

基于投影寻踪模型的榆林市水资源承载能力研究

雍志勤, 张鑫*

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:【目的】评价榆林市水资源承载能力。【方法】从榆林市水资源基本特点和现状出发,构建了包含水资源系统、人口子系统、社会经济系统和生态系统的指标评价体系。利用粒子群优化算法投影寻踪模型,对榆林市2013—2015年的水资源承载能力水平进行了评价和比较分析,并在此基础上挑选出对水资源承载能力影响较大7个指标作为调控对象,对全市未来水资源承载能力进行了预测。【结果】2013—2015年榆林市水资源承载能力为一般水平,3 a来,榆林市各县区水资源承载能力均有所下降,其中神木县承载能力下降最快,由一般转变为弱。【结论】通过对用水指标调控发现,要解决榆林市的缺水问题,调整工业结构,提高工业水重复利用率,加大农田节水力度、优化种植结构十分必要。此外,必须考虑黄河引水工程,才能提高榆林市未来水资源承载能力。

关键词:水资源承载能力;指标体系;投影寻踪模型;榆林市

中图分类号:TV213

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0625

雍志勤,张鑫. 基于投影寻踪模型的榆林市水资源承载能力研究[J]. 灌溉排水学报,2019,38(1):101-107.

0 引言

水资源承载能力是衡量一个地区发展过程中水资源系统、社会经济系统和生态环境系统是否可持续发展的综合指标,对当地的社会经济发展规模有着非常重大的影响。研究表明^[1-3],国外大多数研究是在可持续发展的框架下进行的,关于水资源承载力的专门研究较少,而严格意义上的水资源承载能力概念和定义均源于国内。目前国内关于水资源承载能力的研究已取得丰硕的成果,其研究方法主要有4类:经验公式法、综合评价法、系统动力学法、多目标分析法,这些方法为水资源承载力的研究提供了指导与借鉴^[4-5]。经验公式法如常规趋势法计算简单,但很少考虑水资源、环境、经济社会等要素之间的相互作用、相互影响和相互制约的关系,评价结果不能准确反映水资源承载力的真实状况。综合评价法在构建评价指标体系的基础上,将各项指标转化为一个能够反映综合情况的指标进行评价,并与评价标准比较,进而得到评价结果。此方法数学理论性强,评价结果较为全面,但对水资源的系统性考虑不足,指标选择和评价标准难以统一,评价结果存在异议。系统动力学法将水资源、经济社会、人口和生态等子系统作为一个复杂联系的系统,考虑影响因素较为全面,但这种方法结构复杂,变量众多,参数主观性强,对数据的需求量很大,难以应用^[6]。多目标分析法将水资源承载力的研究对象分为若干个子模块如水资源、社会经济和生态环境模块等,并分别对各个子模块的发展变化和需水情况进行单独预测,然后以各个子模块中的变量为纽带建立多目标函数,利用优化算法进行求解,最终求得水资源承载力。但此方法目标函数难以确定,不同目标函数计算的结果也存在差异^[7-8]。

榆林市地处毛乌素沙漠和黄土高原过渡地带,水土流失严重,生态环境脆弱,水资源总量少,北丰南贫、季差剧烈,人均水资源量低,且受地形及河流泥沙的影响,开发利用极为困难,属重缺水地区^[9-10]。榆林市煤、气、油、盐等矿产资源丰富,是国家“西煤东运”的腹地、“西气东输”的源头、“西电东送”的枢纽,是21世纪中国重要的能源接续地。近年来,榆林市作为国家级能源重化工基地和生态环境示范区,能源化工产业迅速增长对水资源供应和水环境防治造成巨大压力,水资源短缺已成为当地社会经济发展和生态建设的主要

收稿日期:2017-10-15

基金项目:现代农业节水技术模式与高效用水物联网系统(2016KTZDNY-01-01)

作者简介:雍志勤(1994-),男,硕士研究生,主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: 1220036813@qq.com

通信作者:张鑫(1968-),男,教授,硕士生导师,博士,主要从事水文水资源与“3S”技术应用研究。E-mail: zhxin@nwsuaf.edu.cn

“瓶颈”，威胁到国家的能源安全^[10]。针对这类资源型缺水的能源资源富集区，开展水资源承载能力研究，评估现状水资源承载能力水平，确定主要影响因素，并预测未来承载能力水平，有针对性地制定出适合区域的水资源开发利用对策，保证人水和谐发展，对实现区域经济社会可持续发展具有重要意义。

为此，拟采用粒子群优化算法投影寻踪模型，对榆林市水资源承载能力进行综合评价。通过实测值求解得到各指标的权重值，避免传统评价方法指标权重确定的主观性和不确定性，同时有效消除了评价过程中的主观偏差、信息缺失等缺陷，提高了水资源承载能力评价的精确性。

1 粒子群优化算法投影寻踪模型

投影寻踪是一种常用来处理和分析非线性、非正态高维数据的统计方法，它把高维数据投影到低维子空间，通过极大化反映数据聚集程度的指标，以最大程度寻求和挖掘数据的信息和特征，从而找到能反映原高维数据结构或特征的最优投影方向，以达到分析高维数据的目的^[11-14]。投影寻踪模型在高维数据降维过程中，涉及高维全局最优化问题，需要用优化算法对其进行优化。计算采用基于遗传思想的粒子群算法^[15]，通过引入遗传算法的选择、交叉和变异操作维持粒子多样性，以增强算法摆脱局部最优值的能力，提高搜索精度。粒子群优化算法投影寻踪模型实现过程^[11-13]主要包括4个方面。

1.1 评价指标归一化

$x^*(i,j)$ ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$) 表示第 i 个样本的第 j 个评价指标，由于各指标间量纲存在差异，且指标取值范围不同，评价前须对指标原始数据归一化。

对于正向(越大越优的)指标：

$$x(i,j) = \frac{x^*(i,j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

对于逆向(越小越优的)指标：

$$x(i,j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i,j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

式中： $x(i,j)$ 为归一化后的指标； $x_{\max}(j)$ 、 $x_{\min}(j)$ 分别为第 j 个指标中的最大值和最小值。

1.2 构造投影指标函数

投影寻踪模型将 m 维数据 $x^*(i,j)$ 综合成以 $a = \{a(1), a(2), \dots, a(m)\}$ 为投影方向的唯一投影值 $z(i)$ ，表达式为：

$$z(i) = \sum_{j=1}^m a(j)x(i,j) \quad (3)$$

式中： a 为投影方向，且为单位长度向量。

1.3 构造投影目标函数

在综合投影时，投影值 $z(i)$ 的局部投影点尽可能密集，最好凝聚成若干个团，而整体上投影点之间应尽可能散开。据此投影指标函数可构造为：

$$Q(a) = D_z \cdot S_z \quad (4)$$

式中： S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差； D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度，即：

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - E(z))^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (R - r(i,j)) \cdot u(R - r(i,j)) \quad (6)$$

式中： $E(z)$ 为序列 $z(i)$ ($i=1,2,\dots,n$) 平均值； D_z 为类内密度； R 为局部密度的窗口半径，一般取 $0.1S_z$ ； $r(i,j)$ 为样本之间的距离； $u(k)$ 为单位阶跃函数， $k=R-r(i,j)$ ，当 $k \geq 0$ 时， $u(k)=1$ ，当 $k < 0$ 时， $u(k)=0$ 。

1.4 优化投影指标函数

当评价指标值样本给定时，投影指标函数 $Q(a)$ 只随投影方向 a 的变化而变化。不同的投影方向反映不同的数据结构特征，而最佳的投影方向就是能最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向，最佳投影方向可通过求解投影指标函数的最大值来估计：

$$\text{Max}Q(a) = D_z \cdot S_z \quad (7)$$

式中： $a(j)$ 是优化问题的变量，它反映了指标的贡献程度。

采用粒子群优化算法解决其高维全局寻优问题，当目标函数达到极值时即可得到最佳投影方向及其最佳投影值。设粒子的搜索空间为 l 维，第 $l(l=1, 2, \dots, m)$ 个粒子的位置、速度和适应值分别表示为 x_l, v_l 和 f_l 。在粒子随机产生初始位置 x_l 与初始速度 v_l 之后的每次迭代中，粒子通过跟踪飞行过程所经历过的个体极值 $pbest_l(t)$ 和粒子群所经历过的最好位置全局极值 $gbest(t)$ 来更新自己，在 $t+1$ 时刻粒子速度 $v_l(t+1)$ 和位置 $x_l(t+1)$ 则更新为：

$$v_l(t+1) = wv_l(t) + c_1 rand_1(pbest_l(t) - x_l(t)) + c_2 rand_2(gbest(t) - x_l(t)), \quad (8)$$

$$x_l(t+1) = x_l(t) + v_l(t+1), \quad (9)$$

式中： w 为惯性权重； c_1 和 c_2 为加速常数，分别代表粒子个体和群体的学习因子； $rand_1$ 和 $rand_2$ 均为 $[0, 1]$ 之间均匀分布的随机数。

每个粒子的个体极值和全体粒子的全局极值更新为：

$$pbest_l(t+1) = \begin{cases} x_l(t+1); f_l(t+1) \geq f_l(pbest_l(t)) \\ pbest_l(t); f_l(t+1) < f_l(pbest_l(t)) \end{cases}, \quad (10)$$

$$gbest(t+1) = \text{Max}(pbest_l(t+1)), \quad (11)$$

式中： $f_l(t+1)$ 为 $t+1$ 时刻粒子 l 的适应值； $f_l(pbest_l(t))$ 为粒子 l 的个体极值对应的最适值； $\text{Max}(pbest_l(t+1))$ 为 $t+1$ 时刻所以个体极值中最大值对应的位置。

在投影寻踪评价模型中，将当前粒子的位置 $x_l(t+1)$ 作为投影方向 a 代入式(3)一式(6)计算投影值 $Q(a)$ ，通过反复计算直到寻找到最大的投影值 $Q(a)$ 。

2 榆林市水资源承载能力评价指标体系及评价标准

2.1 评价指标体系构建

水资源承载能力系统是水资源系统、人口系统、社会经济系统、生态环境系统耦合形成的复杂系统，研究通常考虑多种评价指标。从榆林市水资源配置的基本特点和现状出发，依据社会可持续发展战略目标，借鉴相邻区域水资源开发利用的经验^[16-17]，榆林市水资源承载能力评价指标体系共选择4类24项指标(表1)。

表1 评价指标评价标准

子系统	评价指标	指标类型	1(强)	2(一般)	3(弱)	4(极弱)
水资源系统	水资源利用率(c_1)/%	正向	60	40	20	10
	人均水资源量(c_2)/($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	正向	2 200	1 700	1 000	500
	干旱指数(c_3)	逆向	1	1.5	2	4
	供水模数(c_4)/($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	逆向	1	3	10	15
	地表水开发利用程度(c_5)/%	逆向	40	50	70	80
	地下水开发利用程度(c_6)/%	逆向	5	10	30	40
人口子系统	人口增长率(c_7)/‰	逆向	2	10	15	20
	城镇化率(c_8)/%	逆向	20	40	60	70
	城镇居民恩格尔系数(c_9)/%	正向	59	50	40	30
	农民恩格尔系数(c_{10})/%	正向	62	55	40	30
	城镇人均生活用水定额(c_{11})/($\text{L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$)	逆向	190	210	230	400
	农村人均生活用水定额(c_{12})/($\text{L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$)	逆向	50	70	90	110
社会经济子系统	人均GDP(c_{13})/(万元·人 ⁻¹)	逆向	0.30	0.66	2.5	7.74
	第一产业占GDP比例(c_{14})/%	逆向	3	12	15	30
	第三产业占GDP比例(c_{15})/%	正向	65	50	45	30
	人均耕地面积(c_{16})/($\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1}$)	正向	1.0	0.5	0.1	0.05
	GDP年增长率(c_{17})/%	逆向	4	7	12	15
	耕地灌溉率(c_{18})/%	逆向	10	20	30	50
	万元工业增加值用水量(c_{19})/($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	逆向	15	50	100	300
	工业用水重复率(c_{20})/%	正向	85	70	50	35
	灌溉定额(c_{21})/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	逆向	5 500	6 000	8 500	1 100
	灌溉水利用系数(c_{22})/%	正向	0.63	0.61	0.5	0.47
生态环境子系统	生态环境用水率(c_{23})/%	正向	5	3	2	1
	植被覆盖率(c_{24})/%	正向	50	35	20	10

2.2 评价标准

评价指标分级标准的确定是水资源承载能力综合评价的重要研究内容,通过指标分级标准可以确定水资源承载能力所处等级。参考相邻地区研究成果^[16-17],并结合榆林市实际状况建立了水资源承载能力评价标准,其分界值见表1,其中1级为最高等级,水资源承载能力最强。评价样本原始数据来源于2013—2015年《榆林统计年鉴》和《榆林市水资源公报》。

3 水资源承载能力评价

3.1 评价等级

利用MATLAB编程,将表1中标准值代入计算榆林市水资源承载能力评价指标分级标准分界点的最佳投影值,以此确定评价指标分级标准,计算结果如表2所示。

表2 评价指标分级标准最佳投影值

等级	1(极强)	2(强)	3(一般)	4(弱)
投影特征值Z*	>4.894 4	3.565 3~4.894 4	1.813 9~3.565 3	0~1.813 9

3.2 水资源承载能力评价

对榆林市及所属12县2013—2015年进行评价,得到最佳投影方向如表3所示,投影特征值Z*及水资源承载能力综合评价结果如表4所示。为验证模型评价结果的可靠性,采用物元可拓模型^[18-20]计算榆林市水资源承载能力可拓指数J,根据接近原则得到各区水资源承载能力等级(表4),2种方法评价结果较为相似,因此评价结果具有一定可靠性。

表3 评价指标最佳投影方向

指标	2013年	2014年	2015年	指标	2013年	2014年	2015年
c ₁	0.006 610	0.041 058	0.000 000	c ₁₃	0.163 711	0.388 207	0.285 540
c ₂	0.112 912	0.000 099	0.002 791	c ₁₄	0.000 000	0.000 030	0.000 000
c ₃	0.198 541	0.186 485	0.265 916	c ₁₅	0.074 517	0.099 066	0.153 655
c ₄	0.367 895	0.195 855	0.131 988	c ₁₆	0.200 732	0.163 988	0.134 944
c ₅	0.402 566	0.081 015	0.112 756	c ₁₇	0.334 157	0.306 076	0.008 280
c ₆	0.177 559	0.081 962	0.154 376	c ₁₈	0.397 172	0.215 705	0.135 548
c ₇	0.161 264	0.141 471	0.211 935	c ₁₉	0.158 236	0.012 027	0.122 282
c ₈	0.286 356	0.370 064	0.338 888	c ₂₀	0.000 737	0.006 296	0.093 767
c ₉	0.000 000	0.030 790	0.253 004	c ₂₁	0.275 001	0.099 080	0.251 478
c ₁₀	0.013 346	0.190 329	0.148 075	c ₂₂	0.082 240	0.000 000	0.000 008
c ₁₁	0.152 091	0.495 898	0.469 981	c ₂₃	0.000 121	0.000 000	0.022 488
c ₁₂	0.195 087	0.366 362	0.422 320	c ₂₄	0.000 000	0.001 802	0.033 054

表4 水资源承载能力综合评价结果

行政分区	2013年				2014年				2015年			
	投影特征值Z*	等级	可拓指数J	等级	投影特征值Z*	等级	可拓指数J	等级	投影特征值Z*	等级	可拓指数J	等级
榆阳	0.732 7	4	3.573 7	4	0.907 8	4	3.474 0	3	1.155 5	4	3.498 8	3
神木	2.194 9	3	3.778 2	4	0.907 8	4	3.899 0	4	1.155 5	4	3.656 7	4
府谷	1.712 3	4	3.802 4	4	0.907 8	4	3.928 9	4	1.155 5	4	3.672 2	4
横山	1.712 3	4	3.192 0	3	1.705 6	4	2.975 2	3	1.844 0	3	2.862 4	3
靖边	2.194 9	3	3.462 1	3	1.705 6	4	3.549 6	4	1.844 0	3	3.451 1	3
定边	2.829 8	3	3.394 3	3	2.409 3	3	3.445 2	3	2.350 6	3	3.359 6	3
绥德	2.194 9	3	3.367 9	3	2.409 3	3	2.657 6	3	2.350 6	3	2.511 1	3
米脂	2.194 9	3	2.658 7	3	2.409 3	3	2.705 4	3	2.350 6	3	2.697 1	3
佳县	2.829 8	3	2.801 1	3	2.652 4	3	2.877 4	3	2.704 3	3	2.760 5	3
吴堡	2.829 8	3	3.948 8	4	2.652 4	3	2.960 4	3	2.704 3	3	2.874 9	3
清涧	2.829 8	3	2.771 7	3	2.409 3	3	3.091 6	3	2.350 6	3	3.019 4	3
子洲	2.194 9	3	2.752 4	3	2.409 3	3	2.859 0	3	1.844 0	3	2.963 3	3
榆林市	2.075 1	3	3.162 3	3	1.715 5	4	3.194 1	3	1.844 0	3	3.112 8	3

2013—2015年榆林市水资源承载能力变化如图1所示。从图1可以看出,各县区水资源承载能力等级均有所下降,其中神木县承载能力等级下降最快,由一般转变为弱,这主要是因为神木县城镇和农村生活用水定额大幅度增长,分别由65和40 L/(人·d)增加到117和72 L/(人·d),且水田和水浇地面积逐年增加,灌

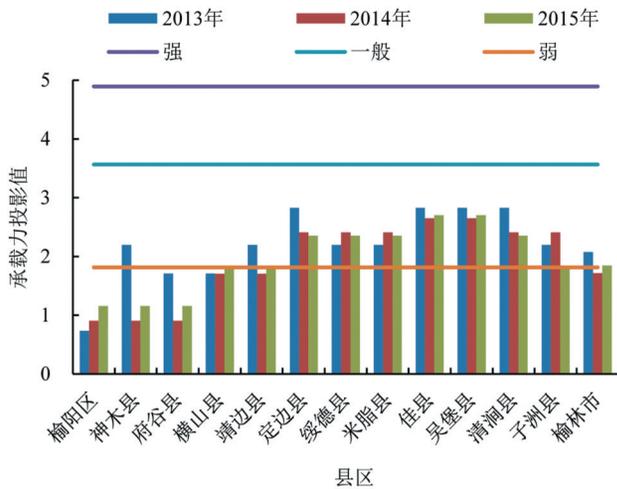


图1 2013—2015年榆林市水资源承载能力变化

经济发展水平比较高,工业发展迅速,生活生产用水量增长迅速,区内水资源开发利用程度较高,水资源压力大。南部地区社会经济发展水平较低,用水量较小,水资源开发利用程度低,尚有部分开发利用潜力。从2013—2015年用水情况来看,榆阳区和神木用水总量为榆林市最高,其中榆阳区用水量占榆林市总用水量的32%,神木为17%,而南部6县总用水量仅占全市用水的13%,其水资源压力远小于北部地区。

3.3 指标调控及预期效果

投影寻踪模型中评价指标在最佳投影方向上的投影分量值代表了相应各指标的权重,反映各评价指标对该地区水资源承载能力的贡献程度,值越大则贡献越大。结合表3的指标投影分量,挑选出城镇化率、农村及城镇生活用水定额、万元工业增加值用水量和灌溉定额5个贡献较大的指标进行调控,此外榆林市农业用水所占比重较大,用水效率也是影响水资源承载能力的重要因素,故将灌溉水利用系数也作为调控对象。榆林市是国家级能源化工基地,未来煤电、油气产业发展需水量很大,而工业用水重复率反映了工业节水水平,故也作为调控对象。

本次各县区评价指标调控在2015年基础上进行。2015年榆林市城镇生活和农村生活用水定额分别为95和49 L/(人·d),与陕西省和全国平均水平相比较低,说明区域城镇化水平不高。根据榆林市未来发展规划,榆阳区、神木和府谷将成为经济发展中心,尤其是榆阳区,随着城镇化进程的推进逐步达到中等城市规模,人民生活水平提高,用水需求会逐渐增加。文中生活用水指标调整参考《行业用水定额》(DB61/T943—2014)中的陕北地区城镇居民用水标准确定。目前榆林市工业以北部煤炭和石油等能源开采为主,这些工业低耗水,高产出,2015年全市万元工业增加值用水量仅为9 m³/万元,与全国相比,其工业用水水平相对较高。但未来随着大量煤、油、气、盐化工及煤电投入生产,能化产业和化工产业迅速发展,将新增大量的高耗水产业,因此未来工业用水定额及需水量会有所增加。农业方面按照榆林市规划,未来农业用水不再增加,将实施高效节水灌溉,因此农业用水指标方面必须进行调控。此次计算考虑到榆林的实际情况,综合考虑陕西省《行业用水定额标准》后得到相应农业用水指标。

榆林市各县区评价指标调整见表5,调整后评价结果与2015年对比如图2所示。可以看出,指标调控后除榆阳区、绥德县和米脂县外,其余9个县水资源承载能力投影值均有所提升,但从榆林市总体来看,水资源承载能力提升效果不明显。

溉定额也随之增大,用水量增长迅速。从承载能力等级来看,榆阳区、神木、府谷、横山4个区域的承载能力相对较弱,为4级,说明该区水资源承载能力弱,尤其是榆阳区,投影值最低,即承载能力最弱。其余区域均为3级,承载能力相对较强。从榆林市总体来看,水资源承载能力也有所下降,其承载能力为一般水平。

从空间分布来看,榆林市北部(榆阳、神木、府谷、横山、靖边和定边)水资源承载能力较弱,尤其是榆阳、神木、府谷水资源承载能力水平为弱,而南部相对较强,水资源承载能力为一般水平(3级)。这主要是榆林市城镇化、工业化水平分布不均衡造成的。以榆阳区、神木县为代表北部6县等城镇化水平明显高于南部6县,其社会

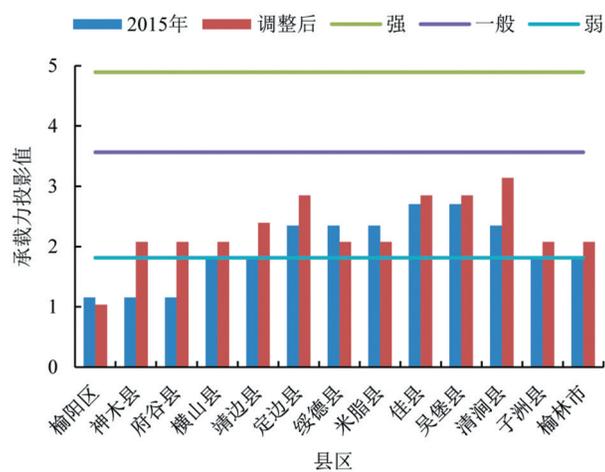


图2 调整前后水资源承载能力综合评价结果对比

虽然工业和农业用水指标的调整都是向着有利于提高水资源承载能力的方向进行的,但随着社会发展,城镇化水平逐步提高,产业结构转型,生活生产对水资源的需求量会逐渐增加,尤其是榆阳区,通过近3 a用水情况来看,榆阳区城镇生活用水约占全市城镇生活用水的40%,未来人口持续增加将继续加剧当地水资源的承载压力,仅依靠当地节流挖潜已无法满足发展过程中的用水需求。

表5 各县区评价指标调整表

行政分区	城镇化率/%	城镇人均生活用水定额/(L·d ⁻¹ ·人 ⁻¹)	农村人均生活用水定额/(L·d ⁻¹ ·人 ⁻¹)	万元工业增加值用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹)	工业用水重复率/%	灌溉定额/(m ³ ·hm ⁻²)	灌溉水利用系数
榆阳区	90	105	80	17.4	60.0	3 990	0.71
神木县	85	100	70	10.2	59.0	2 865	0.70
府谷县	80	100	70	5.5	62.2	3 270	0.70
横山县	75	95	70	5.8	71.8	4 995	0.75
靖边县	77	95	70	3.4	47.8	1 500	0.80
定边县	75	95	70	2.0	42.0	1 530	0.80
绥德县	62	95	70	6.5	50.0	3 150	0.75
米脂县	60	95	70	28.4	90.0	3 840	0.75
佳县	40	95	70	6.6	48.6	2 085	0.75
吴堡县	60	95	70	13.6	68.2	900	0.75
清涧县	50	95	70	6.4	52.3	1 605	0.90
子洲县	50	95	70	25.0	49.2	3 495	0.80
榆林市	75	95	70	10.9	58.4	2 835	0.73

因此,榆林市虽有一定节水潜力,但节水潜力不大,另外,由于水资源禀赋贫乏,节水措施仍是提高水资源承载能力所必须坚持的方向。在生活用水方面,强化全民节水意识,推广生活节水器具,降低城镇供水管网漏损。在工业用水方面,根据榆林市最严格水资源管理制度的实施意见,到2030年全市用水效率保持省内先进水平,因此需要淘汰落后产业,鼓励发展高效节水型产业,尤其是水资源相对匮乏的地区和工业园区,应加大污水处理及再生水利用,同时充分利用已有科技创新成果,走高端化发展道路,以先进设备和工艺提高产业的用水效率,减少经济社会发展对水资源的压力。在农业节水方面,大力发展高新节水灌溉面积,调整农业种植结构,推广耐旱、高效作物,进一步挖掘节水潜力减少用水量。三次产业的用水效益差异很大,产业结构直接影响到用水量的变化。因此在保持粮食安全情况下,合理调整产业结构,优先发展第二产业和第三产业,提高用水效益。同时应加强水资源管理,实行全市统一调配,区域之间互补、互调,提高用水效率。此外,应进一步加强水污染防治与治理,严格管控水生态空间,保障水质安全。

目前榆林市的水资源开发利用基本已达极限,仅剩的部分水量主要位于黄土丘陵沟壑区,难以开发利用。据《榆林市水资源综合规划》,区内非常规水源如雨水、再生水、矿井疏干水和岩溶水等数量较少,且不能作为长期的工业水源,如矿井疏干水主要在神府、榆神和榆横3大矿区,考虑开采时间和供水稳定程度等较为复杂因素,仅可作为矿区周边的生态环境治理用水和农业灌溉补水。因此,即使在采取强制节水措施、充分利用非常规水源的情况下,也只能缓解近期缺水问题,要适应能源化工基地的可持续发展,实现到2030年榆林市年经济总量突破1万亿元,人均生产总值和居民收入达到全国先进地区水平的总体发展目标,仍需要从黄河引水以增强水资源系统对社会经济和生态环境系统的承载能力。

4 结论

1)2013—2015年榆林市水资源承载能力为一般水平,从各行政区情况来看,3 a来,榆林市各县区水资源承载能力均有所下降,其中神木县下降最快,府谷次之,从承载能力等级来看,榆阳区、神木、府谷、横山4个区域的承载能力状况为弱,其余区域承载能力为一般水平。

2)挑选对水资源承载能力影响较大7个指标作为调控对象,经调整,除榆阳区、绥德县和米脂县外,其余9个县水资源承载能力投影值均有所提升,其中神木和府谷提升相对较大,承载能力水平由弱提高到一般水平,其余7个县投影值虽有所提升,但提升幅度相对较小,仍处于一般水平。从榆林市总体来看,调整后投影值有所提升,但提升幅度不大,这说明在未来发展过程中,调整产业结构,提高工业水重复利用率,加大农田节水措施、优化种植结构,对提高当地水资源承载能力十分必要,但单靠区内节水挖潜,提升效果十分有限。从长远角度来看,榆林市水资源已难以支撑未来社会经济发展和生态建设,要解决榆林市未来水资源

供需矛盾,必须考虑黄河引水,通过外引内调,统一调配,实现水资源高效可持续利用。

兹对榆林市水资源承载能力进行了分析评价,但综合评价得到的承载能力等级只是研究区之间相对的承载能力等级,无法定量计算研究区具体的水资源承载规模,关于榆林市未来水资源可承载的社会经济规模有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张永勇,夏军,王中根. 区域水资源承载力理论与方法探讨[J]. 地理科学进展,2007,26(2):126-132.
- [2] 左其亨. 水资源承载力研究方法总结与再思考[J]. 水利水电科技进展,2017,37(3):1-6.
- [3] 段春青,刘昌明,陈晓楠,等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报,2010,65(1):82-90.
- [4] 王建华,姜大川,肖伟华,等. 基于动态试算反馈的水资源承载力评价方法研究:以沂河流域(临沂段)为例[J]. 水利学报,2016,47(6):724-732.
- [5] 李云玲,郭旭宁,郭东阳,等. 水资源承载力评价方法研究及应用[J]. 地理科学进展,2017,36(3):342-349.
- [6] 王薇,雷学东,余新晓,等. 基于SD模型的水资源承载力计算理论研究:以青海共和盆地水资源承载力研究为例[J]. 水资源与水工程学报,2005(3):11-15.
- [7] 尹杰杰,崔远来,刘博,等. 基于多目标优化的灌区水资源承载力研究[J]. 中国农村水利水电,2017(8):5-8.
- [8] 方国华,胡玉贵,徐瑶. 区域水资源承载力多目标分析评价模型及应用[J]. 水资源保护,2006,22(6):9-13.
- [9] 赵蕊. 水资源短缺对区域产业结构优化影响:以榆林市为例[J]. 中国人口·资源与环境,2016(S1):333-335.
- [10] 党丽娟,徐勇,王志强. 陕西省榆林市水资源人口承载规模研究[J]. 水土保持研究,2014,21(3):90-97.
- [11] 姜秋香,付强,王子龙. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域土地资源承载力综合评价[J]. 农业工程学报,2011,27(11):319-324.
- [12] 朱成立,陈科巨. 基于PSO-PPGE模型的农村水利现代化评价[J]. 灌溉排水学报,2012,31(6):117-120.
- [13] 刘名冲,刘瑞卿,张路路,等. 基于粒子群优化投影寻踪模型的土地整治综合效益评价研究[J]. 土壤通报,2013,44(5):1 047-1 052.
- [14] 贺延国,付强,冯艳,等. 东北半干旱抗旱灌溉区节水农业综合效益等级评价模型[J]. 灌溉排水学报,2006,25(6):57-60.
- [15] 李季,孙秀霞,李士波,等. 基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法[J]. 计算机工程,2008(2):181-183.
- [16] 庄妍. 延安市水土资源承载力研究[D]. 西安:长安大学,2015.
- [17] 南彩艳. 西北旱作区水土资源承载力研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [18] 荀继萍,任仲宇,张永祥,等. 物元可拓法在地下水水质评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(5):87-92.
- [19] 谷红梅,贾丽,蒋晓辉,等. 基于熵权物元可拓法的黑河中游水资源承载力评价[J]. 灌溉排水学报,2016,35(6):87-92.
- [20] 施开放,刁承泰. 重庆市三峡库区水资源承载力评价[J]. 灌溉排水学报,2012,31(5):108-112.

The Carrying Capacity of Water Resources in Yulin Studied Using the Projection Pursuit Method

YONG Zhiqin, ZHANG Xin

(College of Water Resources and Architectural Engineering,
Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract:【Objective】The availability of water resource is the determinant of economy in a region and the objective of this paper is to present a method to evaluate the carrying capacity of water resource in Yulin, Shanxi province. **【Method】**The proposed method was based on the project pursuit model which includes a water resource module, an economic module, a social module and an ecological module. We evaluated and compared the water resources carrying capacity of Yulin from 2013 to 2015 using the PSO projection pursuit model, from which seven contributive indexes were selected as a control object to predict the water resource carrying capacity in the future. **【Result】**The water resource carrying capacity in the region was moderate from 2013 to 2015, but was in decline with Shenmu Country deteriorating most changing from moderate level to weak level during the three-year period. **【Conclusion】**Calculation using the proposed model indicated that restructuring the industry, improving water reuse, implementing water-saving agriculture and optimizing crop variety is the way to resolve the declining water resources carrying capacity in this region. In addition, building a canal to divert water from the Yellow River is also an option to mitigate dwindling water resource.

Key words: water resources carrying capacity; index system; projection pursuit model; Yulin

责任编辑:赵宇龙