

DOI: 10.5846/stxb201408191641

张宇, 李丽, 吴巩胜, 周跃, 覃顺萍, 王小明. 基于生境斑块的滇金丝猴景观连接度分析. 生态学报, 2016, 36(1): - .

Zhang Y, Li L, Wu G S, Zhou Y, Qin S P, Wang X M. Analysis of landscape connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) based on habitat patches. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(1): - .

基于生境斑块的滇金丝猴景观连接度分析

张 宇^{1,2}, 李 丽^{2,*}, 吴巩胜², 周 跃², 覃顺萍³, 王小明²

1 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 650500

2 云南财经大学野生动植物管理与生态系统健康研究中心, 云南 650221

3 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 650500

摘要: 本文基于生境斑块, 结合最小费用距离并运用图论法对滇金丝猴分布区进行栖息地连接度分析, 研究利用猴群的现实分布结合 Logistic 回归模型确定了景观功能连接的最佳距离阈值, 对于功能畅通的组分, 以景观指数 BC 定量识别出作为“踏脚石”的优先保护区域; 对于功能不连接的组分, 绘制出最小费用路径, 确定了该路径中优先恢复区域。结果表明: 最佳的最小费用距离阈值为 1400, 该阈值下猴群主要存在于 5 个组分中, 所有组分中猴群间的连接度优劣排序为组分 3>组分 1>组分 5>组分 4, 龙马山猴群(G15)没有“踏脚石”斑块使其与同一组分内的其他猴群相连接, 应考虑优先恢复该区域的植被, 本文的研究成果对于该物种的保护和其他濒危物种的类似研究具有较强的参考价值和借鉴意义。

关键词: 滇金丝猴; 景观连接度; 最小费用距离; 阈值

Analysis of landscape connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) based on habitat patches

ZHANG Yu^{1,2}, LI Li^{2,*}, WU Gongsheng², ZHOU Yue², QIN Shunping³, WANG Xiaoming²

1 Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China

2 Wildlife Management and Ecosystem Health center, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

3 Tourist and Geography Department, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

Abstract: Habitat fragmentation is a major cause of biodiversity loss; it impedes gene flow between populations and interrupts the network of habitat patches. Populations are faced with a high risk of extinction owing to their small and isolated habitat patches. The maintenance of landscape connectivity can promote population movement between habitat patches, and this is extremely important to maintain gene flow and biological dispersal in fragmented landscapes. Using current habitat patches, the least-cost distance method and graph theory were implemented to study the habitat connectivity across the distribution of the Yunnan snub-nosed monkeys, and the optimal distance threshold of landscape functional connectivity was identified. Priority protected areas referred to as “stepping stones” were quantitatively identified based on highly connected functional components. The least-cost path was estimated to determine restoration priority areas for less connected functional components. This study had the following aims: (1) to explore new methods for identifying the optimal distance threshold, (2) to analyze the connectivity between monkey groups, and (3) to quantitatively analyze priority protected areas among monkey groups. The best resistance assignment for each habitat type was determined by a landscape genetics approach that combines the relationship between the least-cost-distance and gene flow, and reflects the promotion and impediment of the landscape matrix on species movement. The optimal threshold distance of least cost comprehensively

基金项目: 国家自然科学基金项目(31100351)

收稿日期: 2014-08-19; 修订日期: 2014-11-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lilyzs@gmail.com

reflected landscape features and species distribution characteristics; it incorporated the habitat area of each connected component into the monkey distribution. The priority conservation area was quantified using the landscape index. Based on the results, the optimal threshold distance of least cost was 1400 cost units. Monkey groups were mainly classified into five components that did not exceed this threshold, and the connectivity scores for monkey groups within components was Component3 > Component1 > Component5 > Component4. "Stepping-stone" patches do not exist in the Longma mountain group, resulting in a disconnect between that group and other monkey groups. This connection should first be restored. The results of this study can facilitate the protection of this and other species.

Key Words: Yunnan snub-nosed monkey; landscape connectivity; least-cost distance; threshold

生境破碎化是生物多样性丧失的主要原因之一^[1],破碎化的增加致使生境斑块间连接丧失,导致种群间基因交流困难、连接网络中断,种群只能存活于面积小且隔离的生境斑块中,长期以往物种将面临基因多样性丧失和高灭绝的风险^[2-3]。景观连接度的保持可促进种群在破碎生境间的移动,对基因流动和扩散等景观过程极其重要^[4-5],在景观连接度的研究中,通过运用景观遗传学关联基因流构型与景观结构,可评估景观对物种运动的促进程度^[6]。

景观连接度指景观促进或阻碍生物体或某种生态过程在源斑块间运动的程度^[5],可分为结构连接度和功能连接度。结构连接度仅反映土地覆盖类型在景观中的空间连续性,而功能连接度结合结构连接度与物种特性,可以预测物种在景观中的连接度或通过观察物种在景观中的运动情况来反映景观的真实连接,即潜在连接度和真实连接度^[5,7]。景观连接度的度量方法可归纳为最邻近距离法、空间格局指数法、尺度-面积比法、图论法、缓冲半径和关联函数模型法、观察迁入/迁出或扩散率法^[8],其中图论法被认为是高性价比的方法^[5],其在景观连接度研究中的应用受到越来越多人的青睐^[4]。

图论法 Graph theory(也称为网络分析 network analysis)借助 GIS 软件平台,利用直观的空间生境数据并结合物种的扩散行为,能很好的预测景观潜在功能的连接度^[5]。基于图论法进行研究,首先要明确节点(Node)与链接(Link),节点指针对某一物种的生境斑块,连接节点的景观元素为链接。链接的表示方式主要有欧式距离和最小费用距离,欧式距离确定的是生境斑块间最近的线路,但未考虑到生物体在生境斑块间及景观基质中的适宜性或渗透性^[9];最小费用距离则是基于生物体通过不同景观单元时的阻力系数来计算的最小费用线路,其本身就是功能连接的度量^[5]。其次,为分析景观连接度,将一组连接的节点划分为一个组分(Component),通常使用距离阈值来确定组分,当节点间链接的距离小于阈值时,便形成许多互不连接的组分,当所有节点间链接距离都大于阈值时,景观整体构成一个组分。最佳距离阈值能最优地反映节点的实际连接状况,可作为廊道建立与恢复的依据。目前该值的确定方法较为单一,一般采用景观连接度指数法^[10-12],该方法主观性较强且反映的是景观整体的连接度,不能代表一个功能连接区内的连接度的状况。本文基于最小费用距离阈值下组分的生境总面积与物种分布的关系探索定量识别最佳阈值的新方法。在该方法中,运用了景观遗传学得到最佳费用赋值^[13],并结合功能连接区的生境面积,确定优先保护区和优先恢复区,丰富了景观遗传学在景观规划中的应用。

滇金丝猴作为我国特有的珍惜濒危物种之一,景观研究多集中于云南境内,主要分析了景观格局对猴群分布的影响、基因流与景观连接度的关系^[13-14],并识别了猴群潜在扩散廊道中的重点保护区域,这些研究在识别重点保护区域中多是基于专家知识与野外调查的方法进行主观划分,在理论的量化方法上缺少深入研究。本文在以往研究基础上,基于生境斑块并结合最小费用距离模型对整个滇金丝猴分布区栖息地的连接度进行分析,运用 Graphab1.2 软件^[15],计算获得景观连接指数 Betweenness Centrality index(BC)^[16]去量化识别优先保护区域。Graphab1.2 是一款应用景观地图进行生态网络建模的软件,具有创建景观连接地图、计算连接度指数、分析连接度指数对物种分布的影响等功能,并拥有制图接口,本文首次将其引入并应用于滇金丝猴生境斑块的景观连接度研究中,旨在探讨以下 3 个问题:(1)探索识别最佳距离阈值的新方法;(2)分析猴群

间连接度的情况;(3)基于以上基础,定量分析猴群间优先保护区,为景观连接度的恢复提供参考,也为其他物种的类似保护研究提供参考。

1 研究区域与种群

滇金丝猴是我国特有的珍稀濒危物种之一,也是海拔分布最高的非人灵长类。滇金丝猴自然种群仅存 15 个,约 2500 只^[17]。该物种栖息地位于三江并流区域,分布范围东西界为金沙江和澜沧江,分布最北的猴群纬度为 29°20'N,最南的一个猴群分布纬度为 26°14'N,即分布于云南的德钦、维西、兰坪、丽江和西藏的芒康 5 县境内,其栖息地相互处于分离状态,成岛屿状分布^[14,18,19]。本研究涵盖了所有滇金丝猴分布区域(图 1),填补了以往西藏境内滇金丝猴生境景观研究的空白。

表 1 滇金丝猴种群和栖息地^[17]
Table 1 Population and habitat of Yunnan snub-nosed monkey^[17]

猴群 Group	猴群栖息地 Habitat	种群数量 Number	活动范围 Group range/km ²
G1	执娜	50	24.2
G2	小昌都	>200	47.3
G3	米拉卡	100	10.7
G4	巴美	80	117.6
G5	吾牙普牙	>300	180.4
G6	茨卡通	50	61.9
G7	弄资河头、巴迪河头、归龙	100	208.4
G8	同洛河头、施坝	200	131.6
G9	格花箐、响古箐	>900	82.9
G10	大草坝各玛、巴保河头、仙人洞	30	36.4
G11	金丝厂	250	41.5
G12	大坪子	<50	41.0
G13	长岩山	120	22.7
G14	拉沙山	100	16.5
G15	龙马山	>100	14.8

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究区域植被图由云南林业调查设计院提供的 2012 年卫星遥感影像图,以 1:50000 比例尺水系图和数字高程模型(DEM)作为参考的控制影像,在 ERDAS9.2 中对整景影像进行了几何精校正,均方根误差(RMS) < 1,植被图满足研究精度要求。滇金丝猴活动范围来自龙勇诚 2004—2009 年调查数据^[17]。

2.2 研究方法

本研究首先定义节点与链接;其次根据已有的研究结果^[13]确定最佳的最小费用距离阈值,根据该阈值将滇金丝猴分布区划分为不同组分,并分析同一组分内猴群间的连接度状况;运用 Graphab1.2 软件计算景观连接指数 BC 以进行组分内优先保护区的分析。

2.2.1 节点与链接

由于研究区域内植被种类较多,为了分析的准确性,本研究结合《云南植被》分类体系和滇金丝猴生境相关文献^[18,20-28],将研究区域土地覆盖类型重新划分为 5 类(表 2),在本文的研究中,最适宜生境即节点,其余均为基质。相比欧式距离,费用距离不仅能更好的反映景观中的障碍,且其本身就是功能链接的度量^[5],故本研究使用最小费用距离来表示链接。各生境类型的最小费用赋值是根据种群间最小费用距离与基因流的关系得到的最佳阻力赋值^[13]。

表 2 生境类型、土地覆盖类型及最小费用值
Table 2 Habitat type ,land cover type and least cost

生境类型 Habitat type	土地覆盖类型 ^[18,20-24,25-28] Land cover type	最小费用值 Least Cost
最适宜生境 Optimal habitat	云冷杉林、华山松、铁杉、箭竹林、针叶阔叶混交林	1
次适宜生境 Suboptimal habitat	硬叶常绿阔叶林、主要灌木类型	10
适宜生境 Suitable habitat	阔叶林、温凉性针叶林	70
不适宜生境 Unfavorable habitat	云南松林、荒山荒地、裸露土地	90
阻碍 Barrier	积雪、水体、农牧地、人工建筑、人工经济林、主要道路	100

2.2.2 组分的确定及分析

为确定滇金丝猴群间的连接状况,需要通过最佳的最小费用距离阈值将景观中的斑块划分为不同组分,同一组分的斑块间最小费用距离小于或等于阈值,即同一组分内的生境斑块是功能连接的,而不同组分间功能不连接^[11]。

本研究基于猴群的现实分布情况结合 Logistic 回归模型选取最佳的最小费用距离阈值。在 Logistic 回归模型中将组分存在猴群与否作为因变量,系列最小费用距离阈值下组分的生境总面积作为自变量进行 Logistic 回归分析,所得结果是猴群在该区域的出现概率。该方法结合景观特征与猴群分布特征,能更好地反映猴群间连接状况。模型评价及拟合优度检验采用模型的 R^2 和 AIC(Akaike Index Criterion) 进行评价,满足物种家域面积^[17]的需要(表 1)、 R^2 高且 ΔAIC_c 小于 2 的模型即最优模型^[23],Logistic 回归分析在 R 3.1 软件下完成。

在最佳的最小费用距离阈值下,通过计算同一组分内猴群间的最小费用距离,定量识别组分内猴群间连接度的状况。

2.2.3 优先保护区域的识别

猴群在同一组分内的迁移扩散易于在不同组分间的迁移扩散,优先保护区域即对同一组分内猴群间连接起重要作用的区域,若该区域缺失会切断猴群间潜在扩散廊道,保护该区域是保证猴群基因交流的基础。

组分内优先保护区域的识别采用最佳的最小费用距离阈值下景观连接指数 BC。BC_i指经过斑块 i 的所有斑块对间最短路径的总和,即当移动在斑块对间进行时,斑块 i 作为中间“踏脚石”(stepping stone)的程度。BC 值高的斑块意味着他们是整个景观的支撑,因为这类斑块位于景观大多数的最短路径上^[16]。

$$BC_i = \sum_j \sum_k a_j^\beta a_k^\beta e^{-\alpha d_{jk}}$$

(1)

式中 $j, k \in \{1, 2, 3 \cdots n\}$, $k < j, i \in P_{jk}$ 。n 为景观中斑块数, a_j 、 a_k 分别为斑块 j 和 k 的面积, P_{jk} 代表由斑块 j 与斑块 k 之间最短路径所穿过的所有斑块。BC_i 最小值为 0, 即斑块 i 未处于任何斑块间的最短路径上; 最大值为生境总面积的平方。BC 的计算在软件 Graphab1.2^[15] 中完成。

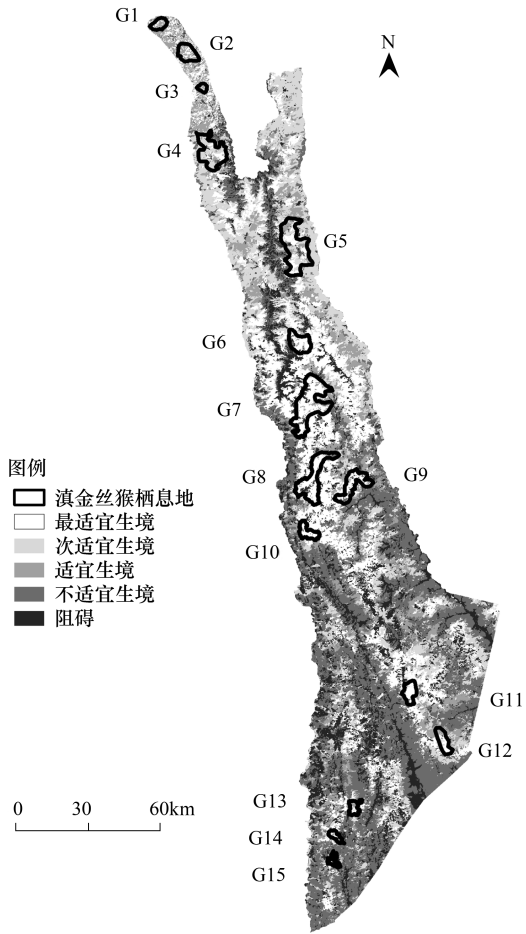


图 1 研究区域及猴群栖息地
Fig.1 Study Area and habitat of Yunnan snub-nosed monkey

2.2.4 优先恢复区域的确定

不同组分间由于功能连接被中断,猴群间交流困难,故绘制出猴群间的最小费用路径,以确定该路径中的优先恢复区域,为廊道的建立与植被的恢复提供参考。以上组分的划分、景观连接指数的计算、最小费用路径的绘制均在 Graphab1.2 中完成,其余处理在 ARCGIS10.1 中完成。

3 结果与分析

3.1 组分的确定

随最小费用距离阈值的增加,猴群存在与否与组分生境总面积的 Logistic 回归模型 R^2 变化趋势显示(图 2),最小费用距离在 0—900 范围内 R^2 呈上升趋势,900—1700 基本保持不变,说明 900—1700 最小费用阈值的模型解释力最好。为确定最佳的最小费用距离阈值,对 900—1700 的模型进行 AIC 准则检验(表 3),最终选择 1400 作为最佳的最小费用距离阈值($\Delta AIC_c = 0.58, R^2 = 0.69$)。

在最小费用距离阈值 1400 下,猴群 G1—G4、G5—G10、G11—G12、G13—G14、G15 分别存在于一个组分中,将猴群作为 5 个管理单元进行分析[17],猴群被重新划入 5 个组分中(图 4)。

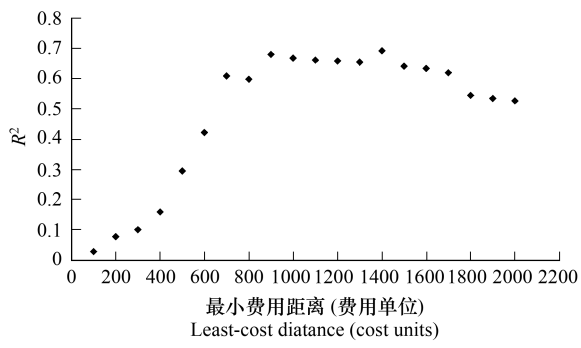


图 2 模型 R^2 随最小费用距离变化趋势
Fig.2 The trend of R^2 with the least cost distance

表 3 Logistical 回归模型的 AIC 检验
Table 3 AIC test of logistical regression model

模型 Model ^a	LL	AIC _c	ΔAIC_c	AIC _c weights
1700	-5.81	15.70	0.00	0.19
1600	-5.82	15.72	0.02	0.19
1500	-5.85	15.77	0.06	0.19
1400	-6.10	16.28	0.58	0.15
1300	-6.98	18.03	2.32	0.06
1200	-6.98	18.03	2.33	0.06
1100	-7.11	18.29	2.59	0.05
1000	-7.11	18.29	2.59	0.05
900	-7.13	18.33	2.63	0.05

^a指模型中组分的面积经 log10 变换过;LL 为对数似然值,LL 大表示模型精确;在样本小的情况下,AIC 转变为 AIC_c(二阶赤池信息量准则,Second-order Akaike information criteria)用于评价模型的优良,小于 2 的模型即最优模型;AIC_c weight(赤池权重)用于评价相关变量的重要性

3.2 组分内连接度分析

所有组分中猴群间的连接度优劣排序为 C3>C1>C5>C4,平均最小费用距离分别为 498、1479、1820、2240。组分 C3 中猴群主要分布在最适宜生境内,猴群间基本不受人为干扰阻碍,连接度是所有组分中最好的;组分 C1 猴群间最适宜生境多为破碎化的小斑块,但人为干扰在该区域较少;组分 C5 中,猴群 G13 与 G14 连接较好,最小费用距离为 870,但 G15 距最近的 G14 最小费用距离也达到 3626,扩散通道被人工植被所阻碍^[14];组分 C4 中,两个猴群的最小费用距离是 2240,其扩散通道受人为干扰影响严重。综上所述,组分内猴群间的连接度最优为中部地区,其次是北部,最差为南部。南部地区人为干扰分布广、强度大,猴群迁移扩散困难,是重点保护及恢复区域。

3.3 组分内优先保护区域分析

由于 G15 费用距离阈值 5000 时才与 G13、G14 形成同一组分,故组分 C5 计算最小费用距离阈值 5000 时

节点的 BC,组分 C1—C4 计算适合费用距离阈值 1400 的 BC,删除 BC 为 0 的所有节点及与其相连的所有链接,余下的节点与链接使用自然断点法分级。结果见图 3,组分 C1 中猴群间斑块破碎化严重,斑块的 BC 值普遍较低,G3 所在斑块对整个组分的连接起关键作用;组分 C3 猴群所在区域不仅是连接较好的区域,同时也是连接其他斑块的重要区域;组分 C4 中识别出连接两个猴群的关键“踏脚石”斑块,应保障该区域不受西侧不适宜区域扩张影响;在组分 C5 内,猴群 G15 处于孤立状态,中间未有生境斑块可以充当“踏脚石”使其与 G14 相连接,应尽快恢复该区域植被。

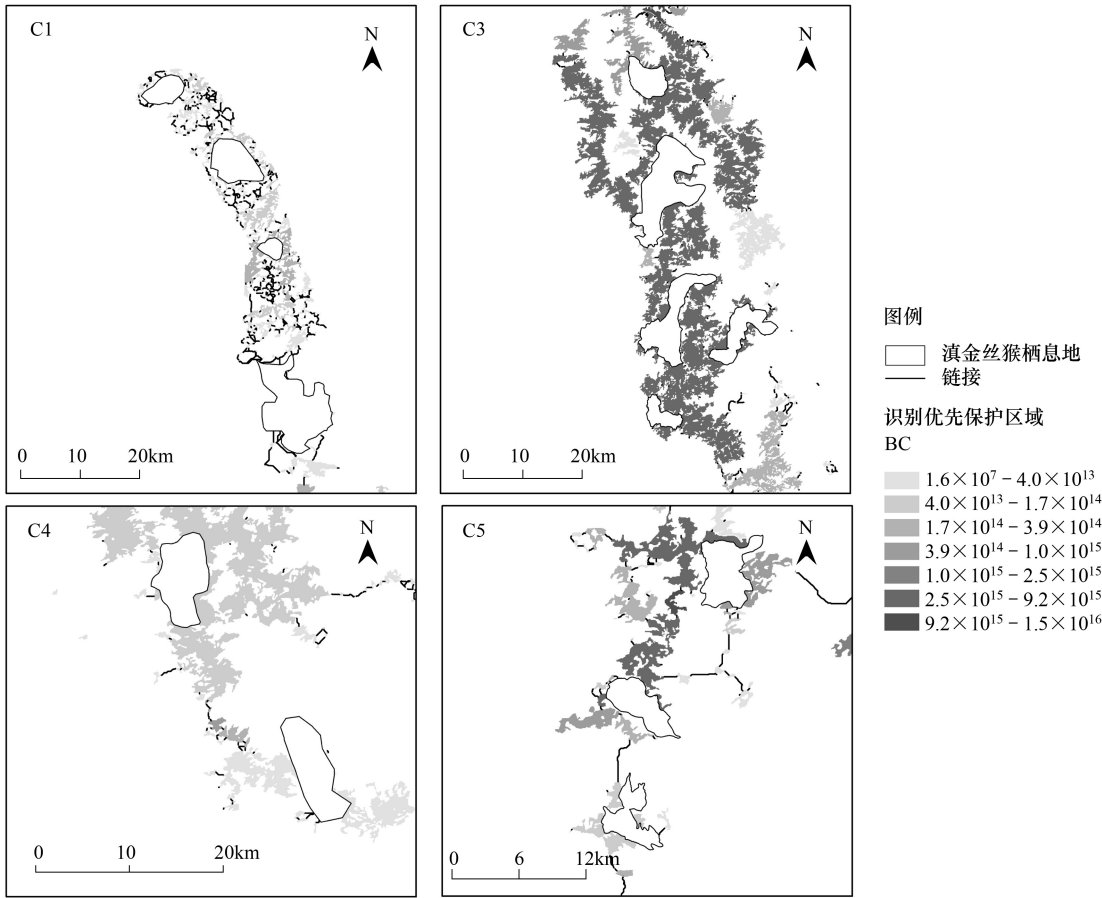


图 3 各组分猴群间优先保护区域的识别

Fig.3 Identify priority conservation areas of each component

3.4 组分间优先恢复区域分析

建议优先恢复区域为最小费用路径中不适宜的生境类型、人为阻碍和主干道经过的地区(图 4)。滇金丝猴分布区被多条主干道所分割,组分 C1、C2 与 C3 被 G214 国道阻隔,C3 与 C4 被 s225 省道阻隔,C4 与 C5 的猴群通过最小费用路径进行交流需要跨越 s311 和 s227 省道的双重障碍,可见滇金丝猴在组分间迁移十分困难。

4 讨论

在生物多样性保护研究中,基于功能连接度分析的保护方案及管理规划可以为物种保护提供更安全的生存策略^[29]。本文基于生境斑块,结合最小费用距离对滇金丝猴分布区域进行栖息地连接度研究,确定了景观功能连接的最佳距离阈值为 1400,该阈值下各组分内猴群间连接度的排序为 C3>C1>C5>C4;为保证组分内猴群的潜在功能连接畅通,定量识别出作为“踏脚石”的优先保护区域;对于功能不连接的组分,绘制出最小费用路径,确定该路径中优先恢复区域,优先恢复区域多集中于南部地区,这与滇金丝猴分布区内人为干扰南

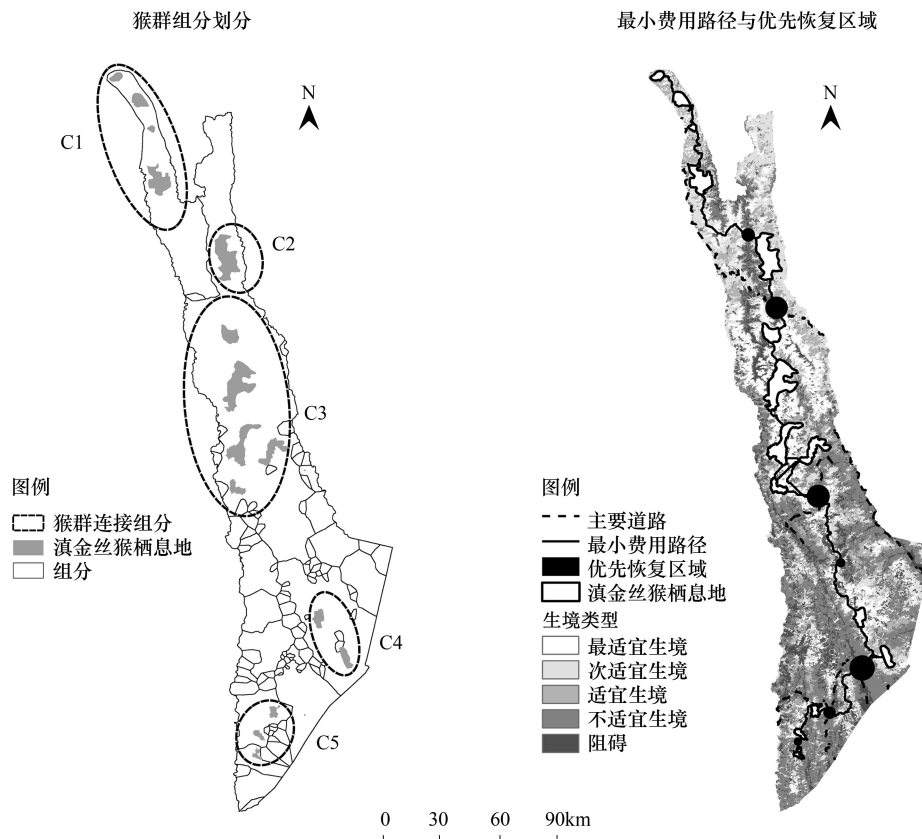


图4 猴群组分的划分与最小费用路径

Fig.4 The division of component of monkey groups and the least cost path between monkey groups

部大于北部,且组分间被多条道路阻隔的现状一致。故建议优先保护同一组分内猴群,使其潜在功能连接无障碍,再规划恢复组分间猴群,结果对滇金丝猴保护行动的制定及保护管理实践过程具有参考价值。

本文首次用图论法作为定量识别最佳距离阈值的工具,相对于其它判别方法更为客观和更具现实可能性:(1)各生境类型的费用赋值采用景观遗传学的方法,结合了最小费用距离与基因流的关系得到最佳阻力赋值,结果体现了景观基质对物种的促进及阻碍作用;(2)最佳距离阈值的确定考虑了连接区域的生境总面积与猴群分布的关系,利用该方法确定阈值不仅考虑了景观的特点,并且结合了猴群的基因特征与分布特征,对于其他濒危物种的类似研究具有参考价值。

组分内猴群间连接度的分析采用的是功能连接区域内猴群间的最小费用距离,该方法从景观尺度考虑了基质的异质性,但缺少如海拔、气温、降水等生态因子对猴群移动的影响分析,该部分将在下一步分析中完善,使结果更加全面完整。

图论在景观连接度的应用已涉及生物保护^[4]和病虫害^[30]等多个领域,利用图论法进行基于生境斑块的连接度研究的意义在于:(1)通过最小费用模型或节点特征地优化,能反映更真实的景观特征;(2)通过成熟的数学框架可以有效地量化景观特征的影响;(3)具有空间直观性,直观地表达节点间的链接路径,有利于景观整体的分析与景观规划的展开。使用 Graphab1.2 获得景观连接指数 BC 来定量识别组分中“踏脚石”斑块,有以下意义(1)基于图论的分析国内多应用软件 Conefor Sensinode2.2,本文首次引入软件 Graphab1.2,将丰富景观连接度研究中软件的多元化;(2)BC 的计算不同于大量使用的斑块重要值 dIIC,dIIC 是通过移除斑块来计算该斑块对组分或景观的连接度影响,BC 高的斑块 dIIC 不一定高,但 dIIC 高的斑块 BC 一定高,在一定程度上 BC 优于 dIIC。

研究区域包含 5 个自然保护区,生物多样性极为丰富,由于物种在破碎景观中的迁移扩散能力不同,故廊

道的规划需要针对不同物种进行功能连接度分析。本文由于时间和数据的限制,环境变量选取较少,许多影响功能连接的因素还尚未考虑,比如生境质量、跨越生境斑块边界和进入每种基质类型的特点,结论的验证仍需长期的监测数据,将在后续研究中逐步深入,使结果更具真实性与实践性。

参考文献 (References):

- [1] Fahrig L. Relative effects of habitat loss and fragmentation on population extinction. *The Journal of Wildlife Management*, 1997, 61(3): 603-610.
- [2] Tischendorf L, Fahrig L. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 2000, 90(1): 7-19.
- [3] Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2003, 34: 487-515.
- [4] Galpern P, Manseau M, Fall A. Patch-based graphs of landscape connectivity: a guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation*, 2011, 144(1): 44-55.
- [5] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 肖文发, 滕明君. 景观连接度的概念、度量及其应用. *生态学报*, 2010, 30(7): 1903-1910.
- [6] 薛亚东, 李丽, 吴巩胜, 周跃. 景观遗传学: 概念与方法. *生态学报*, 2011, 31(6): 1756-1762.
- [7] O'Brien D, Manseau M, Fall A, Fortin M J. Testing the importance of spatial configuration of winter habitat for woodland caribou: an application of graph theory. *Biological Conservation*, 2006, 130(1): 70-83.
- [8] Calabrese J M, Fagan W F. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(10): 529-536.
- [9] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 肖文发, 滕明君, 彭丽. 基于最小费用模型的景观连接度评价. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 2042-2048.
- [10] 刘常富, 周彬, 何兴元, 陈玮. 沈阳城市森林景观连接度距离阈值选择. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2508-2516.
- [11] 陈杰, 梁国付, 丁圣彦. 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例. *生态学报*, 2012, 32(12): 3773-3781.
- [12] 姜磊, 岳德鹏, 曹睿, 任慧君. 北京市朝阳区景观连接度距离阈值研究. *林业调查规划*, 2012, 37(2): 18-22, 32-32.
- [13] Li L, Xue Y D, Wu G S, Girardoux P. Potential habitat corridors and restoration areas for the black-and-white snub-nosed monkey *Rhinopithecus bieti* in Yunnan, China. *Oryx*, 2014: 1-8. (未出版刊物)
- [14] 薛亚东, 李丽, 李迪强, 吴巩胜, 周跃, 吕玺喜. 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析. *生态学报*, 2011, 31(20): 5886-5893.
- [15] Foltête J C, Clauzel C, Vuidel G. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software*, 2012, 38: 316-327.
- [16] Bodin Ö, Saura S. Ranking individual habitat patches as connectivity providers: integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecological Modelling*, 2010, 221(19): 2393-2405.
- [17] Wong M H G, Li R, Xu M, Long Y. An integrative approach to assessing the potential impacts of climate change on the Yunnan snub-nosed monkey. *Biological Conservation*, 2013, 158: 401-409.
- [18] 王亚明, 薛亚东, 夏友福. 滇西北滇金丝猴栖息地景观格局分析及其破碎化评价. *林业调查规划*, 2011, 36(2): 34-37.
- [19] 黎国强, 杨宇明, 肖文. 滇金丝猴栖息地生物多样性及其威胁因素研究. *云南环境科学*, 2006, 25(4): 15-18.
- [20] 龙勇诚, 钟泰, 肖李. 滇金丝猴地理分布、种群数量与相关生态学的研究. *动物学研究*, 1996, 17(4): 437-441.
- [21] 武瑞东, 周汝良, 龙勇诚, 杜勇, 叶江霞, 魏晓燕. 滇金丝猴适宜栖息地的遥感分析. *遥感信息*, 2005, (6): 24-28, 71-71.
- [22] 黎国强, 杨宇明, 肖文. 滇金丝猴栖息地植被类型研究. *西部林业科学*, 2007, 36(1): 95-98.
- [23] Mortelliti A, Fagiani S, Battisti C, Capizzi D, Boitani L. Independent effects of habitat loss, habitat fragmentation and structural connectivity on forest-dependent birds. *Diversity and Distributions*, 2010, 16(6): 941-951.
- [24] 丁伟, 杨士剑, 刘泽华. 生境破碎化对黑白仰鼻猴种群数量的影响. *人类学学报*, 2003, 22(4): 338-344.
- [25] 杨士剑, 丁伟, 年波, 张峻. 西藏芒康县滇金丝猴种群现状和生态学研究. *东北林业大学学报*, 2005, 33(2): 62-64.
- [26] 黎大勇, 彭正松, 任宝平, Grüter C C, 周歧海, 魏辅文. 塔城滇金丝猴初秋对生境的选择性. *西华师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 27(3): 233-238.
- [27] 周汝良, 杜勇, 杨庆仙, 丁琨. 滇金丝猴栖息地的空间格局分析. *云南地理环境研究*, 2008, 20(3): 1-5.
- [28] 崔茂欢, 杨国斌, 杨士剑. 兰坪云岭省级自然保护区滇金丝猴保护现状及管理建议. *林业调查规划*, 2011, 36(4): 43-47, 51-51.
- [29] 武剑锋, 曾辉, 刘雅琴. 深圳地区景观生态连接度评估. *生态学报*, 2008, 28(4): 1691-1701.
- [30] 朱彦鹏, 迟德富, 张星耀. 景观连接度在森林病虫害控制中的应用. *世界林业研究*, 2009, 22(3): 52-57.