

长江两岸造林绿化工程背景下石首市 森林生态格局分析

杨佳伟¹ 许秀环¹ 胡兴宜¹ 兰竹² 来生艳³ 荣新军⁴ 袁率⁵¹

(1. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075;

2. 湖南省农林工业勘察设计研究总院, 湖南 长沙 410007;

3. 石首市自然资源和规划局, 湖北 荆州 434400;

4. 湖北省林科院石首杨树研究所, 湖北 荆州 434400;

5. 湖北生态工程职业技术学院, 湖北 武汉 430200)

【摘要】: 长江两岸造林绿化工程着力于解决长江干流两岸绿化断带、森林生态功能脆弱等问题, 构筑连续完整、结构稳定的沿江森林生态系统。基于形态学空间格局分析(MSPA)识别石首市在工程实施前后森林生态格局, 筛选森林生态源地, 结合景观类型、人类活动强度等因素构建阻力面, 提取森林生态廊道, 进行重要性分级, 构建森林生态网络。结果表明: 石首市森林资源相对丰富, 景观构成斑块大型化, 破碎化, 难于与周边其他景观产生物质能量交流; 景观斑块面积和连通性重要程度不呈绝对的正相关关系。长江两岸造林绿化工程的实施促进长江及其支流两岸沿江绿化断带合拢, 森林景观资源斑块面积增大, 边缘复杂程度降低, 缓解斑块破碎化程度, 加强森林景观斑块间连通性, 利于物种迁移与基因交流。工程实施后的源地生态廊道分布不均匀, 通过生态网络规划, 显著提高了研究区域内森林生态斑块的连接水平, 增加森林网络连接的有效性和稳定性。合理规划生态网络可连通森林资源, 联合农田林网可形成结构稳定、功能完善的山水林田湖复合生态网络格局。

【关键词】: 森林生态网络 长江 形态学空间格局分析 MCR 模型 重力模型

【中图分类号】: S718.55 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)05-1051-11

森林具有为物种提供栖息地, 保护区域生物多样性的功能, 是生态文明建设的基础^[1], 森林生态系统具有碳汇库、基因库、资源库、营养库、蓄水库等功能, 对维持区域生态系统平衡具有重要作用^[2]。在以农业产出为主的两湖平原, 持续扩张的建设用

作者简介: 杨佳伟(1990~), 男, 助理研究员, 主要研究方向为景观生态学、森林生态学. E-mail: java_young@126.com; 胡兴宜 E-mail: huxingyi027@126.com

基金项目: 湖北省林业科研项目([2020]LYKJ18); 石首市林业科研项目([2020]LY01)

地及农业生产活动不断蚕食森林斑块,导致森林景观破碎化严重,斑块连通性降低,从而干扰生态调控能力,减少生物多样性,威胁平原湖区的生态安全^[3,4,5]。生态网络依靠生态廊道连接重要生境,为生物提供迁移及扩散通道,组成完整的栖息地网络,可反映破碎化生境的连通性水平^[6]。目前已有大量学者基于生态网络视角开展生境质量评价^[7]、国土空间规划^[8]、生态红线划定^[9]等。因此,森林生态网络的构建能够提高景观连接性^[10],促进斑块间的物种迁移和基因交流^[11],维系物种迁徙扩散^[12],实现从结构连通到功能连通^[13]。近年来,学者将形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)方法应用到生态网络分析中^[14,15]。MSPA 强调结构性连接,识别目标要素将图像形态分为互不重叠的七类,从形态学角度识别出对维持景观连通性具有重要作用的景观类型^[16]。与传统景观分析针对斑块和廊道单独进行提取分析不同的是, MSPA 是从像元层面识别重要生境斑块和廊道对景观连通性有重要作用的区域,其强调结构性连接。

石首市所处的两湖平原作为中国农产品主产区,其乡村地域发展在很大程度上依赖农业生产优势,发展多功能农业^[17],森林资源相对丘陵、山区有所不足。近年来,在国家推行长江经济带、中部崛起等区域发展战略的背景下,湖北省推行长江两岸造林绿化专项工程,以期到 2020 年建成连续完整、结构稳定、功能完备的沿江森林生态系统。本文以石首市长江两岸造林绿化工程实施前后森林资源分布为研究对象,采用形态学空间格局分析方法识别工程前后石首市森林生态格局,识别生态源地,提取生态廊道构建森林生态网络^[18]。分析森林网络结构,旨在了解长江两岸造林绿化工程对区域森林生态格局的影响,为森林保护与营造工作提供依据,为区域森林生态网络优化提供对策。

1 研究区概况

石首市是长江经济带重要城市(图 1),位于湖北省中轴线南端,两湖平原(江汉平原、洞庭湖平原)地理中心,属平原,兼有山岗,长江南为高亢平原,中间以平地为主,江北为平原,整个地势略呈西北高、中间低、向西南倾斜。石首市紧紧围绕长江两岸实现应绿尽绿、森林质量明显提升、沿江生态防护体系基本完善的总体目标,在河湖沿岸、通道沿线、村庄周边大力推进造林绿化和质量提升。至 2020 年,石首市完成长江两岸造林绿化工程造林 5365hm²,森林质量提升 6680hm²,绿化类型主要包括岸线绿化、堤防绿化、通道绿化、环湖绿化、城镇绿化、村庄绿化,助力长江大保护,助推乡村大振兴。

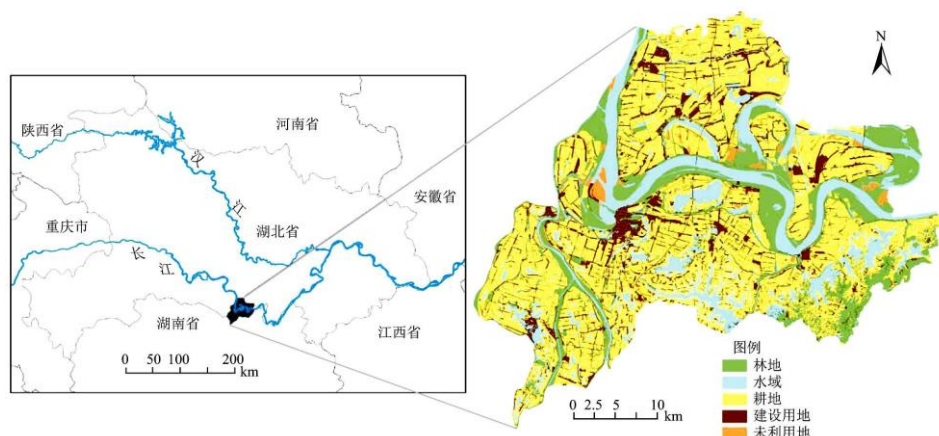


图 1 研究区位置与土地利用现状图

2 数据与研究方法

2.1 研究数据及预处理

本研究包含数据主要有石首市最新森林资源管理“一张图”、土地利用现状图及 2018 年 SPOT-5 卫星 2.5m 空间分辨率遥感

影像。其中森林资源管理“一张图”、土地利用现状图由石首市自然资源局提供。森林资源管理“一张图”是林业管理部门管理林地资源的矢量数据库，包含地类、森林类别、林种等因子。

基于 GIS 平台导入森林资源管理“一张图”中的森林矢量数据，比对土地利用现状图林地资源，将 SPOT-5 卫星影像转换投影为 CGCS2000 坐标系，按照研究区边界配准后的影像进行裁剪，在土地利用现状图基础上参考影像对其他地类进行修改与校正，参照学者研究结果^[19]及区域实地研究范围尺度，最终得到空间分辨率为 10m×10m 的土地利用现状，以满足市域景观分析精度要求。

2.2 研究方法

2.2.1 基于 MSPA 方法的森林景观格局分析

MSPA 是 Vogt 等^[20]基于数学形态学原理提出的一种制图算法，可精确分辨出研究区景观类型与结构。根据研究目的将研究区景观重分类为前景与背景，本文将森林资源作为前景，其余地类为背景。为了避免景观细节的过于破碎或丢失，经过多次数据试验，选择栅格分辨率为 10m×10m 的研究尺度。利用 MSPA 方法可将前景分割为 7 种互不重叠的具有不同功能及生态学含义的景观类型^[21] (图 2, 表 1)。

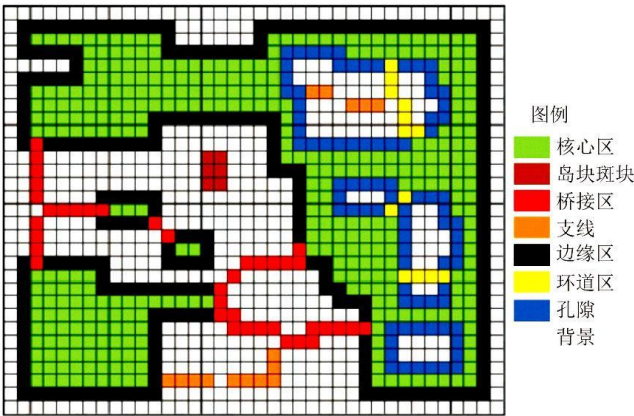


图 2 MSPA 结构类型示意图

表 1 MSPA 景观类型及生态学含义

景观类型	生态学含义
核心区	前景中不含周长的内部区域，通常为较大的生境斑块，是物种的主要栖息地，对生物多样性保护具有重要意义
岛状斑块	与其他前景要素不相交的小面积区域，通常为孤立破碎的小型生境斑块，斑块间及与外界生态过程交流可能性小
桥接区	连接不同核心区的廊道，对物种在生境斑块间的迁移扩散具有重要意义
支线	一端与孔隙、边缘、环道或桥接区相连的通道，用于连通核心区与外部景观，实现大型生境斑块内部与外围景观的物质及能量交流

边缘区	核心区的外部边缘，即大型生境斑块与其外围非生境景观间的过渡地带，具有边缘效益，起到减少外部景观对生境斑块内部干扰的作用
环道区	连接同一核心区内部的廊道，是物种在生境斑块内部迁移扩散的通道
孔隙	核心区的内部边缘，即大型生境斑块与其内部非生境景观间的过渡区域

2.2.2 景观连通性评价与森林生态源地识别

景观连通性是区域生态过程联系程度的衡量指标，能够定量表征某一景观是否利于源地斑块内的物种迁移，维持系统的连通性对生物多样性保护及生态系统平衡具有重要意义^[22]。目前，常用的景观连通性指数主要有整体连通性(The Integral Index of Connectivity, IIC),可能连通性(The Probability Index of Connectivity, PC),斑块重要性(dI)等。

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (1)$$

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}^* \cdot a_i \cdot a_j}{A_L^2} \quad (2)$$

$$dI = \frac{I - I'}{I} \times 100\% \quad (3)$$

式中：n 表示景观中斑块数量； a_i 、 a_j 表示斑块 i 和斑块 j 的面积； A_L 表示景观总面积； p_{ij}^* 表示物种在 i、j 斑块间扩散的最大可能性，PC 的阈值处于 [0, 1], 值越大表示景观连通性越高；dI 用于反映所要素的重要程度，I 某种景观连通性指数，本研究指整体连通性指数 (IIC) 和可能连通性指数 (PC), I' 表示将斑块 i 从该景观中剔除后的景观连通性指数值。

源地是生态系统物种栖息与扩散的基础，对维持区域景观连通性与促进区域生态过程健康发展具有重要意义^[23]。本文以石首市森林景观作为前景进行 MSPA 分析，将核心区景观类型作为潜在源地斑块，通过计算连通性重要指数 dPC 评价核心区斑块的景观连通性重要程度以识别森林生态源地，从而避免因面积因素忽略斑块的连通性作用。

2.2.3 阻力面与生态网络构建

景观阻力是反映研究区生物在不同单元间的迁移、扩散难易程度，景观阻力面即为研究区景观格局间与生态过程流相互作用关系的表达^[24]。本文研究对象为森林资源，以石首市地带性植被亚热带常绿阔叶树种香樟为研究服务对象，结合其自然扩展条件，地形因子对森林分布无显著影响，因此阻力面的构建考虑景观类型、人为活动强度两个因素^[25]，结合生境、人类干扰程度对研究区森林物种在各类景观迁移的难易程度进行阻力赋值(表 2)。景观类型阻力值范围 [1, 1000]，森林源地作为适宜生境阻力值为 1，其余林地根据林地亚类赋值；研究区域未利用地以江滩洲及荒山荒地为主，有森林适生条件，阻力值设定次之；耕地一定程度受人为活动干扰，对物种迁移有阻碍，阻力值大于未利用地；水域对森林物种的迁移有隔绝作用，阻力值大于耕地；建设用地及交通运输用地同时也是人类聚集地，人为干扰地面，阻力最大。耕地、建设用地规模与人口活动一定程度上呈比例关系，因此本文不再考虑人口密度的阻力分布。

表 2 景观类型阻力赋值

景观类型	亚类	阻力值
源地		1
林地	乔木林地	10
	灌木林地	60
	其他林地	100
未利用地		150
耕地		300
水域		700
建设用地		1000

MCR (Minimum Cumulative Resistance) 模型是计算物种在景观阻力面上两地间迁移扩散的最小累积阻力，获取最优成本路径^[26]。

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i) \quad (4)$$

式中：MCR 为最小累积阻力值； $f_{\min}$ 为未知的正函数，反应空间中某点最小累积阻力值与该点到所有源地的距离及景观基面特征的正相关关系； D_{ij} 为物种从源地 j 到空间 i 的距离； R_i 为空间 i 对物种扩散的阻力。

潜在生态廊道是生态源地之间的最低累积阻力谷线，为生物迁徙扩散提供通道。基于生态源地和景观阻力面，利用 MCR 模型构建石首市森林生态网络。基于重力模型构建研究区森林生态源地间的相互作用矩阵^[27]，定量评价各源地斑块间的相互作用强度，科学地判定所构建潜在廊道的相对重要性。

$$G_{ij} = \frac{L_{\max}^2 \ln(a_i) \ln(a_j)}{L_{ij}^2 P_i P_j} \quad (5)$$

式中： G_{ij} 表示核心斑块 i 、 j 的相互作用力； $L_{\max}$ 为是研究区所有廊道累积阻力的最大值； a_i 、 a_j 分别为斑块 i 、 j 的面积； L_{ij} 为斑块 i 、 j 间廊道的累积阻力值； P_i 、 P_j 分别为斑块 i 、 j 的平均阻力值。

采用网络闭合度 (α)、线点率 (β)、网络连接度 (γ) 3 个网络结构指数评价构建网络的闭合度、连通性及复杂程度^[28]。

$$\alpha = \frac{L - v + 1}{2v - 5} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{L}{v} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{L}{3v - 2} \quad (8)$$

式中： α 反映网络中环路出现的频率； β 表示网络中节点连接线的通达程度； γ 反映网络节点的连通程度； L 为网格中廊道数量； v 为节点数量。

3 结果与分析

3.1 基于 MSPA 的森林景观分析

以石首市长江两岸造林绿化工程实施前后森林资源作为前景进行 MSPA 分析(图 3),统计各类景观的面积与比例(表 3)。石首市森林景观在研究区景观类型中占比较大,仅次于耕地。在长江两岸造林绿化工程实施前,森林景观核心区占总体景观比例为 14.46%,主要分布于长江及支流藕池河两岸沿线、东北部小河口镇及东南部桃花山镇、桃花林场。在森林景观中,核心区类型面积为 20351.85hm²,所占比例最大,达 74.47%,分布于市域范围各处,长江两岸的核心区景观连通性较好,桃花山区域森林核心区景观集中连片分布。由于石首市为农业生产集中区,农业生产为主导,市域范围内江北、江南平原区森林景观面积不大,但是斑块数量多,多以农田林网及道路防护林形式存在,景观分散,连通性差,森林景观形态破碎。边缘区、支线、岛状斑块类型占比次之,占比分别为 16.50%、3.52%、2.54%,说明石首市森林景观斑块边缘复杂,形态破碎,且大型斑块的周边支线较少,说明其不易与周边其他景观产生物质能量交流。桥接区作为景观的结构性廊道,连接两个核心斑块,对区域范围内不同斑块间物种的迁徙和扩散有重要作用,面积为 632.19hm²,占比仅为 2.31%,研究区桥接区的数量不足且分布破碎;环道区是斑块内部物种迁移的捷径,有利于物种在相同斑块内迁移,占比仅为 0.18%,说明研究区内核心区斑块开口较少,图 3(a)中几个大的核心区之间桥接连通性明显缺乏,物种间迁移和基因交流有限,不利于生物多样性保护。

长江两岸造林绿化工程主要在长江、藕池河两岸及重点林业集中区进行绿化造林,工程实施促进长江及其支流两岸沿江绿化断带合拢,加强森林景观斑块间连通性,有利于物种迁移与基因交流。工程实施后核心区类型面积为 23345.09hm²,占比达 77.99%,边缘区、支线、岛状斑块比例大幅度降低,说明石首市森林景观资源呈现出大型斑块为主,且边缘复杂程度降低,斑块破碎化程度缓解的趋势,尤其是岛状斑块的面积及数量减少程度显著。桥接区作为连接不同核心区的重要廊道因为核心区的大型化、集中化而面积、数量有所减少,环道区和孔隙所占比例则变化不显著。

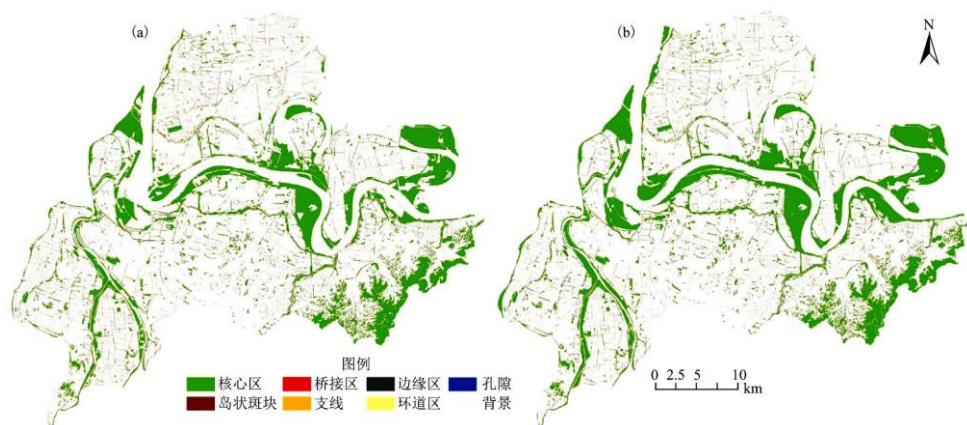


图 3 基于 MSPA 的工程实施前(a)后(b)景观类型

表 3 工程实施前后 MSPA 景观类型统计表

景观类型	工程实施前			工程实施后		
	面积(hm ²)	占森林景观比例(%)	占总体景观比例(%)	面积(hm ²)	占森林景观比例(%)	占总体景观比例(%)
核心区	20351.85	74.47	14.46	23345.09	77.99	16.59
岛状斑块	693.68	2.54	0.49	497.77	1.66	0.35
桥接区	632.19	2.31	0.45	614.86	2.05	0.44
支线	963.03	3.52	0.68	848.24	2.83	0.60
边缘区	4509.65	16.50	3.20	4428.92	14.80	3.15
环道区	48.41	0.18	0.03	57.77	0.19	0.04
孔隙	129.05	0.47	0.09	141.23	0.47	0.10
总计	27327.86	100.00	19.42	29933.88	100.00	21.27

3.2 景观连通性特征分析

对石首市实施长江两岸造林绿化工程前后森林景观资源核心区按照斑块面积大小进行降序排列并编号,选择面积大于 100hm²的斑块将其作为研究区潜在森林生态源地,工程实施前后潜在森林生态源地斑块数量分别为 30 块、33 块,计算各斑块连通性重要值参数,以 dPC 为参考值进行降序排列编号(表 4),dIIC 作为辅助参考值,最后选取 dPC>4 的森林斑块作为研究区生态源地(图 4),将剩余核心区分为极重要核心区(1<dPC<4)、重要核心区(0.1<dPC<4)、一般核心区(dPC<0.1)。根据表 4 可知,石首市在实施长江两岸造林绿化工程前后森林生态源地总面积分别为 8669.42hm²、12246.70hm²,分别占市域范围内森林面积的 31.72%、40.91%。由图 4 可以看出,石首市实施长江两岸造林绿化工程前,其森林生态源地集中于长江两岸及桃花林场区域,在西部、西南部无分布,藕池河沿岸虽有面积较大的护岸林,但是由于斑块面积不大且斑块不连续,导致无法评价为源地区。工程实施后,石首市森林生态源地数量增加 2 块,西部区域连片森林斑块被评估为生态源地,笔架山、东升长江沿岸斑块连通为大型斑块,但 12 个源地斑块占据大比例说明市域范围内森林景观破碎化严重。斑块的连通性是表示源地斑块同周边核心区的关联性和物质交流程度,工程实施后部分大面积斑块由于连通周边原有的小面积核心区,使得在连通性指数值上有所降低。同时,对比森林斑块面积与连通性重要值大小关系可知,斑块面积和连通性重要程度不呈绝对的正相关关系,最典型的为工程实施后(b)25 号斑块,面积仅 139.60hm²,但是具有较好的连通性,因为 25 号斑块是 6 号与 7 号斑块的重要连接区域,使得 3 个斑块组成市域范围西部区域的大型生态源地。

表 4 工程实施前后核心区景观连通性重要程度排序

排序	工程实施前				工程实施后			
	斑块编号	dPC	dIIC	斑块面积(hm ²)	斑块编号	dPC	dIIC	斑块面积(hm ²)

1	1	30.80	31.52	2146.21	1	27.07	31.24	3056.50
2	2	29.25	30.38	2104.72	3	20.85	21.69	1793.34
3	3	13.53	13.03	1178.77	2	18.43	18.94	2173.41
4	4	8.99	8.04	966.03	4	13.70	13.35	971.08
5	9	5.29	3.77	453.65	6	8.67	5.72	845.92
6	6	5.14	4.04	577.28	7	7.63	4.52	702.77
7	17	4.96	3.21	222.93	25	6.30	2.95	139.60
8	18	4.82	3.09	218.55	12	5.61	4.26	454.44
9	8	4.47	3.22	460.69	9	4.97	3.70	635.03
10	10	4.38	3.45	340.59	10	4.78	3.52	603.97
11					13	4.53	3.74	368.60
12					11	4.37	2.92	502.04

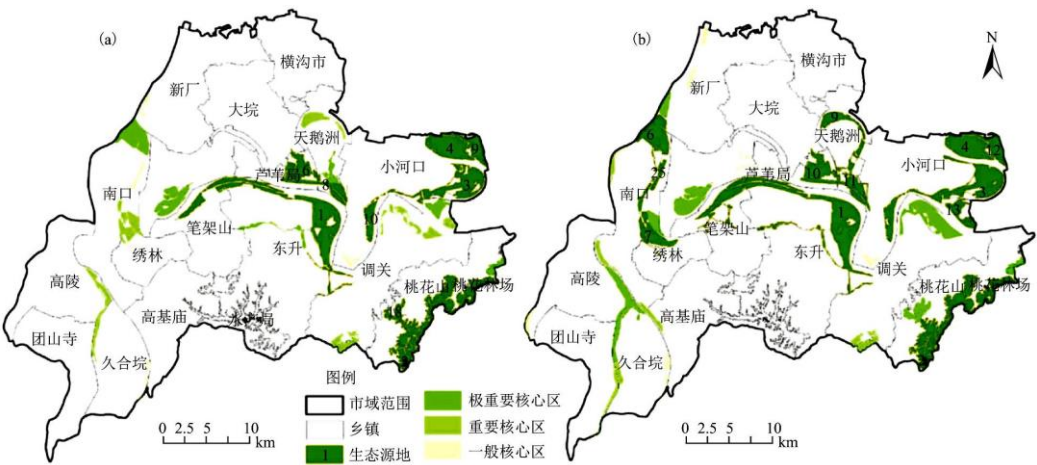


图 4 工程实施前 (a) 后 (b) 森林生态源地分布图

3.3 生态网络结构特征

以长江两岸造林绿化工程实施后的石首市森林生态景观为基础，基于景观类型及人类活动强度考虑得景观阻力面(图 5)。由图 5 可知，研究区阻力值较高的斑块主要集中于城镇、农村人口聚集区、交通运输用地及长江、河流湖泊等区域，阻力值低的区域主要为森林源地、森林景观核心区、未利用地及耕地。

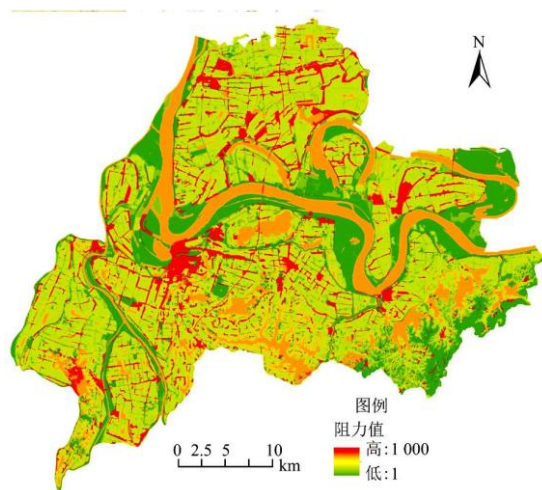


图 5 石首市森林景观阻力面

基于源地与阻力面，本研究 12 块生态源地斑块运用 MCR 模型提取研究区生态廊道 66 条，构建石首市森林生态网络(图 6)。平原湖区目前大部分森林均为人工林，人力是森林延伸的主要因素，香樟的自然扩展主要依靠鸟类及植食性动物，研究区大量的农田林网林带宽度均较小，且人为干扰大，导致野生动物数量主要集中于丘岗森林中，为保证野生动物迁徙及生物多样性保护，将廊道宽度设置为 30m 宽，统计廊道中各景观类型所占面积和比例(表 5)，分析潜在廊道的景观结构类型。潜在廊道的景观组成直接决定廊道的功能可行性，根据表 5，潜在廊道的总面积为 956.41hm²，其主要组成景观为乔木林地，占廊道总面积 87.55%;由于长江的阻隔作用，水域景观占比为 4.06%;而灌木林地、其他林地和未利用地由于研究区域范围内面积较小，其所占比重均不足 1%;1 号与 7 号源地斑块间的廊道完全穿越城区，因而占用大面积建设用地。大面积水体对物种迁移有阻碍作用，但水体作为动植物的水源地，与附近的林地成为迁移途中的暂息地，研究区中长江基本完全阻隔了陆生动物的南北迁徙，对植被的扩散也有一定限制作用，难以通过风媒及陆生动物传播，但是森林扩散可依靠鸟类食用、排泄植物种子完成。建设用地在物种迁移的过程中起着较大的阻碍作用，因此，在网络规划中，应尽量避免廊道穿越成片建设用地。

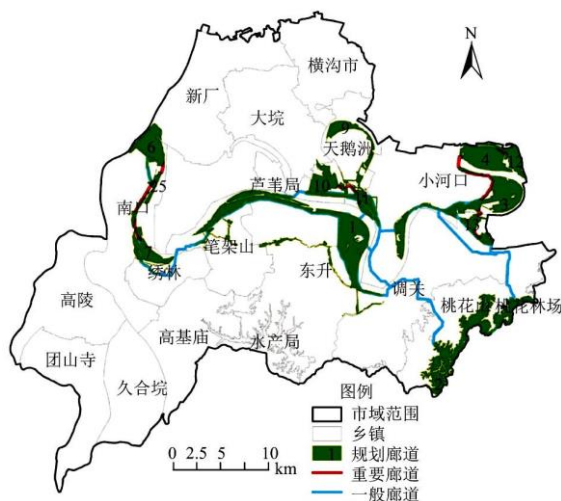


图 6 石首市森林生态网络重要性分级

表 5 潜在生态廊道的景观组成

土地利用类型	总面积 (hm ²)	在廊道中面积 (hm ²)	占廊道总面积比例 (%)
乔木林地	29399.75	837.31	87.55
灌木林地	411.30	2.96	0.31
其他林地	384.72	3.19	0.33
未利用地	2771.06	9.24	0.97
耕地	70454.72	27.8	2.91
水域	24265.62	38.83	4.06
建设用地	12637.78	37.08	3.88
总计	140324.95	956.41	100.00

基于重力模型构建 12 个森林生态源地间的相互作用矩阵(表 6), 定量评价各源地斑块间的相互作用强度, 科学地判定所构建潜在廊道的相对重要性。根据矩阵结果和研究区域实际, 判定斑块间相互作用强度大于 100 的廊道为重要生态廊道, 其余为一般廊道。其中, 重要生态廊道 11 条, 165.67hm², 主要连通研究区内三大板块, 分别形成东北部小河口镇森林组团、江北部天鹅洲森林组团、西部南口-绣林森林组团三个生态源地集中区。图 6、表 6 结果显示, 前述 3 个源地集中区所涉及斑块的相互作用值是最高的, 斑块间排列相对紧凑, 只需要构建较短距离的廊道就可连通形成大面积的源地斑块群。1 号斑块是研究区最大的生态源地, 西侧为石首市区, 北部及东侧为长江, 南部则为大面积的水域及耕地, 且距离 2 号源地较远, 因此难以同其他斑块构建重要生态廊道。从研究区全域来看, 生态源地和所构建的生态廊道集中于长江两岸和东南部桃花山, 而西南部藕池河沿岸有大面积森林分布, 但是地形因子的原因使得森林景观有断带情况, 大面积森林不能够形成相互作用强烈的森林景观组团, 导致全域范围的生态网络格局不够完善。因此将重力模型生成的廊道提取出来, 作为研究区生态网络的重要组成部分, 同时规划构建新的生态源地和廊道来完善区域生态网络。

表 6 基于重力模型的源地斑块间相互作用矩阵

斑块编号	1	2	3	4	6	7	9	10	11	12	13	25
1	0	14	6	5	41	85	11	8	11	4	5	50
2		0	7	5	5	6	5	3	5	5	7	5
3			0	313	3	3	58	30	65	153	743	3
4				0	3	3	31	17	33	2076	121	3
6					0	221	4	3	4	2	2	1947
7						0	5	4	5	2	2	466
9							0	933	2176	23	38	4
10								0	414	13	20	3

11									0	25	4	44
12										0	2	78
13											0	2
25												0

3. 4 生态网络优化

长江两岸造林绿化工程实施后石首市森林生态网络的西南部连通性较差，缺乏必要的网络连接，因此在网络规划中以藕塘河区域现有的森林资源为基础，综合考虑核心区斑块的空间分布，通过生态建设提升其生境质量，并根据斑块间的阻力值规划 20 条 30m 宽的短距离生态廊道，连通河流两岸破碎零散的森林景观资源，同时连通南口-绣林森组团；以石首市区南岳山森林公园的森林斑块为跳板，连通 7 号与 1 号源地斑块，并通过构建廊道使 1 号源地闭合，形成市域范围中部—西部—西南部的大型森林生态网络体系。规划廊道总长度为 16.17km，最长的单条廊道仅为 2.2km，是短期可实施的设计量。

采用网络闭合度(α)、线点率(β)、网络连接度(γ) 3 个网络结构指数评价构建网络的闭合度、连通性及复杂程度，各数值越大说明网络结构越完善、连通性越高。由表 7 可知，规划后的生态网络较规划前更完善，连通西南部森林核心区，廊道数量显著增加，而廊道结点增量较少，显著提高了研究区域内森林生态斑块的连接水平，增加森林网络连接的有效性和稳定性。

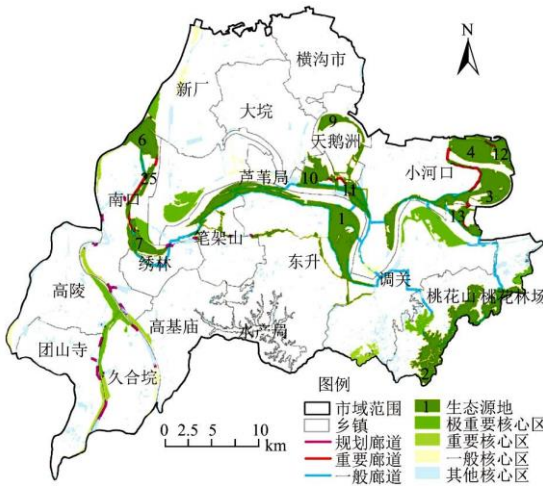


图 7 研究区生态网络规划图

表 7 连通性指数计算结果

指数	规划前	规划后
α	0.21	0.40
β	1.38	1.75
γ	0.47	0.59

4 结论与讨论

本文基于生态网络视角分析石首市实施长江两岸造林绿化工程前后森林景观及连通性,对工程实施后森林生态格局特征进行探讨,并就生态网络结构优化展开讨论。根据 MSPA 方法识别森林源地,分析森林景观特征及斑块质量;通过连通性指数反映森林生态廊道重要程度,利用结构指数分析森林网络空间结构;统计研究区廊道景观结构及网络分布情况,分析其森林格局特征及差异。研究结果表明:

(1)位于平原湖区石首市森林资源相对丰富,景观构成呈现两极分化,首先是以大型斑块为主,但是空间分布不均衡,市域范围北部、南部分布较少;其次是小型斑块破碎化,森林景观斑块边缘复杂,且斑块的周边支线少,难于与周边其他景观产生物质能量交流。

(2)长江两岸造林绿化工程的实施促进长江及其支流两岸沿江绿化断带合拢,森林景观资源呈现出大型斑块化,边缘复杂程度降低,斑块破碎化一定程度上缓解,加强了森林景观斑块间连通性,利于物种迁移与基因交流。

(3)工程实施后的源地生态廊道分布不均匀,主要集中于长江沿岸森林,全域范围的生态网络格局不够完善。通过生态网络规划,显著提高了研究区域内森林生态斑块的连接水平,增加森林网络连接的有效性和稳定性。

石首市林业生态建设探讨。长江在石首市域范围内自西北向东南穿流而过,对于森林生态网络来说是一道天然的屏障,生态网络结构可以长江为界,分江南、江北板块构建。通过景观连通性分析,发现长江两岸造林绿化工程实施前后市域范围森林景观格局的不合理之处,并通过设计生态廊道提质改善全域森林生态格局,为国土空间规划及 2021~2030 年全市林业发展规划提供支撑。江南区域以长江南岸沿线、藕池河两岸沿线、桃花山森林、南部上津湖以及完善后的农田林网可形成结构稳定、功能完善的山水林田湖复合生态网络格局。江北区域通过后续的长江两岸造林绿化可连通现有长江北岸沿线、天鹅洲、小河口镇森林,强化江北农田林网建设,可形成长江沿岸森林风光带和复合农田林网景观,以此发展生态旅游,践行乡村振兴行动。

本文在景观分析尺度上参考了多位学者的研究成果,并结合实际数据进行了多个分辨率的分析试验,同时平原湖区是以农业生产为主,分布大量农田林网,是研究区森林生态景观不可缺失的部分,30m×30m 空间分辨率在石首市域研究尺度上在 MSPA 环节会丢失较多信息,最终选择 10m×10m 进行 MSPA 景观分析以保证分析细节和数据量。本研究是基于形态学空间格局分析来讨论森林景观格局,讨论工程建设对区域森林景观格局影响,但由于平原湖区现有林地多为人工林,林分自我延展能力极弱,人力是影响森林分布的主要因素,因此在阻力面构建时基于自然更新原则选择地带性植被香樟作为研究服务对象,研究结果主要为林业主管部门下一步营造林工作提供参考。判定斑块的重要性是通过森林景观斑块规模及其与周边森林的连通性来判定,对于不同森林类型在空间分布上对应的生态服务功能差异,将在后期研究中加以探讨。长江两岸造林绿化工程背景下的石首市生态格局分析,本文仅以森林作为前景进行分析,在今后的研究中以山水林田湖草复合生态体系为主导,将综合森林、湿地、耕地及代表物种扩散能力进行生态格局相应特征分析研究。

参考文献:

- [1]徐伟平.洞庭湖生态系统功能分异及经济价值评估研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
- [2]韦惠兰,祁应军.森林生态系统服务功能价值评估与分析[J].北京林业大学学报,2016,38(2):74-82.
- [3]白立敏.基于景观格局视角的长春市城市生态韧性评价与优化研究[D].长春:东北师范大学,2019.
- [4]王健铭,张天汉,于琳倩,等.基于生态保护格局的长白山北部森林景观特征分析[J].北京林业大学学报,2015,37(5):70-

- [5]许峰,尹海伟,孔繁花,等.基于 MSPA 与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建[J].生态学报,2015,35(19):6425-6434.
- [6]殷炳超,何书言,李艺,等.基于陆海统筹的海岸带城市群生态网络构建方法及应用研究[J].生态学报,2018,38(12):4373-4382.
- [7]何建华,王春晓,刘殿锋,等.大城市边缘区土地利用变化对生境质量的影响评价——基于生态网络视角[J].长江流域资源与环境,2019,28(4):903-916.
- [8]陈江碧,樊亚明.国土空间规划背景下的城市绿色生态网络规划策略及实践[J].规划师,2020,36(8):56-60.
- [9]汤峰,王力,张蓬涛,等.基于生态保护红线和生态网络的县域生态安全格局构建[J].农业工程学报,2020,36(9):263-272.
- [10]李延顺,廖超明,段炼,等.滨海地区生态网络构建及其评估——以广西北海市为例[J].南宁师范大学学报(自然科学版),2020,37(3):90-98.
- [11]JONATHAN D C,MATTHEW R M,ROBERT C C.Identifying potential connectivity for an urban population of rattlesnakes (*Sistrurus catenatus*) in a Canadian park system[J].Land,2020,9(9):313.
- [12]RUSHDI A M A,HASSAN A K.Reliability of migration between habitat patches with heterogeneous ecological corridors-ScienceDirect[J].Ecological Modelling,2015,304:1-10.
- [13]吴晶晶,栗云召,高猛,等.四种河流水系阻力下的黄河三角洲湿地生态网络构建及对比研究[J].湿地科学,2018,16(4):493-501.
- [14]SANTIAGO S,CHRISTINE E,CORALIE M,et al.Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990-2000)[J].Ecological Indicators,2011,11(2):407-416.
- [15]何建华,潘越,刘殿锋.生态网络视角下武汉市湿地生态格局分析[J].生态学报,2020,40(11):3590-3601.
- [16]周婷.基于 MSPA 的生态园林城市绿地变化及建设策略研究[D].武汉:华中科技大学,2019.
- [17]卓蓉蓉,余斌,曾菊新,等.中国重点农区乡村地域功能演变及其影响机理——以江汉平原为例[J].地理科学进展,2020,39(1):56-68.
- [18]李放,邓华锋.基于主成分分析的森林景观格局研究[J].中南林业科技大学学报,2020,40(3):71-78.
- [19]于亚平,尹海伟,孔繁花,等.南京市绿色基础设施网络格局与连通性分析的尺度效应[J].应用生态学报,2016,27(7):2119-2127.

-
- [20]VOGT P,FERRARI J R,LOOKINGBILL T R,et al.Mapping functional connectivity[J].Ecological Indicators,2009,9(1):64-71.
- [21]SOILLE P,VOGT P.Morphological segmentation of binary patterns[J].Pattern Recognition Letters,2009,30(4):456-459.
- [22]张豆,渠丽萍,张桀滢.基于生态供需视角的生态安全格局构建与优化——以长三角地区为例[J].生态学报,2019,39(20):7525-7537.
- [23]史娜娜,韩煜,王琦,等.青海省保护地生态网络构建与优化[J].生态学杂志,2018,37(6):1910-1916.
- [24]贺丹,陈彩虹,余济云,等.基于生态阻力面综合构建法的三亚市景观格局分析[J].中南林业科技大学学报,2017,37(6):83-88.
- [25]陈春娣,吴胜军,Meurk Colin Douglas,等.阻力赋值对景观连接模拟的影响[J].生态学报,2015,35(22):7367-7376.
- [26]朱军,李益敏,余艳红.基于GIS的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究——以星云湖流域为例[J].长江流域资源与环境,2017,26(8):1237-1250.
- [27]KONG F,YIN H,NAKAGOSHI N,et al.Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling[J].Landscape & Urban Planning,2010,95(1-2):16-27.
- [28]牛晓栋,刘晓静,刘世荣,等.亚热带-暖温带过渡区天然栎林的能量平衡特征[J].生态学报,2018,38(18):6701-6711.