

国家级重点生态功能区的生态敏感性变化分析*

——以湖南省麻阳县为例

刘培亮^{1,2} 曹雪莹^{1#} 毛慧娟² 吴丹²

(1.长沙学院乡村振兴研究院,湖南 长沙 410022;2.湖南省第二测绘院,湖南 长沙 410119)

摘要 区域生态敏感性分析是划定国土生态空间、制定区域环境政策的重要参考依据之一。以湖南省麻阳县为例,通过构建区域生态敏感性评价体系,分析2009—2018年国家级重点生态功能区的生态敏感性变化情况,并依据生态敏感性特征划定研究区的生态空间。结果表明:(1)麻阳县2009—2018年综合生态敏感性等级不断提高,不敏感区和轻度敏感区占比分别减少了4.86个百分点和1.91个百分点,中度敏感区和高度敏感区占比分别提高了4.51个百分点和2.26个百分点;(2)依据综合生态敏感性评价结果,划定生态空间面积60 357.35 hm²,占该县总面积的38.55%,主要分布在县域南部、西部和西北部。

关键词 生态敏感性 生态空间 层次分析法 地理信息系统

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.09.013

Analysis of ecological sensitivity changes in national key ecological functional areas; taking Mayang County of Hunan Province as an example LIU Peiliang^{1,2}, CAO Xueying¹, MAO Huijuan², WU Dan². (1. Rural Vitalization Research Institute, Changsha University, Changsha Hunan 410022; 2. The Second Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha Hunan 410119)

Abstract: The analysis of regional ecological sensitivity is one of the important reference bases for delimiting land ecological space and formulating regional environmental policy. Mayang County of Hunan Province was taken as an example. Based on the construction of regional ecological sensitivity evaluation system, the changes of ecological sensitivity in the national key ecological functional areas was analyzed from 2009 to 2018. At the same time, the ecological space was delineated according to the ecological sensitivity characteristics of the study area. The results showed that: (1) from 2009 to 2018, the comprehensive ecological sensitivity level of Mayang County had been continuously improved. The area fraction of insensitive and mild sensitivity regions decreased by 4.86 percent points and 1.91 percent points, while that of moderate and high sensitivity regions increased by 4.51 percent points and 2.26 percent points, respectively. (2) According to the results of comprehensive ecological sensitivity assessment, 60 357.35 hm² ecological space was defined, occupying 38.55% area of the whole county, which mainly were distributed in the south, west and northwest of the county.

Keywords: ecological sensitivity; ecological space; analytic hierarchy method; geographic information system

随着经济社会的发展,人类活动对自然环境影响的范围和强度与日俱增,不同尺度上的生态系统受到严重破坏^[1]。生态敏感性是指生态系统对自然环境变化和人类活动干扰的反映程度,反映发生区域生态环境问题的难易程度和可能性^[2]。生态敏感性越高的区域,对外界环境变化越敏感,其生态系统越容易受损^[3]。进行生态敏感性分析,确定不同生态级别敏感区所占比例和分布情况,明确需要重点保护与修复的生态高度敏感区,是进行资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价以及划定国土生态空间的重要依据,也是夯实国土空间规划编制的基础^[4]。因此生态敏感性评价已成为当前国

内外学者研究的热点^[5-9]。

目前,我国对生态敏感性的研究主要是针对省(自治区、直辖市)、市或某一地形区域层面的综合性生态敏感性评价,尺度较大,范围较广,而针对县域等中小尺度的研究较少^[10],且多集中于对单一生态要素敏感性的分析,生态环境敏感性综合研究相对较少^[11]。此外,多数研究都是针对经济发达地区^[12],关于贫困地区特别是国家级重点生态功能区的生态敏感性研究较少。但国家级重点生态功能区是我国对优化国土资源空间格局、坚定不移地实施主体功能区制度、推进生态文明制度建设所划定的重点区域^[13],该生态功能区对生态环境的变化更敏感,遭受

第一作者:刘培亮,男,1989年生,硕士,工程师,主要从事国土空间规划、城乡规划、土地管理研究。* 通讯作者。

* 湖南省高新技术产业科技创新引领计划项目(No.2020NK2001);长沙市自然科学基金资助项目(No.kq2007082)。

破坏后环境影响更恶劣。本研究以湖南省麻阳苗族自治县(以下简称麻阳县)为研究对象,结合实际选取了 7 个生态敏感性评价因子,采用地理信息系统(GIS)的空间分析和层次分析法,分析该县 2009—2018 年近 10 年的生态敏感性变化情况;同时依据生态敏感性高低划定了国土生态空间,并探讨了生态空间今后的功能定位。

麻阳县位于武陵山区生物多样性及水土保持生态功能区内,属于国家级重点生态功能区,区域内坚持生态主导、保护优先、严格准入、限制开发。通过开展麻阳县的生态敏感性评价,可对麻阳县全域进行生态敏感性分类归并,并为科学编制国土空间规划提供一定的参考依据。同时,对协调该区域的国土空间利用与生态环境建设,科学确定生态空间的规模和布局,合理开发利用和保护生态环境脆弱区土地资源,促进麻阳县土地资源可持续利用和社会经济可持续发展,具有重要的现实意义。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

麻阳县是全国五个单一苗族自治县之一,隶属湖南省怀化市,位于 109°24'E~110°6'E,27°32'N~28°1'N,为亚热带季风气候,地形以丘陵山地为主,地质灾害频发。麻阳县地处锦江流域中游、雪峰山与武陵山脉之间,是贵州高原走向江南丘陵的交通要冲。2018 年末,麻阳县下辖 8 镇 10 乡,土地总面积 156 557.46 hm²,常住人口 35.23 万,其中苗族人口占总人口的比例达到 80.20%,地区生产总值 81.25 亿元,全县城镇居民人均可支配收入 23 156 元,农民人均纯收入为 8 522 元。

1.2 数据来源及处理

2009 年和 2018 年 Landsat-TM 影像(分辨率 30 m)、高程模型 GDEM 30 m 影像来源于地理空间

数据云平台;第二次全国土地调查数据、2018 年年度变更数据、地理国情数据、自然保护地数据由麻阳县自然资源局提供;行政区和界线矢量数据由麻阳县民政局提供;人口及社会经济发展数据来源于统计部门提供的麻阳县统计年鉴及政府工作报告。因获得的数据类型不同,坐标不统一,通过 GIS 软件对取得的数据及图形进行了校准、投影变换和矢量处理,使数据转化为 2000 国家大地坐标系下的 shape-file 格式类型。

2 研究方法

2.1 评价因子的确定与等级划分

结合麻阳县土地利用情况及丘陵山地面积极大等实际状况,参照《生态保护红线划定指南》的生态环境敏感性评估方法,并考虑数据的代表性、综合性和可操作性,参考相关研究成果^[14],采用层次分析法,从地形地貌、生态环境和社会经济 3 个方面选取了高程、坡度、植被覆盖度、水域、自然保护地、土地利用类型、道路交通等 7 个因子作为麻阳县生态敏感性评价的影响因子。高程、坡度、水域、自然保护地、道路交通等因子近 10 年变化较小,采用 2018 年数据,植被覆盖度和土地利用类型采用 2009 年和 2018 年数据。

根据国家生态功能区划中生态敏感性指标体系分级标准,并参照国家和地区制定的生态环境质量评分标准、行业标准与设计标准,将单因子生态敏感性用高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 4 个等级进行表示,并分别赋值为 7、5、3、1,具体分级标准见表 1(水域和道路交通以缓冲区距离衡量)。

《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》指出自然保护地是生态建设的核心载体、中华民族的宝贵财富、美丽中国的重要象征,在维护国家生态安全中居于首要地位。因此本研究

表 1 麻阳县生态敏感性评价指标分级标准
 Table 1 Ecological sensitivity evaluation index classification standard of the Mayang County

目标层	准则层	指标层	权重	单因子生态敏感性				指标属性
				高度敏感	中度敏感	轻度敏感	不敏感	
生态 敏感性 评价	地形地貌	高程	0.173 4	≥500 m	350~<500 m	200~<350 m	<200 m	限制性指标
		坡度	0.166 5	≥25°	15°~<25°	8°~<15°	<8°	限制性指标
	生态环境	植被覆盖度	0.365 4	≥0.6	0.4~<0.6	0.2~<0.4	<0.2	限制性指标
		水域	0.105 5	≤50 m	>50~100 m	>100~200 m	>200 m	限制性指标
		自然保护地		位于自然保护区内				修正性指标
	社会经济	土地利用类型	0.149 1	水域、林地	其他土地、其他草地	园地、耕地、其他农用地	建设用地	限制性指标
		道路交通	0.040 1	≥200 m	100~<200 m	50~<100 m	<50 m	限制性指标

表 2 麻阳县评价因子判断矩阵
Table 2 The sensitivity factor judgment matrix of the Mayang County

评价因子	高程	坡度	植被覆盖度	水域	土地利用类型	道路交通
高程	1	2	1/2	3	1/4	5
坡度	1/2	1	1/3	2	3	4
植被覆盖度	2	3	1	4	5	6
水域	1/3	1/2	1/4	1	2	3
土地利用类型	4	1/3	1/5	1/2	1	2
道路交通	1/5	1/4	1/6	1/3	1/2	1

表 3 麻阳县生态敏感性综合评价指数分级
Table 3 Ecological sensitivity classification standard in Mayang County

等级	综合评价指数	区域生态环境状况界定
不敏感	[1.0, 2.5]	区域生态环境已有较大破坏,生态环境已发生重要改变,基本上不能复原
轻度敏感	(2.5, 4.0]	区域生态环境趋于恶化,受到轻度干扰尚可恢复
中度敏感	(4.0, 5.0]	区域生态环境受到一定程度干扰,若人为破坏易产生恶化
高度敏感	(5.0, 7.0]	区域生态环境很少受破坏,原始生境多,受到干扰恢复困难

将自然保护区作为评价指标的修正性指标,即在自然保护区内的区域均作为高度敏感区,其他 6 个指标作为限制性指标依据权重参与评价。使用层次分析法与专家咨询法来确定权重,通过构建判断矩阵(见表 2),并进行一致性检验,计算出了各评价因子的权重,具体计算方法参照文献[15]。

2.2 评价对象和评价单元

本次生态敏感性评价对象为麻阳县行政辖区范围内所有土地。各评价指标采用 shapefile 矢量数据形成的图斑作为评价单元,单因子评价时不设最小评价单元,综合评价结果以 400 m² 作为最小评价单元,即 400 m² 以下的图斑跟周边图斑合并。

2.3 评价步骤

(1) 通过获取限制性指标数据,计算各限制性指标的分值,进行单因子生态敏感性评价。

(2) 对各类指标的生态敏感性进行加权求和,得出生态敏感性综合评价指数。

(3) 参考杨伟等^[16]的研究成果,结合麻阳县实际,将麻阳县综合生态敏感性划为 4 个等级(见表 3)。

(4) 根据修正性指标(自然保护区)对综合评价结果进行修正,得出麻阳县修正后综合生态敏感性评价结果。

3 结果分析

3.1 单因子生态敏感性分析

3.1.1 高程生态敏感性

图 1 展示了高程生态敏感性分布。麻阳县主要山峰有西晃山、严湾冲、盘龙坡等,最高海拔 1 405 m(西晃山),最低海拔 130 m。研究区不敏感区面积 32 203.35 hm²,占 20.57%,集中在县域中部和东

部,主要分布在岩门镇、高村镇、兰里镇、吕家坪镇、黄桑乡。轻度敏感区面积 80 370.31 hm²,占 51.34%,集中在县域北部和中南部,主要分布在石羊哨乡、板栗树乡、锦和镇、舒家村乡、隆家堡乡、江口墟镇。中度敏感区面积 29 902.45 hm²,占 19.10%,集中在县域西部和西北部,主要分布在郭公坪镇、锦和镇、兰村乡。高敏感区面积 14 081.34 hm²,占 8.99%,集中在县域南部,主要分布在尧市镇、文昌阁乡、大桥江乡,由于境内最高峰西晃山位于该区域,海拔最高,所以生态敏感性也是整个研究区最高的。

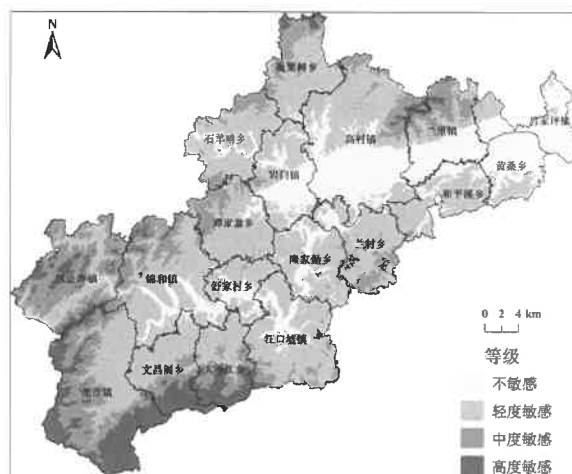


图 1 高程生态敏感性分布

Fig.1 Ecological sensitivity distribution of elevation

3.1.2 坡度生态敏感性

图 2 展示了坡度生态敏感性分布。研究区地势南、北、西三面高,中间低,朝东斜开口,略似簸箕状。研究区不敏感区面积 63 374.13 hm²,占 40.48%,分布在县域中部和东部,主要是锦江沿线的乡镇。轻

度敏感区面积 51 066.80 hm^2 , 占 32.62%, 分布在县域西部和东南部, 主要包括石羊哨乡、板栗树乡、兰村乡、隆家堡乡。中度敏感区面积 34 265.73 hm^2 , 占 21.89%, 分布在县域西部、西北部和东北部, 主要包括郭公坪镇、锦和镇、兰里镇。高度敏感区域面积 7 850.80 hm^2 , 仅 5.01%, 集中在县域南部, 主要分布在尧市镇、文昌阁乡、大桥江乡, 此处山地较多, 地势起伏较大。



图2 坡度生态敏感性分布

Fig.2 Ecological sensitivity distribution of slope

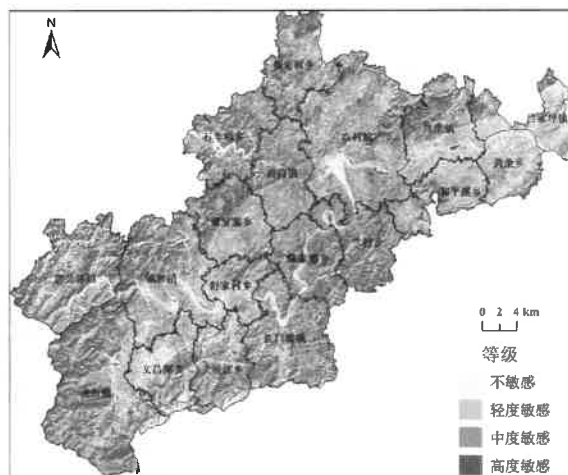
3.1.3 植被覆盖度生态敏感性

图3展示了2009年和2018年植被覆盖度生态敏感性分布。麻阳县森林植被为亚热带常绿阔叶林, 森林覆盖率达66%。

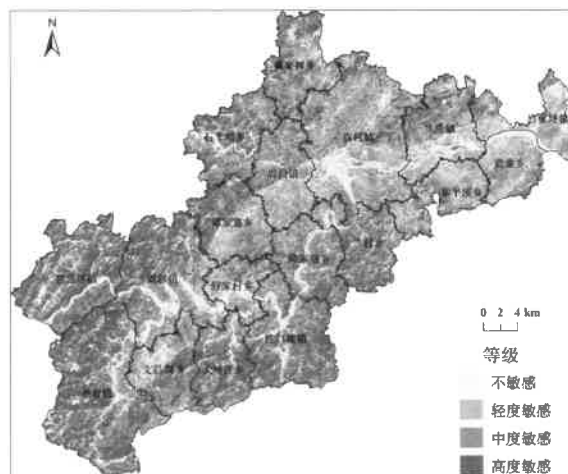
研究区2009年植被覆盖度的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为29 387.52、38 184.28、49 797.42、39 188.24 hm^2 , 占总面积的比例分别为18.77%、24.39%、31.81%、25.03%。2018年植被覆盖度的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为25 294.33、31 910.00、57 637.49、41 715.64 hm^2 , 占总面积的比例分别为16.16%、20.38%、36.82%、26.64%。全县植被覆盖度不敏感区和轻度敏感区分布在县域中部和东部, 主要是由于锦江由西往东穿过县域中部, 两岸形成较多冲积平原, 地势平坦, 耕地、园地较多, 此外中心城区较多城镇也分布在锦江两岸, 建设用地较多; 中度敏感区和高度敏感区占全县大部分区域, 主要分布在南部和西部, 此处山地较多, 植被茂密, 说明麻阳县生态环境较好。

从近10年植被覆盖度生态敏感性等级面积变化情况来看, 麻阳县的不敏感区和轻度敏感区面积减少, 中度敏感区和高度敏感区面积增加, 其中不敏

感区和轻度敏感区占比分别减少2.61个百分点和4.01个百分点, 中度敏感区和高度敏感区占比分别提高5.01个百分点和1.61个百分点。谭家寨乡、岩门镇、高村镇、兰里镇等中部沿线区域生态敏感性等级有所降低, 主要是农业产业结构调整, 部分林地开垦为耕地和果园, 县城周边建设用地增加等原因所致; 郭公坪镇、尧市镇、锦和镇、文昌阁乡等西部和南部区域生态敏感性等级有所提高, 主要是该区域生态退耕, 林地面积增加等原因所致; 东部区域生态敏感性等级变化较小。



(a) 2009年



(b) 2018年

图3 2009年和2018年植被覆盖度生态敏感性分布
Fig.3 Ecological sensitivity distribution of vegetation coverage in 2009 and 2018

3.1.4 水域生态敏感性

图4展示了水域生态敏感性分布。麻阳县境内有大小溪河287条, 最长的河流为锦江, 水库共计170座。麻阳县水域生态敏感性的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为129 977.22、10 783.72、5 558.05、10 239.45 hm^2 , 分别占83.02%、

6.89%、3.55%、6.54%。麻阳县无较大水库,因此高度敏感区主要分布在锦江及其支流附近。

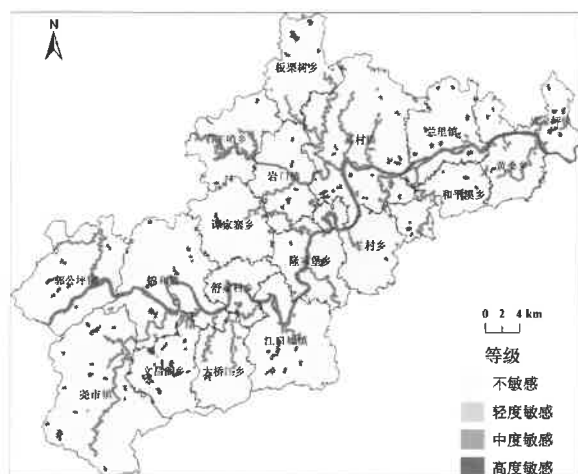


图4 水域生态敏感性分布

Fig.4 Ecological sensitivity distribution of water area

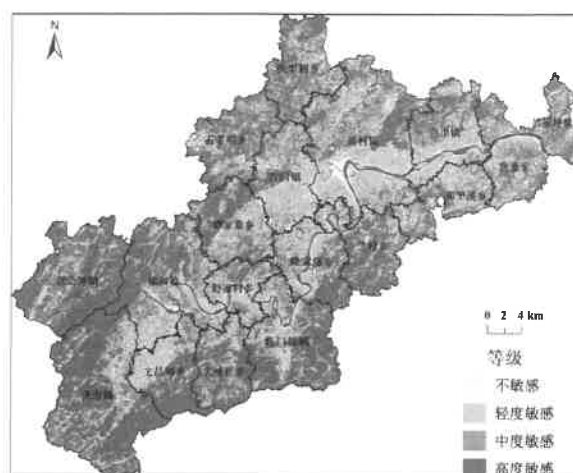
3.1.5 土地利用类型生态敏感性

图5展示了土地利用类型生态敏感性分布。麻阳县2009年土地利用类型不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为5 337.16、59 818.58、5 250.14、86 151.58 hm^2 ,占比分别为3.41%、38.21%、3.35%、55.03%;2018年土地利用类型不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为5 811.81、59 720.55、5 143.27、85 881.83 hm^2 ,占比分别为3.71%、38.15%、3.28%、54.86%。

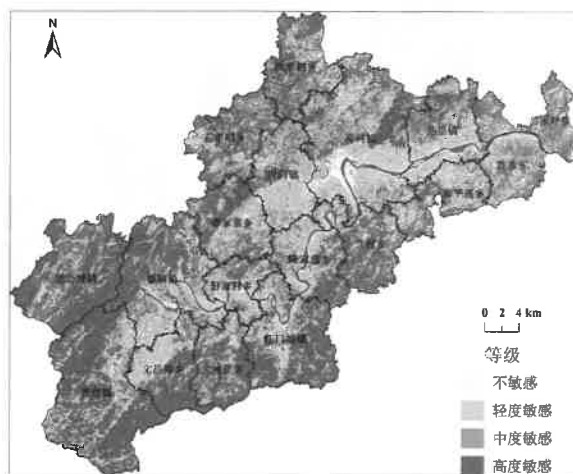
从近10年土地利用类型生态敏感性等级面积变化情况来看,麻阳县的不敏感区面积增加,轻度敏感区、中度敏感区和高度敏感区面积减少,其中不敏感性面积占比增加0.30个百分点,轻度敏感区、中度敏感区和高度敏感区占比分别降低0.06个百分点、0.07个百分点和0.17个百分点。谭家寨乡、岩门镇、高村镇、兰里镇等中部沿线区域生态敏感性等级有所降低,主要是林地面积减少,县城周边建设用地增加等原因所致;郭公坪镇、尧市镇、锦和镇、文昌阁乡等西部和南部区域生态敏感性等级有所提高,主要是该区域退耕还林,林地面积增加等原因所致;东部区域生态敏感性等级变化较小。

3.1.6 道路交通生态敏感性

图6展示了道路交通生态敏感性分布。道路交通生态敏感性等级分析的是县级及其以上等级道路和中心城区主干路,农村道路和铁路的人类活动对周边生态环境影响较小,未纳入生态敏感性分析中。麻阳县道路交通不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区



(a) 2009年



(b) 2018年

图5 2009年和2018年土地利用类型生态敏感性分布
Fig.5 Ecological sensitivity distribution of land use in 2009 and 2018



图6 道路交通生态敏感性分布

Fig.6 Ecological sensitivity distribution of road transportation

和高度敏感区面积分别为144 955.77、5 611.97、2 940.73、3 048.96 hm^2 ,占比分别为92.59%、

3.58%、1.88%、1.95%。各级道路交汇地路网密集,生态敏感性等级最高。

3.1.7 自然保护地生态敏感性

图 7 展示了自然保护地生态敏感性分布。截止 2018 年,麻阳现有的自然保护地有麻阳国家级野生宜昌橙原生境保护区、麻阳锦江国家级湿地公园、西晃山省级森林公园、文名山省级森林公园、牙溪县级野生植物自然保护区,以上区域均为自然保护地高度敏感区,面积 6 737.13 hm^2 ,占比 4.30%。



图 7 自然保护地生态敏感性分布

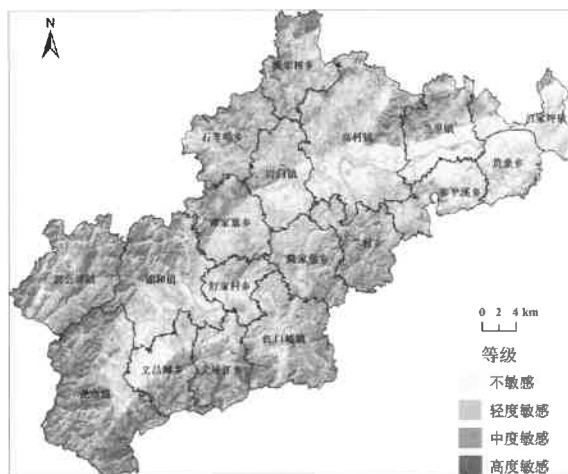
Fig.7 Ecological sensitivity distribution of nature reserves

3.2 综合生态敏感性分析

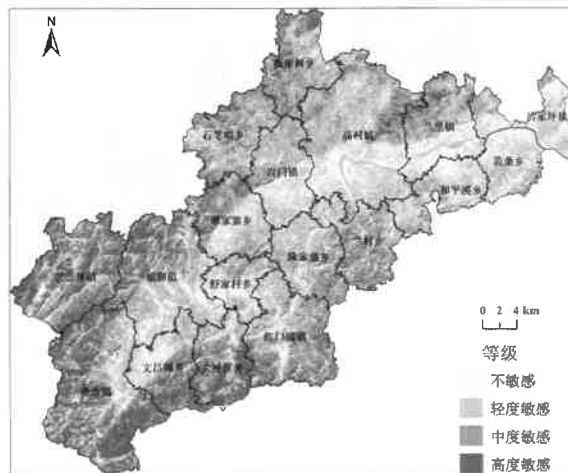
运用 Arcgis 空间分析功能,采用表 1 中各单因子权重,对麻阳县单因子生态敏感性分布进行叠加分析,计算出研究区生态敏感性综合得分,按照表 3 的分值范围得出修正前综合生态敏感性分布,最后利用修正性指标(自然保护地)对综合评价结果进行修正,得到修正后综合生态敏感性分布。

图 8 展示了 2009 年和 2018 年修正前综合生态敏感性分布。研究区 2009 年修正前综合生态敏感性的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区和高度敏感区面积分别为 37 154.17、61 957.54、34 006.53、23 439.22 hm^2 ,占比分别为 23.73%、39.57%、21.72%、14.97%;2018 年修正前综合生态敏感性的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为 29 438.22、58 064.15、41 316.98、27 738.12 hm^2 ,占比分别为 18.80%、37.09%、26.39%、17.72%。

图 9 展示了 2009 年和 2018 年修正后综合生态敏感性分布。2009 年修正后综合生态敏感性的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区和高度敏感区面积分别为 36 824.64、58 547.27、32 535.00、



(a) 2009 年



(b) 2018 年

图 8 2009 年和 2018 年修正前综合生态敏感性分布

Fig.8 Comprehensive ecological sensitivity distribution before revision in 2009 and 2018

28 650.55 hm^2 ,占比分别为 23.52%、37.40%、20.78%、18.30%。相对于修正前,高度敏感区占比提高了 3.33 百分点,不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区占比分别降低 0.21 百分点、2.17 百分点和 0.94 百分点。2018 年修正后综合生态敏感性的不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区、高度敏感区面积分别为 29 214.63、55 557.74、39 597.75、32 187.34 hm^2 ,占比分别为 18.66%、35.49%、25.29%、20.56%,相对于修正前,高度敏感区占比提高了 2.84 百分点,不敏感区、轻度敏感区、中度敏感区占比分别降低 0.14 百分点、1.60 百分点和 1.10 百分点。

从近 10 年修正后综合生态敏感性变化来看,麻阳县的不敏感区和轻度敏感区面积减少,中度敏感区和高度敏感区面积增加,其中不敏感区和轻度敏感区占比分别减少了 4.86 百分点和 1.91 百分点,中度敏感区和高度敏感区占比分别提高了 4.51 百

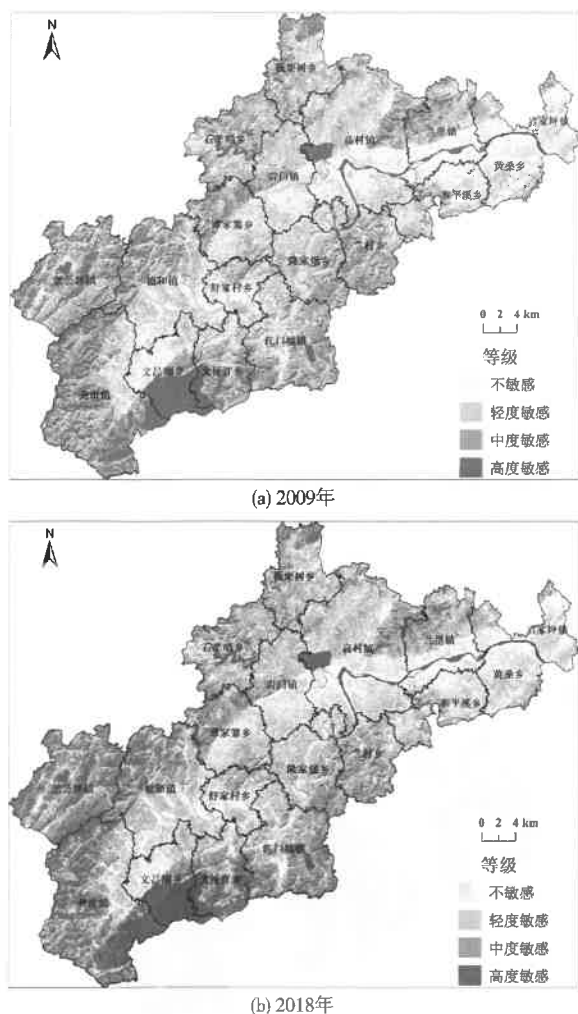


图9 2009年和2018年修正后综合生态敏感性分布
Fig.9 Comprehensive ecological sensitivity distribution after revision in 2009 and 2018

分点和2.26个百分点。谭家寨乡、岩门镇、高村镇、兰里镇等中部沿线区域综合生态敏感性等级变化较小,主要是该区域地形较平缓,交通通达度较好,人类活动频繁所致;郭公坪镇、尧市镇、锦和镇、文昌阁乡、大桥江乡、江口墟镇等西部和南部区域综合生态敏感性等级有所提高,主要是该区域生态退耕,林地面积增加,植被覆盖度增加等原因所致。

3.3 生态空间的划定

科学有序统筹布局生态、农业、城镇等功能空间,构建国土空间开发保护格局,是编制国土空间规划的重要内容^{[4]22}。本研究以综合生态敏感性评价结果中的中度敏感区和高度敏感区为备选区,结合生态斑块集中度和图斑面积,划定研究区的生态空间。斑块集中度越高、面积越大,生态保护的價值越大,将斑块集中度高,面积大于1 hm²的区域划为生态空间。

图10为麻阳县生态空间分布。划定的生态空间面积60 357.35 hm²,占38.55%。从区域分布来看,生态空间主要分布在县域南部、西部和西北部,集中于尧市镇、郭公坪镇、江口墟镇、兰村乡等。从研究区2018年现状城镇和村庄用地分布来看,现状建设用地基本位于生态空间之外,说明生态空间的划定结果符合研究区实际状况。

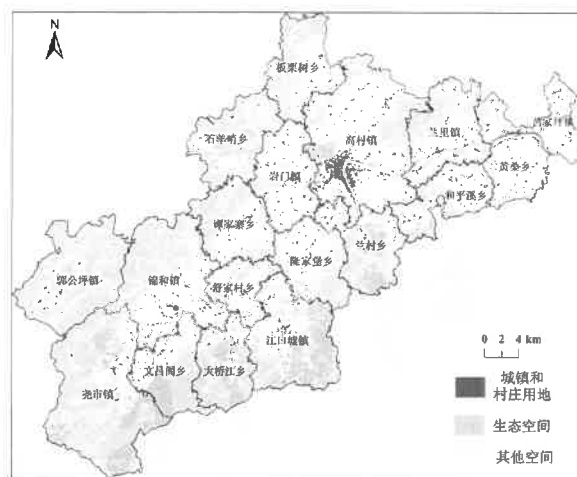


图10 麻阳县生态空间分布
Fig.10 Ecological space of Mayang County

所划定的生态空间是今后县域内生态系统服务功能重要但生态脆弱的区域。该区域今后的功能定位是保障生态安全、维护生态系统服务功能、推进生态系统修复的重点区域,保持并提高生态产品供给能力的重要区域,践行“绿水青山就是金山银山”理念的主要区域。

3.4 局限性分析

开展国家级重点生态功能区的生态敏感性变化研究,具有一定的理论和现实意义,但也有一定的局限性:(1)受资料的限制,仅对麻阳县近10年的生态敏感性情况进行了研究,时间尺度较短;(2)选取的生态敏感性评价指标缺失气候、生物多样性等方面;(3)生态系统是一个开放的复杂系统,是不能独立存在的,它与周围的环境不断进行着物质、能量和信息的交流,但此文未考虑其与外界系统间的交流。

4 结论

(1)麻阳县近10年综合生态敏感性等级不断提高,不敏感区和轻度敏感区面积减少,中度敏感区和高度敏感区面积增加,其中不敏感区和轻度敏感区占比降低了4.86个百分点和1.91个百分点,中度敏感区和高度敏感区占比提高了4.51个百分点和2.26个百分点。从分布区域来看,谭家寨乡、岩门镇、高村

镇、兰里镇等中部沿线区域综合生态敏感性等级变化较小;郭公坪镇、尧市镇、锦和镇、文昌阁乡、大桥江乡、江口墟镇等西部和南部区域综合生态敏感性等级有所提高。

(2) 研究区划定生态空间面积 60 357.35 hm², 占比 38.55%, 主要分布在县域南部、西部和西北部, 划定的生态空间符合麻阳县实际, 现状建设用地基本位于生态空间之外。

参考文献:

- [1] 朱宇驰, 戴彬, 吕建树. 基于 RS/GIS 技术的南四湖流域典型区域生态敏感性评价——以济宁市为例[J]. 环境保护科学, 2016, 42(2): 90-96.
- [2] 李怡, 赵小敏, 郭熙, 等. 江西省南昌市生态敏感性空间分异研究[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(10): 65-76.
- [3] 朱杰, 龚健, 李靖业. 青藏高原东部生态敏感区生态环境质量时空演变特征——以青海省河湟谷地为例[J]. 资源科学, 2020, 42(5): 991-1003.
- [4] 中共中央, 国务院. 中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[M]. 北京: 人民出版社, 2019.
- [5] DUAN Y Q, ZHANG L D, FAN X Y, et al. Smart city oriented ecological sensitivity assessment and service value computing based on intelligent sensing data processing [J]. Computer Communications, 2020, 160: 263-273.
- [6] CHI Y, ZHANG Z W, GAO J H, et al. Evaluating landscape ecological sensitivity of an estuarine island based on landscape pattern across temporal and spatial scales[J]. Ecological Indicators, 2019, 101(1): 221-237.
- [7] JAGTAP T G, KOMARPANT D S, RODRIGUES R S. Status of a seagrass ecosystem: an ecologically sensitive wetland habitat from India[J]. Wetlands, 2003, 23: 161.
- [8] 黄心怡, 赵小敏, 郭熙, 等. 基于生态系统服务功能和生态敏感性的自然生态空间管制分区研究[J]. 生态学报, 2020, 40(3): 1065-1076.
- [9] 付士磊, 贾培文, 王湘潇, 等. 基于生态敏感性分析评价的生态安全管控研究——以沈抚新区为例[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(4): 1579-1587.
- [10] 魏伟, 周陶, 郭泽呈, 等. 基于遥感指数的干旱内陆河流域土地生态敏感性时空演变特征——以石羊河流域武威市为例[J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 3068-3079.
- [11] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(2): 591-598.
- [12] 王浩程, 王琳, 卫宝立. 基于 GIS 的特色小镇生态敏感性研究——以山东营丘镇为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(8): 100-107.
- [13] 赵雪雁, 母方方, 何小风, 等. 多重压力下重点生态功能区农户生计脆弱性——以甘南黄河水源补给区为例[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7479-7492.
- [14] 田野, 冯启源, 唐明方, 等. 基于生态系统评价的山水林田湖草生态保护与修复体系构建研究——以乌梁素海流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8826-8836.
- [15] 李奔, 张坤, 程天娇. 基于层次分析法的澜沧江-湄公河可消耗水量分配[J]. 武汉大学学报(工学版), 2018, 51(5): 389-393.
- [16] 杨伟, 谢德体, 潘卓, 等. 三峡库区土地生态敏感度评价关键技术研究——以重庆市巫山县为例[J]. 西南大学学报(自然科学

学版), 2014, 36(3): 94-101.

编辑: 徐婷婷 (收稿日期: 2021-01-05)

(上接第 1150 页)

- [26] DONG Q Q, LI P H, HUANG Q H, et al. Occurrence, polarity and bioavailability of dissolved organic matter in the Huangpu River, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2014, 26(9): 1843-1850.
- [27] ZHANG Y L, YIN Y, FENG L Q, et al. Characterizing chromophoric dissolved organic matter in Lake Tianmuhu and its catchment basin using excitation-emission matrix fluorescence and parallel factor analysis[J]. Water Research, 2011, 45(16): 5110-5122.
- [28] COBLE P G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy[J]. Marine Chemistry, 1996, 51(4): 325-346.
- [29] SPENCER R G, AIKEN G R, BUTLER K D, et al. Utilizing chromophoric dissolved organic matter measurements to derive export and reactivity of dissolved organic carbon exported to the Arctic Ocean: a case study of the Yukon River, Alaska [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(6): L06401.
- [30] 宋晓娜, 于涛, 张远, 等. 利用三维荧光技术分析太湖水体溶解性有机质的分布特征及来源[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2321-2331.
- [31] 朱晓敏, 黄清辉, 李建华. 咸水藻水华期溶解有机质光谱特征变化的模拟[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 68-72.
- [32] 张运林, 秦伯强, 梅梁湾, 大太湖夏季和冬季 CDOM 特征及可能来源分析[J]. 水科学进展, 2007, 18(3): 415-423.
- [33] 李素菊. 利用分析方法建立湖泊水质参数反演算法研究——以安徽巢湖为例[D]. 北京: 北京大学, 2003.
- [34] MURPHY K R, STEDMON C A, WAITE T D, et al. Distinguishing between terrestrial and autochthonous organic matter sources in marine environments using fluorescence spectroscopy[J]. Marine Chemistry, 2008, 108(1): 40-58.
- [35] DEL V R, BLOUGH N V. Photobleaching of chromophoric dissolved organic matter in natural waters: kinetics and modeling[J]. Marine Chemistry, 2002, 78(4): 231-253.
- [36] 梁俭, 江韬, 魏世强, 等. 夏、冬季降雨中溶解性有机质 (DOM) 光谱特征及来源辨析[J]. 环境科学, 2015, 36(3): 888-897.
- [37] HUDSON N, BAKER A, REYNOLDS D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters - a review[J]. River Research and Applications, 2007, 23(6): 631-649.
- [38] BAKER A, INVERARITY R, CHARLTON M, et al. Detecting river pollution using fluorescence spectrophotometry: case studies from the Ouseburn, NE England[J]. Environmental Pollution, 2003, 124(1): 57-70.
- [39] 张认连. 模拟降雨研究水网地区农田氮磷的流失[D]. 北京: 中国农业科学院, 2004.
- [40] OHNO T, CRANNELL B S. Green and animal manure-derived dissolved organic matter effects on phosphorus sorption [J]. Journal of Environmental Quality, 1996, 25(5): 1137-1143.
- [41] 吴丰昌, 王立英, 黎文. 天然有机质及其在地表环境中的重要性[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 1-12.

编辑: 丁 怀 (收稿日期: 2020-07-20)