

基于GIS的济西国家湿地公园生态敏感性评价*

鲁敏, 穆回港, 谭蕾, 伊泽坤, 王 晗, 李文月, 孔亚菲

(山东建筑大学艺术学院风景园林科学研究中心, 山东 济南 250101)

摘 要: 本文以遥感(RS)和地理信息系统(GIS)为技术支撑,通过特尔斐专家评价法,建立了湿地公园生态敏感性综合评价指标体系,对济西国家湿地公园进行了生态敏感性评价。结果表明:水域湿地、植被类型为高度敏感因子,高程、植被覆盖度、景观格局、景观生态价值为中度敏感因子,坡度为弱度敏感因子;湿地公园综合生态敏感度划分为高度敏感、中度敏感、弱度敏感、不敏感4个等级,面积占比分别为32.5%、18.2%、28.2%、21.1%,高敏感区与中敏感区集中分布于水库、滩涂、水渠及周边区域内;湿地公园综合生态敏感度属于中度敏感。

关键词: 遥感(RS); 地理信息系统(GIS); 湿地公园; 生态敏感性; 评价

中图法分类号: X826, X87

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2022)12-095-09

DOI: 10.16441/j.cnki.hdxh.20210306

引用格式: 鲁敏, 穆回港, 谭蕾, 等. 基于GIS的济西国家湿地公园生态敏感性评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2022, 52(12): 95-103.

Lu Min, Mu Huigang, Tan Lei, et al. Ecological sensitivity assessment of Jixi National Wetland Park based on GIS[J]. Periodical of Ocean University of China, 2022, 52(12): 95-103.

湿地公园被称为“城市之肾”,是具有蓄洪防旱、调节气候、促淤造陆、降解环境污染物等多种功能的生态系统^[1]。湿地公园不仅是城市重要的生态基础设施,也是城市湿地的核心和主体,尤其是具有重要的生态保护和排毒解毒功能。它是以保护城市生态系统、合理利用城市湿地资源为目的,能够实现湿地的生态保护与恢复、科普宣传与教育、湿地科研与城市环境污染监测等活动的特定区域^[1-3]。

湿地公园生态敏感性评价是湿地公园生态规划的基础前提和重要的方法手段,通过对城市湿地自然环境现状下潜在的生态敏感和脆弱环境问题进行辨识,可以明确城市湿地公园不同区域的生态保护级别,进而进行生态规划分区,从而为湿地公园的生态规划提供科学的基础依据和规划方法支撑;同时也为湿地的保护、恢复与景观生态规划提供了重要的决策依据,也是湿地保护和生态建设的重要途径和手段^[4-5]。在生态因子方面,主要针对不同的生态环境问题进行敏感性评价,如沙漠化、盐渍化、水土流失和酸雨^[6-9];从研究对象的差异来看,在空间土地类型上涵盖了城镇、森林、河流、湿地、自然保护区与干旱地区^[10-16]等。目前对于湿地的研究,陈爽等^[13]基于

GIS技术,选择了干燥度、植被覆盖度、土地利用、人口密度等敏感因子,对大辽河地区进行了生态敏感性评价;朱金峰等^[14]采用GIS技术,从水污染、湿地变化、重要自然与文化价值三个方面,对白洋淀湿地进行了生态敏感性评价。综上研究发现,以往的研究对湿地的生态敏感性评价起到了积极的推动作用,但对于湿地的研究多集中在流域、湖泊等的自然湿地^[17],而对于国家湿地公园的生态敏感性评价研究较少。

济西国家湿地公园是济西湿地生态区的核心区域,其形成主要由于玉清湖水库的外渗形成,是济南市的重要水源地,其生态环境的可持续发展需要进行重点关注^[3]。文章以济西国家湿地公园为研究区域,基于RS和GIS为技术支撑,采用特尔斐专家评价法和层次分析法构建济西国家湿地公园生态敏感性评价指标体系,对济西国家湿地公园进行单因子评价和多因子综合评价,以期对济西国家湿地公园的可持续发展提供理论依据。

1 研究区域概况

济南位于山东省中西部,南依泰山,北临黄河,总

* 基金项目:建设部科技计划项目(05-K2-30);山东省住房和城乡建设厅科技计划项目(2011YK015);济南市科学技术发展计划项目(201409036)资助

Supported by the Ministry of Construction Science and Technology Project(05-K2-30); the Science and Technology Planning Project of Shandong Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development(2011YK015); the Jinan Science and Technology Development Plan(201409036)

收稿日期:2021-08-06; 修订日期:2021-09-23

作者简介:鲁敏(1963—),女,博士,教授。E-mail:lumin@sdjzu.edu.cn

体呈现南高北低的地势^[18]。济西国家湿地公园位于济南市西部城区,包含长清区和槐荫区两个行政区域,地处 116°45'E—116°50'E、36°37'N—36°41'N,面积约 33 km²^[3](见图 1)。

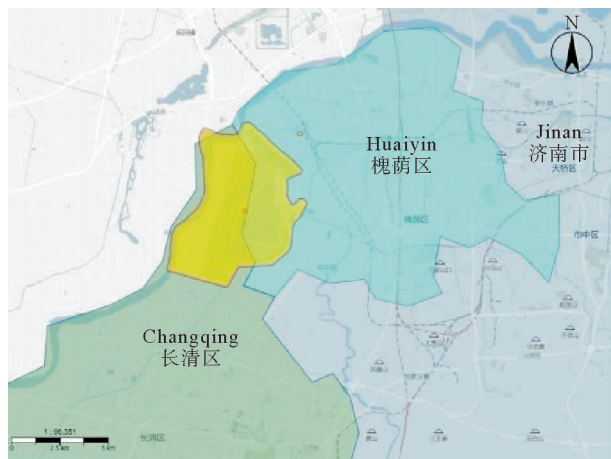


图 1 济西国家湿地公园区域位置

Fig.1 Location of the Jixi National Wetland Park area

济南气候属暖温带大陆性季风气候,春季干燥少雨,多西南风、南风,夏季酷热多雨,秋季天高气爽,冬季严寒干燥多东北风,年平均气温 13.6℃,年平均降雨量 614 mm^[3]。

济西湿地是小清河源头,区域内主要包含黄河、玉符河、小清河和玉清湖水库等水体,湿地公园自然环境独特,生态系统结构完整,公园内有黄河下游最大支流玉符河穿过,对济西湿地为季节性补给。长期以来,由于部分湿地被开垦为农田,原生植被遭破坏^[3]。

2 湿地信息的遥感获取与生态敏感性评价指标体系

2.1 数据来源

(1)高分辨率 SPOT5、TM8 影像;

(2)DEM 高程影像数据。结合 30 和 90 m 分辨率 DEM 和实地调研数据处理所得。

2.2 数据获取与湿地信息的遥感获取

2.2.1 数据获取

2.2.1.1 植被覆盖度 植被覆盖度是衡量地表植被生长状况的重要指标,指植被垂直投影面积在研究区域总面积中的占比^[19]。有研究表明,归一化植被指数(NDVI)与植被覆盖度的关系较为密切,具有一定的相关性^[20]。归一化植被指数在 Erdas9.2 软件中获取,通过归一化植被指数公式建立植被覆盖度与植被指数关系计算植被覆盖度^[3]。

2.2.1.2 水域、湿地生态缓冲区分析 缓冲区的设立是保护水域环境的重要手段和方法^[21]。缓冲区分析作为

ArcGIS 空间分析功能之一,是研究水域、湿地的重要手段与方法,通过在分析对象周围建立一定距离的面域来识别对邻近对象的辐射或生态影响^[22-23]。

2.2.2 湿地信息的遥感获取 利用 Erdas9.2 和 ArcGIS10.0 软件,以 SPOT5 遥感影像图为数据源,通过几何纠正、影像拼接、坐标纠正、地形校正等处理,使数据转化为统一投影坐标的 shapefile 格式数据。

基于生成的统一投影坐标的 shapefile 格式数据,结合 TM8 遥感影像数据,运用 ArcGIS10.0 软件进行人机交互解译。根据区域用地的分布情况和空间布局特征,对湿地公园各景观生态要素类型进行分类与统计,生成图形数据和属性数据,从而获取济西国家湿地公园的景观生态要素类型湿地信息(见表 1)。

表 1 济西国家湿地公园景观生态要素类型信息统计表

Table 1 Statistical table of Jixi National Wetland Park

景观生态要素类型 ^①	斑块数量 ^②	面积 ^③ /m ²	比例 ^④ /%
水域、湿地 ^⑤	187	11 026 069.65	34.5
林地 Forestry	180	6 133 065.6	19.2
农田 Farm	25	5 819 916.61	18.3
灌草地 ^⑥	74	5 090 402.23	16.0
村庄 Village	21	1 494 510.95	4.7
道路 Road	21	8 279 333.49	2.6
建筑 Build	39	239 866.85	0.8
其它 Other	24	1 239 642.84	3.9

Note: ① Landscape ecological element type; ② Number of plaques; ③ Area; ④ Proportion; ⑤ Water areas, wetlands; ⑥ Fill with the grass.

2.3 构建生态敏感性评价指标体系

2.3.1 建立评价指标体系的基本原则 评价指标体系构建过程中,评价因子选择、因子敏感等级划定和权重确定最为重要,对评价结果的合理性影响最大^[24]。对此,本文遵循以下原则:

(1)科学性与完整性原则。评价指标体系的建立首先要有科学性和完整性,使评价指标能够全面、准确地反映现状和发展趋势,在此基础上,注重指标体系的易操作性与概括性^[3]。

(2)定性与定量相结合原则。尽可能对所选择的生态因子进行量化,对当下认知水平难以量化的指标,采用半定量、半定性方式描述,定量分析可直观体现数据,定性分析可使评价结果更加准确^[3]。

(3)易获取性与可操作性原则。为确保评价过程的可控度与评价结果的科学性,对评价指标的选择应考虑到数据的可获取性以及准确性^[25]。

2.3.2 选取评价指标因子 选取评价指标因子是构建

科学合理评价指标体系的基础和前提,也是生态敏感性评价的核心与重点,应根据研究区域与研究问题的不同选取不同的评价因子,以确保评价结果的合理性。生态敏感因子的选取应充分考虑研究区域生态环境的特殊性及与其它区域的差异性,选取的生态敏感性因子应具有代表性^[26]。运用特尔斐专家法从生态性、经济性、社会性、环境效应、景观效应五个维度选择评价指标因子。

依据 12 位风景园林专家评价,选用权重值大于 0.03 的指标,最终确定坡度(0.03)、景观生态价值(0.04)、景观格局(0.045)、高程(0.06)、植被类型(0.07)、水域湿地(0.082)、植被覆盖度(0.5)7 个评价

指标因子。

2.3.3 评价指标的分级 将各评价指标因子数据进行属性分级,并在 ArcGIS 中生成属性分级图。各生态因子敏感性等级根据特尔斐专家评价法进行划分,敏感等级划分为不敏感、弱敏感、中敏感、高敏感、极敏感 5 个等级(见表 2)。各评价因子敏感程度通过赋值表示,采用 1、2、3、4、5 代表敏感性的高低程度。

单因子整体生态敏感度根据单因子各敏感区空间及面积分布特征进行划分;若极敏感、高敏感区面积较大,则判定为高度敏感;若中敏感、弱敏感区面积较大,则判定为中度敏感;若弱敏感、不敏感区面积较大,则判定为弱度敏感^[3]。

表 2 生态敏感性评价单因子分级标准
Table 2 Single for factor grading factor for for ssensitivity assessment

生态指标因子 Ecological index factor	生态敏感性分级 Classification of ecological sensitivity				
	不敏感 Insensitive	弱度敏感 Low sensitive	中度敏感 Moderately sensitive	高度敏感 Highly sensitive	极敏感 Extreme sensitive
坡度 Slope/(°)	0~3	3~7	7~15	15~32	—
高程 Elevation/m	32~42	25~32	15~25	7~15	0~7
景观生态价值 ^①	—	人工生态系统、 处于相对稳定状态	半自然生态系统、 生物多样性一般	原生境遭到一定 损害、物种集中	—
景观格局 ^②	斑块平均面积	斑块密度	斑块面积	破碎度指数	斑块个数
植被覆盖度 ^③	>60%	45%~60%	30%~45%	20%~30%	<20%
植被类型 ^④	裸地	灌草地	农田	林地	水域、湿地
水域、湿地 ^⑤	非缓冲区	80~200 m 缓冲区	30~80 m 缓冲区	水域、湿地至 30 m 缓冲区	水域、湿地
分级赋值 Rank	1	2	3	4	5

Note:①Landscape ecological value; ②Landscape pattern; ③Vegetation cover degree; ④Vegetation form; ⑤Water areas,wetlands.

2.3.4 确定指标权重 由于不同的生态指标因子对土地利用方式的影响程度不同,为此,采用层次分析法依据各评价的生态指标因子对区域的影响程度,计算生态指标因子不同的权重值,评价指标因子影响越大则

赋予的权值越大。

2.3.4.1 构建判断矩阵 生态因子对比矩阵的建立,运用 1~9 标度法对生态因子之间的重要性和影响力进行评估打分。该评价的判断矩阵见表 3。

表 3 生态因子对比矩阵
Table 3 Ecological factor contrast matrix

评价因子 ^①	坡度 ^②	高程 ^③	景观生态 价值 ^④	景观格局 ^⑤	植被 覆盖度 ^⑥	植被类型 ^⑦	水域、湿地 ^⑧	权重 ^⑨
坡度 ^② /(°)	1	1/3	1/2	1/3	1/3	1/4	1/5	0.042
高程 ^③ /m	3	1	4	2	1	1/2	1/3	0.139
景观生态价值 ^④	2	1/4	1	1/2	1/3	1/4	1/5	0.052
景观格局 ^⑤	3	1/2	2	1	1/2	1/3	1/4	0.084
植被覆盖度 ^⑥	3	1	3	2	1	1/2	1/3	0.133
植被类型 ^⑦	4	2	4	3	2	1	1/2	0.218
水域、湿地 ^⑧	5	3	5	4	3	2	1	0.332

Note:①Evaluation factors; ②Slope; ③Elevation; ④Landscape ecological value; ⑤Landscape pattern; ⑥Vegetation cover degree; ⑦Vegetation form; ⑧Water areas,wetlands; ⑨Weight.

2.3.4.2 权重的计算 该判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}=7.186$,一致性指标 $CI=0.310$,随机一致性指标 RI 见表4,最终得出 $CR=0.023$ 。若得到的特征向量通过一致性检验,则该向量为指标权重。 $CR<0.1$,所以该矩阵通过了一致性检验。该评价指标权重即:0.042,0.139,0.052,0.084,0.133,0.218,0.332。

表4 平均随机一致性指标 RI 值
Table 4 Average random consistency index RI value

阶数 Order	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

3 结果与分析

3.1 单因子生态敏感性评价与分析

3.1.1 坡度分析 研究区域相对坡度较小,坡度变化较大的区域主要集中在水域周边及湿地公园的边缘,其余坡度变化较小。根据表2对坡度生态敏感性进行分级赋值,并在ArcGIS中生成坡度生态敏感性分级图(见图2)。

表5 单指标因子生态敏感性等级信息
Table 5 Ecological sensitivity grade information of single index factor

评价因子 ^①	极敏感 Extreme sensitive		高度敏感 Highly sensitive		中度敏感 Moderately sensitive		弱度敏感 Low sensitive		不敏感 Insensitive	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
坡度 ^② /(°)	—	—	154.40	4.7	304.54	9.3	661.14	20.2	2 157.93	65.8
高程 ^③ /m	82.64	2.5	153.26	4.7	1 894.96	57.8	1 041.66	31.8	105.48	3.2
景观生态价值 ^④	—	—	780.55	23.8	1 212.89	37	1 284.58	39.2	—	—
景观格局 ^⑤	248.93	7.6	167.63	5.1	1 213.45	37	527.21	16.1	1 120.79	34.2
植被覆盖度 ^⑥	269.26	8.2	815.08	24.8	863.84	26.4	545.92	16.7	783.91	23.9
植被类型 ^⑦	1 742.76	53.2	483.44	14.8	646.80	19.7	137.17	4.1	267.84	8.2
水域、湿地 ^⑧	1 147.45	35	549.66	16.8	574.92	17.5	677.97	20.7	328.01	10

Note: ①Evaluation factors; ②Slope; ③Elevation; ④Landscape ecological value; ⑤Landscape pattern; ⑥Vegetation cover degree; ⑦Vegetation form; ⑧Water areas, wetlands.

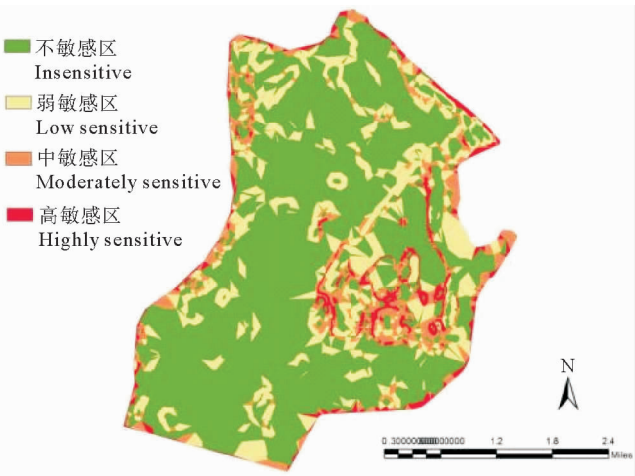


图2 坡度生态敏感性分析图像数据
Fig.2 Image data analysis on ecological sensitivity of the slope

从图2和表5来看,高敏感、中敏感区分布较集中,面积较小,多在湿地公园边缘区域和水域周边区域,分别占总面积的4.7%、9.3%。弱敏感区与不敏感区面积较大且相对集中,分别占区域总面积的20.2%、65.8%。弱敏感区与不敏感区共占总面积的86%,由此可知该湿地公园坡度整体敏感度处于弱度敏感。

3.1.2 高程分析 通过对数字高程数据DEM进行分析可知,研究区域地形相对平坦,地势呈现西高东低的走势。根据表2对高程生态敏感性进行分级赋值,并在ArcGIS中生成高程生态敏感性分级图(见图3)。

从图3与表5来看,极敏感、高敏感区域集中在边缘区域,面积较小,极敏感占总面积的2.5%,高敏感占总面积的4.7%。不敏感区面积小也较为分散,分布在农田、村庄与水库边等区域,面积占比为3.2%。中敏感区与弱敏感区面积较大,覆盖了湿地公园的大部分

区域,囊括了村庄、农田、水域湿地、灌草地等各景观要素类型,分别占公园总面积的 57.8%、31.8%。中敏感区与弱敏感区共占公园总面积的 89.6%,可见济西国家湿地公园在高程方面的敏感度处于中度敏感程度。

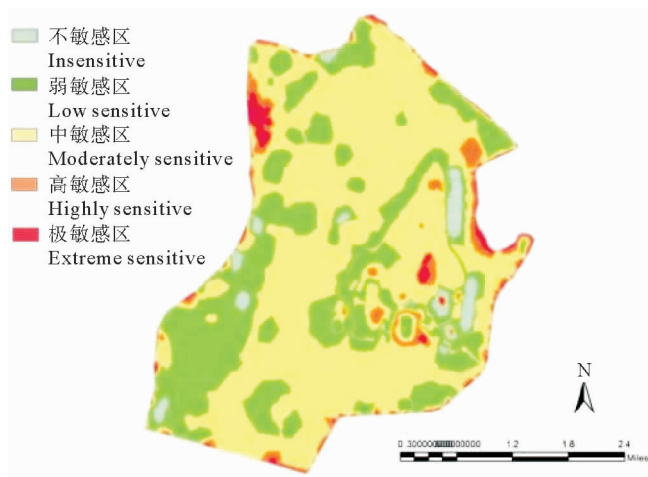


图3 高程生态敏感性分析图像数据
Fig.3 Image data analysis on ecological sensitivity of the elevation

3.1.3 景观生态价值分析 湿地是城市景观单元中最重要的自然空间,发挥着重要的景观生态价值。景观生态价值可为展现湿地公园整体风貌、挖掘区域特色等方面提供重要依据。景观生态价值主要是从整体的景观风貌、生态系统的完整性、珍稀濒危物种集中度以及人工生态系统几方面进行评价。根据表 2 对景观生态价值敏感性进行分级赋值,并在 ArcGIS 中生成景观生态价值敏感性分级图(见图 4)。

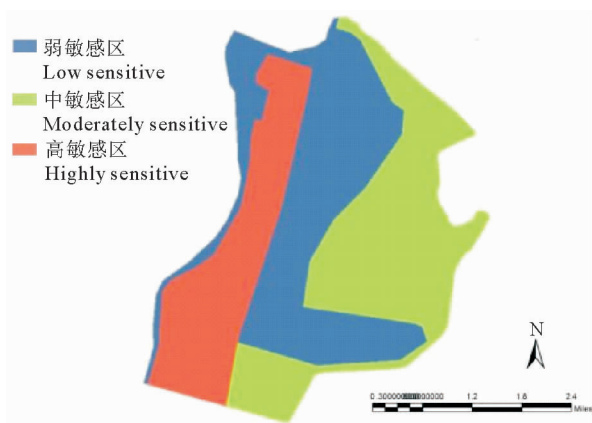


图4 景观生态价值生态敏感性分析图像数据
Fig.4 Image data analysis on ecological sensitivity of the ecological value

从图 4 和表 5 可看出,高敏感区分布在公园西侧,斑块类型主要为村庄、建筑和农田,此处为部分稀有物

种的生境地,原生境受到人为干扰且生态系统遭受一定破坏,这一敏感区域占区域总面积的 23.8%。中敏感区为半自然生态系统,主要包括玉清湖水库和部分坑塘,植被类型较单一,生物多样性一般,人文景观价值与自然景观价值中等,中敏感区占总面积的 37%。弱敏感区经过多年演变发展已经处于相对稳定的状态,人工生态系统为主体,弱敏感区占总面积的 39.2%。中敏感区与弱敏感区共占总面积的 76.2%,由此可见,济西国家湿地公园在景观生态价值方面的敏感度处于中度敏感程度。

3.1.4 景观格局分析 景观格局分析在斑块类型水平上选取了 5 个景观格局指数进行景观格局敏感性评价(见表 6)。根据表 2 中各景观格局指数的敏感度等级的评价,在 ArcGIS 中叠加生成湿地公园景观格局生态敏感性分级图(见图 5)。

从图 5 与表 5 来看,极敏感、高敏感区分布较零散,多是村庄、建筑等区域,共占总面积的 12.7%。中敏感区的面积比例为 37%,分布区域最广,占陆地的大部分地区。弱敏感主要分布于水域周边的滩涂区域,占总面积的 16.1%。不敏感区主要包括园区内黄河段、玉清湖水库以及北部的的水体,占总面积的 34.2%。中敏感与弱敏感区域共占总面积的 53.1%,由此可知景观格局整体敏感度处于中度敏感。

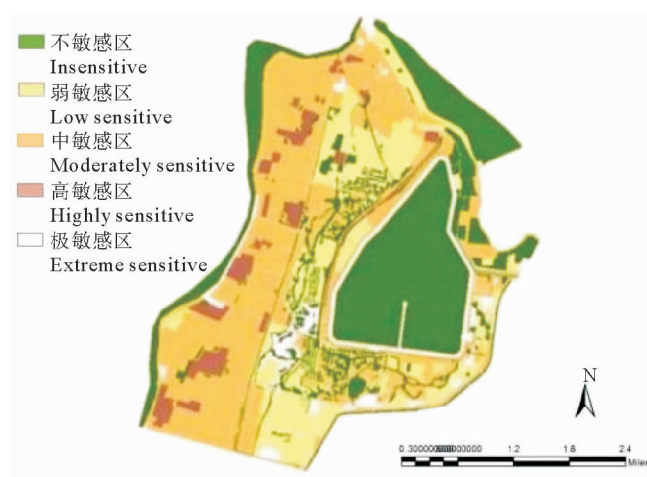


图5 景观格局生态敏感性分析图像数据
Fig.5 Image data analysis on ecological sensitivity of the landscape pattern

3.1.5 植被覆盖度分析 植被覆盖度越高、群落结构越丰富的区域,其生态稳定性越高,生态敏感性则越低,可反映某一区域植被生长状况与发生水土流失的可能性。植被覆盖度根据归一化植被指数(NDVI)与相元二分模型进行估算。根据表 2 对植被覆盖度生态敏感性进行分级赋值,并在 ArcGIS 中生成植被覆盖度生态敏感性分级图(见图 6)。

表 6 景观格局指数分析及景观类型分级

Table 6 Landscape pattern index analysis and landscape type classification

景观生态要素类型 Landscape ecological element type	斑块类型面积 Class area, CA/m ²	斑块个数 Number of patches, NP	斑块密度 Patch density, PD/(个·m ⁻²)	斑块平均面积 Area mean, AREA-MN/m ²	破碎度指数 Fragfragmentation index, FN
水体、湿地 Water areas, wetlands	11 223 044.36	187	1.65	60 759.38	0.003
林地 Forestry	6 336 273.54	180	2.78	35 973.52	0.005
农田 Farm	5 820 978.87	25	4.19	238 397.53	1.01
灌草地 Fill with the grass	4 702 175.90	74	1.53	65 420.75	0.001
村庄 Village	1 494 510.95	21	1.29	77 784.30	2.57
道路 Road	811 901.15	20	2.10	47 543.03	4.00
建筑 Build	239 866.85	39	0	9 713.50	0.004
其它 Other	1 239 642.84	24	1.74	57 441.76	4.00

从图 6 与表 5 来看,极敏感区主要分布于水域周边,呈现集中态势,占总面积的 8.2%。高敏感区与中敏感区分布于除极敏感区外的各区域,分别占总面积的 24.8%、26.4%。弱敏感、不敏感区分布在临黄河及农田、村庄周围,面积占比分别为 16.7%、23.9%。中敏感区与弱敏感区共占总面积的 43.1%,可见该湿地公园植被覆盖度为中度敏感。

占总面积的 19.7%、4.1%、8.2%。极敏感区与高敏感区共占总面积的 68%,由此可知该湿地公园植被类型敏感度处于高度敏感。

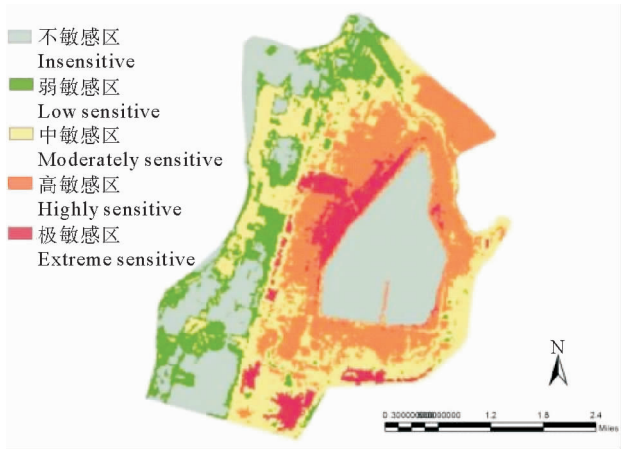


图 6 植被覆盖度生态敏感性分析图像数据
Fig.6 Image data analysis on ecological sensitivity
of the vegetation coverage

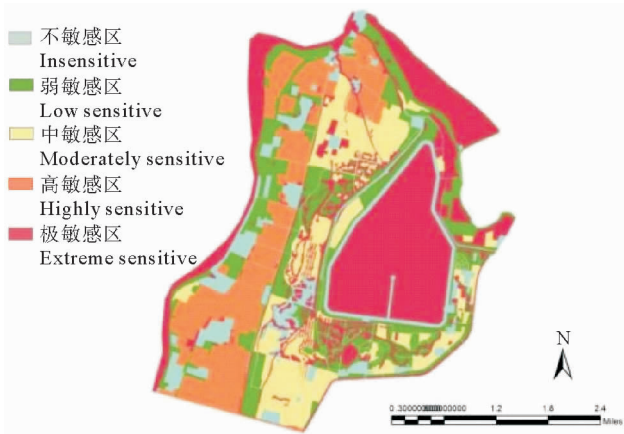


图 7 植被类型生态敏感性分析图像数据
Fig.7 Image data analysis on ecological sensitivity
of the vegetation type

3.1.6 植被类型分析 不同植被类型的生态敏感度不同,植被覆盖区的敏感度要高于建设用地,林地、灌草地生态敏感性一般高于农田。按照植被覆盖类型将湿地公园划分为水域湿地、农田、林地、灌草地、裸地 5 类。根据表 2 对植被类型生态敏感性进行分级赋值,并在 ArcGIS 中生成植被类型敏感性分级图(见图 7)。

从图 7 与表 5 来看,极敏感与高敏感区域分布相对集中,主要围绕水库、水塘等水域分布,分别占据总区域的 53.2%、14.8%。中敏感、弱敏感与不敏感区分布相对零散,主要分布于水域、农田及其周边区域,分别

3.1.7 水域、湿地分析 湿地公园内水域主要包括水库、河流、水塘、水渠、滩涂等类型。距离水域、湿地越近的区域,生态功能越重要,生态敏感性越高。根据表 2 对水域、湿地生态敏感性进行分级赋值,并在 ArcGIS 中生成水域、湿地敏感性分级图(见图 8)。

从图 8 与表 5 来看,极敏感区分布在湿地公园中的水域区域,高敏感区为围绕在水域周边 30 m 范围内的区域,分别占 35%、16.8%。中敏感区为水域周边 30~80 m 范围内的区域,占总面积的 17.5%。在水域周边 80~200 m 范围内的区域为弱敏感区,弱、不敏感区较集中,分别占 20.7%、10%,主要分布于湿地公园西部,用地类型为农田、村庄及部分建筑。极敏感区与高敏感区共占总面积的 51.8%,由此判定该湿地公园水域、湿地整体敏感度处于高度敏感。

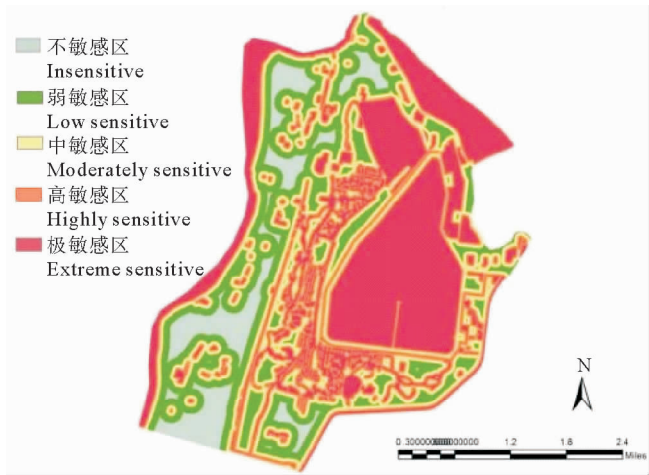


图 8 水域、湿地生态敏感性分析图像数据
Fig.8 Image data analysis on ecological sensitivity of the water areas and wetlands

3.2 生态敏感性综合评价与分析

3.2.1 生态敏感性综合评价 运用加权求和模型(见如下公式),在 ArcGIS 中对 7 个单生态敏感性因子进行空间叠加分析,最终得到湿地公园的综合生态敏感程度。

$$S_j = \sum_{h=1}^n (W_h \times C_j(H))。$$

式中: j 为评价单元编号; h 为评价因子编号; n 为评价因子总数; S_j 为第 j 个评价单元的综合值; W_h 为第 h 个评价因子的权重; $C_j(H)$ 为第 j 个评价单元的第 h 个评价因子敏感性评价值。

通过上述分析得出湿地公园综合评价值 S_j 的变化范围为 1.307~4.806,根据其空间分布特征确定敏感性综合评价值的分级区间,从而进行生态敏感性等级的划分(见表 7),最终生成湿地公园综合生态敏感性分析图(见图 9)。

表 7 综合生态敏感区等级信息统计表
Table 7 Statistical statistics of comprehensive ecological sensitive areas

生态敏感等级 ^①	分级区间 ^②	面积 ^③ /m ²	比例 ^④ /%
高敏感 ^⑤	4.806~3.804	10 888 631	32.5
中敏感 ^⑥	3.105~3.803	7 313 708	18.2
弱敏感 ^⑦	2.528~3.104	8 772 842	28.2
不敏感 ^⑧	1.307~2.527	5 804 889	21.1

Note: ① Ecological sensitive level; ② Classification interval; ③ Area; ④ Proportion; ⑤ Highly sensitive; ⑥ Moderately sensitive; ⑦ Low sensitive; ⑧ Insensitive.

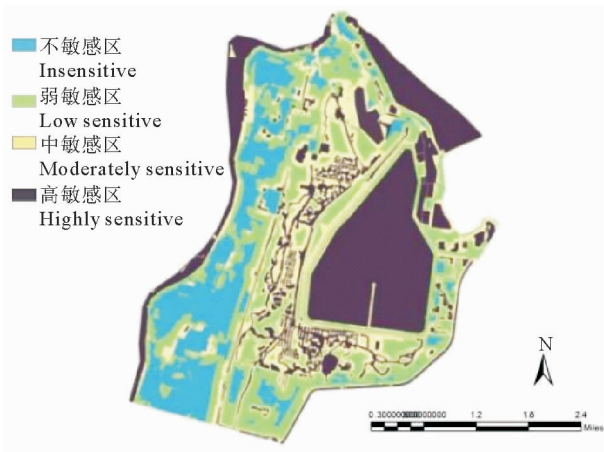


图 9 综合生态敏感性分析图像数据
Fig.9 Image data analysis on comprehensive ecological sensitivity

3.2.2 生态敏感性综合分析 根据综合生态敏感性分析图与综合生态敏感区等级信息统计表可知,湿地公园高敏感区集中分布于水体、滩涂、水渠、水库等区域内(见图 9),占区域总面积的 32.5%,面积较大(见表 7)。研究区域内珍惜动植物集中,自然生态系统遭受一定的破坏及较多人为干扰,原水系因部分湿地被开垦为农田而被破坏。这一区域对开发建设高度敏感,应以生态保护和修复为主并划为生态保护区,严禁开发建设。对之前受到严重干扰的生态环境进行科学干预,可采取退耕还湿等方式修复湿地。

中敏感区大致分布于水域周边的一些区域(见图 9),占区域总面积的 18.2%(见表 7),面积较小。此区域原生环境遭到了一定程度的破坏,植被覆盖度偏低,生态环境较脆弱。此区域比较敏感,可承受轻微人为干扰,但应禁止大强度的开发建设。该敏感区的植物群落的恢复与重建是改善环境的主要方向。

弱敏感区在全园分布最广,包括部分林地、灌草地及局部农田区域(见图 9),占总面积的 28.2%(见表 7)。这一区域为半自然半人工景观环境,植被类型单一,能够承受一定程度的人为干扰。在此基础上该区域可进行多功能、多途径的开发,开发过程中应加强植被生态建设。

研究区的西部大部分区域及东部边缘少数区域(见图 9)为不敏感区,多为村庄、农田,其面积占总面积的 21.1%(见表 7)。该区域可承受一定的开发建设强度,抗干扰性强,生态约束力较小,但由于此区域临近黄河,在开发建设的过程中应防止对黄河产生污染,此外应注重场地特色的挖掘与应用,加强景观效果。

4 结论

(1)湿地公园斑块总数较多,各景观要素数量及面

积差异较大,各要素分布相对集中。其中水域湿地、林地、农田、灌草地面积较大,分别占总面积的34.5%、19.2%、18.3%、16%。村庄、道路、建筑、其它用地面积较小,分别占总面积的4.7%、2.6%、0.8%、3.9%。村庄、道路、农田及其他用地破碎化程度较高,其它景观类型破碎化程度整体较小。

(2)通过对单因子生态敏感性分析,济西国家湿地公园的水域湿地、植被类型为区域高度敏感因子,区域中度敏感因子有高程、植被覆盖度、景观生态价值和景观格局,而坡度为区域弱度敏感因子。

(3)湿地公园综合生态敏感度划分为高度敏感、中度敏感、弱度敏感、不敏感4个等级,在区域中面积占比分别为32.5%、18.2%、28.2%、21.1%,高敏感区与中敏感区集中分布于水库、滩涂、水渠及周边区域内,应加大生态保护强度。整体上看,中敏感区与弱敏感区共占总面积的46.4%,因此济西国家湿地公园综合生态敏感度属于中度敏感。

参考文献:

- [1] 鲁敏,李科科,康文凤,等. 湿地园林研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2012, 27(2): 224-228.
Lu M, Li K K, Kang W F, et al. Research progress of wetland landscape architecture[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2012, 27(2): 224-228.
- [2] 李东和,鲁敏,赵雪莹,等. 济南市白泉湿地公园生态规划设计[J]. 山东建筑大学学报, 2019, 34(3): 74-82+94.
Li D H, Lu M, Zhao X Y, et al. Ecological planning and design of Baiquan wetland park in Jinan city[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2019, 34(3): 74-82+94.
- [3] 孔亚菲. 基于生态敏感性评价的济西国家湿地公园生态规划研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2015.
Kong Y F. Study on the Ecological Planning of Jixi National Wetland Park Based on Ecological Sensitivity Evaluation[D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2015.
- [4] 鲁敏,孔亚菲. 生态敏感性评价研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2014, 29(4): 347-352.
Lu M, Kong Y F. Research progress of ecological sensitivity evaluation[J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2014, 29(4): 347-352.
- [5] 张强,冯悦,魏伟,等. 基于GIS的祁连山生态敏感性评价[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(3): 1056-1064.
Zhang Q, Feng Y, Wei W, et al. On ecological sensitivity evaluation of the Qilian mountain range(Qinghai-Gansu) based on GIS[J]. Journal of Safety and Environment, 2019, 19(3): 1056-1064.
- [6] 肖荣波,欧阳志云,王效科,等. 中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J]. 生态学报, 2005(5): 551-554.
Xiao R B, Ouyang Z Y, Wang X K, et al. Sensitivity of rocky desertification and its spatial distribution in southwestern China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005(5): 551-554.
- [7] 苏敬华,东阳. 特大城市生态空间识别及管控单元划定——以上海市为例[J]. 环境影响评价, 2020, 42(1): 33-37.
Su J H, Dong Y. Study on ecological space identification and control unit delimitation of a metropolitan city: Taking Shanghai as an example[J]. Environmental Impact Assessment, 2020, 42(1): 33-37.
- [8] 徐剑春,王博,罗进选. 基于GIS的小流域尺度水土流失敏感性评价——以通渭县牛谷河项目区为例[J]. 中国水土保持, 2021(1): 37-41.
Xu J C, Wang B, Luo J X. Sensitivity evaluation of soil and water loss in small watersheds based on GIS[J]. Soil and Water Conservation in China, 2021(1): 37-41.
- [9] 邓伟,刘德绍,胡志毅,等. 三峡库区土壤保持重要区生态敏感性空间特征[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(7): 190-198.
Den W, Liu D S, Hu Z Y, et al. Spatial difference of eco-environmental sensitivity of Three Gorges Reservoir soil conservation area in Chongqing[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 41(7): 190-198.
- [10] 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.
Fu S L, Jia P W, Wang X X, et al. Research on ecological security management based on ecological sensitivity analysis and evaluation——Taking Shenyang-Fushun new district as an example[J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(4): 1579-1587.
- [11] 闫德洋,王琳,卫宝立,等. 鲁西北农业小镇生态敏感性评价研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(5): 102-110.
Yan D Y, Wang L, Wei B L, et al. Study on ecological sensitivity evaluation in northwest Shandong agricultural town[J]. Periodical of Ocean University of China, 2018, 48(5): 102-110.
- [12] 张煜,张淑梅,何瑞珍,等. 基于“三生”协调的郑州森林生态系统评价管理[J]. 上海城市规划, 2020(1): 48-54.
Zhang Y, Zhang S M, He R Z, et al. Research on urban forest ecosystem evaluation and management based on the coordination of “Ecological-production-living space”[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(1): 48-54.
- [13] 陈爽,马安青,马冰然,等. 大辽河地区生态环境敏感性评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(9): 103-108.
Chen S, Ma A Q, Ma B R, et al. Assessment on eco-environmental sensitivity in Daliaohe area[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(9): 103-108.
- [14] 朱金峰,周艺,王世新,等. 白洋淀湿地生态功能评价及分区[J]. 生态学报, 2020, 40(2): 459-472.
Zhu J F, Zhou Y, Wang S X, et al. Ecological function evaluation and regionalization in Baiyangdian Wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(2): 459-472.
- [15] 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.
Sun Y Y, Wang L, Wang J. The ecological sensitivity evaluation in Yellow River delta nature reserve[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(11): 96-102.
- [16] O'Connor B L, Hamada Y, Bowen E E, et al. Quantifying the sensitivity of ephemeral streams to land disturbance activities in arid ecosystems at the watershed scale[J]. Environ Monit Assess, 2014(186): 7075-7095.
- [17] Eggermont H, Verschuren D, Audenaert L, et al. Limnological and ecological sensitivity of Rwenzori mountain lakes to climate

- warming[J]. *Hydrobiologia*, 2010, 648(1): 123-142.
- [18] 刘鹏举. 基于熵权法的生态脆弱性评价——以济南市为例[J]. *环境影响评价*, 2021, 43(2): 70-73.
- Liu P J. Ecological vulnerability assessment based on entropy weight method——Taking Jinan city as an example[J]. *Environmental Impact Assessment*, 2021, 43(2): 70-73.
- [19] 杨彩云, 王世曦, 杨春艳, 等. 川藏铁路沿线植被覆盖度时空变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(3): 174-182.
- Yang C Y, Wang S X, Yang C Y, et al. Spatial-temporal variation characteristics of vegetation coverage along Sichuan-Tibet railway[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(3): 174-182.
- [20] 蒋元春, 李栋梁, 郑然. 1971—2016 年青藏高原积雪冻土变化特征及其与植被的关系[J]. *大气科学学报*, 2020, 43(3): 481-494.
- Jiang Y C, Li D L, Zheng R. Variation characteristics of snow cover and vegetation in the Tibetan Plateau from 1971 to 2016[J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2020, 43(3): 481-494.
- [21] 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.
- Wang H C, Wang L, Wei B L. The ecological sensitivity evaluation of characteristic town based on GIS: A case in Yingqiu Town Shandong province[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2019, 49(8): 100-107.
- [22] 林璐, 许章华, 黄旭影, 等. 基于缓冲区分析的土地利用程度空间分布规律——以福州市马尾区为例[J]. *遥感信息*, 2019, 34(1): 135-143.
- Lin L, Xu Z H, Huang X Y, et al. Spatial distribution of land use degree based on buffer analysis: A case study of Mawei District in Fuzhou[J]. *Remote Sensing Information*, 2019, 34(1): 135-143.
- [23] 凌德泉, 毕硕本, 左颖, 等. 缓冲区分析综合模型构建研究[J]. *测绘科学*, 2019, 44(9): 47-53.
- Ling D Q, Bi S B, Zuo Y, et al. Study on the comprehensive model construction of buffer analysis[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2019, 44(9): 47-53.
- [24] 王国玉, 白伟岚. 风景名胜区生态敏感性评价研究与实践进展[J]. *中国园林*, 2019, 35(2): 87-91.
- Wang G Y, Bai W L. Research and practice progress in ecological sensitivity evaluation of scenic spot[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(2): 87-91.
- [25] 田敏. 山东省旅游生态敏感性空间结构研究[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 45(7): 100-106.
- Tian M. Sensitivity-based analysis of ecospatial structure of tourism industry in Shandong province[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2020, 45(7): 100-106.
- [26] 李霞, 林丽丽, 吴元晶, 等. GIS 支持下旅游小镇生态敏感性评价——以福建省湖坑镇为例[J]. *中国城市林业*, 2019, 17(6): 63-69.
- Li X, Lin L L, Wu Y J, et al. Ecological sensitivity evaluation of tourism town based on GIS: A case study of Hukeng Town in Fujian Province[J]. *Journal of China Urban Forestry*, 2019, 17(6): 63-69.

Ecological Sensitivity Assessment of Jixi National Wetland Park Based on GIS

Lu Min, Mu Huigang, Tan Lei, Yi Zekun, Wang Han, Li Wenyue, Kong Yafei

(Landscape Architecture Research Center, School of Art, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: The wetland park is called the “kidney of the city”, which is the core and main body of the urban wetland, and has an important ecological protection and detoxification function. Wetland park ecological sensitivity assessment is the basic premise and important method of wetland park ecological planning. With RS and GIS as the technical support, the comprehensive evaluation index system of the wetland park was established for the ecological sensitivity evaluation of Jixi National Wetland Park. The results show that water wetland and vegetation type are highly sensitive factors, elevation, vegetation coverage, landscape pattern and landscape ecological value are moderate sensitive factors, and slope is low sensitive factor; the comprehensive ecological sensitivity of wetland park is divided into four grades: highly sensitive, moderately sensitive, low sensitive, Insensitive, with area proportion of 32.2%, 18.2%, 28.2% and 21.1%, highly sensitive area and moderately sensitive area are distributed in reservoirs, flats, canals and surrounding areas; the comprehensive ecological sensitivity of wetland park is moderately sensitive.

Key words: Remote Sensing(RS); Geographic Information System(GIS); wetland park; ecological sensitivity; evaluation