陈实,陈帅朋,张梦媛,等.基于主导功能与管控约束的都市圈退化生态空间修复与游憩利用协同潜力评估[J].华中农业大学学报,2026,45(1):155-166.DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.01.014

基于主导功能与管控约束的都市圈退化生态空间修复与游憩利用协同潜力评估

陈实[1],陈帅朋[1],张梦媛[1,2],刘文平[1,3]

1.华中农业大学园艺林学学院,武汉 430070; 2.武汉生物工程学院园林园艺学院,武汉 430415;
3.华中农业大学国土空间治理与绿色发展研究中心,武汉 430070

摘要 为探究生态修复与游憩利用协同潜力,有效激活退化生态空间的多元价值,以武汉都市圈为研究区,构建了一个融合生态主导功能与空间管控约束的生态修复与游憩利用协同潜力评估框架,系统评估了二者的协同潜力、类型及空间分布。结果显示,2000—2022年,武汉都市圈生态空间中度及重度退化5 314.53 km^2,其中97.50%位于生态保护红线禁止利用管控区之外,75.69%具备中高游憩利用协同潜力。据此进一步识别了“优先修复-充分利用”“一般修复-充分利用”“优先修复-适度利用”和“一般修复-适度利用”4种协同利用方向,并提出了“森林康养与休闲类”等5种差异化协同利用类型。结果表明,构建的评估框架有效评估了退化生态空间修复与游憩协同利用潜力,在不触碰生态保护红线刚性管控的前提下,研究区有较高的生态修复与游憩利用协同潜力。

关键词 生态修复; 游憩利用; 潜力评估; 主导功能; 空间管控

中图分类号 TU984.11$^+$5; X171.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)01-0155-12

都市圈是我国新型城镇化的核心载体,其高强度、网络化的集聚发展形势在创造巨大经济活力的同时[1],也对生态空间造成了显著胁迫[2]。与此同时,伴随收入水平提升,都市圈居民对高质量游憩资源的需求呈指数级增长,生态空间被迫承担前所未有的社会服务功能[3-4]。在都市圈土地资源高度稀缺形势下,传统侧重于单一功能的生态修复模式面临着资金投入大、绩效可持续性差等挑战[5-7],生态修复亟须转向一种能同时提升生态承载力与社会服务能力的“协同修复”新模式。2021年4月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》,首次明确“在保障生态效益和依法依规前提下,允许利用一定比例的土地发展生态旅游获取收益”,并提出“通过统筹实施生态环境系统整治和配套设施建设提升教育和文化旅游开发价值”。探索生态空间修复与游憩利用协同发展,既是发展生态旅游促进生态产品价值实现的重要路径,也是破解生态修复成效可持续性难题的关键[8-10]。

生态修复与游憩利用的协同研究尚处于起步阶段。目前,国外相关研究主要聚焦于生态修复地游憩感知价值[11]、利益相关者对生态修复的态度[12]以及生态修复后的社会效益评估等[9]。例如,Keeler等[13]和Pueyo-Ros等[14]通过对修复后的湖泊、湿地游憩价值评估发现公众的游憩意愿显著提高;Allan等[15]基于游憩服务评估确定了北美劳伦琴五大湖区生态修复的优先区域。相较之下,国内学者研究主要聚焦于自然保护地、矿坑、河网等特殊对象的生态系统修复和游憩利用协同关系,包括识别自然保护地游憩利用与生态保护的协同空间[16]、矿坑修复后的游憩利用协同路径[17]以及河网修复工程结合滨水游憩网络的规划策略[18]等。然而,目前研究大多停留于单一生态功能与旅游开发的冲突诊断,缺乏对区域尺度生态空间主导功能、政策约束及协同机制复杂性的整体审视,致使协同模式与现实可行性偏离。

如何面向空间治理实操,科学评估生态修复与游憩利用的协同潜力仍是当前研究的一个重要缺

收稿日期:2025-10-21
基金项目:国家自然科学基金项目(32471948;32171858);湖北省自然科学基金联合基金重点项目(2025AFD385);中央高校基本科研业务专项(2662025YLPY004);湖北省建设科技计划项目(JK2024101)
陈实,E-mail:csjay@webmail.hzau.edu.cn
通信作者:刘文平,E-mail:liuwenping@mail.hzau.edu.cn

口。都市圈退化生态空间异质性明显[19-20]，其主导功能（如产水、土壤保持、生物多样性维持等）退化程度差异决定了修复目标与游憩利用强度阈值[21]。同时，生态保护红线等刚性管控构成了不可逾越的合法性底线，直接决定了协同模式的可行范围[22]。若忽略这些决定性因素，潜力评估将沦为纸上谈兵，难以对精准化的空间治理提供有效支撑。“主导功能＋管控约束”视角为破解上述困境提供了理论切口：前者界定了生态空间对区域生态安全与民生福祉的核心支撑，后者锁定了用途转换与行为准入的差异化限制，二者共同决定了可调控游憩容量与潜在冲突。然而，现有研究对该视角的探究尚停留于理论层面，缺乏都市圈等区域尺度的实证检验。

基于此，本研究构建了一个整合“主导功能”与“管控约束”的分析框架，旨在量化评估都市圈退化生态空间修复与游憩利用协同潜力，并回应以下科学问题：(1)如何基于生态系统服务损益与主导功能识别退化空间？(2)如何耦合主导功能恢复与空间管控要求，划定评估单元并构建协同潜力评估模型？(3)如何依据协同潜力制定差异化利用方向与类型？旨在为都市圈国土空间生态修复与休闲游憩一体化布局提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

武汉都市圈（亦称“武汉1＋8城市圈”）位于中国中部、湖北省境内，国土总面积约57 800 km^2，是以武汉市为中心，覆盖黄石、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、仙桃、天门和潜江8个大中型城市的区域经济联合体（图1）。该区域河网密布、湖泊众多，东北部与东南部的丘陵山区及跨界湖泊构成了重要的生态源地与生态廊道。近年来，快速城镇化导致武汉都市圈建设用地持续扩张，挤占了大量生态空间，引发生境破碎化[23]、水土流失、洪涝风险加剧等突出问题。与此同时，作为承载数千万人口的核心经济区，都市圈居民对亲自然游憩的需求日益高涨[24]，生态修复与游憩利用的协同需求迫切。

1.2 研究方法

基于“社会-生态”系统协同治理思路，本研究以退化生态空间为评估对象，“三区三线”为空间管控约束边界，提出都市圈退化生态空间修复与游憩利用协同潜力评估框架，具体包括主导生态系统服

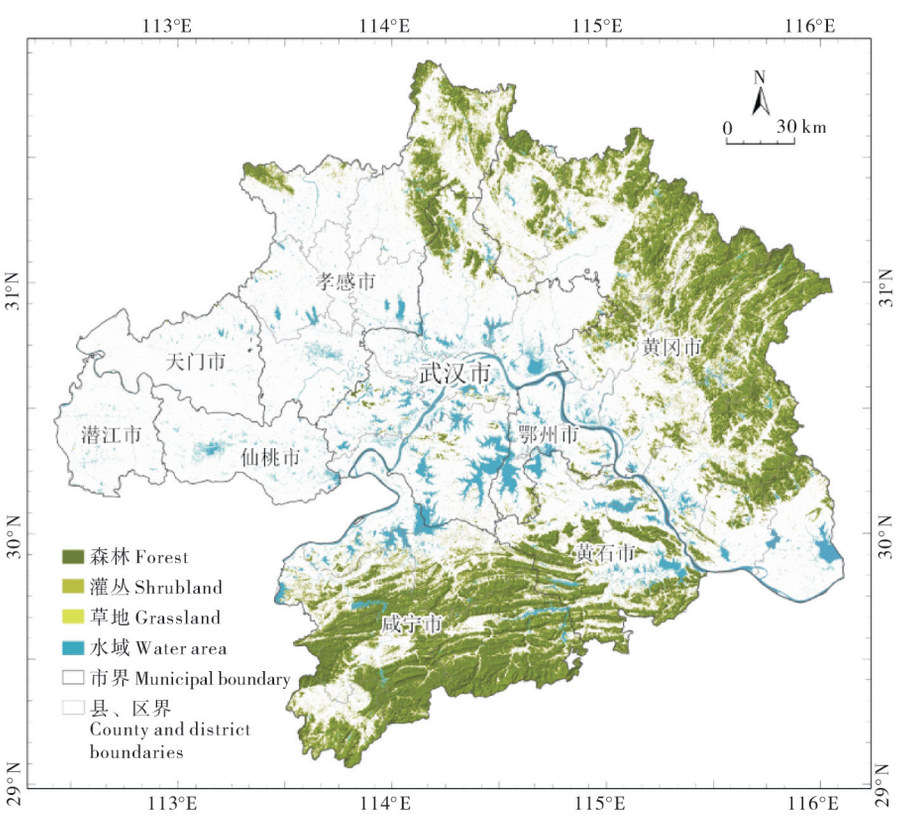


图1 武汉都市圈及其生态空间分布

Fig. 1 The distribution of Wuhan Metropolitan Area and its ecological space

务功能退化诊断、空间管控约束导入、游憩利用协同潜力评估、协同利用方向与类型引导4部分。

1)主导生态系统服务功能退化诊断。生态空间是指具有自然属性、以提供生态服务或生态产品为主体功能的国土空间[25]。中国年度土地覆盖数据集(Annual China Land Cover Dataset, CLCD)是由Yang等[26]研发的土地覆被数据,目前已更新至2024年。本研究基于该数据集提取了武汉都市圈2000、2022年森林、灌丛、草地及水域4类生态空间,作为评估对象。以维系都市圈生态安全与人类福祉为准则,选取产水、土壤保持、生境维持、洪涝调蓄和固碳5项关键生态系统服务。基于InVEST3.14.1模型,分别对武汉都市圈2000、2022年上述服务进行量化,具体量化方法见表1。

表1　生态系统服务量化方法

Table 1　Ecosystem service calculation formula and parameter explanation

类型 Types	计算方法 Calculation formula	参数说明 Parameter description	参考文献 References
产水服务 Water production service	$W_{Yx}=\left(1-\frac{A_{ETx}}{P_x}\right)\times P_x\times A$	W_{Yx}为栅格x的产水量,mm;A_{ETx}表示为栅格x的年平均实际蒸散发量,mm;P_x表示为栅格x的年平均降水量,mm;A为栅格像元面积	[27]
固碳服务 Carbon sequestration service	$C_z=C_{above}+C_{below}+C_{dead}+C_{soil}$	C_z为栅格z总碳储量,C_{above}为地上碳储量,C_{below}为地下碳储量,C_{dead}为死亡有机质碳储量,C_{soil}为土壤碳储量,各碳储量由碳密度与面积相乘所得	[28]
洪涝调蓄服务 Flood regulation service	$F_{Mi}=R_{if}\times P\times A\times 10^{-3}$	F_{Mi}为栅格i的洪涝调蓄服务量,m^3;P为研究区降水深度,mm,根据武汉城市圈降水实际情况将其确定为250 mm;R_{if}为栅格i内f类用地的径流保留量,mm;A为栅格像元面积	[29]
土壤保持服务 Soil conservation service	$S_r=R\times K\times L\times S\times(1-C\times P)$	S_r为土壤保持量;R为降雨侵蚀力因子;K为土壤可蚀性因子;L为坡长因子;S为坡度因子;C植被覆盖因子;P为水土保持措施因子	[30]
生境维持服务 Habitat maintenance service	$H_{xj}=H_j\times\left[1-\left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z+k^z}\right)\right]$	H_{xj}为土地利用类型j栅格x的生境维持服务;z表示归一化常量,其参数为模型默认值;k为半饱和常数,默认值为0.5;D_{xj}为土地利用类型j栅格x的生境退化度;H_j为土地利用类型j的生境适宜度,值为[0,1]	[31]

依据《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南(试行)》(自然资办函〔2020〕127号)中所规定的生态系统服务功能重要性级别划分方法,当生态空间单元内某项服务值高于全区该服务中位数时,则视其为主导服务功能。若单元内仅有1种服务高于其中位数,则为单一主导类型;若有2种及以上服务同时高于各自中位数,则为复合主导类型。据此,对研究区2000年的主导服务类型进行识别,并通过生态系统服务相对变化率诊断主导服务在2000—2022年间的退化程度。

$$R_{ci}=\frac{E_{si2}-E_{si1}}{E_{si1}} \tag{1}$$

式(1)中,E_{si1}为第i种生态系统服务的起始期数值;E_{si2}为第i种生态系统服务终止期数值;R_{ci}为第i种生态系统服务的相对变化率。根据HJ 192—2015《生态环境状况评价技术规范》,将产水服务、洪涝调蓄服务、生境维持服务、固碳服务的退化程度划分为4个等级,即重度退化($R_{ci}\leqslant-40\%$)、中度退化($-40\%<R_{ci}\leqslant-15\%$)、轻度退化($-15\%<R_{ci}\leqslant-5\%$)、未退化($R_{ci}>-5\%$)。根据SL 190—2007《土壤侵蚀分类分级标准》,将土壤保持服务退化程度同样划分为4个等级:重度退化[$(E_{si2}-E_{si1})\geqslant15\ 000$]、中度退化($5\ 000\leqslant E_{si2}-E_{si1}<15\ 000$)、轻度退化($2\ 500\leqslant E_{si2}-E_{si1}<5\ 000$)、未退化[$(E_{si2}-E_{si1})<2\ 500$],单位为t/($km^2$·a)。对于复合服务主导型,以退化程度最大者定义该复合类型的退化程度。

2)空间管控约束导入。依据《湖北省国土空间规划(2021—2035年)》中划定的"三条控制线"范围,剔除与"耕地和永久基本农田"及"城镇开发边界"重叠的主导服务功能退化区域,得到需开展生态修复的区域。依据生态保护红线管控政策要求,核心保护区内禁止任何人为活动,其余法定准入区仅允许不破坏生态功能的有限人为活动(包括适度参观旅游、科普宣教及配套性基础设施等)。基于此,本研究将上述需修复的生态空间划分为3种管控类型:非管控区(位于生态保护红线外)、适度利用区(生态保护红线内依法可有限活动区)和禁止利用区(生态保护红线内禁入区)。最后,将中度和重度退化生态空间与上述管控分区中的非管控区与适度利用区重叠

区域，作为生态修复与游憩利用协同潜力评估区域。

3）游憩利用协同潜力评估。研究发现，自然资源的游憩利用潜力主要受本底资源潜力与转化利用条件2个核心维度影响[32]。本底资源潜力构成供给基础，决定了游憩资源的核心吸引力与独特性[22]；转化利用条件作为需求支撑，直接影响资源开发的可行性[16]。基于此，结合研究区实际情况，本研究选取景观丰富度[33]、景观稀缺度[34]、景观自然度[35]、水体存在度[35-36]和地形起伏度[36]表征本底资源供给，选取可达性[37-38]、景点密度[39]、服务设施密度[39]、人口密度[37]和GDP[39]表征需求转化条件，构建潜力评估指标体系。采用CRITIC（criteria importance through intercriteria correlation）客观权重赋权法[40]确定指标权重并分别计算本底资源供给与需求转化条件，将二者相乘得到游憩利用协同潜力的综合评估结果，如式（2）～（4）所示。运用自然断点法将其划分为高、中、低三级，各指标计算方法见表2。

$$I_{Ri}=\sum_{x=1}^{n}W_x\times C_i \tag{2}$$

$$T_{Ci}=\sum_{x=1}^{n}W_x\times D_i \tag{3}$$

$$R_{Ui}=I_{Ri}\times T_{Ci} \tag{4}$$

式（2）～（4）中，R_{Ui}为栅格i的游憩利用协同潜力，I_{Ri}为栅格i的本底资源潜力，T_{Ci}为栅格i的转化利用条件，W_x为指标x的权重，C_i为标准化处理后栅格i的本底资源潜力二级指标值，D_i为标准化处理后的转化利用条件二级指标值。

4）游憩协同利用方向与类型引导。根据游憩利用协同潜力大小确定利用优先级，高潜力区可进行优先修复，中潜力区可作为一般修复区逐步推进。同时，结合生态保护红线的空间管控要求确定游憩利用强度，红线以外的非管控区域可进行充分合理的游憩利用，红线以内非禁止利用区域则可在严格保护前提下适度开展低干扰活动。在此基础上，在确保主导生态系统服务恢复前提下，合理确定生态修复游憩协同利用类型。在充分利用区，可适度开

表2 生态修复与游憩利用协同潜力评估指标体系

Table 2 Evaluation index system for the synergistic potential integrating ecological restoration and recreational utilization

一级指标 Primary indicators	二级指标 Secondary indicator	计算方法 Calculation method	指标说明 Indicator explanation	权重 Weight
本底资源潜力 Intrinsic resource potential	水体存在度 Water body presence degree	$W=\mathrm{Max}(B_1,B_2,B_3,0)$	W为水体存在度；B_1为中型、大型湖泊，赋值为1；小型湖泊为B_2，赋值0.5；其他水体为B_3，赋值0.2；无水体赋值为0	0.277 8
	景观丰富度 Landscape richness	$D_x=-\sum_{i=1}^{n}P_i\ln P_i$	D_x为格网x的景观丰富度；n表示研究区土地覆盖类型数量P_i表示第i类土地覆盖类型在格网中所占的比例	0.258 0
	景观自然度 Landscape naturalness	$N_x=\sum_{i=1}^{n}A_i\times C_i$	N_x为格网x的景观自然度；A_i表示第i类景观的土地覆盖自然度分级指数；C_i表示第i类土地覆盖占格网总面积的比例	0.198 7
	景观稀缺度 Landscape rarity	$U_x=\sum_{i=1}^{n}B_i\times C_i$	U_x为格网x的景观稀缺度；B_i表示第i类景观的土地覆盖稀缺性分级指数；C_i表示第i类土地覆盖占栅格总面积的比例	0.138 5
	地形起伏度 Topographic relief	$R=H_{max}-H_{min}$	R为地形起伏度，H_{max}和H_{min}分别表示栅格3 km邻域内最大高程值、最小高程值	0.127 0
转化利用条件 Transformation and utilization conditions	可达性 Accessibility	$T_i=\sum_{i=1}^{n}(30/v_i)$	采用最小成本距离算法计算可达性，30 m为栅格单元i分辨率，v_i为栅格i的速度赋值，T_i为通过栅格i所需的时间	0.458 0
	景点密度 Attraction density	$f(x)=\frac{1}{nh^d}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$	$f(x)$为景点密度，$K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$表示核函数形式，通常取对称的单峰概率密度函数；$h$为带宽，是定义平滑量大小的自由参数；$d$为数据的维度；$n$为带宽范围内的点i的点数	0.213 3
	人口密度 Population density	$P_i=\frac{N_i}{S}$	P_i为栅格i的人口密度，N_i为栅格i的人口总数，S为单位栅格面积	0.165 1
	国内生产总值 Gross domestic product（GDP）	$G=\frac{\sum_{i=1}^{n}G_i}{S}$	G_i为重采样前单位栅格i内国内生产总值，G为重采样后单位栅格内国内生产总值，S为重采样前单位栅格面积	0.091 8
	服务设施密度 Service facility density	$D_i=\frac{N_i}{S}$	D_i为栅格i的服务设施密度，N_i为栅格i的服务设施总数，S为单位栅格面积	0.071 8

展游憩体验类活动；在适度利用区，宜开展科普教育等对生态环境干扰较低的游憩类型。

1.3　数据来源

本研究所需数据及其来源见表3。

表3　研究数据来源

Table 3　Source of research data

数据名称 Data name	来源 Source	年份 Year	说明 Explanation
土地覆被 Land cover	中国土地覆被数据集 https://zenodo.org/record/8176941/	2000、2022	30 m空间分辨率
	欧空局全球陆地覆盖数据中心 https://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/	2000	300 m空间分辨率
年降水量 Annual precipitation	英国国家大气科学中心气候数据集 https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/	2000、2020	1 km空间分辨率
潜在蒸散量 Potential evapotranspiration	国家青藏高原科学数据中心 https://data.tpdc.ac.cn/	2000、2022	1 km空间分辨率
土壤类型 Soil type	世界土壤数据库 https://gaez.fao.org/pages/hwsd/	1995	1 km空间分辨率
土壤水文组 Soil hydrologic group	世界土壤水文组数据库 https://www.earthdata.nasa.gov/data/	2000、2022	250 m空间分辨率
数字高程模型 DEM Digital elevation model	地理空间数据云平台 https://www.gscloud.cn/	2019	30 m空间分辨率
人口数量 Population size	Worldpop人口数据平台 https://hub.worldpop.org/	2022	100 m空间分辨率
国内生产总值 GDP Gross domestic product	资源环境科学数据平台 https://www.resdc.cn/	2022	1 km空间分辨率
兴趣点 POI Point of interest	高德地图开放平台 https://lbs.amap.com/	2022	矢量点
道路 Road	Open Street Map https://openstreetmap.org/	2022	矢量线
生态保护红线 Ecological conservation redlines	湖北省自然资源厅	2023	矢量面

注：除矢量点、线、面数据外其余数据皆为栅格数据。Note：All data except vector point，line，and polygon data are raster data.

2　结果与分析

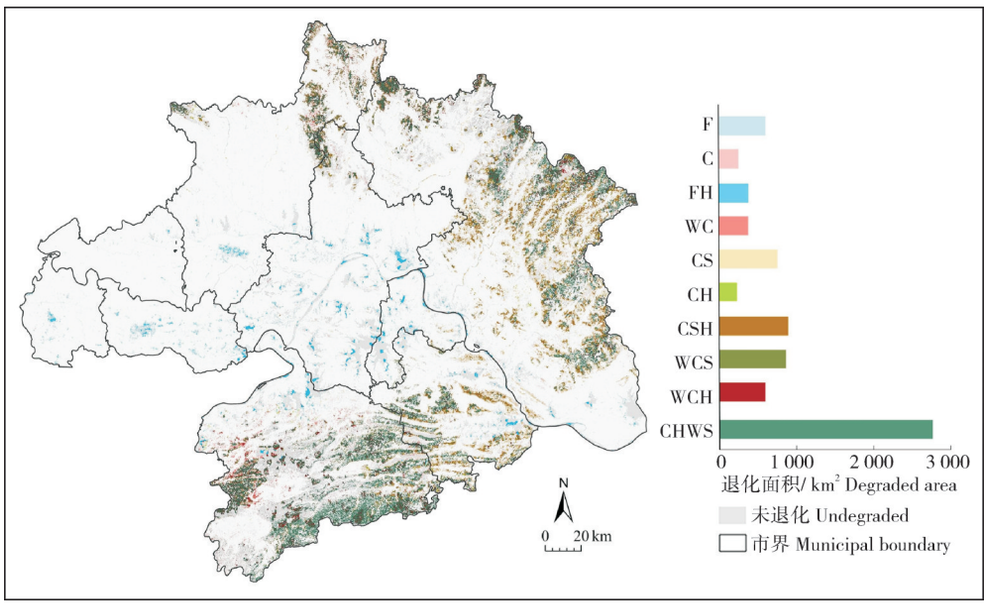
2.1　主导生态系统服务功能退化空间

2000—2022年间，研究区域内共有10类主导生态系统服务功能发生退化且需开展修复（图2）。其中，由4项服务复合主导的类型退化面积最大，达2 769.95 km^2，占退化生态空间总面积的35.81%，主要分布在研究区东北部与南部山区海拔较高区域。由3项服务复合主导的类型退化面积次之，为2 378.03 km^2，占比30.74%，广泛分布于东北部及南部山林地带；其中，“产水-固碳-土壤保持”复合型与“固碳-土壤保持-生境维持”复合型的面积较大，分别为865.80 km^{2}和917.28 km^2。由2项服务复合主导的类型退化总面积为1 737.52 km^2，占比22.46%，以“固碳-土壤保持”复合型为主（759.63 km^2），零散分布于大别山区南麓和幕阜山北麓。单项服务主导型的退化总面积849.57 km^2，占比10.98%，主要以洪涝调蓄服务为主（599.50 km^2），集中分布于江汉平原河湖水域。

主导生态系统服务功能的退化程度以中度退化为主（图3），面积为4 360.71 km^2，占退化生态空间的32.42%，广泛分布于大别山区、幕阜山区连片山林地和江汉平原河湖水网区域，主要为3项或4项复合主导型退化。重度退化面积最小，为953.19 km^2，占比7.09%，主要以散点状形式零散分布于大别山区和幕阜山区，且以生境维持服务退化为主。轻度退化面积是2 421.17 km^2，占比18.00%，广泛分布于大别山南麓、幕阜山北麓山林地和滨河滨湖区域。

2.2　生态修复与游憩利用协同潜力

通过叠加主导生态服务中度及以上退化区域与生态保护红线内的可适度利用区及红线外的非管控区，确定了生态修复与游憩利用的协同潜力的评估范围，总面积为5 181.79 km^2。基于该范围，进一步开展的本底资源潜力评估结果如图4A所示，本底资源高潜力区面积为1 708.74 km^2，占总评估范围的32.99%，主要分布于大别山区、幕阜山区的连片山林地以及江汉平原河湖水网区；中潜力区面积为2 401.31 km^2（46.36%），广泛分布于高潜力区周边山林地与滨河滨湖区域。转化利用条件以高转化利用为主（图4B），面积为2 892.74 km^2（55.84%），集中于武汉市及其周边；中等转化利用条件的区域面积为1 777.62 km^2（34.32%），广泛分布于除武汉外的其他城市以及武汉市中心城区外围地带。综合本底资源与转化利用条件的评估结果，得到生态修复与游憩



F代表洪涝调蓄服务；W代表产水服务；C代表固碳服务；S代表土壤保持服务；H代表生境维持服务。F stands for flood regulation service; W for water conservation service; C for carbon sequestration service; S for soil conservation service; H for habitat maintenance service.

图2 2000—2022年退化主导服务功能类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of degradation-dominated ecosystem service function types (2000—2022)

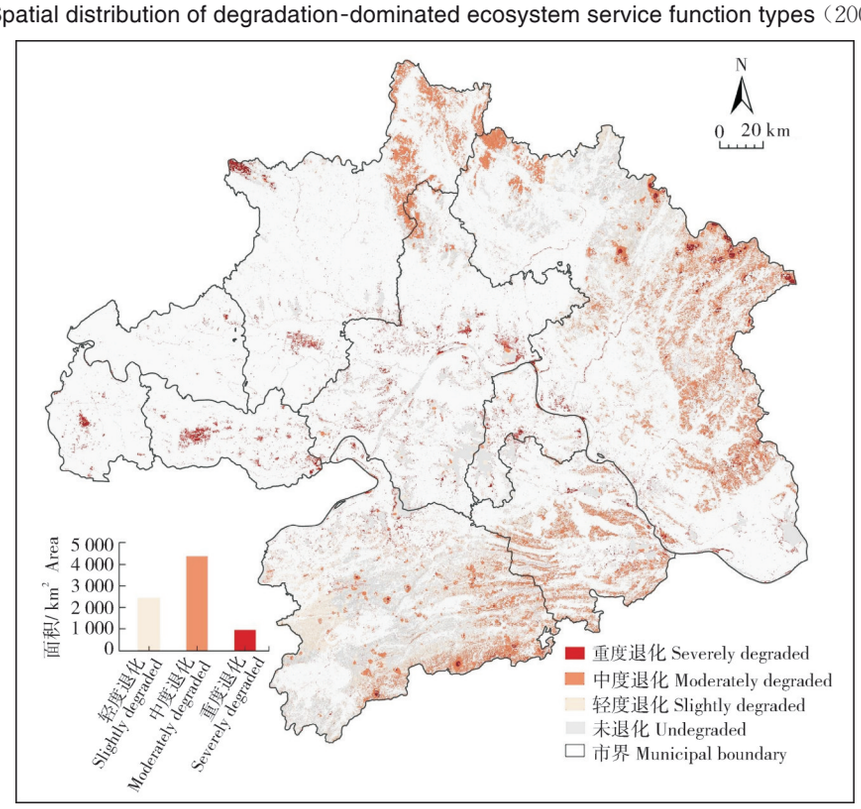


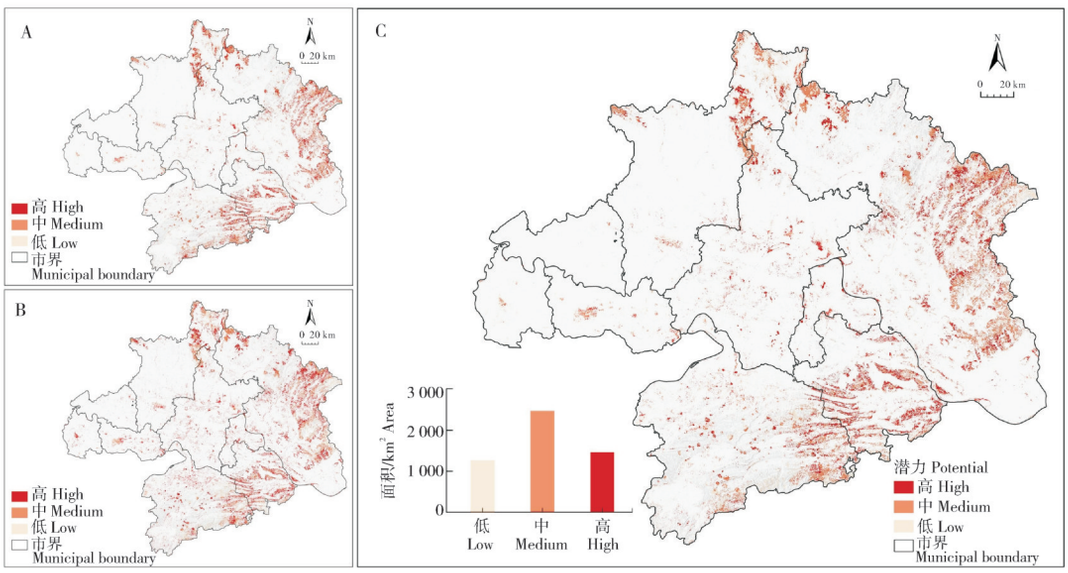
图3 主导服务功能退化程度与空间分布

Fig. 3 The degree and spatial distribution of degradation of dominant ecosystem services

利用协同潜力分布(图4C)。其中,高协同潜力区面积为1 460.18 km²,占评估范围的28.19%,主要集中分布于大别山区、咸宁西部、黄石和武汉等区域,以及南部咸宁市内的零星点状区域;中协同潜力斑块细碎但量大,总面积为2 460.60 km²(47.50%),广泛分布于大别山区、幕阜山区海拔较高区域。

2.3 生态修复游憩利用方向与类型

在生态修复与游憩利用协同潜力评估基础上,



A：本底资源潜力空间分布；B：转化利用条件空间分布；C：游憩利用协同潜力空间分布。A：Spatial distribution of intrinsic resource potential；B：Spatial distribution of transformation and utilization conditions；C：Spatial distribution of synergistic potential for recreational utilization.

图 4　生态修复与游憩利用协同潜力空间分布

Fig. 4　Spatial distribution of synergistic potential integrating ecological restoration and recreational utilization

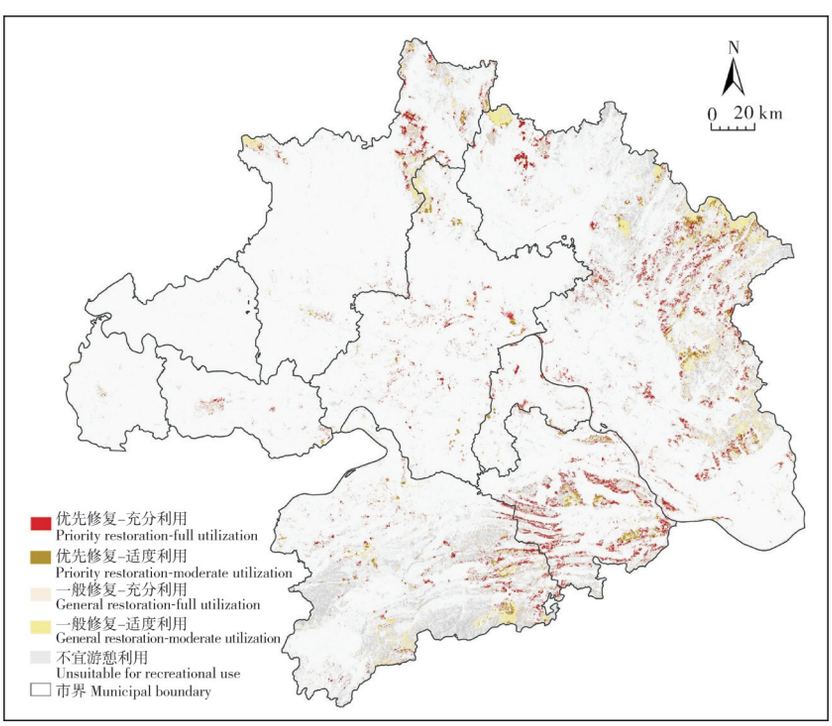


图 5　游憩协同利用方向

Fig. 5　Directions of recreational synergistic utilization

结合生态保护红线管控要求，本研究将研究区划分为 4 类修复利用方向（图 5）。其中，“优先修复-充分利用”区是高协同潜力区且位于生态保护红线外的非管控区，总面积 1 118.13 km²，占退化生态空间的 14.46%，主要集聚于东北部、零散分布于中南部，可作为生态修复后游憩利用的核心区域；“一般修复-充分利用”区（1 831.37 km²，23.68%）具备中等协同潜力且无管控约束，零散分布于东部大别山区和南部

幕阜山区，可成为优先区的重要补充；“优先修复-适度利用”区（342.05 km^2，4.42%）和“一般修复-适度利用”区（629.23 km^2，8.13%）位于生态保护红线内的可有限活动区，集中分布于东部大别山区与南部幕阜山区，应以生态保育为前提开展低强度科普教育类活动。

基于生态修复优先原则，生态修复适度利用区可开展以自然教育与科普为主导的低干扰游憩活动，如采用简化设施沿固定路线进行小团队科普导览等（图6）。该类型适用于所有退化生态空间的适度利用区，总面积为971.28 km^2，占退化生态空间的12.56%。生态修复充分利用区可开展深度游憩体验类活动，并依据本底生态系统类型可进一步划分为4种游憩类型。其中，水生态系统的退化区域，可通过互动设施与解说开展水空间游憩体验类活动，是普适性最强的水生态体验与教育窗口，该类型区域总面积为387.04 km^2（占比5.04%）零散分布于研究区中部与东部的滨水地带。山林地生态系统的退化区域，可发展森林康养与休闲类活动，如沿森林步道开展徒步体验，营造静谧、健康的沉浸式自然体验环境，总面积为1 026.71 km^2（占比13.27%），主要分布于大别山区南部和幕阜山区西部山林地。以产水服务为主导的水源涵养区域，适合组织水源探访与研学类活动，围绕水源形成与保护展开自然观测、研学教育等，总面积为676.55 km^2（占比8.75），集中分布于幕阜山北麓和大别山北部山地森林生态区。生态系统服务类型丰富、功能复合的区域，可设计生态观光与综合体验类活动，如通过生态露营、多功能慢行步道等形式开展沉浸式、慢节奏的深度自然体验，总面积为859.21 km^2（占比11.11%），主要分布于咸宁和黄石交界的幕阜山区域。

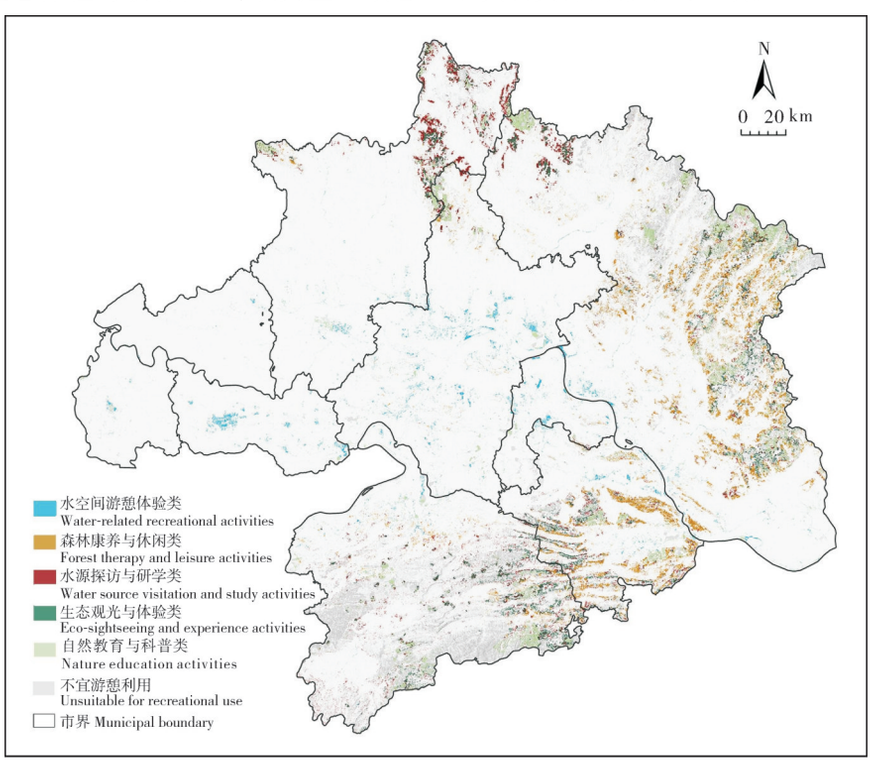


图6 游憩协同利用类型

Fig. 6 Types of recreational synergistic utilization

3 讨 论

本研究在统筹考虑主导生态功能与管控约束条件的基础上，通过整合主导生态系统服务退化分析与游憩利用潜力评估，提出了生态修复与游憩利用协同潜力评估方法与框架，系统回答了生态修复与游憩利用“在生态保护红线内外何处、如何协同”这一关键问题，有助于破解传统生态修复中社会效益弱、绩效可持续性差等难题。研究发现，武汉都市圈生态修复与游憩利用协同潜力高值区主要分布于大别山区、幕阜山区及江汉平原水网地带，并依托潜力程度与空间管控约束，划分出“优先修复-充分利用”“一般修复-充分利用”“优先修复-适度利用”“一般修复-适度利用”4种协同利用方向，明确了修复优先级、利用强度与空间分布。结合本底生态系统类型，

表 4　利用类型与适宜主导服务类型及利用程度对应关系

Table 4　Correspondence between utilization types, suitable dominant service types, and utilization degrees

协同利用类型 Synergistic utilization type	利用程度 Regulatory type	适宜的主导服务类型 Suitable dominant service type	面积/km² Area	主要区域 Mainly involved regions	利用策略 Utilization strategy
水空间游憩体验 Water-related recreational activities	充分利用 Full utilization	洪涝调蓄 洪涝调蓄＋生境维持	387.04	武汉、仙桃、潜江、汉川、鄂州	通过互动设施与解说，直观展示生态过程与功能，是普适性最强的公众教育窗口
森林康养与休闲 Forest therapy and leisure activities	充分利用 Full utilization	固碳 固碳＋生境维持 固碳＋土壤保持 固碳＋土壤保持＋生境维持	1 026.71	黄石、黄冈、咸宁	依托优良的森林环境，提供静谧、健康的沉浸式自然体验
水源探访与研学 Water source visitation and study activities	充分利用 Full utilization	产水＋固碳 产水＋固碳＋土壤保持 产水＋固碳＋生境维持	676.55	孝感、黄冈、咸宁、黄石	围绕水源地的形成与保护展开，培养水资源保护意识
生态观光与体验 Eco-sightseeing and experience activities	充分利用 Full utilization	4类复合主导型	859.21	咸宁、黄石、孝感	沉浸式、慢节奏开展深度生态体验
自然教育与科普 Nature education activities	适度利用 Moderate utilization	所有主导服务类型	971.28	各市县、区	设施极简化，沿固定路线进行小团队科普教育

进一步提出了水空间游憩体验、森林康养与休闲、水源探访与研学、生态观光与体验、自然教育与科普5种差异化协同利用类型，形成了“分区管控、类型引导、活动适配”的精细化指引体系。这一研究成果，可为国土空间生态修复规划、自然保护地游憩功能布局、低影响生态旅游开发等提供科学依据，有利于推动形成“修复带动利用、利用反哺修复”的可持续治理模式，促进区域生态效益与生态经济效益的协同提升。

本研究发现，武汉都市圈主导生态系统服务功能中度及以上退化空间中97.50%位于生态保护红线禁止利用管控区之外，其中75.69%具备中高游憩利用协同潜力，表明在不触碰生态保护红线刚性管控的前提下，研究区有较高的生态修复与游憩利用协同潜力，为探索“两山”转化路径提供了坚实的空间基础。同时，高本底资源潜力区与大别山区、幕阜山区及江汉平原河湖水网高度重合，这些区域的山水林田湖草本底资源为游憩利用提供了优越的先天条件。然而，本底资源潜力高并非等同于开发利用条件成熟。研究发现，高游憩利用协同潜力区仅占中高本底资源潜力区的35.53%，且高度集中在武汉市及其周边地区。这意味着生态修复与游憩利用协同的关键瓶颈，不仅取决于资源潜力，更受到区位条件、基础设施支撑和市场需求等多重因素的综合影响。可见，在资源禀赋优越但区位偏远、配套不足的地区，生态修复与游憩利用协同发展仍可能面临经济可行性的挑战。在这些地区制定发展策略时需要更为慎重，需注重差异化引导与阶段性推进。

在生态保护红线内外差异化管控要求下，本研究提出了5种差异化生态修复游憩利用类型，为都市圈不同管控区内的国土空间治理提供了决策指引。从空间分布看，黄冈市、孝感市北部大别山区、咸宁市、黄石市幕阜山区和武汉、鄂州和仙桃等地的江汉平原河湖水网区域均可作为自然教育、生态体验等游憩利用的重点区域，对推动生态修复增值具有直接支撑作用。而红线内非核心区的适度利用类型，则强调低干扰、轻设施的自然教育与科普活动，在保障生态安全的前提下可充分发挥其社会服务功能，推动生态价值转化与实现。同时，依据本底生态系统类型细分的游憩利用模式（如水空间游憩体验类、森林康养与休闲类等），进一步提升了规划的针对性与落地性。这种“空间分区＋类型引导”的双层体系，不仅有助于修复区域生态安全格局，也为生态旅游路线规划、自然教育基地选址、低影响游憩设施布局等提供了科学依据，促进形成“修复带动利用、利用反哺修复”的良性循环，实现生态效益、社会效益与区域可持续发展能力的协同提升。

受数据可得性与实证范围限制，本研究仍存在以下不足：首先，对退化生态空间的识别主要基于2000年与2022年2期静态数据，尚未考虑更细时间分辨率的退化动态。未来研究可引入高时空分辨率

序列数据，建立动态评估框架，从而支持生态修复的适应性管理。其次，评估框架虽考虑了区位、设施等市场需求条件，但未纳入游客偏好、社区接受度等社会人文因素，而这些因素对游憩利用价值成功转化具有关键影响[41]。后续研究可通过问卷调查结合公众参与等方式，将此类指标纳入评估框架，从而提升协同潜力评估的现实性与修复策略的社会韧性。

参考文献 References

[1] 张伟.都市圈的概念、特征及其规划探讨[J].城市规划，2003，27(6)：47-50.ZHANG W.The basic concept，characteristics and planning of metropolitan regions in Jiangsu[J].City planning review，2003，27(6)：47-50 (in Chinese with English abstract).

[2] 方创琳.新发展格局下的中国城市群与都市圈建设[J].经济地理，2021，41(4)：1-7.FANG C L.China's urban agglomeration and metropolitan area construction under the new development pattern[J].Economic geography，2021，41(4)：1-7 (in Chinese with English abstract).

[3] 张欢，成金华，冯银，等.特大型城市生态文明建设评价指标体系及应用：以武汉市为例[J].生态学报，2015，35(2)：547-556.ZHANG H，CHENG J H，FENG Y，et al.An evaluation index system for ecological civilization construction in megacities and its research applications：the case of Wuhan City[J].Acta ecologica sinica，2015，35(2)：547-556 (in Chinese with English abstract).

[4] 史晓婷，李磊，靳诚，等.城市生态旅游研究进展与展望[J].生态学报，2025，45(20)：9811-9824.SHI X T，LI L，JIN C，et al.The research progress and prospect of urban ecotourism [J].Acta ecologica sinica，2025，45(20)：9811-9824 (in Chinese with English abstract).

[5] 曹宇，王嘉怡，李国煜.国土空间生态修复：概念思辨与理论认知[J].中国土地科学，2019，33(7)：1-10.CAO Y，WANG J Y，LI G Y.Ecological restoration for territorial space：basic concepts and foundations[J].China land science，2019，33(7)：1-10 (in Chinese with English abstract).

[6] 王军，钟莉娜.生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用[J].生态学报，2019，39(23)：8702-8708.WANG J，ZHONG L N.Application of ecosystem service theory for ecological protection and restoration of mountain-river-forest-field-lake-grassland[J].Acta ecologica sinica，2019，39(23)：8702-8708 (in Chinese with English abstract).

[7] 刘亦文，李桢枭，陈娟.近二十年长江中游城市群生态修复效果及社会经济效益评估[J].环境科学研究，2025，38(7)：1450-1461.LIU Y W，LI Z X，CHEN J.Evaluation of ecological restoration effect and its socioeconomic benefits in the middle reaches of the Yangtze River from 2004 to 2023[J].Research of environmental sciences，2025，38(7)：1450-1461 (in Chinese with English abstract).

[8] 王甫园.国土空间生态修复与游憩利用协同的科学内涵及展望[J].生态学报，2025，45(16)：8230-8242.WANG F Y.Synergy between ecological restoration and recreational use of territorial space：scientific connotation and research prospects[J].Acta ecologica sinica，2025，45(16)：8230-8242 (in Chinese with English abstract).

[9] 沈辉，李宁.生态产品的内涵阐释及其价值实现[J].改革，2021(9)：145-155.SHEN H，LI N.The connotation interpretation and value realization of ecological products[J].Reform，2021(9)：145-155 (in Chinese with English abstract).

[10] 郑鑫，王甫园，王开泳.游憩导向下国土空间生态修复的理论与模式[J].自然资源学报，2021，36(8)：1923-1936.ZHENG X，WANG F Y，WANG K Y.Study on the theory and model of recreation oriented ecological restoration of national territorial space[J].Journal of natural resources，2021，36(8)：1923-1936 (in Chinese with English abstract).

[11] DOU Y H，ZHEN L，YU X B，et al.Assessing the influences of ecological restoration on perceptions of cultural ecosystem services by residents of agricultural landscapes of western China[J].Science of the total environment，2019，646：685-695.

[12] KUNWAR S B，BOHARA A K，THACHER J.Public preference for river restoration in the Danda Basin，Nepal：a choice experiment study [J/OL]. Ecological economics，2020，175：106690 [2025-10-21]. https://doi. org/10.1016/j. ecolecon.2020.106690.

[13] KEELER B L，WOOD S A，POLASKY S，et al.Recreational demand for clean water：evidence from geotagged photographs by visitors to lakes[J].Frontiers in ecology and the environment，2015，13(2)：76-81.

[14] PUEYO-ROS J，GARCIA X，RIBAS A，et al.Ecological restoration of a coastal wetland at a mass tourism destination，will the recreational value increase or decrease?[J].Ecological economics，2018，148：1-14.

[15] ALLAN J D，SMITH S D，MCINTYRE P B，et al.Using cultural ecosystem services to inform restoration priorities in the Laurentian Great Lakes[J].Frontiers in ecology and the environment，2015，13(8)：418-424.

[16] 余翩翩，刘彦彤，潘恺晨，等.国家公园社区支持游憩的可持续性评估与空间模式选择：以武夷山国家公园为例[J].中国园林，2024，40(12)：36-42.YU P P，LIU Y T，PAN K C，et al.Sustainability assessment and spatial patterns selection of community-based recreation in National Park：an empirical study of Wuyishan National Park[J].Chinese landscape architecture，2024，40(12)：36-42 (in Chinese with English abstract).

[17] 殷利华，赵程亚菲，彭楚月，等.基于三生功能融合的露天生产矿山生态修复景观模式研究：以黄石铜山口矿山为例[J].华中农业大学学报，2024，43(6)：182-190.YIN L H，ZHAO C，PENG C Y，et al.Research on ecological restoration landscape models for open-pit mines based on integration of production-living-ecological functions：a case study of Tongshank-

ou Mine in Huangshi, Hubei Province, China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43(6): 182-190 (in Chinese with English abstract).

[18] ZHENG X, WANG F Y. Construction of an adaptive river-based recreational network for urban river restoration: a case study of Rencheng District, Jining City, China[J/OL]. Journal of cleaner production, 2022, 374: 133985 [2025-10-21]. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133985.

[19] 孙传谆,王梓辰,李景刚,等.基于生态系统多维特征的粤港澳大湾区国土空间生态保护修复分区研究[J].生态学报,2023,43(5):2061-2073.SUN C Z, WANG Z C, LI J G, et al. Ecological protection and restoration zoning of territorial space in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area based on multidimensional ecosystem features[J]. Acta ecologica sinica, 2023, 43(5): 2061-2073 (in Chinese with English abstract).

[20] ZHANG M Y, CHEN S P, LIU W P. Disentangling the complexity of regional ecosystem degradation: uncovering the interconnected natural-social drivers of quantity and quality loss[J/OL]. Land, 2023, 12(7): 1280[2025-10-21]. https://doi.org/10.3390/land12071280.

[21] LIU W P, YU P M. Quantifying synergistic effects of multi-temporal ecosystem service bundles for degraded ecosystem restoration: a case study in Hubei Province, China[J/OL]. Environmental research letters, 2023, 18(9): 094003[2025-10-21]. https://doi.org/10.1088/1748-9326/acea37.

[22] 张斌,钟林生,曾瑜晢.季节性视角下国家公园游憩适宜区识别框架:以青海湖国家公园为例[J].生态学报,2025,45(19):9382-9395.ZHANG B, ZHONG L S, ZENG Y X. A study on the recreation suitability of national parks from the perspective of seasonality: a case study of Qinghai Lake national park[J]. Acta ecologica sinica, 2025, 45(19): 9382-9395 (in Chinese with English abstract).

[23] CHEN S P, LIU W P. Impacts of different levels of urban expansion on habitats at the regional scale and their critical distance thresholds[J/OL]. Environmental research letters, 2023, 18(4): 044001[2025-10-21]. https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbfd2.

[24] 张婧雅,邹文昊,钟乐.武汉都市圈核心区自然保护地游憩流网络结构特征识别及影响因素研究[J].中国园林,2023,39(12):33-39.ZHANG J Y, ZOU W H, ZHONG L. Research on the structural characteristics and influencing factors of recreational flow network in the protected areas in the core of Wuhan Metropolitan Area[J]. Chinese landscape architecture, 2023, 39(12): 33-39 (in Chinese with English abstract).

[25] 新华社.中共中央办公厅、国务院办公厅印发《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》[EB/OL].(2017-02-07)[2025-10-21]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5174504.htm. Xinhua News Agency. General Office of the Central Committee of the Communist Party of China and General Office of the State Council issued "Several opinions on delimiting and strictly enforcing ecological protection red lines"[EB/OL].(2017-02-07)[2025-10-21]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5174504.htm(in Chinese).

[26] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth system science data, 2021, 13(8): 3907-3925.

[27] ZHANG X, ZHANG G S, LONG X, et al. Identifying the drivers of water yield ecosystem service: a case study in the Yangtze River Basin, China[J/OL]. Ecological indicators, 2021, 132: 108304 [2025-10-21]. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108304.

[28] 柯新利,唐兰萍.城市扩张与耕地保护耦合对陆地生态系统碳储量的影响:以湖北省为例[J].生态学报,2019,39(2):672-683.KE X L, TANG L P. Impact of cascading processes of urban expansion and cropland reclamation on the ecosystem of a carbon storage service in Hubei Province, China[J]. Acta ecologica sinica, 2019, 39(2): 672-683 (in Chinese with English abstract).

[29] 孟欣宇,吴远翔.城市生态系统服务供需簇与生态功能管控:以齐齐哈尔市中心城区为例[J].应用生态学报,2023,34(12):3393-3403.MENG X Y, WU Y X. Supply-demand bundles and ecological function management of urban ecosystem services: taking central urban area of Qiqihar as an example[J]. Chinese journal of applied ecology, 2023, 34(12): 3393-3403 (in Chinese with English abstract).

[30] 高艳丽,李红波.汉江流域景观格局变化对土壤侵蚀的影响[J].生态学报,2021,41(6):2248-2260.GAO Y L, LI H B. Influence of landscape pattern change on soil erosion in Han River Basin[J]. Acta ecologica sinica, 2021, 41(6): 2248-2260 (in Chinese with English abstract).

[31] 张斌,李璐,夏秋月,等.基于土地利用的武汉城市圈生态系统服务权衡/协同分析[J].水土保持研究,2022,29(4):377-386.ZHANG B, LI L, XIA Q Y, et al. Trade off/synergy analysis of ecosystem services in Wuhan City circle based on land use[J]. Research of soil and water conservation, 2022, 29(4): 377-386 (in Chinese with English abstract).

[32] 周彬,王玉欣,肖练练,等.钱江源国家公园游憩利用潜力评价[J].生态学报,2024,44(12):5173-5184.ZHOU B, WANG Y X, XIAO L L, et al. Assessment on recreation use potential of Qianjiangyuan National Park, China[J]. Acta ecologica sinica, 2024, 44(12): 5173-5184 (in Chinese with English abstract).

[33] BING Z H, QIU Y S, HUANG H P, et al. Spatial distribution of cultural ecosystem services demand and supply in urban and suburban areas: a case study from Shanghai, China[J/OL]. Ecological indicators, 2021, 127: 107720 [2025-10-21]. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107720.

[34] YANG L J, CAO K J. Spatial matching and correlation between recreation service supply and demand in the Ili River Valley, China[J/OL]. Applied geography, 2022, 148: 102805[2025-10-21]. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102805.

[35] HERMES J, ALBERT C, VON HAAREN C. Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany[J]. Ecosystem ser-

vices,2018,31:296-307.

[36] GHASEMI M,GONZÁLEZ-GARCÍA A,CHARRAHY Z,et al.Utilizing supply-demand bundles in Nature-based Recreation offers insights into specific strategies for sustainable tourism management[J/OL].Science of the total environment,2024,922:171185[2025-10-21].https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171185.

[37] TANG R E,HOU G L,CHEN Y Y,et al.Spatial and temporal characteristics and driving mechanisms of recreational ecosystem services supply-demand mismatch in rapidly urbanizing areas:evidence from the Yangtze River Delta[J/OL].Ecological indicators,2025,171:113153[2025-10-21].https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113153.

[38] GHASEMI M,CHARRAHY Z,GONZÁLEZ-GARCÍA A.Mapping cultural ecosystem services provision:an integrated model of recreation and ecotourism opportunities[J/OL].Land use policy,2023,131:106732[2025-10-21].https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106732.

[39] 张玉,魏华波.基于CRITIC的多属性决策组合赋权方法[J].统计与决策,2012,28(16):75-77.ZHANG Y,WEI H B.Weighting method of multi-attribute decision combination based on CRITIC[J].Statistics & decision,2012,28(16):75-77 (in Chinese).

[40] WEISS D J,NELSON A,GIBSON H S,et al.A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015[J].Nature,2018,553(7688):333-336.

[41] LUO H Y,ZHANG Z D,ZHU Q,et al.Using large language models to investigate cultural ecosystem services perceptions:a few-shot and prompt method[J/OL].Landscape and urban planning,2025,258:105323[2025-10-21].https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105323.

Dominant functions and control constraints-based assessment of synergistic potential of ecological space restoration and recreational utilization in degraded metropolitan areas

CHEN Shi[1],CHEN Shuaipeng[1],ZHANG Mengyuan[1,2],LIU Wenping[1,3]

1.*College of Horticulture and Forestry Sciences,Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China*;2.*College of Landscape Architecture and Horticulture,Wuhan Univesity of Bioengineering,Wuhan 430415,China*;3.*Research Centre for Territorial Spatial Governance and Green Development,Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China*

Abstract The metropolitan areas in Wuhan city were used to study the synergistic potential of ecological restoration and recreational utilization to effectively activate the diverse values of degraded ecological spaces. A comprehensive evaluation framework integrating dominant ecosystem services and spatial governance constraints was constructed to systematically assess the magnitude, typology, and spatial patterns of such synergies.Results showed that 5 314.53 km^2 of ecological spaces in the studied areas experienced moderate to severe degradation during 2000—2022, 97.50% of this degraded area is situated outside the prohibited development zones of ecological protection redlines, with 75.69% demonstrating medium-to-high synergistic potential for recreational utilization. 4 distinct synergistic utilization directions including priority restoration-full utilization, general restoration-full utilization, priority restoration-moderate utilization, and general restoration-moderate utilization were identified based on results of current study. 5 types of differentiated utilization such as forest therapy-leisure activities were proposed to guide targeted implementation. The results indicate that the evaluation framework constructed in this study effectively assesses the synergistic potential integrating ecological restoration and recreational utilization in degraded ecological spaces. On the premise of not violating the rigid control of the ecological protection red line, the research area exhibits substantial synergistic potential integrating ecological restoration and recreational utilization.

Keywords ecological restoration; recreational utilization; assessment of potential; dominant functions; management and control of space

(责任编辑:葛晓霞)