科学通报 2026 年 第 71 卷 第 16 期: 3546 ~ 3548
悦读科学
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

国界线上的瞭望: 从土地利用变化到边境地理研究

肖池伟[1,2*], 封志明[1,2*], 吴朝阳[1,2]

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049
* 联系人, E-mail: xiaocw@igsnrr.ac.cn; fengzm@igsnrr.ac.cn

Overlooking the borderline: from land use change to Border Geography studies

Chiwei Xiao[1,2*], Zhiming Feng[1,2*] & Chaoyang Wu[1,2]

[1] *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*
[2] *College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*
* Corresponding authors, E-mail: xiaocw@igsnrr.ac.cn; fengzm@igsnrr.ac.cn

doi: 10.1360/CSB-2026-0504

世界地缘政治经济格局动荡加剧, 边境地区已成为全球人地关系与土地利用变化研究的前沿阵地与热点区域. 国界作为国家主权划分与空间治理的法定界线, 亦是边境地区人地系统耦合、地缘主体互动与生态要素跨界流动的关键界面(图1). 边境地区承载世界1/6的人口与1/3的陆地生物多样性热点, 引发近1/3的土地利用变化和1/2的武装冲突, 是落实全球可持续发展目标(SDGs)的关键区域[1,2]. 近期, 研究团队基于长时序卫星遥感与可解释机器学习方法, 在*Science Bulletin*[3]和*Communications Earth & Environment*[4]连续发表两项全球尺度研究, 系统揭示边境地区不透水层扩张与耕地演变的时空规律, 为边境地理研究与边境地理学发展由定性描述走向定量建模、从国别研究迈向全球整合提供全新科学证据.

1 边境不透水层面积翻倍: 全球格局与集聚模式

1985~2020年, 全球边境地区(国界线两侧60 km)的不透水层面积翻倍, 年均增速2.7%, 且在21世纪扩张速率显著提升. 空间上, 北美、欧洲与亚洲边境地区的增长相对突出, 非洲、南美整体较为平缓; 高值集聚于北纬30°以北区域, 南半球边境不透水层规模则持续上升. 全球313组毗邻国家边境中, 44对(14%)贡献了全球50%的不透水层增量, 其中美国—加拿大、柬埔寨—越南等边境的扩张最为突出.

基于高斯拟合结果, 将全球边境不透水层扩张格局划分为离边型、抵边型、U型、∩型、随机型等5类. 统计发现, 约1/3的边境呈抵边发展态势, 集聚现象在0~30 km近边境区域尤为明显. 毗邻国家经济发展水平梯度差异较大的区域, 不透水层向边境发展趋势更为突出, 证实边境土地利用变化存在显著的边界梯度效应与邻域集聚效应. 进一步驱动机制表明, 人口规模与地形条件(坡度、海拔)起到关键调控作用: 离边型与随机型扩张主要受社会经济因素主导, 抵边型同时受制于地形约束与人口分布, U型格局则以人口增长驱动为主.

2 边境耕地持续缩减: 全球格局与生态响应

2001~2020年, 全球约17%的耕地分布在边境地区, 且整体呈加速缩减趋势. 耕地转出以草地与林地为主, 其中67%转为草地、32%转为林地. 空间上, 超过56%的耕地缩减与53%的耕地扩张集中于0~30 km的近边境区域, 抵边特征显著. 依托XGBoost模型和地理交叉收敛映射(GCCM)方法, 揭示气温、地形坡度和GDP与耕地动态变化密切相关: 美洲边境耕地格局更易受区域气候与自然本底条件制约, 亚非边境耕地波动则更多受人口等社会要素驱动.

基于结构方程模型(SEM)进一步证实, 植被净初级生产

引用格式: 肖池伟, 封志明, 吴朝阳. 国界线上的瞭望: 从土地利用变化到边境地理研究. 科学通报, 2026, 71: 3546–3548
Xiao C, Feng Z, Wu C. Overlooking the borderline: from land use change to Border Geography studies (in Chinese). Chin Sci Bull, 2026, 71: 3546–3548, doi: 10.1360/CSB-2026-0504

© 2026《中国科学》杂志社

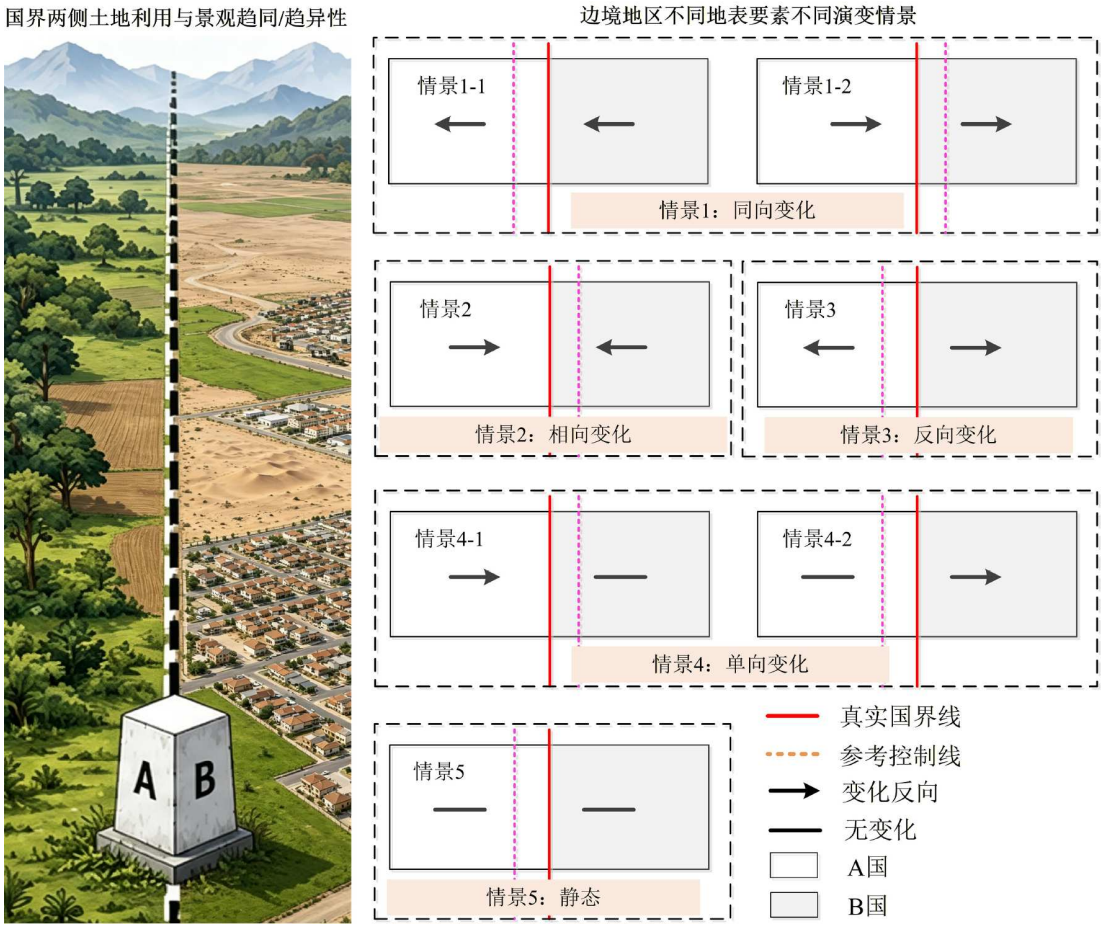


图 1 (网络版彩色)边境地区不同地表要素演变的梯度分异、界面耦合与跨界传导模式
Figure 1 (Color online) Convergence and divergence patterns of surface element evolution in border areas

力(NPP)在耕地变化与生物多样性之间起中介作用，即耕地流失与NPP呈显著负向路径关联，NPP提升则与物种丰富度存在正向关联. 同时，边境耕地变化与两栖类、鸟类、哺乳类及区域平均物种丰富度均呈显著相关性，据此刻画了边境土地利用变化过程的“自然约束—人类决策—生态反馈”关联特征及其生态响应. 此外, 全球约70%边境地区的NPP呈上升态势, 仅耕地转为建设用地导致局部NPP回落, 凸显生态改善与粮食安全保障的权衡关系.

3 从格局到机理: 边境地理研究的范式升级

本系列研究突破传统行政区边境研究局限，构建全球统一60 km缓冲区与1 km梯度环分析框架，整合多源遥感数据与XGBoost-SHAP、GCCM、SEM等可解释模型，实现从“空间格局—驱动机制—生态效应”的链式解析, 推动边境地理研究[5]范式转型:

(1) 边境效应空间显化: 通过抵边与离边等分异模式, 量化边境政策、地缘政治经济与治理差异对土地利用格局的重塑作用，证实边境线并非单纯地理界线，而是具有梯度效应的复合功能界面.

(2) 人地耦合跨界机制: 厘清人口与地形主导不透水层扩张、气候与经济共同驱动耕地演变的规律，揭示边境地区自然本底约束与社会经济动力的非线性跨界耦合机制.

(3) 多重SDGs权衡协同: 阐明不透水层扩张推动社会经济发展但挤压生态空间、耕地缩减提升生物多样性却承压粮食安全的权衡关系, 为SDGs跨界协同实现提供量化支撑与理论依据.

4 结语

国界线上的土地演变，是边境地区地缘合作、人口流动与生态过程跨界叠加的综合结果，更是人类活动与自然环境在主权边界上的共同书写. 边境土地利用格局重塑既孕育跨境协同发展机遇，也易引发生态破碎化、跨界污染、生物迁徙阻隔与粮食安全风险等[6]. 以全球视野瞭望边境、以科学方法解析规律、以协同思维推进治理，方能推动边境地区由

矛盾交汇带转向可持续发展示范区. 未来研究应依托高分辨率数据集开展关键节点长时序精准监测, 将地缘(政治经济)关系量化纳入模型, 并构建跨界生态—经济—安全多维协同治理框架体系, 助力边境地区从国土发展边缘迈向可持续前沿, 进而推动边境地理研究与丰富完善边境地理学理论体系与研究范式.

致谢 感谢国家自然科学基金(42371280, 42130508)和中国科学院地理科学与资源研究所“可桢-秉维”青年人才项目(2022RC002)的资助.

推荐阅读文献

1 Cheng Y, Xu Z, Liu H. Sustainable development in global border regions. Science, 2024, 384: 1309
2 Li W, Zhang Q, Wang Z, et al. Three-quarters of species' ranges have not been covered by protected areas in global borders. Nat Commun, 2025, 16: 2608
3 Xiao C, Yue Z, Feng Z, et al. Impervious surface increase over global border areas regulated by population and topography. Sci Bull, 2026, 71: 1450–1460
4 Xiao C, Wang Y, Feng Z, et al. Global cropland loss at borders contributes to increased biodiversity. Commun Earth Environ, 2025, 6: 957
5 Taubenböck H, Otto C, Gülzau F, et al. Border regions across the globe: analyzing border typologies, economic and political disparities, and development dynamics. Appl Geography, 2023, 151: 102866
6 Liu J, Yong D L, Choi C Y, et al. Transboundary frontiers: an emerging priority for biodiversity conservation. Trends Ecol Evol, 2020, 35: 679–690