

# 江西省鄱阳湖区生态敏感性评价

丁 徽, 赵小敏, 郭 熙, 张 晗, 易 丹, 江叶枫, 韩 逸, 黄心怡

(江西农业大学 国土资源与环境学院/江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045)

**摘 要:**江西省鄱阳湖区水旱灾害频发,生态敏感度高,严重制约着区域社会经济的发展。在此背景下,生态敏感性评价可为区域可持续发展提供科学依据。因此,为分析区域生态敏感性的分布特征,科学识别限制区域发展的生态敏感因子,从侵蚀风险、地质灾害、水环境、生态服务 4 个方面选取评价因子,构建了鄱阳湖区生态敏感性评价体系,在 ArcGIS 软件支持下,结合层次分析法对各敏感因子敏感指数以综合指数法加权求和,进而实现多因子综合评价,并通过自然断点法将综合评价结果划分为 5 个敏感等级。结果表明:降雨侵蚀、坡度大小、地灾易发性为区域主要敏感因子;鄱阳湖区一般敏感、轻微敏感、不敏感区域占 73.5%,整体敏感性较低;都昌县、永修县、新建县整体表现最佳,辖区平均综合敏感指数分别为 2.42, 2.66, 2.7;而进贤县、余干县、九江市、庐山市等区域有较为敏感特征,辖区内重度敏感和极敏感所占面积比为 51.72%, 49.79%, 48.2%, 42.32%;整体上看,区域呈现西北方向向东南方向敏感程度加深的趋势。研究结果可为江西省鄱阳湖区生态保护与国土空间规划的政策制定提供参考依据。

**关键词:**鄱阳湖区;生态敏感;评价;层次分析法

中图分类号:X37

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)01-0257-08

## Evaluation of Ecological Sensitivity in Poyang Lake Area of Jiangxi Province

DING Hui, ZHAO Xiaomin, GUO Xi, ZHANG Han, YI Dan,  
JIANG Yefeng, HAN Yi, HUANG Xinyi

(Key Laboratory of Poyang Lake Basin Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province,  
College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract:** The flood and drought disasters in the Poyang Lake area of Jiangxi Province are frequent and the ecological sensitivity is high, which seriously restricts the regional social and economic development. In this context, ecological sensitivity assessment can provide the scientific basis for regional sustainable development. In order to analyze the distribution characteristics of regional ecological sensitivity and scientifically identify the ecological sensitivity factors of restricted area development, we selected evaluation factors from four aspects: erosion risk, geological disaster, water environment and ecological service, and constructed the ecological sensitivity evaluation system of Poyang Lake area. The evaluation system is based on ArcGIS software, and combines with AHP and expert method to achieve multi-factor comprehensive evaluation. Finally, the evaluation results are divided into five sensitive levels by natural breakpoint method. The results show that rainfall erosion, slope gradient and land disaster susceptibility are the main sensitive factors in the region. The generally sensitive, slightly sensitive and insensitive areas in Poyang Lake account for 73.5%, and the overall sensitivity is low. Duchang County, Yongxiu County and Xinjian County have the overall best performance. The average comprehensive sensitivity indices of the jurisdictions are 2.42, 2.66 and 2.7, respectively. Jinxian County, Yugan County, Jiujiang City, and Lushan City have relatively sensitive characteristics. The percentages of the areas with severe sensitivity and extreme sensitivity in these four counties are 51.72%, 49.79%, 48.2%, and 42.32%, respectively. On the whole, the region shows a trend of increasing sensitivity from the northwest to the southeast. The evaluation results can provide reference for the

收稿日期:2019-01-23

修回日期:2019-03-23

资助项目:国家自然科学基金(41361049);江西省赣鄱英才“555”领军人才项目(201295)

第一作者:丁徽(1996—),女,江西丰城人,硕士生研究生,主要从事土地评价与土地利用规划研究。E-mail:18279199513@163.com

通信作者:赵小敏(1962—),男,江西上高人,教授,博士生导师,主要从事土地利用评价与规划、土地遥感与信息研究。E-mail:zhaoxm889@126.com.

policy making of ecological protection and land space planning in Poyang Lake region of Jiangxi Province.

**Keywords:** Poyang Lake region; ecological sensitivity; evaluation; analytical hierarchy process

中国的快速城镇化发展带来了许多资源与环境问题<sup>[1]</sup>,其中土地生态问题日益凸显,引起关注<sup>[2]</sup>。在幅员辽阔的中国,这些环境问题呈现了明显地域分异特点<sup>[3]</sup>。在以土地生态评价研究为标志的近期土地生态科学研究中<sup>[2,4]</sup>,生态敏感性评价被广泛用于从侧面反映生态系统稳定性,揭示全国或区域生态变化状况和空间分异规律,进而为确定优先或重点开展生态环境建设和保护的区域奠定基础<sup>[5-6]</sup>。

关于生态敏感性的研究,学者们已进行了一些探讨。学术界将生态系统对于人类和自然环境变化的反应程度定义为“生态系统敏感性”<sup>[7]</sup>,并将生态敏感区定义为对于生态环境状况起决定作用的,具有易发生生态灾害、较强抗干扰能力或者有重要生态服务功能的特点的生态实体<sup>[3]</sup>。生态敏感性研究内容主要涉及有区域生态敏感性评价<sup>[8-11]</sup>、生态敏感性评价理论应用<sup>[12-13]</sup>,一些学者也在积极探索生态敏感性空间与时空分布规律<sup>[3,14]</sup>和各类模型在生态敏感分析中的应用<sup>[15-16]</sup>。在已有生态评价研究中,层次分析法因为其系统性、理论成熟,易引入专家知识的特点,而被广泛应用<sup>[10,17-18]</sup>。研究尺度方面,跨度较大,从国家到省市再到县级均有涉及;有的学者以行政边界作为研究范围<sup>[8,19]</sup>、有的以生态功能区作为研究范围<sup>[17,20]</sup>、亦有的基于土地利用方式确定研究范围<sup>[21]</sup>;与此同时,现有研究多基于江、河流域尺度,少有环湖泊尺度的研究。随着计算机计算能力提升,工具日益完善,生态敏感性评价体系、方法也日益完善<sup>[16,22]</sup>。尽管学者们根据研究区域各自构建了评价体系,但现有评价体系多只从易发生生态灾害和抗干扰能力这两方面考虑<sup>[17,23]</sup>,未将生态服务功能这一内容纳入评价指标,生态敏感的内涵有待丰富。

江西省鄱阳湖区区内有着优越气候及丰富多样地貌条件,还有国家级自然保护区—鄱阳湖。鄱阳湖是中国第一大淡水湖。鄱阳湖湿地有“长江下游的气候的肺腑”、“中国第二长城”之誉,在候鸟、江豚保护,提供淡水资源、生态维护等方面有重要作用,被列入国际重要湿地名录,是世界自然基金会划定的全球重要生态区。2009 年,国务院正式批复了《鄱阳湖生态经济区规划》;2016 年,江西被列为我国首批三大“生态文明试验区”之一,这标志其地位上升至国家战略高度。一方面,鄱阳湖区自古以来农林渔牧业发达,是国家重要粮食基地,也是江西人口最为集中之处,对于江西乃至全国而言,其生态与社会经济地位都不

可轻视;另一方面,鄱阳湖区是长江中下游洪涝灾害的多发区与重灾区,生态敏感度高,易对区域生态与经济造成威胁<sup>[24]</sup>。因而,对于鄱阳湖区生态敏感研究是合理布局区域国土空间的基础。本文紧密联系国家和地区经济发展战略,以包含中小尺度鄱阳湖区作为研究区域,收集区域自然条件数据,在前人构建评价体系思路,增添生态服务功能这一视角,运用层次分析法,将生态服务功能纳入评价体系,对区域进行生态敏感性分析。研究的主要目的如下:(1) 识别影响鄱阳湖区生态敏感性的主要因子;(2) 了解鄱阳湖区生态敏感因子和敏感区域的空间分布特征以及规律性。研究结果可为生态安全底线区域和管控红线划定提供依据,同时也为土地开发利用作指导,为区域可持续发展保驾护航。

## 1 研究区概况

鄱阳湖是位于江西省北部、长江中下游南岸的吞吐型季节性淡水湖。赣江、抚河、信江、修水与饶河以辐射状向鄱阳湖汇集,形成鄱阳湖水系,有“高水湖相、低水河相的景观”。水系流域面积约 162 225 km<sup>2</sup>,区域内的环境、气候、水文、交通等都受到鄱阳湖影响。本文研究区域(图 1)的界定为沿湖 11 县市,地理范围为东经 115°49′—117°46′,北纬 28°24′—29°46′,全区面积 19 760 km<sup>2</sup>,以耕地、林地、水域为主。鄱阳湖区涉及南昌市的南昌县、进贤县、新建县,上饶市的余干县、鄱阳县,九江市的九江市市区、庐山市、德安县、永修县、都昌县、湖口县,是境内最早的农业开发地,也是江西省人口最为集中地区的区域,截至 2015 年末,鄱阳湖区有人口 789 万人。鄱阳湖区内有许多以水体、沼泽、滩涂、岛屿为主的大小湿地,在涵养水源、调节气候、文化服务等方面有重要作用。鄱阳湖区区域内降雨量大,且年际、年内各季雨量变化也较大。区域内的地质灾害主要有崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷 4 类,其中崩塌、滑坡、泥石流发生与降雨和人类活动紧密相关,地面塌陷是伴随着人类的采矿活动形成了地下空洞而发生的;同时,受季风气候和地理位置影响,区域内有冷寒、洪、涝、旱、渍等自然灾害发生,故而对于区域内自然灾害的预警与防护准备是地方重要工作之一。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据收集与处理

本文所选用的数据主要有以下:

(1) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, 归一化植被指数) 数据由 Landsat8 的 7 月遥感影像预处理后, 经近红波段和红波段运算而得;

(2) 降雨数据来自于国家气象信息中心 (<http://data.cma.cn/>) 中国地面气象资料累年值日值数据集 (1981—2010 年), 经反距离权重插值得到研究区降雨数据。

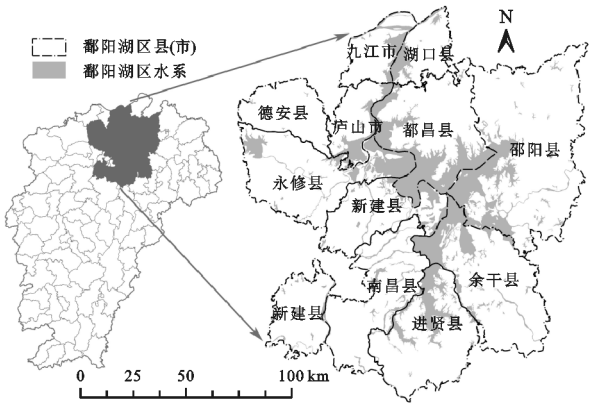


图 1 研究区分布

(3) 基于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 30 m 分辨率 DEM (Digital Elevation Model, 数字高程模型) 数据提取的坡度数据。

(4) 江西省 2017 年生态红线划定成果、江西省 2014 年土地利用数据库、江西省永久基本农田数据库、地质灾害易发性分布数据、江西省自然保护区分布数据。

所有数据均采用统一的投影方式和坐标系统, 投影为高斯克列格投影, 西安 80 坐标。以上栅格形式的数据最终都通过 ArcGIS 10.2 重采样统一到 150×150 m 像元大小, 作为评价单元大小, 最终在 ArcGIS 10.2 创建网格工具支持下实现综合评价。

2.2 研究方法

2.2.1 指标体系的构建 鄱阳湖区地势低平, 小山环绕, 土壤类型多, 土地利用类型以耕地、林地、园地为主, 植被繁茂, 还有着鄱阳湖这一重要生态功能保护区。区域降水量大、水系发达, 区域内旱涝灾害受水体与降雨量直接影响; 区域内的九江地处华南地震区中北部, 毗邻华北地震区郯城—庐江地震带南段, 属于长江中下游地震带中段。结合前人已有研究成果<sup>[11,18-19,25-26]</sup>, 参照国家环保总局发布的《生态功能区划技术暂行规程》中的技术规范, 考虑鄱阳湖区关键生态要素为水体, 本文从侵蚀风险、地质风险、水环境和生态服务角度考虑, 选择了降雨侵蚀力、NDVI 指数、坡度、地质灾害易发性、距水体距离、土地利用类型、水体大小、自然保护区 8 项指标构建评价体系, 并对各类指标进行分等级赋分 (表 1), 1, 3, 5, 7, 9 依次敏感程

度加深。其中, 洪涝灾害是区域内典型的生态问题, 但由于数据获取问题, 研究考虑以降雨侵蚀力、距水体距离和 水体大小来表征。此外, 江西省鄱阳湖区介于中尺度与小尺度之间的经济群体, 且社会属性典型、均质, 故而本文也未将社会经济因素纳入考虑。

表 1 生态敏感性评价因子等级体系

敏感因素	敏感因子	分级条件	敏感指数
侵蚀风险	降雨侵蚀力	<1742	1
		1742~1931	3
		1931~2104	5
		2104~2308	7
		>2308	9
地质风险	NDVI 指数 <sup>[19]</sup>	0.8~1	1
		0.6~0.8	3
		0.4~0.6	5
		0.2~0.4	7
		0~0.2	9
地质风险	坡度 <sup>[11]</sup>	<5°	3
		5°~15°	5
		15°~25°	7
		>25°	9
地灾易发性 <sup>[18]</sup>		不易发区	3
		低易发区	5
		中易发区	7
		高易发区	9
水环境	距水体距离 <sup>[25]</sup>	距核心水体 4000~6000 m 缓冲区	5
		距核心水体 2000~4000 m 缓冲区	7
		距核心水体 2000 m 缓冲区	9
		距一级支流 2000~3000 m 缓冲区	3
		距一级支流 1000~2000 m 缓冲区	5
		距一级支流 1000 m 缓冲区	7
		距一般水体 600~1000 m 缓冲区	3
		距一般水体 300~600 m 缓冲区	5
		距一般水体 300 m 缓冲区	7
生态服务	土地利用 <sup>[26]</sup>	有林地、灌木林地、其他林地、风景名胜	1
		草地、滩涂、沼泽	3
		耕地、园地、河流、湖泊、坑塘、水库	5
		建设用地、未利用地	7
		裸地、沙地	9
	水体大小	大型水体	5
		大中型水体	7
		中小型水体	9
自然保护区 <sup>[25]</sup>		非自然保护区	1
		县级	3
		省级	5
		国家级	7

2.2.2 权重的确定 层次分析法 (Analysis hierarchy process, AHP) 是一种具有系统性、层次性的分



析方法。本文构建了指标层次结构(图 2),将专家意见引入层次分析法中,从江西鄱阳湖区自然生态实际、各因子对于区域生态意义以及因子空间分布情况 3 方面来考虑比较,借助 Yaahp 软件实现计算,得到各指标权重结果(表 2)。

Yaahp 显示本模型所构造的层次单排序与层次总排序均通过了一致性检验,保证了模型构建过程的合理性。

各因子权重大小依次为降雨侵蚀力>坡度=地质灾害易发性>土地利用类型=水体大小>NDVI 指数>距水体距离>自然保护区

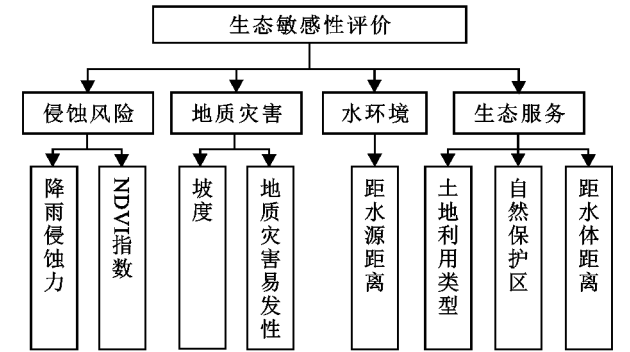


图 2 层次结构示意图

表 2 评价指标权重

敏感因素	权重	敏感因子	权重	权重排序
侵蚀风险	0.3	降雨侵蚀力	0.2	1
		NDVI 指数	0.1	6
地灾风险	0.3	坡度	0.15	2
		地灾易发性	0.15	2
水环境	0.1	距水体距离	0.1	6
生态服务	0.3	土地利用类型	0.12	4
		水体大小	0.12	4
		自然保护区	0.06	8

2.3 综合指数模型

利用 ArcGIS 创建网格工具,设定网格大小为 150 m × 150 m,将各因子分值赋予每个评价单元。之后,将多因子加权叠置,利用下式通过加权指数法计算生态敏感性综合指数:

$$S_j = \sum_{i=1}^8 C_{(i,j)} \cdot W_i$$

式中: $i$  表示评价指标; $j$  表示评价单元; $W_i$  表示评价指标  $i$  的权重; $S_j$  表示评价单元  $j$  的生态敏感性指数; $C_{(i,j)}$  表示评价单元  $j$  的评价指标  $i$  的得分。

2.4 自然断点法

自然断点分级法(Natural breakpoint classification)的依据为统计学中各种分类方式下所有样本方差和的大小。方差和越小,说明组内的样本相似度高,分类方式越优。文章根据计算所得生态敏感性综

合评价指数,以自然断点法将研究区域的生态敏感性划分为 5 个等级:不敏感、轻微敏感、一般敏感、重度敏感和极敏感。

3 结果与分析

3.1 单因子评价结果

对于河流、湖泊,考虑到其特殊性,只以土地利用类型、水体大小、自然保护区作为参评因子,得到单因子敏感性分布图(图 3)。

(1) 降雨侵蚀。以水力侵蚀为主的鄱阳湖区域土壤侵蚀受降雨侵蚀影响显著<sup>[27]</sup>,是区域生态敏感主要影响因子之一。在所选指标之中,降雨侵蚀因子在一年四季中最不稳定。本文选用马良等<sup>[28]</sup>建立的降雨侵蚀力计算方法。首先以江西省 29 个气象站 1981—2010 年的累年逐日降雨量数据计算出日降雨侵蚀力,逐步累积得到月、年降雨侵蚀力。其次,对各站点计算所得的年降雨侵蚀力进行反距离权重插值法处理。由于不同下垫面对于雨水的侵蚀的敏感程度不一,故不存在统一划分标准,本文采用自然断点法划分等级,结果见图 3。

(2) NDVI 指数。生长于地面的植被一方面可以通过根系抓力保持水土;另一方面对于来自天空的降雨有缓冲作用,大大减少了雨水对于地面的冲刷侵蚀作用。归一化植被指数(NDVI)是反映植被长势与覆被度的特征。本文通过遥感影像的近红外波段与红光波段计算区域的归一化植被指数,并用最大最小法对其进行标准化处理,进而获取 NDVI 指数,并据此划分等级。根据统计结果,区域内整体植被覆盖状况较好,轻微敏感与一般敏感特征区域占全域面积达 94%;其中一般敏感区域占全域面积 2/3。局部来看,并未发现明显的极敏感区域斑块,但有明显的重度敏感区域,这些植被覆盖度偏低区域多临近水系,位在湖岸线曲折处,这可能是由于水域的涨水线与退水线之间,夏洪为湖、冬涸为洲的裸露处,植被未能生长所致。

(3) 坡度。坡度是一重要的地形地貌特征。有研究表明坡度与滑坡、泥石流等地质灾害分布情况密切相关<sup>[29]</sup>,具体表现为地质灾害发生的可能性程度随着坡度的增加而增大。根据结果,研究区域的坡度敏感性以不敏感为主,占全域面积近 2/3,其次为轻微敏感、一般敏感。轻微敏感、一般敏感和重度敏感主要分布在研究区域的北部。重度敏感所占的面积最少,约为全域 5.7%。在永修县、庐山市、德安县、九江市、湖口县、都昌县、鄱阳县有较为均匀的分布,而新建县、余干县则少量分布。整体来看,重度敏感区域多分布于研究区域外围,与鄱阳湖区中部平坦,

四周高起的特征相符。

(4) 土地利用类型。鄱阳湖区土地利用类型以耕地、林地、园地、水域为主。不同的土地利用方式使得地表覆被物不同,其生态服务功能和对人为活动扰动的反应程度存在差异。除去鄱阳湖区主要水体外,区域内土地利用类型敏感性以不敏感与一般敏感为主,不敏感部分面积约占全域 37.44%,一般敏感部分约占 42.25%,由外向内依次大致呈现出不敏感、重度敏感、一般敏感、轻微敏感的趋势。

(5) 距水体的距离。水体一方面能够维持人类基本生活所需,包括保障生活用水和便利交通物流运输等;另一方面,水体是地球生态系统重要组成,有局部气候调节、景观美化等功能。从生产、生活、生态来看,水体使得周围区域宜居宜业宜游,与人们生活品质密切相关。另外鄱阳湖区农业发达、物种丰富、环境优美,秉承生态发展理念,因而水资源对于区域有重要影响。本文基于水体规模大小,将鄱阳湖区划分为核心水体、一级支流、有一定面积的一般水体 3 个级别,并对于每个级别水体各做 3 个级别的缓冲区。

越临近水体的土地空间上承载水系资源与水体的生态服务越完备,功能辐射的范围也越广。从环境角度安全考虑,距离水系越近,雨季或汛期,其受到的威胁则越大。因此,相同缓冲范围内敏感等级赋分越高。

(6) 水体大小。水体作为一个完整独立的生态系统,一般而言,面积越大,其内部生态组分越完整,生物多样性越丰富,对于外来负面影响的处理能力越强。因而,根据其面积由小到大,敏感等级由大到小。鄱阳湖主体部分敏感度低,周边的小型湿地、水体对于外界干扰的敏感度则相对更高。

(7) 自然保护区和地质灾害易发性。自然保护区往往是珍稀物种、典型生态系统和一些意义重大的自然遗址汇集处。它是国家为了留住一方水土免于人类活动干扰而划出的区域,在核心地区往往限制人们的活动。本研究将国、省、市 3 个级别的自然保护区分别分作 3 个等级,国家级自然保护区最为敏感,在人们开发建活动中,需要避开。根据地质灾害易发情况,将鄱阳湖区分作不易发区、低易发区、中易发区、高易发区 4 个级别。

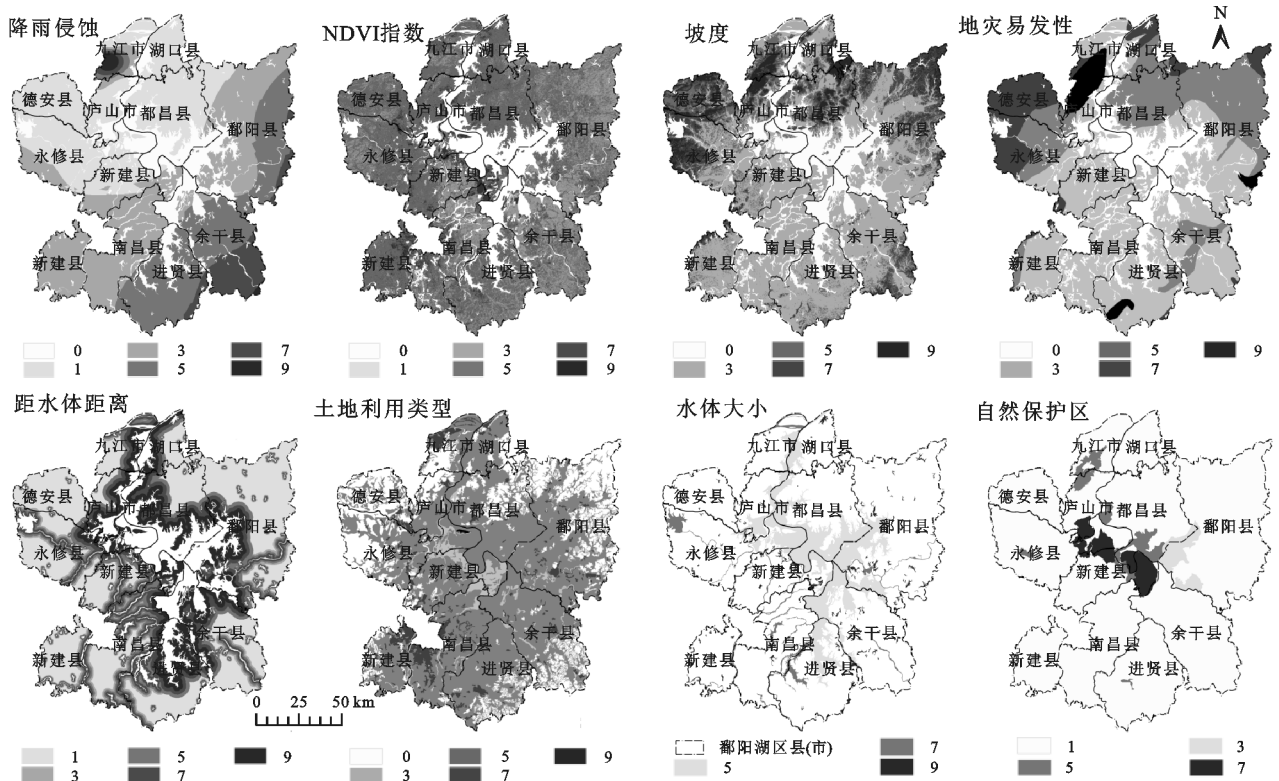


图 3 单因子生态敏感等级分布

### 3.2 综合评价结果

3.2.1 全域评价结果 对评价单元进行统计,得到生态敏感性级别划分图(图 4),鄱阳湖区生态敏感程度情况饼图(图 5)。同时根据结果得到鄱阳湖生态敏感分布图(图 6)。

评价过程共生成 936 795 个评价单元,综合评价指

数分值区间为[1.2,6],平均值为 2.84。自然断点法生成的区间为(0,1.96],(1.96,2.89],(2.89,3.42],(3.42,4.08],(4.08,6]。从整体上看,鄱阳湖区整体生态敏感状况较好,一般敏感及以下程度区域占 73.5%。

由图 6 面积统计结果来看,不敏感与轻微敏感区域占近 2/5,轻微敏感与不敏感区域分布广泛、遍及



全域,轻微敏感区域主要位在西部、西南部、东北部。在其余 3 个敏感等级上,一般敏感区域居多,占全域约 1/3,极敏感区域仅占极少部分,为全域 4%。

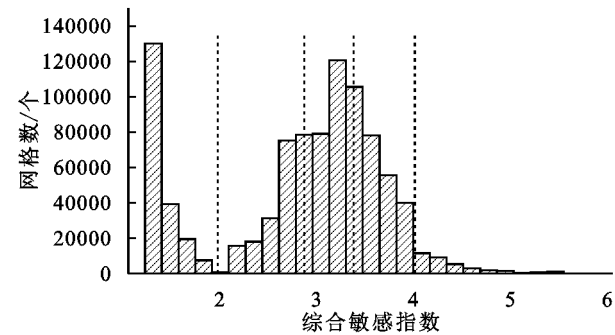


图 4 生态敏感性级别划分

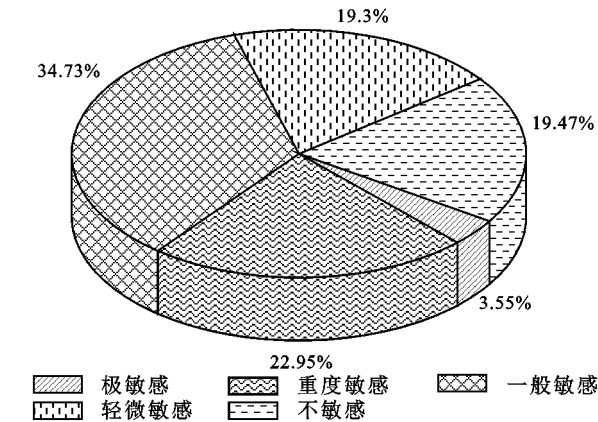


图 5 鄱阳湖区生态敏感程度

3.2.2 按行政区划统计评价结果 通过对于各区域各敏感程度的面积、各敏感程度占辖区的面积百分比及综合敏感指数情况进行统计(表 3)。分析各行政区划范围内各敏感程度面积统计表(表 3)可得下列结果。

① 各县市的平均生态敏感指数由低到高为:都昌县、永修县、新建县、湖口县、南昌县、庐山市、鄱阳县、德安县、余干县、进贤县、九江市区。评价结果与实际一致,能很好反映鄱阳湖区生态敏感分布特征。

② 生态极敏感的地区主要分布在九江市区与庐山市北部。其中九江市区的极敏感区域约占其面积 32.75%,庐山市约占 15.4%。对比各评价指标,可以发现在此处多影响因素都处于体现出较为敏感特征,如:坡度因素、降雨侵蚀力、地质灾害易发性,此处还有自然保护区。实际上,庐山景区地势复杂陡峻,降雨集中,此外且庐山景区为国家级自然保护区,生态敏感性强,须重点保护,与评价结果相符。

③ 极敏感与重度敏感区域,除九江市区与庐山市区外,都零星分布在湖口、鄱阳、余干、进贤、新建。对比各因子敏感性分布图(图 3),发现这些地方的地质灾害风险敏感度高,易受到坡度、地灾易发性、土地

利用类型、距水源距离的影响。余干、鄱阳、进贤相对于湖口而言,增加了降雨侵蚀的敏感性。新建县内也有一处敏感区域较为集中的地方,原因是植被敏感度较高。由于新建县水系发达密集,此处水资源敏感度较高,导致该区域生态敏感性明显高于周边区域。尽管余干县、进贤县的极敏感区域所占面积积极小,但它们的重度敏感和极敏感区域所占面积和却均达所辖区域范围约 1/2,接着依次为九江市区 48.19%、庐山市 42.32%、其余皆在 30%以下。

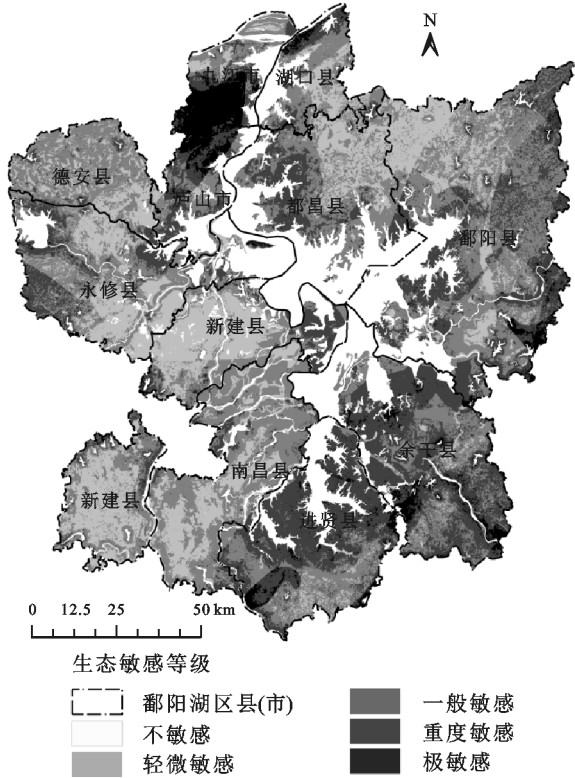


图 6 鄱阳湖区生态敏感分布

④ 一般敏感区域的分布最为广泛,在各处都有分布。对于不敏感区域与轻度敏感区域,新建县、都昌县、永修县表现最佳,分别占辖区面积 58.78%,53.65%,49.86%,说明其辖区内整体呈现生态安全稳定特征,紧随其后的是湖口县 44.75%、南昌县 40.35%。

## 4 讨论

根据评价结果(图 6)知,鄱阳湖区生态敏感性分布的空间特征显著。九江市区的极敏感区域有较为集中分布,除去九江市区这一特殊位置,一条较为清晰的界线将鄱阳县、余干县、进贤县、南昌县、新建县、都昌县分割开来,西侧敏感性弱于东侧,西侧以不敏感和轻度敏感为主,东侧以一般敏感和重度敏感为主。整体来看,较为敏感的区域常出现在研究区域内侧或外围,内侧水系曲折繁杂,外侧多为地质灾害易发区、高降雨侵蚀力、坡度敏感等级高的区域;而内侧和外侧之间各因子敏

感程度都较低,故综合敏感指数也较低,多为轻度敏感和一般敏感。鄱阳湖区主要水体部分不敏感,沿湖周围湿地呈现一般敏感和重度敏感特征,由内向外敏感程度降低,这主要受水体距离大小影响。

表 3 各县(市)生态敏感性

县(市)	单位	不敏感	轻微敏感	一般敏感	重度敏感	极敏感	分值区间/平均分
德安县	面积/km <sup>2</sup>	13.51	281.07	586.02	53.22	0.45	[1.2,4.46]
	百分比/%	1.45	30.08	62.72	5.70	0.05	3.03
都昌县	面积/km <sup>2</sup>	825.37	355.8	669.77	349.99	0.85	[1.2,4.26]
	百分比/%	37.49	16.16	30.42	15.90	0.04	2.42
湖口县	面积/km <sup>2</sup>	168.48	144.42	258.03	104.54	23.83	[1.2,4.9]
	百分比/%	24.09	20.65	36.90	14.95	3.41	2.7
进贤县	面积/km <sup>2</sup>	382.28	78.67	479.24	904.05	103.12	[1.2,5.16]
	百分比/%	19.63	4.04	24.61	46.42	5.30	3.09
九江市区	面积/km <sup>2</sup>	144.4	59.49	163.62	109.56	232.29	[1.2,6]
	百分比/%	20.36	8.39	23.07	15.45	32.75	3.3
南昌县	面积/km <sup>2</sup>	172.4	557.8	957.81	121.78	0.06	[1.2,4.26]
	百分比/%	9.53	30.82	52.92	6.73	0.00	2.79
鄱阳县	面积/km <sup>2</sup>	662.26	676.01	1650.17	1063.42	75.52	[1.2,5.36]
	百分比/%	16.05	16.38	39.98	25.77	1.83	2.92
新建县	面积/km <sup>2</sup>	278.56	992.98	640.28	246.54	5.03	[1.2,4.76]
	百分比/%	12.88	45.90	29.60	11.40	0.23	2.7
庐山市	面积/km <sup>2</sup>	210.44	30.44	176.01	194.56	111.27	[1.2,5.4]
	百分比/%	29.12	4.21	24.35	26.92	15.40	2.88
永修县	面积/km <sup>2</sup>	461.68	557.29	671.95	344.64	8.26	[1.2,4.46]
	百分比/%	22.59	27.27	32.88	16.86	0.40	2.66
余干县	面积/km <sup>2</sup>	517.97	69.47	592.44	1030.48	139.69	[1.2,5.12]
	百分比/%	22.04	2.96	25.21	43.85	5.94	3.03

指标选取方面,考虑到水体是鄱阳湖区关键生态要素,选取水体大小与距离水体距离为评价因子。现有与河、湖流域的生态敏感性研究中未形成水为关键要的评价指标体系<sup>[10,13]</sup>,本文可为河、湖流域生态敏感评价提供了参考思路。在选取评价指标时,本文不仅考虑了可能引发或加剧自然灾害的影响因素,同时也考虑到具有重要生态服务功能、生态保护意义的因子。在此基础上识别易发生生态灾害或具有重要生态服务功能的区域,在实际开发利用土地时考虑避让或者保护,基于此视角下的生态敏感性的内涵更为丰富。

本文采用的赋权方法为引入了专家知识的主观与客观相结合的层次分析法,该方法在土地生态相关研究方面被广泛应用,但其不足之处在于评价结果一定程度上受到主观影响。在新评价方法层出不穷的背景下,如何在主观与客观赋权方式中取得平衡有待突破。另一方面,本文主要从自然因子角度对鄱阳湖区的生态敏感性进行了评价,而实际上人类也是生态系统一大重要组成部分,应考虑到社会群体中人们的

观念,人们的生产生活所带来的影响。有关自然—人耦合系统的生态敏感评价以及评价与实际土地利用的有效衔接有待进一步探讨。

5 结 论

- (1) 降雨侵蚀、坡度大小、地灾易发性为区域生态敏感性主要影响因子。
- (2) 鄱阳湖区域整体生态敏感性状态良好,以轻微敏感和一般敏感为主。
- (3) 生态敏感性分布具有明显空间规律。较为敏感区域的分布兼有集中与散布特点,区域生态敏感性自西北向东南逐渐增加。重度敏感区域在研究区域内部沿水系分布或是出现在研究区域外围。不敏感区域主要落在鄱阳湖主体水系部分。极敏感区域,在靠近水域部分多受距离水源距离、植被覆盖、降雨侵蚀的影响,其余敏感区域则由降雨侵蚀、坡度、地质灾害易发、自然保护区所致。
- (4) 在极敏感区域,并非各因子都表现出较为敏感的特征,然而在不敏感区域,除植被覆被因子外,都

表现出较为安全稳定的特征。两个敏感程度下,植被覆被因子的作用都被弱化了。

(5) 总体来看,新建县、都昌县、永修县生态敏感性表现最佳。对于其他县市,如九江市、庐山市、余干县、进贤县,评价识别了其致敏因子,在区域土地进行开发利用时应当对致敏因子予以充分考虑。对于重度敏感区域和极敏感区域应当尽量避开或有限制地、引导地开发利用,加强监督,保证其生态安全稳定。

#### 参考文献:

- [1] Cui X G, Fang C L, Liu H M, et al. Assessing sustainability of urbanization by a coordinated development index for an Urbanization-Resources-Environment complex system: A case study of Jing-Jin-Ji region, China [J]. *Ecological Indicators*, 2019, 96: 383-391.
- [2] 谢贤鑫,陈美球,田云,等.国内近 20 年土地生态研究热点及展望:基于 Ucinet 的知识图谱分析[J].*中国土地科学*, 2018, 32(8): 88-96.
- [3] 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): 10-13.
- [4] 郭旭东,谢俊奇,李双成,等.土地生态学发展历程及中国土地生态学发展建议[J].*中国土地科学*, 2015, 29(9): 4-10.
- [5] 李益敏,管成文,郭丽琴,等.基于生态敏感性分析的江川区土地利用空间格局优化配置[J].*农业工程学报*, 2018, 34(20): 267-276.
- [6] 熊善高,秦昌波,于雷,等.基于生态系统服务功能和生态敏感性的生态空间划定研究:以南宁市为例[J].*生态学报*, 2018, 38(22): 7899-7911.
- [7] 王效科,欧阳志云,肖寒,等.中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J].*生态学报*, 2001, 21(1): 14-19.
- [8] 颜磊,许学工,谢正磊,等.北京市域生态敏感性综合评价[J].*生态学报*, 2009, 29(6): 3117-3125.
- [9] Dale V H., Beyeler S C. Challenges in the development and use of ecological indicators [J]. *Ecological Indicators*, 2002, 1(1): 3-10.
- [10] 李德旺,李红清,雷晓琴,等.基于 GIS 技术及层次分析法的长江上游生态敏感性研究[J].*长江流域资源与环境*, 2013, 22(5): 633-639.
- [11] 吴金华,李纪伟,朱鸿儒.基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J].*自然资源学报*, 2011, 26(7): 1180-1188.
- [12] 徐德琳,邹长新,徐梦佳,等.基于生态保护红线的生态安全格局构建[J].*生物多样性*, 2015, 23(6): 740-746.
- [13] 李中强,王双玲,杨梅,等.基于生态敏感性分析的湖泊保护与利用:以湖北省斧头湖为例[J].*长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 714-718.
- [14] Ying X, Zeng G M, Chen G Q, et al. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality: A case study of Hunan Province, China [J]. *Ecological Modelling*, 2007, 209(2): 97-109.
- [15] 荣月静,张慧,赵显富.基于 MCE-CA 耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价[J].*农业资源与环境学报*, 2015, 32(4): 343-353.
- [16] 蔡博峰,穆彬,方皓,等.基于自组织神经网络的生态敏感性分区:以北京市房山区为例[J].*中国环境科学*, 2008, 28(4): 375-379.
- [17] 孙苑苑,王琳,王晋.黄河三角洲自然保护区生态敏感性评价[J].*中国海洋大学学报:自然科学版*, 2017, 47(11): 96-102.
- [18] 李益敏,管成文,朱军.基于 GIS 的星云湖流域生态敏感性评价[J].*水土保持研究*, 2017, 24(5): 266-271.
- [19] 刘军会,高吉喜,马苏,等.中国生态环境敏感区评价[J].*自然资源学报*, 2015, 30(10): 1607-1616.
- [20] 李东梅,高正文,付晓,等.云南省生态功能类型区的生态敏感性[J].*生态学报*, 2010, 30(1): 138-145.
- [21] 帅红,李景保.南方小型矿业城镇土地生态敏感性评价:以湖南省桂阳县为例[J].*热带地理*, 2010, 30(3): 232-236.
- [22] Liu Y X, Li C Y, Ren Z Y, et al. Land eco-sensitivity assessment of ecological cities based on LUCC [J]. *Asian Agricultural Research*, 2012, 4(12): 49-54.
- [23] 简卿,张立强,崔海宁,等.青龙满族自治县生态敏感性评价及区划[J].*中国农业资源与区划*, 2017, 38(11): 171-178.
- [24] 陈小平,陈文波.鄱阳湖生态经济区生态网络构建与评价[J].*应用生态学报*, 2016, 27(5): 1611-1618.
- [25] 单勇兵,李志江,马晓冬.基于 GIS 的徐州生态敏感性分析[J].*水土保持研究*, 2011, 18(4): 244-247.
- [26] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].*自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [27] 何绍浪,郭小君,李凤英,等.中国南方地区近 60 a 来降雨量与降雨侵蚀力时空变化研究[J].*长江流域资源与环境*, 2017, 26(9): 1406-1416.
- [28] 马良,姜广辉,左长清,等.江西省 50 余年来降雨侵蚀力变化的时空分布特征[J].*农业工程学报*, 2009, 25(10): 61-68.
- [29] 郭芳芳,杨农,张岳桥,等.基于 GIS 的滑坡地质灾害地貌因素分析[J].*地质力学学报*, 2008, 14(1): 87-96.