



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2016.01.015

栾清华, 付潇然, 刘家宏, 等. 汾渭平原干旱事件分析与丰枯异步性研究[J]. 2016, 14(1): 90-95.

LUAN Qing-hua, FU Xiao-ran, LIU Jia-hong, et al. Drought events and drought-waterlogging asynchronism in Fen-wei plain[J]. 2016, 14(1): 95-90. (in Chinese)

汾渭平原干旱事件分析与丰枯异步性研究

栾清华^{1,2}, 付潇然^{1,2}, 刘家宏², 邵薇薇², 白亮亮², 徐小钰³

(1. 河北工程大学, 河北 邯郸 056021; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 3. 西安理工大学, 西安 710048)

摘要: 近年来我国旱涝事件呈现出广发和频发趋势, 严重破坏了水资源供需平衡, 极大地制约着国民经济的快速发展。依据汾渭平原水文、气象和历史旱灾资料, 划分了干旱事件等级, 绘制了干旱事件图谱, 分析发现汾渭平原近年来发生干旱事件的频次越来越密集。利用汾河平原和渭河平原长序列年降水资料(1951年-2012年), 基于SPI法计算结果, 分析了两平原降水的丰枯异步性和旱涝事件的重现期, 印证了汾渭平原可以进行旱涝“空间集合应对”的条件, 为进一步优化晋陕两省水资源配置提供了有力的技术支撑。

关键词: 干旱事件; 干旱灾害等级图谱; 丰枯异步性; SPI; 共轭年; 汾渭平原; 南水北调西线工程

中图分类号: P333; T V68 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2016) 01- 0090-06

Drought events and drought-waterlogging asynchronism in Fen-wei plain

LUAN Qing-hua^{1,2}, FU Xiao-ran^{1,2}, LIU Jia-hong², SHAO Wei-wei², BAI Liang-liang², XU Xiao-yu³

(1. Hebei University of Engineering, Handan 056021, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China.)

Abstract: The drought and waterlogging in China have been showing a wider and more frequent trend in recent years, which can destroy the supply and demand balance of water resources seriously, and restrict the development of the national economy greatly. Firstly, based on the hydrological, meteorological and drought disaster data in Fen-wei plain, drought events grades were designed and the related mappings were drawn; The results show that the drought events was frequently observed in recent years. Secondly, the drought-waterlogging asynchronism and the hydrologic return period in Fen-wei plain was analyzed using the precipitation data(1951-2012) based on SPI, which reflects the condition space set comprehensive responses at the same time in Fen-wei plain. The results of this study could supply the reference to water resources optimization in Shanxi and Shaanxi province.

Key words: drought events; drought disaster grades mapping; drought-waterlogging asynchronism; SPI; conjugate years; Fen-wei plain; the west route of South to North Water Diversion Project

干旱通常是指某个地区在某个时节的降水量显著少于该地区的常规降水量, 使得该地区按照常规年景安排的人类活动受到缺水威胁的一种现象^[1]。20世纪起, 干旱及其相关领域, 特别是在干旱等级

划分及干旱评价方面逐渐引起学者们的关注和研究。在利用历史资料进行干旱等级划分的研究上, 蒋德隆等^[2]于1965年就利用古代气象资料对长江下游地区进行了相关研究, 划分了区域夏季旱涝程

收稿日期: 2015-04-04 修回日期: 2016-02-18 网络出版时间: 2016-02-27

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160227.1702.024.html>

基金项目: 中国工程院重大咨询项目(2012-ZD-13); 国家自然科学基金(面上项目, 51279207)

Fund: Major Consulting Project of Chinese Academy of Engineering(2012-ZD-13); National Natural Science Foundation of China(General Program, 51279207)

作者简介: 栾清华(1978-), 女, 河北井陘人, 副教授, 主要从事水文学及水资源专业的教学和科研工作。E-mail: carol97011202@163.com

通讯作者: 付潇然(1991-), 男, 河北廊坊人, 主要从事水文学及水资源方面研究。E-mail: fuxiaoran0@163.com

度并进行了其演变规律的分析。在利用不同指数进行干旱等级划分及评价上,标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)^[3]因受地形影响小、能够对不同时间尺度的旱情进行量化,在不同气候区具有良好的普适性而被广泛引用。2010年以来,不同学者利用SPI指数对京津冀^[4,5]、内蒙古^[6]、甘肃省河东^[7]、陕西关中地区^[8]等不同地区进行了相关研究,但这些研究大多集中在对区域干旱(旱涝)时空变化特性或干旱趋势的分析上,鲜有在区域之间丰枯异步性进行应用分析,以汾渭平原为典型区域进行的相关研究更少。

汾渭平原是连接我国东西部的桥梁与纽带,在我国农业发展、粮食安全和能源化工等方面均占据着极其重要的战略地位。由于区域水资源本底条件欠缺,随着人类活动影响的不断深入,水资源供需矛盾不断增大;加之气候变化的影响,干旱事件呈现出广发和频发态势,灾害程度和损失也呈增加趋势,水资源短缺已成为制约汾渭平原快速发展的最大因素。本文基于SPI指数的旱涝等级划分结果,对汾渭平原“丰枯异步”特性分析,为区域制定“建设水利工程进行水系连通、丰枯调剂,实现区域间水资源协调分配、相互补充”的战略措施^[9]提供科学依据。

1 流域概况

汾渭平原主要包括汾河中下游太原盆地、临汾盆地、运城盆地在内的汾河平原和渭河流域关中盆地及其连带的黄土阶地在内的渭河平原,两平原均是由汾渭地堑经汾渭二河冲积而形成,故而延伸方向和其地堑的走向一致,形成由北向南再折向西的拐弯形狭长地带,并通过汾渭二河注入黄河的谷地汇为一体,故称汾渭平原^[10](见图1)。整个平原北起山西太原、南抵永济,长约760 km、宽40~100 km,跨黄河小北干流进入陕西,延伸至宝鸡市陇山塬下,土地总面积6.7万 km²。汾渭平原自古就是晋陕两省的“粮仓”,灌溉耕地面积占两省总灌溉面积的50%,粮食产量超过60%。国家“十二五”规划纲要里提出构建“七区二十三带”农业战略格局,汾渭平原也被列为优质专用小麦和专用玉米的产业带,是国家确保粮食安全和食物安全的坚实后盾。改革开放以来,特别是实施西部大开发以来,区内机械、电子、能源重化工产业等迅猛发展,汇集了近3500万人口和众多的工业企业,区域GDP占两省GDP总量的53.2%^[11]。

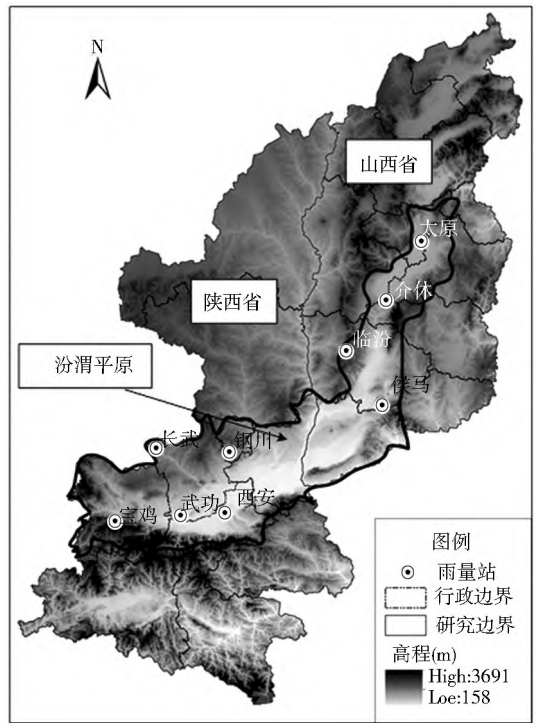


图1 汾渭平原地理位置

Fig. 1 The location of Fenwei plain

2 历史干旱事件规律分析

2.1 干旱事件等级划分

基于汾河平原、渭河平原历史干旱情况的统计资料,依据其旱灾数据,参考《气象干旱等级》国家标准和实际情况,本文将干旱事件设为5个等级。若发生某些特殊干旱事件,如两平原曾出现过大量饥民饿死和人相食情形,旱灾影响面广、持续时间长,则在特旱等级(即第5级)之上再补充干旱事件影响和损害更重的干旱等级,并设为6级超旱。区域历史干旱事件6个不同等级的干旱特征及干旱事件影响见表1。

2.2 历史干旱事件统计

依据表1的划分标准,参考汾河平原、渭河平原历史干旱资料^[12-17],分别统计了汾河平原公元前920年-公元2012年和渭河公元前841年-公元2012年发生主要干旱事件的年份,对应表1的标准,统计划分了汾河平原、渭河平原的干旱事件等级,并绘制了两平原干旱事件图谱(图2、图3)。

为进一步的方便分析比较,将图谱中出现的历史干旱事件按照不同世纪进行统计并绘制了汾河平原、渭河平原干旱事件趋势图(图4、图5)。

2.3 历史干旱特性分析

根据汾河平原、渭河平原干旱事件等级图谱及其演变趋势图(图2-图5),从公元前至今近3000

表 1 干旱事件等级对照

Tab. 1 The drought disaster grades table

干旱等级	干旱类型	干旱特征	干旱事件的影响程度
1	正常或湿涝	降水正常或较常年偏多,地表湿润,无旱象	无
2	轻旱	降水较常年偏少,地表空气干燥,土壤出现水分轻度不足	对农作物有轻微影响
3	中旱	降水持续较常年偏少,土壤表面干燥并出现水分不足,植物叶片白天有萎蔫现象	对农作物和生态环境造成一定影响
4	重旱	土壤出现水分持续严重不足,土壤出现较厚的干土层,植物萎蔫、叶片干枯,果实脱落	对农作物和生态环境造成较严重的影响,对工业生产、人畜饮水产生一定影响
5	特旱	土壤出现水分长时间严重不足,地表植物干枯、死亡	对农作物和生态环境造成严重影响,对工业生产、人畜饮水产生较大影响
6	超旱	土壤出现水分长时间严重不足,地表植物大面积干枯、死亡	对农作物和生态环境造成特别严重影响,对工业生产、人畜饮水特别困难,大量饥民饿死,出现人相食情形。

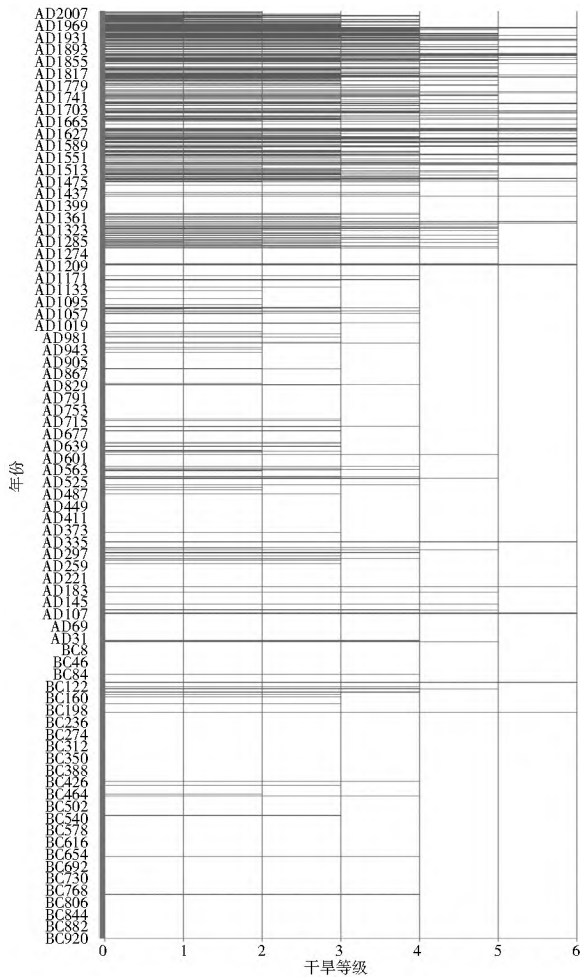


图 2 汾河平原干旱事件等级图谱

Fig. 2 Fenhe plain drought disaster grades map

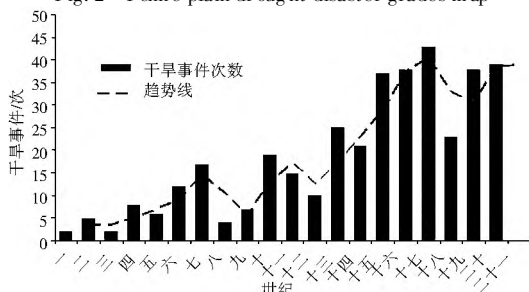


图 4 汾河平原干旱事件演变趋势

Fig. 4 The drought disaster tendency of Fenhe plain

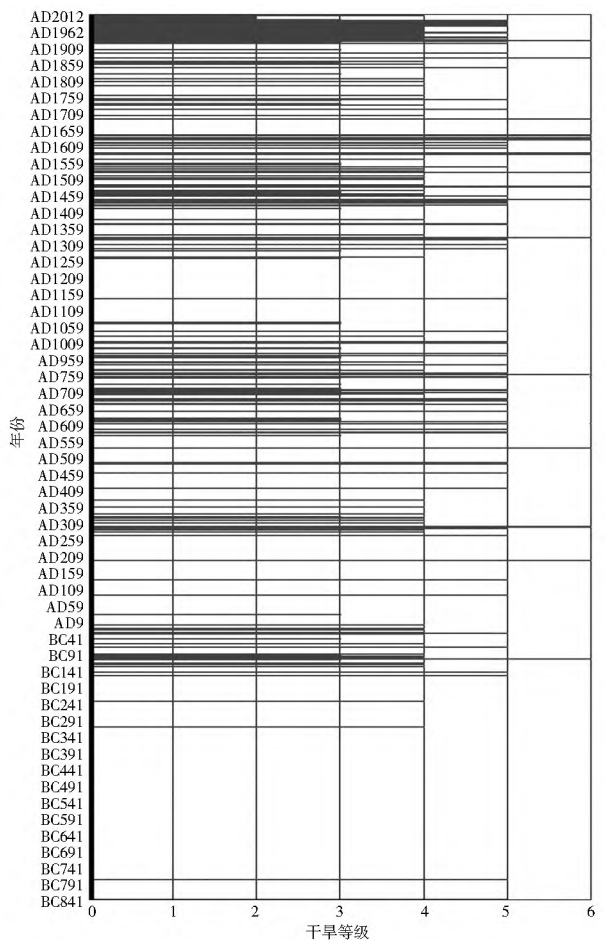


图 3 渭河平原干旱事件等级图谱

Fig. 3 Weihe plain drought disaster grades map

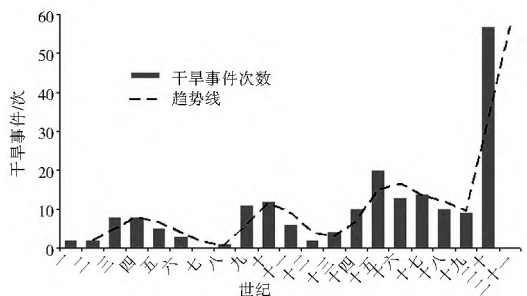


图 5 渭河平原干旱事件演变趋势

Fig. 5 The drought disaster tendency of Weihe plain

年的时间里,两平原发生干旱事件的频率均呈逐渐增高趋势,特别是百年内发生干旱事件的频次迅速增高。其中,汾河平原在12世纪60年代到15世纪60年代、17世纪60年代到19世纪90年代两段时期发生干旱事件的频次较高,特别是在公元1247年-2007年这一阶段汾河平原发生重旱和特旱的频次较高。从历史总体干旱事件的角度来看,渭河平原发生干旱事件的频次高于汾河平原,但事件的等级不高,都集中于中旱以下的干旱事件。对比历史干旱事件的总体趋势,渭河平原干旱事件频次趋势线周期性振荡比较明显,汾河平原干旱事件频次逐步增加。上述干旱事件呈现出的频次发生和趋势的非一致性反映了汾渭平原丰枯的异步性。

进入到20世纪以来汾渭平原干旱事件发生的频率显著增加,这与区域气候条件呈现暖干化趋势密切相关。近1000年以来,平均气温呈上升趋势,总降水量呈下降趋势,特别是到20世纪末全球气候变暖,20世纪百年平均气温明显高于近千年来任何连续的一百年^[18]。自20世纪60年代以来,虽然两平原的干旱事件呈高发趋势,但特旱(5级)和超旱(6级)出现的频次有了明显减少。这一变化主要得益于我国水利工程建设事业的蓬勃发展,大型水利设施和各取调水工程的相继建成并投入使用,缓解了区域水资源严重短缺以及时空分配不均等问题,进而缓解了干旱事件的不利影响,降低了干旱事件的等级。

3 丰枯异步性分析

旱涝事件的异步性分析主要目的在于揭示汾河平原与渭河平原的旱涝特征在空间上的差异性,以明确旱涝“空间集合应对”的可能性。分别选取汾渭两平原的典型雨量站点,基于SPI指数进行区域的旱涝等级划分,通过两平原逆序双轴等级分布图,统计两平原的丰枯异步情况;结合两平原水文事件重现期的对比来分析汾渭平原的丰枯异步性。

3.1 标准化降水指数(SPI)的计算

3.1.1 标准化降水指数的计算

在汾河平原和渭河平原的旱涝等级划分的基础上,考虑到降水量在时间尺度和空间尺度上的分布不均匀性,采用SPI指数分别对1951年-2012年汾河平原和渭河平原面降水资料进行旱涝等级划分,其中汾河平原选用雨量站点为太原、介休、临汾和侯马站;渭河平原选用雨量站点为长武、铜川、宝鸡、武功和西安,各站点位置及其分布见图1。SPI的具体计算步

骤见图6^[18]。据此计算求得两平原的SPI值后,再按照旱涝等级对照表(表2)进行旱涝等级划分。

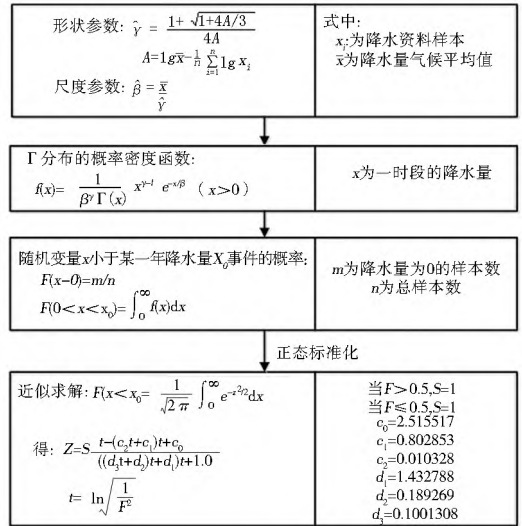


图6 SPI计算流程

Fig. 6 The calculation flow chart for SPI

表2 SPI旱涝等级对照

Tab. 2 Classification scales for SPI

干旱等级	SPI 值	旱涝类型
- II	$SPI > 2.0$	特涝
	$1.5 < SPI \leq 2.0$	重涝
	$1.0 < SPI \leq 1.5$	中涝
- I	$0.5 < SPI \leq 1.0$	轻涝
	$- 0.5 < SPI \leq 0.5$	正常
I	$- 1.0 < SPI \leq - 0.5$	轻旱
	$- 1.5 < SPI \leq - 1.0$	中旱
II	$- 2.0 < SPI \leq - 1.5$	重旱
	$SPI \leq - 2.0$	特旱

3.1.2 异步性分析

为简化分析过程,将1951年-2012年的两平原的旱涝特征划分为“特重旱”“中轻旱”“正常”“中轻涝”和“特重涝”五级,分别用“- II”“- I”“0”“I”“II”表示(表2),将同一年份汾渭平原不同的旱涝特征汇总、组合分析形成表3,其中“同丰”表示汾河平原和渭河平原降水同时大于“0”级;“同平”表示两个均为“0”级;“同枯”表示两个都低于“0”级;“丰平异步”表示一个为“0”级,另一个高于“0”级;“丰枯异步”表示一个高于“0”级,另一个低于“0”级;“平枯异步”表示一个为“0”级,另一个低于“0”级。

由于汾渭平原位于缺水地区,表3中“同丰”的优点是可以透过地表、地下储水设施有效蓄存洪水资源,为后期抗旱做好水资源的储备工作;“丰平异步”的优点是可以透过工程措施使得丰水年期间的洪水资源得到有效利用,补充平水年区域的生态用

表 3 汾渭平原 1951 年- 2012 年旱涝同异步组合分析

Tab. 3 The combination characteristics analysis of drought and waterlogging in Fenwei plain from 1951 to 2012

1951 年- 2012 年	同步性			异步性		
	同丰	同平	同枯	丰平异步	丰枯异步	平枯异步
年数合计	4	19	2	13	10	14
所占比例 (%)	6.5	30.6	3.2	21.0	16.1	22.6

水,两个区域间地下水在此种情况下可以互相休养生息、涵养水源;“丰枯异步”的优点是可以实现两区域内的水资源丰枯调剂、多源互补、地表水量与地下水量的置换。因此,“同丰”、“丰平异步”、“丰枯异步”皆有利于“集合应对”;“偏枯”和“同枯”是不利情景。从表中可知,较为有利的“同丰”、“丰平异步”、“丰枯异步”共 27 年,所占的比例为 43.5%,具备了以丰补缺的前提条件。

为方便比较分析,将 1951 年- 2012 年的旱涝分级数做成逆序双坐标轴图见图 7,汾河平原的旱涝特征数采用左边的正序坐标轴标注,渭河平原的旱涝特征数采用右边的逆序坐标轴标注。这种坐标图上点据完全重合的点即是汾河平原和渭河平原旱涝特征相互耦合的年份,称为旱涝“共轭年”。在 1951 年- 2012 年 62 年里,这样的“共轭年”有 28 年,所占比例为 45.2%,证明汾渭平原具备进行“空间集合应对”的有利条件。

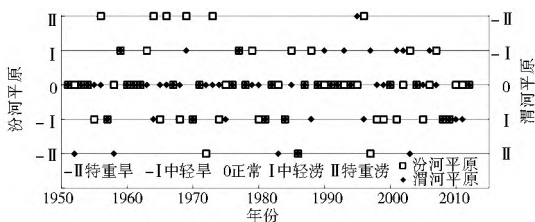


图 7 汾渭平原 1951 年- 2012 年旱涝事件异步性分析

Fig. 7 The drought waterlogging asynchronism analysis in Fenwei plain from 1951 to 2012

3.2 重现期分析

水文事件的严重程度通常用超过值的重现期表示,本文根据标准化降水指数 SPI 划分的旱涝等级统计汾河、渭河平原不同旱涝等级下的水文事件重现期。水文事件单变量超过值的重现期可表示为^[19-20]

$$T(X_i > x_i) = \frac{E(L)}{1 - F_{xi}(x_i)} \quad (9)$$

式中: $T(X_i > x_i)$ 为随机变量 $X_i (i = 1, 2, 3, \dots, d)$ 的超过值的重现期; $E(L)$ 为水文事件间隔时间期望值(年); $F_{xi}(x_i)$ 为水文事件不超过值的概率。

根据汾河、渭河平原历史旱涝事件情势,计算了两平原不同等级下的旱涝事件重现期(见表 4)。总

体上,汾河平原干旱重现期较短,干旱情势比较严重;而渭河平原与之相反,干旱重现期较长,洪涝情势比干旱情势严重。据此可知,两平原呈现出明显的干旱频次异步性的特征。

表 4 汾河、渭河平原水文事件重现期统计

Tab. 4 Hydrological events return period of Fenhe & Weihe plain

所属区域 重现期(年)	旱涝等级				
	特重旱	中轻旱	正常	中轻涝	特涝
汾河平原	22	4	2	5	11
渭河平原	68	7	2	4	13

4 结论与展望

本文绘制了汾渭平原近 3000 年以来的干旱事件等级图谱,分析了近 2000 年以来的干旱事件演变趋势,解析了两平原的丰枯异步性,得出以下结论。

(1) 汾河平原、渭河平原近 3000 年以来发生干旱事件的频率均呈上升趋势,百年内发生干旱事件的频次都有趋高的倾向。汾河平原在 12 世纪 60 年代到 15 世纪 60 年代、17 世纪 60 年代到 19 世纪 90 年代两段时期发生干旱事件的频次高。总体来看,渭河平原历史上发生干旱事件的频次高于汾河平原,但都集中于中旱以下等级,干旱频次趋势线周期性振荡比较明显。由此呈现出的频次发生和趋势的非一致性侧面映射了汾渭平原的丰枯异步规律。

(2) 汾河平原与渭河平原在 1951 年- 2012 年 62 年里,较为有利的“同丰”、“丰平异步”、“丰枯异步”的年份所占比例为 43.5%,旱涝特征相互耦合的“共轭年”所占比例为 45.2%,证明汾渭平原具备以丰补缺和进行水资源“空间集合应对”的有利条件。

(3) 整体上,汾河平原干旱重现期较洪涝重现期短,干旱情势比洪涝情势严重;渭河平原干旱重现期较洪涝重现期长,洪涝情势比干旱情势严重。因此,利用“涝年(季)”蓄水来弥补“旱年(季)”缺水是可行性的。

汾河、渭河两大平原呈现出的丰枯异步特性,证实了研究区在空间上实现多源互补、丰枯相济的可能性,为今后应对区域常态化干旱和抗旱防涝工作提供战略支撑。如是,可大大增强区域水资源的空间配置能力、优化水资源配置格局,确保晋陕两省水资源合理供给,特别在有效地缓解汾渭平原的水资源的短缺、保障区域粮食安全和能源安全等一系列问题上具有重要意义^[21-22]。

参考文献 (References):

[1] 李佩成. 试论干旱[J]. 干旱地区农业研究, 1984(02): 4-17. (LI

- Pei cheng. The drought discussion[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1984(02): 4-17. (in Chinese)
- [2] 蒋德隆, 严济远. 长江下游地区夏季旱涝演变趋势的研究[J]. 地理学报, 1965(31): 85-99. (JIANG De long, YAN Ji yuan. On the trends of summer time droughts and excessive rainfall in the lower yangze region[J]. Journal of Geography, 1965(31): 85-99. (in Chinese))
- [3] McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[Z]. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 1993: 179-184.
- [4] 方宏阳, 杨志勇, 栾清华, 等. 基于 SPI 的京津冀地区旱涝时空变化特征分析[J]. 水利水电技术, 2013, 44(10): 13-16. (FANG Hong yang, YANG Zhi yong, LUAN Qing hua, et al. SPI based analysis on characteristics of drought flood spatial-temporal variation of Beijing Tianjin Hebei Region[J]. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2013, 44(10): 13-16. (in Chinese))
- [5] 车少静, 李春强, 申双和. 基于 SPI 的近 41 年(1965-2005)河北省旱涝时空特征分析[J]. 中国农业气象, 2010(1): 137-143, 150. (CHE Shao jing, LI Chun qiang, SHEN Shuang he. Analysis of drought flood spatial temporal characteristics based on Standard Precipitation Index (SPI) in Hebei Province during 1965-2005[J]. Agricultural Meteorology China, 2010(1): 137-143, 150. (in Chinese))
- [6] 周扬, 李宁, 吉中会, 等. 基于 SPI 指数的 1981-2010 年内蒙古地区干旱时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2013(10): 1694-1706. (ZHOU Yang, LI Ning, JI Zhong hui, et al. Temporal and spatial patterns of droughts based on Standard Precipitation Index (SPI) in inner Mongolia during 1981-2010[J]. Journal of Natural Resources, 2013(10): 1694-1706. (in Chinese))
- [7] 王莺, 李耀辉, 胡田田. 基于 SPI 指数的甘肃省河东地区干旱时空特征分析[J]. 中国沙漠, 2014(1): 244-253. (WANG Ying, LI Yao hui, HU Tian-tian. Analysis on spatial and temporal patterns of drought based on Standardized Precipitation Index in the Hedong area in Gansu Province[J]. Chinese Desert, 2014(1): 244-253. (in Chinese))
- [8] 谭学志, 粟晓玲, 邵东国. 基于 SPI 的陕西关中地区气象干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011(02): 224-229. (TAN Xue zhi, SU Xiao ling, SHAO Dong guo. Analysis of spatial and temporal characteristics of meteorological drought in Guanzhong region of Shaanxi Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011(02): 224-229. (in Chinese))
- [9] 王浩. 面向生态的西北地区水资源合理配置问题研究[R]. 中国科协 2005 年学术报告, 2005. (WANG Hao. Study on rational allocation of water resources in Northwest China based on ecological problems[R]. Chinese Association Academic Report in 2005, 2005. (in Chinese))
- [10] 百度百科. 汾渭平原[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/892033.htm>. 2015.03.31. (Baidu Encyclopedia. Fenwei plain[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/892033.htm>. 2015.03.31.)
- [11] 中华人民共和国国家统计局. 2012 年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013. (The People's Republic of China National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2012 [M]. Beijing: Chinese Statistics Press, 2013. (in Chinese))
- [12] 中国气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981. (China Meteorological Science Research Institute, Nearly five hundred years of drought and flood Chinese Atlas [M]. Beijing: Map Publishing House, 1981. (in Chinese))
- [13] 温克刚. 中国气象灾害大典·山西卷[M]. 北京: 气象出版社, 2005. (WEN Ke gang. Meteorological disasters China ceremony (Shanxi) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005. (in Chinese))
- [14] 山西省水利厅, 山西省统计局. 山西省第一次全国水利普查公报[R]. 2013, 3-5. (Shanxi Provincial Water Resources Department, Shanxi Provincial Bureau of Statistics. The first national water census bulletin of Shanxi Province [R]. 2013, 3-5. (in Chinese))
- [15] 山西省水利厅水旱灾害委员会. 山西水旱灾害[M]. 河南: 黄河水利出版社, 1995. (Shanxi Provincial Water Conservancy Department of flood and drought disasters in committee. Flood and drought disasters in Shanxi [M]. Henan: The Yellow River Water Conservancy Press, 1995. (in Chinese))
- [16] 陕西省抗旱办公室陕西省农业气象中心. 陕西省干旱灾害年鉴(1949~1995 年)[M]. 陕西: 西安地图出版社, 1999. (Drought in Shaanxi Province Office of Shaanxi Province Agricultural Meteorology Center. The drought disasters in Shaanxi province (1949 to 1995) [M]. Shaanxi: Xi'an Map Publishing House, 1999. (in Chinese))
- [17] 刘枢机, 彭谦, 洪小康, 等. 陕西省志·水文志[M]. 陕西: 陕西人民出版社, 1999. (LIU Shu ji, PENG Qian, HONG Xiao kang, et al. Shaanxi Province - hydrological records [M]. Shaanxi: Shaanxi People's Publishing House, 1999. (in Chinese))
- [18] 王绍武, 谢志辉, 蔡静宇, 等. 近千年全球平均气温变化的研究[J]. 自然科学进展, 2002(11): 27-31. (WANG Shao wu, XIE Zhi hui, CAI Jing yu, et al. Study of the average global temperature change in recent one thousand years [J]. Progress in Natural Science, 2002(11): 27-31. (in Chinese))
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 20481-2006 气象干旱等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006. (The people's Republic of China State Administration of Quality Supervision Inspection and quarantine, China National Standardization Management Committee. GB/T 20481-2006 Classification of meteorological drought [S]. Beijing: Chinese Standard Press, 2006. (in Chinese))
- [20] 黄振平. 水文统计学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2003. (HUANG Zhen ping. Hydrological statistics [M]. Nanjing: Hohai University press, 2003. (in Chinese))
- [21] 刘家宏, 毛晓敏, 邵薇薇, 等. 汾渭平原旱涝集合应对研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2014. 3. (LIU Jia hong, MAO Xiao min, SHAO Wei wei, et al. Drought-flood collection coping study in Fenwei plain [R]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2014. 3. (in Chinese))
- [22] 王浩, 栾清华, 刘家宏. 从黄河演变论南水北调西线工程建设的必要性[J]. 人民黄河, 2015(01): 1-5, 14. (WANG Hao, LUAN Qing hua, LIU Jia hong. Necessity of constructing the westem route project of SNWRP considering the Yellow River evolution [J]. Yellow River, 2015(01): 1-5, 14. (in Chinese))