

贵州百面水自然保护区空间溢出效应研究*

Spatial Spillover Effect of Baimianshui Nature Reserve in Guizhou

刘佳梅 樊涵 张明明*

LIU Jia-mei, FAN Han, ZHANG Ming-ming*

摘要: 通过选取景观格局指数分析保护区内外的景观格局特征,研究了贵州湄潭百面水省级自然保护区的建立对保护区外产生的影响。研究表明:1990—2020年,在百面水省级自然保护区与10 km邻近区内,森林和农田为土地利用类型的主体,且保护区内外不透水面积呈逐渐增加趋势;保护区的边缘密度、最大斑块指数、景观形状指数总体表现为下降趋势,保护区的平均斑块面积、景观破碎化指数、聚合度指数总体表现为上升趋势;1 km邻近区的景观破碎化程度高于保护区而低于2~10 km邻近区。由此可得,百面水省级自然保护区产生了正面影响的溢出效应,影响距离为保护区外1 km。

关键词: 溢出效应;景观格局指数;土地利用;百面水省级自然保护区;贵州

中图分类号: X36; TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641 (2023) 06-0055-05

收稿日期: 2023-02-23

修回日期: 2023-06-04

Abstract: The impact of establishing of the Meitan Baimianshui Provincial Nature Reserve in Guizhou on the outside of the reserve was studied by analyzing the landscape pattern characteristics inside and outside the reserve through the selection of landscape pattern indexes. The results show that from 1990 to 2020, forests and farmland were the main land use types in the reserve and the 10 km adjacent area, and the area of impervious surfaces inside and outside the reserve gradually increased. The edge density, maximum patch index and landscape shape index of the reserve showed a downward trend, while the average patch area, landscape fragmentation index and aggregation index of the reserve showed an upward trend. The degree of landscape fragmentation in the 1 km adjacent area was higher than that in the reserve and lower than that in the 2~10 km adjacent area. In summary, the Baimianshui Provincial Nature Reserve has produced a positive spillover effect, with an impact distance of 1 km outside the reserve.

Keywords: Spillover effects; Landscape pattern index; Land use; Baimianshui Provincial Nature Reserve; Guizhou

保护区是保护生物多样性的有效手段,但其建立可能导致周边环境得到更好的保护或受到更大的破坏,即保护区的“空间溢出效应”^[1-2]。该效应产生两种后果:一是阻塞效应,属正面效应,即建立保护区使得保护区周边一定区域内的生物多样性和生态环境受到比距离保护区更远的区域更好的保护^[3-5];二是泄漏效应,属负面效应,指保护区的建立使原本应发生在保护区内的干扰活动转移到了保护区外,使保护区外的邻近区受到比距离保护区更远区域更大的干扰和破坏^[2, 6-8]。保护区溢出效应的存在在多项研究中得到证实^[9-12],研究自然保护区的空间溢出效应对于保护区内外的整体保护管理具有重要的决策意义。

有研究表明,保护区的溢出效应主要发生在保护区外1~10 km的范围^[13-14]。因此,本文以贵州湄潭百面水省级自然保护区(以下简称“百面水自然保护区”)及区外10 km作为研究区域,基于1990年、2000年、2010年、

2020年4期土地利用栅格数据,以景观格局指数为指标进行量化,从而评估该保护区的空间溢出效应。百面水自然保护区属森林生态系统类型的保护区,区内动植物资源十分丰富,更是很多国家级保护野生动植物的栖息地,对贵州省动植物资源生存繁衍和科学调研具有重要作用,因此研究其溢出效应对自然保护区的科学管理和决策具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

百面水自然保护区(107°18'57.6"~107°32'45.6"E, 27°25'48"~27°36'39.6"N)位于贵州省遵义市湄潭县南部,东与余庆县相接,西南与瓮安县接壤,地跨湄潭县高台、新南、茅坪、石莲4个乡镇,总面积19 173 hm²,海拔450~1 501 m。保护区内丰富的发育良好的喀斯特地貌和

*基金项目:国家自然科学基金(32260331);贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2842号)

洞穴等赋予百面水自然保护区极具特色的“喀斯特生态旅游资源”，区内具有世界代表性的喀斯特地貌——天生桥群，是迄今为止发现的地球上一定区域内最集中的天生桥群；区内的十二道峡谷等独特景观，野趣天成。保护区内动植物资源丰富，是天然的物种基因库，包含了多种国家重点保护的野生动植物等，如国家一级保护植物红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *chinensis*、南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *mairei*，I级保护动物林麝 *Moschus berezovskii* 等。

1.2 数据来源与处理

中国年度土地覆盖数据集 (Annual China Land Cover Datasets, CLDC) 的空间分辨率为 30 m × 30 m，该数据是基于 Google Earth Engine (GEE) 所有可用的 Landsat 系列遥感影像，通过人机交互解译后得到。依据中国的土地利用类型分布，即 6 个一级类 (农田、森林、草地、水域、建成区和未利用地) 和 25 个二级类，将该数据集分为农

田、森林、灌木、草地、水体、冰雪、荒地、不透水面和湿地共 9 类。将研究区与其叠加裁剪后，得到研究区的土地利用类型有：农田、森林、灌木、草地、水体、不透水面 6 类^[15]。

1.3 景观格局指数

景观格局与各个生态过程关系十分密切，景观格局破碎度与生态系统的恢复能力、抗干扰能力、生态系统稳定性和生物多样性等紧密相连。景观破碎化空间格局指标主要包括斑块大小、斑块形状、斑块密度、格局类型和形状、斑块距离等。根据相关研究^[12, 16]，本研究选取边缘密度 (ED)、最大斑块指数 (LPI)、平均斑块面积 (MPS)、景观破碎化指数 (SPLIT)、聚集度指数 (AI)、景观形状指数 (LSI) 等可以表现景观格局破碎化的指标^[17]，分析百面水自然保护区内外景观格局特征，以评估保护区的空间溢出效应。

1.4 溢出效应评估空间

基于贵州遵义市 1990 年、2000

年、2010 年、2020 年 4 个时段 30 m 分辨率的土地利用/覆盖栅格数据，以百面水自然保护区边界为界，运用 ArcGIS 10.6 中的多缓冲区工具，以 1 km 为距建立等距的 10 个环状样带，将每个研究区域分别与 4 个时期的土地利用/覆盖栅格数据叠加，再按掩膜提取对应栅格数据，建立自然保护区空间溢出效应评估模型 (图 1)。

1.5 影响因素选取

根据相关研究^[9-10, 18-19]，结合百面水自然保护区地形地貌等综合情况，选取年均气温、年均降水、植被类型等自然环境因素及人口密度、GDP 等社会经济因素作为影响因素。其中，人口密度来源于 Worldpop，分辨率 100 m；其余数据来源于中国科学院，气候因子分辨率为 1 km。基于保护区和各邻近区的面积，利用 Create Random Points 工具在保护区内、溢出效应区域、更外围区域 (指未受到保护亦不受到溢出影响的区域) 分别创建间隔 10 m 的 3 组随机点，每组随机点数量为 100，以各点位置提取各个因素的值。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

百面水自然保护区内外的农田面积在 1990—2020 年均呈增加的趋势，保护区内外森林面积则趋于下降 (图 2)，森林的面积占比超过总面积的一半，是整个景观的优势类型。森林和农田两类土地利用转移量最大，是彼此和其他土地利用转移的主要来源 (图 3)。保护区内外的不透水面面积逐渐增加，尤其在 2010—2020 年变化量最大。

2.2 景观格局分析

百面水自然保护区的边缘密度 (ED) 先下降、再上升、又下降，总体呈下降趋势，邻近区的边缘密度与保护区变化一致，总体为下降趋势 (图 4-a)。保护区的最大斑块指数 (LPI) 总体呈下降趋势，在 1990—2000 年、2010—2020 年上升，2000—2010 年下降，表明

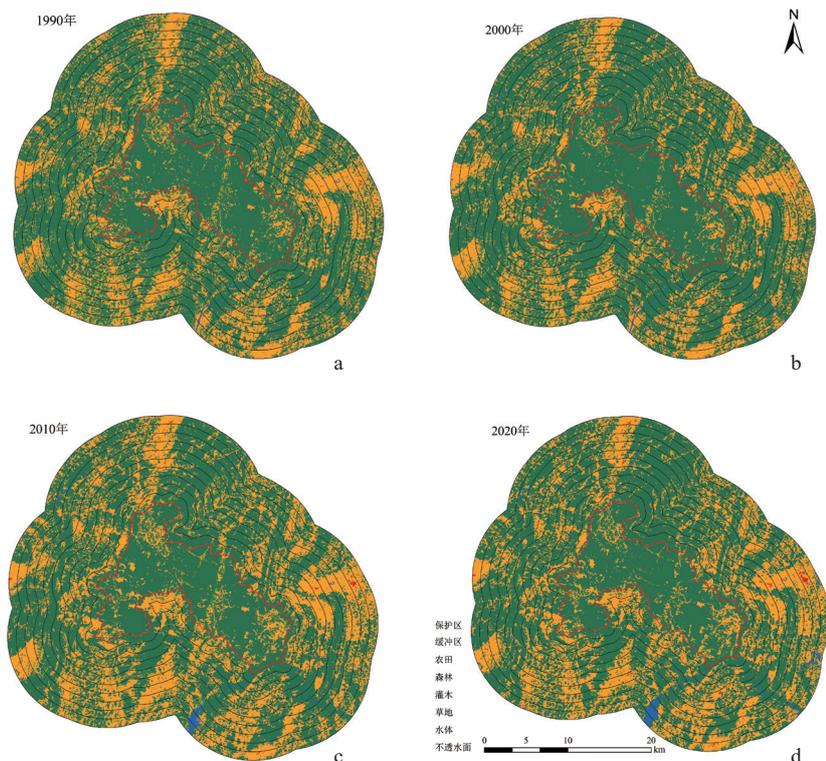


图 1 百面水自然保护区 1990—2020 年土地利用

百面水自然保护区在2000—2010年受到了更强的干扰。1 km邻近区到10 km邻近区的最大斑块指数变化较复杂, 1 km、3~4 km、5~6 km、8 km、9~10 km邻近区与保护区变化趋势总体相同, 均表现为下降, 2 km、7 km、10 km邻近区总体表现为上升(图4-b)。保护区与邻近区的平均斑块面积(MPS)与邻近区的变化趋势均逐渐上升(图4-c)。保护区的景观形状指数(LSI)总体呈下降趋势, 在1990—2000年与2010—2020年下降, 在2000—2010年上升; 保护区外1~10 km邻近区整体表现为下降趋势(图4-d)。景观破碎化指数(SPLIT)总体表现均为上升趋势, 但在1990—2000年与2010—2020年呈下降趋势, 在2000—2010年呈上升趋势, 2 km邻近区与10 km邻近区总体表现与保护区相反, 其余邻近区与保护区变化相同, 均为总体上升(图4-e)。保护区聚合度指数(AI)在2000—2010年表现为下降, 在1990—2000年和2010—2020年上升, 总体呈上升趋势; 邻近区与保护区总体变化相同(图4-f)。

综合各景观格局指数变化情况来看, 1990—2020年, 百面水自然保护区的边缘密度、最大斑块指数、景观形状指数总体为下降趋势, 保护区的平均斑块面积、景观破碎化指数、聚合度指数总体为上升趋势, 表明保护区受到一定干扰; 而1 km邻近区景观破碎程度高于保护区, 而低于2~10 km邻近区。

2.3 空间溢出效应评估

在1990—2020年, 保护区外1 km邻近区的景观边缘密度、景观形状指数、景观破碎化指数的平均值均大于保护区, 而小于2~10 km各邻近区; 该邻近区的最大斑块指数、平均斑块面积、聚合度指数的平均值小于保护区而大于2~10 km邻近区。将保护区及其各邻近区的景观格局指数均值进行显著性检验, 结果表明1 km邻近区的边缘密度、最大斑块指数、平均斑块面积、景观破碎化指数、聚合度指数与保护区均存在显著差异, 且与2~10 km邻近区的最大斑块面积、景

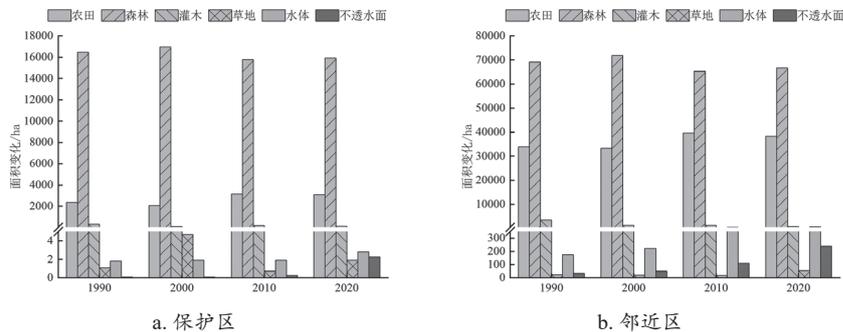


图2 1990—2020年土地利用面积变化

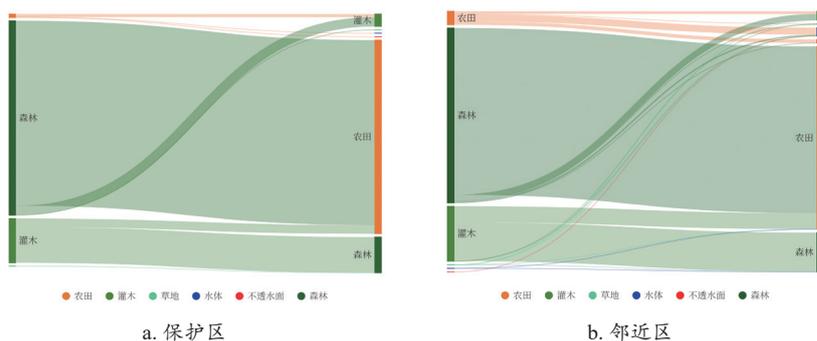


图3 1990—2020年土地利用面积转移

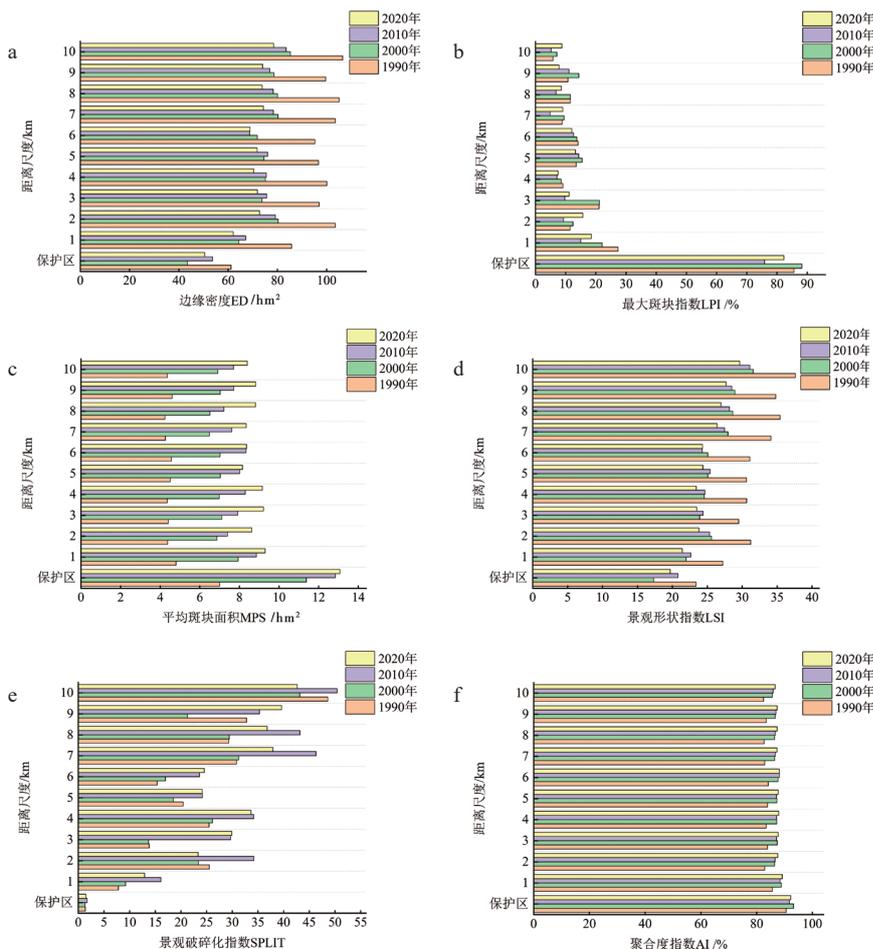


图4 保护区与10 km邻近区1990—2020年景观格局指数趋势变化

观破碎化指数具有显著差异(图5)。因此,百面水自然保护区的建立对周边1 km邻近区产生了空间溢出效应,为阻塞效应。

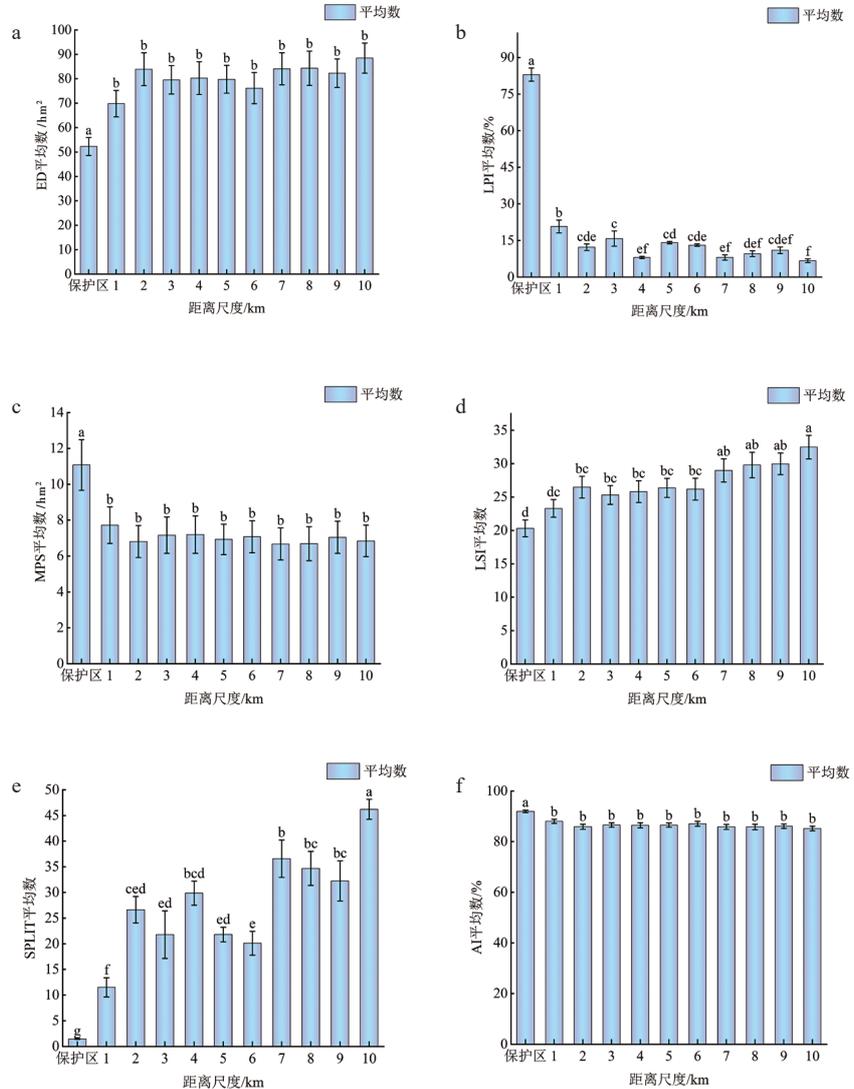
2.4 影响因素分析

对保护区、溢出效应影响区域(1 km邻近区)以及不受保护也不存在明显溢出效应影响的外围区域(2~10 km邻近区)提取各数据进行非参数检验,结果表明百面水自然保护区内外年均气温、年均降水、植被类型、人口密度、GDP和到最近居民点距离均有差别(表1)。两两比较后得出,保护区与溢出效应影响区域除植被类型不存在差别外,其余均表现出不同程度的差别;保护区与外围区域在气候、人口密度和到最近居民点距离存在极显著差异($P \leq 0.001$);溢出效应影响区域与外围区域在年均气温、人口密度和植被类型上存在差别。综上,百面水保护区空间溢出效应主要受社会经济和气候的影响。

3 结论与讨论

在1990—2020年的30年里,百面水自然保护区与10 km邻近区的土地利用变化情况均表现为森林和农田的变化占主导地位,其余土地利用有少量转移变化。保护区的边缘密度、最大斑块指数、景观形状指数总体表现为下降趋势,保护区的平均斑块面积、景观破碎化指数、聚合度指数总体表现为上升趋势;保护区内外景观破碎化程度从低到高依次为保护区、1 km邻近区、2~10 km邻近区。百面水自然保护区产生了正面影响的溢出效应,影响距离为保护区外1 km,且主要受到气候和社会经济因子影响。

保护区内的土地利用限制可能对非目标、邻近地区产生非预期的溢出效应。在泄漏的情况下,原本会在保护区中发生的土地利用变化被转移到原本不会发生变化的无保护区中。在阻塞的情况下,由于保护区的积极溢出效应,未受保护的环境所经历的土地利用变化比其他情况要少。然而目



注:数据柱上标记相同字母标签表示无显著差异,标记不同字母标签表示显著差异

图5 空间溢出效应显著性检验

表1 百面水自然保护区、溢出效应影响区域、外围区域各因素差异检验

项目名称	H (检验统计量)	df	Sig.		
			A-B	A-C	B-C
年均气温	47.231	2	< 0.001**	< 0.001**	0.023*
年均降水	30.901	2	0.004**	< 0.001**	0.063
植被类型	8.341	2	1	0.076	0.021*
到最近道路的距离	0.177	2	/	/	/
到最近居民点距离	14.704	2	0.006**	0.001**	1
GDP	10.419	2	0.006**	0.052	1
人口密度	44.805	2	0.013*	< 0.001**	< 0.001**

注: A指保护区, B指溢出效应影响区域, C指外围区域; $P > 0.05$ 为不显著, $P \leq 0.05$ 为显著*, $P \leq 0.01$ 为极显著**; “/”表示该项内容的保护区、溢出效应影响区域及外围区域无两两比较数据

前对于全球保护区网络中已经发生的溢出的规模、普遍性和可预测性还知之甚少^[20]。

本文选取景观格局指数分析百面水保护区内外的景观格局变化特征,得出百面水保护区自2014年晋升为省级自然保护区后,其景观格局得到更好发展。这意味着保护区的级别越高,保护区内的管理条件越严格,区内的保护成效或会越好。景观格局指数变化趋势显示,百面水自然保护区外1 km区域的景观破碎化比2~10 km区域的低,表明保护区的建立对其周边景观破碎化趋势有一定程度的缓解效果。从国内的国家级自然保护区的溢出效应来看,作用距离一般不小于3 km,而本文得出百面水自然保护区产生的溢出效应作用距离约1 km,猜测可能与保护区的自身属性特征——建立时间和晋升级别的时间等有关。Diego Herrera等^[5]对巴西亚马孙联邦和州机构保护区的溢出效应进行研究,表明不同管理级别的机构对保护区的溢出效应具有很大的影响差异,并表明对于一个国家、地区和时期,保护区的溢出效应因保护区的位置、类型和管理执行的不同而有很大的差异。Shen Yu等^[10]对青藏高原的森林自然保护区的研究结果也表明,保护区的年龄对保护区的溢出效果有一定影响。

因此,本文对于自然保护区的管理和保护提出如下建议:

1) 加强对保护区内外土地利用变化的监测。土地利用/覆盖的变化是全球环境变化的主要原因之一,确定正在发生土地变化的持续趋势的区域可为土地和资源管理提供有用的信息^[21],以便指导土地系统的可持续发展规划和管理。

2) 注重保护区内外生态环境和生物多样性的连通性。越来越多的案例表明,保护区的建立并不能隔绝区内外生物多样性,而是应该在进行保护区内保护工作的同时,关注保护区外物种栖息和生存繁衍的整体格局,避免保护区“孤岛化”。

3) 加强自然保护区的管理工作,减少人为活动干扰,创建保护区良好生态景观格局。相关研究表明,管理机构应是溢出效应形成机制的一部分^[1]。因此,保护区管理机构应根据实际情况增设专门管理机构和人员,以提高保护区的管理有效性。

注:图片均为作者自绘

参考文献:

- [1] OLIVEIRA P J, ASNER G P, KNAPP D E, et al. Land-use allocation protects the Peruvian Amazon[J]. *Science* (New York, NY), 2007, 317 (5842): 1233-1236.
- [2] EWERS R M, RODRIGUES A S. Estimates of reserve effectiveness are confounded by leakage[J]. *Trends in ecology & evolution*, 2008, 23 (3): 113-116.
- [3] GAVEAU D L A, EPTING J, LYNE O, et al. Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra[J]. *Journal of Biogeography*, 2009, 36 (11): 2165-2175.
- [4] WANG W, PECHACEK P, ZHANG M, et al. Effectiveness of nature reserve system for conserving tropical forests: a statistical evaluation of Hainan Island, China[J]. *PLoS One*, 2013, 8 (2): e57561.
- [5] HERRERA D, PFAFF A, ROBALINO J. Impacts of protected areas vary with the level of government: Comparing avoided deforestation across agencies in the Brazilian Amazon[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2019, 116 (30): 14916-14925.
- [6] DEFRIES R, KARANTH K K, PAREETH S. Interactions between protected areas and their surroundings in human-dominated tropical landscapes[J]. *Biological Conservation*, 2010, 143 (12): 2870-2880.
- [7] HADDAD N M, BRUDVIG L A, CLOBERT J, et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems[J]. *Science advances*, 2015, 1 (2): e1500052.
- [8] PFEIFER M, BURGESS N D, SWETNAM R D, et al. Protected areas: mixed success in conserving East Africa's evergreen forests[J]. *PLoS One*, 2012, 7 (6): e39337.
- [9] 陈冰, 刘方正, 张玉波, 等. 基于倾向评分分配比法评估苍山自然保护区的森林保护成效[J]. *生物多样性*, 2017, 25 (9): 999-1007.
- [10] SHEN Y, LIU G, ZHOU W, et al. Protected areas have remarkable spillover effects on forest conservation on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Diversity and Distributions*, 2021, 28 (12): 2944-2955.
- [11] 左丹丹, 罗鹏, 杨浩, 等. 保护地空间邻近效应和保护成效评估——以若尔盖湿地国家级自然保护区为例[J]. *应用与环境生物学报*, 2019, 25 (4): 854-861.
- [12] 贾艳艳, 唐晓岚. 洪湖国家级自然保护区景观动态及空间邻近效应研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42 (6): 30-37.
- [13] BRUNER A G, GULLISON R E, RICE R E, et al. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity[J]. *Science* (New York, NY), 2001, 291 (5501): 125-128.
- [14] NAGENDRA H. Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing[J]. *Ambio*, 2008, 37 (5): 330-337.
- [15] YANG J, HUANG X. The 30m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13 (8): 3907-3925.
- [16] 贾艳艳, 唐晓岚, 唐芳林, 等. 基于人工景观格局变化的升金湖自然保护区空间邻近效应研究[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 51 (5): 863-869.
- [17] 沈达理. 1989至2019年湖南莽山国家自然保护区地区景观格局演变与驱动力分析研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
- [18] BLACK B, ANTHONY B P. Counterfactual assessment of protected area avoided deforestation in Cambodia: Trends in effectiveness, spillover effects and the influence of establishment date[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 38: e02228.
- [19] LI F, YIN X, SHAO M. Natural and anthropogenic factors on China's ecosystem services: Comparison and spillover effect perspective[J]. *Journal of environmental management*, 2022, 324: 116064.
- [20] FULLER C, ONDEI S, BROOK B W, et al. First, do no harm: A systematic review of deforestation spillovers from protected areas[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 18: e00591.
- [21] ZIA M, ELLIS E C, NAVIN R. The challenge of feeding the world while conserving half the planet[J]. *Nature Sustainability*, 2018, 1 (8): 409-412.

作者简介:

刘佳梅/1996年生/女/贵州毕节人/贵州大学林学院(贵阳 550025)/在读硕士研究生/专业方向为自然保护区空间溢出效应

樊涵/1996年生/男/贵州遵义人/硕士/贵州省湿地和公益林保护中心(贵阳 550001)/专业方向为自然保护区管理与野生动物生态研究

(*通信作者)张明明/1984年生/男/河南周口人/博士/贵州大学林学院(贵阳 550025)/教授, 硕士生导师/主要研究方向为自然保护区生物多样性保护与野生动物生态研究/E-mail:mmzhang@gzu.edu.cn.