

野生哺乳动物生态廊道构建——以云豹为例

孙 珊, 齐增湘*, 周 敏, 白瑾瑾, 吕婧玮, 刘 鑫 (南华大学设计艺术学院, 湖南衡阳 421000)

摘要 利用最大信息熵模型对大湘南区域的云豹生境进行了适宜性评价分析, 并根据适宜性评价分析结果利用地理信息系统软件 (ArcGIS) 的最小累积阻力模型构建云豹保护廊道, 结果表明, 大湘南地区云豹生境面积为 2 718.87 km², 占全区域总面积的 6.5%, 其中适宜生境 460.11 km², 次适宜生境 2 258.76 km², 云豹生境集中分布于远离人类且植被保持良好的中高海拔山地森林; 根据最小累积阻力模型生成的湘南地区潜在云豹保护廊道共 23 条, 其保护廊道总长为 13 580 km, 并构成了“三核两横四纵”的生物多样性保护网络构架, 提出优化生态网络的有效措施。

关键词 野生哺乳动物; 生态廊道; 生态网络; 构建; 大湘南云豹

中图分类号 S863 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)07-0081-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.07.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Construction of Ecological Corridor for Wild Mammals—Taking Clouded Leopard as an Example

SUN Shan, QI Zeng-xiang, ZHOU Min et al (School of Design and Art, Nanhua University, Hengyang, Hunan 421000)

Abstract The maximum information entropy model was used to evaluate the suitability of the clouded leopard habitat in southern Hunan, and the clouded leopard protection corridor was constructed using the minimum cumulative resistance model of geographic information system software (ArcGIS) according to the results of the suitability evaluation and analysis. The result showed that the clouded leopard habitat area in greater southern areas of Hunan was 2 718.87 km², accounting for 6.5% of total area in the whole areas, including 460.11 km² suitable habitat and 2 258.76 km² suboptimal habitat, and clouded leopard habitat mainly concentrated in mountain forests of intermediate altitude and high altitude which were away from human but kept good vegetation. In southern areas of Hunan, there were 23 hidden protection corridors of clouded leopard which were formed according to the minimal cumulative resistance model; the overall length of them was 13 580 km, and besides, it constructed the “three nuclear, two horizontal and four vertical” biodiversity conservation network framework and put forward the effective measure to optimize ecological network.

Key words Wild mammals; Ecological corridor; Ecological network; Construction; Clouded leopard in greater southern areas of Hunan

由于城镇化及道路交通的发展、农业建设用地扩张等人

为干扰的现象愈来愈多, 景观生态破碎化现象日益严重, 这些人为干预活动造成了生态系统功能的弱化及退化、生境严重破碎化、生物栖息地丧失及其物种灭绝。其被割裂的自然景观残遗斑块成为了一座座“生态孤岛”, 种群被迫分割成为小种群, 导致许多物种逐渐消失^[1]。近年来, 由于大规模的人类活动的影响, 直接割裂了物种生境的整体性和连通性, 随着景观生态学的不断发展, 孤立的自然保护区等生态保护区已经不能满足生物多样性保护的要求, 因此解决生物多样性保护等诸类问题需要加强自然保护区之间的联系, 通过将自然保护区相连接的方式构建潜在生态廊道, 形成生态网络。维持孤立栖息地斑块间的连接, 构建生态廊道已成为消除生境破碎化的一个重要途径^[2]。生态廊道对于保护生物多样性、维护生态平衡、改善生境破碎化有重要作用。构建生态廊道并对所形成的生态网络进行优化, 对实现生态系统可持续性发展具有重要的意义。

在不同发展阶段, 不同学科与不同领域的学者对生态网络的关注点也不同。如今欧洲的生态网络侧重关注如何在

高速经济发展的情况下尽量减少对土地的人为干扰、维持区域生物多样性、保证野生动物栖息地完整性以及河域的恢复和保护^[3]。相较于欧美国家, 我国对于生态廊道研究及生态网络建设起步较晚, 在国外学者对生态网络规划研究的影响下, 生态网络逐步被我国所接受。近年来, 国内外学者广泛运用最小累积阻力模型进行廊道的构建。Wang 等^[4]将大熊猫定位为伞护种, 建设单伞物种廊道对同域物种进行生态保护, 生物多样性保护廊道, 对大尺度多物种保护的研究较少, 对多物种生态廊道建设有一定的指导意义。Dilt 等^[5]保护莫哈夫松鼠的研究方法是建立在景观连通性方法的基础上, 包括图论、电路理论和最小成本路径分析, 确定了核心栖息地和关键走廊或踏脚石栖息地的优先保护区, 用于广泛的分类群。杨志广等^[6]以广州市为研究区, 采用形态学空间分析法(MSPA)和景观指数法, 提取景观连通性较好的核心区为生态源地; 基于最小累积阻力模型(MCR)构建广州市的生态网络, 通过重力模型和连通性指数定量分析, 优化生态网络。张远景等^[7]以哈尔滨中心城区为研究区, 运用 GIS 和 CA-Marcov 模型对生态网络安全格局进行模拟优化。目前, 最小累积阻力模型已经广泛运用于构建生态廊道及生态网络的研究中。

湘南地区受特殊的地理环境和地形的影响, 野生动植物有 1 000 多种, 资源丰富, 国家一级重点保护野生动物有华南虎、云豹、蟒蛇等, 国家二级重点保护野生动物有林麝、斑羚、苏门羚、金猫、水鹿、穿山甲等。野生哺乳动物大多分布于自然保护区中, 自然保护区缺少区间物种迁移和基因交换的通道, 生活在保护区内的种群与外界种群长期隔离且维持

基金项目 湖南省社会科学界联合会项目(ZK2017025); 湖南省科技厅科技计划重点项目(2015SK2003); 南华大学研究生科研创新项目(2018KYY210); 区域-城市生态规划与管理衡阳市重点实验室平台项目(2018HPT07); 南华大学 2020 年研究生科研创新项目(203YXC022)。

作者简介 孙珊(1995—), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 景观设计。* 通信作者, 副教授, 博士, 硕士生导师, 从事生态规划研究。

收稿日期 2020-08-07; **修回日期** 2020-09-16

种群生存力的能力有限,最终将会趋于灭绝。自然保护区对云豹及其他同域物种的保护贡献亦是有限的。因此,像云豹、金钱豹、华南虎等处于破碎化生境中的濒危物种,应该准确确定其生境,对其进行合理保护的同时建立起生物多样性保护廊道提高其生境间的连通性,此举有利于维持云豹种群的扩散、繁殖,是保护物种持续生存的最佳途径。云豹生性极为谨慎,成年云豹的栖息活动面积约为 40 km²,中低海拔的阔叶林为其适生生境。云豹主要以猴、小鹿、穿山甲、野猪、果子狸、林麝、斑羚、苏门羚、松鼠、水鹿、野兔等为食^[8]。作为生态系统顶消费者的云豹,对生态系统的稳定发挥着关键的作用,它直接或间接地控制食草的初级消费者的数量和状态,对自然界的生态平衡有着举足轻重的作用。由于其生境范围较广且基于食物链捕食关系的耦合机制,将其定义为伞护种,同时兼顾保护其他的同域野生动物,因此以云豹标准构建生物多样性保护廊道,其他的同域物种均能由此通过。笔者运用最大熵模型(MaxEnt)和地理信息系统软件(ArcGIS)对湘南地区云豹的生境进行预测,并根据云豹生境斑块构建生物多样性保护廊道,通过廊道的连接建立有效维持云豹生存与进化的生态网络系统,以期为湘南地区云豹及其同域物种的保护规划提供现实指导和基础资料。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 大湘南地区(24°39′~26°51′N, 111°06′~114°14′E)包括湖南省南部郴州和永州地区,由 23 个县(县级市)组成,总面积 41 828 km²,其地理位置毗邻广东、广西、江西,是典型的梯级过渡地带,境内最高点为罗霄山脉,最高峰海拔 2 061.3 m。湘南地区所处的气候带为中亚热带湿润气候,全年平均气温 17.8 ℃,7 月最热平均气温 29.3 ℃。作为野生哺乳动物主要栖息地的自然保护区,由于受高大山体的影响,垂直气候特征明显,由山麓到山顶可分为北亚热带、暖温带、中温带、寒温带和亚寒带。特殊的地理环境和地理位置蕴育了丰富的生物多样性,对生物的多样性保护规划具有重要意义。

1.2 数据来源与处理 该研究所涉及的数据有湘南地区的 DEM 数据、用地类型/覆盖、植被类型数据、自然保护区云豹数据点分布等。其中 DEM 数字高程数据来源于 USGS 官网和地理空间数据云,并由此生成坡度、坡向数据,空间分辨率为 90 m。景观用地类型数据、人类活动数据点以及植被类型数据等来源于国家基础地理信息中心。自然保护区云豹数据点源于郴州市林业局的调查报告提供的云豹痕迹点为基础数据。

1.3 研究方法

1.3.1 MaxEnt 模型。最大熵模型(MaxEnt)是由 Phillips 等^[9]开发的一种基于生态位原理,用于评价及预测物种生境分布的模型。模型运用物种“痕迹点”的 GPS 数据,整理分析研究区内符合物种适生区内的各种环境变量因子的相似条件,探寻与物种适生区环境条件相似的环境像元,由此得到目标物种在研究区域内的生境分布。模型具有良好的预测能力,广泛应用于目标物种在研究区域的生境评价、预测

其适宜和潜在分布空间、气候变化对物种分布的影响和入侵物种监测等多方面内容^[10]。

1.3.2 基于最小累积阻力模型的潜在生态廊道模拟。最小累积阻力(minimum cumulative resistance, MCR)模型起源于物种扩散过程研究,用于表达物种从源到目标所需耗费的代价^[11]。MCR 模型的表达公式如下:

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

式中, MCR 为从源扩散至空间某点处的最小累积阻力值, f 为 MCR 与变量 $(D_{ij} \times R_i)$ 之间的正函数, D_{ij} 为从源 j 扩散至空间某点穿过生态表面 i 的距离, R_i 为生态表面 i 对源扩散方向的阻力^[12]。

1.3.3 云豹生境模型构建。将湘南地区云豹分布点数据和环境变量数据导入 MaxEnt 3.3 中,随机选取 75% 的点用于建模,剩下 25% 的点用于模型验证,其他参数为模型默认值,输出结果是在 0~1 区间内的连续栅格数据,结果数据在 ArcGIS 中做进一步分析。

1.3.4 云豹生态廊道模拟。

1.3.4.1 生态源地的确定。生态源地是物种扩散和维持的源点,是促进生态过程发展的景观类型^[13]。“源地”的内部同质性和外部扩张性促成其作为物种扩散和维持的自然栖息地,对维持生态系统结构、功能和过程及提供人类福祉具有重要作用^[14]。“源”是区域内生物多样性的集聚地,根据调查报告提供的云豹痕迹点和湘南地区的环境变量数据为基础数据,利用 MaxEnt 模型预测云豹的适生生境。

1.3.4.2 生态阻力面构建。物种在不同源地间交流、迁徙,必将会跨越不同的景观类型,不同景观产生的阻力大小不同^[15]。潜在生态网络是由景观源质量、不同景观类型的景观阻力决定的,不同景观生态源地之间只有克服了阻力才能实现景观流空间运作^[16]。在国内外已有景观阻力相关研究基础上,结合湘南地区的实际情况,根据可量化与可选取性原则,选取景观用地类型、坡度、海拔、道路距离作为阻力层,依据专家打分法给不同的景观因子赋予不同的阻力值,采用层次分析法(AHP 法)确定各个阻力因子的权重。

1.3.4.3 构建潜在云豹生态廊道。生态廊道指主要起连接、过滤作用的线性空间,其主要通过连接各绿地斑块以及连接绿地斑块与其他斑块来提升绿地生态网络的景观连接度以及生态功能^[17]。通过 MCR 模型进行计算,将所有源地间两两连接生成廊道,将两两源地之间的最小耗费路径进行空间合并叠加,将其重复路径剔除,得出最终云豹及同域物种的生态廊道。

2 结果与分析

2.1 云豹生境评价 生境评价结果表明(图 1),在大湘南区域的云豹生境集中分布于莽山自然保护区、杨东山、八面山自然保护区、大瑶山、苏仙岭风景区、阳明山等中高海拔山地森林,这些地区远离人类干扰,自然植被保存良好,并有丰富的物种分布。大湘南地区云豹生境面积为 2 718.87 km²,占全区域总面积的 6.5%,其中适宜生境 460.11 km²,次适宜生境 2 258.76 km²。

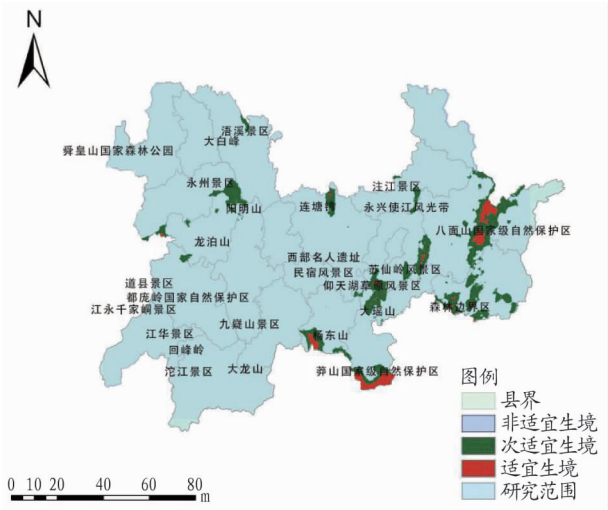


图1 湘南地区云豹生境预测

Fig. 1 Clouded leopard habitat prediction in southern Hunan

2.2 云豹生态廊道模拟

2.2.1 源斑块的确定。该研究源斑块是对云豹及同域物种有重要的生态意义的斑块,是生态网络的生态节点,选取源斑块的重要依据是斑块的功能类型及面积大小,不同景观用地类型及斑块面积大小对生物多样性有非常重要的意义。以 MaxEnt 模型预测的生境结果以及云豹的活动范围区间及面积大小为依据,整理选择了 13 个重要生态源地作为生态网络构建的源斑块并标注序号,面积均大于 40 km²(图 2)。

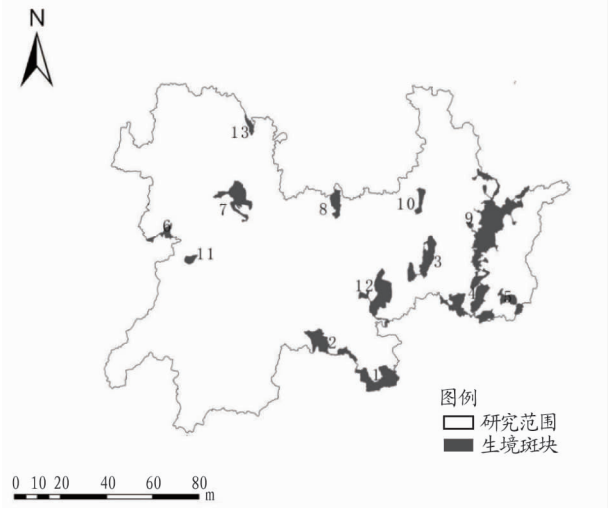


图2 湘南地区云豹生态源地空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of clouded leopard ecological sources in southern Hunan

2.2.2 生态阻力面构建。依据景观阻力面构建方法,在 ArcGIS 10.2 得到研究区域的景观用地类型消费面、道路干扰消费面、DEM 消费面。将其 3 种数据加权叠加进行消费面的求得,其用地类型消费面、坡度类型消费面和交通活动消费面权重分别为 0.543 5、0.399 7、0.056 8(表 1),最终形成湘南区域的耗费成本图(图 3)。从图 3 可以看出湘南地区的景观阻力分布情况,整体来看湘南地区东部阻力相对较低,中部、西北部和西南部阻力相对较高,尤其是居民点和建

设用地范围内的阻力。越接近源斑块的阻力值相对较低,说明源斑块节点附近的通达性相对较好。

表 1 景观阻力赋值

Table 1 Assignment of landscape resistance

阻力因子 Resistance factor	评价因子 Evaluation factor	阻力赋值 Resistance assignment	权重 Weight	总权重 Total weight
景观类型 Landscape type	水田	100	0.013 7	0.543 5
	旱地	100	0.012 3	
	有林地	1	0.137 5	
	灌木林	20	0.109 5	
	疏林地	15	0.048 4	
	其他林地	30	0.052 4	
	高覆盖度草地	30	0.029 7	
	中覆盖度草地	30	0.025 6	
	低覆盖度草地	30	0.021 7	
	河渠	600	0.008 9	
	湖泊	500	0.010 3	
	滩地	50	0.019 7	
	城镇用地	1 000	0.006 1	
(DEM)坡度 Slope	居民点	800	0.006 4	0.213 9
	其他建设用地	800	0.007 0	
	裸土地	50	0.017 0	
(DEM)海拔 Altitude	园地	35	0.017 3	0.185 8
	0~20°	100	0.020 4	
	>20°~50°	40	0.030 8	
	>50°~80°	10	0.162 7	
	0~500 m	100	0.007 8	
交通道路距离 Traffic road distance	>500~1 400 m	80	0.007 8	0.056 8
	>1 400~1 600 m	40	0.016 9	
	>1 600~1 700 m	20	0.061 3	
	>1 700~2 156 m	10	0.092 1	
	100~150 m	100	0.002 5	
	>150~250 m	80	0.002 5	
	>250~500 m	40	0.007 6	
	>500~1 000 m	20	0.019 5	
	>1 000 m	10	0.024 7	

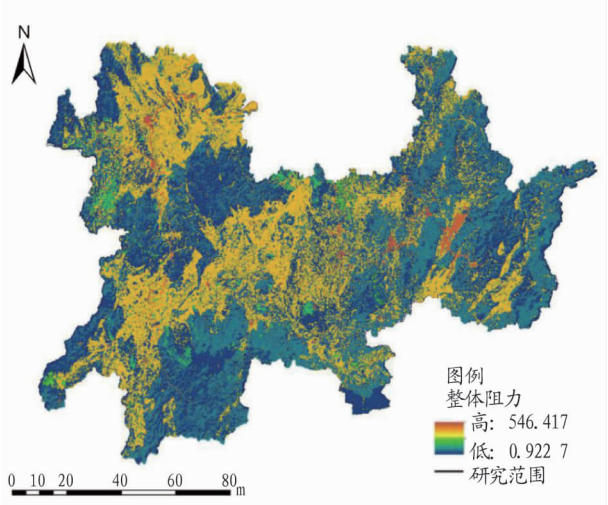


图3 湘南区域耗费成本

Fig. 3 Cost of southern areas of Hunan

2.2.3 云豹生态廊道构建。由图 4 可知,在大湘南区域最

终形成云豹生态廊道 23 条,其保护廊道总长为 13 580 km。生态廊道构建的困难是随着宽度的增加而加大的,所以在宽度的选择上适合云豹物种的宽度即可,云豹生境范围较大,因此其同域物种均能通过该廊道。完善的生态廊道不仅要完善内部,更要建立与周边的联系形成潜在生态网络并优化生态网络。

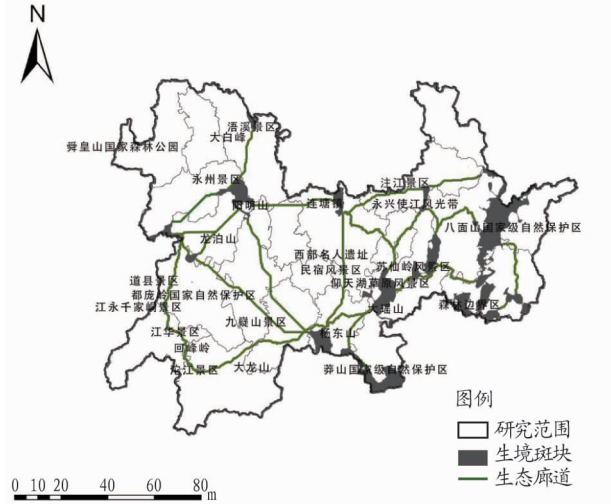


图 4 湘南区域生态廊道

Fig. 4 Ecological corridor in southern areas of Hunan

2.3 生态网络优化设计

2.3.1 保护核心生态源地。湘南区域的云豹与同域物种的核心生态源地主要为生物多样性保护的关键区,其为莽山自然保护区(核心区)、八面山自然保护区(核心区)及阳明山脉区域。以上区域对湘南地区生物多样性保护具有重要作用,同时也是构成“三核两横四纵”的生态网络结构的重要生态关键点。建设生物多样性保护网络,要保障核心生态源地的完整性及连续性,更要保障其斑块间的连通性,更好地促进物种之间的迁徙、交流、扩散和繁衍。因此,进行优先保护和建设是作为构建湘南地区生物多样性保护网络的重中之重。

2.3.2 修复生态断裂点。该研究的生态断裂点是道路与生成的潜在生态廊道的交叉点。物种的迁移难度因生态断裂点的存在而增大,其很大程度上阻碍了物种在不同生态源地的迁徙和交流。如图 5 所示,识别生态断裂点 40 个,其大部分均沿着生态廊道分布。因此,如何修复生态断裂点在生物多样性廊道的构建应更加重视,可以通过天桥、过境隧道及地下通道等方式促进物种的迁徙、扩散,维持生态连通性,促进物质、能量和信息的正常流通。

2.3.3 建设“生态战略点”。“生态战略点”又名“生态踏脚石”,即对相邻生态源之间有关键连接意义的节点,其中包含生态廊道、最小阻力路径的交点和生态廊道之间的交点。“生态战略点”是长距离迁徙物种的良好休憩地,由于其阻力值最大因而极易遭到破坏,但“生态战略点”对物种迁徙过程有着不可小觑的影响。根据湘南地区生物多样性保护实际状况,确定了 41 个“踏脚石”(图 6),能够有效提高物种生境间的连通性,促进云豹及保护伞下的同域物种迁移、交流、扩散、繁衍等,有利于维护湘南区域内生态系统结构的稳

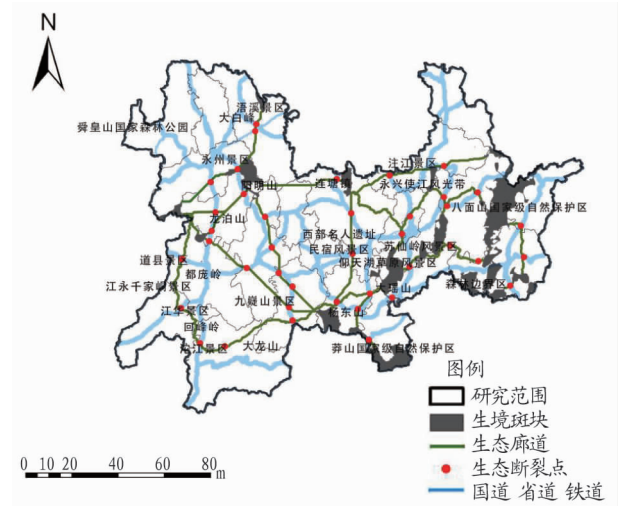


图 5 生态廊道的生态断裂点

Fig. 5 Ecological break point of ecological corridor

定与优化。

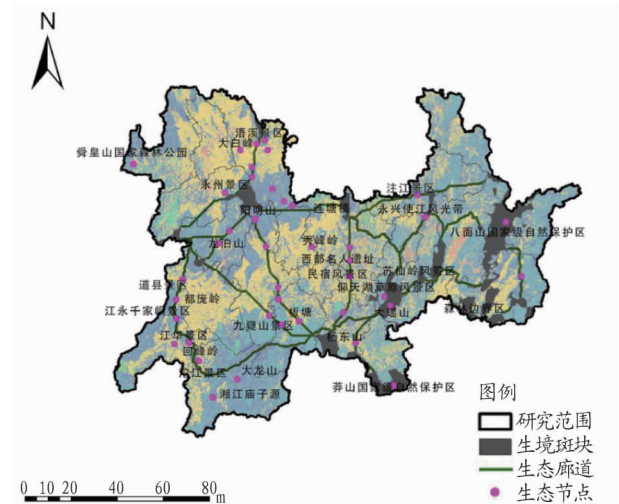


图 6 生态“踏脚石”

Fig. 6 Ecological “Stepping Stones”

3 讨论与结论

该研究构建的潜在生态廊道对湘南地区生物多样性保护有重要的意义,亦对维护湘南的生态系统平衡稳定具有重要作用。云豹生境活动范围大同域物种较多,因而选择伞护种云豹作为关键物种构建生态廊道。运用可获得的云豹现实地理分布数据点及湘南地区的环境数据确定云豹的生境斑块,将其作为生态廊道的生态源地,大湘南地区云豹生境面积为 2 718.87 km²,占全区域总面积的 6.5%,其中适宜生境 460.11 km²,次适宜生境 2 258.76 km²。综合考虑物种在迁徙过程中的不同阻力,运用最小阻力模型构建湘南地区生态廊道,在此基础上根据湘南真实现有状况构建生态网络框架,并优化其网络。结果显示,湘南地区潜在云豹保护廊道共 23 条,其保护廊道总长为 13 580 km,生态廊道用地类型最主要的是有林地和灌木林地。构成了“三核两横四纵”的生态网络结构,并提出优化生态网络的有效建设措施。

(下转第 96 页)

- [5] 葛中东. 饮水型酸化剂散众优健在肉鸡生产中的应用[J]. 养禽与禽病防治, 2016(2): 14-18.
- [6] 朱文涛, 雒秋江, 杨开伦, 等. 分别添喂 4 种酸化剂对蛋鸡产蛋性能和表观日粮利用率影响的比较[J]. 新疆农业大学学报, 2002, 25(4): 1-4.
- [7] 陈杰, 沈一茹, 张珊, 等. 酸化剂对蛋鸡产蛋性能、蛋品质和经济效益的影响[J]. 中国家禽, 2015, 37(8): 58-60.
- [8] 刘艳利, 辛洪亮, 黄铁军, 等. 酸化剂对蛋鸡生产性能、蛋品质及肠道相关指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(2): 526-534.
- [9] 魏艳红, 曲湘勇, 蔡超, 等. 包膜复合酸化剂对东乡绿壳蛋鸡生产性能、矿物元素代谢及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 27(4): 1222-1229.
- [10] 赵旭. 生姜对蛋鸡饲料氧化稳定性和机体抗氧化、免疫和生产性能影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [11] 赵旭, 迟强伟, 沈一茹, 等. 饮水型酸化剂对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J]. 中国家禽, 2018, 40(12): 30-33.
- [12] FINK D J, CAPLAN A I, HEUER A H. Eggshell mineralization: A case study of a bioprocessing strategy[J]. MRS Bulletin, 1992, 17(10): 27-31.
- [13] KESHAVERZ K, NAKAJIMA S. Re-evaluation of calcium and phosphorus requirements of laying hens for optimum performance and eggshell quality[J]. Poultry science, 1993, 72(1): 144-153.
- [14] RISLEY C R, KORNEGAY E T, LINDEMANN M D, et al. Effect of feeding organic acids on selected intestinal content measurements at varying times postweaning in pigs[J]. Journal of animal science, 1992, 70(1): 196-206.
- [15] 邹益东, 杨朋朋, 陈仲芬, 等. 复合酸化剂(乳酸宝)在蛋鸡生产中的应用[J]. 饲料博览, 2009(2): 18-21.
- [16] 王国其, 罗仕伟. 饮水酸化剂爱特酸对蛋鸡生产性能的影响[J]. 当代畜牧, 2016(11): 48-49.
- [17] 毕玉芳, 马美湖. 鸡蛋风味研究进展[J]. 家禽科学, 2014(7): 49-52.
- [18] 冯月超. 鸡蛋黄挥发性风味物质及相关前体物质的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [19] 刘哲仁. 蛋鸡输卵管炎的防治[J]. 养殖技术顾问, 2005(7): 35.
- [20] 刘军. 蛋鸡输卵管的发病因素、诊断及防治方法[J]. 现代畜牧科技, 2017(3): 142.
- [21] 王冉, 邵春荣, 胡来根, 等. 酸化剂对肉鸡肠道微生物数量的影响研究[J]. 饲料工业, 2001, 22(7): 31-33.
- [22] MARKAZI A D, LUOMA A, SHANMUGASUNDARAM R, et al. Effect of acidifier product supplementation in laying hens challenged with *Salmonella*[J]. The journal of applied poultry research, 2019, 28(4): 919-929.
- [23] RODJAN P, SOISUWAN K, THONGPRAJUKAEW K, et al. Effect of organic acids or probiotics alone or in combination on growth performance, nutrient digestibility, enzyme activities, intestinal morphology and gut microflora in broiler chickens[J]. Journal of animal physiology and animal nutrition, 2018, 102(2): e931-e940.
- [24] 周岭, 丁雪梅, 罗玉衡, 等. 复合酸化剂和微生态制剂对蛋鸡生产性能、血液生化指标、抗氧化指标及沙门氏菌感染的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(8): 2571-2580.

(上接第 84 页)

目前, 该研究由于现实条件的限制, 未能在野外实地考察云豹的现实地理分布数据, 其数据是查阅相关参考文献及当地林业部门所提供。在预测云豹及同域物种生境、生成潜在生态廊道的过程中, 未考虑过多的社会经济数据, 因此廊道构建存在一定的主观性。由于确定云豹为伞护种构建的生态廊道, 对不是其同域物种的其他物种的影响具有不确定性。再者, 潜在生态廊道是基于市域尺度的, 但野生动物迁徙不仅发生于市内甚至省内, 如莽山自然保护区在湖南省郴州市与广东省韶关市交界处, 其存在物种跨越湖南、广东两省进行迁徙、交流活动, 该研究未考虑到廊道与其他的省域、市域进行有效衔接。在今后研究中要注意实地考察, 并综合考虑社会经济等因素以及多物种生境对比和联合的相关问题, 进行多维度、多尺度、多物种、多模型的集成与应用。

参考文献

- [1] 单楠, 周可新, 潘扬, 等. 生物多样性保护廊道构建方法研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 411-420.
- [2] 曲艺, 陆明. 生态网络规划研究进展与发展趋势[J]. 城市发展研究, 2016, 23(8): 29-36.
- [3] UEZU A, METZGER J P, VIELLIARD J M E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest birds[J]. Biological conservation, 2005, 123(4): 507-519.
- [4] WANG F, MCSHEA W J, LI S, et al. Does one size fit all? A multispecies approach to regional landscape corridor planning[J]. Diversity and distributions, 2018, 24(3): 415-425.
- [5] DILT T E, WEISBERG P J, LEITNER P, et al. Multiscale connectivity and graph theory highlight critical areas for conservation under climate change[J]. Ecological applications, 2016, 26(4): 1223-1227.
- [6] 杨志广, 蒋志云, 郭程轩, 等. 基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3367-3376.
- [7] 张远景, 俞滨洋. 城市生态网络空间评价及其格局优化[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6969-6984.
- [8] 宋波, 倪婷玉, 王瑾. 基于迁移意愿的动物迁移廊道修正: 以德化县云豹为例[J]. 生态学报, 2010, 30(17): 4571-4577.
- [9] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [10] 唐书培, 穆丽光, 王晓玲, 等. 基于 MaxEnt 模型的赛罕乌拉国家级自然保护区斑羚生境适宜性评价[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(1): 102-108.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 贾振毅, 陈春娣, 童笑笑, 等. 三峡库城镇生态网络构建与优化: 以重庆开州新城为例[J]. 生态学杂志, 2017, 36(3): 782-791.
- [14] 王洪成, 王彤, 赵忠宝. 双子山国家森林公园生态网络构建与优化[J]. 黑龙江农业科学, 2018(10): 116-120.
- [15] 古璠, 黄义雄, 陈传明, 等. 福建省自然保护区生态网络的构建与优化[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 1013-1020.
- [16] 池源, 石洪华, 丰爱平. 典型海岛景观生态网络构建: 以崇明岛为例[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(3): 433-440.
- [17] 陈涛. 基于林鸟连接度的宁乡县城绿地生态网络优化[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.