

陕北农牧交错区水资源开发利用 现状评价与对策研究^{*}

侯 刚^a, 杨改河^b, 罗诗峰^a

(西北农林科技大学 a 资源环境学院; b 农学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 采用模糊综合评价法, 对陕北农牧交错区的水资源开发利用现状进行了评价。根据贴近度的大小, 对该区域6个县(区)的水资源可持续利用程度进行了排名, 认为府谷县和定边县的水资源可持续程度相对较高, 神木县和靖边县的水资源可持续程度一般, 横山县和榆阳区的水资源可持续程度相对较低。最后根据区域水资源开发利用实际情况, 提出了水资源可持续开发利用的对策。

[关键词] 农牧交错带; 水资源; 开发利用; 模糊综合评价

[中图分类号] TV 213.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0062-05

陕北农牧交错区是我国晋陕蒙接壤区的重要组成部分, 位于陕西省榆林地区北部、毛乌素沙漠东南边缘, 行政区划上包括榆林市的榆阳区及神木、府谷、横山、定边、靖边5县, 地理坐标为北纬36°57′~39°34′, 东经107°28′~111°15′, 总面积3 399.2万km²。由于气候因素及地形地貌条件限制, 该区域地表水系不发达, 属资源型缺水地区, 同时也存在着由于开发难度大或水利工程建设滞后所造成的工程型缺水。陕北农牧交错区是我国水土流失和土地荒漠化较为严重的区域之一, 同时也是陕西省乃至全国能源重点开发和建设的区域。区域水资源的开发利用, 直接影响着区域社会经济的可持续发展和生态环境的良性循环。

前人已从不同角度对陕北农牧交错区的水资源状况进行了研究。王栋^[1]从能源重化工基地的角度出发, 对该区域的水资源现状及发展进行了分析, 并提出了相应的开发与利用策略; 高旭艳^[2]从该区域缺水的实际出发, 提出了优化配水方案; 唐青蔚等^[3]对该区域水资源的保证程度及供水措施进行了研究。但以上研究均是以整个区域为研究对象, 并没有在区域内部进行横向比较。本研究以陕北农牧交错区的6个县(区)为计算单元, 拟定出相应的评价指标体系, 采用模糊数学理论中的贴近度概念, 对该区域的水资源开发利用现状进行了评价, 并对区域内6个县(区)的水资源可持续利用程度进行了排序, 以

期为该区域的水资源开发利用提供理论支撑和决策依据。

1 评价模型的选取

目前, 用于水资源可持续开发利用评价的方法很多, 主要有综合评分法、不确定性评价法、多元统计法、协调度法和多维标度法等几大类^[4-7], 本研究采用不确定性评判中的模糊综合评价方法^[8-9], 现将该法简介如下。

假设有 m 个样本(即待评价的县区)组成了样本空间 U , 每个样本有 n 项评价指标, 则有 $m \times n$ 阶区域水环境评价指标矩阵, 即:

$$U = (u_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

为了进行区域水资源的模糊评价, 需要将式(1)转化为模糊矩阵。为此, 将对可持续发展起正作用的指标进行如下处理:

$$z_{ij} = \frac{u_{ij} - u_{i,\min}}{u_{i,\max} - u_{i,\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

对可持续发展起负作用的指标, 按如下公式处理:

$$z_{ij} = \frac{u_{i,\max} - u_{ij}}{u_{i,\max} - u_{i,\min}}$$

* [收稿日期] 2005-10-10

[基金项目] 国家重大基础预研项目(2005CCA 05300)

[作者简介] 侯 刚(1981-), 男, 河南许昌人, 在读硕士, 主要从事资源与环境生态研究。

[通讯作者] 杨改河(1957-), 男, 陕西耀县人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源与环境生态研究。

$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ (3)

根据式(2)和式(3), 可以将式(1)转化为对应的模糊关系矩阵, 即:

$Z = (z_{ij}) \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ (4)

根据水资源评价的相对性, 可由公式(4)建立水资源“平均”的标准样本, 以便作为评价的相对标准。标准样本的确定方法为:

$$L = (l_1, l_2, \dots, l_m)^T = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n z_{1j} \right), \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n z_{2j} \right), \dots, \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n z_{mj} \right) \right]^T$$
 (5)

那么, 样本(A)与标准样本(L)就可以用贴程度 $N(A, L)$ 来衡量, 则有:

$$N(A, L) = \left[\sum_{i=1}^n (A(u_i) - L(u_i)) \right] \quad (6)$$

利用上述公式, 就可以计算出各个样本与标准样本之间的距离。显然, 贴程度越大, 表明样本越优, 反之则样本越劣。

2 评价指标体系的选择

指标体系是综合评价的基础, 其选取的合理与否直接关系到评价结果的可信度。因此, 建立区域水资源评价的指标体系, 应该根据区域水资源的特点, 全面、合理地考虑各个因素。选取评价指标的原则一般如下^[8, 10]。

- (1) 科学性原则。即按照科学的理论, 特别是可持续发展理论所定义的指标概念和计算方法来进行。
- (2) 完整性原则。即所选指标体系能够综合反映

- 对水资源评价产生影响的各个因素。
- (3) 可操作性强。应尽量选择可量化的指标以便操作, 所选指标不宜过多, 能反映问题即可, 且所选指标的数值能够实际测得。
 - (4) 可比性强。应尽量采用标准的名称、概念和计算方法, 同时还应考虑研究区域的实际情况。
 - (5) 独立性原则。所选指标提供的信息应尽量不重合。
 - (6) 简明、实用、可行性原则。指标体系要充分考

虑资料的来源和现实可能性。

水资源可持续利用评价的指标体系一般可分为3个层次, 分别为目标层、准则层和指标层。目标层为单一目标, 即综合评价区域水资源可持续利用的状况, 可为区域发展提供决策依据。准则层主要表现在水资源条件、水资源开发利用效率、生态环境状况、水资源合理配置和水资源管理能力这几个方面^[11]。指标层是描述可持续发展状态的一组基础指标, 是指标体系中最小的组成单位。本研究根据陕北农牧交错区的实际情况, 经反复研究, 认真对比, 筛选了能够综合反映其水资源开发利用现状的6个评价指标, 即水资源利用率、降水量、人均用水量、单位GDP用水量、总用水量和农田实际灌溉面积。

3 评价计算及结果

根据陕北农牧交错区6县(区)的6个评价指标(表1), 利用模糊综合评价数学模型进行进一步的评价计算。

表1 2003年陕北农牧交错区6县(区)的6个评价指标

Table 1 Related datum of assessment system in the ecotone of North Shaanxi in 2003

区县 Counties	水资源 利用率/% Utilizing percentage	降水量/mm Precipitation	人均用水量/ m^3 Per capital water utili- zation	单位GDP 用水量/ ($m^3 \cdot 万元^{-1}$) Per 10^4 GDP water utilization	总用水量/ $10^4 m^3$ Total water utilization	农田实际灌溉 面积/ hm^2 Actual irrigated farm land
榆阳区 Yuyang	19.1	413.9	396.672	908.190	19.072	282.9
神木县 Shenmu	9.4	440.8	255.729	217.370	9.999	153.2
府谷县 Fugu	2.9	453.4	196.573	136.984	2.226	54.6
横山县 Hengshan	14.5	398.0	306.849	1095.887	10.126	127.4
靖边县 Jingbian	16.1	395.0	240.146	228.949	6.580	11.3
定边县 Dingbian	14.4	316.9	164.027	513.987	4.847	112.7

注: 表中数据根据榆林市2003年水资源公报及榆林市水务局2003年水资源开发利用综合报告分析整理。
Note: The data of the table were derived from the water resource bulletin and the integrated report of exploitation and utilization of water resource in Yulin in 2003.

由表1 可得到陕北农牧交错区6×6 阶的水资源 评价指标矩阵如下:

$$U^T = \begin{bmatrix} 19 & 1 & 413 & 9 & 396 & 672 & 908 & 190 & 19 & 072 & 282 & 9 \\ 9 & 4 & 440 & 8 & 255 & 729 & 217 & 370 & 9 & 999 & 153 & 2 \\ 2 & 9 & 453 & 4 & 196 & 573 & 136 & 984 & 2 & 226 & 54 & 6 \\ 14 & 5 & 398 & 0 & 306 & 849 & 1 & 095 & 887 & 10 & 126 & 127 & 4 \\ 16 & 1 & 395 & 0 & 240 & 146 & 228 & 949 & 6 & 580 & 11 & 3 \\ 14 & 4 & 316 & 9 & 164 & 027 & 513 & 987 & 4 & 847 & 112 & 7 \end{bmatrix}$$

按式(2)和式(3)可将矩阵 U^T 转化为相对应的模糊评价矩阵 Z^T :

$$Z^T = \begin{bmatrix} 0 & 000 & 000 & 0 & 289 & 377 & 0 & 000 & 000 & 0 & 195 & 741 & 0 & 000 & 000 & 1 & 000 & 000 \\ 0 & 598 & 765 & 0 & 092 & 308 & 0 & 469 & 655 & 0 & 916 & 169 & 0 & 538 & 585 & 0 & 522 & 459 \\ 1 & 000 & 000 & 0 & 000 & 000 & 1 & 000 & 000 & 1 & 000 & 000 & 1 & 000 & 000 & 0 & 159 & 426 \\ 0 & 283 & 951 & 0 & 405 & 861 & 0 & 299 & 311 & 0 & 000 & 000 & 0 & 531 & 046 & 0 & 427 & 467 \\ 0 & 185 & 185 & 0 & 427 & 839 & 0 & 521 & 581 & 0 & 904 & 094 & 0 & 741 & 541 & 0 & 000 & 000 \\ 0 & 290 & 123 & 1 & 000 & 000 & 0 & 775 & 228 & 0 & 606 & 839 & 0 & 844 & 414 & 0 & 373 & 343 \end{bmatrix}$$

由矩阵 Z^T 及式(5),可得评价指标的标准矩阵 $0.603\ 807, 0.609\ 264, 0.413\ 783)^T$

L:

$$L = (0.393\ 004, 0.369\ 231, 0.510\ 963,$$

再根据式(4)计算出各个样本与标准样本之间的

距离(表2)。

表2 2003年陕北农牧交错区6县(区)水资源贴适度结果计算及排名

Table 2 Results of the closeness degree calculation and the sequence in the ecotone of North Shaanxi in 2003

区县 Counties	榆阳区 Yuyang	神木县 Shenmu	府谷县 Fugu	横山县 Hengshan	靖边县 Jingbian	定边县 Dingbian
贴适度结果 Results	- 1.414 934	0.237 889	1.259 374	- 0.952 416	- 0.119 812	0.989 895
排名 Sequence	6	3	1	5	4	2

经过模糊综合评价,根据贴适度的大小,对陕北农牧交错区6县(区)水资源开发利用现状的可持续程度进行排名(表2),其中府谷县和定边县的排名较前,说明其水资源开发利用现状的可持续程度相对

较高;神木县和靖边县排名居中,说明其水资源开发利用现状的可持续程度一般;横山县和榆阳区排名较后,说明其水资源开发利用现状的可持续程度相对较低。榆林市2003年供水与用水指标见表3。

表3 2003年陕北农牧交错区供水与用水指标

Table 3 Indexes of water supply and utilization in the ecotone of North Shaanxi in 2003

区县 Counties	用水总量/ 万 m^3 Total water utilization	供水比例 ⁽¹⁾ Ratio of water supply	用水结构 ⁽²⁾ Water utilizing structure	平均灌溉用水量/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$) Average water utilization for irrigation	万元工业产值 用水量/ m^3 Per 10 ⁴ Yuan industrial value water utilization	工业用水重复 利用率/% Repetitive ratio of industry water use
定边县 Dingbian	4 847	0.031 7	84.17 7.22 8.60	3 559	140.00	33.32
府谷县 Fugu	2 226	0.386 4	55.12 22.87 22.01	2 247	121.24	12.91
靖边县 Jingbian	6 580	0.103 3	88.11 5.81 6.08	4 594	113.46	15.86
神木县 Shenmu	9 999	2.418 2	68.26 21.60 10.14	4 329	206.86	12.41
横山县 Hengshan	10 126	8.377 7	86.89 6.76 6.35	6 204	197.12	13.68
榆阳区 Yuyang	19 072	1.882 2	88.25 5.61 6.14	5 734	186.43	12.94

注:表中数据根据榆林市水务局2003年水资源开发利用综合报告分析整理;(1)供水比例指地表水供水与地下水供水之比。(2)用水结构指农业用水、工业用水和生活用水分别占总用水量的百分比。

Note: The datum of table 3 were derived from the integrated report of water resource exploitation and utilization of Yulin in 2003; (1) Ratio of water supply between ground water and underground water; (2) the percentage of water utilization of agriculture, industry and routine life.

由表3可以看出,陕北农牧交错区6个县(区)的用水总量较少,低于5 000 万 m^3 ;靖边县和神木县用水量可以分为3个等级,其中定边县和府谷县用

水总量较多,但也低于1 亿 m^3 ;横山县和榆阳区用水总

量则在 1 亿m^3 以上, 其中榆阳区更是高达将近 2 亿m^3 。在供水比例方面, 定边县、府谷县和靖边县均小于1, 这表明其供水均以地下水为主; 而神木县、横山县和榆阳区均大于1, 这表明其是以地表水供水为主, 其中横山县地表水供水量占总供水量的将近90%。从用水结构来看, 有4个县(区)的农业用水比例高于80%, 其中榆阳区高达88.25%, 只有府谷县和神木县相对较低。农田每公顷平均灌溉用水量大致可以反映区域农业用水的效率, 在本研究区域内, 定边县和府谷县的每公顷平均灌溉用水量较少, 靖边县和神木县较高, 横山县和榆阳区最高。在工业用水效率方面有2个指标, 即万元工业产值用水量和工业用水重复利用率, 前一个指标仍然是定边县、府谷县和靖边县较低, 后一个指标则以定边县最高, 其工业用水重复利用率达到了33.32%。以上分析结果表明, 用模糊综合评价模型计算得到的水资源可持续开发利用程度排序, 基本符合研究区域的实际情况, 具有较好的吻合度和较高的可信度。

4 陕北农牧交错区水资源可持续利用对策

4.1 科学预测, 合理供给

供水预测即通过对水资源潜力的分析, 结合生态环境需水预测, 对水资源开发利用潜力进行估算, 得出区(流)域水资源可利用量控制指标。需水预测指按照生产、生活及生态用水3类口径, 根据区(流)域工农业发展趋势和生活水平状况进行水资源需求预测。科学的供需水预测是水资源开发利用工程建设的前提, 具体到本研究区域, 在供水比例较低的定边县、府谷县和靖边县, 在不违背水资源可利用量控制指标的前提下, 应适当增加地表水供水能力, 修葺现有的水利工程并积极建设新的蓄水、引水和提水工程, 使其供水结构日趋合理。在以地表水供水为主的神木县、横山县和榆阳区, 应积极探测开发地下水源, 减小地表水供水压力, 以免影响到天然水体的生态功能。另外, 也应积极开发利用其他水资源, 如雨水集蓄利用、微咸水利用、废污水处理利用等。

4.2 调整用水结构, 合理配置

用水结构的合理确定与科学预测是制定水资源

开发利用规划的前提和基础, 对于实现区域水资源合理配置和社会经济协调发展具有重要意义。用水结构直观地反映了区(流)域各用水因子在水资源开发利用中的地位, 在本研究区域, 农业用水是主导因子, 6个县(区)中有4个县(区)的农业用水比例都在80%以上, 农业用水比例最低的府谷县也达到了55.12%(表3)。作为陕西省乃至全国新兴的能源化工开发和建设基地, 陕北农牧交错区的工业用水量将会逐年大幅上升, 在总供水量有限的情况下, 唯有调整不合理的用水结构, 即缩减农业用水比例, 才能保证该区域社会经济的可持续发展。

4.3 提高水资源利用效率

陕北农牧交错区水资源利用效率不高, 造成了对有限水资源的极大浪费, 故应提高水资源开发利用效率。在农业方面, 该区作为干旱半干旱区域, 应在进一步研究、推广旱作农业技术, 加强农田基本建设, 改善农田及其环境质量的同时, 强调节水灌溉, 避免大水漫灌, 减少渠系渗漏, 采用自压喷灌、滴灌、低压管道输水等节水技术措施, 提高灌溉用水管理水平, 全面提高灌溉水的利用率和水分的生产效率。在工业方面, 应采用节水生产技术以降低万元工业产值用水量, 提高水资源的重复利用率。随着该区域能源化工基地建设步伐的加快, 工业用水量也会迅猛增加, 届时工业用水效率的提高将会凸显其重要性。

4.4 更新观念, 提倡节约

节约用水是在分析研究节水技术经济指标和节水发展机制的基础上, 根据水资源合理配置的需要提出节水目标, 并对不同的节水方案进行详细的投资与效果分析。目前人们的节水意识不强, 各部门、各行业都存在严重的浪费现象。因此, 应加强节水宣传和教育, 推广采用节水型器具, 强化节水意识, 把该区域建成节水型区域、节水型社会, 保证城乡生活用水, 保证生态用水, 稳定农业用水, 兼顾其他用水, 发挥供水综合效益, 使有限的水资源产生出最大的经济效益、社会效益和生态效益。

[参考文献]

- [1] 王 栋 陕北榆林能源重化工基地用水浅析[J]. 西北水力发电, 2002, 18(1): 54-55
- [2] 高旭艳 陕北能源基地优化配水方案[J]. 陕西水利水电技术, 2002, 18: 14-16
- [3] 唐青蔚, 苏人琼 榆林地区能源基地建设水资源保证程度及供水措施[J]. 自然资源学报, 1994, 9(4): 322-332
- [4] 宋松柏, 蔡焕杰, 徐良芳 水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(5): 647-652
- [5] 徐中民, 张志强, 程国栋 可持续发展研究的几种新方法评价[J]. 中国人口、资源与环境, 2000, 10(2): 60-64

- [6] 冯耀龙, 练继建, 韩文秀. 区域水资源系统可持续发展评价研究[J]. 水利水电技术, 2001, 32(12): 9-11.
- [7] 冉圣宏, 金建军, 薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 117-122.
- [8] 何小龙, 梁川, 王晨华, 等. 云南省水资源开发利用现状的模糊综合评价[J]. 云南水力发电, 2004, 21(1): 5-10.
- [9] 杨纶标. 模糊数学——原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [10] 邹积军, 刘志文, 张小芬, 等. 区域水资源可持续利用指标体系的设计及评价方法研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(1): 37-40.
- [11] 刘恒, 耿雷华, 陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265-270.

Study on the assessment of water exploitation and utilization and the corresponding countmeasures in the ecotone of North Shaanxi

HOU Gang^a, YANG Gai-he^b, LUO Shi-feng^a

(a College of Resources and Environmental Science; b College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract By adopting the method of fuzzy and comprehensive assessment, the current situation of water exploitation and utilization in the ecotone of North Shaanxi was evaluated. Also six counties in this region were ranked according to their ability of sustainable utilization of water resources by using the concept of closeness degrees. The result showed that the sustainable degree of Fugu and Dingbian county was higher, and that of Shenmu and Jingbian county was normal, while that of Hengshan and Yuyang district was lower. At last the corresponding countmeasures to sustainable exploitation and utilization of water resources were advanced according to the actual situation.

Key words: ecotone of agriculture and husbandry; water resources; exploitation and utilization; fuzzy and comprehensive assessment

欢迎订阅2007年《西北林学院学报》

《西北林学院学报》是由西北农林科技大学主办的以林业科学为主的综合性自然科学学术期刊, 1984年创刊。主要刊登林业基础理论、林木繁育与栽培、森林经营、水土保持与荒漠化防治、森林资源与保护、木材科学、林产化学与工业、林业机械、园林绿化与设计、林业经济管理、林业生态与环境专题研究等学科的科学论文, 以及国内外林业科学研究的新成果、新动态。读者范围: 农林高等院校师生、林业科技工作者及有关综合大学生物专业师生。

本刊为全国中文核心期刊; 中国科技核心期刊; 中国科学引文数据库期刊; 中国学术期刊(光盘版)入选期刊; 全国高校优秀学报。论文被国内外多家权威数据库和文摘期刊固定转载和收录, 并已全文入选, 如“中文科技期刊数据库”、“万方数据库系统科技期刊群”、“维普科技期刊数据库”、“台湾华艺数据库”和“科技期刊网”等。

本刊为双月刊, 逢单月底出版, 大16开本, 每期192页, 每期定价15.00元, 全年90.00元。国内邮发代号52-99。国外发行委托中国教育图书进出口公司代理, 代号: Q 5621。

联系电话: 029- 87082059; 传真: 029- 87082059; E-mail: fsc5141@sina.com

联系地址: 陕西 杨陵 邠城路3号; 邮编: 712100