

干旱区县域土地利用规划环境影响的生态安全评价 ——以张掖市甘州区为例

潘竟虎, 石培基, 刘英英

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以干旱内陆河流域典型区域甘肃省张掖市甘州区为研究对象, 通过构建土地利用规划环境影响评价的生态安全综合指数及其评价方法, 并基于 GIS 对研究区进行了土地利用规划前后的环境影响评价。结果表明, 土地利用规划方案实施后, 研究区内没有生态极不安全区分布; 甘州区平均生态安全指数为 2.453, 处于生态较安全等级; 评价结果能反映土地利用规划方案环境影响的空间特征, 便于识别空间差异和主导生态环境问题, 说明构建的生态安全综合指数与评价方法是可行的。

关键词: 土地利用规划; 环境影响评价; 生态安全; GIS; 甘州区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0248-05

中图分类号: X821, F302

Environmental Impacts of Land Use Planning in Arid Area Based on Ecological Security Method — A Case Study of Ganzhou District, Zhangye City

PAN Jing-hu, SHI Pei-ji, LIU Ying-ying

(College of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: By taking Ganzhou District in Gansu Province, a typical region in the arid inland river basin of Northwest China, as a study object and constructing comprehensive ecological security index and its assessment method, environmental impact assessments before and after land use planning were performed based on GIS techniques. Results showed that there was no extremely insecure area in the study region after performing land use planning. The ecological security index in the region was 2.453 on average, corresponding to a relatively secure status. Result from the assessment may depict the spatial characteristics of environmental impacts by land use planning and can be used to identify the spatial variation and the problems influencing ecological environment, which implies that the comprehensive ecological security index and the evaluation method developed in the study are feasible basically.

Keywords: land use planning; environmental impact assessment; ecological security; GIS; Ganzhou District

土地利用规划是国家加强土地宏观调控的基本手段,也是全面建设小康社会和促进社会经济可持续发展的重要保障^[1]。县域土地利用规划环境影响评价(land use planning environmental impact assessment, LUPEA)是对县级土地利用规划方案实施后可能造成的环境影响进行分析、预测和评价,并在此基础上从生态环境角度提出规划的最佳方案及其调整建议,同时提出消除或减缓方案实施后可能产生不利生态环境影响的对策与措施^[2]。通过土地利用规划环境影响评价,将环境问题更为系统地纳入到土地

利用规划中去,从而提高土地利用规划的科学性;同时,可参与县级规划方案的形成,从源头上尽量减少规划对环境产生的不利影响,具有重要的理论与实践意义。

国外早期的 LUPEA 主要集中在项目层次,随后扩展到规划层次和政策层次。中国土地利用规划环评工作开展时间较短,评价理论不够成熟,目前的研究主要集中在 LUPEA 的空间体系分析、评价的内容探讨、评价指标体系和评价方法研究^[3]。但已有研究多遵循项目环境评价的理论方法,对于生态环境效应

收稿日期:2010-12-05

修回日期:2011-04-23

资助项目:国家自然科学基金项目“中国地级以上城市腹地尺度及其空间演变研究”(41061017);西北师范大学知识与科技创新工程项目“干旱内陆河流域土地利用的生态环境效应研究”(NWNNU-KJXGC-03-60)

作者简介:潘竟虎(1974—),男(汉族),甘肃省嘉峪关市人,副教授,博士,研究方向为环境遥感与 GIS 应用。E-mail: panjh_nwnu@nwnu.edu.cn.

尚没有有效的方法,常用的方法如生态适宜度^[4]、生态功能服务价值^[5]、生态足迹^[6]、物元模型^[7]等均存在从单一角度进行评价而难以综合度量、数据较难获取等问题。此外,LUPEA 相对于一般项目环境影响评价拓宽了时空分析范围,更强调环境变化的时空放大作用,而目前的实证研究法只是单纯地考虑规划方案的数量结构,未能考虑其空间格局,通过对土地利用格局评价来进行环境影响评价,可以验证规划方案的空间效果和可实现性。

土地利用/覆盖及其格局的变化是影响区域生态安全最重要的方面^[8-9]。基于生态安全来进行土地利用规划环境影响评价,可以体现土地利用规划格局影响生态学过程的作用机制。在 GIS 支持下进行的基于多源格网数据的空间分析,可利用图形空间叠加和模型运算的定量化评价,实现评价结果全空间区域的定量表达,并且能够方便地实现与土地资源等其他空间数据的叠加分析^[10]。干旱区生态环境脆弱、敏感,本文以干旱内陆河流域的典型区域——甘肃省张掖市甘州区为例,通过构建 LUPEA 的生态安全综合指数及其评价方法,并基于 GIS 对研究区进行规划前后的环境影响评价对比分析,探讨生态安全评价法和多源空间数据分析在 LUPEA 中的应用,以期为县级 LUPEA 的实践提供案例参考和科学借鉴。

1 研究区与数据

张掖市甘州区位于甘肃省西北部的河西走廊中段,介于北纬 38°32′—39°24′,东经 100°6′—100°52′。西南部为祁连山地,东北部为龙首山、合黎山,中部为倾斜平原。平均海拔 1 474 m,黑河贯穿全境。属温带大陆性气候,年平均降水量 144 mm,蒸发量 2 000~2 300 mm。日照时间长,昼夜温差大,年平均无霜期 150 d,全年日照时间为 3 085 h,年平均气温 7.3℃,全区总面积 4 240 km²,人口 50.27 万(2008 年)。土地利用主要的生态环境问题是植被退化、荒漠化、土壤盐渍化和水土流失。

土地利用数据由 Landsat 5 TM 遥感影像人工目视判读提取,影像轨道号为 133/33,成像时间 2007-08-06。利用“6S”模型进行大气校正,在 Erdas 9.3 软件支持下,采用多项式法进行几何校正,在 1:5 万地形图上选择地面控制点,二元二次多项式作为校正模型,采用双线性内插法进行像元重采样,输出 30 m×30 m 大小的像元,RMS 误差在 1 个像元之内。解译结果采取 GPS 定位实地验证,总体分类精度 91.6%。DEM 利用地形图在 ArcGIS 中数字化等高线,插值生成栅格图(GRID),1:5 万标准分幅,像

元大小为 30 m×30 m。坡度数据由 DEM 数据提取。土壤数据由张掖市土壤普查数据数字化得到;气象数据来源于张掖市气象局;地质数据由甘肃省地质局水文二队编绘的河西地区 1:50 万地质图数字化得到。植被覆盖数据通过遥感影像提取 NDVI,由 NDVI 估算获得。

2 研究方法

2.1 土地利用规划方案空间配置

在 GIS 技术支持下,通过用地分区规划、适宜性评价以及线性规划模型的构建,提出了 2020 年甘州区的土地利用规划方案及其空间配置。(1) 以区域土地资源利用的生态系统服务价值最大化为目标函数,资源总量、社会目标等作为约束条件,各土地利用类型的面积作为控制变量,构建线性规划模型进行数量优化。优化后的甘州区耕地 61 595 hm²,园地 19 651 hm²,林地 16 510 hm²,牧草地 4 417 hm²,建设用地 8 830 hm²,其他用地 257 992 hm²。(2) 土地适宜性评价。以土地利用单元作为评价单元,以耕地、园地、林地和牧草地为评价对象,将各因素叠加后的栅格 GRID 作为基本评价单元,计算每一个栅格的适宜性综合指数。(3) 土地利用生态功能分区。在生态环境敏感性和生态系统服务功能重要性评价基础上,对多源空间数据进行叠加,形成生态功能区划背景图,将甘州区划分为南部沿山荒漠草原与旱耕生态功能区、中部灌溉农业与湿地保护生态功能区、北部荒漠戈壁生态功能区。(4) 空间配置。将土地利用分区图、土地利用现状图和土地适宜性评价图叠加,首先根据部门规划安排建设用地,然后按照耕地、园地、林地和牧草地的次序配置其他地类,根据土地利用分区规划和目标,设置查询条件,直到与优化结果接近为止,并给属性表赋值。最后采用单值专题制图功能生成土地利用优化配置图。具体的方法详见参考文献^[11]。

2.2 评价指标体系的构建

本次评价遵循区域性与科学性相结合、综合性和主导因素相结合、指标的完整性和独立性相结合的原则。土地生态安全状况是人为因子和自然因子共同影响的结果,考虑到甘州区面临的主要生态问题是土地沙漠化、土壤盐渍化和水土流失,从研究实际生态问题出发,运用生态敏感性评价方法,借助 RS 和 GIS 技术手段,根据数据的可获取性,按照国务院西部地区开发领导小组办公室和国家环境保护总局发布的生态功能区划技术暂行规程,构建甘州区的生态安全评价指标体系。第 1 层次是目标层(Object)即

土地生态安全综合指数(LEEI);第 2 层次是准则层(Criteria),即体现研究区的主要生态不安全因素:土地沙漠化、土壤盐渍化和水土流失;第 3 层次是指标层(Index),即每一个安全问题主要由哪些具体指标来表达(表 1)。

表 1 甘州区土地利用规划环境影响评价指标

目标层	准则层	指标层
生态安全综合指数	防止土地沙漠化	湿润指数
		大风日数
		土壤质地
	防止土壤盐渍化	植被覆盖度
		干燥指数
		地下水矿化度
	防止水土流失	地形单元
		降雨侵蚀力
		地形起伏度
		土壤质地
		土地利用类型

2.3 指标的空间化

(1) 土地沙漠化指标。利用张掖、山丹、乌鞘岭、民勤、武威、鼎新 6 个气象站点的多年降雨和蒸发数据,插值获得 30 m×30 m 的县域降雨和蒸发 GRID,经比值运算获得湿润指数图。

起沙风天数参照张国平等^[12]的方法,统计 11 月至翌年 5 月中日均风速大于 6 m/s 的天数,空间内插获得。

植被覆盖度以 2007 年 TM 影像为数据源,提取归一化差值植被指数(NDVI),进一步利用 NDVI 获得植被覆盖图,转为 GRID。

土壤质地因子由 1:25 万土壤图,经数字化后提取获得。

(2) 土壤盐渍化指标。在评价时首先根据地下水临界深度(即在 1 年中蒸发最强烈季节不致引起土壤表层开始积盐的最浅地下水埋藏深度)来划分敏感区域,西部地区地下水位小于 5 m 容易盐渍化,采用甘肃省地质局水文二队编绘的地下水埋深图来确定其范围。在此基础上采用蒸发量/降雨量比值、地下水矿化度与地形等因素划分敏感性等级。其中地下水矿化度资料来源于水文地质图;地形因子从 1:50 万河西地区土地类型图提取。

(3) 土壤侵蚀敏感性评价。以 Wischmeier 等^[13]提出的通用水土流失方程 USLE 为基础进行评价,即

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: A——土壤侵蚀量; R——降水侵蚀力值; K——土壤质地因子; L——坡长因子; S——坡度

因子; C——植被覆盖因子; P——农业措施因子。各因子的确定过程如下:

R 因子采用王万忠等^[14]提出的适合干旱区的简便算式:

$$R = \sum_{i=1}^{12} \{1.2157 \times 10^{(1.5 \times \lg \frac{P_i^2}{P} - 0.8188)}\} \quad (2)$$

式中: P_i ——各月平均降雨量(mm); P——年降雨量(mm)。利用张掖气象站的多年降雨纪录资料,借助 ArcView 的创建表面功能,采用样条函数内插法得到全区 R 值分布图。

LS 因子在大尺度区域上很难计算,为此本研究采用地形起伏度值(即地面一定距离范围内最大高差)作为区域土壤侵蚀评价的地形指标,以 1:5 万 DEM 上的每个栅格点作为目标栅格,利用 ArcGIS GRID 模块的 Focalrange 函数,用 3×3 分析窗口对全图逐栅格求取高差,求得地形起伏度的栅格数字矩阵。K 因子由 1:100 万土壤图经数字化后提取获得。C 因子通过遥感影像生成的植被覆盖图自动提取。P 因子是与人类活动密切相关的因子,与生态系统的自然敏感性关系不大,这里不予考虑。将各因子栅格图统一重采样为 30 m×30 m 的格网,且全部转换到 UTM 投影系。

2.4 指标的分级标准

不同指标对各生态不安全因素的影响、贡献程度不同。参考同类区域的研究成果^[9-15],最后确定各单因子安全等级按安全、较安全、欠安全、不安全和极不安全分别赋值为 9,7,5,3 和 1,在具体赋值时,考虑到实际中各因子与生态环境问题间的关系来确定等级(表 2)。

2.5 评价模型

2.5.1 单因子评价模型 从单因子分析得出的生态安全状况,只反映了某一因子的作用程度,要将生态安全状况的区域差异综合地反映出来,必须构建生态安全评价模型。对土壤侵蚀而言,各因子对土壤侵蚀的作用不同,其评价模型为:

$$SS_j = \sum_{i=1}^4 C_i(j) W_i \quad (3)$$

式中: SS_j ——j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数; C_i ——因素敏感性等级值; W_i ——影响土壤侵蚀性因子的权重,根据专家意见汇总,降水、地貌、土壤质地与植被(由土地利用类型确定)权重分别定为 0.25, 0.35, 0.15 和 0.25。

沙漠化和盐渍化模型分别为:

$$DS_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 C_i} \quad (4)$$

$$YS_j = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 C_i} \quad (5)$$

式中: DS_j —— j 空间单元上沙漠化敏感指数;
 YS_j —— j 空间单元上盐渍化敏感指数。

由表 2 确定的生态安全等级,根据上述评价模型,利用 ArcView GIS 的空间叠加分析功能,得到甘州区各生态问题的安全性空间分布图(附图 12—14)。根据得分值,按表 2 的标准划分安全等级。

表 2 甘州区生态安全评价指标的分级标准

评价项目	评价指标	安全	较安全	欠安全	不安全	极不安全
土壤侵蚀	降雨侵蚀力	<25	25~100	100~400	400~600	>600
	土壤质地	石砾、沙	粗砂土、细砂土、黏土	面砂土、壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
	地形起伏度/m	0~5	5~20	20~50	50~100	>100
	土地利用类型	水体、湿地、水田、居民点及工矿用地	有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、高覆盖度草地	中覆盖度草地、地覆盖度草地	旱地	沙地、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地
土地沙漠化	湿润指数	>0.65	0.5~0.65	0.20~0.50	0.05~0.20	<0.05
	大于 6 m/s 大风的天数	<15	15~30	30~45	45~60	>60
	土壤基质	基岩	黏质	砾质	壤质	沙质
	植被覆盖	>70	50~70	30~50	10~30	<60
土壤盐渍化	蒸发量/降雨量	<1	1~3	3~10	10~15	>15
	地下水矿化度/(g·L ⁻¹)	<1	1~3	3~10	10~25	>25
	地形	山区	洪积平原	泛滥冲积平原	河谷平原	闭流盆地
	分级赋值	9	7	5	3	1
	分级标准	>8.0	6.1~8.0	4.1~6.0	2.1~4.0	1.0~2.0

2.5.2 综合评价 由于不同生态安全问题之间是相互独立的,从单一问题分析得出的生态安全状况,不能将区域变异综合地表现出来。为此,将各生态问题专题栅格图层进行地图代数乘积运算,对多个生态安全问题进行综合评价。生态安全综合评价涉及诸多因子,任何因子受影响的程度一旦超过阈值,整体生态安全将受到严重的破坏。而将多个因子的评价结果进行加权求和,在一定程度上将导致单因子评价结果之间的抵消或放大,从而影响区域综合生态安全的评价结果。因此,本研究采用取极大值的方法,取各因子生态安全评价结果(附图 12—14)中的最大值进行综

合评价:

$$I = (S_j)_{\max} \quad (6)$$

式中: I ——生态综合安全评价结果; S_j ——第 j 个因子的安全程度。多因子生态安全综合评价结果仍采用表 2 中的分级标准进行安全程度划分。

3 结果与分析

在上述结果获得的基础上,对研究区 2007 年土地利用规划现状方案和 2020 年土地利用规划方案的生态安全状况进行了综合评价,其结果见表 3 和附图 15—16。

表 3 甘州区土地利用规划前后的生态安全状况对比

类别	土地利用规划前			土地利用规划后		
	面积/km ²	百分比/%	累计百分比/%	面积/km ²	百分比/%	累计百分比/%
安全区	59.39	1.40	1.40	1 237.46	29.19	29.19
较安全区	964.47	22.75	24.15	1 241.07	29.27	58.46
欠安全区	1 347.18	31.77	55.92	678.42	16.00	74.46
不安全区	1 463.04	34.51	90.43	1 083.00	25.54	100.00
极不安全区	405.93	9.57	100.00	0.05	0	100.00
全区平均	—	—	5.03	—	—	2.45

3.1 规划前的生态安全现状

土地利用规划前(2007 年现状)的环境影响评价结果见表 3 和附图 15,可以看出,甘州区极不安全区

和不安全区的面积 1 868.97 km²,占研究区总面积的百分比为 44.08%。其中,极不安全区的面积高达 405.93 km²,而较安全区和安全区的面积占研究区总

面积的百分比仅为 24.15%。因此,研究区生态安全综合状况较严重,并且研究区有 1/2 以上的面积处于土地沙漠化的危害,特别是北部的平山湖乡。此外,中部绿洲地区的土壤侵蚀和南部山地的土壤侵蚀,均需要采取严格的防治措施。

3.2 规划后的生态安全状况

土地利用规划后(土地利用优化格局下)的环境影响结果表明,就空间分布(附图 16)而言,处于生态安全级别的区域主要分布在黑河中游绿洲灌区农业生态区,这些区域拟通过因地制宜地确定农业用地中合理的田、林、草地比例,网格化农田,充分发挥资源利用在时空上的互补性,使整体农业生态环境趋于最优化,如种植业为养殖业提供饲料饲草,养殖业为种植业提供有机肥,各业之间相互促进;压缩水稻等高耗水作物面积,扩大制种玉米、啤酒花、葡萄、番茄等高效经济作物和林草面积,提升农业水资源利用效益,扩大生态安全稳定性。

处于生态较安全级别的区域主要分布在绿洲外围和祁连山前冲洪积扇等区域,这些区域原为欠安全区,在土地利用规划后(土地利用优化格局下),大力保护和恢复林草地资源,防止超载过牧和草场利用季节性不平衡问题;山麓带退耕还草,适当发展特色林果业,扩大园地面积,安全级别提升为较安全区域。生态欠安全区零星散布在全区各地。生态不安全区主要分布在规划前的难利用地(沙地、戈壁、裸岩石砾地、荒草地),经过治理成为封育型草地、人工速生林,同时安排“三北”防护林五期和生态公益林建设等,但这些土地利用类型受气候、水资源、环境等因素制约,就目前实施的常规治理措施,在规划期内很难得到令人满意的结果,因此在土地利用规划后(土地利用优化格局下),大部分沙地和戈壁生态安全状况仍会处在生态欠安全和不安全等级。

3.3 规划期内生态状况的变化

从表 3 可知,在土地利用优化格局下,甘州区平均生态安全指数将由 2007 年规划前的 5.027 降低到 2020 年的 2.453,处于生态较安全等级。各生态安全等级中,生态较安全等级的分布面积最广,达到 1 241.07 km²,占全区总面积的 29.27%;其次是生态安全等级,占全区总面积的 29.19%;研究区内没有生态极不安全区分布。与 2007 年现状进行比较可以看出,土地利用优化格局的生态安全和生态较安全区累计面积约占总面积的 58.46%,而 2007 年二者合计仅为 24.15%,说明在新一轮土地利用总体规划执行的前提下,研究区的生态状况将得到大大改善,规划方案更有利于保障全区生态安全。但值得注意的是,

甘州区到 2020 年仍会有 25.54%的土地处于生态不安全状态,这些区域应当作为远期重点生态保育区。

4 结论

根据甘州区生态环境的特点以及评价的目的,选取适宜的评价指标,构建了生态安全综合指数,并基于 GIS 对研究区进行了土地利用规划前后的环境影响评价,评价结果能反映土地利用规划方案环境影响的空间特征,便于识别空间差异和主导生态环境问题。研究表明,在土地利用优化格局下,甘州区平均生态安全指数可由 2007 年的 5.027 降为 2020 年的 2.453,由生态欠安全等级提升到生态较安全等级。规划实施后,生态安全和较安全区的面积可由原来的 24.15% 提高到 58.46%,全区范围内不再有生态极不安全区。甘州区未来应以维系自然生态系统的完整和功能,维护生态安全为目的,重点做好黑河水资源保护,黑河湿地保护,祁连山—东大山天然林资源保护工程,有效保护和建设好重要生态功能区,进一步实施退耕还林,退牧还草,防护林建设和中南部水土保持流域治理,实现“南保水土,北御风沙,中建绿洲”的生态格局。

本研究仅在区域尺度上从生态安全的视角对研究区土地利用的环境影响状况进行了评价,但区域生态安全受多方面因素的影响,本文所构建的指标体系还存在一定的局限性,有待进一步完善,如生物多样性的保护、地质灾害和自然灾害、大气和水环境问题等,而这些指标的获取及其空间化实现,应当是下一步研究的重要方向。此外,由于土地利用的环境影响具有复杂性和不确定性的特征^[16],引入非线性的数学模型开展多情景模拟和生态预测,无疑具有重要意义。

[参 考 文 献]

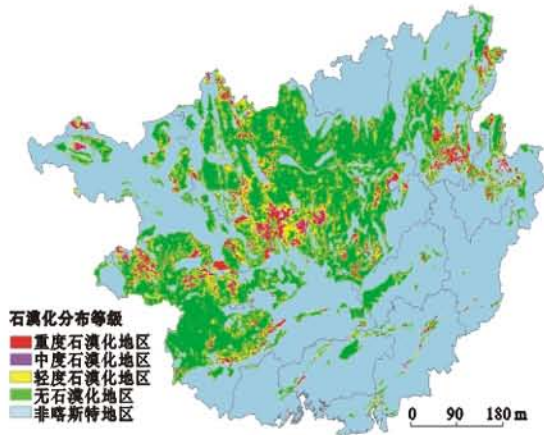
- [1] 董艳艳,王红瑞,张文新,等. 县域土地利用规划环境影响评价[J]. 土壤通报,2007,38(5):833-839.
- [2] 贾冰,李升峰,贾克敬,等. 中国土地利用规划环境影响评价研究评述[J]. 中国土地科学,2009,23(5):76-80.
- [3] 徐慧,林涛,张云鹏. 我国土地利用规划环境影响评价研究进展及展望[J]. 水土保持研究,2009,16(6):147-152.
- [4] 赵珂,吴克宁,朱嘉伟,等. 土地生态适宜性评价在土地利用规划环境影响评价中的应用[J]. 农业资源与环境科学,2007,23(6):586-589.
- [5] 王亚娟,刘小鹏,赵大磊. 基于生态系统服务价值的固原市市辖区土地利用规划环境影响评价[J]. 水土保持研究,2010,17(3):222-226.
- [6] 符海月,李满春,毛亮,等. 基于生态足迹的土地利用规划生态成效定量分析[J]. 自然资源学报,2007,22(2):225-235.

(下转第 261 页)

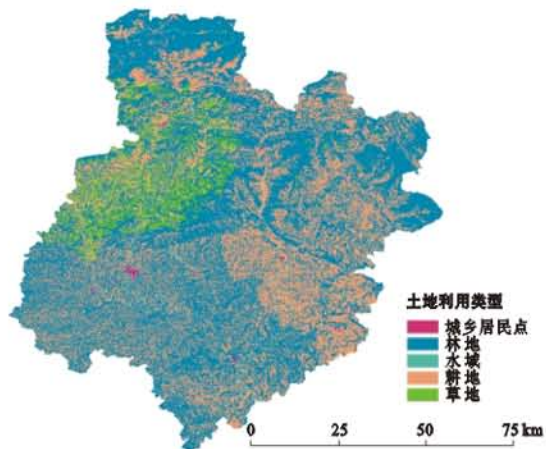
- [2] Fu Bojie, Liu Yu, Lü Yihe, et al. Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China [J]. *Ecological Complexity*, 2011, 8 (4):284-293.
- [3] Liu L, Liu X H. Sensitivity analysis of soil erosion in the Northern Loess Plateau [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2:134-148.
- [4] Fen-Li ZHENG. Effect of vegetation changes on soil erosion on the Loess Plateau [J]. *Pedosphere*, 2006, 16 (4):420-427.
- [5] Wei Jie, Zhou Jie, Tian Junliang, et al. Decoupling soil erosion and human activities on the Chinese Loess Plateau in the 20th Century [J]. *CATENA*, 2006, 68(1):10-15.
- [6] 黄自强. 黄河流域的水土流失及其防治对策[J]. *中国水利*, 2000(5):30-31.
- [7] 范兰, 张光辉. 黄河流域典型支流水土流失对全球气候变化的响应[J]. *水文*, 2010, 30(5):25-31.
- [8] Feng Xiaoming, Wang Yafeng, Chen Liding, et al. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau [J]. *Geomorphology*, 2010, 118(3/4):239-248.
- [9] 魏霞, 李占斌, 沈冰, 等. 陕北子洲县典型淤积过程和降雨关系的研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(9):80-84.
- [10] Yang Mingyi, Tian Junliang, Liu Puling. Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China, using ^{137}Cs [J]. *Soil and Tillage Research*, 2006, 87(2):186-193.
- [11] 刘利年. 黄土高原小流域水土流失综合治理研究[D]. 西安:长安大学, 2004.
- [12] 李海光, 余新晓, 傅恒, 等. 黄土高原第Ⅲ副区小流域降水空间异质性分析[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(5):235-241.
- [13] 邱海军, 曹明明. 黄土高原沟壑区土地利用变化分析:以陕西省洛川县为例[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(5):207-212.
- [14] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 黄土高原土地利用动态变化及其生态效应[J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(2):48-53.
- [15] Zhou Z C, Shangguan Z P, Zhao D. Modeling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 198 (1/2):263-268.
- [16] 焦彩霞, 郑光辉, 孙东敏. 陕北黄土高原土地利用时空趋势变化分析[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3):185-188.
- [17] 佳县地方志编纂委员会. 佳县志[M]. 西安:陕西旅游出版社, 2008:97-205.
- [18] 佳县统计局编. 佳县统计年鉴. 北京:中国统计出版社, 2008-2010.

(上接第 252 页)

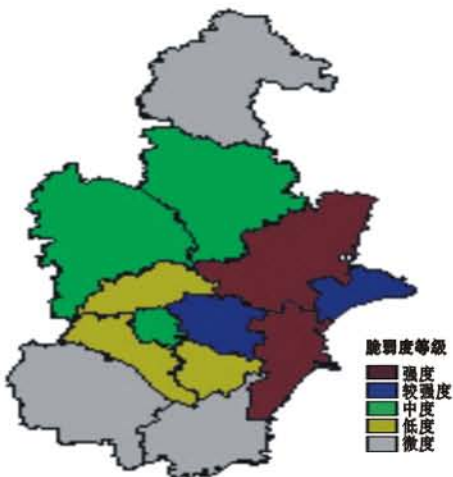
- [7] 刘敏, 周国富, 赵翠薇. 土地利用总体规划环境影响评价研究:以贵州省为例[J]. *西南师范大学学报:自然科学版*, 2009, 34(2):89-96.
- [8] 张强, 薛惠锋, 张明军, 等. 基于可拓分析的区域生态安全预警模型及应用[J]. *生态学报*, 2010, 30(16):4277-4286.
- [9] 谢花林, 李秀彬, 陈瑜琦, 等. 土地利用规划环境影响的生态安全评价方法初探[J]. *资源科学*, 2010, 32(1):57-63.
- [10] 潘竟虎, 石培基, 吕立刚, 等. 基于多源空间数据的土地生态适宜性评价与管制分区[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(1):193-198.
- [11] 潘竟虎, 石培基, 赵锐锋. 基于 LP-MCDM-CA 模型的土地利用结构优化研究[J]. *山地学报*, 2010, 28(4):407-414.
- [12] 张国平, 张增祥, 刘纪远. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(2):146-158.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning [M]. *Agriculture Handbook*. Washington D C: USDA, 1978, 537:1-58.
- [14] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. *水土保持通报*, 1996, 16(5):1-20.
- [15] 潘竟虎, 董晓峰. 基于 GIS 的黑河流域生态环境敏感性评价与分区[J]. *自然资源学报*, 2006, 21(2):267-273.
- [16] 赵源, 彭馥艳. 县级土地利用规划的环境影响评价设计[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(8):964-969.



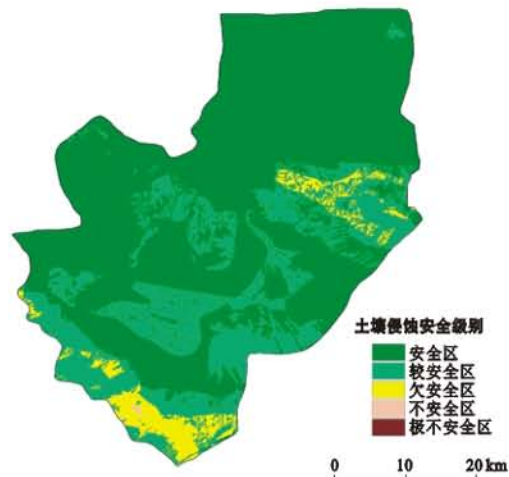
附图9 2007年广西壮族自治区喀斯特石漠化分布



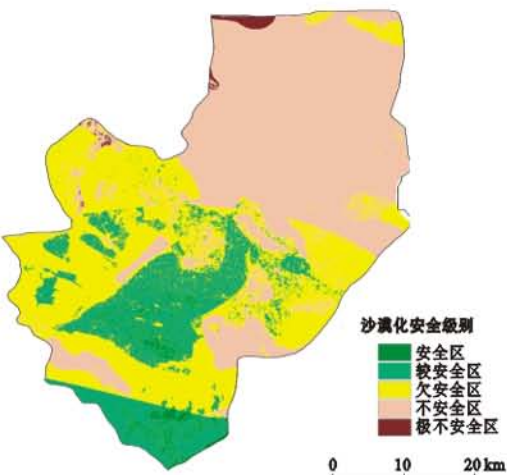
附图10 2007年陕西省巴中市土地利用状况



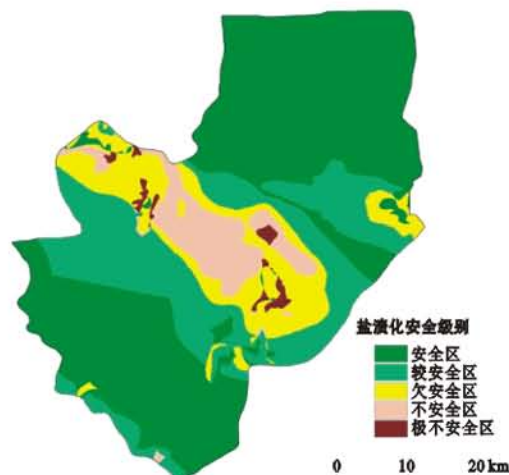
附图11 天津地区洪涝脆弱度等级区划



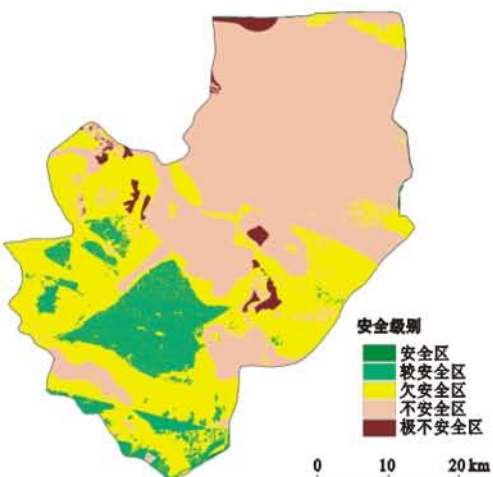
附图12 甘肃省张掖市甘州区土壤侵蚀安全评价分级



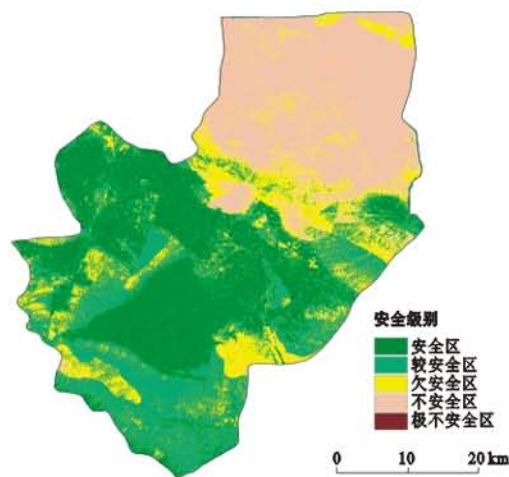
附图13 甘肃省张掖市甘州区沙漠化安全评价分级



附图14 甘肃省张掖市甘州区盐渍化安全评价分级



附图15 甘肃省张掖市甘州区土地利用规划前(2007年)的环境影响评价结果



附图16 甘肃省张掖市甘州区土地利用规划后(2020年)的环境影响评价结果