

DOI: 10.5846/stxb202204251142

马佳雯, 杨志娇, 王宇航, 文苑玉, 刘刚, 李惠鑫, 高军, 虎永胜, 李斌, 九落, 龚明昊. 基于目标物种栖息地适宜性和景观特征的保护地功能区划研究——以甘肃多儿国家级自然保护区为例. 生态学报, 2023, 43(7): 2703-2710.

Ma J W, Yang Z J, Wang Y H, Wen W Y, Liu G, Li H X, Gao J, Hu Y S, Li B, Jiu L, Gong M H. Functional zoning of the protected areas based on habitat suitability and landscape characteristics of target species: A case study from Gansu Duoer National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(7): 2703-2710.

基于目标物种栖息地适宜性和景观特征的保护地功能区划研究

——以甘肃多儿国家级自然保护区为例

马佳雯^{1,2}, 杨志娇^{1,2}, 王宇航^{1,2,*}, 文苑玉^{1,2}, 刘刚^{1,2}, 李惠鑫^{1,2}, 高军³, 虎永胜⁴, 李斌⁴, 九落⁴, 龚明昊^{1,2}

1 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091

2 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 北京 100091

3 甘肃省野生动植物保护站, 兰州 730050

4 甘肃多儿国家级保护区管护中心, 迭部 747400

摘要:生境的破碎化是导致物种濒危的主要原因之一, 功能区划是对保护地进行空间布局和提升保护成效的重要手段。通过对生境进行适宜性评价, 进而指导合理区划, 是提升保护地功能的重要措施。基于目前保护地功能区划中存在与目标物种适宜栖息地空间格局不一致、与周边联系紧密性不足、边缘效应明显等问题, 以甘肃多儿国家级大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 自然保护区为例, 根据现有保护地区划景观特征, 通过扩大研究尺度和开展栖息地适宜性评价, 结合适宜栖息地异质性和功能区的景观特征, 基于提升适宜栖息地完整性和连接度调整保护区功能区划, 并通过比较区划前、后景观特征和栖息地适宜性的变化以及大熊猫的空间利用来评估本研究方法的有效性。研究表明: 基于本方法的新区划核心区适宜栖息地增加了 16.03%, 被保护的优质栖息地增加, 核心区内缘比由调整前的 5.35 和 6.32 下降至 3.97, 被保护的优质栖息地增加, 边缘效应明显减小, 提高了保护区适宜栖息地的完整性, 加强了和周边优质栖息地的联系, 有助于提升核心区的环境容纳量, 增强抵御外来干扰的能力, 改善大熊猫的生存状况, 促进所在区域的种群交流。

关键词:保护地; 适宜栖息地; 功能区划; 栖息地评价; 大尺度

Functional zoning of the protected areas based on habitat suitability and landscape characteristics of target species: A case study from Gansu Duoer National Nature Reserve

MA Jiawen^{1,2}, YANG Zhijiao^{1,2}, WANG Yuhang^{1,2,*}, WEN Wanyu^{1,2}, LIU Gang^{1,2}, LI Huixin^{1,2}, GAO Jun³, HU Yongsheng⁴, LI Bin⁴, JIU Luo⁴, GONG Minghao^{1,2}

1 Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Institute of Ecological Protection and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Gansu Wildlife Administration, Lanzhou 730050, China

4 Gansu Duoer National Nature Reserve Management Center, Diebu 747400, China

基金项目:国家自然科学基金 (31971430); 甘肃多儿国家级自然保护区管理局“大熊猫栖息地评估”项目

收稿日期:2022-04-25; **采用日期:**2022-07-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wyhappy1990@163.com

Abstract: Habitat fragmentation is one of the main causes of species endangerment. Functional zoning is an important means of spatial distribution planning and conservation effectiveness improvement. Habitat suitability evaluation is an essential measure to improve the function of the protected areas and guide rational zoning. Focusing on the existing problems in the protected area function zoning, namely, inconsistency with the spatial pattern of suitable habitat, lacking close connection with surrounding areas, and enhancement edge effects, this study took Duoer National Giant Panda (*Ailuropoda Melanoleuca*) Nature Reserve in Gansu Province as an example. According to the landscape characteristics of the existing protected area zoning, the functional zoning of the protected area should be adjusted based on improving the integrity and connectivity of the suitable habitats by expanding the study scale and carrying out habitat suitability evaluation, combining the heterogeneity of the suitable habitat and the landscape characteristics of the functional area. The effectiveness of the method used in the study was evaluated by comparing the changes of landscape characteristics and habitat suitability before and after regionalization and the space utilization of giant panda. Results shows that the suitability evaluation based on this method was effective. The suitable habitat in the core area of the new zoning increased by 16.03%, the protected quality habitats increased. The inner margin ratio of the core area decreased from 5.35 and 6.32 before adjustment to 3.97, the protected high-quality habitat increased, and the edge effect significantly decreased, which improved the integrity of the suitable habitat of the reserve and strengthened the connection with the surrounding high-quality habitat. It can help improve the environmental capacity of the core area, enhance the ability to resist external disturbance, improve the living conditions of giant pandas and promote the regional population exchange.

Key Words: protected areas; suitable habitat; functional zoning; habitat evaluation; large scale

功能区划是对保护地空间进行科学布局和功能定位的重要手段,其目的在于优化保护地空间格局,提升保护成效^[1-2]。由于管理权属、历史沿革、建设时间等原因,我国已有保护地功能区划依据各不相同,区划多立足自身地形和资源状况,与保护对象适宜栖息地空间格局不一致、与周边联系紧密性不足,区划形状边缘效应明显,部分保护地区划甚至对其功能造成影响,如抵御外来干扰的能力有限、影响种群交流等问题,影响保护地在景观尺度发挥其功能和效应^[3-6],不利于目标物种的保护。目前我国保护地区划的主要技术规范有《自然保护区功能区划技术规程》(LY/T 1764—2008)、《自然保护区功能区划技术规程》(GB/T 35822—2018),也包括2019年发布的《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》中提出的“三区变两区”等新政策。栖息地适宜性和区划斑块景观特征是物种类型保护区功能区划的重要基础^[7-8],但已有区划和研究将以上因子作为功能区划的案例并不多。近年来,随着栖息地适宜性评价方法的丰富实践^[9-11],景观生态学与地理信息科学的发展,为将以上因素纳入保护区功能区划,探索新的区划方法创造了条件。

大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)作为世界生物多样性保护的旗舰物种^[12],由于生境地破碎化^[13],被隔离为多个“小种群”^[14-15],如何通过合理区划加强与周边种群的联系,增加种群规模、建立其自我维持和发展的能力,是当前亟待解决的问题^[16-18]。除建立大熊猫国家公园,对各山系主体种群进行保护外,对公园以外其他种群仍需通过优化保护地功能区划来提升保护成效^[19-22]。本研究拟以甘肃多儿国家级大熊猫保护区为例,探索基于栖息地适宜性、加强周边保护地联系、降低区划斑块边缘效应等需求优化保护地功能区划的途径,为提升我国保护地功能和区划有效性积累经验,具有重要的科学价值和实践意义。

1 研究区域概况

多儿保护区(以下简称保护区)位于甘肃省迭部县东南部(图1),面积为54575hm²。由于林权和建保护区时尚未开展天然林保护等因素,原区划设置了两个核心区,为工布龙核心区和扎嘎吕核心区;并遵从三区划分模式在核心区外围及南部边界山脊设置了狭长的缓冲带,导致核心区隔离和区划边缘效应明显。本研究针对多儿保护区的功能区划开展研究,为考虑保护区与周边栖息地和种群的联系,需要从更大尺度上认识其所在区域

的景观特征及栖息地的适宜性,也将多儿保护区周边区域,包括甘肃阿夏、插岗梁、博峪河保护区及四川贡岗岭保护区的部分区域也纳入研究区域,地理坐标介于北纬 $33^{\circ}30'0''$ — $34^{\circ}0'0''$ 、东经 $103^{\circ}30'0''$ — $104^{\circ}20'0''$ 之间。

保护区内大熊猫属于大熊猫分布区岷山最西北的边缘种群,全国第三、四次全国大熊猫调查分别表明保护区有 5 只和 9 只分布。根据长期监测,保护区内的大熊猫存在种群规模小、分布不稳定、遇见率低等问题,需要提升保护地管理成效以改善其生存状况。

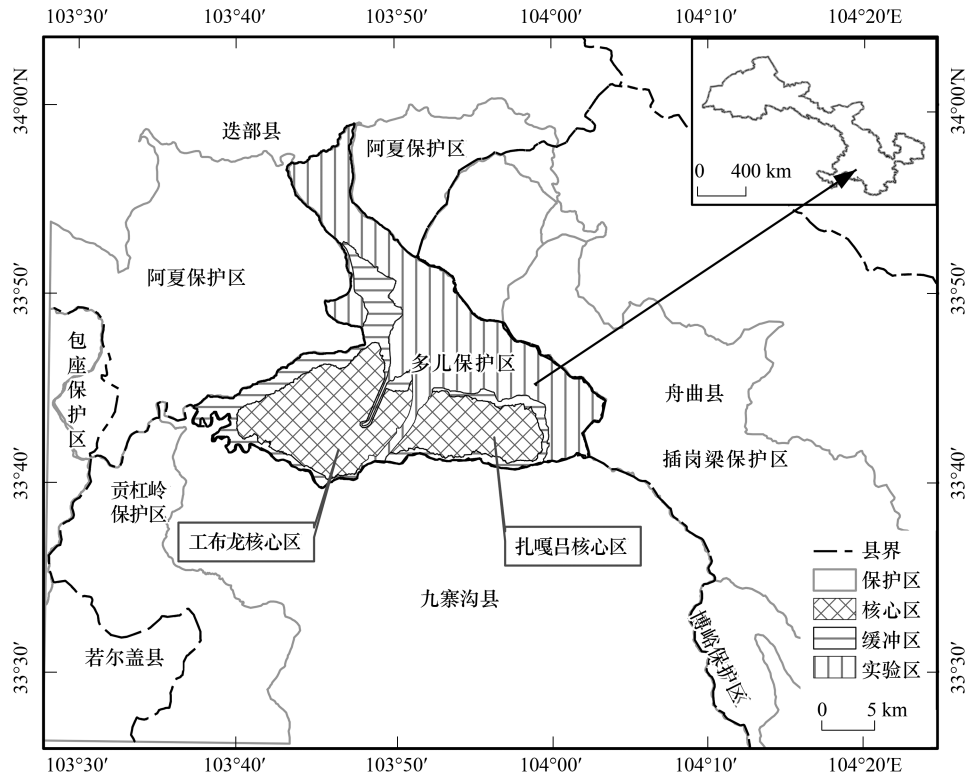


图 1 研究区域位置图

Fig.1 Location of the study area

2 研究方法

本研究拟根据研究区域大熊猫栖息地适宜性的空间格局,降低斑块边缘效应,促进区域种群交流来优化和调整保护区功能区划,首先开展栖息地适宜性评价研究大熊猫适宜栖息地的空间分布,在此基础上认识保护区原区划的景观特征,最后结合种群扩散与交流、优质栖息地的完整与连接等对保护区重新进行区划。

2.1 栖息地评价方法

2.1.1 评价模型

本研究栖息地评价方法主要基于大熊猫对环境因子的选择特性,对环境因子进行综合评价,最后得出栖息地适宜性分类及空间布局,所采用模型为 Store and Kangas 等 2001 年开发的 Conceptual framework model 景观机理模型^[23]。在得到栖息地适宜性评价结果后根据大熊猫对栖息地的利用情况将栖息地分为适宜、次适宜和一般适宜栖息地。模型对环境因子适宜性的划分和栖息地适宜性划分的准确性可以通过该区域大熊猫痕迹点和相关划分结果的匹配程度来验证。

2.1.2 数据来源与处理

由于本研究主要从大尺度上认识保护区及周边地区的栖息地状况,栖息地评价因子选择与大熊猫生存关联最直接的 3 种景观因子:海拔、坡度和植被作为栖息地环境因子,同时由于该区域人为干扰强度较小,没有

将道路、放牧等干扰源纳入。海拔数据来源于中科院地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>),坡度数据在海拔基础上通过 ArcGIS 10.7 建模生成,植被数据由保护区提供。

植被、海拔、坡度适宜性分类基于岷山地区大熊猫对于栖息地因子选择特性的研究成果^[24-29]以及与保护区大熊猫痕迹点重合情况,以大熊猫痕迹点的分布所在地的树种、海拔、坡度为基础,根据各痕迹点树种的比例,将大熊猫对环境适宜性划分为三个等级并赋值(表 1),痕迹点数据来自全国第三、四次大熊猫调查采集的粪便样品位置以及保护区科考调查。

保护区大熊猫的主食竹是华西箭竹,占保护区竹子分布的 95%以上,竹子与森林共生,镶嵌分布,尤其是冷、云杉及混交林下的竹林是大熊猫最喜选择的竹子类型,因此主食竹的适宜性及划分在较粗略程度可以通过植被适宜性分类体现。

表 1 大熊猫栖息地适宜性分级赋值体系

Table 1 Habitat suitability grading assignment system for giant pandas

评价因子 Evaluation factors	适宜度分级赋值 Assignment value of suitability					
	3 (最适宜区间) Optimum interval	痕迹点数量及 比例 Number and percentage of trace	2 (次适宜区间) Sub-suitability interval	痕迹点数量 及比例 Number and percentage of trace	1 (不适宜区间) Unsuitable Habitat	痕迹点数量及比例 Number and percentage of trace
海拔 Elevation/m	2900—3200	44,64.71%	2500—2900, 3200—3500	24,35.29%	>3500,<2500	0,0%
坡度 Slope/(°)	25—40	38,55.88%	0—25,40—45	30,44.12%	>45	0,0%
植被 Vegetation	云杉、冷杉、针 叶混交林	55,80.88%	杜鹃、忍冬、桦 树、针阔混交林	12,17.65%	其他树种	1,1.47%

2.2 景观和破碎化分析方法

区划斑块的景观分析主要根据区划斑块的景观指数进行评估。基于 Arcgis 计算区划斑块的面积和周长,并通过内缘比(斑块周长与面积之比)评估斑块的边缘效应,认识区划对外来干扰的抵抗能力和有效性,内缘比越大边缘效应越大。同时,栖息地破碎化分析也主要根据适宜栖息地的最大斑块面积、斑块平均面积等景观参数进行评估。

2.3 区划原则与方法

区划要为大熊猫提供有效的生存空间,核心区要覆盖所在区域主要的适宜栖息地,面积要能够维持一定物种数量的空间需求^[30],保证保护区与周边优质栖息地的完整与连接^[31],尽量降低栖息地破碎化水平,在了解周边大熊猫分布(痕迹点)基础上,建立和促进种群之间交流,在景观水平上减少区划的破碎化和边缘效应^[32],从区划角度提升抗干扰能力,提升区划的有效性。同时,除栖息地外,在区划中还考虑地形、地貌、水系等因素,利用山脊、河流等地形分界线作为区划边界,以提升区划的景观完整性和同域物种栖息地完整性的需要。

3 结果与分析

3.1 保护区内栖息地状况

基于评价结果,保护区内有适宜栖息地共 21730.37hm²,占保护区面积的 39.82%(表 2),主要分布在工布龙核心区和扎嘎吕核心区内(图 2);次适宜栖息地为 21807.55hm²,占保护区面积的 39.96%,与适宜栖息地共生、融合分布;不适宜栖息地 11037.08hm²,占比 20.22%,主要分布在低海拔的河谷地带、高海拔的流石滩等地。

核心区内共有适宜栖息地 8279.6hm²,占核心区面积的 42.59%。此外,核心区外还有较多优质栖息地未被纳入,最大一个适宜栖息地斑块面积为 4561.43hm²,位于扎嘎吕缓冲区东侧的实验区内。其次为位于多儿

保护区中部两个核心区之间面积为 2490.96hm²的斑块,工布龙缓冲区内也有一个面积为 1238.50hm²的适宜斑块,保护区的东北角也有一处较完整的适宜斑块面积为 1101.71hm²。

基于 ArcGIS 平台的数据可视化,评价结果 87%的痕迹点分布于适宜栖息地中,13%的痕迹点分布在次适宜栖息地中(表 3),不适宜栖息地中没有痕迹点分布,其中,保护区内的痕迹点 78%分布于核心区工布龙区域的适宜栖息地内,痕迹点与适宜栖息地斑块的匹配程度验证了本评价结果的有效性。

表 2 保护区内栖息地适宜性评价结果
Table 2 Habitat suitability assessment in the reserve

类型 Type	面积/hm ² Area	面积占比/% Percentage	最大斑块面积/hm ² The largest patch area
适宜栖息地 Suitable Habitat	21730.37	39.82	4561.43
次适宜栖息地 Sub-suitable habitat	21807.55	39.96	2159.82
不适宜栖息地 Unsuitable Habitat	11037.08	20.22	1120.55

表 3 痕迹点在栖息地适宜性评价结果中的分布
Table 3 Distribution of trace points in habitat suitability assessment

痕迹点分布 Distribution of trace points	适宜栖息地内痕迹点个数/个 Number of trace points in the suitable habitat	次适宜栖息地内痕迹点个数/个 Number of trace points in sub-suitable habitats	总计/个 Account
保护区外 Within the protected area	40	5	45
保护区内 Outside the protected area	19	4	23
占比 Percentage	87%	13%	-

3.2 保护区外优质栖息地连接情况

由于地形、景观的原因,保护区境内的适宜栖息地与周边地区的大熊猫适宜栖息地总体上呈隔离分布,仅有 3 处有适宜栖息地与外界连接(图 2),其中两处适宜栖息地连接区域曾经于 2014 年发现有大熊猫经该区域从阿夏保护区东部从保护区进入阿夏保护区西部,这两处是研究区域内距离多儿保护区距离最近、适宜栖息地最聚集的区域,也是多儿保护区外大熊猫痕迹最为密集的地区。第三处位于四川九寨沟县范围内的工布龙河谷两侧,与保护区西南适宜栖息地连接,该区域为多儿保护区境内适宜栖息地沿河谷向高海拔延伸部分。

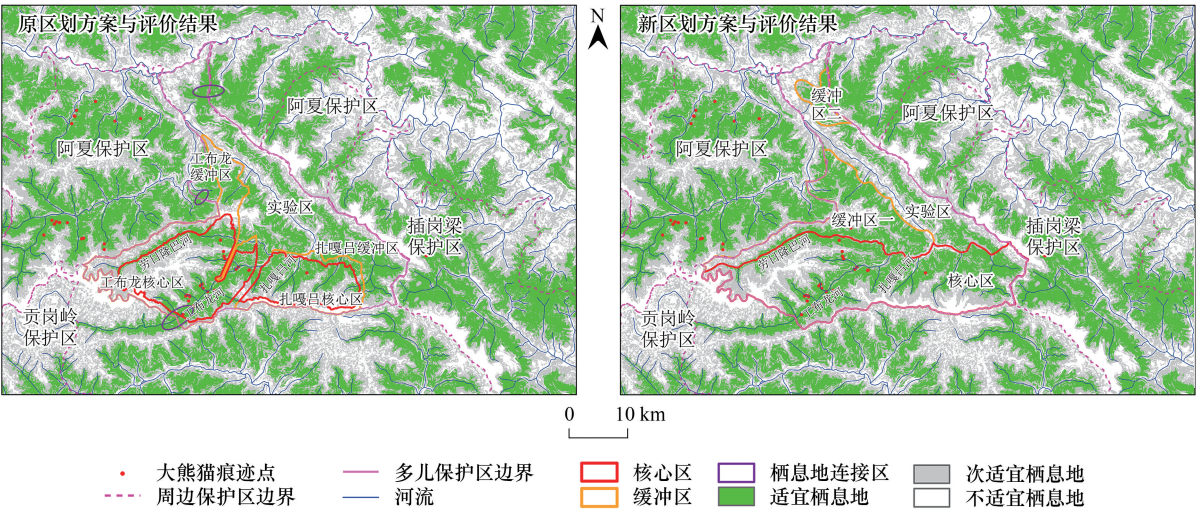


图 2 原区划方案与新区划对比
Fig.2 Comparison of the original zoning scheme and the new zoning scheme

3.3 现有区划景观特征

保护区虽分为核心区、缓冲区、实验区三区,在空间上却被划分为五个斑块,其平均内缘比为 14.89,其中核心区分为工布龙核心区与扎嘎吕核心区两块,面积占保护区 35.48%,内缘比分别为 5.35 与 6.32。两个核心区间存在的带状隔离使核心区之间的景观连通性也受到影响。缓冲区受传统“三区”模式影响,分为工布龙缓冲区与扎嘎吕缓冲区两个,呈窄长型带状包围在核心区外围,抵抗干扰能力差,其边缘效应较其他斑块更大,内缘比分别为 20.56 和 35.52(表 4),边缘效应较大。

3.4 区划调整建议

根据所提区划原则与方法,基于本研究栖息地评价结果和景观特征,对保护区功能区划进行重新布局,新区划包括一块核心区、两块缓冲区、一块实验区(图 2)具体为:

(1) 国家天保工程实施后,保护区森林全部变为生态公益林,林权问题不再成为保护区管理的障碍,建议连通原有两个核心区,将大熊猫适宜栖息地聚集区域及适宜栖息地大斑块全部纳入新区划核心区,结合河流与地形的因素,核心区以劳日隆巴河为北界,考虑保护区南部是自然山脊,建议不划缓冲区,直接以山脊为核心区南部边界;

(2) 将新核心区边界以北曾经有大熊猫分布,而且与西部阿夏保护区的大熊猫优质栖息地相连,大熊猫优质栖息地较完整,建议将其划为缓冲区一;

(3) 保护区东北角有一块适宜栖息地较集中的分布区,目前尚无大熊猫分布,但与保护区东部的大熊猫优质栖息地相连,从区域协同保护需要,也将其划为缓冲区二。

4 讨论

4.1 景观特征的变化

区划斑块形状的复杂,边缘的过长,也会导致栖息地的破碎化、斑块边缘效应的增强,在极大程度上减弱了栖息地保护生物多样性的功能^[32—33]。研究通过边界的调整,打破原有两个核心区之间的景观隔离,核心区从两个相互隔离的小斑块合并为一个大斑块。核心区面积上升 16.03%,缓冲区面积上升 6.46%。除有效保护面积提升外,新区划还增加了景观的完整性,从调整后的核心区内缘比调整前的 5.35 和 6.32 下降至 3.97(表 4),缓冲区下降尤为明显,由 20.56 和 35.52 下降至 7.63 和 13.63,平均内缘比下降为 8.15。新区划的边缘效应强度显著减小,从景观上有利于斑块抵御外来干扰的能力,也会使生境空间的异质性和多样性增加,提升物种及生态系统的整体保护效果。

表 4 调整前后核心区、缓冲区景观特征比较

Table 4 Comparison of the landscape characteristics of the core and buffer zones before and after the adjustment					
区划方案 Zoning Program	功能区 Functional zone	斑块面积/hm ² Patch area	面积占比/% Area share	斑块周长/m Patch circumference	内缘比 Inner edge ratio
原区划 Original zoning	工布龙核心区	12557.83	23.01%	67181.22	5.35
	扎嘎吕核心区	6831.67	12.47%	42987.87	6.32
	工布龙缓冲区	7477.66	13.70%	153767.43	20.56
	扎嘎吕缓冲区	2018.69	3.75%	72675.47	35.52
	实验区	25689.15	47.07%	171262.24	6.67
新区划 New Zoning	核心区	28110.37	51.51%	111459.51	3.97
	大缓冲区	11207.85	20.54%	85559.77	7.63
	小缓冲区	1838.50	3.37%	25062.08	13.63
	实验区	13418.28	24.59%	98792.06	7.36

内缘比为斑块周长/斑块面积,P/A 越小,边缘效应强度越小

同时,为实现保护目标,需要从大尺度、景观水平思考功能区划^[34],已有功能区划主要基于保护区内部种群和栖息地分布规划,对周边区域的种群和适宜栖息地的情况研究不足,没有反映保护区与周边地区在种群

交流和栖息地连接方面的对策。研究通过分析周边大熊猫痕迹结合扩大尺度的栖息地评价,增强优质栖息地之间的连接性,有助于促进种群之间交流与扩散。

4.2 适宜栖息地的变化

通过对比调整前后适宜栖息地的含量,核心区与缓冲区的适宜栖息地面积有所上升,新区划核心区提高了原区划适宜栖息地的含量,核心区增加 3431.27hm²,缓冲区增加 3580.22hm²。核心区和缓冲区最大斑块面积、斑块平均面积都有上升,其中核心区平均适宜栖息地斑块面积由 12.09hm² 上升至 12.29hm²(表 5),最大斑块面积由 3107.10hm² 上升至 6757.60hm²。缓冲区平均适宜栖息地斑块面积由 8.12hm² 上升至 13.75hm²,最大斑块面积由 1238.50hm² 上升至 5327.43hm²。以上结果表明新区划核心区和缓冲区内的适宜栖息地比重增加,且更加完整,破碎化程度降低,环境容纳量也将增加,将有利于提升和改善大熊猫的生存环境。

表 5 功能区划调整前后适宜栖息地对比

Table 5 Comparison of suitable habitats before and after functional zoning adjustments

方案 Programs	功能区 Functional zone	面积 Area/hm ²	适宜栖息地面积 Suitable habitat area/hm ²	最大斑块面积 Maximum patch area/hm ²	斑块平均面积 Average area of patches/hm ²
原区划 Original zoning	核心区	19389.5	8263.32	3107.10	12.09
	缓冲区	9496.35	3037.51	1238.50	8.12
	实验区	25689.15	10429.55	4561.40	11.22
新区划 New zoning	核心区	28110.37	11694.59	6757.60	12.29
	缓冲区	13046.35	6617.73	5327.43	13.75
	实验区	13418.28	3418.06	2781.03	8.30

4.3 方法的优势与不足

目前,我国正在构建以国家公园为主的保护地体系,包括国家公园、保护区、湿地公园、森林公园等类型。功能区划是保护地建设和管理的基础,但由于保护地类型、保护对象、生态系统不同,不能用一种方法和模式涵盖所有保护地的区划,需要根据具体保护需求探索合适的功能区划依据、原则和方法,确保区划的科学性和可操作性,包括对洄游场、迁徙停息地、季节性迁徙通道等特殊类型保护地制定特殊的区划方案。

本研究在以大熊猫保护为导向的保护地功能区划研究中主要考虑了景观特征和栖息地适宜性和种群交流等因素,减少了区划的边缘效应,提升了对适宜栖息地完整性和连接度的保护,有助于减少外来干扰,以期在促进种群扩散与交流基础上提升对目标物种的保护成效。目前,我国正在开展保护地整合工作,本研究从局域尺度对保护地功能及区划的相关思路和方法可以为该工作提供思路和参考,使保护地及网络更有效发挥物种保护及生态功能。同时,除目标物种外,还应考虑同域物种的保护需要^[35],尽管大熊猫是伞物种,但如果发现新区划不能覆盖一些特殊或重要同域动物的保护需求,就需要对区域再次进行优化,保护地的区划不是固定的,需要根据新情况进行调整,应以一种动态和开放的理念认识保护地的区划工作。

栖息地评价是本区划方法的重要基础,评价结果的精确性决定区划的科学性,由于干扰强度较低,没有将道路、放牧等干扰源纳入栖息地评估因子,可能对栖息地评价结果的准确性造成一定影响,应在后续研究中尽可能将相关干扰因子纳入评估模型,尤其是有重大干扰因子的情况,以提高区划结果的科学性和有效性。

参考文献(References):

- [1] Shen X L, Li S, McShea W J, Wang D J, Yu J P, Shi X G, Dong W, Mi X C, Ma K P. Effectiveness of management zoning designed for flagship species in protecting sympatric species. *Conservation Biology*, 2020, 34(1): 158-167.
- [2] 李小双, 张良, 李华, 路飞, 程文龙. 浅析自然保护区功能分区. *林业建设*, 2012, (2): 24-27.
- [3] 呼延俊奇, 肖静, 于博威, 徐卫华. 我国自然保护区功能分区研究进展. *生态学报*, 2014, 34(22): 6391-6396.
- [4] 郭子良, 王青春, 崔国发. 我国自然保护区功能区划现状与展望. *世界林业研究*, 2016, 29(5): 59-64.
- [5] Shen G Z, Feng C Y, Xie Z Q, Ouyang Z Y, Li J Q, Pascal M. Proposed conservation landscape for giant pandas in the Minshan Mountains,

- China. Conservation Biology, 2008, 22(5): 1144-1153.
- [6] Xu W H, Li X S, Pimm S L, Hull V, Zhang J J, Zhang L, Xiao Y, Zheng H, Ouyang Z Y. The effectiveness of the zoning of China's protected areas. Biological Conservation, 2016, 204: 231-236.
- [7] 钟明, 侍昊, 安树青, 冷欣, 李宁. 中国野生动物生境适宜性评价和生境破碎化研究. 生态科学, 2016, 35(4): 205-209.
- [8] Hodgson J A, Moilanen A, Wintle B A, Thomas C D. Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for efficient conservation. Journal of Applied Ecology, 2011, 48(1): 148-152.
- [9] 林玲, 王卫红, 冉茂莹, 耿诗画, 吴伟强. 王朗国家自然保护区大熊猫生境适宜性评价. 西南科技大学学报, 2021, 36(1): 57-62.
- [10] 邓怀庆. 陕西佛坪大熊猫栖息地质量评价及保护管理研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [11] 黎运喜, 陈佑平, 余凌帆, 涂正彬, 赵联军, 杨旭煜, 古晓东, 高强. 基于 MaxEnt 模型的二郎山廊道大熊猫栖息地适宜性评价. 四川动物, 2016, 35(6): 833-837.
- [12] 安童童, 张玉钧, 丛丽, 李卅, 王志臣, 蒋亚芳, 岳建兵. 基于秦岭大熊猫保护的国家公园规划思考. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2017, 16(2): 43-51.
- [13] Wei F W, Costanza R, Dai Q, Stoeckl N, Gu X D, Farber S, Nie Y G, Kubiszewski I, Hu Y B, Swaisgood R, Yang X Y, Bruford M, Chen Y P, Voinov A, Qi D W, Owen M, Yan L, Kenny D C, Zhang Z J, Hou R, Jiang S W, Liu H B, Zhan X J, Zhang L, Yang B, Zhao L J, Zheng X G, Zhou W L, Wen Y L, Gao H R, Zhang W. The value of ecosystem services from giant panda reserves. Current Biology, 2018, 28(13): 2174-2180.e7.
- [14] Gong M H, Song Y L, Yang Z S, Lin C. Important population viability analysis parameters for giant pandas (*Aliuropoda melanoleuca*). Zoological Research, 2012, 33(E1-2): 18-24.
- [15] Xu W H, Viña A, Kong L Q, Pimm S L, Zhang J J, Yang W, Xiao Y, Zhang L, Chen X D, Liu J G, Ouyang Z Y. Reassessing the conservation status of the giant panda using remote sensing. Nature Ecology & Evolution, 2017, 1(11): 1635-1638.
- [16] 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银, 郑华, 刘建国. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究. 生物多样性, 2006, 14(3): 223-231.
- [17] Loucks C J, Lü Z, Dinerstein E, Wang D J, Fu D L, Wang H. The giant pandas of the qinling mountains, China: a case study in designing conservation landscapes for elevational migrants. Conservation Biology, 2003, 17(2): 558-565.
- [18] Swaisgood R R, Wang D J, Wei F W. Panda downlisted but not out of the woods. Conservation Letters, 2018, 11(1): e12355.
- [19] Zhuang H F, Xia W C, Zhang C, Yang L, Wanghe K, Chen J Z, Luan X F, Wang W. Functional zoning of China's protected area needs to be optimized for protecting giant panda. Global Ecology and Conservation, 2021, 25: e01392.
- [20] 秦青, 刘晶茹, 于强, 马奔, 谭宏利, 解林红, 温亚利. 四川省大熊猫保护地生态安全及其时空演变. 生态学报, 2020, 40(20): 7255-7266.
- [21] 庄鸿飞, 陈君帆, 史建忠, 王伟, 黄璐, 叶菁, 栾晓峰. 大熊猫国家公园四川片区自然保护区空间关系对大熊猫分布的影响. 生态学报, 2020, 40(7): 2347-2359.
- [22] 张志忠, 李伟, 张明春, 刘定震. 新时期大熊猫保护地可持续发展对策研究. 林业资源管理, 2018, (5): 1-7.
- [23] Store R, Kangas J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. Landscape and Urban Planning, 2001, 55(2): 79-93.
- [24] 巩文, 任继文, 赵长青, 李晓鸿. 甘肃省大熊猫栖息地生境分析. 林业科学, 2005, 41(5): 86-90.
- [25] 胡锦矗. 大熊猫的种群现状与保护. 四川师范学院学报: 自然科学版, 2000, 21(1): 11-17, 28-28.
- [26] 张琼. 甘肃岷山大熊猫生境选择研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2009.
- [27] 肖燚, 欧阳志云, 朱春全, 赵景柱, 何国金, 王效科. 岷山地区大熊猫生境评价与保护对策研究. 生态学报, 2004, 24(7): 1373-1379.
- [28] 刘艳萍, 申国珍, 李景文. 大熊猫栖息地质量评价研究进展. 广东农业科学, 2012, (22): 193-198.
- [29] 任继文. 甘肃省大熊猫栖息地植被类型研究. 西北林学院学报, 2004, 19(1): 102-104.
- [30] 陈利顶, 傅伯杰, 刘雪华. 自然保护区景观结构设计与物种保护——以卧龙自然保护区为例. 自然资源学报, 2000, 15(2): 164-169.
- [31] 翟惟东, 马乃喜. 自然保护区功能区划的指导思想和基本原则. 中国环境科学, 2000, 20(4): 337-340.
- [32] 廉振民, 于广志. 边缘效应与生物多样性. 生物多样性, 2000, 8(1): 120-125.
- [33] 杨彪. 景观生态学原理与自然保护区设计. 林业调查规划, 2001, 26(2): 51-53.
- [34] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. Nature, 2000, 405(6783): 243-253.
- [35] Gao H Y, Guan T P, Zhu D, Li W W, Zhou F Y, Zhao D, Li C L, Zhang L. Assessment of effective conservation of the Sichuan takin by giant panda reserves through functional zoning. Integrative Zoology, 2020, 15(6): 558-568.