

2025 年度陕西省科学技术奖提名项目公示内容

一、项目名称

白于山区植被功能重建关键技术创新与应用

二、提名者及提名意见

提名者：榆林市人民政府

提名意见：拟提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

白于山西出六盘山，东抵无定河与大理河交汇处，北临毛乌素沙地，南接子午岭及梁山山脉，主梁东西延伸，主脉东西长 363.77 公里，南北宽 76.89~183.41 公里，海拔约 1270~1907 m，相对高差 300~400 米，是黄土高原北界海拔最高的一座东西走向的黄土山岭，也是洛河、泾河东支马莲河、无定河、延河、清涧河等较大河流的发源地，被认为“长安之生气”，拱卫西安的生态屏障。然而，因为历史上人为持续破坏，于明清时期森林渐渐褪去，最终演变成今天“山穷秃而陡，水恶虎狼吼”的荒凉之地，存在水土流失严重、土地存蓄水肥不均质、造林难、成林难等科学问题。为了解决白于山区植被恢复与重建的瓶颈问题，2020 年陕西省林业局派项目负责人组织开展了白于山区科学考察（《关于启动陕西白于山区科学考察的通知》，2020 年 8 月 6 日），项目组从 2021 年获陕西林科科技创新“揭榜挂帅”专项“白于山区困难立地生态修复技术与示范（SXLK2021-0104）”、榆林市科技计划项目“白于山区节水抗旱造林技术应用与配套研究（YF-2022-11）”、陕西省哲学社会科学研究专项“白于山区生态修复现状评价及提升路径研究（2022HZ1757）”等项目支持，系统开展了科技攻关，取得的主要成果有：

创新点 1：首次基于多源数据进行了白于山区地理范围鉴定与立地类型划分，揭示了白于山区人工林近自然演替规律，阐明了植被恢复与重建的关键限制因子，对重新定义白于山区景观生态格局具有重大意义。

研究结合史料与实地考察，厘清了白于山区植被变迁史，呈现“秦汉森林→唐宋斑块森林→明清疏灌草”的退化轨迹，并通过长期观测发现其植被水平与垂直分布的复杂特征，突破传统区域划分认知，明确人工植被与立地的相关性，为生态规划提供理论支持并解答“能不能造林”的疑问；同时解析出土壤板结致降水入渗难、径流流失严重、水分供需失衡这三大植被恢复限制因子，解释了“陕北水塔”缺水及植被重建困难的原因；还基于多源数据将该区域划分为 3 个立地类型区、18 个立地类型组及 44 个立地类型，为分区治理奠定基础。

创新点 2：首次将无人机飞播造林技术引入白于山区，优选地方造林树种 37 种，创新机械化微地貌改造就地拦蓄降水技术，凝练形成工程、生物、农艺、化学措施相结合的高效植被培育体系，为白于山区困难立地造林提供了新方法。

从白于山区科考发现的 422 个植物种中，筛选出兼具抗逆、乡土等五个优良特性的适生乔灌草 37 种，首次引入樟子松等固沙植物并给出乔灌草最佳搭配，还依据 44 种立地类型筛选多种针阔叶树、灌木及草本，为相关产业提供资源；创新了机械化水平沟、反坡梯田、鱼鳞坑集雨保水整地技术，以及随侵蚀沟建谷坊等就地拦蓄地表径流技术，推广“水窖集水+覆膜滴灌保水+光伏提水”的抗旱造林技术与种植穴微域杂草清盘技术，解决降水存蓄难、水分蒸散快、利用率低的问题，提升了造林成效；首次将无人机飞播造林种草技术引入白于山区，选用多类材料制作 1.5cm 规格树种球，借无人机气动弹射技术实现精准入土发芽生长，同时针对陡急峭坡研发无人机精准投放脱钩

技术，调运造林物资，将人力降为辅助作用，降本增效。

创新点 3：发布白于山区集雨造林标准 3 项，设计了 18 种植被配置模式，重新定义了造林时序与造林方法，提出了利益共同体营林机制变革建议，总结形成 2 种山水林田湖草沙一体化保护和系统治理模式，构建了农林牧复合经营高效生产体系，示范区显示生态效益、经济效益与社会效益显著提升。

提出相对科学的植被配置模式，按白于山区地理分区和“一山四生态系统”特点制定集雨造林标准，通过乔灌草异质斑块混交、适地密植及错落配置多类植被，解决了“造林不见林、小老树”难题，形成可复制推广的创新模式；形成造林及经营管护模式，突破春季造林单一时序，新增多季多方式造林，提出全境封禁与飞播以加速自然修复，创新“利益共同体”营林机制让农民全程参与并分红，调动农民投身生态建设的积极性；针对不同应用场景，总结出“生命共同体”立体治理与“三道防线”水沙调节模式，在区域多地打造了生态富民样板区。

项目成果在 CSCD 核心学术期刊《水土保持研究》《东北林业大学学报》《中南林业科技大学学报》等杂志上发表学术论文 9 篇。制定陕西省地方标准 3 项，获授权实用新型专利 3 项，软著 1 件。撰写的《白于山 8 县区飞播造林规划》纳入国家投资盘子，404 万亩落实投资 8.08 亿元。成果营造试验示范林 3400 亩，推广应用面积达 32 万亩以上，自项目成果应用以来，累计产生直接经济效益 19768.2 万元，累计新增产值 1.98 亿元，实施 30 年累计碳汇交易收益及生态防护间接收益达 48 亿元，带动农民增收，累计创造社会效益 1.34 亿元。

四、客观评价

1. 第三方机构科技成果评价报告

2024 年 11 月 22 日，陕西省林学会组织以陕西省林学会原双进

正高级工程师为主任的 7 人专家组，对“白于山区困难立地植被恢复关键技术与示范”项目成果按照科技成果评价标准和程序进行了评价，给予了一致好评。专家组认为，项目紧密结合实际，技术路线正确，方法科学，数据翔实，结论可靠。在提高白于山区造林成活率关键技术方面有创新，总体达到国内领先水平，具有重要的科学意义和应用价值。

2. 查新报告

2024 年 11 月 13 日，项目组委托科学技术部西南信息中心查新中心（一级科技查新咨询单位）对国内近 40 年来与本项目研究相关的中英文文献报道进行新颖性检索。查新结果认为：

本项目所述的白于山区困难立地生态修复技术与示范,具体内容为“（1）采用遥感监测、野外定位试验与室内样品检测等方法，界定了白于山区地理范围，将白于山划分为北麓漫岗丘陵区（中温带半干旱疏林灌丛草原区）、中部河源梁涧区（中、暖温带过渡带森林草原区）、南麓沟壑区（暖温带亚湿润森林区）三大区域。（2）根据白于山区干旱瘠薄山地内的地貌（海拔、部位、坡向、坡度）、土壤（种类、厚度、容重、酸碱度、肥力状况、侵蚀程度）、植被（植被种类、覆盖度、多样性、水分状况）等因子系统解析了该区域存在的 18 种立地类型，优选了适宜不同立地类型的树种 37 种。（3）通过典型造林试验，编制了适宜白于山区不同立地类型区的反坡梯田、水平沟、鱼鳞坑集雨整地造林技术标准”，在所检文献以及时限范围内，国内未见文献报道。本项目具有新颖性。

3. 其他评价

2020 年 11 月 9 日，陕西省林业局举办了黄河流域生态空间治理专题研讨会，项目负责人以“白于山区生态保护修复”为题，从白于山区自然地理概况、生态保护修复建议等方面，详细阐述了白于山区

生态修复存在的问题及对策。

2023 年 5 月 31 日，榆林市科学技术协会官方公众号榆林科普对项目负责人进行了题为“扎根荒漠 勇毅前行”的专题报道，报道指出，项目负责人啃硬骨头，进军白于山区，在空间治理上拔新领异，为促进白于山区生态空间治理，终结生态退化所引发的恶性循环做出了有益探索和科技创新。

2025 年 4 月 25 日，项目负责人受邀参加国家林草科技大讲堂第 51 期并作题为“毛乌素沙地二次沙化风险及防控关键技术”的报告，报告对白于山区水平沟、反坡梯田、鱼鳞坑等水土保持工程措施就地拦蓄降水，通过坝库塘、谷坊拦截地表径流实现秋冬水春夏用做了详细汇报，产生了广泛的影响。

五、应用情况

项目成果“机械化作业条件下的水平沟、反坡梯田、鱼鳞坑”集雨保水整地技术、随侵蚀构建谷坊、小水坝、水窖、蓄水池为主体的就地拦蓄地表径流技术、推广“水窖集水为基础、覆膜+滴灌保水为关键、光伏提水为保障”的抗旱造林技术，无人机飞播造林种草技术、种植穴微域杂草清盘技术，被横山区林业局、靖边县林业局、定边县林业局、子洲县林业局及中铁一局集团有限公司多家单位推广应用，先后在各市、区、县所属白于山区开展项目成果推广应用，推广面积总 32 万亩。

表 1 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	定边县林业局	运用“针阔混交、灌草搭配、生态优先、兼顾经济”的生态治理模式	白于山区（定边县）6.36 万亩	2021-2023	陈文红 13992227116

2	横山区林业局	应用白于山区适地适树造林技术，结合不同立地树种配置模式	白于山区（横山区）7万亩	2021-2023	庞兴国 13891288839
3	靖边县林业局	应用白于山区困难立地飞播技术及适地适树造林技术	白于山区（靖边县）6.5万亩	2021-2023	高亮 17709122825
4	子洲县林业局	利用反坡梯田、水平沟、鱼鳞坑以及微型谷坊整地造林技术，采用覆膜等辅助措施	白于山区（子洲县）15.6万亩	2021-2023	李航 15909289931
5	中铁一局集团有限公司	利用集雨造林及立体梁峁、坡面、沟道立体综合治理治理模式	白于山区6.6万亩	2021-2023	薛琪 18909121444

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

表 2 主要知识产权和标准规范等目录

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	标准	白于山区集雨造林技术规范第 1 部分：总体要求	中国	DB61/T 1824.1-2024	2024 年 04 月 03 日	陕西省市场监督管理局	陕西省林业科学院	石长春、刘喜东、马雅莉、石孟迪、高荣等
2	标准	白于山区集雨造林技术规范第 2 部分：整地	中国	DB61/T 1824.2-2024	2024 年 04 月 03 日	陕西省市场监督管理局	陕西省林业科学院	石长春、马雅莉、高荣、李荣、刘喜东等
3	标准	白于山区集雨造林技术规范第 3 部分：造林	中国	DB61/T 1824.3-2024	2024 年 04 月 03 日	陕西省市场监督管理局	陕西省林业科学院	石长春、石孟迪、张晨晨、刘喜东、马雅莉等
4	论文	白于山区不同植物群落土壤碳氮磷空间分布及化学计量特征	中国	10.14067/j.cnki.1673-923x.2023.09.012	2023 年 07 月 18 日	中南林业科技大学学报	陕西省林业科学院	马雅莉，高荣，刘喜东，等

5	论文	白于山区不同土层土壤密度的空间异质性	中国	10.13759/j.cnki.dlxb.2023.10.009	2023 年 09 月 19 日	东 北 林 业 大学 学报	陕 西 省 林 业 科 学院	马雅莉, 石长春, 高荣, 等
6	论文	白于山区土壤干燥化对人工林植被恢复 40 年的响应特征	中国	10.13869/j.cnki.rswc.2024.05.022	2024 年 07 月 19 日	水 土 保 持 研究	陕 西 省 林 业 科 学院	马雅莉, 刘喜东, 张立强, 等
7	论文	白于山区典型人工林土壤质量综合评价	中国	10.13759/j.cnki.dlxb.2024.10.011	2024 年 09 月 06 日	东 北 林 业 大学 学报	陕 西 省 林 业 科 学院	刘喜东, 马雅莉, 高荣, 等
8	论文	陕北白于山区草地返青期地形土壤水分与群落结构的关系	中国	10.13989/j.cnki.0517-6611.2009.18.148	2009 年 06 月 20 日	安 徽 农 业 科学	陕 西 省 治 沙 研 究所	周宏斌, 石长春, 李荣, 等
9	实用新型专利	一种林业荒漠化防治用土壤采集装置	中国	CN217084253U	2022 年 07 月 29 日	ZL202220652198.1	陕 西 省 林 业 科 学院	高荣; 邓晶; 高天健; 石长春, 等
10	实用新型专利	一种荒漠沙漠治理沙化河岸防风固沙林带的灌溉装置	中国	CN217308613U	2022 年 08 月 30 日	ZL202220615054.9	陕 西 省 林 业 科 学院	高荣,高天健,石长春,邓晶, 等

七、主要完成人情况

表 3 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
石长春	1	党 委 委员, 副院长	陕 西 省 林 业 科 学院	项目第一完成人, 总体负责项目技术方案设计、技术研发和示范推广工作。在创新点 1, 组织开展了白于山区范围的界定及分区; 在创新点 2, 筛选了适宜在白于山区种植的植物, 在创新点 3, 提出了适合白于山的植被配置模式, 提出生命共同体机制保障。同时在相关成果集成及应用等方面均做出了突出贡献。
马雅莉	2	无	陕 西 省 林 业 科 学院	第二完成人, 在创新点 1、进行白于山实地踏勘, 基于物候、气候、地形等多因子综合分析的白于山区区域划分方法, 对白于山进行区划, 在创新点 2, 完成白于山土壤、植被、生境因子分析, 解析植被恢复限制因子, 为白于山生态修复及重建提供理论依据。

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
刘喜东	3	副所长	陕西省林业科学院	第三完成人，参与不同集雨造林模式的设计与实施，筛选与其适配的植被配置模式；主导无人机播种、种球弹射的研发及调试，多次和团队改进改良投苗、投射设备。
高荣	4	所长	陕西省林业科学院	第四完成人，从历史人文角度考证参与白于山区范围的界定，对白于山区立地类型进行划分，根据立地类型合理选择适生树种，形成乔灌、乔灌草等稳定配置模式
乔江波	5	无	西北农林科技大学	参与了项目实施、验收、成果评价，合作完成了白于山区典型人工林土壤质量综合评价、确定白于山区典型人工林的土壤干燥化特征，为白于山区人工林的合理选择和可持续发展提供理论依据。
张锡唐	6	无	陕西省林业科学院	设计研究了不同集雨措施下在白于山区区引进不同针叶树种的存活生长发育影响，丰富了白于山区区可造林树种种类，明确了集雨造林措施，发表论文 1 篇。对白于山区植被变化规律及集雨造林模式均有贡献。
石孟迪	7	无	陕西省林业科学院	通过现场踏查，结合植被、土壤因子，参与了白于山区立地类型的划分，参与了白于山区不同微地貌改造方式，筛选出适合白于山生长的植物种。
牛小霞	8	无	定边县林业工作站	参与本项目实地调查与作业实施，并根据当地物候和气象条件，提出树种选择及整地造林的相关建议，得到认可并实施。
高东治	9	无	陕西省林业科学院	参与无人机播种、弹射种球及苗木飞播的研发及调试，多次和团队改进改良投苗、投射设备，取得一定的成效。多次参与本项目实地调查与作业实施，并提出更为科学合理的建议，得到认可及实施。
李剑	10	办公室主任	陕西省林业科学院	参与了项目总结、验收、成果评价，合作完成推广北麓漫岗丘陵区封山禁牧条件下的“生命共同体”立体治理模式、中部河源梁涧区和南麓沟壑区小流域“三道防线”水沙调节模式及构建农林牧复合高效经营生产体系。

八、主要完成单位及创新推广贡献

表 4 主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	排名	主要贡献
陕西省林业科学院	1	作为项目第一完成单位,对项目的实施给予试验条件、设施、经费、人力、物资等方面的保障河支持。同时,全面负责项目的设计、立项、分工、实施和成果鉴定,包括计划制定、实施、总结等的跟踪督促、检查,保证项目顺利实施和目标的全面完成。在本项目中,重点开展了白于山区困难立地植被恢复和重建技术研究,首次明确了白于山区地理界线并进行了立地类型划分,厘清了植被变化规律,解析了白于山区植被恢复关键的 3 大限制因子,筛选了 37 种优良特性的适生树草种,应用了集雨整地、微地貌改造、抗旱节水保墒和无人机飞播造林技术,创建了白于山区不同立地植被配置模式,形成了生命共同体立体系统治理模式,推广应用面积 32 万亩。
西北农林科技大学	2	西北农林科技大学作为项目参与单位,为本项目白于山区生态修复限制因子研究提供了重要支撑,并对项目其他内容进行了指导。
定边县林业工作站	3	为本项目的示范区建设和成果应用做出了重要贡献

九、完成人合作关系说明

本项目完成人及完成单位包括：石长春、马雅莉、刘喜东、高荣、乔江波（西北农林科技大学）、张锡唐、石孟迪、牛小霞（定边县林业工作站）、高东治、李剑。

陕西省林业科学院的石长春正高级工程师、马雅莉工程师、刘喜东高级工程师、高荣高级工程师、张锡唐工程师、石孟迪工程师、高东治助理工程师、李剑高级工程师均为本项目实施人员，是一个良好的科研团队。在科研项目、论文发表、计算机软件著作权、专利授权等方面有着密不可分的关系。长期以来在白于山植被恢复重建关键技

术方案撰写、项目内容研究与设计、项目实施、成果应用及推广示范等方面做出了重要贡献。

西北农林科技大学乔江波教授从 2020 年开始合作，在白于山区困难立地生态修复、陕西黄河流域一级支流入口段生态保护治理监测评价、陕北地区退化生态系统治理与修复植物配置模式研究等项目深度合作，本项中在白于山区生态修复限制因子研究、微地貌修复等方面合作研究，共同发表论文，并在该项科技成果的形成过程中做出了重要贡献。

定边县林业工作站牛小霞从 2010 年开始合作，其在本项目科技成果的应用推广示范做出了重要贡献。

表 5 完成人合作关系情况汇总表

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	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 乔江波/5 李剑/10	2020.6	2023.7	白于山区不同植物群落土壤碳氮磷空间分布及化学计量特征	其他附件
2	论文合著	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 乔江波/5, 张锡唐/6, 李剑/10	2020.6	2023.9	白于山区不同土层土壤密度的空间异质性	其他附件
3	论文合著	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 乔江波/5, 高东治/9	2020.6	2024.7	白于山区土壤干燥化对人工林植被恢复 40 年的响应特征	其他附件
4	论文合著	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 乔江波/5 石孟迪/7, 高东治/9	2020.6	2024.9	白于山区典型人工林土壤质量综合评价	其他附件

5	论文合著	石长春/1, 高荣/4,	2008.6	2009.6	陕北白于山区草地返青期地形土壤水分与群落结构的关系	其他附件
6	论文合著	牛小霞/8	2016.5	2017.5	定边县白于山区经济林发展现状及发展规划调查报告	其他附件
7	标准	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 乔江波/5, 张锡唐/6, 石孟迪/7, 高东治/9	2020.6	2024.4	白于山区集雨造林技术规范 第1部分: 总体要求	附件 1-1
8	标准	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 乔江波/5, 石孟迪/7, 牛小霞/8, 高东治/9	2020.6	2024.4	白于山区集雨造林技术规范 第2部分: 整地	附件 1-2
9	标准	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 乔江波/5, 石孟迪/7, 高东治/9	2020.6	2024.4	白于山区集雨造林技术规范 第3部分: 造林	附件 1-3
10	知识产权	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 李剑/10	2020.6	2022.7	一种林业荒漠化防治用土壤采集装置	附件 1-15
11	知识产权	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 高东治/9, 李剑/10	2020.6	2022.8	一种荒漠沙漠治理沙化河岸防风固沙林带的灌溉装置	其他附件
12	知识产权	石长春/1, 马雅莉/2, 刘喜东/3, 高荣/4, 张锡唐/6, 李剑/10	2020.6	2023.5	白于山区飞播造林工程实施监测管理系统 V1.0	其他附件 6