脉的走势分布较 为吻合,降水既受到共同的天气系统影响,也与地理 位置,地形特征等多种因子密切相关^[17-18]。

2.1 降水量场空间分布特征

采用 EOF 方法对山西省 1961—2020 年春播期 标准化处理后的降水量场进行时空分解,表1为计 算后得到的前5个特征向量的方差贡献率和累计方 差贡献率。前3个特征向量的特征值累计方差贡献 率达77.2%,第4~5个特征向量所占的方差贡献比 例开始变得很小,因此,前3个特征向量可以代表山 西省春播期降水量场的主要空间分布特征。

第1特征向量的方差贡献率达 59.3%,为山西 省春播期降水的主要空间分布型。由山西省春播期 降水量场的前3个特征向量的空间分布 (图3)可



图 2 1961-2020 年(a)和 1991-2020 年(b)山西省春播期平均降水量分布

134

表1	山西省春播期降水量 EOF 分解的前5个
特	征向量的方差贡献率和累计方差贡献率

模态	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	2 560.9	59.3	59.3
2	520.6	12.0	71.3
3	255.1	5.9	77.2
4	138.6	3.2	80.4
5	92.9	2.2	82.6

知,第1特征向量值在山西省范围内均为正值(图 3a),表明春播期的降水量在空间上具有全省一致的 特征,高值中心位于山西省中部的吕梁、太原、晋中、 阳泉等地,说明该区域降水量变化大。第2特征向量 的方差贡献率为12.0%,其空间分布显示(图3b), 太原以南地区为正值区域,大值区位于临汾、运城、 长治、晋城等地;太原及其以北地区为负值区域,中 心区域位于忻州西部、朔州等地,表明降水量场存在 以中部为分界线的南北反位相分布结构。第3特征 向量的方差贡献率仅为5.9%,最大负值中心位于南 部的运城地区和北部的大同地区,中部的太原和阳 泉地区存在最大正值中心,中部地区的降水量与南 部、北部地区存在反位相分布的关系(图3c)。

2.2 降水量的时间分布特征

特征向量的时间系数代表了空间分布随时间的 变化情况,其绝对值的大小,代表该型空间分布特征 的强弱。对 60 年来降水量场的空间分布特征进行分 析可知,山西省春播期降水量场表现为第1特征向 量的年份有 38 a,占总数的 63.3%,说明山西省春播 期降水以全省一致型的气候特征为主;降水量场以 第2特征向量出现的年份有15a,占总数的25%; 降水量场以第3特征向量出现的年份有7a,占总 数的11.7%,具体年份见表2。春播期降水量场的3 种分布形态与王振华、刘秀红等^{[15,19}关于山西春季 降水的分布形态研究结果较为相似,但6种降水量 场年份的分布不完全一致,其中大部分年份有重叠, 部分年份则不同。

表2 3种分布形态的6种降水量场年分布

模态	雨型	年
模态 1	全省多雨	1963,1964,1969,1970,1983,1985,1990, 1991,1998,2006,2008,2014,2015,2016, 2018
	全省少雨	1962,1966,1967,1968,1971,1972,1973, 1974,1975,1976,1978,1979,1981,1986, 1989,1992,1993,1995,1996,1997,2000, 2001,2004
	南多北少	1984,1994,2002,2009,2013,2017,2020
模态 2	南少北多	1982,1988,2005,2007,2010,2011,2012, 2019
齿太 2	南北少中部多	\$ 1965,1977,1987
ເ χῶ 3	南北多中部少	> 1961,1980,1999,2003

2.3 降水变化趋势空间特征

通过计算 1961—2020 年 4、5 月山西省各站的 气候变化倾向率,了解春播期降水量场变化速率的 空间特征(图 4),4 月降水量大部(42 站)呈随时间 减小的变化特征,占总站数的 58.3%,主要位于山西 南部地区(图 4a)。5 月降水量变化趋势较 4 月幅度



135

沙漠与绿洲气象 Desert and Oasis Meteorology

增大,空间分布呈大部增多,中西部减少的特征(图 4b),72个站中共有50站降水量呈增加趋势,占总 数的69.4%,主要位于山西东南部和北部大部分地 区,区域性特征明显。从相关系数检验可知,大部分 站点4、5月降水的气候变化倾向率都没有通过α=0.05 的显著性检验。4、5月降水量的相关系数为-0.06,未 通过显著性检验,表明4、5月降水量的相关性不高、 连续性较差。



2.4 降水时间变化特征

对 1961—2020 年山西省春播期降水量时间序 列使用滑动平均方法选取最优平滑方案进行年代际 尺度的气候变化分析。表 3 为 10 a 滑动长度的 3 种 约束方案的 MSE 值,图 5 为春播期降水序列 3 种不 同边界约束的平滑序列。从表 3 可知,3 种约束方案 的 MSE 分别为 0.827、0.842、0.821,选取 MSE 值最 小的粗糙度约束方案计算的平滑趋势较为合理。

表3	山西省春播期降水时间序列3种
	约束方案的 MSE 值

	模约束方案	斜率约束方案	粗糙度约束方案
10 a 滑动长度	0.827	0.842	0.821

由图 5 可知,取 10 a 滑动长度时,粗糙度约束 方案序列两端的平滑值与观测值比较接近,某些年 份,模和斜率约束方案计算出的平滑值与观测值偏 差较大。1961—2020年山西省春播期降水年际和年 代际变化特征十分明显,60年来春播期降水经历了 "多一少—多一少—多"的5 个气候变化阶段,可大致 划分为:1961—1970,1971—1982,1983—1994,1995— 2004,2005—2020年,特别是 2005年以后降水处于 偏多的年代际。



图 5 1961—2020 年山西省春播期降水量及 其 3 种方案的 10 a 滑动长度平滑序列

表4给出了各个气候阶段的平均值及相邻两阶段的 u 检验值,用于比较2个阶段的降水量平均值的差异性,所有的 u 检验值都超过了95%的显著性水平,表明在任意2个相邻阶段春播期降水量的均值具有显著性差异,这5个阶段的划分具有一定的合理性。

表4 山西省春播期降水时间序列 10 a 滑动长度

	1961—1970	1971—19	82 1983—19	994 1995—20	004 2005—2020
趋势	偏多	偏少	偏多	偏少	偏多
平均值	79.4	49.0	75.2	55.8	71.9
u 值	2.	37	3.51	1.98	1.99

通过小波分析方法对山西省春播期降水量的周期性特征进行研究。山西省春播期降水的主要周期有 2~3 和 12~13 a。其中 2~3 a 的周期性表现最为明显,最大值中心为 1963 年,但近 10 年来 4~5 a 周期也较为明显,出现闭合中心。

3 异常降水年的环流特征

对山西省近60年春播期降水量序列以超过一 倍标准差为标准挑选异常降水年份,得到异常多雨年 有 8 a, 分别为 1963、1964、1970、1983、1985、1991、 1998、2014年; 异常少雨年有 9 a, 分别为1962、 1972、1974、1979、1981、1995、1997、2000、2001年。 3.1 异常降水年的 500 hPa 位势高度场特征

影响山西省春播期降水异常分布主要因素是大 尺度天气系统导致的环流异常。图 6 为山西省春播 期异常多雨年和少雨年 500 hPa 位势高度场距平合 成图。异常多雨年 500 hPa 位势高度距平场上乌拉 尔山、贝加尔湖、巴尔喀什湖、鄂霍次克海附近为负 距平中心,正距平中心主要位于华北东部和日本海 以南的洋面上,此时,东亚中高纬地区表现为"东高、 西低"和"+、-、+"的南北结构特征,低压槽在乌拉尔 山以东至贝加尔湖以西一带生成并发展,山西省大 部处于高空槽的东南侧,偏南暖湿气流和北方冷空



图6 山西省春播期异常多雨年(a)和少雨年(b) 500 hPa 位势高度场(单位:dagpm)的距平合成 (阴影区通过 0.05 的显著性检验)

气在此交汇,有利于多雨天气出现;在异常少雨年, 东亚中高纬度地区 500 hPa 位势高度距平场为"东 低、西高"和"-、+、-"的南北结构特征,山西省大部 地区受北方干冷空气的影响,水汽输送条件转差,不 利于降水天气的发生,这与刘秀红等四人关于山西 春季干旱成因研究中位势高度场东西向的分布特征 较为一致,但南北向的结构特征略有差异。

3.2 异常降水年的 850 hPa 风场特征

图 7 为山西省春播期异常多雨年和少雨年 850 hPa 矢量风场距平合成图。异常多雨年 850 hPa 风场,我 国中东部地区盛行偏南气流,在华北上空偏南气流 直达内蒙古地区,山西地区处于偏南气流的左侧,山 西上空水汽条件较为充沛,水汽辐合利于降水天气 的发生。在异常少雨我国东北至华北北部一带受冷 空气控制,山西上空盛行西北风或偏西风,无明显水 汽输送通道,显著的西南气流主要位于华北东部地 区,春播期间多冷空气活动,而西南气流偏弱,位置



图7 山西省春播期异常多雨年(a)和少雨年(b) 850 hPa 矢量风场(单位:m/s)的距平合成 (阴影区通过 0.1 的显著性检验)

120°E

14C°E

16028

180%

100°E

60°E

80°E

偏东,水汽不能输送到山西一带,造成降水偏少,这 与周晋红等^[20-22]关于春季典型干湿年水汽输送特征 的研究结果较为一致。

3.3 异常降水年的海平面气压场特征

图 8 为山西省春播期异常多雨年和少雨年海平 面气压场距平合成。异常多雨年海平面气压场呈北 高南低分布,尤其是欧亚高纬度地区为显著的正距 平分布,我国大部分地区为负距平分布,气压梯度较 大,有利于北方冷空气南下,对降水的触发非常重 要。而异常少雨年正好相反,海平面气压场呈南高北 低分布,山西及周边大部地区处于均压场中,中国大 部地区海平面气压偏低,欧亚高纬度地区有一显著 的负距平中心,不利于北方冷空气南下,这与王晓 玲、高娜等^[23-25]研究结论较为相似。



(阴影区通过 0.05 的显著性检验)

4 异常降水年的前期冬季海温特征

海表热力异常会导致大气环流异常变化,前期 冬季海温发生异常可以通过大尺度遥相关型的变化 导致我国降水发生异常^[2]。考虑到海洋变化对我国 降水的影响有一定时间的滞后效应,图9为春播期 异常多雨年和少雨年的前期冬季全球海表温度 (*SST*)的距平合成图,山西省春播期降水异常年与 全球*SST*的不同配置相对应,两者所对应的*SST*分 布形态几乎相反,差异性显著。其中异常多雨年的前 期冬季赤道中东太平洋呈现典型的 El Nino 分布型, 即赤道中东太平洋为正距平,西风漂流区为负距平, 暖池亦为负距平,印度洋呈北正南负的偶极子分布 型,大西洋呈"-、+、-"的三极子分布型。这与梁洪海 等^[26]关于东北春季透雨与前期海温关系的研究结果 较为相似。



5 结论与讨论

利用山西省 72 个国家气象站 1961—2020 年 4—5 月的降水量资料、NECP/NCAR 再分析资料和 海表温度等资料,对山西省春播期降水的时空变化、 异常年对应的环流和海温分布特征等进行分析,主 要结论如下:

(1)近60年山西省春播期降水量场主要有全省 一致型、南北差异型、南北与中部差异型3种分布类 型,分别占总年数的63.3%,25%和11.7%。其中春播 期降水量增加趋势不明显,4和5月变化趋势相反, 降水量年际和年代际变化特征十分明显,共经历了 "多一少—多一少—多"5个气候变化阶段。春播期 降水的主要周期有2~3和12~13a,其中2~3a的 周期表现最明显。

(2)春播期异常多雨年 500 hPa 高度场,东亚中 高纬度地区表现为"东高、西低"和"+、-、+"的南北 结构特征;850 hPa 风场我国中东部地区盛行偏南 气流,山西地区处于偏南气流的左侧,水汽条件较为 充沛;海平面气压场呈北高南低分布,欧亚高纬度地 区为正距平分布,我国大部分地区为负距平分布;前 期冬季赤道中东太平洋呈现典型的 El Nino 分布 型,印度洋呈北正南负的偶极子型分布,大西洋呈 "-、+、-"的三极子型分布。异常少雨年大气环流形 势和前期冬季海表温度分布型则基本相反。

本文仅对山西省春播期降水时空变化及异常环 流特征进行了初步分析,而春播期间的总降水量、透 雨量、降水日数等要素之间的关系,透雨这种天气尺 度过程所对应的环流形势与春播期降水典型年对应 的环流特征是否一致,降水如何影响土壤墒情的变 化,进而影响春播期的进度,还需要进一步的研究, 以期为提高山西省春播期降水的预报预测水平和合 理安排农业生产提供科学建议。

参考文献:

- [1] 阎琦,崔锦,吴艳青,等.辽宁区域性春旱的大气环流及影响因子分析[J].气象与环境学报,2008,24(6):29-33.
- [2] 孙娴,魏娜,肖科丽.陕西秋季降水变化特征[J].应用气象 学报,2010,21(3):360-365.
- [3] 魏凤英,陈官军,李茜.中国东部夏季不同雨带类型的海 洋和环流特征差异[J].气象学报,2012,70(5):1004-1020.
- [4] 袁杰,魏凤英,巩远发,等.关键区海温年代际异常对我国东部夏季降水影响[J].应用气象学报,2013,24(3):268-277.
- [5] 伯忠凯,胡桂芳,徐玮平.山东5月降水异常环流型及其
 与海温异常的联系[J].海洋气象学报,2021,41(2):119 125.
- [6] 张婷,魏凤英.华南地区汛期极端降水的概率分布特征 [J].气象学报,2009,67(3):442-451.
- [7] 慕臣英,张郁,徐全辉,等.1960—2017 年沈阳地区春播 期降水变化特征[J].气象与环境学报,2019,35(3):106-

111.

- [8] 于秀晶,王凤刚.吉林省极端降水的变化特征及其与环流 异常的关系[J].吉林气象,2005,1(4):6-8,19.
- [9] 郭媛媛,李丽平,董春卿.山西省夏季降水与赤道东太平 洋海温关系初探[J].气象与环境科学,2012,35(1):14-20.
- [10] 尤莉,程玉琴,李卉,等.1961-2012 年 6-8 月内蒙古
 降水异常及环流特征分析[J].气象与环境学报,2013,29
 (6):56-62.
- [11] 郭江勇, 叶燕华. 甘肃东部春播期干旱指数的变化特征 及预测[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 35-47.
- [12] 赵玲,钟幼军,李树岭,等.东亚中高纬环流对黑龙江省 春播期降水异常的影响[J].自然灾害学报,2015,24(3):
 225-234.
- [13] 胡春丽,李辑,王婉昭,等.辽宁省春播期降水的时空特 征及其对土壤水分的影响[J].灾害学,2018,33(1):53-58,70.
- [14] 钱锦霞,王振华,郝玉峰.山西省春季气候变化及其对农业生产的影响[J].干旱区研究,2008,25(1):64-69.
- [15] 王振华,钱锦霞,王雁,等.山西省春季降水异常时空特 征研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):213-217.
- [16] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象 出版社,2007:36-117.
- [17] 唐亚平,张凯,李忠娴,等.1964—2008 年辽宁省旱涝时
 空分布特征及演变趋势[J].气象与环境学报,2011,27
 (2):50-55.
- [18] 胡春丽,李辑,焦敏,等.辽宁春播期浅层土壤湿度变化 特征及其气候影响因子分析[J].干旱地区农业研究, 2018,36(5):277-283.
- [19] 刘秀红,李智才,刘秀春,等.山西春季干旱的特征及成因分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(9):156-160.
- [20] 周晋红,李丽平,武捷.山西春季典型干湿年份水汽输送 特征差异[J].气象,2011,37(10):1270-1276.
- [21] 徐士琦,李栋梁.东北地区春季首场透雨的变化特征及 与青藏高原地面加热场强度的关系[J].气象,2016,42 (3):271-279.
- [22] 崔童,张若楠,郝立生,等.华北雨季降水年代际变化与 水汽输送的联系[J].大气科学,2022,46(4):903-920.
- [23] 王晓玲,高正旭,王海燕,等.鄂北春播期降水异常能量 输送及成因分析[J].干旱气象,2019,37(6):906-915.
- [24] 于凡越,靳立亚,李金建.中国西南地区春旱特征及其异 常环流分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(6):68-76.
- [25] 高娜,孙健,王春学,等.宁夏春季降水异常年东亚副热 带急流特征[J].干旱气象,2018,36(6):963-970.
- [26] 梁洪海,徐士琦,杨雪艳,等.东北地区春季透雨早晚年的环流特征及与前期海温的关系[J].沙漠与绿洲气象, 2022,16(2):137-143.

Precipitation Variations and Circulation Anomalies during Spring Sowing Period in Shanxi Province

YUAN Jie¹, WEI Fengying², MA Xiaoling¹

(1.Yangquan Meteorological Bureau, Yangquan 045000, China;

2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Based on the precipitation data of 72 national meteorological stations in Shanxi province, monthly mean reanalysis data of NECP/NCAR and UKMO HADISST1 sea surface temperature data from April to May in 1961 – 2020, the temporal –spatial variations of precipitation and circulation anomalies features are analyzed during spring sowing period, by using EOF, climatic tendency, moving average, wavelet and composite analysis. The results show that: (1) There are three main modes of precipitation during spring sowing period in Shanxi province, which are completely consistency, north–south distribution, north –south and central distribution type, accounting for 63.3%, 25% and 11.7% respectively. (2) The increasing trend of precipitation is unobvious in spring sowing period, it experiences five variation phases and has two oscillation periods of 2–3 a and 12–13 a. (3) In the abnormal rainy years, the 850 hPa wind field exhibits prevailing southerly airflow in mid –eastern China, the 500 hPa geopotential height and sea level pressure field shows the patterns of "higher in the east and lower in the west" and "higher in the north and lower in the south", respectively. Besides, the equatorial middle –east Pacific, Indian Ocean and Atlantic Ocean display the typical El Nino distribution, Dipole distribution and Triode distribution in early winter, respectively. However, the

Key words spring sowing period; precipitation; atmospheric circulation; sea surface temperature; Shanxi province