

# 基于 Linkage Mapped 模型亚洲象栖息地生态构建修复研究

宗发荣

云南省普洱市江城县林业和草原局, 云南 普洱 665099

DOI: 10.61369/EAE.2025010013

**摘要 :** 本研究基于 MaxEnt 模型的模拟预测结果, 结合电路理论, 构建了江城县亚洲象栖息地的生态安全格局。首先, 依据 MaxEnt 模型的结果, 确定了江城县亚洲象栖息地的生态源地, 识别出破碎化生境斑块。其次, 利用地形数据和土地利用类型等环境信息, 构建了研究区的最小阻力面, 并结合电路理论, 识别出了最小成本路径, 进而获得了生态廊道。最后, 通过电路理论中的网络流模型, 将生态系统中的节点及其连接关系抽象为电路中的节点和电阻, 采用电路模型分析了生态系统的连通性和流动性, 为江城县亚洲象生态网络安全格局的构建提供了理论依据和方法支持。

**关键词 :** linkage mappe 模型; 亚洲象; 生态修复; 栖息环境

## Study on Ecological Construction and Restoration of Asian Elephant Habitat Based on Linkage Mapped Model

Zong Farong

Jiangcheng County Forestry and Grassland Bureau, Pu'er City, Yunnan Province, Pu'er, Yunnan 665099

**Abstract :** This study, based on the simulation predictions from the MaxEnt model and incorporating circuit theory, constructed the ecological security pattern of the Asian elephant habitat in Jiangcheng County. First, using the results from the MaxEnt model, the study identified the ecological sources of the Asian elephant habitat in Jiangcheng County and recognized fragmented habitat patches. Next, by utilizing environmental information such as topographic data and land use types, the study constructed the minimum resistance surface of the study area. Combining this with circuit theory, the study identified the minimum cost path, thereby establishing the ecological corridor. Finally, using the network flow model from circuit theory, the nodes and their connections in the ecosystem were abstracted into nodes and resistors in a circuit. The circuit model was used to analyze the connectivity and mobility of the ecosystem, providing theoretical support and methodological guidance for the construction of the ecological security pattern of the Asian elephant in Jiangcheng County.

**Keywords :** linkage map model; Asian elephant; ecological restoration; habitat environment

亚洲象是热带森林生态系统中最具代表性的旗舰种和伞护种, 保护亚洲象及其栖息地, 对于区域生态系统及生物多样性保护具有重要意义, 同时也有助于树立亚洲象保护的典范<sup>[1]</sup>。近年来, 由于土地利用变化、交通基础设施和水利建设等人类活动的影响, 亚洲象栖息地遭遇严重的破碎化, 一些地区甚至出现岛屿化现象, 天然生态廊道逐渐消失, 导致多个种群之间的交流受阻, 给亚洲象的保护带来了巨大挑战。因此, 确定亚洲象栖息地破碎化区域之间的生态廊道至关重要<sup>[2]</sup>。研究表明, 与孤立的栖息地斑块相比, 通过廊道连接的栖息地能够保留更多的本地物种, 且这种效应会随着时间推移而得到增强<sup>[3]</sup>。因此, 为了提升潜在廊道区域栖息地的连续性和整体性, 缓解栖息地碎片化问题是必要的, 这不仅有助于保护亚洲象的栖息环境, 也强调了亚洲象保护和管理的迫切性。

### 一、研究区基本概况

#### (一) 江城县地理位置

江城县位于云南省南部, 地理坐标为北纬 22° 20' N 至 22° 56' N、东经 101° 14' E 至 102° 19' E, 东西横距 112

km, 南北纵距 64 km, 总面积 3544.38 km<sup>2</sup>。江城与越南的奠边省、莱州省和老挝的丰沙里省接壤, 拥有 183 km 的国境线, 独特的地理位置使其成为“一县连三国、一县接三州市”的重要交界点<sup>[4]</sup>。自然资源方面, 江城森林覆盖率达 68.83%, 森林蓄积丰富, 此外还拥有丰富的草原、湿地资源和生物多样性, 栖息着多

作者简介: 宗发荣 (1997.09—), 男, 哈尼族, 云南江城, 大学专科, 专技九级, 从事林草有害生物防治。

种珍稀动植物，如亚洲象、熊、猴、麂子等，以及多种国家级保护植物<sup>[5]</sup>。江城的“立体气候”和“立体生态”特征，使其成为重要的生态保护区和生物多样性的宝贵资源地<sup>[6]</sup>。



## (二) 江城县亚洲象种群现状

江城县是我国的亚洲象的一个重要分布区域<sup>[7-8]</sup>。自2011年首次有记录显示一群亚洲象进入该地区以来，种群数量持续增加。2011年，18头亚洲象首次从景洪市进入江城县，并在整董镇的滑石板村一带活动。至2014年，种群数量增加到59头，主要分布在整董镇。2015年，亚洲象进一步向西北扩展，进入江城县康平镇，并频繁在整董镇、康平镇、思茅区倚象镇和西双版纳勐旺乡之间活动。至2024年，江城县的亚洲象种群稳定在55头，主要栖息在康平镇和整董镇的范围内，同时种群数量逐年增加，监测数据显示每年都有新生象。亚洲象的活动范围不断扩展，除江城县外，还扩展到宁洱县、景谷县等地，整体扩散趋势向北<sup>[9]</sup>。

年份	野生亚洲象数量 / 头	
	普洱市	江城县
2011-2012	55	18
2013	45	28
2014	59	43
2015	约106	52
2016	108	38
2017	137	53
2018	137	44
2019	137	47
2020	181	47
2021	127	51
2022	181	53
2023	181	50
2024	181	55

## 二、数据来源与方法

亚洲象分布数据由江城县林业草原局提供，土地利用 LULC (Land Use) 数据为全国土地利用类型遥感监测空间分布数据。DEM数据来源于ALOS，并利用 ArcGIS 软件表面分析模块

提取坡度数据。归一化植被指数 (NDVI) 数据源自资源环境科学数据注册与出版系统。水系、道路数据来源于 OSM 数据 (OpenStreetMap) 开放街区地图 (<https://www.openstreetmap.org/>)，并利用 ArcGIS 软件欧氏距离分析模型计算出象群活动位点距河流、道路的距离。植被类型数据来源于地理遥感生态网科学数据注册与出版系统 ([www.gisrs.cn](http://www.gisrs.cn))。降水 and 气温数据由中国科学院成都山地灾害与环境研究所提供。居民点数据来源于国家统计局，并利用 ArcGIS 软件欧氏距离分析模块计算出象群活动位点距居民点的距离。

本研究采用 Linkage Mapper 工具包进行基因型数据分析，探索物种间的遗传连锁关系及物种流动模式。通过遗传连锁分析，揭示物种之间的遗传联系程度，推断物种间的遗传交流路径，从而构建生态网络和生态廊道，促进物种迁徙和基因交流，提升生态系统连通性与稳定性。此外，Linkage Mapper 支持多种数据格式，适用于不同生态系统的研究，提供高效的数据分析平台。

### (一) 生态源地的确定

生态廊道作为带状景观结构存在于生态源地之间，可通过景观连通性等指标衡量其优劣<sup>[10-12]</sup>。因此，在研究江城县亚洲象潜在生态廊道构建时，需要明确生态源，即象群可扩散的栖息地或迁移休息点。进一步通过该生态源地的适宜度反应在目标斑块直接的阻力面及阻力系数等，进一步构建江城县亚洲象潜在生态廊道。依据 MaxEnt 模型模拟预测的亚洲象生境适宜性以及亚洲象活动范围区间为基础，利用 ArcGIS 10.8 软件提取最佳栖息地和适宜栖息地中所有斑块，并剔除栖息地面积小于 0.5 km<sup>2</sup> 的栖息地斑块，将其他生境斑块作为亚洲象生态廊道的源地斑块。

### (二) 生态廊道识别

生态廊道作为生态源地之间的关键连接通道，由多种要素共同构成。其构建旨在缓解栖息地破碎化所带来的负面影响，增强不同栖息地之间的连通性。这一构建对于物种迁徙、物质能量交换以及生物多样性保护等方面均具有至关重要的意义。本章将基于 MCR 和 Linkage Mapper 方法进行廊道的识别研究。

迁移扩散的最小成本路径 (Least-cost path method, LCP)，也被称为生态廊道路径。本研究利用 Linkage Pathways Tool 工具，输入了江城县亚洲象的生态源地和综合阻力面数据，计算出亚洲象在源地间迁徙时所克服的累积阻力值。在本章中，将生态走廊的成本加权距离阈值设定为 20000。

## 三、结果与分析

### (一) 最小累积阻力面构建

基于研究区的各类因子特征及相关研究成果，归纳得出各种阻力等级对应的数值。随后，运用主成分分析法确定了各因子的权重。最后借助 ArcGIS 软件中的栅格计算器，得出研究区的综合生态阻力值，该值相对较高，达到 19 以上。高阻力区主要分布在农田、耕地、建设用地等人类活动密集的区域，受土地利用和人为干扰影响较大，限制了物种在不同区域间的扩散与迁徙。相反，低阻力区主要分布在人类活动以外的林地等资源丰富的

区域。

## （二）生态源地分级

本研究采用 MaxEnt 生态位模型构建生态源并将结果按自然间断点分级法分为三级：三级源地（最重要）、二级源地（较重要）和一级源地（重要）。普洱市江城县生态源地如图 2 所示，普洱市江城县总共有 27 个生态源地，生态源地总面积约为 437.42 km<sup>2</sup>，空间上呈现西部和中部集聚成片、东部和北部零散稀疏的分布格局，其中江城县东部的大叔脚村、曼老街村、曼克老村和营盘山村所在的生态源地面积最广，达到 146.77 km<sup>2</sup>，占生态源地面积的 34%

从生态源地面积来看，江城县一级源地面积占源地总面积的 11.03%，主要分布在研究区中部的水城村、良马河村、板河村和江边村等地。二级源地面积占源地总面积的 71.03%，主要分布在研究区的东部、北部和西部，分布较为零散稀疏。三级源地面积占源地总面积的 18.23%，主要分布在研究区的西南部，以整董村和滑石板村为代表。面积较大的源地多组团分布在研究区中东部、西部和中部低阻力处，而二级源地多零散分布在北部且面积较小，这表明江城县整体生态环境其他地区优于北部，尤其是中部和西部能够为生物提供更加稳定且空间连续性更强的栖息环境。

## （三）生态廊道分析

Linkage Mapper 是用于支撑野生动物栖息地连通性的工具。识别结果表明，江城县生态廊道分布受源地分布、地形起伏等因素影响，整体呈东部密集、西部和北部稀疏的蜘蛛网状。廊道主要分布在地形平坦的生态用地及地形起伏较小的低阻力值区域。研究区内共识别出 58 条生态廊道。为深入分析这些生态廊道对区域亚洲象适宜生境连通性的贡献，根据各廊道的 CFC 值，运用自然断点法将其划分为三个等级。

从生态廊道的分级情况来看，康平乡和整董镇的三级生态廊

道数量相对较少，且其长度也最短，而一级和二级廊道的长度则呈现出逐渐增加的趋势。这一现象暗示着，较短的生态廊道可能具备更高的连通效率。相比之下，曲水乡和勐烈镇的三级生态廊道则相对较长，特别是勐烈镇，其一级和二级廊道的数量最为丰富。这一现象的原因可能在于，该区域的生态源地破碎化程度较高，且不同生态源地之间的距离相对较远。对于较长的生态廊道，应着重加强其维护工作，优化廊道的结构和植被配置，以消除潜在的亚洲象迁徙障碍。在空间分布上，三级廊道主要扮演着连接重要生态源地的角色，对于提升区域内亚洲象适宜栖息地的连通性具有重要意义。因此，确保三级生态廊道的完整性至关重要。与此同时，也应关注其他等级廊道的状况，通过改善和优化，增加研究区内亚洲象迁徙路径的多样性。

## 四、结论

基于的研究结论，提出以下保护建议的内容，以促进江城县亚洲象栖息地的有效保护和管理：（1）生态保护区划定：根据生态源地和廊道分析结果，建议在西部和中部地区设立重点生态保护区，重点加强对一级源地和二级廊道的保护，并制定相应的管理措施。（2）生态环境修复：针对生态夹点和生态障碍点，制定生态环境修复方案，通过绿化、植被恢复等方式增强区域生态连通性，改善亚洲象栖息地的质量和完整性。（3）科学监测与评估：建立健全的生态监测网络，定期对亚洲象栖息地的环境变化进行监测与评估，及时发现问题并采取相应措施。（4）社区参与与教育宣传：加强与当地社区的合作，提高社区居民对亚洲象保护的认知和参与度，推动保护工作的落实。（5）持续优化与更新：随着数据的不断积累和模型的进一步优化，持续改进预测模型，提高预测的准确性和可靠性，以更好地支持亚洲象栖息地的保护和管理。

## 参考文献

- [1] 吴得卿, 魏建华, 樊辉. 南滚河流域土地利用变化对亚洲象生境的影响 [J]. 生态学报, 2021, 41(16): 6476-6485.
- [2] 肖洒. 普洱地区亚洲象肇事特点及损失情况分析 [D]. 北京林业大学, 2015.
- [3] 唐建文. 基于 ArcGIS 和 MCR 模型的略阳县生态廊道分析 [J]. 测绘技术装备, 2023, 25(02): 27-30.
- [4] 陈鹏, 张劲峰, 候云苹, 等. ITTO 项目江城试验示范点社会经济效益初步评价 [J]. 林业经济问题, 2003(6): 323-327.
- [5] 周园芳. 江城县西南桦苗木培育现状 [J]. 思茅师范高等专科学校学报, 2012, 28(06): 19-21.
- [6] 朱霜, 胥永明. 边疆民族地区农村反假币工作存在的问题及对策以思茅市江城县为案例 [J]. 时代金融, 2006, (12): 148-149.
- [7] 黄元, 谭德安, 白梁芳, 等. 思茅至江城拟建高速公路沿线亚洲象栖息地适宜性分析 [J]. 林业建设, 2019(06): 67-73.
- [8] 郭春祥, 卢磊. 一起“象”往普洱 [N]. 普洱日报, 2022-08-09(001).
- [9] Zhang L., Li C., Yue C., et al. Habitat Suitability Evaluation and Ecological Corridor Construction for Asian Elephants: The Case of Jiangcheng, a New Range for Elephants in Southwestern China [J]. Forests, 2024, 15(7): 1195-1195.
- [10] 王晓峰, 朱梦娜, 张欣蓉, 等. 基于“源地-阻力-廊道”的三江源区生态安全格局构建 [J/OL]. 生态学报, 2024, (11): 1-15 [2024-03-26].
- [11] 徐冬梅, 彭建, 董建权. 基于空间连续小波变换和电路模型的宁夏沿黄城市带生态安全格局构建 [J/OL]. 生态学报, 2024, (09): 1-12 [2024-03-26].
- [12] 王真真. 基于电路理论的曹县生态安全格局构建研究 [D]. 山东农业大学, 2023. DOI: 10.27277/d.cnki.gsdnu.2023.000456.