

基于向量模法的陕南地区水环境承载力评价

来雪慧¹, 王小文, 徐杰峰¹, 周媛丽¹

(西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710127)

摘要: 在论述水环境承载力概念的基础上, 结合陕南地区的水环境现状, 通过构建指标体系, 应用向量模法对陕南地区 2000—2007 年的水环境承载力进行了评价。计算结果表明, 陕南地区水环境承载力的变化呈现波动趋势, 但逐渐趋于平缓。并针对陕南地区的具体情况, 提出了加强区域水源涵养与水源保护、调整产业布局、加快污水处理设施建设、加大小型水利工程建设和建立水资源补偿机制等对策措施。

关键词: 水环境承载力; 向量模法; 陕南地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0056-04

中图分类号: X143

Evaluation of Water Environment Carrying Capacity in Southern Shaanxi Province Based on Vector Norm Method

LAI Xue-hui¹, WANG Xiao-wen¹, XU Jie-feng¹, ZHOU Yuan-li¹

(Department of Environment Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: This study is based on the concept of water environment carrying capacity and is combined with the current water environmental situation. Through the establishment of evaluation index system and the application of vector norm method, the evaluation of water environmental carrying capacity in Southern Shaanxi Province from 2000 to 2007 are made. Results show that the change of water environmental carrying capacity has a fluctuated tendency, but becomes more and more gently. According to the specific circumstances of it, some countermeasures are proposed: strengthening regional water conservation and protecting water sources, revising industrial distribution, speeding up the construction of sewage treatment facilities, increasing small-scale water conservancy project construction, and establishing water resource compensation mechanism.

Keywords: water environment carrying capacity; vector norm method; southern Shaanxi Province

随着人类开发利用和改造自然能力的不断增强, 人类从自然界获取的资源越来越多, 排放的污染物也随之增加, 导致水环境质量日益恶化, 对经济发展的制约作用越发明显。研究水环境承载力, 就是在保障水环境系统功能可持续正常发挥作用的前提下, 促进经济和社会的可持续发展。

陕南地区位于陕西省南部, 包括汉中、安康、商洛 3 个地市, 总面积 $7.00 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占陕西省土地面积的 34.2%; 区内水资源总量为 $3.15 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 占全省水资源总量 $4.45 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的 70.7%。随着国家南水北调中线工程及陕西省南水北调工程的实施, 陕南地区成为国家南水北调中线工程及陕西省南水北调工程的主产区, 是国家水资源的主要输出区之

一。根据《陕南地区城镇体系协调发展规划》, 到 2020 年, 陕南地区城镇人口将达到 417 万人, 城镇化水平达到 43%。城镇发展, 人口集聚以及生活水平的提高, 势必导致对陕南地区水资源需求的快速增加, 使水资源供需矛盾将更加突出。因此, 水环境承载力评价研究, 对于保障陕西及国家经济、社会与环境保护协调发展目标的实施具有重要意义。

环境承载力是环境系统功能的外在表现, 是描述环境状态的重要参量之一^[1]。水环境承载力指某一地区, 某一时间, 某种状态下水环境对经济发展和生活需求的支持能力。也就是说, 水环境承载力因经济发展的速度和规模不同而不同。目前, 学术界关于水环境承载力的概念尚未达成共识^[2-4]。

收稿日期: 2009-06-21

修回日期: 2009-08-10

资助项目: 国家自然科学基金“西北地区中小城市生长型规划方法研究”子课题“生长型城市生态环境规划方法研究”(50678147)

作者简介: 来雪慧(1984—), 女(汉族), 山西省大同市人, 硕士研究生, 研究方向为环境评价与规划。E-mail: laixuehui007@163.com。

通信作者: 王小文(1958—), 女(汉族), 辽宁省康平人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为环境规划、水污染控制理论与技术。E-mail: wxw8633@163.com。

水环境承载力强调的是水环境对社会经济系统的支撑程度和给予能力。其本质是水环境系统与外界物质输送输入、能量交换、信息反馈的能力和自我调节能力的表现,它体现了水环境与人和经济社会发展活动之间的联系。

本研究认为水环境承载力为在某一时期,某种状态下,区域水环境在自我维持和自我调节的能力和功
能正常发挥的前提下,能够支撑经济及社会发展的最大规模。

1 水环境承载力的向量模法评价

1.1 研究方法

水环境承载力的量化方法主要有综合指标体系评价法、多目标模型分析法和系统动力学法等。

综合指标体系评价方法是一种采用统计的方法,选择单项或多项指标,反映地区水环境承载力现状和阈值的方法,主要有模糊综合评价法和向量模法等^[5-9]。

1.2 向量模法

向量模法数学理论基础坚实,人为因素小,原理、形式和运算较简单。实践表明,该方法的评价结果较其他方法更为客观合理^[10]。因此,向量模法逐渐被广泛应用。本研究即采用向量模法对陕南地区水环境的承载力进行评价。它常用于横向(不同地区同一时间)和纵向(同一地区不同时间)的水环境承载能力状况综合比较^[11]。将水环境承载能力视为 1 个由 n 个指标构成的向量,对 m 个水平的 n 个指标进行归一化,则归一化后的向量模作为评定水环境承载能力大小的依据。

假设有 m 个不同的水平年,设 m 个评价值为 E_j ($j = 1, 2, \dots, m$),再设每个评价值 E_j 包括 n 个具体指标确定的分量,每个指标的权重为 w_i ($i = 1, 2, \dots, n$),即有 $E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj})$ 。这样,第 j 个水体承载力的大小可用归一化后的矢量的模表示,即

$$|E_j| = \left[\sum_{i=1}^n (w_i E_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

其中, $E_{ij} = E_j / \sum_{i=1}^n E_{ij}$ 。

1.3 指标体系的构建

根据数据获取途径简单、实用性强等原则,结合陕南地区的实际情况,选定以下指标(表 1):水资源总量/用水总量、人均 GDP、万元 GDP 综合耗水量、工业万元增加值废水排放量、工业万元增加值 COD 排放量、工业用水重复利用率和人均日常生活用水量。

表 1 陕南地区水环境承载力指标体系

指标	指标说明
水资源总量/用水总量	反映供水能力大小(+)
人均地区生产总值(GDP)/(元/人)	反映地区经济发展状况(+)
万元 GDP 综合耗水量/(m ³ /万元)	反映用水效率(-)
工万元增加值废水排放量/(t/万元)	反映同等工业生产条件下废水排放情况(-)
工业万元增加值 COD 排放量/(kg/万元)	反映同等工业生产条件下污染物排放情况(-)
工业用水重复利用率/ %	反映工业废水重复利用情况(+)
污水处理率/ %	反映地区的污水处理程度(+)
人均日常生活用水量/[L/(人·d)]	反映人均生活用水情况(-)

注:(+)表示正影响指标,(-)表示负影响指标。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 & 3 & 2 & 3 & 3 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/3 & 1/2 \\ 1/5 & 2 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 & 1 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1/3 \\ 1/2 & 3 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1/2 & 2 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 2 & 3 & 3 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

1.4 权重的确定

指标权重的确定选用层次分析法,按照选取的指标,得到正负反阵(标度 a_{ij} 的取值方法依据见表 2):

表 2 标度 a_{ij} 的取值方法依据及定义

a_{ij}	定义
1	y_i 和 y_j 同样重要
3	y_i 比 y_j 稍微重要
5	y_i 比 y_j 明显重要
7	y_i 比 y_j 强烈重要
9	y_i 比 y_j 极端重要
2, 4, 6, 8	y_i 对 y_j 的重要程度处于相应两相邻奇数间
上述数值的倒数	y_i 在相应意义下没有 y_j 重要的程度

按求向量迭代序列方法计算权重, $e_0 = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)^T$, $e_k = A e_{k-1}$, $|e_k|$ 为 $A e_{k-1}$ 的 n 个分量之和, $e_k = e_k / |e_k|$, $k = 1, 2, \dots$ 。数列 e_k 是收敛的,记其极限为 e ,且记 $e = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。取权重系数 $w_i = a_i$,经计算,得出矩阵的特征向量为 8.662 9,其具体权重见表 3。

2 评价结果与分析

2.1 水环境承载力评价指标值

针对 2000—2007 年陕南地区的水环境承载力进行评价。根据所确定的指标体系, 该区水环境承载力各指标值见表 4。

从表 4 可以看出, 水资源总量与用水总量的比

值、万元 GDP 综合耗水量、工业万元增加值废水排放量和工业万元增加值 COD 排放量逐渐减少, 人均 GDP、工业用水重复利用率和污水处理率逐渐增加。

2.2 指标的归一化

应用向量模法对各个选取指标进行归一化处理, 有 $E_j = (E_{1j}, E_{2j}, \dots, E_{nj})$, $E_{ij} = E_j / \sum_{i=1}^m E_{ij}$ 。处理结果见表 5。

表 3 系统指标的权重

项目	水资源总量/ 用水总量	人均 GDP	万元 GDP 综合耗水量	工业万元增加 值废水排放量	工业万元增加 值 COD 排放量	工业用水 重复利用率	污水 处理率	人均生活用 水量
权重	0.263 9	0.050 8	0.063 1	0.073 0	0.148 8	0.143 6	0.144 4	0.112 3

表 4 2000—2007 年陕南地区水环境承载力评价指标值

年份	水资源总 量/用水 总量	人均 GDP (元/人)	万元 GDP 综合耗水 量/ m^3	工业万元增加 值废水排放 量/(t/万元)	工业万元增加 值 COD 排放 量/(kg/万元)	工业用水 重复利用率/ %	污水 处理率/ %	人均生活 用水量/ [L/(人·d)]
2000	553.84	2608.2	21.41	123.5	64.85	54.0	0	181.9
2001	520.22	2816.7	22.19	111.6	74.42	55.9	0	177.0
2002	516.13	3170.3	20.84	94.5	40.38	58.8	0	160.4
2003	488.93	3714.2	19.52	74.4	27.00	49.8	0	154.7
2004	491.38	4012.8	17.15	54.5	18.19	60.0	6.7	151.6
2005	581.37	4815.7	12.85	46.5	15.38	56.4	32.8	145.7
2006	480.86	5434.7	13.89	44.2	14.55	64.3	52.9	182.9
2007	458.44	5971.6	12.99	46.7	16.76	68.3	69.2	162.0

注: 以上数据来源于《陕西统计年鉴 2000—2007》, 汉中、安康和商洛 3 市的国民经济与社会发展公报及环境质量状况公报等; 地区生产总值 (GDP) 和工业增加值均以 2000 年可比价格计算。

表 5 2000—2007 年陕南地区水环境承载力评价指标归一化值

年份	水资源总量/ 用水总量	人均 GDP	万元 GDP 综合耗水量	工业万元增加 值废水排放量	工业万元增加 值 COD 排放量	工业用水 重复利用率	污水 处理率	人均生活用 水量
2000	0.135 4	0.080 1	0.152 0	0.207 2	0.238 8	0.115 5	0	0.138 2
2001	0.127 2	0.086 5	0.157 6	0.187 3	0.274 1	0.119 6	0	0.134 5
2002	0.126 2	0.097 4	0.148 0	0.158 6	0.148 7	0.125 8	0	0.121 9
2003	0.119 5	0.114 1	0.138 6	0.124 9	0.099 4	0.106 5	0	0.117 5
2004	0.120 1	0.123 3	0.121 8	0.091 5	0.067 0	0.128 3	0.041 5	0.115 2
2005	0.142 1	0.148 0	0.091 2	0.078 0	0.056 6	0.120 6	0.203 0	0.110 7
2006	0.117 5	0.167 0	0.098 6	0.074 2	0.053 6	0.137 5	0.327 4	0.139 0
2007	0.112 1	0.183 5	0.092 2	0.078 4	0.061 7	0.146 1	0.428 2	0.123 1

2.3 水环境承载力评价计算

根据上述计算公式(1), 由各指标的评价指标值和其权重计算, 2000—2007 年陕南地区水环境承载力结果如表 6。

表 6 2000—2007 年陕南地区水环境承载力评价计算

年份	水环境承载力评价	年份	水环境承载力评价
2000	0.058	2004	0.042
2001	0.060	2005	0.054
2002	0.049	2006	0.064
2003	0.043	2007	0.074

研究结果表明, 2000—2007 年陕南地区的水环境承载力评价变化范围为 0.042~0.074。并根据各项指标的权重可以看出, 引起陕南地区水环境承载力波动的主要因素是水资源总量与用水总量的比值、工业万元增加值、COD 排放量、工业用水重复利用率和人均生活用水量的变化。

根据表 6 中的评价计算结果, 可以绘制出 2000—2007 年陕南地区水环境承载力的变化趋势图 (图略)。

陕南地区的水环境承载力在 2000—2004 年以下降趋势为主, 到 2004 年后逐步增加。主要是由于随着人均 GDP 的增长, 工业用水量和污水排放量逐渐增加, 而 2004 年之前的污水处理率为零; 2005 年后正影响因子人均 GDP 和工业用水重复利用率的逐年增长, 污水处理率也有所增加, 而万元 GDP 综合耗水量、工业万元增加值废水排放量和工业万元增加值 COD 排放量负影响因子逐年下降。

陕南地区山地多盆地少, 水资源地域分布不均。山区经济落后, 人口耕地少, 需水量小, 水资源量较多; 而汉中、安康、商洛等平川地带工农业发达, 需水量大, 水资源量相对较少。因此, 虽然陕南地区的水资源总量比较丰富, 但由于时空分布不均, 水资源供给对陕南地区社会经济的发展仍具有一定的制约。

综上所述, 陕南地区的水环境具有一定的承载力, 但随着该区经济和产业的发展, 需水量逐渐增加, 污染物排放量也在逐步增加, 因此, 应提出不断改善水环境承载力的措施, 确保水环境的承载能力。

3 对策与建议

3.1 加强区域水源涵养与水源地保护

特定地区水资源承载力的大小由其自然水体容量及人类活动影响两方面的因素所决定, 评价结果表明水资源总量与用水总量的比值是引起陕南地区水环境承载力波动的主要因素之一, 同时该区承担着南水北调中线工程主水源地的重任, 因而提高水源涵养区域内汉江流域自然水体的水资源总量, 对于区域水环境承载力的提高意义重大。因此, 需积极实施天然林抢救性保护, 退耕还林还草以及封山、封滩, 育林育草等措施, 有效控制林草退化, 提高蓄水保土功能, 与此同时积极加强水源地保护, 确保区域水资源总量及水源地的生态安全。

3.2 调整产业布局

产业的发展不仅对水资源的需求提出更高的要求, 且其污水排放亦是导致水资源承载力降低的重要因素。因此, 建议针对陕南丰富的农业与生物、矿产、水能、旅游资源等实际情况, 调整产业布局, 把资源开发与生态环境保护相结合, 突出“绿色、集约、可持续”的发展要求, 着力构建以农副林为特色, 中药、旅游和水产业为主的绿色产业体系。在产业布局上, 按照“两带、两区”布局现代绿色农业。汉江沿岸带和丹江沿岸带, 以大米、小麦等粮油作物种植为主, 扩大生猪、蔬菜、水果等种养规模, 积极发展农产品精深加

工; 浅山丘陵区, 以建设绿色种养基地为主, 适当增加绿色产业种植面积和初加工比重, 把该区域建设成为陕南种养集中分布区; 中高山区, 重点加强生态林区、动植物保护区, 为旅游观光、科学考察等提供良好的自然生态基础。

3.3 加快污水处理设施建设

随着社会经济的发展, 近年来陕南地区河道废、污水排放量不断增加, 评价结果中 2004 年的污水处理率仅为 6.7%, 导致大量未经处理或有效处理的废、污水直接排入河道, 使部分河道水体受到污染。近年来污水处理率逐渐增加, 2007 年达到 69.2%, 且陕南地区地表水总体污染程度较轻, 但濂水河、冷水河、八渡河以及汉江、嘉陵江、丹江部分河段污染也较为严重。因此, 应该逐步加强陕南地区水污染治理, 加快污水处理厂建设步伐, 加大城镇生活污水及工业废水的处理力度, 确保各项用水安全, 减少废水和 COD 等负影响因子的排放量, 使水环境承载力得以提高。

3.4 加强小型水利工程建设

根据《陕南地区城镇体系协调发展规划》需水量预测, 陕南地区 2010 年的需水量为 $3.26 \times 10^9 \text{ m}^3$, 而现有设施供水量为 $2.38 \times 10^9 \text{ m}^3$, 缺水 $8.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时陕南平川地带需水量大, 水资源量相对较少, 蓄水工程设施较少, 水资源调控能力较低, 难以满足工农业发展的需要。按照新时期的治水思路, 要强化各项措施, 把开源节流、防汛抗旱有机结合起来, 新建或续建一批水利工程, 增加工程蓄水能力。根据陕南地区的地形、现有及规划水利工程布局, 建议在低山丘陵区大力发展水塘水窖等集雨设施以及小型蓄、引、提等工程设施, 通过工程设施引水、提水、输水功能的实现, 提高水环境承载力, 补充骨干水源工程供水量的不足, 保障陕南地区各项用水需求。

3.5 建立水资源补偿机制

建立水资源补偿机制, 一方面实行排污收费或者征收污染税, 即向环境排放污染物的单位或个人按照其排放污染物的种类、数量或者浓度而向国家交纳一定费用, 以用于治理因污染对环境造成的危害, 从而有力地促进我国水资源保护工作的开展; 一方面南水北调工程是一项复杂的系统工程, 考虑到陕南地区为全国及陕西省社会经济发展做出巨大贡献的现实, 建议省相关部门尽快建立陕南地区南水北调生态环境研究机构及南水北调水资源补偿研究机构, 进行生态环境及水资源补偿机制的研究, 为陕南地区社会经济发展争取一个客观、公正的发展环境。

温较低,影响了花生种植—苗期—分蘖期间的叶面积系数增长量和地面干物质积累量,导致以上两种覆盖条件下花生的产量较低。由于民勤地区春季蒸发量较大,裸

地种植条件下地表土壤水分降低较快,使得地表土壤黏结,影响了花生的出苗率和生长动态。因此,地膜覆盖条件下花生的净产值相比其它处理达到最大。

表 1 覆盖条件下花生产量及水分生产力分析

处 理	灌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	耗水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增产率/ %	节水率/ %	水分生产力/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
地膜覆盖	2 424	3 849	4 775	167.07	30.85	1.24
液态地膜覆盖	3 771	5 258	3 116	74.24	5.55	0.59
秸秆覆盖	3 411	4 850	2 736	53.02	12.87	0.56
裸地种植	4 040	5 567	1 788	—	—	0.32

表 2 覆盖条件下花生投入、产出分析

处 理	投入/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产出/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	净产值/ ($\text{元} \cdot \text{hm}^{-2}$)	投产比
地膜覆盖	9 890	20 055	10 165	1: 2.03
液态地膜覆盖	10 092	13 087	2 995	1: 1.30
秸秆覆盖	10 038	11 491	1 453	1: 1.14
裸地种植	10 133	7 510	- 2 623	1: 0.74

注:投入项目包括种子、化肥、劳力机械费。

3 结 论

(1) 经过对比试验分析,3种覆盖模式与裸地种植相比,地面减蒸效率分别为地膜覆盖 67.35%,秸秆覆盖 35.44%,液态地膜 5.1%,地膜覆盖条件下的减蒸性能高于液态地膜覆盖和秸秆覆盖。

(2) 各处理 0—25 cm 土层深度内的温度均值大小为:地膜覆盖>裸地种植>液态地膜>秸秆覆盖,

其中地膜覆盖处理相比裸地种植地温高出 5.6℃。

(3) 通过对比分析,地膜覆盖条件下花生的水分利用效率可以达到 $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$,产投比达到 1: 2.03,均高于其它处理。

[参 考 文 献]

- [1] 严美玲, 矫岩林, 李向东, 等. 苗期灌水量对花生生理特性和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 18(2): 347-351.
- [2] 施来成. 新垦沙地地膜花生栽培技术研究[J]. 中国沙漠, 1994, 14(1): 83-85.
- [3] 徐春, 胡腾文, 李正强. 不同覆盖方式对花生农艺性状及产量产值构成的影响[J]. 耕作与栽培, 2008(3): 17-18.
- [4] 张蔚, 蒋志荣, 陈铨, 等. 地面覆盖法调节土壤水热状况的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(19): 8184-8188.
- [5] 翟治芬, 赵元忠, 王霞. 河西地区不同覆盖条件对春玉米生长影响的初步研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(1): 50-54.
- [6] 贾振邦, 赵智杰, 李继超, 等. 本溪市水环境承载力及指标体系[J]. 环境保护科学, 1995, 21(3): 363-369.
- [7] 蒋晓辉, 黄强, 惠决河, 等. 陕西关中地区水环境承载力研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 312-317.
- [8] 王其藩. 高级系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [9] 汪彦博, 王嵩峰, 周培疆. 石家庄水环境承载力的系统动力学研究[J]. 环境科学与技术, 1995(2): 43-46.
- [10] 洪峪森. 环境质量综合评价方法的比较研究[J]. 环境保护, 1998(1): 26-28.
- [11] 邢有凯, 余红, 肖杨, 等. 基于向量模法的北京市水环境承载力评价[J]. 水资源保护, 2008, 24(4): 1-3.

(上接第 59 页)

[参 考 文 献]

- [1] 唐剑武, 叶文虎. 环境承载力的本质及其定量化初步研究[J]. 中国环境科学, 1998, 18(3): 36-39.
- [2] 郭怀成. 我国新经济开发区水环境规划研究[J]. 环境科学进展, 1994, 2(5): 14-22.
- [3] 汪恕诚. 水环境承载能力分析 with 调控[J]. 中国水利, 2001(11): 9-12.
- [4] 崔树彬. 河流水环境承载力及其定量化研究[J]. 水问题论坛, 2003, 38(1): 32-39.
- [5] 李如忠, 钱家忠, 孙世群. 模糊随机优选模型在区域水环境承载力评价中的应用[J]. 中国农村水电, 2005(1): 31-34.