**2025年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容**

**一、项目名称：**淤地坝水土保持碳汇效益评价与机理解析

二、**提名者：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

**提名意见：**水土保持是增强陆地碳汇能力、巩固与提升生态系统碳中和潜力不可或缺的重要环节，对于实现国家“双碳”目标、建设美丽中国具有深远的战略意义。2023年两办《关于加强新时代水土保持工作的意见》中，明确强调“将水土保持碳汇纳入温室气体自愿减排交易机制”、“制定完善水土保持碳汇能力评价指标和核算方法”。淤地坝作为黄土高原地区水土流失综合治理的重要工程措施，在拦沙固碳方面发挥着重要作用，是实现水土保持与生态系统碳汇功能协同提升的关键措施。然而，当前对淤地坝水土保持碳汇的形成机制和碳汇效益定量核算仍缺乏系统认知，极大限制了对水土保持碳汇能力的评价。该成果基于野外采样与室内分析，结合地理信息技术、无人机摄影测量、放射性碳同位素混合模型等方法，明确了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源及组成特征，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运-沉积-输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝减排、增汇的效益及机制，为水土保持碳汇核算提供理论支撑。5篇代表性论文引起了国内外同行广泛的关注和引用，目前已被SCI他引221次，单篇最高SCI他引96次；相关研究成果被水利部采纳，作为淤地坝监测、拦沙固碳效益分析的重要支撑和解释黄河水沙变化的主要依据；受水利部水土保持司委托完成淤地坝碳汇方法学编制，是水土保持碳汇进入中国核证自愿减排量（CCER）的第一个方法学。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

三、**项目简介：**

黄土高原作为黄河流域的重要组成部分，是我国重要的生态屏障，也是国家“黄河流域生态保护和高质量发展”战略的核心区域。淤地坝作为黄土高原水土流失治理和生态保护的关键工程措施，通过拦截泥沙、抬高侵蚀基准面，有效控制了沟道侵蚀，同时其沉积区富集了大量有机碳，成为潜在的陆地碳库，发挥了积极的固碳增汇功能。然而，目前对淤地坝碳汇功能的量化研究仍处于起步阶段，其固碳机制、长期稳定性及区域贡献尚未明确，严重制约了水土保持工程在“双碳”战略中的价值挖掘。2020年，我国提出“碳达峰、碳中和”目标，明确要求加强生态系统碳汇能力。2023年中共中央办公厅、国务院办公厅联合发布的《关于加强新时代水土保持工作的意见》明确提出：“将水土保持碳汇纳入温室气体自愿减排交易机制”“制定完善水土保持碳汇能力评价指标和核算方法”。此外，联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告指出，陆地生态系统碳汇对缓解全球变暖至关重要，但干旱半干旱区碳循环研究仍是国际薄弱环节。黄土高原作为典型干旱-半干旱区，其淤地坝碳汇功能的系统评估，不仅能为我国“双碳”目标提供科学支撑，还可填补全球碳循环模型在干旱区沉积环境的数据空白，具有国际学术价值。然而淤地坝水土保持碳汇的形成涉及侵蚀-搬运-沉积多过程耦合，目前对这些复杂过程中有机碳的来源、组成、收支、埋藏效率及环境驱动因子的定量解析不足。因此，项目组从2012年开始，在国家自然科学基金青年科学基金项目（A类）、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金面上项目等项目/课题的持续支持下，系统开展了淤地坝水土保持碳汇效益评价与机理解析研究，以期为水土保持碳汇核算提供重要数据支撑，服务黄河流域生态保护和高质量发展、“双碳”等国家战略。取得如下重要科学发现：

1. **提出了基于生物标志物的泥沙/有机碳来源识别方法，明确了复杂景**

**观下流域泥沙/有机碳的来源及组成特征**

针对黄土高原景观破碎，泥沙/有机碳来源变异较大，地球化学元素等传统示踪方法适用性差的科学问题，申请人系统采集分析了86 个小流域1850 个源地样品和110 个沉积剖面2121 个泥沙样品，提出了以正构烷烃为关键指纹因子的泥沙/有机碳示踪方法。构建了沉积层的发生序列与降雨事件的对应关系，将沉积物赋存信息与景观变迁过程相结合，阐明了流域侵蚀产沙及有机碳的来源及时空分布规律。分析淤地坝沉积剖面有机碳含量及组成的垂直分布特征，量化其生物源有机碳和化石源有机碳占比；结合淤地坝沉积序列和复合指纹示踪技术，确定典型降雨事件、不同降雨特征下沉积泥沙来源，阐明沉积有机碳含量及组成对降雨特征和泥沙来源的响应。

1. **解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规**

**律，阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响机制**

采用无人机遥感和地理信息建模技术，结合探地雷达、高密度电阻仪等多种勘测方法，准确估算了典型流域淤地坝沉积泥沙，明确了淤地坝的沉积泥沙旋回特征，构建了沉积层的发生序列与降雨事件的对应关系，将淤地坝沉积物的赋存信息与景观变迁相结合，阐明了流域景观时空异质性对侵蚀产沙的非线性作用机制；基于（1）中泥沙/有机碳来源识别技术，结合碳收支平衡模型等方法，解析了泥沙搬运-沉积过程中有机碳矿化分解特征，明确了侵蚀影响下的流域土壤有机碳空间分布特征和收支，阐明了淤地坝等水土保持措施对泥沙和有机碳输移过程的影响机制。

1. **明晰了淤地坝沉积区有机碳埋藏稳定机理，揭示了淤地坝水土保持**

**碳汇效益及机制。**

结合云遥感和机器学习方法，构建了黄土高原首套高分辨率淤地坝数据库，结合大范围实地采样调查估算淤地坝碳储量及对应的有机碳沉积速率，确定干旱沉积环境下的有机碳埋藏效率，阐明流域侵蚀、沉积环境以及有机碳组成等特征对有机碳沉积速率和埋藏效率的影响，识别影响有机碳沉积速率和埋藏效率的关键影响因子。基于以上研究结果，利用碳同位素混合模型和结构方程模型等方法，分析降雨特征、泥沙来源及关键沉积环境因子共同作用下的沉积有机碳稳定特征，阐明淤地坝在搬运-沉积-输出过程中的固碳机制，在区域尺度评估淤地坝水土保持工程在防治水土流失过程中发挥的碳汇效益。

该项目5篇代表性论文引起了国内外同行的广泛关注，被美国、英国、德国、法国、西班牙等30多个国家的著名机构和学者引用与评价，目前已在Reviews of Geophysics、Earth-Science Reviews、Communications Earth & Environment、Agriculture Ecosystems & Environment、Scientific Data、Journal of Hydrology等国际顶级期刊他引221次，单篇最高SCI他引96次，体现了研究成果在相关领域具有较好的参考价值和一定学术影响。相关成果已被行业主管部门采纳，水利部水土保持监测中心基于我们的方法和数据阐明黄土高原淤地坝储碳效益及机制，并委托本团队作为《淤地坝碳汇方法学》的主要编制团队，该方法学是水土保持碳汇进入CCER的第一个方法学。

**四、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

该项目5篇代表性论文被包括美国、英国、德国、法国、西班牙等30多个国家的学者引用与评价，总SCI他人引用共221次，单篇最高SCI他引96次，包括Reviews of Geophysics、Earth-Science Reviews、Communications Earth & Environment、Agriculture Ecosystems & Environment、Scientific Data、Journal of Hydrology等国际顶级刊物。相关成果已被行业主管部门采纳，水利部水土保持监测中心基于我们的方法和数据阐明黄土高原淤地坝储碳效益及机制，并委托本团队作为《淤地坝碳汇方法学》的主要编制团队，该方法学是水土保持碳汇进入CCER的第一个方法学。

**（一）土壤侵蚀和生态水文领域多个国内外著名研究团队充分肯定和引用基于复合指纹示踪的泥沙/有机碳来源识别方法：**

（1）国际水文学会国际大陆侵蚀委员会和国际水文科学协会副主席、英国国家和国际水文委员会成员Adrian Collins教授在Science China Earth Sciences（2019, 62: 2017-2030）发表综述文章，充分认可代表性论文4提出的新泥沙来源示踪标志物的示踪性能，认为其弥补了传统示踪元素在均质流域中示踪性能较差的缺点。

（2）英国皇家化学学会院士Manish Kumar教授在Journal of Environmental Management（2022, 313: 114996）的文章多次引用代表性论文4，充分肯定了其中关于生物标志物正构烷烃在溯源有机污染物及保护水生生态系统方面的方法贡献与应用价值。

（3）巴塞尔大学环境地球科学系Christine Alewell教授在Biogeosciences（2020, 17: 2169-2180）和Science of The Total Environment（2021, 755: 142916）发表的研究中，多次引用并高度评价本项目的代表性论文4，明确指出该成果显著推动了不同土地利用背景下泥沙来源解析方法的发展，为该领域的科学进展提供了重要支撑。

**（二）比利时鲁汶大学、北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室、中国科学院地理科学与资源研究所等国内外著名学者和机构多次引用关于侵蚀产沙中的有机碳在搬运-沉积-输出过程中迁移转化规律的研究成果。**

（1）比利时鲁汶大学FNRS研究室主任、Soil Science Society of America Journal副主编Kristof Van Oost教授，在地球科学知名期刊Biogeosciences（2023, 20: 635-646）发表的研究中，引用了代表性论文2中有关淤地坝碳埋藏速率的估算结果，将其作为设置土壤侵蚀—碳循环模型的关键参数，有效提升了模型对侵蚀背景下碳循环过程的模拟精度，为全球碳循环研究提供了关键数据支持。

（2）北京师范大学长江学者特聘教授缪驰远团队在地学领域顶刊Reviews of Geophysics（2025, 63: e2023RG000829）的综述中，高度肯定了代表性论文2所估算的流域淤地坝碳埋藏速率，并强调淤地坝在捕获和保存侵蚀碳方面具有重要生态功能，认为其在全球碳循环中表现出显著的固碳潜力与价值。

（3）北京师范大学张光辉教授发表在Catena（2019, 174: 24-35）、Soil & Tillage Research（2021, 211: 105027）上的文章多次引用代表性成果3，指出土壤团聚体稳定性是衡量土壤抗侵蚀能力的重要指标，并强调土壤侵蚀通过迁移富碳的表层土壤从而影响土壤碳氮含量。

（4）中国科学院地理科学与资源研究所邵明安院士团队在Agriculture Ecosystems & Environment（2021, 307: 107232）文章中多次引用代表性成果3，利用相关数据论证了淤地坝有机碳的来源与组成特征，并肯定了“土壤团聚体对维持土壤结构、增强抗蚀能力及调控土壤有机碳通量具有重要作用”的观点。

**（三）国内外同行充分肯定了关于淤地坝沉积区有机碳埋藏稳定机理，揭示淤地坝水土保持碳汇效益及机制的研究成果。**

（1）魁北克大学终身教授、美国科学促进会会士彭长辉教授在Environmental Reviews（2025, 33: 0078）发表的综述中引用了代表性论文1，强调了风化和侵蚀过程与碳周转的密切关联，并赞同本研究提出的“淤地坝埋藏有机碳构成重要陆地碳汇”的核心观点。

（2）英国格拉斯哥大学社会与环境可持续发展学院研究主任史晓刚教授团队发表在Catena（2025, 258: 109310）上的文章肯定了代表性论文1中关于淤地坝在减少土壤有机碳横向迁移以及拦截侵蚀泥沙方面发挥着重要作用的观点。

（3）埃塞俄比亚梅克尔大学气候与社会研究所所长Amanuel Zenebe教授团队在Journal of the Indian Society of Remote Sensing（2025, 53: 435-449）发表的文章中，多次引用代表性论文5，充分肯定了该研究提出的无人机低空遥感技术在沉积泥沙量精确评估方面的应用潜力，并在埃塞俄比亚典型流域开展实证研究，进一步验证了该技术方法的有效性与推广价值。

**五、代表性论文专著目录(自然奖填写，不超过8条，其中，代表性论文不超过5篇，代表性专著不超过3部，按重要程度排序)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文专著****名称** | **刊名** | **作者** | **年卷页码（xx年xx卷xx页）** | **发表时间（年月 日）** | **通讯作者（含共同）** | **第一作者（含共同）** | **国内作者** | **他引总次数** | **检索数据库** | **知识产权是否归国内所有** |
| 1 | Substantial role of check dams in sediment trapping and carbon sequestration on the Chinese Loess Plateau | Communications Earth & Environment | Nufang Fang, Yi Zeng, Lishan Ran, Zhen Wang, Xixi Lu, Zhengang Wang, Xiankun Yang, Jinshi Jian, Qiang Yu, Lingshan Ni, Chun Liu, Chao Yue, Zhihua Shi | 2023年4卷65 | 2023年3月9日 | Lu Xixi, Shi Zhihua | Fang Nufang, Zeng Yi | 方怒放，曾奕，冉立山，王真，王振刚，杨现坤，简金世，于强，倪玲珊，刘春，岳超，史志华 | 20 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 2 | Effects of human activities on soil organic carbon redistribution at an agricultural watershed scale on the Chinese Loess Plateau | Agriculture Ecosystems & Environment | Yi Zeng, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2020年303卷107112 | 2020年11月1日 | Fang Nufang, Shi Zhihua | Zeng Yi | 曾奕，方怒放，史志华 | 33 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 3 | Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the Loess Plateau | Catena | Yixia Wang, Lishan Ran, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2018年167卷257-265页 | 2018年5月12日 | Fang Nufang, Shi Zhihua | Wang Yixia | 王义霞，冉立山，方怒放，史志华 | 96 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 4 | Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment | Science of the Total Environment | Fangxin Chen, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2016年557-558卷123-133页 | 2016年3月17日 | Fang Nufang | Chen Fangxin | 陈方鑫，方怒放，史志华 | 53 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |
| 5 | Estimation of the volume of sediment deposited behind check dams based on UAV remote sensing | Journal of Hydrology | Yi Zeng, Xiangdong Meng, Yan Zhang, Wei Dai, Nufang Fang, Zhihua Shi | 2022年612卷128143 | 2022年7月8日 | Fang Nufang | Zeng Yi, Meng Xiangdong | 曾奕，孟祥冬，张妍，戴伟，方怒放，史志华 | 19 | 《科学引文索引》扩展版数据库（SCIE） | 是 |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排名** | **行政/技术职称** | **工作单位/完成单位** | **对本项目技术创造性贡献** |
| 方怒放 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 提出了基于生物标志物的泥沙/有机碳来源识别方法，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝水土保持碳汇效益及机制，是代表性论文1的共同第一作者，是论文2、3、4、5的通讯作者，对重要科学发现点一、二、三均有贡献；研究成果被水利部水保司采用。 |
| 曾奕 | 2 | 副教授 | 西北农林科技大学 | 构建了高精度淤地坝基础数据库，量化了淤地坝的拦沙储碳效益，是代表性论文1的共同第一作者，是论文2、5的第一作者，对重要科学发现点二、三有贡献。 |
| 倪玲珊 | 3 | 副研究员 | 西北农林科技大学 | 解析了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源，提高了泥沙/有机碳来源示踪精度，是论文1的共同作者，对重要科学发现点一有贡献。 |
| 史志华 | 4 | 研究员 | 中国科学院水利部水土保持研究所 | 阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响，是论文1、2、3的共同通讯作者，是论文4、5的共同作者，对重要科学发现点二有贡献。 |

**七、主要完成单位情况及创新推广贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **单位名称** | **排名** | **主要贡献** |
| 西北农林科技大学 | 1 | 西北农林科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责了项目的顶层设计、任务分工、组织实施与成果总结鉴定工作，在人力、物力和财力方面提供了坚实保障。依托学校完善的野外观测网络和先进的室内分析平台，项目组有效开展了系统性的观测与实验工作，确保了研究的顺利推进与完成。在学校的支撑下，项目组明确了复杂景观下流域泥沙/有机碳的来源，解析了侵蚀产沙中的有机碳在搬运—沉积—输出过程中迁移转化规律，揭示了淤地坝水土保持碳汇效益及机制。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所 | 2 | 中国科学院水利部水土保持研究所作为本项目的重要参与单位，为研究的顺利实施提供了关键的野外观测与室内分析平台支持。在项目推进过程中，该单位协助完成了总体方案设计、任务协调与成果总结等多项工作，系统阐明了水土保持措施对土壤有机碳动态变化的影响机制，并协助构建了高精度淤地坝基础数据库，为实现拦沙与储碳效益的精准量化提供了重要数据与方法支撑。 |

**八、完成人合作关系情况**

|  |
| --- |
| **完成人合作关系情况汇总表表** |
| **序号** | **合作方式** | **合作者/项目排名** | **合作起始时间** | **合作完成时间** | **合作成果** | **证明材料** |
| 1 | 论文合著 | 方怒放/1 | 2012 | 2025 | 代表性论文1、2、3、4、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 2 | 论文合著 | 曾奕/2 | 2017 | 2025 | 代表性论文1、2、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| 3 | 论文合著 | 倪玲珊/3 | 2018 | 2025 | 代表性论文1 | 公开发表的相关学术论文 |
| 4 | 论文合著 | 史志华/4 | 2012 | 2025 | 代表性论文1、2、3、4、5 | 公开发表的相关学术论文 |
| **完成人合作关系说明（限1000字）**该项目第1完成人方怒放研究员全面负责制定项目的总体方案、技术路线、实施计划与成果总结，第2完成人（曾奕副教授）和第3完成人（倪玲珊副研究员）均为方怒放研究员的团队成员，共同开展本项目的科学研究工作，合作撰写论文并公开发表。第4完成人史志华研究员，曾是方怒放研究员的研究生导师，长期指导该项目的相关试验，合作撰写论文并公开发表。 |