校园生态文化廊道识别与提升策略*

——基于 MSPA 与电路理论的分析

郑君芝 邢嘉尧 陈奥州 余洪成 洪子淇

（西安工程大学城市规划与市政工程学院，西安 710048）

摘要：【目的】提出基于 MSPA 与电路理论的校园生态文化廊道识别与优化路径，构建“生态质量-文化认同”双维评价体系，为实现高校校园生态功能与文化价值的协同提升提供可操作的优化方案与实施路径。【方法】以西安工程大学临潼校区为例，通过 100 m×100 m 均匀网格法开展植物多样性调查，结合李克特量表调研问卷评估文化认同，同时采用熵权法构建综合生态阻力面，通过 MSPA 识别生态文化源地；最后，基于电路理论模拟生态文化廊道并识别关键节点。【结果】1）共识别出 6 处生态文化源地，总面积 12.206 4 hm^2，占校园总面积的 19.63%，其中中部核心区面积最大，总共 8.170 8 hm^2；南部源地呈零星点状分布。2）提取 8 条生态文化廊道，总长 1.8 km，形成“2 条一级、4 条二级、2 条三级”的三级网络结构，其中一级廊道为生态文化连通主干。3）共识别出 41 处关键节点，其中 27 处夹点，面积 1.287 2 hm^2；14 处障碍点，面积 0.591 6 hm^2。4）在西南部区域存在“夹点与障碍点共存”现象，显示出校园生态文化连通的脆弱性。【结论】校园生态廊道呈现“生态-文化空间错位与夹点-障碍点共存”的典型格局，核心网络结构以中部核心区为枢纽、一级廊道为骨架。据此构建“三位一体”优化体系，即分区响应，构建生态文化耦合节点；分类引导，实施韧性生态桥接；分级干预，提高生态文化源地辐射连通性。

关键词：校园更新；生态文化廊道；MSPA；电路理论；熵权法

DOI：10.12169/zgcsly.2025.10.15.0003

Strategies for Identifying and Optimizing Ecological-Cultural Corridors on University Campus: Based on Analysis of MSPA and Circuit Theory

Zheng Junzhi Xing Jiayao Chen Aozhou Yu Hongcheng Hong Ziqi

（School of Urban Planning and Municipal Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China）

Abstract: 【Objective】 This study proposes a pathway to campus ecological-cultural corridors identification and optimization based on MSPA and circuit theory, and constructs a dual-dimensional evaluation system of "ecological quality-cultural identity" to provide optimization plans and implementation paths for the synergistic enhancement of both ecological functions and cultural values on university campuses.【Method】 Lintong Campus of Xi'an Polytechnic University is selected to investigate the vegetation diversity using a 100 m × 100 m regular grid method, and assess the cultural identity with a Likert-scale questionnaire. An entropy weight method is applied to construct a comprehensive ecological resistance surface, and ecological and cultural sources are identified using MSPA. Based on circuit theory, ecological and cultural corridors are simulated, and key nodes are identified.【Result】 1) Six ecological-

收稿日期：2025-10-15

* 基金项目：2024 年大学生创新创业训练计划项目（S202410709152）；陕西省高等教育学会 2021 高等教育科学研究项目（XGH21146）

第一作者/通信作者：郑君芝，女，1978 年生，副教授，研究方向为景观规划设计、园林空间设计。E-mail：547750663@qq.com

cultural sources are identified, covering a total area of 12.206 4 ha, accounting for 19.63% of the campus. The central core is the largest in area, spanning 8.170 8 ha, while the southern sources are scattered in a dotted pattern; 2) Eight ecological-cultural corridors, totaling 1.8 km in length, are identified, forming a three-tier network structure comprising 2 primary, 4 secondary, and 2 tertiary corridors, and the primary corridors serve as the main arteries of ecological-cultural connectivity; 3) Forty-one key nodes are identified, including 27 pinch points (1.287 2 ha) and 14 obstacle points (0.591 6 ha); and 4) The coexistence of pinch points and obstacle points in the southwest area shows the vulnerability of ecological-cultural connectivity on the campus. 【Conclusion】 The campus ecological corridor presents a typical pattern of mismatch between ecological and cultural spaces and coexistence of pinch points and obstacle points, and in the core network structure, the central area is the hub and the primary corridor is the skeleton. Based on this, the "three-in-one" optimization system is constructed, which involves zoning responses to build ecological-cultural coupling nodes, categorized guidance to implement resilient ecological bridging and tiered interventions to enhance the radiation connectivity of ecological-cultural sources.

Keywords: campus renewal; ecological-cultural corridor; MSPA; circuit theory; entropy weight method

高校校园作为城市绿地系统的重要组成部分，其生态功能与文化价值日益受到关注。在文化生态学视角下，城市景观是复杂的、系统的有机整体[1]，而校园空间则集中体现了物质环境与精神文化的深度耦合，因此如何提升生态连通性，传承与激活校园文化记忆，受到广泛关注。当前，关于校园生态空间的研究多聚焦于绿地设计[2-3]、植物多样性[4-5]等单一生态指标，缺乏对文化维度的系统考量，而校园文化空间研究则多以定性描述为主[6]，缺少可量化的空间评价体系。传统校园生态廊道研究多依赖经验判断与主观设计，以定性分析为主[7]，难以反映廊道在维系生物连通性与提升人本体验等方面的综合功能，制约了校园空间从功能分区向系统整合的转型。

生态源地作为景观生态网络中的核心斑块[8-9]，不仅是生物栖息与迁徙的锚点，也是校园中植被覆盖度高、环境静谧、历史氛围浓厚的区域，具备生态-文化双重属性。因此，本文以西安工程大学临潼校区为案例，融合植物样方调查与校园文化价值问卷评估，构建“生态质量-文化认同”双维评价体系，通过 MSPA 识别生态源地，结合电路理论模拟生态文化廊道，识别夹点与障碍点，探索基于量化支撑的校园生态文化廊道评价与优化路径，为高校校园生态修复与人文重塑提供实践参考。

1 研究区概况

西安工程大学临潼校区位于西安市临潼区陕鼓大道 58 号（34°22′N，109°12′E），地处骊山北麓黄土台塬地带，地势南高北低，海拔介于 450~480 m。校区背倚骊山，面向渭河平原，区域内分布有自然冲沟与人工水体，为校园提供了丰富的微气候调节潜力与生物迁徙通道，为构建多层次的生态廊道网络创造了条件。同时，校区承载着师生学习、生活与情感交流的多重功能，而沟通连接的线性廊道空间则是校园文化记忆与场所精神的重要表达界面。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究采用数据包括：2025 年 5 月 Sentinel-2 高分遥感影像（10 m 分辨率），通过采用监督分类中的最大似然法解译土地利用类型（共划分草地、林地、建设区域、水体和荒地 5 类，总体精度达 81.23%），并计算归一化植被指数 NDVI；ALOS 全球 DEM（12 m），经重采样至 2 m 后提取高程与坡度；2025 年 OpenStreetMap（OSM），结合实地调研进行人工校正。所有数据在 GISPro 3.5.2 平台下统一坐标系为 UTM Zone 49N 与 2 m 栅格分辨率。

2.2 样地调查

为获取校园植物多样性与空间使用感知数据，本研究于 2025 年 4—5 月（春季植被稳定期）开展实地调查，结合 100 m×100 m 均匀网格布样法与李克特量表问卷调查法[5, 10]，确保生态与文化

数据在时间和空间上的一致性。

2.2.1　植物多样性调查

基于 2025 年 10 m 分辨率 Sentinel-2 高分卫星影像，在全校范围布设 100 m×100 m 网格。以均匀取样为原则，所设置的样方能够反映样地基本情况。每个网格内结合地形与功能分区（教学区、生活区、绿化景观区）划分 1～3 个大样地（图 1）。每个大样地内采用“5 点取样法”布设小样方（乔木 10 m×10 m、灌木 5 m×5 m/6 m×6 m、草本 1 m×1 m/2 m×2 m），共设 115 个大样地。物种多样性指数选择香农多样性指数、丰富度、辛普森指数、均匀度指数[5]。



图 1　植物样地调研地图

2.2.2　文化价值感知评估

参考场所精神理论“认同”维度设计调查问卷[10]，以李克特五点量表（1～5 分对应“较差”至“较好”）评估师生对空间的历史记忆、情感归属、使用频率、交流潜力与美学感知等 5 个方面。覆盖校园主要功能区，发放问卷 200 份，回收有效问卷 186 份（有效率 93%），共设 43 个调研样点。调研问卷基本信息中：男性占 58.2%，女性 41.8%；本科生 61.2%，研究生 32.1%，教职工 6.7%。所有调研数据整理后采用极差归一化法标准化，以消除量纲差异。

2.3　源地识别

为融合生态质量与文化认同的双重属性，系统评估源地识别对决策偏好的敏感性，分别从“OWA 多情景设置-MSPA 类型识别--斑块连通性筛选”对源地进行综合优化选取。

2.3.1　情景设置

有序加权平均法（OWA）是一种多准则决策方法，能灵活反映决策者的风险偏好[11]。因此，采用 OWA 融合生态与文化双重属性，评估源地识别对决策偏好的敏感性。如公式（1）所示：C_1、C_2分别为归一化后的生态、文化标准值，二者均按降序排列后进行 OWA 有序加权；将二者降序排列后，再按权重向量（w_1，w_2）计算综合评价值 S。

$$S = w_1 \cdot C_1 + w_2 \cdot C_2 \tag{1}$$

2.3.2　MSPA 识别核心斑块

对每种情景的 OWA 综合指数，采用自然断点法（Jenks）将其划分为 5 级，提取最高一级二值化，其余值作为背景[12]。将最优情景下的源地作为输入，采用形态学空间格局分析（MSPA）识别其内部景观类型。

2.3.3　斑块连通性筛选

斑块连通性越高，生态文化功能价值越高[13]。通过 Conefor 软件计算每个 MSPA“核心区”斑块的整体连通性指数 IIC 和可能连通性指数 PC[14]。将 IIC 和 PC 进行等权叠加，剔除叠加结果低于 2%的斑块，筛选出生态文化网络具有关键功能作用的核心源地[13]。

2.4　熵权法和阻力面构建

在生态廊道构建中，生态阻力面反映了不同地表单元阻碍程度，其数值越高越难通行[15]，而阻力面的构建依赖于各影响因子权重的合理确定。为减少层次分析法等主观赋权的人为偏差，采用熵权法为阻力面构建的环境因子确定权重[16]。选取用地类型、道路距离、高程、坡度及归一化植被指数作为阻力面构成因素。计算公式为：

$$R_i = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot x'_{ij} \tag{2}$$

式（2）中：R_i为第 i 个像元的综合生态阻力值，w_j为第 j 项因子的熵权，x'_{ij}为标准化后的因子值，m 为阻力因子总数。本文共选取 5 项阻力因

子，即 $m=5$。

2.5 关键节点与廊道识别

关键节点即夹点和障碍点，生态廊道作为连接各类节点的纽带[9]，能够促进生态流扩散与校园文化传播。本文运用 Linkage Mapper 分析结合源地和阻力面，识别校园生态文化廊道与关键节点。

2.6 不同目标生态文化廊道提升

为优化校园生态廊道，构建“生态修复-文化激活-空间重构”三位一体优化目标的量化体系（表 1）：首先通过全局线性回归（OLS）识别影响生态文化功能的主导因子及其平均效应；随后，基于 OLS 残差的 Moran's I 检验，若存在显著空间自相关，则引入地理加权回归（GWR）模型，揭示各因子作用强度与方向的空间异质性[16]；最终，依据 GWR 局部回归系数的空间分异特征，提出分区、分类、分阶段的差异化优化策略。

表 1 “三位一体”生态文化廊道优化目标的量化指标体系

一级指标	二级指标	计算方法
生态修复指标	植被覆盖率	50 m 网格范围内的 NDVI 平均值
	物种丰富度	50 m 网格范围内取平均值
文化激活指标	空间可达性	OD 成本矩阵计算网络可达性分析
	生态教育活动参与度	人群对场所生态保护关注度
空间优化	步行廊道长度	50 m 网格范围内的道路长度
	绿地连通率	基于 Fragstats4.3 计算蔓延度指数（Contagion）

3 结果与分析

3.1 植物多样性与文化价值评估

从图 2a 可以看出，乔木层的香浓多样性指数、丰富度、辛普森指数和均匀度平均值分别为 1.97、9.9、0.89 和 0.86，均高于灌木层与草本层。草本层除丰富度之外略高于灌木层，其余多样性指数均表现为灌木层高于草本层。

从图 2b 可以看出，多样性指数的高值区域集中在校园西北大门及中部图书馆樱花林地区域，

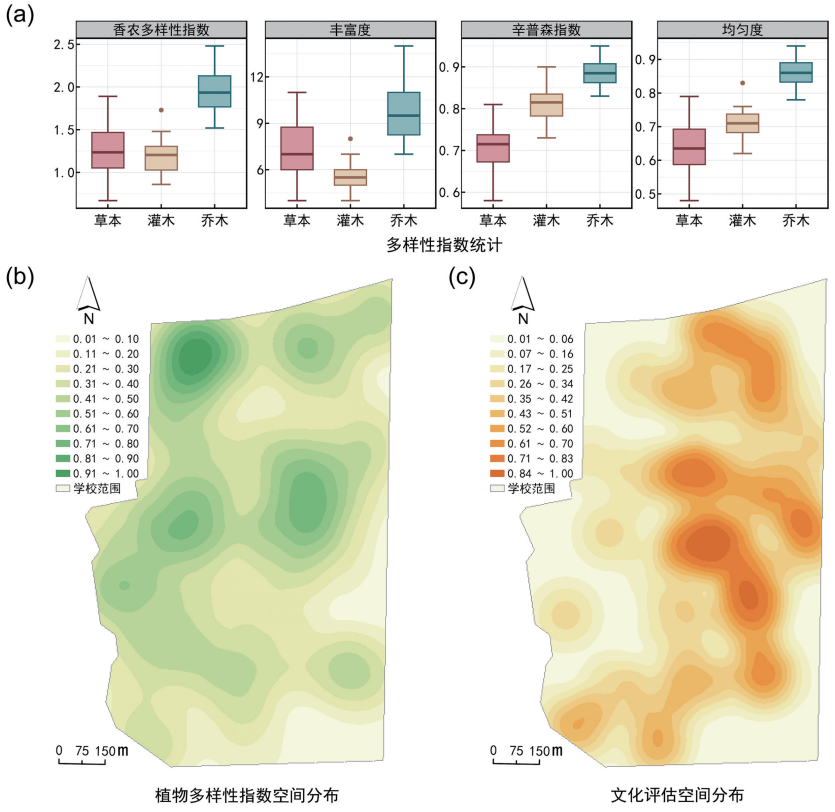


图 2 植物多样性指数与文化评估的统计及空间分布

呈现多核心聚集特征。低值区分布在南部中心广场、学生楼附近。从图 2c 可以看出，文化评估空间分布的高值区域集中在校园图书馆，文体馆附近，与多样性指数高值区的空间分布存在明显错位，表明校园生态物种多样性与文化价值的空间格局匹配度较低。

3.2　源地空间提取

3.2.1　最优情景

为系统评估生态与文化权重设置对源地识别结果的敏感性，计算每种情景的生态平均值、文化平均值及综合加权平均值。采用风险偏好参数 α（0≤α≤1），构建 11 组权重情景：（α=0 为纯生态优先，α=1 为纯文化优先，α=0.5 为均衡情景）。表 2 显示，情景 6（α=0.5，均衡权重）综合得分最高，兼具生态完整性与文化代表性。因此，以情景 6 作为主方案，用于 MSPA 源地识别与廊道构建。

表 2　不同决策风险情景有序权重

情景	风险 α	生态权重 W1	文化权重 W2	二值化阈值	生态平均值	文化平均值	综合加权平均值 S
1	0.000 1	1	0	0.70	2.71	2.50	2.60
2	0.1	0.933	0.067	0.68	2.75	2.49	2.62
3	0.2	0.871	0.129	0.65	2.91	2.43	2.67
4	0.3	0.812	0.188	0.62	2.93	2.42	2.68
5	0.4	0.758	0.242	0.60	2.95	2.39	2.67
6	0.5	0.50	0.50	0.58	3.37	3.06	3.22
7	0.6	0.66	0.34	0.56	3.39	3.01	3.20
8	0.7	0.616	0.384	0.55	2.35	2.06	2.20
9	0.8	0.574	0.426	0.54	2.38	2.06	2.22
10	0.9	0.536	0.464	0.53	2.01	1.42	1.72
11	1	0	1	0.53	2.98	2.38	2.68

3.2.2　MSPA 核心区斑块识别

图 3a 为最优情景（情景 6，生态与文化权重均为 0.5）下的生态–文化综合叠加结果，共识别出 6 处生态源地，总面积 12.206 4 hm^2，占校园总面积 19.63%，主要位于北部造景绿地、中部林地及南部等区域（图 3b）。中部核心区面积最大且连续性最强的生态斑块总面积 8.170 8 hm^2；北部校门口两侧集中分布植被覆盖较丰富的源地区域，总面积 3.169 2 hm^2；南部源区面积最小，仅 0.866 4 hm^2，呈零星点状分布。另在西南部识别出 1 处“孤岛”斑块，该斑块与周边生态源地的连接性较弱，表明其生态文化功能存在断裂风险。

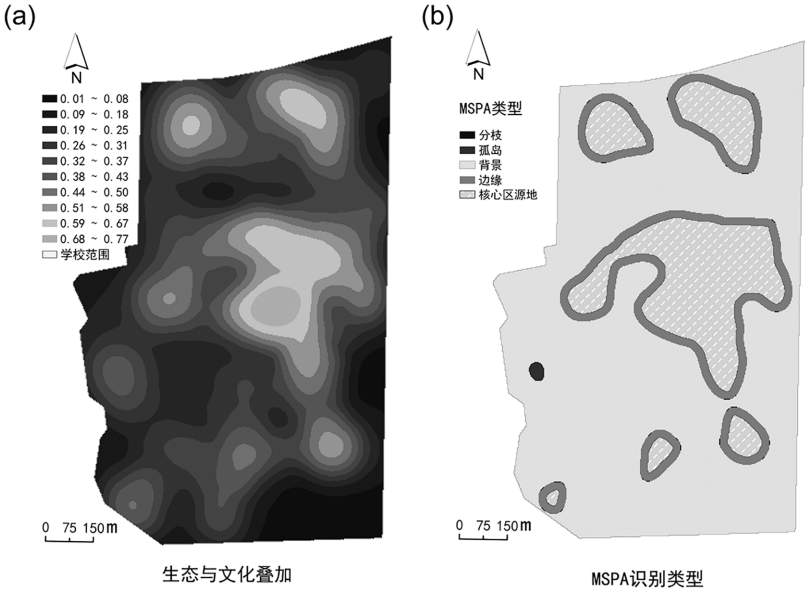


图 3　生态文化源地空间分布

3.2.3 斑块连通性筛选

表 3 显示：当阈值为 600 m 时，IIC 趋于稳定（0.74）；PC 持续提升但增幅放缓（0.92~0.95）。为此基于 600 m 阈值计算斑块 IIC 和 PC 权重值，通过等权叠加以筛选核心斑块。各斑块计算结果中最小的 IIC 与 PC 等权叠加的综合连通性值为 0.82。因此，保留 6 处斑块作为生态文化廊道的核心源地，能够有效支撑校园生态文化功能的整体连通性。

表 3 不同距离阈值下生态网络连通性指标变化

距离划分阈值/m	200	400	600	800	1 000
IIC	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74
PC	0.80	0.89	0.92	0.94	0.95

3.3 阻力面叠加与空间分布

熵权法分析结果（表 4）显示：道路距离（0.46）与 NDVI（0.44）对阻力面影响最大，而坡度权重最低（0.01）。综合阻力面的阻力值由校园中部向边缘及部分特定区域逐渐增大，体现出高、中、低阻力区相互交错的复杂空间格局，阻力最小值为 0.11，最大值为 0.80（图 4）。高阻力区集中在校园边缘及操场、道路等硬化区域，植被覆盖度（NDVI）较低，阻力值大；低值区域多集中于校园中部东环路的大型生态绿地、樱花道林地等区域，此类区域归一化植被指数（NDVI）显著偏高，植被覆盖度高且生态结构完整。

表 4 阻力面构建指标权重

阻力面指标	信息熵	差异性系数	熵权重
用地类型	0.949 57	0.050 43	0.03
道路距离/m	0.115 371	0.884 629	0.46
高程 DEM/m	0.881 793	0.118 207	0.06
坡度/(°)	0.987 143	0.012 857	0.01
归一化植被指数 NDVI	0.153 89	0.846 11	0.44

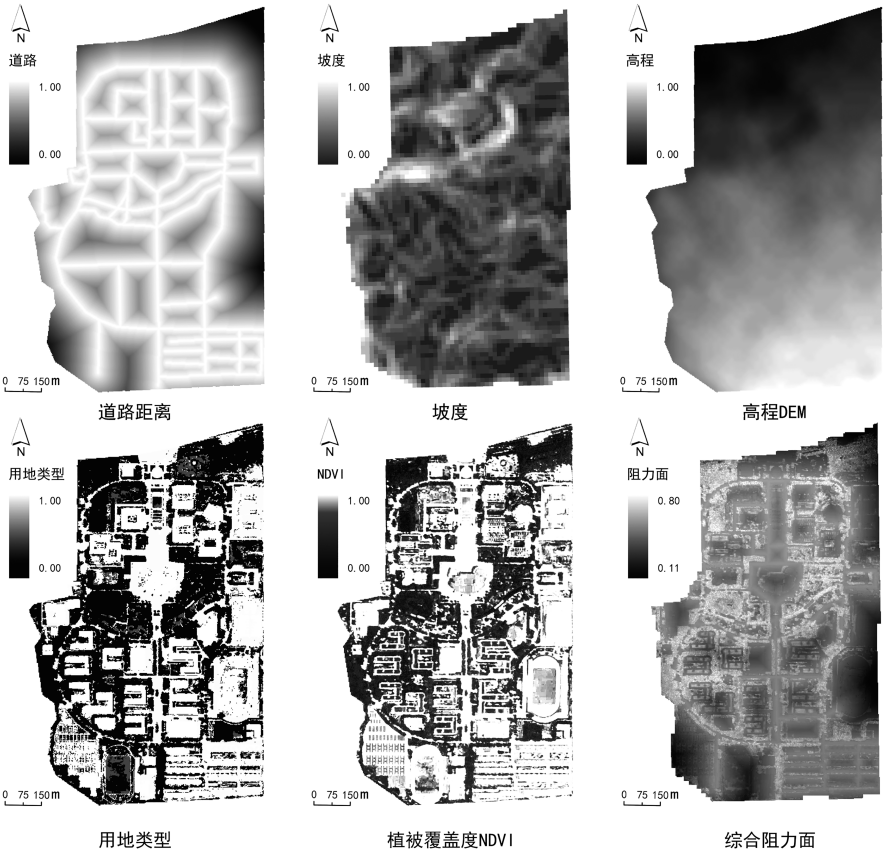


图 4 阻力面因子与综合生态阻力面的空间分布

3.4 生态文化廊道空间分布及关键点识别

基于 Linkage Mapper 电路理论与阻力面分析，共提取 8 条生态文化廊道，总长度为 1.8 km，平均长度约 225 m（图 5）。

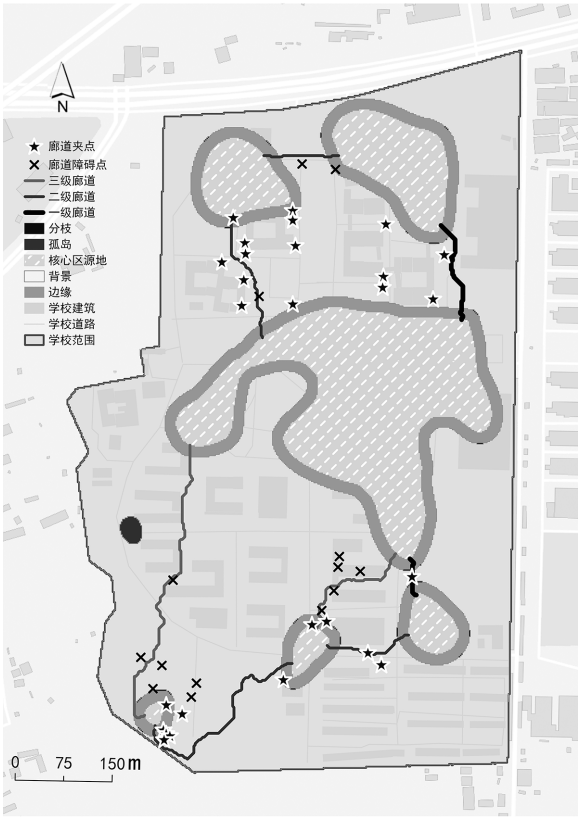


图 5　关键节点和廊道空间分布

从图 5 可以看出：一级廊道共 2 条，总长 235.48 m，位于 1 号教学楼至樱花道林地、校史馆、文体馆及南部校医院食堂附近，是维持区域生态文化连通性的关键通道。二级廊道数量最多，一共有 4 条，总长 839.9 m，其中 2 条主要分布在北部校门口及其东部草地景观区、西北部遗址区；另外 2 条位于南环操场入口及西南部健身活动区，主要起到桥接生态斑块的作用。三级廊道为 2 条，总长 722.22 m，1 条通往南部篮球场；另 1 条位于南部中心广场与 1 号宿舍楼附近，受道路与建筑干扰显著。

本研究共识别出 41 处生态关键节点，总面积达 1.878 8 hm^2（图 5）。其中，27 处为廊道夹点，面积总共 1.287 2 hm^2，主要分布在西北部二级廊道的遗址区、西南部右边篮球场区域；另外 14 处为廊道障碍点，总面积 0.591 6 hm^2，分布于南部中心广场至 1 号宿舍楼附近的三级廊道上。障碍点区域以铺装为主，切割了廊道连续性，为孤立片区，周边师生活动频繁。值得关注的是，西北部遗址区、西南部区域可能是人工保护限制措施及硬化地面等障碍点，这迫使生态流仅能通过灌丛间隙等狭窄通道通行并形成夹点，这种夹点和障碍点共存现象凸显了夹点作为不利景观中连通“最后防线”的珍贵性，需优先保护。

3.5　基于影响机制量化解析的廊道优化

在生态修复目标方面（图 6），全局回归显示植被覆盖度对综合生态文化功能具有显著正向作用（$P<0.001$），而物种丰富度影响微弱（$P=0.012$）。植被覆盖度对综合生态文化功能的影响在中部樱花道林地周边（局部回归系数 $\beta=1.10$）、南部中心广场（$\beta=0.56$）及西北部遗址区（$\beta=0.11$）均呈显著正相关（$P<0.001$）。其中，樱花道林地的局部效应最为突出，建议在樱花道林地外围补植乡土乔木，将 NDVI 从当前 0.62 提升至 0.70；南部中心广场虽具中等效应，受高人流的影响，植被改造空间有限，宜维持现状；西北部遗址区通过林下地被恢复，可提升物种丰富度至≥6 种/样方。

在文化激活目标方面（图 6），全局线性分析中生态参与度呈强正相关（$P<0.001$），而可达性呈显著负相关（$P<0.001$），说明“物理可达不等于文化激活”。GWR 结果显示：在文体馆–图书馆一线（教学核心区），参与度局部系数高达 0.51，建议在此区域增设“生态微课堂”“校史植物导览”等高频活动，师生年参与率达 30%；而在南部 1 号宿舍楼至中心广场廊道，可达性系数为−0.08 且显著，应限制机动车通行，将步行可达生态节点比例从当前 65%提升至 85%，并增设林荫休憩节点。

在空间重构目标方面（图 6），道路长度全局呈微弱负效应（$P=0.045$），绿地连通性呈弱正效应（$P=0.014$）。通过 GWR 分析其空间影响：在西南部健身区—篮球场周边（三级廊道段），道路长度每增加 100 m 导致功能指数下降 0.04，建议将硬质铺装替换为透水生态铺装，缩减车行道 15%；在中部核心区至南部零星源地的连接廊道上，绿地连通性局部系数达 0.023（显著正向），应通过新增 500 m 生态踏脚石廊通道，将连通率从 0.35 提升至 0.70，激活南部“生态孤岛”。

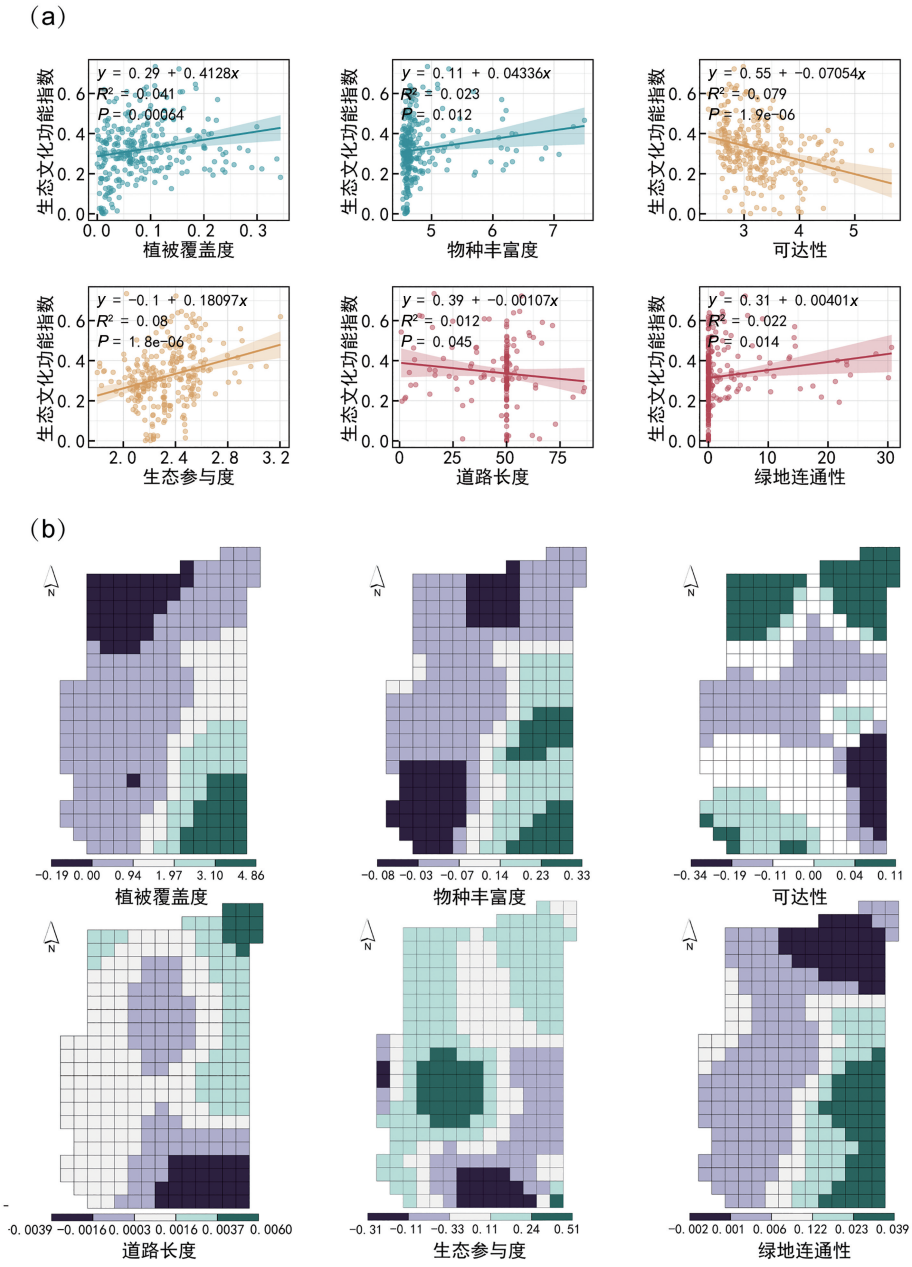


图 6 全局线性回归与 GWR 局部空间回归系数统计与分布

4 校园生态文化廊道提升策略

4.1 分区响应：构建生态文化耦合节点

基于 GWR 空间异质性分析，校园生态-文化功能呈现显著分区特征。中部樱花道林地与西北遗址区植被覆盖局部效应强，但文化认同薄弱；而文体馆-图书馆一线缺乏生态支撑。针对这一错位格局，可在两类高值区过渡带实施分区耦合策略：在西北部生态优势区植入“时光步道”；在文体馆周边建设“学术纪念林”，绑定学校特色历史信息。通过双向渗透，实现“生态支撑文化、文化反哺生态”的空间融合。

4.2 分类引导：实施韧性生态桥接

共识别 41 处关键节点，其中 27 处夹点为生态流“最后通道”，14 处障碍点多由硬化铺装造成。因此，实施分类引导：对夹点严格保护，外围设 5~8 m 弹性缓冲绿带；对障碍点，将硬质铺装替换为“可行走生态地毯”（白三叶、麦冬模块），并利用建筑立面实施垂直绿化（爬山虎、紫藤），构建空中桥接廊道，优先干预共存区，守住连通底线。

4.3　分级干预：提高生态文化源地辐射连通性

基于电路理论识别的“2 条一级、4 条二级、2 条三级”廊道结构，针对南部 0.87 hm^2 “孤岛”斑块连通率低（0.35）的问题，通过廊道分级辐射干预进行提升：以中部 8.17 hm^2 核心区为枢纽，一级廊道强化文化与生态解说；二级廊道增设雨水花园、昆虫旅馆等踏脚石节点，桥接西北遗址区；三级廊道重点激活南部孤岛——新建 500 m 木栈道，并扩建 500 m^2 学科主题园（纺织纤维区、净水植物区），目标将步行可达生态节点比例从 65% 提升至 85%，绿地连通率提升至 0.70，实现从孤立斑块到功能网络的辐射连通。

5　结论

本研究构建了“生态质量-文化认同”双维评价体系，运用 MSPA 与电路理论、OWA 多情景分析与 GWR 模型系统识别了校园生态文化廊道空间结构，区域样本基本覆盖主要植被类型与功能区，具有代表性。共识别出 6 处源地、8 条三级廊道及 41 处关键节点，揭示了生态-文化空间错位及西南部连通脆弱性。基于此，提出“分区响应一分类引导一分级干预”的三维优化策略，为高校校园生态修复与文化重塑提供量化支撑与实践路径，并推动优化策略从理念走向实施，从而为区域城市绿地系统规划提供理论参考。

参考文献

[1]郭金秀.文化生态学视野下转型地方大学文化发展研究[J].黑龙江高教研究,2021,39(8):20-24.

[2]罗文婧.基于生态设计的校园绿地景观优化策略探索[J].居舍,2025(14):129-132.

[3]全磊,陈洋,李艳妮,等.城市更新背景下中小学校园绿化生态设计策略研究:以商洛市为例[J].城市建筑,2025,22(9):78-81.

[4]张秀华,齐海鹰.山东城市建设职业学院校园植物多样性调查[J].黑龙江农业科学,2023(10):57-62.

[5]秦霄,桑溢娟,林葳,等.四季校园绿地生物多样性感知恢复效益及视听影响因素[J].中国城市林业,2025,23(3):9-16.

[6]吴琦,余莹,聂凌.“五育并举”视角下校园环境文化育人实践探索:以重庆理工大学校园环境景观文化建设为例[J].现代园艺,2025,48(21):183-186.

[7]王鑫,马建仁,陈杰,等.基于场所精神理论的校园线性街景空间重构探索:以北京大学校园道路景观廊道设计为例[J].城市建筑空间,2024,31(5):31-37.

[8]YU Y,YU B,ZHANG X W,et al.Construction of symbiosis corridors for heritage resources and optimization of conservation strategies in the basin:a case study of the Yellow River Basin in Shandong,China[J].Ecological Indicators,2025,178:113962.

[9]刘杰,罗玉兰,张浪,等.湖州市域生态网络构建的关键区空间辨识[J].中国城市林业,2025,23(3):167-174.

[10]黄嫦.多元文化视角下高校声乐教学与审美意识的内联机制研究[J].艺术教育,2022(6):70-73.

[11]LU Z G,GENG Y S,LI W,et al.Integrating spatial carbon factors into ecological network construction in an energy-intensive megaregion toward multi-objective synergy in northern China[J].Environmental Impact Assessment Review,2024,106:107480.

[12]宋桂冠,张小平.基于“源地-阻力-廊道”范式的黄河流域甘肃段生态安全格局构建[J].水土保持研究,2026,33(1):273-283.

[13]朱琪,袁泉,于大炮,等.基于电路理论的东北森林带生态安全网络构建[J].生态学杂志,2021,40(11):3463-3473.

[14]阎祉祎,王震,王克勤,等.基于生态系统服务和电路理论的西南高山峡谷区生态安全格局识别[J].生态学报,2025,45(14):6743-6755.

[15]张戴新月,闫玉春,张敬敏,等.内蒙古灌丛化草原植物群落特征研究[J].测绘通报,2021(S2):206-209.

[16]黄钰麟,金云峰.长三角发达地区乡村“三生”功能空间分化及调控路径[J].中国城市林业,2025,23(5):149-156.