

基于相对风险模型的土地利用变化 生态风险定量评价 ——以石羊河流域为例

乔蕪强, 程文仕, 乔伟栋, 刘学录

(甘肃农业大学 管理学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 土地利用是否合理是推进国民经济发展的关键,也是生态环境变化的风向标。通过理论研究和实地调研,构建了土地利用生态风险定量评价体系,借助相对风险模型(RRM)对石羊河流域的生态风险及其影响因素进行研究。结果表明:(1)在划分的 3 个评价单元中,中部绿洲生态保护区在土地利用中面临的生态风险最大,北部盆地防沙治沙区次之,南部山地水源涵养区生态风险最小;(2)在 3 大风险单元的 6 类不同风险源中,工程建设对石羊河流域的生态风险影响最大,其次是作物种植和畜牧养殖,且在自然环境相对较好的区域表现得尤为明显。

关键词: 土地利用; 生态风险; 风险源; RRM; 石羊河

文章编号: 1000-694X(2017)01-0198-07

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2015.00163

中图分类号: U412.1

文献标志码: A

0 引言

生态风险是指在一定区域内,某些不确定性的灾害或者事故对生态系统及其组份可能产生的风险,这些风险可能会损坏生态系统结构和功能,从而危及整个生态系统的安全和健康^[1-2]。随着近几年水土流失、草场退化、水体污染、土地荒漠化、生物资源总量下降、建设面积无限扩张以及“三废”污染、农药污染等的日益加剧,加上农户在经济利益的驱使下土地利用中撂荒和开荒现象较为严重,导致区域生态环境持续恶化^[3-4]。因此,区域在遭受一个或多个胁迫因素影响后,有必要对生态环境可能出现的风险进行评估,防止生态环境持续性恶化^[5]。生态风险评价逐渐成为众多学者研究的热点和焦点。

土地利用是指人类为经济和社会目的,通过各种使用活动对土地进行长期或周期性的经营^[6]。在 20 世纪 90 年代以前,土地利用研究偏重于土地利用与规划,满足于人类土地利用基本功能的需要;90 年代以后,对土地利用的生态环境效应研究从最开始的土地利用变化对气候、水文、土壤、生物等生态环境单一要素影响研究,逐渐过渡到土地利用对区

域整体生态环境影响的研究^[7-8]。在研究范围上,从生态环境脆弱区或经济落后地区逐步拓展到经济发达地区土地利用变化的生态环境综合效应^[9-13],在土地利用研究尺度上的区域生态风险评价集中在小城镇和发达地区^[14-15],而对西部贫困脆弱山区的土地利用生态风险评价相对较少,并且缺乏对土地利用动态与生态风险变化二者响应关系的深入研究。

石羊河流域地貌类型多样、土地利用粗放、人地矛盾突出、生态环境问题严重,其变化对武威市乃至甘肃省的生态环境具有至关重要的作用^[16]。而该流域具有较大的开发利用价值和较高的生产潜力,使流域周边居民开发利用石羊河资源成为可能,但对该流域进行农业开发或其他开发会给流域带来生态风险^[17]。所以,本文以武威市石羊河流域为例,运用 RRM 对石羊河流域在土地利用过程中产生的生态风险源及生态受体进行筛选,构建概念模型,对该流域的暴露和危害进行计算分析,并利用风险表征对所获得的相对风险密度、生境丰度、暴露系数和响应系数进行计算,以确定武威市石羊河流域的生态风险^[5]。这对今后制定石羊河流域的环境保护规

收稿日期:2015-07-27; 改回日期:2015-10-16

资助项目:甘肃省自然科学基金项目(1610RJEA095);甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金项目(GSAU-STS-1632);甘肃省教育科学“十二五”规划课题(GS[2015]GHB0167);甘肃农业大学大学生科研训练项目(20151157,20151102)

作者简介:乔蕪强(1986—),男,甘肃平凉人,博士研究生,讲师,主要从事土地利用规划、土地生态和土地经济研究。E-mail: qiaohongqiang-123@163.com

通信作者:刘学录(E-mail: liuxl@gsau.edu.cn)

划以及生态风险管理决策具有重要的理论和实践意义。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

石羊河流域总面积28 800.52 km²,分南部祁连山区、中部绿洲区和北部荒漠区三大区域。南部祁连山区武威属区总土地面积约7 755.06 km²,约占武威市石羊河流域面积的24%,植被覆盖率63%,属温带大陆性气候,气温垂直分布明显,人口密度较小,农林牧渔业发展较快,工业和服务业逐年发展,风景名胜和名优特产多。中部绿洲区武威属区总土地面积约5 588.22 km²,约占武威市石羊河流域面积的13%,农用地面积大,且以耕地和牧草地为主,建设用地面积大,农业和工业发达,是流域内经济和文化中心。北部荒漠区武威属区总土地面积约16 457.24 km²,地势平坦,冬冷夏热、降水稀少、光照充足、昼夜温差大,以种植优良瓜果为主。

石羊河流域是一个由水资源联系起来的生态功能整体,是河西走廊上一道重要的生态屏障^[18]。武威市石羊河流域内土地利用类型多样,生态环境复杂,再加上不合理的农户生计活动,对流域内的环境造成巨大的生态扰动,生态恶化日趋严重。

1.2 研究方法

本研究基于众多学者研究成果,通过外业调研和对实际情况分析,选取适合研究区域的相对风险模型(RRM)来解决风险源类型多样、风险暴露路径复杂、胁迫因子难以量化等土地利用变化生态风险评价正面临的难题^[19-20]。

生境、风险源选择。通过遥感图像解译和GIS分析统计,确定石羊河流域内生境的类型、面积及分布范围,并针对土地利用过程中产生的具有危害生态系统的各类活动进行分类,确定风险源。

生态受体的选择。分析石羊河流域土地利用变化中产生的风险源进行,选取在生态系统中具有重要地位的生态因子、物种或者对风险因子作用较为敏感的因素作为风险受体,用受体的风险来研究整个区域的生态风险。

概念模型的构建。通过羊河流域土地利用过程中产生的风险源及生境与生态受体间的暴露响应关系,得出土地利用过程中产生的胁迫因子及风险源

到生境和生态受体的暴露响应路径,基于此构建概念模型,来描述风险源、生境与生态受体之间的关系。

暴露和危害分析。分析武威市石羊河流域在土地利用变化中的风险源与生境及生境与生态受体之间的暴露响应关系,获得相对风险密度、生境丰度、暴露系数和响应系数,并进行风险表征。

风险表征。通过风险表征模型对所获得的相对风险密度、生境丰度、暴露系数和响应系数的值进行综合计算,获得不同风险区域的生态风险值。

1.3 数据来源

本文以研究区域最新的Landsat遥感影像为基础数据,通过GIS解译和分析统计,得出石羊河流域近几年的土地利用现状。再利用第二次全国土地调查以及近几年武威市统计年鉴中土地利用变更数据核实该区域的相关土地利用数据,从石羊河流域管理局获得武威市石羊河流域经济年鉴和生态治理数据,通过实地调研对收集到的武威市的土地利用及社会经济数据进行修正。

2 结果

2.1 风险单元划分

以石羊河流域地表生态环境状况作为风险评价单元,根据研究区域地质地貌、土地利用类型、生态环境状况,将石羊河流域分为3个风险单元,即南部山地水源涵养区、中部绿洲生态保护区、北部盆地防沙治沙区。

2.2 生境及风险源分析

武威市是石羊河流域一个重要的组成部分,生物因子多样,生物生活的空间多样,因此生境类型多样,主要为耕地、林地、草地、园地、水体。

石羊河流域境内的土地利用类型,主要有6种,即耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域。该区域现有的土地利用方式主要表现为在相对肥沃的土地上进行耕作,在大面积的森林和草场放养牲畜,对河流进行调蓄洪峰的水坝修建等,通过对不同风险源发生概率、强度和范围,确定武威市石羊河流域土地利用变化生态风险源为6类:作物种植、畜牧养殖、水土流失、土地沙漠化和盐碱化、固体废弃物、工程建设(表1、2)。

表 1 石羊河流域 3 类风险单元不同风险源面积 (km²)
Table 1 Areas (km²) of three types of risk units in Shiyanghe River Basin

风险单元	作物种植	畜牧养殖	水土流失	土地沙漠化和盐碱化	固体废弃物	工程建设
南部山地水源涵养区	686.7	6 130.87	254.52	21.46	84.89	576.62
中部绿洲生态保护区	956.88	1 358.03	189.78	357.89	628.11	2 097.53
北部盆地防沙治沙区	1 066.37	11 779.15	98.63	1 350.85	467.12	1 695.12

表 2 石羊河流域 3 类风险单元不同类型生境面积 (km²)
Table 2 Areas (km²) of habitat area of three types of risk units in Shiyanghe River Basin

风险单元	耕地	林地	草地	园地	水体
南部山地水源涵养区	660.92	4 028.52	2 102.35	25.78	80.14
中部绿洲生态保护区	918.16	1 128.11	229.92	38.72	174.02
北部盆地防沙治沙区	1 054.18	9 589.32	2 189.83	12.19	125.21

2.3 生态受体

生态受体是指暴露于压力之下的生态实体。对物种多样性与区域生态相关性进行分析发现,武威市石羊河流域主要包括各种具有价值的动物、植物和微生物物种,还有大小、形状、属性不一的景观单元以及其组分构成的生态单元,最终筛选出生物物种、景观态势、生态系统作为评估的生态受体。

2.4 概念模型

为了有效地对区域生态风险进行评价,通过构建概念模型来反映研究区域存在的风险源-生境-生态受体的暴露和响应路径,以揭示在武威市石羊河流域土地利用中可能存在的风险源和胁迫因子及其对生态受体产生的生态影响。风险源对生态受体的作用体现在概念模型中,以上 6 类风险源通过胁迫

因子作用于各种生境类型如表 3 所列。

由表 3 可知,各个风险源通过释放不同的胁迫因子作用于不同的生境,而这些胁迫因子借助于生境变化使不同的生态受体暴露。

2.5 暴露-危害分析

暴露-危害分析是武威市石羊河流域生态风险评价的核心内容。本文通过计算相对风险密度和生境丰度,实现对风险源与生态受体的暴露-危害的定量分析,以及通过分析暴露和响应途径计算出暴露、响应系数。

2.5.1 相对风险密度和生境丰度

通过表 1 提供的武威市石羊河流域 6 类风险源的数据信息计算出 6 类风险源在 3 个风险单元的相对风险密度,计算依据为各类风险源分布面积百分比/某种面积最大的风险源分布面积百分比(表 4)。

表 3 石羊河流域土地利用生态风险暴露-响应概念模型
Table 3 Conceptual model of risk exposure-response of land use in Shiyanghe River Basin

生境	各风险源下释放的胁迫因子						生态受体的暴露方式		
	作物种植	畜牧养殖	水土流失	土地沙漠化和盐碱化	固体废弃物	工程建设	生物物种	景观态势	生态系统
耕地	D,C,SE,P	D,C,IC,S,T	D	D	C,T	C,SE,P,T	F,S,CN	F,S,CN	
林地	D,C,SE,P	D,C,SE,P	SE,IC,S	D,IC	C,SE,P,T	C,IC,S,T	H,M	F,S,CN	H,M,SF
草地	D,C,SE,P	D,C,SE,P		D	C,SE,P,T		H,M		H,M,SF
园地	D,C,SE,P				C,P,T	C,SE,P,T		M,S,SF	
水体	C,SE,N,T	C,SE,P,N,T	D,C	D,C	C,SE,P,T	D,C,IC,S	H,M	F,S	H,M,SF

风险源释放胁迫因子,胁迫因子借助生境变化作用于生态受体^[5]。其中,风险源释放的胁迫因子有:扰乱(D)、污染(C)、沉降效应(SE)、切割廊道作用(IC)、演替(S)、病原体(P)、营养物质(N)、有毒物质(T);生态受体的暴露方式主要有:栖息(H)、物种多样性(M)、景观破碎化(F)、景观单一化(S)、景观连通性(CN)、生态脆弱(SF)^[5]。

表 4 石羊河流域各风险单元的相对风险密度

Table 4 The Relative risk density of each risk district of Shiyanghe River Basin

风险源	风险单元		
	南部山地 水源涵养区	中部绿洲 生态保护区	北部盆地 防沙治沙区
作物种植	0.967	0.993	1.000
畜牧养殖	0.905	0.339	1.000
水土流失	1.000	0.935	0.183
土地沙漠化和盐碱化	0.034	0.780	1.000
固体废弃物	0.097	1.000	0.253
工程建设	0.198	1.000	0.274

武威市石羊河流域三大风险单元中不同风险源发生概率的不同,从而得出同一风险源对各个风险单元生态风险的影响程度。南部山地水源涵养区相对风险密度最大的是水土流失,其次是作物种植和畜牧养殖;中部绿洲生态保护区相对风险密度最大的是固体废弃物和工程建设,其次是作物种植和水土流失;北部盆地防沙治沙区相对风险密度最大的是作物种植、畜牧养殖和土地沙漠化和盐碱化,其次是工程建设。这说明合理的耕作制度和畜牧养殖对区域的生态环境影响最明显,因此政府引导和鼓励政策的出台对防御生态风险尤为重要。

对风险单元内各生境类型的丰度进行计算,计算依据为某种生境面积百分比/区域生境内该最大面积百分比。

由表 5 可得出不同生境在各个风险单元内所占的比重,从而为研究风险源与生境及生境和生态受体之间的暴露和响应关系提供相关数据。南部山地水源涵养区生境丰度最大的是耕地、草地,中部绿洲生态保护区生境丰度最大是耕地、园地和水体;北部

表 5 武威市石羊河流域各风险单元的生境丰度

Table 5 Habitat abundance of each risk district of Shiyanghe River Basin

生境	风险单元		
	南部山地 水源涵养区	中部绿洲 生态保护区	北部盆地 防沙治沙区
耕地	0.979	0.939	1.000
林地	0.790	0.613	1.000
草地	0.805	0.547	1.000
园地	0.240	1.000	0.060
水体	0.166	1.000	0.138

盆地防沙治沙区生境丰度最大是耕地、林地和草地,其结果与实际情况相符,能很好地反映流域的生态受体的暴露和相应关系。

2.5.2 暴露-响应路径

风险单元不同,暴露和响应程度也就不同。要表现这种程度上的差异,需将每个暴露和响应途径分成两个阶段分析:第一阶段只考虑风险源的暴露过程,用暴露系数定量表示风险源-生境的暴露量;第二阶段考虑生态受体对风险的响应过程,通过分析生境-生态受体的密切程度来表征生态受体对风险的响应程度,并用响应系数来表示。为了直观地表示暴露系数和响应系数,设定暴露系数和响应系数分别为暴露路径的暴露量和响应路径的响应量,其暴露路径/响应路径等级: $0.9 \leq a < 1.0$ 等级高; $0.7 < a \leq 0.9$ 等级较高; $0.4 < a \leq 0.7$ 等级适中; $0.1 < a \leq 0.4$ 等级较小; $0 < a \leq 0.1$ 等级不存在。

通过对武威市石羊河流域的调研,根据风险源在相应区域生境内的暴露程度确定了不同的生境类型、不同风险源的暴露系数的大小,我们所确定的结果见表 6。

表 6 羊河流域土地利用风险暴露系数

Table 6 Exposure coefficient of land use in Shiyanghe River Basin

生境	作物种植	畜牧养殖	水土流失	土地沙漠化和盐碱化	固体废弃物	工程建设
耕地	1	0	0.5	1	0.5	0.7
林地	0.6	0	0.4	0.5	0.3	0.5
草地	0.4	0.7	0	0.2	0.3	0
园地	0.3	0	0	0	0.3	0
水体	0.6	1	0.2	0.8	1	0.7

由表 6 可得出各风险源在不同生境中的暴露程度,说明不同风险源对生境的影响程度,6 种风险源在不同的生境类型下,暴露系数分异明显,等级差异较大,很好地反映了对生境的影响状况。

在不同的风险单元中,不同的生态受体因土地利用类型的不同而对不同的生境有不同的响应系数(表 7)。

由表 7 可得在南部山地水源涵养区林地和水体

表 7 武威市石羊河流域土地利用风险响应系数
Table 7 Response coefficient of land use in Shiyanghe River Basin

风险单元	生境	各生态受体的响应方式及响应系数			合计
		生物物种	景观态势	生态系统	
南部山地水源涵养区	耕地	H,M,0.3	F,S,CN,0.2	H,M,SF,0.2	0.7
	林地	H,M,1.0	F,S,CN,0.8	H,M,SF,0.9	2.7
	草地	H,M,0.5	S,CN,O.3	H,M,SF,0.2	1.0
	园地	H,M,0.1	0	0	0.1
	水体	H,M,0.7	S,0.6	H,M,SF,0.7	2.0
中部绿洲生态保护区	耕地	H,M,0.5	F,S,CN,0.5	H,M,SF,0.6	1.6
	林地	H,M,0.5	F,S,CN,0.3	H,M,SF,0.4	1.2
	草地	H,M,0.3	S,CN,0.4	H,M,SF,0.3	1.0
	园地	H,M,0.6	F,CN,0.5	M,SF,0.4	1.5
	水体	H,M,0.5	S,0.4	H,M,SF,0.5	1.4
北部盆地防沙治沙区	耕地	H,M,0.7	F,S,CN,O.6	H,M,SF,0.7	2.0
	林地	H,M,0.3	CN,0.2	H,M,SF,0.2	0.7
	草地	H,M,0.3	S,CN,0.3	H,M,SF,0.3	0.9
	园地	H,M,0.7	F,CN,0.6	M,SF,0.6	1.9
	水体	H,M,0.8	S,0.7	H,M,SF,0.7	2.2

由于在各个风险单元与生态受体相关的 6 种风险源并不是均会出现,因此,在不同的风险单元中生境-生态受体的响应路径并不完全存在,表征在表 7 中即为相应的响应系数为 0。

的响应系数最大,说明涵养水源、防止水土流失最重要。同理,中部绿洲生态保护区中的耕地、园地和水体和北部盆地防沙治沙区中的水体、耕地和园地也各自的风险单元最为重要,中部绿洲区耕地和园地面积较大,而水体是绿洲农业发展的保障。对于北部盆地防沙治沙区来说,水体是防止进一步沙化的保障,耕地、园地调节区域气候平衡,促进生态平衡。

2.6 风险评价结果

我们通过计算各个风险单元内的相对风险密度、生境丰度、暴露和响应系数的乘积,计算得到武威市石羊河流域的相对风险。计算公式如下^[21]:

$$RS_m = \sum S_{nm} H_{ml} X_{nl} E_{ll}$$

式中:RS 为相对风险值; m 为所划分的风险单元序号; n 为风险源种类的序号; l 为生境类型的序号; L 为生态受体类型的序号; RS_m 为第 m 风险单元的相

对风险值; S_{nm} 为第 m 风险单元内风险源 n 的丰度等级; H_{ml} 为第 m 风险单元内生境 l 的丰度等级; X_{nl} 为风险源-生境暴露途径的暴露系数; E_{ll} 为生境-生态受体响应路径的响应系数。

根据上述公式计算得到石羊河流域 3 个风险单元的风险值的相对风险状况。南部山地水源涵养区的风险值为 11.887,中部绿洲生态保护区的风险值为 18.626,北部盆地防沙治沙区的风险值为 16.247,由此可得出中部绿洲生态保护区在土地利用中面临的生态风险最大,北部盆地防沙治沙区次之,南部山地水源涵养区在土地利用中面临的生态风险最小。武威市石羊河流域 3 大风险单元的风险大小因土地利用类型和程度的不同而不同。结合 3 个风险单元不同风险源和生境的面积,可以得知这 3 个风险单元的耕地和林地面积最大,且以工程建设用地、作物种植和畜牧养殖用地为主,而这在中部绿洲生态保护区表现得尤为明显。虽然工程建设和畜牧养殖可以有效地提高当地农民的经济收益,但

出现土地荒漠化、水土流失、土壤污染、生态破坏程度相应增大,生态风险也随之增大。所以在对武威市石羊河流域生态环境开发与保护的过程中不仅要严格限制各地区工程建设的面积,更要注重中部绿洲生态保护区土地利用方式,以最大程度降低武威市石羊河流域的生态风险。

3 讨论与结论

通过实地调研,运用相对风险模型对武威市石羊河流域因土地利用而造成的生态风险进行分析。工程建设和畜牧养殖是造成该区域生态风险的主要原因,水土流失及土地沙漠化和盐碱化也对生态风险有一定影响,且中部绿洲面临的生态风险最大,与研究区域实际情况相符,具有一定的指导意义。

将武威市石羊河流域划分为南部山地水源涵养区、中部绿洲生态保护区、北部盆地防沙治沙区三个区域进行生态风险研究,在相对风险模型的基础上构建概念模型,通过风险表征计算得到中部绿洲生态保护区的风险值为 18.626,所面临的生态风险最大,南部和北部面临的生态风险相对较小。以上结果说明了不合理的人类土地利用方式对生态环境具有重大的影响,且在自然环境条件状况相对较好的区域表现得尤为明显。

鉴于武威市石羊河流域面临的生态风险压力大,且在中部绿洲尤其明显,需要采取合理有效的措施减缓生态环境的恶化,以保护这一生态屏障。通过政府合理引导是规范土地合理利用的有效措施,政府应组织建设长效土地利用机制、对农户进行科学指导、推广先进的生产技术和经验、大力营造防护林等。作为土地利用主体的农户应树立生态环境保护意识、有计划地进行农业生产建设、合理地进行养殖和耕作、减少农药化肥等污染物的使用,从源头上控制生态风险^[22]。

由于土地利用生态风险评价正处在发展阶段,目前存在着土地利用胁迫体系的不健全、生态风险评价在模型开发方面的不足、相关数据库建立不完善、监测网络不成型等问题,极大制约了土地利用生态风险评价的发展。因此,要改变目前这种状况,应逐步建立有效的土地利用生态风险评价体系,完善生态风险评价数据库,形成现代化的土地利用生态风险监测网络。当然,限于建立的土地利用生态风险定量评价模型研究区域性较强,且受主观因素影

响比较大,对因土地利用造而成的生态风险的影响因素还需更深的探究,这是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 毛小苓,倪晋仁.生态风险评价研究评述[J].北京大学学报:自然科学版,2005,41(4):646-654.
- [2] 阳文锐,王如松,黄锦楼,等.生态风险评价及研究进展[J].应用生态学报,2007,18(8):1869-1876.
- [3] 张永明,翟禄新,宋孝玉,等.疏勒河流域生态环境现状评价研究[J].冰川冻土,2008,30(6):1055-1060.
- [4] 崔丹丹,张耀南,陈广庭.2001—2010年甘肃省植被覆盖的时空变化[J].中国沙漠,2014,34(4):1161-1166.
- [5] 刘晓.基于3S技术三峡库区消落区生态风险评价及管理研究[D].重庆:重庆师范大学,2009.
- [6] 李伟,郝晋珉,冯婷婷,等.基于计量经济模型的中国耕地数量变化政策与资产因素分析[J].农业工程学报,2008,24(6):115-118.
- [7] 谭少华,倪绍祥.20世纪以来土地利用研究综述[J].地域研究与开发,2006,25(5):84-89.
- [8] 马喆,姬长龙,张义珂,等.中国西部地区土地利用变化聚类分析[J].中国人口·资源与环境,2012,22(增刊1):149-153.
- [9] 张杨,刘艳芳,顾渐萍,等.武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J].地理科学,2011,31(10):1280-1285.
- [10] 李晓文,方创琳,黄金川,等.西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应[J].第四纪研究,2003,23(3):280-290.
- [11] 王振波,方创琳,王婧.1991年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式[J].地理学报,2011,66(12):1657-1668.
- [12] 尹占娥,许世远.上海浦东新区土地利用变化及其生态环境效应[J].长江流域资源与环境,2007,16(4):430-434.
- [13] 邓伟,杨华,崔艳君.重庆主城区近30年土地利用变化的生态环境效应评价[J].长江流域资源与环境,2010,17(3):232-236.
- [14] 王娟,崔宝山,刘杰,等.云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响[J].环境科学学报,2008,28(2):269-277.
- [15] 曾勇.区域生态风险评价——以呼和浩特市为例[J].生态学报,2010,30(3):668-673.
- [16] 石培基,杨雪梅,宫继萍,等.基于水资源承载力的干旱内陆河流域城市适度规模研究——以石羊河流域凉州区为例[J].干旱区地理,2012,35(4):646-655.
- [17] 马国军,刘君娣,林栋,等.石羊河流域水资源利用现状及生态环境效应[J].中国沙漠,2008,28(3):592-597.
- [18] 魏伟,石培基,赵军,等.基于GIS和RS的石羊河流域景观功能分区[J].干旱区资源与环境,2011,25(8):47-52.
- [19] 熊勤犁,肖洋,史雅娟,等.长江上游重庆段流域生态风险评价——基于RRM模型[J].西南大学学报:自然科学版,2013,35(11):1-6.

- [20] 李晓敏,张杰,曹金芳,等. 广东省川山群岛开发利用生态风险评价[J]. 生态学报,2015,35(7):2265—2276.
- [21] 王小龙. 海岛生态系统风险评价方法及应用研究[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所,2006.
- [22] 乔蕪强,刘学录,乔伟栋,等. 基于农户生计资产视角的土地生态安全定量评估[J]. 中国沙漠,2016,36(4):1182—1189.

Evaluation of Ecological Risk of Land Use Change Based on the RRM Model: a case in the Shiyanghe River Basin

Qiao Hongqiang, Cheng Wenshi, Qiao Weidong, Liu Xuelu
(College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The rationality of land use is a key to promote the development of the national economy, and is also the signpost of ecological environmental change. Through theoretical study and field research, this paper constructs a quantitative evaluation system for ecological risk of land use, using the RRM to study the ecological risk and its influencing factors in Shiyanghe River Basin. The results showed that, (1) Among three dividing evaluation units, the middle oasis ecological protection faces the largest risk in the land use, followed by the northern basin desertification region and the southern mountain water conservation district is minimum. (2) Among six different risk sources in three risk units, the engineering construction has the greatest impact on the ecological risk in the Shiyanghe River Basin, followed by the crop cultivation and animal husbandry, and it is particularly obvious in relatively good natural environment area.

Key words: land use; ecological risk; risk source; RRM; Shiyanghe River Basin