

四川省成都市生态环境敏感性评价

李咏红^{1,2}, 李岱青^{1,2}, 陈雅琳^{1,2}, 雪梅³, 王丽霞^{1,2}

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 国家环境保护区域生态过程与功能评估重点实验室、
环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 3. 北京东方园林股份有限公司, 北京 100015)

摘要: [目的] 为了明辨四川省成都市现状自然环境背景下的潜在生态问题, 指导区域生态保护和开发。[方法] 在 GIS 空间分析技术的支持下, 选择四种省成都市比较突出的土壤侵蚀、生境和酸雨 3 个生态环境要素建立敏感性评价指标, 对成都市生态环境敏感性进行研究。[结果] (1) 成都市土壤侵蚀以轻度敏感为主, 西部盆周山区是土壤侵蚀最为敏感的区域; (2) 成都市生境敏感性以高度敏感为主, 西部和东部生境敏感性较高, 极敏感区域分布于西北部茶坪山、邛崃山一带; (3) 成都市酸雨以轻度敏感为主, 其次是中度敏感区, 极敏感区主要分布在该市西部海拔 1 650~3 200 m 的针阔叶混交林及高山原始针叶林地区; (4) 成都市生态环境敏感性以不敏感为主, 其次为中度敏感区和极敏感区, 极敏感区域主要分布于西部盆周山区的北部和南部, 分布有龙溪—虹口、白水河等国家级自然保护区。[结论] 研究区高度敏感区和极敏感区主要分布在西部的盆周山区, 是区域生态保护的重点区域。

关键词: 生态环境敏感性; 土壤侵蚀; 生境; 酸雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)01-236-06

中图分类号: X826

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.044

Evaluation on Eco-environment Sensitivity of Chengdu City, Sichuan Province

LI Yonghong^{1,2}, LI Daiqing^{1,2}, CHEN Yaling^{1,2}, XUE Mei³, WANG Lixia^{1,2}

(1. *Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China*; 2. *State Environment Protection Key Laboratory of Regional Eco-process and Function Assessment, State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Beijing 100012, China*; 3. *Beijing Oriental Landscape Shares Co., Ltd., Beijing 100015, China*)

Abstract: [Objective] To distinguish potential ecological problems of natural environment in Chengdu City of Sichuan Province, and guide the regional ecological protection and development. [Methods] Based on GIS spatial analysis, we established the sensitivity evaluation index of soil erosion, biodiversity and acid rain. [Results] (1) Main soil erosion in the study area was light erosion, and extremely high erosion was distributed in the western mountain around the basin. (2) The biodiversity and habitat sensitivity in the study area were generally high, especially in the regions of the western and eastern of Chengdu City. Extremely high sensitive areas were distributed in Chaping and Qionglai Mountain areas of Northwest Chengdu City. (3) The acid rain in the study area was generally low sensitive, followed by the moderate sensitive areas. Extremely high sensitive regions were mainly distributed in the areas that was at an elevation of 1 650~3 200 m in the west of Chengdu City with the coniferous, broadleaf mixed forest and original coniferous forest. (4) The eco-environment sensitivity was mainly non-sensitivity, followed by moderate sensitive areas and extremely high sensitive areas. Extremely high sensitive areas were mainly distributed in the northwest and southwest mountain areas around the basin, including the Longxi, Hongkou, Baishuihe national nature reserve. [Conclusion] Highly sensitive and extremely sensitive areas are mainly distributed in the western mountain areas around the basin, these regions are the key areas of regional ecological protection.

Keywords: eco-environment sensitivity; soil erosion; biodiversity and habitat; acid rain

收稿日期: 2013-09-26

修回日期: 2013-11-21

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目“西南山区旅游型村镇环境综合整治和景观一体化技术集成与示范”(2012BAJ21B08); 环境保护部项目“成渝经济区重点产业发展战略环境评价研究”[环科字 2010 第(4)号]

第一作者: 李咏红(1973—), 女(汉族), 河北省唐山市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事景观生态学研究。E-mail: yoholi@126.com。

通信作者: 李岱青(1970—), 女(汉族), 山东省德州市人, 硕士, 副研究员, 主要从事生态学研究。E-mail: lidq@cras.org.cn。

随着城市化进程的加快和区域经济的快速发展,人类对自然生态环境的影响程度和范围都在不断加大,并由此引发了一系列的区域生态环境问题,如土壤侵蚀、生境破坏和酸雨等。这些生态环境问题严重地威胁着人类的生存环境和区域社会经济的可持续发展^[1]。生态敏感性评价实质上是对现状自然环境背景下的潜在生态问题进行明确辨识,并将其落实到具体空间区域上的过程^[2]。生态环境敏感性越高的区域,当受到人类不合理活动影响时,就越容易产生生态环境问题,因此生态敏感性评价是区域生态环境保护和建设的重要方法之一。

国内学者对生态环境敏感性方面的研究做了大量的工作,欧阳志云等^[1]研究了中国生态环境敏感性及其区域差异规律,刘康、李东梅和朱志玲等^[2-8]分别对甘肃省、云南省和宁夏自治区等做了生态环境敏感性评价。另外有许多学者在土壤侵蚀敏感性、酸雨敏感性、生境敏感性方面做了很多的研究^[9-14]。但生态环境敏感性评价对国家尺度或省级尺度的生态环境敏感性分析的较多,地市级(县域)尺度区域生态敏感性研究较少;另一方面,多集中在对某一种生态环境要素的敏感性的分析,生态环境敏感性的综合评价较少。目前生态环境敏感性评价的指标体系是基于国家尺度或省级尺度建立的,地市级尺度上的生态敏感性评价方法正处于研究探索阶段,已有研究中采用的指标体系也相差迥异,还未形成统一的标准,然而地市级尺度上的生态敏感性研究主要针对当地的生态环境问题,对生态环境保护与区域开发更具指导意义。

成都市是中国西南地区科技、商贸、金融、教育中心和交通、通信枢纽。随着西部大开发战略不断推进,全国统筹城乡综合配套改革试验区建设深入发展,成都市城镇化、工业化进程将不断加快,面临保障区域环境和生态安全等一系列重大挑战。2009年,成都市委、市政府总结城乡统筹实践,确立了建设“现代生态田园城市”的历史定位、长远目标和战略步骤,因此区域生态保护和建设就变得尤为重要,亟待开展生态环境敏感性评价指标体系的构建与实证研究。

本文以成都市域范围为研究区域,基于 RS 与 GIS 技术,选择研究区比较突出的土壤侵蚀、生境和酸雨 3 个生态环境要素建立敏感性评价指标体系,对成都市生态环境敏感性进行研究,分析生态环境敏感性的区域分异规律,明确特定潜在的生态环境问题可能发生的地区范围与可能程度,以便更好地为该区制定生态环境保护和建设规划,为建设现代生态田园城市奠定良好的基础。

1 研究区概况

成都市位于四川盆地西缘的成都平原上,龙门山脉、邛崃山脉与成都平原和川中丘陵的交接地带,地跨东经 $102^{\circ}54'$ — $104^{\circ}53'$ 和北纬 $30^{\circ}5'$ — $31^{\circ}26'$ 。地势由西北向东南倾斜,东西长 192 km,南北宽 166 km。研究区范围为成都全域,总面积 $12\,121.28\text{ km}^2$,全市总人口为 1 179 万人。成都属亚热带湿润季风气候区,年均温度在 $15.2\sim 16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量为 $900\sim 1\,300\text{ mm}$,地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林,境内河流众多,分属岷江和沱江两大水系。近年来,区域内还面临着水土流失,生物多样性减少,森林生态网络不完善等生态环境问题。

根据土地利用总体规划,成都市行政辖区总面积为 $12\,121.28\text{ km}^2$,其中耕地面积为 $4\,239\text{ km}^2$,林地 $3\,186\text{ km}^2$,草地 154.62 km^2 ,其他农用地面积 $1\,130.3\text{ km}^2$,水域 309.45 km^2 ,建设用地 $2\,105\text{ km}^2$,其他用地 251.65 km^2 。土地利用面积从大到小顺序为耕地、林地、建设用地、水域、草地。

成都市域范围内分布有龙溪—虹口、白水河国家级自然保护区及鞍子河、黑水河省级自然保护区,保护区面积 $1\,131.3\text{ km}^2$,主要保护对象为大熊猫、金丝猴、珙桐、红豆杉等珍稀动植物。

2 数据来源

遥感数据为 2000 和 2009 年的 Landsat TM 影像,分辨率为 30 m,采用 ERDAS 8.5 软件对遥感图像进行几何校正,采取最暗像元法进行大气校正,消除大气散射对辐射失真的影响,将像元灰度值转化为地物光谱反射率;以 $1:50\,000$ 数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据为基础进行地形校正。结合实地调查,建立遥感解译标志,应用图像处理软件,采用人机交互的监督分类方法进行解译。按照《土地利用现状调查技术规程》要求的方法和步骤提取土地利用类型现状,将其分为旱地、水田、有林地、疏林地、灌木林地、其他林地、高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地、河渠、湖泊、坑塘、滩地、农村居民点、城镇用地、裸土地、裸岩石砾地等类型。另外还有 $1:25$ 万成都市基础数据,包括市域范围内的行政边界矢量图、水系、植被类型和土壤类型矢量图等。

成都市气象局提供的研究区 30 个气象站点的月均降雨量、平均温度、相对湿度等气象要素统计数据(1980—2010 年),根据气象站点的数据,参考相关资料计算出各站点降雨侵蚀力、多年平均降水量和最大可蒸发量,利用 GIS 进行空间内插,生成研究区降雨

侵蚀力、多年平均降水量和最大可蒸发量空间分布图。

3 研究方法

本文借助 GIS 技术,在借鉴已有的研究成果的基础上,结合成都市的自然和社会经济实际情况,参照国家环保部颁发的《生态功能区划技术暂行规程》^[15],选择研究区比较突出的土壤侵蚀、生境和酸雨 3 个生态环境要素建立敏感性评价模型,对成都市生态环境敏感性进行分析,揭示研究区生态环境敏感性的空间分布特征。

3.1 土壤侵蚀敏感性综合评价

土壤侵蚀是中国主要生态破坏现象之一,它破坏土地资源,造成淤积、干旱、洪涝等灾害,导致生态环境恶化,严重威胁着人类的生存和发展。土壤侵蚀敏感性是指在自然状况下,发生土壤侵蚀的可能性的

大小,土壤侵蚀敏感性评价是为了识别容易形成土壤侵蚀的区域,评价土壤侵蚀对人类活动的敏感程度。参考国内外土壤侵蚀敏感性评价的研究方法^[16-18]和成都市的实际情况,确定影响土壤侵蚀的各因素敏感性等级(表 1),并结合成都市的实际情况,选取降水冲蚀力 R 值、土壤类型、地形起伏度和植被类型与地表覆盖因子为评价指标。研究中借鉴李月臣等^[9]研究成果,采用 1—12 月多年月均降雨量计算研究区各气象站点降雨侵蚀力,经误差修正后得到降雨侵蚀力的空间分布图。按表 1 中的土壤类型、地形起伏度因子和植被覆盖因子的分级标准绘制土壤侵蚀的各因子敏感性分级图;根据各因子的分级及赋值,利用 ArcGIS 的空间叠加功能计算土壤侵蚀敏感性指数,计算公式如公式(1):

$$S_j = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n C_k} \tag{1}$$

式中: S_j —— j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数; C_k ——第 k 项指标的敏感性等级值; n ——因子数。

表 1 土壤侵蚀敏感性分级标准

敏感性 分级	降水侵蚀力/ ($J \cdot m^{-2}$)	土壤类型	地形起伏 度/m	地表覆盖	分级赋值	分级标准
不敏感	<225	水稻土	0~20	水体、滩地、稻田	1	1.0~2.0
轻度敏感	225~250	新积土、山地草甸土、潮土	20~50	阔叶林、针阔混交林、针叶林、高覆盖度草地	3	2.1~4.0
中度敏感	250~275	棕壤、暗棕壤、石灰(岩)土	50~100	灌丛、稀疏林地、中低覆盖度草地	5	4.1~6.0
高度敏感	275~300	黄壤、黄棕壤、黄褐土	100~300	旱地	7	6.1~8.0
极敏感	>300	紫色土	>300	无植被	9	>8.0

3.2 生境敏感性评价

生物多样性及生境敏感性是指重要物种的栖息地对人类活动的敏感程度。重要物种通常指被国家或地方列为重点保护的野生动、植物。这些动、植物受自然原因或人为因素的影响,成为繁殖力低下种群,数量稀少,分布区狭窄,而且又多具有较高的经济利用价值或科学文化意义,因此在自然界中显得特别珍贵稀有。一个地区,国家和地方的重点保护物种越多,分布越普遍,其生境(栖息地)受人为活动的影响

就越大,即生境对人类活动就越敏感。

成都市境内分布着大量的受保护动植物,根据区域内地表植被的敏感性分析、国家级保护物种对象及其保护等级来计算生境敏感性指数来衡量敏感程度,敏感性指数主要考虑国家一、二级保护种数量和存在状况(濒危物种数),具体计算公式为:

敏感性指数 = 区域内国家一级保护特种数 $\times 0.7$ + 区域内国家二级保护特种数 $\times 0.3$,生境敏感性评价标准见表 2 和表 3。

表 2 植被类型敏感性分级

生态系统类型	敏感度	分级赋值
落叶阔叶林,常绿落叶阔叶混交林,常绿阔叶林	极敏感	9
暖性针叶林,针阔混交林,常绿灌丛、灌草丛,典型草甸	高度敏感	7
温性针叶林,落叶灌丛、灌草丛,沼泽化草甸	中度敏感	3
竹林,经济林类	轻度敏感	2
大田作物,果园林类,其他	不敏感	1

表 3 生境敏感性评价标准

生境敏感性指数	生境敏感性程度	生境敏感性指数	生境敏感性程度
>15	极敏感	2~5	中度敏感
8~15	高度敏感	<2	不敏感
5~8	中度敏感	—	—

3.3 酸雨敏感性评价

生态系统对酸雨的敏感性,是整个自然生态系统对酸雨的反应程度,是指生态系统对酸雨间接影响的相对敏感性,即酸雨的间接影响使生态系统的结构和功能改变的相对难易程度,它主要依赖于与生态系统的结构和功能变化有关的土壤物理化学特性,与地区的气候、土壤、母质、植被及土地利用方式等自然条件都有关系。依据文献[15]以及研究区的实际情况,确定酸雨敏感性综合评价指标见表 4。酸雨敏感性指数计算公式为:

$$ADI_j = \sum_{i=1}^4 W_i X_i \quad (2)$$

式中: ADI_j —— j 空间单元酸雨敏感性指数; W_i —— i 因子的权重; X_i —— i 因子的贡献率。最后根据周修萍等[14] 权体系进行评价,酸雨敏感性等级划分见表 5。

表 4 酸雨敏感性评价指标

评价因子	贡献率	评价指标	权重
岩石类型	1	I _A 组岩石	1
		II _B 组岩石	0
土壤类型	1	I _A 组土壤	1
		II _B 组土壤	0
植被与土地利用	2	I 针叶林	1
		II 灌丛、草地、阔叶林、山地植被	0.5
		III 农耕地	0
水分盈亏量 (P-E)	2	I >600 mm/a	1
		II 300~600 mm/a	0.5
		III <300 mm/a	0

注(1) P 为降水量; E 为最大可蒸发量。(2) A 组岩石:花岗岩、花岗片麻岩、变质岩、第四纪堆积物; B 组岩石:砂岩、页岩、碎屑岩、石灰岩、白云石、轻度中性盐到超基性火山岩。(3) A 组土壤:黄棕壤、黄褐土、暗棕壤黄壤; B 组土壤:褐土、棕壤、草甸土、紫色土、棕色针叶林土、石灰土、沼泽土、草甸土、水稻土。

表 5 酸雨敏感性等级划分

敏感性指数	0~1	2~3	4	5	6
敏感性等级	不敏感	较不敏感	中等敏感	敏感	极敏感

3.4 生态环境敏感性分析

从单因子分析得出的生态环境敏感性,只反映了某一因子的作用程度,没有反映生态环境敏感性的区

域特征。必须将上述各项因子叠加计算才能得到生态敏感性综合评价图,生态敏感性指数计算公式如下:

$$ES_j = \sum_{i=1}^4 W_i F_i \quad (3)$$

式中: ES_j —— j 空间单元生态环境敏感性指数; W_i —— i 生态环境因子的权重,采用层次分析法,结合咨询专家意见,确定土壤侵蚀因子为 0.338,酸雨敏感性因子 0.125 和生境敏感性因子 0.537; F_i 为 i 生态环境因子敏感性等级值。利用地理信息系统软件中的空间叠加分析功能,计算生态敏感性指数,然后采用自然分界法将 ES 分为 5 级,自然分界法是利用统计学最优化法得出的分界点,能够使各级的内部方差之和最小,最后绘制出生态环境敏感性综合评价图。

4 结果分析

4.1 土壤侵蚀敏感性评价

成都市土壤侵蚀敏感性以轻度敏感和不敏感为主,极敏感区域面积为 298.23 km²,占市域总面积的 2.46%;高度敏感区面积为 1 373.03 km²,占市域总面积的 11.32%;中度敏感区面积为 2 482.62 km²,占市域总面积的 20.48%;轻度敏感区面积为 3 130.76 km²,占市域总面积的 25.83%;不敏感区面积为 4 836.98 km²,占市域总面积的 39.90%。

土壤侵蚀敏感性存在显著空间差异(附图 16)。成都市土壤侵蚀主要为不敏感区,其次为轻度和中度敏感区。极敏感和高度敏感区域主要分布于在西部盆周山区。山体主要由侏罗系、白垩系红色砂、泥岩构成,土质为紫色土。山坡较陡,土质偏沙且湿度较大,冲刷强烈;中度敏感区主要分布于西部、西北部山区及深丘地区;轻度敏感区主要分布于盆地内植被良好的浅丘平台黄壤地区;不敏感区域分布于龙门山与龙泉山之间的平原地区。

4.2 生境敏感性评价

成都市生境敏感性以高度敏感和不敏感为主,极敏感区域面积为 1 220.22 km²,占市域总面积的 10.06%;高度敏感区面积为 2 085.19 km²,占市域总面积的 17.20%;中度敏感区面积为 626.92 km²,占市域总面积的 5.17%;轻度敏感区面积为 575.60 km²,占市域总面积的 4.75%;不敏感区面积为 7 613.49 km²,占市域总面积的 62.81%。

生境敏感性空间分布如附图 17 所示,成都市西部、西北部茶坪山、邛崃山一带是大熊猫、扭角羚、金丝猴、珙桐、水杉等珍稀濒危动植物生存的生境,为极

敏感和高度敏感地区。东部龙泉山系一带丘陵地区,有黑颧、金雕等珍稀特种,沱江流域河道生境、龙泉湖水库、宝狮口水库等湿地生境,为生态中度和轻度敏感区。中部成都平原区人类活动久远,区域内栖息的珍稀物种数量极少,为生境不敏感区。

4.3 酸雨敏感性评价

成都市共有 11 个土类,其中平原地区以水稻土为主,丘陵低山地区以紫色土为主,山地主要为黄壤、黄棕壤、暗棕壤、棕色针叶林土、亚高山草甸土等。土壤以中性偏碱性为主,pH 值大于 6.5 的土壤占总面积的 61.9%。

成都市酸雨敏感性以轻度敏感为主,极敏感区域面积为 1 410.04 km²,占市域总面积的 11.63%;高度敏感区面积为 1 281.44 km²,占市域总面积的 10.57%;中度敏感区面积为 1 785.77 km²,占市域总面积的 14.73%;轻度敏感区面积为 6 838.97 km²,占市域总面积的 56.42%;不敏感区面积为 805.61 km²,占市域总面积的 6.65%。

根据表 4 的评价因子的权重和贡献率,通过 GIS 叠加运算形成成都市酸雨敏感性分布图(附图 18)。成都市酸雨极敏感区主要分布在本市西部海拔 1 650~3 200 m 的针阔叶混交林及高山原始针叶林地区;高度敏感区分布在高山阔叶林区;中度敏感区分布在西部山区和东部丘陵一带,植被主要为灌丛和草地呈斑块状分布;轻度敏感区分布在西部的浅丘,呈零星状分布以及东部的低山丘陵区;不敏感区分布在中都的成都平原区。

4.4 生态环境敏感性评价

在上述研究基础上,利用 GIS 技术,本文对成都市生态环境敏感性进行了定量研究,成都市生态环境敏感性评价结果分为极敏感区、高度敏感区、中度敏感区、轻度敏感区和不敏感区共 5 个等级(如附图 19 所示)。

成都市生态环境极敏感区域主要分布于在西部盆周山区的北部和南部,面积约 1 530.62 km²,占区域总面积的 12.5%。该区域主要包括龙溪—虹口、白水河等国家级自然保护区、国家级风景名胜区、盆周西缘山地天然林保护区等,土壤潜在侵蚀力较强,植被覆盖率较高,本区域不适宜开发,要对这些区域生态环境予以严格保护和适当治理。严格控制人为因素对自然生态完整性的干扰;实施天然林保护工程,重点保护坡度在 25°以上的陡坡以及土壤易侵蚀区,开展退耕还草还林、植被恢复和水土流失治理等人工生态建设工程,重点保护以“龙溪—虹口国家级自然保护区”、“白水河国家级自然保护区”为核心的

生物多样性分布区。

成都市生态环境高度敏感区域主要分布于在西部盆周山区的中部,该区域分布有黑水河、鞍子河等省级自然保护区、省级风景名胜区,面积为 1 735.48 km²,占区域总面积的 14.3%。该区域限制新建、扩建对生态环境产生不良影响的建设项目。对有林地集中分布的地方进行封山封育,人工林大力培养乡土物种,改善生态组分的构成,通过调整森林群落结构改变区域生态系统结构,优化生态系统服务功能;重点保护以“黑水河省级自然保护区”、“鞍子河省级自然保护区”为核心的生物多样性分布区。

中度敏感区主要分布于东部的低山丘陵,面积为 721.9 km²,占区域总面积的 6%。同时本区具有较高的经济生产功能,属于可适度开发区,可在保护自然生态环境的基础上,开发生态农业、生态旅游业等。通过对一些资源开发的控制引导,使资源开发活动控制在一个合理的范围之内,限制大规模的资源开发和城镇建设活动,对生态的破坏减少到最低程度,对已破坏的生态环境要有计划的进行修复。

轻度敏感区主要分布于东部低山丘陵以及盆地内植被良好的浅丘平台黄壤地区,面积为 1 035.92 km²,占区域总面积的 8.5%。该区域要以生态保护和生态平衡、建设生态基础设施、发展生态农业和生态旅游业为主。

不敏感区域分布于龙门山与龙泉山之间的平原地区,面积为 7 097.17 km²,占区域总面积的 58.55%。该区域可以进行深度开发,以现代农业、现代服务业与先进制造业的发展为主。控制城市建设用地的进一步扩张,在不危及区域生态系统安全的基础上,开展有引导性、适度的开发,优化资源配置,发展生态产业。严格控制农用地的建设开发占用,加强对生产建设项目的监管,严格环境管理,做出相应的环境保护措施和方案。

5 结论

(1) 土壤侵蚀以轻度敏感和不敏感为主,其次为中度敏感,极敏感区和高度敏感区主要分布在西部盆周山区。

(2) 成都市生境敏感性以高度敏感为主,西部和东部生境敏感性较高,而中部地区生境敏感性低,极敏感区域分布于西北部茶坪山、邛崃山一带。

(3) 酸雨以轻度敏感为主,其次是中度敏感区,极敏感区主要分布该本市西部海拔 1 650~3 200 m 的针阔叶混交林及高山原始针叶林地区。

(4) 生态环境敏感性以不敏感为主,其次为中度

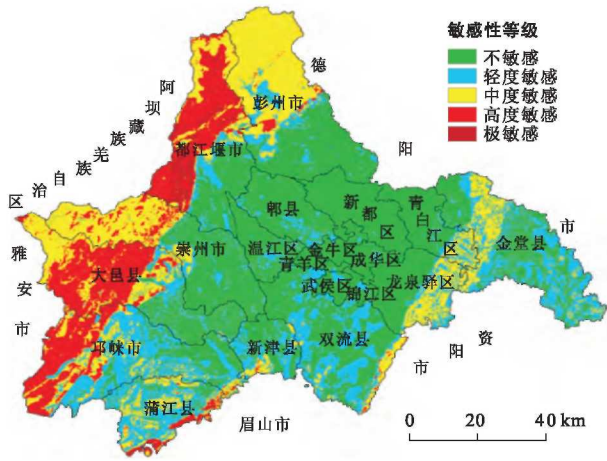
敏感区和极敏感区,极敏感区域主要分布于在西部盆周山区的北部和南部,分布有龙溪—虹口、白水河等国家级自然保护区。

(5) 地市级尺度单一生态因子和综合敏感性评价方法和等级划分标准有待进一步验证。本文关于土壤侵蚀、生物多样性和酸雨敏感性评价等级的划分与国家规定的省级尺度的标准有所不同,对研究区的生态环境问题更具有针对性,但对成都市生态敏感性等级分级科学性还需进一步探索和验证,评价指标还需进一步完善。

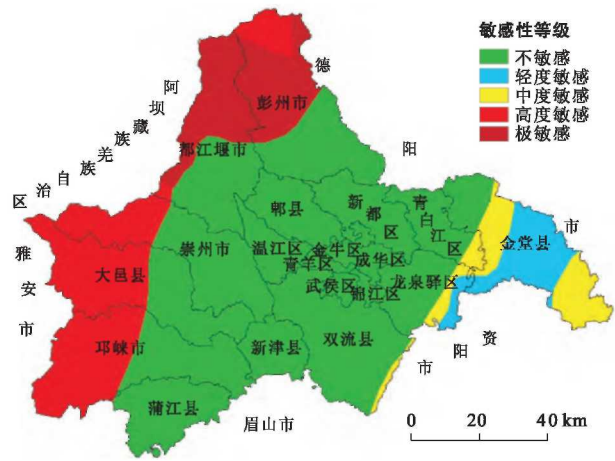
[参 考 文 献]

- [1] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12.
- [2] 刘康,欧阳志云,王效科,等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2712-2718.
- [3] 李东梅,吴晓青,于德永,等. 云南省生态环境敏感性评价[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5270-5278.
- [4] 曹建军,刘永娟. GIS支持下上海城市生态敏感性分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1805-1812.
- [5] 朱志玲,吴咏梅,张敏. 基于GIS的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 101-111.
- [6] 刘春霞,李月臣,杨华,等. 三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 631-642.
- [7] 徐广才,康慕谊,赵从举,等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2007, 43(1): 88-92.
- [8] 潘峰,田长彦,邵峰,等. 新疆拉玛依市生态敏感性研究[J]. 地理学报, 2010, 21(7): 1498-1507.
- [9] 李月臣,刘春霞,赵纯勇,等. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 788-796.
- [10] 汤小华,王春菊. 福建省土壤侵蚀敏感性评价[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2006, 22(4): 1-4.
- [11] 卢远. 基于GIS的广西土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 98-100.
- [12] 叶其炎,杨树华,陆树刚,等. 玉溪地区生物多样性及其生境敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 75-78.
- [13] 李月臣,刘春霞,汪洋,等. 重庆市生境敏感性评价研究[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版, 2009, 26(1): 30-34.
- [14] 周修萍. 我国东部七省生态系统对酸雨沉降的相对敏感性[J]. 农村生态环境, 1996, 12(1): 1-5.
- [15] 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程[EB/OL]. http://sts.mep.gov.cn/stbh/stglq/200308/t20030815_90755.htm, 2003.
- [16] Mitsch William J, Lu Jianjian, Yuan Xingzhong, et al. Optimizing ecosystem services in China[J]. Science, 2008, 322(5901): 528.
- [17] 中华人民共和国水利部. SL190—1996 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社, 1997.
- [18] 高国栋,陆渝蓉,李怀瑾. 我国最大可蒸发量的计算和分布[J]. 地理学报, 1978, 33(2): 102-111.
- [9] 陶志红. 城市土地集约利用几个基本问题的探讨[J]. 中国土地科学, 2000, 14(5): 1-5.
- [8] 何芳,吴正训. 国内外城市土地集约利用研究综述与分析[J]. 国土经济, 2002(3): 35-37.
- [9] 朱一中,曹裕. 基于PSR模型的广东省城市土地集约利用空间差异分析[J]. 经济地理, 2011, 31(8): 1375-1380.
- [10] 邵晓梅,王静. 小城镇开发区土地集约利用评价研究:以浙江省慈溪市为例[J]. 地理科学进展, 2008, 27(1): 75-81.
- [11] 朱建军. 层次分析法的若干问题研究及应用[D]. 哈尔滨:东北大学, 2005.
- [12] 赵鹏军,彭建. 城市土地高效集约化利用及其评价指标体系[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 23-27.
- [13] Adriaanse A. Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands[M]. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, 1993.
- [14] 史丽君,张绍良,王浩宇,等. 基于PSR框架的徐州市城市土地集约利用评价研究[J]. 国土与自然资源研究, 2006(1): 4-5.

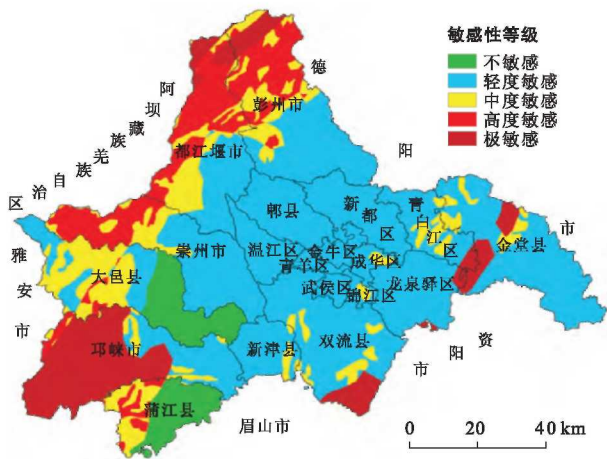
(上接第 235 页)



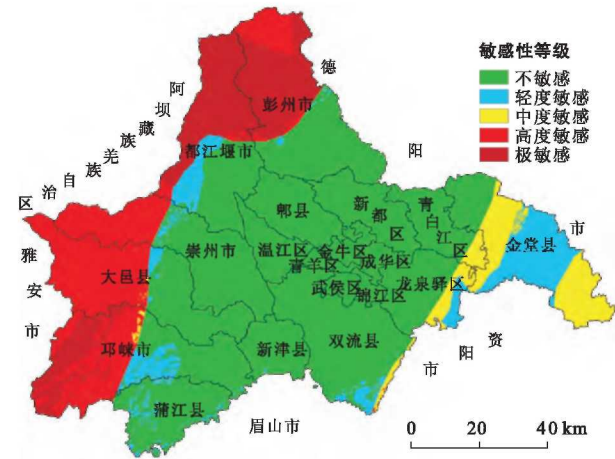
附图16 四川省成都市土壤侵蚀敏感性评价(239页)



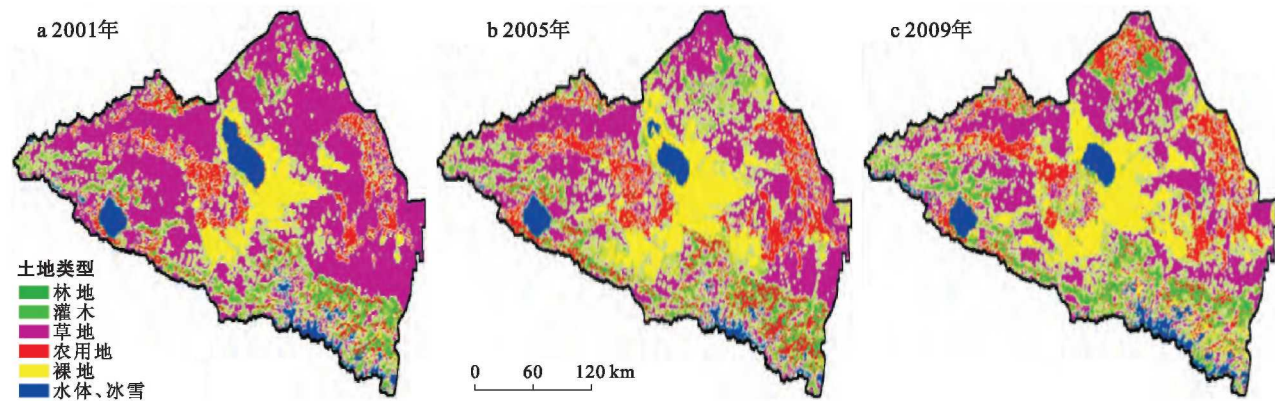
附图17 四川省成都市生境敏感性评价(239页)



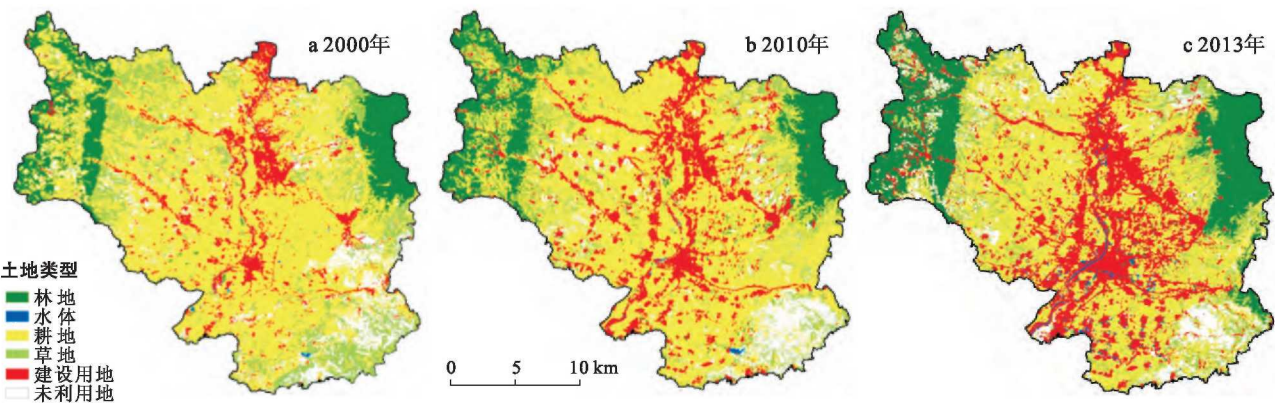
附图18 四川省成都市酸雨敏感性评价(240页)



附图19 四川省成都市生态环境敏感性评价(240页)



附图20 2001, 2005和2009年艾比湖流域景观分类(251页)



附图21 2000—2013年山西省洪洞县土地利用类型分布(264页)