贵州省乌江流域生态脆弱性评价及其空间变化特征

安 芬，李旭东，程东亚
（贵州师范大学 地理与环境科学学院，贵州 贵阳 550025）

摘 要：[目的] 分析贵州省乌江流域生态脆弱性原因及空间变化特征，为该区生态环境建设与保护提供科学参考。[方法] 通过构建评价指标体系，采用层次分析法(AHP)对影响流域生态脆弱性因子赋权重值，并利用 GIS 采用不同分类法对流域生态脆弱性进行综合评价。[结果] ①分位数、相等间隔与自然间断点三种分类法对生态脆弱性等级划分影响不大，但面积比例存在明显差异，其极度脆弱与潜在脆弱流域面积比例最小；②流域生态脆弱程度以一般脆弱和中度脆弱为主，其面积占比在 50%以上；③人类活动对流域生态脆弱性影响明显，贵阳、遵义市等大中城市周边多为极度脆弱区；④流域一般脆弱区空间分布较为分散，不利于流域生态环境保护治理。[结论] 流域生态脆弱性等级大致从上游至下游逐渐降低，脆弱性空间分布特征明显。因地制宜地治理和保护流域生态脆弱区对减轻流域生态脆弱程度作用巨大。

关键词：生态脆弱性；层次分析法；贵州省乌江流域
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)04-0261-09 **中图分类号**：P964

文献参数：安芬，李旭东，程东亚. 贵州省乌江流域生态脆弱性评价及其空间变化特征[J]. 水土保持通报，2019，39(4)：261-269. DOI：10. 13961/j. cnki. stbctb. 2019. 04. 041；An Fen，Li Xudong，Cheng Dongya. Ecological vulnerability assessment and spatial variation characteristics of Wujiang River basin in Guizhou Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(4)：261-269.

Ecological Vulnerability Assessment and Spatial Variation Characteristics of Wujiang River Basin in Guizhou Province

An Fen，Li Xudong，Cheng Dongya
(*School of Geography and Environmental Science，Guizhou Normal University，Guiyang，Guizhou* 550025，*China*)

Abstract：[Objective] The ecological vulnerability and spatial variation characteristics of the Wujiang River basin in Guizhou Province were studied to provide a scientific reference for the ecological environment construction and protection in the area. [Methods] By constructing the evaluation index system，the AHP was used to weight the ecological vulnerability factors of the basin，and GIS was used to comprehensively evaluate the ecological vulnerability of the basin. [Results] ① The three classifications of quantile，equal interval and natural discontinuity had little effect on the classification of ecological vulnerability，but there were significant differences in area ratio，and the proportions of extremely fragile and potentially vulnerable watershed were the smallest. ② The ecological fragility of the basin is mainly fragile and moderately fragile，the areas of the two fragilities accounting for more than 50%. ③ Human activities have a significant impact on the ecological vulnerability of the basin. The surrounding areas of large and medium-sized cities such as Guiyang and Zunyi City are mostly and extremely vulnerable. ④ The spatial distribution of the generally fragile areas in the basin is relatively scattered，which is not conducive to the ecological environment protection of the basin. [Conclusion] The ecological vulnerability level of the basin is gradually reduced from the upstream to the downstream，and the spatial distribution characteristics of vulnerability are obvious. The protection of the ecologically fragile areas of the basin in terms of the local conditions has a great effect on reducing the ecological vulnerability of the basin.

Keywords：ecological vulnerability；analytic hierarchy process；Wujiang River basin in Guizhou Province

收稿日期：2018-12-25 **修回日期**：2019-01-22
资助项目：国家自然科学基金项目“西南山地流域城市化与生态环境的耦合关系研究：以贵州乌江流域为例”(41261039)
第一作者：安芬(1993—)，女(汉族)，贵州省凤冈县人，硕士研究生，研究方向为资源利用与低碳发展。E-mail：15500536778@163. com。
通讯作者：李旭东(1969—)，男(汉族)，湖南省邵东县人，博士，教授，硕士生导师，主要从事人口与城市化方向研究。E-mail：616507732@qq. com。

生态环境脆弱性是自然与人为因素相互作用的结果,它是生态系统的固有属性在受到外界干扰作用下的表现[1]。随着社会经济发展,人类不合理生产生活加剧,严重破坏生态系统平衡,表现出脆弱性的社会生态系统[2]。近年来,脆弱性研究广受关注,成为国内外许多学者研究领域的热点话题[3]。国外学者多从脆弱性概念入手,运用不同指标体系对影响区域及不同尺度生态脆弱性进行综合研究。国内相关研究晚于国外,但国内对生态脆弱性研究内容比国外更加深入且全面,方法应用综合及多样。国外学者 Sathyan 等[4]、Shukla 等[5]、Alves 等[6]、Mansur 等[7]、Mahapatra 等[8]、Chatterjee 等[9]分别运用不同方法及指标体系,对不同国家相关领域的脆弱性进行评价,同时国内学者石惠春等[10]、王钰等[11]、雷波等[12]、余坤勇等[13]、刘玨玨等[14]、张鑫等[15]也分别运用多种方法及指标,探究国内一些河流及相关领域生态脆弱性。通过分析国内外相关脆弱性研究,使人们更加深刻地认识人类所生存的自然环境,可以提高资源环境的保护力度,从而实现人类社会可持续发展[16]。乌江流域是贵州省生态环境系统最脆弱的地区之一,流域以山地喀斯特地貌为主。地形结构复杂,山高谷深。受自然和人为因素相互影响,生物多样性逐渐减少,水土流失与石漠化等问题加剧。乌江流域生态系统稳定,关系到沿河两岸人们的生存和发展。因此,本文以贵州省乌江流域为研究对象,利用 GIS,建立以地形、土壤、植被、气象、人类活动为表征的指标体系,采用不同分类法分析流域生态脆弱性分异特征,并探究影响流域脆弱性影响因素。期望研究成果能为当地生态环境治理、建设与保护提供科学参考。

1 研究区概况

乌江为长江上游右岸支流,流经重庆、贵州等省区(图 1)。乌江是贵州境内极其重要的河流,境内流域面积 67 500 km^2[17]。流域地形起伏大,地势西南高东北低;属亚热带季风湿润气候,年均温 13～18 ℃,年均降水 800～1 600 mm[18]。流域土壤类型包括棕壤、黄壤、石灰土、水稻土等,受地形地貌影响,气候、植被及人口存在明显的垂直分布差异[19]。流域植被覆盖较好,2015 年达 56.09%。

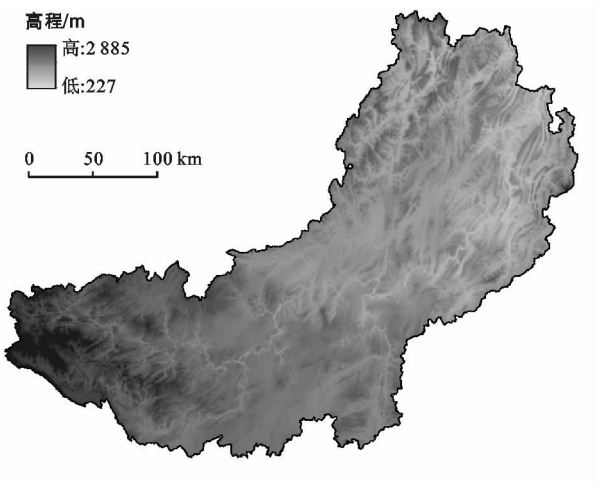


图 1 贵州省乌江流域地形图

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

DEM 和 NDVI 数据来源于地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn),土壤数据来源于寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac.cn),气象数据来源于国家气象科学数据共享服务平台(http://data.cma.cn),人口经济数据来源于国家地球系统科学数据共享服务平台(http://www.geodata.cn/),数据具体来源详见表 1。由于部分原始数据无法直接使用,文章对原始数据进行提取处理,使之更符合研究需要,结果详见表 2。

表 1 研究区数据详细来源

数据类型	数据来源	网址	精度
DEM 数据	地理空间数据云平台	http://www.gscloud.cn	90 m
植被数据	地理空间数据云平台	http://www.gscloud.cn	500 m
土壤数据	寒区旱区科学数据中心,其数据集名称为基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1)	http://westdc.westgis.ac.cn	1 km
气象数据	国家气象科学数据共享服务平台,中国地面累年值数据集(1981—2010 年)	http://data.cma.cn/	
人口数据	国家地球系统科学数据共享服务平台,数据集名称为中国 km 网格人口分布数据集(付晶莹,江东,黄耀欢.中国 km 网格人口分布数据集.全球变化科学研究数据出版系统,2014.DOI:10.397 4/geodb.2014.01.06.v1)	http://www.geodata.cn/	1 km
GDP 数据	国家地球系统科学数据共享服务平台,数据集名称为中国 km 网格 GDP 分布数据集(黄耀欢,江东,付晶莹.中国 km 网格 GDP 分布数据集.全球变化科学研究数据出版系统,2014.DOI:10.397 4/geodb.2014.01.07.v1)	http://www.geodata.cn/	1 km

表 2　研究区数据因子处理过程

目标层	要素层	数据因子	处理过程
自然因素	地形	坡度	采用 DEM 数据,利用 ArcGIS 表面分析提取
		坡向	采用 DEM 数据,利用 ArcGIS 表面分析提取
		起伏度	采用 DEM 数据,利用 ArcGIS 焦点统计提取计算,即一定范围最大值和最小值之差
	土壤	土壤厚度	采用土壤数据集直接提取
		土壤有机质	采用土壤数据集直接提取
	气候	气温	利用气象数据,采用克里金插值求得
		降水	利用气象数据,采用克里金插值求得
	植被	NDVI	利用 NDVI 数据,直接提取
		植被覆盖度	采用 NDVI 数据,利用文献[20]求取方式提取
人为因素	人口	人口密度	采用人口数据集直接提取
	经济	GDP 值	采用经济数据集直接提取

2.2　研究方法

2.2.1　*层次分析法*　权重确定在生态脆弱性评价中十分重要,对能否客观、真实反映流域生态环境情况起着重要作用。常用权重确定法主要有专家咨询法、主成分分析法、层次分析法等。本文参考以往相关文献研究,并根据该流域自身特点主要采用层次分析法。它是一种对非定量事物作定量分析的决策法。既能充分考虑人的主观性,又能对事物进行定性分析。此方法能把各种复杂因素用递阶层次结构显示,逐层分析,使决策者对复杂问题的决策思维系统化、数字化、模型化[21]。

2.2.2　*分类方法*　以往分类中多采用自然间断点分类和相等间隔分类,仅采用一种分类法往往具有局限性,很难较好的对比流域生态脆弱性特征。因此,本文分别采用分位法、相等间隔与自然间断点,共同探究生态脆弱性空间特征。①分位法(FWS)。分位数适用呈线性分布的数据。可为每个类分配数量相等的数据值。不存在空类,也不存在值过多或过少的类。但此种方法得到的地图存在误导性,可通过增加类的数量将这种失真降至最低。②相等间隔法(XDJG)。相等间隔会将属性值的范围划分为若干个大小相等的子范围。可人为指定间隔数,也可基于值范围自动确定分类间隔。此种方法适用于常见的数据范围,强调的是某个属性值相对于其他值的量。③自然间断点分级法(ZRJD)。此种方法基于数据中固有的自然分组。可对分类间隔加以识别,也可对相似值进行最恰当的分组,并可使各个类之间的差异最大化。此方法适用映射分布不均的数据值,不适用比较使用不同基础信息构建的多个地图。

3　评价体系构建与方法

3.1　评价指标建立

本研究主要以人为活动干扰为主,综合各种自然因素,通过多个单因子对该流域生态环境脆弱性进行综合评价[22]。本文选取 11 个因子作为流域生态脆弱性评价指标(表 2)。主要分为自然和人为因素指标子系统,自然因素包括地形、土壤、气象、植被 4 个二级指标,三级指标包括坡度、土壤厚度、土壤有机质、气温、降水等 9 个子指标,人为因素主要包括人口密度与 GDP 两个子指标。各指标量化标准不同,不能直接评价。综合评价前,文章对评价因子进行赋值。因子赋值越大,表示其生态脆弱程度越小;赋值越小,其生态脆弱程度越大(表 3)。

3.2　权重构建

参考相关生态脆弱性研究[23],根据流域实际情况采用 AHP 进行指标权重赋值。通过多次模拟,直到权重与实际情况基本符合,权重矩阵详见表 4。表 5 权重值显示,植被覆盖、人口与 GDP 权重较大,符合实际情况。植被覆盖是影响区域生态脆弱性重要因素,人类活动对其甚至是决定性因素,权重符合实际。土壤厚度、有机质、气温、降水、坡度等因素权重相对较大,这些因素对生态脆弱程度具有一定影响。坡向影响植被生长状况,对植被覆盖影响有限,坡向权重合理。综上看,各因子权重赋值基本合理,可满足文章需要。

3.3　评价体系构建

根据权重系数,构建生态脆弱性(Ecological vulnerability)评价公式:

$$EV=0.045S+0.017A+0.039W+0.072D+0.072O+0.077T+0.077P+0.022N+0.133V+0.223R+0.223E$$

式中:S,A,W,D,O,T,P,N,V,R,E——坡度、坡向、起伏度、土壤厚度、土壤有机质、气温、降水、NDVI、植被覆盖、人口密度、GDP。EV 范围为 1.54～4.88,本研究将生态脆弱性分为 5 个等级,即极度脆弱、中度脆弱、一般脆弱、轻微脆弱及潜在脆弱。采用的分类法不同,则不同脆弱程度的分类得分范围不同(表 6)。

表 3 研究区数据分级及处理结果

坡度/(°)	赋值	起伏度	赋值	坡向	赋值	气温	赋值	降水	赋值	植被覆盖度	赋值
<5	5	<100	5	-1	5	<13	1	<900	1	<20	1
5～10	4	100～200	4	0～45	1	13～14	2	900～1000	2	20～40	2
10～15	3	200～300	3	45～135	3	14～15	3	1 000～1 100	3	40～60	3
15～25	2	300～400	2	135～225	5	15～16	4	1 100～1 200	4	60～80	4
>25	1	>400	1	>225	1	>16	5	>1 200	5	>80	5

NDVI	赋值	土壤有机质	赋值	土壤厚度	赋值	人口密度	赋值	GDP	赋值
<0.25	1	<0.7	1	0	1	<100	5	<10	5
0.25～0.45	2	0.7～1.4	2	0～10	2	100～200	4	10～20	4
0.45～0.65	3	1.4～2.1	3	10～30	3	200～300	3	20～30	3
0.65～0.85	4	2.1～2.8	4	30～100	4	300～400	2	30～40	2
>0.85	5	>2.8	5			>400	1	>40	1

注:单位:坡度、坡向为(°);气温为℃;降水量为 mm;植被覆盖度为%;土壤有机质含量为%;土壤厚度为 cm;人口密度为人/km²;GDP 为元/km²。

表 4 生态脆弱性评价指标构建矩阵

项目	土壤厚度	土壤有机质	气温	降水
土壤厚度		1	气温	1
土壤有机质			降水	

项目	NDVI	植被覆盖度	项目	人口密度	GDP
NDVI		1/6	人口密度		1
植被覆盖度			GDP		

项目	地形	土壤	气象	植被	人类活动
地形		1	1/2	1/2	1/3
土壤			1/2	2	1/3
气象				1/2	1/4
植被					1/4
人类活动					

项目	坡度	坡向	起伏度
坡度		3	1
坡向			1/2
起伏度			

表 5 生态脆弱性评价指标权重

指标	坡度	坡向	起伏度	土壤厚度	土壤有机质	气温	降水	NDVI	植被覆盖度	人口密度	GDP
权重	0.045	0.017	0.039	0.072	0.072	0.077	0.077	0.022	0.133	0.223	0.223

表 6 生态脆弱程度类型划分

脆弱程度	得分			特征描述
	分位法	相等间隔	自然间断点	
极度脆弱	1.54～2.66	1.54～2.20	1.54～2.53	生态系统极不稳定,土壤贫瘠,植被降水稀少,水土流失严重
中度脆弱	2.67～3.03	2.21～2.87	2.54～2.98	生态系统不稳定,植被较少,土地较贫瘠,抗侵蚀能力差
一般脆弱	3.04～3.40	2.88～3.54	2.99～3.43	生态系统相对不稳定,抗侵蚀能力较差,植被与土地质量一般
轻微脆弱	3.41～3.90	3.55～4.21	3.44～3.91	生态系统相对稳定,具有一定的抗侵蚀能力,土壤肥力与植被覆盖相对较好
潜在脆弱	3.91～4.88	4.22～4.88	3.92～4.88	生态系统稳定,土壤肥沃,海拔高度较低,植被覆盖度好

4 结果与分析

4.1 生态脆弱性评价整体特征

4.1.1 整体占比分析 评价结果表明,不同分类法其脆弱性分级影响不明显,但流域面积占比存在差异(表 7)。采用分位法其不同脆弱区面积整体相差不大,其极度脆弱、中度脆弱、一般脆弱、轻微脆弱、潜在脆弱区面积分别为 8 081,8 266,8 113,8 171 和 7 889 km²,占流域总面积的 19.94%,20.40%,20.02%,20.17%和 19.47%。采用相等间隔,其极度及潜在脆弱相比另外两种方法而言,流域面积占比都较小,面积分别为 1 570 和 2 677 km²,仅占流域总面积 3.87%,6.61%。而中度及一般脆弱的流域占比较大,面积分别为 10 918 和 14 644 km²,占流域总面积的 26.94%和 36.14%。采用自然间断点其中度与一般脆弱区的流域面积仍较大,面积分别为 9 412 和 9 945 km²,占流域总面积的 23.23%和 24.54%。而极度与潜在脆弱区的流域面积比例较小,面积为 5 620和 7 639 km²,仅占流域总面积的 13.87%,18.85%。分析 3 种分类法综上可得,流域生态脆弱面积占比主要以一般与中度脆弱为主,生态系统存在不稳定性,区域面临一定的生态压力,生态问题出现但不明显,需要进一步重视研究区生态环境治理力度。

表 7　不同脆弱程度流域面积比例

脆弱程度	面积/km²			面积占比/%		
	分位法	相等间隔	自然间断点	分位法	相等间隔	自然间断点
极度脆弱	8 081	1 570	5 620	19.94	3.87	13.87
中度脆弱	8 266	10 918	9 412	20.40	26.94	23.23
一般脆弱	8 113	14 644	9 945	20.02	36.14	24.54
轻微脆弱	8 171	10 711	7 904	20.17	26.43	19.51
潜在脆弱	7 889	2 677	7 639	19.47	6.61	18.85

4.1.2　分县区整体特征分析　为更好地分析流域生态脆弱性特征,采用平均值利用 GIS 计算流经面积较大的县区,并进行空间分析,通过分析各县区的最大最小及平均值可得,流域上游区的得分最小(图 2),尤其是上游区的赫章、纳雍、大方、黔西及钟山区,这些县区生态环境十分脆弱,不管是最大最小还是平均值,这几个县区都在空间上表现出明显的低分区。此外,人类活动强烈的贵阳、遵义也是生态环境脆弱的区域,而流域中下游区的大部县区,尤其是正安、道真、务川、湄潭等县,是整个流域生态环境较好的县区。综上可得,流域中下游县区的生态环境明显优于上游县区。

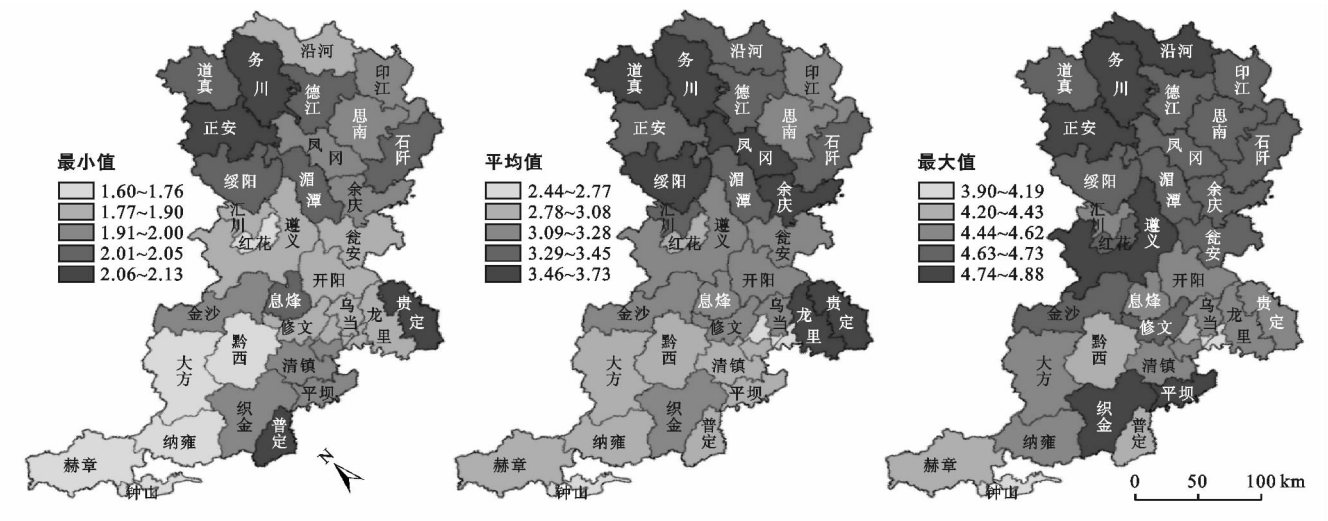


图 2　乌江流域各分县区生态脆弱性最大、最小及平均值

此外,通过对流域生态脆弱性平均值的差值分析(图 3),务川、余庆、凤冈、道真、湄潭等县处于平均值之上,差值为正值,在一定程度上,反映了这些县区是该流域生态环境最好的区域,且大多处于流域下游区域。

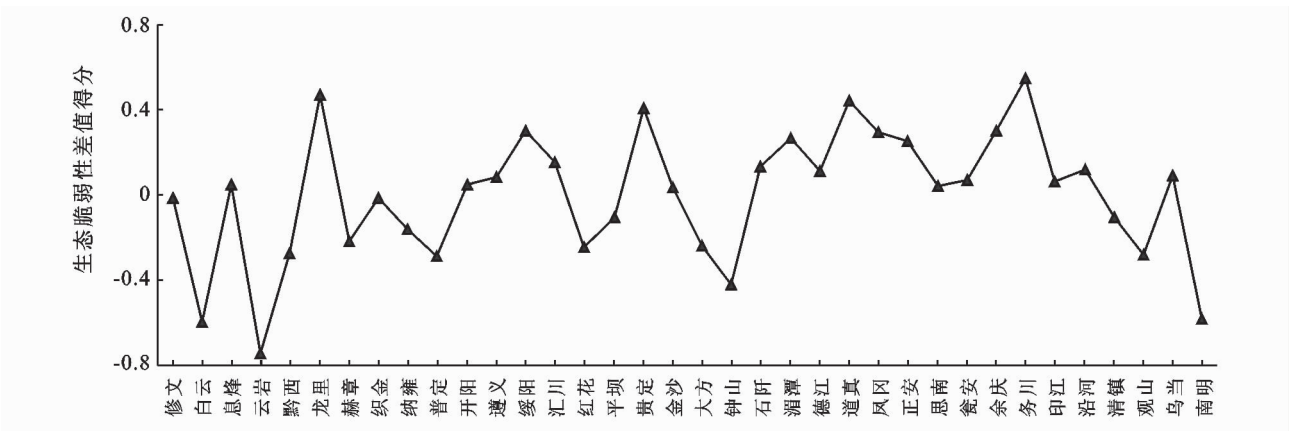


图 3　乌江流域生态脆弱性平均值的差值分析

赫章、贵阳、遵义、钟山等县市处于平均值以下，差值为负值，是流域内生态环境最脆弱的县区。而织金、金沙、思南、开阳等县刚好处于平均值之间，表明这些县区是生态环境一般的区域。综上可知，整个流域中下游县区脆弱性优于上游县区。

4.2 空间分布特征

4.2.1 *生态极度脆弱区特征* 整体而言，极度脆弱区主要分布在流域上游及遵义、贵阳与其周边区域。采用分类法不同，其脆弱程度在空间上的分布存在差异(图 4)。采用相等间隔，其脆弱区主要分布在流域中上游的赫章、大方、七星关、贵阳、遵义。占流域面积最小为 1 570 km^2，仅占流域总面积的 3.87%。而采用分位法及自然间断点，其脆弱区主要集中在流域中上游的大部县区。且上游区的脆弱程度较密集，流域面积分别为 8 081 和 5 620 km^2，占流域总面积的 19.94%，13.87%。贵阳、遵义、七星关、钟山是政治、经济、文化较发达的市区，聚集人口多、人口密度大，用地、用水及交通需求较大，大量城市生活垃圾处理不当。另一方面，上游区是典型的喀斯特地貌山区，气候条件差，降水量稀少。水土流失与石漠化极其严重，岩石裸露，山高坡陡。人们对土地资源破坏严重，土层薄，有机质含量少，土地生产力低，生态环境退化严重。此外，六盘水部分县区煤矿业较多，对煤矿的大规模开采加剧水污染。总体来看，流域极度脆弱区主要分布于经济发展较好的市区及上游区域，脆弱程度占流域面积较小，并在空间上呈现点状的分布特点。

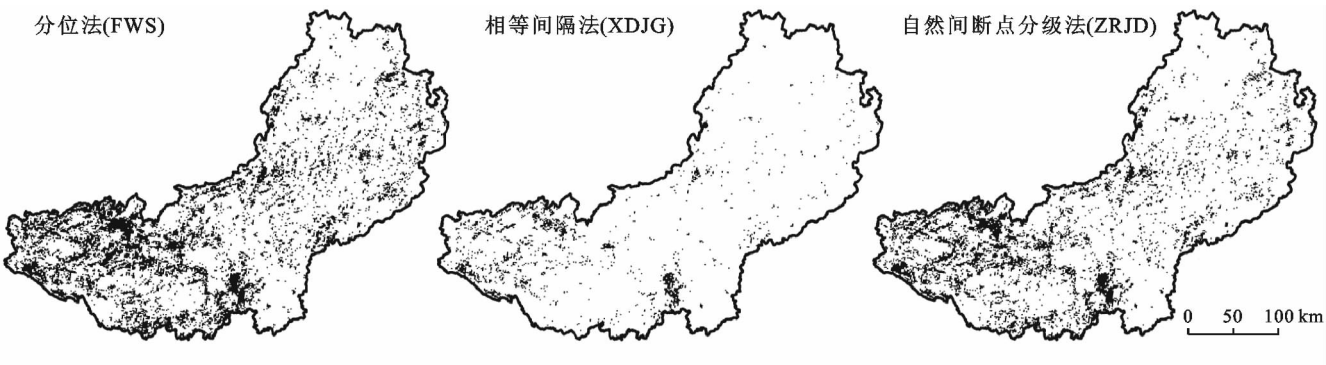


图 4 贵州省乌江流域极度脆弱区空间分布

4.2.2 *生态中度脆弱区特征* 中度脆弱区，采用分类法不同，其面积分别为 8 266，10 918 和 9 412 km^2，占流域总面积的 20.40%，26.94%，23.23%。从图 5 可以看出，采用相等间隔，其脆弱区主要分布在流域上游的毕节区及中下游的贵阳、遵义及铜仁小部区域。而采用分位法与自然间断点其主要分布于中下游区的安顺、黔南、铜仁部分县区及贵阳、遵义等县，并在空间上的分布更密集。原因在于：一方面，上中游钟山、七星关、贵阳、遵义是经济发展较好的市中心，人口密集。水电、煤矿、磷化工、林业等各种资源被长期不合理开发利用，大量有毒污染源及工业废水浸入土壤、排入河流；水质不断恶化，造成大量鱼类减少甚至绝迹。同时，大量泥沙淤积直接威胁下游安全，给沿岸的人们带来生态隐患。不合理用地与修建水库等措施，造成森林面积减小，植被覆盖率低。另一方面，赫章、纳雍等县处于交通、经济较差的区域。人们对植被滥砍滥伐，抗侵蚀能力弱，导致生态系统自我调控能力下降，加剧了该区的生态脆弱程度。综上表明，流域中度脆弱区面积增大，并在空间上呈现大块且密集的斑点状特征。

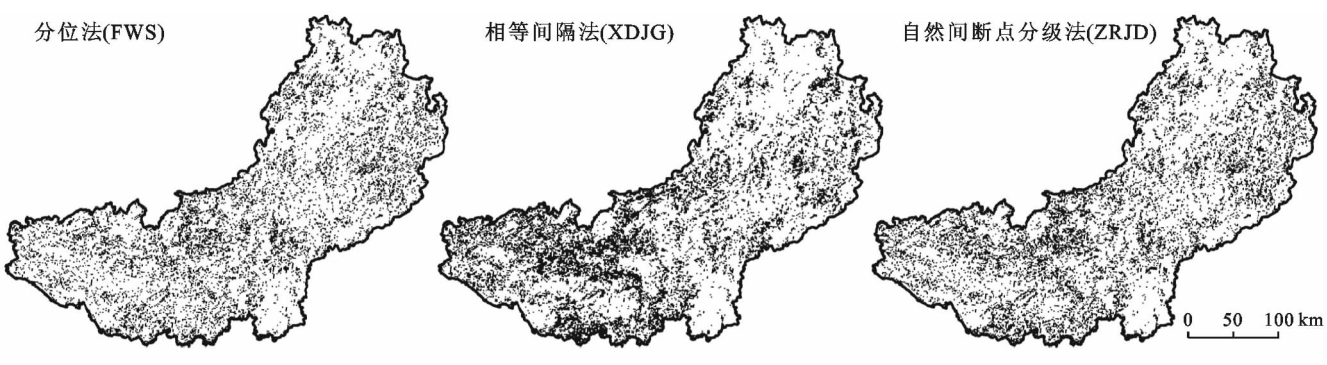


图 5 贵州省乌江流域中度脆弱区空间分布

4.2.3　生态一般脆弱区特征　一般脆弱区,运用 3 种分类法其面积分别为 8 113,14 644 和 9 945 km^2,占流域总面积的 20.20%,36.14%,24.54%。从图 6 可见,采用 3 种分类法其脆弱区都覆盖了流域的上中下游区。差异在于采用相等间隔分布得更稠密,而采用分位法与自然间断点分布较稀疏。中下游区海拔高差相对较低,地势相对平坦,多低山,具备良好的土地利用优势。但是该区岩溶地貌发育强烈,山地多,具有一定的坡度条件。此外,相关文献得出该流域垂直差异特征明显,如果人们对土地不合理开垦利用,容易带来严重的水土流失,土壤质地也会随之下降。此外,中下游区具备良好的社会经济基础,经济的发展势必会带来该区生态环境的破坏。另一方面,流域上游区近年来政府大力实施退耕还林还草,在一定程度上,缓解了水土流失。加上外出务工人数增多,人口迁移现象加强,人口质量逐渐提高,适当减轻了该区域的生态环境压力。整体来看,流域一般脆弱区在空间分布较为分散,不利于流域生态环境的保护。

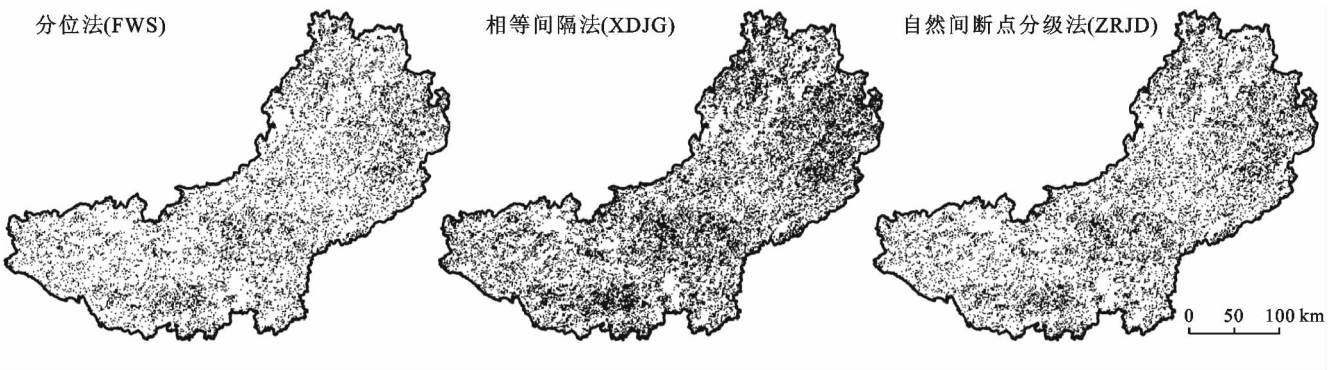


图 6　贵州省乌江流域一般脆弱区空间分布

4.2.4　生态轻微脆弱区特征　轻微脆弱区,采用 3 种分类法其面积分别为 8 171,10 711 和 7 904 km^2,占流域总面积的 20.17%,26.43%,19.51%。从图 7 可看到,采用相等间隔其脆弱区主要分布于流域中下游区的安顺、黔南、遵义、铜仁部分县区。而采用分位法与自然间断点其脆弱区分散于黔南、安顺、铜仁、毕节、遵义的部分县区。一方面可看到,由于赫章、七星关、钟山、贵阳、遵义经济发达,城镇化进程较快、人为干扰大,是较脆弱的区域,在空间上呈现稀疏的特征。另一方面,流域中下游部分地区地形相对低平,脆弱程度低,耕地面积相对较大,经济水平相对良好,各方面基础设施相对完备,人为干扰力度相对弱小。此外,部分县区大力发展旅游产业,拥有一套完整的旅游设施,其环境保护及绿色发展力度提高,人地关系趋于缓和,生态环境保护情况也相对较好。综上总体来看,采用相等间隔其脆弱区在空间上呈现出更紧密的特点,而采用分位法与自然间断点表现出稀疏的斑点状特征。

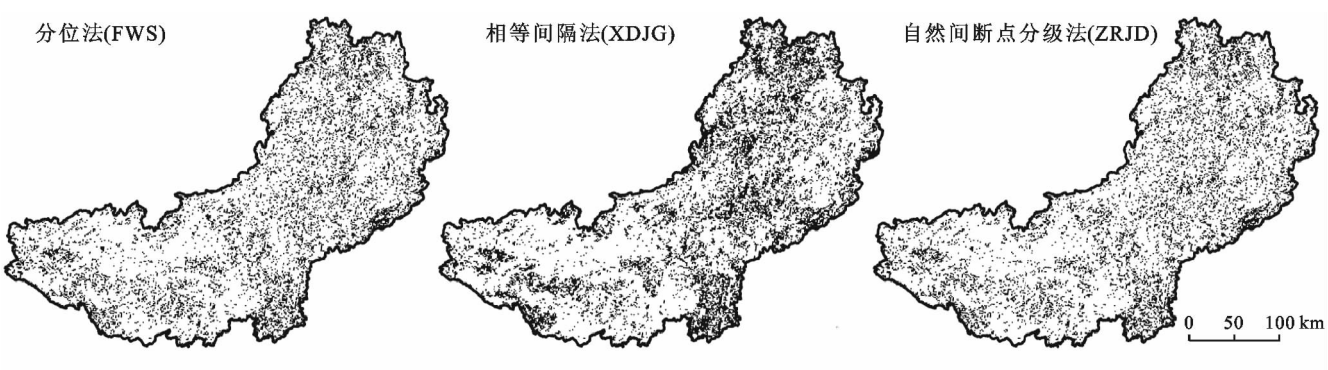


图 7　贵州省乌江流域轻微脆弱区空间分布

4.2.5　生态潜在脆弱区特征　研究区潜在脆弱区,采用三种分类法其脆弱区面积分别为 7 889,2 677 和 7 639 km^2,占流域总面积的 19.47%,6.61%,18.85%。

从图 8 可看到,采用相等间隔其脆弱区零散的分布于流域中下游区的安顺、遵义及铜仁小部县区。而采用分位法与自然间断点其主要分布于铜仁、遵义、安顺及黔南小部地区,其脆弱区分布的空间区域较密集。一方面,由于流域上游区生态环境较脆弱,生态环境质量差,生态破坏十分严重,因此在空间上凸显

点状的特征。另一方面,由于流域中下游部分地区生态环境相对较好,气候温和、降水充足,水热组合条件好,土壤有机质含量高,地形及坡度相对较小。但是由于经济发展较好,受城市化进程影响较大,如果人们不协调好经济与环境之间的和谐关系,也势必会存在一定的生态环境安全隐患。但相对而言,该区域生态环境保护较好,各方面发展条件好,人为干扰程度小,人与自然环境之间的关系较融洽。

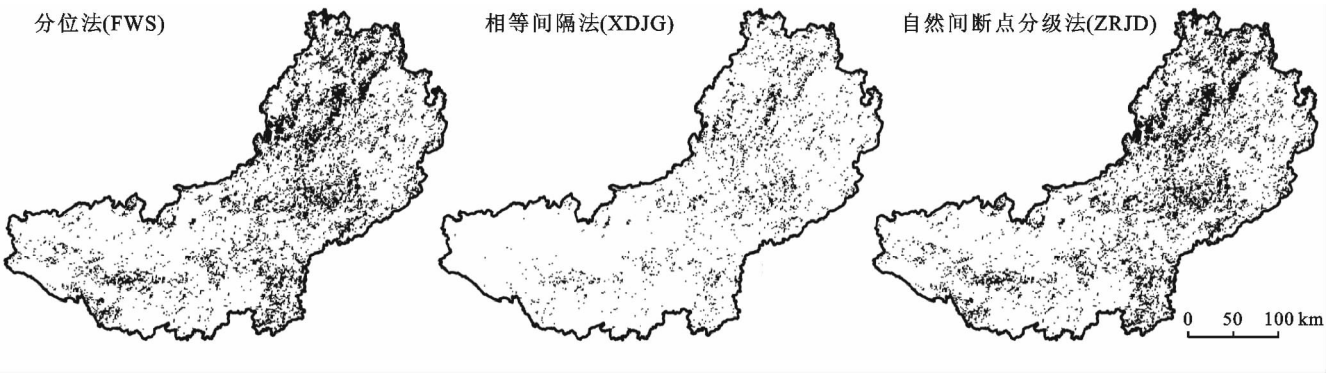


图 8 贵州省乌江流域潜在脆弱区空间分布

5 结论与讨论

5.1 结 论

(1) 采用 3 种分类法对生态脆弱性等级划分影响不大,但流域面积占比存在明显差异。采用分位法其面积依次为 8 081,8 266,8 113,8 171 和 7 889 km^2,分别占流域面积的 19.94%,20.40%,20.02%,20.17%,19.47%。相等间隔其面积依次为 1 570,10 918,14 644,10 711 和 2 677 km^2,分别占流域面积的 3.87%,26.94%,36.14%,26.43%,6.61%。采用自然间断点其面积依次为 5 620,9 412,9 945,7 904和 7 639 km^2,占流域面积的 13.87%,23.23%,24.54%,19.51%,18.85%。

(2) 贵州省乌江流域生态脆弱程度以一般脆弱和中度脆弱为主,其流域面积为 61 298 km^2,一般与中度脆弱占比在 50%以上。整体来看,除流域上游大部分区及市中心生态环境破坏严重外,中下游大部区域生态脆弱程度相对较好。

(3) 从空间分布差异上看,贵州省乌江流域生态脆弱等级大致从上游至下游逐渐降低,脆弱性特征明显。流域上游区水土流失及石漠化现象等生态环境问题破坏严重,生态脆弱性较高。而下游区是生态环境保护较好的区域,生态脆弱性较低,整体上也呈现随海拔高差出现西南高东北低的空间分布态势。

(4) 人类活动对贵州省乌江流域生态脆弱性影响明显,贵阳、遵义市等大中城市周边多为极度脆弱区。贵阳、遵义是经济条件好、人口密度大、城市化水平较高的市中心,受自然、人文、经济、地理等综合因素的相互作用,外来干扰影响最多,生态系统表现出明显的不稳定性。

(5) 贵州省乌江流域一般脆弱区空间分布较为分散,不利于流域生态保护治理。流域一般脆弱区在空间上分散覆盖了该流域的各个区域,分散广、覆盖宽,难以对流域进行规模治理,不利于进行生态环境的综合整治。

5.2 讨 论

本研究对贵州省乌江流域生态脆弱程度进行划分,结果具有一定实践和现实意义,但仍存在一些问题需深入研究。层次分析法是运用较多的系统决策分析法,采用此方法是可行的,并具有一定现实意义。但此方法在客观评价上仍存在局限性,因此,如何结合客观评价方法探究流域生态脆弱性仍需认真考虑。本文数据来自各种矢量(栅格)数据,数据指标选取有难度,部分数据年份不能及时更新。比如,本研究部分数据仅选取 2010 和 2015 年。虽然部分数据具有阶段性的稳定性特点,可代表一个时段整体特征,并不影响研究结论。但数据间可能也会存在微小差异,加强数据并利用更好技术对数据进行时间完善十分必要。此外,文章初步根据研究区自然因素及人类活动对流域生态脆弱性进行综合评价,只是进行横向对比,未能全面进行更深入的时间系列纵向比较,这也是今后研究的方向。本研究为了更好地揭示流域生态脆弱性空间特征,采用 3 种分类法对空间特征进行差异对比。3 种方法所得生态脆弱性总体空间趋势基本一致,但在局部存在一定的差异。但更推荐极度生态脆弱性占比更高的方法,即分位法。推荐理由是因为分位法所得生态极度脆弱区占比较高,面对当前人们对生态环境的更高要求,极度脆弱区占比高有利于加大生态环境治理,促进区域生态质量好转与提升。

[参 考 文 献]

[1] 韦莉. 基于 RS 和 GIS 的石羊河流域生态脆弱性评价研究[D]. 甘肃 兰州:西北师范大学,2010.

[2] 宋利君. 漓江流域脆弱性生态系统评价及其与旅游业的协调发展研究[D]. 广西 桂林:广西师范大学,2013.

[3] 李辉, 张利华, 吴君峰, 等. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态脆弱性评价[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2011,45(1):145-149.

[4] Sathyan A R, Funk C, Aenis T, et al. Sensitivity analysis of a climate vulnerability index: A case study from Indian watershed development programmes[J]. Climate Change Responses, 2018,5(1):1-14.

[5] Shukla R, Chakraborty A, Joshi P K. Vulnerability of agro-ecological zones in India under the earth system climate model scenarios[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2017,22(3):399-425.

[6] Alves M C, Fábio M S, Sanches L, et al. Geospatial analysis of ecological vulnerability of coffee agroecosystems in Brazil[J]. Applied Geomatics, 2013, 5(2): 87-97.

[7] Mansur A V, Eduardo S, Brondízio R S, et al. An assessment of urban vulnerability in the Amazon Delta and Estuary: A multi-criterion index of flood exposure, socio-economic conditions and infrastructure[J]. Sustainability Science, 2016,11(4):625-643.

[8] Mahapatra M, Ramakrishnan R, Rajawat A S. Coastal vulnerability assessment using analytical hierarchical process for South Gujarat coast, India[J]. Natural Hazards, 2015,76(1):1-21.

[9] Chatterjee S, Krishna A P, Sharma A P. Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the upper Subarnarekha river basin, Jharkhand, India[J]. Environmental Earth Sciences, 2013,71(1):357-374.

[10] 石惠春,何剑,刘伟. 石羊河流域生态脆弱性评价研究[J]. 资源开发与市场,2012,28(11):1020-1024.

[11] 王钰,胡宝清. 西江流域生态脆弱性时空分异及其驱动机制研究[J]. 地球信息科学学报,2018,20(7):947-956.

[12] 雷波,焦峰,王志杰,等. 延河流域生态环境脆弱性评价及其特征分析[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):161-167.

[13] 余坤勇,刘健,黄维友,等. 基于 GIS 技术的闽江流域生态脆弱性分析[J]. 江西农业大学学报,2009,31(3):568-573.

[14] 刘玨玨,汪妮,解建仓,等. 基于模糊综合评价法的渭河流域生态脆弱性评价[J]. 沈阳农业大学学报,2014(1):73-77.

[15] 张鑫,杜朝阳,蔡焕杰. 黄土高原典型流域生态环境脆弱性的集对分析[J]. 水土保持研究,2010,17(4):96-99.

[16] 范强. 基于 SRP 模型资源枯竭型城市生态脆弱性时空分异研究[D]. 辽宁 沈阳:辽宁师范大学,2017.

[17] 石悦樾,银正彤,郑文锋. 基于 GLDAS 和 MODIS 的乌江流域植被与地表水变化关系研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):192-198.

[18] 化环环,邱新法,曾燕. 基于互补相关的乌江流域实际蒸散量分布式模拟[J]. 长江科学院院报,2018,35(7):25-29.

[19] 牛潜,周旭,许幼霞,等. 基于土地利用的贵州省乌江流域生态系统服务价值演变分析[J]. 生态科学,2018,37(5):165-173.

[20] 芦颖,李旭东,杨正业. 1990—2015 年贵州省乌江流域生态环境质量变化评价[J]. 水土保持通报,2018,38(2):140-147.

[21] 况润元,周云轩,李行,等. 崇明东滩鸟类生境适宜性空间模糊评价[J]. 长江流域资源与环境,2009,18(3):229-233.

[22] 王雪梅,席瑞. 基于 GIS 的渭干河流域生态环境脆弱性评价[J]. 生态科学,2016,35(4):166-172.

[23] 王延平,刘霞,姚孝友,等. 淮河流域沂蒙山区水土保持生态脆弱性的 AHP 分析[J]. 中国水土保持科学,2010,8(3):20-27.