北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

“平急两用”视角下北京“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力空间特征评价与权衡协同关系

林辰松 王润芝 陈泓宇 吴龙峰 邵明

Spatial characteristics evaluation of flood detention and storage, and recreation potential as well as synergies and trade-offs in Beijing’s Second Greenbelt from a normal-emergency dual-use perspective

Lin Chensong, Wang Runzhi, Chen Hongyu, Wu Longfeng, Shao Ming

引用本文:
林辰松, 王润芝, 陈泓宇, 吴龙峰, 邵明. “平急两用”视角下北京“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力空间特征评价与权衡协同关系[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(11):127–136. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250338
Lin Chensong, Wang Runzhi, Chen Hongyu, Wu Longfeng, Shao Ming. Spatial characteristics evaluation of flood detention and storage, and recreation potential as well as synergies and trade–offs in Beijing’s Second Greenbelt from a normal–emergency dual–use perspective[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(11):127–136. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250338

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250338

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北京大兴区典型生态系统服务评价及其权衡协同关系

Typical ecosystem service assessment and its trade–off synergy relationship in Daxing District, Beijing

北京林业大学学报, 2025, 47(7): 142–151. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240362

南湾库区森林生态系统服务时空变化特征及其权衡协同关系

Spatiotemporal variation characteristics and their trade–offs and synergies of forest ecosystem services in Nanwan Reservoir Area, Henan Province of central China

北京林业大学学报, 2025, 47(5): 142–155. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240395

基于碳汇和游憩服务协同提升的北京市第二道绿化隔离地区郊野公园环空间布局优化

Spatial layout optimization of country parks in the second green belt of Beijing municipality area based on the coordinated improvement of carbon sequestration and recreational services

北京林业大学学报, 2022, 44(10): 142–154. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220203

辽宁仙人洞国家级自然保护区森林生态服务物质量评估及权衡与协同

Material quality assessment and trade–off synergies of forest ecological service in Xianrendong National Nature Reserve, Liaoning Province of northeastern China

北京林业大学学报, 2023, 45(9): 83–94. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220055

不同土地利用情景下天津市生态系统服务及权衡与协同分析

Ecosystem services, trade–offs and synergy analysis in Tianjin under different land use scenarios

北京林业大学学报, 2022, 44(5): 77–85. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210008

胡杨叶功能性状的协同与权衡及对树龄、土壤因子的响应

Coordination and trade–off of leaf functional traits in *Populus euphratica* and their response to tree age and soil factors

北京林业大学学报, 2024, 46(5): 82–92. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220522

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250338

“平急两用”视角下北京“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力空间特征评价与权衡协同关系

林辰松[1,2] 王润芝[1] 陈泓宇[3] 吴龙峰[4] 邵 明[1]
（1. 北京林业大学园林学院，北京 100083；2. 城乡生态环境北京实验室，北京林业大学，北京 100083；3. 南京农业大学园艺学院，江苏 南京 211800；4. 北京大学城市与环境学院，北京 100871）

摘要:【目的】在城镇雨洪风险加剧与国家倡导“平急两用”公共基础设施的背景下，探究蓄滞洪区的多功能复合利用与空间效率提升路径至关重要。为此，本研究旨在构建一套兼顾蓄滞洪与游憩潜力的空间评价方法，定量揭示其权衡协同关系，以期为“平急两用”理念下蓄滞洪区的空间规划与精准配置提供科学依据。**【方法】**以北京市第二道绿化隔离地区（“二绿”地区）为研究对象，耦合多准则决策分析（MCDA）与地理信息系统（GIS）方法，构建蓄滞洪与游憩双重潜力评价指标体系。并采用熵权法客观赋权，通过 GIS 空间加权叠加分析两类潜力的空间分布特征；进而运用双变量空间自相关分析法，定量辨识两类潜力在空间上的权衡协同格局。**【结果】**（1）蓄滞洪潜力整体呈“西北−西南−东南高，东北低”的分布格局，高潜力区主要分布于西部丘陵、西南部及东部低洼河网地带。（2）游憩潜力整体表现为“中心高，外围低，局部斑块突出”的分布格局，高潜力区集中于西部山地、东北部湿地及南部关键节点。（3）两类潜力在空间上以权衡关系为主导，协同区域有限。具体而言，蓄滞洪与游憩潜力双高协同区分布于西部山前地带与东部湿地，蓄滞洪潜力高−游憩潜力低权衡区集中于西南与东南部的低洼河网区，蓄滞洪潜力低−游憩潜力高权衡区主要位于临近中心的城镇化区域，蓄滞洪与游憩潜力双低区则零散分布于建设用地与主要交通廊道周边。**【结论】**本研究构建了适用于“平急两用”场景的蓄滞洪与游憩潜力综合评价指标体系，明晰了二者的权衡协同关系及其空间分异特征，并据此提出了针对不同功能组合区的差异化优化策略。研究成果将为“平急两用”型蓄滞洪区的空间识别、分区管控及协同优化提供理论框架与决策支持。

关键词：“平急两用”；蓄滞洪区；空间特征评价；权衡协同；MCDA-GIS 耦合；多准则决策分析；空间规划协同优化
中图分类号：TU985.12 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2025)11−0127−10
引文格式：林辰松，王润芝，陈泓宇，等. “平急两用”视角下北京“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力空间特征评价与权衡协同关系［J］. 北京林业大学学报，2025，47(11)：127−136. Lin Chensong, Wang Runzhi, Chen Hongyu, et al. Spatial characteristics evaluation of flood detention and storage, and recreation potential as well as synergies and trade-offs in Beijing’s Second Greenbelt from a normal-emergency dual-use perspective［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(11): 127−136.

Spatial characteristics evaluation of flood detention and storage, and recreation potential as well as synergies and trade-offs in Beijing’s Second Greenbelt from a normal-emergency dual-use perspective

Lin Chensong[1,2] Wang Runzhi[1] Chen Hongyu[3] Wu Longfeng[4] Shao Ming[1]
(1. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Municipal Education Commission, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
3. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 211800, Jiangsu, China;
4. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

收稿日期: 2025−09−01 **修回日期:** 2025−10−14
基金项目: 国家自然科学基金项目（52208042），北京市共建项目（2015BLUREE01）。
第一作者: 林辰松，副教授。主要研究方向：风景园林规划与设计、景观水文。Email: linchensong@bjfu.edu.cn 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学园林学院。
责任作者: 邵明，副教授。主要研究方向：城市模拟计算、生态城市规划设计。Email: 965934550@qq.com 地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

Abstract: [**Objective**] Against the backdrop of increasing urban stormwater flood risks and the national promotion of "dual-use" public infrastructure, exploring the multifunctional composite utilization and spatial efficiency improvement pathways for flood storage and detention areas is crucial. This paper aims to develop a spatial evaluation method for assessing both flood detention and storage, and recreation potential, quantitatively reveal their trade-offs/synergies, and provide a scientific basis for spatial planning and precise configuration of flood storage and detention areas under the "dual-use" concept. [**Method**] Taking the Beijing's Second Greenbelt as study area, this research coupled multi-criteria decision analysis (MCDA) with geographic information systems (GIS) to construct a dual-potential evaluation indicator system for flood detention and storage, and recreation. The entropy weight method was used for objective weighting, and GIS-based spatial weighted overlay analysis was applied to characterize the spatial distributions of the two types of potential. Subsequently, spatial autocorrelation analysis was employed to quantitatively identify the spatial trade-off and synergy patterns between them. [**Result**] (1) Flood detention and storage potential overall showed a "high in northwest, southwest, southeast; low in northeast" pattern, with high-potential areas mainly distributing in the western hills, southwestern and eastern low-lying river network zones. (2) Recreation potential showed a structure of "high in the center, low in the periphery, with prominent local patches". High-potential areas were concentrated in the western mountains, northeastern wetlands, and key nodes in the south. (3) Spatially, the relationship between the two functions was predominantly characterized by trade-offs, with limited synergistic areas. Specifically, high flood detention and storage-high recreation synergy clusters were found in the western piedmont and eastern wetlands; high flood detention and storage-low recreation trade-off areas were concentrated in the low-lying river networks of the southwestern and southeastern area; low flood detention and storage-high recreation trade-off areas were primarily located in urbanized areas near the center; low flood detention and storage-low recreation clusters were scattered around built-up land and major transportation corridors. [**Conclusion**] This study developed a comprehensive evaluation indicator system for flood detention and storage and recreation potential suitable for the "dual-use" scenario, clarified their trade-off/synergy relationship and spatial differentiation, and accordingly proposed differentiated optimization strategies tailored to each functional zone. The results provide a theoretical framework and decision-support for spatial identification, zoning management, and synergistic optimization of "dual-use" flood detention and storage areas.

Key words: normal-emergency dual-use; flood detention and storage area; spatial feature evaluation; trade-offs and synergies; MCDA-GIS coupling; multi-criteria decision analysis; collaborative optimization of spatial planning

全球气候变化与快速城市化进程导致城市极端雨洪事件的频次与强度显著增加[1]。为应对这一严峻挑战，我国在流域尺度构建了以水库、堤防、闸坝及蓄滞洪区为核心的防洪工程体系。其中，蓄滞洪区通过分蓄超额洪水削减洪峰，在保障下游重点区域安全方面发挥着不可替代的作用[2]。随着防洪体系的逐步发展，防洪基础设施的规划理念正从单一防灾向多功能融合持续演进[3]。2023 年，国务院办公厅印发《关于积极稳步推进超大特大城市"平急两用"公共基础设施建设的指导意见》，明确提出公共基础设施应具备"平时服务、急时应对"的双重能力，旨在推动其功能从"急时"单一用途向"平时"兼顾旅游、康养、休闲等公共服务的复合模式转型。蓄滞洪区作为占地较大的防洪基础设施，本身即具备"平急两用"的天然属性：汛期承担分蓄洪水，削减洪峰功能；非汛期则依托其本底的湿地、公园、农田等空间资源，提供生态、游憩与生产等服务[4]。因此，在保障防洪安全这一首要前提下，如何最大化发挥蓄滞洪区"平急两用"的复合效益，已成为当前规划与研究中亟待解决的关键问题。

北京市的蓄滞洪区沿温榆河、凉水河等河道规划建设，广泛分布于第二道绿化隔离地区（以下简称"二绿"地区），该区域地处五环至六环之间，是首都"郊野公园环"的核心载体，拥有连续完整的蓝绿生态基底、优良的自然空间以及便利的交通可达性[5]。面对中心城区自然空间紧缺与近郊游憩需求持续增长的双重压力，"二绿"地区已成为保障市民日常游憩活动的重要空间。因此，"二绿"地区兼具承载首

都防洪安全的关键单元与提供近郊游憩核心空间的双重身份。在此背景下，系统评估其蓄滞洪与游憩潜力的空间分布特征，并探寻二者的协同提升路径，显得尤为迫切。在学术研究层面，蓄滞洪区相关成果多聚焦于水文模拟[6]、调蓄能力评估[7]及风险分析[8]等自然科学维度；而城市游憩服务研究则侧重于城市公园的游憩服务能力，小尺度上如单一的城市湿地公园[9]、山地公园[10]，或从城市圈视角出发研究大型城市公园的游憩服务能力及影响因素[11]，缺少对其他类型空间游憩功能的相关研究。蓄滞洪和城市游憩服务两类研究长期处于独立状态：前者重在防灾减灾效能，后者主要关注城市公园的服务能力，缺乏将二者融为一体的综合性分析。鉴于此，本研究以北京市“二绿”地区为研究对象，立足于“平急两用”视角，旨在构建一套集成蓄滞洪与游憩潜力的空间特征评价指标体系；同时综合运用熵权法与空间加权叠加分析，量化并可视化两类潜力的空间分布特征；并引入双变量空间自相关方法，定量揭示二者之间的空间权衡协同关系，识别典型的功能组合区域。研究成果将明晰“二绿”地区蓄滞洪潜力与游憩潜力的空间分异与耦合关系，进而为制定差异化的分区管控策略，推进“平急两用”型蓄滞洪区的精准规划与建设提供科学理论依据与重要方法支撑。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

本研究区域为北京市的第二道绿化隔离地区（“二绿”）地区，主要分布在北京中心城区的边缘地带，规划范围为五环路至六环路之间的以九条楔形绿色廊道为主的地区，共涵盖 10 个市辖区下的 70 个完整乡镇与街道行政单元，总面积约 910 km^2（图 1）[12]。区域地势自西部丘陵向东部平原过渡，河网密布，地表覆盖以林地和农田为主，具备显著的蓄滞洪潜力。区域内现已建成近 40 处公园，多级绿道与慢行网络贯通，是提供近郊休闲游憩的绿色空间。整体上，“二绿”地区兼具良好生态本底与开放空间条件，既能满足近郊的游憩需求，也具备承载蓄滞洪功能的空间基础，这为开展“平急两用”功能评价与分区优化提供了典型场景。

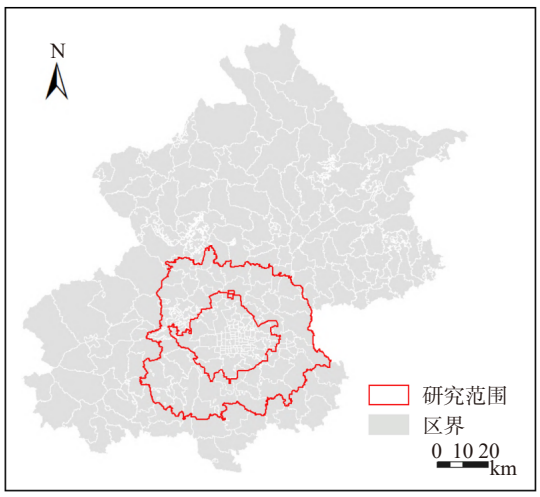


图 1　北京市“二绿”地区示意图

Fig. 1　Schematic diagram of Beijing’s Second Greenbelt

1.2　研究方法

本研究基于“平急两用”理念，构建了基于地理信息系统（GIS）支持的多准则决策分析（multi-criteria decision analysis，MCDA）与空间统计分析相结合的综合评价框架。首先，建立蓄滞洪与游憩潜力的指标体系，通过熵权法赋权及空间加权叠加，分别获取蓄滞洪潜力与游憩潜力的空间分布特征；在此基础上，运用双变量空间自相关分析法，识别两类潜力在空间上的权衡协同关系。该综合框架既能整合多源异质数据，实现潜力的定量化、空间化表达，又可揭示两类潜力之间的空间耦合特征，为蓄滞洪区的分区优化与策略制定提供科学支撑。

1.2.1　指标体系构建

本研究将蓄滞洪潜力界定为一个综合性的空间适宜性概念，即区域既具备蓄洪、泄洪能力，又在淹没时造成较低的损失与灾害风险，从而综合表征其作为蓄滞洪区的现实可行性。故在蓄泄能力与风险代价 2 个维度框架下构建指标体系：蓄泄能力维度评估区域调蓄洪水的地理空间潜力，选取高程[13]、地形位置指数[14]、距河道距离[15]、河渠密度[16] 4 项指标；风险代价维度作为潜力的负向约束条件，评估该区域在发挥蓄滞洪作用时可能面临的经济损失与灾害风险，旨在将理论的自然潜力校正为规划实践的适宜性，选取坡度[8]、洪水淹没损失[17]与次生灾害风险[14] 3 项指标。

本研究将游憩潜力界定为区域满足居民日常休闲需求所具备的吸引力与综合能力，该潜力的发挥依赖于优良的生态环境本底、丰富的文化服务供给、便捷的交通可达性以及旺盛的社会需求。基于此，构建了包含生态环境、文化服务、可达性与发展潜力 4 个维度的评价框架。生态环境维度是支撑高品质自然游憩体验的核心基础，选取自然度[18]与生境质量[19]2 项指标。文化服务维度关注游憩的文化内涵与精神享受，选取文化设施 POI 核密度[20]指标。可达性维度是潜力有效转化为现实活动的关键条件，选取交通可达性[21]指标。发展潜力维度可表征游憩需求的强度与未来趋势，选取人口热力与夜间灯光[21] 2 项指标。各项指标具体的选取依据和数据来源见表 1，后续分析前已将各项原始数据栅格化处理。

表 1 指标选取依据及数据来源

Tab. 1 Selection criteria and data sources for indicators

	维度	指标	选取依据	计算方法	基础数据	数据来源
蓄滞洪潜力	蓄泄能力	高程	可反映地块蓄水能力，高程越小，越易形成滞蓄空间	DEM 数据生成	DEM数据	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台
		地形位置指数	目标栅格与其邻域平均高程之差，衡量地块在局部地形中的相对高度，低值区有利于洪水汇入与蓄存	邻域高程偏差计算		
		距河渠距离	栅格到最近河道的最短距离，直接影响洪水调蓄的便利性，距离较近的区域更易引水与泄水	欧氏距离 + 重分类	河渠数据	OpenStreetMap（OSM）开源地理数据库
		河渠密度	流域总河渠长度与流域总面积之比，表征汇水通道的发育程度，高密度区可加快排水	∑（河长 + 渠长）/ 流域面积		
	风险代价	坡度	影响蓄滞洪设施建设成本及被冲毁风险，低坡度可减少冲刷	坡度分析	DEM数据	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台
		洪水淹没损失	衡量洪水对土地利用的经济影响，数值越高表明建设成本与补偿压力越大	对6种用地类型的洪水淹没损失进行估算分级（建设用地房价 × 容积率 × 损失率；耕地单产 × 市场价 × 损失率；林地参照年度养护标准；草地根据补播草坪材料费 + 人工费来估值；水域、未利用地近似0）	卫星遥感影像数据	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台
					北京房价	国家统计局2024年北京市住宅商品房平均销售价格
					农业产量与价格	北京市统计局2024年北京市粮食生产情况
					城市绿地养护标准	北京市园林绿化局关于城市绿地养护管理投资标准的意见
					生态林补偿标准	北京市海淀区人民政府海行规发〔2014〕14号
		次生灾害风险	反映蓄滞洪水外溢可能引发的灾害扩散，用于规避高风险选址	高风险POI密度反比（化工厂/电站）	高风险POI密度	高德地图API系统
游憩潜力	生态环境	自然度	评估区域生态景观的原真性，高自然度有助于提供优质游憩体验	植被覆盖类型赋值	NDVI数据	中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台
		生境质量	反映区域生态系统健康程度，高质量生境可支撑生态旅游与科普功能	InVEST模型的Habitat Quality模块	生境胁迫因子数据	
	文化服务	文化设施POI核密度	反映区域文化资源的丰富度，可支撑文化展示型游憩功能	核密度分析	文化设施POI	高德地图API系统
	可达性	交通可达性	通过路网密度和公交站点分布评估居民到达的便捷程度，高可达性可增强区域使用频率	ArcGIS网络分析法	路网矢量	OpenStreetMap（OSM）开源地理数据库
	发展潜力	人口热力	基于人口密度数据识别居民活动强度，高值区表示游憩需求旺盛	核密度分析	人口密度	全球居住区域项目
		夜间灯光	识别经济活动与土地利用活跃区，结合区位条件判断其未来建设与游憩拓展潜力	核密度分析	夜间灯光	DMSP-OLS夜间灯光数据

1.2.2 熵权法赋权与空间加权叠加

为在统一框架下融合不同量纲与方向的指标数据，研究依托 ArcGis10.8 完成数据处理与空间叠加计算。首先，分别针对蓄滞洪与游憩潜力两类指标开展栅格化、对齐与标准化处理；在此基础上，引入熵权法[22]客观分配各指标权重，以减少主观判断带来的偏差，各评价指标的权重分配结果见表 2；随后通过 ArcGis10.8 软件的重分类工具对各指标进行 5 级处理，将各指标的潜力得分进行标准化。最后，使用空间分析模块将所有分级后的指标图层进行空间加权叠加[23]，最终得到蓄滞洪与游憩潜力空间分布特征图。

1.2.3 双变量空间自相关分析

双变量空间自相关分析能够反映两类变量空间分布的关联与依赖特征，已被广泛用于探究两个变量之间的权衡协同关系[24]。本文以 30 m × 30 m 栅格尺度作为研究单元在 GeoDa 中进行双变量局部空间自相关分析，通过 LISA 聚类图来表现权衡协同空间聚集效果。

一般空间关联格局分为 5 种类型：高−高协同区、低−低协同区、高−低权衡区、低−高权衡区及不显著区。

表 2　评价指标权重

Tab. 2　Weights of evaluation indicators

指标	蓄滞洪潜力							游憩潜力					
	高程	地形位置指数	距河道距离	河渠密度	坡度	洪水淹没损失	次生灾害风险	自然度	生境质量	文化设施POI核密度	交通可达性	人口热力	夜间灯光
权重/%	1.15	0.28	3.51	26.58	3.10	64.20	1.18	2.36	10.75	47.66	4.64	18.20	16.39

2　结果与分析

2.1　蓄滞洪潜力空间特征评价

蓄滞洪潜力各指标评价结果(图 2)显示：在自然地形方面，高程总体呈现由西部向东部递减的格局，西部山地与丘陵地带高程较高；坡度分布与之相呼应，西部区域坡度较大，而东部与南部平原区地势低平、坡度缓和；地形位置指数整体以中间值为主，空间格局较为破碎，其中西部丘陵–山地过渡带潜力较高，而西部丘陵和东部平原潜力偏低。在水文条件方面，距河道距离呈现近河高、远河低的规律，靠近主要河流的西北、西南内部及东部外缘低洼河网带表现出较强的蓄滞洪潜力；河渠密度进一步印证了这一特征，西北、西南及东部外缘河网密集区潜力较高，而西部丘陵与部分平原区因河渠稀疏、水文连通性差而潜力偏低。在社会经济维度上，洪水淹没损失呈现靠近中心的区域潜力低、外围潜力高的格局，其中西部丘陵区与东南平原区潜力相对较高；次生灾害风险表现为点状集中、环带分布，主要沿交通走廊和基础设施节点集聚，如西部、南部和北部的城镇及交通枢纽。

蓄滞洪潜力空间分布特征(图 3)显示：“二绿”地区蓄滞洪潜力整体呈现“西北–西南–东南高、东北低”的格局，西部连片区域潜力优势显著，东北整体偏弱，东南以零散高值为主且靠近中心附近普遍较低。其中，高潜力区约占 36.5%，多呈带状或斑块状，主要集中在西部丘陵区、西南及东部低洼河网密集地带。西部丘陵区虽地形条件不利，但因洪水淹没损失指标权重较高，因而整体潜力被放大；西南和东部低洼河网区地势平缓、河渠密集，是未来蓄滞洪区可以重点建设区域。中潜力区面积最大，占 46.5%，广泛分布于高潜力区外围，是蓄滞洪功能拓展与弹性预留的重要空间。低潜力区约占 17.0%，主要位于东北、东南平原及靠近中心的城区，不宜作为核心建设区，但可在空间治理中发挥风险隔离与生态补偿作用。

2.2　游憩潜力空间特征评价

游憩潜力各指标评价结果(图 4)显示：各类指标在空间分布上存在明显差异。自然度与生境质量整体呈现较高一致性，高值主要集中在西部丘陵地带与东部外缘平原，低值分布在东北及靠近中心的南部区域。文化设施 POI 核密度呈现出环状镶嵌格局，西部山地、东北湿地和南部部分节点形成高值斑块，而东南区域整体偏低。交通可达性表现为中心高、

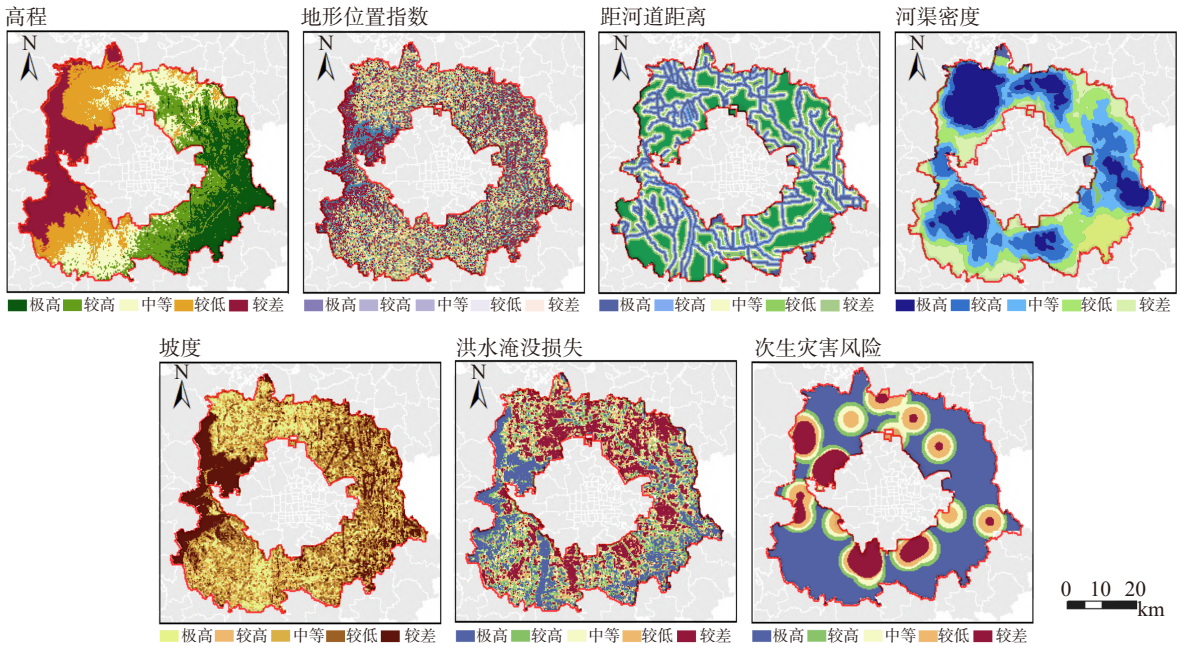


图 2　蓄滞洪潜力各指标空间分布特征

Fig. 2　Spatial distribution characteristics of flood detention and storage potential indicators

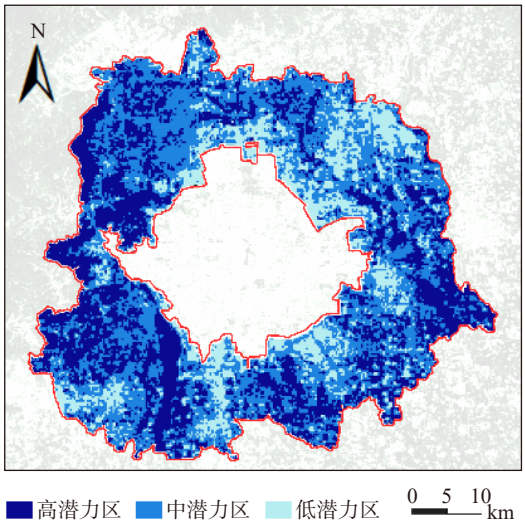


图 3 蓄滞洪潜力空间分布特征

Fig. 3 Spatial distribution characteristics of flood detention and storage potential

外围低的特征，靠近中心的区域形成环状高值带，外围及西部山前带普遍较低。人口热力、夜间灯光与交通格局高度一致，中心建成区高值突出，外围生态地带低值明显。

游憩潜力空间分布特征(图 5)显示："二绿"地区游憩潜力整体格局为中心高、外围低、局部斑块突出。高潜力区约占 24.2%，主要集中在西部山地、东北湿地及南部节点区域，空间上表现为斑块集聚。中等潜力区面积最大，占比约 51.6%，广泛环绕在高潜力区外围。低潜力区约占 24.2%，主要位于东南、东北和平原边缘地区，普遍交通可达性差，人口稀疏，文化服务潜力低，更多承担着生态支撑与背景作用。

2.3 双变量空间自相关分析

双变量空间自相关分析结果(图 6)显示："二绿"地区蓄滞洪潜力与游憩潜力在空间上表现出复杂的耦合关系，具体包括蓄滞洪潜力高–游憩潜力高、蓄滞洪潜力低–游憩潜力低、蓄滞洪潜力高–游憩潜力低、蓄滞洪潜力低–游憩潜力高及不显著 5 类区域，在整体分布上存在显著差异，以权衡关系为主(35%)，协同空间相对有限(21%)。

在权衡关系中，蓄滞洪潜力高–游憩潜力低区约占 18%，主要集中于西南与东南部的低洼河网地带，表现为蓄滞洪潜力突出而游憩潜力不足；蓄滞洪潜力低–游憩潜力高区约占 17%，多分布在靠近中心的城镇化区域，呈现出游憩需求强烈而蓄滞洪条件不足的特征。在协同关系中，蓄滞洪潜力高–游憩潜力高区约占 11%，集中于西部山前冲积扇及东部河网密集的湿地带，既具备良好的蓄滞洪潜力，又兼具较

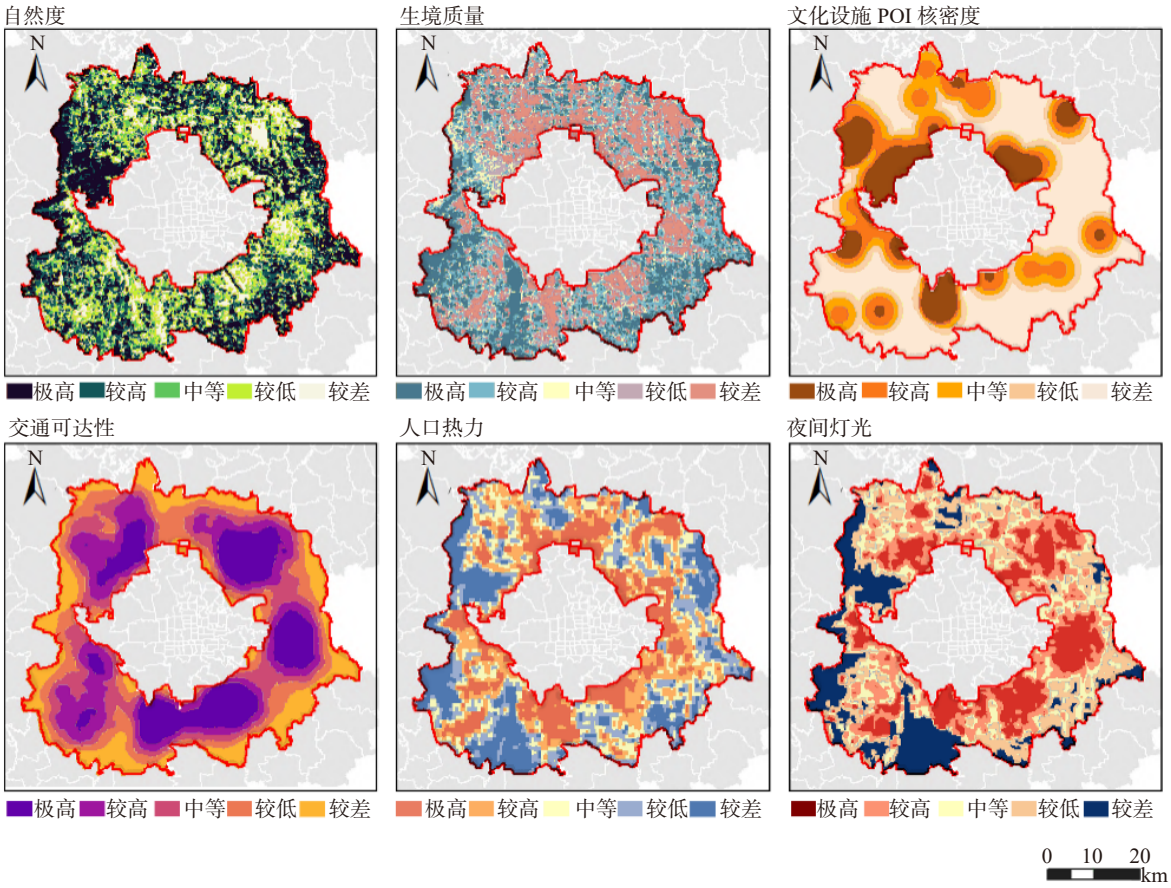


图 4 游憩潜力各指标空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution characteristics of recreation potential indicators

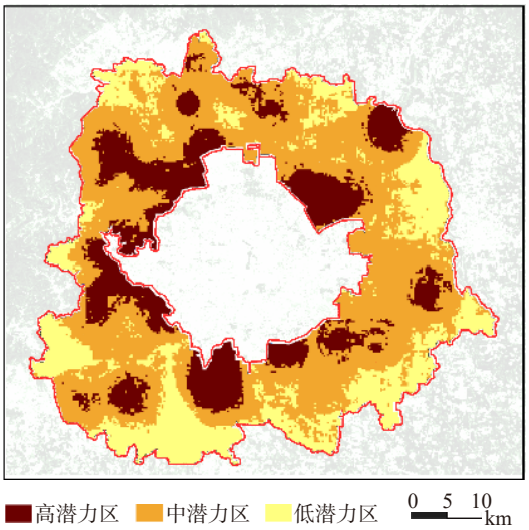


图 5　游憩潜力空间分布特征

Fig. 5　Spatial distribution characteristics of recreation potential

高的游憩价值；蓄滞洪潜力低–游憩潜力低区约占 10%，零散分布在部分建成区及交通廊道周边，东北部和东部有一定集聚，表现为两类潜力均不足。此外，另有约 44% 的区域为空间相关性不显著区，零散分布于研究区范围内，该类区域未表现出突出的蓄滞洪或游憩优势，潜力关系较为模糊。

3　讨　　论

气候变化与快速城市化导致北京市雨洪风险日益加剧，城市的防洪标准亟需提升，“二绿”地区作为兼具承载首都蓄滞洪区建设与提供近郊游憩空间双重需求的重要区域，如何发挥其“平急两用”功能，实现“急时”蓄滞洪水，“平时”兼顾生态、旅游、休闲等公共服务，已成为该区域规划与研究中亟待解决的关键问题。通过系统评估区域蓄滞洪与游憩潜力的空间分布特征，并揭示二者之间的权衡协同关系，对于形成“平急两用”型蓄滞洪空间具有重要的理论与实践意义。

3.1　“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力空间特征评价

蓄滞洪潜力整体呈现西部连片潜力优势显著，东北整体偏弱，东南以零散高值为主且靠近中心附近普遍较低的空间分布特征，高值区集中于低洼河网与湿地系统，这与低高程、地势平缓、河渠密布的自然地形和水文条件密切相关。西北与西南浅山区虽受坡度制约，但因洪水淹没损失较低，在综合赋权后仍表现为较高潜力，凸显了经济维度在综合评价中的重要影响。相反，靠近中心的东南城镇化区域虽然具备一定水文条件，但因经济损失与次生风险较大，被判定为低潜力区。这一现象揭示了自然承载力与经济脆弱性之间的矛盾，即“可蓄区”与“宜蓄区”并不完全重合，综合评价结果在一定程度上体现出经济因子的主导作用。这与既有研究[13]中将低洼河网区作为洪水承载核心的经验基本一致。本研究确认了自然地形和水文条件的合理性，但西部丘陵在研究中被划为相对高潜力区，与部分仅基于自然条件的研究[15]有所差异。这主要源于熵权法赋权下洪水淹没损失指标的权重较高，从而放大了洪水淹没后造成经济损失较低区域的潜力。结果表明，蓄滞洪潜力不仅取决于自然条件，也受风险代价因子的显著制约。本研究在延续既有成果的同时，进一步揭示了风险代价维度在空间分异中的关键作用，为传统以自然地形和水文条件为主的研究提供了补充，并为蓄滞洪区的科学规划提供了更具实践性的参考。

游憩潜力呈现出中心高、外围低、局部斑块突出的空间分布特征。高潜力区约占 24%，集中在靠近中心的城镇化区域，交通便利区域及西部山地。西部山地与北部湿地因景观吸引力突出，形成明显的次级高值斑块；而东南平原及外围生态区虽具备一定的自然基底，但因可达性不足、服务设施匮乏，未能有效转化为高游憩潜力。中潜力区约占 52%，广泛分布于研究区主体，是游憩功能的主要承载空间；

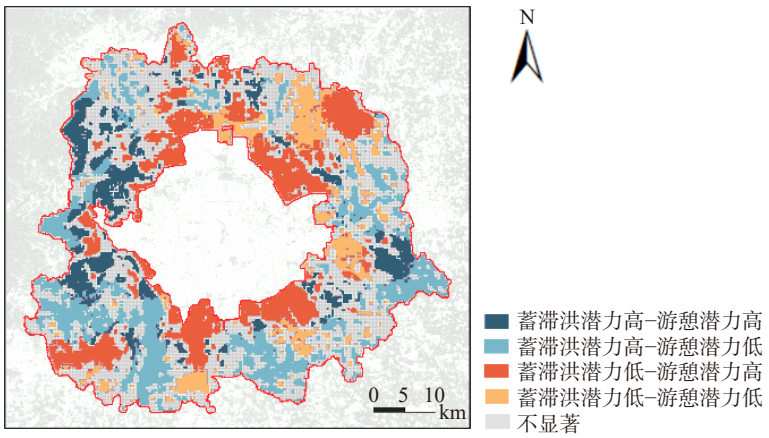


图 6　蓄滞洪与游憩潜力的权衡协同空间分布

Fig. 6　Spatial distribution of trade-offs and synergies for flood detention and storage, and recreation potential

低潜力区则约占 24%，主要位于东部、东北部及西南边缘，表现出游憩资源与需求的双重不足。这一结果与既有关于“二绿”地区游憩潜力的研究[12]基本一致，并进一步补充了文化服务与生态环境基底对游憩格局的解释。因此，“二绿”地区未来的空间优化不仅需满足中心区高游憩需求，还应在外围区域提升可达性与服务均衡性，以实现整体空间格局的协调发展。

3.2 “二绿”地区蓄滞洪区权衡协同优化策略

双变量空间自相关分析结果表明：“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力之间以权衡关系为主导，协同区域相对有限，这一“局部耦合–整体错位”的空间分布特征反映了蓄滞洪功能与游憩功能在空间配置上的复杂互动。因此，本研究提出针对不同功能组合区的差异化优化策略，以推动“平急两用”目标下的空间协同治理。

3.2.1 蓄滞洪与游憩潜力双高协同区：构建复合型景观基础设施

蓄滞洪与游憩潜力双高协同区主要分布于西部山前冲积扇及东部河网密集的湿地带，兼具良好的蓄滞洪潜力与较高的游憩价值，是“平急两用”理念实施的典型空间。规划可采用“湿地公园 + 雨洪管理”的复合模式，通过景观化手法处理蓄滞洪设施。具体策略包括：结合高程与坡度特征，塑造多级雨水景观体系，形成“草甸坡–蓄滞谷–湿地塘”三级调蓄网络；利用低地形位置指数区域设计可淹没的景观节点，采用耐淹耐湿的乡土植物群落；在文化设施 POI 密度高、交通可达性良好的区位，构建弹性游憩系统，设置季节性栈道、可拆卸观景平台等临时设施；保留足够的洪泛空间，通过微地形塑造引导水流，同时形成丰富的游览体验。

3.2.2 蓄滞洪潜力高–游憩潜力低区：生态修复主导的低干扰开发

蓄滞洪潜力高–游憩潜力低权衡区集中于西南与东南部的低洼河网地带，蓄滞洪条件优越但游憩吸引力不足。此类区域应作为核心蓄滞洪单元，重点巩固蓄滞库容与行洪能力，采用“最小干预”的规划设计原则。具体策略包括：通过植被恢复，提升河岸带生境质量；在人口热力较低、夜间灯光较暗的区域，设置隐蔽的观测点和有限的解说设施，开展生态研学活动；保留大面积的生态保育区，仅在外围设置必要的生态步道；利用现有地形高差，构建具有景观特色的分级滞洪区。

3.2.3 蓄滞洪潜力低–游憩潜力高区：安全优先的韧性景观设计

蓄滞洪潜力低–游憩潜力高权衡区主要位于靠近中心的城镇化区域，游憩需求强烈但蓄滞洪条件不足。此类区域的规划重点在于通过景观手法提升区域雨洪韧性，确保游憩安全。具体策略包括：采用“海绵城市”建设理念，通过下凹式绿地、渗透铺装等低影响开发设施增强径流的就地消纳能力；在坡度较缓、次生灾害风险较低的区位，设计具有蓄滞功能的景观设施，如可蓄水的活动广场、兼具游乐功能的调蓄池等；建立清晰的防灾标识系统和避难路线，将安全设施景观化处理；选择耐淹植物材料，确保汛后快速恢复景观效果。

3.2.4 蓄滞洪潜力与游憩潜力双低区与不显著区：生态网络的修复与连通

蓄滞洪潜力与游憩潜力双低区与不显著区零散分布于建设用地与交通廊道周边，两类潜力均不足。但其作为生态网络的重要组成部分，具有关键的连接功能。规划重点在于提升生态连通性和景观连续性，具体包括：通过植被廊道建设连接生态斑块，提升生境质量与自然度；利用街角绿地、道路绿化带等小微空间构建雨洪管理网络；采用低成本、低维护的乡土植物进行生态修复；在人口热力相对集中的区域设置简单实用的游憩设施，服务周边居民的日常使用。

3.3 研究意义与局限性

本研究基于“平急两用”视角，综合运用 GIS-MCDA 方法与双变量空间自相关分析方法，对北京市“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力进行综合评价，揭示了其“协同有限、权衡主导”的空间格局，识别出 4 类典型功能区，并提出差异化景观优化策略，构建了从“评价指标”到“空间布局”再到“治理策略”的完整技术路径，为高密度城市边缘区绿色基础设施的“平急两用”功能协同提供了可量化、可实施的风景园林解决方案。

然而，本研究仍存在一定局限性。首先，在指标体系中，部分指标（如洪水淹没损失与次生灾害风险）的量化存在潜在不确定性，受数据精度与模型假设影响，可能对结果造成偏差。其次，熵权法的使用虽可以降低权重赋值的主观性，但其客观性仍有待更多实地监测数据的校验。此外，本研究主要基于现状条件展开分析，所提出的优化策略未充分考虑未来气候变化及城市扩张等动态干扰因素，因此在长期适应性方面还存在不足。

未来研究计划从以下 3 方面进一步深入：一是引入动态情景模拟，将气候变化与土地利用预测纳入双目标评价框架；二是融合最新的多源遥感与实地调查数据，持续优化指标参数与权重，以提升分析结果的时效性与适用性；三是结合多元管理偏好，设

置不同决策情景，以增强规划策略的动态适配能力。

4 结　　论

本研究针对城镇雨洪风险加剧背景下蓄滞洪区功能单一的现状，以及国家倡导“平急两用”公共基础设施建设的迫切需求，创新性地将蓄滞洪与游憩双重功能同时纳入统一分析框架，以北京市“二绿”地区为研究对象，综合运用 GIS 空间分析、多准则决策分析（MCDA）与双变量空间自相关方法，系统评价了蓄滞洪与游憩潜力的空间分布特征及其权衡协同关系。研究得到以下结论。

（1）“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力呈现差异化空间格局。蓄滞洪潜力整体呈“西北−西南−东南高，东北低”的分布特征，高潜力区集中于西部丘陵、西南部及东部低洼河网地带；游憩潜力则表现为“中心高，外围低，局部斑块突出”，高值区主要分布于靠近中心的城镇区域、西部山地及东北部湿地。

（2）“二绿”地区蓄滞洪与游憩潜力在空间上呈现以权衡关系为主导、协同区域有限的耦合特征。双变量空间自相关分析显示，权衡区域占比达 35%，显著高于协同区域（21%）。其中，蓄滞洪高−游憩低权衡区集中于西南与东南部低洼河网带，而蓄滞洪低−游憩高权衡区则主要位于城镇化区域。

（3）不同潜力类型区需实施差异化的“平急两用”优化策略。双高协同区可作为核心示范区推动功能复合；蓄滞洪潜力高−游憩潜力低区应优先保障防洪安全，并适度植入低干扰游憩；蓄滞洪潜力低−游憩潜力高区应通过系统性工程增强雨洪韧性以保障游憩安全；双低及不显著区可作为生态缓冲与弹性储备空间。

本研究构建的潜力评价体系与权衡协同分区优化策略，将为“平急两用”型蓄滞洪区的潜力空间识别与协同优化规划提供理论依据。

参　考　文　献

[1] 占许珠, 郝树亮, 严晨菲, 等. 北京市典型特大暴雨洪水灾害对比分析 [J]. 中国防汛抗旱, 2025, 35(8): 20−25, 38.
Zhan X Z, Hao S L, Yan C F, et al. Comparative analysis of typical extreme rainstorm and flood disasters in Beijing[J]. China Flood & Drought Management, 2025, 35(8): 20−25, 38.

[2] 乔海娟, 杨伊妮, 刘勇, 等. 蓄滞洪区韧性发展水平评估与实证研究——以大浸畈蓄滞洪区为例 [J]. 人民长江, 2025, 56(4): 65−73.
Qiao H J, Yang Y N, Liu Y, et al. Evaluation and empirical study on resilience development level of flood storage and detention areas: a case study of Dajinfan Area[J]. Yangtze River, 2025, 56(4): 65−73.

[3] 孟德娟, 王强, 宋万祯, 等. 基于平急功能复合的城市防涝系统韧性提升规划策略 [J]. 给水排水, 2024, 60(10): 52−57.
Meng D J, Wang Q, Song W Z, et al. Planning strategies for enhancing resilience of urban waterlogging prevention system based on the combination of routine and emergency functions[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 60(10): 52−57.

[4] 丁志雄, 李娜, 俞茜, 等. 国家蓄滞洪区土地利用变化及国内外典型案例分析 [J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(6): 36−43.
Ding Z X, Li N, Yu Q, et al. Analysis of land use change in national flood storage and detention areas and typical cases at home and abroad[J]. China Flood & Drought Management, 2020, 30(6): 36−43.

[5] 李方正, 李科慧, 李雄. 北京市第二道绿化隔离带郊野公园环情景规划研究 [J]. 风景园林, 2021, 28(4): 58−64.
Li F Z, Li K H, Li X. Scenario planning of country park ring in Beijing’s Second Greenbelt[J]. Landscape Architecture, 2021, 28(4): 58−64.

[6] Mokarrama M, Hojati M. Landform classification using a sub-pixel spatial attraction model to increase spatial resolution of digital elevation model[J]. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2018, 21(1): 111−120.

[7] 毛献忠, 龚春生, 张锡辉. 城市湖泊暴雨过程中蓄洪能力研究 [J]. 水力发电学报, 2010, 29(3): 119−125.
Mao X Z, Gong C S, Zhang X H. Study on flood storage capacity of urban lakes during storm events[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(3): 119−125.

[8] Ahmadisharaf E, Tajrishy M, Alamdari N. Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision making[J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2016, 59(8): 1397−1417.

[9] 张嫣, 纪芳华, 裘鸿菲, 等. 基于生态敏感性与适宜性耦合的湿地公园边界规划探究——以武汉东湖国家湿地公园为例 [J]. 中国园林, 2019, 35(11): 81−86.
Zhang Y, Ji F H, Qiu H F, et al. Boundary planning of wetland parks based on the coupling of ecological sensitivity and suitability: a case study of Wuhan East Lake National Wetland Park[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(11): 81−86.

[10] 汤雨琴, 郭健康, 靳思佳, 等. 郊野公园游憩度评价体系构建研究 [J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 2013, 31(5): 79−88.
Tang Y Q, Guo J K, Jin S J, et al. Study on the construction of an evaluation system for recreation degree of country parks[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2013, 31(5): 79−88.

[11] 万亿, 赵民. 上海环城大型公园游憩服务效用评价及规划启示 [J]. 城市规划学刊, 2024(6): 19−26.
Wan Y, Zhao M. Evaluation of recreational service effectiveness and planning implications of large parks around Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 19−26.

[12] 王瑞琦, 仇渊勋, 李雄. 以生境保护优先的北京市第二道绿化隔离地区郊野公园选址方法 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(2): 127−137.
Wang R Q, Qiu Y X, Li X. A habitat protection priority-based site

selection method for country parks in Beijing's Second Greenbelt[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(2): 127−137.

[13] Shen D, Wang J, Cheng X, et al. Integration of 2-D hydraulic model and high-resolution LiDAR-derived DEM for floodplain flow modeling[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2015, 19: 3605−3616.

[14] Conrad O, Bechtel B, Bock M, et al. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1. 4[J]. Geoscientific Model Development, 2015, 8(7): 1991−2007.

[15] Saha A, Pal S C, Arabameri A, et al. Flood susceptibility assessment using novel ensemble of hyperpipes and support vector regression algorithms[J]. Water, 2021, 13(2): 241.

[16] Chang H S, Man C Y, Su Q. Research on the site selection of watershed public facilities as multi-use detention basin: an environmental efficiency perspective[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(30): 38649−38663.

[17] 何昕宇, 田文翀, 张智宇, 等. 基于数据驱动的洪涝风险评估方法研究进展 [J]. 人民珠江, 2022, 43(5): 60−67.
He X Y, Tian W C, Zhang Z Y, et al. Research progress on data-driven flood risk assessment methods[J]. Pearl River, 2022, 43(5): 60−67.

[18] 孙新旺, 刘灿灿, 程南洋, 等. 城市型景区游憩景点老年游客可达性评价研究——以中山陵景区为例 [J]. 中国园林, 2025, 41(1): 70−77.
Sun X W, Liu C C, Cheng N Y, et al. Accessibility evaluation of recreational attractions for elderly tourists in urban scenic areas: a case study of Zhongshan Ling Scenic Area[J]. Chinese Landscape Architecture, 2025, 41(1): 70−77.

[19] 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. Evaluation of recreation use potential in Qianjiangyuan National Park[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(12): 5173−5184.

[20] 郭洋, 杨飞龄, 王军军, 等. "三江并流"区游憩文化生态系统服务评价研究 [J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4351−4361.
Guo Y, Yang F L, Wang J J, et al. Evaluation of recreational cultural ecosystem services in the " Three Parallel Rivers" region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4351−4361.

[21] 葛韵宇, 李雄. 基于碳汇和游憩服务协同提升的北京市第二道绿化隔离地区郊野公园环空间布局优化 [J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(10): 142−154.
Ge Y Y, Li X. Spatial layout optimization of country park ring in Beijing's Second Greenbelt for synergistic enhancement of carbon sequestration and recreation services[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(10): 142−154.

[22] 李久林, 胡大卫, 谢敏, 等. 社会−生态视角下乡村聚落系统脆弱性评价——以蒙洼行蓄洪区为例 [J]. 生态学报, 2023, 43(22): 9164−9176.
Li J L, Hu D W, Xie M, et al. Vulnerability assessment of rural settlement systems from a social-ecological perspective: a case study of the Mengwa flood diversion and storage area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(22): 9164−9176.

[23] 邵明, 李方正. 城市生态空间生态系统服务功能权衡协同及管控研究——以成都东部新城为例 [J]. 风景园林, 2021, 28(7): 114−120.
Shao M, Li F Z. Trade-offs, synergies, and management of ecosystem services in urban ecological space: a case study of Chengdu Eastern New City[J]. Landscape Architecture, 2021, 28(7): 114−120.

[24] 岳邦瑞, 钱芝弘. 生态系统服务权衡与协同机制及其在景观规划中的应用 [J]. 风景园林, 2022, 29(10): 20−25.
Yue B R, Qian Z H. Mechanisms of ecosystem service trade-offs and synergies and their application in landscape planning[J]. Landscape Architecture, 2022, 29(10): 20−25.

（责任编辑 赵田芸
责任编委 臧润国）