全球植被绿化并非“越绿越好”

专家指出要充分考虑区域水资源承载能力

■本报记者 赵宇彤

绿化面积越大，生态环境越好吗？

一项研究给出了令人意外的答案。看着全球植被“绿化”率和土壤水分的耦合数据，中国科学院新疆生态与地理研究所（以下简称新疆生地所）研究员李稚皱起了眉头。

目前，全球约65.82%的植被覆盖区呈现绿化趋势，但其中近一半区域存在土壤水分下降问题，根据根区土壤水分数据集ERA5（第五代全球高分辨率大气再分析数据集）、GLEAM（阿姆斯特丹全球陆地蒸发数据）的统计，占比分别为49.96%、38.19%，呈现出“绿化－干旱”模式。

“绿化并非‘越绿越好’，要充分考虑区域的水资源承载能力。”李稚告诉《中国科学报》，尤其在干旱与半干旱地区，如果大规模生态工程或农田扩张超出土壤水分植被承载力，将导致区域水资源短缺加剧。近日，相关研究成果发表于《通讯－地球与环境》。

该研究揭示了全球植被－土壤水分因果耦合关系。同行评议称：“该研究明确了植被在强化蒸散发、影响土壤湿度趋势上的双重作用，为洞察未来气候变化提供了重要参考。”

全球绿化新认知

在人们普遍印象里，繁茂的植被覆盖意味着更强的光合作用和二氧化碳吸收能力，还能遮阴、减少蒸发、促进水循环，涵养当地水源，形成“绿化－湿润”的正反馈过程。

但李稚研究团队发现，现实情况并非完全如此。她和团队长期从事干旱区生态水文过程研究，在野外调查、长期监测和模型研究中发现，植被变化与土壤水分变化之间不是简单的“增加－增加”“减少－减少”的关系，在水分有限的区域，过度绿化不仅未能缓解干旱，反而因蒸散耗水增加而加重土壤干化。

“区域水资源承载能力指为维系良好的生态系统结构和功能，在现有气候、水文条件和生态系统特征下，水资源系统能够长期稳定支撑的最大经济社会规模。”李稚告诉《中国科学报》，这不仅要考虑降水量、土壤蓄水能力、地下水补给和蒸散发需求等基本水文要素，还要结合生态系统对水文变化的敏感性来分析。

研究团队基于多源卫星观测、再分析资料及地球系统模式输出数据，在全球尺度上系统量化了1982年—2020年植被动态与土壤水分变化的因果耦合关系。

结果显示，全球近一半区域出现土壤水分下降、“绿化－干旱”模式，如非洲中部、欧洲中高纬地区、中亚、澳大利亚东部等。与此同时，约22.74%~34.68%的区域呈现“绿化－湿润”模式，多见于北美洲中部、印度半岛、撒哈拉南缘等地区。

李稚介绍，这种显著的区域差异主要受气候背景、植被类型、水分来源与补给方式、区域的能量与水分交换机制影响。在干旱与半干旱区，“绿化”一定程度上影响区域水循环过程、涵养当地水源，但植被活动过强也会增强蒸腾作用，加剧土壤失水。

这一研究为不同气候区植被恢复的水文效应评估提供了新的理论依据，尤其在全球变暖的趋势下至关重要。

“在干旱区，过度植被‘绿化’可能通过增强蒸腾和冠层截留加剧土壤水分亏缺，影响生态系统的稳定性与可持续性。”李稚补充道，同时，气温升高导致极端降水增加、冰川消融加速、春季融雪提前，不仅加剧干旱区毗邻山区洪水、冰湖溃决的概率，也增加雪旱风险、加剧缺水期土壤水分亏缺，进一步加大干旱－热浪等复合极端事件频率。

“由此形成的气候－水文－生态多过程耦合驱动的风险传递效应，必须引起高度重视。”李稚说。

破解数据难题

长期以来，全球尺度上植被－土壤水分耦合关系的研究面临多重挑战，其中数据问题是首要挑战。

“全球卫星观测和再分析资料的发展，让我们有可能在长时间尺度、全球范围内同时获取植被和土壤水分的长时间序列数据。但并没有一个能覆盖全球、具备足够长时间尺度（1982年至今）且稳定一致的植被观测数据集。”论文第一作者、研究团队成员刘永昌表示。

刘永昌介绍，现有土壤水分数据大多来自站点观测、卫星收集和模式模拟，但空间分辨率差异大，难以精确统一。如果不进行统一处理，构建起稳定一致的长序列植被数据，这项研究就无从谈起。

然而，这是个浩大的工程。刘永昌介绍，第一步是从多源卫星遥感产品中收集、筛选数据。他们汇总了4套数据集，进行数据融合评估和交叉验证，排除单一数据集的偏差，耗费了大量时间。

但这还不够。为了解析植被－土壤水分响应的关键过程，需要构建更长时间尺度的新数据。

“这要对不同来源的数据进行延长和融合。”刘永昌表示，这不是一个团队能够完成的，这项研究不仅涉及气候变化下的水文过程，还包括生态学中的植被动态观测与机制解析，甚至需要利用地球系统模式进行未来情景模拟。

因此，在研究之初，团队就联络了气候学、水文学、生态学、遥感科学、数理统计学多个领域的专家，不定时召开视频会议。各领域专家从自身角度出发开展合作，通过统计建模方式将不同来源的数据进行融合。

“这是我们研究中至关重要的一步。既保留了长序列数据的趋势一致性，又引入了高分辨率产品的细节信息。”李稚表示，近年来，国际上陆续出现了多套归一化植被指数（NDVI）数据集，“我们的研究不仅弥补了全球尺度上植被－土壤水分动态长期变化与因果分析的不足，也为制定差异化生态恢复与水资源管理策略提供了科学依据”。

警惕“越绿越干”

“全球绿化并不意味着水资源状况一定改善。”李稚反复强调，植被恢复的同时，必须考虑区域水资源可持续利用底线，否则可能造成生态系统耗水超过自然补给，进而加剧土壤干化和地下水消耗，形成“越绿越干”的风险。

同时，植被恢复不是件简单事，水文－生态过程中存在多环节风险放大效应。李稚告诉记者，土壤水分下降不仅直接威胁植被生长，还可能通过增加干旱与热浪的复合事件频率，降低生态系统的稳定性和恢复力。

此外，全球水资源安全必须纳入区域差异视角。全球水资源管理与生态保护策略不能简单套用统一模式，要针对不同气候区、不同植被类型制定差异化方案，关注水循环、能量交换和植被动态之间的相互作用。

随着全球绿化提速，对于已在部分水资源紧张区域实施的生态工程，李稚认为应当提高水资源利用效率。

“首先要以高效利用和水安全保障为目标，寻找开源增水和可持续开发利用途径。”李稚举了个例子，例如可以从节水、蓄水、增水等多维度系统挖掘空中云水、山区岩溶水、矿井疏干水、平原盆地及沙漠区浅层微咸/苦咸水等非常规水资源潜力。此外，要探究河－库－湖－湿水资源联用、多源水资源优化配置与可持续利用途径，并进一步研发构建水资源与能源之间的替代性经济发展模式，以能补水，资源互补，全面提升水资源利用效率。

尽管该研究从全球尺度上系统揭示了植被－土壤水分的因果耦合关系，并厘清了不同区域的响应格局，但在李稚眼中，还有诸多局限与不足。

目前，在高纬度冻土区和复杂地形区，植被和土壤水分反演精度仍存在不确定性。此外，水分过程的垂向细节不足，尚未区分浅层与深层土壤水分的动态差异，而在干旱区，深根植物对深层水分的利用尤其重要。

“为此，我们将引入更高精度与多时相观测数据，开展气候变化与人类活动的综合研究，为政策制定提供更有针对性的科学依据。”李稚说。

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s43247-025-02470-3

从东天山到阿尔泰

一场千年葬俗的跨国传播

■本报见习记者 李媛

日常饮水取自附近的冰河融水，三餐是简单的荞麦饭、通心粉和黑面包，洗澡则需要鼓足勇气跳进刺骨的山涧……这是西北大学丝绸之路考古合作研究中心与俄罗斯阿尔泰国立大学联合考古队在俄罗斯阿尔泰深山中的日常。

近日，这支联合考古队在俄罗斯阿尔泰边疆区克拉斯诺晓科沃区奇列塔村墓群顺利完成年度考古调查与发掘工作。他们发现了一种与中国北方葬俗高度相似的“头蹄葬”，这为研究古代欧亚草原文明交流提供了重要线索。

带着学术问题考古

阿尔泰山横跨中国、俄罗斯、哈萨克斯坦和蒙古4国，是草原丝绸之路的核心区域。由于阿尔泰山位于欧亚大陆中部、欧亚草原中心，自古以来就是东西方文化交流的重要节点，至少从距今5000年起，东西方的考古学文化就在此交汇。“我们此次考古想要研究早期铁器时代的阿尔泰山和中国其他区域，特别是东天山之间的关系。”西北大学丝绸之路考古合作研究中心讲师牧金山说。

长远来看，研究阿尔泰山和东天山早期铁器时代遗存的关系可以深化两大领域的认识。首先是月氏的考古学研究，西北大学在东天山地区连续开展了20余年工作，积累了丰富的考古资料。以丝绸之路考古合作研究中心首席科学家王建新为代表的学术团队初步确认，公元前5世纪至公元前2世纪期间分布于东天山地区的游牧文化遗存很可能就是《史记》《汉书》等文献中记载的月氏遗存。与此同时，不少俄罗斯学者认为早期铁器时代阿尔泰山的巴泽雷克文化是月氏遗存。

“所以我们现在想弄清楚东天山和阿尔泰山早期铁器时代考古学遗存之间的关系。”牧金山解释道。

其次是阿尔泰山－天山区域在中华文明形成、发展中的作用。中华文明在形成发展过程中一直通过丝绸之路和外界沟通，来自世界其他地区的文明和文化也是通过丝绸之路进入中国，被中华文明吸收融汇。

“阿尔泰山和天山是草原丝绸之路和沙漠－绿洲丝绸之路的必经区域。这一区域在丝绸之路形成和发展中的位置和作用是什么？通过这一区域，中华文明和世界其他文明进行了怎样的交流互鉴？我们希望通过与阿尔泰国立大学的考古合作，深化对这些问题的认识。”牧金山说。

▲考古人员发现“头蹄葬”。
▶联合考古队成员正在工作。
受访者供图

今年是西北大学和阿尔泰国立大学开展联合考古工作的第二年。去年，双方以巴泽雷克文化墓葬为主题进行了大规模的考古调查，今年则是调查和发掘同时进行。

偶然发现“头蹄葬”

此次联合考古工作期间，考古队系统发掘了4座墓葬，其中3座属于约公元前6世纪至公元前3世纪的早期铁器时代，分别归属于巴泽雷克文化、卡拉－科宾类型和尕尔干塔类型；另一座则属于中世纪的斯罗斯特金文化。

“这反映了阿尔泰山早期铁器时代文化遗存的强盛。”牧金山介绍，其中墓葬规模最大的属于巴泽雷克文化。该文化在早期铁器时代不断向外迁徙扩张，对周边地区有很强的影响力，它可能直接影响了古代中西方文化之间的交流。

此次发掘，尤为引人关注的是卡拉－科宾类型和尕尔干塔类型墓葬，尽管二者在阿尔泰地区均为非主流文化类型，但与中国相似的葬俗让研究者感到兴奋。其中，卡拉－科宾类型墓葬流行石棺葬具，可能与同时期中国新疆地区的石棺葬存在关联。

尕尔干塔类型墓葬就是国内学界所熟知的“头蹄葬”。“刚开始我们都以为那块区域是空的。从地表看，墓葬规模很小，我们甚至以为是小的祭祀遗存。”牧金山回忆道，等大家把其他墓葬发掘完，才抽调人手清理小墓葬，可当大家看到马头、羊头等遗骸时，才意识到这是一个重要发现。

“头蹄葬”最显著的特点是在墓室或墓坑中只随葬动物的头部和蹄骨，有时连着皮，但舍弃了动物的躯干、内脏和大部分肉，以代表一整只动物，供逝者在“另一个世界”继续享用或使用。

“这种葬俗在中国北方的内蒙古、宁夏、甘肃等地区十分流行，且中国北方的同类习俗出现的年代更早。”牧金山表示，早期阿尔泰山跟中国的联系是十分紧密的，有物品的直接交换，也有人群的迁徙。团队推测上述习俗受到了古代中国文化影响。

“也就是说，卡拉－科宾类型和尕尔干塔类型人群的迁徙是阿尔泰和中国北方之间在早期铁器时代交流沟通的一个途径。”牧金山说。

难忘的异国考古经历

对于第一次走出国门的西北大学丝绸之路考古合作研究中心硕士研究生鞠欣龙来说，这段异国考古经历既充满惊喜又饱含艰辛。

团队在古墓葬附近的无人区搭建帐篷，在没水没电的环境中持续工作了18天。因为考古发掘的现场距离市区较远，团队成员平时吃饭、洗澡用水都靠冰雪融化形成的河流解决。“吃得最多的是罐头和黑面包。”鞠欣龙告诉《中国科学报》，最难忘的还是洗澡，尽管他们已经挑选了一天中温度最高的时间下河，但刺骨的冷水还是让人难以忍受。

工作期间，中俄两国考古队员同吃同住，建立了深厚的学术友谊。“我们对所有的发掘遗迹都进行了三维建模，这一方法虽然在国内已经习已为常，但在俄罗斯还处于新兴阶段，这项技术也在合作中被对方吸纳。”牧金山说。

工作之余，两国队员的日常互动成为荒野中的温暖记忆。“我们和俄方队员分享带到营地的茶叶、榨菜、老干妈辣酱，俄方队员则拿出珍藏的泡面、水果罐头、蛋糕等食物，在艰苦的环境下大家互帮互助，留下难忘记忆。”鞠欣龙感慨道。

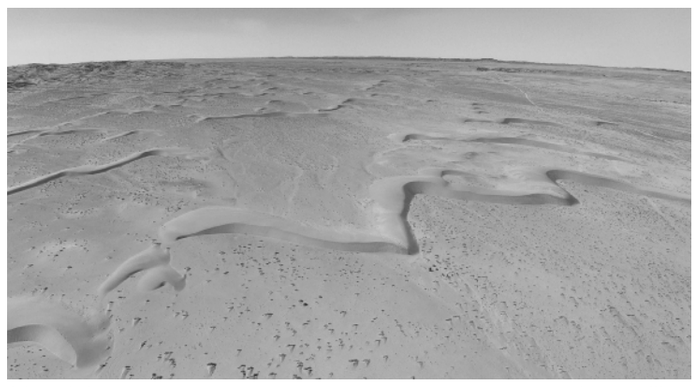
俄方领队、阿尔泰国立大学教授彼得·康斯坦丁诺维奇也对双方的合作甚感欣慰。“此前，在阿尔泰巴泽雷克文化贵族墓中出土了中国铜镜、丝绸和漆器，说明早期铁器时代阿尔泰游牧社会可能稳定从中国进口‘奢侈品’。今年与西北大学合作发掘的4座游牧墓葬，证实了公元前5世纪至公元前3世纪内亚游牧民族频繁的跨区域交流。明年我们将继续合作发掘巴泽雷克文化贵族墓，进一步探索古丝绸之路上的文化交流。”彼得·康斯坦丁诺维奇说。

“今年下半年，我们将在阿尔泰国立大学为联合研究中心揭牌，明年计划举办以阿尔泰山和天山区域为主题的国际考古学术会议。”牧金山告诉《中国科学报》，团队未来会坚持“大范围系统区域调查与小规模科学精准发掘相结合”的工作模式，坚持东方视角，通过多学科结合，研究古代中国和欧亚草原之间的互动关系，高质量输出跨国考古的“中国方案”。

发现·进展

南京大学等

近40年来我国西部沙漠沙丘移动速度持续下降



新月形沙丘。 课题组供图

本报讯（记者胡璇子）南京大学教授徐志伟课题组联合国内外研究团队发现，自上世纪80年代以来，我国西部沙漠新月形沙丘的移动速度持续下降，平均降幅达30%，部分地区甚至超过50%。这一发现为我国北方干旱区存在“全球风静期”现象提供了有力证据，并揭示了其对沙漠地貌和生态环境的深远影响。相关研究成果近日发表于《地球物理研究快报》。

近几十年来，全球陆地的近地面风速呈现大范围下降趋势，这一现象被称为“全球风静期”。在中国北方气象观测部分检测到类似趋势，但由于气象站点分布有限及周边环境变化干扰，学术界对“风静期”现象的普遍性及其影响仍存在争议。

研究团队以我国西部戈壁沙漠形态典型、移动快速的新月形沙丘为研究对象，利用1986年—2021年间7个沙丘场的多期卫星影像数据，结合光学影像配准与关联算法及多个输沙数值模型，系统分析了近40年沙丘移动的变化趋势及其对风速变化的响应。结果表明，上世纪80年代以来，西部沙漠新月形沙丘的移动速度持续下降。整体上，近40年移动速度平均下降幅度约为30%；在下降最快的区域，沙丘移动速度从约9米/年下降到目前的4.5米/年。进一步的输沙模型计算表明，风速下降导致研究区输沙率持续减弱，是沙丘移动趋缓的直接原因。模型估算的输沙量普遍低于遥感反演结果，差异主要源于风速数据时间分辨率不足，以及模型未能充分考虑地形对局地风场的加速效应等。在沙丘场尺度上，输沙量与风速仍保持三次幂关系，符合风力输沙的经典物理学规律。

该研究首次通过长时间序列卫星观测与模型计算，明确证实了“全球风静期”背景下风速减弱对我国西部沙漠地貌演化的重要影响。沙丘移动变化在一定程度上降低了风沙灾害风险，进而促进了植被恢复和区域生态环境的改善。这一现象的发现为认识气候变化影响下沙漠景观的演化机理提供了关键证据。

相关论文信息：https://doi.org/10.1029/2024GL113506

中国科学院生物物理研究所等

揭示“年老忘事”分子机制

本报讯（记者李晨阳）中国科学院生物物理研究所研究员陈畅团队与中国药科大学教授黄张建研究组合作，揭示了学习记忆的一种新分子机制，并成功开发出区别于传统的干预方式，为改善记忆损伤带来了新的治疗策略。相关研究成果近日在线发表于《氧化还原生物学》。

“年老忘事”是老龄化社会普遍面临的严峻挑战，严重影响生活质量，需要深入揭示学习记忆机制并开发有效干预策略。陈畅研究组前期对老年人和衰老小鼠的海马组织进行研究发现，钙离子/钙调蛋白依赖性蛋白激酶Ⅱα（CaMKⅡα）的亚硝基化修饰下降可能与衰老相关的学习记忆损伤有关。

为探明机制，研究人员实验发现，当野生型小鼠接受学习记忆任务后，其海马组织中CaMKⅡα的亚硝基化水平显著升高。研究人员随后构建了无法进行这种修饰的突变小鼠模型，发现这些突变小鼠均表现出明显的记忆能力损伤。深入研究后，他们发现，CaMKⅡα一旦失去亚硝基化修饰，会导致神经静息状态下突触前神经囊泡释放水平异常升高。这种持续性、浪费性“放电”耗竭了突触囊泡资源，导致学习记忆功能下降。

基于陈畅提出的“精准氧化还原”理念及抗氧化药物研发原则，研究团队开展了精准靶向CaMKⅡα的亚硝基化干预手段研究，并提出了一种普适的“胶水”策略，通过小分子将靶蛋白与一氧化氮合酶拉近，使其产生的一氧化氮选择性作用于靶蛋白，进而实现精准的亚硝基化修饰。研究人员利用该策略创新设计并合成了亚硝基化靶向嵌合体SNOTAC。通过滴鼻给药方式，SNOTAC能有效挽回学习记忆缺陷小鼠的记忆能力。

相关论文信息：https://doi.org/10.1016/j.redox.2025.103784

中国农业科学院油料作物研究所

高纬度特短生育期油菜亩产达284公斤

本报讯（记者李晨）近日，中国农业科学院油料作物研究所研究员王汉中团队培育出的高纬度特短生育期高产高油春油菜新品种“北亚油1号”，在内蒙古自治区额尔古纳市进行理论测产，亩产达到284.75公斤，较当地主栽品种平均单产提高93%，全生育期仅100天，能满足北纬45度以北地区对特短生育期品种的需求。

据介绍，在北纬45度以北的亚洲地区，包括我国内蒙古、新疆、黑龙江、吉林部分区域，盐碱地等后备耕地资源十分丰富，可用于发展短生育期春油菜生产。然而，由于北亚地区自然条件严苛，现有品种因生育期过长对环境适应性严重不足，致使北亚地区油料产业发展面临阻碍。

为此，中国农业科学院油料作物研究所联合内蒙古自治区农牧业科学院、额尔古纳市政府共建“北亚油菜大豆科创中心”，首创“生物技术＋生态育种”理论和技术体系，培育出“北亚油1号”等5个适宜高纬度种植的特短生育期高产高油春油菜新品种。

据悉，“北亚油1号”5月初播种，7月中旬终花，8月中旬即可收获，具备优异的耐寒性，苗期可抵御−5℃的低温，且品质符合国际双低油菜优质标准，2024年其两个亲本平均含油量高达48.36%。