

文章编号:1004-8227(2009)06-0579-06

桂西北喀斯特地区水土流失敏感性评价

罗俊^{1,2,3}, 王克林^{1,2*}, 陈洪松^{1,2}, 张伟^{1,2}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南长沙 410125; 2. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 广西环江 547100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 由于碳酸盐岩的可溶蚀性、所形成土壤的不稳定性及碳酸盐岩植被的脆弱性等特征,在碳酸盐岩区水土流失的风险较非碳酸盐岩区更大,水土流失敏感性受岩性的影响比非碳酸盐岩地区更明显。作为生态功能区划的基础性工作,针对桂西北喀斯特地区生态环境特征,以河池市为例,分别建立了碳酸盐岩区域和非碳酸盐岩区域水土流失敏感性评价指标体系。以碳酸盐岩区岩性的差异为主导指标,在GIS技术支持下,对研究区水土流失敏感性进行评价,并分析其空间分布格局。结果显示:桂西北河池市水土流失敏感区面积比例在99%以上,其中碳酸盐岩区域水土流失敏感性明显高于非碳酸盐岩区域;从全市来看,水土流失敏感程度较高,其中高度敏感和极度敏感面积比例分别达到了31%和23.7%;水土流失重要敏感区主要分布于河池市南部的都安大化和中北部岩溶山原区,这些地区应加强生态环境防护措施。

关键词: 喀斯特; 水土流失敏感性; 空间分布; 桂西北
文献标识码: A

我国西南喀斯特地区是世界三大喀斯特集中分布区之一的东亚片区的核心部分。与世界另两大喀斯特片区相比,我国西南喀斯特地区已不仅仅是保护的问题^[1]。这一地区由于特殊的水动力条件、地质构造条件和气候条件,使其在水力侵蚀、溶蚀、漏蚀和过度的人为活动干扰下,造成大面积的水土流失。水土流失作为一种严重环境地质灾害,不但加速了生态环境的恶化,而且在喀斯特地区形成了以水土流失为起因的灾害群与灾害链^[2]。主要表现为水土流失、石漠化集聚性发生和因果循环,在桂西北地区这些生态环境问题与人口超载和社会经济落后同时存在,给当地人民生活带来很大的压力。生态环境问题的解决需要确定优先或重点开展生态环境建设和保护的地点或区域,因此,进行相应的生态敏感性评价被认为是一项必要的基础性工作。

水土流失作为区域生态环境退化的重要表现形式之一,成为国内外学者的关注和研究的焦点。但这种研究主要侧重于非喀斯特地区,对喀斯特环境下的水土流失的研究还相对薄弱^[3]。柴宗新根据广西碳酸盐岩溶蚀速度对广西喀斯特地区土壤侵蚀状况研

究和分级的结果表明广西中强度侵蚀以上的喀斯特地区占有喀斯特地区面积的80%以上^[4],比较准确地反映了喀斯特地区水土流失的严重程度,而按非喀斯特地区标准,这些地区的土壤侵蚀强度多为轻度侵蚀。彭建对贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态的实验研究表明喀斯特地区土壤侵蚀强度还受内部岩性结构的影响^[3]。高华端通过对贵州地区水土流失的调查研究表明,地质条件是控制水土流失的一个主导因子,碳酸盐岩有成土速度慢、成土量小、地表径流不易形成、水土流失量小而流失隐患大的特点^[5]。由于喀斯特环境是一种特殊的地域综合体,碳酸盐岩的可溶蚀性、土壤C层缺失和土壤结构“上松下紧”的不稳定性及喀斯特植被的脆弱性等特征,水土流失敏感性在碳酸盐岩出露的喀斯特区域与碎屑岩出露的非喀斯特区域有很大的区别^[6,7]。本文在GIS技术支持下,根据桂西北喀斯特地区岩性分布的特点对碳酸盐岩区域和非碳酸盐岩区域分别选取指标进行水土流失敏感性评价,进而对河池市水土流失敏感性做出综合评价,并分析了水土流失敏感性空间分布的特点和规律,为喀斯特地区的生态功能区划打下基础。

收稿日期:2008-05-26;修回日期:2008-10-06

基金项目:中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB2-08);国家973计划(2006CB403208);中国科学院“西部之光”人才培养计划

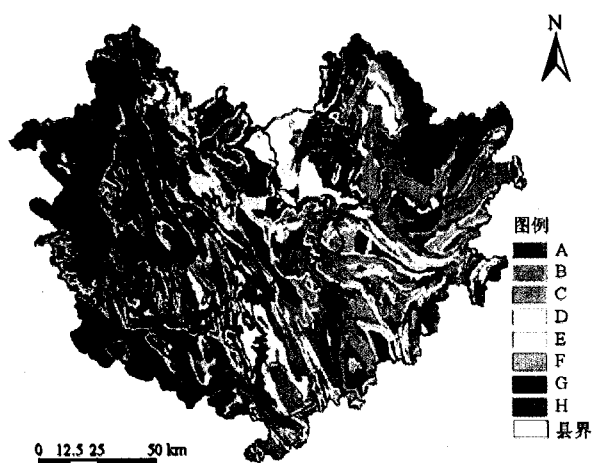
作者简介:罗俊(1980~),女,河南省新野人,博士研究生,主要研究方向为区域生态与GIS应用. E-mail:luojun1166@yahoo.com.cn

* 通讯作者 E-mail: kelin@isa.ac.cn

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

桂西北河池市东连柳州,南界南宁,西接百色,北邻贵州省黔南布依族苗族自治州,介于 $106^{\circ}34' \sim 109^{\circ}09' E$ 和 $23^{\circ}41' \sim 25^{\circ}37' N$,辖金城江、宜州、罗城、环江等 11 个县(市/区),160 多个乡镇。河池市属云贵高原山前区,以碳酸盐岩为主的地质基础使得喀斯特地貌广泛发育,碳酸盐岩地层出露或以碳酸盐岩成份为主的喀斯特地貌分布区面积占全市总面积的 67.7%,少量非碳酸盐岩分布区相间其中(图 1)。河池市属亚热带季风气候区,夏长冬短,雨量充沛,雨热同季,夏季多暴雨。年平均气温 $16.9 \sim 21.3^{\circ}C$,年平均降雨量 $1\ 200 \sim 1\ 600\ mm$ 。河池市海拔 $100 \sim 1\ 670\ m$,地形落差大,河流众多,全市有大小河流 635 条,河网密度为 $0.153\ km/km^2$ 。2000 年末,河池市总人口为 381.2 万人,其中农业人口占总人口的 85.3%,石山区人口密度高于土山丘陵区。受诸因素的影响,目前河池市水土流失面积已达到了 $6\ 760.53\ km^2$,其中剧烈水土流失面积占水土流失总面积的 82.18%。



注: A 石灰岩; B 白云岩; C 石灰岩-白云岩; D 白云岩-石灰岩; E 石灰岩夹层; F 不纯石灰岩; G 碎屑岩; H 第四纪沉积岩

图 1 河池市岩性分布图

Fig. 1 Lithology Divisions in Hechi

1.2 指标选取与数据处理

由目前我国水土流失相关研究资料^[8~10]可知,水土流失主要受到包括地质地貌、气候、土壤、植被覆盖、人类活动等多种因素的影响和制约。在非喀斯特环境下水土流失是水力侵蚀为主和少量重力侵

蚀作用的结果,参考通用水土流失方程的各因子指标,并考虑指标在 GIS 技术平台上的可行性,河池市非喀斯特区域水土流失敏感性评价选取降雨侵蚀力 R 值、土壤质地、地形起伏度和土地利用 4 项指标并确定各指标的敏感性等级(表 1)。其中降雨侵蚀力是水土流失的触发因子,降雨侵蚀力越大,敏感性越高;土地利用状况是侵蚀动力的抑制因子^[11];地形起伏度是通过对水流速度的控制来影响水土流失的强弱,用地形的相对高度来表征;土壤质地是水土流失的抗蚀性因子。指标数据的来源中,降雨侵蚀力 R 值是依据地球系统科学数据共享网提供的多年平均降雨量栅格图,按周伏建^[12]等提出的降雨侵蚀力 R 值的简便算式,利用 ArcGIS 的栅格计算功能得到河池市 R 值分布图。土壤质地依据中国地质科学院岩溶地质研究所提供的全国 1:100 万数字化土壤图数据之河池市部分,结合河池市《土壤志》对河池市主要土壤类型:水稻土、潮土、红壤、石灰土、白粉土、棕灰泥土、灰黑泥土、砂泥黄壤土、砂质红泥土、紫色土等进行土壤质地的分析,利用 ArcGIS 空间分析功能得出各类土壤质地空间分布图。地形起伏度是从 1:25 万 DEM 数据中按 $500\ m \times 500\ m$ 窗口提取河池市地形起伏度^[13]。土地利用状况是以河池市 2000 年 1:10 万土地利用现状图为基础,参考 2000 年遥感影像解译分析结果,得到地表覆盖空间分布状况。

由于碳酸盐岩中的可溶物质易于淋溶流失,一些不易溶解的物质残留下来形成土壤,成土过程较非可溶岩缓慢。碳酸盐岩地区的成土速率远小于水土流失的速率这是喀斯特地区水土流失敏感性的本质^[14]。通过大量调查发现,碳酸盐岩中酸不溶物的含量(岩性)直接影响着碳酸盐岩的成土速度^[15],同时也决定着碳酸盐岩地区的土壤允许流失量,从而造成碳酸盐岩地区水土流失的空间分异^[5,14]。对河池市碳酸盐岩区域水土流失敏感性评价指标的选取中,考虑到数据的可获性和分析问题的简化,本文主要从岩性、坡度、植被指数及降雨量 4 项因素来评价(表 1)。岩性分布主要通过岩性分布图得到。坡度利用 ArcGIS 软件中“Spatial Analyze”功能从 DEM 中直接提取;植被指数与植被的盖度、生物量、叶面积指数等有较好的相关性^[16],归一化植被指数能比较真实地反映植被的分布状况^[17],因此,本文通过植被指数作为指标之一。从 2000 年 TM 遥感影像中提取 NDVI 指数;降雨量参考河池市多年降雨量分布图。

表 1 河池市水土流失敏感性评价指标及分级

Tab. 1 Assessment Indexes and Grade of Water and Soil Loss Sensitivity in Hechi

指标		不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
R 值		<360	360~384	384~406	406~428	>428
非碳酸盐岩区域	土壤质地	水稻土、潮土、白粉土	硅质白粉土、灰黑泥土	砂泥黄壤、棕灰泥土	红壤、砂质红泥土	石灰土、紫色土
	地形起伏度	<20	20.1~50.0	50.1~100.0	100.1~300.0	>300.1
	土地利用	水体、滩涂、水田	阔叶林、针叶林、灌丛	疏林、果园、草地	荒草地、坡耕地	裸土地、裸岩地
岩性		埋藏性可溶岩	灰岩夹层	不纯灰岩	白云岩	灰岩、灰岩—白云岩
碳酸盐岩区域	地形坡度(°)	—	<15	15~25	25~35	>35
	植被指数	0.80~1.00	0.60~0.80	0.40~0.60	0.20~0.40	0.00~0.20
	降雨量(mm)	—	—	800~1 500	1 500~2 000	>2 000
C_i		1	2	3	4	5

1.3 水土流失敏感性评价方法

在参照国内专家对水土流失敏感性评价研究基础上^[8~10,14],根据桂西北的自然环境特征,确定主要评价指标的敏感性等级标准(表 1)。根据各指标敏感性分级标准,利用 ArcGIS 软件分别绘制各指标敏感性等级分布图。对碳酸盐岩区域和非碳酸盐岩区域水土流失的敏感性评价运用加权法来反映不同指标对敏感性作用的差异。运用 ArcGIS 软件对各项指标进行提取与叠加分析,得到研究区水土流失敏感性综合评价空间分布状况。

$$SS_j = \sum_{i=1}^n C(i,j)W_{ij} \quad (n = 4)$$

式中:SS_j 为 j 空间单元水土流失的敏感性等级指数;C_i 为 i 指标敏感性等级值;W_{ij} 为影响水土流失敏感因子的指标权重。

通过专家调查法分别得到碳酸盐岩区域和非碳酸盐岩区域评价指标对于水土流失敏感性的相对重要程度,进而确定指标权重。即当指标对水土流失敏感性分别为比较重要、明显重要和绝对重要时,重要值分别为 1、3 和 5,由此来计算各指标的权重^①。

对各指标图层按权重进行叠加运算分别得到非碳酸盐岩区域和碳酸盐岩区域水土流失敏感性分值分布图。利用 ArcGIS9.0 空间分析中的 Reclassify

功能,采用分类系统总自然分类法(Natural Break)将水土流失敏感性分值分别分为 5 级,ArcGIS 的这种分类方法是利用统计学的 Jenk 最优化法得出的分界点,能够使各级的内部方差之和最小^[8]。

上述研究方法以 1:25 万河池市行政区划图作为工作底图,将其他专题图转化为相同比例尺,在 ArcGIS 软件支持下进行空间叠加分析、敏感性分级、面积量算、图形输出。

2 结果与分析

2.1 水土流失敏感性分级

把河池市石灰岩、白云岩、石灰岩—白云岩/白云岩—石灰岩互层、石灰岩夹层、不纯石灰岩等碳酸盐岩地层出露区及以碳酸盐岩成份为主的分布区划为碳酸盐岩区,其他碎屑岩和第四纪沉积岩等非可溶岩分布区划为非碳酸盐岩区,根据水土流失敏感性评价指标体系进行河池市水土流失敏感性评价和敏感性等级划分,各等级水土流失敏感程度的分布面积及比例见表 2。最后采用最大值法将非碳酸盐岩区域和碳酸盐岩区域水土流失敏感性等级分布图合并,得到水土流失敏感性评价图(图 2)。

表 2 不同区域水土流失敏感性程度及面积和所占河池市面积比例

Tab. 2 Area and Its Percentage of Sensitivity Grade of each Factor of Water and Soil Loss Sensitivity

不同区域		不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
非碳酸盐岩区域	面积(km ²)	41.1	2 147.7	7 315.1	1 224.1	98.5
	比例(%)	0.1	6.4	21.8	3.7	0.3
碳酸盐岩区域	面积(km ²)	3.3	759.4	4 896.4	9 146.8	7 833.2
	比例(%)	0	2.3	14.6	27.3	23.4
河池市	面积(km ²)	44.3	2 907.2	12 211.6	10 370.9	7 931.7
	比例(%)	0.1	8.7	36.5	31.0	23.7

①国务院西部开发办领导小组办公室,国家环境保护总局.生态功能区划暂行规程.2002.

2.2 非碳酸盐岩区域水土流失敏感性

河池市非碳酸盐岩区域面积占河池市总面积的 32.3%，主要分布于河池市西北部、西南部和东北部，其他地区也有少量分布。水土流失敏感性以中度敏感为主，面积占全市总面积的 21.8%，主要分布于西部天峨中部和南部、东兰和凤山中中部、环江中部、罗城北部区域；高度敏感性所占全市的面积比例为 3.7%，主要分布于中部偏西的都阳山地区（东兰

和凤山），这一地区由于过度放牧和砍伐造成植被残缺，地势起伏较大，水土流失严重；另外，罗城中北部由于大面积开垦耕地，人为活动强烈，水土流失高度敏感；极敏感性所占面积比例很小，也零星分布于这些地区；河池市西北部凤凰山林区和布柳河流域、东北部九万山林区和西南部盘阳河和岩滩水库一带，多为自然保护区，植被覆盖状况较好，水土流失多属于轻度敏感和不敏感区。

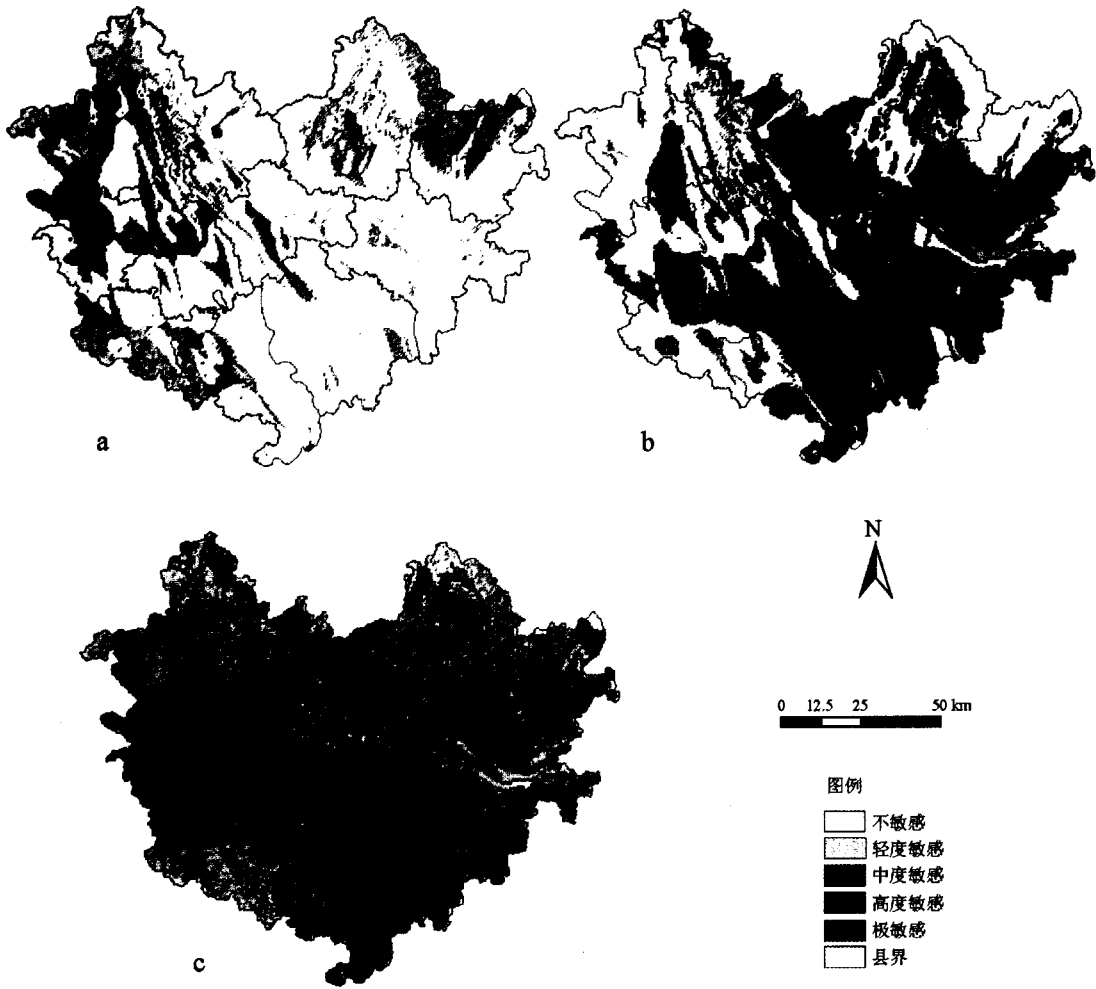


图 2 河池市水土流失敏感性分布图

Fig. 2 Distribution Map of Water and Soil Loss Sensitivity in Hechi

注：a 非碳酸盐岩区域水土流失敏感性；b 碳酸盐岩区域水土流失敏感性；c 河池市水土流失敏感性。

2.3 碳酸盐岩区域水土流失敏感性

河池市碳酸盐岩区域占全市总面积的 67.7%，主要分布于河池市中北部、中南部、东部和西部的部分区域。水土流失敏感性以高度敏感和极敏感为主，占全市总面积的 27.3% 和 23.4%，多集中在河流中下游及峡谷地带，主要分布于都阳山喀斯特峰丛洼地区、南部雨水丰富集中的澄江流域、北部岩溶

山原地区，及东部农业活动频繁的岩溶河谷周边地区；中度敏感占全市面积比例 14.6%，相间分布于中北部和东部地势较平缓的区域；轻度敏感面积较少，分布于东部（宜州中部）峰丛谷地和孤峰平原区。

2.4 河池市水土流失敏感性综合评价

河池市水土流失敏感性以中度敏感为主，面积

比例占36.5%(表2和图2c)。极敏感区占全市总面积的23.7%,主要分布在河池中南部刁江流域中下游地区、南部澄江流域,河池北部和东西部也有零散分布。高度敏感面积比例占31%,主要分布于河池中部都阳山一带、河池南部澄江流域、河池北部岩溶山原地区和东部岩溶丘陵区。中度敏感主要分布于河池东部河谷周边的岩溶丘陵区、中部刁江流域上游和西部天峨、凤山部分地区。轻度敏感主要分布于东北九万山林区、东部岩溶河谷、西北凤凰山及自然保护区周边、西南部低山丘陵林区。面积比例占0.1%的不敏感区零星分布在东部岩溶河谷、东北九万山、西北凤凰山及自然保护区内。

从县域水土流失敏感性分布来看(图3),敏感程度较高的有河池南部和中北部的都安、大化、金城江和宜州几个县/市(区),都安县4/5以上的面积属于水土流失极敏感和高度敏感地区,极敏感地区占县总面积的43.5%;大化极敏感和高度敏感面积比例分别为29.4%和38.5%,金城江为25.5%和33.5%。现实中都安、大化和金城江的水土流失面积比例分别是35.9%、47.4%和10.3%,石漠化程度较高,石漠化面积比分别为37.4%、38.3%和30%,综合来看,与水土流失敏感性评价结果一致。南丹、巴马和天峨水土流失敏感性较低,现实中的水土流失面积比例也较低,生态状况较好。

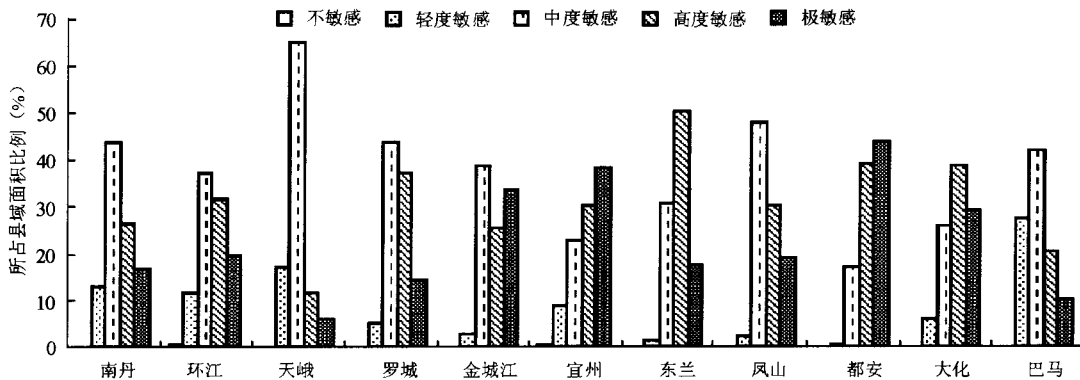


图3 河池市各县(市/区)水土流失敏感性面积比例

Fig. 3 Area Percentage of Water and Soil Loss Sensitivity of each County in Hechi

3 结语

由于喀斯特环境水土流失的特殊性,分别对桂西北河池市非碳酸盐岩区域和碳酸盐岩区域水土流失敏感性选取不同指标体系进行了评价。这种思路突出了喀斯特区域水土流失敏感性评价中地质岩性的主导作用。从评价结果来看,在非碳酸盐岩区域水土流失敏感性较轻,以中度敏感为主;碳酸盐岩区域水土流失敏感性相对较高,高度敏感和极度敏感面积达到了全市面积的50.7%,有较大的水土流失风险。这也说明在喀斯特地区岩性地质条件控制着土壤形成过程和结构特征、影响地表植被类型和覆盖状况,从而与水土流失敏感性密切相关。在喀斯特地区生态环境的管理中,应该根据区域水土流失敏感性的主要影响因素及敏感性程度,对受不同因素影响的水土流失高度敏感和极敏感区域采取不同的生态治理措施。

本文评价结果与河池市的水土流失和生态环境现状资料比较,水土流失敏感性高的区域与现实中的水土流失严重或喀斯特环境下水土流失发展到极致的情况——石漠化程度严重的区域基本对应。这说明本文评价方法具有一定的科学性,选取的评价指标基本能体现研究区水土流失发生的控制因素,能够识别水土流失易产生的区域。本文是区域生态功能区划的初步研究,研究区尺度较大,所用方法和指标的选取仍有较多局限性,因此,对喀斯特地区水土流失敏感性的研究方法还有待进一步完善。

参考文献:

- [1] 袁道先. 全球岩溶生态系统对比: 科学目标和执行计划[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 461~466.
- [2] 白晓永, 熊康宁, 杨龙, 等. 喀斯特石漠化山区的水土流失防治模式——以贵州省镇宁县为例[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(4): 34~38.
- [3] 彭建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J].

- 山地学报, 2001, 19(6): 511~515.
- [4] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J]. 山地学报, 1989, 7(4): 255~259.
- [5] 高华瑞. 贵州岩溶地区地质条件对水土流失的影响[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(1): 20~22.
- [6] GILLIESON D, WALLBRINK P, COCHRANE A. Vegetation change, erosion risk and land management on the Nullarbor Plain, Australia[J]. *Environmental Geology*, 1996, 28(3): 145~153.
- [7] DREW D P. Accelerated soil erosion in a karst area: The Burren, western Ireland[J]. *Journal of Hydrology*, 1993, 61(1-3): 113~124.
- [8] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 等. 中国水土流失敏感性评价分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14~19.
- [9] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [10] 吕明辉, 王红亚, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(2): 87~96.
- [11] 刘康, 康艳, 曹明明, 等. 基于 GIS 的山西省水土流失敏感性评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 168~170.
- [12] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13~18.
- [13] 刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57~60.
- [14] 李阳兵, 邵景安, 王世杰, 等. 基于岩溶生态系统特性的水土流失敏感性评价[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 671~677.
- [15] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314~320.
- [16] 牛志春, 倪绍祥. 青海湖环湖地区草地植被生物量遥感检测模型[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 692~702.
- [17] 马超飞, 马建文, 布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量技术[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 6~9.

SENSITIVITY OF WATER AND SOIL LOSS OF NORTHWEST KARST AREA IN GUANGXI PROVINCE

LUO Jun^{1,2,3}, WANG Ke-lin^{1,2}, CHEN Hong-song^{1,2}, ZHANG Wei^{1,2}

(1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. Huanjiang
Experimental Station of Karst Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China;
3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Because of the solubility of carbonate rock, the instability of karst soil and the vulnerability of karst vegetations, the risk of water and soil loss is bigger in carbonate rock areas than in non-carbonate rock areas. The effects of lithology to sensitivity of water and soil loss are stronger in carbonate rock areas than non-carbonate rock areas. This paper is the basic study of ecological function division. To these facts and the ecological characters of karst area, considering the difference of lithology as the dominant factor, the accountable factors were identified as the assessment indices respectively in carbonate rock areas and non-carbonate rock areas, and the possibly sensitivity degree and distribution law of water and soil loss were analyzed based GIS technology. The results showed that the sensitivity assessment of water and soil loss sensitivity in northwest of Guangxi could reflect the fact on the whole. The areas percentage of water and soil loss sensitivity was above 99%, and there is a visible higher sensitivity degree in karst areas than in non-karst areas. To the whole region, the integrated sensitivity degree of water and soil loss was higher, and the area percentage of intense and extreme reached 31% and 23.7%, respectively. These area mainly distributed in Duan and Dahua in the south of Hechi region and karst mountain area in the middle and north of Hechi region. To different sensitivity degree, water and soil loss types and distribution characteristics, this paper put forward relevant measures of development-management, in order to provide references of ecosystem restoration and sustaining development in the karst regions.

Key words: karst; water and soil loss sensitivity; spatial distribution; northwest of Guangxi