

文章编号: 1006-4710(2013)02-0165-07

城市化进程中区域水土资源生态风险评价研究

廖文华, 解建仓, 王玲, 朱记伟

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 在分析区域生态风险因子的基础上,结合环境、经济、社会三方面内容,构建水土资源耦合生态系统风险评价指标体系。以西安市浐灞生态区为例,采用改进熵权法和加权求和法进行评价研究。评价结果显示,浐灞区水土资源复合开发之前生态风险值为0.512 1,属较高风险,水土资源耦合系统的生态风险值为0.197 7,属低风险。研究结果表明区域水土资源复合开发后,耦合系统的生态风险降低,“经济—社会—生态”系统协调发展,人与自然和谐相处。

关键词: 水土资源耦合系统;熵权法;生态风险

中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A

A Study of Ecological Risk Assessment of Regional Water and Land Resource in the Process of Urbanization

LIAO Wenhua, XIE Jiancang, WANG Ling, ZHU Jiwei

(Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE
Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the analysis of regional ecological risk factors and in combination of such contents in three aspects as environment, economy and society, the index system of land and water resources coupled ecosystem risk assessment is established in this paper. The improved entropy method and the weighted sum method are used to evaluate the ecological risk of soil and water resources coupled system with Chan-Ba Ecological District as an example. The evaluation results show that Chan-Ba ecological risk before the development of soil and water resources composite exploitation is 0.512 1, which falls into a higher risk. The ecological risk after the development of soil and water resources composite exploitation is 0.197 7, which falls into a low risk, whereby indicating that after regional soil and water resources composite development, the ecological risk of coupled system is low and that “economic-social-ecological system” develops in coordination so that man and nature are in harmony.

Key words: Water and soil resources coupled system; entropy weight method; ecological risk

水是生命之源,土是生存之本。水土资源是生物赖以生存与繁衍的重要的自然资源,是城市化发展所必须依赖的重要物质基础与关键环境要素^[1],也是社会经济可持续发展的重要支撑和保障。水资源作为区域土地利用的瓶颈因素,决定着土地の利用方向,而土资源是水生态建设的基础资源,所以两者相互影响、相互制约、相辅相成^[2],成为区域水土资源耦合生态系统。

近年来,随着中国城市化水平的不断提高,城市化进程加快,城市生活节奏变快,城市环境质量下降,水土资源供需短缺和生态环境恶化问题日益突出,严重制约着我国社会经济的可持续发展^[3]。2005年国外研究者 Ma-ruyama T 等^[4]将熵权理论运用于日降雨量及水资源短缺可利用性潜力的评估中,取得了一定的成果,2007年 Lliadis LS^[5]等采用人工神经网络模型研究了水资源问题。相对国外,

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51209170);陕西省科学技术研究发展计划基金资助项目(2012JQ5014);西安理工大学博士启动基金资助项目(118-211103)。

作者简介: 廖文华,男,博士生,研究方向为水土资源优化配置。E-mail:610xiao@163.com。

解建仓,男,教授,博士生导师,研究方向为水文及水资源。E-mail:jcxie@xaut.edu.cn。

国内的研究起步较晚,但也取得了一定的成果,罗军刚^[6]等将熵值理论应用于水资源短缺风险评价中,建立基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型;陈丹^[7]等基于能值理论对区域水资源复合系统进行生态经济综合评价;于宝珠^[3]对区域水土资源复合系统风险分析进行了初探研究,总结了我国水资源系统和土地资源系统风险分析的模型及指标体系。目前,对于区域水土资源耦合系统生态风险的评价成果尚不多见,主要还是以水资源系统风险评价为主。然而,水土资源耦合系统作为一个复杂的动态巨系统,受多种因素的共同作用和影响,进行水土资源复合开发时必然存在一定的未知风险。因此,本研究构建了一个完整的区域水土资源耦合系统的生态风险评价指标体系,对城市化进程中区域水土资源耦合系统生态风险进行分析研究,以期为区域水土资源复合开发的风险管理以及区域经济、社会、生态和谐发展提供依据和保障。

1 区域水土资源耦合系统生态风险评价模型的构建

1.1 风险因子的识别

风险因子的识别就是根据评价目的找出风险发生的潜在因素,通过提供必要的信息使风险评价更具效果和效率。常见的风险识别方法有专家调查法、故障树分析法、流程图法、情景分析法、经验数据法及风险调查法等,本研究根据区域水土资源耦合系统自身的特点,在遵循全面周详、综合考察、科学计算、量力而行、系统化的原则下,通过了专家调查法及风险调查法,对区域水土资源耦合系统生态风险因子进行识别。识别结果大体归纳为自然和人为两类,前者指自然状态下气候、水、土、人口、经济等

资源灾害因子,后者指导致危害或严重干扰生态系统的人为污染因子。

就区域水土资源耦合系统而言,针对以上识别出来的风险因子进行逐步分解,然后逐一分析对受体的影响和危害,在查阅相关资料及历史资料考查的基础上^[8],分析比较其发生的概率、强度及影响范围等,忽略对受体影响程度小、发生概率不大的次要风险因子,反复进行筛选诊断,最终确定洪涝灾害、水资源短缺、土壤和植被破坏、人口与经济风险、工业污染、农业污染、生活污染以及其他特殊因素等为区域水土资源耦合系统的主要风险因子。

1.2 评价指标体系的确定

指标体系的构建是区域水土资源耦合系统生态风险评价的关键环节之一,科学合理地选择评价指标是进行评价的前提。区域水土资源耦合系统是一个由社会—经济—自然环境三个子系统构成的复杂巨系统,每个子系统发挥各自功能的同时又相互制约、相互补充,共同支撑着区域生态系统的协调和持续运行。水土资源耦合系统的建设不是追求某一系统的单一绩效,而是整体综合功能最佳,即追求“社会—经济—生态”系统的协调,实现经济发展、社会进步、生态保护的相互协调,以及物质、能量、信息的高效利用,使居民在其中安全而幸福地生活,达到人与自然的和谐与持续发展。

根据区域水土资源耦合系统的特点,遵循指标选取的系统性、科学性、代表性、区域性、动态性、规范性、综合性以及可操作性的原则,结合风险因子的识别结果及学者们的研究^[9-11],从环境、经济、社会三方面开展评价研究,构建了区域水土资源耦合系统的生态风险评价指标体系,该指标体系由34项指标共同反映耦合系统的生态水平及风险值。如表1所示。

表1 区域水土资源耦合系统生态风险评价指标体系

Tab. 1 Regional water and soil resources coupled system of ecological risk assessment system

	水土资源环境生态化水平 U_1	水土资源经济生态化水平 U_2	水土资源社会生态化水平 U_3
准则层	人均水资源量 X_1 / mm	GDP 增长率 $X_{14} / \%$	恩格尔系数 $X_{25} / \%$
	人均公共绿化面积 X_2 / hm^2	人均 GDP $X_{15} / (\text{元}/\text{人})$	水土协调度 $X_{26} / \%$
	植被覆盖率 $X_3 / \%$	第三产业总值占 GDP 比例 $X_{16} / \%$	自来水普及率 $X_{27} / \%$
	水资源开发率 $X_4 / \%$	旅游收入占 GDP 的比例 $X_{17} / \%$	生活垃圾分类收集率 $X_{28} / \%$
	水域面积比例 $X_5 / \%$	万元工业产值耗用水量 $X_{18} / (\text{t}/\text{万元})$	人均道路面积 $X_{29} / (\text{m}^2/\text{人})$
	耕地面积变化率 $X_6 / \%$	人均日生活用水量 X_{19} / L	农业机械化水平 $X_{30} / (\text{kg}/\text{hm}^2)$
指标层	年降水量 X_7 / m^3	旅游区环境达标率 $X_{20} / \%$	人均寿命 $X_{31} / \text{岁}$
	水土流失治理程度 $X_8 / \%$	人口自然增长变化率 $X_{21} / \text{‰}$	环境宣传教育普及率 $X_{32} / \%$
	工业固废综合利用率 $X_9 / \%$	人口密度 $X_{22} / (\text{人}/\text{km}^2)$	公众对环境的满意度 $X_{33} / \%$
	工业废水排放达标率 $X_{10} / \%$	耕地粮食产量 $X_{23} / (\text{kg}/\text{hm}^2)$	文化意识度 X_{34}
	生活污水集中处理率 $X_{11} / \%$	农药施用量 $X_{24} / (\text{kg}/\text{hm}^2)$	
	生活垃圾无害化处理率 $X_{12} / \%$		
	旱涝灾害发生频率 $X_{13} / (\text{年}/\text{次})$		

1.3 改进熵权法确定权重

科学地确定指标权重在多指标综合评价中举足轻重。综合评价中权重确定的方法主要有主观性赋权法和客观性赋权法,前者是从评价者的角度认定各评价因素重要程度确定的权数,后者则从评价指标包含被评价对象分辨信息多少来确定权数。通过对因子分析法、相关系数法、层次分析法、专家排序法、熵权法、RSR法、Delphi等多种确定权重的方法进行对比分析,沪灞区域水土资源耦合系统生态风险评价决定采用熵权法来确定各项指标的权重。

熵权法^[12]主要是根据各指标传递给决策者的信息量大小来确定其权重,因此其决策的精确度与可靠性明显优于主观性赋权法,而且熵权法还具有对数值有差异的属性参数进行弱化和强化的功能,可以去同存异。但在评价过程中,经常会遇到一些极端值或负值的情况,传统的熵权法当指标值为负值时是不能计算比重及取对数的。为了解决这一问题,对传统的熵权法进行改进,主要是先对原始数据利用标准化进行变换,这种处理方法没有加入评价者的主观思想,是一种基于指标数据本身的无任何主观信息的客观赋权法并且评价结果唯一,具体步骤为:

1)构造样本数据矩阵。以 m 个评价指标相对于 n 个评价对象的原始数据构造构成判断矩阵 X 。

$$X = (x_{ij})_{m \times n} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n)$$

2)数据标准化。不同的指标具有不同的单位和度量,为使指标间具有可比性,采用标准化法对指标进行无量纲化。

$$y_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / S_j \quad (1)$$

式中, \bar{x}_j 为指标 j 取值的均值, S_j 为指标 j 取值的标准差。

为了避免出现部分负值,可以将无量纲化后指标值进行平移,对 y_{ij} 进行平移变化,即:

$$z_{ij} = C + y_{ij}, \text{其中 } C \text{ 为平移幅度。} \quad (2)$$

3)确定指标的熵值。在有 m 个评价指标, n 个评价对象的评价体系中,第 i 个评价指标的熵值确定公式为:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

式中, k 为待定常数,在数值上有:

$$k = \frac{1}{\ln n}; f_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{j=1}^n z_{ij}}$$

当 $f_{ij} = 0$ 时,令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ (4)

4)计算指标的权重。在计算出每个评价指标

熵值的基础上,确定指标的权重。

$$w_j = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_{ij}}; (i = 1, 2, \dots, m) \quad 0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1 \quad (5)$$

$$g_i = 1 - H_i \quad (6)$$

g_i 为第 i 个指标的差异性系数,反映的是各指标在每个评价对象之间的差异性大小。由公式 5 和公式 6 可知, H_i 越小, g_i 越大,差异性就越大,评价指标越重要,权重也越大;反之,差异性越小,指标越不重要,权重也就越小。

1.4 评价指标综合分值的计算及评价标准的划分

1)评价指标分值计算

区域水土资源耦合系统的生态风险指标体系中每项指标都从不同的角度反映了整个生态系统的生态水平或风险水平,为体现每个指标对综合评价的作用和度量,采用加权求和公式计算耦合系统的生态水平分值,公式为:

$$\text{生态水平分值: } U = \sum_{i=1}^m r_{ij} w_i \times 100 \quad (7)$$

式中, r_{ij} 为个指标的标准值(实际值/目标值); w_i 为第 i 个指标的权重。

$$\text{生态风险值计算模型: } E = \frac{Y - U}{Y} \quad (8)$$

式中, E 为生态风险值,取值为 $0 \sim 1$; Y 为生态化水平指标的期望值或理想值,取值为 100 ; U 为生态化水平指标的实际值。

2)评价标准的划分

根据评价模型计算出风险值后,需进一步对风险值进行等级划分,进而确定研究区水土资源耦合系统的生态风险水平,便于评价结果的分析与研究。在参照不同学者对区域水、土资源风险评价标准划分的基础上,本研究将水土资源耦合系统生态风险评语分为 5 个等级,分别对应的低风险、较低风险、一般风险、较高风险、高风险。生态风险值和风险等级具体见表 2^[9] 所示。

表 2 区域水土资源耦合系统生态风险值与风险等级综合判别表

Tab. 2 Regional water and soil resources coupled system ecological risk value and risk level comprehensive judging

生态风险值	<0.2	[0.2,0.4)	[0.4,0.5)	[0.5,0.7)	>0.7
风险等级	低风险	较低风险	一般风险	较高风险	高风险

2 区域水土资源耦合系统生态风险评价模型的实证研究

2.1 研究区概况

西安市浐灞生态区位于西安市未央区和灞桥区,是西安市确定发展的“五区一港二基地”之一(见图1)。生态区规划总面积 129 km^2 ,其中集中治理 89 km^2 。在生态区成立前,随着城市的发展,河流的自然形态遭到破坏,生态功能逐渐弱化,浐灞河城市段成为西安市欠发展区域,是西安最大的“垃圾场”。主要面临三大生态灾害:一是河流污染,浐灞河年径流量 $1.8 \times 10^9\text{ m}^3$,但五分之一是污水,每天排入浐河的污水约 $10 \times 10^5\text{ m}^3$ 。二是垃圾围城,沿浐、灞河岸有10余处河段垃圾成山,垃圾堆放量近 $500 \times 10^5\text{ m}^3$ 。三是挖沙成灾,过度挖沙造成浐灞河床严重下切达6 m之深,地质灾害隐患严重。

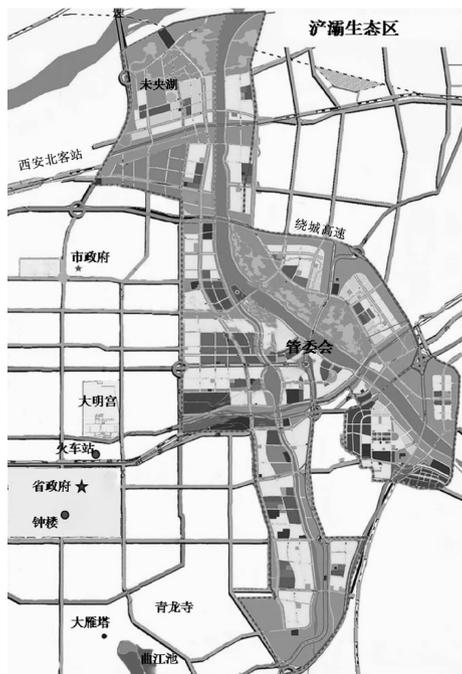


图1 浐灞生态区地理位置图

Fig.1 Chan-Ba ecological district location map

随着西安城市化进程的推进,面对生态恶化和城市扩容双重压力以及城市发展模式的主动求变,西安市委、市政府经过科学论证,在广泛综合国内外城市发展经验基础上于2004年9月决定成立和建设生态型城市新区——西安浐灞生态区,统筹浐灞河城市段的治理和开发建设工作。生态区定位为都市型生态区和生态化商务城,以“河流治理带动区域发展,新区开发支撑生态建设”为发展思路,走“水土资源复合开发、生态治理与建设开发有机结合”的路子^[13],把浐灞生态区建设成为生态环境优

美,人与自然高度和谐,“宜居宜创业”的西安第三代新城。

2.2 指标数据标准化

本研究主要是对浐灞生态区在复合开发前与水土资源复合开发后的生态风险进行评价研究,为了使研究结果简单明了,选取具有代表性的2001年、2009年、2011年作为研究对象。根据历史与现状调查资料,以现有的社会经济数据为基础,分析水土资源耦合系统的生态风险情况。按照评价步骤先将原始数据按照标准化法式(1)、式(2)进行变换,结果如表3所示。

表3 各指标数据标准化后的标准值

Tab.3 The index data standardization of reference value			
评价指标	2001年	2009年	2011年
X_1/m^3	0.812 4	1.040 4	2.647 2
$X_2/(\text{m}^2/\text{人})$	0.597 4	1.327 6	2.575 0
$X_3/\%$	0.440 7	1.631 7	2.427 6
$X_4/\%$	0.463 3	1.577 9	2.458 8
$X_5/\%$	0.382 4	1.807 3	2.310 3
$X_6/\%$	2.569 0	0.587 4	1.343 6
X_7/mm	2.473 4	0.475 4	1.551 2
$X_8/\%$	0.644 8	1.255 7	2.599 5
$X_9/\%$	0.488 1	1.524 2	2.487 7
$X_{10}/\%$	0.498 5	1.502 9	2.498 5
$X_{11}/\%$	0.623 5	1.287 3	2.589 2
$X_{12}/\%$	0.659 3	1.234 9	2.605 8
$X_{13}/(\text{年}/\text{次})$	0.572 8	1.367 5	2.559 6
$X_{14}/\%$	0.577 7	1.359 4	2.562 9
$X_{15}/(\text{元}/\text{人})$	0.926 1	0.919 2	2.654 7
$X_{16}/\%$	0.673 9	1.214 4	2.611 7
$X_{17}/\%$	0.728 3	1.142 0	2.629 7
$X_{18}/(\text{元}/\text{万元})$	2.569 3	1.342 7	0.587 9
X_{19}/L	0.561 5	1.386 7	2.551 8
$X_{20}/\%$	0.774 1	1.085 2	2.640 6
$X_{21}/\%$	1.247 7	0.650 3	2.602 0
$X_{22}/(\text{人}/\text{km}^2)$	0.726 5	1.144 2	2.629 2
$X_{23}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$	0.459 2	1.587 2	2.453 5
$X_{24}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$	0.547 3	1.411 4	2.541 4
$X_{25}/\%$	0.767 0	1.093 8	2.639 2
$X_{26}/\%$	0.659 1	1.235 1	2.605 8
$X_{27}/\%$	0.644 8	1.255 7	2.599 5
$X_{28}/\%$	0.598 1	1.326 6	2.575 4
$X_{29}/(\text{m}^2/\text{人})$	0.678 1	1.208 6	2.613 3
$X_{30}/(\text{kg}/\text{hm}^2)$	0.638 4	1.265 0	2.596 6
$X_{31}/\text{岁}$	0.500 0	1.500 0	2.500 0
$X_{32}/\%$	0.477 1	1.547 6	2.475 4
$X_{33}/\%$	0.755 3	1.108 1	2.636 6
X_{34}	0.578 5	1.358 2	2.563 3

2.3 评价指标熵权的确定

指标数据进行标准化变换后,消除了指标间不同单位与度量的影响,具有了可比性,即可按熵值、熵权的计算公式进行计算,由式(3)~(6)计算可得各评价指标的熵值、熵权如表4所示。根据计算结果显示环境生态化水平对整个水土资源耦合系统的

生态风险评价影响较大,其次是经济化生态水平、社会生态水平。

2.4 评价指标分值计算

根据式(7)可知,在进行生态水平分值计算时,要先求出各指标的标准值,按照标准值=实际值/目标值,计算得出各指标的标准值,见表5。

表4 评价指标熵值、熵权计算表

Tab.4 Evaluation index entropy value of entropy calculation sheet

评价指标	H_i	w_i	评价指标	H_i	w_i	评价指标	H_i	w_i
X_1	0.873 6	0.026 8	X_{14}	0.860 9	0.029 5	X_{25}	0.872 3	0.027 1
X_2	0.862 6	0.029 2	X_{15}	0.874 8	0.026 6	X_{26}	0.867 1	0.028 2
X_3	0.845 0	0.032 9	X_{16}	0.868 0	0.028 0	X_{27}	0.866 1	0.028 4
X_4	0.848 2	0.032 2	X_{17}	0.870 8	0.027 4	X_{28}	0.862 6	0.029 2
X_5	0.835 8	0.034 9	X_{18}	0.861 8	0.029 3	X_{29}	0.868 2	0.028 0
X_6	0.861 7	0.029 3	X_{19}	0.859 4	0.029 8	X_{30}	0.865 7	0.028 5
X_7	0.849 7	0.031 9	X_{20}	0.872 5	0.027 0	X_{31}	0.852 8	0.031 2
X_8	0.866 1	0.028 4	X_{21}	0.866 5	0.028 3	X_{32}	0.850 0	0.031 8
X_9	0.851 4	0.031 5	X_{22}	0.870 7	0.027 4	X_{33}	0.871 9	0.027 2
X_{10}	0.852 6	0.031 3	X_{23}	0.847 6	0.032 3	X_{34}	0.860 9	0.029 5
X_{11}	0.864 6	0.028 7	X_{24}	0.858 0	0.030 1			
X_{12}	0.867 1	0.028 2						
X_{13}	0.860 4	0.029 6						
U_1		0.394 9	U_2		0.316 0	U_3		0.289 1

表5 各评价指标标准值

Tab.5 The evaluation standard

一级指标	权重	二级指标	2001年	2009年	2011年
水土资源 环境生态 化水平	0.394 9	人均水资源量 X_1	0.532 7	0.648 5	0.760 0
		人均公共绿化面积 X_2	0.429 8	0.602 5	0.801 7
		植被覆盖率 X_3	0.407 5	0.630 6	0.712 9
		水资源开发率 X_4	0.315 0	0.625 0	0.870 0
		水域面积比例 X_5	0.427 5	0.703 8	0.801 3
		耕地面积变化率 X_6	0.400 0	0.552 0	0.494 0
		年降水量 X_7	0.678 3	0.885 4	0.773 9
		水土流失治理程度 X_8	0.430 0	0.670 0	0.780 0
		工业固废综合利用率 X_9	0.469 3	0.810 3	0.894 9
		工业废水排放达标率 X_{10}	0.375 1	0.674 3	0.764 9
		生活污水集中处理率 X_{11}	0.333 4	0.738 4	0.832 3
		生活垃圾无害化处理率 X_{12}	0.465 7	0.718 3	0.867 4
		旱涝灾害发生频率 X_{13}	0.500 0	0.600 0	0.750 0
水土资源 经济化生 态水平	0.316 0	GDP 增长率 X_{14}	0.416 7	0.556 7	0.772 2
		人均 GDP X_{15}	0.363 3	0.361 0	0.925 8
		第三产业总值占 GDP 比例 X_{16}	0.350 3	0.424 3	0.615 7
		旅游收入占 GDP 的比例 X_{17}	0.358 0	0.656 0	0.768 7
		万元工业产值耗用水量 X_{18}	0.664 3	0.978 5	1.000 0
		人均日生活用水量 X_{19}	0.910 3	0.888 9	0.786 3
		旅游区环境达标率 X_{20}	0.340 0	0.630 0	0.880 0
		人口自然增长变化率 X_{21}	0.876 1	1.000 0	1.000 0
		人口密度 X_{22}	1.000 0	0.954 0	0.856 0
		耕地粮食产量 X_{23}	0.721 8	1.000 0	1.000 0

续表 5

一级指标	权重	二级指标	2001年	2009年	2011年
水土资源 社会化生 态化水平	0.289 1	农药施用量 X_{24}	0.538 5	0.438 5	0.307 7
		恩格尔系数 X_{25}	0.534 8	0.684 8	0.868 0
		水土协调度 X_{26}	0.428 3	0.644 8	0.892 3
		自来水普及率 X_{27}	0.520 0	0.730 0	0.840 0
		生活垃圾分类收集率 X_{28}	0.006 0	0.677 7	0.811 1
		人均道路面积 X_{29}	0.440 0	0.507 5	0.686 3
		农业机械化水平 X_{30}	0.349 1	0.500 0	0.820 8
		人均寿命 X_{31}	0.920 0	0.960 0	0.973 3
		环境宣传教育普及率 X_{32}	0.370 0	0.690 0	0.820 0
		公众对环境的满意度 X_{33}	0.378 9	0.663 2	0.936 8
文化意识度 X_{34}	0.310 0	0.540 0	0.630 0		

根据式(7)、式(8)可以分别计算出2001年、2009年、2011年浐灞生态区水土资源复合开发前及复合开发成耦合系统的生态水平值、生态风险值,参照表2标准,得出相对应的风险等级。如表6所示。

表6 生态风险综合评价结果

Tab.6 Ecological risk comprehensive evaluation results

	2001年	2009年	2011年
生态水平值	48.789 0	68.952 8	80.230 2
生态风险值	0.512 1	0.310 5	0.197 7
风险等级	较高	较低	低风险

2.5 评价结果分析

根据上述的评价模型,对浐灞生态区具有代表性的三年进行了生态风险值的计算,由计算结果可以看出:

1) 2001至2011年研究区由以前的垃圾场,到成立生态区开始进行水土资源复合开发治理,2009年治理进入高潮阶段,2011年现代化生态新城格局基本形成,区域全面进入跨越发展的全新阶段。从整体上看,研究区的生态风险发生了很大的变化,风险值由0.5121到0.3105,再到0.1977,风险等级由较高风险到较低风险直至低风险。

2) 从评价指标的权重和基础数据来看,各指标对整个区域的生态风险都有一定的影响,但影响相对较大的有水资源开发率、水域面积比例、水土流失的治理程度、水土协调度以及工业、生活的污水处理、土地的利用形式等,所以在进行区域水土资源复合开发时特别要注意这些方面,同时也要加强环境宣传教育,提高公众的环保意识,引导公众参与。

3) 由计算结果可知,区域水土资源的复合开发使区域的环境、经济、社会生态化水平有了大幅度的提高。水土资源综合效应明显,改善了水环境质量、修复了水生态系统,切实改变了土地利用方式,提升

土地资源价值以及增强土地资源承载力,真正实现了水土资源相互耦合,和谐发展的目标,符合“以水养地,以地生金”的理论。

3 结 论

1) 本研究将改进熵权法用于区域水土资源耦合系统的生态风险评价中,该方法不添加任何主观信息,克服了传统评价方法的局限性和依赖专家经验决策的弊端,增强了评价结果的客观性;

2) 评价指标权重计算结果表明,经济的发展给水土资源的生态安全带来了较大的影响,而科学技术的进步和政府政策的实施相对能缓和这些不利影响,并使自然环境生态系统有所好转;

3) 区域水土资源的复合开发,使得区域水土资源得到合理、有效地配置和利用,不仅能改善城市的生态环境,带动区域的经济发展,还能促进区域“经济—社会—生态”系统的协调统一。

参考文献:

- [1] 赵月望. 城市滨水生态与土地复合开发模式及效应研究[D]. 西安:西安理工大学,2012.
Zhao Yuewang. Research on combined development mode and effect of urban waterfront ecology and land[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2012.
- [2] 潘宜, 佘小伟, 金苗. 城市化进程中水土资源系统耦合配置研究[J]. 水土保持通报, 2012, (5): 216-220.
Pan Yi, Si Xiaowei, Jin Miao. Optimal allocation of water and land resource system coupling in the process of urbanization[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, (5): 216-220.
- [3] 于宝珠, 付强, 赵静. 区域水土资源复合系统风险分析研究初探[J]. 水利科技与经济, 2011, (2): 1-4.
Yu Baozhu, Fu Qiang, Zhao Jing. Preliminary study on risk analysis of regional water and soil resources complex

- systems[J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2011, (2):1-4.
- [4] Takeo Maruyama, Toshihiko Kawachi, Vijay P S. Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 309(1-4): 104-113.
- [5] Lazaros S I, Fotis M. An artificial neural network model for mountainous water-resources management: the case of cyprus mountainous watersheds[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2007, (22):1066-1072.
- [6] 罗军刚,解建仓,阮本清. 基于熵权的水资源短缺风险模糊综合评价模型及应用[J]. *水利学报*, 2008, 39(9): 1092-1097, 1104.
Luo Jungang, Xie Jiancang, Ruan Benqing. Fuzzy comprehensive assessment model for water shortage risk based on entropy weight [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(9): 1092-1097, 1104.
- [7] 陈丹,陈菁,关松. 基于能值理论的区域水资源复合系统生态经济评价[J]. *水利学报*, 2008, 39(12): 1384-1389.
Chen Dan, Chen Jing, Guan Song. Comprehensive evaluation of water resources-ecological economic complex system based on emergy theory[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(12): 1384-1389.
- [8] 焦锋. 区域生态风险识别系统构建[J]. *环境科技*, 2011, (02):49-53, 58.
Jiao Feng. Construction of software system on identification of regional ecological risks[J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2011, (02):49-53, 58.
- [9] 张文梅,任志远,王丽霞. 城市水土资源生态安全评价——以西安市为例[J]. *资源科学*, 2008, (12):1916-1922.
Zhan Wenmei, Ren Zhiyuan, Wang Lixia. Ecological security of urban land and water resources: a case study of Xi'an City[J]. *Resources Science*, 2008(12):1916-1922.
- [10] 蒙吉军,赵春红. 区域生态风险评价指标体系[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(4):983-990.
Meng Jijun, Zhao Chunhong. Research progress on index system of regional ecological risk assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(4):983-990.
- [11] 吴文婕,石培基,魏伟. 石羊河流域绿洲城市水土资源利用生态风险评价——以武威市为例[J]. *干旱区地理*, 2012, (5):838-846.
Wu Wenjie, Shi Peiji, Wei Wei. Evaluation on soil and water ecological risk of oasis city in Shiyang River basin: a case of Wuwei City [J]. *Arid Land Geography*, 2012, (5):838-846.
- [12] 汪妮,方正,解建仓. 改进的熵权法在再生水资源价值评价中的应用[J]. *西安理工大学学报*, 2012, 28(4): 416-420.
Wang Ni, Fang Zheng, Xie Jiancang. Application of improved entropy weight method to reclaimed water value assessment[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2012, 28(4):416-420.
- [13] 赵月望,解建仓,黄银兵. 城市化进程中区域水土资源复合开发效应[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(2): 224-228.
Zhao Yuewang, Xie Jiancang, Huang Yinbing. Comprehensive development effects of regional soil and water resources in urbanization[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(2):224-228.

(责任编辑 李虹燕)