

石羊河流域植被生态系统生态风险评价研究

李 博, 石培基, 金淑婷

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 区域生态风险评价涉及到多风险因子、多风险受体、多评价终点, 强调不确定因素以及空间异质性的特点。以石羊河流域植被生态系统为例, 以区域生态系统类型为着手点, 计算不同生态系统类型的生态指数、脆弱度和生态损失度, 根据不同种类和级别生态风险源的综合风险权重, 利用 ArcGIS 9.3 软件进行叠加分析, 形成不同的生态风险区。结果表明, 石羊河流域植被生态风险空间差异性较为明显, 其中 1 级风险区主要分布在石羊河流域上游, 占全区面积的 3.87%, 以肃南和天祝 2 个县最为集中, 植被类型多为有林地; 2 级生态风险区分布多与 1 级风险区相连, 占全区面积的 4.38%, 植被类型多为灌木林; 3 级和低风险区主要分布在中游和下游地区, 植被类型为草地和耕地。对石羊河开发利用时应当避免在 1 级和 2 级风险区进行大规模的土地开发利用, 在 3 级和低风险区进行土地利用时应注意对土地进行保护利用。

关键词: 生态风险评价; 综合风险指数; 植被生态系统; 石羊河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0201-05

中图分类号: X820

Research on Ecological Risk Assessment of Vegetation Ecosystem in Shiyang River Basin

LI Bo, SHI Pei-ji, JIN Shu-ting

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Regional ecological risk assessment is characterized by multiple risk stressors, receptors and end-points with uncertain factors and spatial heterogeneity. By taking the vegetation ecosystem of the Shiyang River basin in Gansu Province for an example, the ecological indices of fragility degree, ecological loss and risk source level of different vegetation ecosystems are analyzed for different risk patches by overlaying analysis with the aid of ArcGIS 9.3. Results show that the spatial variability of vegetation ecological risk in the Shiyang River basin is more obvious. The first level risk area, accounting for 3.87% of the total area, is mainly located in the upper reaches of the Shiyang River basin, with Sunan and Tianzhu Counties being most concentrated and vegetation type being mostly woodland. The second level risk area, accounting for 4.38% of the total area, is connected with the first level risk area and vegetation type is mostly shrubbery. The third level and low level risk areas are mainly located in the downstream and midstream and vegetation types are grassland and farmland. Finally, the large-scale land development and utilization of Shiyang River basin should be avoided in the first and second level risk areas, and land use in the third level and low level risk areas should be protected.

Keywords: ecological risk assessment; comprehensive risk index; vegetation ecosystem; Shiyang River basin

近年来,随着人口的急剧增加和社会经济的飞速发展,人类活动对生态系统已经产生了强烈的干涉作用,严重影响了生态系统结构和生态服务功能,生态

风险日益严重^[1-3]。生态风险(ecological risk, ER)是指生态系统及其组分所承受的风险,它主要关注在一定区域内,具有不确定性的事故或灾害对生态系统及

收稿日期:2012-03-11

修回日期:2012-05-05

资助项目:国家自然科学基金项目“内陆河流域城镇体系与流域空间结构相互作用的生态经济效应研究:以石羊河流域为例”(40971078);国家自然科学基金项目“中国地级以上城市腹地测度及其时空演变研究”(41061017);甘肃省青年科技基金计划项目“干旱区内陆河流域城镇—水—绿洲空间耦合关系研究:以石羊河流域为例”(1107RJYA077);西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目“石羊河流域荒漠:绿洲生态系统景观格局演替及可持续发展研究”(SKQNYB10034)

作者简介:李博(1985—),男(汉族),陕西省渭南市人,硕士研究生,主要从事城市与区域发展和土地整治方面的研究。E-mail:guoguodog@163.com。

其组分可能产生的作用,这些作用的结构可能导致生态系统结构和功能的损伤,从而危及生态系统的安全和健康^[4-5]。

生态风险评价(ecological risk assessment, ERA)关键是调查生态系统及其组分的风险源,并预测出风险出现的概率及其可能出现的负面效果,从而提出相应的解决措施^[6-11]。目前,对于生态风险评价研究,已经从单一地点的某一风险源研究逐步发展到区域尺度的综合多风险源的研究,所涉及的风险源以及评价受体等都在区域内具有异质性,且存在相互作用和叠加效应,因而比一般生态风险评价更为复杂^[12-14]。

1 研究区域概况

石羊河流域位于河西走廊东端,乌鞘岭以西,祁连山北麓,地理坐标为 36°29′—29°27′N, 101°22′—104°16′E,流域面积 4.10×10⁴ km²,是甘肃河西走廊 3 大内陆河流域之一。地势由南向北逐渐降低,自西南向东北倾斜。

石羊河流域由于身居内陆,属于典型的大陆性干旱气候,流域内年降水量 600~50 mm,蒸发量 700~2 600 mm。由于降水的影响,植被分布具有明显的地带性。石羊河流域是我国内陆河流域人口比较密集的地区之一,近几年由于人口的增加及城镇化速度加快,石羊河水资源利用过度,经济用水不断排挤生态用水,全区地下水位不断下降,植被退化、土地沙化盐碱化等生态问题不断产生,已严重威胁着流域的可持续发展。

2 数据来源

本研究数据是以研究区 2009 年 Landsat/TM 多光谱遥感影像图为基础数据,利用 ESRI 的系列软件 ERDAS 进行人工解译,利用 ArcGIS 9.3 软件并结合实际调查数据将 1 级分类系统中的耕地、林地、草地 3 个用地类型进一步修正为 8 个类型(见附图 4)。本文中所用图件均采用 Albers Conical Equal Area 投影、GCS_Krasovsky_1940 地理坐标系,影像分辨率为 30 m,通过 ArcGIS 9.3 中的面积计算工具对图上面积进行计算并结合实际面积进行配准,其他 2009 年的统计数据均来自甘肃省统计年鉴以及石羊河水资源公报。

3 生态风险评价方法与过程

3.1 风险源的影响及权重的确定

对于石羊河流域生态风险评价,作者从生态风险

评价的内涵出发,分析发现不同流域的生态风险源之间存在的较大的差异,因此,此部分将通过对不同流域的生态风险源进行定性及定量分析,并建立综合风险源计量模型。

石羊河流域自然灾害发生频繁,且种类多样,据甘肃省水利厅石羊河流域管理局统计,频率最高的为干旱和水土流失。石羊河大部分地区地质条件比较好,古浪县大部分地区有地震带分布,由于石羊河流域属于内陆干旱性气候,降水比较集中,洪水问题也不容忽视。在对各种灾害范围的确定时,其中旱灾和水灾依据石羊河流域 1951—2009 年 59 a 的统计资料确定,而对于水土流失范围的划定,本文将土地沙化、坡度大于 25°地区、滩地以及沙质土地划为水土流失区。

各主要风险类型对风险受体的作用程度是不同的,对区域性生态风险作用的大小也有差异。为了确定各种风险类型在不同区域的综合权重,本文采用层次分析法进行综合分析,根据各区域风险类型的发生频率、发生强度以及危害程度,先确定不同区域同一灾害的灾害指数,再确定石羊河流域各类灾害的灾害权重,最后通过两者的乘积确定得到石羊河上中下游的综合风险指数(R_i ,见表 1)。具体计算公式如下:

$$R_i = \sum_{j=0}^3 r_{ij} \times \omega_j \quad (1)$$

式中: R_i —— i 区域的综合灾害指数; r_{ij} ——第 i 区域 j 类灾害的指数; ω_j ——流域中 j 类灾害的权重。

表 1 石羊河流域自然灾害指数

流域	水土流失	旱灾	水灾	综合灾害指数
上游	0.143	0.072	0.096	0.311
中游	0.147	0.097	0.064	0.308
下游	0.190	0.152	0.039	0.381

3.2 生态终点分析

由于石羊河流域具有复合生态区的区域性特征,其风险受体涉及其生态系统的各个组成部分。在石羊河流域快速城镇化特征相对突出的复合生态区域内,可能的生态终点包括因自然灾害、地质灾害以及水土流失等因素造成的社会经济发生严重损失,人居环境恶化,农业减产,以及对区域经济产业结构产生的间接影响。

3.3 风险受体分析

本研究选择的风险受体为石羊河流域的植被生态系统。不同植被由于对生态风险的承受能力存在较大差异,基于此本文以植被类型的 2 级分类为基础,受体的选择为石羊河流域的 8 类生态系统:高覆

盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、耕地。低覆盖度草地和耕地占的比重比较大,有林地和高覆盖度草地主要分布在上游地区,这与其自然条件和降水有关。

3.4 暴露和易损性分析

相同强度的同一风险源作用于不同的生态系统类型,其对区域的生态结构和功能产生的危害不同,此外,不同生态系统类型的抗干扰能力也不同^[15]。本文以生态损失度指数来反映不同风险源对不同生态系统的危害程度。

(1) 生态系统抗干扰指数(ecosystem interference index)。是指生态系统的自我维持、自我调节及其抵抗各种压力与扰动的能力大小,生态系统抗干扰指数的大小反映特定生态系统的缓冲与调节能力。公式如下:

$$EOI_{ij} = VI_{ij} \times S_{ij} \quad (2)$$

式中:EOI_{ij}——石羊河流域生态系统抗干扰指数;VI_{ij}——*i* 区域 *j* 类生态系统的生物多样性指数;S_{ij}——*i* 区域 *j* 类生态系统占区域面积的比例。下同。

本文为了研究简单,假设生态系统的多样性指数与生态系统的单位生态服务价值成正比例关系,并设草地生态系统生物多样性指数为 1,其他按其与草地生态系统的生态服务价值比例计算。

(2) 脆弱度指数(ecological fragility degree index)。是指生态系统受到外界干扰后的脆弱程度。一个区域的生态环境脆弱性是在外界环境影响下不断变化的,系统中某些容易发生变化的生态环境要素

是造成其变化的直接因素,敏感性则是生态环境脆弱性时空变化的具体表征^[16]。由于不同生态系统的敏感性不同,因此,本文在脆弱度指数计算过程中,不仅考虑各地区的生态环境脆弱性,还顾及到各生态系统的差异性。鉴于此,文章在对各生态系统的脆弱度指数计算时,首先计算出石羊河流域不同地区的环境脆弱度,再通过对环境脆弱度和各生态系统的脆弱度进行综合分析得出各系统的脆弱度指数。本文在对石羊河流域各地区生态环境脆弱度计算时采用综合指标法,在选取生态脆弱度的评价指标时,围绕石羊河流域生态环境问题选取指标体系,衡量生态环境的脆弱性,研究指标选干燥度指数、土地沙化指数、土地盐碱化指数、植被压力指数、水资源压力指数、耕地压力指数。指标权重的确定,为了尽量避免人为主观因素的影响,本文采用熵权法;而在对于各生态系统的脆弱度计算时,考虑到各生态系统的脆弱性与其在自然演替过程中所处的阶段有关,得出处于低级演替阶段、食物链结构简单的生境较为脆弱。本研究以人为影响为主,在各生态系统脆弱性分析中考虑有关因素(比如生物生产力),由此来对石羊河流域各生态系统类型进行脆弱度赋值。公式如下:

$$FDI_{ij} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^8 P_i W_i \cdot FD_j \quad (3)$$

式中:FDI_{ij}——石羊河不同流域各生态系统的脆弱度指数;P_i——不同流域各指标标准化值;W_i——各指标权重;FD_j——不同生态系统脆弱度指数^[17](如表 2 所示)。

表 2 石羊河流域不同生态系统脆弱度指数

植被类型	有林地	灌木林地	疏林地	其他林地	高度覆盖	中度覆盖	低度覆盖	耕地
赋值	8	7	6	5	4	3	1	2

(3) 生态损失度指数(ecological loss degree index)。是指某一生态系统的抗干扰指数与区域脆弱度的乘积,在同一地区,面对同一生态风险,不同生态系统的生态损失度是不同的。具体公式为:

$$EDI_{ij} = EOI_{ij} \times FDI_{ij} \quad (4)$$

3.5 区域综合生态风险分析

石羊河流域主要受 3 种类型风险源的共同作用,不同类型风险源在石羊河流域不同地段的风险强度范围是不同的,本文将 3 种风险源的影响范围通过 GIS 进行叠加,形成各类风险区,每类风险区内部具有一致的风险类型,或者发生概率、强度。但是,由于所处区域的差异性,还不能直接进行计算,因此,再叠加生态系统分布区域图,产生不同的风险小区,这些风险小区内的各类风险以及生态系统具有均质性,可

以作用风险值分析,计算综合风险值。具体公式如下:

$$NEI_{ij} = R_i \times EDI_{ij} \quad (5)$$

式中:NEI_{ij}——*i* 流域 *j* 类生态系统类型的综合生态风险值;R_i——流域内不同流域综合灾害指数;EDI_{ij}——*i* 流域 *j* 类生态系统类型的综合生态损失度指数。

4 结果与分析

4.1 生态损失度

表 3 为考虑权重后通过式(4)计算出来的各生态系统的生态损失度指数,说明在遭受同一生态风险源危害后,不同地区不同生态系统的损失度差别较大,以耕地为例依次是下游、中游、上游。

表 3 石羊河流域各植被生态系统的损失度指数

流域	耕地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	有林地	灌木林	疏林地	其他林地
上游	0.027	0.286	0.143	0.024	0.532	0.342	0.186	0.155
中游	0.098	0.304	0.152	0.025	0.146	0.094	0.051	0.043
下游	0.099	0.306	0.153	0.025	0.213	0.137	0.075	0.062

4.2 综合生态风险值

根据式(5)分别计算出每个风险区的风险值(见表4)。将数据进行归一化处理,利用统计软件

SPSS 16.0 进行聚类分析,将这些风险分为 4 个等级,并在 ArcGIS 9.3 下最终生成石羊河流域生态风险空间分布图(附图 5)。

表 4 石羊河流域各植被生态系统综合生态风险指数

流域	耕地	高覆盖度草地	中覆盖	低覆盖度草地	有林地	灌木林	疏林地	其他林地
上游	0.051	0.537	0.268	0.045	1.000	0.642	0.350	0.292
中游	0.183	0.567	0.283	0.047	0.271	0.174	0.095	0.079
下游	0.227	0.704	0.352	0.059	0.491	0.315	0.172	0.143

1 级生态风险区主要集中分布在石羊河流域上游,占全区面积的 3.87%,其中以肃南县和天祝县最为集中,古浪县有零星分布,植被类型主要是有林地。生态风险特点表现为:由于地处石羊河流域上游,地质环境比较复杂,地势较险峻,水土流失频发,生态系统抵御自然灾害与人类干扰的能力比较差,应当避免在 1 级生态风险区进行大规模农业生产,以减少生态损失。2 级生态风险区分布多与 1 级风险区相连,中游、下游有零星分布,占 4.38%。植被类型主要是灌木林和高覆盖度草地以及中下游的有林地、耕地。生态风险特点上游与 1 级风险区类似,中下游主要受土地沙化和干旱影响,再加上降水集中、洪水频发,使林地生态系统抗干扰能力差,且容易退化和破坏。3 级生态风险区主要分布在上游的古浪县、天祝县,中游的金川区以及下游的绝大部分地区,多为人口密集区,植被类型多样。该地区主要受旱灾、水土流失影响,因此必须注重农业节水建设。低生态风险区生态风险值较低,上游、中游以耕地和草地为主,下游以低覆盖度草地为主,其中下游土地沙漠化严重,在开发时应以保护为主。

5 结论与讨论

(1) 区域生态风险评价涉及的风险源多,在评价过程中要同时考虑其空间异质性和综合性。石羊河流域作为一个具有明确边界的地理单元,通过以水为连接纽带,将上、中、下游组成一个复杂的复合生态系统,其生态风险评价所涉及的环境问题的成因及结果都呈现空间异质性的特点。本文作为大尺度的区域风险研究,通过对区域生态风险胁迫因子和生态风险

受体进行综合分析和定量测算,构建了区域生态风险评价计量模型,是对生态风险区域尺度上综合评价和研究的初步尝试。

(2) 石羊河流域生态风险空间差异性较为明显,高风险区主要分布在石羊河流域上游,这与区域的生态风险胁迫因子以及植被类型有关。另外中游地区的金川区以及凉州区由于近年来大量的生产用水而使得石羊河水量不断下降,难以满足下游生态用水需求,加之下游民勤县靠近沙漠,从而致使该县生态风险加重。

对于区域风险受体的讨论,区域生态风险评价的重点是综合区域单项活动的效应在系统或区域水平上评估生态风险,对于受体的选取不能局限到某一个体或物种,而应扩展到更高层次水平。Dearfield 等^[18]认为受体的生态风险终究会从个体的特性上去考虑,但从区域的角度去评价时,仅仅考虑个体或者种群,就会使风险结果丢失信息。从区域的角度看,本文选择该区域的 8 大植被系统作为风险受体,如果选择个体,由于本区域物种丰富就会使评价陷入无限杂乱之中。对于区域风险源的讨论,区域生态评价中对于风险源的识别和量化是一个难点,对于风险源的量化既要全面考虑危害,又要避免复杂化,给决策者以清晰的结果。针对特定目标的生态风险评价,例如城市规划、旅游规划、土地利用等的生态分析,以及将生态风险评价与生态足迹、能值理论和生态适应性理论结合起来,对区域进行综合分析都将是生态评价发展的一个方向。对于植被生态风险与流域生态风险异同性的讨论,植被生态风险评价是流域生态风险研究的重要组成部分,理论上讲流域生态风险评价是以

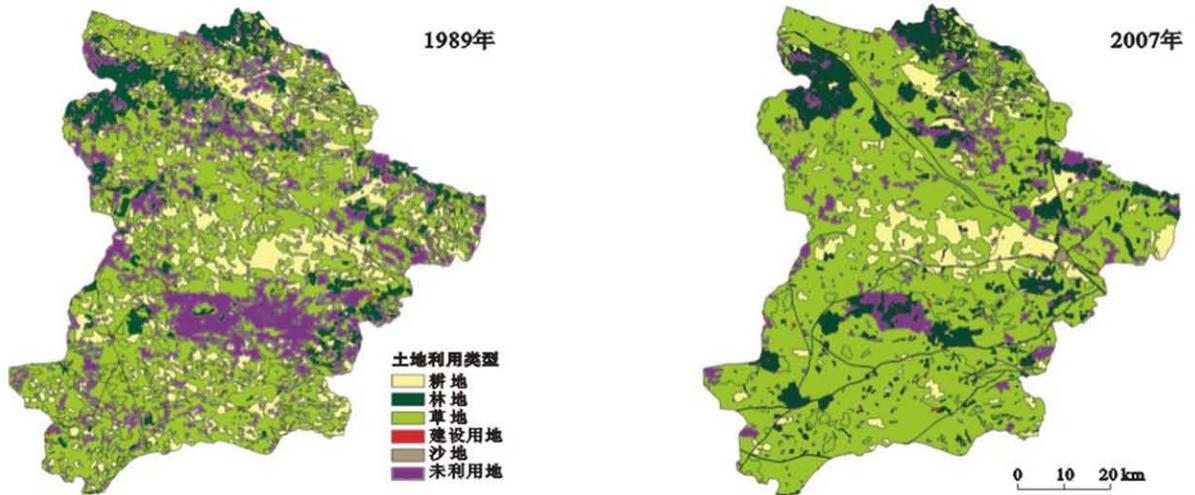
自然地貌分异与水文过程形成的生态空间格局为评价区域,评价自然与人文风险源对流域内生态系统及其组分造成不利影响的可能性及其危害程度的复杂的动态变化过程。相对于流域生态风险评价,植被生态风险评价的风险受体和风险源的不确定因素更加清楚,本文抓住石羊河流域植被生态系统巨大空间分异性的特点,通过以植被生态系统为例,简化石羊河流域生态风险评价问题,从而便于对整个流域生态风险进行评价。

[参 考 文 献]

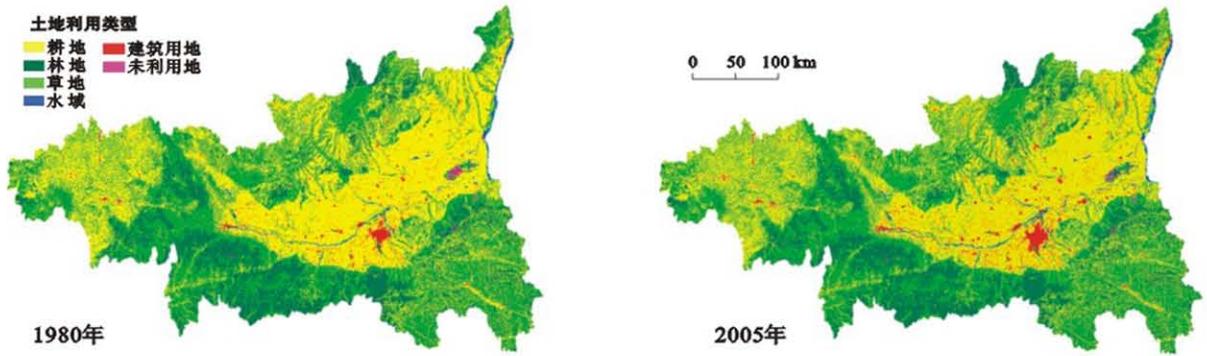
- [1] 许妍,高俊峰,赵家虎,等. 流域生态风险评价研究进展[J]. 生态学报,2012,32(1):284-292.
- [2] 邓飞,于云江,全占军. 区域生态风险评价研究进展[J]. 环境科学与技术,2011,34(S1):141-147.
- [3] 孙心亮,方创琳. 干旱区城市化过程中的生态风险评价模型及应用:以河西地区城市化过程为例[J]. 干旱区地理,2006,29(5):668-674.
- [4] 周婷,蒙吉军. 区域生态风险评价方法研究进展[J]. 生态学杂志,2009,28(4):762-767.
- [5] 任志远,张艳芳,李晶,等. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京:科学出版社,2003:27-28.
- [6] 陈春丽,吕永龙,王铁宇,等. 区域生态风险评价的关键问题与展望[J]. 生态学报,2010,30(3):0808-0816.
- [7] 付在毅,许学工. 区域生态风险评价[J]. 地球科学进展,2001,16(2):267-271.
- [8] 于飞,谷晓平,袁淑杰,等. 贵州省农业生态安全性评价[J]. 自然灾害学报,2011,20(4):165-171.
- [9] 宋国利,臧淑英,钟婷婷. 温州市乐清湾土地利用的生态风险:基于 RS 和 GIS 的分析[J]. 自然灾害学报,2010,19(6):76-85.
- [10] 张思锋,刘晗梦. 生态风险评价方法述评[J]. 生态学报,2010,30(10):2735-2744.
- [11] 雷炳丽,黄胜彪,王子健. 生态风险评价理论和方法[J]. 化学进展,2009,21(2/3):350-358.
- [12] 李谢辉,王磊,李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价[J]. 生态学报,2009,29(10):5523-5534.
- [13] 陈辉,刘劲松,曹宇,等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学报,2006,26(5):1558-1566.
- [14] 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.
- [15] 彭羽,刘雪华,张爽,等. 基于综合生态损失度的顺义区生态风险评价[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(3):366-369.
- [16] 王瑞燕,赵庚星,周伟,等. 县域生态环境脆弱性评价及其动态分析:以黄河三角洲垦利县为例[J]. 生态学报,2009,29(7):3790-3799.
- [17] 魏冶,张哲,修春亮. 煤炭城市转型中的社会空间结构:以阜新为例[J]. 地理科学,2011,31(7):850-857.
- [18] Dearfield K L, Bender E S, Kravitz M, et al. Ecological risk assessment issues identified during the U. S. Environmental Protection Agency's examination of risk assessment practices [J]. Integr Environ Assess Manag,2005,1(1):73-76.



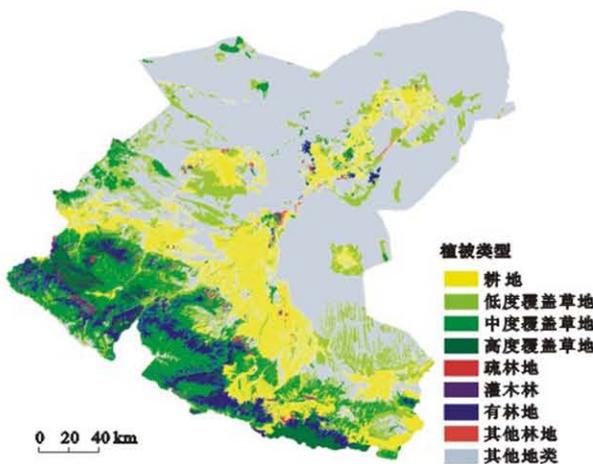
附图1 靖边县1990年各土地利用类型转变为2010年耕地、林地、草地的情况



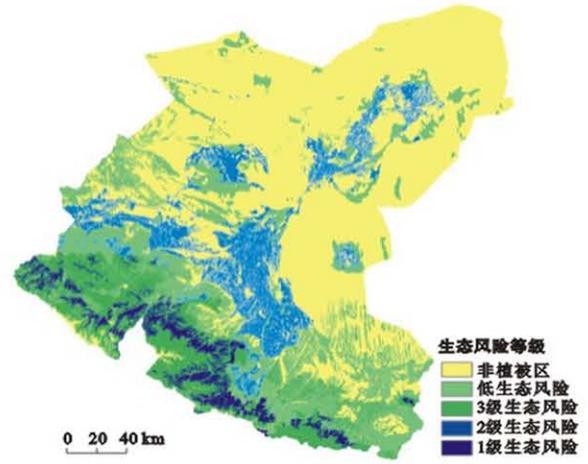
附图2 1989, 2007年盐池县北部风沙区土地利用类型分布



附图3 1980年和2005年关中-天水经济区土地利用景观



附图4 石羊河流域植被类型空间分布



附图5 石羊河流域生态风险等级空间分布