**2021年度陕西省科学技术奖提名项目公示**

1. **项目名称：**黄土高原生态修复关键技术创新及协同发展模式

**二、提名者及提名意见：**杨凌农业高新技术产业示范区管理委员会

 黄土高原是我国乃至全球水土流失最为严重和生态环境最为脆弱的地区之一，也是我国“两屏三带”生态屏障的重要组成部分。几十年来，国家对黄土高原生态治理高度重视，开展了大量的水土流失防治与生态修复科学研究与治理工作，尤其是1999年以来实施的退耕还林（草）等生态工程取得了显著的成效，植被初步实现了由黄变绿，黄河水沙显著减少，黄土高原的生态治理与经济发展进入了新阶段，并面临新的机遇和挑战。该成果根据黄土高原自然资源禀赋以及经济社会特征，以生态修复机理研究为基础，系统探索了生态修复的关键科学问题，包括植被的水土保持机制、土壤质量恢复机制、植物-土壤-微生物协同机制和生态-经济-社会耦合机制。以此为基础，系统地研发了植被恢复技术、土壤质量提升技术和生态产业高效管理等关键技术。基于山水林田湖草系统治理理念，以流域生态系统服务功能整体提升为目标，在流域和县域两个尺度上构建了生态设计模型和不同类型区生态修复模式。在区域尺度明确了黄土高原资源承载力与产业布局、生态修复格局及生态恢复效应。该成果发表学术论文100篇以上，总被引次数2000次以上，有关模式和技术推广100万亩以上。该成果拓展了生态修复机理研究，为黄土高原水土保持与生态修复、黄河流域高质量发展提供了可推广、可复制的关键技术及示范样板。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

1. **项目简介**

本项目属于生态环境领域，涉及林学、土壤学、水土保持学、生态学等多个学科，在国家科技支撑计划、国家重点基础研究发展计划（973计划课题）、科技基础性工作专项、中科院西部行动计划、国家自然科学基金等国家/省部计划及企事业单位委托项目的支持下，通过定位试验、联网监测、室内分析、模型模拟和试验示范，结合遥感解译、空间分析和生态设计等技术，以黄土高原的生态经济协调发展，生态高质量发展为核心，系统揭示了黄土高原生态修复机理，创新了区域生态修复的关键技术，研发了基于服务功能权衡的流域生态设计模型和不同区域生态修复模式，明确了黄土高原资源承载力与产业布局、生态修复格局及生态恢复效应，取得了如下创新性成果：

**1. 阐明了黄土高原生态修复过程与机理**

（1）阐明了植被修复的固土机制：系统分析了植被恢复过程中根系分布特征及其对土壤结构的影响；明确了根系影响土壤腐殖质、水稳性团聚体特征、土壤入渗能力和土壤抗剪强度的机制；辨析了根系缠绕、固结和强化抗冲性作用的三种方式：网络串连作用、根土粘结作用及根系生物化学作用，并量化了根系特征通过三种方式影响土壤抗冲性变化的贡献；建立了根系强化抗冲性的机制模型。

（2）明确了生态修复过程中的土壤质量恢复机制：量化了黄土高原侵蚀土壤质量退化过程，发现侵蚀土壤质量退化的实质是土壤质地和结构退化；定量刻画了土壤团聚体内部的二维和三维结构，首次发现植被恢复使得土壤团聚体内部微结构从紧密的细孔结构发育到疏松的复杂多孔结构；建立了黄土高原土壤质量评价指标体系、评价模型及评价方法。

（3）发展了植被恢复过程中的植物-土壤-微生物的协同机制：以多尺度、多模式、多过程的耦合机制为研究核心，以生态恢复过程中的土壤微生物结构与功能形成机制为重点，明晰了生态恢复过程中的微生物演变规律，揭示了根际微生物效应的形成机理，探索了植被恢复过程中的植物-土壤-微生物的互馈机制，阐明了未来全球变化背景下植物-土壤-微生物的应对策略和响应机制。

（4）揭示了生态修复过程中的生态-经济-社会耦合机制：从资源禀赋与人类社会利用程度的视角，基于能值思想理解流域及典型区产业与资源环境系统之间的协调性；基于生态足迹思想，剖析了流域“三生空间”的需求-供给平衡状况；基于能值和生态足迹分析明确了流域的人口承载和空间承载的上下限；应用可持续生计框架，阐明了生态修复与人类福祉之间的互馈机制。

**2. 创新了黄土高原生态修复的关键技术**

（1）提出了植被结构改善与多功能提升的技术体系：针对黄土高原地区植被结构不合理和生态功能低等问题，根据近自然经营理念及植被对水土流失阻控机制，研发了典型群落生产力提升与稳定性维持技术、退化植被结构改造与功能提升技术、人工林结构改造与多目标经营技术、流域植被优化配置和生态功能整体提升技术，为黄土高原地区植被恢复提供技术支撑。

（2）发展了生态修复过程中土壤质量提升技术：根据土壤质量演变机理、土壤质量评价模型和障碍诊断，提出了基于土壤恢复力和恢复潜力的土壤质量分区提升技术、基于土壤健康的土壤微生物活化技术、土壤质量障碍诊断与调理技术、土壤质量退化监测与防控技术、土壤质量多因子耦合提升技术，为黄土高原土壤质量改善和功能提升提供了科技支撑。

（3）研发了水资源智慧利用与生态产业高效管理技术：针对干旱缺水的问题，研发了雨水就地拦蓄利用技术、山地自流灌溉及水肥一体化技术、人工经济林水分消耗调控技术，开发了基于合理灌水量和灌水周期的智慧调控技术，提出了人工经济林水分可持续利用技术体系，促进了区域生态产业的高效管理。

**3. 提出了黄土高原不同类型区生态经济模式：**

基于山水林田湖草综合治理理念，以生态修复与经济协调发展为目标，揭示了黄土高原不同类型区植被结构、生态产业、水土保持与生态修复及社会和经济等要素间关系，阐明了典型流域/县域20年生态系统服务价值的时空分异特征，权衡了生态系统服务功能。以此为基础运用土地利用动态模型模拟了生态优先、生态-经济兼顾及经济优先情景下的空间利用格局，提出了不同类型区生态服务价值最优的生态设计，包括宽梁缓坡丘陵区定西模式、梁状丘陵区固原模式、丘陵沟壑区安塞模式及高塬沟壑区长武模式，在此模式下流域/县域生态服务价值可提高45~70%，为黄土高原山水林田综合治理，实现生态修复与经济协同发展提供了有效范式。

**4. 明确了黄土高原区域生态修复格局与效应**

基于土地利用/覆被变化格局分析，应用CLSE模型估算了20多年的黄土高原土壤侵蚀时空变化，结合生态足迹-生态承载力平衡分析，揭示了黄土高原生态安全时空特征及影响因素；应用GIS平台分析了黄土高原种植、养殖和苹果产业产值的空间集聚特征，明确其与水热资源的时空关系；通过能值流分析，揭示了上述产业的生态可持续性时空格局；以产业产值和能值可持续性指数为指标，评价了各产业-生态可持续性协调度，明确了黄土高原上述产业-生态协调发展时空格局，识别了生态可持续的产业发展区，为黄土高原生态修复与生态产业的协同发展提供了科技支撑。

**四、客观评价**

针对黄土高原生态修复与生态产业协同发展的关键问题，从水土保持、植被恢复、土壤质量提升、植物-土壤-微生物协同、生态-经济-社会耦合等几方面揭示了生态系统结构改善与功能提升机制；基于区域资源禀赋，遵循山水林田湖草系统治理理念，提出区域生态修复的植被恢复技术、土壤质量提升技术、水资源智慧利用与生态产业高效管理技术，研发了基于服务功能权衡的流域生态设计模型和不同区域生态修复模式，明确了黄土高原资源承载力与产业布局、生态修复格局及生态恢复效应。

研究成果发表论文100多篇，其中SCI 论文30多篇，被国内外学者他引2000多次，出版专著4部，制定技术规程2项，授权发明专利2件，有关技术和模式推广应用了100万亩以上。研究成果拓展了生态脆弱区生态修复、生态-经济耦合研究领域，推动了恢复生态学科发展，为脆弱生态区山水林田湖草生态修复提供了依据与实体样板，有关技术和模式成为行业和地方生态修复和产业发展规程，呈现出广阔应用前景。

**五、应用情况**

该成果的人工林结构优化及多功能提升技术、水资源智慧利用与生态产业高效管理技术、土壤质量提升技术等多项技术被延安市水务局、吴起县林业局等多家单位推广。项目理论及技术成果先后在流域规划与综合治理、退化生态系统修复、山水林田湖草规划、清洁小流域建设等方面得到应用，实现了黄土高原生态修复和生态系统服务功能稳定提升，取得了显著的社会经济和生态效益，项目研究成果具有广阔的应用前景。

**六、主要知识产权目录和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类 别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 专著 | 中国水土流失防治与生态安全（西北黄土高原区卷） | 中国 | 9787030263117 | 2010年3月 | 科学出版社 | 西北农林科技大学 | 刘国彬，李敏，等. |
| 2 | 论文 | 黄土高原生态工程的生态成效 | 中国 | 10.16418/j.issn.1000-3045.2017.01.002 | 2017年1月20日 | 中国科学院院刊 | 西北农林科技大学 | 刘国彬，上官周平，姚文艺，杨勤科，赵敏娟，党小虎，郭明航，王国梁，王兵 |
| 3 | 论文 | Soil bacterial community dynamics reflect changes in plant community and soil properties during the secondary succession of abandoned farmland in the Loess Plateau | 中国 | 10.1016/j.soilbio.2016.02.013 | 2016年3月2日 | Soil Biology and Biochemistry | 西北农林科技大学 | 张超，刘国彬，薛萐，王国梁 |
| 4 | 论文 | Identification of soil quality factors and indicators for the loess plateau of China | 中国 | 10.1097/01.ss.0000209359.55322.aa | 2006年5月 | Soil Science | 中国科学水利部水土保持研究所 | 许明祥, 赵允格, 刘国彬, Wilson, G.V. |
| 5 | 论文 | The influence of gap creation on the regeneration of Pinus tabuliformis planted forest and its role in the near-natural cultivation strategy for planted forest management | 中国 | 10.1016/j.foreco.2011.04.007 | 2011年5月8日 | Forest Ecology and Management. | 西北农林科技大学 | 王国梁，刘芳 |
| 6 | 论文 | Emergy measures of carrying capacity and sustainability of a target region for an ecological restoration programme: A case study in Loess Hilly Region, China | 中国 | 10.1016/j.jenvman.2012.02.023 | 2012年7月15日 | Journal of Environmental Management | 西安科技大学 | 党小虎，刘国彬 |
| 7 | 论文 | Effects of drip irrigation on deep root distribution, rooting depth, and soil water profile of jujube in a semiarid region  | 中国 | 10.1007/s11104-013-1880-0 | 2013年8月29日 | Plant Soil | 西北农林科技大学 | 马理辉，刘小莉,汪有科，吴普特 |
| 8 | 发明专利 | 一种黄土高原苔藓结皮的快速培育方法 | 中国 | ZL201410586406.2 | 2017年1月25日 |  | 西北农林科技大学 | 卜崇峰，杨永胜，穆兴民，张鹏，叶菁，袁方 |
| 9 | 发明专利 | 一种以保护性整地方式栽培瑞典能源柳的方法 | 中国 | ZL 2010.10149701.3 | 2011年6月8日 |  | 西北农林科技大学 | 张文辉，何景峰，马闯，宋晓珍 |
| 10 | 技术规程 | 宁夏黄土丘陵区山杏高接换种技术规程 | 中国 | DB64/ T535—2016 | 2016年12月28日 |  | 宁夏农林科学院 | 蔡进军、董立国、许浩、马璠、季波、王月玲、郭永忠、韩新生、李娜、陈克斌、马杰、贾生舜、冯潜、张源润 |

**七、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** |
| 刘国彬 | 1 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 负责项目的总体计划实施，包括立项、实施、总结及鉴定，协调、审定各子任务研究进展、数据质量控制、研究结果汇总及成果集成；完成了相关机制研究和示范应用；负责年度报告、结题验收报告的编写。是支撑项目的主持人，专著1、代表论文1、2的第一作者，论文3、4、6的共同作者 |
| 王国梁 | 2 | 研究员 | 中国科学院水利部水土保持研究所 | 开展植被结构调整与功能提升技术研究，揭示植被结构与功能的耦合机制，集成了植被结构调整、稳定性维持及功能提升技术体系，是支撑项目的主要完成人，论文5的第一作者，代表论文5的第一作者，专著1、代表论文2、3的共同作者 |
| 许明祥 | 3 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 系统研究了黄土高原侵蚀土壤质量退化过程，建立了黄土丘陵区土壤质量评价指标体系、评价模型及评价方法，拟订了分级标准，识别出表征侵蚀土壤质量的关键指标，研发出土壤质量提升技术。是支撑项目的主要完成人，代表论文4的第一作者 |
| 张超 | 4 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 开展了基于山水林田湖草综合治理理念，以生态修复与经济协调发展为目标的黄土高原山水林田湖草综合治理的典型生态经济模式研究，模拟了生态优先、生态-经济兼顾及经济优先情景下的空间利用格局，提出黄土高原基于生态服务价值最优的生态设设计。是支撑项目的主要完成人，代表论文3的第一作者 |
| 党小虎 | 5 | 教授 | 西安科技大学 | 估算了黄土高原土壤侵蚀时空变化，揭示了黄土高原生态安全时空特征及其影响因素；分析了黄土高原种植、养殖和苹果三大产业产值的时空分异及空间集聚性特征，揭示了黄土高原三大产业的生态可持续性时空格局，明确了黄土高原产业-生态协调发展时空格局，识别了生态可持续的产业发展区。是支撑项目的主要完成人，代表论文6的第一作者，专著1的共同作者 |
| 马理辉 | 6 | 副研究员 | 中国科学院水利部水土保持研究所 | 制定了以旱作用水技术为主、集雨补灌技术为辅的生态产业高效用水技术应用模式，形成了黄土区主导产业苹果、红枣的滴灌水肥一体化的技术体系，揭示了滴灌调控果树根系分布、缓解果园深层土壤水分消耗、维持人工经济林水分可持续利用的作用和机理。是支撑项目的主要参与人，是代表论文7的第一作者 |
| 蔡进军 | 7 | 研究员 | 宁夏农林科学院 | 开展了黄土梁状丘陵区林草植被体系结构优化及杏产业关键技术研发与示范研究，制定了宁夏黄土丘陵区山杏高接换种技术规程以及青海云杉育苗技术规程。是支撑项目的主要完成人，是代表成果10技术规程的第一完成人。 |
| 王兵 | 8 | 副研究员 | 中国科学院水利部水土保持研究所 | 系统研究了植被恢复强化土壤抗冲性的时空动态特征以及枯落物特征、根系特征、化学元素积累，影响抗冲性土体构型的诸因素在植被演替过程中的变化。提出植物强化土壤抗冲性的三种作用方式，并建立了相应的机制模型。是支撑项目的主要完成人，是代表论文2的共同作者 |
| 卜崇峰 | 9 | 研究员 | 西北农林科技大学 | 协助完成了生态修复的关键技术研究工作，研发出一种利用生物结皮改良土壤质量的方法，是支撑项目的主要完成人，是代表成果8专利的第一完成人 |
| 肖列 | 10 | 副教授 | 西安理工大学 | 协助完成了植被恢复过程中的植物-土壤-微生物的协同机制研究，明晰了生态恢复过程中的微生物演变规律，揭示了根际微生物效应的形成机理，探索了植被恢复过程中的植物-土壤-微生物的互馈机制。是支撑项目的主要完成人。 |
| 张文辉 | 11 | 教授 | 西北农林科技大学 | 完成了植被结构调整与功能提升技术研究，评估了整地方式对土壤质量的影响，揭示了瑞典能源柳结构与功能的耦合机制，研发了一套植被结构调整、稳定性维持及功能提升技术体系，是支撑项目的主持人之一，是代表成果9专利的第一完成人 |

**八、主要完成单位及创新推广贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **单位名称** | **排名** | **主要贡献** |
| 西北农林科技大学 | 1 | 负责项目的总体计划实施，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，揭示了黄土高原生态系统结构改善与功能提升机制，提出区域生态修复的植被恢复技术、土壤质量提升技术、生态产业高效管理技术，研发了基于服务功能权衡的流域生态设计模型和不同区域生态修复模式，明确了黄土高原资源承载力与产业布局、生态修复格局及生态恢复效应。 |
| 中国科学院水利部水土保持研究所 | 2 | 协助完成了黄土高原侵蚀土壤质量退化过程及其驱动因子分析，建立了黄土丘陵区土壤质量评价指标体系、评价模型及评价方法，提出黄土高原土壤质量恢复具有长时序性和滞后性，拟订了分级标准，识别出表征侵蚀土壤质量的关键指标，研发出土壤质量提升技术。 |
| 西安科技大学 | 3  | 估算了黄土高原土壤侵蚀时空变化，揭示了黄土高原生态安全时空特征及其影响因素，分析了黄土高原种植、养殖和苹果三大产业产值的时空分异及空间集聚性特征，揭示了黄土高原三大产业的生态可持续性时空格局，明确了黄土高原产业-生态协调发展时空格局，识别了生态可持续的产业发展区。 |
| 宁夏农林科学院 | 4 | 协助完成了黄土高原不同类型区植被结构、生态产业、水土保持与生态修复及社会和经济等要素间关系分析，制定了梁状丘陵区山杏嫁接及云杉育苗技术规程，为黄土高原山水林田综合治理，实现生态修复与经济协同发展提供了有效范式。 |
| 西安理工大学 | 5 | 以多尺度多模式多过程的耦合机制为研究核心，以生态恢复过程中的土壤微生物结构与功能形成机制为重点，明晰了生态恢复过程中的微生物演变规律，揭示了根际微生物效应的形成机理，探索了植被恢复过程中的植物-土壤-微生物的互馈机制。 |

**九、完成人合作关系情况**

|  |
| --- |
| **完成人合作关系情况表** |
| **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** |
| **1** | 共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著 | 刘国彬、王国梁/第1、第2 | 2006.1. | 2020.12 | 项目结题、代表性论文2、9、10 |
| **2** | 共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著 | 刘国彬、许明祥/第2、第3 | 2007.1 | 2020.12 | 项目结题、代表性论文7、9、10 |
| **3** | 研究任务分担、共同总结成果、论文合著 | 刘国彬、张超/第2、第3、第4 | 2013.7 | 2020.12 | 代表性论文6 |
| **4** | 研究任务分担、共同总结成果、论文合著 | 刘国彬、党小虎/第1、第5 | 2010.1 | 2020.12 | 代表性论文2、8 |
| **5** | 共同总结研究成果 | 王国梁、马理辉/第2、第6 | 2010.7 | 2020.12 | 项目合作 |
| **6** | 共同立项、研究任务分担 | 刘国彬、王国梁、蔡进军/第1、第2、第7 | 2013.1 | 2020.12 | 项目合作 |
| **7** | 共同立项、研究任务分担 | 刘国彬、王兵/第1、第8 | 2013.5 | 2020.12 | 项目合作论文发表 |
| **8** | 研究任务分担、共同总结成果 | 刘国彬、卜崇峰/第1、第9 | 2006.7 | 2020.12 |  项目合作 论文发表 |
| **9** | 项目合作论文合著 | 刘国彬、肖列/第1、第10 | 2012.7 | 2020.12 |  项目合作论文发表 |
| **10** | 研究任务分担、共同总结成果 | 刘国彬、张文辉/第1、第11 | 2008.1. | 2018.1 | 项目合作论文发表 |
| **完成人合作关系说明（限1000字）**本项目完成人及工作单位包括：刘国彬、许明祥、张超、卜崇峰、张文辉（西北农林科技大学），中国科学院水利部水土保持研究所（王国梁、马理辉、王兵），党小虎（西安科技大学），蔡进军（宁夏农林科学院），肖列（西安理工大学）。 西北农林科技大学的刘国彬、许明祥、张超、卜崇峰、张文辉是一个良好的科研团队。在科研项目、论文发表等方面有着密不可分的合作关系，长期以来在生态系统结构改善与功能提升，区域生态修复的植被恢复技术、土壤质量提升技术、生态产业高效管理技术以及流域生态设计模型等方面开展了深入的合作研究。 中国科学院水利部水土保持研究所的王国梁和王兵师从刘国彬研究员，工作后加入刘国彬团队从事科研工作，揭示了植被恢复过程中土壤质量改善和植物-土壤-微生物协同演变机制；提出了区域生态产业高效管理技术，研发了黄土高原不同区域生态修复模式。马理辉与刘国彬研究团队长期开展黄土高原生态修复与生态产业协同发展的合作研究工作。西安科技大学党小虎教授2004年-2007年师从刘国彬研究员，2007年入职西安科技大学至今，与西北农林科技大学刘国彬老师团队在黄土高原生态-经济-社会耦合、资源承载力与产业布局、生态修复格局及生态恢复效应等方面开展了合作，共同在Science of the Total Environment、农业工程学报等国内外学术期刊发表学术论文10余篇。 西安理工大学肖列副教授2010年-2015年师从刘国彬研究员。2015年入职西安理工大学从事教学和科研工作。自2010年至今，肖列与西北农林科技大学刘国彬教授团队在黄土高原植被恢复、土壤质量提升、植物-土壤-微生物协同机制等方面开展了合作，共同在《Soil and Tillage Research》、《Journal of Soils and Sediments》、《应用生态学报》等国内外学术期刊发表学术论文多篇。宁夏农林科学院蔡进军研究员与项目完成单位长期开展黄土高原生态修复与生态产业协同发展的合作研究工作，先后合作了十五国家科技攻关重大项目课题“半干旱退化山区生态农业建设技术研究与示范”，十一五国家科技支撑计划重大项目课题“半干旱黄土丘陵区退化生态系统恢复技术研究与示范”，十二五国家科技支撑重点项目课题“宁南山区脆弱生态系统恢复技术研究”。 |