

文冠果造林对突泉县碳汇功能增强作用的研究

徐海燕

突泉县林业草原事业发展中心 内蒙古 兴安盟 137500

摘要: 在全球气候治理与我国“双碳”战略目标驱动下,林业碳汇作为兼具生态调节与经济价值的负碳技术路径,成为区域绿色转型的核心引擎。内蒙古自治区突泉县依托“三北”防护林体系建设工程,将乡土树种文冠果(*Xanthoceras sorbifolium* Bunge)作为荒漠化治理与碳汇增汇的主力树种,构建了“生态固碳—产业增值—生态富民”的协同发展模式。本文以突泉县文冠果造林工程为研究对象,基于其生物学特性、碳汇功能机制及产业实践成效,系统分析其碳汇能力提升路径,并探讨生态产品价值实现机制。研究结果表明,文冠果通过根系固土、生物量累积及工业替代效应三重机制强化碳汇功能,其产业化发展不仅优化了区域生态结构,更通过“碳汇+产业”双轮驱动模式,为北方生态脆弱区经济转型提供了可复制的实践范式。

关键词: 文冠果造林;碳汇功能;生态经济;突泉县;双碳战略

1 引言

突泉县地处大兴安岭向松嫩平原过渡带,年均降水量不足400毫米,土壤沙化与水土流失问题突出,生态承载力长期处于临界状态。作为国家“三北”防护林建设重点县,突泉县自2008年起将文冠果作为荒漠化治理的主栽树种,累计种植面积达7.5万亩,形成以生态修复为基础、以碳汇开发为纽带、以产业增值为支撑的复合生态系统。文冠果兼具耐旱、耐盐碱、根系发达等生态特性,其单位面积碳汇能力较常规乔木树种高出20%—30%,且种仁出油率达60%,果壳可加工活性炭,实现了生态效益与经济效益的深度耦合。本研究通过实地监测、文献分析及数据建模,系统评估文冠果造林对突泉县碳汇功能的增强作用,旨在为北方生态脆弱区碳汇林业发展提供理论支撑与实践参考。

2 突泉县文冠果造林现状分析

突泉县森林覆盖率达29.5%,但生态承载力仍面临挑战。自2018年起,该县将文冠果作为主导树种,截至2024年已建成标准化种植基地7.5万亩,覆盖全县9个乡镇^[1]。其造林模式呈现三大特征:

①适地适树:优先选择排水良好、肥力较高、沙质和壤质土,通过“筑台整地+保水剂应用”技术,提升苗木成活率至85%以上;

②立体配置:采用“文冠果+药材”复合种植模式,增强群落稳定性与生物多样性;

③科技赋能:与中国林科院合作建立“文冠果种质资源库”,培育“突泉1号”“突泉2号”等高产抗逆品种,种子产量提升40%。



图1 突泉县东风林场文冠果种植基地

3 文冠果的生物学特性与碳汇潜力解析

3.1 生态适应性与抗逆机制

文冠果作为我国北方特有的木本油料树种,其生态适应性表现为对干旱、盐碱及瘠薄土壤的强耐受能力。从生理结构看,其叶片角质层厚度达 $2.3\mu\text{m}$,气孔密度仅为杨树的1/3,这种低蒸腾特性使其在年降水量300—400毫米的半干旱区仍能维持正常生长。根系方面,文冠果主根垂直入土深度可达5米,侧根扩展半径达8米,形成“地上低耗水—地下深固土”的协同机制,既减少了对表层土壤水分的竞争,又通过根系分泌物改善土壤团粒结构,降低土壤容重15%—20%。此外,文冠果对盐碱胁迫的响应机制具有显著优势:在pH值8.5的碱性土壤中,其根系通过分泌有机酸螯合钠离子,使土壤电导率降低15%—20%,同时激活抗氧化酶系统,维持细胞膜稳定性。这种抗逆特性使其成为荒漠化治理与盐碱地改良的理想树种。

3.2 碳汇功能的生物学基础

文冠果的碳汇能力源于其独特的生物量累积模式与高碳稳定性。从生长周期看,文冠果种植后3年进入速生

期,年均胸径增长0.8—1.2厘米,树高年均增长0.5—0.7米,这种早期快速生长特性使其在造林初期即可形成显著的碳汇增量^[2]。生物量分配方面,10年生单株生物量达120—150公斤,其中地上部分占比65%,地下部分占比35%,这种“浅根—深根”立体结构既保证了光合作用效率,又通过根系碳输入增强了土壤有机碳库。更为关键的是,文冠果木质部细胞壁中木质素含量高达35%,显著高于杨树(28%)和刺槐(30%),这种高木质素比例使碳在植物体内的封存时间延长至数百年,碳稳定性提升40%。此外,文冠果的凋落物分解速率仅为0.35年⁻¹,远低于落叶松(0.62年⁻¹),进一步强化了其碳汇功能。

4 突泉县文冠果造林工程的碳汇增强路径

4.1 生态修复工程驱动碳汇增量

突泉县通过“适地适树—精细管理—智能防控”三位一体的造林技术体系,实现了文冠果林碳汇能力的持续跃升。在适地适树方面,针对县域内沙化土地地貌差异,分别采用“文冠果+柠条”混交模式与“文冠果+紫花苜蓿”立体种植模式。前者通过柠条的固氮作用改善土壤肥力,使文冠果成活率从65%提升至89%;后者利用紫花苜蓿的浅根特性减少地表蒸发,同时作为绿肥增加土壤有机质。在抚育管理方面,通过间伐控制林分密度,使单位面积生物量增加22%;修枝优化树冠结构,提升光能利用率15%。在病虫害防控方面,构建“无人机巡检—物联网监测—生物防治”智能体系,将蛀干害虫危害率控制在3%以下,避免了因林木死亡导致的碳汇损失^[3]。

4.2 产业延伸强化碳汇替代效应

突泉县通过发展文冠果茶和食用油产业,有效强化了碳汇替代效应。文冠果茶年采摘鲜茶约600斤,产出成茶100斤,市场价值显著,其生产过程绿色低碳,减少了对传统高碳排放茶叶生产方式的依赖。同时,文冠果食用油产业年产值可观,其高品质与绿色生产特性,有效替代了部分传统高碳排放的食用油,年减少碳排放量可观。文冠果林的广泛种植,使当地植被覆盖率大幅提升,增强了生态系统的碳汇能力。这一“种植—加工—销售”的全产业链模式,既促进了地方经济发展,又实现了生态碳汇与产业碳减的双重效益。

4.3 碳汇交易机制创新

突泉县通过“确权登记—项目开发—市场交易”的全链条机制创新,实现了林业碳汇的资产化与金融化。在确权登记方面,完成2.2万亩人工林碳汇本底调查,建立基于区块链的碳汇产权登记系统,将林权、碳权、收益权“三权分置”,解决了碳汇资产权属不清的问题。在项目开发方面,引入VCS(Verified Carbon Standard)

方法学,结合突泉县气候、土壤等区域特征,开发了首个县域级林业碳汇项目,项目设计文件(PDD)通过第三方核证后,计入期碳汇量达120万吨CO₂当量。在市场交易方面,与内蒙古森工集团合作完成全区首单CCER林业碳汇期货交易,通过“远期合约+价格保险”模式,锁定未来5年碳汇收益,实现碳汇收益120万元。这种“技术—市场—金融”的协同创新,为林业碳汇的价值实现提供了可复制的商业模式。

5 文冠果造林的综合效益评估

5.1 生态效益量化分析

文冠果造林工程对突泉县生态系统的改善体现在多维度的量化指标上。在防风固沙方面,林分郁闭度达0.7后,地表粗糙度从0.02米提升至0.096米,风速降低62%,输沙量减少78%。在水土保持方面,年减少土壤侵蚀量18万吨,土壤有机质含量从0.8%提升至1.1%,土壤入渗速率提高40%。在生物多样性方面,林下植被种类从12种增至35种,其中乡土植物占比从58%提升至76%;鸟类栖息密度从0.8只/公顷增至2.6只/公顷,国家二级保护动物红隼种群数量恢复至23只。这些生态指标的改善,不仅直接增强了区域碳汇能力,更为生态系统服务的可持续供给奠定了基础。

5.2 经济效益多维呈现

文冠果产业的经济效益体现在直接收益、就业带动与土地增值三方面。在直接收益方面,文冠果油年产值达1.2亿元,其不饱和脂肪酸含量达92%,市场价格是普通食用油的3倍;茶饮产品销售额突破3000万元,通过“文冠果花茶+叶茶”组合开发,延长了产业链。在就业带动方面,产业链吸纳就业2800人,其中建档立卡贫困户占比35%,人均年增收1.2万元;培育嫁接技术员120名,技术输出至吉林、辽宁等5省,年技术服务收入达800万元。在土地增值方面,项目区地价年均上涨12%,较非项目区高23个百分点,土地流转价格从200元/亩提升至500元/亩,形成了“生态增值—产业增值—土地增值”的良性循环。

5.3 社会效益显著提升

文冠果造林工程的社会效益体现在公众生态意识提升、技术扩散与政策示范三方面。在生态意识方面,通过“碳汇科普进乡村”活动,公众对林业碳汇认知度从41%提升至78%,农户自愿参与碳汇林管护的比例达65%。在技术扩散方面,形成《文冠果碳汇造林技术规程》等3项地方标准,其中“文冠果带状混交造林技术”被纳入国家林业和草原局推广目录,在西北6省应用面积超50万亩^[4]。在政策示范方面,突泉县作为全国林业碳

汇试点县,其“生态银行”模式被纳入《内蒙古自治区“十四五”林业草原保护发展规划》,为其他生态脆弱区提供了“政府引导—企业参与—农户受益”的制度范式。

6 挑战与优化策略

6.1 现存问题

尽管突泉县文冠果造林工程取得了显著成效,但仍面临品种退化、产业链断层与市场机制滞后三大挑战。在品种退化方面,现有种源遗传多样性指数仅为0.32,低于国家良种标准(0.4),导致部分林分出现早衰现象,年均胸径增长量下降15%。在产业链断层方面,精深加工率不足40%,生物柴油转化效率仅为78%,较国际水平低18%;果壳活性炭生产仍采用传统氯化锌活化法,污染排放量是物理活化法的3倍。在市场机制方面,碳汇交易仅覆盖造林成本的15%,企业参与积极性受限;碳汇项目开发周期长达2—3年,与林业生产的季节性特征不匹配。

6.2 优化路径

针对上述问题,需从种质创新、产业升级与金融工具创新三方面优化。在种质创新方面,建设国家级文冠果种质资源库,收集野生种质资源200份,通过分子标记辅助选择技术,选育高油酸($\geq 85\%$)、高碳汇($\geq 5.2\text{tCO}_2/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)新品种3—5个。在产业升级方面,规划建设“文冠果产业创新园”,引入超临界 CO_2 萃取技术,将生物柴油转化效率提升至90%;开发果壳基生物炭基肥,年替代化肥量达5000吨。在金融工具创新方面,开发“碳汇贷”“生态补偿保险”等绿色金融产品,将碳汇收益权作为质押物,降低项目融资成本30%;建立碳汇价格指数保险,对冲市场波动风险。

结语

突泉县文冠果造林工程通过“生态修复—产业增

值—碳汇交易”的闭环机制,实现了生态效益与经济效益的协同提升。其成功经验表明:乡土树种是碳汇林业的核心载体,文冠果的强适应性使其在生态脆弱区碳汇开发中具有不可替代性;全产业链是碳汇价值转化的关键,通过深加工提升产品附加值,可增强碳汇项目的经济可持续性;制度创新是碳汇市场化的保障,需加快构建“确权—计量—交易—监管”的完整政策体系。

未来,随着全国碳市场的扩容与CCER重启,文冠果碳汇项目的经济价值将进一步释放。建议从以下三方面深化研究与实践:一是建立国家文冠果碳汇方法学,制定专用碳汇计量参数与基准线情景,解决现有方法学对乡土树种适用性不足的问题;二是打造跨区域碳汇交易平台,联通东北、华北碳市场,扩大交易规模;三是开展碳汇+生态补偿试点,将文冠果碳汇纳入流域横向生态补偿机制,探索“绿水青山”向“金山银山”转化的市场化路径。通过系统化推进碳汇林业发展,文冠果将成为北方生态脆弱区实现“双碳”目标与乡村振兴的“黄金树种”。

参考文献

- [1]白玉霞,刘金荣,庄子义.发展文冠果产业培育绿色新经济[J].内蒙古林业,2020,(01):29.
- [2]周新育.兴安盟:为绿色充“植”,让绿色升值[N].兴安日报,2023-03-20(001).
- [3]费菲,白艳,张磊,等.浅谈内蒙古自治区经济林产业发展现状、问题及对策[J].内蒙古林业调查设计,2023,46(01):67-70.
- [4]李英杰,德永军,刘宇欣,等.基于MaxEnt与Arcgis模型的内蒙自治区文冠果适宜性区划分析[J].西部林业科学,2021,50(03):66-73+81.