

华南虎栖息地构建要素与评估改造技术研究现状

康祖杰^{1,2*}, 黄太福^{1#}, 康艺馨³, 于桂清¹, 唐谨成¹, 杨存存¹, 田书荣⁴, 唐耿超¹, 陈怡铭¹, 唐甲¹, 廖庆义¹, 李子杰¹

¹湖南壶瓶山国家级自然保护区管理局, 湖南 石门

²湖南文理学院/动物学湖南省高校重点实验室, 湖南 常德

³西南林业大学生物多样性保护学院, 云南 昆明

⁴湖南省林业科学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年10月2日; 录用日期: 2023年11月2日; 发布日期: 2023年11月9日

摘要

栖息地丧失与破碎化等是华南虎野外功能性灭绝的主要原因之一。本文综合分析了华南虎栖息地构建要素、评估方法和改造恢复技术的研究进展。总结发现, 影响华南虎栖息地质量的重要因素有猎物密度、水源丰富度、空间适合度。栖息地评估方法较多, 可归纳为利用-可利用、特征分析和种群反应分析三大类; 评估数据获取主要通过访问调查、样线或样方调查、红外相机监测、植被调查和空间信息解析等方式获取; 评估采用的主要因子归纳有植被类型、猎物、坡度、海拔、人为活动等。栖息地恢复重点侧重于食源动物恢复、植被恢复与群落结构优化、整合零星栖息地、建立生境廊道、联通隔离斑块等。研究成果以期期为实施华南虎野化放归试验场所重构、栖息地评估和恢复改造提供参考。

关键词

华南虎, 栖息地, 评估方法, 野化, 生物因子

Status of Research on Habitat Construction Elements, Assessment and Restoration Techniques of South China Tiger

Zujie Kang^{1,2*}, Taifu Hang^{1#}, Yixin Kang³, Guiqing Yu¹, Jincheng Tang¹, Cuncun Yang¹, Shurong Tian⁴, Gengchao Tang¹, Yiming Chen¹, Jia Tang¹, Qingyi Liao¹, Zijie Li¹

¹Management Bureau of Hunan Hupingshan National Nature Reserve, Shimen Hunan

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 康祖杰, 黄太福, 康艺馨, 于桂清, 唐谨成, 杨存存, 田书荣, 唐耿超, 陈怡铭, 唐甲, 廖庆义, 李子杰. 华南虎栖息地构建要素与评估改造技术研究现状[J]. 世界生态学, 2023, 12(4): 403-412. DOI: 10.12677/ije.2023.124049

²Zoology Key Laboratory of Hunan Higher Education, Hunan University of Arts and Science, Changde Hunan

³College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan

⁴Forestry Academy of Hunan Province, Changsha Hunan

Received: Oct. 2nd, 2023; accepted: Nov. 2nd, 2023; published: Nov. 9th, 2023

Abstract

Habitat loss and fragmentation has long been considered the primary cause for functional extinction of South China Tigers in the wild. This paper presents a comprehensive analysis of the research progress on construction elements, assessment methods and restoration techniques of habitat of South China Tigers. It is found that the important factors affecting the quality of South China Tiger habitat are prey density, water abundance, and spatial suitability. Habitat assessment methods are diverse and can be categorized into habitat utilization-availability, characterization analysis, and population response analysis; assessment data are mainly obtained through interview surveys, line transect or sample square surveys, infrared camera monitoring, vegetation surveys, and spatial information analysis; the main factors used for assessment are summarized as vegetation type, prey, slope, elevation, and anthropogenic activities. Habitat restoration focused on restoration of food source animal, vegetation restoration and community structure optimization, integration of fragmented habitats, establishment of habitat corridors, and connection of isolated patches. The results of the study were intended to provide a reference for the pilot implementation of site reconstruction, habitat assessment and restoration, rewilding and reintroduction of the South China Tiger.

Keywords

South China Tiger, Habitat, Assessment Methods, Rewilding, Biological Factors

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

栖息地是动物赖以生存的场所，是维持其正常生命活动环境的总和[1]。虎的适宜栖息地面积不断缩小退化，扩散通道受阻，分布区孤立、不连续，栖息生境破碎严重，导致其种群数量处于极度濒危境地[2]。华南虎(*Panthera tigris amoyensis*)是仅分布于我国的特有虎亚种，也是现存虎中最濒危和最原始的亚种[3] [4] [5] [6]。历史上，华南虎曾广泛分布于我国东、中、南部，分布中心为湖南和江西两省[6] [7]。据资料统计，在 20 世纪 50 年代，华南虎有 4000 只之多，至 90 年代初，估算数量为 20~30 只[8]，种群损失超过 100 倍。1988 年中国政府将其列为国家 I 级重点保护野生动物，CITES 公约附录 I 物种，2016 年的《中国脊椎动物红色名录》评为 CR 级别，世界自然保护联盟(IUCN)将其列为全球 10 种极度濒危的物种之一。由于野生种群数量小于最小生存种群数量，而且分散在湖南、江西、福建等多个地点，不具备自我生存能力，普遍认为已在野外功能性灭绝[9]。

Tilson R 等认为栖息地退化和破碎化、食物资源匮乏和人为活动干扰是导致华南虎野外灭绝的主要原因，因此，需对其潜在的栖息地进行评估，实施生态改造修复工程。现有研究表明，影响华南虎栖息地质量的重

要因素有猎物密度、水源丰富度、空间适合度,且猎物是影响虎生存的最直接因素[2] [10]。国内外对栖息地评估的方法较多, Garshelis 和赵青山等将其分析方法归纳为利用-可利用、特征分析和种群反应分析三大类[11] [12], 黄祥云、Qin 和常禹等在湖南壶瓶山、江西宜黄、湖北后河、福建梅花山等区域对栖息地评估进行了探讨, 评估采用的主要因子有植被类型、猎物、坡度、海拔、人为活动等[8] [10] [13]。申国珍、董德、李鹏飞、龚明昊等对野生动物栖息地改造与恢复技术进行了研究, 指出通过构建生境廊道、补种林木、连接相邻林带、联通隔离斑块和恢复食源动物等方式, 优化空间格局, 使生境充分发挥其功能[14] [15] [16] [17]。这些研究成果, 为华南虎栖息地评估与修复提供了参考。本文将从华南虎栖息地构成要素、评估方法和恢复改造技术进行系统性归纳和总结, 以期对华南虎潜在的栖息地开展评估、改造修复及未来实施该物种重引入领域的研究提供参考, 为推进以国家公园为主体的自然保护地体系建设和国家生态文明建设提供决策依据。

2. 虎的栖息地主要构建要素

栖息地(Habitat)也称生境, 是指生物体所处的环境, 包括温度、湿度、地形、水源等非生物因子和食物、植被等生物因子, 能够为生物体的生存、繁衍和发展提供支持空间。生物圈内, 栖息地大概可以分为两大类, 陆域栖息地和水域栖息地。陆域栖息地包括森林、沙漠、草原、冰原、洞穴等陆生环境, 其中华南虎等猫科类动物主要生活于陆域栖息地的森林草原中[2]。

2.1. 猎物密度

虎的生存需要足够的空间领域, 其领域是根据猎物的密度来决定的。如全年猎物丰富的尼泊尔和印度的虎保护区, 雌性的领域面积一般是 10~39 km²/只, 雄性一般是 30~105 km²/只[18]; 在印度尼西亚的苏门答腊虎自然保护区及国家公园, 虎的领域面积一般为雌性 90 km²/只, 雄性 180 km²/只; 而在俄罗斯远东地带, 猎物分布不均匀且随季节变化, 雌性虎的领域面积一般是 100~400 km²/只, 雄性虎的领域面积一般是 800~1000 km²/只[19]。Bragin 等[20]证实在俄罗斯远东地带成年虎的密度是 1.3~8.6 只/1000 km²。Karanth [21]曾发现, 生活于猎物极其丰富的热带栖息地虎的密度是 7~12 只/100 km², 即单只虎的领域少于 20 km²; 马建章等[2]指出雌性东北虎家域为 450~500 km²。这说明虎的分布密度是随着其食物资源的变化而变化的。国内学者认为华南虎的领域面积一般为 100~200 km²/只[22]或 250 km²/只[8]。虎个体之间均有比较固定的领域, 但个体之间的领地往往相互交错或重叠, 在同一区域内可以有几只虎活动, 主要通过利用领地的时间差实现。

影响虎生存的最直接因素是猎物的缺乏[2] [10]。多项研究表明[23] [24] [25] [26], 孟加拉虎和苏门答腊虎的猎物种类主要有野猪(*Sus scrofa*)、野牛(*Bibos gaurus*)、幼苏门犀(*Didermoceros sumatrensis*)、幼印度犀(*Rhinoceros unicornis*)、幼象(*Elaphas maximus*)、鹿(*Muntiaeus spp.*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)、水鹿(*Cervus unicolor*)、中华鬣羚(*Capricornis sumatraensis*)、中华斑羚(*Nemorhaedus goral*)等各种有蹄类动物, 有时候还捕食猴子、鸟类、爬行动物(如鳄鱼等), 甚至还捕食金钱豹(*Panthera pardus*)及其同类。在冬天, 还有可能在熊的冬眠巢穴里袭击熊, 有时虎也吃腐败变质的肉。袁喜才等[27]和常禹等[13]指出, 华南虎喜食的动物有苏门羚、野猪、赤鹿(*Muntiacus muntjak*)、小鹿(*Muntiacus reevesi*)、毛冠鹿、水鹿、梅花鹿(*Cervus nippon*)、斑羚以及兔、野鸡等其他小型动物。由此推测, 华南虎的食物种类主要为野猪、中华鬣羚、中华斑羚、鹿类、毛冠鹿、水鹿、林麝(*Moschus berezovskii*)等多种有蹄类动物。

虎一次可以吃 18~40 kg 的肉, 如果在此期间无任何干扰, 能维持 3~6 天不再捕食, 若捕食到一个大型猎物, 约可维持 1 周的时间, 不带幼虎的母虎平均 8~8.5 天捕食一次[13] [22]。Rice [28]在印度南部曾经观察到一只孟加拉虎追赶一头受伤的水鹿, 耗时 2 小时, 奔跑了将近 2 km 的路程。Schaller [29]观察到虎在捕食猎物的过程中只有 1/20 的成功率, 在猎物密度较大且环境开阔的地区, 成功率可以达到 1/10。根

据在印度和尼泊尔对野生虎的研究,一只成年虎每年消耗活体重量为 3000 kg 的草食动物,月均消耗量为 250 kg [18] [30],每只华南虎栖息地内食草动物生物量每年要维持在 15,000~30,000 kg [31]。成年华南虎饱食一顿,可吃进 15 kg 以上的肉,最大的进食量甚至达到自己体重的 1/5,可耐饿 5~6 天之久[23] [27]。

2.2. 水源

国内外的研究均指出充足的水源是虎生存与栖息的基础要素之一。郭玉荣[32]对东北虎的研究指出,除山溪泉流外,还应具有天然的沼泽水塘或者人工建造蓄水池塘;福建梅花山华南虎散养区同样通过人工截流形成水塘,供虎饮水降温和嬉戏用[33];南非华南虎野化基地选择了有一条天然溪流的老虎谷,人工建造了一些临时的水槽(1 m × 1 m × 30 cm)提供额外的水弥补旱季水源不足[34]。

2.3. 海拔和坡度

常禹[13]和黄兆锋[35]的研究指出,在梅花山影响老虎栖息地的重要因素是海拔,提出海拔高于 800 m 为适宜生境;Luan 等[36]认为东北虎在海拔 400~1100 m、坡度 15°~30°具有较高适宜性;曹志红[7]指出湖南的华南虎栖息于海拔 300~2000 m 之间;吴专等[37]在华南虎繁育及野化训练基地栖息地适宜性评价中提出,海拔在 300~1200 m、地形坡度在 0°~35°为适宜;Sulistiyono 等[38]分析指出分布在古农列尤择山国家公园(Gunung Leuser National Park)的苏门答腊虎以海拔高度 0~1873 m、地形坡度分别 0°~40°较为适宜。可见,海拔 300~1800 m 和坡度 0°~40°等较为平缓的森林、草原、丘陵或平台地为虎的适宜分布地。

2.4. 植被类型对虎生存的影响

袁喜才[27]对广东调查显示华南虎喜欢沿着山脊小路行走,常在两旁的草地、岩石或树干上撒尿,或是路边扒土、树干挂爪,并且主要的痕迹出现于矮林、山脊草地、常绿阔叶林、马尾松、芒箕、稀树林等植被类型中;常禹等[13]和黄兆锋等[35]的研究指出,梅花山的阔叶林、草山草坡是华南虎活动频繁的区域;刘萍等[39]对江西宜黄华南虎的调查显示,痕迹类型信息记录于针叶林、灌木林、天然林、毛竹林、农田、草丛等;Khan 等[40]调查发现,虎喜欢在林地游动和取食,在草地休息和排便;吴专等[37]认为,阔叶混交林、竹林和针叶林是适宜华南虎的。

2.5. 温度和湿度

历史上,华南虎广布于中国东、中、南部,在古北界、东洋界两大生物地理区都有分布,跨越了温带、暖温带、亚热带和热带四大气候带[23] [33]。显然,华南虎对温度、湿度等因子的耐受能力较强,这将对其实施野化放归项目在气候适应上具有重要的参考价值。

3. 栖息地的评估

动物栖息地的研究是生态学研究的热点[41],而栖息地评估是完善当地保护措施和提高自然保护成效的基础[42],对维护国家生态安全、促进国民经济可持续发展、确保中华民族的长远利益具有重大的战略意义[2]。

3.1. 评估方法研究

当前,国内外的文献研究显示野生动物栖息地评估的方法较多。Garshelis [11]和赵青山等[12]将栖息地评估的分析方法简略分为三大类:

第一,利用 - 可利用分析,即通过比较动物利用的各种栖息地资源比例和可利用资源比例的不同,评估动物是否对各种资源进行了选择,如资源选择函数(Resource selection function) [43],即在栖息地选择

研究中,可将各种栖息地类型看作资源单位,而每个资源单位的选择比例(Selection ratios),实际中应根据所得数据的不同,选择不同的数学模型来估计资源选择函数。成分分析(Compositional analysis) [44],该方法适用于把研究区域划分为几个栖息地类型的实验设计,通过多元方差分析,利用流行的最小凸多边形法(Minimum convex polygon)估计出动物的活动区(Home range)后,分析活动区内和整个研究区域各类栖息地的比例得到第二阶栖息地选择(Second order selection)的结果,在活动区内的栖息地利用和整个活动区之间比较则是第三阶选择(Third order selection),其成分比较包括不同的年龄、性别、季节等。基于欧几里德距离的方法(Euclidean distance-based approach) [45],Conner 等提出一种基于距离的分析方法,这个距离可以是到栖息地类型的距离,也可以是到一些线性空间特征(如道路、河流)的距离。

第二,特征分析,即其统计思路在于找出环境中哪些栖息地特征(包括其数值大小)影响了动物的栖息地利用,如逻辑斯蒂回归(Logistic regression) [46],逻辑回归 Logistic 主要是解决二项式分布的反应变量,它可以反映变量取某值的概率,并解释变量之间的关系,通过回归参数可以了解动物在进行栖息地选择时,哪些环境特征对其影响大,哪些影响小,哪些是正面影响,哪些是负面影响,从而为我们制定相关的保护规划提供依据。生态位因子分析(Ecological-niche factor analysis) [47],生态位因子分析建立在 Hutchinson 生态位概念的基础上,假设物种在多种环境条件下不是随机分布的,在环境因子分析处理数据的过程中利用主成分分析的方法提取出一套新的因子,其因子包括海拔、坡度等地形特征,农田和森林等在样地内的比例,距公路和河流的距离,竞争者和捕食者的密度等;主要是通过边缘性(M)总和与特化性(S)总和来推断物种的生态位;一般来说, M 的范围从 0 到 1, M 值越接近 1,则说明相对整个研究区域物种选择了一个特别的区域;而 S 的取值范围从 0 到无穷大, S 值越大说明物种的生态位宽度越小。景观连接度[48],该方法是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,反映了景观的功能特征,目前度量景观连接度的方法很多,既有结构上的度量方法,也有功能上的度量方法,常用方法有最邻近距离法、图论法、空间格局指数法、缓冲半径和关联函数模型法、尺度-面积比法等。

第三,种群反应分析,即一般认为动物对栖息地的选择偏好是因为高质量的栖息地会给动物带来更高的适合度,因此可以通过建立动物种群特征(或个体生活史特征等)和栖息地特征关系的模型来评估其栖息地选择,如广义线性模型(Generalized linear model) [49],一般利用泊松分布和负二项分布的 GLM 构建种群数量和生境参数之间关系的模型,该方法通过连续多年对某物种种群的观测,计算出当地种群数量的平均数,这个平均数为连续变量,再针对动物个体的表型特征量度、窝雏数等数据和生境特征之间的关系,包括不同年份的变化等,应用 GLM 来构建模型进行分析。还有,通过极大似然法基于赤池信息量准则(Akaike information criterion)来估计模型参数的信息论法(Information theoretic) [50],是基于极大似然法来估计模型参数的方法,针对一组模型中的模型 i 会计算出一个似然权重值 w_i (Likelihood weight), w_i 可以简单理解为这个模型是“最优”模型的可能性,一组模型 w_i 的总和是 1,如果对于一组数据有一个“最优”模型,这个“最优”模型的 w_i 就会很高,其他模型的值就很低,如果所有的模型都不能很好地拟合一组数据,就需要通过“平均”模型的方法来估计参数(根据 w_i 来确定每个模型对参数的贡献比例)。基于个体模型法(Individual-based modeling) [51],该方法模拟每个个体的行为,并整合了生活史信息和生境选择的行为规则,通过模拟某物种活动区的数量和位置来估计其丰富度等。再如群落中多个物种和生境关系的研究中常用典型相关分析法(Canonical correspondence analysis) [52] [53],利用 MaxEnt 最大熵模型预测野生动物潜在分布区的物种分布模型法(Species distribution modelling) [54] [55],基于地理信息系统(GIS)的数据汇集分析法[10] [29]等等。在具体工作中应根据所要解决的问题,选择适合的方法。

3.2. 评估数据的获取

评估数据是评估方法运行的基础和关键。当前评估数据获取的方法简要如下:

访问调查,通过走访目的区域的老猎户、采药人等,搜集目标物种或类群相关的信息,包括信息的类别、时间、见证人等,结合相关栖息地情况分析重点调查的区域[56];样线或样方调查,在调查区域及其周围布设调查样线或样方,设定距离大小、位置、调查时间和频次等,记录所见到的目标物种或类群个体、痕迹、食源动物等信息[57];红外相机监测,在调查区域按照公里网格法等方法布设红外线自动感应相机,监测区域内目标物种或类群的动态变化[58];植被调查,使用样线或样方法,通过随机抽样或者分层调查的方式,对目的区域的植物种类、建群种水平与空间分布、面积、盖度、密度等植被结构特征进行调查[59];空间信息解析,通过遥感(RS)、地理信息(GIS)和全球定位(GPS)等技术,对目的区域土地、林相等空间历史或近现代特征变化进行判读[60]。

3.3. 评估指标

监测与评价指标体系是一系列具有相互联系的指标所组成的整体,可以从各个侧面反映现象总体或样本的数量特征,避免单一性、片面性和主观性。指标的选取要根据动物的生活习性和研究目的提出。

许多学者对华南虎栖息地的评价做出了探索。常禹等[13]和黄兆锋等[35]对梅花山保护区栖息地评价时,采取了地势、植被、农业活动、居民活动和交通等5个因子作为评价参数;黄祥云等[8] [61]对壶瓶山和宜黄自然保护区栖息地评价时,使用了林木大小和郁闭度、有蹄类动物食物的多样性、有蹄类动物的密度等10个因子;曹青[33]对中国潜在的虎栖息地评价时,使用了虎的历史分布、人类活动、坡度等5个因子;周绍春[62]对完达山东部林区东北虎栖息地评价时使用了植被、海拔、坡度等6个因子;Qin等[14]对壶瓶山-后河保护区的潜在栖息地作分析时,采取了生境类型、坡度、海拔和猎物等多个因子;吴专等[29]对江西省资溪县华南虎基地评价时,使用了海拔、土地覆盖、猎物密度等6个因子。

这些研究表明,华南虎栖息地的评价指标是在不断变化的,应结合各地的实际情况,建立一套评价华南虎栖息地退化和恢复的指标体系,为栖息地监测与评价提供依据。

4. 栖息地的改造恢复

栖息地的改造恢复是在动物的习性特征、生境现状研究和生存需要的基础上,以生态生物学等学科理论为指导,合理地规划和建设生境的空间结构,将生境中的各种廊道、斑块与基质的数量和空间格局进行优化,使生境充分发挥其功能[14] [15] [16] [17]。对华南虎的栖息地改造恢复主要为提高食源动物量和恢复华南虎活动空间。

4.1. 提高食源动物量

食源动物量是虎等顶级捕食者的生存基础,在改造栖息地的时候必须考虑食源动物的需要,以下方法可供参考。

增加生产者生物量,通过施肥、堆肥、火烧、刈割等方式,增加土壤肥力,促进植物的生长,增加生产者的供给。增长草食动物食源产量,补种牧草、红薯、玉米等食源植物,给有蹄类动物提供足够食物,应以本地种为主,一方面容易种植,另一方面也可防止生物入侵。林分更新,在茂密的森林中,林下几乎没有草本植物,食草动物难于生存,也不适宜以食草动物为食的食肉动物生存,间伐等方法可以促进森林再生更新。常用方法是斑块状间伐,根据具体情况选好间伐的地点和面积。同时,无植物生长的裸地也是不适宜的,可通过补植乡土树种或其他植物恢复林分植被。

4.2. 恢复华南虎活动空间

由于现生华南虎几乎为动物园饲养繁殖的个体,活动能力弱于其祖先,不适应野外自然条件,需要对其野外栖息地人工改造。归纳起来,有以下几种方法。

促进植被恢复,通过抚育间伐、封山补播、物种更换、定向管理的方式,对部分过密、单一化且不适合华南虎栖居的人工林或天然林进行改造,调整群落结构,优化植物种比例和组成。同时,清理山脊,对山脊上过密的灌木、刺丛进行清除,打通被堵断的兽路。水源优化,均匀或较为均匀的布设,密度可考虑1个/km²。恢复天然水池、修复各类湿地、恢复天然山泉、溪水、布设盐饼舔食点及矿物舔食点。

扩大适宜分布空间,采取生态移民,整合零星化的栖息地。构建生境廊道,补种林木,连接相邻林带等天然植被,降低栖息地破碎化程度,联通隔离斑块[63][64]。此外,部分特殊地形采取额外防护,如岩溶深天坑或陷洞等,可采取防护栏或部分填堵的方式。

5. 小结与展望

5.1. 小结

华南虎栖息地质量影响的重要因素有猎物密度、水源丰富度、空间适合度。猎物是影响虎生存的最直接因素,其密度决定虎的生存空间大小[10][65][66],充足的水源是虎生存与栖息的基础要素之一[32][33],虎生存的适宜海拔约在300~1800 m森林、草原和丘陵区域[7][13][35],坡度约在0°~40°较为平缓地域,且对温度、湿度的耐受能力较强[23][33],这些要素在华南虎原生地华东、华中、华南、西南很多区域均具备这些条件,由于人为活动干扰,目前成片状或岛屿分布。

栖息地评估方法许多学者做出了大量探索[38][39],归纳有利用—可利用分析、特征分析和种群反应分析法三类,对华南虎潜在栖息地评估多集中在华南虎历史分布区[13][27][35][39],常禹、黄兆锋、常禹、曹青等不同研究者针对不同区域选取的评价参数各不相同,但主要因子包括植被类型、猎物、坡度、人为活动等。为减少单一模型研究结果的不确定性,应考虑采取多种评估模型进行分析[55],结合各地实际,尽可能采取更多要素,进而增加评估结果的科学性和可靠性。

5.2. 展望

结合华南虎栖息地构建要素、评估方法和改造恢复技术在国内外的应用现状,在未来华南虎重引入的栖息地重构方面,重点应结合以下方面进行探讨:一是重点关注华南虎作为顶级捕食者的生存基础,包括恢复食源猎物、优化植被群落结构、整合零星栖息地、建立生态廊道。二是建立健全栖息地恢复的长期监测体系,进一步完善相关监测和评估指标体系,制定以监测、评估和保护恢复为重点的科学管理机制,以评估恢复成效。三是加强野生动物保护宣传和执法,目前在华南虎潜在的分布区域依然存在非法盗猎行为,造成其猎物种群恢复困难,需要开展长期的宣传教育和保护执法工作,提升社会公众自觉保护意识。总之,华南虎栖息地重构与恢复是一个复杂系统长期的工程,随着以国家公园为主体的自然保护地体系建设的推进,这一问题将有可能得到很好的解决。

致 谢

感谢湖南省林业局原总工程师桂小杰、王明旭和中南林业科技大学杨道德教授的悉心指导;感谢自然保护区原副处长徐永新对英文摘要、地名和人名给予了校正和修改;感谢省林业局科学技术与国际合作处给予课题项目资金支持;感谢省林业局自然保护区管理处和野生动植物保护处给予华南虎野化放归试验项目实践资金支持;感谢感谢壶瓶山管理局原局长高敬民和现任局长覃事用的大力支持;感谢覃基刚、张卓斌、贺春容、张法明、李赫文、付彬、丁世维、程心、李欣、金培松、伍虹舟、周涛、范永国、龚凡忠、王文渊、付关琼等参与华南虎野化放归试验基地本底资源调查和项目实验工作。

基金项目

湖南省林业科技攻关与创新项目(XLK202102);中央国家级自然保护区补助项目和国家重点野生动

植物保护项目(22022303)。

参考文献

- [1] Block, W.M. and Brennan, L.A. (1993) The Habitat Concept in Ornithology: Theory and Applications. In: Power, D.M., Ed., *Current Ornithology*, Springer, Boston, 35-91. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9912-5_2
- [2] 马建章, 邹红菲, 郑国光. 中国野生动物与栖息地保护现状及发展趋势[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(4): 3-6.
- [3] Tilson, R., Nyhus, P. and Muntifering, J.R. (2010) Yin and Yang of Tiger Conservation in China. In: Tilson, R. and Nyhus, P.J., Eds., *Tigers of the World: The Science, Politics, and Conservation of Panthera tigris*, (Second Edition), Academic Press, San Diego, 439-451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1570-8.00035-9>
- [4] Nyhus, P. (2008) *Panthera tigris* ssp. *amoyensis* (South China Tiger). The IUCN Red List of Threatened Species, IUCN, Gland.
- [5] 李倩. 东北虎与华南虎全基因组重测序及其比较基因组学分析[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
- [6] 李伟, 严霞晖, 张强, 等. 华南虎研究现状[J]. 经济动物学报, 2020, 24(2): 115-118, 124.
- [7] 曹志红. 湖南华南虎的历史变迁与人虎关系勾勒[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2012, 42(6): 1000-1006.
- [8] 黄祥云, 胡德夫, 唐小平, 等. 壶瓶山自然保护区华南虎野外调查及栖息地评价[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(2): 180-184.
- [9] Tilson, R., Defu, H., Muntifering, J. and Nyhus, P.J. (2004) Dramatic Decline of wild South China Tigers *Panthera tigris amoyensis*: Field Survey of Priority Tiger Reserves. *Oryx*, **38**, 40-47. <https://doi.org/10.1017/S0030605304000079>
- [10] Qin, Y., Nyhus, P.J., Larson, C.L., et al. (2015) An Assessment of South China Tiger Reintroduction Potential in Hupingshan and Houhe National Nature Reserves, China. *Biological Conservation*, **182**, 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.036>
- [11] Garshelis, D.L. (2000) Delusions in Habitat Evaluation: Measuring Use, Selection and Importance. In: Boitani, L. and Fuller, T.K., Eds., *Research Techniques in Animal Ecology: Controversies and Consequences*, Columbia University Press, New York, 111-164.
- [12] 赵青山, 楼瑛强, 孙悦华. 动物栖息地选择评估的常用统计方法[J]. 动物学杂志, 2013, 48(5): 732-741.
- [13] 常禹, 徐吉炎, 苏文贵, 等. 华南虎栖息地适宜性评价及其保护规划[J]. 中国生物圈保护区, 1998(1): 27-30, 44.
- [14] 申国珍. 大熊猫栖息地恢复研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2002.
- [15] 董德. 海南坡鹿退化栖息地改造方法的初步研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [16] 龚明昊, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 道路影响下野生动物廊道的选址——以大熊猫保护廊道为例[J]. 生态学报, 2015, 35(10): 3447-3453.
- [17] 李鹏飞, 杨涛, 张玉铭, 等. 石首野生麋鹿种群采食植物生境及其修复途径[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(15): 48-50.
- [18] Squuist, M.E. (1981) The Social Organization of Tigers (*Panthera tigris*) in Royal Chitwan National Park, Nepal. *Smithsonian Contributions to Zoology*, **336**, 1-98. <https://doi.org/10.5479/si.00810282.336>
- [19] Matjushkin, E.N., Zhivotchenko, V.I. and Smirnov, E.N. (1980) The Amur tiger in the USSR. Zoological Museum of Moscow University, Moscow. <https://policycommons.net/artifacts/1371263/the-amur-tiger-in-the-ussr/1985437/>
- [20] Bragin, A.P. (1986) Population Characteristics and Social-Spatial Patterns of the Tiger *Panthera tigris* on the Eastern Macroslope of the Sikhote-Alin Mountain Range, USSR. Pacific Institute of Geography of the Far East, USSR Academy of Sciences, Vladivostok Orig.
- [21] Karanth, K.U. (1993) How Many Tigers? Field Censuses in India. *Hornbill*, **1**, 2-9.
- [22] Loeke, A. (1954) The Tigers of Trengganu. Museum Press, London.
- [23] Sunquist, M. (2010) What Is a Tiger? Ecology and Behaviour. In: Tilson, R. and Nyhus, P.J., Eds., *Tigers of the World: The Science, Politics, and Conservation of Panthera tigris*, (Second Edition), Elsevier Academic Press, San Diego, 19-33. <https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-1570-8.00002-5>
- [24] Kristin, N. and Jackson, P. (1996) Wild Cats: Status Survey and Conservation Action Plan. The International Union for Conservation of Nature, Gland.
- [25] Heptner, V.G. and Sludskii, A.A. (1992) Mammals of the Soviet Union. Vol III: Carnivores (Feloidea). VysshaShkola, Moscow. <https://doi.org/10.1163/9789004627352>

- [26] Biswas, S. and Sankar, K. (2002) Prey Abundance and Food Habit of Tigers (*Panthera tigris tigris*) in Pench National Park, Madhya Pradesh, India. *Journal of Zoology*, **256**, 411-420. <https://doi.org/10.1017/S0952836902000456>
- [27] 袁喜才, 陈万成, 卢开和, 等. 广东省华南虎及栖息地调查[J]. 野生动物, 1994(4): 10-14.
- [28] Rice, C.G. (1981) Observations on Predators and Prey at Eravikulam National Park, Kerala. *Journal of the Bombay Natural History Society*, **83**, 283-303.
- [29] Schaller, G.B. (1983) Mammals and Their Biomass on a Brazilian Ranch. *Arquivos de Zoologia*, **31**, 1-36. <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7793.v31i1p1-36>
- [30] Schaller, G.B. (1967) The Deer and the Tiger: A Study of Wildlife in India. University of Chicago Press, Chicago.
- [31] 孙国政, 罗伟雄, 王继山. 建立国家公园体制对华南虎野外放归的机遇分析[J]. 林业建设, 2019(1): 1-5.
- [32] 郭玉荣. 东北虎迁地保护研究及自然保护区野化训练场构建策略[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014.
- [33] 曹青. 散养华南虎行为学及其潜在栖息地的分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [34] 国家林业局野生动植物研究与发展中心. 华南虎野化概要[R]. 2013.
- [35] 黄兆锋, 廖春民, 常禹. 应用地理信息系统(GIS)规划华南虎栖息地[J]. 野生动物, 1998(1): 18-19.
- [36] Luan, X.F., Qu, Y., Li, D.Q., et al. (2011) Habitat Evaluation of Wild Amur Tiger (*Panthera tigris altaica*) and Conservation Priority Setting in North-Eastern China. *Journal of Environmental Management*, **92**, 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.001>
- [37] 吴专, 郝利霞, 何欢, 等. 华南虎繁育及野化训练基地栖息地适宜性评价[J]. 绿色科技, 2016(16): 193-194.
- [38] Sulistiyono, N., Rambe, B.A., Patana, P. and Purwoko, A. (2020) Spatial Model of the Sumatran Tigers (*Panthera tigris sumatrae*) Prey Habitat Suitability Index in Besitang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **454**, Article ID: 012093. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012093>
- [39] 刘萍, 彭贤文. 江西宜黄华南虎及栖息地调查[J]. 江西林业科技, 2005(5): 32-33, 63.
- [40] Khan, M.M.H. and Chivers, D.J. (2007) Habitat Preferences of Tigers *Panthera tigris* in the Sundarbans East Wildlife Sanctuary, Bangladesh, and Management Recommendations. *Oryx*, **41**, 463-468. <https://doi.org/10.1017/S0030605307012094>
- [41] Johnson, D.H. (1980) The Comparison of Usage and Availability Measurements for Evaluating Resource Preference. *Ecology*, **61**, 65-71. <https://doi.org/10.2307/1937156>
- [42] 罗翀, 徐卫华, 周志翔, 等. 基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1221-1229.
- [43] Boyce, M.S., Vernier, P.R., Nielsen, S.E. and Schmiegelow, F.K.A. (2002) Evaluating Resource Selection Functions. *Ecological Modelling*, **157**, 281-300. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00200-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00200-4)
- [44] McCorquodale, S.M. (2003) Sex-Specific Movements and Habitat Use by Elk in the Cascade Range of Washington. *The Journal of Wildlife Management*, **67**, 729-741. <https://doi.org/10.2307/3802679>
- [45] Obbard, M.E., Coady, M.B., Pond, B.A., et al. (2010) A Distance Based Analysis of Habitat Selection by American Black Bears (*Ursus americanus*) on the Bruce Peninsula, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, **88**, 1063-1076. <https://doi.org/10.1139/Z10-072>
- [46] Zheng, W., Yu, X., Li, L.H., et al. (2012) Effect of the Wenchuan Earthquake on Habitat Use Patterns of the Giant Panda in the Minshan Mountains, Southwestern China. *Biological Conservation*, **145**, 241-245. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.016>
- [47] Sakamaki, H. and Enari, H. (2012) Activity-Specific Evaluation of Winter Habitat Use by Japanese Macaques in Snow Areas, Northern Japan: Implications for Conifer Plantation Management. *Forest Ecology and Management*, **270**, 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.010>
- [48] 张文广, 唐中海, 齐敦武, 等. 大相岭北坡大熊猫生境适宜性评价[J]. 兽类学报, 2007, 27(2): 146-152.
- [49] Guisan, A., Edwards Jr, T.C. and Hastie, T. (2002) Generalized Linear and Generalized Additive Models in Studies of Species Distributions: Setting the Scene. *Ecological Modelling*, **157**, 89-100. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- [50] Whittingham, M.J., Stephens, P.A., Bradbury, R.B., et al. (2006) Why Do We Still Use Stepwise Modelling in Ecology and Behaviour? *Journal of Animal Ecology*, **75**, 1182-1189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01141.x>
- [51] Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., et al. (2006) A Standard Protocol for Describing Individual-Based and Agent-Based Models. *Ecological Modelling*, **198**, 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>
- [52] Shochat, E. and Tsurim, I. (2004) Winter Bird Communities in the Northern Negev: Species Dispersal Patterns, Habitat Use and Implications for Habitat Conservation. *Biodiversity and Conservation*, **13**, 1571-1590.

<https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000021329.66339.1e>

- [53] Reif, J., Storch, D., Vorštek, P., Šťastný, K. and Bejček V., (2008) Bird-Habitat Associations Predict Population Trends in Central European Forest and Farmland Birds. *Biodiversity and Conservation*, **17**, 3307-3319. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9430-4>
- [54] Kearney, M. and Porter, W. (2009) Mechanistic Niche Modelling: Combining Physiological and Spatial Data to Predict Species' Ranges. *Ecology Letters*, **12**, 334-350. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>
- [55] 戎战磊, 高雅月, 陈生云, 等. 祁连山国家公园青海片区雪豹栖息地适宜性评价[J]. 兽类学报, 2022, 42(5): 553-562.
- [56] 赵俊松, 张建伟, 柏梦焱, 等. 苍山野生动物时空分布动态[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 691-700.
- [57] 陈彬. 生物多样性野外调查地理信息管理、路线精细设计和精确导航方法[J]. 生物多样性, 2016, 24(6): 701-708.
- [58] 张履冰, 崔绍朋, 黄元骏, 等. 红外相机技术在我国野生动物监测中的应用: 问题与限制[J]. 生物多样性, 2014, 22(6): 696-703.
- [59] 陈冬基. 亚热带森林植被调查方法的研究[J]. 浙江林学院学报, 1985(1): 4-9.
- [60] 郭意明. 森林资源规划设计调查中“3S”技术的运用[J]. 林业勘查设计, 2018(3): 55-57.
- [61] 黄祥云, 胡德夫, 刘伟石, 等. 宜黄自然保护区华南虎野生种群调查及栖息地评价[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(4): 54-58.
- [62] 周绍春. 东北虎及其猎物的种群大小、生境选择与评价研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [63] 崔国发, 邢韶华, 李玉强, 等. LY/T 2016-2012 陆生野生动物廊道设计技术规程[S]. 北京: 国家林业局, 2012.
- [64] 王鹏程, 杨敬元, 汪正祥, 等. DB42/T1364-2018 神农架川金丝猴生境廊道规划与建造技术规程[S]. 武汉: 湖北省质量技术监督局, 2018.
- [65] 马建章, 张明海, 姜广顺, 等. 我国老虎及其栖息地保护面临的挑战与对策[J]. 野生动物学报, 2015, 36(2): 129-133.
- [66] 田书荣, 王明旭, 姜广顺, 等. 武陵山脉东段华南虎重引入的种群生存力分析[J]. 野生动物学报, 2022, 43(1): 5-16.