第28卷第3期
2017年 6月

水资源与水工程学报
Journal of Water Resources & Water Engineering

Vol. 28 No. 3
Jun. ,2017

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2017.03.16

人类活动影响下的陕西省水资源脆弱性评价

刘 珍[1], 文彦君[1,2], 韩 梅[3], 朱婵婵[1], 刘少华[1]

(1. 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013; 2. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013; 3. 宝鸡文理学院 经济管理学院, 陕西 宝鸡 721013)

摘 要:随着人口的增长,水资源供需矛盾成为制约陕西省社会经济可持续发展的重要因素之一,人类活动对陕西省水资源脆弱现状的影响越来越大。通过收集陕西省水资源、人口以及社会经济相关数据,采用函数评价方法,对陕西省10个省辖市及杨凌示范区进行水资源脆弱性评价并简要分析影响因素。结果表明:陕西省水资源脆弱性的空间差异较大,关中地区面临更严重的水资源供需问题;渭南、咸阳、杨凌3市(区)属于极脆弱区,商洛水资源脆弱性属于弱脆弱区;陕西省水资源开发利用率水资源脆弱性与水资源开发利用率存在较好的正相关关系。缩小水资源空间差异,提高水资源开发利用率对于陕西省水资源管理工作势在必行。

关键词:水资源脆弱性;人类活动影响;函数评价方法;陕西省

中图分类号:TV213.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-643X(2017)03-0082-05

Evaluation of water resources vulnerability under the influence of human activities in Shaanxi Province

LIU Zhen[1], WEN Yanjun[1,2], HAN Mei[3], ZHU Chanchan[1], LIU Shaohua[1]

(1. *College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *China*; 2. *Key Lab of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *China*; 3. *College of Economic Management, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *China*)

Abstract: With the increase of population, the contradiction between supply and demand of water resources has become one of the important factors restricting the sustainable development in Shaanxi Province, and the impact of human activities on the fragile status of water resources in Shaanxi Province is becoming more and more serious. Based on the collected data on water resources, population and social economy in Shaanxi Province, the function evaluation method was used to conduct water resources vulnerability assessment and to briefly analyze the influencing factors for 10 provincial cities and Yangling demonstration zone in Shaanxi Province. The results showed that, the spatial difference of water resources vulnerability was large in Shaanxi Province, and Guanzhong region was facing more serious problem between the supply and demand of water resources. The three cities of Weinan, Xianyang and Yangling belonged to the extremely fragile areas , Shangluo belonged to fragile area of water resources. Water resources vulnerability and water resources utilization ratio in Shaanxi Province had a good positive correlation. To narrow the gap of spatial difference of water resources and to improve water resources utilization efficiency are imperative in the water resources management in Shaanxi Province.

Key words: water resources vulnerability; influence of human activity; function evaluation method; Shaanxi Province

近年来,随着人口数量的增加、人民生活质量的提高、农业灌溉面积的进一步扩展等,人类活动用水的需求量不断增长,而有限的水资源难以满足用水需求,由供需矛盾造成的区域性水资源危机进一步

收稿日期:2016-12-05; **修回日期**:2017-02-08

基金项目:国家自然科学基金项目(41071359);陕西省重点实验室项目(11JS012);宝鸡文理学院地理学陕西省重点学科基金项目

作者简介:刘 珍(1992-),女,陕西宝鸡人,硕士研究生,研究方向为自然灾害防治及地理信息系统应用。

通讯作者:文彦君(1978-),男,陕西宝鸡人,硕士,副教授,主要研究方向为自然灾害风险与区域可持续发展。

加剧[1-3]。区域水资源供需矛盾已严重困扰区域经济社会的可持续发展,而寻求前两者和谐发展的水资源脆弱性研究也成为水资源领域的研究热点之一[4]。脆弱性在 IPCC 第五次评估报告中被定义为某一事物受到不利影响的倾向和趋势[5]。而关于水资源脆弱性的研究最早开始于法国人 Margat 提出的"地下水脆弱性"概念[6]。之后水资源脆弱性的研究范围和深度越来越大,从单一的地下水资源脆弱性的研究转变到地表水资源和水资源系统的脆弱性研究[7-8]。随着气候变化和人类活动对水资源系统影响程度的加剧,研究方向的关注重点又开始向气候变化和人类活动影响下的水资源脆弱性转变[9-10]。综合前人研究,本文认为水资源脆弱性是指水资源系统在气候变化和人为活动等的作用下,所受到不利影响的程度和变化,包括水资源结构的改变、水资源数量的减少和质量下降以及由此引发的水资源供需的变化和旱涝等自然灾害的发生[11-13]。水资源脆弱性的影响因素主要包括两大方面:气候变化和人类活动。气候变化影响水资源供给,人类活动则影响水资源需求[14-15]。现有研究主要集中于对气候变化影响下的水资源脆弱性的探讨,而由于短期内水资源脆弱性的影响因子主要为人类活动,本文从人类活动影响下的水资源供需矛盾的角度评价水资源的脆弱性。

随着社会经济的快速发展和人口数量的不断增加,水资源开发力度的逐渐加大,加之气候变化对陕西省水资源量的影响,未来陕西省水资源脆弱性将进一步增大。因此对陕西省水资源脆弱性进行综合评价,提出切实可行的应对政策,对陕西省经济社会的可持续发展有着重大意义。

1　研究区概况

陕西省全省面积 $20.58\times10^4\ km^2$,下辖西安 1 个副省级市、宝鸡等 9 个地级市及 1 个农业示范区(杨凌)。横跨黄河、长江两大流域,秦岭以南为长江水系,以北为黄河水系。区域内南北气候差异明显,由南到北依次为:亚热带季风气候,暖温带季风气候,中温带季风气候[16],这也正是造成陕西省水资源时空分布极度不均匀的主要影响因素。在时间上,全省年降雨量主要集中在 7-10 月份,往往造成旱涝及连旱、连涝现象[16];在地域上,陕南地区,基本属于长江流域,为湿润区,拥有陕西省 72% 水资源,但只占陕西总面积的 36%;关中、陕北地区占了陕西省总面积的 63%,但仅仅拥有陕西省总水量的 28%。

《2015 年陕西省水资源公报》中统计显示,在各产业部门用水量中,农业用水的比重最大,为 $48.81\times10^8\ m^3$,占总用水量的 53.56%,工业用水占 15.59%、生活用水占 14.55%、林业用水占 10.00%、城镇公共及生态环境用水量占 6.30%[17]。

2　数据来源与评价方法

2.1　数据来源

本文评价所用数据均来自《2015 陕西统计年鉴》[16]及《2015 陕西水资源公报》[17],数据整理如表 1 所示:

表 1　2015 年陕西省水资源一览表

地区	人口总数/万人	用水总量/$10^8\ m^3$	人均用水量/m^3	总供水量/$10^8\ m^3$	水资源总量/$10^8\ m^3$
全省	3775.12	91.16	240.4	91.16	333.43
渭南	534.30	15.63	260.7	15.63	10.08
咸阳	495.68	11.13	223.9	11.13	5.37
杨凌	20.30	0.39	193.6	0.39	0.14
西安	862.75	18.20	209.1	18.2	22.48
汉中	343.15	16.35	475.4	16.35	109.57
安康	264.20	7.24	273.0	7.24	99.58
榆林	338.39	7.72	226.9	7.72	19.24
铜川	84.51	0.91	107.9	0.91	2.13
宝鸡	375.32	7.92	210.3	7.92	25.88
延安	221.43	2.62	117.4	2.62	7.84
商洛	235.08	3.05	129.4	3.05	31.08

2.2　评价方法

目前评价水资源脆弱性的方法主要为定量评价。定量评价可分为指标分析法和函数分析法[18]。传统的指标分析法[19-20]只是对指标进行简单叠加,从而获得水资源脆弱性评价结果,该方法从指标选取到权重确定都存在很大的人为干扰。函数分析法则是从水资源脆弱性的基本概念出发,采用函数将研究区的水资源脆弱现状转化为相应的脆弱度值。数值越高,该地区的水资源脆弱性就越高,反之就越低。

本文选取夏军等[19]提出的函数法作为水资源脆弱性的评价方法,认为水资源脆弱性是水资源系统受气候变化、人类活动等因子影响的敏感性和抗压性的函数。可以写成公式(1)的形式:

$$V = a\frac{S(t)}{C(t)} \tag{1}$$

式中:V 为水资源脆弱性; a 为尺度因子; $S(t)$ 为水资源系统对影响因子的敏感性; $C(t)$ 为水资源系

统对影响因子的抗压性。

在水资源供需关系中，气候变化对水资源的供给的影响较为明显，社会经济技术的发展对水资源需求的影响较为明显。由于气候变化对水资源总量、用水量的影响存在许多的不确定性，本文暂不考虑 $S(t)$，仅考虑 $C(t)$[20]。

令 $S(t)=1, a=1$，公式(1)可以简略为(2)的形式：

$$V=\frac{1}{C(t)} \tag{2}$$

式中：$C(t)$ 由水资源开发利用率、人均用水量、百万方水承载人口数构造函数得到[6]，见公式(3)：

$$\begin{aligned} C(t) &= f(r, FI, WU) \\ &= \exp(-r\cdot k)\exp(-FI\cdot WU) \\ &= \exp(-r\cdot k-\frac{P}{Q}\cdot\frac{W}{P}) \end{aligned} \tag{3}$$

式中：r 为水资源开发利用率，%；可以根据总供水量与水资源总量之比获取；FI 是百万方水承载人口数，万人/$10^6 m^3$；由人口数 P 和水资源总量 Q 之比得到；WU 为人均用水量，m^3/人，由用水总量 W 和人口数 P 之比得到；k 为尺度因子，为常数，取值为2.3[7]。

在公式(3)中，当 $r=0$ 时，$C(t)=1$；随着区域内人类活动的逐步加强，r 的值也随之增高，$C(t)$ 的值随之降低；当 r 达到最大值1时，$C(t)$ 的值降至最低值0.037。由此可推断出 $C(t)$ 的取值范围为[0.037,1]。

结合公式(1)、(2)、(3)，就可以算出水资源脆弱性 V。通过极大值标准化法，将 V 值转化为0到1之间，见公式(4)。

$$V=V_{标准化}=\frac{V_i}{V_{max}} \tag{4}$$

式中：$V_{标准化}$ 为标准化后的水资源脆弱性值；V_i 为各地级市标准化前的水资源脆弱性值；V_{max} 为各地级市水资源脆弱性标准化前的最大值。

参考表2水资源脆弱性分级，得到2015年陕西省各地级市水资源脆弱性的评价结果。

表2 水资源脆弱性分级

V	脆弱性等级
$0<V\leqslant 0.05$	不脆弱
$0.05<V\leqslant 0.10$	弱脆弱
$0.10<V\leqslant 0.20$	中脆弱
$0.20<V\leqslant 0.40$	强脆弱
$0.40<V\leqslant 1.00$	极脆弱

3 结果分析

运用 Arcgis 10.2 软件将2015年陕西省各地级市水资源脆弱性值表示为图1。

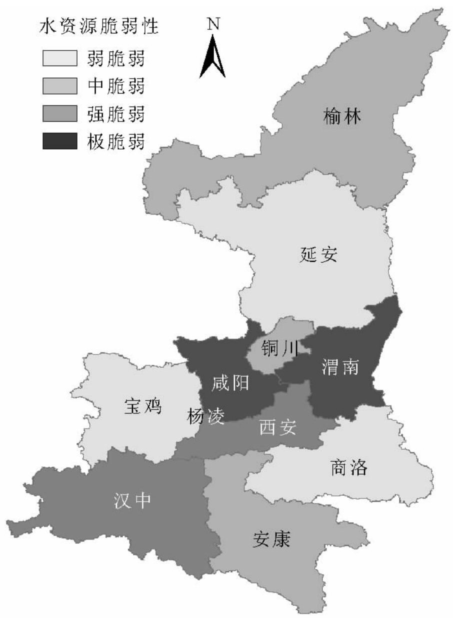

图1 2015年陕西省水资源脆弱性

由图1可知，陕西省水资源脆弱性分布具有较大的空间差异。关中地区面临的水资源供需问题比陕北、陕南地区更为严重。3个极脆弱区，1个强脆弱区集中在关中地区。其中，西安的脆弱性值为0.252，属于强脆弱区；咸阳、渭南和杨凌均表现为极脆弱，且脆弱性值接近于1或等于1；铜川属于中脆弱区，宝鸡属于弱脆弱区。陕北、陕南地区水资源脆弱性均小于关中地区，但汉中、安康两地水资源脆弱性较高。从整体来看，关中地区各市水资源脆弱性平均值为0.545，属于极脆弱性，而陕南地区各市水资源脆弱性平均值为0.139，属于中脆弱性，陕北地区各市水资源脆弱性平均值为0.089，属于弱脆弱性，这也是陕西省水资源脆弱性分布不均的具体表现。

关中地区水资源占有量约是陕南地区的1/3，但通过分析2015年陕西省统计年鉴可知：关中地区人口占全省总人口的63%，陕北、陕南的人口仅占全省总人口的15%和22%，其人口数不到关中地区的1/3。说明关中地区人口相对集中，总人口需水量较大，脆弱性自然也随之增大。地处秦岭以南的陕南地区，基本属于长江流域，在中国干湿区域划分里属于湿润区，拥有陕西省72%水资源，但仅承载了陕西人口总数的22%。

水资源脆弱性评价结果不是单一的水资源问题对区域内水资源现状的反映,是区域内水资源问题的综合表现,本文主要是从水资源供需情况的空间差异来反映水资源脆弱性。将所有地级行政区的水资源脆弱性按照从大到小的顺序排列,将本文函数评价方法中选取的相应指标与对应的水资源脆弱性两两对比,生成图 2、3、4、5。下面 4 幅图展示了 4 个评价指标与水资源脆弱性变化趋势的相关关系。

如图 2 所示:脆弱性 V 与 r(水资源开发利用率)存在较好的对应关系,相关系数高达 0.871。当 r 达到 100% 时,即该地区的总供水量等于水资源总量时,水资源脆弱性 V 接近或达到了最高值 1 。水资源开发利用率已经到达临界值,水资源完全被利用,却没有满足大量人口所产生的需求量。数据显示咸阳、渭南、杨凌三地水资源利用率已经超过 100% ,2015 年咸阳、渭南两地的耗水量分别达到 11.13×10^8、15.63×10^8 m^3,而水资源总量仅 5.37×10^8、10.08×10^8 m^3,说明了这些地区对水资源的需求量已经远超过其拥有的水资源量,其水资源脆弱性 V 值也就越大。

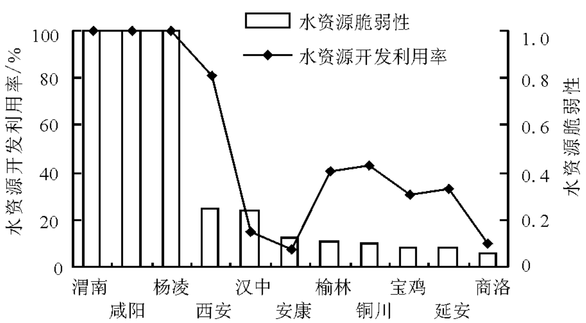

图 2　水资源开发利用率与水资源脆弱性

图 3 表示了百万方水承载人数随水资源脆弱性降低的变化情况。相关系数为 0.828。其中杨凌农业示范区百万方水承载人口数最多,该地区自身拥有的水资源总量已不能满足人口需求,2015 年杨凌地区蓄水量为 0,主要供水量来自引水量与地下水源供水量。

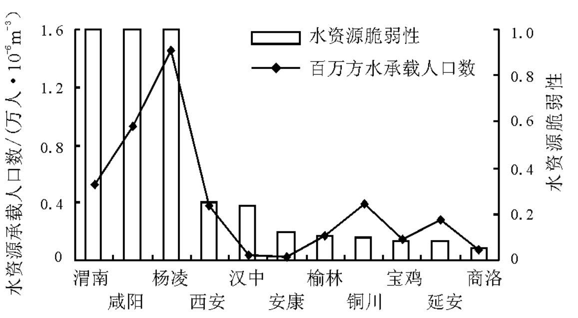

图 3　百万方承载的人口数与水资源脆弱性

人均用水量与万元 GDP 用水量的变化趋势大体上一致(图 4,图 5)。汉中市人均用水量在陕西省最高,其万元 GDP 用水量为 153.5 m^3/万元,也为陕西省最高。这主要是由于汉中市虽然水资源丰富,但群众节水意识低下,加之经济发展水平较低,第一产业用水量较大,2015 年农业灌溉用水量为 $12.59\times10^8 m^3$,平均 1.24 m^3/m^2,水资源的利用效率随之降低。

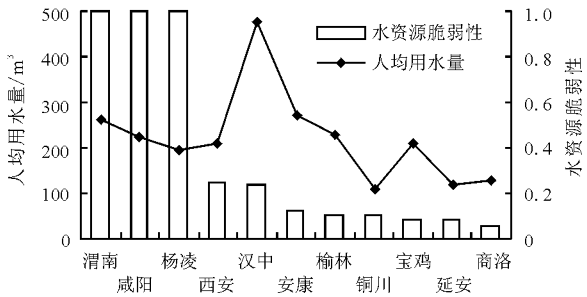

图 4　人均用水量与水资源脆弱性

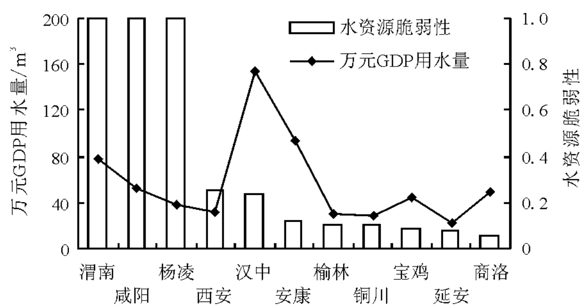

图 5　万元 GDP 用水量与水资源脆弱性

多种因素对区域水资源脆弱现状共同作用,对水资源系统产生影响。相同或相近的水资源脆弱性评价结果,引起的原因不同,反映的区域水资源问题及现状也不一样。杨凌和渭南两个区域的水资源脆弱性值都很高,且接近最高值 1,处于水资源极其脆弱的状态。但这两个地区水资源利用情况中百万方水承载人口数,杨凌为 14 498 人,接近渭南承载人口数的 3 倍;从万元 GDP 用水量上看,渭南市 78.1 m^3/万元,而杨凌仅为 37.8 m^3/万元。对比可以分析得出脆弱性的值虽然相同,但影响杨凌水资源脆弱性的主要因素是人口密集导致的需求量大于供给量,而影响渭南水资源脆弱性的因素则是社会经济压力导致的水资源需求量大于供给量。

4　结论及适应性对策

4.1　结　论

通过结合前人的有关水资源脆弱性评价的研究方法,对陕西省各地级行政区水资源供需不平衡现

状下的资源脆弱性进行了初步评价,并得出以下结论:

(1)陕西省水资源脆弱性的空间差异较大。陕北,陕南地区脆弱性较低,关中地区脆弱性较高,关中地区面临更严重的水资源供需问题;

(2)渭南、咸阳、杨凌三市属于极脆弱区,商洛水资源脆弱性最低,属于弱脆弱区;

(3)水资源脆弱性与水资源开发利用率存在较好的正相关关系,人口密集程度、经济发展程度对水资源脆弱性影响较大。

4.2 适应性对策

(1)加强区域间引水工程建设。水资源分布不均,对于水资源量较少的区域应该加强区域间引水工程建设,降低水资源分布的区域差异;

(2)发展循环用水技术。对于水资源丰富的区域应该减少区域内水资源的不合理开发,大力发展循环用水技术,提高水资源利用效率;

(3)实施阶梯水价调节政策。在人口密度大、经济活动频繁的地区实施阶梯水价调节政策,有效减少水资源浪费现象;

(4)增强全民节水的意识。通过电视、网络等信息传播手段,大力宣传水资源破坏现状及保护水资源的意义,增强全民节水的意识。

参考文献:

[1] 耿福明. 区域水资源承载力分析及配置研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[2] 钱龙霞,王红瑞,张 韧,等. 基于投影寻踪的水资源脆弱性S型函数模型及其应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2016,24(1):185-196.

[3] 刘瑜洁,刘俊国,赵 旭,等. 京津冀水资源脆弱性评价[J]. 水土保持通报,2016,36(3):211-218.

[4] 匡 洋,夏 军,张利平,等. 海河流域水资源脆弱性理论及评价[J]. 水资源研究,2012,5(1):320-325.

[5] 郑 菲,孙 诚,李建平. 从气候变化的新视角理解灾害风险、暴露度、脆弱性和恢复力[J]. 气候变化研究进展,2012,8(2):79-83.

[6] 马芳冰,王 烜,李春晖. 水资源脆弱性评价研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):30-37.

[7] 邹 君,刘兰芳,田亚平,等. 地表水资源的脆弱性及其评价初探[J]. 资源科学,2007,29(1):92-98.

[8] 刘海娇,仕玉治,范明元,等. 基于GIS的黄河三角洲水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护,2012,28(1):34-37.

[9] 李峰平,章光新,董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学,2013,33(4):457-464.

[10] 董 雯. 人类活动和气候变化对水文水资源的影响研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2010.

[11] 曹永强,高 璐,朱明明,等. 水资源系统脆弱性的评价方法及其应用[J]. 人民黄河,2016,38(9):46-49+73.

[12] 夏 军,邱 冰,潘兴瑶,等. 气候变化影响下水资源脆弱性评估方法及其应用[J]. 地球科学进展,2012,27(4):443-451.

[13] 朱怡娟. 武汉市水资源脆弱性评价研究[D]. 南京:华中师范大学,2015.

[14] 陈 攀,李 兰,周文财. 水资源脆弱性及评价方法国内外研究进展[J]. 水资源保护,2011,27(5):32-38.

[15] 李智飞,门宝辉,张士锋,等. 河西走廊地区狭义/广义水资源脆弱性对比研究[J]. 干旱区地理,2014,37(5):939-947.

[16] 陕西地情网. 陕西统计年鉴[EB/OL]. (2016-01-20)[2016-11-15]. http://www.sxsdq.cn/sqgk/index.htm.

[17] 陕西省水利厅. 陕西水资源公报[EB/OL]. (2016-09-29)[2016-11-30]. http://www.sxmwr.gov.cn/.

[18] 翁建武,夏 军,陈俊旭. 黄河上游水资源脆弱性评价研究[J]. 人民黄河,2013,35(9):15-20.

[19] 夏 军,翁建武,陈俊旭,等. 多尺度水资源脆弱性评价研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2012,20(S1):1-14.

[20] 唐剑锋,周 正,胡 圣. 丹江口水源区水资源脆弱性评价[J]. 人民长江,2014,45(18):5-9.