主持人：宋希强，任明迅　Open Access

海南坡鹿潜在栖息地评价

张琼悦[2,3#]，金东奇[1]，郭　鑫[3,4]，刘燕蓝[5]，杨一鸣[5]，列淦文[6]，胡慧建[3*]，梁健超[3*]

（1. 海南国家公园研究院，海南 海口 570203 中国；2. 河南师范大学 生命科学学院，河南 新乡 453007 中国；3. 广东省科学院 动物研究所/广东省动物保护与资源利用重点实验室/广东省野生动物调查监测与生态修复工程技术研究中心，广东 广州 510260 中国；4. 安徽师范大学 生命科学学院，安徽 芜湖 241002 中国；5. 华南农业大学 林业与风景园林学院，广东 广州 510642 中国；6. 广东生态工程职业学院，广东 广州 510520 中国）

摘　要：针对海南坡鹿（*Rucervus eldii hainanus*）生境选择偏好，从物理环境、生物环境、干扰等方面考虑，选择生境类型、海拔、坡度、植被覆盖度、水源距离 5 个影响海南坡鹿生境选择的环境因子作为评价指标，通过层次分析法（AHP）构建生境适宜指数（HSI）模型，分析海南热带雨林国家公园内海南坡鹿潜在栖息地。结果表明，海南坡鹿高适宜性潜在栖息地分布在霸王岭、尖峰岭、鹦哥岭、黎母山、吊罗山等山脉的山麓下沿平原地带，低适宜性地区主要为上述各山脉的主体部分。海南坡鹿潜在栖息地分布最为集中的是霸王岭片区，共 353.21 km^2，占潜在栖息地总面积的 27.20%，其次为尖峰岭片区（250.35 km^2，19.28%）、黎母山（234.31 km^2，18.04%）、鹦哥岭片区（207.18 km^2，15.95%）、吊罗山片区（129.05 km^2，9.94%）、毛瑞片区（74.32 km^2，5.72%）和五指山片区（50.34 km^2，3.88%）。本研究结果可为海南坡鹿适宜生境保护以及栖息地管理提供理论基础和科学依据。

关键词：海南坡鹿；海南热带雨林国家公园；层次分析法；生境适宜指数；潜在栖息地

中图分类号：Q95　**文献标志码：**A　**文章编号：**1674 − 7054(2026)05 − 0825 − 09

张琼悦，金东奇，郭鑫，等. 海南坡鹿潜在栖息地评价[J]. 热带生物学报 (中英文), 2026, 17(5): 825−833.　DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.20250139　CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswxb.20250139

栖息地（habitat）是动物赖以生存和繁衍的特定自然环境区域，包含所有生物和非生物因素，是维持其正常生命活动所依赖的各种环境资源的总和[1]。潜在栖息地是通过分析各环境因子与适宜动物生存环境之间的关系，进而明确的适合动物生存分布的区域[2−3]。栖息地的丧失是大多数濒危物种面临的严重威胁[4]，因此，及时开展潜在栖息地评价和预测，扩大濒危物种活动范围是实现种群数量增长的基础和核心支撑[4−5]。

坡鹿（*Rucervus eldii*）是亚洲热带森林和干旱低地过渡区域的特有有蹄类[6]。海南坡鹿（*Rucervus eldii hainanus*）为坡鹿的岛屿特有亚种[7]，是国家一级重点保护野生动物[8]，被《中国濒危动物红皮书：兽类》列为易危物种[9]。海南坡鹿曾广泛分布于海南岛各地[10−11]，但由于人口和经济的高速发展，海南坡鹿栖息地受到不断破坏蚕食，加之盗猎问题严重[12]，其种群数量持续下降。到 20 世纪 80 年代初，海南坡鹿只见于东方大田，且数量已不超过 80 头[13]。1976 年，为挽救濒临灭绝的海南坡鹿，保护存活个体，海南省成立了大田和邦溪保护区，实施就地保护[14]。1981 年，邦溪保护区内的海南坡鹿被猎杀殆尽，但大田保护区种群数量逐步增加，成为可以开展迁地保护的源种群。1990 年邦溪从大田引入 18 头坡鹿幼崽，开始迁地保

CC BY 4.0
收稿日期：2025−10−15　**修回日期：**2026−02−01

基金项目：海南国家公园研究院资助项目（No.2000601）；广东省普通高校青年创新人才类项目自然科学类（2019GKQNCX058）。

#**第一作者：**张琼悦（1993—），女，河南师范大学生命科学学院 2025 级博士研究生。E-mail: zzzhangqyk@163.com

*__通信作者：__胡慧建（1971—），男，研究员，博士生导师。研究方向：珍稀濒危野生动物保护与生态研究。E-mail: 13922339577@139.com

梁健超（1986—），男，副研究员，硕士生导师。研究方向：动物调查监测与恢复研究。E-mail: 13760813102@163.com

护[15−16]。通过采取积极的种群恢复和栖息地管理措施，海南坡鹿种群数量得到一定发展，到 20 世纪 90 年代中期恢复到 300 余头[17]。目前，海南岛海南坡鹿自然种群主要分布于海南大田国家级自然保护区和海南邦溪省级自然保护区[16]，但保护区面积不足、食物资源短缺等栖息地承载力不足问题亦日益暴露，如密度过高给种群增长带来的不利影响[18]，为海南坡鹿寻找新的栖息地已成为海南坡鹿保护中亟待解决的问题。2021 年，中国国务院设立海南热带雨林国家公园[19]，主要保护中国分布最集中、类型最多样、保存最完好、连片面积最大的大陆性岛屿型热带雨林自然生态系统的原真性和完整性、生物多样性及珍稀濒危物种，如海南坡鹿、海南长臂猿（*Nomascus hainanus*）等，随后通过野化放归了 30 只海南坡鹿到海南热带雨林国家公园霸王岭片区进行迁地保护。近年来，中国学者对海南坡鹿栖息地开展了相关研究，但仅限于初步调查、单因子分析或局域性分析[12, 20−24]。尚无在海南热带雨林国家公园范围内基于多环境因子的海南坡鹿潜在栖息地评价的研究。

基于此，本研究针对坡鹿生境选择偏好，综合自然因素和人为干扰因素建立评价体系，对海南热带雨林国家公园内海南坡鹿生境适宜性进行分析，识别出其潜在栖息地，并对其恢复重建提出建议。

1 材料方法

1.1 研究区域概况 海南热带雨林国家公园（以下简称“国家公园”）位于海南岛中部（18°33'16" ~ 19°14'16" N, 108°44'32" ~ 110°04'43" E），区划总面积 4 269 km^2。其中，核心保护区面积 2 331 km^2，占国家公园总面积的 54.6%；一般控制区面积 1 938 km^2，占国家公园总面积的 45.4%。涉及五指山、琼中、白沙、东方、陵水、昌江、乐东、保亭、万宁 9 个市县，东起万宁市南桥镇，西至东方市板桥镇，南至保亭黎族苗族自治县毛感乡，北至白沙黎族自治县青松乡。

1.2 研究方法

1.2.1 环境因子选择与评价体系构建 海南坡鹿偏好草地、灌丛、低海拔、地势平坦、远离道路干扰的生境[11−12, 17, 20, 22−24, 26]。本研究从物理环境、生物环境、干扰等方面，选择生境类型、海拔、坡度、植被覆盖度、水源距离 5 个影响海南坡鹿生境选择的环境因子作为评价指标，构建坡鹿生境适宜性评价体系，并分析坡鹿对不同评价指标的偏好，对各指标进行赋值。其中，对于连续型及海南坡鹿对其偏好具有单调性的评价因子，如海拔、坡度、水源距离等，将其值标准化为 1 ~ 100；对于离散型及海南坡鹿对其偏好并不具有单调性的评价因子，如生境类型、植被覆盖度等，将其进行分类并分别赋值为 0、50、100（表 1）。

1.2.2 指标权重确定 为保证评价结果的客观性，采用层次分析法（analytic hierarchy process, AHP）对各指标权重进行计算。层次分析法通过对各个评价指标进行两两比较，根据重要性标度，确定指标间相对重要性，建立判断矩阵。设判断矩阵的最大特征根为 λmax，其相应的特征向量为 W，运用方根法求解，即将判断矩阵的元素按行相乘，所得乘积分别开 n（判断矩阵阶数）次方，最后将方根向量归一化后得特征向量 W，即为各评价因子相对重要性的权重向量，从而把主观的判断客观化[27−28]。

为检查决策者判断思维的一致性以及度量不同阶判断矩阵是否具有满意的一致性，引入随机一致性比率 CR 进行验证。随机一致性比率 CR 为一致性指标 CI（consistency index）与平均随机一致性指标 RI（random index）的比值，即 $CR=CI/RI$。RI 可通过查表获得[29]，CI 由下面公式计算得到：

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}。$$

表 1 海南坡鹿生境适宜性评价指标及分级赋值

Tab. 1 Habitat suitability evaluation indicators and grading assignment for Hainan Eld's Deer

环境因子 Environmental factors	指标类型 Types of indicators	赋值 Grading assignment
生境类型 Habitat type	离散型	草地100；灌丛、疏林地、农田50；密林地、城镇、水体0
植被覆盖度 Vegetation coverage	离散型	覆盖度：中等100；较高及较低50；极高及极低0
水源距离 Distance from water sources	连续型	0 ~ 100，离水源越近值越高
海拔 Elevation	连续型	0 ~ 100，海拔越高值越低
坡度 Slope	连续型	0 ~ 100，坡度越高值越低

其中，$\lambda \max = \sum_{n=1}^{n} \frac{(AW)_i}{nW_i}$，$A$ 为判断矩阵，W 为其特征向量。

利用 AHP 构建判断矩阵并计算各权重(表 2)，计算得出随机一致性比率 CR=0.068，小于 0.1，表明判断矩阵具有满意的一致性。

1.2.3　生境适宜性计算　在上述权重赋值的基础上，利用 GIS 的空间分析模块计算生境适宜性指数，将各个环境因子在 ArcMap 软件中转化为 1 km×1 km 的栅格数据，通过 ArcMap 软件中栅格运算功能进行叠加计算，确定区域内生境适宜度及其分布格局。生境适宜性指数(habitat suitability index, HSI)利用下式计算：

$$HSI = \sum_{i=1}^{n} C_i \times W_i。$$

式中，HSI 为生境适宜性指数，Ci 为第 i 个生境因子的分级赋值，Wi 为各因子权重。

1.2.4　潜在栖息地识别　根据计算出的适宜性分析结果，采取自然间断点分级法划分为适宜生境、中等适宜生境和不适宜生境 3 个等级[30]。针对适宜生境开展植被类型、食源植物、有害生物及水源情况实地调查，通过野外实地调查对分析结果进行全面验证，进一步确认通过模型计算识别出的适宜生境是否能为海南坡鹿提供适宜的生存环境，从而准确识别出潜在栖息地。

1.3　数据来源　生境类型数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(http://www.resdc.cn/)的土地覆盖数据。植被覆盖度利用归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)进行反映，NDVI 通过中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn)获取的 Landsat TM8 遥感影像计算获得。海拔数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn)获取的数字化高程模型(digital elevation model, DEM)。坡度数据利用 DEM 在 ArcGIS 软件 Spatial Analysis 模块进行计算获得。水源距离通过 ArcGIS 软件 Spatial Analysis 模块计算水源距离的空间分布(图 1)。

2　结果与分析

2.1　生境适宜性　生境适宜性计算结果如图 2 所示，高适宜性地区出现在霸王岭、尖峰岭、鹦哥岭、黎母山、吊罗山等山脉的山麓下沿平原地带；低适宜性地区主要为上述各山脉的主体部分。

国家公园海南坡鹿生境适宜性变化范围为 13.43 ~ 95.13，呈明显正态分布(图 3)，平均生境适宜性为 59.89±11.80。

2.2　潜在栖息地　采取自然间断点分级法将海南坡鹿生境适宜性分为适宜生境(生境适宜性范围：66.62 ~ 95.13)、中等适宜生境(52.20 ~ 66.62)和不适宜生境(13.43 ~ 52.20)3 个等级(图 4)。其中，适宜生境面积 1 296.89 km^2，占国家公园总面积的 29.48%；中等生境面积 1 975.07 km^2，占国家公园总面积的 44.89%；不适宜生境面积 1 127.57 km^2，占国家公园总面积的 25.63%(表 3)。经实地调查

表 2　生境适宜性评价判断矩阵及相对权重

Tab. 2　Habitat suitability evaluation judgment matrix and relative weights

	生境类型 Habitat type	植被覆盖度 Vegetation coverage	水源距离 Distance from water sources	海拔 Elevation	坡度 Slope	权重 Weight
生境类型 Habitat type	1	3	2	2	5	0.375
植被覆盖度 Vegetation coverage	1/3	1	1/2	1/3	1	0.093
水源距离 Distance from water sources	1/2	2	1	1	4	0.218
海拔 Elevation	1/2	3	1	1	5	0.248
坡度 Slope	1/5	1	1/4	1/5	1	0.066

注：重要性标度为1 ~ 9，1、3、5、7、9分别代表两比较指标同等重要，前者比后者稍微重要，前者比后者明显重要，前者比后者强烈重要，前者比后者极端重要；2、4、6、8分别表示处于上面两相邻标度之间，倒数代表反比较。

Note: The pairwise comparison judgments were made using Saaty's 1–9 scale. The values 1, 3, 5, 7, and 9 denote equal, moderate, strong, very strong, and extreme importance of one criterion over another, respectively. The intermediate values 2, 4, 6, and 8 represent compromises between two adjacent judgments, while the reciprocals of these values indicate the corresponding inverse comparisons.

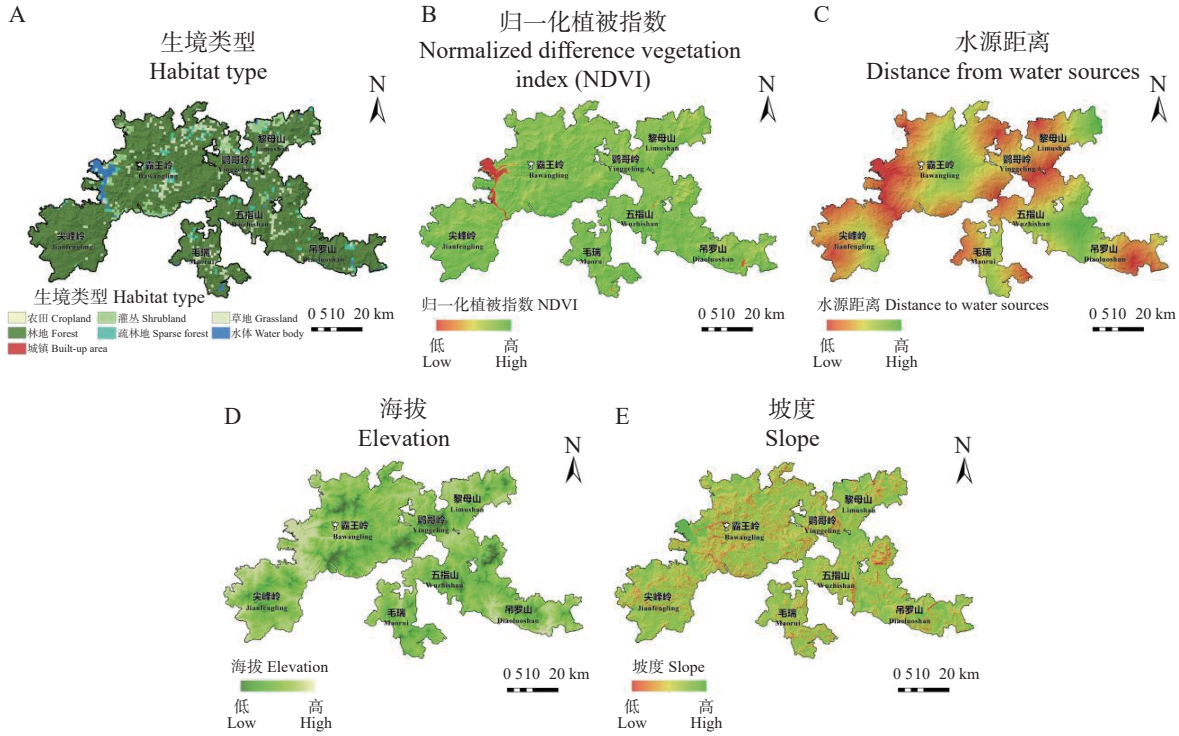

图 1 影响海南坡鹿生境选择的环境因子

Fig. 1 Environmental factors affecting habitat selection of Hainan Eld's deer

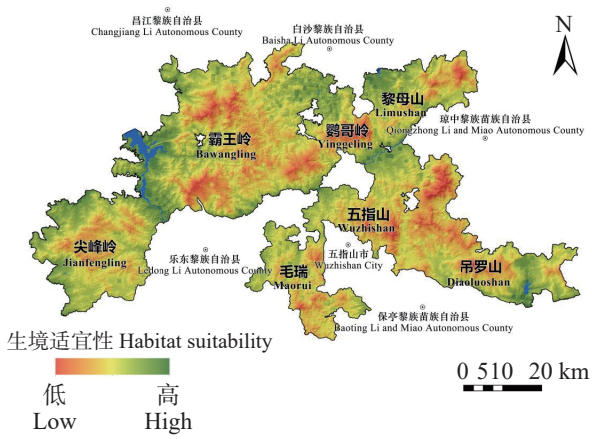

图 2 海南热带雨林国家公园海南坡鹿生境适宜性评价结果

Fig. 2 Habitat suitability assessment of Hainan Eld's Deer in Hainan Tropical Rainforest National Park

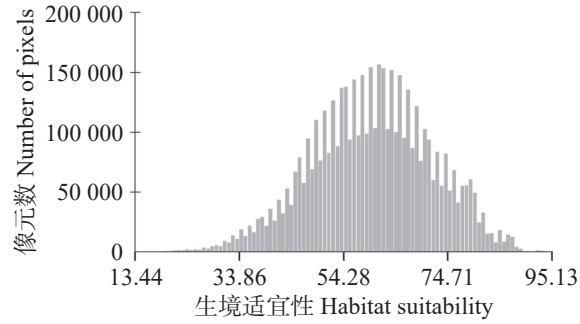

图 3 海南热带雨林国家公园生境适宜性频率分布

Fig. 3 Frequency distribution of habitat suitability in Hainan Tropical Rainforest National Park

验证，适宜生境含海南坡鹿偏好的灌丛、草地等生境，且水源、食源植物分布广泛，有害生物数量较少，可作为坡鹿潜在栖息地，其主要分布于国家公园范围内各山脉的山麓平原带（图 5）。其中，774.98 km^2（59.76%）的潜在栖息地落在一般控制区内，521.91 km^2（40.24%）的潜在栖息地落在核心控制区内。

从国家公园不同区域上看，海南坡鹿潜在栖息地（即适宜生境）分布最为集中的是霸王岭，共 353.21 km^2，占潜在栖息地总面积的 27.20%，其次为尖峰岭（250.35 km^2，19.28%）、黎母山（234.31 km^2，18.04%）、鹦哥岭（207.18 km^2，15.95%）；海南坡鹿潜在栖息地分布最少的为五指山，共 50.34 km^2，占潜在栖息地总面积的 3.88%（表 3）。

3 讨 论

本研究基于多源空间环境因子构建海南坡鹿潜在栖息地适宜性评价，并识别出海南国家公园范围内可作为未来种群扩散、迁地放归与栖息地恢复的关键区域。结果表明，海南坡鹿高适宜性潜在栖息地集中分布于霸王岭、尖峰岭、鹦哥岭、黎母山、吊罗山等山脉的山麓下沿平原地带，面积

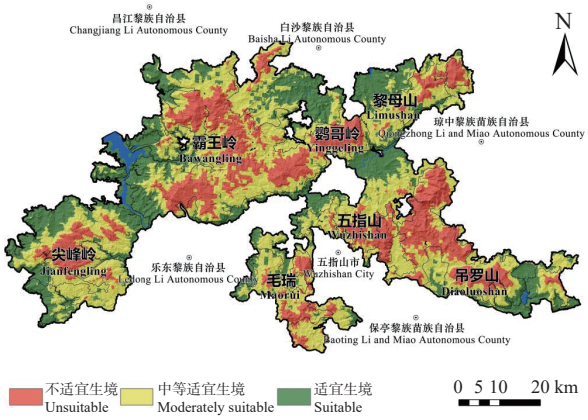

图 4　海南热带雨林国家公园海南坡鹿生境适宜性分级

Fig. 4　Habitat suitability classification of Hainan Eld's deer in Hainan Tropical Rainforest National Park

表 3　海南热带雨林国家公园海南坡鹿生境适宜性分级统计

Tab. 3　Statistics of habitat suitability classification for Hainan Eld's deer in Hainan Tropical Rainforest National Park　/ km²

功能分区 Functional zoning	适宜生境面积 Suitable habitat area	中等适宜生境面积 Moderately suitable habitat area	不适宜生境面积 Unsuitable habitat area
一般控制区 General control area	774.98	751.83	126.63
核心保护区 Core protection zone	521.91	1 223.24	1 000.94
合计 Total	1 296.89	1 975.07	1 127.57

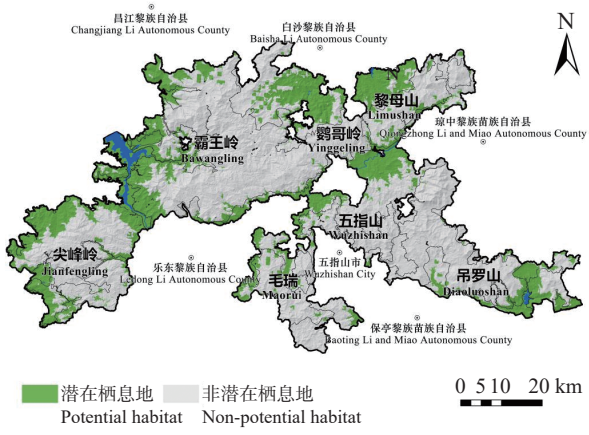

图 5　海南热带雨林国家公园海南坡鹿潜在栖息地分布

Fig. 5　Distribution of potential habitat for Hainan Eld's deer in Hainan Tropical Rainforest National Park

表 4　海南热带雨林国家公园国家公园各区域生境适宜性分级统计

Tab. 4　area-wise habitat suitability distribution in in Hainan Tropical Rainforest National Park　/ km²

区域 Area	适宜生境面积 Suitable habitat area	中等适宜生境面积 Moderately suitable habitat area	不适宜生境面积 Unsuitable habitat area
吊罗山片区 Diaoluoshan Area	129.05	218.05	148.24
尖峰岭片区 Jianfengling Area	250.35	317.41	113.95
黎母山片区 Limushan Area	234.31	248.69	70.78
五指山片区 Wuzhishan Area	50.34	257.65	220.33
毛瑞片区 Maorui Area	74.32	228.83	81.15
鹦哥岭片区 Yinggeling Area	207.18	396.96	269.53
霸王岭片区 Bawangling Area	353.21	305.82	223.39

1 296.89 km², 占国家公园总面积的 29.48%。其中霸王岭片区和尖峰岭片区为高适宜性区域主要分布区(分别占潜在栖息地 27.20% 和 19.28%)。高适宜性区域兼具水源保障、食物资源丰富、地形平缓及避风条件良好等综合优势, 为海南坡鹿提供了理想的觅食、繁殖和隐蔽场所[31−32]。这一研究结果与前人对海南坡鹿种群恢复评述的基本一致[15, 33]。

潜在栖息地中约六成位于海南国家公园一般控制区, 意味着“适宜生境-人类干扰”的耦合将成为迁地保护与种群恢复成败的关键。有研究表明, 道路密度与景观变化可显著改变海南坡鹿适宜栖息地分布并加速栖息地丧失[20]。因此, 适宜性评估的管理转化需要与干扰分层治理、连通性提升及社区共管机制同步推进, 才能把空间潜力转化为可持续的种群增长。

综合考虑海南坡鹿潜在栖息地适宜性占比和生态承载能力, 将海南国家公园各片区划分为 3 类: 1)最优选址区域: 霸王岭片区、尖峰岭片区; 2)次优选址区域: 黎母山片区、鹦哥岭片区; 3)备用选址区域: 吊罗山片区、毛瑞片区、五指山片

区。最优选址区域种群扩展空间较大，适合种群扩散与核心种群建设。目前通过迁地保护和野化放归已经将邦溪保护区的 30 头海南坡鹿迁到霸王岭片区，当前种群发展较好。与此同时，海南省林业局（海南热带雨林国家公园管理局）于 2023 年在尖峰岭片区选取了海南坡鹿迁地保护点，2025 年海南坡鹿迁地保护工程也在尖峰岭片区中沙、陀烈管护范围内开展。这些举措均凸显了霸王岭片区和尖峰岭片区在海南坡鹿迁地保护中的关键作用。山脉主体部分则由于其地形陡峭、水源缺乏、食物资源有限以及避风条件差等因素，呈现低适宜性特征，不利于海南坡鹿的生存和繁衍。这些区域虽然面积广阔，但实际能够为海南坡鹿提供的有效栖息地十分有限。因此，在未来的迁地保护工作中，应重点关注高适宜性区域的保护和管理工作。

栖息地适宜性评价是鹿科动物保护生态学研究中的核心议题之一[34−36]。国内外诸多研究表明，影响鹿类栖息地适宜性的关键环境因子包括生境类型、植被覆盖度、地形（海拔、坡度）、水源可及性及人为干扰强度等，其中，干扰因子常用不透水面面积，道路密度，居民点距离等反映[37−39]。本研究未将干扰因子单独列出，但通过对生境类型的综合考量，将生境类型中城镇用地类型赋值为 0 来代表干扰因子，实际已间接地纳入了干扰因子的影响。未将干扰因子单独列出，可能会存在低估干扰的情况，但本研究采用层次分析法对生境适宜性评价各指标权重进行计算，生境类型相对权重为 0.375，在一定程度上消除了低估干扰的影响。同时，本研究在数据处理过程中，对各生境类型进行了详细的划分与评估，充分考虑了不同生境类型对海南坡鹿生存和繁衍的影响。此外，本研究还结合了实地调查数据，对模型结果进行了验证和修正，进一步提高了评估结果的准确性和可靠性。

本研究在数据相对不足的条件下提供了可解释、可转化的空间底图与治理优先序，为迁地保护选址、生境修复与廊道规划提供了直接支撑。最优区域应集中建设保护核心区，强化生态隔离与食物资源供给；次优区域适宜建设迁地试点和生态走廊；备用区应规划为长期生态恢复与扩展区域。此外，应持续监测栖息地动态变化，结合遥感更新模型参数，适时调整区域分类与管理措施。下一步研究将结合物种分布点、行为监测数据、气候模型等多源数据，引入多模型集成与连通性网络优化，推动海南坡鹿保护从空间潜力走向可持续恢复。

4 建 议

4.1 潜在栖息地生境改造 根据调查结果，发现在海南热带雨林国家公园内存在一定面积的坡鹿潜在栖息地，但这些潜在栖息地同样面临被农田、经济林所占据的问题。因此，妥善合理处理人鹿争地矛盾，是海南坡鹿迁地保护的首要问题。除土地权属外，海南坡鹿要实现迁地保护还需要面对生境改造问题。食物、水源和隐蔽物是影响野生动物生存的 3 大要素[40]，在进行生境改造时需针对食物、水源和隐蔽物 3 大要素进行系统规划与改造。具体而言，在食物资源方面，应恢复原生低平地热带草原和稀树灌丛植被，优先种植坡鹿偏好的本地草类与灌木，如禾本科植物，以提升觅食环境的丰富度与可持续性。在水源保障上，需清理污染源并维护现有溪流、湿地生态系统，必要时增设人工饮水设施，确保水质清洁与常年供应。对于隐蔽物，应通过保留现有灌丛带、增加植被密度或构建人工遮蔽结构，为坡鹿提供躲避天敌和人类干扰的安全空间。此外，改造过程中需结合自然村分布和各片区旅游规划综合考虑，合理规划生态廊道建设，以缓解农业垦殖和开发活动造成的生境隔离问题。

4.2 外来植物防治 海南坡鹿潜在栖息地广泛分布有外来植物，外来植物很少有海南坡鹿喜食的物种，同时外来物种往往会排挤乡土物种，且飞机草（*Ageratina adenophora*）、假臭草（*Praxelis clematidea*）和山香（*Mesosphaerum suaveolens*）等能分泌刺激性化学物质，对一些坡鹿喜食的食源产生负面作用，导致坡鹿食源植物减少[41]。因此，要加强对外来植物的研究和监测，了解其入侵机制、入侵途径、种群定居、发生和爆发机制等，为防治外来植物入侵提供科学理论指导。同时，在建立栖息地之前，应该要对已存在的、具有较强破坏力的外来物种进行清除。提高国家公园内工作人员及居民的专业素质和防患意识，积极宣传教育，提高人们对外来物种及其入侵危害的认识。

4.3　有害生物防治　对海南坡鹿有害的生物(如蜱虫 Ixodida、蚂蟥 Hirudinea、蚊 Culicidae、蝇 Muscidae 等)在其潜在栖息地里有广泛分布,构成多重威胁。摸清潜在栖息地中有害生物的主要属种、分布及其可能传播的病原,针对海南坡鹿栖息地有害生物及其病原传播的威胁,建议采取“生态修复−生物防控−社区共管”三位一体的综合防治措施,通过多维度干预,可在保护海南坡鹿种群的同时维持生态平衡,降低人兽共患病风险。

4.4　持续探索新的潜在栖息地　目前,针对野生物种生境适宜性评价主要模型有生态位因子分析(ENFA)模型、最大熵(MaxEnt)模型、随机森林(random forest)模型和生境适宜性指数(HSI)模型等[42, 43]。目前,由于缺乏海南坡鹿野外分布记录数据,本研究仅采用生境适宜性指数(HSI)模型预测其潜在栖息地。未来研究建议整合多种模型进行交叉验证,从而提升潜在栖息地空间预测的精度。同时,在进行潜在栖息地评价时使用高分辨率底质数据,并充分考虑放牧、耕种、旅游等人为干扰因子,以及气候、坡向等环境因子[44],从而提高模型的适用性和预测结果的可靠性。此外,建议建立长期监测网络,定期更新栖息地评价参数,并将新发现的、符合条件的区域及时纳入海南坡鹿栖息地保护与恢复规划体系,为种群扩散和生态廊道建设提供持续的空间保障。

参考文献:

[1] Keating K A, Cherry S. Use and interpretation of logistic regression in habitat-selection studies[J]. Journal of Wildlife Management, 2004, 68(4): 774−789. https://doi.org/10.2193/0022-541X(2004)068[0774:UAIOLR]2.0.CO;2

[2] 孔晓霞, 郑伟, 高焕霖, 等. 陕西洋县朱鹮生境适宜性评价[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(5): 167−173. https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-7461.2022.05.24

[3] 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银, 等. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(3): 223−231. https://doi.org/10.3321/j.issn:1005-0094.2006.03.005

[4] Diamond J M. Historic extinctions: a Rosetta stone for understanding prehistoric extinctions[M]//Martin P S, Klein R G. Quaternary extinctions. Tucson: University of Arizona Press, 1984: 824−862. https://doi.org/10.2307/j.ctv264f91j.48

[5] Mcshea W J, Koy K, Clements T, et al. Finding a needle in the haystack: regional analysis of suitable Eld's deer (*Cervus eldi*) forest in Southeast Asia[J]. Biological Conservation, 2005, 125(1): 101−111. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.03.013

[6] Wilson D E, Mittermeier R A. Handbook of the mammals of the world: hoofed mammals vol. 2[M]. Barcelona: Lynx Edicions, 2011:425−426.

[7] Zheng C Q, Chen Q, Wong M H G, et al. Whole-genome analyses reveal the distinct taxonomic status of the Hainan population of endangered *Rucervus eldii* and its conservation implications[J]. Evolutionary Applications, 2024, 17(9): e70010. https://doi.org/10.1111/eva.70010

[8] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家林业和草原局 农业农村部公告 (2021 年第 3 号)(国家重点保护野生动物名录)[EB/OL]. (2021-02-01)[2021-05-25]. https://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html.

[9] 汪松. 中国濒危动物红皮书: 兽类[M]. 北京: 科学出版社, 1998:84.

[10] 吴军, 符家诗. 简述海南坡鹿资源保护研究现状[J]. 热带林业, 2012, 40(4): 8−9. https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0938.2012.04.002

[11] 卢学理, 袁喜才, 彭建军, 等. 海南坡鹿种群发展动态与保护建议[J]. 四川动物, 2008, 27(1): 138−141.

[12] 董德. 海南坡鹿退化栖息地改造方法的初步研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.

[13] 余斯绵, 刘振河, 袁喜才. 海南坡鹿资源及保护利用[J]. 野生动物, 1984(5): 9−11.

[14] 张琼, 曾治高, 孙丽风, 等. 海南坡鹿的起源、进化及保护[J]. 兽类学报, 2009, 29(4): 365−371. https://doi.org/10.16829/j.slxb.2009.04.004

[15] 史海涛, 王勤军, 叶芳云. 海南坡鹿的兴衰与反思[J]. 生物学通报, 2000, 35(10): 4−6. https://doi.org/10.3969/j.issn.0006-3193.2000.10.002

[16] Wong M H G, Mo Y, Chan B P L. Past, Present and future of the globally endangered Eld's deer (*Rucervus eldii*) on Hainan Island, China[J]. Global Ecology and Conservation, 2021, 26: e01505. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01505

[17] 卢学理, 袁喜才, 李善元, 等. 海南坡鹿迁地保护现状与建议[J]. 野生动物, 2007, 28(2): 43−45. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0127.2007.02.013

[18] 宋延龄, 李善元. 海南大田国家级自然保护区海南坡鹿容纳量的研究[J]. 动物学报, 1995, 41(3): 275−281.

[19] 中华人民共和国人民政府. 国务院关于同意设立海南热带雨林国家公园的批复 国函〔2021〕104 号[EB/OL]. (2021-10-14)[2021-10-14]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/14/content_5642509.htm.

[20] 颜文博, 曾治高, 宋延龄. 景观变化对海南坡鹿栖息地分布的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(6): 1634−1638. https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.2014.0129

[21] 张建飞, 冯源, 饶晓东, 等. 海南坡鹿展区模拟生境改造: 以海南热带野生动植物园为例[J]. 野生动物学报, 2023, 44(4): 744−752. https://doi.org/10.12375/ysdwxb.20230403

[22] 符明利, 文小梅, 冯英, 等. 大田保护区火烧草地植被对海南坡鹿栖息地的影响[J]. 热带林业, 2018, 46(4): 33−36. https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0938.2018.04.009

[23] 王虹博, 符明利, 韦玲艳, 等. 海南大田国家级自然保护区海南坡鹿生境适宜性动态评价[J]. 野生动物学报, 2025, 46(2): 237−250. https://doi.org/10.12375/ysdw20250201

[24] 卢学理, 袁喜才, 何兵, 等. 海南坡鹿栖息地植被覆盖变化研究[J]. 四川动物, 2008, 27(4): 676−679.

[25] 海南热带雨林国家公园. 海南热带雨林国家公园简介[EB/OL]. https://www.hntrnp.com/news/list-276.html.

[26] 陈凯旋, 王春晓, 梁昌强, 等. 海南坡鹿采食植物初步研究[J]. 热带林业, 2007, 35(4): 25−27. https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0938.2007.04.009

[27] 刘豹, 许树柏, 赵焕臣, 等. 层次分析法：规划决策的工具[J]. 系统工程, 1984, 2(2): 23−30.

[28] 梁健超, 丁志锋, 肖荣波, 等. 基于物种运动路径识别的动物通道选址：以武深高速为例[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8145−8153. https://doi.org/10.5846/stxb201505120971

[29] 许树柏. 实用决策方法：层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988:51−59.

[30] Ayram C A C, Mendoza M E, Etter A, et al. Anthropogenic impact on habitat connectivity: a multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico[J]. Ecological Indicators, 2017,72:895−909.https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.007

[31] 符运南, 何斌斌, 王菊, 等. 大田海南坡鹿保护区生境改造及重建的探讨和研究[J]. 热带林业, 2016, 44(4): 26−30. https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-0938.2016.04.008

[32] 宋延龄, 李善元. 海南坡鹿 (*Cervus eldi hainanus*) 的食性研究[J]. 兽类学报, 1992, 12(4): 248−254. https://doi.org/10.16829/j.slxb.1992.04.002

[33] Pan D, Song Y L, Zeng Z G, et al. Habitat selection by Eld's deer following relocation to a patchy landscape[J]. PLoS One, 2014, 9(3): e91158. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091158

[34] Pan D, Teng L W, Cui F J, et al. Eld's deer translocated to human-inhabited areas become nocturnal[J]. AMBIO, 2011, 40(1): 60−67. https://doi.org/10.1007/s13280-010-0108-2

[35] 符明利, 白振清, 贾康胜, 等. 落叶季雨林疏伐后对海南坡鹿生境选择的研究[J]. 野生动物学报, 2018, 39(3): 502−506. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0127.2018.03.008

[36] Zhang H, Zhang S M, Fu M L, et al. Habitat manipulation preferred by Eld's Deer in Hainan Island, China[J]. Journal for Nature Conservation, 2019, 48: 21−26. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.01.004

[37] Hull V, Zhang J D, Zhou S Q, et al. Impact of livestock on giant pandas and their habitat[J]. Journal for Nature Conservation, 2014, 22(3): 256−264. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2014.02.003

[38] van Langevelde F, van Dooremalen C, Jaarsma C F. Traffic mortality and the role of minor roads[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(1): 660−667. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.09.003

[39] Proppe D S, McMillan N, Congdon J V, et al. Mitigating road impacts on animals through learning principles[J]. Animal Cognition, 2017, 20(1): 19−31. https://doi.org/10.1007/s10071-016-0989-y

[40] 蒋志刚. 动物行为原理与物种保护方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004:68−69.

[41] 符明利, 吴琳琳, 侯荣, 等. 海南坡鹿栖息地的外来植物调查[J]. 野生动物, 2012, 33(6): 309−312. https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-0127.2012.06.002

[42] 王学志, 徐卫华, 欧阳志云, 等. 生态位因子分析在大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 生境评价中的应用[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 821−828. https://doi.org/10.3321/j.issn:1000-0933.2008.02.045

[43] 曾浩威, 凌成星, 张军, 等. 基于融合 MaxEnt 和 HSI 模型的驼鹿生境适宜性评价[J]. 林业资源管理, 2023(4): 115−122. https://doi.org/10.13466/j.cnki.lyzygl.2023.04.014

[44] 官文江, 高峰, 雷林, 等. 多种数据源下栖息地模型及预测结果的比较[J]. 中国水产科学, 2015, 22(1): 149−157. https://doi.org/10.3724/SP.J.1118.2015.00210

Evaluation of potential habitat for Hainan Eld's deer

Zhang Qiongyue[2,3#], Jin Dongqi[1], Guo Xin[3,4], Liu Yanlan[5], Yang Yiming[5], Lie Ganwen[6], Hu Huijian[3*], Liang Jianchao[3*]

（1. Hainan Institute of National Park, Haikou, Hainan 570203, China; 2. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007, China; 3. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Engineering and Technology Research Center for Wildlife Survey Monitoring and Ecological Restoration, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510260, China; 4. College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241002, China; 5. School of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 6. Guangdong Ecological Engineering Vocational College, Guangzhou, Guangdong 510520, China）

Abstract: The habitat selection preferences of Hainan Eld's deer (*Rucervus eldii hainanus*) in Hainan Tropical Rainforest National Park were analyzed by integrating physical environment, biotic factors and anthropogenic disturbances. Five key environmental variables (habitat type, elevation, slope, vegetation coverage, and distance from water sources), which affect the habitat suitability of Hainan Eld's deer, were selected as evaluation indicators for constructing a habitat suitability index (HSI) model using the analytic hierarchy process (AHP) to assess potential habitats for this species within the Hainan Tropical Rainforest National Park. The results show that the high suitability potential habitats for Hainan Eld's deer are distributed in the plain areas along the foothills of mountain ranges such as Bawangling, Jianfengling, Yinggeling, Limushan, and Diaoluoshan, while the low suitability areas are mainly the main parts of the above-mentioned mountain ranges. The potential habitat distribution of Hainan Eld's deer is most concentrated in Bawangling area, with a total area of 353.21 km^2, accounting for 27.20% of the total potential habitat area, followed by Jianfengling area (250.35 km^2, 19.28%), Limushan area (234.31 km^2, 18.04%), Yinggeling area (207.18 km^2, 15.95%), Diaoluoshan area (129.05 km^2, 9.94%), Maorui area (74.32 km^2, 5.72%), and Wuzhishan area (50.34 km^2, 3.88%). These findings can provide theoretical basis and scientific basis for the protection and management of suitable habitats for Hainan Eld's deer.

Keywords: *Rucervus eldii hainanus*; Hainan Tropical Rainforest National Park; analytic hierarchy process; habitat suitability index; potential habitat

(责任编辑:钟云芳)