科学通报 2025 年 第 70 卷 第 26 期: 4418 ~ 4420
亮点述评
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

全球气候承诺对耕地流失的异质性压力与级联效应

郧文聚[1*], 杨晓光[2], 黄贤金[3,4]

1. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035
2. 中国农业大学资源与环境学院气象系, 北京 100193
3. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023
4. 自然资源部碳中和与国土空间优化重点实验室, 南京 210023
* 联系人, E-mail: yunwenju@vip.sina.com

Heterogeneous pressure and cascading effects of global climate pledges on cropland loss

Wenju Yun[1*], Xiaoguang Yang[2] & Xianjin Huang[3,4]

[1] *Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China*
[2] *Department of Meteorology, College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China*
[3] *School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China*
[4] *Key Laboratory of Carbon Neutrality and Territory Space Optimization, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210023, China*
* Corresponding author, E-mail: yunwenju@vip.sina.com

doi: 10.1360/CSB-2025-0730

将全球平均温升控制在较工业化前水平的1.5°C以内是当前气候行动的重要目标(https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement). 要实现这样的温升控制目标, 需要《巴黎协定》中各缔约国(方)制定科学合理的气候承诺并按时履行. 为此, 联合国发起了“2025气候承诺”倡议. 该倡议旨在帮助各缔约国(方)制定更加科学合理的气候承诺, 并督促各缔约国(方)及时采取相应的行动、按时履行气候承诺, 以应对气候变化, 实现全球的温升控制目标(https://climatepromise.undp:what-we-do/flagship-initiatives/climate-promise-2025). 在当今时代, 对全球气候进行治理愈加紧迫, 世界各国更应该积极合作, 共同推动人类命运共同体的构建.

在应对气候变化的全球行动中, 各缔约国(方)提交的气候承诺不仅是温升控制的重要保障, 其对环境产生的伴生效应也不容忽视. 土地部门缓解气温上升的措施在应对气候变化措施中具有重要地位[1], 在目前各缔约国(方)提交的气候承诺中, 大多数包含了如植被恢复、土地结构调整和林地保护工程在内的土地部门相关政策(https://unfccc.int/NDCREG). 然而现有研究中, 聚焦气候承诺的研究忽略探究了其对未来土地格局的空间显式影响, 而聚焦于土地空间显式变化的研究则未考虑气候承诺. 具体而言, 现有关于气候承诺的研究主要集中于对排放路径以及控温效果的模拟和探究[2,3]. 而针对气候承诺将如何影响全球、区域、局部, 甚至是栅格尺度上的土地格局, 特别是不同尺度上耕地格局, 目前学术界内仍缺乏清晰的认识以及有效的研究工具. 同时, 聚焦于土地空间显式变化的研究通常仅考虑共享社会经济路径(shared socioeconomic pathways, SSP)和典型浓度路径(representative concentration pathways, RCP)[4,5], 没有将气候承诺考虑在内.

针对上述存在的问题, 北京师范大学地理科学学部复杂地理系统团队的宋长青、高培超等人模拟分析了全球气候承诺对多尺度土地系统的空间显式影响, 并重点探究了耕地流失的异质性压力及其伴随的级联效应[6]. 该研究创新性地构建了一个分析框架, 该框架耦合了全球气候承诺、综合评估模型和空间显式的土地系统变化模拟模型, 预测了在1.5°C气候承诺情景下, 2015~2100年间全球多尺度、高空间分辨率(5 km[6]和1 km[7])的土地系统变化. 对于本研究使用的1.5°C气候承诺情景, 研究假设各缔约国(方)将遵守其提交的气候承诺并按时践行相关措施, 在2030年后将脱碳率控制在8%,

引用格式: 郧文聚, 杨晓光, 黄贤金. 全球气候承诺对耕地流失的异质性压力与级联效应. 科学通报, 2025, 70: 4418–4420
Yun W, Yang X, Huang X. Heterogeneous pressure and cascading effects of global climate pledges on cropland loss (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 4418–4420, doi: 10.1360/CSB-2025-0730

© 2025《中国科学》杂志社

以加快减排进程, 最终各缔约国(方)如期实现碳中和目标. 在此基础上, 研究团队进一步结合了全球主要农产品的贸易模式, 评估了耕地流失引发的潜在的粮食安全风险. 上述相关研究成果发表于*Nature Climate Change*[6], 同期配发了专家评述文章对该研究进行了深入解读[8].

在1.5°C气候承诺情景下, 全球耕地面积在2015~2100年间预计流失12.8%, 且这一流失在空间分布上存在明显的异质性. 这种异质性在多种尺度上均有体现, 包括全球南北方、各大洲和各国家/地区之间. 全球北方的耕地面积流失主要是由于低密度(41.8%)和中密度(27.0%)耕地流失导致的; 全球南方的耕地面积流失主要是由于中密度耕地(26.3%)导致的. 在大洲尺度上, 南美洲(23.7%)和欧洲(14.9%)经历了最大比例的耕地流失. 在国家/地区尺度上, 在2015年耕地面积最多的前100个国家/地区中, 有72个国家/地区将经历耕地流失. 此外, 该文章的研究结果还表明了全球南方将面临耕地流失与主要农产品进口依赖程度提升的“双重挑战”. 虽然增加主要农产品的进口在理论上可以缓解本国家/地区由于耕地流失所带来的粮食产能下降问题, 然而由于该国家/地区进口来源国耕地流失所导致的出口潜力下降, 这一措施会受到限制, 尤其影响全球南方国家、越南和韩国.

从方法的角度来看, 该研究提出的框架有三大创新. (1) 与传统的土地变化模型相比[9,10], 该框架耦合了全球变化评估模型(Global Change Analysis Model, GCAM)[11]和团队自主研发的多功能土地系统变化模拟模型Land-N2N[12]. 耦合后的框架可以实现各国气候承诺影响下区域土地系统变化的空间显式模拟. (2) 相比于GCAM的土地模块, 该耦合框架输出的土地部门数据有着更高的空间分辨率. GCAM的土地模块输出的最高空间分辨率为流域. 而耦合框架输出的结果在高分辨率历史土地数据和驱动因子的支持下, 可以实现千米级的结果输出. (3) 该框架中的Land-N2N与对标模型CLU-Mondo[13]相比, 不仅能够支持多对多供需服务平衡的土地系统变化模拟, 而且模拟精度更高、求解速度更快、扩展性更强[12]. Land-N2N中提出了新的迭代机制、改进了迭代核心参数(竞争优势)、优化了机器学习算法(随机森林)及其扩展接口[14].

总而言之, 该研究首次在精细空间分辨率(5 km)上定量研究了全球气候承诺对土地系统的深远影响. 值得注意的是, 该研究的结论修正了以往关于将温升控制在1.5°C下耕地面积仍将扩张的传统认知, 并揭示了全球南方所面临的耕地流失和主要农产品进口依赖程度提升的“双重挑战”. 该研究表明了全球变暖、气候承诺和贸易格局对我国在内的全球各个国家/地区的危机与影响. 研究强调了耕地资源对我国高质量发展的重要性, 也进一步说明耕地资源具有牵一发动全身的重要战略地位, 我国进行全域土地综合整治意义深远. 该研究呼吁通过优先保护耕地资源等措施来应对全球气候政策中潜在的粮食安全危机. 对于北美洲、欧洲等发达国家/地区而言, 由于农业减碳压力较大, 导致高密度耕地更易受到林地恢复政策的影响, 因此应侧重于高密度耕地的保护, 提高耕地保护相对于生态保护的优先权; 位于非洲的发展中国家/地区和亚洲的越南、柬埔寨、印度等国家/地区普遍面临土地管理粗放的问题, 耕地流失的现象在各密度都广泛存在, 因此需要全面加强对低、中、高密度耕地的保护, 健全相关政策体系; 而对于南美洲的发展中国家/地区而言, 耕地多位于林地、牧场的边缘, 破碎化程度高, 因此则应将耕地保护的重点放在低、中密度耕地上. 这一研究为促进气候公平, 调整气候政策提供了关键的数据支持与科学依据.

参考文献

1 Roe S, Streck C, Obersteiner M, et al. Contribution of the land sector to a 1.5°C world. Nat Clim Chang, 2019, 9: 817–828
2 Ou Y, Iyer G, Clarke L, et al. Can updated climate pledges limit warming well below 2°C? Science, 2021, 374: 693–695
3 Iyer G, Ou Y, Edmonds J, et al. Ratcheting of climate pledges needed to limit peak global warming. Nat Clim Chang, 2022, 12: 1129–1135
4 Li X, Yu L, Sohl T, et al. A cellular automata downscaling based 1 km global land use datasets (2010–2100). Sci Bull, 2016, 61: 1651–1661
5 Dong N, You L, Cai W, et al. Land use projections in China under global socioeconomic and emission scenarios: utilizing a scenario-based land-use change assessment framework. Glob Environ Change, 2018, 50: 164–177
6 Gao P, Gao Y, Ou Y, et al. Heterogeneous pressure on croplands from land-based strategies to meet the 1.5°C target. Nat Clim Chang, 2025, 15: 420–427
7 Gao Y, McJeon H, Ou Y, et al. Global land system maps at 1 km resolution for 1.5°C climate. Sci Data, 2025, 12: 672
8 Chen M. Food security or climate action. Nat Clim Chang, 2025, 15: 354–355
9 Liu X, Liang X, Li X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. Landscape Urban Plan, 2017, 168: 94–116
10 Liang X, Guan Q, Clarke K C, et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: a case study in Wuhan, China. Comput Environ Urban Syst, 2021, 85: 101569
11 Calvin K, Patel P, Clarke L, et al. GCAM v5.1: representing the linkages between energy, water, land, climate, and economic systems. Geosci

Model Dev, 2019, 12: 677–698
12 Gao Y, Song C, Liu Z, et al. Land-N2N: an effective and efficient model for simulating the demand-driven changes in multifunctional lands. Environ Model Software, 2025, 185: 106318
13 van Asselen S, Verburg P H. A land system representation for global assessments and land-use modeling. Glob Change Biol, 2012, 18: 3125–3148
14 Li H, Fan L, Gao Y, et al. Coupling video vision transformer (ViVit) into land change simulation: a comparison with three-dimensional convolutional neural network (3DCNN). J Spat Sci, 2024, 69: 873–895