

基于格网 GIS 的喀斯特山区草地生态脆弱性评价

郭宾^{1,2}, 周忠发^{1,2}, 苏维词³, 陈全^{1,2}, 魏小岛^{1,2}

(1. 贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州省喀斯特山地生态环境
国家重点实验室培育基地, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 以贵州省长顺县为研究区, 以多元空间信息为基础, 采用层次分析法(AHP)和主成分分析法并结合格网 GIS 技术, 对评价体系中的各指标进行 10 m×10 m 尺度下的格网化, 运用栅格数据的空间叠加方法及生态脆弱性的评价模型, 分析获得了长顺县草地生态脆弱性的空间数据。根据生态脆弱性指数(EVI)将喀斯特山区的草地资源生态脆弱程度分为 5 个等级。分析结果显示, 严重脆弱区的面积为 36.32 km², 所占比重最大; 其次是中度脆弱区和极端脆弱区面积分别为 28.09 和 24.99 km², 最后, 轻度脆弱区和潜在脆弱区面积分别为 16.54 和 8.60 km², 所占比重较小。从总体上看, 长顺县草地生态脆弱性等级较高, 喀斯特山区草地的生态脆弱性主要是由于特殊的地质背景和人类频繁活动干扰的结果。

关键词: 喀斯特山区; 草地; 生态脆弱性; 格网 GIS

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)02-0204-04

中图分类号: X171.1, S812

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.043

Evaluation of Ecological Vulnerability of Karst Grassland Based on Grid GIS

GUO Bin^{1,2}, ZHOU Zhong-fa^{1,2}, SU Wei-ci³, CHEN Quan^{1,2}, WEI Xiao-dao^{1,2}

(1. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China;

2. Incubation Base, State Key Laboratory of Karst Mountain Ecology Environment of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China; 3. Institute of Mountain Resources of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Based on multi-spatial information, analytic hierarchy process(AHP), principal component analysis and grid GIS technology are applied in gridding the indicators of ecological vulnerability evaluation system at 10 m×10 m scale and achieving the spatial data about the ecological vulnerability of grassland in Changshun County, Guizhou Province. The ecological vulnerability of karst grassland is divided into 5 levels according to ecological vulnerability index(EVI). The analysis shows that the area of heavy vulnerability region is 36.32 km², taking the largest proportion; the areas of moderate and extreme vulnerability regions are 28.09 km² and 24.99 km², respectively; and the areas of slight and potential vulnerability regions are 16.54 and 8.60 km², respectively, taking smaller proportions. Overall, the ecological vulnerability of grassland in Changshun County is at a higher level and the ecological vulnerability of karst grassland is resulted from the special geological background and frequent human activity interference.

Keywords: karst mountain area; grassland; ecological vulnerability; grid GIS

随着人地关系的不断深化,生态脆弱性的研究受到越来越多研究者的重视,主要集中在评价方法、模型和应用性等方面,并进行了定性和定量的研究。由于各自研究背景的差异,对脆弱性的理解也不尽相同。一般认为,生态脆弱性指在自然或人为作用下,生态系统的正常结构被扰动并超过自调节的“阈值”,由此导致生态功能大幅降低,生态恢复能力减弱甚至

完全失去恢复能力的现象^[1]。由于喀斯特地区特殊的地质、水文背景,使得喀斯特环境具有地表切割强烈,地物分布复杂,生态系统脆弱,环境变化敏感,空间异质性强^[2]。加上人口的增长和简单粗放的生活方式不能满足人们的需求,所以随之而来的牲畜数量增加,人类的各种活动,都导致草地资源遭到严重破坏^[3]。目前对喀斯特山区草地生态脆弱性评价的研

收稿日期:2013-05-08

修回日期:2013-06-03

资助项目:国家重点基础科学(973)研究发展计划项目“人为干预下喀斯特山地石漠化的演变机制与调控”(2012CB723202); 2012 年贵州省国际科技合作计划项目[黔科合外 G 字(2012)7022 号]; 贵州省优秀青年科技人才培养对象专项[黔科合人字(2009)18 号]; 贵州省科学技术厅与贵州师范大学联合基金项目[黔科合 J 字 LKS(2011)40 号]。

作者简介:郭宾(1987—),男(汉族),河南省洛阳市人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail:guobin143701@163.com。

通信作者:周忠发(1969—),男(汉族),贵州省遵义市人,教授,研究方向为 GIS 与遥感、喀斯特资源与环境可持续发展。E-mail:fa6897@163.com。

究很少,一般将草地生态脆弱性评价融入到整个系统中进行,范围较大,不同的生态系统可能存在本质上的差异,评价指标和评价方法也不尽相同。本文结合 GIS 技术将各项评价指标矢量化,从定量的方面对喀斯特山区草地生态脆弱性评价进行研究^[4],以期为喀斯特山区草地的合理利用和保护提供依据。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

长顺县位于贵州省中南部,黔南布依族苗族自治州西部,东经 $106^{\circ}11' - 106^{\circ}39'$,北纬 $25^{\circ}38' - 26^{\circ}18'$ 之间,面积 $1\,554.6\text{ km}^2$ 。地处黔中山原南部边坡,地势总体北高南低,呈三级梯地,平均海拔 $1\,244\text{ m}$;由于河流切割,造成地势中部较高,东西两侧较低。长顺县年平均气温 $15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $1\,396.7\text{ mm}$,加之地表水和地下水的强烈侵蚀溶蚀,喀斯特地貌特别发育,生态环境较脆弱,喀斯特面积为 $1\,484.6\text{ km}^2$,占该县面积的 95.5% ,同时作为石漠化治理的重点县,具有典型的代表性。该区年日照时数 $1\,202.1\text{ h}$,年无霜期 275 d ,地带性土壤多属中亚热带湿润季风气候发育下的黄壤,质地有沙、壤、黏之别,并有黑色石灰土、黄色石灰土、大眼泥、潮泥、紫色土等^[5]。

通过实地调研研究区内的天然草地主要是白茅 (*Imperata cylindrica*)、白健秆 (*Eulalia pallens*)、金茅 (*Eulalia speciosa*)、细柄草 (*Capillipedium parviflorum*)、荩草 (*Arthraxon hispidus*)、野古草 (*Arundinella hirta*)、鸭茅 (*Dactylis glomerata*) 等,也有部分的人工草地,如铺地蝙蝠草 (*Christia obcordata*)、白车轴草 (*Trifolium repens* L.)、黑麦草 (*Lolium perenne* Linn.) 等。由于人为的破坏和不合理的放牧,加剧了草地的退化,同时也加剧了石漠化和水土流失。通过遥感影像解译,长顺县草地面积为

114.54 km^2 ,占该县面积的 7.37% ,比重虽然不高,但草地在防止水土流失和石漠化治理方面起到很重要的作用。

1.2 数据来源

遥感影像数据源为摄于 2010 年 10 月 4 日、空间分辨率为 10 m 的 Alos 影像,并运用 ENVI 和 ArcGIS 生成石漠化、水土流失、草地覆被等衍生数据,其中参考了国家、行业和地方标准,如水土保持监测技术规程 (SL277—2002)、岩溶地区水土流失综合治理技术标准 (SL461—2009)、喀斯特石漠化等级划分等^[6]; $1:20$ 万土壤类型分布图; $1:10$ 万等高线生成坡度图;其它部分监测数据来源于长顺县气象局。

2 研究方法

2.1 喀斯特山区草地生态脆弱性评价因子的确定

生态环境具有稳定性和变化性,稳定性指其对外来干扰的抵抗能力,变化性则随着干扰的介入及其本身的发育,在时空尺度上发生有规律的变化或者突变^[7]。影响喀斯特山区草地生态脆弱性的因子是多方面的,考虑到生态系统的多元性和复杂性的特点,依据科学性、综合性、可表征性及可度量性等指标体系的确立原则,根据贵州的实际情况,共选取年均降雨量、高程、坡度、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、土壤类型、石漠化等级、水土流失等级等因子作为长顺县草地生态脆弱性的评价指标 (表 1)。根据对生态环境影响程度的不同,对各因子进行分级量化,并赋予一定等级指数 (X)。但由于一些评价指标的量化值在某一数轴范围内是近似于连续的数值系列,如果过早地将其定值量化分级,计算出的评价结果将有更大的误差。因此,为了保留这种差异性的存在来获得更为精确的结果,并使整个指标体系的量化值无量纲化,则将这一数轴范围内的数值通过某一数学方法转换到与上述指标分级对应数域内,即, $I \leq X \leq V$ ^[8]。

表 1 喀斯特山区草地生态脆弱性评价指标分类

类别	年均降雨量/mm	高程/m	坡度/($^{\circ}$)	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温	土壤类型	石漠化等级	水土流失等级
I	$>1\,350$	<850	<5	$<4\,720$	黄壤	非喀斯特、无石漠化地区	微度水土流失
II	$1\,320 \sim 1\,350$	$850 \sim 1\,000$	$5 \sim 15$	$4\,720 \sim 4\,820$	红壤	潜在石漠化	轻度水土流失
III	$1\,290 \sim 1\,320$	$1\,000 \sim 1\,150$	$15 \sim 25$	$4\,820 \sim 4\,920$	紫色土	轻度石漠化	中度水土流失
IV	$1\,260 \sim 1\,290$	$1\,150 \sim 1\,300$	$25 \sim 35$	$4\,920 \sim 5\,120$	石脊具土	中度石漠化	强烈水土流失
V	$<1\,260$	$>1\,300$	>35	$>5\,120$	石灰土	强度石漠化	极强烈、剧烈水土流失

2.2 喀斯特山区草地生态脆弱性评价单元的确定

根据喀斯特地区草地生态脆弱性评价的需要,采用栅格单元和行政单元相结合的办法,使指标因子数据载体与分析评价单元分开,即采用栅格点状单元

($10\text{ m} \times 10\text{ m}$) 作为指标因子的数据载体和单因子的基本评价分析单元,采用矢量面状单元 (县级行政单元) 作为综合评价分析单元,二者之间采用模型予以关联^[9]。

3 喀斯特山区草地生态脆弱性评价模型的建立

3.1 喀斯特山区草地生态脆弱性因子权重的确定

运用 ArcGIS 中的 identity 命令,将各个要素的栅格图层叠加,并赋予 7 种要素的属性值。为减少评价指标之间的相关性,避免指标重复而影响评价的精确性,在研究区内选取 100 个样点,运用 SPSS 19.0 软件中的主成分分析法来确定各项指标的权重。主成分分析法是一种通过降维使数据简化的应用数学

方法,即当累计贡献率达到 100%时,反映了全部的原始数据信息,极大提高了计算精度(表 2)。

权重反映各参评因子对草地生态脆弱性作用的大小,较客观地体现各因子的主次关系,经计算得出各因子的权重结果详见表 3。影响因子的权重计算公式为:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_j U_j}{C_i U_i}$$

式中: W_i ——权重; C_i —— i 因子的标准化值; U_i —— i 因子的贡献率。

表 2 主成分矩阵及累计贡献率统计

变量	高程	≥ 10 °C 积温	水土流失等级	坡度	降雨量	石漠化等级	土壤类型
高程	1	0.08	0.01	0.26	-0.45	0.02	0.17
积温	0.08	1	0.11	-0.002	0.08	0.11	-0.01
水土流失等级	0.01	0.11	1	0.12	-0.06	0.85	-0.01
坡度	0.26	-0.002	0.12	1	-0.12	0.19	0.09
降雨量	-0.45	0.08	-0.06	-0.12	1	-0.01	0.09
石漠化等级	0.02	0.11	0.85	0.19	-0.01	1	0.04
土壤类型	0.17	-0.01	-0.01	0.09	0.09	0.44	1
贡献率	0.28	0.22	0.16	0.14	0.12	0.06	0.02
累计贡献率	0.28	0.50	0.65	0.80	0.92	0.98	1

表 3 生态脆弱性评价因子的权重值

因子	高程	≥ 10 °C 积温	石漠化等级	水土流失等级	坡度	土壤类型	降雨量
权重	0.29	0.28	0.25	0.25	0.23	0.11	0.02

根据 W_i 的得分从大到小的排列顺序,即所选取的 7 种喀斯特山区草地生态脆弱性评价因子的权重,因子排序为:高程 $>$ ≥ 10 °C 积温 $>$ 石漠化等级 $>$ 水土流失等级 $>$ 坡度 $>$ 土壤类型 $>$ 降雨量。

从各项因子的权重来看,喀斯特山区的草地不受降水因素的限制,因为喀斯特山区降水丰富,但是海拔和积温尤其重要,因为喀斯特山区多阴雨天气,光照少,光合作用弱,限制了喀斯特山区草地的生长;其次是石漠化等级、水土流失等级和坡度成为主要影响因素,石漠化等级和水土流失等级越高,生态环境就越脆弱,越需要加强保护;土壤类型因子影响的比重比较小。

3.2 喀斯特山区草地生态脆弱性评价模型

根据各评价指标及其权重,参照 Wang 等^[10]提

出的脆弱生态环境定量评价方法,建立喀斯特山区草地生态环境脆弱性评价的数学模型,计算研究区每个像元的草地的生态脆弱性指数(EVI),计算公式为:

$$EVI = \sum_{i=1}^n P_i W_i$$

式中: P_i ——各评价指标标准化得分; W_i ——评价指标的权重; n ——指标总个数。

评价结果主要反映生态脆弱程度,分值越高,生态脆弱性就越高,为了更直观地表达喀斯特山区资源的生态脆弱性,将其结果划分为 5 个等级(表 4)。再根据喀斯特地区草地生态脆弱性评价模型计算公式,使用栅格计算器进行叠加分析和空间计算,得到喀斯特山区草地生态脆弱性空间格局。

表 4 研究区草地生态脆弱性分类属性

脆弱水平	生态环境脆弱性指数	面积 / km ²	占草地面积比例 / %	喀斯特山区草地生态脆弱性特征
潜在脆弱	1.72~3.15	8.60	7.48	草地生态系统稳定,抗干扰能力强,潜在石漠化。
轻度脆弱	3.15~3.90	16.54	14.39	草地生态系统较稳定,抗干扰能力较强,微度石漠化。
中度脆弱	3.90~4.51	28.09	24.44	草地生态系统较不稳定,抗干扰能力较差,轻度石漠化与水土流失。
严重脆弱	4.51~5.10	36.32	31.60	草地生态系统不稳定,抗干扰能力差,中度石漠化与水土流失。
极端脆弱	5.10~6.80	24.99	21.74	草地生态系统极不稳定,抗干扰能力极差,严重石漠化与水土流失。

4 结果与分析

4.1 喀斯特山区草地生态脆弱性的空间格局

根据评价分析和生态环境脆弱性指数分级,统计出各等级对应的面积,得出长顺县草地生态脆弱性评价结果为:严重脆弱所占比重最大,面积为 36.32 km²,均匀分布在各个乡镇;极端脆弱的比重也比较大,面积为 24.99 km²,主要分布在北部的马路乡、凯佐乡、广顺镇、改尧镇,其它乡镇零星分布;中度脆弱面积为 28.09 km²,分布比较分散与严重脆弱镶嵌在一起;轻度脆弱和潜在脆弱面积为 25.14 km²,主要分布在东部的威远镇和南部鼓扬镇、睦化乡,其它乡镇零星分布。从总体上来看,长顺县草地资源生态脆弱性等级较高。

4.2 喀斯特山区草地生态脆弱性成因

从总体上看,大部分的生态脆弱性区域主要分布在北部地区,该地区地势平缓,人地矛盾较为突出,人类活动剧烈,这说明草地生态脆弱性也是人为长期频繁活动干扰的结果。可见,在喀斯特地区,岩性对区域生态环境具有决定性的作用,然而,人为活动也是不可忽略的影响因素。南部地区由于石漠化综合治理工程的实施,生态环境得到有效的改善,相比较北部地区草地的脆弱等级较低。2010 年长顺县草地资源生态脆弱性评价结果(表 4)表明,长顺县草地资源分布比较分散,集中连片较少,主要是受到喀斯特山区特殊的地理环境的限制,很难集中分布,草地作为绿色植物的先锋,在喀斯特地区,尤其是在石漠化地区草地资源显得尤为重要,因为草地在土壤表层形成大量根系和地上残体组成的有机质,这些物质在土壤微生物的作用下,可以改善土壤的理化性状,促进土壤团粒结构的形成,是土壤及其肥力的主要组成部分,同时草地在水土保持和涵养水源等方面也很重要^[11]。

4.3 喀斯特山区草地资源的优化对策

针对长顺县草地极端脆弱和严重脆弱区域,需要从根本上加以改变,采取人工改良措施进行恢复和重建,人工改良措施主要是从改善土壤的物理性状和营养状况以及改善草地的种源条件等方面进行,待草地资源改善到一定程度之后,才可以进行合理有效地利用,同时对这一地区的石漠化治理和水土流失防治都有很好的作用;轻度脆弱和中度脆弱区域对草地划清区域以后,进行轮牧,通过人为调控对草地资源加以保护;潜在脆弱区在合理利用的同时要加强保护。

5 结论

(1) 构建了喀斯特山区草地生态脆弱性评价模型,并结合大量野外调查拟定喀斯特山区草地生态脆弱性分级标准,将研究区域划分出 5 个生态脆弱性等级,即潜在脆弱、轻度脆弱、中度脆弱、严重脆弱和极端脆弱。

(2) 研究区内草地的生态脆弱度整体表现出有南向北增大的趋势,与碳酸盐岩在研究区的分布较为一致,表明喀斯特区域生态环境脆弱性主要受地质和地形两大自然要素的制约,脆弱性的根源在于其特殊的地质背景条件,同时也受到人类活动的影响,因为岩溶生态系统的物质能量转换途径比较脆弱,对外来影响适应能力弱,对外界变化的响应程度高,敏感性较强。

[参 考 文 献]

- [1] 刘斌涛,陶和平,刘邵权,等. 自然灾害胁迫下区域生态脆弱性动态:以四川省清平乡为例[J]. 应用生态学报, 2012,23(1):193-198.
- [2] 魏小岛,周忠发,王媛媛. 基于格网 GIS 的喀斯特生态安全研究:以贵州花江石漠化综合治理示范区为例[J]. 山地学报, 2012,30(6):681-687.
- [3] 蒙晓,李晶,任志远,等. 草地退化后陕北农牧交错带生态系统重建模式研究[J]. 水土保持通报, 2011,31(3):140-144.
- [4] 刘东霞,卢欣石. 呼伦贝尔草原生态环境脆弱性评价[J]. 中国农业大学学报, 2008,13(5):48-54.
- [5] 张克湘. 贵州省地图集[M]. 贵州 贵阳:贵州省地图出版社, 2005.
- [6] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究:以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- [7] 胡宝清,金姝兰,曹少英,等. 基于 GIS 技术的广西喀斯特生态环境脆弱性综合评价[J]. 水土保持学报, 2004,18(1):103-107.
- [8] 李荣彪,洪汉烈,殷科,等. 喀斯特生态环境敏感性评价:以都匀市为例[J]. 中国岩溶, 2009,28(3):300-307.
- [9] 乔青,高吉喜. 生态脆弱性综合评价方法及应用[J]. 环境科学研究, 2008,21(5):117-123.
- [10] 刘正佳,于兴修,李蕾,等. 基于 SRP 概念模型的沂蒙山区生态环境脆弱性评价[J]. 应用生态学报, 2011,22(8):2084-2090.
- [11] 赵同谦,欧阳志云. 草地生态系统服务功能分析及其评价指标体系[J]. 生态学杂志, 2004,23(6):155-160.