

湖南省洞庭湖生态经济区生态保护与修复 重点区域的识别研究

姚茹云, 帅 红

(湖南师范大学 地理科学学院, 长沙 410081)

摘要:提高湖南省洞庭湖生态经济区的生态系统环境承载力,对于维护生态安全具有重要意义。选用空间形态学方法(MSPA)、生态系统服务重要性评价和电路理论模型,判别生态保护修复重点区域。研究表明:生态保护重点区域共识别生态源地 17 742.35 km²,廊道 121 条,长 579.73 km;生态修复重点区域共识别夹点 42 个,障碍点 29 个,生态系统服务功能低值区面积 4 044.46 km²;基于生态保护修复重点区域的生态现状,制定针对性生态保护修复策略,为研究区开展生态保护修复工作提供理论依据。

关键词:洞庭湖生态经济区;生态系统服务功能重要性;MSPA;电路理论;生态修复区识别

中图分类号:X22 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)02-0137-08

生态保护与生态修复是当前生态环境领域中的研究热点。通过梳理国内外生态保护与修复研究发现,各国生态系统破坏情况不同,生态修复研究侧重领域也不同。在研究内容方面,欧洲国家针对水域生态系统,以被破坏的珊瑚、丧失生态功能的河流湿地等为对象开展生态修复工作^[1-2];北美和南美洲国家侧重森林生态系统修复^[3];澳大利亚侧重研究如何提升矿山修复技术^[4-5];国内则多集中于废弃矿山复垦^[6]、森林^[7]、草原^[8]和湿地^[9]等生态功能恢复研究。在研究对象方面,统筹山水林田湖草生命共同体进行生态修复的研究^[10-14]较为欠缺,难以实现系统修复和综合治理。在研究方法方面,多采用最小累积阻力模型识别最优生态廊道构建生态安全格局,忽略潜在生态廊道在区域整体生态安全中的重要作用,无法在更小尺度上识别重要生态节点,必须进一步确定生态夹点和生态障碍点的具体位置。2021 年 3 月颁布的《中华人民共和国长江保护法》,将“共抓大保护、不搞大开发”写入法律,提出坚持生态优先、绿色发展战略,保护修复长江生态环境,全面推进水污染防治、水生态修复和水资源保护工作^[15]。因此,综合考虑环境要素对生态空间的影响,识别生态保护修复重点区域,对推动长江流域国土空间生态修复、科学管理生态系统具有重要意义。

洞庭湖是长江重要调蓄湖泊,具有保持江湖水域生态平衡的重要功能。近年来,受农业面源污染、工业点源污染以及过度开垦、陡坡开荒等不合理人类活动的影响,土壤重金属超标、土壤退化、水污染等问题日益严重。针对洞庭湖区的生态修复研究已陆续开展^[16-18]。鉴于此,以湖南省洞庭湖生态经济区为研究对象,运用生态系统服务重要性评价、MSPA 和电路理论模型等方法,识别生态源地、廊道、障碍点、夹点和生态系统服务功能低值区,判别生态保护修复重点区域,提出针对性修复策略。为制定保护修复洞庭湖生态系统、维持长江和洞庭湖间生态系统平衡、保障长江流域水安全和生态安全的战略措施提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

湖南省洞庭湖生态经济区包括长沙、常德、岳阳和益阳市 4 个地级市的 25 个县(市、区)(图 1),总面积约 46 319.8 km²。地处亚热带季风气候区,多年平均气温 16.5~17 °C,平均降水 1 200~1 450 mm,地貌以河湖冲积平原、丘陵岗地、低山为主,地势低平河网密布,水域面积 4 836.6 km²,是长江流域重要蓄滞洪区、湿地保护区,也是水陆生态系统较脆弱的地区。

收稿日期:2022-08-26

作者简介:姚茹云(1998—),女,河南驻马店人,湖南师范大学地理科学学院,硕士研究生,研究方向为生态修复、生态环境影响评价。

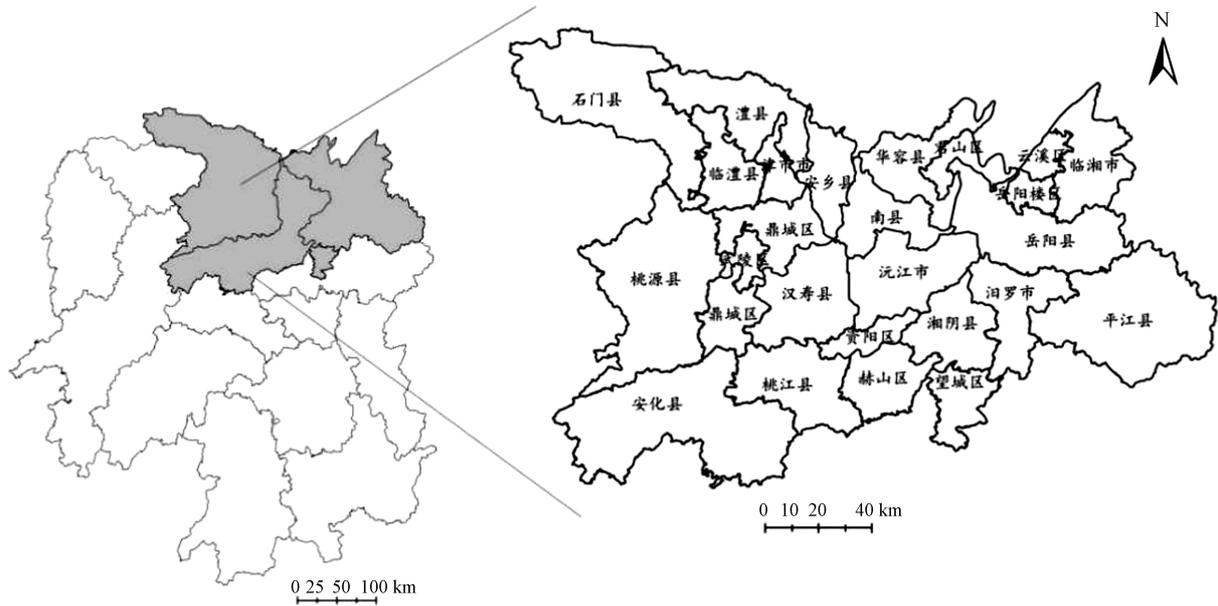


图 1 湖南省洞庭湖生态经济区地理位置

1.2 数据来源

统计数据主要来源于长沙、常德、岳阳和益阳人民政府网站、生态环境质量公报等相关资料；2020 年土地利用数据、2015—2020 年植被净初级生产力数据、2020 年植被覆盖指数源于中国科学院资源环境科学数据中心；气象数据源于中国气象科学数据共享服务网；HWSD 土壤数据集源于国家青藏高原科学数据中心南京土壤所；数字高程和行政区划数据从地理空间数据云平台下载；2020 年夜间灯光数据源于美国国家地球物理数据中心。经重采样最终使用栅格数据分辨率为 100 m。

1.3 研究方法

1.3.1 生态源地识别

1.3.1.1 景观连通性评价方法

基于 2020 年全国土地利用类型数据，识别并提取林地、草地、水域作为前景 MSPA 分析要素，运用 GuidosToolbox 识别核心区、Conefor 软件计算景观连接度。景观连接度指数越高，代表该斑块面积越

大、内部生态系统越稳定、斑块重要性越强^[19]。

1.3.1.2 生态系统服务功能重要性评价方法

依据 2017 年生态环境部发布的《生态保护红线划定指南》^[20]，综合考虑研究区生态环境特征后，从水源涵养、水土保持、生物多样性维护、洪水调蓄 4 个方面构建评价指标体系，评估方法详见表 1。利用 ArcGIS10.4 将以上生态功能单因子重要性评价结果进行空间叠加，综合评价湖南省洞庭湖生态经济区生态系统服务功能重要性。

1.3.2 生态综合阻力面构建

生态阻力面是指物种在不同景观单元间运动、生态流在斑块间流动与传递受到的阻碍，是计算物种克服阻力后选择迁徙路线的基础^[25]。以土地利用数据为基础，结合归一化植被指数、DEM 数据、夜间灯光数据、水体距离和道路距离共 6 个阻力因子，构建生态综合阻力面，各阻力因子的权重及阻力值设置参考已有研究成果^[26-27]详见表 2。

表 1 生态系统服务功能重要性评价方法

评价指标	评估模型/方法	符号说明
水源涵养功能评价 WC	$WC = NPP_{mean} F_{sic} F_{pre} (1 - F_{slo})$ ^[21]	NPP_{mean} 为 2015—2020 年植被净初级生产力平均值； F_{sic} 为土壤渗流因子 ^[20] ； F_{pre} 为多年平均降水因子； F_{slo} 为坡度因子
水土保持功能评价 WK	$WK = NPP_{mean} (1 - K) F_{slo}$ ^[22]	K 代表土壤侵蚀度
生物多样性评价 BP	$BP = NPP_{mean} F_{pre} F_{tem} (1 - F_{alt})$ ^[20]	F_{tem} 表征气温； F_{alt} 代表海拔
洪水调蓄功能评价 SRF	克里金插值得到河网密度指数，缓冲区分析测度距离水体空间距离，在此基础上划分洪水调蓄功能重要性等级	—
生态系统服务功能重要性评价	$STZF = SUM(WC, WK, BP, SRF)$ ^[24]	STZF 为生态系统服务功能重要性

表 2 综合阻力面阻力系数及权重设定

影响因子	阻力因子	阻力系数	权重	影响因子	阻力因子	阻力系数	权重
高程/m	<50	1	0.15	归一化植被指数	<0.35	5	0.2
	50~95	2			0.35~0.6	4	
	95~151	3			0.6~0.75	3	
	151~217	4			0.75~0.84	2	
	217~255	5			0.84~0.92	1	
距离水体距离/m	<500	5	0.20	距离道路距离/m	<500	5	0.1
	500~1 000	4			500~1 000	4	
	1 000~1 500	3			1 000~1 500	3	
	1 500~2 000	2			1 500~2 000	2	
	>2 000	1			>2 000	1	
土地利用类型	林地	1	0.25	夜间灯光数据	0.075~1.8	1	0.1
	草地	2			1.8~6.105	2	
	水域	3			6.11~13.39	3	
	耕地	4			13.39~25.15	4	
	建设用地及未利用地	5			25.15~98.68	5	

1.3.3 生态廊道、夹点和障碍点提取

电路理论将“随机游走理论”与行为生态学相结合^[28],模型将生物视为电子,景观视为导电表面,模拟扩散过程。结合生态阻力面,可以计算源地间的电流值,高电流值区域即为生态环境质量高值区,生物迁徙通过的可能性较大;低电流值区域则生态环境质量较差,会阻碍生物迁徙。Linkage pathway tool 工具,可以同时预测识别多条生物迁徙路径,根据阻力值大小划分出不同重要性等级的生态廊道。Pinchpoint Mapper 工具可以识别生态夹点。Barrier Mapper 工具可以识别生态障碍点。

2 结果与分析

2.1 生态保护重点区域的识别

2.1.1 生态源地

基于景观连通性和生态系统服务功能重要性综合评价结果,选取景观连接度高与生态系统服务功能重要性强的最优斑块作为生态源地。经合并湖南省洞庭湖生态经济区最终识别生态源地 69 个[图 2(c)],面积 17 742.4 km²。由图 2(a)、图 2(b)可知,研究区景观连通性和生态系统服务功能存在明显空间分异,总体呈西北、西南、东部高、中北部低的分布特征。高值区主要分布在洞庭湖及西北、西南、东部山区,涵盖六步溪、壶瓶山、乌云界等国家级自然保护区。森林密布,降水丰富且光热充足,具有较强水源涵养和水土保持能力,适宜野生动植物生长繁衍,是重要的种质资源基因库。河湖广泛分布,常德市境内澧水,益阳北部大通湖、洞庭湖区、南部资水、柘溪水库,岳阳市新墙河及上游铁山水库,汨罗江上游等地,湿地生态系统完整、稳定、连续,为动植物生长、迁徙提供了生存空间,是

生态源地所在地,生态保护的重点区域。低值区则成片分布于中北部农业生产或经济建设活动频繁区,生态环境质量较差,源地分布少,不合理的开发建设活动破坏了景观连通性,减弱了生态系统服务能力。

2.1.2 生态廊道

在生态源地和综合阻力面构建基础上,湖南省洞庭湖生态经济区共识别生态廊道 121 条,长 579.7 km。根据生态廊道阻力值大小可以将廊道重要性分为 3 个等级,其中一级生态廊道 6 条,二级生态廊道 25 条、三级生态廊道 81 条(图 3)。一级生态廊道均位于常德市,共 413.9 km,长度占研究区生态廊道总长的 71%,呈三横三纵分布格局,西至常德市桃源县九溪镇西北部山区-石门县境内澧水河段及北部山区、澧县山门水库及西南山区、王家厂水库,东至澧阳山、浮山水库-武陵区太阳山、北民湖,跨越距离长,阻力大,生态源地间沟通功能较弱,容易出现廊道断裂。二级廊道多分布于常德市和益阳市北部以及岳阳市东、北部地区,共 245.55 km,二级廊道长度较短,受到的阻力较小,可以弥补重要生态系统的连接。三级生态廊道多而密集,均匀分布在研究区内,连接内部小型生态源地,为生物迁徙提供了重要途径。对廊道中容易发生断裂、阻碍廊道形成和生物迁徙的区域,应重点加以维护。

2.2 生态修复重点区域的识别

2.2.1 生态夹点

运用 Pinchpoint Mapper 工具计算电流密度大小,在 Arcgis 中用自然断点法将电流密度划分为 4 个等级,最高一级即为生态夹点。全区共 42 个夹点,总面积 117.4 km²,主要分布在林草地、耕地和

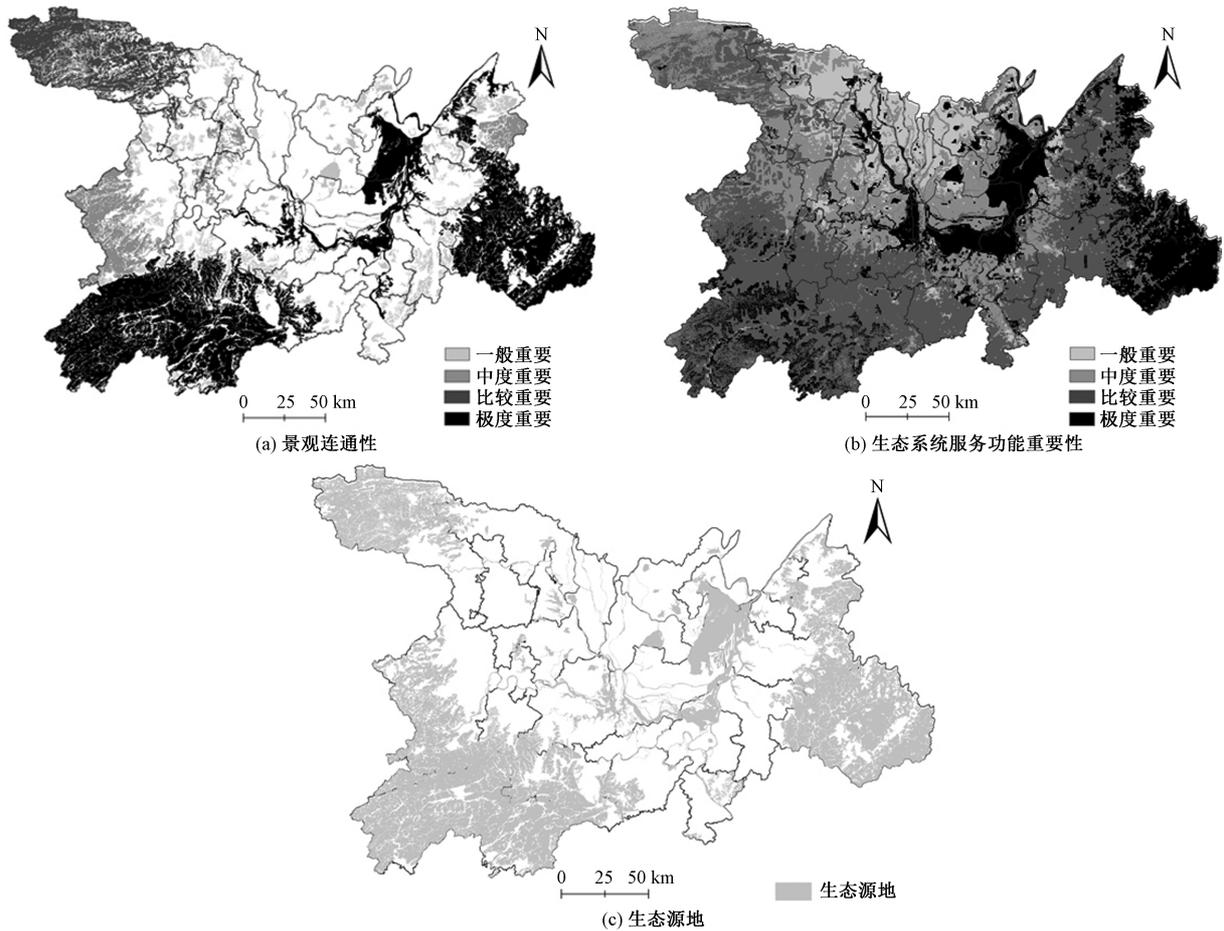


图 2 生态源地识别结果

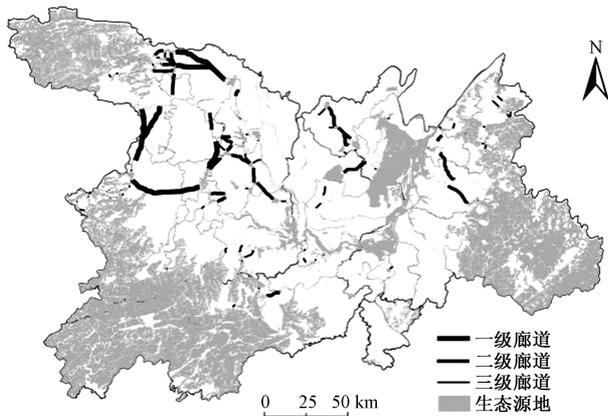


图 3 生态廊道分布

河流交汇处(图 4),如:常德市澧县王家厂水库西侧涇水上游、山门水库附近山区、石公桥水库、澧南镇道水上游、小渡口镇左家村与杨家湾涇水河段、涇水与澧水河流交汇处共 12 个夹点,面积 41.51 km²;桃源县牛车河镇北部与张家界市交界处山区、热市镇长张高速西侧范家堰、纸槽湾山区、理公港镇兰溪上游及山区、漆河镇西北与西南部白洋河河段共 5 个夹点,面积 9.73 km²;华容县东湖与赤眼湖两个

源地间耕地分布有 4 个夹点,面积 16.57 km²;津市、临澧县、鼎城区、汉寿县、石门县、云溪区、岳阳楼区、临湘市、桃江、沅江等地共分布夹点 20 个。夹点区域阻力值较低,电流高度密集,但周边地区的生态阻力较大,如武陵区姻缘河、三间河及启明、丹阳、永安等街道的沿河湿地等易受人类活动干扰,造成生境连通性破坏,需要进行生态修复,保障其生态完整性和稳定性。

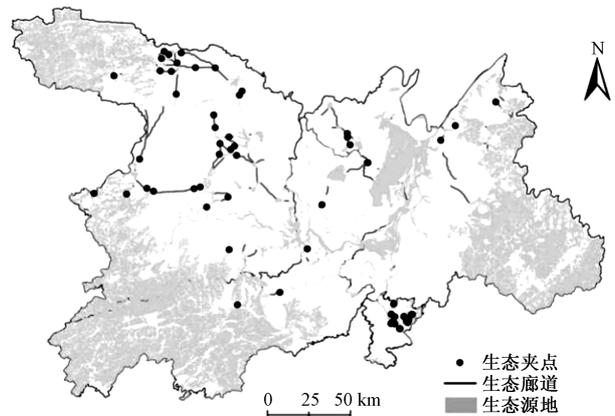


图 4 生态夹点分布

2.2.2 生态障碍点

利用 Barrier Mapper 工具,得出累积电流恢复值示意图作为生态障碍点识别依据。在湖南洞庭湖生态经济区内共识别生态障碍点 29 个,面积 248.77 km²(图 5)。土地利用类型多数为林地、耕地和水域,受农业面源污染、湿地退化、畜禽水产养殖污染、工业废水排放和生活污水污染等影响,生态环境质量降低。少数为建设用地,A6 位于临湘市羊楼司镇,A10 位于云溪区芭蕉湖以西长江以东的城陵矶港区,A12 位于岳阳楼区大桥河北与芭蕉湖南部之间的洛王街道,A21 位于武陵区滨湖公园、三间河及启明、丹阳、永安、府坪街道等地沿河地区,A25 位于胭脂湖镇朱木山河以东黄家河西北部地区,生态环境质量较差,受人为活动干扰严重,生态修复难度大。生态障碍点严重阻碍了生态源地之间的连接,保护修复障碍点的生态环境,能够促进生物在生态斑块间流动。

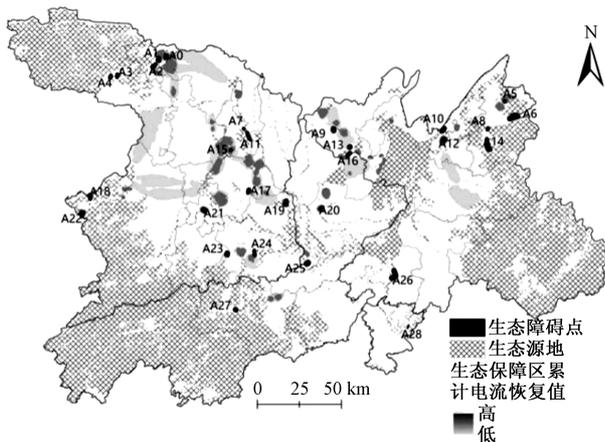


图 5 研究区累积电流恢复值及生态障碍点分布

2.2.3 生态系统服务低值区

根据生态系统服务功能重要性评价结果(图 6),生态系统服务功能一般重要区即为低值区,面积 4 044.46 km²,占总面积的 8.73%。其中耕地占低值区总面积的 68.34%、水域占 11.65%、林草地占 10.22%、建设用地占 9.78%。南县、沅江市北部、华容县、君山区、武陵区、澧县、临澧县、津市、安乡、鼎城区、汉寿县和石门县西北部多耕地分布,石门县西北部地处山区,坡耕地较多,其他地区属于南方红壤,土壤黏重,渗透力差,易遭受侵蚀。受暴雨冲刷、植被破坏、陡坡垦种、粗放经营经济林等影响,水土流失严重。赫山区、岳阳楼区、云溪区、临湘市、岳阳县、湘阴县和汨罗市的城镇工矿建设用地经济建设活动频繁,不合理的农业生产和土地开

发利用活动,引起土壤退化,水土流失加剧、水源涵养和洪水调蓄能力降低、生物多样性减少,导致该区域生态系统服务功能减弱,是生态修复的重点区域。

3 结论与建议

3.1 结论

1)生态保护重点区域共识别生态源地 69 个,面积 17 742.35 km²,主要为林地、草地和水域,分布在研究区西北、西南、中部和东部地区。生态廊道 121 条,579.73 km。其中一级生态廊道 6 条,均分布在研究区西部常德市境内,呈三横三纵空间分布格局。二级生态廊道 25 条,分布在常德市和益阳市北部以及岳阳市东、北部地区,弥补了重要生态系统的连接。三级生态廊道 81 条,分布较为均匀,在小型生态源地连接中发挥着重要作用。

2)生态修复重点区域包括生态系统服务功能低值区面积 4 044.46 km²,现状地类主要为耕地、水域和建设用地,水源涵养、水土保持和洪水调蓄能力弱。待修复的生态夹点 42 个,其中有一处土地利用类型主要为建设用地,其他均分布在耕地、林地和水域。生态障碍点 29 个,现状地类多数为林地、草地、耕地和水域,少数为建设用地。

3)结合生态夹点、障碍点和生态系统服务功能低值区空间分布特征、土地利用现状和具体区域面对的生态环境问题,分别提出生态修复措施,为湖南省洞庭湖生态经济区生态保护修复工作的开展提供理论参考。

3.2 建议

3.2.1 生态保护重点区域的生态安全策略

1)加强生态源地监管和维护。生态源地是湖南省洞庭湖生态经济区生态安全格局中的核心空间,应落实更严格的生态保护措施,重点做好维护管理工作,通过定期巡查及时发现违法破坏行为,积极劝止,收集证据并上报相关行政执法部门,严厉打击生态破坏违法行为。加强对大气、土壤、动植物资源和水环境的动态监测,排查安全隐患,对源地内可能出现的水污染和水土流失等问题,及时采取治理措施。

2)保护生态廊道。根据湖南省洞庭湖生态经济区生态廊道提取结果,科学划定控制范围,严格管控廊道内部开发建设方式和强度,最大限度地避免因不合理人类活动对廊道造成的干扰和破坏。根据阻力值大小,将廊道分为不同重要等级,一级廊道对连通性贡献程度大阻力也大,是障碍、拥堵

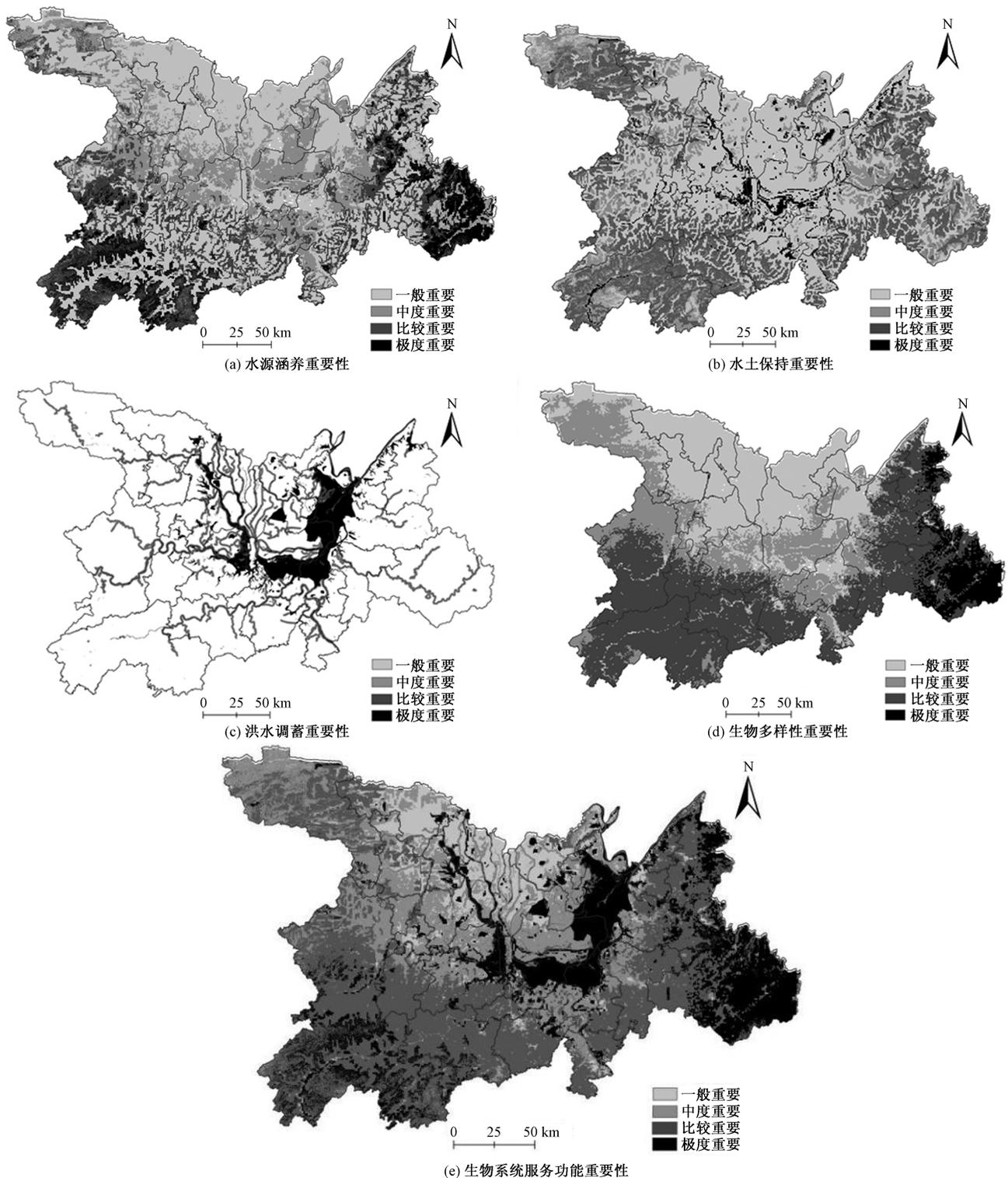


图 6 生态系统服务功能重要性评价

问题严重区,需要优先进行维护与提升,二级生态廊道和三级生态廊道次之。在廊道较为狭窄地区进行适当拓宽,优先把自然生态环境边界作为廊道边界并向外建立一定宽度缓冲区,减少外界干扰。在廊道阻力大的区域,通过优化生态夹点、移除障碍点等方式恢复廊道生态属性,加强廊道在源地间

的连接能力。

3.2.2 生态修复重点区域的生态安全策略

1) 优化生态夹点。林地、草地为主导景观的夹点应以提高植被群落丰富度,保证内部生态稳定性为主;耕地为主导景观的夹点应以维持农田小气候稳定为主,构建高标准农田林网,协调好农

业生产与生态保护关系,重点提高耕地自然质量和生态功能,加强农田整治与防护林建设;水域为主导的生态夹点应优先保护水域完整性,进行河岸绿化和自然岸线美化,在河流两岸营造绿色空间,增强水域调节径流、水源供给能力,保护生物多样性。

2)修复生态障碍点。生态障碍点土地利用以水域、林地、耕地为主。在耕地推广农业清洁生产,改善农业面源污染;在林地清退欧美杨,培护旱柳、川三蕊柳等乡土物种,改善因规模种植欧美杨导致的物种单一化、群落生态系统改变、湿地功能退化等问题;在水域进行河湖围网养殖清理、沟渠塘坝清淤、畜禽粪污处理设施、城乡生活污水处理设施建设、重点工业污染源排查及水域自然岸线建设等工程,避免河流廊道出现退化;在公路、住宅等基础设施无法移除或拆除成本过高的区域,优先考虑道路绿廊、河湖湿地及防护林带等绿地系统的保护和建设,同周边自然保护区、森林公园、山体水源涵养林等生态系统的保护修复衔接,构筑统筹城乡区域、点线面结合的生态安全屏障系统。

3)提高低值区生态系统服务能力。一是加强林草自然修复和封育保护,科学管理经济林,完善坡面截、排水措施和农村水利基础设施,改善坡耕地引起的水土流失问题;二是进行农田防护和水质维护,改善因不合理的农业生产活动导致的土壤退化、水源涵养和洪水调蓄能力下降等问题;三是在水网平原区发展生态农业,综合治理农业面源污染,提高农田生态功能,推广清洁小流域建设模式,改善河湖连通性,提高水体交换能力,为水生生物洄游建立绿色通道,加强野生动植物、水生生物和物种基因资源保护;四是在环湖丘岗区,以小流域为单元修建蓄拦工程进行河道清淤、沟渠防护、塘堰整治提高洪水调蓄能力,采取封育、修补、造林等措施,提高水土保持和水源涵养能力;五是在经济活动频繁区,减少工业化、城镇化对生态环境的影响,同时重点进行生态修复和重建,划定生态空间,保护并培育城市绿地,沅江市南部以城区五湖(上琼湖、下琼湖、蓼叶湖、后江湖、石矶湖)、赫山区以资水、石门县东南以澧水、云溪区以长江和芭蕉湖、岳阳楼区以沿洞庭湖湿地、临湘市以五尖山森林公园和白云湖、岳阳县以东洞庭湖和新墙河、湘阴县以湘江和洋沙湖、汨罗市以汨罗江为主体构建城市生态系统。

参考文献

- [1] 付战勇,马一丁,罗明,等.生态保护与修复理论和技术国外研究进展[J].生态学报,2019,39(23):9008-9021.
- [2] PAILLEX A,SCHUWIRTH N,LORENZ A W et al. Integrating and extending ecological river assessment: concept and test with two restoration projects[J]. Ecological indicators,2017,72:131-141.
- [3] JACOB M,LEUSCHNER C,THOMAS F M. Productivity of temperate broad-leaved forest stands differing in tree species diversity[J]. Annals of forest science, 2010, 67(5):503.
- [4] NASAHARAK N,MURAOKA H,NAGAI S et al. Vertical integration of leaf area index in a Japanese deciduous broad-leaved forest[J]. Agricultural and forest meteorology,2008,148(6):1136-1146.
- [5] BLOODWORTH A J,SCOTT P W,MCEVOY F M. Digging the backyard: mining and quarrying in the UK and their impact on future land use[J]. Land use policy,2009: S317-S325.
- [6] 张进德,鄱富瑞.我国废弃矿山生态修复研究[J].生态学报,2020,40(21):7921-7930.
- [7] 汤旭,宋璇,曾玉林,等.长江经济带森林生态安全评价及时空演变研究[J].生态学报,2021,41(5):1693-1704.
- [8] 何京丽.北方典型草原水土保持生态修复技术[J].水土保持研究,2004(3):299-301.
- [9] 王毅勇,贺晓尘,丁鹏程,等.渭河湿地生态功能评价[J].湿地科学,2021,19(4):399-406.
- [10] 曹秀凤,刘兆顺,李淑杰,等.基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别:以吉林省松原市为例[J].中国环境科学,2022(2):1-10.
- [11] 付凤杰,刘珍环,刘海.基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别:以贺州市为例[J].生态学报,2021,41(9):3406-3414.
- [12] 王秀明,赵鹏,龙颖贤,等.基于生态安全格局的粤港澳地区陆域空间生态保护修复重点区域识别[J].生态学报,2022,42(2):450-461.
- [13] 方莹,王静,黄隆杨,等.基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别:以烟台市为例[J].自然资源学报,2020,35(1):190-203.
- [14] 倪庆琳,侯湖平,丁忠义,等.基于生态安全格局识别的国土空间生态修复分区:以徐州市贾汪区为例[J].自然资源学报,2020,35(1):204-216.
- [15] 杨晶晶.长江经济带经济与生态关系演变的历史分析(1979—2015年)[D].武汉:中南财经政法大学,2018.
- [16] 孔令桥,郑华,欧阳志云.基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复:以洞庭湖流域为例[J].生态学报,2019,39(23):8903-8910.
- [17] 董萌,赵运林,库文珍,等.洞庭湖湿地8种优势植物对镉的富集特征[J].生态学杂志,2011,30(12):2783-2789.
- [18] 肖凯琦,许安,郭军,等.洞庭湖南缘农田土壤重金属特征及源解析[J/OL].环境科学:1-16[2022-10-19]. DOI:

- 10.13227/j.hjcx.202203228.
- [19] PASCUAL-HORTAL L, SAURA S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation[J]. *Landscape ecology*, 2006, 21(7):959-967.
- [20] 生态保护红线划定指南[Z]. 北京:环境保护部,国家发展和改革委员会,2017.
- [21] 苏泓宇. 祁连县生态服务功能、生态敏感性评价及生态红线划定的研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2018.
- [22] 王丽霞, 邹长新, 王燕, 等. 基于 GIS 识别生态保护红线边界的方法:以北京市昌平区为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(18):6176-6185.
- [23] 蔡海生, 查东平, 张学玲, 等. 基于主导生态功能的江西省国土空间生态修复分区研究[J]. *地学前缘*, 2021, 28(4):55-69.
- [24] 李键. 长沙市自然生态空间边界划定及分区管制研究[D]. 长沙:湖南师范大学,2020.
- [25] 王洁, 李锋, 钱谊, 等. 基于生态服务的城乡景观生态安全格局的构建[J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(11):199-205.
- [26] 张美丽, 李智, 张益琛, 等. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别:以河北省阜平县为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):299-307.
- [27] 刘战笑. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域识别研究[D]. 南京:南京师范大学,2021.
- [28] 易行, 白彩全, 梁龙武, 等. 国土生态修复研究的演进脉络与前沿进展[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(1):37-52.

Identification of Key Areas for Ecological Protection and Restoration in Dongting Lake Ecological Economic Zone of Hunan Province

YAO Ruyun, SHUAI Hong

(School of Geography Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: It is great importance to improve the ecological carrying capacity of Dongting Lake Ecological Economic Zone in Hunan Province and maintain ecological security. Spatial morphology method (MSPA), ecosystem service importance assessment and circuit theory model were used to identify key areas of ecological conservation and restoration. The results showed that there were 17 742.35 km² of ecological source area, 121 corridors, 579.73 km long. There were 42 consensus spots and 29 obstacle spots in key areas of ecological restoration, and the area of low value of ecosystem services was 4 044.46 km². Based on the ecological status of the key areas of ecological protection and restoration, the targeted ecological protection and restoration strategies were formulated to provide theoretical basis for the ecological protection and restoration work in the study area.

Keywords: Dongting Lake eco-economic zone; importance of ecosystem services; MSPA; circuit theory; identification of ecological restoration areas