

DOI: 10.5846/stxb201912172723

华俊钦, 石江艳, 李建强, 杨海, 徐基良. 基于物种分布的森林生态系统类型自然保护区功能区划评价——以河南连康山国家级自然保护区为例. 生态学报, 2020, 40(20): 7287-7298.

Hua J Q, Shi J Y, Li J Q, Yang H, Xu J L. Evaluation on functional zoning of forest ecosystem nature reserves based on species distribution: a case study of Henan Liankangshan National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7287-7298.

# 基于物种分布的森林生态系统类型自然保护区功能区划评价

——以河南连康山国家级自然保护区为例

华俊钦<sup>1</sup>, 石江艳<sup>1</sup>, 李建强<sup>1</sup>, 杨海<sup>2</sup>, 徐基良<sup>1,\*</sup>

1 北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083

2 河南连康山国家级自然保护区管理局, 信阳 465550

**摘要:** 森林生态系统类型自然保护区是我国最主要的自然保护区类型, 该类型自然保护区通常具有复杂多样的保护对象, 因此对其进行功能区划需全面考虑各种保护对象的需求。评价森林生态系统类型的自然保护区功能区划有利于提高自然保护区的保护有效性。以属于森林生态系统类型自然保护区的河南连康山国家级自然保护区功能区划为研究对象, 于 2016 年 12 月至 2018 年 12 月在该自然保护区内进行样线和红外相机调查, 获取白冠长尾雉及与白冠长尾雉存在种间相互作用物种的分布点数据, 结合收集的环境数据, 采用 MaxEnt 模型对白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 和与白冠长尾雉存在种间相互作用物种的分布进行预测, 进而分析物种与该自然保护区功能区划的空间关系, 及自然保护区内野生动物分布与人为干扰强度的空间关系, 评估连康山国家级自然保护区现有功能区划对白冠长尾雉和与白冠长尾雉存在种间相互作用物种的保护有效性。结果表明, 保护区内高保护价值区域面积为 33.84 km<sup>2</sup>, 核心区、缓冲区和实验区内高保护价值区域面积分别占保护区总面积的 18.96%、3.84% 和 9.19%, 自然保护区内高保护价值区域面积比例偏低。保护区现有功能区划并不能充分满足保护白冠长尾雉栖息地的需要, 且核心区、缓冲区和实验区面临不同程度的人为干扰的影响, 这对保护区内重点保护对象的生存产生潜在威胁。因此, 结合保护区内保护价值与人为干扰分布现状, 针对白冠长尾雉及相关物种的受胁情况提出两种不同的保护区功能区划优化方案, 在不降低连康山国家级自然保护区面积的前提下, 提高核心保护区白冠长尾雉及相关物种适宜栖息地面积的比例, 同时降低保护区内人为干扰强度。本研究可为该保护区保护白冠长尾雉提供决策依据, 并为其他以野生动物为保护目标的保护区功能区划优化提供指导方法。

**关键词:** 物种分布; MaxEnt 模型; 连康山国家级自然保护区; 功能区划

## Evaluation on functional zoning of forest ecosystem nature reserves based on species distribution: a case study of Henan Liankangshan National Nature Reserve

HUA Junqin<sup>1</sup>, SHI Jiangyan<sup>1</sup>, LI Jianqiang<sup>1</sup>, YANG Hai<sup>2</sup>, XU Jiliang<sup>1,\*</sup>

1 School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Administration Bureau of Liankangshan National Nature Reserve, Xinyang 465550, China

**Abstract:** As the most important type of nature reserve in China, forest ecosystem nature reserve usually has complex and diverse protection objects. In order to regionalize its functions, the needs of various protected objects should be considered

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31872240)

收稿日期: 2019-12-17; 修订日期: 2020-07-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xujiliang@bjfu.edu.cn

comprehensively. Evaluating the functional zoning of the forest ecosystem nature reserve is conducive to improving the protection effectiveness of it. In this study, we took the functional division of Henan Liankangshan National Nature Reserve, a forest ecosystem type nature reserve, as the research object. From December 2016 to December 2018, we conducted surveys of Line transect and infrared-trigger camera in this nature reserve to obtain the distribution point data of Reeves's pheasant and the related species. Combined with the collected environmental data, we preformed the distribution and the species interacting of Reeves's pheasant (*Syrnaticus reevesii*) by MaxEnt model. Furthermore, the spatial relationship between species and functional zoning of the nature reserve was analyzed, as well as the spatial relationship between the distribution of wild animals and the intensity of human disturbance in the nature reserve. Then, we evaluated the protection effectiveness of the Liankangshan National Nature Reserve existing functional zoning for the Reeves's pheasant and the species interacting of Reeves's pheasant. The results show that the area of high protection value area in this nature reserve is 33.84 km<sup>2</sup>, and the area of high protection value in core area, buffer zone and experimental area account for 18.96%, 3.84% and 9.19% of the nature reserve respectively. The area ratio of high protection value area is relatively low in Liankangshan National Nature Reserve. The existing functional zoning of the reserve does not fully meet the need to protect the habitat of the Reeves's pheasant. The core area, buffer zone and experimental area are faced with different degrees of human disturbance, which poses a potential threat to the survival of the key protected objects in the nature reserve. Therefore, according to the present situation of protection value and human disturbance distribution, two different functional zoning optimization schemes of Reeves's pheasant were put forward. On the premise of not reducing the area of Liankangshan National Nature Reserve, increase the proportion of the suitable habitat area of Reeves's pheasant and related species in the core protection area, while reduce the intensity of human disturbance in the protection area. This study could provide decision-making basis for the protection of Reeves's pheasant in Liankangshan National Nature Reserve and provide guidance for the optimization of functional zoning of other nature reserve with wild animals as the protection goal.

**Key Words:** species distribution; MaxEnt model; Liankangshan National Nature Reserve; functional zoning

如何维持和提高生物多样性一直是全球关注的话题<sup>[1]</sup>,其中建立自然保护区是保护生物多样性最有效的方式之一<sup>[2-3]</sup>。自然保护区作为一个地区的物种资源储备基地<sup>[4]</sup>,可以保护不同栖息地类型中的物种、群落和生态系统,还维持着所在区域的物质循环和能量流动过程<sup>[5]</sup>。自然保护区功能区划是缓冲威胁并减缓保护与发展矛盾的有效手段<sup>[4]</sup>,是保护区科学管理的重要环节<sup>[5]</sup>。研究表明,科学的自然保护区功能区划能更好地发挥自然保护区保护生物多样性的功能<sup>[1]</sup>。

我国自然保护区功能区划主要采用国际“人与生物圈”计划的“三区”分模式,即核心区、缓冲区和实验区<sup>[6]</sup>。然而,早期建立的自然保护区,受其自然资源本底数据不足及技术条件落后的限制,其功能区划常存在较大的主观随意性。同时,保护区及周边社区经济发展、土地利用类型改变<sup>[7-8]</sup>,可能导致物种迁移<sup>[1]</sup>,使得保护区内社区发展与野生动物保护之间的矛盾日益凸显<sup>[9]</sup>,严重影响了自然保护区在保护区域生物多样性中的作用。因此,自然保护区功能区应该根据特定的保护对象分布状况及生存需求,并结合人为干扰和各自然环境的分布现状来划分。

野生动、植物类型自然保护区保护对象明确,功能区划相对简单,森林生态系统类型保护区的保护对象除典型的森林生态系统外,国家重点保护的野生动、植物种及其栖息地也可能是森林生态系统类型保护区的重点保护对象<sup>[10]</sup>,因此这一类型自然保护区进行功能区划分时应兼顾各种保护对象的需求。然而,由于保护目标较多,森林生态系统类型保护区功能区划可能存在诸多问题<sup>[11]</sup>。为探索森林生态系统类型自然保护区功能区划中可能存在的问题的解决方法,本文在河南连康山国家级自然保护区开展研究。该保护区是森林生态系统类型的自然保护区<sup>[10]</sup>,主要保护对象为北亚热带森林生态系统及白冠长尾雉等珍稀野生动物,而后者刚被列入 CITES 附录 II<sup>[12]</sup>。长期监测表明该保护区内白冠长尾雉种群数量在下降,而周春发等人<sup>[13]</sup>指出这可

能是由于不合理的功能区划降低了保护区对白冠长尾雉种群及其栖息地的保护效果。

目前,广义线性混合模型(Generalized linear mixed model)<sup>[14]</sup>、随机森林模型(Random forest model)<sup>[15]</sup>和最大熵模型(MaxEnt model)<sup>[16]</sup>等物种分布模型是分析物种适宜栖息地分布常用的方法。其中,MaxEnt 模型仅需要“出现点”数据,避免了“不存在点”数据获取的误差而导致模型预测结果的偏差<sup>[17]</sup>,如今其越来越多地应用于物种适宜栖息地评估与预测<sup>[18-19]</sup>。因此,本研究使用 MaxEnt 模型分析这些物种的适宜栖息地,旨在基于河南连康山国家级自然保护区内白冠长尾雉及存在种间相互作用物种的分布现状和人为干扰现状,对该保护区保护白冠长尾雉的有效性进行评价,提出该自然保护区功能区划优化方案,为其它保护地提高对保护目标的保护有效性提供方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

河南连康山国家级自然保护区(114°15′—114°55′ N; 31°31′—31°40′ E)位于河南省南部新县境内(图 1),地处大别山北麓鄂豫两省交界处,总面积 105.80 km<sup>2</sup>。区内地势总特征为南高北低,由南向北从中低山系渐变为低山丘陵区,相对高差 100—700 m,主峰海拔 805 m。保护区属北亚热带向暖温带过渡的季风湿润区,年平均气温 15.1℃,极端最低气温-17.3℃,极端最高气温 42.5℃。年降水量 1248 mm,多集中在夏季;年平均无霜期 243.7d<sup>[20]</sup>。

### 1.2 试验方案

根据 2001—2002 年、2011—2012 年样线调查<sup>[13]</sup>及前期预调查结果,结合白冠长尾雉活动规律<sup>[21]</sup>,2016 年 12 月—2018 年 12 月在连康山国家级自然保护区内布设红外相机 30 台,相邻红外相机间距不小于 400 m<sup>[13]</sup>,拍摄模式为 24 h 连续拍摄,每次触发后拍摄 3 张照片和 10 s 的视频,触发间隔 30 s。每 3 个月对所有红外相机进行统一的电池和内存卡更换。2017 年 3 月—5 月,在该自然保护区内运用样线法补充调查(图 1)。分析全部的红外相机和样线调查数据,获取各种动物的分布点。

为全面评估保护区对白冠长尾雉的保护有效性,本研究分析白冠长尾雉及其潜在捕食者貉(*Nyctereutes procyonoides*)和猪獾(*Arctonyx collaris*)、竞争物种勺鸡(*Pucrasia macrolopha*)以及互利物种小鹿(*Muntiacus reevesi*)在保护区内的分布。

### 1.3 环境数据收集与处理

根据前期相关野生动物栖息地选择研究结果<sup>[8,22-25]</sup>,本研究选取坡度、坡向、海拔、距居民区距离、距道路距离、距水源地距离以及植被类型等环境变量来预测以上野生动物在保护区内的分布。由于研究区域面积较小,实验期间研究区域年际间气候差异不明显,因此本研究未考虑气候条件对该区域野生动物分布的影响。

环境数据包括地形、植被和土地利用类型数据。地形数据来自 2018 年阿拉斯加雷达数据库(<https://vertex.daac.asf.alaska.edu>),空间分辨率 12.5 m,使用 ArcGIS 10.4 中的重采样(Resample)工具获得 10 m 分辨率的 DEM 数据。10 m 分辨率的植被类型数据由研究人员根据保护区提供的植被图和地形图并结合实地踏查后矢量化获得。土地利用类型数据从美国阿拉斯加卫星设备数据库(<https://sonas.asf.alaska.edu>)下载 10 m 分辨率的卫星影像解译获取,卫星影像解译由相关专业人员协助完成。使用 ENVI 4.8 软件依次提取该自然保护区内道路、房屋、河流湖泊、耕地等土地利用数据图层,使用在样线调查和安装红外相机过程中 GPS 记录到的保护区内部分主要道路位置、全部的保护站点和部分村庄位置、部分河水域位置和部分耕地位置信息对卫星影像解译结果进行验证和校准。将校准后的解译数据导入 ArcGIS 10.4 软件中。

通过查阅文献的方法,确定不同类型的人为干扰的影响范围<sup>[26]</sup>,分析连康山国家级自然保护区内人为干扰分布现状。在 ArcGIS 10.4 软件中对环境数据进行处理,运用空间分析工具(Spatial analyst tool)的表面分析模块(Surface analyst)提取坡度和坡向的栅格数据;运用空间分析工具的距离模块(Distance)中的欧式距离(Euclidean distance)提取道路、居民区和水源的栅格数据;运用转换工具(Conversion tool)中的转为栅格模块

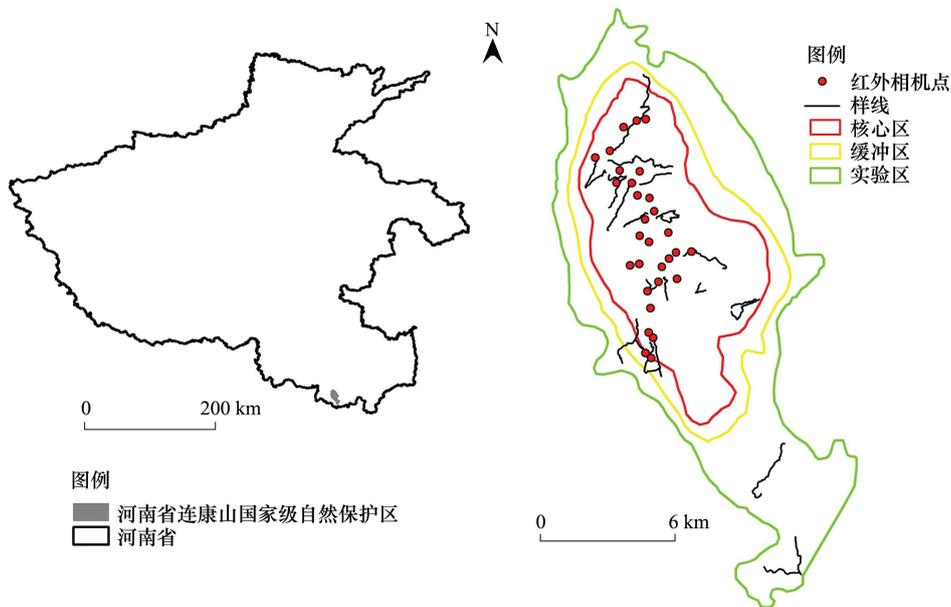


图1 连康山国家级自然保护区及所布设红外相机和样线位置示意图

Fig.1 Location of Henan Liangkangshan National Nature Reserve and the positions of the transects and camera traps

(To raster)将植被类型的矢量数据转为栅格数据,运用转换工具中由栅格转出模块(From raster)将所有栅格图层转为 ASCII 格式。

#### 1.4 动物栖息地预测与保护价值划分

将 5 种野生动物的分布点作为其存在点(Presence point),为避免空间自相关性,对每种地栖性动物存在点按 400 m 进行筛选<sup>[12]</sup>,将每种动物的存在点经纬度坐标导入 Excel 表中,转换成 ASCII 格式。将所有 ASCII 格式数据导入最大熵模型(MaxEnt model),75%的存在点数据用于模型拟合,25%的存在点数据用于模型验证。模型运行 15 次,每次均生成概率为 0—1 的分布图,以基于 ROC (Receiver operating characteristic) 曲线的 AUC (Area under roc curve) 值评估模型的效果<sup>[27]</sup>。

选取特异度和灵敏度之和的最大值(Maximum test sensitivity plus specificity)作为阈值(Threshold)<sup>[15]</sup>划分 5 种野生动物的适宜栖息地。运用空间分析工具中的重分类模块(Reclassify),将模型预测的 5 种动物的适宜栖息地按照阈值划分为适宜分布区和非适宜分布区,并分别对适宜分布区和非适宜分布区进行赋值(Value, 以下简称“V”)。按照野生动物的保护级别,将国家级重点保护野生动物<sup>[28]</sup>和“三有”保护动物<sup>[29]</sup>的适宜分布区和非适宜分布区分别赋值为 4 和 1 以及 2 和 1。在空间分析工具下的地图代数模块(Map algebra)中运用栅格计算器(Raster calculator)对 5 种动物的适宜分布区进行叠加,得到保护区内每个栅格的得分,根据叠加结果,定义得分 0—7 的区域为低保护价值区域,得分 7 以上的区域为高保护价值区域,获得该保护区基于野生动物适宜栖息地的保护价值分布图。

#### 1.5 保护区人为干扰现状分析

本研究选择道路,居民区和耕地分布作为衡量干扰程度的指标<sup>[30]</sup>。相关研究表明人为干扰对野生动物的威胁过程是由于干扰源向外辐射形成的,不同等级、不同类型的干扰源对野生动物的影响范围也存在差异<sup>[26]</sup>。根据研究区域卫星影像图矢量化获得人为干扰源,将保护区分成若干个 10 m×10 m 的栅格,根据不同干扰源的影响范围,每个栅格内人为干扰强度指数计算公式如下<sup>[31]</sup>:

$$HTI_i = \frac{\sum H_{wij} + R_{wij} + C_{wij}}{3}$$

$H_{wij}$  为第  $i$  个栅格内第  $j$  个居民点干扰域的赋值权重,  $R_{wij}$  为第  $i$  个栅格内第  $j$  个道路干扰域的权重赋值,  $C_{wij}$  为第  $i$  个栅格内第  $j$  块耕地的权重赋值,  $HTI_i$  为第  $i$  个栅格内人为活动强度指数, 一般认为  $HTI_i < 0.2$  则该区域人为干扰强度较低<sup>[26]</sup>。不同类型干扰源和干扰域范围和赋值权重见表 1。

### 1.6 保护效果评价

根据该自然保护区保护价值分布与人为干扰强度分布, 分别计算核心区、缓冲区和实验区内高保护价值区域面积和高人为干扰强度区域面积, 并将保护价值分布图与人为干扰强度分布图进行叠加, 确定高保护价值与人为干扰的重叠区域位置和面积, 通过这些指标对保护区现有功能区划对白冠长尾雉及相关物种的保护效果进行评价。

表 1 人为干扰类型和赋值权重<sup>[26]</sup>

Table 1 Human distribution variables and weight

干扰因素 Disturbance variables	影响范围 Range of buffers /km	权重赋 Assigned weight
国道、高速公路和铁路 National highways, expressways and railways	1.50	0.40
省级道路 Provincial level road	0.50	0.30
市县级道路 County and municipal level road	0.25	0.20
其他低等级道路 Other low-level roads	0.10	0.10
省市级居民点 Provincial and municipal level residential areas	8.00	0.40
县级居民点 Country level residential areas	5.00	0.30
乡镇级居民点 Township level residential areas	3.00	0.20
乡镇级以下居民点 Below township level residential areas	1.00	0.10
耕地 Cultivated land	0.10	0.20

## 2 研究结果

### 2.1 环境因子重要性排序与模型预测效果评价

MaxEnt 模型分析结果表明(表 2), 植被类型是影响白冠长尾雉、勺鸡和貉最重要的栖息地因子, 距水源地距离是影响小麂和猪獾分布最重要的栖息地因子。5 个物种预测模型的 AUC 值均大于 0.8(表 2 和图 3), 模型预测效果良好<sup>[27]</sup>。

### 2.2 白冠长尾雉及相关物种适宜栖息地分布

根据该保护区白冠长尾雉等 5 种地栖性野生动物的适宜栖息地分布图(图 2), 勺鸡主要分布在保护区中心地带的核心区, 而白冠长尾雉、小麂等 4 种野生动物在核心区、缓冲区和实验区均有分布。该保护区内白冠长尾雉、勺鸡、貉、小麂和猪獾的适宜栖息地面积分别为 22.11 km<sup>2</sup>、3.51 km<sup>2</sup>、18.00 km<sup>2</sup>、16.13 km<sup>2</sup> 和 23.46 km<sup>2</sup> (表 3)。

### 2.3 保护区现有功能区划对野生动物栖息地保护有效性评价

该保护区内高保护价值区域(图 4)面积为 33.84 km<sup>2</sup>, 占保护区总面积的 31.98%, 其中核心区、缓冲区和实验区的适宜栖息地面积分别为 20.06 km<sup>2</sup>、4.06 km<sup>2</sup> 和 9.72 km<sup>2</sup>, 分别占保护区总面积的 18.96%、3.84% 和 9.19%。核心区内高保护价值区域面积比例偏低, 而实验区比例偏高。

保护区人为干扰强度大的区域面积为 19.13 km<sup>2</sup>, 占保护区总面积的 18.08%, 其中核心区、缓冲区和实验区人为干扰强度大的区域面积分别为 0.79 km<sup>2</sup>、3.55 km<sup>2</sup> 和 14.79 km<sup>2</sup>, 分别占保护区总面积的 0.75%、3.36% 和 13.98%。连康山国家级自然保护区人为干扰强烈的区域主要集中在保护区的东南部的新县县城和羚羊山周边地区, 这些地区分布有 213 省道、大广高速公路和京九铁路, 是重要的运输线路。保护区内保护价值高且人为干扰强度大的区域面积为 2.48 km<sup>2</sup>, 占保护区总面积的 2.33%。

表 2 基于 MaxEnt 模型的 5 个物种栖息地因子重要性排序和 AUC 值  
Table 2 The rank of the important habitat factors and AUC for 5 species based on MaxEnt model

物种 Species	环境因子贡献率 Contributions rate of the environmental variables/%							受试者工作特征曲线 线下面积(AUC) Area under receiver operating characteristic curve
	植被类型 Vegetation type	距水源地距离 Distance to water source	距道路距离 Distance to road	距居民区距离 Distance to residential area	海拔 Altitude	坡度 Slope	坡向 Aspect	
白冠长尾雉 <i>Syrnaticus reevesii</i>	41.40	26.90	13.90	9.70	4.20	3.10	0.80	0.82
勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	33.10	14.80	30.90	0.00	8.70	0.40	12.20	0.97
貉 <i>Nyctereutes procyonoides</i>	33.90	26.60	24.30	6.20	6.58	1.40	0.80	0.89
小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	13.70	33.10	32.10	9.60	7.40	1.50	2.60	0.85
猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	16.60	36.40	28.60	8.00	7.90	0.80	1.70	0.88

表 3 连康山国家级自然保护区 5 种野生动物适宜分布区面积  
Table 3 Suitable area for 5 species wildlife animals in Liankangshan National Nature Reserve

物种 Species	适宜栖息地面积 Suitable habitat area/km <sup>2</sup>	占总面积比 The proportion of total area /%	核心区 Core area		缓冲区 Buffer zone		实验区 Experimental area	
			适宜栖息地面积 Suitable habitat area /km <sup>2</sup>	占总面积比 The proportion of total area /%	适宜栖息地面积 Suitable habitat area /km <sup>2</sup>	占总面积比 The proportion of total area /%	适宜栖息地面积 Suitable habitat area /km <sup>2</sup>	占总面积比 The proportion of total area /%
白冠长尾雉 <i>Syrnaticus reevesii</i>	22.11	20.90	15.36	14.52	1.87	1.77	4.88	4.61
勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	3.51	3.32	3.39	3.21	0.12	0.12	0.00	0.00
貉 <i>Nyctereutes procyonoides</i>	18.00	17.01	12.50	11.81	1.79	1.69	3.71	3.51
小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	16.13	15.24	11.42	10.80	1.76	1.66	2.12	2.01
猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	23.46	22.17	14.92	14.10	2.82	2.66	5.73	5.42

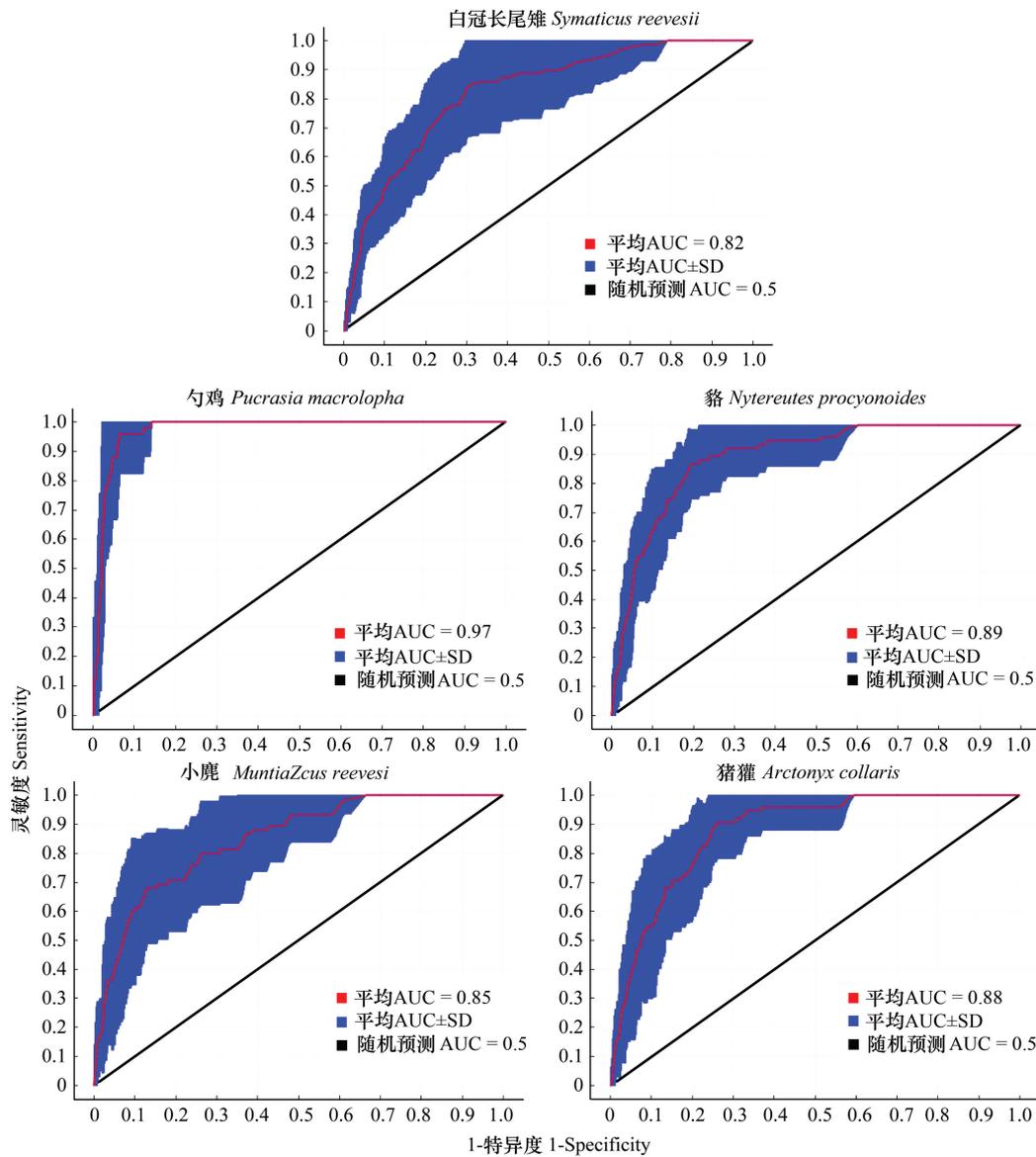


图 2 MaxEnt 模型预测效果的 ROC 曲线  
 Fig.2 ROC curve for evaluation in MaxEnt model

### 2.4 优化方案

连康山国家级自然保护区现有功能区划与白冠长尾雉及相关物种分布不匹配,人为干扰严重,且高保护价值区域与人为干扰强度大的区域存在一定程度的重叠。为提高该保护区对白冠长尾雉的保护有效性,结合《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》<sup>[32]</sup>,在不减少保护区面积的前提下,针对保护目标白冠长尾雉种群现状提出不同的优化方案,方案 1:从加强白冠长尾雉及相关物种保护的角度,将保护价值高( $V>7$ )的区域完全纳入核心保护区进行管理,核心保护区外围 1 km 范围划定为一一般控制区;方案 2:从降低人为干扰和加强白冠长尾雉及相关物种保护的角度,将保护价值高( $V>7$ )、人为干扰低( $HTI_i<0.2$ )的区域,划定为核心保护区,在核心保护区外围 1 km 范围划入一般控制区,对保护价值不高和人为干扰严重的区域进行剔除,对保护价值高和人为干扰强度弱的区域进行保留。

将保护区外 1.5 km 范围纳入备选区域(备选区域面积与现有保护区面积几乎相等),计算备选区域人为干扰强度,目的是使优化后保护区所在位置基本保持不变,同时能够提升保护区保护白冠长尾雉及相关物种

的有效性。

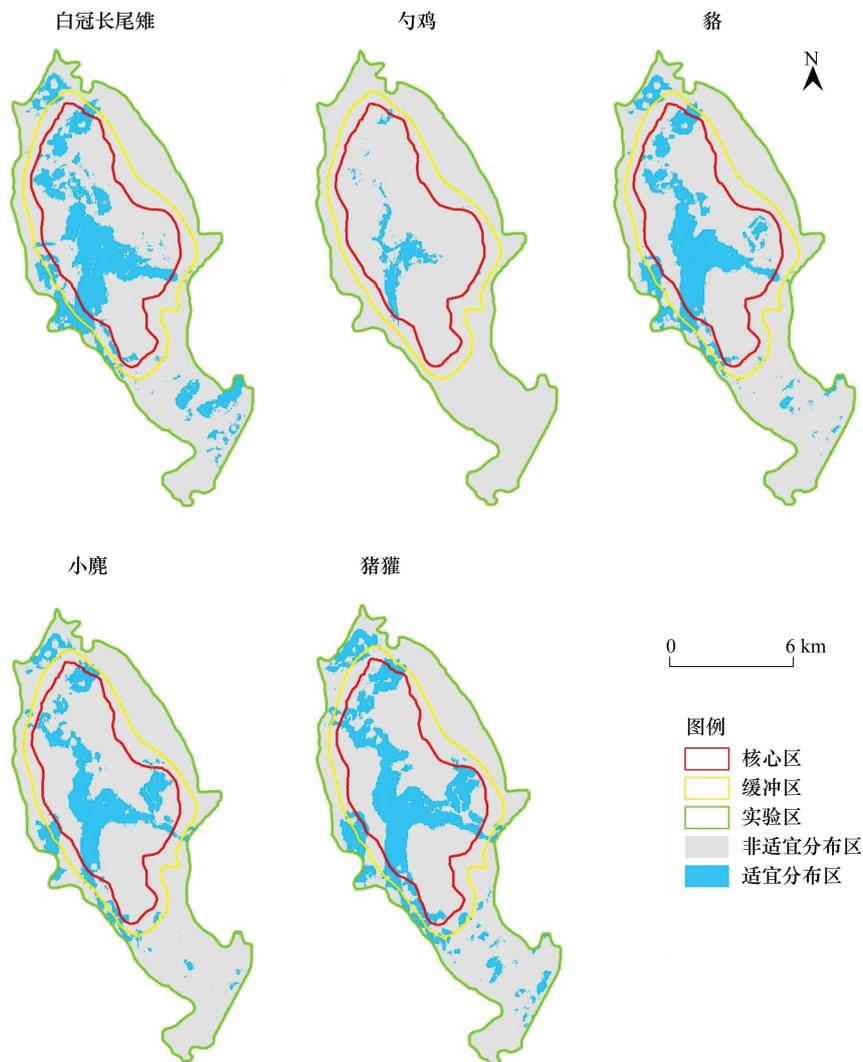


图3 基于 MaxEnt 模型的 5 种野生动物适宜栖息地分布图

Fig.3 Distribution of suitable habitats for 5 species based on MaxEnt Model

## 2.5 保护优化成效预测

为评估两种优化方案对保护白冠长尾雉及相关物种适宜栖息地的优化成效,将两种优化方案与保护区现状进行对比。连康山国家级自然保护区现有面积为  $105.80 \text{ km}^2$ ,其中核心区、缓冲区和实验区面积分别为  $47.00 \text{ km}^2$ 、 $15.20 \text{ km}^2$ 和  $43.60 \text{ km}^2$ 。基于两种优化方案,优化后保护区总面积分别增加了 7.87%和 0.05%,核心区保护区面积分别占优化后保护区总面积的 43.39%和 43.36%。

方案 1:该方案将原保护区内野生动物集中分布区完全纳入核心保护区进行严格管理,并在核心保护区外围建立一般控制区(图 5)。优化后核心保护区面积为  $49.52 \text{ km}^2$ ,其中高保价值区域面积为  $33.47 \text{ km}^2$ ,占保护区核心区面积的 67.59%;人为干扰强度大的区域面积为  $5.12 \text{ km}^2$ ,占优化后核心保护区面积的 10.34%。该方案核心保护区覆盖 5 种野生动物适宜分布区域,提高了该自然保护区野生动物保护有效性,白冠长尾雉和勺鸡的适宜栖息地全部被纳入核心保护区,但是核心保护区的部分地区仍会受到人为干扰的潜在影响(图 5)。

方案 2:该方案权衡了人为干扰与野生动物分布重叠区域的取舍问题,对人为干扰强度大且有野生动物集中

分布的区域规划到一般控制区予以适当的保护,优化后核心保护区面积为 46.10 km<sup>2</sup>,其中高保护价值区域面积为 30.75 km<sup>2</sup>,占优化后核心保护区面积的66.70%,核心保护区内无人为干扰强度大的区域(图 6)。

与保护区现有功能区划相比,两种方案优化后自然保护区面积增大(图 7),核心保护区内高保护价值区域面积占比明显增加,方案 1 中核心保护区内人为干扰面积增大,方案 2 中核心保护区内无人为干扰强度大的区域(图 8)。基于 2 种方案优化后的保护区内人为干扰强度大的区域面积由之前的 19.13 km<sup>2</sup>分别减少到 19.03 km<sup>2</sup>和 12.72 km<sup>2</sup>。

### 3 讨论

物种分布模型(Species distribution model)越来越多的被用来研究野生动植物保护<sup>[15, 33]</sup>、生物热点地区识别<sup>[34]</sup>和保护空缺分析<sup>[35]</sup>,其中 MaxEnt 模型是一种常被使用的物种分布模型,该模型是利用物种分布数据(物种出现点)与环境数据依据特定算法以概率的形式估计物种对环境因素的偏好的常用分析方法之一,模型结果可解释为物种在不同生境中出现的概率或生境适宜度等<sup>[18]</sup>。然而一些研究表明,物种分布模型都会存在一些缺陷,导致研究结果高估或低估了真实状况,其中研究数据的准确性和精度是制约物种分布模型发展的重要因素之一<sup>[36]</sup>。随着调查手段的进步和 3S 技术的发展,研究者可以使用精确的野生动物分布数据和环境数据预测野生动物适宜栖息地,极大的避免因实验数据的精度导致的研究误差。因此,本研究选取高分辨率(10 m×10 m)的栖息地因子数据,通过样线调查和安装红外相机获得野生动物分布点,选择 MaxEnt 模型预测白冠长尾雉及相关物种在保护区内的分布,预测结果可反映 5 种野生动物在保护区内的分布现状。

人为干扰是影响白冠长尾雉分布的重要因素之一<sup>[37]</sup>,大量的研究证明白冠长尾雉的分布区急剧减少,种群数量持续降低,道路修建和人类居民区扩张是导致白冠长尾雉濒危的重要原因<sup>[38]</sup>。在连康山国家级自然保护区内白冠长尾雉及相关物种的适宜分布区内同样面临人为干扰的潜在威胁,这与周春发<sup>[13]</sup>等人的研究结果一致。本研究还发现在连康山国家级自然保护区内白冠长尾雉及相关物种适宜栖息地分布比较分散,而人为干扰强度大的区域主要集中在保护区的东南部。在人为干扰强度大的区域,白冠长尾雉及相关物种可能在食物短缺的季节去农田觅食<sup>[24]</sup>,导致社区居民的经济损失;另一方面,这些区域交通繁忙,噪音、污染和道路致死等因素影响这些野生动物的生存<sup>[38]</sup>。因此,这些区域已经不能高效发挥保护区保护白冠长尾雉的作用。

根据保护区内 5 种野生动物和人为干扰分布现状,本研究建议将原核心区、缓冲区和实验区中野生动物集中分布区纳入核心保护区进行管理,将原核心区、缓冲区和实验区内野生动物不适宜分布区划入一般控制区,以提高自然保护区保护白冠长尾雉的有效性。根据物种分布和人为干扰情况,设计两种不同的优化策略,参考保护区现有功能区划,并根据实际情况对保护区三区边界进行重新划定。依据自然保护区保护目标的现状,有针对性的选择不同的优化策略。以河南连康山国家级自然保护区为例,若短期内,白冠长尾雉种群数量

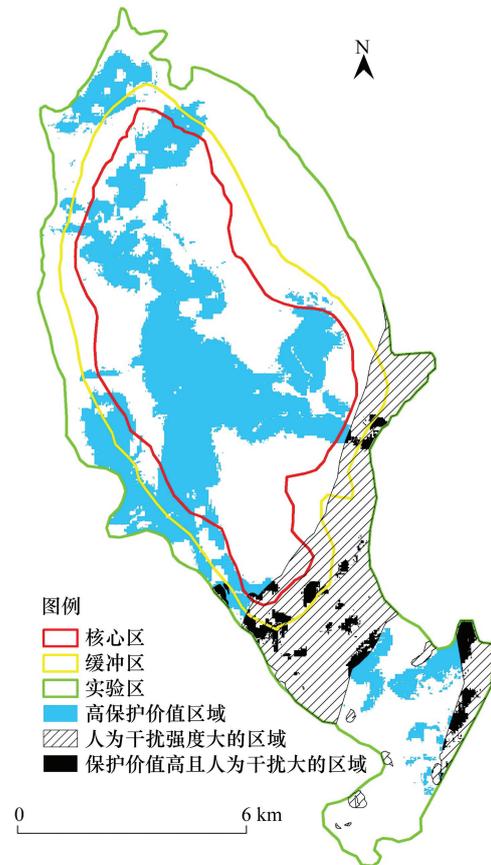


图 4 连康山国家级自然保护区野生动物与人为干扰分布图  
Fig. 4 Distribution of wildlife and human disturbance in Liankangshan National Nature Reserve

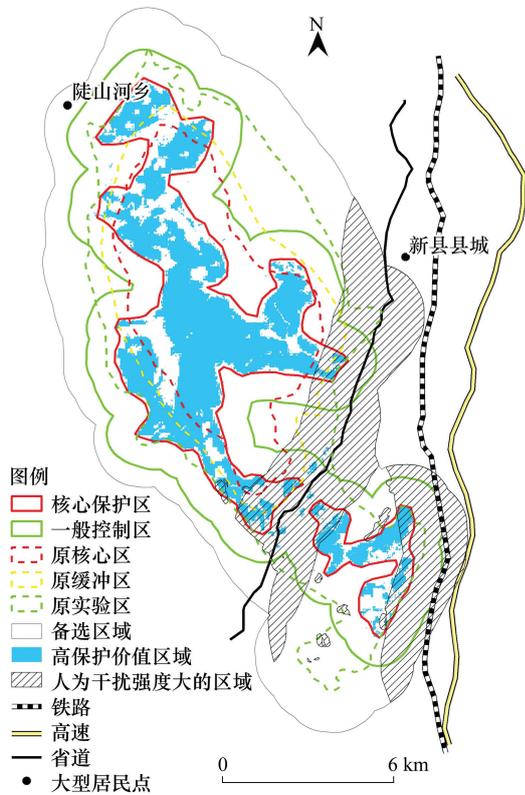


图5 基于优化方案1的保护区功能区划图

Fig.5 Functional zoning based on scheme 1

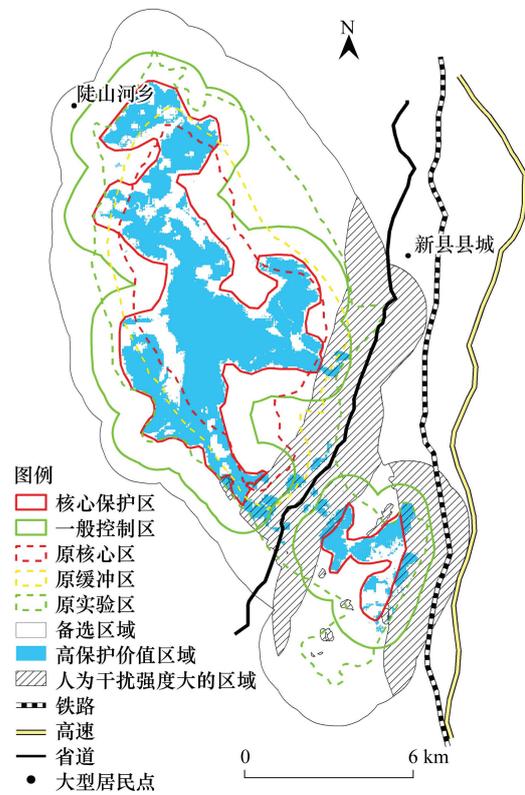


图6 基于优化方案2的保护区功能区划图

Fig.6 Functional zoning based on scheme 2

急剧下降,出于抢救性保护的目,可采用方案1基于加强白冠长尾雉及相关物种保护的角,进行保护区功能区划的优化,将珍稀濒危野生动物分布区完全划入核心区进行严格管理,针对人为干扰大的区域可以采取生态移民的方式迁出原住民<sup>[39-40]</sup>。若白冠长尾雉种群数量趋于平稳或在缓慢上升,为避免因为人为活动带来的放牧、游憩和偷猎等干扰行为影响白冠长尾雉种群恢复和扩散,可采用方案2基于降低人为干扰和加强白冠长尾雉及相关物种保护的角,将保护区核心区人为干扰强度大的区域完全调出,将其划归一般控制区予以适当保护,调整后既不会减少有效的保护面积,还极大的缓解保护区的管理压力。

自然保护区功能区划优化不仅与该地区野生动物分布有密切关系,还与动物迁徙<sup>[41]</sup>、珍稀植物分布<sup>[33]</sup>、保护目标的生态服务价值<sup>[18]</sup>等诸多因素息息相关,将野生动植物分布与生态系统中能量流动过程相结合的自然保护区功能区划优化整合将是未来的研究方向。优化方案既要考虑到加强对野生动植物种和生态系统的保护,也要全面的考虑降低自然保护区保护成效的因素。本研究受数据资料限制,选取白冠长尾雉及其存在种间相互作用物种的分布作为该保护区野生动物分布现状,仅考虑道路、居民区和耕地这三项人为干扰因

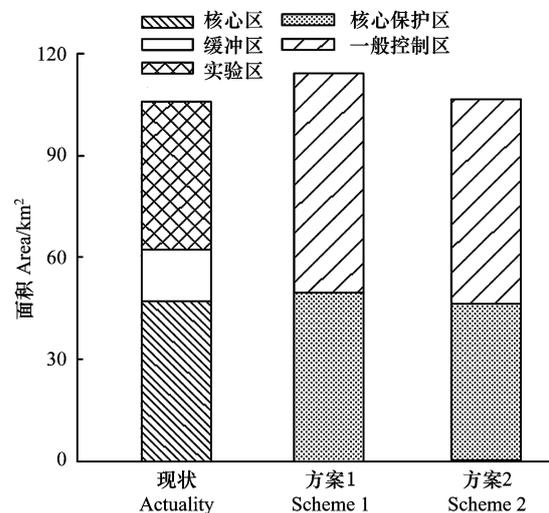


图7 基于两种方案的保护区各功能区面积对比

Fig.7 Comparison of functional area base on two schemes

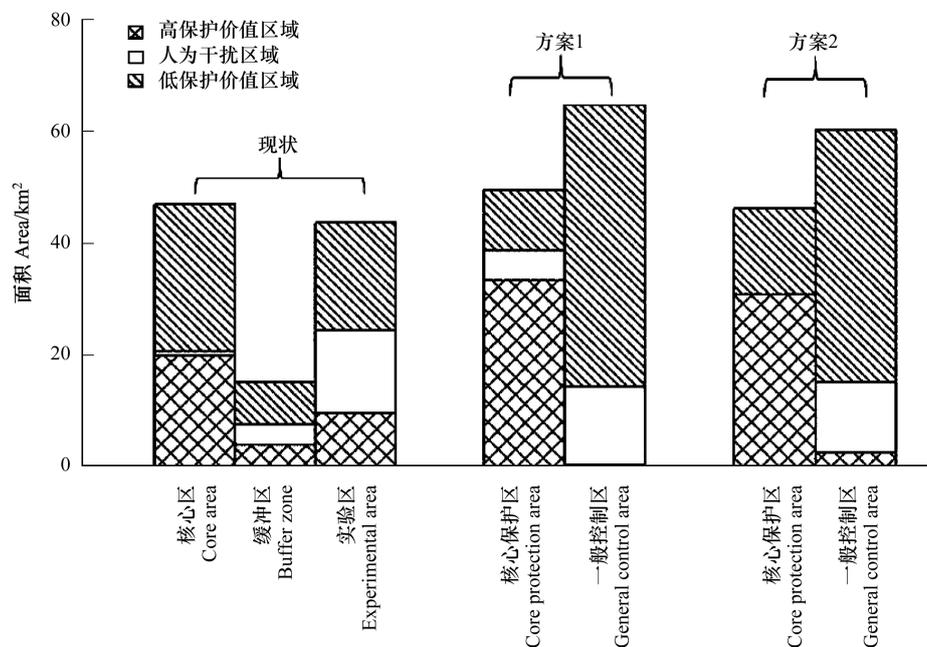


图 8 基于两种方案的优化效果对比

Fig.8 Comparison of optimization effects based on two schemes

素对自然保护区保护成效的影响,没有考虑保护区内珍稀保护植物的分布。因此,建议今后在类似研究中,可加入更多物种、选择不同尺度分析自然保护区不同区域的保护价值,在干扰因素方面可考虑森林覆盖率、外来物种入侵、城市化速率、农业扩张以及政策效应等不利因素带来的影响,建立更加合理的保护区功能区划优化体系。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Parrish J D, Braun D P, Unnasch R S. Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 2003, 53(9): 851-860.
- [ 2 ] 刘思慧, 刘季科, 王应祥. 中国的生物多样性保护与自然保护区. *世界林业研究*, 2002, 15(4): 47-54.
- [ 3 ] 解焱, 汪松, Schei P. 中国的保护地. 北京: 清华大学出版社, 2004: 36-37.
- [ 4 ] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405(6783): 243-253.
- [ 5 ] 徐网谷, 王智, 钱者东, 张昊楠, 范鲁宁, 蒋明康. 中国自然保护区范围界定和有效保护面积现状分析. *生态与农村环境学报*, 2015, 31(6): 791-795.
- [ 6 ] 唐小平. 我国自然保护区总体规划研究综述. *林业资源管理*, 2015, (6): 1-9.
- [ 7 ] Torres A, Jaeger J A G, Alonso J C. Assessing large-scale wildlife responses to human infrastructure development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(30): 8472-8477.
- [ 8 ] Gričiuvienė L, Paulauskas A, Radzijeuskaja J, Žukauskienė J, Pūraitė I. Impact of anthropogenic pressure on the formation of population structure and genetic diversity of raccoon dog *Nyctereutes procyonoides*. *Current Zoology*, 2016, 62(5): 413-420.
- [ 9 ] 江晓萍, 徐基良, 李建强, 徐迎寿, 李忠. 基于 MaxEnt 生态位模型分析江西省人与野猪冲突的空间分布. *森林与环境学报*, 2018, 38(3): 334-340.
- [ 10 ] 中华人民共和国环境保护部. 全国自然保护区名录. (2019-05-14). <http://www.mee.gov.cn/ywgz/zrstbh/zrbhdjg/201908/P020190807402905727057.pdf>
- [ 11 ] 陶晶, 臧润国, 华朝朗, 温庆忠. 森林生态系统类型自然保护区功能区划探讨. *林业资源管理*, 2012, (6): 47-50, 56-56.
- [ 12 ] CITES. Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora appendices I and II. (2019-08). <https://cites.org/sites/default/files/eng/cop/18/prop/010319/E-CoP18-Prop-18.pdf>
- [ 13 ] Zhou C F, Xu J L, Zhang Z W. Dramatic decline of the Vulnerable Reeves's pheasant *Syrnaticus reevesii*, endemic to central China. *Oryx*, 2015,

- 49(3): 529-534.
- [14] Wilson C D, Roberts D, Reid N. Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: a case study using *Margaritifera margaritifera* (L.). *Biological Conservation*, 2011, 144(2): 821-829.
- [15] 宋凯, 宓春荣, 赵玉泽, 杨南, 孙悦华, 徐基良. 百花山国家级自然保护区褐马鸡栖息地利用分析. *动物学杂志*, 2016, 51(3): 363-372.
- [16] 齐增湘, 徐卫华, 熊兴耀, 欧阳志云, 郑华, 甘德欣. 基于 MAXENT 模型的秦岭山系黑熊潜在生境评价. *生物多样性*, 2011, 19(3): 343-352.
- [17] Viña A, Tuanmu M N, Xu W H, Li Y, Ouyang Z Y, DeFries R, Liu J G. Range-wide analysis of wildlife habitat: implications for conservation. *Biological Conservation*, 2010, 143(9): 1960-1969.
- [18] 李国庆, 刘长成, 刘玉国, 杨军, 张新时, 郭柯. 物种分布模型理论研究进展. *生态学报*, 2013, 33(16): 4827-4835.
- [19] Radosavljevic A, Anderson R P. Making better MaxEnt models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 2014, 41(4): 629-643.
- [20] 胡新玉, 杨衡, 李楠, 黄兴. 河南连康山国家级自然保护区植物多样性及其保护研究. *现代园艺*, 2017, (19): 133-134.
- [21] 郑光美. *中国雉类*. 北京: 高等教育出版社, 2015: 530-531.
- [22] 鲁庆彬, 于江傲, 高欣, 杨仙玉, 周圻, 张良斌, 章叔岩. 冬季清凉峰山区小鹿和野猪的生境选择及差异. *兽类学报*, 2007, 27(1): 45-52.
- [23] Xu J L, Zhang Z W. Home range and habitat composition of male Reeves's Pheasants in an agricultural-forest plantation landscape in central China: a preliminary report. *Chinese Birds*, 2011, 2(1): 53-58.
- [24] 刘鹏, 顾署生, 黄晓凤, 鲁长虎, 姚小华, 余泽平. 官山自然保护区勺鸡冬季栖息地选择. *江西农业大学学报*, 2011, 33(6): 1257-1262.
- [25] 曾国仕, 郑合勋, 邓天鹏. 伏牛山北坡猪獾(*Arctonyx collaris*)夏季巢穴特征. *生态学报*, 2009, 29(1): 208-215.
- [26] 马琳, 李俊清. 基于系统保护规划的长白山阔叶红松林保护网络优化研究. *生态学报*, 2019, 39(22): 8547-8555.
- [27] Markov N, Pankova N, Morelle K. Where winter rules: modeling wild boar distribution in its north-eastern range. *Science of the Total Environment*, 2019, 687: 1055-1064.
- [28] 中华人民共和国林业部. 国家重点保护野生动物名录. (1989-01-14). <http://www.forestry.gov.cn/search/list.html?q=%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E9%87%8D%E7%82%B9%E4%BF%9D%E6%8A%A4%E9%87%8E%E7%94%9F%E5%8A%A8%E7%89%A9%E5%90%8D%E5%BD%95&pos=2>.
- [29] 中华人民共和国国家林业局. “三有”保护动物名录. (2017-3-15). <http://www.forestry.gov.cn/main/3951/20170315/957039.html>
- [30] Zhang L, Xu W H, Ouyang Z Y, Zhu C Q. Determination of priority nature conservation areas and human disturbances in the Yangtze River Basin, China. *Journal for Nature Conservation*, 2014, 22(4): 326-336.
- [31] Ma L, Sun G Q, Qu Y, Li J Q. Applying systematic conservation planning to constitute a protection strategy for broad-leaved Korean pine forests in Changbai Mountains, China. *Journal of Mountain Science*, 2016, 13(3): 493-507.
- [32] 中华人民共和国国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见. (2019-06-26). [http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content\\_5403497.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content_5403497.htm).
- [33] 王雨生, 王召海, 邢汉发, 厉静文, 孙硕. 基于 MaxEnt 模型的珙桐在中国潜在适生区预测. *生态学杂志*, 2019, 38(4): 1230-1237.
- [34] Walters A D, Brown M A, Cerbie G M, Williams M G, Banta J A, Williams L R, Ford N B, Berg D J. Do hotspots fall within protected areas? A Geographic Approach to Planning analysis of regional freshwater biodiversity. *Freshwater Biology*, 2019, 64(11): 2046-2056.
- [35] Li Y, Cui B, Qiu X, Ding C, Batool I. Management reference for nature reserve networks based on MaxEnt modeling and gap analysis: a case study of the brown-eared pheasant in China. *Animal Biodiversity and Conservation*, 2016, 39(2): 241-252.
- [36] Pacifici M, Foden W B, Visconti P, Watson J E M, Butchart S H M, Kovacs K M, Scheffers B R, Hole D G, Martin T G, Akçakaya H R, Corlett R T, Huntley B, Bickford D, Carr J A, Hoffmann A A, Midgley G F, Pearce-Kelly P, Pearson R G, Williams S E, Willis S G, Young B, Rondinini C. Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 2015, 5(3): 215-224.
- [37] 马静, 罗旭, 白洁, 赵妍, 徐基良, 李忠. 白冠长尾雉保护中的社区影响——以董寨自然保护区为例. *林业资源管理*, 2012, (3): 126-130.
- [38] Tian S, Xu J L, Li J Q, Zhang Z W, Wang Y. Research advances of Galliformes since 1990 and future prospects. *Avian Research*, 2018, 9(3): 32.
- [39] 刘小强, 王立群. 国内生态移民研究文献评述. *生态经济*, 2008, (1): 395-399.
- [40] 唐宏, 张新焕, 杨德刚. 农户生态移民意愿及影响因素研究——基于新疆三工河流域的农户调查. *自然资源学报*, 2011, 26(10): 1658-1669.
- [41] 朱井丽, 高忠斯, 邹红菲, 吴庆明, 杨宇博, 李全亮, 陶蕊, 黄华智. 基于 MAXENT 模型的松嫩平原丹顶鹤秋迁期生境适宜性评价. *野生动物学报*, 2018, 39(4): 852-857.