

“三北”等重点区域森林草原保护修复利用重点专项

2026 年度项目申报指南

(征求意见稿)

1.抗逆优质乔灌草品种创制

1.1 主要林木生长抗逆重要性状高效远缘杂交关键技术

研究内容：研究主要林木授粉识别、雌雄配子不亲和障碍的形成机制及其遗传基础，挖掘控制自交不亲和与远缘杂交障碍的关键基因位点及核心调控因子，研发多基因位点遗传壁垒靶向敲除技术；研究雌雄蕊识别信号通路及靶向小分子调节剂，研发打破杂交不亲和的精准化学干预技术；研究环境信号对亲和性关键因子的精细调控网络，研发环境信号精细调控远缘杂交障碍精准消减关键技术；研究远缘杂交亲本体细胞胚再生与配子体细胞融合阻滞机制，构建原生质体融合介导的重编程体系，建立体细胞工程远缘杂交障碍破除技术；筛选目标性状优异育种亲本，精准创制生长、抗逆等性状显著改良新种质。

考核指标：挖掘主要林木生长抗逆重要性状远缘杂交优势形成关键基因和调控模块 5 个；研发遗传壁垒靶向敲除、雌雄蕊识别信号精准化学干预调控、多环境信号调控精准消减、体细胞重编程破除等克服林木自交不亲和、远缘杂交障碍新技术 5 项，杂交成功率提高 2 倍以上；创制生长、抗逆等重要性状显著改良新材料 50 份，生长量提高 10%，抗旱、耐盐碱等抗逆性提高 15%，主要林木中度干旱胁迫下苗木成活率不低于

80%、生长抗旱系数不低于 0.7，耐盐性阈值提高至 0.3%—0.5%。

关键词：主要林木，远缘杂交障碍，自交不亲和，高效调控

1.2 “三北”地区抗风耐旱耐盐碱乔木树种新品种创制

研究内容：以沙地杨柳、榆树、樟子松、泡桐、云杉、落叶松、油松等“三北”地区主要抗风耐旱乡土乔木为对象，研究抗风、耐旱、耐寒、抗虫、耐盐碱等关键性状遗传结构变异与遗传效应，发掘功能分子标记；研发多立地多逆境条件下性状连续动态高通量观测技术，构建抗逆性状多环境智能鉴定与早期精准选择技术；研发多优异性状定向聚合技术，创制聚合多优良抗逆性状新种质；建立“人工智能+”精准育种技术体系，高效选育抗风、耐旱、耐盐碱等抗逆性强、水分养分资源高效利用、低致敏性新品种。

考核指标：建立“三北”地区主要乡土乔木树种多环境多性状智能选择等“人工智能+”精准育种关键技术体系 5 套，选育准确率由 70%提高至 80%，缩短育种周期 1/4，平均缩减 3—5 年；创制重要性状优异新种质 500 份以上，其中抗风和耐旱新种质 100 份、耐盐碱新种质 200 份、抗虫新种质 100 份、耐寒新种质 80 份、低致敏性新种质 20 份以上；培育出具有重大应用场景的突破性抗逆新品种 10 个以上，抗风、耐旱、耐寒、抗虫能力、水分利用效率提高 15%，优质木材产量提高 10%，其中抗风品种苗木风害率降至 12%以下，耐旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、生长抗旱系数不低于 0.7，耐寒品种苗木半致死温度降低 3—5℃，抗虫品种虫害指数降

至 17% 以下，耐盐碱品种耐盐性阈值提高至 0.3%—0.5%；繁育优质种苗 250 万株。

关键词：乡土乔木，抗逆性状，人工智能育种，突破性品种

1.3 北方及青藏高原区耐旱耐寒珍贵树种新品种创制

研究内容：以水曲柳、栎树、桦树、楸树、椿树、柏木等北方和青藏高原地区典型抗逆优质珍贵乔木树种为对象，聚焦抗旱、耐寒、耐瘠薄、功能菌群高效招募、黄心材等目标性状，构建多性状优异育种群体；解析多性状遗传调控网络与连锁规律，挖掘调控黄心材形成、寒旱响应、菌根共生等核心功能元件，鉴定多性状连锁功能标记；开发多目标性状协同预测模型，建立基因组数据驱动的智能选择与多性状靶向聚合技术，创制优异抗逆新种质；构建主要珍贵树种“人工智能+”育种技术体系，高效选育耐旱、耐寒等抗逆性强、优质、水分养分资源高效利用新品种。

考核指标：建立北方及青藏高原区主要珍贵乔木树种材性、抗逆性状多维聚合与智能选择等“人工智能+”精准育种关键技术体系 5 套，性状选育准确率由 70% 提高至 80%，缩短育种周期 1/4，平均缩减 3—5 年；创制抗逆、品质等重要性状优异新种质 300 份以上，其中抗旱新种质 120 份、耐寒新种质 80 份、耐瘠薄新种质 80 份、黄心材新种质 20 份以上；培育出具有重大应用场景的突破性抗逆高产优质新品种 10 个以上，优质木材产量提高 10%，抗旱、耐寒、耐瘠薄、水分养分利用效率提高 15%，其中抗旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、生长抗旱系数不低于 0.7，耐寒品种苗木半致死

温度降低 3—5℃，耐瘠薄品种氮素利用率提高 15%；繁育优质种苗 250 万株以上。

关键词：珍贵树种，抗逆优质性状，智能精准育种，品种创制

1.4 优质代塑竹子新品种创制

研究内容：研究竹子优异种质资源的形成演化，挖掘关键性状优异等位基因遗传效应和育种价值，建立优异性状遗传稳定性维持技术；研发室内可控环境多维性状、野外多尺度表型智能监测以及高通量分子芯片技术，建立竹子种质资源高精度鉴定技术体系；研发竹子高精度基因分型技术，构建竹子基因组大数据选择育种和深度学习预测模型；研发竹子材性、抗性目标性状精准解析技术，构建复杂性状智慧设计育种技术体系；研发代塑等关键性状多基因聚合、高效遗传转化等技术，创制代塑、产量等重要性状优异新种质和新品种；研究决定和调控地被竹干细胞命运的网络与关键物质，建立竹子良种干细胞高效智能繁育技术。

考核指标：发掘与竹子生长、抗逆、材性等关键性状相关重大育种价值等位基因 5 个，建立重要竹子种质资源高通量鉴定技术 3 项以上，精度由 75%提升至 85%；研发竹子生长、材性等复杂性状智慧设计育种技术体系 2 套，构建高密度分子标记辅助选育芯片 4 个，性状预测准确率由 80%提高至 90%；建立竹子“人工智能+”精准育种技术体系，性状选育准确率由 70%提高至 80%；创制性状优异新种质 100 份，培育高产优质代塑突破性新品种 5 个以上，竹纤维含量和单位面积产量提高 10%以上，分别提高至 40%和 3.5 吨/亩·年；建立地被竹

体胚干细胞增殖关键技术 2 项，体胚发生同步化率提高至 60%；繁育优质竹种苗 500 万株。

关键词：竹子，代塑性状，突破性品种创制，优质种苗繁育

1.5 干旱荒漠区耐旱耐盐碱灌木新品种创制

研究内容：以白刺、梭梭、扁桃、柠条、怪柳等干旱荒漠区耐旱耐盐碱固沙灌木为对象，解析根、茎、叶等器官形态、解剖结构及关键生理生化特征与抗逆性关系，研发抗逆育种资源群体早期选择技术，挖掘耐极端逆境核心种质；研发多环境条件下抗逆功能、结构性状高通量表型精准评价技术，发掘抗逆关联 **SNP** 位点，建立基因型规模化鉴定技术；研发抗逆多目标性状靶向聚合、抗逆与生长协同改良等关键技术，创制抗逆等多性状优异新种质；研发干旱荒漠区不同生态区目标性状适应性综合评价关键技术，构建典型乡土灌木高效育种技术体系，培育适于“三北”干旱荒漠区的耐旱耐盐碱强适应性灌木新品种。

考核指标：建立干旱荒漠区典型乡土灌木树种关键抗逆形态结构表型与分子标记联合选择等高效育种关键技术体系 5 套，性状选育准确率由 60%提高至 70%；构建核心育种群体 5 个，挖掘骨干育种亲本 10 个；创制抗逆等重要性状优异新种质 150 份，其中抗旱新种质 90 份、耐盐碱新种质 30 份、抗寒新种质 30 份；培育出适用于干旱荒漠区突破性抗逆强适应型灌木新品种 5 个，抗旱、抗寒、耐盐碱能力及水分养分资源利用效率提高 15%，其中耐旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 85%、生长抗旱系数不低于 0.75，抗寒品种造林越冬死亡

率降至 10%以下，耐盐碱品种耐盐性阈值提高至 0.4%—0.6%；繁育优质种苗 500 万株以上。

关键词：干旱荒漠区，乡土灌木，高效育种，抗逆强适性品种

1.6 半干旱区抗旱耐瘠薄灌木新品种创制

研究内容：以文冠果、沙棘、山杏、沙柳、砂生槐等“三北”和青藏高原半干旱区域抗旱耐瘠薄乡土灌木树种为对象，研发抗旱、耐盐碱、耐瘠薄等抗逆性状多维度表型智能识别技术，构建多场景高通量表型精准评价技术体系；挖掘与抗逆性状紧密关联基因组标记位点，建立高精度基因型鉴定技术；整合种质遗传与多环境表型数据，研发抗逆性与生长量等性状协同改良技术，创制多优异性状聚合新种质；研发分生态区抗逆等目标性状适应性智能综合评价关键技术，构建精准高效育种技术体系，培育适用于“三北”和青藏高原半干旱区困难立地绿化和生态修复的抗旱耐盐碱耐瘠薄强适应性灌木新品种。

考核指标：建立半干旱区典型乡土灌木树种多抗性状精准鉴定、抗逆与产量性状协同改良、目标性状适应性智能评价等高效育种关键技术体系 5 套，性状选育准确率由 60%提高至 70%；构建核心育种群体 5 个，挖掘骨干育种亲本 10 个；创制抗逆等重要性状优异新种质 150 份以上；培育出适用于半干旱区重大场景的突破性抗逆强适应型灌木新品种 5 个以上，耐旱、耐盐碱能力以及水分、养分资源利用效率提高 15%，其中耐旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、生长抗旱系数不低于 0.7，耐盐碱品种耐盐性阈值提高至 0.4%—0.6%，耐

瘠薄品种氮素利用率提高 15%；繁育优质种苗 500 万株以上。

关键词：半干旱区，乡土灌木，高效育种，抗旱耐瘠薄品种

1.7 半干旱区耐旱耐盐碱草种新品种创制

研究内容：以黄土高原、青藏高原和内蒙古高原半干旱区的主要生态保护修复用野牛草、中华羊茅、早熟禾、无芒雀麦、油莎草和黄花苜蓿为对象，研究耐旱、耐盐碱、种子产量等多性状高通量精准评价鉴定技术，系统筛选优异育种亲本种质；突破精准花期调控与控制授粉杂交、无基因型依赖性高效遗传转化、耐旱耐盐碱基因靶向修饰与多基因聚合等关键技术，创制耐旱、耐盐碱等目标性状突破性改良新种质；研发多环境下抗逆性状表型与分子联合早期选择、高通量基因芯片等关键技术，构建半干旱区主要生态草种精准高效育种技术体系，培育适用于我国半干旱区生态保护修复的抗逆优质生态草新品种。

考核指标：建立半干旱区主要生态草种多环境关键抗逆性状精准鉴定、表型性状与分子标记联合智能选择等“人工智能+”精准育种关键技术 5 项以上，核心技术获授权发明专利 4 件以上，性状选育准确率由 70%提高至 80%以上；创制抗逆、产量等重要性状优异生态草种新种质 150 份以上；培育出具有重大应用场景的突破性抗逆生态草新品种 5 个以上，耐旱、耐盐碱能力以及水分、养分资源利用效率提高 15%以上，种子单位面积产量提高 15%，其中耐旱新品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、生长抗旱系数不低于 0.7，耐盐碱品种耐盐性阈值提高至 0.3%—0.5%；建立优良草种繁育基地 500 亩以上。

关键词：半干旱区，生态草，精准高效育种，突破性抗逆品种

1.8 工业原料树种高抗功能性新品种创制

研究内容：以银杏、杜仲、木姜子、油桐、无患子、漆树等主要工业原料树种为对象，融合自主进化育种智能体技术，深入解析干旱、病害等逆境下萜内酯、杜仲橡胶、芳香油、桐酸、皂苷、漆酚等特色工业原料用代谢物合成积累协同调控网络，挖掘关键基因位点和结构变异；开发品质与抗逆协同预测模型，建立基于图泛基因组多态性节点等多组学数据与深度学习融合的品质性状高精度预测和基因组智能选择技术，实现育种策略动态优化；研发基因组靶向编辑、亲本智能配置等技术，形成“设计-编辑-筛选-评价”智能闭环，创制品质、抗逆等重要性状优异新种质；研发多目标性状分区适应性智能评价技术，构建“人工智能+”精准育种关键技术体系，推动向“智能体+”自主育种升级，培育高抗优质特色工业原料成分高产的突破性新品种。

考核指标：建立融合自主进化育种智能体的主要工业原料树种功能性成分性状早期精准筛选与智能预测、多性状协同选择与定向创制等“人工智能+”精准育种关键技术体系 4 套，实现“智能体+”自主育种，性状选育准确率由 70%提高至 80%，育种周期缩短 1/4；创制抗逆、产量等重要性状优异新种质 240 份以上；培育出具有重大应用场景的突破性抗逆优质新品种 8 个以上，抗旱、耐寒能力及水分、养分资源利用效率提高 15%，萜内酯、杜仲橡胶、芳香油、桐酸、皂苷、漆酚等特色工业原料用代谢物单位面积产量提高 10%，其中抗旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、生长抗旱系数不低于 0.7，抗寒

品种苗木半致死温度降低 3—5℃，抗病品种植株发病率降低 15%；繁育优质种苗 200 万株以上。

关键词：工业原料树种，智能精准育种，高抗功能性新品种

1.9 木本彩化植物抗逆观赏型新品种创制

研究内容：以牡丹、彩叶栎、槭树和山茶花等重要彩化树种为对象，研发目标性状数字化图像识别的高通量表型精准鉴定技术，高效筛选优异育种亲本；挖掘低温应答、叶色转变、花期调控、抗旱耐涝等关键基因，开发高密度 SNP 标记，建立融合全基因组选择与机器学习的多性状表型和分子联合选择技术；研发多优良性状定向聚合、分子标记辅助设计等技术，创制观赏、抗逆等重要性状优异新种质；研发多性状多点区域适应性智能评价技术，构建重要彩化树种“人工智能+”精准育种关键技术体系，创制抗逆高效高观赏性低致敏彩化树种新品种。

考核指标：建立牡丹、彩叶栎、槭树、山茶花等重要彩化树种目标性状早期精准预测与评价、表型与分子智能选择等“人工智能+”精准育种关键技术体系 4 套，性状选育准确率由 70%提高至 80%，育种周期缩短 1/4；创制观赏、抗逆等重要性状优异新种质 240 份以上；培育具有重大应用场景的突破性抗逆优质新品种 8 个以上，抗旱、耐寒、耐水湿能力提高 15%，其中抗旱品种中度干旱胁迫下苗木成活率不低于 80%、主要观赏性状保持率不低于 70%，耐寒品种半致死温度降低 2—3℃，耐水湿新品种淹水条件下存活率提高 20%，观赏型品种彩叶期增加 15 天以上、年累计开花天数增加 1 倍；繁育优

质种苗 200 万株以上。

关键词：木本彩化植物，智能精准育种，抗逆观赏型新品种

1.10 乡土草种高效制种技术

研究内容：研究灌溉、施肥、密度、化控对乡土草种子产量的调控效应，研发水肥一体化精准管控、无人机多光谱遥感长势监测与产量预测等技术，建立高产稳产精准调控技术体系；确定清选、分级、干燥等工艺窗口，研发机器视觉融合近红外光谱种子质量实时检测模块，研制智能辅助加工装置，形成全流程智能集约化生产技术体系；明确多年生草种芽活力维持最优农艺措施，研发水肥定向调控耦合促萌芽活力维持技术，建立无性芽活力维持与群体再生调控技术体系；研究物理、化学及纳米载体辅助对萌发速率、发芽势影响，研发种子水分精准调控与氧气供应优化定向促萌技术，研制小型化种子引发处理装置，构建活力评价技术，建立定向促萌与活力增强技术体系。

考核指标：开发生态草关键生育期水肥精准调控、群体结构与产量构成智能优化、种子质量全程精准管控等“人工智能+”工程化繁育技术体系 5 套，繁育效率由 75%提高至 85%；研制智能分选、包衣加工、无损检测等草种高效繁育与智能加工装置 3 种，感知精度由不足 80%提高至 90%；建立优质草种繁育基地 5000 亩，符合“三北”工程、草原生态修复等重大场景应用要求的种子单位面积年产量提高 20%，每亩年产量达 24—36 kg。

关键词：生态草品种，高效制种，工程化繁育，优质种子

1.11 乔灌草复杂性状智慧设计育种关键技术(青年科学家项目)

研究内容：以重要乔木、灌木和生态草为对象，耦合关键物候期与光温水肥等时序环境信息，研发基因组大数据可解释深度学习预测模型，开发多性状跨环境动态遗传分析模型与高效算法，量化加性、非加性及基因—环境互作效应的时序变化，挖掘与育种目标性状显著关联重要基因组区域和候选基因，建立融合动态遗传效应的复杂性状基因组精准智慧选择模型。

考核指标：研发融合多源环境信息的可解释深度学习预测模型、多性状跨环境动态遗传分析模型及融合动态遗传效应的基因组选择模型等复杂性状智慧设计育种关键技术，乔木、灌木、生态草各 1 套以上，在不少于 3 个代表性目标性状中，独立测试群体性状选育准确率乔木和生态草由 70%提高至 80%以上、灌木由 60%提高至 70%以上，模型训练与预测计算效率提升 5 倍以上；核心技术获授权发明专利，乔木、灌木、生态草各 1 件以上。

关键词：乔灌草，复杂性状，多性状跨环境，智慧选择

2.生态保护防护共性技术

2.1 气候变化背景下典型原生生态系统保育与功能完整性维持关键技术

研究内容：以提升原生生态系统多样性、稳定性、韧性和持续性为目标，构建原生生态系统质量综合监测与评价技术体系；研究典型森林、草原、湿地、荒漠生态系统结构与功能特征，判别导致原生生态系统受损的自然和人为驱动因素，建立

气候变化背景下的原生生态系统退化脆弱性预警模型；研发基于生态韧性提升的原生生态系统功能完整性维持关键技术；攻克国家公园等自然保护地受损生态系统原真性恢复与重建技术，构建适应未来气候变化的国家公园等自然保护地生态系统保育、功能完整性维持技术体系，强化原生生态系统整体保护与系统修复。

考核指标：建立原生生态系统本底特征基准参数库，参数准确率达 95%，参数库标准化率达 90%。构建原生生态系统质量综合监测与评价指标体系，监测精度提升 10%以上，监测评估效率提升 30%，成本减少 20%。构建原生生态系统退化脆弱性预警模型 4 个，预警识别精度不低于 85%。研发原生生态系统功能完整性维持关键技术 2 项，生态系统功能完整性较原有生态系统提升 20%以上。研建国家公园等自然保护地中受损生态系统原真性恢复与重建技术 5 项，恢复后的原真性指数达到原生生态系统的 80%。编制气候变化背景下国家公园等自然保护地生态系统保育与功能完整性维持策略指南，应用至 2 个以上国家公园等自然保护地。制定标准 2 项。

关键词：原生生态系统，原真性恢复，功能完整性维持，国家公园

2.2 气候变化背景下生物多样性长时序动态监测与适应性保护技术

研究内容：以卫星遥感、无人机、红外相机、声学传感器、物种/环境 DNA 多源异构监测数据为对象，整合多源遥感、物联网及人类活动数据，识别气候变化与人为压力复合影响，构

建退化诊断与风险预警模型,研发气候变化背景下生物多样性多源长时序监测体系一体化融合技术;以全国自然保护区、生态保护红线等重要生态空间监测业务体系为对象,研建极端气候下生物多样性动态监测平台构建技术;依托长期野外生物多样性监测数据,研究森林、湿地、草原动植物群落生物多样性退化响应及稳定阈值识别技术;构建生物多样性自适应调控与差异化维持技术;建立生物多样性提升与气候适应性协同保护技术。

考核指标:研发生物多样性气候变化敏感区和分布区动态评估模型 2 套,栖息地敏感区预测精度和物种种群生存力预测精度达到 90%;选择 5—8 个连续监测时间 10 年以上的长期生物多样性监测站点,建立气候变化背景下生物多样性智能监测与风险预警技术体系,形成长期监测数据集、气候变化影响评估报告;研发生物多样性退化响应及稳定阈值识别、自适应调控与差异化维持技术 3 项,群落稳定临界阈值识别准确率达到 95%,代表种群存活率提升 20%;形成依托智能传感器等成熟设备的多源监测技术体系;提出国家尺度适应气候变化的生物多样性保护空间规划技术、规划方案,形成应对极端气候事件的生物多样性适应性保护技术。

关键词:气候变化,生物多样性,长时序动态监测,适应性保护

2.3 旗舰动物适应性保护和栖息地质量提升技术

研究内容:以国家公园及候选区典型旗舰动物野骆驼、蒙古野驴、雪豹、亚洲象、东北虎等为主要对象,研发旗舰动物

与同域动物多营养级网络稳定性维持与修复技术；研究气候变化背景下旗舰动物栖息地退化精准评估技术，甄别栖息地脆弱区域与气候庇护所；研究干旱和冰冻等极端气候事件对旗舰动物栖息地、食物资源及种群动态的胁迫风险与影响，建立气候变化下旗舰动物适应性保护技术；构建多物种栖息地生态连通性评价模型，研发生态廊道空间优化技术；研发气候友好型旗舰动物保护景观构建、人兽冲突缓解和栖息地质量提升技术。

考核指标：建立旗舰动物物种群落-栖息地网络模型和退化栖息地评估模型 2 套，旗舰动物栖息地优先保护区域识别准确率达到 90%，退化栖息地识别准确率高于 85%；建立旗舰动物适应性保护、生态廊道优化、食物网修复等栖息地质量提升技术 5 项，试验区总面积 5000 公顷，气候胁迫下的人兽冲突风险预警准确率达到 85%，多物种栖息地生态连通性评价模型准确率达到 85%，目标物种栖息地利用率提升 20%。

关键词：旗舰动物，适应性保护，极端气候

2.4 珍稀濒危植物迁地与野外回归生境适应性快速提升技术

研究内容：以银杉、崖柏、坡垒、舟山新木姜子、大果青杆等国家重点保护珍稀濒危植物为研究对象，基于遗传变异特征建立适应性形成与丧失过程追溯技术，研发种群生境适应性弱的限制性因素筛选技术；整合多源调查监测数据，利用物种分布模型和气候大数据平台构建适宜生境智能判别技术；研发濒危程度减缓与微生境调控技术，构建通过人工繁育或野外天然更新与适应性提升的人工辅助更新技术；筛选核心种质资源，构建涵盖物种的遗传独特性和遗传完整性的迁地保护网

络；构建濒危植物迁地生境重构技术，研发适应性快速提升技术，依托人工繁育建立多功能迁地保护创新应用技术；筛选适宜回归位点并研发回归生境修复技术，建立加快回归种群在野外群落中生态位或适合度恢复的种群复壮技术，构建野外回归成效评估综合体系与方法。

考核指标：就地保护、迁地保护或回归珍稀濒危植物 20 种以上，种群数量提升 20%；种群续存限制因素甄别技术 1 项，种群续存限制因子筛选解释比例提高 70%以上；生境适应性诊断技术 1 项，诊断参数不低于 7 个；适宜生境智能判别技术 1 项，提取精度超过 80%，识别范围超过 20 km；生境修复与重构技术 5 项，原生生境恢复程度达到 25%，幼苗保存率达到 60%，幼苗生长速度提高 20%；保护成效评估技术 1 项，关键评估参数不少于 8 个；国家植物园迁地保护资源创新利用模式 1 套，迁地种群遗传覆盖度和地理覆盖度超过 70%。

关键词：珍稀濒危植物，迁地与野外回归，生境适应性

2.5 气候变化下天然林病虫害预报预警与防控技术

研究内容：研究气候变化下天山、贺兰山、祁连山、长白山地区天然云杉林和松林钻蛀性害虫及非侵染性病害危害特征与演变规律，揭示上述病虫害暴发成灾与气候因子、环境因素、寄主植物以及天敌网络互作关系；研发基于多源信号、智能传感器和分子标识的病虫害早期快速检测 and 智能识别技术；攻关无人机低空遥感自主巡检与协同监测技术，突破天然林受害木精准定位、病虫害时空动态监测与灾情损失评估等关键技术；研发气候变化下分别适用于天山、贺兰山、祁连山、长白

山天然林有害生物智能感知监测预警与绿色长效调控技术。

考核指标：构建天山、贺兰山、祁连山、长白山天然林钻蛀性害虫预警防治一体化数字化智能传感技术体系各 1 套，对暴露性害虫快速识别准确率达 90%，早期检测准确率达 90%，隐蔽性钻蛀害虫早期现场快捷检测技术准确率达 80%；形成天然林病虫害无人机低空遥感自主巡检与协同监测技术 1 项，受害木定位准确率 $\geq 90\%$ ，灾情损失评估准确率 $\geq 85\%$ 。创制用于以上地区天然林钻蛀性害虫绿色新型防控产品 4 种，构建或迭代以上地区天然林有害生物绿色综合防控技术体系 3 套，其中生物防治技术应用比例不低于 50%，在病虫害发生区建立试验区 3000 亩，在试验区实现有病虫不成灾，对靶标有害生物的预防效果达 90%。

关键词：气候变化，天然林，钻蛀性害虫，非侵染性病害，预报预警，绿色防控

2.6 林业重大害虫绿色防控关键技术与产品创制

研究内容：针对我国重要生态区暴发成灾的小蠹虫、杨树天牛和梢斑螟等林业重大害虫，解析害虫和寄主植物共胁迫下寄主抗性衰减与害虫暴发成灾的关系；筛选同域多种害虫复合致害情景下生态位分化调控的信息化学物质，研发阻控害虫复合致害的广谱性信息素产品；基于天然高分子纳米载体技术构建适用于靶标害虫栖息地生境场景下的高效 dsRNA 递送体系，创制干扰靶标害虫幼虫发育和成虫生殖的纳米化核酸类靶向制剂；构建高效工程菌株，创制适用于靶标害虫防控的病原微生物新制剂；构建植物资源配置、寄主抗性诱导、优势天敌

跟随的健康栖息地生境,实现寄主植物优化和多技术联合控害双端强化的害虫防控技术体系。

考核指标: 研制林业重大害虫防控产品 6 个,包括信息素防控产品 2 个,诱捕率或防控效果达到 80%; RNAi 生物制剂 1 个,生防菌剂 2 个,植物免疫诱抗制剂 1 个,关键生物制剂对靶标害虫预防效果达 90%;构建重大害虫植物资源配置生态调控技术体系 2 套,防控效果不低于 70%;建立综合示范区 3000 亩,示范区内绿色防控技术应用比例超过 70%。

关键词: 林业害虫,微生物菌剂,信息素,产品创制,树种配置

2.7 草原生态系统重大病虫鼠害综合防控技术

研究内容: 系统解析气候变化下草原生物多样性动态变化趋势,研究寄主植物-病、虫、鼠害-微生物-天敌等多营养级互作机制,种群暴发效应以及草原生态系统整体控害机制;构建病害损失评定与多尺度风险评估体系;研发基于分子标识、智能传感器及 AI 跨模态融合的主要病虫害快速识别技术与监测感知技术;挖掘生防资源,创制基于纳米靶向递送及有益微生物介导的长效调控新产品;整合并迭代适配不同草原类型的治理模式,耦合生态工程与技术配套修复措施,集成病、虫、鼠害可持续调控关键技术;统筹全链条技术和产品,构建标准化、可复制、防范次生风险的病虫鼠害一体化综合调控技术体系。

考核指标: 提出病害损失评定与多尺度风险评估体系各 1 套;草原重大病、虫害快速诊断识别率达 90%以上,监测准确率达 90%以上;创制基于纳米靶向递送及有益微生物介导等长

效调控新产品 2—3 种；构建重要草原区域主要病虫鼠害一体化绿色综合调控技术体系 2—3 套；在试验区，病、虫、鼠害生物防治技术应用比例分别提升至 50%、50%和 80%以上，对靶标病、虫、鼠害防效达 90%、90%和 80%，实现病、虫、鼠不成灾；草原生产力提升 10%以上。

关键词：草原病虫鼠害，智能监测，一体化综合调控

2.8 林草火灾大模型研发和一体化精准防控技术

研究内容：研究林下遮蔽、复杂地形和草原强风等场景下弱小火源多模态响应特征，研制无人机载高灵敏度智能感知装备，突破弱小火源多源协同感知、精准识别与定位技术；研发融合多模态火情观测、环境因子和应急处置知识的林草火灾大模型，研究跨模态语义对齐、专业知识注入与多物理约束方法；构建大模型驱动的火场态势认知、演化推演与智能决策技术；攻克复杂火场环境下无人机安全抵近、精准投放、多机协同作业与处置效果评估技术，形成“感知-研判-决策-处置-评估”一体化精准防控技术体系。

考核指标：研制林草弱小火源高灵敏度智能感知装备 2 套，形成弱小火源精准识别技术 2 项，最小可识别火点目标尺度 $\leq 0.5\text{ m}^2$ ，弱小火源空间定位误差 $\leq 1\text{ m}$ ；构建林草火灾大模型 1 套，数据集特征不少于 20 类，多任务综合准确率 $\geq 85\%$ ；火场态势认知与研判准确率 $\geq 85\%$ ，智能辅助决策方案实际采纳率 $\geq 80\%$ ；形成无人机精准灭火技术和监测预警处置一体化技术各 2 项，弱小火源和初发火精准处置有效率 $\geq 90\%$ ；制定标准 2 项。

关键词：弱小火源感知，火灾大模型，态势认知，无人机灭火，一体化防控

2.9 生态保护修复成效智能监测与评估技术体系构建

研究内容：研发卫星-临近空间-地面观测多尺度多模态时空观测数据一致性校正与精准融合技术，重点依托“三北”生态站组网、超级样带与大样地观测体系，实现多源遥感、地面站网、调查统计等异构生态数据时空对齐与耦合；突破生态保护修复要素智能感知关键技术，面向林草湿荒等类型，实现造林斑块、植被覆盖、林分生长、沙化动态等关键生态要素的精准提取与智能监测；构建多源异构时空融合数据的生态保护修复成效评估模型，实现造林成活率、保存率、防风固沙、土壤保持等评估指标的精准提取与智能反演；基于联网观测、超级样带与大样带多尺度时空数据，研发融合机理发现与深度学习的生态因子、政策评估数据挖掘、建模与推理技术，实现生态保护修复治理措施的成效归因、关键阈值识别与风险预警；研建生态保护修复高质量数据集与知识图谱，构建生态保护修复成效监测与评估垂类大模型及智能体，研发生态工程治理成效全域评估与智能决策支持平台，以“三北”工程区为典型案例，实现重大生态工程建设成效动态评估、风险研判与决策优化。

考核指标：提出多尺度多模态时空观测数据精准融合新技术 10 项，其中多模态时空数据的融合精度优于 90%；面向 10 种以上主要造林树种，兼顾主要乔木与灌木类型，实现造林成活率、保存率、防风固沙、土壤保持等评估指标的提取与反演精度优于 90%；开发基于多源异构时空融合数据的生态保护修

复成效评估与生态安全风险预警模型，评估精度优于 90%；构建生态保护修复成效监测与评估垂类大模型及智能体 1 套，研发生态工程治理成效全域评估与智能决策支持平台 1 套，相较于传统人工业务处理流程效率提升 50%以上，实现业务化应用；完成政策咨询报告 2 份，并获省部级以上政府部门采纳。

关键词：成效监测，生态保护修复评估，风险预警

3.生态修复治理共性技术

3.1 全域生态保护修复空间布局与分区精准治理技术

研究内容：重点研究全国尺度林草湿荒资源禀赋与国土绿化空间的分布格局与制约因素，建立国土绿化空间布局适应性优化调控决策支持系统；评估生态保护修复潜力，判别生态保护修复总体空间布局及关键生态功能协同提升的重点区域；分析国土绿化对生态环境的潜在影响及协同效应，明确重点生态区生态退化趋势、分布格局及关键驱动因素，研发全球变化背景下生态退化风险评估与动态预警技术；研发国土绿化与生态修复分区分类精准治理技术，构建全域生态保护修复多尺度、多系统空间格局区域化精准治理技术体系。

考核指标：建立高精度林草湿荒资源空间分布数据集 1 套，空间分辨率不低于 500 m；完成国土绿化空间分布图和林草治理区划图，比例尺不低于 1:100 万，编写生态保护修复空间布局与区域化精准治理技术指南 1 套；建立国土绿化空间布局适应性优化调控决策支持系统 1 套；研发生态退化风险评估与预警技术，预测准确度达到 90%；研发重点生态区国土绿化空间布局与结构优化技术 5 项，生态服务功能提升 20%，植被

覆盖度提升 30%。提交生态保护修复空间布局与区域化精准治理技术咨询报告 2 份，并获得省部级以上政府部门采纳；授权发明专利 5 件。

关键词：国土绿化空间，空间布局优化，生态退化风险，分区精准治理

3.2 “三北”工程区水资源约束下的乔灌木优化配置技术

研究内容：开展“三北”工程区多源水资源的生态可利用性分区评估，明确生态可利用水边界，构建全量水资源植被承载力评估指标体系，厘定各分区植被承载力阈值及其动态更新机制；分析各分区自然禀赋特征，开展立地质量评价与适生属种分类研究，研发符合适地适树原则的分区差异化乔灌木配置技术；研究沙区土壤-生物结皮-植物群落生态水文过程、水文连通性与水量平衡规律，明确植被群落稳定性维持的生态水文阈值，突破功能与稳定性、韧性协同提升的结构调控与近自然恢复技术，研发气候变化背景下全量水资源刚性约束的乔灌木植被防护系统近自然优化配置模式；研究黄土区典型乔灌木群落植物土壤微生物互馈关系、结构优化、稳定性维持技术，研发退化植被韧性修复与功能提升技术。

考核指标：建立“三北”工程区水资源植被承载力阈值评估与分区技术体系 1 套，136 个分区实现全覆盖估算；研发群落结构优化与功能协同提升技术 5 项，防风固沙效能提升 15%，植被水分利用效率提高 20%，单位面积林草植被耗水量降低 10%，物种丰富度增加 1—2 种/公顷，综合植被盖度提高 1.5%—5%；提出涵盖主要二级生态治理分区的乔灌木优化配

置技术路径 8 套；形成适配“三北”工程六期规划 136 个生态分区的乔灌木优化配置应用模式，并在 3—5 个典型试点得到 2 年以上的实地校验；授权发明专利 5 件，制定标准 2 项。

关键词：生态治理分区，水资源承载力，植被耗水，乔灌木优化配置

3.3 华北石质山区植被快速恢复及群落构建技术

研究内容：重点研究不同山区乔灌木分布特征与环境因子的关系，解析影响华北石质山区植被快速恢复的关键限制因素；研究土壤微生物与植被的互作关系，形成基于微生物-植被协同的定向调控关键技术体系；研发客土置换、功能性改良材料定向施用、低扰动微生境构建技术，构建适用于华北石质山区的植被快速恢复技术体系；研发基于分层调控、适时干预等动态调控技术，形成维持乔灌木群落长期稳定性的技术方案；研究不同立地条件下乔灌木的最优配置比例、空间结构与生态位组合方案，集成高效、低成本的群落构建技术体系。

考核指标：提出适合华北石质山区不同立地条件的乔灌木精准适配、多层补配等模式 4 套，植被覆盖度提高 20%，复层异龄林占比提高 40%；研发低扰动微生境改良技术 1 项，乔木单穴扰动面积小于 0.15 m²；研发乔灌木复合系统动态调控、植被快速恢复等技术 2 项，造林存活率提高 20%，土壤侵蚀模数降低 15%；授权发明专利 2 件，制定标准 2 项。

关键词：华北石质山区，乔灌木配置，植被快速恢复，群落构建

3.4 退化防风固沙林和农田防护林结构功能优化提升技术

研究内容：揭示复合干扰下西北地区防风固沙林和绿洲农田防护林退化机制，提出退化评估与预警技术；筛选适生防风抗旱耐盐树种，研发农田防护林咸水灌溉与节水灌溉技术，研发“三北”工程区水资源约束下的绿洲农田防护林空间优化配置模式与关键生态功能提升技术；研发固沙林树种优化配置技术；揭示林分耗水-防风效能对林分密（盖）度的响应阈值，研发林分密（盖）度调控与结构优化技术；确定退化林分修复干预触发阈值，研发以结构优化与功能提升为导向的退化林靶向人工促进演替修复技术；分区、分级构建典型退化老化林修复模式，形成适配区域立地、气候的防风固沙林退化修复、退化预警与全周期经营技术体系。

考核指标：提出“三北”地区防风固沙林和农田防护林退化评估技术体系 1 套；筛选适生防风抗旱耐盐乔灌树种 10 种；提出农田防护林树种与结构配置技术 8 项，防护林退化率由 60%降低到 40%，稳定性与防护效益提升 10%，林带整体疏透度提高 10%；研发基于水分承载力与防风效能权衡的固沙林林分密（盖）度动态调控、结构优化技术 8 项，试验区沙漠锁边林风沙拦截率较同等气象条件下修复前提升 10%，沙地与高原风沙区防风固沙林土壤侵蚀模数较修复前降低 15%；提出退化林以抚育、更新、改造为主的近自然修复技术 3 项；提出退化林修复模式 5 套。授权发明专利 2 件，制定标准 2 项。

关键词：退化防风固沙林，退化农田防护林，林分结构优化

3.5 海岸带退化防护林快速精准修复与功能提升

研究内容: 研究海岸带防护林退化特征时空演变规律及其土壤-水-植被耦合机制, 基于“多源遥感+深度学习”研制退化防护林精准分级诊断技术; 研制有机-无机-生物复合土壤高效改良材料, 构建土壤根际微域级联调控及多维耦合的低效林提质增效协同技术; 构建多生境适用树种生态适配性评价指标体系, 基于种间关系与生态位优化研发退化防护林树种多样性提升技术; 攻克防护林结构多样性与防护功能关系, 研发老龄林水平、垂直和林龄结构优化技术和快速更新模式; 开展防护林台风灾损风险分布与微地形等要素耦合关系研究, 研发极端气候灾毁防护林空间配置优化、模块化原位精准重建技术。

考核指标: 研发海岸带退化防护林精准诊断与分级技术 1 项, 诊断精准度达到 80% 以上, 绘制全国尺度海岸带防护林分区分级图谱; 筛选环渤海区适生耐盐抗风适用树种 10 种, 构建退化防护林树种多样性提升技术 1 项, 混交率提升至 60% 以上; 研发亚热带地区海岸带老龄防护林结构优化和快速修复技术 1 项, 结构多样性提升 20% 以上, 防风功能提升 10%; 研制东南沿海砂质石质、淤泥质盐碱地调盐培肥土壤改良材料 3—5 种, 形成低质低效防护林提质增效技术 1 项, 土壤有机质含量提高 10%, 生物量提高 10%; 研发珠三角海岸带灾损防护林精准修复与生态重建技术 1 项, 防风功能提升 15%; 建立海岸带防护林快速精准修复与功能提升综合试验区 4 个, 生态服务功能提升 15%。授权发明专利 1 件, 制定标准 1 项。

关键词: 海岸带防护林, 退化诊断与分级, 快速精准修复,

功能提升

3.6 长江流域血防林结构优化与可持续经营关键技术

研究内容：研究不同群落结构及其环境对钉螺种群的影响机制，解析维持高效抑螺效果的群落结构及其环境关键要素；研发以抑螺植物为主的、物种更加丰富的江湖滩地血防林结构调控与抑螺防病功能提升技术；研发抑螺-经济收益或水土保持等多重效果协同提升的山丘地区血防林高效抑螺与多功能持续经营技术；研发多植物连续配置与局部工程建设相结合的平原水网血防林廊道优化构建与钉螺阻隔技术；构建涵盖林分状况、土壤健康、钉螺种群等多维指标的血防林抑螺防病成效诊断与综合效益评估集成技术。

考核指标：研发江湖滩地血防林结构调控与抑螺防病功能提升技术 1 项，物种丰富度指数提升 15%，生态系统稳定性提高 10%；研发山丘地区血防林高效抑螺与多功能持续经营技术 1 项，土壤侵蚀模数降低 25%；研发平原水网血防林廊道优化构建与钉螺阻隔技术 1 项，林带断带率降至 10%以下，地表抑螺物覆盖度达 50%以上；研发螺情风险快速精准诊断技术 1 项，建立基于环境要素的螺情风险精准判别指标体系 1 套；研发血防林抑螺成效等综合效益评估集成技术 1 项，建立血防林生态-经济-社会综合效益评估模型 1 套；钉螺密度下降 50%以上；授权发明专利 2 件，制定标准 2 项。

关键词：长江流域血防林，林分结构优化与修复，抑螺功能与生态稳定性协同提升

3.7 复合胁迫下退化湿地修复与稳定维持技术

研究内容：研究典型湿地生态系统稳态转换规律与机制，研发稳态转换早期信号捕捉与失稳诊断技术；针对典型退化湖沼湿地，研发冻融胁迫下植物群落恢复、土壤水热盐耦合调控及水文地貌重塑关键技术；针对典型退化滨海湿地，研发基于关键种恢复的生态单元构建、土著功能微生物群落定向调控、地上-地下复杂食物网优化关键技术；研发退化湿地修复后长效自稳定维持技术；构建复合胁迫下退化湿地多要素协同修复与稳定维持技术集成模式，并开展应用示范。

考核指标：研发典型湿地稳态转换识别与失稳诊断技术 1 项，失稳状态识别精度优于 80%；研发冻融胁迫下植物群落恢复、土壤水热盐耦合调控及水文地貌重塑关键技术 1 项；研发生态单元构建、土著功能微生物群落定向调控、地上地下食物网优化关键技术 1 项，核心物种丰度提高 20%，食物网连接度超过 0.3；研发退化湿地修复后长效自稳定维持技术 1 项；建立退化湿地修复与稳定维持试验区 3 个，总面积不少于 3 万亩；试验区生态系统韧性较本底值提升 20%；授权发明专利 3 件。

关键词：复合胁迫，退化湿地，稳态转换，水热盐耦合，稳定维持

3.8 盐碱地林草植被多要素协同高效生态修复技术

研究内容：利用多源遥感数据与多模态 AI 大模型，研发盐碱地及林草植被智慧监测与诊断技术，绘制盐碱地及林草植被“数字底图”；筛选生态经济型耐盐碱优质乡土乔灌草植物，构建不同区域盐碱地资源高效利用的乔灌草精准配置技术；研

制生物基降盐培肥长效型土壤改良新材料，建立盐碱地精准改良技术；筛选盐碱地多功能微生物，研发专一高效的促生菌剂，建立盐碱地-微生物-植物高效协同修复关键技术；集成生态经济型林草配置与盐碱土壤定向协同修复等技术，构建生态功能提升与资源利用协同的盐碱地高效修复模式。

考核指标：研发盐渍化智慧监测与诊断技术 1 项，土壤盐分反演精度、盐碱类型与程度、植被受害特征等诊断精准度达到 90%；构建耐盐碱乡土植物优选技术 1 项，筛选效率提升 20%；筛选乡土耐盐碱植物 20 种，耐盐阈值 $\geq 6\%$ 、耐碱阈值 $\text{pH} \geq 9.0$ ，同等盐碱胁迫条件下，单株地上生物量增加 10%；提出盐碱地乔灌草配置模式 6 个，资源利用率提升 15%；研制降盐培肥新材料 3 种，研发土壤精准改良技术 2 项，表层土壤盐分降低 20%、土壤有机质含量提高 20%；研发促生微生物菌剂 3 种，建立盐碱地-微生物-植物高效协同修复关键技术 1 项，植物生物量提高 20%；构建区域化盐碱地生态功能提升与资源利用协同高效的修复模式 3 套，植被协同效益指数提升 10%；授权发明专利 2 件。

关键词：林草盐碱地，智慧监测与诊断，乔灌草配置，降盐培肥土壤改良，盐碱地-微生物-植物高效协同修复

3.9 绿色生物基生态修复新材料研制与适配应用技术

研究内容：以菌糠、木质纤维、改性淀粉等天然生物质为基材，研发干旱区保水促生生态修复新材料，优化原料配比参数、成型工艺和耐候性能；以秸秆等农林剩余物为原料研发贫瘠土壤生物基修复改良材料，优化材料孔隙结构与水肥固持、

土壤胶结性能；筛选耐干旱、耐贫瘠的乡土功能菌株，优化多菌株复配比例，研制兼具土壤改良、微生态重构、肥力提升的多功能复合微生物菌剂；研究“物理改土-生物培肥-微生态优化”耦合修复作用机制，评估新材料对沙化土壤保水保肥、促根壮苗、植被促生的综合效能，建立适用于不同类型退化土地的生物基生态修复新材料适配应用技术体系。

考核指标：研发绿色生物基生态修复保水促生新材料 5 种，使保水材料吸水倍数由 85 倍提升至 100 倍以上，水分释放周期从 7—10 天延长至不小于 2 周；研发生物基和生物炭基土壤改良剂 5—8 种，使土壤养分含量提升 20%，土壤毛管孔隙度和保水保肥能力提升 1 倍；研发微生物菌剂 5—8 种，使植物根际土壤铵态氮含量提升 10%以上，植物粗蛋白含量提升 5%以上，土壤微生物丰富度提升 10%；研发绿色生物基生态修复新材料适配应用模式 10 套以上，提出新材料精准适配的干旱区生态修复应用技术体系，使植被覆盖度提升 50%，植物生物量增加 10%，地表风蚀量降低 50%以上；授权发明专利 4 件，制定标准 2 项。

关键词：保水促生材料，生物基复合土壤改良材料，微生物菌剂，生态修复新材料适配应用

3.10 绿色低碳防风固沙新材料研制与适配应用技术

研究内容：研究竹材机械加工技术和新工艺，研制适用于沙漠环境的具有可控降解性、高强韧性和高耐候性的竹质沙障等防风固沙新材料；研究适用于沙漠环境的木纤维复合材料沙障单元，开发生物基木纤维高效增强涂层防护助剂，研制高强

度木纤维复合治沙材料；筛选耐干旱、抗强紫外线、耐贫瘠、固沙能力强的蓝藻菌株，研发高效、低成本、高活性的蓝藻藻种规模化扩繁技术与人工接种技术，建立适用于不同类型沙漠环境的人工蓝藻结皮沙化土地近自然恢复技术体系；设计木竹材料沙障单元、构型、规格及其组合模式；建立沙障经时老化降解综合评价模型，匹配适用于沙漠环境的木竹材料沙障单元、构型与规格及沙障组合模式，建立适用于不同类型沙漠环境的木竹材料适配应用技术体系。

考核指标：研发高耐候木竹质治沙材料 5 种，抗紫外线老化率达到 30%，抗老化性能比稻草提高 50% 以上，使用寿命达到 5—10 年；研发高强度生物质木纤维治沙材料 5 种，抗拉强度达到 60—100 MPa，耐风蚀磨蚀老化率提高到 40%，使用寿命达到 5—8 年；研发人工蓝藻结皮沙化土地近自然恢复技术体系，使蓝藻扩繁量达到 15—20 g/m²，稳定结皮盖度达到 10%—20%；提出木竹防风固沙新材料的单元、构型、规格及其组合模式应用参数，起沙风速达到 10 m/s，地表粗糙度提高到 6—10 cm；建立不同类型沙漠环境的防风固沙新材料适配应用技术体系或模式 10 套以上，使防风效能达到 50%—70%，地表沉积物黏粒含量达到 3%，流动沙丘固定后侵蚀模数降低到 2000 t·km⁻²·a⁻¹；授权发明专利 4 件，制定标准 2 项。

关键词：高耐候竹质沙障材料，高强度木纤维治沙材料，人工蓝藻结皮，治沙材料适配应用

3.11 “三北”及黄河流域山水林田湖草沙复合系统多功能权衡与生态安全提升技术

研究内容：研究“三北”工程与黄河流域重点生态区多时空尺度精准识别和生态风险精细化诊断技术，揭示山水林田湖草沙多要素耦合过程中的物质循环规律，解析区域/流域山水林田湖草沙多系统耦合与多功能权衡机制；研发黄河上游乔灌木立体配置、风沙入河多级阻控、光伏治沙与草光互补协同增效技术，集成近自然修复导向下生态安全综合治理体系；研究黄河下游人地水多维耦合及社会生态协同作用机制，研发山水林田湖草沙一体化保护修复、绿色生态廊道营建和陆海交汇带生态安全格局优化配置技术体系；研发西辽河流域以水定绿、分区管控、协同提质景观生态安全格局提升技术，创建耕地保护、水资源调控与沙地保育多目标协同治理模式；研究石羊河流域高效节水灌溉、绿洲防风固沙与生态功能提升等协同调控技术，构建流域生态脆弱区精准识别、多尺度空间协同优化模式；构建区域/流域基于自然和多目标多功能协同的山水林田湖草沙一体化综合治理方案。

考核指标：研发山水林田湖草沙复合系统多功能协同与景观优化配置技术2项，多功能冲突热点识别准确率达到75%，多功能协同增益15%以上；研发黄河上游风沙区近自然恢复与高寒生态系统安全提升、西辽河流域山水林田湖草沙景观安全格局优化、石羊河流域山水林田湖草沙复合系统全流域调控与修复等技术3项，形成山水林田湖草沙一体化保护与治理模式4套，植被覆盖度增加10%以上，水资源利用率提升10%以上，

生态风险下降15%以上。完成“三北”工程区及黄河流域重大生态保护修复工程区、山水林田湖草沙一体化保护和系统治理咨询报告2份，并获得省部级以上政府部门采纳；制定标准3项。

关键词：山水林田湖草沙，生态安全格局，生态空间治理，多功能权衡

3.12 草原地力质量评价与潜力提升空间估算技术(青年科学家项目)

研究内容：(1)解析不同草原区生产力、生物多样性和生态功能维持与地力质量演变的耦合关系，阐明草原潜在生产力的环境约束机制与地力表征规律，构建以潜在生产力和多功能性为核心的地力质量综合评价技术与定量分级方法；(2)突破草原关键生长参数空天地多源遥感协同监测与尺度转换技术，建立草原现实生产力与潜在生产力智能估测及气候校正方法，提出现有草原潜力提升空间智能估算方法，形成面向“三北”工程区的草原地力质量精准评价与生产力提升技术体系。

考核指标：(1)建立以生产力、生物多样性、土壤质量和水源涵养、碳储存、牧草供给等多功能性和服务为核心的分区地力质量评价技术体系4套，形成地力等级评价、关键限制因子与生态风险识别的技术方法4套；授权发明专利2件。(2)提出草原潜在生产力估测模型不少于4个，模型精度不低于0.7；草原生产力提升空间估算方法2套；形成草原生态功能、地力质量和潜力提升空间专题图6件，空间分辨率优于30 m；授权发明专利2件。

关键词：草原潜在生产力，地力质量评价

4.生物资源高效利用共性技术

4.1 乔木资源绿色环保复合工程材料创制

研究内容：以主要乔木资源为对象，研究轨道交通用特种工程材料制造等技术，创制轨道车辆内装用 A 级阻燃耐候无醛胶合板等产品；研究高强度单板本体高效构筑、复合材料界面精准设计等高强超韧单板基复合工程材料设计构筑技术，创制无人机结构件用高强韧木质复合材料等产品；研究特种领域用单板层积材可控功能化规模化制备等技术，创制液化气船货舱用耐超低温单板层积材、电气绝缘用抗电击穿单板层压木等产品；研究无醛高防潮单板基家居工程复合材料制造技术，创制无醛环保功能化木质复合材料，创新乔木资源绿色环保复合工程材料创制与应用技术体系。

考核指标：突破高强韧单板基复合工程材料创制等关键技术 5 项，创制轨道车辆内装用 A 级阻燃耐候无醛胶合板等新产品 5 种，资源利用率提高 15%，产品附加值提升 20%；轨道交通用无醛隔声动车组列车木质复合地板氧指数达到 32%，隔声性能达到 32 dB，甲醛释放量达到 ENF 级，静载荷弯曲变形量（集中载荷 4000 N/20cm²）低于 1.20 mm；高强韧木质复合材料弯曲强度达到 400 MPa，拉伸强度达到 350 MPa，断裂韧性达到 60 MPa·m^{1/2}；耐超低温单板层积材在海洋环境中 24 h 吸水率低于 0.5%，-196℃超低温下剪切强度达到 28 MPa，垂直层向抗弯性能超过 200 MPa，弹性模量大于 15 GPa；电气绝缘用单板层压木抗击穿电压达到 18 kV/mm，局部放电量小于 100 pC，对变压器油的污染小于 2.0×10^{-4} 。建成中试生产线 4

条，授权发明专利 5 件，制定标准 3 项。

关键词：乔木资源，复合工程材料，绿色环保

4.2 灌木资源生态产业化融合技术

研究内容：研究“三北”灌木资源宜机化栽培与采收、灌木原料智能品质分级与标准化前处理等关键技术；研发灌木纤维高效预处理与糖化、混合糖高效生物合成转化蛋白、灌木能材联产增值利用等关键技术，开发新型灌木水解糖源食饲蛋白；研究解离木质素多官能团定向修饰、土壤改良有机质新材料制备等关键技术，研制木质素基沙化土壤改良剂；开发纤维分子桥接界面增强耦合分层热压、高性能灌木基复合新材料绿色制造等技术，创制灌木基重组材料产品。建立灌木资源生态产业融合技术体系，实现灌木资源生态产业化全质增值利用。

考核指标：突破灌木资源高效转化联产增值利用关键技术 5 项，开发高值化利用途径 3 种，灌木资源利用率提高 15%（达到 34.5%—46%）；研制新产品 5 种，产品附加值提高 20%，实现灌木年处理量 5 万吨，建成混合糖蛋白生物合成装置，混合糖得率从 75%提高到 85%；灌木纤维中总蛋白含量由 12%提高到 16%；食饲蛋白产品中总蛋白含量 $\geq 50\%$ ，产品中必需氨基酸指数 ≥ 0.85 ；灌木重组材料抗弯强度 ≥ 230 MPa，抗弯模量 ≥ 20 GPa；改良沙化土壤含水率 $\geq 20\%$ ，土壤改良剂凝胶保水率 $\geq 98.5\%$ ；建立生产线 5 条；授权发明专利 5 件，制定标准 3 项。

关键词：灌木资源，生态产业化融合，食饲蛋白，高性能重组材料

4.3 草原可持续利用与生态产业融合技术

研究内容：研究不同天然草原类型结构与功能演变规律，建立适用于典型区域草原结构与功能评价技术方法；研究天然草地利用强度、方式与草地之间的关系，明确不同草原类型对利用强度、刈割强度的响应阈值；研发生物有机肥等提升草地多功能性新产品；研究基于植物生长节律的草原科学化利用技术、不同立地条件下轮刈制度与养分补偿技术，以及基于卫星、无人机与地面传感器协同的草原生产力与草畜平衡精准诊断技术等；构建草原利用专业模型与垂直领域大模型；构建优质生态保护修复用草与灌木高效种植、物种/品种组合及品质调控等草地资源可持续利用综合技术体系。

考核指标：构建适用于典型区域草原结构与功能评价技术体系，建立科学化利用、合理刈割与养分补偿、草原生产力与草畜平衡精准诊断等技术 8 项，授权发明专利 5 件；构建不同草原类型利用与刈割响应阈值模型 3 套，判定精度提升至 90% 以上；构建退化评估预警系统 1 套，使草原生产力动态预测模型精度提升至 90%，草畜潜力诊断精度 $\geq 90\%$ 。构建草原利用专业模型、垂直领域大模型和决策智能体 3 个，其中草原资源全域动态感知技术精度 $\geq 90\%$ ，决策智能体诊断精度 $\geq 90\%$ ，草原利用专业模型及垂直领域大模型精度 $\geq 90\%$ ；研发提升草地多功能性新产品 5 种，制定标准 2 项；建立核心试验区 2 个，面积 5 万亩以上，试验区草原生产力提高到 95—140 kg/亩，牧民收入提高 15%。

关键词：草原，生态产业融合，可持续利用

4.4 大宗非木质资源功能化改性与利用关键技术

研究内容：以松脂、油脂、腰果壳油等大宗非木质资源为对象，研究松脂油脂组分分子精准分离技术，创制松脂油脂高纯功能单体；研究松节油定向催化脱氧多环化、选择性加氢稳定化及高效分离纯化等技术，开发高热沉低冰点特种液体燃料；研究松香刚性骨架与柔性链段共聚及协同增效技术，创制高端场景领域用耐超低温电子胶黏剂；研究植物酚源界面与交联网络定向构筑技术，创制适用于船舶防腐等高端应用领域的植物酚源高韧聚合物及轻量化复合材料；研究油脂长链结构阻燃基团可控修饰等关键技术，创制结构阻燃减震缓冲材料、低冻点可降解表面活性剂等高附加值产品。实现大宗非木质资源全组分高值利用。

考核指标：建立非木质资源功能化改性与应用关键技术 5 项，非木质资源深加工率从 50% 提高到 60%；创制高纯功能单体 3 种，其中，树脂酸基多元醇有效组分含量 $\geq 95\%$ 、二聚桐酸甲酯二聚体含量 $\geq 85\%$ 、桐油基阻燃多元醇有效组分含量 $\geq 95\%$ ；研制高附加值产品 5 种，产品附加值提高 25% 以上；耐超低温电子胶黏剂耐低温性从 -35°C 降低到 -45°C ，拉伸剪切强度 $\geq 10\text{ MPa}$ ；高韧轻量化聚合物复合材料密度 $\leq 1.35\text{ g/cm}^3$ ，拉伸强度从 75 MPa 提升到 90 MPa；高热沉燃料冰点 $\leq -55^{\circ}\text{C}$ 、热沉值从 2.7 MJ/kg 提升到 3.0 MJ/kg，净热值 $\geq 39.0\text{ MJ/L}$ ，密度（ 20°C ） $\geq 0.90\text{ g/cm}^3$ ；缓冲材料阻燃极限氧指数 $\geq 30\%$ ，比能量吸收 $\geq 15\text{ kJ/kg}$ ；表面活性剂 7 天生物降解率大于 95%，冻点低于 0°C ；改造建立中试生产线 5 条；授权发明专利 4 件，

制定标准 3 项。

关键词：大宗非木质资源，功能化，高附加值产品

4.5 东北重点国有林区森林凋落物综合利用关键技术

研究内容：以东北重点国有林区典型林分林下凋落物为对象，突破林下凋落物载量多源协同反演关键技术，研发适用于东北重点国有林区的林下凋落物本底调查、连续监测和综合评价方法；开展多源感知驱动的林下凋落物分层低扰智能采收关键技术及装备研制，形成林下凋落物智能采收运一体化装备；研发耐低温菌种筛选、复合菌剂构建、原位施用调控及效果评价等技术，形成寒区凋落物原位促腐降解技术模式；创新林下凋落物基质化、肥料化与材料化综合利用关键技术，实现林下凋落物减量化、资源化和高值化利用。

考核指标：建立东北重点国有林区典型森林类型林下凋落物动态监测数据库 1 套，构建林下凋落物载量动态反演模型 1 套，反演精度 $R^2 \geq 0.70$ ，反演空间分辨率 $\leq 30 \text{ m}$ ；研制林下凋落物智能采收装备 1 台套，拾集深度调控范围 0—50 mm，拾集作业方式 3 种，多源感知与作业决策周期 $< 200 \text{ ms}$ ，自主导航路径跟踪误差绝对值 $< 0.30 \text{ m}$ ；构建耐低温复合菌剂不少于 2 种，建立林下凋落物寒区原位促腐降解技术模式 1 套，原位降解率较自然对照提高 $\geq 15\%$ ，建成林下凋落物寒区耐低温菌剂原位降解剂中试生产线 1 条；研发林下凋落物资源化基质制备技术 3 套，建成基质制备中试生产线 1 条；建立林下凋落物分级处理与综合利用模式 1 套，采收凋落物综合利用率 $\geq 70\%$ ，材料化利用率 $\geq 30\%$ ；制定标准 2—3 项，授权发明专利 4—5 件。

关键词：森林凋落物，原位降解，智能采收，综合利用

4.6 竹材全质多元化学转化创制功能性新材料关键技术

研究内容：研究竹材质子强化水热耦合碱处理无废精炼技术，构建多糖共利用特异性工程菌株，开发发酵与分离耦合技术，实现竹源混合糖、聚乳酸和聚羟基脂肪酸酯高效制备；研发竹材超微粉碎及分级联产、可降解竹源聚酯原位增容改性等技术，低成本制备高填充色母及竹膜袋；研发竹材等离子体原位催化快速热解、定向催化提质、梯级低损除灰、封闭孔隙限域储钠、硬/软碳异质界面融合调控等技术，开发钠离子电池负极硬炭材料和高热值液体燃料。形成竹资源关键组分生物与化学协同转化利用技术体系，加速竹产业链向高值化跃升。

考核指标：开发竹资源关键组分生物与化学协同转化利用关键技术 4 项，研制竹基生物降解聚酯材料和竹基能源产品等新材料新产品 5 种，产品附加值提高 20%。其中，竹源可降解聚酯高效创制技术，乳酸浓度 ≥ 120 g/L，聚乳酸转化率从 18% 提升至 36%，聚羟基脂肪酸酯产率 $\geq 50\%$ ；高性能可降解竹膜袋制备关键技术，竹膜袋成本降低 30%，耐穿刺力 ≥ 1.8 N，竹膜袋粉体填充量 $\geq 20\%$ ；竹基硬炭首次放电比容量 ≥ 350 mAh/g，500 次循环容量保持率 $\geq 85\%$ ；竹基液体燃料热值 ≥ 43.5 MJ/kg。建立生产线 4 条，授权发明专利 5 件，制定标准 2 项。

关键词：竹材，全组分，多元转化，功能性新材料

4.7 木本油料高产优质栽培与高值化开发

研究内容：以油茶、核桃、仁用杏、油橄榄等低产低效林

为对象，研究高花粉活力维持与保存、冠层光环境定向调控等油茶低产林高产稳产栽培技术，创制茶油基甘油二酯功能油产品；研究核桃轻简化宜机栽培技术，研发富酚高品质长货架期核桃油产品；研究仁用杏抗冻稳产栽培技术，筛选维生素 E 和特征酚类等抗炎活性组分，研制杏仁油抗炎护肤产品；研究油橄榄湿热产区抗逆稳产与优质丰产生态栽培技术、油脂分子修饰和定向转化技术，开发甘油二酯油等功能性油脂产品。

考核指标：建立油茶高产稳产栽培、核桃轻简化宜机栽培、仁用杏抗冻稳产栽培、油橄榄抗逆生态栽培等木本油料高产稳产与抗逆轻简栽培关键技术 4 项，目标收获物产量提高 10% 以上，其中仁用杏单产 ≥ 70 kg/亩；建立高产优质培育基地 7000 亩，其中油茶 2000 亩、核桃 2500 亩、仁用杏 2000 亩、油橄榄 500 亩。攻克油脂绿色加工、品质保持和高附加值利用技术 5 项，重要经济林产品深加工率提高 20% 以上；开发健康新功能产品 5 种，产品附加值提高 30% 以上；茶油中维生素 E、甾醇和角鲨烯等活性组分保留率 $\geq 80\%$ ，油酸含量 $\geq 85\%$ ，甘油二酯功能油胰脂肪酶抑制 IC_{50} 值 $\leq 200 \mu\text{g/mL}$ ；核桃油酚类物质含量提高 20% 以上，核桃油产品货架期延长至 18 个月；橄榄油功能油脂定向转化率 $\geq 30\%$ ；建立中试生产线 5 条。授权发明专利 6 件，制定标准 3 项。

关键词：木本油料，高产优质，高值化

4.8 主要木本药材与调香料生态栽培与精细利用技术

研究内容：以山楂、山茱萸、药桑、沙棘、银杏、青钱柳、八角、肉桂、花椒、茴香等为研究对象，研发山楂、山茱萸轻

简化栽培技术体系,开发山楂、山茱萸多组分差异化利用技术,创制山楂功能饮品、山茱萸口服液等高附加值产品;研究药桑和沙棘抗逆提质栽培技术,开发全资源功能组分高效提取靶向富集利用工艺,创制沙棘功能产品和药桑功能性浓缩汁;研发银杏和青钱柳品质型提质增效栽培技术,建立银杏叶提取物、青钱柳叶提取物的高纯度制备工艺;研发八角和肉桂低产林矮化改良与绿色安全定向栽培技术,创制八角茴香油和肉桂精油产品;研建花椒和茴香绿色安全栽培技术体系,研发花椒麻素和茴香脑等麻香风味特征组分提取关键技术,创制麻香风味活性组分系列高附加值产品。

考核指标:建立山楂和山茱萸轻简化栽培、沙棘和药桑抗逆提质栽培、银杏和青钱柳提质增效栽培、八角和肉桂低产林改造、花椒和茴香绿色安全栽培等关键技术 5 项,山楂黄酮、山茱萸环烯醚萜苷、肉桂挥发油等功能性成分含量提高 10%;建立木本药材、调香料等培育基地 6000 亩;攻克山楂和山茱萸全值化精细利用技术、沙棘和药桑功能组分增效技术、银杏/青钱柳全资源利用技术、八角/肉桂芳香油精深开发技术、花椒/茴香麻香风味活性组分产品研发技术等高附加值利用技术 5—8 项,产品深加工率提高 20%;山楂粗提物纯度 $\geq 18\%$;环烯醚萜苷热敏组分保留率 $\geq 90\%$;沙棘黄酮提取率 $\geq 85\%$;花青素提取率 $\geq 85\%$;银杏叶萜内酯提取率 $\geq 84\%$;青钱柳三萜类粗提物纯度 $\geq 12\%$;八角茴香油水蒸气蒸馏得率 $\geq 7.8\%$;肉桂油蒸馏得率 $\geq 1.44\%$;花椒麻素、茴香脑提取率 $\geq 84\%$ 。开发健康新功能产品 9 种,产品附加值提高 30%;建立中试生

产线 5 条，授权发明专利 6 件，制定标准 4 项。

关键词：木本药材，调香料，生态栽培，精细利用

4.9 林木剩余物多途径高效能源转化与高质产品制备技术

研究内容：针对木质纤维生物质剩余物，研发林木剩余物高固厌氧发酵制备高纯生物甲烷联产有机肥技术；研究林木剩余物低成本绿色分级分离、木质素组分定向合成烃类燃料、木质素热化学重构先进储能多孔碳材料等关键技术；创制高纯生物甲烷、黄腐酸有机肥、木质素烃类燃料、硅碳专用多孔碳等高附加值产品，创新林木剩余物多途径分级增值利用关键技术，实现林木剩余物全组分利用与产品附加值显著提升。

考核指标：突破林木剩余物多途径高质利用关键技术 3—5 项，形成“高纯生物甲烷、高品质有机肥、特种燃料和储能多孔碳”等增值利用途径；研制高纯生物甲烷、黄腐酸有机肥、烃类燃料、硅碳专用多孔碳等新产品 4 种，产品附加值提高 20% 以上。林木剩余物分级分离，木质素分离效率 $\geq 75\%$ ，建成千吨级绿色分离示范线；厌氧发酵进料固体含量 $\geq 15\%$ ，甲烷平均产率 $\geq 250 \text{ m}^3/\text{t VS}$ ，生物甲烷纯度 $\geq 99.9999\%$ ，建成千吨级高纯生物甲烷示范线；烃类燃料中环烷烃与芳烃总含量 $\geq 65 \text{ wt}\%$ ，冰点 $\leq -45^\circ\text{C}$ ，热值 $\geq 45 \text{ MJ/kg}$ ，完成吨级示范装置；储能多孔碳 0.7—2 nm 孔径容积占总孔容积比例 $\geq 70\%$ ，建成千吨级多孔碳材料生产线，产品应用构筑的硅碳储锂比容量 $\geq 2200 \text{ mAh/g}$ ，500 次循环容量保持率 $\geq 80\%$ ；授权发明专利 4 件，制定标准 3 项。

关键词：林木剩余物，多途径高效转化，高纯生物甲烷，

烃类燃料，储能多孔碳

4.10 废弃木质材料高值化利用与绿色制造技术

研究内容：研究废弃回收人造板和木制品等木质材料在线木质材料和异物快速精准识别、分离、净化处理技术和装置，开发回收木质刨花板制造技术和产品；研究高耐水胶黏剂可控合成、同步快速固化等技术，创制绿色超低吸水防潮纤维板等新产品；研发木纤维保温板专用木纤维制造和界面交联技术，创制无醛轻质木纤维板制备关键技术和产品；开展木纤维表面组分解析和界面增容改性研究，研发无胶胶合纤维板和木质复合材料模塑成型技术和产品；突破分层阻燃可控构筑技术，研发阻燃刨花板及纤维板制造关键技术。实现回收木质资源综合利用。

考核指标：建立废弃木质材料高值化利用关键技术 5 项，开发无醛轻质纤维板等新产品 5 种，产品附加值提高 20% 以上。废弃木质材料精准识别与分选技术实现分选杂质种类达 8 种以上，分选正确率 $\geq 95\%$ ；废弃木材处理能力 $\geq 30 \text{ t/h}$ ，利用率提高 15%；耐水胶黏剂黏度 $\leq 75 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ，固化时间 $\leq 140 \text{ s}$ ，固化胶层吸水率 $\leq 30\%$ ；轻质纤维板密度 $\leq 350 \text{ kg/m}^3$ ，24 h 吸水厚度膨胀率 $\leq 9\%$ ，静曲强度 $\geq 2 \text{ MPa}$ ；木纤维保温板密度 $\leq 200 \text{ kg/m}^3$ ，导热系数 $\leq 0.050 \text{ W/mK}$ ；分层阻燃型木质刨花板阻燃等级达 B1 级，阻燃剂添加量 $\leq 6\%$ ，弹性模量 $\geq 1800 \text{ MPa}$ ，静曲强度 $\geq 13 \text{ MPa}$ 。建成年产 10 万立方米轻质木纤维板等示范生产线 5 条，授权发明专利 5 件，制定标准 3 项。

关键词：废弃木质材料，高值化利用，绿色制造

4.11 防沙治沙智能集成装备研发

研究内容：研究软硬质固沙材料连续化智能编织与标准化成型工艺，开发多材质沙障备料连续生产智能装备；攻克大坡度松软沙丘底盘防滑自适应调平与多材料兼容铺装技术，研制适应复杂地形的智能化沙障铺设装备；构建多模态感知空地协同飞播与低扰动精准插植方法，研制退化草原精准建植复壮智能装备；突破沙生植物浮动式仿形切割及同步收集、粉碎、打捆一体化技术，创制沙生植物更新收获联合装备；研发沙漠高通过性载具与荒漠生态修复无人化集群作业系统，形成集成化荒漠生态修复智能装备体系。

考核指标：建立固沙材料连续制备、复杂地形沙障铺设、精准建植与更新收获等关键技术 12—15 项，创制防沙治沙成套智能装备 12—15 种。固沙材料单机生产效率提高 10 倍，无序长纤维自动理顺与均匀喂入成功率 $\geq 90\%$ ；沙障铺设效率提升至人工作业的 20 倍，适应作业坡度 $\geq 20^\circ$ ，铺设质量精度误差 $\leq 5\text{ cm}$ ；恶劣环境下机械化建植成活率 $\geq 85\%$ ，空地协同自主导航与避障误差 $\leq 5\text{ cm}$ ；平茬作业效率提高至人工的 12 倍，仿形地面高差 $\leq 3\text{ cm}$ ，剩余物收集率 $\geq 90\%$ ；开发“林机云”装备智慧管控平台 1 个，荒漠生态修复无人化集群作业系统支持 3 台及以上装备协同作业与统一调度，智能控制系统平均无故障作业时间达到 80 小时以上，整体劳动生产率提高 80% 以上。建立防沙治沙机械生产线 1 条，建立机械化应用基地 4 个，累计试验示范面积 1.5 万亩。授权发明专利 6 件，制定标准 4 项。

关键词：防沙治沙，智能装备，沙障铺设，多机协同

4.12 生态系统韧性与碳汇协同提升技术

研究内容：以我国主要森林天然林和人工林类型为对象，研建全球变暖引发的干旱、热浪和强降水等极端气候胁迫下天然林生态系统韧性与碳汇协同提升、人工林质量与生产力韧性协同提升等技术，提出全国尺度天然林保护修复、人工林提质的碳汇多路径协同提升优化布局与精准经营技术方案；以我国典型草原、湿地和荒漠为研究对象，研建退化草原生产力与固碳功能协同提升、湿地水文调节与土壤碳储量协同提升、荒漠生态系统植被修复与土壤有机-无机碳储功能协同提升等技术。

考核指标：采用森林资源连续清查及全国林草湿荒监测与调查数据，研建热带、亚热带和温带典型天然林和人工林生态系统韧性与碳汇协同提升关键技术 6 项，试验区单位面积的森林碳储量提高 10%（平均从 86 吨/公顷提高到 95 吨/公顷），筛选韧性-碳汇协同型森林优化配置模式 5 个，提出退化草原生产力与植被-土壤碳储量协同提升技术 2 项，试验区草原植被-土壤碳储量提高 5%；建立湿地水文调控与土壤有机碳密度协同提升技术 1 项，试验区湿地土壤有机碳密度提高 5%；构建荒漠生物结皮覆盖与无机碳扩增协同技术 1 项，试验区荒漠无机碳扩增量提高 5%；形成全国森林碳汇多路径协同提升区划 1 套，热带、亚热带、温带典型森林碳汇与韧性经营技术方案 3 套。以国家林业碳汇试点市（县）和国有林场森林碳汇试点为应用场景，建成试验示范区，森林 3000 亩、草原 1000 亩、湿地和荒漠各 500 亩。

关键词：生态系统，韧性与碳汇，协同提升

4.13 生态产品价值协同增效与高效转化技术

研究内容：研究生态产品“形成-空间传导-最终效用”的演变以及关键人类活动的影响；研发基于“天空地一体化”的生态产品多尺度动态监测技术，突破监测数据协同融合技术，并量化解析生态产品供给能力与分布格局；研建面向转化应用的多尺度专项核算规范，研发跨尺度生态产品自动化核算原型系统，构建支撑多层次决策的一体化决策支持平台；研究碳汇、水源涵养、生物多样性和游憩康养等重要生态产品协同增效机制与关键技术；研发生态产品高效转化协同技术与路径，创新生态产品价值实现机制与保障体系，拓宽应用场景。

考核指标：研发生态产品多尺度动态监测模型，形成森林生态系统碳、水、生物多样性重要生态产品“一张图”3套以上；研发跨尺度生态产品标准化自动化核算系统1个，核算周期缩减50%以上，核心参数本地化覆盖率提升到85%以上；形成森林-碳-水-生境耦合协同增效关键技术不少于3项，单位面积生态产品价值提升15%，完成耦合增效关键技术示范验证面积不少于3000亩；研发重要生态产品生态产业化决策的优化模型，形成“监测-核算-提升-交易-产业”全链条决策支持核心数据库1个，带动产业增值20%，在不少于2个典型区域开展生态产品价值实现集成示范，形成可复制推广的生态产品价值实现模式不少于2个。

关键词：生态产品价值，协同增效，高效转化

5. “三北”工程攻坚战技术集成示范

5.1 干旱区高危害性流动沙丘快速固定关键技术集成与示范

研究内容:揭示干旱区高危害性流动沙丘风沙危害形成机理,建立亟需治理流动沙丘危害数据库;筛选干旱区乡土固沙植物物种,确定不同气候类型区不同类型流动沙丘乡土固沙物种配置模式,提出适用于不同气候类型区不同类型流动沙丘的防风固沙材料清单及应用规范;完成干旱区高危害性流动沙丘危害评估与治理区划,提出干旱区高危害性流动沙丘治理策略与快速固定技术体系;研发铁路、公路两侧高危害性流动沙丘防风固沙技术组合与配置,建立干旱区道路两侧高危害性流动沙丘快速固定的一体化防沙治沙模式,并开展技术集成示范;研发干旱区文化遗迹周边高危害性流动沙丘快速固定、文化遗迹保护和区域生态恢复的绿色低碳防风固沙模式,并开展技术集成示范;研发干旱区矿区或能源基地周边高危害性流动沙丘快速固定一体化防沙治沙模式,并开展技术集成示范。

考核指标:建立干旱区亟需治理的高危害性流动沙丘分布数据集 1 套,空间分辨率 2 m;提出流动沙丘治理固沙植物清单、适用于不同气候类型区不同类型流动沙丘的防风固沙材料清单,提出干旱区高危害性流动沙丘治理区划及治理策略;研发干旱区铁路、公路两侧高危害性流动沙丘快速固定模式 2 套,示范面积 6000 亩,示范区内道路两侧侵蚀模数降低 70%,至 $2400 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下,沙丘移动速度降低 50% 以上,生物结皮固沙区生物结皮盖度达到 20%,植被恢复区植被覆盖度达到 20% 以上;研发文化遗迹周边高危害性流动沙丘绿色低碳沙障

构建模式 2 套,示范面积 6000 亩,示范区内防风效能达到 70%,侵蚀模数降低 60%,至 $2000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下,植被恢复区植被覆盖度达到 20%以上,绿色低碳沙障及固沙材料使用率达到 100%;研发矿区或能源基地周边高危害性流动沙丘多层次防护体系构建模式 2 套,示范面积 8000 亩,示范区内防风效能达到 70%,侵蚀模数降低 60%,至 $2000 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下,植被恢复区植被覆盖度达到 20%以上;授权发明专利 3 件,制定标准 2 项。

关键词: 高危害性流动沙丘,高耐候固沙材料,固沙植物配置,流沙快速固定工程技术

5.2 沙戈荒生态治理与风电开发协同增效关键技术集成与示范

研究内容: 重点研究风电场影响下的风速衰减-资源禀赋变化-输沙通量响应规律,建立沙戈荒风电基地开发的生态环境影响评价方法,阐明风电开发与生态环境协同增效及互馈机制;针对西部戈壁区风电基地,研发戈壁砾幕剥离、保存与精准回铺技术,突破砾幕扰动区超旱生灌木与短命植物近自然建植技术,建立戈壁风电基地生态治理技术模式;针对中部荒漠区风电基地,研发表土剥离保存与快速改良技术,筛选适生耐旱乡土灌草植物,建立不同微生境的灌草优化配置与近自然恢复模式;针对东部草原区风电基地,研发风电能源基地生产功能与生态功能协同提升技术,建立栖息地保护、微生境修复与近自然植被恢复技术,促进生物多样性与生态系统多功能性恢复;构建沙戈荒不同类型风电基地开发、防风固沙、植被恢复、

生态功能提升一体化生态协同治理模式，并在“三北”地区大型风电基地开展技术示范。

考核指标：建立沙戈荒风电基地开发生态环境影响评价方法 1 套，编制不同类型风电基地植被恢复与生态环境影响研究报告 1 份；研发西部戈壁风电基地生态治理技术模式 2 项，示范区面积 6000 亩，示范区内土壤侵蚀模数降低 30%以上，输沙通量降低 50%以上，植被恢复区植被盖度达到 20%以上；研发中部荒漠风电场风沙防控与近自然恢复模式 2 项，示范区面积 6000 亩，示范区内土壤侵蚀模数降低 30%以上，植被恢复区盖度达到 50%以上，生物结皮固沙区生物结皮盖度达到 20%；研发东部草原区风电场防风固沙-植被恢复-功能提升一体化技术模式 2 项，示范区面积 8000 亩，示范区内土壤侵蚀模数降低 30%以上，碳汇功能提升 30%以上，植被恢复区盖度达到 70%以上，物种丰富度增加 3—4 种；授权发明专利 2 件，制定标准 1 项。

关键词：生态环境影响评价，风速衰减，防风固沙配置，生态-生产融合

5.3 干旱区苦咸水资源挖掘与生态化利用关键技术集成与示范

研究内容：研发苦咸水资源定量核算与空间分区潜力评估技术，对重点生态建设区苦咸水动态储量和安全可开采量进行定量估算；研发苦咸水循环利用与低成本电容去离子咸水淡化新技术，研制智能化的苦咸水高质利用成套装备；构建适配沙区光伏能源的苦咸水淡化副产盐资源化利用技术；研发“光伏

+苦咸水”的沙漠锁边林草带与防护林灌溉造林种草配套工艺与管护技术,建立沙漠边缘苦咸水灌溉林草带营造技术示范区;构建苦咸水规模化利用的生态风险评估体系与可持续性评价方法,集成苦咸水资源化生态化利用技术,并在塔克拉玛干沙漠边缘阻击战区域开展示范,研发西北干旱区苦咸水安全开发利用路径及适配区域发展的苦咸水资源可持续管理模式。

考核指标:构建咸水含水层三维反演与动态储量核算模型,平面刻画精度 ≤ 50 m,时序模拟误差 $\leq 12\%$;编制西北干旱区咸水储量、水化学分布图各1套,空间分辨率达到1 km,精准核算重点生态区咸水安全可开采量,安全开采靶区识别精度 $\geq 85\%$;开发低成本苦咸水淡化技术2项,咸水替代淡水率40%,浓盐水排放量从30%减至15%以下,苦咸水淡化成本从2元/方以上降到0.5元/方以下,苦咸水循环利用技术2项,循环利用率 $\geq 85\%$,副产盐资源化利用率 $\geq 50\%$;研制苦咸水利用装备3套,出水离子浓度小于1000 ppm,产水能耗小于1 kWh/t,得水率大于60%,苦咸水综合利用率从70%提高到85%以上;集成“光伏+苦咸水”治沙模式,建成3万亩示范区,植被覆盖度较基线提升25%;建立多维度咸水开发生态风险评估模型1套,风险分级识别准确率 $\geq 85\%$;授权发明专利5件,制定标准2项。

关键词:苦咸水资源,苦咸水淡化,苦咸水利用装备,生态化利用

5.4 沙漠锁边带防风固沙体系构建技术集成与示范

研究内容:阐明沙漠边缘带生态系统多要素耦合作用机制,

构建沙漠边缘风沙危害风险评估指标体系，制定沙漠锁边工程区划方案，科学评估沙漠锁边工程成效；筛选适用于沙漠锁边带的抗旱、抗风沙固沙植物，筛选高耐候性固沙材料，研发沙漠锁边带工程与生物措施协同固沙技术；优化林草固沙与特色产业融合锁边模式，攻克植被精准节水管控技术，研发防护经济型林草带建设技术并进行示范；研发锁边林带非常规水灌溉与水资源高效利用技术，构建差异化地形沙漠边缘带治理模式并进行示范；统筹沙漠全域水土资源，建立沙化土地修复、绿洲过渡带稳固、绿洲保育一体化稳定可持续的沙漠锁边带防风固沙技术体系，并进行集成示范。

考核指标：构建风沙危害风险评估指标体系，研发锁边成效量化评估技术，整体评估精度较基期提升 10% 以上；制定沙漠锁边工程区划方案，区划图分辨率优于 2 m；筛选适用于沙漠锁边带的抗旱、抗风沙固沙植物 10 种；研发沙漠锁边带工程固沙与植物固沙优化配置技术 5 项，实现离地 0.5 m 风速削减 60%—70%、侵蚀模数降至 $1500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下；研发锁边林带非常规水灌溉与水资源高效利用技术 3 项，植物保存率 $\geq 80\%$ ，水分利用效率较传统模式提升 20%；研发差异化地形沙漠边缘治理模式 3 个，2 m 高度起沙临界风速提升至 10 m/s 以上，输沙通量降低 50% 以上；构建稳定可持续的沙漠锁边防风固沙技术体系，离地 0.5 m 风速削减 70% 以上，侵蚀模数降至 $1500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下；建成 4 万亩沙漠锁边带治理示范区（工程与生物措施协同固沙技术 2.0 万亩，非常规水高效利用 0.5 万亩，不同地形单元差异化治理模式 1.0 万亩，一体化防风治

理体系 0.5 万亩)，区内输沙通量降低 50%以上，水资源利用效率提高 20%；提交沙漠锁边咨询报告 1 份，并获得省部级及以上政府部门采纳，授权发明专利 3 件，制定标准 1 项。

关键词：沙漠边缘，锁边带，防风固沙体系，沙漠-绿洲一体化治理

5.5 北方防沙带跨境沙尘监测预警与重要生态系统保护修复技术

研究内容：研发沙尘暴“天-空-地”一体化监测预警技术，阐释北方防沙带和中亚、蒙古高原跨境区域沙释放与传输规律；研究确定跨境沙尘源区和路径区的范围及生态系统类型，评估沙尘释放的跨境贡献及其对相邻地区的影响；研发跨境荒漠、草原等重要生态系统保护修复与荒漠化综合防控技术；研发戈壁熊、野骆驼、蒙古野驴等跨境珍稀濒危物种的迁徙核心生境生态廊道连通技术、自然保护区珍稀濒危物种栖息地质量提升技术；集成建立跨境重要生态系统保护修复技术体系；建立跨境重要生态系统保护修复协调机制。

考核指标：提交跨境沙尘暴监测预警技术 3 项，确定跨境沙尘释放源区和传输路径，核算跨境沙尘的贡献率，总体准确率达到 80%；研发跨境重要生态系统保护修复与荒漠化综合防控技术 5 项，荒漠和草原植被覆盖率提高 10%；研发跨境珍稀濒危物种保护技术 3 项，跨境物种生境利用频度和连通性提高 10%，保护区生态廊道数量增加 2—3 条；提出蒙古高原跨境生态系统保护修复模式 2 个，中亚跨境生态系统保护修复模式 3 个，荒漠区、荒漠草原区物种丰富度提高 10%；提交中亚、

东北亚跨境区域沙尘释放传输与危害评估、跨境重要生态系统保护修复与荒漠化综合防控、跨境珍稀濒危物种保护咨询报告 3 份，并获得省部级及以上政府部门采纳。

关键词：跨境沙尘暴监测预警，跨境重要生态系统保护修复，跨境珍稀濒危动物保护

6.南方重点生态区保护修复利用技术集成示范

6.1 长江中上游退化林多要素协同修复关键技术集成与示范

研究内容：以长江中上游三峡库区及南北两翼山区退化松、杉、柏人工针叶林和栎类阔叶次生林为对象，基于天空地一体化与长期定位等多维度动态监测，研发典型森林类型结构与功能退化精准诊断技术，识别退化类型及其空间分布格局；围绕固碳增汇、水土保持、水源涵养、生物多样性和生境修复等多功能协同提升目标，集成森林生长预估与立地精准适配、深根固土型乡土树种混交配置与结构近自然改造、人工诱导更新与定向演替调控等多要素协同修复关键技术体系；基于无人机遥感与经营效果监测评价，研发“林分-景观-区域”精准适配的退化林智慧修复决策技术，构建多要素耦合调控、多功能协同提升与多尺度联动优化的典型退化林修复模式，并建立示范区。

考核指标：构建退化林精准诊断和智慧修复决策平台 1 套，诊断精度达 80%以上；集成水土保持型、水源涵养型、生物多样性保护型等典型退化林多要素协同修复和多功能耦合提升经营技术体系 5 套以上，林分生产力提升 10%以上；建立退化林多要素协同修复技术集成示范区 3 个以上，面积 15 万

亩，其中三峡库区 9 万亩、武陵山-大娄山区 3 万亩、大巴山区 3 万亩，示范林分碳储量提升 10%，水土保持、水源涵养、生物多样性等核心生态功能提升 15%以上。

关键词：长江中上游退化林，多要素协同修复，多功能提升

6.2 石漠化生态修复提质增效融合技术集成与示范

研究内容：构建石漠化植物资源“生境-性状-功能-利用价值”评价体系，研发适钙抗逆和特色生态经济植物资源挖掘与利用技术；重点集成退化低效林草植被快速改造、乡土植物配置与群落结构优化、草山草坡生态修复与功能提升、生态服务功能智慧动态监测与评估、水养调控与生产力提升等石漠化生态系统提质增效关键技术；构建石漠化区域乡土植物群落结构优化、土壤改良与水土保持功能提升、特色植物资源利用等生态修复和产业融合发展技术模式，并在典型石漠化地区示范。

考核指标：挖掘高经济价值、生态价值植物资源 5 个，效益提升 10%，适应土壤钙浓度范围 2%—3%；研制中度、重度石漠化群落结构优化与功能提升、水养协同与生态修复适配、生态修复与特色产业融合增效等关键技术体系 3 套，植被盖度、生物量提高 10%；在贵州、湖南、广西等典型石漠化地区建立植被恢复、生态功能和生态产业融合发展综合示范区 5 个，面积 5 万亩，其中岩溶高原山地、断陷盆地、峰丛洼地、岩溶槽谷和岩溶峡谷等石漠化治理示范面积各 1 万亩，生产力、水源涵养、水土保持等综合生态功能提升 10%以上，综合效益提升 15%。

关键词：石漠化，生态修复，提质增效融合

6.3 红树林等海岸带生态系统保护修复技术集成与示范

研究内容：重点突破生境退化诊断预警、有害生物智能监测与综合防控、栖息地多样化改造和林分结构定向优化等退化或受损红树林生态系统修复关键技术；系统集成互花米草除治区乡土植被快速恢复、红树林生境精准适配与栖息地质量提升、基干林带结构优化与更新、纵深林网植被配置与多效益提升等海岸带生态系统稳定性提升技术体系；针对海岸带自然特征及退化程度，提出多尺度空间格局优化方案与配置模式，并在典型区域开展集成示范。

考核指标：研发退化、受损红树林结构优化与生境修复关键技术 2 项，物种多样性指数提升 10%，有害生物防控率提高 10%；集成海岸带生态系统稳定性提升技术体系 2 套，生态系统质量提升 10%；提出海岸带空间格局优化方案 2 套，在典型区域建立技术集成示范区 5 个，示范面积 5 万亩，其中广西北部湾、粤西、珠三角、闽南、浙东南示范面积各 1 万亩，生态系统防护功能提升 15%。

关键词：红树林，海岸带，稳定性提升，空间格局优化

6.4 热带雨林生物多样性保护关键技术集成与示范

研究内容：研发海南热带雨林国家公园生物多样性多源监测数据融合技术，开展多风险耦合因素解析和多营养级类群协同监测技术攻关，攻克精准智慧时空监测和预测预警技术；研发坡垒等珍稀濒危植物适宜生境识别、群落结构调整及退化生境质量协同提升关键技术，突破种群复壮和天然更新促进技术；研究旗舰物种海南长臂猿不同种群潜在适宜栖息地空间分

布与领域适配性,研发关键生态源地和迁徙廊道及断裂位点的识别技术,攻克以食源和食宿植物动态调控为核心的源地-廊道贯通修复技术;研究退化天然次生林和人工林的生物多样性、生产力和稳定性等恢复的时空动态规律,基于智能树种组配选择等新手段研发退化天然次生林近自然修复技术,促进破碎化天然次生林的生态系统多功能性提升;集成基于生态系统整体性的多尺度生物多样性保护和生境连通性提升技术体系,构建热带雨林国家公园的生物多样性一体化保护和智慧监测示范区。

考核指标:研发热带森林生物多样性时空格局精准智慧监测和预警、珍稀濒危植物种群复壮、潜在生境精准修复、旗舰物种生态源地和潜在栖息地的廊道连通性提升、破碎化天然林生态系统多功能性提升等技术 5 项,关键珍稀濒危植物种群数量提升 10%以上;建立热带雨林国家公园生物多样性一体化保护和智慧监测示范区不少于 1 万亩,地面监测覆盖度大于 65%,旗舰物种种群个体监测覆盖率和监测精度提高 10%,修复旗舰物种迁徙廊道断裂位点 1—2 处,开发智能树种组配选择软件 1 个,修复退化天然次生林或人工林 1—2 处,生境连通性提升 10%。

关键词:热带雨林国家公园,旗舰物种栖息地修复,珍稀濒危植物种群复壮

6.5 工业原料林智慧培育与精深加工技术集成与示范

研究内容:以银杏、山苍子、杜仲、油桐等工业原料树种为对象,融合图像识别与环境传感数据,建立各树种水分养分、

重要病虫害、目标收获物产量与品质等智能化监测和预测模型，创制水养精准管理、病虫害绿色防控、有效成分靶向调控等智慧培育技术体系；集成轻简高效采收、快速干燥、采后保鲜及防霉防氧化贮运等绿色采运储技术；研发有效成分定向酶法结构修饰和生物合成等关键技术，创制银杏黄酮等活性单体及其衍生物、山苍子抗菌天然化工产品、杜仲橡胶衍生物和桐油衍生物等精深加工产品；攻克枝叶、果壳、油饼等剩余物全质化利用技术，集成“智慧培育-绿色采运储-产品创制”全链条一体化技术体系，并建立示范区。

考核指标：提出杜仲胶用原料林、油桐脂用原料林、山苍子化工用原料林、银杏医药用原料林智慧培育和精深加工技术模式或标准化培育技术体系 5 套，目标收获物产量与品质预测模型精度达 85%以上、主要病虫害智能预警准确率达 80%，劳动生产率提高 20%以上；在南方核心主产区建立示范基地或示范区 4 个，面积 15 万亩以上，其中杜仲胶用原料林 5 万亩、油桐脂用原料林 3 万亩、山苍子化工用原料林 3 万亩、银杏医药用原料林 4 万亩，目标收获物产量和品质提高 10%；创制高附加值有效成分衍生品 5 种，杜仲橡胶医用护具形状记忆定型率、油桐自修复防护涂层产品拉伸强度、山苍子精油防霉制剂抑菌率和银杏黄酮、内酯衍生物生物利用度等产品指标提升 10%以上，产品附加值提高 20%以上。

关键词：工业原料林，智慧培育，有效成分定向修饰

6.6 林下经济资源生态栽培与高效利用关键技术集成与示范

研究内容：在南方地区松、杉、桉、栎、竹林下，突破林

下光温水精准调控、菌根定向营养补给和菌塘复壮等菌根菌（红菇、乳菇、乳牛肝菌等）人工促繁关键技术，攻克特色基质定向培育、矿质元素生物富集和外源生物刺激剂诱导等珍稀腐生菌（灵芝和香蘑等）品质调控技术；研制多功能复合菌剂，突破淫羊藿、黄精、三叶青和柴胡等南方大宗道地药材连作障碍靶向消减技术，集成道地药材适配性选择、仿野生栽培、智慧采运和绿色加工等一体化技术体系；建立林下蕨菜、薇菜、鱼腥草和马兰头等山野菜智慧化多维品质评价体系，集成种苗繁育、水肥管理、郁闭度调控等绿色栽培技术体系，研发山野菜低温和脱水保鲜智慧储藏和加工技术；引入人工智能与机器学习算法，构建涵盖短、中、长时间尺度与乔、灌、草空间尺度的林-菌-药-菜优化配置模型，并在典型区域开展集成示范。

考核指标：集成林下珍贵食用菌绿色高效培育、林源药材品质提升及精深加工、林下山野菜智慧化种植及经营等林下经济资源生态栽培与高效利用关键技术体系 5 套，林下食用菌、道地药材和山野菜等产量提升 15%以上；创制林药专用生物刺激剂和功能菌剂 3—4 种，林下淫羊藿苷含量、三叶青黄酮含量、黄精多糖等有效成分提高 10%；建成南方典型人工林林菌、林药、林菜示范基地 6 个以上，面积 5 万亩，其中林菌 1 万亩、林药 1 万亩、林菜 1 万亩、林下立体复合经营基地 2 万亩，林地综合效益提升 10%以上；开发功能产品 2 个，红菇超细粉代用茶、淫羊藿苷袋泡茶溶出率提高 10%以上，产品附加值提高 20%以上。

关键词：林下经济，生态栽培，高值化加工利用

6.7 南方乡村森林提质增效技术集成与示范

研究内容：重点研究乡村细碎空间生态特征、绿化树种功能性状和细碎空间树种适配性，研发与村民生活协同的乡村聚落小微空间绿美技术体系；集成乡村树种组成优化、林相结构调控、季相景观营造等关键技术，构建树种优化与村庄风貌协同提升技术模式；基于生态美学和村庄需求，集成乡村森林空间结构优化、乡土彩色植物筛选、色彩配置等乡村生态风景林调控技术体系；研究乡愁森林特征与乡土动植物生境关联性，重点集成典型生物生境恢复、乡愁森林植物选择和群落配置等乡愁森林多功能协同恢复提升技术体系，并开展集成示范。

考核指标：建立南方典型乡村森林美景度评价与居民偏好识别方法 1 套，筛选出乡村功能性植物 100 种以上；集成优良乡土情感植物评价利用、乡村聚落细碎空间与绿化树种精准适配、树种林相风貌优化、村林-风貌耦合调控、乡村特色生态风景林培育和乡愁森林多功能协同恢复提升等乡村景观林提质增效技术体系 6 套，森林美景度提高 60%，生物多样性提高 20%以上；建立典型乡村类型示范区 4 处，示范面积 10 万亩，其中江南平原水乡 1 万亩、丘陵山地 3 万亩、沿海 3 万亩和河谷盆地 3 万亩，居民生态获得感达到 85%。

关键词：乡村森林，提质增效，森林美景度

7. 青藏高原高寒区保护修复技术集成示范

7.1 川滇高山峡谷区森林多功能提升技术集成与示范

研究内容：研究川滇高山峡谷区森林垂直带内及带间生态系统稳定性的分异与互作，凝练森林生态系统稳定性维持技

术；解析高山森林生态系统对气候变化的响应，构建适应气候变化的水源涵养与生物多样性保育等生态系统多功能提升技术；破解制约亚高山森林生态系统碳水功能协同提升与水碳耦合调控关键因子，研发森林固碳潜力提升的关键技术；优选乡土物种，研发河谷区植被恢复与生态服务和功能提升技术；创新集成构建川滇高山峡谷区森林质量精准提升与生态功能协同恢复技术体系，并在川西、滇西北天然次生林、人工林等森林类型建立多功能提升示范区。

考核指标：研发川滇高山峡谷区垂直林带互动下的森林生态系统稳定性维持技术 1 项；研发适应气候变化的高山森林水源涵养、生物多样性等多功能提升技术 4 项，亚高山碳水功能协同提升与固碳潜力提升关键技术 3 项，森林涵养水源功能从 1400 吨/公顷提升至 1650 吨/公顷；研发河谷植被恢复、生态功能提升等技术 4 项；建立高山峡谷区森林多功能提升技术示范区面积 1 万亩，其中川滇亚高山森林 7000 亩、河谷区森林 3000 亩，森林多功能性提升 15%以上；建立 8—10 种典型森林类型的长期固定监测样地(不小于 1 公顷)，总面积 30 公顷；授权发明专利 3 件，制定标准 1 项。

关键词：高山峡谷森林，适应性生态恢复，多功能提升技术

7.2 西藏重大生态工程区保护修复技术集成与示范

研究内容：筛选适用于拉萨南北山、澜沧江中上游等西藏重大生态工程区的耐寒、耐旱、耐贫瘠乡土植物，筛选适用于高寒环境的功能微生物菌剂和高分子基质土壤改良、保水新材料；研发拉萨南北山等西藏重大生态工程区的抗逆植物高效繁

育关键技术、不同立地条件的植被群落构建技术、病虫害监测与防治技术，研发澜沧江中上游马鹿、金丝猴等重要物种生态廊道构建技术，开发干暖河谷区乔灌木群落立体配置技术、石漠化裸地“工程-植被-菌剂”组合修复技术，并开展集成示范。

考核指标：筛选适用于重大生态工程区的耐寒、耐旱、耐贫瘠乡土林草植物种 10 种，制定繁育标准技术规程 2 项；筛选功能微生物菌剂或保水新材料 3 种，菌剂存活率提高 10%，保水性能提升 5%；提出抗逆林草植物高效繁育与群落构建模式 3 套，示范区植被生产力提升 10%；研发病虫害监测与防治、重要物种生态廊道构建、重大生态工程区域适配性保护修复技术共 6 项，主要病虫害监测与防治效果达 80%、退化栖息地生态廊道连通度提升 10%、水土保持功能提升 10%；在拉萨南北山和澜沧江流域重大生态工程区各建立技术集成示范区 3000 亩，示范区植被覆盖度提高 10%，严重退化区土壤侵蚀区侵蚀模数降低 10%；授权发明专利 6 件。

关键词：重大生态工程，保护修复，技术集成示范

7.3 青藏高原跨境生态系统监测预警与保护修复技术

研究内容：聚焦青藏高原跨境区域，基于天空地一体化监测网络，构建跨境生态系统本底数据库；针对青藏高原边境口岸、跨境河谷、交通通道及生态连通区域林木有害生物入侵风险，研究其传入、定殖和扩散规律及对气候变化的响应，建立风险评估、精准检测、监测预警、检疫阻截与绿色防控技术体系；研究跨境区域主要旗舰物种的活动路径和种群恢复关键影响因素，评估与优化跨境生态廊道连通性与完整性，识别廊道

内部破碎化节点与关键保护缺口，研发生态廊道连通和栖息地质量提升技术；建立跨境生态系统保护修复社区共管、联合保护、协同管理机制和管理技术模式，形成“监测、预警、修复、共治”全链条解决方案。

考核指标：融合“天-空-地”多模态数据，构建跨境生态系统本底数据库 1 套，空间分辨率不低于 30 m；建立跨境林木有害生物风险评估技术 1 项，监测预警精度 $\geq 85\%$ ；提出边境口岸病虫害精准检测与前沿阻截技术 3 项，其中检测灵敏度和特异性均 $\geq 99\%$ ，明确适用海拔范围、适用物种及关键防控窗口期；防控产品 2 个，林间防效 $\geq 70\%$ ；研发跨境旗舰物种生态廊道连通技术 2 项，完成跨境核心旗舰物种分布与保护优先区空间规划图集 1 套，空间分辨率不低于 30 m；提出社区共管、联合保护的跨境生态系统保护修复协同管理模式 1 套；我国境内关键旗舰物种栖息地修复利用率提升 20%。

关键词：青藏高原，跨境生态系统，保护修复