

水土保持科技简报

第 13 期

水利部水土保持监测中心

2024 年 4 月

目 录

一、技术瞭望.....	1
基于土壤侵蚀变化量的水土保持治理成效评价技术.....	1
红壤丘陵区雨水径流资源水土保持调控理论技术及应用.....	2
二、经验交流.....	3
安吉水土保持生态产品价值实现.....	3
人为水土流失危害调查和鉴定评估技术指南.....	5
典型生态系统水土保持功能评价技术指南.....	6
三、科研成果.....	7
水土保持碳汇内涵与测算方法.....	7
中国东北黑土区降雨和坡度变化对典型农田水土保持措施减蚀作用的影	
响.....	9

一、技术瞭望

★基于土壤侵蚀变化量的水土保持治理成效评价技术

以土壤流失方程为理论基础，以国产高分遥感影像或低空无人机高分辨率影像等为数据源，以水土保持措施图斑为治理成效评价计算单元，借助遥感及地理信息专业软件计算各水土流失关键因子值，准确获取水土保持治理工程开展前后评价区土壤侵蚀量变化值或绝对值，定量反映水土保持治理实施成效，实现水土保持治理措施全图斑、全样本评价。该技术方法不依赖野外水土保持监测设施设备，可开展不同空间尺度、不同时间维度治理成效动态评价，具有响应需求速度快、决策支撑能力强、评价结果客观准确等优点。

技术特点：（1）该技术以遥感影像为主要数据源，最大限度降低了对野外水土保持监测所需观测设施设备(小流域卡口站、坡面径流观测场等)的依赖程度，极大降低了治理成效评价成本。（2）该技术可利用不同尺度、时相遥感影像，灵活完成不同时间空间尺度的治理成效评价目标，实现了治理成效评价从“静态”到“动态”的发展；此外，基于植被指数远期预测结果(植被生长规律)，本技术可完成远期水土保持治理成效评价目标。（3）与传统“典型推算法”“具体量算法”等相比，本技术方法可实现全样本、全图斑参与治理成效评价计算，可灵活计算水土保持治理开展前后土壤侵蚀变化量的绝对值和相对值，获得精度更高、决策支撑作用更强的治理成效评价结果。（4）该技术方法以措施图斑为评价计算单元，各措施图斑水土保持措施均一、地形地貌基本一致，所获得评价结果也更为准确、客观，更能反映治理工程实施效果。（5）该技术方法可计算获得一个综合评价值(土壤侵蚀变化量)，为水行政部门监督管理、水土保持规划考核等工作提供更为有力、有效的决策支持。

技术指标：（1）一定区域治理成效评价频次 ≥ 4 次/年。（2）治理成效评价计算单元水土保持措施准确率 $\geq 99\%$ 。（3） 20km^2 以内成效评价区域工作响应时间 ≤ 15 个工作日。（4）可实现水土保持治理措施全图斑、全样本评价，依据植物措施生长规律实现远期治理成效评价。（5）

成效评价结果可直接反映水土保持治理效果。

应用案例：该技术方法已在 2018 年度水利部预算项目“水土保持业务—国家水土保持重点治理工程图斑精细化管理”(10 个项目)、“2019 年广东省国家水土保持重点项目图斑精细化管理与治理成效评价”(11 个项目)、“福建省 2019 年度国家水土保持重点工程‘图斑精细化管理’”(26 个项目)等项目中得到充分应用，为水利部珠江水利委员会水土保持处(农村水利水电处)、广东省水利厅水土保持处、福建省水利厅水土保持与科技处等应用单位提供了数据支持和技术支撑。

(该技术来源于 2023 年度成熟适用水利科技成果推广清单)

★红壤丘陵区雨水径流资源水土保持调控理论技术及应用

江西省水科院以红壤丘陵区为对象，针对南方水土流失和季节性干旱等问题进行了近 10 年的持续研究，开展了径流小区和卡口站观测、定位试验、模型模拟等，分析了果园、坡耕地、林地的径流输出与分配规律，研发了降雨径流水土保持调控技术，具有良好应用前景。

技术特点：(1) 系统研究坡耕地、果园、林地三种红壤丘陵区主要土地利用类型雨水径流形成特征以及分配规律，为小流域合理开发利用雨水资源及水土保持治理工程建设提供理论支撑。(2) 利用长期连续监测数据，分析了南方红壤区油菜、花生生长期以及柑橘生命期的雨水径流资源形成特征，明确了该区坡耕地油菜的出苗期、花生的饱果成熟期，坡地柑橘园的果实膨大期是水分亏缺的主要矛盾期，丰富了红壤丘陵区雨水径流资源利用的理论基础。(3) 从作物需水盈亏的角度提出了横坡垄作、秸秆覆盖、全园生草、条带生草以及普通梯田的应用缺陷。同时，结合南方雨水特征，总结分析并优化集成了坡耕地、柑橘园雨水径流资源高效利用的水土保持技术，集成技术体系在减少侵蚀的基础上使表层土壤(0~30cm)的储水量提升 15.49%，小流域的蓄水率提高 16%，可有效缓解季节性干旱问题，从而提高抗旱减灾能力，达到稳产高产目的。

应用案例：在红壤丘陵区旱坡地整治中具有很好的应用前景，在坡耕地的旱作农业(大豆、花生、油菜等)、坡地经济林开发中(油茶、

蜜桔、脐橙、甜柚等）可以广泛应用。该技术在 9 省（区、市）的 18 个行政部门、8 个企业、3 个国家级水利研究机构、2 个工程项目部及 1 个学会中广泛应用。在江西省的 5 个县（市、区）建立示范基地开展了技术集成示范。在 17 个县的国家水土保持重点治理工程及企业农林开发项目中推广应用。应用示范面积 180.32km²，辐射推广总面积达 2430.20km²，实施项目区每年可增加蓄水量 43.78- 419.70 万 m³。

二、经验交流

★安吉水土保持生态产品价值实现

由水利部发展研究中心提供理论支撑，浙江省水利厅提供全方位指导，浙江省水利河口研究院、浙江农林大学开展了浙江省安吉县水土保持生态产品价值核算研究。该研究厘清了水土保持生态产品的内涵，分析了其价值形成和商品属性，提出了水土保持生态产品的分类和实现路径，构建了水土保持生态产品价值核算方法，支撑了“全国首单水土保持生态产品价值转化交易”，促进了乡村生态共富建设。

（1）基于生态系统服务理论，明确了水土保持生态产品概念。水土保持生态产品是通过水土保持工程措施、植物措施和耕作措施，使生态系统提供给人类社会使用和消费的或具有潜在使用价值的供给与服务，应能够反映水土保持经济效益、社会效益、生态效益，且具备“商品和服务”的一般特征，具有自然属性和社会属性。水土保持生态产品依附于自然生态系统，是生态系统为人类生活生产所提供的产品和服务的“增量”，即治理生态系统与原生生态系统的供给与服务的“差值”。水土保持生态产品价值核算包括水土保持功能量核算和定价两个方面。

（2）根据水土保持生态服务功能属性，开展了水土保持生态产品分类。在分析总结生态产品类型的基础上，根据《水土保持综合治理效益计算方法》（GB/T 15774-2008）《生态清洁小流域建设技术规范》（SL/T 534-2023）《水土保持术语》（GB/T 20465-2006）等技术标准关于水土保持生态效益、经济效益、社会效益等内容的规定，对水土保持生态产品进行分类，提出了包含农业、林业、水源涵养、土壤保持、物种保育、

气候调节、减轻面源污染、固碳、释氧、洪水调蓄、减少清淤、旅游康养、宜居环境等 13 项水土保持领域的生态产品分类体系。

表 1 水土保持生态产品价值实现路径

类型	类别	路径	模式
供给产品	林产品	直接市场交易	销售林木果实产品
		精深加工	林副产品精深加工
	农产品	直接市场交易	销售生态种植产品
		精深加工	对果蔬、粮食等食品精深加工
调节服务	水源涵养	水权交易、生态补偿 依托产业载体间接实现	碳汇产品、水资源产品的生态权益交易；适度发展对所在区域水质、土壤、空气、气候等地域资源及自然生态环境有着天然依赖性和严格要求的加工业；引入环境敏感型制造业；发展康养旅游业等
	减轻面源污染		
	固碳	碳汇市场、生态补偿 依托产业载体间接实现	
	释氧		
	土壤保持		
	物种保育		
	气候调节		
	洪水调蓄		
减少清淤			
文化服务	旅游康养	通过项目建设等方式对自然风光、民俗文化资源进一步挖掘打造，获取市场交易收益（如门票、交通、餐饮、住宿等）	依托优美自然风光、古村落文化等适度开展旅游景点项目，塑造IP引流，打造多业态产业链等；借助自然环境优势，搭建娱乐设施、打造主题乐园、开展生态研学项目等；打造康养项目等
	宜居环境	商品房租、售交易溢价、酒店客房景观溢价	依托优美自然环境进行商业房地产项目的出租、销售等；进行酒店、民宿等项目的经营利用等

（3）结合水土保持生态产品类型和属性，明确了水土保持生态产品价值核算方法。根据国家及地方生态产品价值核算、水土保持综合效益计算等相关技术标准，提炼形成了水土保持生态产品功能量核算模型，并根据水土保持生态产品属性，以市场为准则，采取直接市场法、替代市场方法、模拟市场法等方法对水土保持生态产品进行定价，建立了水土保持生态产品价值核算方法。

（4）以浙江安吉黄浦江源石门坑生态清洁小流域为例，开展了水土保持生态产品价值转化实践。根据黄浦江源石门坑生态清洁小流域实际情况，选取相应的核算指标及核算方法，以该小流域原生生态系统自然变化为基线，核算出黄浦江源石门坑生态清洁小流域水土保持生态产品价值为 10357.5 万元（其中生态旅游价值 800 万元），相对原生生态系

统（基线），其价值提升了 19.9%。设计将小流域水土保持生态旅游价值与生态资源开发项目融合，以项目为载体，形成了以生态资源开发经营权转让为转化形式的水土保持生态产品价值实现路径，并经过专项资产评估，交易起始价 450 万元/年（小流域内的中潭溪），6 年开发经营权 2700 万元；并以安吉县两山合作社平台为基础，开发了水土保持生态产品交易平台，交易完成后核发水土保持生态产品交易凭证。本次实际交易额为 3328 万元，溢价 628 万元。根据共同开发协议，交易所得专款专用，部分用于安吉县水土流失治理，部分用于流域内村民共富收益，反哺生态保护和共同富裕。



图 1 安吉县水土保持生态产品交易平台示意

★人为水土流失危害调查和鉴定评估技术指南

2024 年 2 月 20 日，中国水土保持学会颁布了团体标准——《人为水土流失危害调查和鉴定评估技术指南》。现将主要内容介绍如下：

指南规定了开展人为水土流失危害调查和鉴定评估的基本原则、程序，以及现场调查、鉴定与评估、水土流失危害调查和鉴定评估意见书编制等。指南适用于“未批先建”“未批先变”“未验先投”“违法弃渣”等水土保持违法行为造成水土流失危害的调查和鉴定评估工作。

危害调查主要包括危害事实调查和指标采集两方面工作。其中，水土流失危害事实调查包括新增水土流失、违法弃渣、水土流失灾害情况、公共安全影响情况等。指标采集包括水土资源损毁情况、水土保持设施损坏情况、水土保持功能降低情况等。鉴定与评估主要包括基线确定、实物量核算、价值量核算以及定性分析等。水土流失危害调查和鉴定评估意见书按照司法部印发的司法鉴定文书格式编制。

指南还包含 2 个规范性附录和 3 个资料性附录：附录 A（规范性）人为水土流失危害调查和鉴定评估工作方案提纲；附录 B（资料性）人为水土流失危害调查记录表；附录 C（资料性）人为水土流失定量计算与评价；附录 D（资料性）人为水土流失危害价值定量计算与评价；附录 E（规范性）人为水土流失危害调查和鉴定评估意见书。

★典型生态系统水土保持功能评价技术指南

2024 年 2 月 20 日，中国水土保持学会颁布了团体标准——《典型生态系统水土保持功能评价技术指南》。现将主要内容介绍如下：

指南规定了典型生态系统水土保持功能评价的评价对象、评价原则、评价单元、评价内容和流程以及评价方法。指南适用于县级行政单元内的森林、草原或农田生态系统水土保持功能评价工作。

指南定义了典型生态系统、水土保持功能、土壤保持指数、水源涵养指数、人为扰动保护指数、水土保持固碳指数、植被覆盖度结构指数、水土保持措施增益指数、水土保持功能指数、水土保持功能变化指数、水土保持率等术语。

指南评价对象仅限于县级行政区内的森林、草原或农田生态系统。指南规定评价工作应按照科学合理、简单易操作的原则，按照构建的评价指标体系开展森林、草原或农田生态系统水土保持功能评价。评价单元以县级行政区划或县域内的典型土地利用类型为单位，开展生态系统水土保持功能评价工作。评价范围为县域内的森林、草原或农田生态系统，包括评价范围内生态系统水土保持功能的单项评价和综合评价，小流域评价单元可参考执行。

典型生态系统水土保持功能评价指标由土壤保持、水源涵养、人为扰动保护、水土保持固碳、植被覆盖度结构、水土保持措施增益等 6 个评价指标构成。所用数据主要来源为：水土保持普查数据、水利年度统计数据、水土流失动态监测数据、水土保持监测站点观测数据、土壤普查数据、高分辨率遥感影像、基础地理信息数据、其他行业发布的权威数据等。指南划分的 6 个水土保持功能评价指标，计算得出水土保持功能指数与变化指数，综合评价典型生态系统的水土保持功能状况。指数处理方面，在有实测调查资料地区采用典型生态系统水土保持功能评价指标（SWFI*），将水土保持功能变化幅度分为 4 级；无实测调查资料地区采用指数归一化处理后的典型生态系统水土保持功能评价指标（SWFI'）或水土保持功能综合评价。水土保持功能综合评价结合水土保持功能指数与水土保持率增长空间指数，综合评价评价单元的水土保持功能与增长空间情况。

三、科研成果

★水土保持碳汇内涵与测算方法

（1）土壤侵蚀和水土保持对碳循环的影响

水力侵蚀通过有机碳水平迁移、垂向淋滤、过程矿化以及沉积封存等多个过程影响碳循环。侵蚀影响下，一部分因侵蚀流失的有机碳会被埋藏或再分布，剩下的部分将会被矿化成 CO_2 或厌氧发酵成甲烷而进入大气。全球因侵蚀迁移矿化每年向大气中释放的 CO_2 高达 29.3 亿~44.0 亿 t，亚洲因侵蚀导致的碳排放比例达 37%。另外，风蚀和风水复合侵蚀也会引起土壤有机碳的迁移，并促进土壤有机碳的裸露和矿化损失，是表层土壤碳损失不可忽视的动力。水土保持通过林草、工程和耕作等措施防治水土流失，保护、改良和合理利用水土资源，维护和提高土地生产力。水土保持措施可通过植被光合作用直接从大气吸收 CO_2 、增加土壤有机碳，并在坡面沟道的林草、梯田、淤地坝等措施作用下，调水保水保土固持有机碳，避免土壤有机碳矿化以 CO_2 的形式排放到大气中形成碳源，通过垂向和横向路径影响碳循环。水土保持措施碳增汇包括

植被碳汇和土壤碳汇，分别形成植被生物量和土壤有机质碳汇实物，降低大气 CO₂ 浓度。水土保持措施保土固碳则是通过减少或避免侵蚀土壤输移、固持或拦截土壤有机碳（保土或拦泥固碳）来实现，可维护土壤有机质的质量和稳定性。减蚀减碳是通过减少甚至避免流失土壤矿化变为大气 CO₂ 的“源”来实现，虽然没有直接减少大气中的 CO₂，但可对降低碳达峰峰值发挥作用。

（2）水土保持碳汇测算方法

水土保持碳汇总量包括垂向的增汇量（包括植被碳汇量和土壤碳汇量）、横向的保土固碳量以及垂向的减蚀减碳量。笔者测算的碳汇总量为水土保持碳汇现状，不涉及年度增加量和年际变化。从科学性和可操作性出发，水土保持增汇量采用固碳速率法计算，保土固碳量采用保土量乘以有机碳含量计算得到，减蚀减碳量通过其保土固碳量乘以流失过程中土壤有机碳被氧化的比例测算。

（3）水土保持碳汇测算结果

按照全口径措施统计，2011 年现存水土保持林草措施碳汇总量为 0.99 亿 t，若不包括封禁治理，林草措施碳汇总量为 0.73 亿 t。2018-2021 年新增水土保持林草措施碳汇能力平均达 503.05 万 t/a（不包括封禁治理为 290.63 万 t/a）。若将此碳汇能力平均值作为 2011 年后每年增加水土保持措施的碳汇能力，从 2011 年开始，累加计算得到 2021 年水土保持林草措施的碳汇能力达 1.49 亿 t；若不包括封禁治理，2021 年水土保持林草措施碳汇能力达 1.03 亿 t。根据中国科学院“碳专项”，2001-2010 年间我国森林生态系统碳汇总量约为 1.63 亿 t/a，则水土保持林草碳汇约占森林生态系统总碳汇的 60.74%（若不包括封禁治理为 44.79%）。需要说明的是，中国科学院“碳专项”碳汇量核算结果未包含草地生态系统碳汇量，而本研究测算的水土保持林草碳汇包括了水土保持种草、草地封禁治理措施的碳汇量。以 2020 年为基线情景，对比分析 2021 年全国林草措施保土固碳量。如图 2 所示，2021 年全国林草措施保土固碳总量 2030.64 万 t，新疆甘肃保土固碳量较大，而黑龙江、福建、宁夏的保

土固碳量为负值。侵蚀土壤横向输移过程中，约有 30% -40%的土壤有机碳会被矿化为 CO₂ 排放到空气中。参考此比例系数，则每年通过采取以上水土保持措施可减少约 2233.70 万-2978.27 万 t CO₂ 排放进入大气。这表明我国水土保持林草措施保土固碳效益明显，但局部地区仍需控制水力侵蚀导致的有机碳流失。在较长的时间尺度上，水土保持林草措施保土固碳的累积效应尤其显著。以退耕还林(草)工程为例，中国退耕还林(草) 20 a (1999-2019 年)，固土 6.34 亿 t、防风固沙 7.12 亿 t，有效减少有机碳损失的风险。

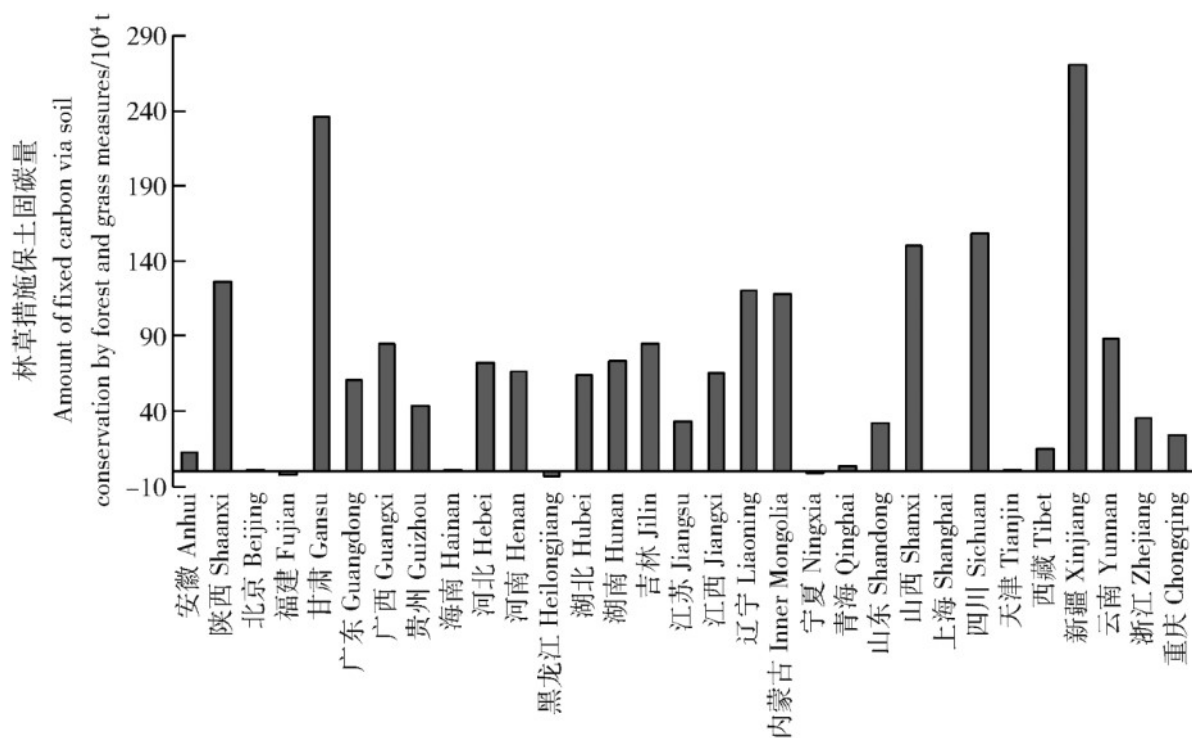


图 2 2021 年全国林草措施保土固碳量

(曹文洪, 张晓明, 张永娥, 等. 水土保持碳汇内涵与测算方法[J]. 中国水土保持科学, 2024, 22(1): 1-11.)

★中国东北黑土区降雨和坡度变化对典型农田水土保持措施减蚀作用的影响

中国水利水电科学研究院秦伟教授及其团队在 ISWCR 发表的成果介绍如下：中国东北黑土区具有丰富的黑土资源，但近年来受土壤侵蚀影响明显，对国家粮食安全造成潜在威胁。目前，中国正采取积极的应

对措施防治土壤侵蚀、保护黑土地，水土保持措施（SWCMs）作为重要手段，得到广泛应用。相较裸地，4种水土保持措施（SWCMs）均显著降低土壤侵蚀，表现出较为稳定的减蚀作用。不同措施间，梯田（TF）和地埂植物带（RH）表现出最为明显而稳定的减蚀作用，而横坡垄作（CT）的减蚀效果则对坡度变化较为敏感，需要更多予以关注。

研究发现，随着坡度和降雨变化，不同水土保持措施（SWCMs）的减蚀效果存在差异。随坡度和降雨增加，水土保持措施（SWCMs）减蚀作用逐渐减弱（图3）。其中，7°以下，免耕（NT）和横坡垄作（CT）措施的减蚀作用更优；超过7°后，地埂植物带（RH）和梯田（TF）的表现更为稳定。总体上，降雨增加会降低水土保持措施（SWCMs）减蚀功能的稳定性。

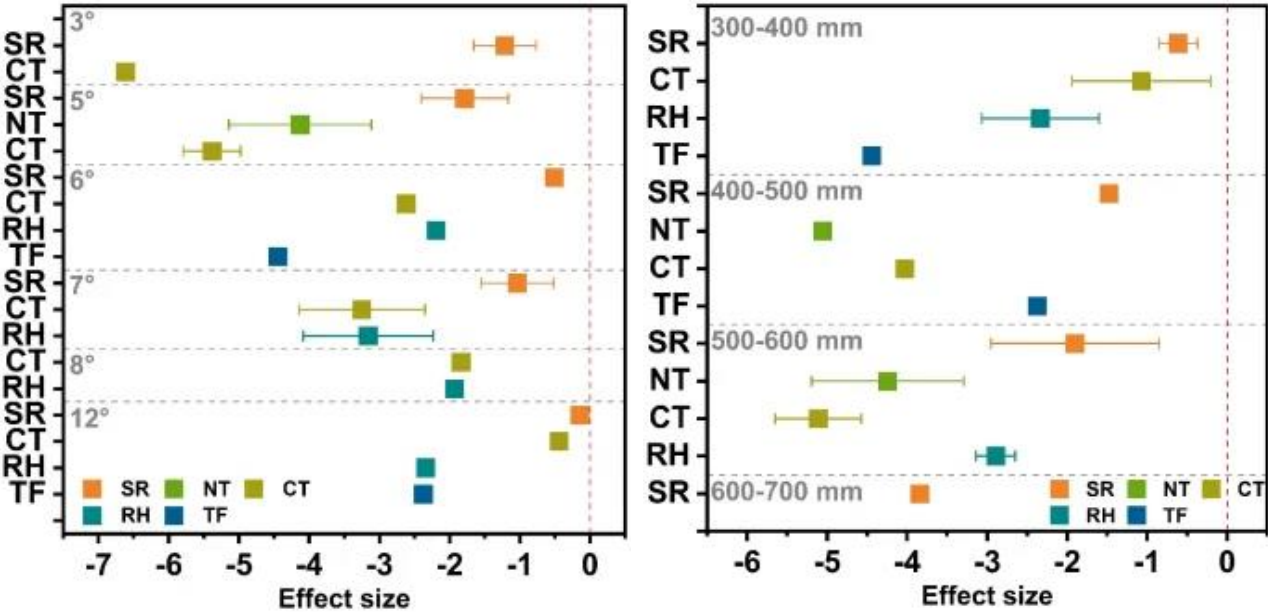


图3 不同水土保持措施在坡度/降雨变化条件下的减蚀作用分析

研究进一步分析揭示了坡度和降雨对水土保持措施减蚀作用的耦合效应，发现降雨量和坡度因子的乘积（ $P \cdot S$ ）是重要影响因素。通过定量分析，确定了不同水土保持措施（SWCMs）能够使农田土壤侵蚀强度控制到容许流失量（ 200 t/km^2 ）以下的 $P \cdot S$ 值上限。其中，免耕（NT）为 564 mm、横坡垄作（CT）为 885 mm、地埂植物带（RH）为 1135 mm。

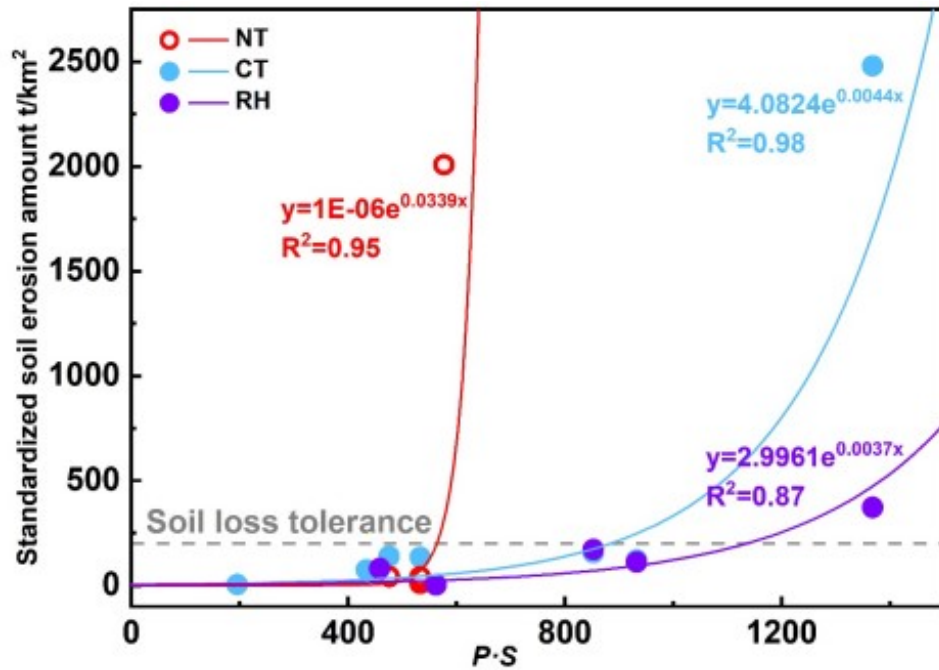


图 4 不同水土保持措施下农田土壤侵蚀强度随 P·S 变化的拟合曲线

同时，基于 P·S 上限阈值和空间分析，确定了东北黑土区不同水土保持措施（SWCMs）实现减蚀目标的有效应用范围。研究还对水土保持措施（SWCMs）在东北黑土区不同区域的有效应用范围进行了评估。结果显示，尽管特定地形和气候条件下，部分水土保持措施（SWCMs）的有效性受到限制，但总体上，在东北黑土区的绝大多数农田区域，不同的典型水土保持措施（SWCMs）均能够显著降低土壤侵蚀风险（图 5）。通过分析不同降雨情景表明，年降雨量增加后，无典型水土保持措施可有效应用的区域面积增加 0.31 万 km²，降雨偏丰时，措施有效应用范围整体向山麓低海拔方向和平原地势平缓区域收缩。

研究对中国东北黑土区农田水土保持措施（SWCMs）应用提出了建议，主要包括：依据地形并综合考虑降雨和坡度耦合限制，以选择最有效、适宜的水土保持措施；研发推广生态和经济效益兼备的水土保持措施，以更好的促进黑土地农田土壤保持等。此外，今后对于水土保持措施（SWCMs）的研究，还需考虑更多影响因素，以便更加全面的评估其在东北黑土区不同条件下的有效性、持续性和应用潜力。

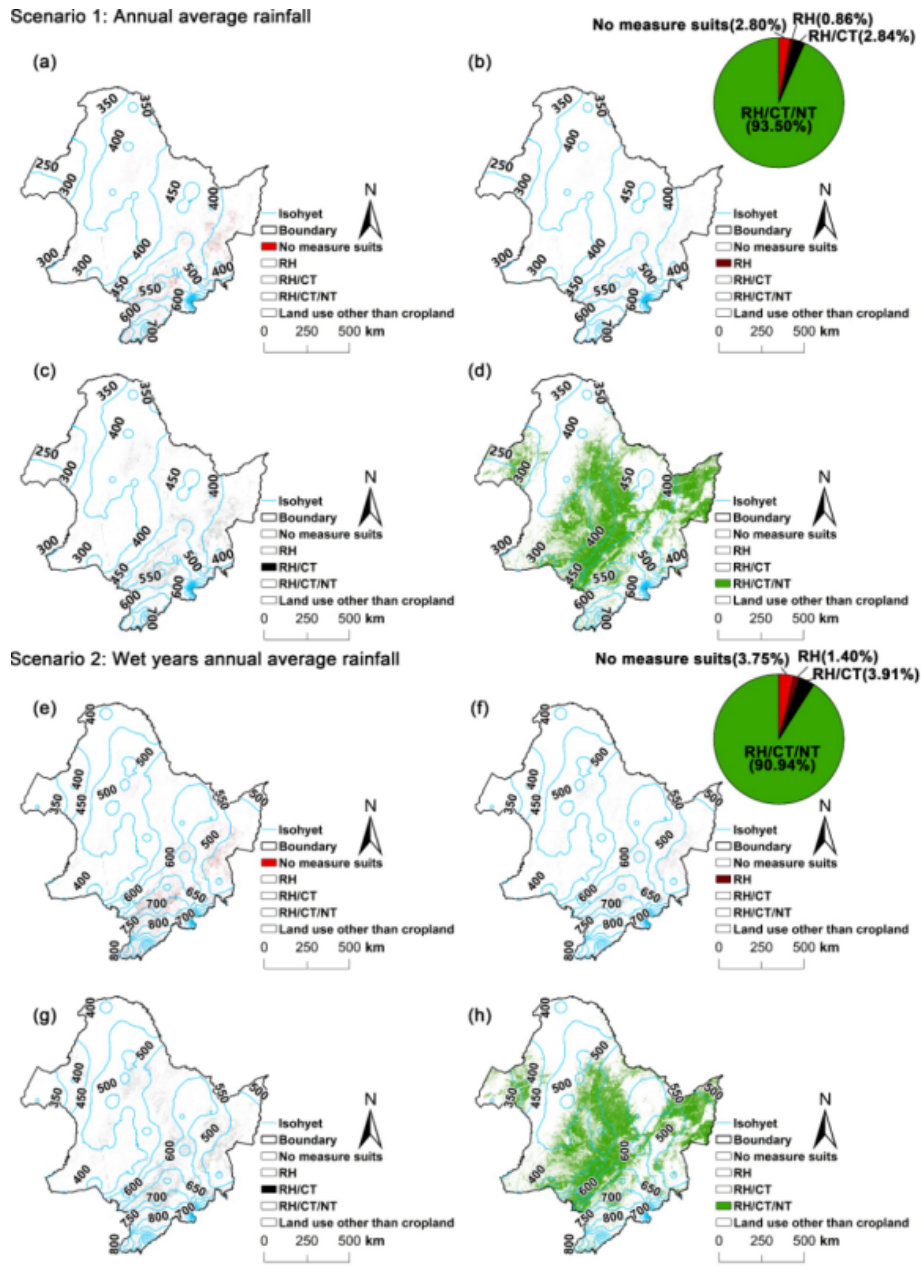


图 5 不同降雨条件下各类水土保持措施的有效应用范围

(a-d: 多年平均降雨情景下无有效措施, 地埂植物带 (RH) 有效, 地埂植物带 (RH) 或横坡垄作 (CT) 有效, 地埂植物带 (RH)、横坡垄作 (CT) 和免耕 (NT) 均有效的应用区域; e-h: 多年平均丰水年降雨情景下无有效措施, 地埂植物带 (RH) 有效, 地埂植物带 (RH) 或横坡垄作 (CT) 有效, 地埂植物带 (RH)、横坡垄作 (CT) 和免耕 (NT) 均有效的应用区域)

发送范围: 部领导, 相关司局, 流域和省水行政主管部门及监测机构, 有关科研机构和高校