

## 项目公示信息

一、项目名称：生态修复驱动下黄土高原生态-经济耦合机制与调控

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅

提名意见：

该成果针对黄土高原水土保持生态修复与民生福祉能否协同、如何协同发展的问题，以“机理-技术-模式”为主线，坚持试验示范、社会调研和模型模拟结合，多学科交叉融合，阐明了生态修复驱动下植被-土壤系统响应机理，揭示了多尺度生态经济耦合机制，集成新技术，创新了水土保持型生态经济体系，探索新模式并进行示范推广，可为黄土高原不同阶段、不同尺度的生态保护与民生福祉协调发展提供理论和技术支撑以及可复制的实证模式。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。特提名为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

本项目属于水土保持生态学学科及应用领域。

黄土高原地处黄河流域中游，历史上曾是水土流失最严重的地区，也是西部欠发达地区之一，具有生态环境和民生福祉双重脆弱性。由于其重要生态屏障地位及其在黄河治理中的关键作用，几十年来国家持续开展水土流失综合防治与生态修复科学研究与工程实践，黄土高原初步实现了“由黄变绿”的历史性变化，入黄泥沙显著减少，典型流域生态系统趋于稳定。但黄土高原当前仍然存在一些现实生态经济问题：一方面，土壤侵蚀模数仍远高于允许流失量，生态脆弱性尚未根本改变；另一方面，长期严格的生态保护也带来了一些相应的民生问题，如林草资源得不到有效利用，舍饲养殖导致粮饲争地，苹果种植过度扩张等。因此，如何兼顾既要保障生态安全稳定，又要优化区域产业布局、协调生态保护与经济社会发展的矛盾，是当前亟待破解的生态经济学难题。面对这种科技需求，既需要突破脆弱区生态技术瓶颈，明确黄土高原发展和保护双重压力下的侵蚀环境响应机理，又

需要面向经济社会发展需求，解决水土保持生态修复与民生福祉能否协同、如何协同的问题，提出系统性解决方案和实证模式。

针对上述问题，本项目在国家自然科学基金、陕西省自然科学基金基础研究计划以及企事业单位委托等项目的支持下，坚持试验示范、社会调研和模型模拟结合，进行多学科交叉融合，系统阐明了生态修复驱动下植物-土壤环境系统响应机理，揭示了多尺度生态经济耦合机制，集成新技术，创新了水土保持型生态经济体系，探索新模式并进行了示范推广，可为黄土高原不同阶段、不同尺度的生态保护与民生福祉协调发展提供理论和技术支撑以及可复制的实证模式。项目取得了以下几方面的进展和创新性：

1. 揭示了生态修复驱动下黄土高原多尺度生态-经济耦合机制，为构建水土保持型生态经济体系与调控模式提供了理论支撑。（1）揭示了生态修复驱动下植被-土壤系统响应，阐明了土壤水库、碳库效应，明确了关键生态系统服务及其权衡/协同的时空变化；（2）整合能值分析理论和生态足迹思想，创新了生态修复驱动下流域生态-产业耦合机制模型，提出了承载力阈值评价方法，确定了典型流域承载人口及其所需生态生产性空间阈值；（3）厘清了侵蚀控制的生态经济耦合效应，揭示了生态修复驱动下区域生态-产业协同机制。

2. 集成了生态修复关键技术，创新了黄土高原水土保持型生态经济体系。（1）针对流域核心问题，提出了模式建设目标、服务功能、关键技术，集成了植被-土壤系统修复诊断技术、土壤改良和提质增效技术和流域生态清洁生产体系；（2）构建了以生态系统、经济系统、社会系统和管控系统为核心子系统的黄土高原水土保持型生态经济体系理论框架，明晰了生态经济体系结构功能关系，提出了未来的协同调控路径。

3. 构建了流域生态经济模式，实现了生态经济科技成果落地。构建了黄土高原水土保持型生态农业、生态清洁治理与水源涵养、城乡统筹田园综合体和坡沟兼顾水沙资源化坝系农业4类生态经济典型模式，在陕西延安、榆林、咸阳、宝鸡，宁夏固原，甘肃定西等地进行示范推广，并成功实现了面向西北“水三线”地区的应用延伸。

## 四、客观评价

### 1. 成果评价意见

陕西省生态学会通过会议评审方式对本项目进行了科技成果鉴定，鉴定委员会专家听取了项目第一完成人的汇报并认真查阅了项目技术资料后，经质询和讨论，一致认为整体达到了国际先进水平，部分成果达到了国际领先水平。

### 2. 科技查新结论

陕西省科学技术情报研究院查新结果表明：本项目中综合能值理论与生态足迹（虚拟水）思想的生态-产业耦合方法，水土保持型生态农业、坝系农业、生态清洁和田园综合体流域生态经济模式与技术体系，黄土高原水土保持型生态经济体系理论框架与调控技术体系等多项研究成果，除项目组报道的文献外，在所查国内外文献中均未见相同报道，具有较强的创新性。

### 3. 媒体评价

延安市安塞传媒对王兵研究员进行了专访，宣传了其在植被恢复水土流失响应和土壤分离过程水动力学机理、土地利用对土壤分离过程的影响等方面的研究，为黄土高原地区水土保持、生态建设和社会经济发展提供了科学依据。

项目研究成果应用于铜川市山水林田湖生态保护修复试点、流域综合治理规划和设计中，对于植被建设和优化配置以及提高综合治理效益等均具有重要的科学指导意义，促进了流域生态环境保护修复，提升了流域生态系统服务功能，产生了显著的生态效益、社会效益和经济效益。《人民日报》《中国财经报》《陕西日报》《陕西电视台》等主流媒体对铜川市山水林田湖草生态保护修复项目进行了集中报道，强调了铜川市山水林田湖草生态保护修复项目的示范引领作用，并在全国产生了较大反响。

2022年3月，中国绿色时报刊登《西北院创新模式服务国家“双碳”战略》，2021年以来，西北院通过强化人才培养、深化交流合作、创新服务模式等举措，探索不同资源禀赋条件下生态产品价值实现机制，确立和发挥在林草碳汇领域技术优势，免费为陕西吴起等10多

个县（区）提供碳汇价值转换全程技术服务，助力国家“双碳”战略。

#### 4. 曾获奖励

项目主要成果获 2022 年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖和 2015 年环境保护科学技术奖二等奖。

#### 5. 国内外同行专家评价

（1）黄土高原生态修复驱动的植物根系系统抑制土壤侵蚀作用机制及贡献相关成果被发表于 *Science of the Total Environment* 等期刊，累计引用 200 余次，该成果系统研究了生态恢复过程中植物近地表特征演变过程根系系统阻控土壤侵蚀的作用机制及贡献，量化了典型撂荒草地植物根系控制土壤侵蚀的物理捆绑和生物化学作用，阐明了植被恢复过程中植物根系的水土保持效应。

（2）黄土高原植被恢复作用下植物-土壤-微生物系统协同演变特征以及植物-土壤系统协同抗侵蚀作用机制等研究成果发表于 *Soil and Tillage Research*、*CATENA* 等期刊上。评审专家认为，该研究成果具有较强的创新性，提升了对植被恢复过程地上地下生态系统耦合关系的认识，对深入理解植被恢复条件下区域土壤抗侵蚀性能的提升过程和机制具有重要意义。

### 五、代表性知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权公告日	证书编号	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	专著	黄土丘陵区生态恢复的生态经济过程及效应评价	中国	ISBN 978-7-5111-1011-4	2012 年 6 月	中国环境科学出版社	西安科技大学	党小虎
2	发明专利	一种生物铁修复六价铬污染土壤的方法	中国	ZL 2017 1 0556724.8	2020 年 8 月 18 日	3946884	西安科技大学	程爱华、郑蕾
3	论文	Regions and their typical paradigms for soil and water conservation in China	中国	10.1007/s11769-02 0-1139-7	2020 年 8 月	Chinese Geographical Science	西安科技大学	党小虎、隋博洋、高思文、刘国彬、王涛、王兵、宁堆虎、毕玮
4	实用新型专利	一种接管套钻式的土壤采样装置	中国	ZL 2021 2 2639553.X	2022 年 5 月 13 日	16507209	西安理工大学	赵宾华、辛涛、李鹏、王飞超、王倩、寇晓梅、高繁、邓倩茹、高蓓
5	实用新型专利	一种染料生产氧化塘浓缩废水的处理装置	中国	ZL 2015 2 0185681.3	2015 年 9 月 2 日	4590086	西安科技大学	程爱华、党小虎、王铮、赵璐
6	实用新型专利	一种带盖式毕托管	中国	ZL 2021 2 1670236.8	2022 年 2 月 1 日	15686632	西安理工大学	魏炳乾、王鑫淼、赵宾华、魏书妍、史睿琦、辛涛
7	计算机软件著作权	一种林业巡检远程操控无人机系统 V1.0	中国	2020SR0822838	2019 年 9 月 15 日	5701534	国家林业和草原局西北调查规划设计院，西安通飞晟大科技有限公司	
8	论文	Effects of root morphological traits on soil detachment for ten herbaceous species in the Loess Plateau	中国	10.1016/j.scitotenv .2020.142304	2021 年 2 月	Science of the Total Environment	西北农林科技大学	王兵、李盼盼、Chi-Hua Huang、刘国彬、杨艳芬

9	论文	Ecoenzymatic stoichiometry and microbial nutrient limitation during secondary succession of natural grassland on the Loess Plateau, China	中国	10.1016/j.still.2020.104605	2020年6月	Soil and Tillage Research	西安理工大学	肖列、刘国彬、李鹏、李强、薛蕙
10	论文	水足迹视角下黄土高原经济林果扩张的水安全风险分析—以苹果种植为例	中国	10.31497/zrzyxb.20221019	2022年10月	自然资源学报	西安科技大学	田嘉欣、党小虎、杨志、李鹏、曹小曙、樊良新、李霖

## 六、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
党小虎	1	无	教授	西安科技大学	西安科技大学	提出项目的总体思路和研究方案。组织项目实施和总结。完成了生态修复驱动下不同尺度的生态经济耦合机制和模式构建，合作研发了关键技术集成、生态修复驱动下植被-土壤系统变化、土壤侵蚀控制机理、生态系统服务响应以及生态经济体系创新及应用。
肖列	2	无	副教授	西安理工大学	西安理工大学	分析了黄土高原地区生态恢复过程中植被群落结构演变规律，解析了植被恢复对土壤储水量、土壤团聚体组成、土壤养分含量及微生物群落结构的作用，揭示了生态修复作用下植被-土壤系统协同抗侵蚀作用机制，合作集成了流域生态修复和水沙资源化利用技术体系，并协助开展了典型模式示范工作。
艾泽民	3	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	明确了黄土高原地区生态恢复过程中影响植被恢复的驱动因素，揭示了驱动因素对土壤养分含量及微生物群落结构的作用机理，并协助开展了典型模式示范推广工作。
王周	4	处长	教授级高级工程师	国家林业和草原局西北调查规划院	国家林业和草原局西北调查规划院	分析了生态修复过程中土壤水分分布特征及其演变规律，提出了流域植被建设分区方案，参与了项目成果示范建设和推广应用。
杨艳芬	5	无	副研究员	西北农林科技大学	西北农林科技大学	明确了典型退耕植物根系降低土壤分离能力的贡献率，阐明了土壤分离能力随根长密度、生物量密度等形态特征的指数函数关系，揭示了植物根系抗侵蚀的作用机理。
曹小曙	6	主任	教授	陕西师范大学	陕西师范大学	揭示了生态修复驱动下生态-产业协同机制，并参与项目的示范建设规划及推广应用工作。
赵宾华	7	无	讲师	西安理工大学	西安理工大学	分析了典型植被恢复对土壤有机碳含量的影响机制，发展了流域沟道雨洪资源化利用技术体系，协助开展了典型模式示范工作。
王兵	8	副站长	研究员	西北农林科技大学	西北农林科技大学	明确了植物根系对土壤分离能力的影响，揭示了根系形态特征与土壤分离能力的内在关系，阐明了植物根系系统提高土壤抗侵蚀作用的机理。
程爱华	9	无	副教授	西安科技大学	西安科技大学	研发了流域土壤污染治理和质量提升技术，参与了典型模式示范建设和项目成果推广应用工作。
潘磊	10	无	工程师	国家林业和草原局西北调查规划院	国家林业和草原局西北调查规划院	分析了植被恢复过程中土壤水分变化特征，估算了流域土壤水资源承载力，并协助开展了项目典型模式示范建设规划及推广应用工作。

## 七、主要完成单位情况

### 1. 西安科技大学

作为本项目的依托单位，西安科技大学为项目的顺利完成并取得优异成绩做出了重要贡献。西安科技大学是负责项目的总体计划实施单位，在本研究的立项、实施、总结及鉴定等整个过程中，学校均给予了人力、物力和财力的支持，为项目的运转提供后勤保障和资源调配，使得项目能够顺利开展，并积极引导科研成果的转化与推广应用工作，取得良好的效果。主要揭示了生态修复驱动下黄土高原多尺度生态-经济耦合机制，集成了生态修复关键技术，构建了流域生态经济模式，实现了生态经济科技成果落地，创新了黄土高原水土保持型生态经济体系，提出了区域生态经济协调发展调控路径。

### 2. 西安理工大学

作为本项目的主要完成单位，在项目的立项、实施、总结等环节中，学校均给予了人力、物力、财力等多方支持。揭示了生态修复作用下区域侵蚀环境演变特征，明确了关键生态系统服务及其权衡/协同时空变化，集成了流域生态治理和水沙资源化利用技术体系，提出了流域生态经济模式。围绕项目研究成果开展了一系列应用、示范和推广工作，在研究生培养和成果应用方面做出了突出贡献，取得了一定的经济、社会、环境效益。

### 3. 国家林业和草原局西北调查规划院

作为本项目的主要完成单位，国家林业和草原局西北调查规划院为本项目的实施提供了良好的监测服务、技术支持和示范平台，监测了生态修复过程土壤保持和养分固持服务，发展了流域生态修复水土资源化利用技术体系，协助实施生态经济典型模式示范流域建设。

### 4. 西北农林科技大学

作为本项目的主要完成单位，西北农林科技大学为项目的实施提供了必要的科研信息咨询、人员保障、资金、试验基地、仪器设备和设施，田间示范应用等必要条件，为项目的申报、验收、成果材料撰写等多方面提供支持和保障。主要揭示了黄土高原典型退耕植物根系系统提高土壤抗侵蚀作用的机制，明确了植物根系对土壤分离能力的



影响，阐明了根系形态特征和土壤分离能力之间的函数关系。

## 5. 陕西师范大学

作为本项目的主要完成单位，陕西师范大学完成了项目的示范建设规划与引导及成果的转化应用工作，并为项目的申报、验收、成果材料撰写等多方面提供支持和保障。协助完成了生态修复驱动下生态-产业协同机制和小流域生态经济模式。完成了项目成果在陕西省国土空间生态修复规划中的应用。

## 八、完成人合作关系说明

项目实施期间，党小虎教授负责项目主持工作，肖列、艾泽民、王周、杨艳芬、曹小曙、赵宾华、王兵、程爱华、潘磊合作参与项目的研究工作，主要取得成果如下：

1. 第一完成人/1、王兵/8合作完成了代表性知识产权3。
2. 第一完成人/1、程爱华/9合作完成了代表性知识产权5。
3. 第一完成人/1、曹小曙/6合作完成了代表性知识产权10。
4. 杨艳芬/5、王兵/8合作完成了代表性知识产权8。
5. 肖列/2、王周/4、赵宾华/7、潘磊/10合作完成了黄河流域生态用水与林草植被格局优化配置项目。
6. 第一完成人/1、肖列/2、艾泽民/3、曹小曙/6合作共同获得2022年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖。