

DOI: 10.20103/j.stxb.202209152634

戴文昱, 吴朝宁, 李思青, 任翌成, 王结臣. 基于 Dobson 算法的中国受威胁陆栖哺乳类优先保护识别与保护现状分析. 生态学报, 2023, 43(21): 9038-9047.

Dai W Y, Wu Z N, Li S Q, Ren Y C, Wang J C. Priority conservation areas and conservation status of threatened terrestrial mammals in China based on Dobson algorithm. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(21): 9038-9047.

基于 Dobson 算法的中国受威胁陆栖哺乳类优先保护识别与保护现状分析

戴文昱¹, 吴朝宁¹, 李思青¹, 任翌成¹, 王结臣^{1,2,*}

1 南京大学地理与海洋科学学院, 自然资源部国土卫星遥感应用重点实验室, 江苏省地理信息技术重点实验室, 南京 210023

2 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023

摘要: 优先保护区识别对受威胁物种的多样性保护具有重要价值。基于 GIS 空间分析、管理及预测能力, 以中国受威胁陆栖哺乳动物为对象, 建立受威胁物种的分布二值网格系统; 利用 Dobson 算法对研究区 3810 个网格单元进行筛选, 确定全国范围下受威胁物种的优先保护区域; 结合中国主要的自然保护地分布数据(国家公园和自然保护区), 采用保护空缺方法分析优先保护区内受威胁动物的保护现状。研究发现, 29 个 50km×50km 的网格单元就包含了全部的受威胁陆栖哺乳物种, 其中位于喜马拉雅山东南区等地的 10 个网格区域覆盖有 80% 以上的物种, 其所处的 10 组县级行政区内被主要自然保护地保护的面积占 25.9%, 物种数占 83.6%, 存在一定的保护空缺。本文采用 Dobson 排除算法, 以小面积规则网格为基本单元, 顾及到了实验结果的客观性, 有助于提高优先保护区的识别效率。

关键词: 哺乳动物; 受威胁物种; Dobson 算法; 优先保护区域; 自然保护地

Priority conservation areas and conservation status of threatened terrestrial mammals in China based on Dobson algorithm

DAI Wenyu¹, WU Zhaoning¹, LI Siqing¹, REN Yicheng¹, WANG Jiechen^{1,2,*}

1 Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Key Laboratory for Land Satellite Remote Sensing Applications of Ministry of Natural Resources, School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

2 Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

Abstract: It is particularly important to study the biodiversity conservation of the threatened mammal species in China in the spatial dimension. Priority conservation area identification is of great value for the task. Based on the spatial analysis, management and prediction abilities of GIS, taking Chinese threatened terrestrial mammals as the research object, in this paper we established a binary grid system for the distribution of threatened terrestrial mammals in China; the 3810 grid cells of the study area were screened by Dobson algorithm in order to identify priority conservation areas for threatened mammal species nationwide; combined with the existing data on the distribution of major natural protected areas in China, including national parks and nature reserves, the conservation status of threatened species in priority conservation areas was assessed by a gap analysis. The results show that, 29 50 km×50 km grid cells contain all threatened terrestrial mammal species in China, of which the 10 grids located in areas such as the Southeast Himalayas cover more than 80% of the species. And the 10 groups of county-level administrative districts in which they are located have 25.9% of the land area protected and 83.6%

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871294)

收稿日期: 2022-09-15; 网络出版日期: 2023-06-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangjiechen@nju.edu.cn

of the number of threatened species protected, with certain conservation gaps. The paper uses Dobson exclusion algorithm, with a small area regular grid as the basic unit, taking into account the objectivity of the experimental results and helping to improve the efficiency of the identification of priority conservation areas.

Key Words: mammals; threatened species; Dobson algorithm; priority conservation areas; natural protected areas

人类社会的快速发展严重破坏了地球生态系统,生物多样性危机正不断加剧^[1-2],动物的生存环境面临着严峻的挑战。哺乳动物作为最高等的脊椎动物,与人类关系极为密切,其生存环境也因此受到了人类活动的强烈干扰^[3-4]。诚然中国哺乳动物丰富度位列世界第一^[5],然而近几十年中国哺乳动物种群面临着数量急剧下降的危机^[6]。2015年,《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》评估了中国673种哺乳动物,其中受威胁哺乳类物种比例(26.4%),明显高于2014年IUCN红色名录评估的全球哺乳类受威胁比例(21.8%)^[7]。

在人类活动频繁、全球环境变化的时代,生境丧失日益严重,物种灭绝速度不断加快,保护战略是将生物多样性损失降至最低的关键一步^[8]。保护生物多样性是未来几十年的一项重要挑战,对此需要采取一系列方法,其中就地保护可以发挥最为有效的作用^[9-10]。准确识别优先保护区能为就地保护规划提供依据,是物种多样性保护的一项重点工作。目前国内对哺乳动物这一类群的优先保护分析多局限于中小范围的研究区域,如滇南高原地区^[11]、青藏高原地区^[12]、中国东北地区^[13]等,全国尺度下的研究较少。Dobson排除算法^[14]是一种常用于动植物物种的优先保护区识别方法。陈阳^[15]、杨飞龄^[16]等学者应用Dobson算法分别开展过对动物、植物的优先保护区域研究。然而由于早期物种数据的限制,Dobson算法在最初提出时以县域为基本单元,后续实际应用仍普遍按此进行识别,未顾及到识别过程中各县面积差别对结果产生的影响,且只能反映县市物种的多少,无法体现各县市内部物种分布的区域差异。考虑到使用规则网格可以尽可能保持识别单元大小的一致,且网格单元能灵活设置大小的特性可能有利于更精准地识别出优先保护区域及保护空缺。因此,本文以较小面积的规则网格为Dobson算法的直接处理单元,将该算法应用于中国受威胁陆栖哺乳动物的优先保护研究中,并将识别结果结合主要自然保护地的分布情况,分析优先保护区中受威胁物种的保护现状,以期为中国哺乳动物保护规划等相关工作提供参考。

1 研究区与数据

1.1 研究地区概况

研究地区为中国大陆所有陆地区域(包括台湾、香港和海南岛在内),南北跨纬度约50°,东西跨经度约60°,陆地领土面积约为960万km²,居世界第三位。其位于亚洲东侧,青藏高原雄踞西部,故由西向东地势逐渐下降^[17],起伏显著,大致呈三级阶梯状分布。地形多样,高原、山地、平原、丘陵、盆地均有分布。在纬度范围、海陆位置以及地形的多重影响下,形成了丰富的气候类型。中国得天独厚的自然环境、纷繁多样的地理类型为动植物物种的生存创造了有利条件,它是世界哺乳动物物种数最多的国家之一^[18],但同时也是生物多样性受威胁程度最高的国家之一^[19]。

1.2 数据来源

1.2.1 受威胁陆栖哺乳动物数据

《中国生物多样性红色名录:脊椎动物卷(第一卷)·哺乳动物》^[20]和IUCN网站(<http://www.iucnredlist.org>)发布的全球陆生哺乳动物空间分布数据为本研究提供了物种名录数据及物种分布数据。《中国生物多样性红色名录:脊椎动物卷(第一卷)·哺乳动物》是蒋志刚团队于2021年出版的生物多样性编研成果,该名录收录有哺乳动物13目56科248属700种,详细叙述了中国哺乳类物种的濒危状况、地理分布、生境等信息。以红色名录记录的极危(CR)、濒危(EN)、易危(VU)等级哺乳动物为初始名录数据,以名录各物种对应的2021年IUCN空间分布数据为物种分布数据,同时参考《中国哺乳动物多样性及地理分布》^[21]补充物种基本

信息,并对物种分布范围进行校对,剔除水生物种及分布资料不全的物种,共确定受威胁陆栖哺乳动物 10 目 34 科 84 属 134 种(附录 A)。

1.2.2 自然保护区数据

中国自然保护区分类系统以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充。由于本研究尺度较为宏观而自然公园数量多、面积小,大多数自然公园的面积甚至小于本文的基本分析单元,故本文仅考虑主要的自然保护区,包括国家公园和自然保护区。三江源国家公园界线矢量数据来源于国家青藏高原科学数据中心,其余国家公园的界线矢量数据通过对各国家公园总体规划中的国家公园区位图进行数字化得到。自然保护区名录数据来源于生态环境部发布的 2017 年全国自然保护区名录,基于该名录筛选出位于优先保护区范围内且保护类型为野生动物、森林生态系统、荒漠生态系统、草原与草甸生态系统的自然保护区,获取其行政区域、面积、主要保护对象、类型、级别、始建时间等信息;自然保护区界线矢量数据来源于中国林业科学研究院建设的中国自然保护区标本资源共享平台(www.papc.cn)地理信息库,对照名录获取位于本研究所得优先保护区范围内的自然保护区界线矢量数据,使用 FME 软件将格式转换为 shapefile 文件格式,并在 GIS 软件中进行投影转换,统一设置为阿尔伯斯等面积圆锥投影(*Albers equal area conic projection*)。将其中与国家公园相同的区域纳入国家公园,不再保留。

2 研究方法

2.1 物种丰富度指数

本文使用的 Dobson 算法以规则网格为基本单元,以物种丰富度为主要识别指标,首先需要基于网格单元测算丰富度指数。使用 GIS 软件,将研究区域划分为 50km×50km 粒度的等面积网格^[22],舍去面积小于完整网格 1/2 且中心点不在研究区内的网格,最终得到的网格共计 3810 个。叠加受威胁哺乳动物的分布图层,判断拓扑关系,将物种分布范围图层所在网格赋值为 1,其余网格赋值为 0。得到中国受威胁陆栖哺乳动物空间分布的二元编码集合(表 1)。统计每个网格出现的物种数目,得到各网格单元的受威胁哺乳类物种丰富度,同理可计算出各网格单元的“属”、“科”、“目”丰富度。进行保护空缺分析时,在县域范围需要以更精细的网格粒度作为基本单元,将优先保护区的范围划分为 10km×10km^[23]的等面积网格,进行物种丰富度的测算,探讨丰富度分布格局。

表 1 物种空间分布 0—1 二元数据集
Table 1 0—1 dataset of species spatial distribution

编号 Number	物种 1 Species 1	物种 2 Species 2	物种 3 Species 3	物种 4 Species 4	...	物种 134 Species 134
网格 1 Grid 1	0	0	0	1	...	1
网格 2 Grid 2	0	0	0	0	...	0
网格 3 Grid 3	0	1	0	1	...	1
网格 4 Grid 4	0	0	0	1	...	1
...	...	...	...	...	...	...
网格 3810 Grid 3810	0	0	0	0	...	0

2.2 Dobson 算法

Dobson 算法由 Dobson^[14]等人提出。首先选出物种数量最多的县,将该县的所有物种排除后再重新排列剩余物种数目,选出剩余物种最多的县并删去其包含的物种,反复进行前述步骤直到所有列出的物种都被排除。若有不止一个县市物种数相同,首先选择面积最小的。该方法遵循互补性原则,不仅包括物种数量多的地区,还包括对物种有补充作用的地区^[14]。由于过去数据来源的限制,多数物种位点的记录以县域为标准,故该算法以县域为识别单元,但行政单元的划分具有人为性质,各县面积差别甚大,以县市为基本单元进行优先保护区域识别会给研究带来一定的误差^[15]。

现今物种分布数据不再受限于县域,为提高优先保护区识别效率,本文对该算法的研究基本单元做出修改,使用基于格网的 Dobson 算法确定中国受威胁陆栖哺乳动物的优先保护区域,其过程如下:将 $50\text{km}\times 50\text{km}$ 的网格单元按物种丰富度由高到低排列,选出位序最高的单元,将该单元的所有物种排除,再重新排列剩余物种丰富度,反复进行前述步骤直到所有列出的物种都被排除。若多个单元的物种数相同,则选择“属”数最多的单元;若“属”数相同,选择“科”数最多的单元,以此类推。根据该方法,本研究将 80% 的物种都被排除时选出的网格单元作为优先保护热点参考单元,将所有物种都被排除时选出的网格单元作为 100% 保护水平单元。

2.3 保护空缺分析

保护空缺是寻找应得到保护却不在保护区体系中的生物多样性空白区域的过程^[24—26]。本研究结合主要的自然保护地包括国家公园和自然保护区,进行空缺分析,并将其分为保护空缺区域和保护空缺物种两部分。在分析保护空缺区域时,为了开展对当地的细分研究,将优先保护区划分为 $10\text{km}\times 10\text{km}$ 的等面积网格,计算受威胁陆栖哺乳物种丰富度,将优先保护区内的自然保护地图层与物种丰富度分布图层相叠加,识别出未被纳入主要自然保护地的丰富度高值区,将其作为保护空缺区域。在分析保护空缺物种时,以统计方式得到优先保护区中受威胁物种受保护的比例,分析优先保护区整体上对物种的保护成效。

3 结果与分析

3.1 基于 Dobson 算法的优先保护网格区域识别

利用基于网格单元的 Dobson 算法可以初步得到,29 个网格单元就包含了本次研究的所有物种(图 1),这些网格区域都是哺乳动物保护可以优先关注的地区,按网格选取的先后顺序设定它们的优先序号。其中处在

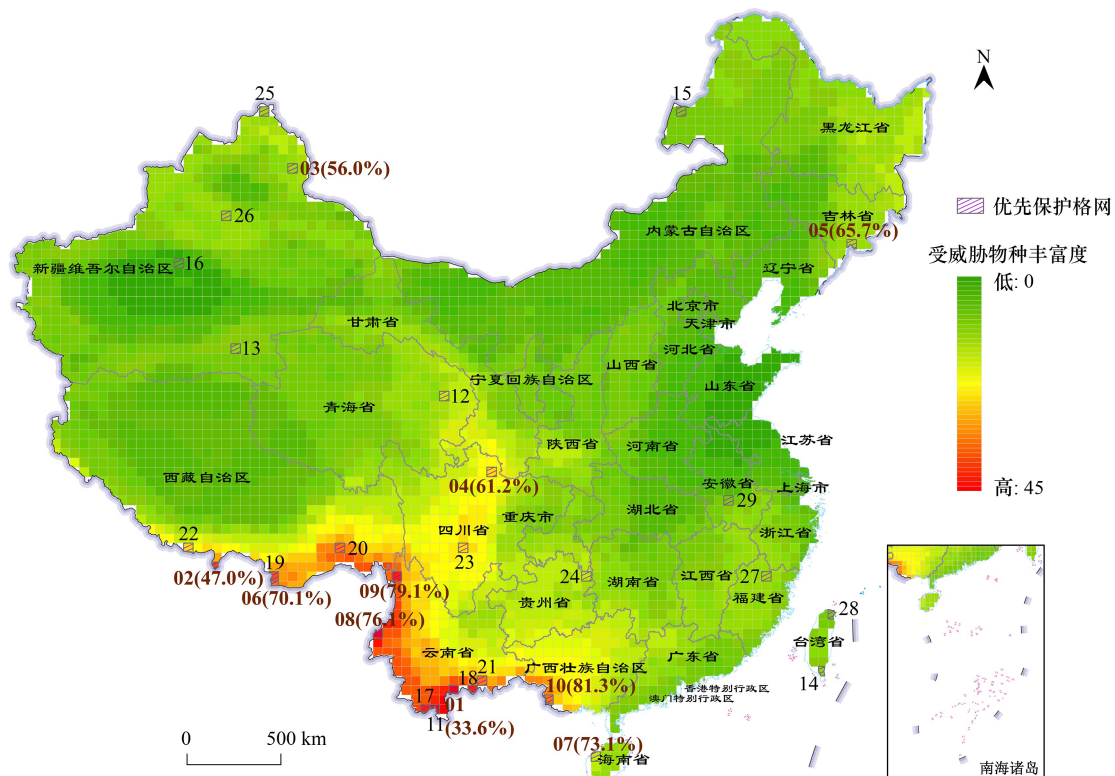


图 1 中国受威胁哺乳动物物种优先保护单元地理分布

Fig.1 Geographical distribution of reference units for priority conservation of threatened mammal species in China

优先保护网格均标示有网格优先序号;前十个网格覆盖 80% 的受威胁物种,在括号中标示累积物种数占比

喜马拉雅山脉东南区、长白山腹地等区域的前 10 个网格单元就分布有本次研究受威胁动物物种中的 109 种,达到 80%的保护水平,将这 10 个网格作为优先保护热点参考单元。

西南地区是我国受威胁哺乳动物保护的关键区域,29 个保护网格中,15 个都处于西南地区,占 51.7%,优先保护热点参考单元大多也位于此处,且几乎都位于西南地区的南部边界一带。01 号网格单元是中国受威胁陆栖哺乳动物最丰富的地区,一个单元范围下就存在 45 种受威胁哺乳种,其位于云南省南部无量山尾端。云南地形复杂、植被茂盛、雨量丰富,哺乳动物资源丰富,是大多数受威胁陆栖哺乳类物种的绝佳栖息地,同时排除结果显示云南省也是受威胁物种多样性保护的重点地区,具有最多的优先保护网格。西南地区外的 14 个优先单元分布于新疆、青海、内蒙古、吉林、安徽、海南等省份中,位于不同的中国动物地理区内。

3.2 结合主要自然保护地数据的保护现状分析

利用等面积网格识别优先保护区域可以有效排除人为性对筛选结果的影响,但网格尺度的初步筛选结果仅具有参考意义,小粒度网格有助于准确探测保护热点的位置,却无法显示需要保护的具体区域范围。结果网格的周边网格与该结果网格在物种构成及物种丰富度等方面非常相似,当网格大小被更改,筛选出的优先保护网格结果有可能会变动至邻近地域中。因此结果网格的周边地域同样具有很高的保护价值,也需要纳入保护网络中,有必要在优先保护网格的基础上扩大范围以作为真正的优先保护地。基于此,以优先保护网格及其邻近网格所在的县市为重点保护地区将具有更宏观的保护意义。本文将保护热点网格所在县市作为优先保护的候选热点县市,将每个优先保护热点参考单元对应的一个或多个热点县市作为一组优先保护区,并参照单元序号排序。共计 10 组优先保护区,涉及 22 个县级行政区,覆盖 110 个受威胁物种。

3.2.1 保护空缺区域

各组县市在主要自然保护地的分布、数量、级别、被保护面积比例等方面存在显著差异(图 2,表 2)。这 10 组地区中共建设有 21 个与哺乳动物保护相关的主要自然保护地,被保护的面积占优先保护区总面积的 25.9%。

表 2 优先保护区所涉主要自然保护地

Table 2 Major natural protected areas related to the identified priority conservation areas

优先保护区 Priority conservation areas	保护热点县市 Hotspot counties	所涉主要自然保护地 Natural protected areas involved	保护地级别 Level of the protected areas	优先保护区内国家公园和 自然保护区面积占比/% The proportion of national parks and nature reserves in the priority conservation area
01	01-a 云南江城县	牛保河	县级保护区	10.0
	01-b 云南绿春县	黄连山	国家级保护区	
02	02-a 西藏亚东县			0
03	03-a 新疆富蕴县	卡拉麦里山	省级保护区	48.6
	03-b 新疆青河县	两河源头	省级保护区	
04	04-a 四川松潘县	黄龙	省级保护区	41.3
		白羊	省级保护区	
		贡杠岭	省级保护区	
	04-b 四川九寨沟	九寨沟	国家级保护区	
		白河	国家级保护区	
	04-c 四川平武县	大熊猫国家公园	国家公园	
05	05-a 吉林江源区	白山原麝	国家级保护区	2.9
	05-b 吉林临江市			
06	06-a 西藏错那县			0
07	07-a 海南东方市	大田	国家级保护区	21.3
	07-b 海南昌江县	海南热带雨林国家公园	国家公园	
	07-c 海南白沙县	邦溪	省级保护区	

续表

优先保护区 Priority conservation areas	保护热点县市 Hotspot counties	所涉主要自然保护地 Natural protected areas involved	保护地级别 Level of the protected areas	优先保护区内国家公园和 自然保护区面积占比/% The proportion of national parks and nature reserves in the priority conservation area
08	07-d 海南儋州市	番加	省级保护区	8.5
	08-a 云南盈江县	铜壁关	省级保护区	
	09-a 云南贡山县	高黎贡山	国家级保护区	
09	09-b 云南德钦县	白马雪山	国家级保护区	32.2
	09-c 云南维西县			
	10-a 广西龙州县	广西青龙山	省级保护区	
10	10-b 广西宁明县	弄岗	国家级保护区	4.3
	10-c 广西凭祥市	崇左白头叶猴	国家级保护区	

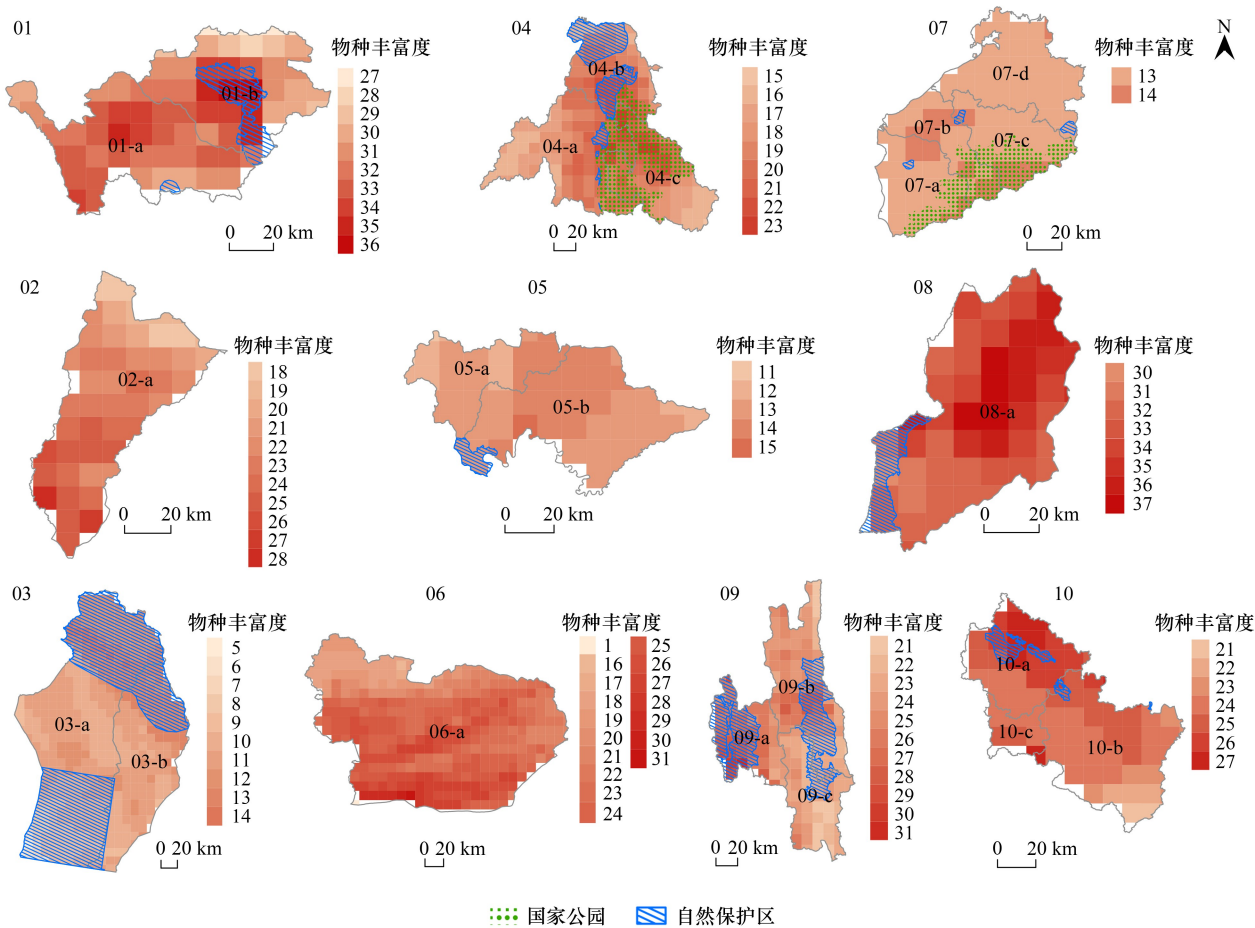


图 2 优先保护区受威胁哺乳物种丰富度及主要自然保护地分布

Fig.2 Species richness of threatened terrestrial mammals and distributions of major natural protected areas in priority conservation areas

图中数字表示优先保护区序号,与图 1 中网格优先序号相对应

8 组县市存在与哺乳动物保护相关的主要自然保护地,3 组县市中主要自然保护地的面积超过 25.9%,03 组富蕴县和青河县组成的优先保护区的保护比例最高,近一半土地是自然保护区用地,09 组自然保护区占县市面积的 32.2%,04 组的 3 个县市中就分布有 6 个主要自然保护地,包括 1 个国家公园和 5 个自然保护区,且

这些地区的受威胁陆栖哺乳物种丰富度高值区均已被自然保护地覆盖。然而保护空缺区域在其它优先保护区仍然存在,02 组亚东县和 06 组错那县未建设有国家公园和自然保护区,但这两组区域总体受威胁哺乳物种多样,尤其是亚东县南部和错那县西南处,是典型的保护空缺区域。01、05、07、08、10 这 5 组优先保护区域虽设置有主要自然保护地,但保护地面积占比偏低,除了 07 组,其余区域都未超过 10%。01、07、10 组中的主要保护地虽未完全覆盖丰富度高值区域,但已建保护区的位置都在高值区之中或附近。而 05、08 组县市内的保护地数量少、占地小、处于县界边缘,未能涵盖丰富度高值地区,白山原麝保护区及铜壁关保护区均地处数县,保护重点不在优先保护区内,故临江市和盈江县中部均存在保护空缺区域。

依据管理目标和效能,中国自然保护地分级分类系统中保护强度最高的是国家公园^[27],而对于自然保护区而言,其管理及保护成效与保护区级别呈现正相关^[28]。热点地区涉及到的主要自然保护地中国家公园占 9.5%,国家级自然保护区占 42.9%,整体管理水平不低。但 03 和 08 组县市仅存在地方级保护区,08 组县市中保护区不仅等级低,还存在数量少、面积小的问题。

3.2.2 保护空缺物种

优先保护区共包含 110 种受威胁陆栖哺乳物种,整体上看,21 个主要自然保护地的保护对象共涉及受威胁哺乳动物 92 种,覆盖了保护热点县市 83.6%的受威胁哺乳物种(表 3,附录 A)。按目分类,计算优先保护区受威胁陆栖哺乳类各目的保护比例(得到保护的受威胁物种数占优先保护区受威胁物种总数的比例)。

表 3 优先保护区域内陆栖受威胁哺乳动物各目保护现状

Table 3 Conservation status of different threatened mammalian orders in priority conservation areas

目 Order	优先保护区 受威胁物种数 Number of threatened species in priority conservation areas	所涉自然保护地 受威胁物种数 Number of threatened species in natural protected areas involved	未得到保护的物种名 Unprotected species in priority conservation areas	保护比例/% Protection ratio
食肉目 Carnivora	37	36	懒熊 <i>Melursus ursinus</i>	97.3
鲸偶蹄目 Cetartiodactyla	18	15	阿尔泰盘羊 <i>Ovis ammon</i> 喜马拉雅麝 <i>Moschus leucogaster</i> 喜马拉雅斑羚 <i>Naemorhedus goral</i>	83.3
鳞甲目 Pholidota	1	1		100
长鼻目 Proboscidea	1	1		100
灵长目 Primates	20	15	倭蜂猴 <i>Nycticebus pygmaeus</i> 长尾叶猴 <i>Semnopithecus schistaceus</i> 白头叶猴 <i>Trachypithecus leucocephalus</i> 达旺猴 <i>Macaca munzala</i> 戴帽叶猴 <i>Trachypithecus pileatus</i>	75
翼手目 Chiroptera	15	11	安氏长舌果蝠 <i>Macroglossus sobrinus</i> 抱尾果蝠 <i>Rousettus amplexicaudatus</i> 短耳犬蝠 <i>Cynopterus brachyotis</i> 金黄鼠耳蝠 <i>Myotis formosus</i>	73.3
劳亚食虫目 Eulipotyphla	5	2	宽齿鼯 <i>Eurosaptor grandis</i> 短尾鼯 <i>Eurosaptor micrura</i> 大鼯鼠 <i>Sorex mirabilis</i>	40
奇蹄目 Perissodactyla	1	1		100
兔形目 Lagomorpha	3	1	粗毛兔 <i>Caprolagus hispidus</i> 长白山鼠兔 <i>Ochotona coreana</i>	33.3
啮齿目 Rodentia	9	9		100
总计 Total	110	92		83.6

以优先保护区中陆栖受威胁哺乳物种的总体平均保护比例为界,将受威胁陆栖哺乳类各目分为已被基本保护和未被充分保护两种类型。

热点县市中基本被保护的受威胁陆栖哺乳“目”类型包括啮齿目、奇蹄目、鳞甲目、长鼻目、食肉目,它们的保护比例高,保护情况优于整体的保护情况。受威胁奇蹄目、鳞甲目、长鼻目整体物种数量少,在热点县市中均只分布有唯一一种且都为自然保护地覆盖。受威胁啮齿目共有 9 种处于热点县市,均分布在所涉自然保护地范围内。受威胁食肉目是热点县市中存在物种数最多的目,达 37 种,同时也具有最多的被保护物种数,仅有懒熊(*Melursus ursinus*)这 1 个物种不在所涉自然保护地的范围内。

热点县市中未被充分保护的受威胁陆栖哺乳“目”类型有偶蹄目、灵长目、翼手目、劳亚食虫目、兔形目,它们的保护比例相对较低。受威胁灵长目、翼手目、偶蹄目在优先保护区域内的物种数较多,被保护物种数虽达到一半以上,但仍不及热点县市受威胁陆栖哺乳物种的整体保护比例,低于平均水平。热点县市中受威胁劳亚食虫目、兔形目物种数很少,其中分布在所涉自然保护地范围内的物种仅有海南新毛猬(*Neohylomys hainanensis*)、小臭鼩(*Suncus etruscus*)和海南兔(*Lepus hainanus*)。

4 讨论

根据 Dobson 算法,29 个 50km×50km 的网格单元就包含有本次研究的所有受威胁陆栖哺乳物种,其中前 10 个网格区域覆盖了 81.3% 的物种,其所在县市即为中国受威胁陆栖哺乳动物的优先保护热点区域。“生物多样性宝库”西南地区是中国受威胁陆栖哺乳物种的丰富度热点地区,也是本研究优先保护区分布最为集中的地方;福建、海南等地也分布有优先保护区,虽其相对来说不是物种最丰富的地区,但其中的物种却能对其它地区的物种起到补充作用,以覆盖更全面多样的受威胁陆栖哺乳物种系统。结果既包含我国受威胁哺乳物种的分布集中区,也包含了尽可能多补充物种所在的区域,符合我国陆栖受威胁哺乳动物分布实际,也体现了算法兼顾物种丰富度与互补性的特点。

现有 Dobson 算法在县物种数相同时会优先选择面积较小的县,但结果往往仍会包含更多的大面积县级行政区,这些大面积县级行政区是否确为优先保护热点?抑或是仅仅由于面积较大而具有相对更丰富的物种?这是有待继续考量的。而本文使用的 Dobson 算法采用规则网格作为基本单元,排除了面积差对单元丰富度的干扰,有利于识别出更精确的优先保护网格及其所在县市。通过与《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030 年)》^[29]所提出的内陆生物多样性保护优先区域进行比较,发现本文得到的优先保护参考网格以及基于此得到的优先保护热点县市全部位于内陆生物多样性保护优先区域范围内,包括横断山南段区、喜马拉雅山东南区、阿尔泰山区、岷山—横断山北段区、长白山区、海南岛中南区等。通过与世界自然基金会(WWF)提出的“全球 200 重点生态地区”(Global 200 ecoregions)进行比较,发现本文结果中的 6 组优先保护区与“全球 200”中国部分^[30]相吻合。此外,西南山地是保护国际基金会(CI)确定的全球 36 个生物多样性热点地区之一,也是本研究所得优先保护区的典型集中处。可以发现本文结果与中国已有的生物多样性保护关键区域总体上是较为一致的,结果具有较高的合理性。然而与之相比,本文目前确定的优先保护区数量较少、范围较小,几乎可以说是 32 个内陆生物多样性保护优先区域的子集,且有些地区未被全球 200 涉及,甚至中国已有的这些生物多样性保护关键区域间也存在明显差异,例如滇西北处于内陆生物多样性保护优先区域,也是全球生物多样性热点地区的代表性区域,本研究 09 组优先保护区位于此处,但该地区并不属于“全球 200”。这样的差异主要是不同的优先保护区设定标准所致。本文基于互补性原则以尽可能少的区域保护尽可能多的物种为目标,主要考虑物种因素;“全球 200”按生态区确定优先保护区,主要考虑生态系统因素;《中国生物多样性保护战略与行动计划(2011—2030 年)》综合考虑了物种和生态系统因素,但优先区面积偏大^[31]。物种不同的最小生存面积需求、生境不同的适宜性等都会影响保护区的设定,但由于研究区域较大、涉及物种较多,本文目前仅以保护更多物种为目的进行单目标的优化,当考虑更多的约束条件时结果可能会更具实际性。后续研究可以兼顾物种多样性、生物特性、生态系统、人类活动等因素,转化为多目标规划,做进一步改进。

算法结果结合主要自然保护地进行空缺保护分析后,发现各组区域被保护情况差别较大,针对各地暴露

出的不同类型的问题,可以因地制宜采取应对措施。富蕴县等、松潘县等、贡山县等 3 组优先保护区域的主要自然保护地面积占比高,几乎不存在保护空缺区域;江城县等、东方市等、龙州县等 3 组优先区存在部分保护空缺区域,扩建保护地是提高保护效率的有效方式;剩余 4 组地优先保护区在丰富度热点地区未建立主要自然保护地,即亚东县南端、错那县西南部、临江市和盈江县中部,存在明显的保护空缺区域;此外,富蕴县等、盈江县等 2 组地区目前不存在国家公园和国家级的自然保护区,完善制度加强监督将有利于提高自然保护地的管理水平。同时,不同类别的物种受保护程度也存在明显差异。受威胁啮齿目、奇蹄目、鳞甲目、长鼻目、食肉目优于平均保护状况,受威胁偶蹄目、灵长目、翼手目、劳亚食虫目、兔形目的保护比例相对较低,未达到平均保护水平,可以因类而异,对保护水平较低的物种加大保护力度。

优先保护区识别对受威胁物种的保护而言意义非凡。需要注意的是,少部分物种因分布资料不全未被纳入本次研究中,可能会对结果造成些许影响,加之受威胁物种的分布范围^[4,32]、濒危状况变化^[6]较为频繁,后续有必要继续关注物种分布资料的更新,及时调整、补充受威胁物种的分布数据,并随之更新优先保护区识别结果,为国家受威胁哺乳动物的保护提供具有代表性和时效性的参考依据。

参考文献 (References):

- [1] Cowie R H, Bouchet P, Fontaine B. The sixth mass extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2022, 97(2): 640-663.
- [2] Li X Y, Hu W Q, Bleisch W V, Li Q, Wang H J, Lu W, Sun J, Zhang F Y, Ti B, Jiang X L. Functional diversity loss and change in nocturnal behavior of mammals under anthropogenic disturbance. *Conservation Biology: the Journal of the Society for Conservation Biology*, 2022, 36(3): e13839.
- [3] Allan J R, Watson J E M, Marco M D, O'Bryan C J, Possingham H P, Atkinson S C, Venter O. Correction: Hotspots of human impact on threatened terrestrial vertebrates. *PLoS Biology*, 2019, 17(12): e3000598.
- [4] Qian T L, Chi Y, Xi C B, Li Z Q, Wang J C. Changes in the historical and current habitat ranges of rare wild mammals in China: a case study of six taxa of small- to large-sized mammals. *Sustainability*, 2020, 12(7): 2744.
- [5] 夏欣, 张昊楠, 郭辰, 钱者东, 高军, 徐网谷, 周大庆, 蒋明康. 我国哺乳动物就地保护状况评估. *生态学报*, 2018, 38(10): 3712-3717.
- [6] Wan X R, Jiang G S, Yan C, Zhang Z B. Historical records reveal the distinctive associations of human disturbance and extreme climate change with local extinction of mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(38): 19001-19008.
- [7] 蒋志刚, 李立立, 罗振华, 汤宋华, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 冯祚建, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 平晓鸽, 方红霞. 通过红色名录评估研究中国哺乳动物受威胁现状及其原因. *生物多样性*, 2016, 24(5): 552-567.
- [8] Marchese C. Biodiversity hotspots: a shortcut for a more complicated concept. *Global Ecology and Conservation*, 2015, 3: 297-309.
- [9] Pressey R L, Humphries C J, Margules C R, Vane-Wright R I, Williams P H. Beyond opportunism: key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology & Evolution*, 1993, 8(4): 124-128.
- [10] 王伟, 李俊生. 中国生物多样性就地保护成效与展望. *生物多样性*, 2021, 29(2): 133-149.
- [11] 刘思慧. 横断山南麓哺乳动物物种多样性研究: 滇南高原自然保护区哺乳动物物种丰富度的空间格局[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [12] 黄萍, 徐卫华, 范馨悦, 韩梅. 青藏高原珍稀濒危哺乳动物保护优先区评价与空缺分析. *环境保护科学*, 2022, 48(3): 1-6.
- [13] 张微. 气候变化背景下的东北珍稀哺乳动物优先保护区域研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [14] Dobson A P, Rodriguez J P, Roberts W M, Wilcove D S. Geographic distribution of endangered species in the United States. *Science*, 1997, 275(5299): 550-553.
- [15] 陈阳, 陈安平, 方精云. 中国濒危鱼类、两栖爬行类和哺乳类的地理分布格局与优先保护区域——基于《中国濒危动物红皮书》的分析. *生物多样性*, 2002, 10(4): 359-368.
- [16] 杨飞龄, 胡金明, 武瑞东. 基于 NPWP 的云南植物保护优先区分析. *地理学报*, 2013, 68(11): 1538-1548.
- [17] 陈发虎, 傅伯杰, 夏军, 吴铎, 吴绍洪, 张镡锂, 孙航, 刘禹, 方小敏, 秦伯强, 李新, 张廷军, 刘宝元, 董治宝, 侯书贵, 田立德, 徐柏青, 董广辉, 郑景云, 杨威, 王鑫, 李再军, 王飞, 胡振波, 王杰, 刘建宝, 陈建徽, 黄伟, 侯居峙, 蔡秋芳, 隆浩, 姜明, 胡亚鲜, 冯晓明, 莫兴国, 杨晓燕, 张东菊, 王秀红, 尹云鹤, 刘晓晨. 近 70 年来中国自然地理与生存环境基础研究的重要进展与展望. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(11): 1659-1696.
- [18] 丁晨晨, 梁冬妮, 信文培, 李春旺, Eric I. Ameca, 蒋志刚. 中国哺乳动物形态、生活史和生态学特征数据集. *生物多样性*, 2022, 30(2):

91-100.

- [19] 柏成寿, 崔鹏. 我国生物多样性保护现状与发展方向. 环境保护, 2015, 43(5): 17-20.
- [20] 蒋志刚, 吴毅, 刘少英, 蒋学龙, 周开亚, 胡慧建. 中国生物多样性红色名录: 脊椎动物(第一卷)·哺乳动物. 北京: 科学出版社, 2021.
- [21] 蒋志刚等. 李立立绘图. 中国哺乳动物多样性及地理分布. 北京: 科学出版社, 2015.
- [22] Harfoot M B J, Johnston A, Balmford A, Burgess N D, Butchart S H M, Dias M P, Hazin C, Hilton-Taylor C, Hoffmann M, Isaac N J B, Iversen L L, Outhwaite C L, Visconti P, Geldmann J. Using the IUCN Red List to map threats to terrestrial vertebrates at global scale. *Nature Ecology & Evolution*, 2021, 5(11): 1510-1519.
- [23] 肖能文, 赵志平, 李果, 高晓奇, 吉晟男, 徐靖, 刘冬梅, 李俊生. 中国生物多样性保护优先区域生物多样性调查和评估方法. 生态学报, 2022, 42(7): 2523-2531.
- [24] Scott J M, Csuti B, Jacobi J D, Estes J E. Species Richness: a geographic approach to protecting future biological diversity. *BioScience*, 1987, 37(11): 782-788.
- [25] 刘吉平, 吕宪国, 殷书柏. GAP 分析: 保护生物多样性的地理学方法. 地理科学进展, 2005, 24(1): 41-51.
- [26] 郭子良, 李霄宇, 崔国发. 自然保护区体系构建方法研究进展. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2220-2228.
- [27] 无. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《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》. 中华人民共和国国务院公报, 2019(19): 16-21.
- [28] Cao H M, Tang M F, Deng H B, Dong R C. Analysis of management effectiveness of natural reserves in Yunnan Province, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2014, 21(1): 77-84.
- [29] 环境保护部. 中国生物多样性保护战略与行动计划: 2011—2030. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [30] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. 生物多样性, 2000, 8(4): 435-440.
- [31] 武建勇, 薛达元, 王爱华, 赵富伟. 生物多样性重要区域识别——国外案例、国内研究进展. 生态学报, 2016, 36(10): 3108-3114.
- [32] Zhao X M, Ren B, Garber P, Li X H, Li M. Impacts of human activity and climate change on the distribution of snub-nosed monkeys in China during the past 2000 years. *Diversity and Distributions*, 2018, 24: 92-102.