

黄河“几字弯”生态脆弱区植被恢复对水土流失的防控作用

惠 龙¹ 王 娟²

1. 陕西省防护林建设工作站 陕西 西安 710082

2. 秦岭国家植物园 陕西 西安 710061

摘要：黄河“几字弯”生态脆弱区是我国水土流失最为严重的区域之一，其特殊的地貌、气候和土壤条件加剧了生态系统的脆弱性。植被恢复作为生态修复的核心手段，通过固土保水、调节水文循环、改善土壤结构等机制，在防控水土流失中发挥着不可替代的作用。本文系统分析了植被恢复对水土流失的防控机理，结合陕西地区相关治理案例，揭示了植被恢复技术的实践成效与科学价值。研究表明，科学配置植被类型、优化群落结构、融合生物-工程措施，可显著提升区域水土保持能力，为黄河流域生态保护与高质量发展提供重要支撑。

关键词：黄河“几字弯”；生态脆弱区；植被恢复；水土流失防控；生态修复技术

引言

黄河“几字弯”横跨内蒙古、陕西、甘肃、宁夏四省区，是我国北方生态安全格局的关键节点。该区域地处干旱半干旱过渡带，年均降水量仅300-500毫米，且时空分布不均，叠加黄土高原沟壑纵横等地质特征，导致水土流失面积占流域总面积的65%以上，每年向黄河输入泥沙超10亿吨，成为黄河水沙关系不协调的主要源头。长期以来，人类活动与自然因素叠加，导致植被覆盖率下降、土地荒漠化加剧，形成“生态脆弱-水土流失-贫困加剧”的恶性循环。

植被恢复作为生态修复的基础性工程，通过增强地表覆盖、改善土壤结构、调节水文循环等机制，成为防控水土流失的核心手段。近年来，随着“三北”工程、黄河流域生态保护和高质量发展国家战略的深入实施，黄河“几字弯”生态脆弱区植被恢复技术取得突破性进展，形成了一系列可复制、可推广的治理模式。本文从植被恢复的生态机理、技术路径、实践成效及未来方向四个维度，系统探讨植被恢复对水土流失的防控作用，为区域生态治理提供理论依据与实践参考。

1 植被恢复防控水土流失的生态机理

1.1 固土保水：植被的物理屏障作用

植被在防控水土流失中扮演着物理屏障的关键角色，通过根系固结土壤、冠层截留降水，形成了“地上-地下”双重防护体系。不同类型植被的冠层截留能力有所差异，研究表明，乔木林冠层凭借其茂密的枝叶，可截留15%-30%的降水量；灌木林由于枝叶更为繁茂且层次丰富，截留率可达20%-40%；草本植被虽然截留量相

对较低，但其根系具有独特优势。草本植被的根系密集，根长密度可达10-50km/m³，这些根系如同无数细小的锚索，能够有效地固定表层土壤，防止土壤被雨水冲刷。在陕西部分黄土高原沟壑地区，植被的固土保水作用显著。例如，油松、侧柏等深根植物凭借其发达的根系，能够深入地下获取水分和养分的同时，将土壤紧紧固结在一起，形成“生物锚杆”。这种“生物锚杆”效应使得土壤抗蚀性大幅提升，较未生长植被的区域可提升3-5倍，有效减少了该区域的水土流失。

1.2 调节水文循环：植被的水文调节功能

植被在水文循环中发挥着重要的调节作用，通过蒸腾作用促进土壤水分循环，增加降水入渗率。在黄土高原沟壑区，植被的存在显著改变了土壤的水分状况。人工林地的土壤入渗率较裸地有了大幅提高，可提高40%-60%，这意味着更多的降水能够渗入地下，补充地下水资源。同时，地表径流大幅减少，减少幅度可达50%-70%，有效降低了雨水对地表的冲刷力。此外，植被覆盖可降低暴雨对地表的直接冲刷，减少溅蚀和面蚀的发生。溅蚀是指雨滴打击地表，使土壤颗粒分散并飞溅，导致土壤流失的现象；面蚀则是指地表径流对土壤的缓慢冲刷。在陕西榆林市靖边县的小流域治理试验中，流域内植被覆盖率从25%提升至65%后，流域侵蚀模数显著下降，下降幅度达75%，同时流域内地下水位有所回升。这一实例充分证明了植被在调节水文循环、减少水土流失方面的重要作用。

1.3 改善土壤结构：植被的生物化学作用

植被根系在生长过程中会分泌有机酸、多糖等物

质,这些物质对土壤结构的改善具有积极影响。它们能够促进土壤团粒结构的形成,使土壤颗粒相互聚集,形成稳定的团粒结构。土壤团粒结构的增加提高了土壤孔隙度,增强了土壤的透气性和透水性,同时降低了土壤容重,使土壤更加疏松^[2]。在陕西延安的长期定位观测中,人工林土壤经过多年的植被恢复,有机质含量从0.7%提升至1.4%,土壤容重从1.45g/cm³降至1.25g/cm³,土壤抗冲系数提高2倍。此外,植被枯落物分解形成的腐殖质层在土壤保水方面发挥着重要作用。腐殖质层具有丰富的孔隙结构,能够吸收相当于自身重量3-5倍的水分,就像一层海绵覆盖在土壤表面,进一步增强了土壤保水能力,减少了土壤水分的蒸发和流失。

1.4 生态系统服务协同:植被恢复的多重效益

植被恢复不仅在直接防控水土流失方面成效显著,还通过改善微气候、增加生物多样性等途径提升生态系统韧性。在陕西榆林市定边县的苜蓿种植试验中,苜蓿的大面积覆盖对地表微气候产生了积极影响。苜蓿使地表温度降低2-4℃,空气湿度提高8%-12%,为土壤生物创造了更加适宜的生存环境。同时,苜蓿为蚯蚓、微生物等土壤生物提供了丰富的栖息场所和食物来源,促进了“植物-动物-微生物”协同修复的生态链的形成。蚯蚓通过在土壤中活动,能够疏松土壤,增加土壤透气性,促进养分循环;微生物则参与土壤有机质的分解和养分转化,提高土壤肥力。这种协同修复的生态链进一步增强了生态系统的稳定性和自我修复能力。

2 黄河“几字弯”植被恢复的技术路径与实践

2.1 黄土沟壑区综合治理技术:提升水土保持能力

黄土沟壑区是黄河“几字弯”水土流失的重要区域,其沟壑纵横、土质疏松的特性导致水土流失严重。近年来,陕西在黄土高原沟壑地区采用“梁峁缓坡修梯田、沟谷打坝淤地、支毛沟种林草”的综合措施。在陕西延安市安塞区,通过构建“三层防护体系”:顶层(峁顶)种植苹果、核桃等经济林,中层(坡面)混交刺槐、沙棘,底层(沟道)栽植旱柳、柽柳。治理后,流域植被覆盖率从20%提升至68%,土壤侵蚀模数从1.1万t/(km²·a)降至0.35万t/(km²·a),实现“泥不下山、水不出沟”的目标。

2.2 菌根培育与土壤改良技术:突破困难立地造林瓶颈

针对黄河“几字弯”干旱、盐碱、贫瘠等立地条件,中国林科院引入德国菌根菌(如Glomus mosseae、Glomus intraradices),通过“菌根接种+土壤酶活化+保水剂添加”技术,显著提升苗木成活率。在陕西榆林市

神木市的盐碱地试验中,接种菌根的沙柳、柠条成活率达90%,较对照提高33%;同时,菌草(如巨菌草)种植使土壤含盐量从1.1%降至0.35%,土壤pH值从9.0降至8.3,实现“盐碱地-生态田-产业基地”的转变。

2.3 小流域综合治理模式:系统修复的典范

以小流域为单元,统筹山水林田湖草沙系统治理,是黄河“几字弯”植被恢复的典型路径^[3]。在陕西榆林市米脂县高西沟村,通过“梁峁缓坡修梯田、沟谷打坝淤地、支毛沟种林草”的综合措施,构建起“三层防护体系”:顶层(峁顶)种植核桃、杏等经济林,中层(坡面)混交刺槐、沙棘,底层(沟道)栽植旱柳、柽柳。治理后,流域植被覆盖率从18%提升至70%,土壤侵蚀模数从1.2万t/(km²·a)降至0.3万t/(km²·a),实现“泥不下山、水不出沟”的目标。

2.4 生态产业融合模式:激发治理内生动力

将植被恢复与产业发展相结合,形成“生态修复-资源利用-经济增收”的良性循环。在陕西榆林市靖边县,通过“光伏+治沙”模式,在光伏板下种植苜蓿、沙打旺等牧草,板间种植柠条、杨柴等灌木,既固定流沙,又发展畜牧业,年出栏肉羊超8万只;在陕西延安市吴起县,推广“草方格+植苗”固沙技术,在草方格内栽植柠条,同时发展沙棘加工、中药材种植等产业,带动农户年均增收4500元以上。

3 植被恢复的实践成效与科学价值

3.1 生态效益:从“黄”到“绿”的美丽蝶变

经过40年治理,黄河“几字弯”生态脆弱区植被覆盖率从1985年的12.3%提升至2023年的38.6%,极强烈和剧烈侵蚀面积减少92.01%。黄土高原主色调由“黄”变“绿”,输入黄河的泥沙量从16亿吨/年降至3亿吨/年,黄河“几字弯”段水质从IV类提升至II类,生物多样性显著增加,黑鹳、大鸨等国家一级保护动物种群数量增长30%以上。

3.2 经济效益:生态产品价值实现路径

植被恢复带动了林草产业、生态旅游、清洁能源等绿色产业发展。在陕西榆林市,林草产业产值从2010年的10亿元增长至2023年的75亿元,旅游收入突破180亿元;在陕西延安市,沙棘、文冠果等特色经济林种植面积达280万亩,年产值超45亿元。同时,植被恢复提升了碳汇能力,据测算,黄河“几字弯”人工林年固碳量达1.1亿吨,为碳交易市场提供了优质资产。

3.3 社会效益:从“治理”到“共治”的转变

植被恢复工程推动了政府、企业、社会组织和公众的协同参与。通过“以奖代补”“生态管护员”等机

制，激发了农牧民的治理积极性^[4]。在陕西榆林市绥德县，超过55%的农户参与生态治理，形成“公司+合作社+农户”的利益联结模式；在陕西延安市，高校、科研院所与地方政府共建“生态修复技术创新中心”，推动科技成果转化应用。

3.4 科学价值：生态修复理论的创新突破

黄河“几字弯”植被恢复实践验证了“生态脆弱区修复需遵循‘适地适树、乔灌草结合、生物-工程协同’原则”的理论，发展了“困难立地造林技术体系”“水-能-粮-生融合发展模型”等科学方法，为全球干旱半干旱地区生态修复提供了“中国方案”。相关研究成果获国家科技进步奖3项、省部级奖项15项，发表SCI论文200余篇，被联合国环境规划署纳入《全球生态修复典型案例集》。

4 未来方向与挑战

4.1 技术创新：突破极端环境治理瓶颈

针对黄河“几字弯”干旱、盐碱、风蚀等极端环境，需加强耐旱、耐盐、抗风沙植物品种选育，研发新型生物基材料、智能灌溉技术，提升植被恢复的适应性和持久性。例如，通过基因编辑技术培育“超级菌草”，使其在-28℃低温、pH值9.5以上的环境中仍能正常生长。

4.2 模式优化：构建“山水林田湖草沙”生命共同体

强化系统思维，将植被恢复与水资源管理、土地整治、产业布局等深度融合。例如，在陕西榆林市定边县推广“渠林路田”一体化模式，在沟壑区发展“淤地坝+光伏+农业”复合系统，实现生态效益、经济效益和社会效益的最大化。

4.3 政策保障：完善生态补偿与监管机制

健全跨区域生态补偿机制，通过横向财政转移支付、水权交易、碳汇交易等方式，调动上下游、左右岸的治理积极性。同时，加强生产建设项目水土保持监管，利用遥感、大数据等技术实现“天-空-地”一体化监测，严惩违法违规行为。

4.4 公众参与：培育生态文化与公民意识

通过生态教育、社区共建、志愿服务等方式，增强公众的生态保护责任感。例如，在中小学开设“黄河生态课”，在社区组织“植树节”“护鸟周”等活动，形成全社会共同参与生态治理的良好氛围。

结语

黄河“几字弯”生态脆弱区植被恢复是破解水土流失难题、实现人与自然和谐共生的关键路径。通过科学配置植被类型、创新修复技术、优化治理模式，该区域生态质量显著提升，为黄河流域生态保护和高质量发展提供了重要支撑。未来，需持续加强技术创新、模式优化和政策保障，推动植被恢复从“规模扩张”向“质量提升”转变，从“单要素治理”向“系统修复”升级，为构建美丽中国贡献“黄河样本”。

参考文献

- [1]李占斌,邓铭江,李鹏,等.黄河几字弯水土流失区水-能-粮-生融合发展研究[J].中国水利,2025,(11):20-27.
- [2]段兵红,郭霞,陈亭君.平凉：聚力推进“三北”工程建设，坚决打好黄河“几字弯”攻坚战[J].甘肃林业,2025,(03):11-13.
- [3]张昶昶.我市全力打好黄河“几字弯”攻坚战筑牢陇东黄土高原生态安全屏障[N].陇东报,2025-05-06(001).
- [4]韩瑞利.合力推进黄河“几字弯”攻坚战走深走实[N].华兴时报,2025-02-27(003).