

准双周低频活动与山西 4—9 月降水的关系

李润春¹ 张秀芝² 李伟¹ 刘月丽³

(1 山西省阳泉市气象局, 阳泉 045000; 2 国家气候中心, 北京 100081; 3 山西省气候中心, 太原 030002)

摘要 利用 1979—2010 年山西省日降水量资料与欧洲中心再分析资料, 通过诊断分析方法探讨了欧亚范围大气低频活动与山西省 4—9 月降水天气过程的关系。结果显示, 山西日降水量的主要分布模态有全省一致型、北中部型、中部型; 山西日降水量准双周周期特征明显。影响山西降水的 500 hPa 低频关键区在我国东部沿海渤海附近, 低频影响系统是渤海低频高压。渤海低频高压存在准双周变化周期; 渤海低频高压指数转为正位相超前山西降水日 0~3 d。渤海低频高压来源于西西伯利亚低频高压(主要出现在西西伯利亚东部至中西伯利亚西部), 西西伯利亚低频高压传播至渤海附近大约一个准双周周期。

关键词 低频活动; 山西降水; 延伸期

中图分类号: P426 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20180479 **文献标识码:** A

引言

20 世纪 70 年代初发现大气季节内振荡(ISO)以来, 国内外科学家对其传播特征、激发维持机制等进行了一系列研究^[1-3], 数值模拟也证实了低频振荡是大气本身所固有的一种现象^[4]; 有关热带大气季节内 30~60 d 振荡的结构特征和基本活动规律已被揭露得较为清楚^[5], 10~20 d 低频振荡也逐步引起重视^[6-8], 何志学等^[9]的研究也发现, 1998 年夏季欧亚范围 500 hPa 环流持续异常的时间长度在 10~20 d 之间。大气低频振荡的研究成果已逐步应用于延伸期预报^[10-11], 孙国武等^[12-15]建立了低频天气图方法, 利用大气低频振荡的特性制作 10~30 天较强降水过程预报, 并进行了业务试验和应用推广; 广东等省也利用准双周低频特征进行降水的监测、预报^[16-17]。对山西而言, 夏半年(春分日至秋分日)降水在全年气候中占重要地位, 7—8 月降水更为集中, 本文选 4—9 月近似代表夏半年, 分析这一时期欧亚范围大气低频活动与山西降水的联系。

1 资料与方法

本文使用了山西省范围 1979—2010 年 109 站

降水日资料以及欧洲数值预报中心再分析资料 ERA40 数据集, 范围选 0°~80°N, 0°~180°E。

应用了经验正交函数分析(EOF)、Morlet 小波分析、Butterworth 带通滤波及单点相关法^[18]等诊断分析方法。

2 山西省 4—9 月降水的低频特征

2.1 山西 4—9 月日降水的主要分布模态

对山西省 1979—2010 年 4—9 月日降水量进行 EOF 分析发现, 前 5 个模态累积方差贡献分别是 46.7%、58.0%、63.3%、66.9%、69.4%; 因前 3 个模态贡献达到 60% 以上, 可反映主要的空间分布特征, 代表的雨型分别是全省一致型、北中部型(南部与之反位相)、中部型(北部、南部与之反位相), 如图 1。若将研究区域划分为北部、中部、南部, 可将前 3 个模态的差异都包括其中, 有利于提高研究的精细程度; 但山西全省一致型占雨型的大多数, 分区域与全省区域研究的差别仅在后文第 3 节中相关系数通过显著性检验的范围大小略有不同, 因此本文以全省区域结论为主。

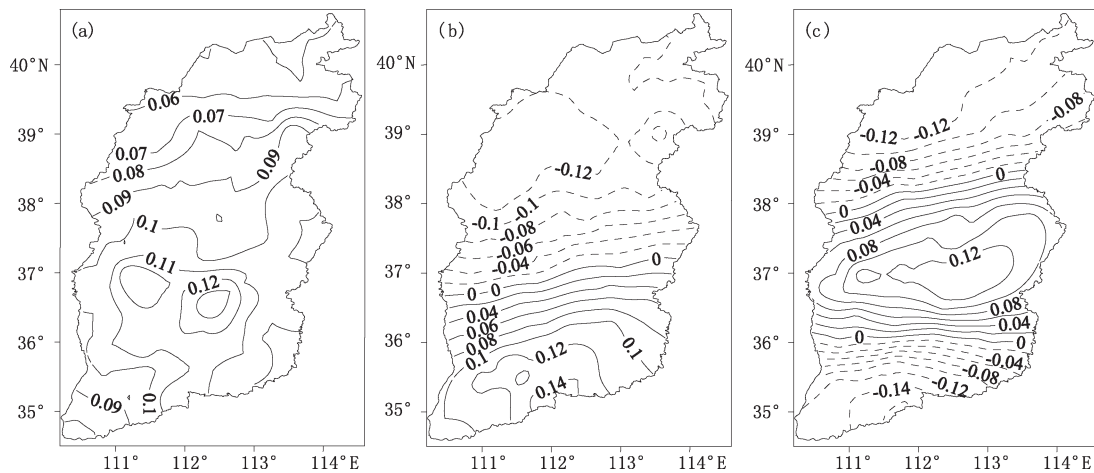


图 1 1979—2010 年 4—9 月山西日降水量 EOF 分析第 1~3 特征向量:(a)全省一致型,(b)北中部型,(c)中部型

2.2 山西 4—9 月降水的低频特征

将山西 4—9 月逐日降水量的多年平均进行小波分析发现,山西降水量准双周周期(10~20 d)特征明显,其中 4 月至 5 月初周期略短(9~15 d),7 月

中旬至 9 月初周期略长(9~21 d)且振幅较强(图 2);另外还存在准 28 d 周期(17~33 d)、5 月下旬至 8 月中旬存在准 7 d 周期。

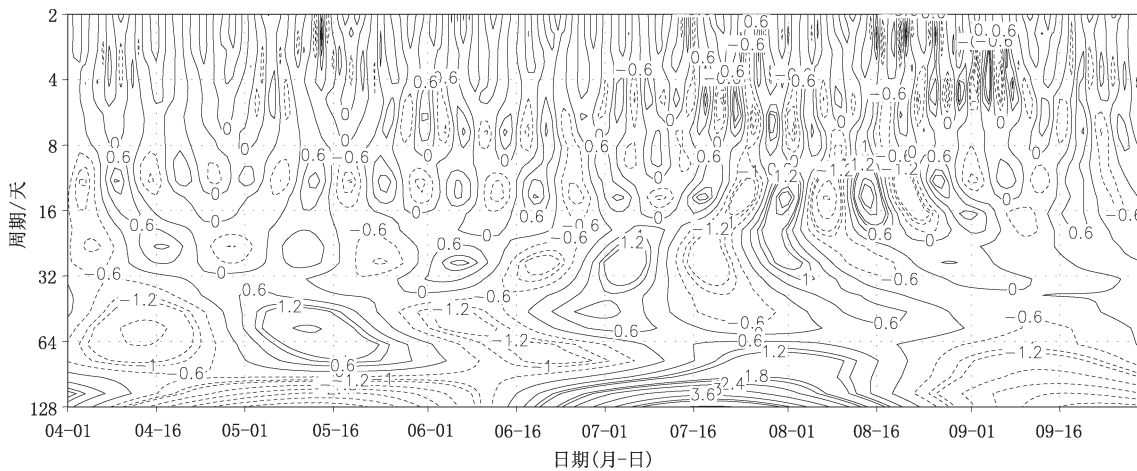


图 2 1979—2010 年 4—9 月山西省日降水量小波分析

3 低频降水量与低频高空要素场相关分析

对山西逐年日降水量进行 10~20 d 周期带通滤波,得到滤波后逐年 4—9 月低频日降水量序列。对 ERA40 资料同样进行带通滤波,得到对应的 1979—2002 年(2002 年资料截止到 8 月 31 日)500 hPa、700 hPa、850 hPa、1000 hPa 高度场、风场资料的低频要素场。

将低频降水序列与对应的低频高空要素场进行相关分析,通过 0.05 显著性检验的相关系数临界值取 0.029^[19],通过显著性检验的高相关区即低频关

键区。全省区域降水量与 500 hPa 高度场的相关系数分布见图 3a,在西西伯利亚东部—中西伯利亚西部有显著正相关区(57°~66°N,77°~106°E),渤海湾附近有显著正相关区(33°~45°N,117°~130°E);与 500 hPa 经向风的显著相关区(图略)主要是山西有正的大值中心,相关系数达 0.350,西太平洋有负的大值中心;与纬向风的显著相关区(图略)呈东西略偏西南纬向相间分布,在山西为显著正相关区。由此得出有利于山西降水的 500 hPa 低频环流形势是西西伯利亚高压强、渤海沿海高压强、山西附近西南气流强。

与其他各层相关分析的结果(图略)也显示出有利于山西降水的低频环流形势,物理意义可解释为:700 hPa 山西中部偏南地区有偏东西向的切变线,850 hPa 我国东北、华北盛行东南风,1000 hPa 东路冷空气(冷高压)活跃。700 hPa、850 hPa 经向风相关图上青藏高原东部到河套有大的负值中心,说明青藏高原东部到河套盛行偏北风时有利于山西降水;山西降水时该处偏北气流强应该与青藏高原地形作用的绕流有关,地形作用使槽后偏北风加强^[20]。

为提取降水集中时期更精细的信息,计算了山西中部区域 7—8 月低频降水量与 500 hPa 低频高

度场的相关系数分布(图 3b),大值区的位置与全省区域 4—9 月位置相似,但非常清晰地表现出欧亚-太平洋遥相关型(EUP)^[21]的正负相间的波列分布:欧亚大陆高纬度 50°~80°N 有向东略偏南伸展正负相间的波列;中纬度 20°~50°N 除青藏高原一带不清楚外,从黑海—我国东部沿海—西太平洋也是清晰的波列分布;低纬度也正负相间,不过通过显著性检验的区域小。值得关注的是我国东部沿海渤海附近正相关区相关性最强,大值中心达 0.300 以上,位置在山东半岛;因此山西中部 7—8 月降水预报应特别关注山东半岛—渤海沿海的天气系统。

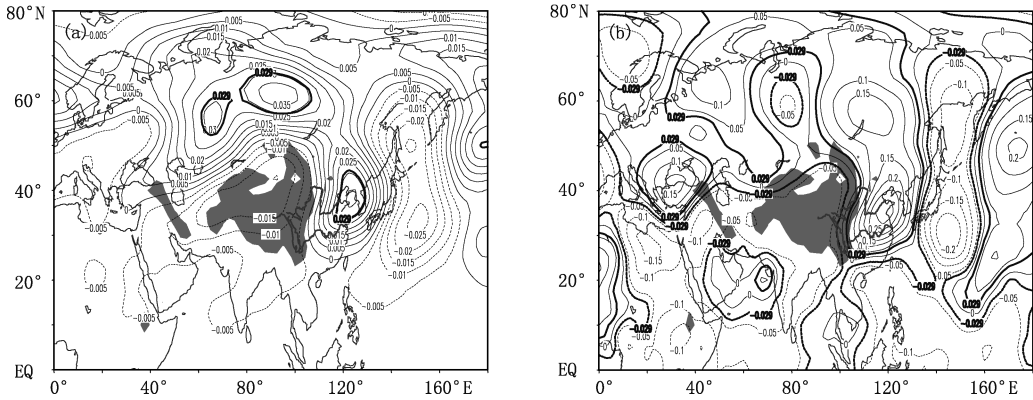


图 3 1979—2002 年山西省 4—9 月全省区域(a)、7—8 月中部区域(b)低频降水量与 500 hPa 低频高度场相关系数分布 (阴影区为海拔高度在 1499 m 以上的范围)

4 影响山西 4—9 月降水的低频系统分析

4.1 关键区低频活动与山西降水的关系

分析发现 500 hPa 高度场渤海关键区低频高压与山西降水有较好的统计关系,定义该关键区

(35°~42.5°N,117.5°~127.5°E)格点平均值为渤海低频高压指数。较多情况,渤海低频高压指数超前低频降水量 1~6 d(简化时取中间数 3.5 d,为 1/4 周期,图 4 为 1979 年逐日变化),因此低频降水量的正位相期多与渤海低频高压指数正位相期或负位相

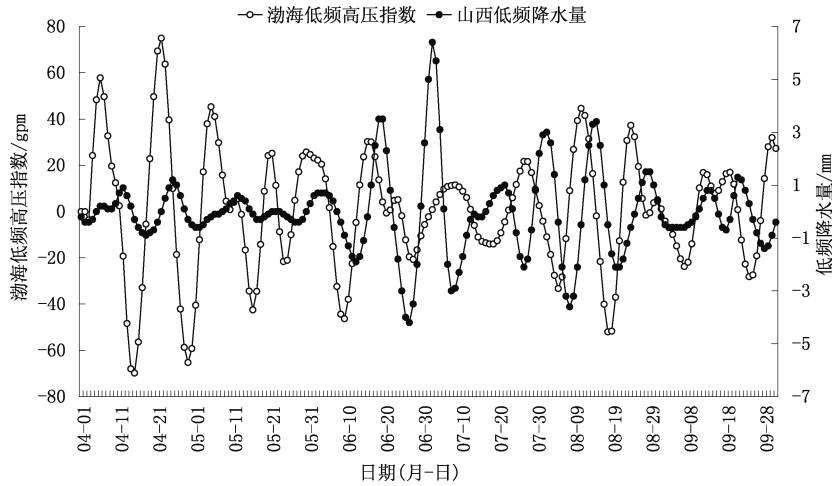


图 4 1979 年 4—9 月渤海低频高压指数与山西低频降水量的逐日变化

下降期对应。与实际降水量相比,渤海低频高压指数正位相和负位相下降期会断续出现降水,但在 7—8 月连续性降水过程中,负位相上升期伴有降水的情况也常出现;较多情况,渤海低频高压指数正位相伴有降水过程,每次转正位相的日期超前降水开始日期 0~3 d(图略)。

分析 500 hPa 高度场低频图,较多情况,渤海关键区若出现低频高压,则对应山西易出现降水;若关键区低频高压东移,山西处于低频高压后部低压前部,一般有降水维持;降水中断时期渤海关键区低频高压解体。如 1979 年 4 月 5—9 日(图 5a)渤海附近为低频高压,6—8 日山西有降水(图 5e);4 月 12 日(图 5b)低频高压东移减弱,山西处于低频高压后部低压前部,是降水的维持期;4 月 13—18 日(图 5c)渤海关键区低频高压解体,山西无降水。同样,下个周期 4 月 22 日前后(图 5d)渤海附近为低频高压,22 日前后山西出现弱降水;25 日低频高压东移,山西处低频高压后部低压前部(图略),出现明显降水。实际降水与季节背景有一定关系,春季(4 月)降水偏少阶段,虽然渤海关键区低频高压较强,低频特征明显,实况无明显降水的情况也可能出现;盛夏 7—8 月降水过程连续时,即使关键区为低频低压,实况有明显降水的情况也可能出现。

4.2 低频系统的源地及传播

分析发现渤海低频高压来源于西西伯利亚低频高压(主要出现在西西伯利亚东部—中西伯利亚西部)。低频高压的传播路径主要有:偏北路径(60°N 以北)从西西伯利亚北部东移至鄂霍茨克—日本海,再折向西南、传播至渤海一带;中间路径从西西伯利亚(50°~60°N)东传至我国东部沿海渤海附近,如图 6 所示,1979 年 7 月 27 日低频高压在西西伯利亚(图 6a),东移于 8 月 2 日分裂为 50°~70°N、30°~50°N 北、南两个中心(图 6b),继续东移于 8 月 10 日至西太平洋沿岸(图 6c);偏南路径(50°N 以南)从西亚经蒙古高原减弱,传播至我国华北—渤海又加强。3 种路径的传播时间均呈“准双周”,反映了欧亚范围夏半年中纬度西风带槽脊的移动规律。低频关键区脊的特征明显,可能与西西伯利亚平原—中西伯利亚高原、渤海—华北沿海下垫面过渡区域的地形和热力差异有关^[22]。

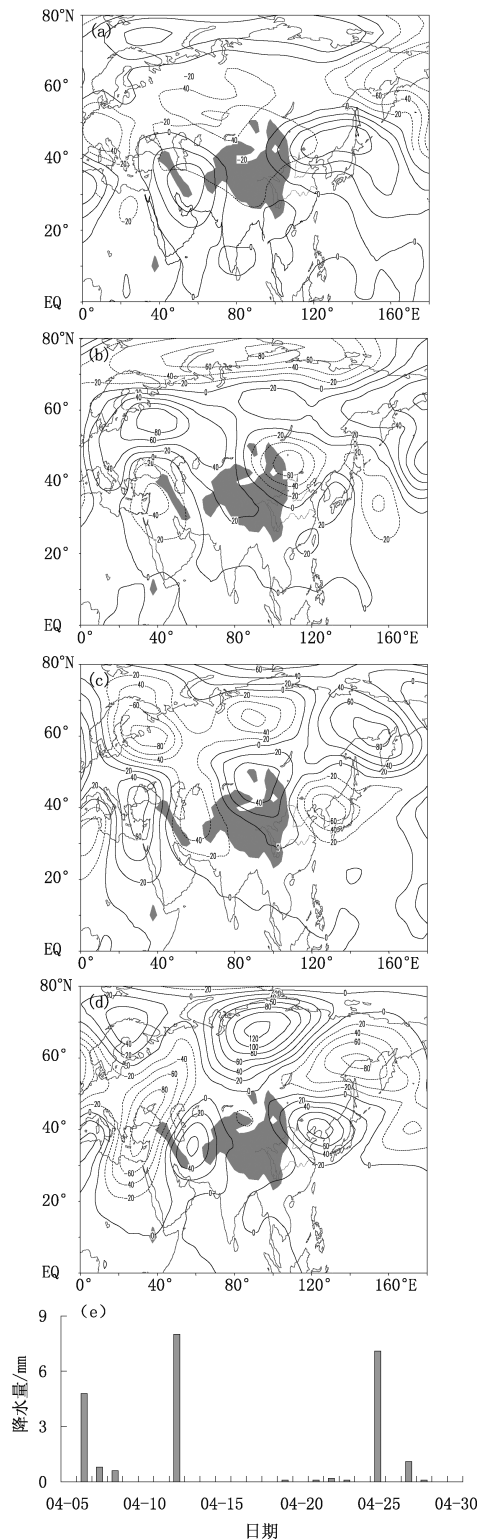


图 5 1979 年 4 月 6 日(a),12 日(b),16 日(c),22 日(d) 500 hPa 高度场低频系统移动及 5—30 日山西逐日降水量(e)

(单位:gpm,阴影区为海拔高度在 1499 m 以上的范围)

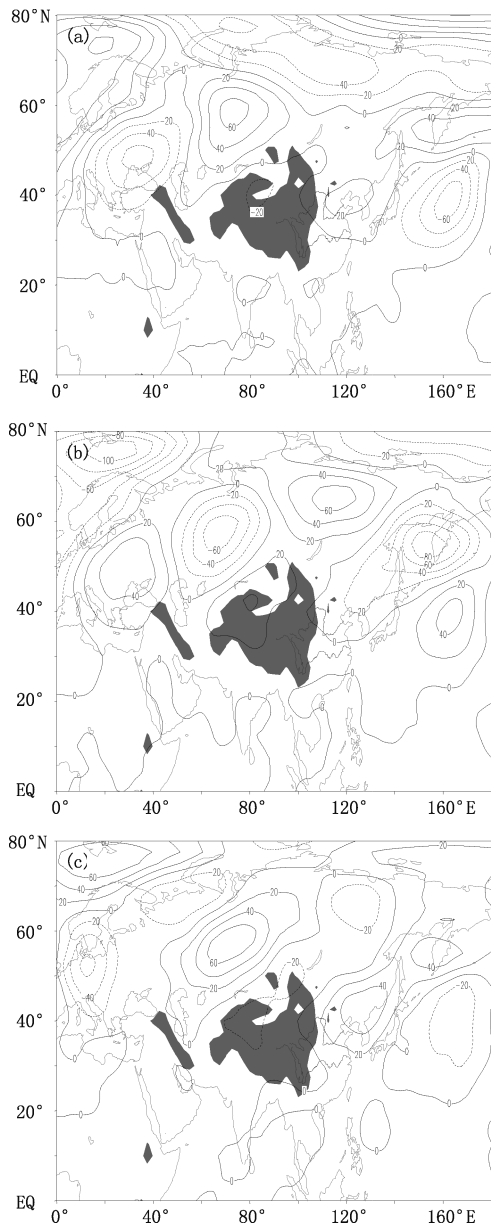


图 6 1979 年 7 月 27 日至 8 月 10 日 500 hPa 高度场低频系统移动简图:(a)7 月 27 日、(b)8 月 2 日、(c)8 月 10 日 (单位:gpm,阴影区为海拔高度在 1499 m 以上的范围)

4.3 山西强降水与渤海低频高压的关系

山西平均日降水量 ≥ 25 mm 时认为该日有强降水,1979—2002 年 4—9 月共 26 d 有强降水,19 d 渤海低频高压指数为正,占 7 成以上;4 d 出现在渤海低频高压指数负值下降期;因此山西强降水天气更容易发生在渤海低频高压指数的正位相期。

5 延伸期降水过程预报试验

据以上分析,影响山西夏半年降水的西风带系

统存在准双周低频振荡,可利用其周期特征预报山西延伸期降水。鉴于延伸期预报时效长,重点关注主要降水天气,仅对明显降水日检验。规定山西平均日降水量 ≥ 1 mm 则该日是明显降水日;明显降水日连续为一次降水过程;预报误差 ≤ 1 d 时认为预报正确。7—8 月降水连续时,根据降水量逐日变化适当划分降水过程,使每次过程有最大值。

5.1 渤海低频高压指数周期外推

计算欧洲中心数值预报模式 500 hPa 高度场渤海关键区格点平均值并进行带通滤波,得到渤海低频高压指数序列,序列最新数据是起报日前 3 d 实况值、起报日及起报日后 10 d 预报值,找出其中周期变化最大值,外推下个周期最大值出现日期,预报为降水始日;降水始日及之后 3 d,为低频变化易产生降水的位相,可根据气候背景特征估计降水持续日数,4—6 月、9 月持续 1~2 d,7—8 月持续 2~3 d。由此可预报延伸期第 11~24 天降水。

预报试验时,当不同起报日预报的降水始日相同或相邻时,合并为不同起报日预报同一次降水过程,示例如图 7,2016 年 6 月 20 日为起报日的渤海低频高压指数序列中,19 日是大值,周期外推可预报 7 月 3—4 日有降水过程;6 月 20—25 日不同起报日的渤海低频高压指数序列均在 6 月 29 日为最大值,周期外推可预报 7 月 13—15 日有降水过程。实况 6 月 30 日至 7 月 3 日(主要在 7 月 2—3 日)有明显降水,预报正确 1 次;7 月 9 日出现明显降水,漏报 1 次;7 月 12—15 日有明显降水,预报正确 1 次。2016、2017 年 4—9 月预报降水过程 36 次,正确 30 次,空报 6 次,漏报 19 次,准确率 55%。

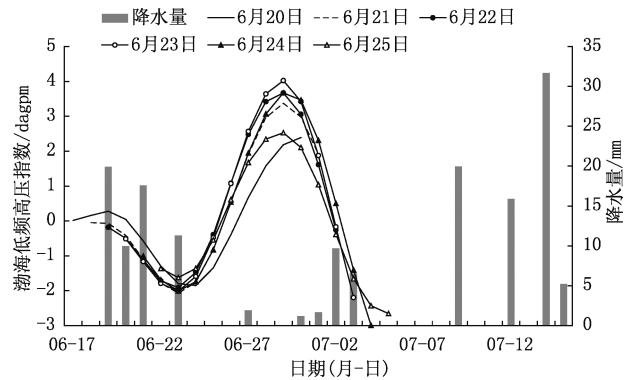


图 7 2016 年 6 月 20—25 日渤海低频高压指数方法预报及降水量实况 (阴影柱状为山西逐日 ≥ 1 mm 降水量)

5.2 其他因子周期外推

低频系统与实际天气系统相联系,渤海低频高压对应实际高度场的正距平区,依此建立山西降水的一个重要环流形势:500 hPa 渤海关键区为高压或高压脊。低频关键区天气系统周期外推预报试验时,逐日分析数值预报 500 hPa 高度场,类似 5.1 节,一般持续数个起报日在不同预报时效均会预报某日渤海高压(脊)存在,周期外推下次渤海高压(脊)出现日期,预报为降水始日。定性统计,2016、2017年4—9月预报第11~24天降水过程,正确53次,空报30次,漏报11次,准确率56%。

用实况资料建立降水量序列,利用降水量最大的一天周期外推下个周期降水始日,可预报第11~14天降水。降水量周期外推预报试验,2016、2017年4—9月预报降水过程70次,正确60次,空报10次,漏报29次,预报准确率60%。

关键区天气系统、降水量周期外推,可在实践中对5.1方法有所补充,可通过定性判断增加预报判别的权重、或者对改进预报有益。

6 结论与讨论

(1)山西日降水的主要分布模态有全省一致型、北中部型、中部型;山西日降水量准双周周期特征明显。

(2)影响山西降水的500 hPa 低频关键区在我国东部沿海渤海附近,影响系统是渤海低频高压。渤海低频高压存在准双周变化周期,渤海低频高压指数转为正位相超前山西降水日0~3 d。渤海低频高压来源于西西伯利亚低频高压,西西伯利亚低频高压传播至渤海附近大约一个准双周周期。

(3)低频系统的周期有变动幅度,业务实践中结合实况调整外推的天数,可在一定程度上提高预报准确率。

参考文献

[1] 李崇银. 大气季节内振荡研究的新进展[J]. 自然科学进展,

2004,14(7):734-741.

- [2] 杨双艳,武炳义,周顺武,等. 大气季节内振荡研究进展[J]. 气象科技,2012,40(6):938-948.
- [3] 徐国强,朱乾根. 大气低频振荡研究回顾与概述[J]. 气象科技,2003,31(4):193-200.
- [4] 薛峰,梁信忠,王万秋,等. 大气低频振荡的数值模拟[J]. 大气科学,1996,20(6):655-661.
- [5] 李崇银,龙振夏,穆明权. 大气季节内振荡及其重要作用[J]. 大气科学,2003,27(4):518-535.
- [6] 武炳义,章淹,宋英杰. 10—20天准双周振荡的经向传播及地理特征[J]. 大气科学,1994,18(5):561-568.
- [7] 占瑞芬,孙国武,赵兵科,等. 中国东部副热带夏季降水的准双周振荡及其可能维持机制[J]. 高原气象,2008,27(增刊):98-108.
- [8] 杨双艳,武炳义,胡景高,等. 大气准双周振荡的研究进展[J]. 大气科学学报,2015,38(6):855-864.
- [9] 何志学,贺懿华,熊秋芬,等. 1998年夏季热带内外大气低频振荡特征分析[J]. 热带气象学报,2004,20(1):51-63.
- [10] 丁一汇,梁萍. 基于MJO的延伸期预报[J]. 气象,2010,36(7):111-122.
- [11] 何金海,梁萍,孙国武. 延伸期预报的思考及其应用研究进展[J]. 气象科技进展,2013,3(1):11-17.
- [12] 孙国武,信飞,陈伯民,等. 低频天气图预报方法[J]. 高原气象,2008,27(增刊):64-68.
- [13] 孙国武,信飞,孔春燕,等. 大气低频振荡与延伸期预报[J]. 高原气象,2010,29(5):1142-1147.
- [14] 孙国武,冯建英,陈伯民,等. 大气低频振荡在延伸期预报中的应用进展[J]. 气象科技进展,2012,2(1):12-18.
- [15] 孙国武,李震坤,信飞,等. 延伸期天气过程预报的一种新方法——低频天气图[J]. 大气科学,2013,37(4):945-954.
- [16] 纪忠萍,谷德军,吴乃庚,等. 广东省前汛期暴雨与500hPa关键区准双周振荡[J]. 应用气象学报,2010,21(6):671-684.
- [17] 林爱兰,纪忠萍,谷德军,等. 大气季节内振荡在华南降水预报中的应用[J]. 热带气象学报,2016,32(6):878-889.
- [18] 彭世球,章基嘉. 北半球大气遥相关型的统计诊断及数值试验[J]. 应用气象学报,1998,9(1):65-71.
- [19] 周永宏,郑大伟. 相关系数检验表的新算法[J]. 中国科学院上海天文台年刊,1997,348(18):18-23.
- [20] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京:气象出版社,2005:6,506.
- [21] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 2版. 北京:气象出版社,2000:202.
- [22] 李崇银. 大气低频振荡[M]. 北京:气象出版社,1993:10,128.

Relationship between Quasi-biweekly Low-frequency Oscillations and Precipitation in Shanxi Province from April to September

Li Runchun¹ Zhang Xiuzhi² Li Wei¹ Liu Yueli³

(1 Yangquan Meteorological Service, Shanxi, Yangquan 045000; 2 National Climate Center, Beijing 100081;

3 Shanxi Climate Center, Taiyuan 030002)

Abstract: The daily precipitation data of Shanxi Province from 1979 to 2010 and the reanalysis dataset of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts are used to explore the relationship between atmospheric low-frequency oscillations in the Eurasian region and the precipitation weather process of Shanxi Province from April to September by the diagnostic analysis method. The results indicate that the daily precipitation patterns in Shanxi can be mainly divided into three types: provincial consistency, North-Central, and Central types. Daily precipitation in Shanxi obviously varies with a characteristic of quasi-biweekly cycle. The low-frequency key region of 500 hPa influencing the precipitation in Shanxi is near the Bohai Sea on the East Coast of China and the low-frequency influence system is the Bohai Sea low-frequency high. The Bohai Sea low-frequency high varies with the quasi-biweekly cycle. The index of the Bohai Sea low-frequency high turns into positive phase 0 to 3 days before the precipitation occurrence in Shanxi. The Bohai Sea low-frequency high originates from the West Siberian low-frequency high, which is mainly located in east of West Siberia to west of Central Siberia and propagates to the Bohai Sea about a quasi-biweekly cycle.

Keywords: low frequency oscillation; precipitation in Shanxi; extended range