

基于景观格局和土壤侵蚀敏感性的兰州市生态脆弱性评价^①

潘竟虎¹, 任梓茵²

(1 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 以兰州市为研究对象, 选取分离度、分维倒数、破碎度 3 个景观格局指标和土壤侵蚀敏感性指数, 构建景观类型脆弱度和区域生态脆弱度模型, 利用连续覆盖全市的格网进行空间系统采样, 生成生态脆弱度空间分布图, 将景观格局与生态系统敏感性相结合并利用 GIS 技术对兰州的生态环境进行综合定量的分析和评价。结果表明: 研究区草地的景观类型脆弱度最大, 耕地次之, 水域最小; 相关分析显示, 景观类型脆弱度与破碎度和土壤侵蚀敏感性之间存在着显著的正相关关系, 能较好反映区域生态环境问题; 区域生态环境脆弱性分区的空间分布与客观实际吻合良好。研究结果可为区域生态环境的建设提供科学依据和有益的实践指导。

关键词: 生态脆弱度; 景观格局; 生态敏感性; 兰州市

中图分类号: X171.4

生态脆弱性与生态环境的稳定性相对应, 是在特定空间区域内, 在自然或人类活动的驱动下, 生态环境所表现出的易变性。随着人类开发自然活动的不断加剧与升温, 以气候变化和土地利用变化为代表的全球环境变化日益凸显, 脆弱性和适应性评价是识别和评估气候变化对自然和人类系统有害或有益影响的重要手段^[1]。对生态环境脆弱性评价研究, 不仅是对环境评价理论的完善, 同时对区域开发、经济结构调整、生态环境建设与保护, 都将具有十分重要的理论和现实意义。20 世纪 90 年代以来, 国内外对生态脆弱性评价展开了广泛而深入的研究, 评价方法多采用模糊综合评判法、SRP 模型、AHP 法、空间主成分分析法等^[2-5], 但在评价指标的选取、指标的权重赋值、脆弱性等级的划分等方面尚未形成统一的观点。且多偏重于单因素评价或多因素综合定性评价。景观既是生物的栖息地, 更是人类的生存环境, 具有高度的综合性和明显的地域性。景观空间结构是大小和形状不同的景观斑块在空间上的排列, 是景观异质性的具体体现, 同时又是各种生态过程在不同尺度上作用的最终结果。一些学者从景观视角挖掘格局信息与生态环境脆弱性之间的内在关联性, 建立景观信息与区域生态环境响应之间的联系, 为区域生态脆弱性评价提供了新的研究方法思路^[6-9]。考虑到兰州市的主要生态环境问题是水土流失, 本文从景观格局与生态系统敏感性

相结合的角度探讨区域生态环境问题, 使区域生态脆弱度量化、空间化, 分析其生态脆弱性的空间格局并提出保护对策, 以期对区域环境整治、资源利用和可持续发展提供有益的现实指导。

1 研究区概况与研究数据

兰州市地处陇中黄土高原, 位于 102°36′ ~ 104°34′E, 35°35′ ~ 37°7′N (图 1)。地势西北高、东南低, 中间为主城区河谷盆地, 海拔 1450 ~ 3680 m。属于典型的大陆性干旱气候, 雨量少而集中, 年变化率大, 年均降雨量 324.8 mm, 年蒸发量 1486 mm, 年均气温 9.3℃。土地面积 13 247.25 km², 辖 5 区 3 县, 总人口 361.62 万 (2010 年)。市域植被覆盖率低, 温带草原、干草原、次生荒漠草原广布, 水土流失严重。市区南北两山对峙, 形成了南北窄、东西长的带状城市, 静风率高, 空气污染严重。区内山高坡陡, 沟壑纵横。草地是区域景观的基质, 但大部分是覆盖度极低的荒草地, 林地主要分布在南部的兴隆山-马寒山山地, 黄河横穿市域。

数据源为兰州市 2008 年的 Landsat TM 卫星遥感影像, 轨道号为 130/35 和 131/35, 成像时间为 2008 年 8 月 21 日, 无云, 质量较好。还包括 DEM (栅格大小为 60 m)、1:25 万基础地理数据、1:50 万土壤类型图、多年降雨资料。在 Erdas 软件中完成图

^①基金项目: 国家自然科学基金项目 (41061017) 资助。

作者简介: 潘竟虎 (1974—), 男, 甘肃嘉峪关人, 博士, 副教授, 研究方向为环境遥感与土地利用。E-mail: panjh_nwnu@nwnu.edu.cn

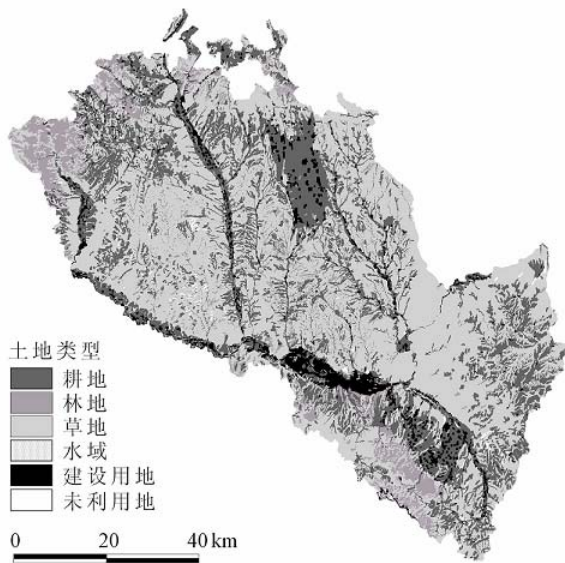


图 1 兰州市土地利用景观

Fig. 1 Land use landscape in Lanzhou

像预处理, 包括辐射校正、几何校正、边界裁剪、波段组合等。在 ArcGIS 软件中对遥感影像进行人工目视判读, 提取土地覆盖信息 (图1)。土壤侵蚀敏感性栅格图借助通用土壤流失方程, 综合考虑降水侵蚀力、地貌坡度坡长、植被与土壤质地等因素, 运用 GIS 栅格地图代数计算求得, 具体过程详见参考文献[10]。

2 研究方法

2.1 景观脆弱度指数构建

利用景观类型结构信息及不同景观类型对外界的响应特征, 构建景观类型脆弱度指数。

2.1.1 景观指标的选取 景观格局是景观空间异质性的具体表现。选择能反映生态环境脆弱性特征的分离度 (FI)、分维倒数 (FD) 和破碎度 (FN) 指标来进行区域生态脆弱性评价。分离度是指某一景观类型中不同斑块个体的分离程度, 分离度越大, 表明景观类型在地域上越分散, 其稳定性越差。其公式为^[11]:

$$FI = D_i / S_i \quad (1)$$

式中, FI 为景观类型 i 的分离度; D_i 为景观类型 i 的距离指数; $S_i = A_i / A$, $D_i = \frac{\sqrt{n/A}}{2}$; A 为景观总面积, A_i 为景观类型 i 的总面积, n 为景观类型 i 中的斑块总数。

分维数是分维变量的维度, 反映了在一定的观测尺度上斑块和景观格局的复杂程度。通过斑块的特征来反映景观格局特征, 采用面积-周长法来测定, 分维数一般处于 1~2 之间, 其值愈趋近于 1, 则斑块的几

何形状愈趋于简单、规则, 表明受干扰的程度愈大; 反之, 愈趋近于 2, 斑块的几何形状愈复杂, 自然度越强。故取分维数倒数来反映景观类型受干扰的程度, 其值越高, 表示干扰越强烈。其公式为^[11]:

$$FD = \frac{1}{2 \ln(P/4) / \ln A} \quad (2)$$

式中, FD 为分维倒数; P 为斑块周长; A 为斑块面积。

景观斑块数破碎化指数可反映景观类型受干扰的程度, 其值越高, 受干扰越强烈。这里选用各类景观的斑块数破碎化指数计算, 其公式为^[12]:

$$FN = MPS(N_f - 1) / N_c \quad (3)$$

式中, FN 为某景观类型的破碎化指数, $FN \in [0, 1]$, 0 表示景观完全未被破坏, 1 表示景观被完全破坏; MPS 由景观内所有斑块的平均面积除以最小斑块面积得到; N_f 为景观里景观斑块的总数; N_c 为研究区景观总面积除以最小斑块面积所得值。各格局指数的计算使用 Fragstats3.3 软件基于 ArcGIS 环境完成。

2.1.2 土壤侵蚀敏感性指数的选取及意义 景观格局指数是对景观类型结构特征的总体描述, 不同景观类型可能具有相同或者相似的格局特征, 仅仅依赖景观格局信息不足以充分说明生态环境脆弱性问题。为此, 选取研究区土壤侵蚀敏感性指数参与评价。研究区各景观类型的土壤侵蚀敏感性指数的计算公式为^[6]:

$$SW_i = \sum_{j=1}^m \frac{A_{ij}}{A_i} \gamma_j \quad (4)$$

式中, SW_i 为 i 景观类型的土壤侵蚀敏感性指数; A_{ij} 表示 i 景观类型分布在 j 土壤侵蚀敏感级上的面积; A_i 为 i 景观类型总面积; W_{ij} 为 i 景观类型相对于 j 土壤侵蚀敏感级的权重, 计算时根据敏感级, 按照 1、3、5、7、9 确定相对权重级别, 并以各级权重和为 1 的原则进行; j 为土壤侵蚀敏感级; i 为景观类型; m 为土壤侵蚀敏感级的总级别个数 (图 2)。

2.1.3 景观类型脆弱度指数的计算 不同的景观类型在维护生物多样性、保护物种、完善景观结构、促进景观整体功能的发挥等方面的作用不同; 同时, 不同的景观类型对外界干扰的敏感性和抵抗能力也不同。根据景观格局指数的生态学意义及其与生态环境响应间的联系, 对格局指数和土壤侵蚀敏感性指数采用多级加权求和法实现区域景观类型脆弱度评价^[12]:

$$VI_i = \alpha \times FI_i + \beta \times FD_i + \gamma \times FN_i + \delta \times SW_i \quad (5)$$

式中, VI_i 表示景观类型 i 的脆弱指数; FI_i 指景观类型 i 的分离度指数; FD_i 指景观类型 i 的分维数倒

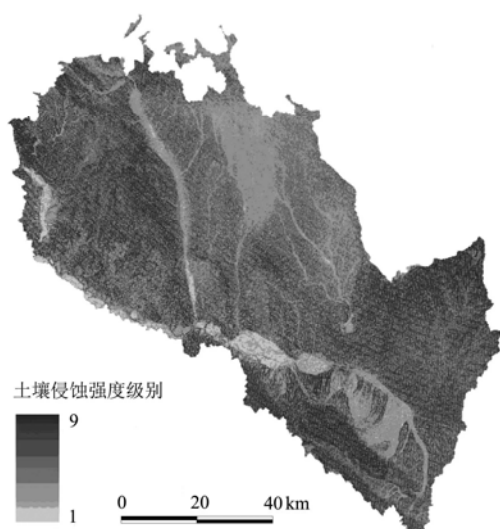


图2 兰州市土壤侵蚀敏感性综合评价图

Fig. 2 Integrated assessment of soil erosion sensitivity in Lanzhou

数; FN_i 指景观类型 i 的破碎度; SW_i 指景观类型 i 的土壤敏感性指数; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 为各景观指数的权重。

2.2 区域生态脆弱度指数的构建

景观类型脆弱度指数只反映了各景观类型的脆弱度, 为了对景观类型脆弱度指数进行空间化分析, 反

映出生态脆弱程度的空间格局特征, 利用景观类型脆弱指数与各景观类型面积的比重, 构建了区域生态脆弱度指数 EVI , 计算公式如下^[13]:

$$EVI = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{TA} \times VI_i \quad (6)$$

式中, A_i 为采样地中第 i 类景观类型的面积, TA 为样地的总面积, VI_i 为景观类型 i 的脆弱度指数。

3 结果与分析

以土地利用现状为基础, 将全区划分为耕地、林地、草地、建设用地、水域以及未利用地等 7 种景观类型。数据处理主要在 ArcGIS 9.2 软件中完成。

3.1 不同景观的脆弱度分析

3.1.1 不同景观的脆弱度定量分析 用 ArcGIS 软件统计各景观类型的斑块数、面积、周长, 然后确定权重。在敏感性指数计算中不同敏感级的权重是根据敏感级别的划分先按 1、3、5、7、9 确定相对权重级别 (图 2), 之后按各级权重总和为 1 的原则计算, 得到不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极度敏感 5 个权重向量 (0.04, 0.12, 0.20, 0.28, 0.36)。景观类型脆弱度指数计算中的权重值采用熵值法确定, 其权值为 $\alpha = 0.2219$, $\beta = 0.1201$, $\gamma = 0.2174$, $\delta = 0.2220$ 。最后根据上述公式计算出相应的指数值, 结果见表 1。

表1 景观类型脆弱度指数

Table 1 Vulnerability indexes of landscape types

脆弱度指数	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
分离度 (FI)	0.000 7	0.001 9	0.000 5	0.007 1	0.004 6	0.012 5
分维倒数 (FD)	0.697 0	0.726 3	0.686 3	0.728 8	0.732 9	0.746 1
破碎化指数 (FN)	0.284 7	0.065 0	0.609 3	0.005 3	0.031 4	0.003 8
侵蚀敏感性 (SW)	0.164 1	0.132 4	0.197 2	0.146 8	0.116 4	0.221 2
类型脆弱度 (VI)	0.543 9	0.530 7	0.593 0	0.518 9	0.520 9	0.542 3

由表 1 可知, 各指数中分维数倒数最大的景观类型是以裸露黄土为主的未利用土地, 其次是建设用地, 这表明未利用土地和建设用地受人为影响较大。兰州市受河谷地形限制, 可利用建设用地有限, 且优质农田与建设用地区高度重叠, 在经济利益驱动下, 未利用地平山造地, 以及未利用地不断受周边园地和建设用地的侵占, 边界人为干扰较为强烈。因区内气候属半干旱区, 为保证生产生活用水, 水域景观除黄河干流外, 多为人工修挖的坑塘、水库, 其形状复杂, 分维数也较高。草地的破碎度最高, 其次为耕地, 且这两种景观类型破碎度与其他地类相差较大, 这充分体现了黄土丘陵沟壑地区农业受地形破碎的影响, 分布

极为破碎。林地破碎度和分离度都较小, 集中成片分布在南部兴隆山-马寒山和西部的连城等地。耕地虽然破碎, 但在区内有集聚分布趋势, 故其分离度很小。未利用地分离度最大, 其次为建设用地, 草地最小。所有这些反映了人类活动对耕地和草地的影响十分强烈, 对未利用地与水域的影响也不小。

研究区各景观类型的脆弱度排序为: 草地 > 耕地 > 未利用地 > 林地 > 建设用地 > 水域。这表明耕地和草地景观类型的系统稳定性不强, 对外界干扰反应敏感, 受外界较大干扰作用后向水土流失和荒漠化方向退化的机率较大, 在粗放的管理与利用条件下易发生退化。耕地除秦王川地区外, 多为山旱地和坡旱地,

干旱缺水,灌溉不便,人为活动强度大,因此成为全市脆弱度最大、土壤侵蚀敏感性最强的景观类型。兰州市草地的面积较大,但其主体是覆盖度极低的荒草地,受气候干旱化影响和长期过度的人为影响,使市域草地系统的生态稳定性大幅度下降,脆弱性增强。各景观类型中未利用地的土壤侵蚀敏感性最强,其次是草地和耕地。

3.1.2 不同景观脆弱度的关联性分析 为进一步探讨景观类型脆弱度与各指数之间的内在关系,采用 Pearson 相关系数来表征,计算过程在 SPSS 统计软件中进行(表 2)。

表 2 脆弱度指数相关性分析

Table 2 Correlation coefficients between vulnerability indexes

脆弱度指数	分离度	破碎度	土壤侵蚀 敏感性	景观类型 脆弱度
分离度 (<i>FI</i>)	0.825*	-0.929	-0.077	-0.737*
分维倒数 (<i>FD</i>)	1	-0.658*	0.294	-0.380
破碎化指数 (<i>FN</i>)	-	1	0.309	0.927*
侵蚀敏感性 (<i>SW</i>)	-	-	1	0.603*
类型脆弱度 (<i>VI</i>)	-	-	-	1

注: * 表示达到 $p < 0.05$ 显著水平(双侧检验)。

表 2 表明,景观类型脆弱度与土壤侵蚀敏感性、景观类型脆弱度与破碎度之间都存在着显著的正相关关系,这说明破碎度与土壤侵蚀敏感性指数对兰州市景观类型脆弱度的影响很大。而分维倒数、分离度则与景观类型脆弱度呈负相关关系,说明这二者对研究区景观类型脆弱度的贡献率较低。土壤侵蚀敏感性与破碎度和分离度也有不显著的正相关性,表明土地沙化与破碎度、土壤侵蚀与人为干扰强度之间有着一定的相关性。

3.2 区域生态环境脆弱性分析

根据研究区面积、景观格局及生态系统的特点,利用区域生态脆弱度指数公式,采用 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 格网全覆盖系统采样法在全市选取 1.3 万个样地,采用区域生态脆弱度模型计算每个格网的综合生态环境脆弱度指数,作为样地中心点的生态环境脆弱度。在此基础上利用 ArcGIS9.2 进行普通克里格法插值,获得市域生态环境综合脆弱度分布图。为了便于制图,在综合分析脆弱度指数构成特点的基础上,采用自然断裂法,划分出生态环境脆弱性分区: I 级区 (EVI 值为 $0.512 \sim 0.533$,下同), II 级区 ($0.533 \sim 0.549$), III 级区 ($0.549 \sim 0.565$), IV 级区 ($0.565 \sim 0.579$), V 级区 ($0.579 \sim 0.593$) (图 3)。

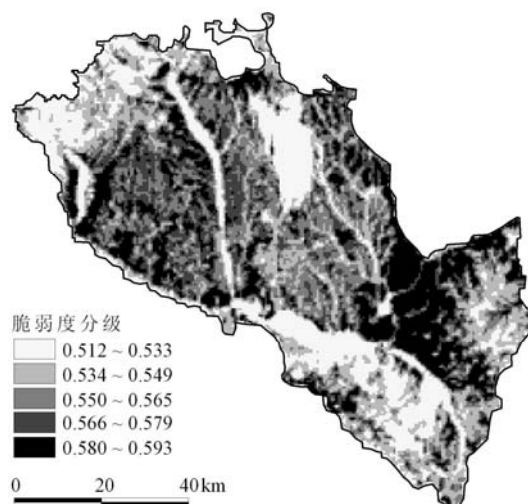


图 3 兰州市生态环境脆弱性分区

Fig. 3 Subregion of eco-environment vulnerability in Lanzhou

结果表明, I 级区面积最小,仅占研究区面积的 3.81%, II 级区约占 10.69%, III 级区约为 16%, IV 级区约为 28.14%, V 级区面积最大,占 42.35%。

从空间分布上看, I 级区主要分布在兰州盆地,即兰州市中心城区,属人类活动密集区,景观破碎度小,整体生态较为稳定。II 级区主要分布在市域河谷盆地和川地,包括秦王川盆地、榆中盆地、湟水谷地、大通河谷地、庄浪河谷地及宛川河谷地等,是兰州市主要的优质农田和蔬菜基地。III 级区分布较为破碎,包括榆中县南部山地和东部丘陵,永登县西部与西北部山地等地。这些地区林地分布较多,但是斑块较为破碎。IV 级区零散分布在 II 级区和 III 级区外围的黄土台地,土地利用类型以旱耕地为主,自然植被稀疏。V 级区覆盖范围最大,多为荒草地和未利用地景观,土壤侵蚀剧烈,水土流失严重。

3.3 生态脆弱性分区保护对策

根据生态脆弱性分区结果,全市被分为 5 级,各等级的主要生态与环境问题不尽相同,因此生态保护和生态建设的对策也有所区别。I 级区域是生态环境不脆弱或微度脆弱区,也是目前兰州市的主城区,人类活动最为频繁的区域,主要生态问题为城市热岛和环境污染,中心城区应扩大绿地面积、提高覆盖率,以建设滨河、交通绿地及居住区绿地为重点,形成较为完善的绿地系统,将南北两山面山脊线以下部分也纳入规划区,扩大绿化发展空间^[14]。II 级区域为生态环境轻度脆弱区,受人类活动影响较大,是兰州市优质农业集中分布的地区,主要生态问题为秦王川和榆中灌区的土壤盐渍化,灌区要加强对水资源利用和农业

灌溉的管理,采用漫灌和滴灌相结合的灌溉方式,并对原有的灌溉输水渠道进行防渗改造,采用秸秆还田、平整土地等措施增强土壤肥力,利用耐盐碱植物改造盐渍化土地;秦王川地区是建设中的兰州新区所在地,应在土地开发利用中加大生态保护力度。Ⅲ级区域为生态中度脆弱区,该区域主要的生态问题是水土流失,应在山前地带开展流域水土保持工程,综合治理土壤侵蚀;并保护和扩大天然林区面积。Ⅳ级区域为生态重度脆弱区,植被稀疏、土壤疏松、水土流失严重,水资源短缺。通过建设绿色通道、交通绿化带、“封育管护”、“退耕还林(草)”等环境友好型模式,逐步恢复其自然灌草植被,提高水土保持能力,改善生态环境。Ⅴ级区域是生态环境极重度脆弱区,应将这些区域划为禁止开发区,加强小流域综合治理,通过土地利用管制和生态保育措施,恢复退化植被,最大限度地减少人为因素造成新的水土流失。

4 结论

从景观视角出发,根据前人经验和研究区实际情况选择了分离度、破碎度、分维倒数和土壤侵蚀敏感性4个指标对兰州市的生态环境脆弱性进行定量分析和评价,结果表明:

(1) 研究结果与本区域实际情况较好吻合,说明本方法能较好地反映区域的生态环境脆弱性程度。兰州市域生态轻度脆弱区主要分布在兰州盆地、秦王川盆地、榆中盆地、湟水谷地、大通河谷地、庄浪河谷地及宛川河谷地等,是兰州市主要的优质农田和蔬菜基地。中度脆弱区包括榆中县南部山地和东部丘陵,永登县西部与西北部山地等地。高度脆弱区主要位于市域大范围分布的黄土丘陵沟壑区。

(2) 各指数间的相关系数表明,景观类型脆弱度与土壤侵蚀敏感性和破碎度之间都存在着显著的正相关关系,而分维倒数、分离度则与景观类型脆弱度呈负相关关系。从景观生态学意义分析,破碎度与土壤侵蚀敏感性指数能很好地反映出人类活动强度对景观类型脆弱性程度的促进作用。分维倒数和分离度的表征效果一般。

(3) 景观类型脆弱度指数包含了景观结构信息和景观类型对外界环境的响应特征,可以准确地反映各景观类型的脆弱性,在此基础上构建的区域生态脆弱

度指数能够较好反映研究区生态脆弱性的空间格局,但个别指标表征效果不是很理想,如何科学地选择评价指标仍需进一步探讨。各驱动因素之间的相互作用机制及其对区域生态脆弱性的综合影响机理也有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 徐广才,康慕谊,贺丽娜,李亚飞,陈雅如.生态脆弱性及其研究进展.生态学报,2009,29(5): 2 578-2 588
- [2] 徐明德,曹露,何娟,李静,王海蓉.基于GIS的生态环境脆弱性模糊综合评价.中国水土保持,2011(6): 19-21
- [3] 刘正佳,于兴修,李蕾,黄玫.基于SRP概念模型的沂蒙山区生态环境脆弱性评价.应用生态学报,2011,22(8): 2 084-2 090
- [4] 李滨勇,陈海滨,唐海萍.基于AHP和模糊综合评判法的北疆各地州生态脆弱性评价.北京师范大学学报(自然科学版),2011,46(2): 197-201
- [5] 徐庆勇,黄玫,陆佩玲,李仁强.基于RS与GIS的长江三角洲生态环境脆弱性综合评价.环境科学研究,2011,24(14): 58-64
- [6] 荆玉平,张树文,李颖.奈曼旗生态脆弱性及空间分异特征.干旱地区农业研究,2008,26(2): 159-164
- [7] 卢远,苏文静,华瑾.基于景观格局和生态敏感性的左江流域生态脆弱性分析.水土保持研究,2011,18(3): 78-82
- [8] 王丽婧,席春燕,付青,苏一兵.基于景观格局的三峡库区生态脆弱性评价.环境科学研究,2010,23(10): 1 268-1 273
- [9] 谢花林.基于景观结构的土地利用生态风险空间特征分析——以江西兴国县为例.中国环境科学,2011,31(4): 688-695
- [10] 潘竞虎,董晓峰.基于GIS的黑河流域生态环境敏感性评价与分区.自然资源学报,2006,21(2): 267-273
- [11] 郭建国.景观生态学——格局、过程、尺度与等级.北京:高等教育出版社,2000
- [12] 徐明德,李艳春,何娟,钮键,李涇妮.区域生态环境脆弱性的“分解-合成”评价分析.地球信息科学学报,2011,13(2): 198-204
- [13] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,唐本安,毕华,余龙师.基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析.生态学报,2007,27(4): 1 257-1 264
- [14] 白芳铭,张松林.兰州生态城市建设对策探讨.安徽农业科学,2007,35(3): 846-847

Analysis on Ecological Vulnerability of Lanzhou Based on Landscape Pattern and Soil Erosion Sensitivity

PAN Jing-hu¹, REN Zi-han²

(1 College of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2 College of Resource and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The ecological vulnerability of Lanzhou was assessed by using a combined landscape pattern and ecosystem sensitivity approach. The vulnerability indexes of landscapes and the suitability indexes of regional ecological environment were developed by using the reciprocal of fractal dimension (FD), isolation (FI), fragmentation (FN), sensitivity of soil erosion (SW). The network covering the whole study area was used to sample the spatial vulnerability of ecological environment, thus, the map of vulnerability distribution of the ecological environment was derived, and the spatial patterns of the vulnerability was analyzed. The results showed that: The vulnerability of various landscape types was in the order of grass land > farmland > unused lands > forest land > construction area > water area; Significantly positive relationships existed between FN and VI (vulnerability of landscape types), SW and VI , and they reflected the eco-environment well; There was a good agreement between the predicted and actual distribution of EVI (ecological vulnerability index) zones. The establishment of relationships between landscape information and the regional ecological responses can offer a better way to analyze and assess regional eco-environment and therefore can offer a better guide for the ecological construction in the region.

Key words: Index of vulnerability, Landscape pattern, Index of eco-sensitivity, Lanzhou