

基于 GIS 的山地丘陵城市生态敏感性分析 ——以福建省泉州市为例

范祝连¹, 万 松¹, 邓 双¹, 卞阿娜^{1,2*}

(1. 福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建 福州 350002; 2. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

摘要:生态敏感性分析是城市规划布局的重要依据。该文以山地丘陵城市泉州市为研究对象,选取坡度、坡向、高程、土地利用类型、植物覆盖度、河流水体、人口密度、文物保护单位、道路交通等9个指标作为评价要素,采用层次分析法(AHP)确定各指标权重,将生态敏感程度分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感5个级别,并运用 Arc GIS 技术对泉州市生态敏感性进行评价。结果表明:研究区生态敏感性适中,道路交通、人口密度、高程和植物覆盖度是其主要敏感因子,其极敏感区、高度敏感区、中度敏感区、轻度敏感区和不敏感区占研究区域总面积的比例分别为7.70%、16.01%、32.64%、33.45%和10.20%。该研究结果可为泉州市的开发建设和规划提供依据及参考。

关键词:生态敏感性;GIS;层次分析法;山地丘陵;城市;泉州市

中图分类号:P941.76;P962;Q142;Q948.39.3

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2022.04.003

GIS based ecological sensitivity analysis of mountainous and hilly cities—Taking Quanzhou City, Fujian Province as an example

Fan Zhulian¹, Wan Song¹, Deng Shuang¹, Bian A'na^{1,2*}

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2. School of Biological Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Ecological sensitivity analysis is an important basis for urban planning and layout. Taking Quanzhou City, a mountainous and hilly city, as the research object, according to the characteristics of Quanzhou City, nine indicators, including slope degree, slope direction, elevation, land use type, plant coverage, river water body, population density, cultural relics protection units and road traffic were selected evaluation elements. Analytic hierarchy process (AHP) was used to determine the weight of each indicator. According to the level of ecological sensitivity, the study was divided into five levels: extremely sensitive, highly sensitive, moderately sensitive, slightly sensitive and insensitive. GIS technology was used to evaluate the ecological sensitivity of Quanzhou City. The results showed that the ecological sensitivity of the study area was moderate, with 4 main sensitive factors, which were road traffic, population density, elevation and vegetation cover. The proportions of extremely sensitive area, highly sensitive area, moderately sensitive area, slightly sensitive area and insensitive area were 7.70%, 16.01%, 32.64%, 33.45% and 10.20% of the total area of the study area respectively. The research results could be used as a basis and reference for the development, construction and planning of Quanzhou City.

Key words: Ecological sensitivity; GIS; Analytic hierarchy process; Mountains and hills; City; Quanzhou City

收稿日期:2022-05-27;修回日期:2022-06-23

基金项目:漳州市规划院委托项目“高新区土地综合整治与生态修复”(A92028)

作者简介:范祝连(1997-),女,福建龙岩人,硕士研究生。主要从事园林与景观设计研究。

* 通信作者:卞阿娜(1977-),女,福建漳州人,副教授,硕士生导师。主要从事风景园林规划与设计研究。E-mail:ban2@163.com

随着人类活动对自然环境的影响范围不断扩大和强度不断增加,自然生态环境的稳定性必定受到巨大影响,因此,世界日益重视生态环境的保护和改善。生态敏感性评价是能够合理分析优先或重点开展生态环境建设和区域保护的有效方法。生态敏感性指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反映程度,表征发生区域生态环境问题产生的难易程度和概率大小^[1]。通常情况下,生态敏感性越高的区域,对外界环境变化越敏感,生态系统越容易受损,也越容易产生生态环境问题。目前国内外对生态系统敏感性的研究日益重视,已从单一生态敏感性研究发展到生态敏感性综合评价,取得了不少成果^[2-6]。生态敏感性分析可以进行以下5个分类^[7]:(1)从生态因子来看,即对区域生态系统的各种环境问题的生态敏感性分析,如土壤侵蚀^[8]、酸雨^[9]、地质灾害^[10]、全球变暖^[11]等;(2)从研究尺度来看,有分析国家^[12]、省域^[13]、市县域^[14]的生态敏感性;(3)从研究对象类型来看,有研究水域^[15]、城市^[16]、湿地^[17]、自然保护区^[18]等的生态敏感性;(4)从时间尺度看,有对某一时间段或某一变化过程的景观敏感性的研究。如Thomas等通过研究一段时间的景观变化,说明景观敏感性对理解快速环境变化影响的重要性^[19]。彭春花等揭示了15 a间的三峡库区重庆段景观生态敏感性时空变化特征,识别了景观生态关键修复区^[20];(5)还有从不同学科,如生态学^[21]、土壤学、地貌学及GIS^[22]等进行研究。众多研究显示,生态敏感性的评价都趋于成熟。

通过对国内外生态敏感性研究成果的分析,本研究选取典型的山地丘陵城市——福建省泉州市为研究区域,并通过对泉州市生态环境资料的调查,选取能代表泉州市生态敏感性的因子,借助ArcGIS空间分析技术对泉州市生态敏感性进行分析,拟为泉州市土地利用规划、环境整治以及可持续发展等提供一定的指导。

1 研究区概况

泉州市位于福建省东南沿海地区(24°22′—25°56′N,117°34′—119°05′E),南临台湾海峡,东西宽153 km,南北长157 km,总面积11 015 km²。泉州靠山面海,丘陵、河谷、盆地相互交错,山地1 000万hm²以上,耕地197万hm²,山地、丘陵占土地总面积的4/5,俗称“八山一水一分田”。其境内水系发达,

水网密布,境内溪流多达34条,总长1 620 km。泉州市属中亚热带海洋性季风气候,气候温和。泉州市是中国历史文化名城,是“海上丝绸”之路的起点,拥有多处国家级和省级文物保护单位。第7次人口普查显示,泉州常住人口高达878.22万人。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究所运用的DEM数据和遥感影像均来自于地理空间数据云。DEM数据分辨率为30 m,用于分析泉州市的高程并借助ArcGIS技术获取坡度和坡向数据。遥感影像数据为Landsat卫星系列2020年10月的30 m空间分辨率影像,对影像图进行辐射定标、大气校正、裁剪等预处理,用于获取研究区的植被覆盖率、水系分布等信息。各区域的人口数据从第7次全国人口普查数据中获得;文物保护单位点源于泉州市政府网站,并通过查找各文物点的经纬度导入ArcGIS10.4软件进行缓冲区处理;土地利用类型数据来自30 m全球地表覆盖数据(GlobeLand 30)。

2.2 研究方法

2.2.1 评价因子的选取 本研究通过查阅泉州市的人文自然资源和社会经济建设资料,选择具有研究区特征的生态敏感性评价因子。不同地区的生态敏感因子差异明显,它受到多方面的影响,与该地区的气候、地理条件、人口密度等息息相关。根据科学完整性、定性和定量相结合原则,同时考虑到可操作性,结合泉州市发展现状和生态规划,选择9个具有代表性的生态评价因子,分别为坡度、坡向、高程、植物覆盖度、土地利用类型、道路交通、人口密度、文物保护单位、河流水体。

泉州属于山地丘陵城市,地形复杂多样,海拔和坡度作为2个重要因子影响着地形地貌的生态敏感度;坡向对于气温、植被的生长很重要;泉州市内山林面积大,植被类型丰富,其对生态敏感度的影响也会不同;泉州市经济发展迅速,河流水库的水环境会受到城市开发建设不同程度上的影响,水环境质量的高低会直接影响生态系统的稳定性和可持续性,同时,城市开发建设对土地利用类型和道路建设产生重要影响。泉州市拥有国家级重点文物保护单位44处,能够吸引人们关注从而在一定程度上间接影响研究区内植被的生长和分布以及周边环境的建设强度。

2.2.2 评价指标体系的构建 根据层次分析法确定 9 个生态评价因子指标权重。

(1) 分级赋值。根据《生态功能区划暂行规程》^[23]的分级、评分标准以及相关研究成果^[24-26],结合研究区特殊的地形地貌、生态环境、城市发展

等实际情况,确定本研究生态敏感因子分级标准,并将泉州市各个单因子的强弱程度划分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个等级,分别赋值为 9,7,5,3,1(如表 1)。

表 1 各评价因子分级标准

评价因子	不敏感(1)	轻度敏感(3)	中度敏感(5)	高度敏感(7)	极敏感(9)
坡度(C ₁)/°	0—5	5—15	15—20	20—25	>25
坡向(C ₂)	南	东南、西南	东、西	东北、西北	平面、北
高程(C ₃)/m	<200	200—450	450—700	700—900	>900
植物覆盖度(C ₄)	<0.55	0.55—0.70	0.70—0.80	0.80—0.90	>0.90
土地利用类型(C ₅)	人造地表	裸地	灌木地、草地	林地、耕地	水体、海域、湿地
道路交通(C ₆)	其他区域	省级道路 1 000—2 000 m 缓冲带,国家级道路 500—3 000 m 缓冲带	省级道路 500—2 000 m 缓冲带,国家级道路 1 000—1 500 m 缓冲带	省级道路 250—500 m 缓冲带,国家级道路 500—1 000 m 缓冲带	省级道路 0—250 m 缓冲带,国家级道路 0—500 m 缓冲带
人口密度(C ₇)/(人/km ²)	>3 000	2 000—3 000	1 000—2 000	300—1 000	<300
文物保护单位之间距离(C ₈)/m	>6 000	4 000—6 000	2 000—4 000	500—2 000	<500
河流水体长度(C ₉)/m	>2 000	1500—2 000	1 000—1 500	500—1 000	<500

(2) 确定权重。权重是多指标综合评价中的关键要素,可以体现出各单因子指标评价能力的高低,也是对单因子指标重要性程度的认识。本研究

通过层次分析法,根据各个因子对生态敏感度的影响程度,结合专家意见得到泉州市生态敏感性各评价因子的权重(见表 2)。

表 2 生态敏感性评价因子权重

因子	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	权重
C ₁	1	3	1	1/6	1/2	1/5	1/2	1/7	1/8	0.030 3
C ₂	1/3	1	1	1/7	1/7	1/9	1/4	1/8	1/9	0.018 2
C ₃	1	1	1	1/6	1	1/8	1/5	1/6	1/8	0.022 2
C ₄	6	7	6	1	6	1/6	1	1	1/5	0.130 6
C ₅	2	7	4	1/6	1	1/8	1	1/5	1/8	0.054 1
C ₆	5	9	9	6	8	1	8	1	1/2	0.229 2
C ₇	2	4	5	1/5	2	1/8	1	1/4	1/7	0.518 3
C ₈	7	8	6	1	5	1	4	1	1/4	0.149 7
C ₉	8	9	8	5	8	2	4	4	1	0.314 1

注:最大特征根 λ_{max}=10.057 0;一致性检验,CI=0.099 0<0.15,CR=0.09 90/1.46=0.065 4<0.1,说明此权重的判断结果可用。

2.2.3 空间叠加分析 在 Arc GIS10.6 平台的支持下,对预处理的数据进行缓冲、转为栅格、掩膜提取、重分类等单因子分级标准评价及敏感赋值,获得各单因子生态敏感性研究结果。将单因子计算结果导入 ArcGIS 空间模块分析中的栅格计算器进行叠加分析,同时对单因子进行权重赋值计算,初步得到泉州市的生态敏感性综合评价结果。再运用自然断点法进行重分类,按照综合得分值的高低将区域分为 5 个等级区。

3 结果与分析

3.1 单因子生态敏感性分析

3.1.1 坡度生态敏感性 由图 1-a,表 3 可知,不敏感区和轻度敏感区的面积分别占研究区域的 20.18% 和 33.39%;而高度敏感区和极敏感区总共仅占泉州市面积的 31.20%,主要分布在山区中上坡地区。该地区坡地面积大,是需要着重保护生态敏感性高的地区。

3.1.2 坡向生态敏感性 气温和植物的生长会受坡向的影响。不同坡向,光照和通风有所差异。中国地处北半球,山地丘陵的南坡、东南和西南方向具有较优的光照和通风,更有利于植被的生长繁衍。图1-b所示,敏感区域大致分布在研究区域海域周边,高度敏感区与极敏感区共占39.17%(见表3),其他敏感区域分布比较零散,各等级的敏感度区占比接近。

3.1.3 高程生态敏感性 由图1-c,表3可知,不敏感区所占的比例最大,为36.19%,主要分布地势平坦、城市建设和农村居民点相对集中的南部和东部;高度敏感区和极敏感区面积较小,分别占该区域的15.46%和9.88%,可见泉州市在高程小于200 m的区域面积较大,高海拔分布较少。

3.1.4 植物覆盖度生态敏感性 不同类型植被的自我调节能力和抗干扰能力不一致,对促进整个区域生态系统健康和平衡具有至关重要的作用,植被敏感度分级分布如图1-d。研究区地貌多为山地和丘陵,植被覆盖度高。表3显示,不敏感区和中度敏感区面积较少,主要包括建设用地、裸地和海域等无植被覆盖的地域。极敏感区和高度敏感区的面积占研究区总面积的73.30%,主要是生长在海拔较高的林地以及平缓丘陵地带的灌木林、草地和耕地,该区域的植被因子生态敏感度比较高,要加强植被保护。

3.1.5 土地利用类型生态敏感性 根据泉州市实地情况,将研究区域内的土地利用类别分为建设用地、灌木地、裸地、草地、森林、耕地、水体、海域、湿地9个部分。根据图1-e,表3所示,高度敏感区分布在泉州市的森林、耕地,占比最大为71.42%,极敏感区为水体、海域、湿地,占比3.74%,2者占研究区面积的75.16%,主要分布在西北地区山地丘陵和东南沿海地区,是维持生态系统稳定的重要力量。不敏感区为人造地表,占研究区面积的12.94%,主要集中在中心城区,还包括其他区县的居民点和商业建设用地等。

3.1.6 道路交通生态敏感性 道路交通网络将每个区域联系起来,区域中的人类生活生产正是沿着道路交通进行,道路越密集,人类活动愈丰富,势必会对城市生态环境产生影响,生态敏感性也随之变化。泉州市内有324国道,泉南高速公路、福泉高速公路、泉厦高速公路等7条省道。研究运用Arc GIS的缓冲分析,根据道路远近将区域划分为不同程度的敏感区。由图1-f,表3可知,中度及以上敏感的

区域面积为2 024.16 km²,占研究区总面积的17.78%,为省级道路2 000 m以下的缓冲带和国家级道路1 500 m以下的缓冲带地区。

3.1.7 人口密度生态敏感性 人口密度指单位土地面积的人口数量,可以衡量区域人类活动对生态环境产生影响的程度,人口增长会对外界环境产生影响,同时也会加剧环境的破坏。全国第7次人口普查显示,研究区域总人口高达878.22万人。从图3-g,表3可以看出,不敏感和轻度敏感区的面积占研究区总面积的9.42%,主要集中在泉州市鲤城区、丰泽区、晋江市和石狮市。高度敏感区和极敏感区分别占研究区面积的54.25%和32.10%,主要分布在内陆县城区域。

3.1.8 文物保护单位生态敏感性 泉州境内有安平桥(五里桥)、清净寺、开元寺、郑成功墓等全国重点文物保护单位共44处,是省内最多的市。如图1-h所示,国家级文物保护单位集中分布于泉州市南部的鲤城区和丰泽区,分布比较密集,敏感区集中分布于此,中、高、极敏感区域共占比7.14%,不敏感区占比87.26%(见表3)。

3.1.9 河流水体生态敏感性 泉州市海域面积11 360 km²,海岸线总长541 km,岛屿207个。其境内水系发达,水网密布,泉州境内溪流多达34条,总长1 620 km。分析结果(如图1-i,表3)显示,不敏感区面积为8 133.84 km²,占研究区域的71.45%,主要分布在研究区西北和西南地区的德化县、永春县、安溪县和南安市等地,研究对象的水文因子生态敏感度相对较低,具有相应等级的高敏感度主要分布在东南沿海区域的水系。

3.2 综合生态敏感性分析

各个单因子的综合影响能够形成研究区域的生态敏感度(如图2)。由表4可知,极、高度敏感区面积为4 969.05 km²,占研究区域的43.65%,主要分布在泉州市北部、西北部和海域地区,该区域高程高、地势起伏、景观资源丰富、植被覆盖度较好;中度敏感区占研究区域的32.64%,面积为3 715.75 km²,主要包括一些灌木林和草地;轻度敏感区和不敏感区占研究区域的23.71%,面积为2 699.87 km²,集中分布于泉州市海拔较低和山坡比较平缓地带的南部以及东南部,主要为建设用地和居民点以及地势平坦的裸地。由于中、高度敏感区是占比最大的2个区域,而极敏感区面积仅占10.20%,可以认为研究区域整体生态敏感度适中。

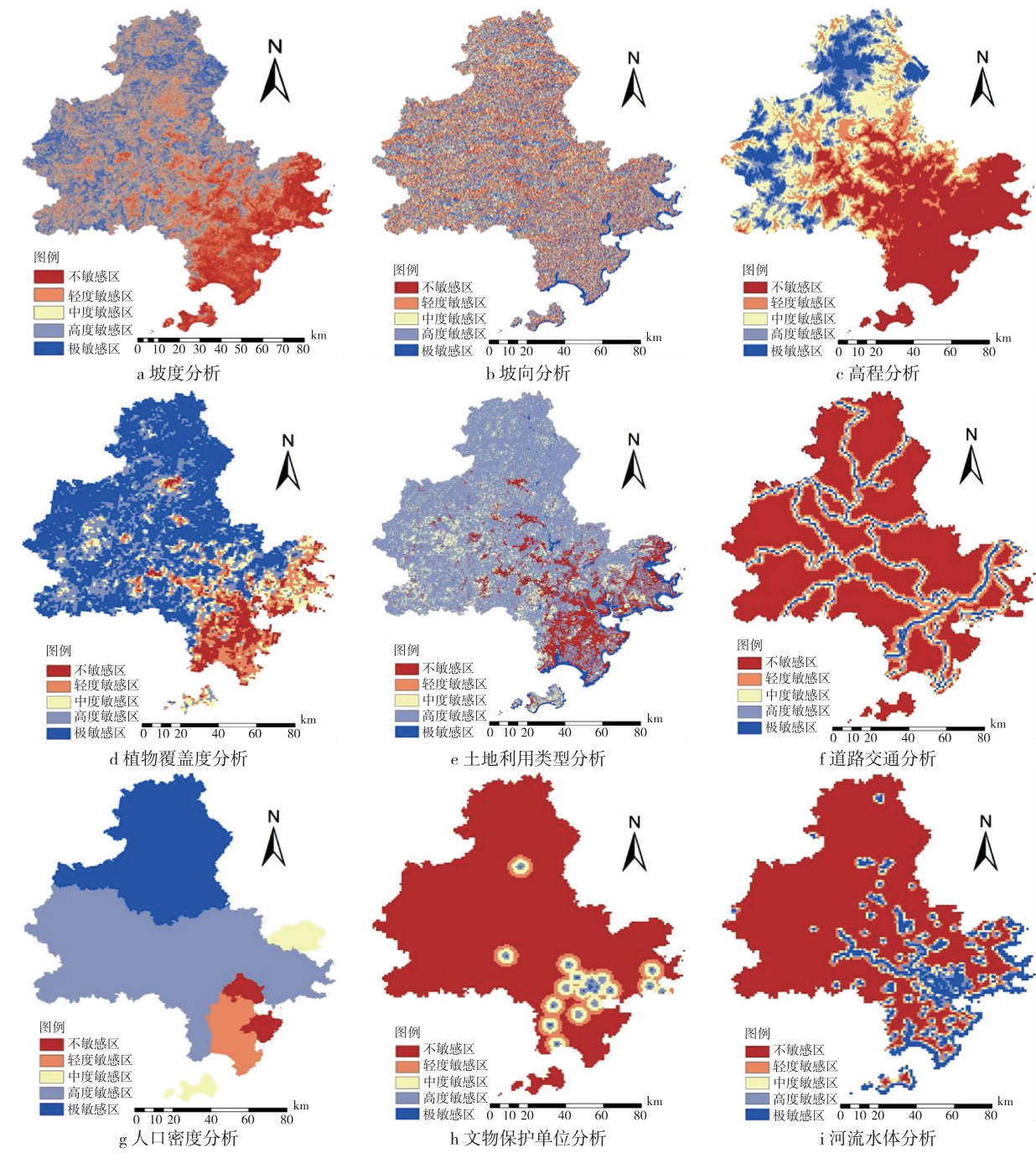


图 1 泉州市各评价因子生态敏感性区域分析

表 3 各生态敏感性因子分级面积比例

因子	不敏感区		轻度敏感区		中度敏感区		高度敏感区		极敏感区	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
坡度	2 296.86	20.18	3 800.98	33.39	1 734.51	15.24	1 454.32	12.77	2 098.00	18.43
坡向	1 525.53	13.40	2 906.17	25.53	2 493.16	21.90	2 776.94	24.39	1 682.87	14.78
高程	4 120.43	36.19	1 809.47	15.89	2 570.56	22.58	1 759.94	15.46	1 124.27	9.88
植物覆盖度	862.73	7.58	1 142.39	10.03	1 034.03	9.08	2 735.75	24.03	5 609.78	49.27
土地利用类型	1 473.18	12.94	8.32	0.07	1 346.40	11.83	8 130.73	71.42	426.04	3.74
道路交通	7 621.99	66.95	1 738.52	15.27	906.31	7.96	545.50	4.79	572.35	5.03
人口密度	359.14	3.15	713.45	6.27	481.59	4.23	6 176.53	54.25	3 653.96	32.10
文物保护单位	9 933.78	87.26	637.90	5.60	568.81	5.00	224.31	1.97	19.88	0.17
河流水体	8 133.84	71.45	643.14	5.65	698.54	6.14	705.29	6.20	1 203.86	10.57

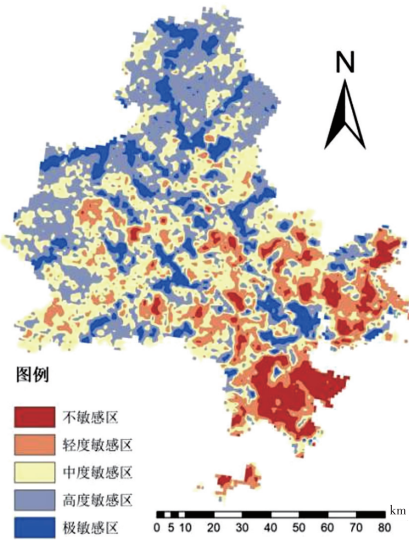


图 2 生态敏感性综合评价

表 4 综合生态敏感性分析结果

生态敏感等级	面积/km ²	比例/%
不敏感	876.94	7.70
轻度敏感	1 822.93	16.01
中度敏感	3 715.75	32.64
高度敏感	3 808.10	33.45
极敏感	1 160.95	10.20

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究选取坡度、坡向、高程、土地利用类型、植物覆盖度、河流水体、人口密度、文物保护单位、道路交通 9 个生态因子对研究区进行生态敏感性评价,分析泉州市的生态敏感性分布规律,具体结论如下:

(1)泉州市生态敏感性划分极敏感区、高度敏感区、中度敏感区、轻度敏感区和不敏感区 5 个敏感区域,占研究区总面积的比例分别为 7.70%,

16.01%,32.64%,33.45%和 10.20%。泉州市综合生态敏感性的研究结果,与道路交通、人口密度、高程和植物覆盖度等因子的评价结果大致相同,认为它们可以作为影响研究区生态敏感性的主要指标^[14, 27-28]。在地域分布规律上,泉州市生态敏感性大致由南向北逐渐增强。

(2)泉州市生态敏感性在空间分布上呈显著差异性。敏感性较强的区域主要分布在植被覆盖度高、海拔较高、水资源丰富的区域,此区域生态系统脆弱,不能作为开发区,应当作为保护区严格保护当地植被,维护高敏感区生物多样性,加强区域生态建设,减少相关人类建设活动。中度敏感性地区面积较大,地势较平坦、高程低,生态环境系统较为脆弱,容易受到外界的破坏和干扰,应该减小该区域的开发力度,注重保护原生植物,提高生态系统的多样性,这些区域对全市生态系统具有一定的缓冲和保护意义。敏感性低的区域主要集中在地形平坦、土地利用类型多为建设用地的区域,是人类活动最为强烈的区域。此区域是所有敏感性地区中生态系统最为稳定的,对抗外界干扰的能力强,可以适度开发。

4.2 讨论

本研究通过层次分析法确定各因子权重,采用定性、定量研究相结合方法评估了山地丘陵市域的生态敏感性。对比其他城市生态敏感性研究结果^[14,27]发现,影响其综合生态敏感程度最突出的生态因子是植物覆盖度与高程,这与泉州市的研究结果较为一致。现关于研究区不同尺度、不同角度的生态敏感性评价趋于多样化,本研究主要基于生态学角度,从自然环境和社会经济中选取具有代表性的生态因子,对泉州市的生态敏感性进行了相对全面的评价指标构建,但只对研究区选取了单一时间节点的生态敏感性,对于长时间跨度的时空动态变化有待进一步研究。因此,对区域生态敏感性的时

空动态变化是未来研究的重点。

本研究结合地理学、生态学、土壤学等多学科的相关知识,对山地丘陵城市——泉州市的生态敏感性进行分析,但仍存在需要探讨的不足之处:(1)生态敏感性因子的选择众多,不同生态因子的选择与组合,对研究区的综合生态敏感性结果具有差异性;(2)评价因子的权重具有一定的主观性。层次分析法是主观赋权评判的,专家主观上的偏好,在各生态因子的权重设置时,一定程度上会影响研究区敏感性的结果,所以相关因子的权重,仍需更为客观、公正的考量。

参考文献:

- [1] 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):9-12.
- [2] 韩贵锋,赵 珂,袁兴中,等.基于空间分析的山地生态敏感性评价——以四川省万源市为例[J].山地学报,2008,26(5):531-537.
- [3] 张 磊,刘利强,胡海波,等.基于区域开发的钦州市生态敏感性分析及防控对策[J].生态与农村环境学报,2009,25(3):16-20.
- [4] 叶其炎,杨树华,陆树刚,等.玉溪地区生物多样性及生境敏感性分析[J].水土保持研究,2006,13(6):75-78.
- [5] CARIBONI J, GATELLI D, LISKI R, et al. The role of sensitivity analysis in ecological Modelling[J]. Ecological Modelling, 2007,203(1-2):167-182.
- [6] 罗 鹏,石军南,孙 华.基于 GIS 空间模型的库区生态敏感性评价研究[J].水土保持研究,2007,14(2):255-258.
- [7] 张 蜜,陈存友,胡希军.苍南县玉苍山风景区生态敏感性评价[J].林业资源管理,2019(4):92-100,150.
- [8] 杨美玲,米文宝,李同昇,等.宁夏限制开发生态区生态敏感性综合评价与保护对策[J].水土保持研究,2014,21(3):103-108,321.
- [9] 何苏玲,邹凤琼,王金亮.基于 AHP 和 MSE 赋权法的龙南县生态敏感性评价[J].生态学杂志,2021,40(9):2927-2935.
- [10] 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.
- [11] SAFEEQ M, GRANT G E, LEWIS S L, et al. Predicting landscape sensitivity to present and future floods in the Pacific Northwest, USA [J]. Hydrological Processes, 2015, 29(26):5337-5353.
- [12] 李振亚,魏 伟,周 亮,等.中国陆地生态敏感性时空演变特征[J].地理学报,2022,77(1):150-163.
- [13] 刘 康,欧阳志云,王效科,等.甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J].生态学报,2003,23(12):2711-2718.
- [14] 黄发明,杨光照,苏晨旭,等.基于 GIS 和层次分析法的县域生态敏感性评价[J].南昌大学学报(理科版),2019,43(6):599-605.
- [15] 周雨露,杨永峰,袁伟影,等.基于 GIS 的济南小清河流域生态敏感性分析与评价[J].西北林学院学报,2016,31(3):50-56,62.
- [16] 曹建军,刘永娟.GIS 支持下上海城市生态敏感性分析[J].应用生态学报,2010,21(7):1805-1812.
- [17] 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/OL].中国海洋大学学报(自然科学版):1-9 [2022-06-10].
- [18] 宋晓龙,李晓文,白军红,等.黄河三角洲国家级自然保护区生态敏感性评价[J].生态学报,2009,29(9):4836-4846.
- [19] THOMAS M F. Landscape sensitivity to rapid environmental change—a Quaternary perspective with examples from tropical areas[J]. Catena, 2004, 55(2):107-124.
- [20] 彭春花,周启刚,孟浩斌,等.基于 LECI 的三峡库区重庆段景观生态敏感性分析及关键修复区识别[J].水土保持研究,2021,28(3):325-330,339.
- [21] MILES J, CUMMINS R P, FRENCH D D, et al. Landscape sensitivity: an ecological view[J]. Catena, 2001,42(2-4):125-141.
- [22] 易 玲.中国水力侵蚀风险研究[D].北京:中国科学院大学(中国科学院遥感与数字地球研究所),2017.
- [23] 国家环境保护总局.生态功能区划技术暂行规程[S].北京:中国科学院生态环境研究中心,2002.
- [24] 赵可极.基于生态敏感性分析的山地旅游景区生态规划设计研究[D].北京:北京林业大学,2019.
- [25] 翟端强,叶 强,何玮琪.湖南丘陵城市土地生态敏感性评价及景观生态格局优化研究[J].中国园林,2019,35(1):133-138.
- [26] 张 伟,王家卓,任希岩,等.基于 GIS 的山地城市生态敏感性分析研究[J].水土保持研究,2013,20(3):44-47,54.
- [27] 赖玉萍,郑 林.基于 GIS 的赣南丘陵地区生态敏感性研究——以赣县河埠村为例[J].农村经济与科技,2021,32(13):10-13.
- [28] 丁鸿浩,赖宁静,邓林昊,等.基于 AHP-TOPSIS 最优组合赋权的闽侯县生态敏感性评价[J].中国城市林业,2022,20(3):94-101.