

DOI: 10.20103/j.stxb.202211013120

田新民, 刘小慧, 张超宇, 张宇, 张子栋, 梁卓, 陈红, 宋雅祺, 王鑫雪, 周绍春. 黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地适宜性评价与廊道构建. 生态学报, 2023, 43(23): 9621-9629.

Tian X M, Liu X H, Zhang C Y, Zhang Y, Zhang Z D, Liang Z, Chen H, Song Y Q, Wang X X, Zhou S C. Habitat suitability evaluation and corridor construction of yellow-throated marten in southern Laoyeling, Heilongjiang Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(23): 9621-9629.

黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地适宜性评价与廊道构建

田新民¹, 刘小慧¹, 张超宇², 张宇³, 张子栋⁴, 梁卓², 陈红¹, 宋雅祺¹, 王鑫雪¹, 周绍春^{4,*}

1 牡丹江师范学院生命科学与技术学院, 牡丹江 157011

2 黑龙江老爷岭东北虎国家级自然保护区, 绥阳 157212

3 沈阳市辉山学校, 沈阳 110164

4 黑龙江省野生动物研究所, 哈尔滨 150081

摘要:黄喉貂 (*Martes flavigula aterrima*) 为典型的林栖兽类, 对栖息地干扰和破碎化极为敏感, 被视为森林生态系统的指示物种。为了科学有效保护该物种, 于 2020—2021 年在黑龙江省老爷岭南部区域布设红外相机 642 台收集黄喉貂活动位点信息, 利用最大熵 (MaxEnt) 建模方法开展黄喉貂栖息地适宜性研究, 探究影响种群生存的关键环境因素, 并利用最小成本路径方法构建潜在的种群扩散生态廊道, 探讨研究区域黄喉貂种群的栖息地连通性。研究结果表明: (1) MaxEnt 模型的受试者工作特征曲线 (ROC 曲线) 评价结果的平均曲线下面积 (AUC) 值为 0.861, 能够较好的反映研究区域黄喉貂栖息地适宜性的实际分布情况; (2) 本研究利用的 13 个变量中, 距东北虎 (*Panthera tigris altaica*)、东北豹 (*Panthera pardus orientalis*) 距离 12 km 黄喉貂出现概率最高, 且贡献率达 20.6%, 是影响黄喉貂栖息地选择的关键变量, 其次坡向 (9.9%)、农田 (9.5%)、草地 (9.0%)、常绿针叶林 (8.9%)、道路 (7.0%)、河流 (6.6%)、居民点 (6.1%) 和海拔 (5.9%) 是影响黄喉貂栖息地质量的次要变量; (3) 研究区域黄喉貂适宜栖息地面积为 793.54 km², 占研究区域总面积的 21.4%, 主要分布在黑龙江省绥阳林业有限公司的柳桥沟、青山和万宝湾林场。黄喉貂栖息地破碎化严重, 因此通过栖息地适宜性分布图获得 15 块总面积为 401.61 km² 的核心栖息地, 并构建 14 条生态廊道利于黄喉貂栖息地生态恢复管理。研究综合分析了黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地现状及连通性, 促进黄喉貂扩散、栖息地的连通性和适宜性。

关键词:黄喉貂 (*Martes flavigula aterrima*); 最大熵模型; 栖息地适宜性评价; 生态廊道

Habitat suitability evaluation and corridor construction of yellow-throated marten in southern Laoyeling, Heilongjiang Province, China

TIAN Xinmin¹, LIU Xiaohui¹, ZHANG Chaoyu², ZHANG Yu³, ZHANG Zidong⁴, LIANG Zhuo², CHEN Hong¹, SONG Yaqi¹, WANG Xinxue¹, ZHOU Shaochun^{4,*}

1 College of Life Science and Technology, Mudanjiang Normal University, Mudanjiang 157011, China

2 Heilongjiang Laoyeling Amur Tiger National Nature Reserve, Suiyang 157212, China

3 Shenyang Huishan School, Shenyang 110164, China

4 Wildlife Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin 150081, China

基金项目:大兴安岭东北虎潜在栖息地及迁移生态廊道研究项目 (CZKYF2022-02); 黑龙江省省属科研院所科研业务费项目 (CZKYF2021B002); 牡丹江师范学院科研项目 (kjcx2022-006mdjnu, MQP201405)

收稿日期: 2022-11-01; 网络出版日期: 2023-08-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Zhoushaochun2003@163.com

Abstract: Yellow-throated marten (*Martes flavigula aterrima*) is a typical forest dweller that is extremely sensitive to human disturbance and habitat fragmentation, and is regarded an indicator species of forest ecosystems. Aiming to scientifically and effectively conserve the yellow-throated marten, 642 infrared cameras were set up in southern Laoyeling, Heilongjiang Province from 2020 to 2021 to collect datasets on the activity locations. The habitat suitability of the yellow-throated marten was analyzed by the MaxEnt method, and the key environmental factors affecting the survival of the yellow-throated marten population. In order to explore the habitat connectivity of the yellow-throated marten's population in the study area, we conducted ecological corridor study using the least-cost path method, and the results of this study showed that: (1) The average AUC (Area under ROC curve) value of Receiver Operating Characteristic (ROC) curve evaluation results of MaxEnt was 0.861, which could better reflect the actual distribution of habitat suitability of the yellow-throated marten in the study area. (2) Among the 13 variables included in this study, the yellow-throated marten had the highest probability of occurrence at about 12 km from Amur tiger (*Panthera tigris altaica*) and Amur leopard (*Panthera pardus orientalis*), and the variable contribution rate was 20.6%, which was considered as the key variable affecting the habitat selection of the yellow-throated marten. It was proved that the yellow-throated marten avoided Amur tigers and Amur leopards. In addition, Slope (9.9%), farmland (9.5%), grassland (9.0%), evergreen coniferous forest (8.9%), road (7.0%), river (6.6%), settlement (6.1%) and altitude (5.9%) were the secondary variables affecting the habitat quality of the yellow-throated marten. (3) The suitable habitat area of the yellow-throated marten in the study area was 793.54 km², accounting for 21.4% of the total area of the study area, which was mainly distributed in the Liuqiaogou, Qingshan and Wanbaowan forest farms of Suiyang Forestry Company of Heilongjiang Province. Although the area of suitable habitat in the study area was large, highly fragmented. Therefore, 15 core habitats with a total area of 401.61 km² were obtained through the habitat suitability distribution map. Finally, 14 ecological corridors were constructed to facilitate the ecological restoration and management of the yellow-throated marten habitat in the study area. This study provides a comprehensive analysis of the habitat status and connectivity of the yellow-throated marten, so as to formulate corresponding conservation plans, which can effectively promote the spread, connectivity, and suitability of the habitat in the southern of Laoyeling, Heilongjiang Province.

Key Words: yellow-throated marten (*Martes flavigula aterrima*); MaxEnt model; habitat suitability evaluation; ecological corridor

黄喉貂 (*Martes flavigula*) 隶属于食肉目 (Carnivora)、鼬科 (Mustelidae) 貂属, 为国家 II 级重点保护野生动物, 是亚热带和热带森林中发现唯一的貂属物种^[1]。栖息地种类繁多, 广泛分布于中国东北、华中、华南等地区^[2]。黄喉貂属典型广食性动物, 食物包括兽类、鸟类、昆虫和植物, 其中兽类是黄喉貂最主要的食物来源, 占 95.28%^[3]。黄喉貂作为中型食肉动物在塑造其栖息地的生态系统中扮演着重要角色。至今, 我国黄喉貂生态学已有广泛研究^[4-5], 但对东北黄喉貂亚种生境的研究较少, 仅见朴敏娟^[6]于 2018 年在黄泥河自然保护区采用样线法收集数据开展了黄喉貂种群数量及冬季生境选择。保护黄喉貂最重要的方法之一是保护其栖息地, 栖息地的保护关键在于确保栖息地之间的连通性。建立黄喉貂栖息地之间的生态廊道连通孤立的斑块, 使之在空间上成为一个整体, 从而有利于黄喉貂在研究区域的扩散与迁移。

中型食肉动物是生态系统的健康指标, 在行为和生态方面具有多样性^[7-8]。Grassman 等^[9]研究发现黄喉貂主要是白天活动而熊狸 (*Arctictis binturong*) 倾向于黄昏和夜间活动; Li 等^[10]在我国秦岭研究发现豹猫 (*Prionailurus bengalensis*)、黄喉貂、花面狸 (*Paguma larvata*) 和猪獾 (*Arctonyx collaris*) 存在时间或空间上的差异。中型食肉动物也面临多方面的竞争压力, 一方面受到大型食肉动物干扰竞争影响, 另一方面同域物种间存在能量需求竞争^[11]。多年的野外调查、监测发现黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地存在破碎化问题, 通过监测收集数据构建栖息地连通性, 有助于优化适宜栖息地格局, 促进黄喉貂扩散和栖息地连通。本研究在黑

龙江省老爷岭南部林区采用红外相机收集黄喉貂的活动位点信息,结合地理信息系统(GIS)、统计分析软件(SPSS)及最大熵模型研究黄喉貂栖息地适宜性,确定影响该物种分布的主要环境影响因子和适宜栖息地空间分布,并运用最小成本路径分析依据黄喉貂适宜栖息地获得核心栖息地之间的生态廊道,以期为黄喉貂栖息地恢复和种群扩散提供科学数据支撑。

1 研究地区

研究地区位于黑龙江省老爷岭南部林区(43°25′—44°15′N,129°57′—131°21′E),东西长 104.3 km,南北宽 73.8 km,总面积 3703.38 km²。研究区域覆盖穆稜林业局、绥阳林业局和东宁市林业和草原局辖区的主要林区(图 1)。这里地形地貌复杂,平均海拔 481.5 m;属温带大陆性季风气候,年平均气温 2.9℃、年平均降雨量为 513.2 mm。植被类型以红松(*Pinus koraiensis*)、落叶松(*Larix gmelinii*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylla*)等优势树种,辅以灌木树种暴马丁香(*Syringa Amurensis*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)等构成落叶阔叶林、常绿针叶林、落叶针叶林和灌丛。丰富的植物资源和独特的气候条件孕育了丰富的野生动物资源,有野猪(*Sus scrofa*)、狍(*Capreolus pygargus*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)、马鹿(*Cervus elaphus*)等,并且黄喉貂与顶级捕食者东北虎(*Panthera tigris altaica*)和东北豹(*Panthera pardus orientalis*)同域分布^[12]。

2 研究方法

2.1 相机监测收集黄喉貂活动位点

2.1.1 相机布设

将研究区域划分为 2 km×2 km 的网格,然后在穆稜东北红豆杉国家级自然保护区(双宁林场、龙爪沟林场、和平林场和共和经营所)、绥阳林业局有限公司(青山林场、寒葱河林场、柳桥沟林场、万宝湾林场、暖泉河林场、三岔河林场、三节砬子林场、中股流林场、圆山林场和太平川林场)和东宁市朝阳沟林场区域,从中随机选择 326 个网格布设相机 1—2 台开展监测收集黄喉貂活动数据(图 1)。布设的相机置于每个网格中动物经常通行的兽道或水源附近。为了避免相机因为晃动产生误拍,相机均固定在胸径大于 16 cm 的树干上,且距离地面约 0.5 m。相机设置包括拍摄模式(拍照+录像)、连拍(3 张)、时间间隔(1 s)、录像长度(15 s)、灵敏度(中)等^[13],并记录相机相应的全球定位系统(GPS)坐标、海拔、植被类型等。相机监测时间为 2020 年至 2021 年,期间换卡 3 次,每次清理相机前端的杂草。

2.1.2 活动位点数据处理

红外相机数据以照片分析为主、视频为辅,对照《黑龙江省兽类志》^[14]的描述进行黄喉貂照片判定;保留出现动物和人为干扰的照片及视频^[15-16],记录所拍摄照片或视频的相机坐标。研究期间共收集到黄喉貂活动位点 109 个。基于黄喉貂分布位点随机生成距离至少 10 km 的背景点作为“伪-未发现点”来构建黄喉貂分布模型^[17-18],共获得 118 个黄喉貂活动位点。为避免模型的过度拟合,每个 2 km×2 km 网格中仅保留一个活动位点,将剩余的 82 个黄喉貂活动位点转换成 MaxEnt 软件要求 CSV 格式保存。

2.2 环境因子数据

(1) 东北虎豹:活动位点来自黑龙江省野生动物研究所于 2018—2022 年开展东北虎、东北豹监测收集数据,通过 ArcGIS 10.4 近邻分析计算黄喉貂与东北虎豹出现位点之间的距离。

(2) 植被:从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)下载分辨率为 30 m 的 Landsat 8 卫星数据,通过 ArcGIS 10.4 将研究地区的植被类型分为:落叶阔叶林、常绿针叶林、落叶针叶林、灌丛和草地。

(3) 地形因子:海拔数据使用 WGS84 投影,通过中国科学院资源环境科学数据中心资源环境数据云平台(<http://www.resdc.cn>)下载 30 m×30 m 全国数字地形高程模型(DEM)数据获得,基于 DEM 数据计算得到坡度和坡向。

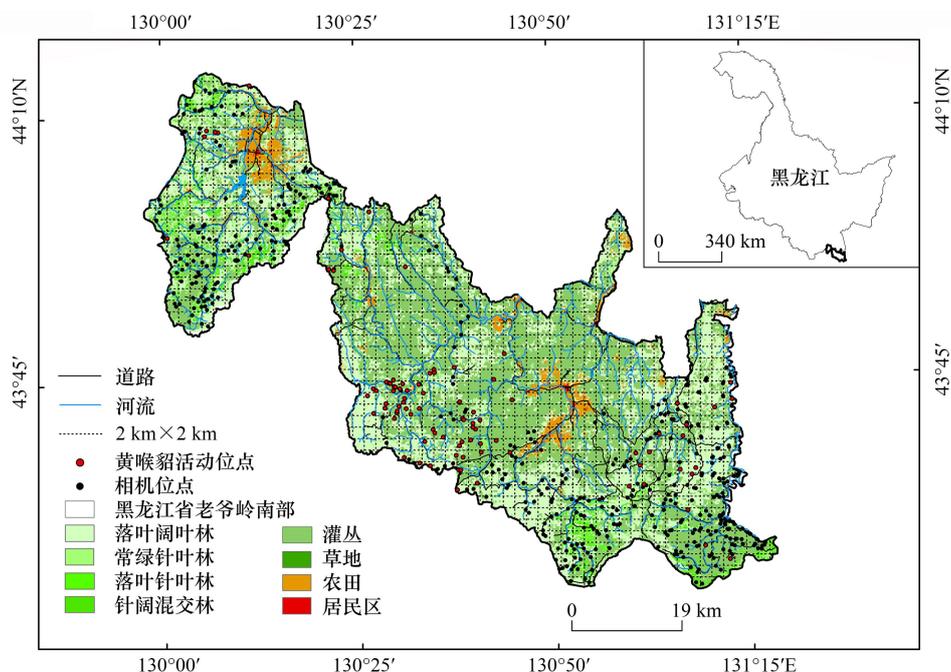


图1 黑龙江省老爷岭南部林区相机位点图

Fig.1 Distribution maps of camera trap in the southern Laoyeling, Heilongjiang Province

(4)人为干扰因子:农田和居民点通过 Landsat8 卫星数据获得;道路在 ArcGIS 10.4 中利用林相地形图进行矢量化获得。

(5)河流:河流由林相地形图矢量化获得。

2.3 适宜生境模型

本研究利用 ArcGIS 10.4 将各环境变量转化成 100 m×100 m 分辨率的栅格数据集,并转化为 ASCII 格式,用于 MaxEnt 模型运算。为了减少进入模型的环境变量间存在相关性对模型预测精度产生负面影响,本研究使用 SPSS 23.0 软件将 12 个环境变量数据标准化处理后 Spearman 相关性分析。根据环境变量贡献值剔除相关系数 $|r| \geq 0.75$ 中贡献值较小的变量,并保留贡献值较大的变量。最终保留全部变量用于构建黄喉貂栖息地适宜性评价模型。

将黄喉貂活动位点和东北虎豹及上述 12 个环境变量导入 MaxEnt 3.4.4,随机选取 75%的黄喉貂活动位点用于建模,其余 25%用于模型验证,重复运算 10 次,其它参数均为模型的默认值。模型预测结果的准确性通过受试者工作特征曲线(ROC 曲线)判断,其中曲线下面积(AUC)值大小代表模型预测结果的精确度^[19]。ROC 曲线评价标准为:AUC 值在 0.5—0.6,不及格;0.6—0.7,较差;0.7—0.8,一般;0.8—0.9,良好;0.9—1.0,优秀^[20]。利用刀切法(Jackknife)检验东北虎豹和其他环境变量对模型预测的重要性和贡献值,并通过各变量与黄喉貂出现概率的响应曲线分析关键变量的影响。此外,为了确定适宜栖息地斑块面积和分布情况,本研究将模型输出结果导入 ArcGIS 10.4,对模型预测结果采用自然间断点分级法(Jenks' natural breaks)进行重分类,将黄喉貂栖息地适宜性划分为不适宜栖息地(0—0.24)、次适宜栖息地(0.24—0.46)和适宜栖息地(0.46—1),最终获得研究区域黄喉貂的栖息地适宜性评价图。

2.4 生态廊道构建

构建生态廊道在缓解生境破碎化、维持濒危物种的遗传多样性、维护自然生态系统结构完整与功能稳定方面具有重要意义^[21]。首先,使用 MaxEnt 模型评估黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地质量,并参考梁国付等^[4]基于黄喉貂的扩散能力,将适宜栖息地面积 > 10 km² 的生境斑块作为黄喉貂核心栖息地斑块。再将黄喉

貂分布预测概率图通过 ArcGis 10.4 软件中的栅格计算器形成“ $1-p$ ”(p 为概率分布值)的栅格图层,作为构建黄喉貂生态廊道的阻力图层。最后,采用最小成本路径分析构建研究区域黄喉貂生态廊道,廊道构建利用 SDMtoolbox 工具包得到最小成本路径,同时参考朱强等^[22]关于动物迁徙廊道的适宜宽度分析结果,确定黄喉貂廊道最低限值的宽度为 7 km,以此为依据在实际建设廊道过程中可根据廊道周围的人为干扰情况适当拓宽和缩减。

3 结果

3.1 MaxEnt 预测结果检测

根据 MaxEnt 中 ROC 曲线评价结果可知,黑龙江省老爷岭南部林区黄喉貂栖息地预测模型的平均训练集 AUC 值为 0.861 ± 0.018 ,表明模型的预测结果能够真实反映该区域黄喉貂栖息地适宜性(图 2)。

3.2 环境因子贡献率

通过 MaxEnt 模型分析了 13 种环境变量对黄喉貂分布的贡献率,结果表明:东北虎豹、坡向、农田、草地、常绿针叶林、道路、河流、居民点和海拔为影响黄喉貂分布的主要环境因子,其累计贡献率达 83.5%,其中东北虎豹是影响黄喉貂分布的主要变量,贡献率为 20.6%;坡向(9.9%)、农田(9.5%)、草地(9.0%)、常绿针叶林(8.9%)、道路(7.0%)、河流(6.6%)、居民点(6.1%)和海拔(5.9%)是影响黄喉貂栖息地质量的次要变量;其他环境变量贡献率均小于 5%,分别为灌丛 4.6%、落叶阔叶林 4.5%、落叶针叶林 4.2%和坡度 3.2%,对黄喉貂栖息地适宜性的影响较小。其中植被变量累计贡献率为 31.2%,人为干扰变量累计贡献率为 22.6%,地形因子累计贡献率为 19%。

3.3 主要环境变量的响应分析

通过黄喉貂出现概率与重要环境变量的响应曲线分析表明(图 3),黄喉貂在距离东北虎豹约 12 km 出现概率最高,在 0—12 km 范围内,随着距离的增加其出现概率逐渐增加,在超过 12 km 后出现概率逐渐降低,表明黄喉貂回避东北虎豹。地形因子显示,黄喉貂在阴坡出现概率最低,偏爱栖息于阳坡或半阴半阳坡;黄喉貂在海拔 600—700 m 处出现概率最高。黄喉貂的栖息地选择受人干扰因子的影响,距离农田 0—2 km 出现概率最高,而距离农田越远黄喉貂出现的概率越低;黄喉貂在距离道路 0—3 km 的范围内,随着距离的增加其出现概率逐渐降低,在超过 3 km 后出现概率逐渐增加;黄喉貂距离居民点越远出现概率越高。植被因子显示,黄喉貂出现概率随距草地距离增加,其出现概率逐渐增加,黄喉貂回避草地景观;距离常绿针叶林越远出现概率越来越低,表明黄喉貂选择常绿针叶林景观。黄喉貂距离河流 1—2 km 黄喉貂出现的概率最高,其峰值在约 1.5 km 处达到最高值。

3.4 栖息地适宜性评价

栖息地适宜性分析表明,黑龙江省老爷岭南部林区黄喉貂的适宜栖息地和次适宜栖息地总面积达 2183.06 km²,占研究区域总面积的 58.9%。其中适宜栖息地面积为 793.54 km²,占研究区域总面积的 21.4%,主要分布在黑龙江省绥阳林业有限公司的柳桥沟、青山和万宝湾林场;次适宜栖息地面积 1389.52 km²,主要分布在适宜栖息地的外围,占研究区域总面积的 37.5%;不适宜栖息地面积为 1520.32 km²,占研究区域总面积的 41.1%。黄喉貂在穆棱东北红豆杉国家级自然保护区和老爷岭东北虎国家级自然保护区分布的适宜栖息地面积分别为 67.06 km²和 142.83 km²,占适宜栖息地面积的 8.5%和 18.0%。

3.5 黄喉貂生态廊道构建

根据黑龙江省老爷岭南部黄喉貂栖息地适宜性分布图,共确定 15 块总面积为 401.61 km²的核心栖息地

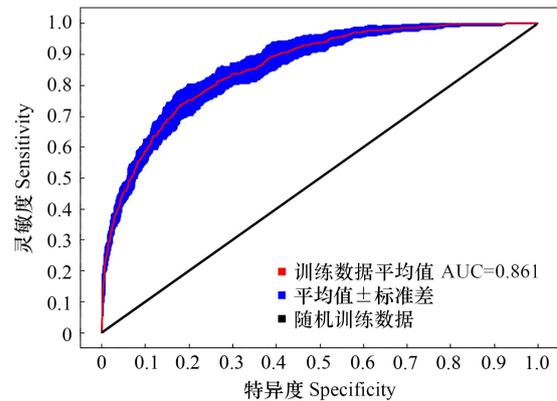


图 2 MaxEnt 预测结果的 ROC 曲线

Fig.2 ROC curve of prediction results of the MaxEnt model

AUC: ROC 曲线下的面积 Area under ROC curve; ROC 曲线: 受试者工作特征曲线 Relative Operating Characteristic Curve

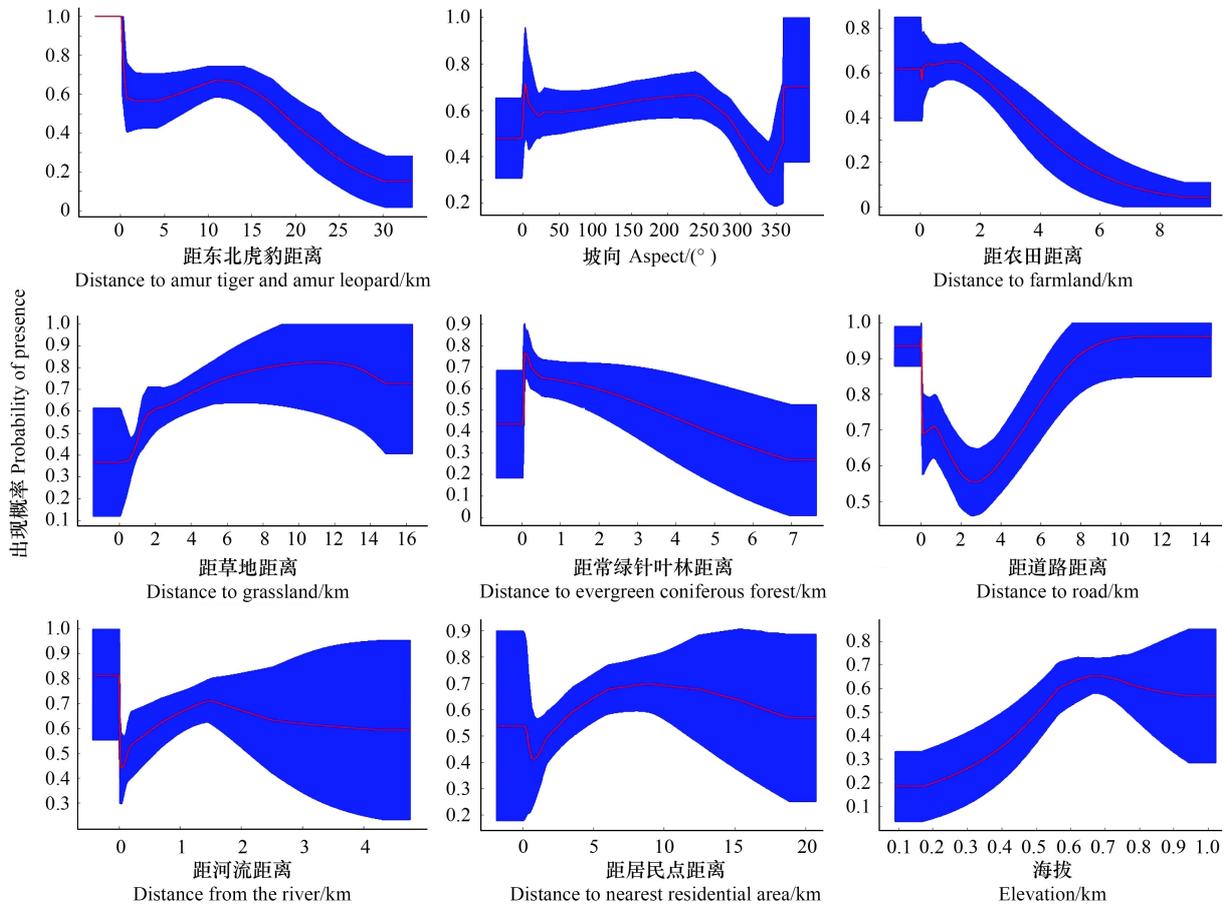


图3 主要变量响应曲线

Fig.3 Response curves of main variables

红色:MaxEnt 重复运算 10 次的平均响应 the mean response of the 10 replicate Maxent runs; 蓝色: 平均响应 \pm 标准差 the mean \pm one standard deviation

斑块, 占适宜栖息地的 50.6%, 其中最大的核心栖息地为 75.6 km², 覆盖绥阳万宝湾、柳桥沟林场。通过廊道分析获得 14 条黄喉貂的扩散生态廊道, 其中大于 30 km 的廊道 9 条。最长廊道(C4)中股流-万宝湾-柳桥沟, 长度为 76.637 km, 最短廊道(C7)直接连接到邻近栖息地, 长度为 9.040 km, 廊道总长度为 542.028 km。所有廊道均经过多条水源, 并远离居民点(图 4)。

4 讨论

开展野生动物栖息地适宜性评估可以明确研究范围内目标物种的潜在适宜栖息地及物种地理分布, 对栖息地的监测有重要意义, 进而制定科学的目标物种保护计划, 并提升管理策略^[23-25]。目前, 常用的栖息地适宜性评价方法包括生境适宜性指数(HSI)模型^[26]、生态位因子分析(ENFA)模型^[27]、InVEST模型(InVEST)^[28]和最大熵(MaxEnt)模型^[29]。其中, 最大熵模型被认为是最有效、可靠的生态建模方法之一^[30-31], 已被广泛运用在珍稀兽类物种的栖息地适宜性预测研究中, 且都取得了较为理想的结果^[32-33]。本研究基于黄喉貂的生态习性和栖息地适宜性评价建模对数据的需求, 获得黑龙江省老爷岭南部黄喉貂出现点 82 个, 选用 MaxEnt 模型进行了老爷岭南部黄喉貂栖息地适宜性评价研究, 研究结果能为黄喉貂制定相关的保护管理对策提供理论依据。

环境变量贡献性分析结果表明, 东北虎豹是影响黄喉貂栖息地适宜性最重要的因素。本研究利用

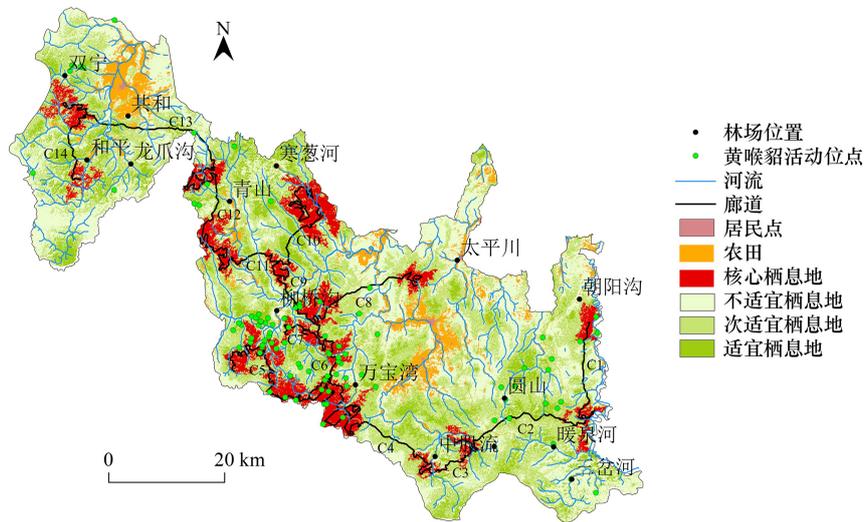


图4 黄喉貂栖息地适宜性分布和廊道位置

Fig.4 Map of the habitat suitability and corridor designs of yellow-throated marten

C1—14; 编号为 1—14 的廊道 Corridors 1—14

2018—2022 年监测获得的东北虎、东北豹数据与黄喉貂活动位点距离分析表明,距离东北虎超过 5 km 的出现点超过 78%,距离东北豹超过 5 km 的出现点超过 80%,黄喉貂栖息地选择避开虎、豹等大型顶级捕食动物以减少竞争,从而达到区域共存(图 5)。本研究地形因子表明,黄喉貂对坡度表现为随机性,喜爱栖息于阳坡或半阳半阴坡,选择海拔 600—700 m 的栖息地,在低海拔到中海拔的地区,黄喉貂和豹猫对小型哺乳动物猎物的竞争较激烈^[34]。植被因子中草地是影响老爷岭南部林区黄喉貂分布的最重要的环境因子之一,草地隐蔽度低,黄喉貂回避草地景观;常绿针叶林与黄喉貂的出现概率呈正相关,以红松林为主的针叶林提供了黄喉貂经常采食的松籽^[35—36];老爷岭南部林区黄喉貂回避居民区,因为黄喉貂是昼行性动物,白天人类活动频繁对其造成了一定程度的干扰;但选择农田附近出现,可能是由于黄喉貂在农田捕食啮齿类动物,张晓龙等^[37]研究表明田地生境中分布的鼠种最多,而啮齿类是黄喉貂的主要猎物之一,并对啮齿类动物的种群数量起到调控作用^[3, 38];黄喉貂距道路 0—3 km 范围内出现的概率越来越低,由于本研究道路包括国道、省道、公路和林间小道,而 10.4% 的黄喉貂活动位点在林间小道,并且 Woo 等^[39]基于雪地追踪研究发现黄喉貂横穿车道及林道。此外,黄喉貂活动范围大,对栖息地干扰和破碎化更加敏感^[40]。

根据 MaxEnt 模型预测,研究地区黄喉貂适宜和次适宜栖息地主要分布在研究地区的中部,而黑龙江老爷岭东北虎国家级自然保护区内适宜栖息地和次适宜栖息地仅占适宜和次适宜栖息地面积(2183.06 km²)的 21.7%,原因是东北虎、东北豹主要集中在保护区内,影响黄喉貂适宜栖息地的分布^[41]。此外,研究结果表明,黑龙江省老爷岭南部林区内黄喉貂栖息地破碎化较严重,通过构建生态廊道用于连接黄喉貂破碎化的栖息地,提高种群间个体基因交流,消除栖息地破碎化对物种生存带来负面的影响,进而改善生态系统服务功

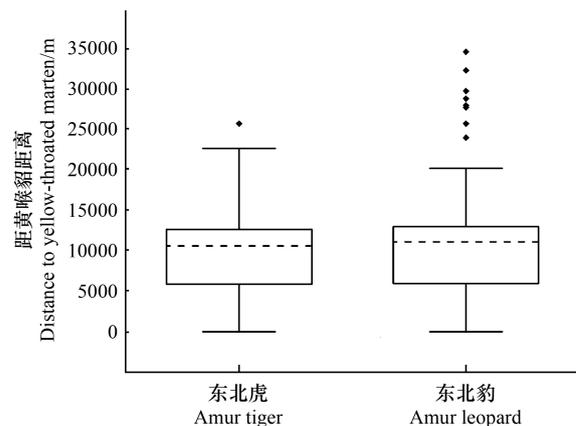


图5 东北虎、东北豹与黄喉貂距离

Fig.5 Distance to occurrence locations of yellow - throated marten of Amur tiger and Amur leopard

能^[42]。本研究构建 14 条生态廊道显示,廊道路径均远离居民点,表明人为干扰因素对黄喉貂迁移的影响具有重要作用。为了回避东北虎豹对黄喉貂的影响,优先开展廊道 C1—C4 的构建。所有廊道未受到农田、道路人为因子的过度干扰,廊道都经过河流,使得黄喉貂在迁移扩散过程中所需水源得到充分保证,并且廊道中植被以林地为主,可以为黄喉貂提供隐蔽场所和足够的食物资源。为了提高潜在廊道区域适宜栖息地的连续性及整体性,缓和林地的碎片化是非常必要的,首先要提高植被的连贯性,增加人工林地的种植。其次,应加强当地居民的宣传教育,使人们充分认识到黄喉貂等野生动物作为食物网重要组成的意义和价值。此外,对于黄喉貂的保护和管理是必要的,因为其在森林生境中发挥着关键作用,可以防止生态系统中的营养级联效应^[43]。尽管黄喉貂在其范围内是研究最少的物种之一,但它作为捕食者在维持食物链和通过其种子传播能力塑造植物群落结构方面发挥着关键作用^[1]。因此,为了保障黄喉貂的长期生存能力,必须制定一项该物种保护行动计划,解决导致其栖息地丧失的因素。

参考文献(References):

- [1] Zhou Y B, Slade E, Newman C, Wang X M, Zhang S Y. Frugivory and seed dispersal by the yellow-throated marten, *Martes flavigula*, in a subtropical forest of China. *Journal of Tropical Ecology*, 2008, 24(2): 219-223.
- [2] 张荣祖. 中国哺乳动物分布. 北京: 中国林业出版社, 1997: 77-78.
- [3] 朱博伟, 王彬, 冉江洪, 李波, 黄峰, 李晓清, 古晓东. 黄喉貂日活动节律及食性的季节变化. *兽类学报*, 2019, 39(1): 52-61.
- [4] 梁国付, 徐海翔, 彭莉, 丁圣彦. 土地利用/覆被变化对生物栖息地连接度的影响——以巩义地区黄鼬、蒙古兔和黄喉貂为例. *生态学报*, 2020, 40(12): 3891-3900.
- [5] 胡强, 林红强, 戴强, 杨志松, 何流洋, 张文, 施小刚. 卧龙保护区三种中型食肉动物的生态位差异. *动物学杂志*, 2020, 55(6): 685-691.
- [6] 朴敏娟. 黄泥河自然保护区鼬科动物种群数量及冬季生境选择研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [7] Roemer G W, Gompper M E, Van Valkenburgh B. The ecological role of the mammalian mesocarnivore. *BioScience*, 2009, 59(2): 165-173.
- [8] Bu H L, Wang F, McShea W J, Lu Z, Wang D J, Li S. Spatial Co-occurrence and activity patterns of mesocarnivores in the temperate forests of southwest China. *PLoS One*, 2016, 11(10): e0164271.
- [9] Grassman L I Jr, Tewes M E, Silvy N J. Ranging, habitat use and activity patterns of Binturong *Arctictis binturong* and yellow-throated marten *Martes flavigula* in north-central Thailand. *Wildlife Biology*, 2005, 11(1): 49-57.
- [10] Li J, Li D Q, Hacker C, Dong W, Wu B, Xue Y D. Spatial co-occurrence and temporal activity patterns of sympatric mesocarnivores guild in Qinling Mountains. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 36: e02129.
- [11] Zhao G J, Yang H T, Xie B, Gong Y N, Ge J P, Feng L M. Spatio-temporal coexistence of sympatric mesocarnivores with a single apex carnivore in a fine-scale landscape. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 21: e00897.
- [12] 周绍春, 张明海, 孙海义, 尹远新. 黑龙江省完达山东部林区东北虎猎物生物量. *生态学报*, 2011, 31(1): 145-153.
- [13] 肖治术, 李欣海, 王学志, 周岐海, 权锐昌, 申小莉, 李晟. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. *生物多样性*, 2014, 22(6): 704-711.
- [14] 马逸清. 黑龙江省兽类志. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1986: 149-412.
- [15] Michalski F, Peres C A. Disturbance-mediated mammal persistence and abundance-area relationships in Amazonian forest fragments. *Conservation Biology: the Journal of the Society for Conservation Biology*, 2007, 21(6): 1626-1640.
- [16] 薛亚东, 刘芳, 郭铁征, 袁磊, 李迪强. 基于相机陷阱技术的阿尔金山北坡水源鸟兽物种监测. *兽类学报*, 2014, 34(2): 164-171.
- [17] Phillips S J, Dudik M, Elith J, Graham C H, Lehmann A, Leathwick J, Ferrier S. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, 2009, 19(1): 181-197.
- [18] Radosavljevic A, Anderson R P. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 2014, 41(4): 629-643.
- [19] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法. *生态学报*, 2015, 35(2): 557-567.
- [20] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [21] 滕扬, 张沼, 张书理, 杨永昕, 贺伟, 王娜, 张正一, 鲍伟东. 大兴安岭南段马鹿生境适宜性分析与生态廊道构建. *生态学报*, 2022, 42(14): 5990-6000.
- [22] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. *生态学报*, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [23] 姜广顺, 李京芝. 中国濒危兽类栖息地评估与保护研究进展与展望. *兽类学报*, 2021, 41(5): 604-613.

- [24] Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 2005, 8(9): 993-1009.
- [25] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. *生态学报*, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [26] 刘玮, 辛美丽, 周健, 詹冬梅, 丁刚, 吴海一. 基于生境适宜性指数模型的偃岛海黍子生境层级分布. *应用生态学报*, 2021, 32(3): 1061-1068.
- [27] 刘鹏, 代娟, 曹大藩, 李志宏, 张立. 普洱市亚洲象栖息地适宜度评价. *生态学报*, 2016, 36(13): 4163-4170.
- [28] 张学儒, 周杰, 李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析. *地理学报*, 2020, 75(1): 160-178.
- [29] 田新民, 陈红, 钟林强, 黄海娇, 刘小慧, 张子栋, 杨孟平, 周绍春. 黑龙江省老爷岭南部穆稜林区马鹿种群分布数量及生境适宜性评价. *生态学报*, 2022, 42(14): 5980-5989.
- [30] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [31] Su H Y, Bista M, Li M S. Mapping habitat suitability for Asiatic black bear and red panda in Makalu Barun National Park of Nepal from Maxent and GARP models. *Scientific Reports*, 2021, 11: 14135.
- [32] 陈文德, 朱坤, 姚文文, 黄钟宣, 彭俊生. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 空间技术对大熊猫在岷山地区的时空变化分析及预测. *西北林学院学报*, 2021, 36(4): 182-190.
- [33] Matyukhina D, Miquelle D, Murzin A, Pikunov D, Fomenko P, Aramilev V, Litvinov M, Salkina G, Seryodkin I, Nikolaev I, Kostyria A, Gaponov V, Yudin V, Dunishenko Y, Smirnov E, Korkishko V, Marino J. Assessing the influence of environmental parameters on Amur tiger distribution in the Russian far east using a MaxEnt modeling approach. *Achievements in the Life Sciences*, 2014, 8(2): 95-100.
- [34] Chiang P J, Pei K, Vaughan M, Li C. Niche relationships of carnivores in a subtropical primary forest in southern Taiwan. *Zoological Studies*, 2012, 51(4): 500-511.
- [35] O'Mahony D T. A species distribution model for pine marten (*Martes martes*) in the least forested region of Europe. *Mammal Research*, 2017, 62(2): 195-200.
- [36] Brainerd S M, Rolstad J. Habitat selection by Eurasian pine Martens *Martes martes* in managed forests of southern boreal Scandinavia. *Wildlife Biology*, 2002, 8(4): 289-297.
- [37] 张晓龙, 赵臻君, 李明, 郭晓明, 杨军, 曲佑民, 李永久, 温占清, 胡孔新, 孙肖红, 王静. 中俄边境中部地区不同生境鼠类初步调查研究. *中华卫生杀虫药械*, 2011, 17(1): 34-36.
- [38] 王庭林, 邹波, 刘青, 韩金巧, 周恩芳. 山西省隰县鼬类食性的分析研究. *山西科技*, 2014, 29(5): 47-49, 59.
- [39] Woo D, Choi T, Kwon H, Lee S, Lee J. The food habits and habitat use of yellow-throated Martens (*Martes flavigula*) by snow tracking in Korean temperate forest during the winter. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 2015, 24(5): 532-548.
- [40] Ritam D, Tanoy M, Amira S, Hemant S, Vineet K, Dutt J B, Dhriti B, Mukesh T, Kumar S L. Climate change may plunder the facultative top predator Yellow-throated Martin from the Hindu-Kush Himalayan Region. *Ecological Informatics*, 2022 (prepublish): 101622.
- [41] Salo P, Nordström M, Thomson R L, Korpimäki E. Risk induced by a native top predator reduces alien mink movements. *Journal of Animal Ecology*, 2008, 77(6): 1092-1098.
- [42] Chetkiewicz C, Boyce M. Corridors for conservation: integrating pattern and process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2006, 37: 317-342.
- [43] Choi M B, Woo D, Choi T Y. Composition of the insect diet in feces of yellow-throated marten, *Martes flavigula*, in Jirisan National Park, South Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 2015, 38(3): 389-395.