

基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价

李谢辉^{1,2}, 王 磊³, 李景宜^{2,4}

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;
3. 成都信息工程学院高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225; 4. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 宝鸡 721013)

摘要:以渭河下游河流沿线区域为研究区, 基于风险度量的基本原理和区域生态风险评价的流程框图, 构建了综合生态风险值的计算模型, 即综合生态风险值是综合风险概率、综合生态损失度和综合社会经济易损度的叠加。在研究区历史资料考证和 2002 年 ETM+ 遥感影像景观分类的基础上, 通过选取干旱、洪水、污染和水土流失, 利用地理信息系统和现代地理学中的大量数学方法, 按照评价步骤和计算模型, 将研究区 4 种生态风险源综合评价结果划分为低风险区, 较低风险区, 中等风险区, 较高风险区 and 高风险区 5 个级别。研究结果为环境管理和生态风险决策提供数量化的理论依据和数据支持。

关键词:地理信息系统; 综合生态风险值; 区域生态风险评价; 渭河下游

文章编号: 1000-0933(2009)10-5523-12 中图分类号: Q14, X171 文献标识码: A

Regional ecological risk assessment in catchment area along the Weihe River based on GIS

LI Xie-Hui^{1,2}, WANG Lei³, LI Jing-Yi^{2,4}

1 Research Center of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475001, China

2 College of Resource and Environment, Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, MOE, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

3 Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Information Engineering, Chengdu 610225, China

4 Key Laboratory of Disaster Survey & Mechanism Simulation of Shaanxi, Baoji University of Arts & Sciences, Baoji 721013, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5523 ~ 5534.

Abstract: Taking the catchment area along the Weihe River in Shaanxi Province as a study area, and on the basis of elementary principles of risk and the theoretical framework on regional ecological risk assessment, calculative model was established to obtain integrated ecological risk value which was computed by the integrated risk probability, integrated eco-damage, and integrated socio-economic vulnerability. Based on the historical data in study area and landscape classified image of ETM+ in 2002, by selecting four risk sources of drought, flood, pollution and soil erosion, using GIS and a variety of mathematical models and methods, according to assessed steps and calculative model, this paper divided general risk assessed results mainly into five grades, that is, the lowest risk region, lower risk region, moderate risk region, higher risk region, and the highest risk regions. The results can provide quantitatively theoretic basis and data support for environmental management and ecological risk decision-making, and it has an important reference value.

Key Words: GIS; integrated value of ecological risk; regional ecological risk assessment; lower reaches of the Weihe River

1990 年, Hunsaker 发表了一篇文章, 阐述了如何将生态风险评价应用到区域景观上去, 由此提出了区域生态风险评价的基本概念和未来发展方向^[1]。区域生态风险评价是生态风险评价的一个分支, 是在区域尺度上描述和评估环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程,

基金项目: 国家教育部人文社会科学重点研究基地重点资助项目(YRCSD08A05); 陕西省重点实验室基金资助项目(08JZ05)

收稿日期: 2008-11-05; 修订日期: 2009-01-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixiehui325328@163.com

因其所涉及的风险源以及评价受体等都在区域内具有空间异质性,所以其研究更具复杂性^[2]。

经过近 20a 的研究发展,国内外学者基于风险评价的基本原理和各自的研究已经建立了关于区域生态风险评价的模型和方法步骤^[3~9],通过对这些方法的研究,认为已有的评价方法需要在以下 3 个方面进行完善:

①在概念模型的建立上要充分了解生态系统的基本状况,分析可能造成区域生态风险的因子(包括化学物质,生态事件,人类活动的影响等),按照生态系统的等级结构进行风险受体选择和风险表征^[10]。②由于区域生态风险评价是一个多学科交叉的新研究领域,需要采用诸如生物效应、迁移转化、暴露分析等各种模型。还要综合利用数学、系统学和计算机等多种技术,建立群落、生态系统水平上的风险评价预测模型,并使其更适合区域尺度的风险表征。③要多采用定量方法,而且对评价标准的建立要全面,可以考虑通过制定相对标准和绝对标准来实现。

由于地理信息系统(GIS)是支持空间数据的采集、管理、处理、分析、建模和显示的技术系统,能为生态风险评价提供极大的支持和辅助作用。本文以渭河下游河流沿线区域为研究区,基于风险度量的基本原理和我国学者许学工等的关于区域生态风险评价的方法步骤^[11~14],结合研究区特点,建立改善和适合的评价方法,通过对灾害历史资料的统计分析,主要对干旱、洪水、污染、水土流失 4 种风险源进行了基于区域景观的综合生态风险评价,在评价中充分利用了 GIS 的空间分析和栅格计算等多种功能,其研究能为风险管理者和防灾减灾部门提供风险管理和环境决策的科学依据。

1 研究区概况

渭河是黄河最大的一级支流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山东麓,于陕西潼关附近汇入黄河,渭河下游是指咸阳渭河铁桥至潼关入黄口段,干流长 208km。本文主要以渭河下游河流沿线区域为研究区,纬度 34.17°~35.03°N,经度 108.56°~110.42°E,包括 3 个市城区,1 个区,1 个市和 4 个县,分别依次是:咸阳市城区,西安市城区,高陵县,临潼区,渭南市城区,华县,华阴市,大荔县,潼关县,总面积 8 029.7km²,地理位置见图 1 所示。由于属大陆性季风气候,冬季受内蒙古高压控制,干燥寒冷,降水稀少;夏季受西太平洋副热带高压影响,高温多雨,区内多年平均降水量 584.8mm,年平均气温 13.1℃。

2 研究方法和技术路线

2.1 主要研究方法

风险通常定义为在一定时期产生有害事件的概率与有害事件后果的乘积^[15]。风险值是区域景观生态风险的表征,其应包含风险源的强度、发生概率、风险受体的特征、风险源对风险受体的危害等信息。由于研究区受 4 种主要风险源的共同作用,每一种风险源在整个区域内影响的范围不同,且每一种风险源在不同范围内的风险强度大小也不同,因此区域内不同地点有可能是不同风险源的多重影响区。由于受不同强度的风险源影响,它们所受到的综合风险存在着差异,为了反映这种差异,需要将 4 种风险源的影响分级范围通过 GIS 进行叠加,划分风险小区。

由于每个风险小区内受到不同种类、不同级别风险源的叠加作用而有着一致的综合风险源,因此需要求出每个风险小区的综合风险概率。虽然每个风险小区内风险源状况是一致的,但风险受体状况却不一致,其中可能存在不同的景观生态系统类型,将各个景观生态系统的生态损失度(景观损失指数)按面积比例合成,可以得到每个风险小区的综合生态损失度。由于不同的灾害发生在不同的风险小区内,可能会导致完全不同的结果,因此当对基于景观结构的区域生态风险源进行评价时,不仅要考虑各种生态风险源的自然属性,还要考虑它们的社会属性,由于社会经济条件可以定性地反映区域的灾损敏度,因此可以利用社会经济易损性指标来反映各风险小区内的综合社会经济易损性大小。

基于风险度量的基本原理和以上的分析,研究将通过计算综合生态风险值来对整个研究区进行生态风险评价,而认为综合生态风险值是每个风险小区内的综合风险概率、综合生态损失度和综合社会经济易损度的叠加,即可通过以下模型公式来计算:

$$R_k = P_k D_k S_k \quad (1)$$

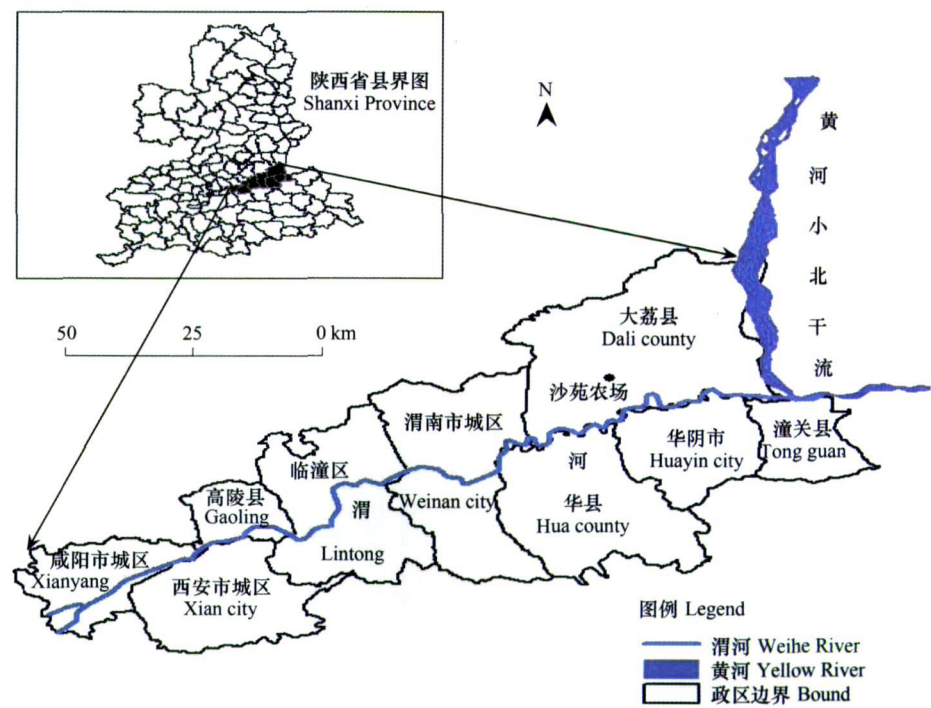


图1 研究区位置
Fig.1 Location of study area

式中, R_k 是第 k 个风险小区的综合生态风险值; P_k 是第 k 个风险小区的综合风险概率; D_k 是第 k 个风险小区的综合生态损失度; S_k 是第 k 个风险小区的综合社会经济易损度。其中:

$$P_k = \sum_{j=1}^4 \beta_j P_{kj} \tag{2}$$

$$D_k = \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{A} Ri \tag{3}$$

$$S_k = f(P, G, F) \tag{4}$$

式中, P_{kj} 是第 k 个风险小区内 j 类不同级别生态风险源的概率; β_j 是 j 类风险源的权重; j 是风险源数。 N 为景观组分类型的数量; A_i 为区域内第 i 类景观组分的面积; A 为景观的总面积; Ri 为第 i 种景观组分所反映的景观损失指数(此值由景观破碎度指数、景观分离度指数、景观优势度指数和景观脆弱度指数综合得到); P 为人口密度指标; G 为 GDP 密度指标; F 为单位面积年粮食产量指标。

研究在运用模型时,除了用到 GIS 技术,在数据分析和计算中还用到了现代地理学中的多种数学方法,主要包括野外考察和验证的抽样调查法、用于景观结构空间分析的地统计学方法、进行空间插值的反距离权重和普通克里格法、数据量纲和级别统一的标准化法、确定权重的 AHP 层次分析法、风险源发生频率计算的概率法、以及多种因子数据的栅格代数运算叠加法等。

2.2 技术流程

整个评价分析的技术流程见图 2。

3 评价过程及结果

3.1 风险受体分析

受体,即风险承受者。根据野外实地采样调查、研究区 1:5 万地形图、1:25 万县界图和相关统计资料,以 2002 年 Landsat-7 ETM+ 遥感影像为主要数据源,通过对影像进行几何校正、剪切、镶嵌、增强、提取和分类后,根据中国《土地利用现状调查技术规程》,主要将研究区分为 7 种景观斑块类型,即耕地、园地、林地、草

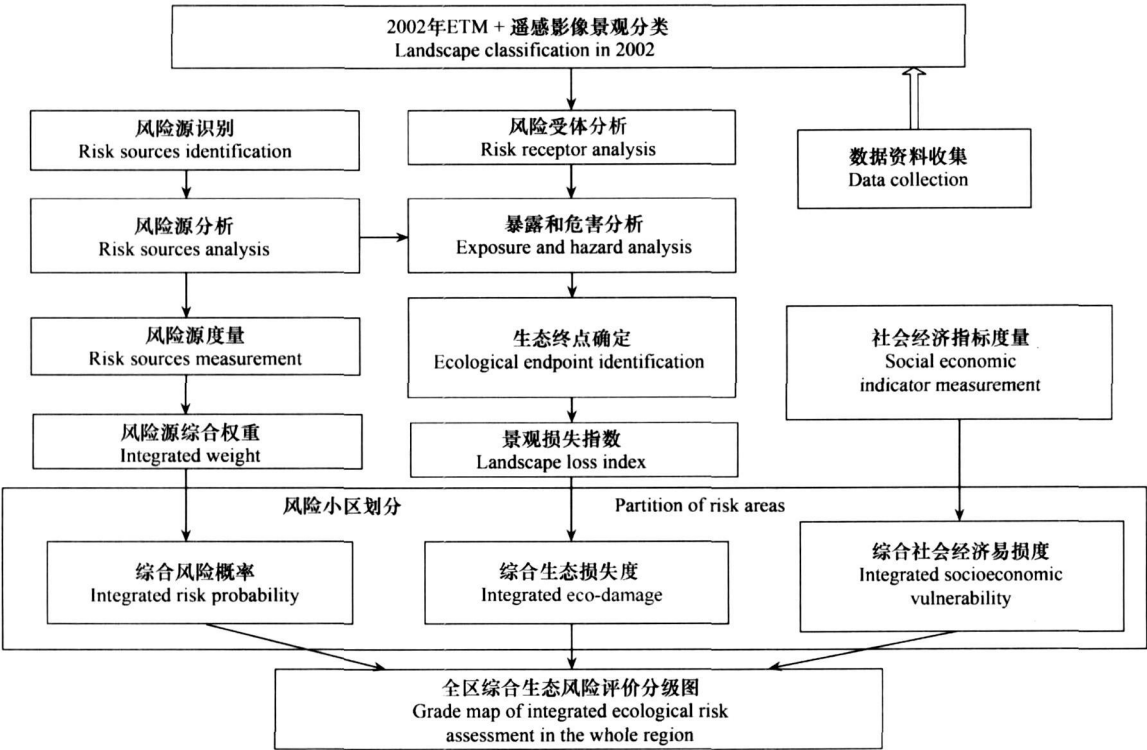


图2 技术流程图

Fig. 2 Technique flow chart

地、建设用地、水域和未利用土地。考虑到研究区生态环境现状和风险状况,认为以上7种景观都可能受到危害影响并存在风险,因此将这7种景观类型所代表的生态系统作为风险受体进行分析。

3.2 风险源的识别、分析和度量

区域生态风险源大体可以归纳为自然和人为两大类。自然生态风险源即通常所说的自然灾害。渭河流域陕西段的自然灾害主要包括干旱、洪水、冰雹、大风、泥石流等。人为生态风险源指导致危害或严重干扰生态系统的人为活动。生活污水和工业废水的直接排放而导致的污染,以及大量的毁林草、过度开垦、开荒、进行开发建设活动所引起的水土流失、草场退化、土地沙化、盐碱化等是渭河流域陕西段的主要人为生态风险源。

对以上众多风险源逐一分析其对受体的干扰和危害,根据历史资料考证其发生的概念、强度和范围,忽略那些强度小、发生范围不太,对生态环境以及受体影响较为轻微的次要风险源,从而确定了干旱、洪水、污染、水土流失为本区的主要生态风险源。

对生态风险源的度量一般是通过其发生的概率和强度进行,同时还要在空间上定位其作用的区域强度范围,为了能更好的反映实际情况,选用什么指标,以及如何度量是评价分析的一个重点,本文将根据4种风险源的特点,采用不同的指标来进行度量。

3.2.1 干旱

考虑到研究区内单季旱灾以春季(3~5月份)、夏季(6~8月份)、秋季(9~11月份)3个季节的旱灾发生频次高、旱情重、危害大,研究以行政区划为单位,根据干旱划分标准,参考《陕西历史自然灾害简要纪实》、《陕西救灾年鉴》、历年降水量等数据,通过分别收集统计9个区从1971~2000年间历史上发生春、夏、秋季中旱以上灾害的频次、范围和危害程度,通过GIS插值得到3季中旱以上灾害发生频率分布等级图,并以此作为干旱风险源的度量指标^[16,17](图3)。

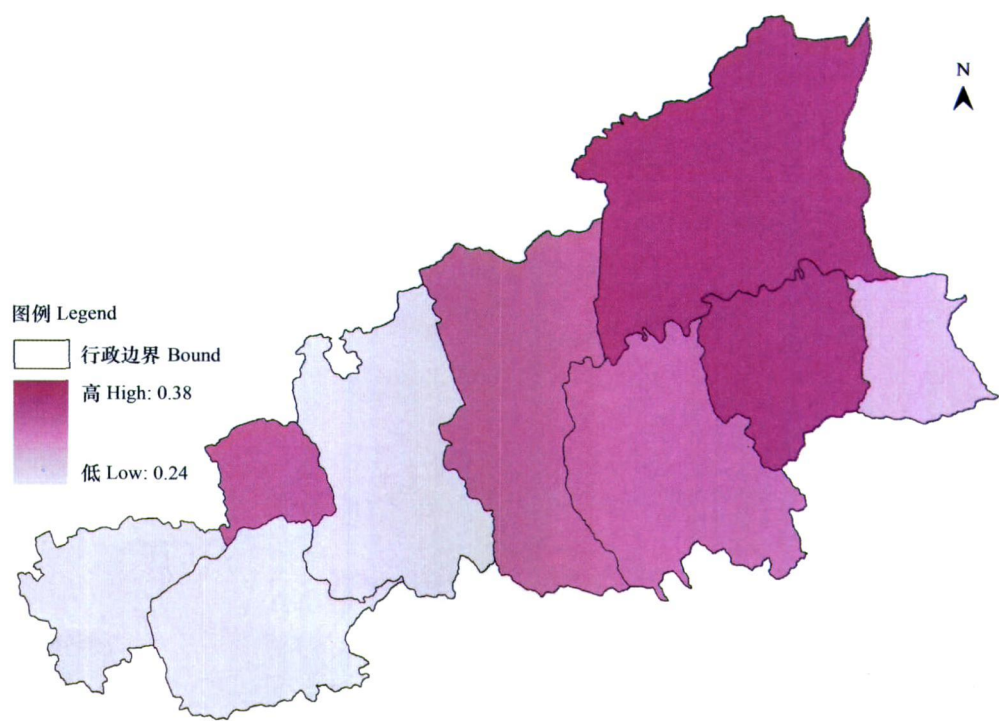


图 3 干旱频率分布图

Fig.3 Distributing of the drought frequency

3.2.2 洪水

由于渭河下游河流沿线区域洪水灾害危险性大,属于洪灾频发地区。研究对洪水风险源的度量不是通过简单的统计洪灾发生频率来获得,而是通过综合叠加洪灾危险性影响的方法来进行,即主要将洪水灾害的致灾因子对研究区的危险性影响分为两个部分——分别由本地洪水引起和由过境洪水引起。对本地洪水,主要选取降水、地形、水系 3 个因子,通过计算范围影响度,分别获得本地洪水的致灾因子对研究区洪灾危险性的影响;而对过境洪水,主要考虑黄河小北干流洪水对渭河的顶托与倒灌作用,通过选取与黄河小北干流主河道的距离因子和计算某一典型年黄河洪水倒灌渭河时的水位差因子,分别获得过境洪水的致灾因子对研究区洪灾危险性的影响。由于防洪工程在防洪减灾和对保护渭河下游人民生命财产安全中起着重要作用,因此通过计算堤防密度,选取防洪工程因子,分析其对由本地洪水和过境洪水引起的灾害危险性的减缓影响。最后将由本地洪水和过境洪水共同叠加的综合洪灾危险性影响结果作为度量洪水灾害风险源的指标进行分析。其相应的各致灾因子对洪灾危险性影响的分析如下。另外,在分析中,考虑到研究区大小和数据的原始分辨率,研究得到的各影响度图的分辨率都统一为 90m × 90m。

(1)降水

首先计算多年(1961 ~ 2005 年)平均汛期雨季(7 ~ 10 月份)的降水量和降水变率,再通过各测站的经纬度坐标定位到地图上,形成平均汛期雨季降雨量和降水变率点状图,然后以该点状图为基础图,通过反距离权重插值法进行空间插值,并采样得到面状栅格图,最后将多年平均汛期雨季降雨量和降水变率插值图进行联合从而可得到综合降水因子对洪灾可能形成的影响度图。

(2)地形

渭河流域地形特点是西高东低。地形与洪水的危险程度是密切相关的,其对形成洪水的影响主要表现在两个方面——地形高程和地形变化程度。由于地形高程越低,地形变化越小,越容易发生洪水,因此对于这两个指标的度量,主要使用绝对高程和相对高程标准差来反映。即采用由美国国家图像和测绘局(NIMA)同美国宇航局(NASA)合作于 2000 年进行的航天飞机雷达拓扑测绘而得到的 SRTM-3(分辨率为 3 弧秒)地面高

程数据,通过叠加研究区数字高程 DEM 和数字高程标准差栅格图来获得综合地形因子对洪灾危险性的分级影响度图。

(3) 水系

渭河下游两岸支流众多,其中南岸的数量较多,但较大者集中在北岸(图 4)。由于距离河道越近,就越容易遭受洪水的侵袭,洪水的危险程度就越高。同时,不同级别的河流其影响力也是不同的,级别越高,其影响范围越大;而同一级别的河流如果其所处地形不同,影响范围也会不一样,地势低的河流(平原区)具有更强的影响力。因此研究水系对洪水灾害危险性的影响时,需要综合考虑河流的不同、研究点与河流距离的不同、以及河流所处地形高程的不同等多种因素。

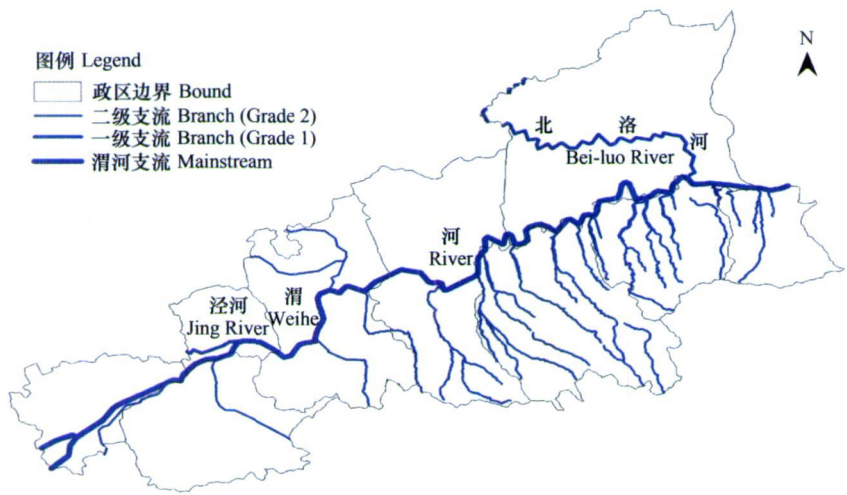


图 4 研究区内主要河流分布图
Fig. 4 Distributing image of main rivers in study area

研究首先对不同河流划分级别,再将数字地形高程模型矢量图与河流分布矢量图进行叠加,通过对不同干支流、不同地形划分不同级别的缓冲区(一级、二级和非缓冲区),再根据距离河流越近,洪水危险性越大的原则,通过对研究区范围内的缓冲区级别进行洪水危险性影响度再分类,就得到综合水系对洪水危险性的影响度图。

(4) 过境洪水

历史洪灾资料显示,对渭河下游河流沿线区域洪水影响较大的水系主要有两部分,一部分为下游流域内的水系,主要包括渭河干流和它的支流,而另一部分就是黄河小北干流,主要表现在对渭河洪水的顶托与倒灌上。通常把北起蒙晋交界的河口镇到潼关段称为黄河北干流,而禹门口到潼关段称为黄河小北干流。由于离河道越近的地方,越快也越容易受到洪水袭击,而地面高程与洪水水位之差则可以反映受淹没的可能性及可能淹没的深度。因此本文通过叠加距离影响度分级图和某一典型年(1977 年)地面高程与洪水水位差值危害影响度图而综合得到过境洪水对研究区内洪灾危险性的影响度图。

(5) 防洪工程

防洪工程在防洪减灾和对保护渭河下游人民生命财产安全中起着重要作用,目前渭河下游主要靠堤防进行防洪。研究通过引入堤防密度来反映防洪工程对洪灾危险性的减缓作用。

堤防对洪灾风险影响的计算公式如下^[18]：

$$D_d = \frac{\sum l_i w_i}{A} \tag{5}$$

式中, D_d 为行政单元(县或乡)或格网的堤防密度度量指标, l_i 为某一级别堤防长度, w_i 为该级别堤防权重, A 为行政单元或格网的面积。

研究将以县级行政区为单元来计算每个区的堤防密度。通过参阅渭河中下游干、支流防洪工程现状图、堤防工程基本情况和现状统计等数据^[19],通过统计渭河中下游干流、一级支流、南山支流以及黄河部分干流的堤防长度和防洪标准,利用专家分级赋分法对各堤防赋权重,并利用公式(5)对研究区和周边县区分别统计计算,最后通过内插、标准化、重分类赋值等处理就可得到防洪工程对洪灾危险性减缓的影响度分级结果。

(6) 洪灾危险性影响综合结果

在通过 AHP 层次分析法确定各致灾因子的权重后,然后将由本地洪水确定的洪水灾害危险性影响部分和由过境洪水确定的洪水灾害危险性影响部分进行叠加就得到了洪灾对研究区危险性影响的综合分析结果(图 4)。

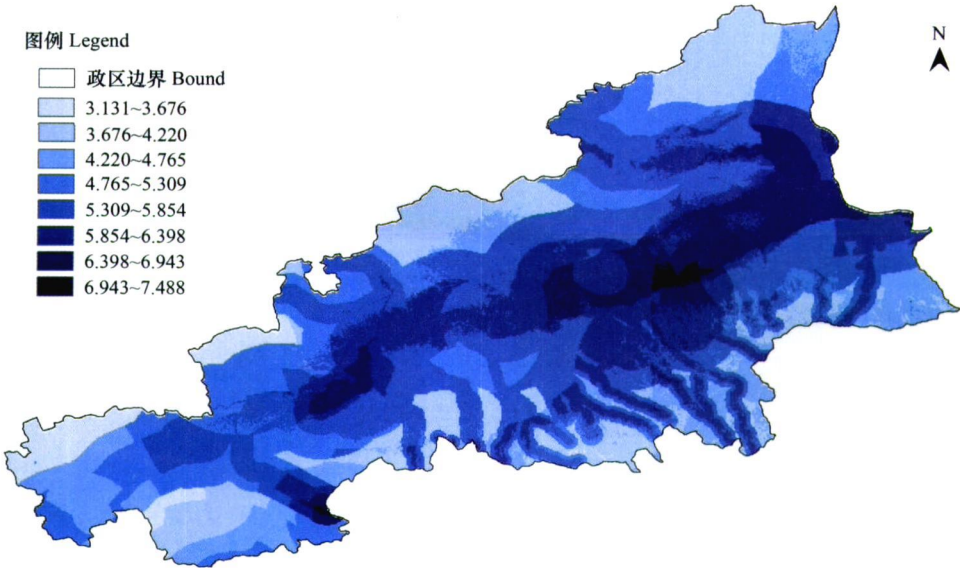


图 5 洪灾危险性影响综合分级图

Fig. 5 Integrated affected ranks about flood disaster's danger

3.2.3 污染

目前,渭河干流的主要污染物为耗氧有机物、生化需氧量、氨氮、石油类等,均为 V 类或劣 V 类水质;渭河支流中,除小水河、通关河属Ⅲ类水质,黑河黑峪口以上属Ⅱ类水质,灞河马渡王段属Ⅲ类水质外,其余均为超 V 类水质;泾河基本属Ⅲ类水质,但入渭口为 V 类;北洛河基本为超Ⅲ类水质,状头段属Ⅳ类水质,下游王谦为 V 类,基本属有机污染。

研究将根据渭河主要污染源和水体污染状况的特点,结合河流水体质量评价标准,选用溶解氧 DO、生化需氧量 BOD、氨氮 NH₃-N、亚硝酸盐氮 NO₂-N、挥发酚 VP 这 5 个评价参数,以各污染物的含量为评分依据,将不同水体分为 I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、V 级,相应的评分依据和标准见表 1^[20]。

表 1 主要污染物评分依据和标准										
Table 1 Score basis and standard of main contamination										
项目 Items	I		Ⅱ		Ⅲ		Ⅳ		V	
	mg/L	评分 Score	mg/L	评分 Score	mg/L	评分 Score	mg/L	评分 Score	mg/L	评分 Score
溶解氧 DO	≥6	2	≥5	4	≥3	6	≥2	8	<2	10
生化需氧量 BOD	≤3	2	≤4	4	≤6	6	≤10	8	>10	10
氨氮 NH ₃ -N	≤0.5	2	≤1.0	4	≤1.5	6	≤2	8	>2	10
亚硝酸盐氮 NO ₂ -N	≤0.06	2	≤0.1	4	≤0.15	6	≤1.0	8	≥2	10
挥发酚 VP	≤0.002	2	≤0.005	4	≤0.01	6	≤0.1	8	>0.1	10

首先对研究区内由渭河和黄河部分水质监测断面获得的 1991 ~ 2002 年以上 5 种污染物的监测数据进行统计,然后将这 12a 的 5 种污染物数据分别进行平均计算,再依据表 1 的评分标准进行分别评分,在将评分结果由点到面进行插值和分级后,就可以得到五种污染物指标各自的影响空间分布图,最后将这 5 种指标分布图等权重叠加就得到了主要污染物的综合影响空间分布栅格等级图,由于这些数值总体上可以反映水质污染给研究区所带来生态风险的范围和强度大小,因此将此综合分级结果作为污染风险源的概率度量指标(图 6)。



图 6 污染风险源综合影响空间分布图

Fig. 6 Integrated affected spatial distributing on polluted risk sources

3.2.4 水土流失

水土流失是发生在地表的过程,其不仅是多因子综合影响的一个复杂时空变异过程,也是一个典型的多重尺度变异过程。由于水土流失的概率无法直接得到,因此必须用其它数值加以替代。一般来说,降水是侵蚀产生的驱动力因子,植被盖度和地形坡度是侵蚀的最重要控制因素。在植被和地形相互作用的关系中,认为植被与地形是此消彼长的关系^[21]。因此研究主要选择植被覆盖度和坡度信息两个要素,通过植被和坡度信息的不同组合(即构建指标交叉表模型)(表 2)来评价区域的土壤侵蚀风险程度,在将其组合值进行归一化处理后作为研究区水土流失风险源的度量指标(图 7)。

表 2 指标交叉表
Table 2 Cross-table of indices

指标 Indices		坡度 Slope				
		< 2°	2 ~ 4°	4 ~ 10°	10 ~ 20°	> 20°
植被覆盖度 VC	代码 Code	1	2	3	4	5
< 50%	1	11	12	13	14	15
50% ~ 55%	2	21	22	23	24	25
55% ~ 60%	3	31	32	33	34	35
60% ~ 70%	4	41	42	43	44	45
> 70%	5	51	52	53	54	55

度量等级分级 Grade 微度 Slight grade: 11, 21, 31, 41, 51, 52, 53, 54, 55; 轻度 Low grade: 22, 32, 42, 43; 中度 Moderate grade: 12, 23, 33, 34, 44; 强度 Strong grade: 13, 24, 35, 45; 极强 Very strong grade: 14, 15, 25

3.3 风险源的综合权重

由于各风险源对形成区域性景观生态风险的作用大小有所差异,因此这里仍然采用 AHP 法对各风险源

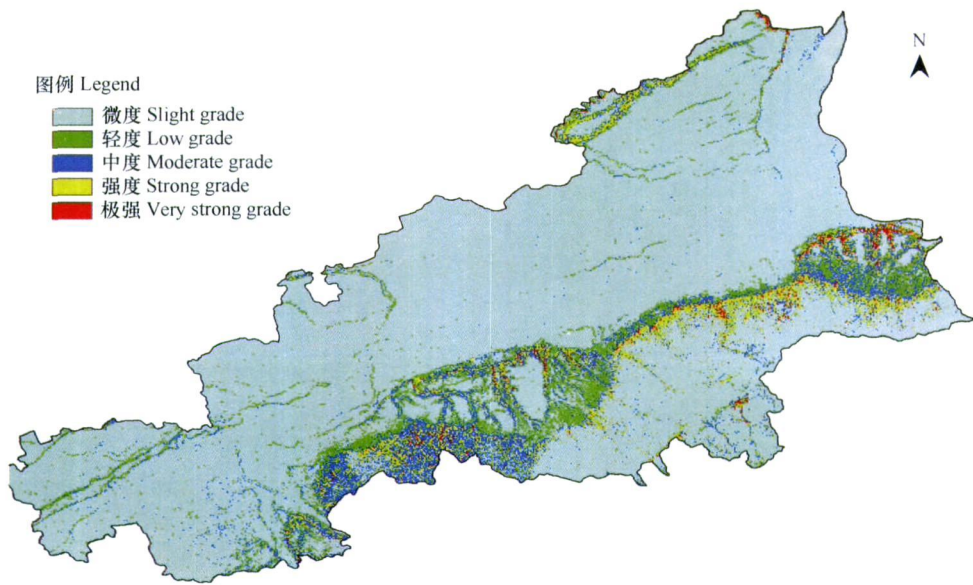


图7 水土流失风险源综合影响空间分布图

Fig. 7 Integrated affected spatial distributing on soil erosion risk sources

赋予各自不同的权重:干旱(0.3205)、洪水(0.4547)、污染(0.1394)、水土流失(0.0855)。

3.4 暴露和危害分析

暴露分析是研究各风险源在区域中与风险受体之间的接触暴露关系,而与之相联系的危害分析则是要确定风险源对生态系统及其风险受体的损害程度。研究区4种风险源产生的危害是多方面的。干旱灾害发生时一般影响范围较广,研究区内所有景观类型都暴露在这种生态风险源之下,使得各种生态系统都可能受到损害;洪水灾害和水污染一般都与研究区内的水系有关,通过水系的不同缓冲区和水系的不同流向而对这些范围内的景观类型产生不同的影响;水土流失一般只对水土流失区及附近的景观类型有影响。

由于不同类型生境是不同物种生长发育和栖息繁衍的场所,各种类型生境在区域内所处的位置不同,所受人为干扰强度也有所差异,而相同强度的同一风险源作用于不同的生境类型,可能对整个区域的生态结构和功能产生不同强度的危害。同时,不同类型生境对外界干扰的抵抗能力也是不同的,有些生境较为脆弱,对外界干扰敏感,在风险源的作用下极易受到损害,而另一些生境抗逆能力强,在相同的风险源作用下仍能保持其基本的功能^[22]。考虑到不同类型景观的结构和功能,在评价时主要采用了景观损失指数(即生态终点的度量指标)来反映不同生态系统的生态意义和地位,以及体现不同生态系统的易损性、受干扰的程度等。

3.5 生态终点确定

在区域景观生态风险评价中,选择什么指标来表征7种景观受体受到风险源干扰后可能出现的损害情况是评价分析中相当关键的一步。选择的评价终点既要将危害与生态影响联系在一起,又要呈现给人们一系列可测定的数据,准确地说明研究区各景观生态类型受干扰影响的大小。考虑到不同类型景观所具有的不同结构和功能,通过阅读大量文献,结合区域特点,本文将通过几种景观格局指数来建立景观损失指数,并以此作为生态终点度量的指标,具体的计算和处理方法见参考文献^[23],而得到的2002年景观格局指数见表3。

3.6 综合生态风险评价

由于4种生态风险源的概率度量指标不在同一值域范围内,首先利用公式将4种风险源的值域范围转换到(1,10)内,然后利用GIS的栅格计算功能和公式(2),通过权重值将4种风险源进行叠加,从而得到各栅格所受到综合风险源概率的空间分布图。

根据研究区2002年景观分类图中各景观单元的面积大小,首先将研究区划分为1km×1km的采样单元网格,即风险小区,然后利用景观损失指数对每一个采样网格计算出一个综合生态损失度值 D_k ,并把这个值

作为采样网格中心点的生态损失度值。接着,在此基础上,利用地统计学方法,计算出实验变异函数,并运用球状模型进行拟合检验,最后利用普通克里格法进行空间内插,就得到整个研究区的综合生态损失度空间分布图。

表 3 2002 年景观格局指数
Table 3 Indices of landscape pattern in 2002

景观类型 Landscape type	斑块数 Patch number	面积 Area (× 10 ² km ²)	<i>Ci</i>	<i>Ni</i>	<i>Di</i>	<i>Si</i>	<i>Fi</i>	<i>Ri</i>
耕地 Cropland	11 749	33.259	0.035	0.146	0.228	0.088	0.633	0.056
园地 Garden plot	34 340	8.339	0.412	0.996	0.113	0.557	0.500	0.279
林地 Forest land	16 569	15.090	0.110	0.382	0.123	0.193	0.233	0.045
草地 Grassland	34 543	8.581	0.403	0.971	0.115	0.544	0.367	0.200
水体 Water body	1 711	0.735	0.233	2.525	0.008	0.898	0.767	0.689
建设用地 Building	26 351	9.666	0.273	0.752	0.107	0.400	0.100	0.040
未利用土地 Un-used land	15 881	4.627	0.343	1.220	0.057	0.578	0.900	0.520

Ci: 景观破碎度指数 Fragmentation index of landscape; *Ni*: 景观分离度指数 Splitting index of landscape; *Di*: 景观优势度指数 Dominance index of landscape; *Si*: 景观结构指数 Structure index of landscape; *Fi*: 景观脆弱度指数 Fragility index of landscape; *Ri*: 景观损失指数 Loss index of landscape

以行政区为单位,首先选取 2002 年研究区内各县市的人口密度、GDP 密度和单位面积年粮食产量作为社会经济易损性的评价指标,然后利用 GIS 的空间分析功能,通过将各因子等权重叠加,风险小区划分,就得到综合社会经济易损度 S_k 的空间分布图。

最后根据公式(1)和 GIS 的栅格计算功能,在统一分辨率后就得到了各风险小区内的综合生态风险值 R_k 。图 8 是通过属性分类符号设置而得到的主要生态风险源综合评价分级图,这里主要将结果分为了低风险区,较低风险区,中等风险区,较高风险区和高风险区 5 个级别。

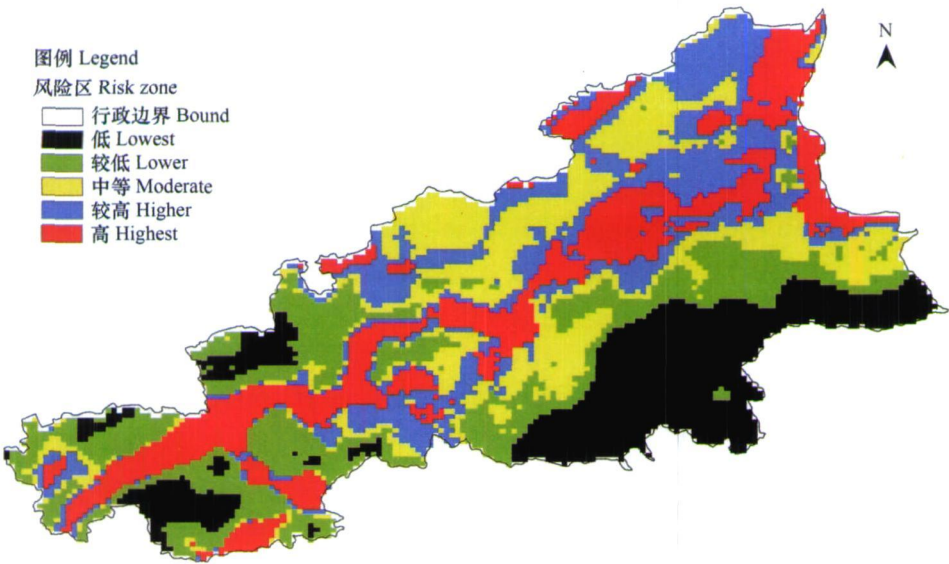


图 8 主要生态风险源综合评价分级图

Fig. 8 Integrated evaluated ranking image of main ecological risk sources

可以看出,由于洪水灾害频发、水质污染严重,又是水土流失区,因此高风险区主要位于这些综合风险概率和综合生态损失度都高的渭河干流、黄河小北干流、泾河和灞河的一级缓冲区内;由于大荔县是干旱灾害发生的高频率区,而二华(华县、华阴)地区南山支流众多,洪水灾害也频繁,因此较高风险区主要位于大荔县、二华夹槽区和渭河干流与支流的部分一级和二级缓冲区内;由于耕地、草地这两种景观类型的综合生态损失

度较低,且对于远离渭河干流和一级支流的平原地区来说,洪水灾害、水质污染和水土流失的影响也不大,即综合生态风险概率较低,因此中等风险区和较低风险区主要位于离渭河干支流和黄河小北干流较远、而且有植被覆盖的耕地区、耕地和园地交错种植区和植被覆盖度较好的秦岭北坡海拔 1 300m 以下的低山丘陵草地区,这些区域都是综合叠加生态风险值较低区。

由于秦岭北坡海拔 1 300m 以上的山地区有大量的油松、华山松、榿栎等天然林木,因此植被资源丰富,综合生态损失度低,而其所处的华县、华阴市和潼关县也是综合社会经济易损度低值区,同时该区又处于水系的非缓冲区内,是洪水灾害、水质污染和水土流失的低影响区,即综合风险概率低,因此综合叠加的生态风险值低,属于低风险区。

西安市城区内景观类型主要是建设用地,相对生态建设较好,由于建设用地的景观脆弱度低,因此综合生态损失度也低;西安市是陕西的省会,防洪工程相对比较完备,防洪措施比较重视和多样,因此城区内远离水系的地方都属于洪灾综合影响的非高值区,同时西安市也是旱灾发生的低频区和水土流失的低值区,即综合风险概率较低;西安市城区内有许多龙头大中型企业,经济发达、人口密集,因此综合社会经济易损度高,而综合生态风险值是综合风险概率、综合生态损失度、综合社会经济易损度 3 指标的叠加,虽然 3 指标中综合社会经济易损度较高,但综合整体分析后从图上可以看出西安市城区部分风险小区内存在低风险区和较低风险区。

4 结论与讨论

在国内外学者关于区域生态风险评价模型和方法步骤研究的基础上,通过对研究区生态风险源的分析,构造了适合研究区特点的比较全面和系统的区域综合生态风险值计算模型。此模型不仅考虑了能给区域带来生态风险的自然致灾因素,而且还考虑了由于人类活动的增加而引起的水土流失、水质污染等人为致灾因素。同时,根据生态系统的结构特点,通过选择 7 种景观生态系统作为风险受体,模型不仅计算了每个风险小区的综合生态损失度值,而且还计算了能反映区域易损性高低的 socioeconomic 指标,使灾害具有的自然和社会属性都能充分体现。

生态风险评价是一个多学科交叉的研究领域,因此本研究综合了地理学、生态学等多学科知识,采用数学、概率论等风险分析手段以及 RS、GIS 等先进的分析技术来分析和评价了具有不确定性的灾害对生态系统及其组分可能造成的损伤。在评价中,为了对不确定和可变性进行适当和可能性的描述,尽量采用了定量的方法,而且指标建立比较全面。如对 4 种生态风险源发生频率和强度的度量,即使不能直接计算,也采用其它综合可计算指标进行替代,而且对洪水风险源的分析不仅考虑了通常因子(降水、地形、水系),还考虑了对渭河顶托与倒灌的黄河过境洪水,以及能起减灾作用的防洪工程。

由于区域生态风险评价涉及内容较多,本文的研究还存在一定的不足,如在对生态风险源度量的替代指标上还可进一步补充和完善。特别在对洪水灾害的致灾因子进行分析时,还可综合考虑其它一些影响因素,如河道泥沙淤积量、渭河倒灌南山支流的水文特性、排涝能力、洪水淹没历时和流速、以及决策者的宏观调控及人民抗灾活动等,力争建立健全适合研究区特点的指标体系。同时研究以县区为行政单元,而为了能更好的给管理部门提供更为具体的决策依据范围,最好能以乡和村为细化单元,充分将行政区划与自然区划结合起来。

References:

- [1] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W, *et al.* Assessing Ecological Risk on a Regional Scale. *Environmental Management*, 1990, (14):325-332.
- [2] Fu Z Y, Xu X G. Regional Ecological Risk Assessment. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(2):267-271.
- [3] Hayes E H, Landis W G. Regional ecological assessment of a near shore marine environment; Cherry Point, WA. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 10(2):299-325.
- [4] Walker R, Landis W, Brown P. Developing a regional risk assessment; A case study of a Tasmania agricultural catchment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2001, 7(2):417-434.

- [5] Obery A M, Landis W G. A regional multiple stressor risk assessment of the Codorus Creek watershed applying the relative risk model. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(2):405–428.
- [6] Lu H W, Zeng G M, Xie G X, *et al.* The regional ecological risk assessment of the Dongting Lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12):2520–2530.
- [7] Sample B E, and Suter G W. Ecological risk assessment in a large river-reservoir: Introduction and background. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 18(4):610–620.
- [8] Valiela I, Tomasky G, Hauxwell J, *et al.* Producing sustainability: Management and risk assessment of land-derived nitrogen loads to shallow estuaries. *Ecological Application*, 2000, 10:1006–1023.
- [9] Cormier S M, Smith M, Norton S, *et al.* Assessing ecological risk in watershed: a case study of problem formulation in the Big Darby Creek watershed, Ohio, USA. *Environmental Toxicology Chemistry*, 1999, 19:1082–1096.
- [10] Chen H, Liu J S, Cao Y, *et al.* Progress of ecological risk assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5):1558–1566.
- [11] Fu Z Y, Xu X G, Lin H P, *et al.* Regional ecological risk assessment of in the Liaohe River Delta wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3):365–373.
- [12] Xiao D N, Hu Y M, Li X Z. Study on landscape ecology in deltaic wetlands in Bohai Sea. Beijing: Science Press, 2001. 1–417.
- [13] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China. *Journal of Environmental Management*, 2004, 253–262.
- [14] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y, *et al.* Regional Ecological Risk Assessment of Wetland in the Huanghe River Delta. *Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 2001, 37(1):111–120.
- [15] Li X H, Li J Y. Study on ecological risk assessment in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(3):70–74.
- [16] Edited by disaster relief board in Shanxi. Brief report of historical natural disaster in Shanxi. Shanxi: Shanxi People Publishing House, 1996. 45–60.
- [17] Edited by disaster relief board in Shanxi. Disaster relief yearbook in Shanxi. Shanxi: Shanxi People Publishing House, 1996–2004. 71–82.
- [18] Zan X G, Zhu G R, Wen Y Y. Risk evaluation for flood disasters in the plain area based on GIS. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(4):388–392.
- [19] River and reservoir board in Shanxi Province. Basis data manual in Weihe River Basin. Shanxi: River and Reservoir Board, 2007. 16–23.
- [20] Chen Y P. The evaluation water pollution and the research of its control for Wei River of Shanxi. Yanglin: Northwest A&F University, 2005. 10–15.
- [21] Zhou W F. Regional soil erosion assessment with remote sensing and geography information system. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences, 2006. 36–40.
- [22] Wu L Y, Huang Y X. Landscape ecological risk assessment of Dongshan Island. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2005, 24(1):35–42.
- [23] Li X L, Li J Y. Analysis on Regional Landscape Ecological Risk Based on GIS — A Case Study along the Lower Reaches of the Weihe River. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6):899–903.

参考文献:

- [2] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. *地球科学进展*, 2001, 16(2):267–271.
- [6] 卢宏伟, 曾光明, 谢更新, 等. 洞庭湖流域区域生态风险评价. *生态学报*, 2003, 23(12):2520–2530.
- [10] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展. *生态学报*, 2006, 26(5):1558–1566.
- [11] 付在毅, 许学工, 林辉平, 等. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. *生态学报*, 2001, 21(3):365–373.
- [12] 肖笃宁, 胡远满, 李秀珍. 环渤海三角洲湿地的景观生态学研究. 北京: 科学出版社, 2001. 1–417.
- [14] 许学工, 林辉平, 付在毅, 等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价. *北京大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(1):111–120.
- [15] 李谢辉, 李景宜. 我国生态风险评价研究. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(3):70–74.
- [16] 陕西救灾编委会编. 陕西历史自然灾害简要纪实. 陕西: 陕西人民出版社, 1996. 45–60.
- [17] 陕西救灾编委会编. 陕西救灾年鉴. 陕西: 陕西人民出版社, 1996–2004. 71–82.
- [18] 詹小国, 祝国瑞, 文余源. 平原地区洪灾风险评价的 GIS 方法研究. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(4):388–392.
- [19] 陕西省江河水库管理局. 渭河流域基础资料手册. 陕西: 江河水库管理局, 2007. 16–23.
- [20] 陈亚萍. 渭河陕西段水体污染评价及控制对策研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005. 10–15.
- [21] 周为峰. 基于遥感和 GIS 的区域土壤侵蚀调查研究. 中国科学院遥感应用研究所, 2006. 36–40.
- [22] 巫丽芸, 黄义雄. 东山岛景观生态风险评价. *台湾海峡*, 2005, 24(1):35–42.
- [23] 李谢辉, 李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析——以渭河下游河流沿线区域为例. *干旱区研究*, 2008, 25(6):899–903.