

矿区生态脆弱区人工林结构对生态系统服务影响

王春雯 牛慕

国家能源集团神东煤炭集团生态环境管理中心, 中国·陕西 榆林 719000

摘要: 矿区生态脆弱区由于资源过度开发和生态环境恶化, 成为生态系统修复的重要目标区域。人工林在该区域的生态恢复中发挥着重要作用。论文从矿区生态脆弱区人工林的物种组成、空间层次和动态特性出发, 分析其在生态脆弱区的特性及生态系统服务的影响机制。通过实际案例, 探讨人工林的局限性与不足, 揭示多样化树种配置、多层次空间结构优化及动态管理策略的实践价值。分析表明, 优化人工林结构是提升矿区生态系统服务的有效路径。

关键词: 矿区生态脆弱区; 人工林结构; 生态系统服务; 结构优化

The Impact of Artificial Forest Structure on Ecosystem Services in Ecologically Fragile Mining Areas

Chunwen Wang Mu Niu

CHN Energy Shendong Coal Ecological Environment Management Center, Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: Due to excessive resource development and deteriorating ecological environment, ecologically fragile areas in mining areas have become important target areas for ecosystem restoration. Artificial forests play an important role in the ecological restoration of such areas. Starting from the species composition, spatial hierarchy, and dynamic characteristics of artificial forests in ecologically fragile areas of mining areas, this paper analyzes their characteristics in ecologically fragile areas and the impact mechanism of ecosystem services. Through practical cases, explore the limitations and shortcomings of artificial forests, and reveal the practical value of diversified tree species configuration, multi-level spatial structure optimization, and dynamic management strategies. Analysis shows that optimizing the structure of artificial forests is an effective path to enhance ecosystem services in mining areas.

Keywords: ecologically fragile mining areas; structure of artificial forests; ecosystem services; structural optimization

0 前言

矿区生态脆弱区是资源开采活动导致生态系统退化与功能丧失的典型区域。长期以来, 矿产资源的过度开发破坏了地表植被, 导致土壤侵蚀、生物多样性丧失及水资源短缺等问题, 这些问题进一步加剧了生态系统服务功能的衰退。人工林作为矿区生态恢复的重要手段, 近年来受到学术界和管理者的广泛关注。然而, 矿区人工林的结构通常表现为单一化与简单化特征, 难以全面发挥生态系统服务效能。因此, 针对矿区生态脆弱区人工林结构优化的研究显得尤为重要。

1 矿区生态脆弱区人工林的结构特征

1.1 物种组成的单一性与适应性

在矿区生态脆弱区, 人工林的物种组成往往表现出单一性。这主要源于矿区土壤条件恶化、生境破碎化及环境胁迫(如酸性土壤和重金属污染)的限制, 导致适宜生存的植物种类受限。矿区常采用耐逆性强的先锋物种, 如杨树、刺槐和油松, 以实现快速覆盖和恢复。然而, 这种单一物种组成导致人工林生态功能出现生物多样性低、生态网络脆弱及抗干扰能力不足等局限^[1]。因此, 在矿区人工林中, 尽管先锋物种具有重要的初期生态修复价值, 长期而言应适当引

入多样化树种。

1.2 空间层次的简单化与功能约束

矿区人工林的空间层次一般呈现出简单化特征, 即林分的垂直与水平异质性较低, 群落结构趋于均质化。在垂直结构上, 多数矿区人工林表现为单层结构, 缺乏乔木、灌木与草本层次的有机结合。这种结构削弱了水土保持与微气候调节功能, 因为单层结构难以实现水分的逐级拦截与有效蒸腾。此外, 在水平结构上, 林木种植通常采用规则排列, 树冠分布均匀, 导致生物多样性较低, 土壤微生境发育不良。这种简单化的空间层次虽便于初期管理, 但不利于长期生态功能的提升。

1.3 人工干预下的特殊性与动态性

矿区生态脆弱区的人工林结构具有较强的人工干预性。由于矿区土壤改良与植被恢复需要人为设计, 其林分结构的形成往往是生态技术措施与自然演替交互作用的结果。例如, 土壤基质改良、灌溉施肥与机械植被种植显著影响了林分的空间分布与层次发育。与此同时, 矿区生态修复呈现出较强的动态性, 即人工林结构随着修复阶段的推进不断演化。从初期简单化到后期复杂化的动态变化, 体现出矿区人工林生态功能逐步增强的趋势。

2 生态系统服务的概念与功能

生态系统服务 (ecosystem services) 是指人类从生态系统获得的所有惠益, 包括供给服务 (如提供食物和水)、调节服务 (如控制洪水和疾病)、文化服务 (如精神、娱乐和文化收益) 以及支持服务 (如维持地球生命生存环境的养分循环)。

中国学者普遍认为, 生态系统服务是生态系统与其内在生态过程所形成和维持的人类赖以生存的自然效用。这一服务体系不仅涵盖了物质资源的提供, 还包含了生态调节、环境支持以及文化精神层面的多维价值。生态系统服务的核心在于人类对自然系统的依赖性, 其包括以下几个方面的功能: 为人类提供必需的物质资源, 如食物、医药和能源; 创造和维持地球的生命支持系统, 为人类生存提供基本的环境条件; 丰富人类的文化、审美和精神体验, 如自然景观、生态旅游和环境教育。

3 矿区生态脆弱区人工林结构对生态系统服务的影响分析

3.1 对供给服务的影响

矿区生态脆弱区人工林的物种构成与密度分布对供给服务效益起着显著作用。单纯依赖耐贫瘠、适应性较强的树种可能促进初期出材率, 却会局限可再生资源的多元性。冠层结构若过度均一, 往往难以形成丰富的下层生物群落, 从而限制林地食用菌、药用植物等非木质林产品方面的产出潜力。此外, 当林分布局相对单调时, 内部营养循环也易趋于薄弱, 导致部分物种生长受到限制。由此可见, 不同物种搭配与适度层次差异是提升供给服务的重要因素。富有层次的人工林更能形成多样化生物资源, 为矿区复垦过程带来可观的材料与能源储备, 进而在长远维度增强对供给服务的支撑作用^[1]。

3.2 对调节服务的影响

矿区生态脆弱区人工林的水平与垂直结构对调节服务的影响相当突出。密集的乔木层可通过叶面积指数调控局地水分平衡, 让地表径流得以分散。若冠层过于单薄, 气温与湿度波动加剧, 极端条件下易出现干热与风蚀风险。根系层次也关系到土壤渗透与侵蚀防护, 深根与浅根的配合会加强水分存储与防止泥沙流失。缺乏下层植被时, 雨水直冲地面, 往往造成土壤松散度降低, 最终影响对暴雨与干旱的缓冲能力。同时, 生态脆弱区内人工林若种植密度过高, 某些地段可能出现过度耗水或养分竞争, 从而制约林地在地区调节服务层面的持续效能。多层次配置更有助于稳定区域气候, 因其叶面蒸腾与地表涵养互为补充。

3.3 对文化服务的影响

矿区生态脆弱区的人工林结构在文化服务层面同样具有显著影响。多元化物种组合可塑造变化丰富的景观特点, 吸引公众参与生态旅游及环境教育活动, 让当地区域获得美

学与认同感方面的提升。如果林分单调且层次简单, 可能难以激发人们的文化兴趣, 也不利于开展多形式的户外学习。冠层与灌草层的分化若相对匮乏, 林地内部的微观环境类型将趋于同质化, 使科普与观赏价值降低。与此同时, 缺乏地被植物时, 森林步道和休闲场所的场景感也往往较为单一, 难以满足公众对多样化生态体验的需求^[1]。人工林结构中的乔木组分若展现差异化形态, 还会在树冠造型与叶色变化方面创造观赏亮点, 对节庆或社会活动提供更多创意空间。可见, 丰富的物种层次与立体化植被格局能拓宽矿区文化服务的可能性, 并增强区域吸引力与人文价值。

3.4 对支持服务的影响

矿区生态脆弱区人工林结构在支持服务方面影响深远, 尤以土壤养分循环和水文过程支持为核心。冠层凋落物可为土壤微生物提供分解基质, 形成丰富的有机质沉积, 从而维系土壤肥力。若树种多样性偏低, 凋落物成分趋向单一, 微生物群落将缺乏多元养分来源, 导致土壤环境活力受到抑制。层次分明的植被结构有助于截留雨水, 使水分在土壤剖面中逐级分配, 并缓解干旱与洪涝波动。此外, 不同根系深度还能支撑稳固的土壤颗粒结构, 避免大规模流失。人工林布局若能在立体空间内呈现合理的疏密梯度, 则会强化养分再分配和地下水补给, 为区域生态系统服务的长效供应奠定稳固根基。然而, 如果树种的根系大多集中于浅土层, 深层土壤往往仍处于贫瘠状态, 支持服务在纵向维度上的功能将受到限制。

4 实践案例分析

神东矿区位于中国西北干旱半干旱地区, 属于典型的生态脆弱区。长期的煤炭开采活动导致地表植被破坏、土壤退化、水土流失加剧, 生态系统服务功能严重受损。矿区生态恢复工作采取了“林草结合、乔灌配套”的方针, 但在实施过程中, 部分地段出现了单一树种集中造林或疏于后期抚育的现象。这种异质化的人工林营造方式, 形成了结构相对简单、物种多样性不足的树木群落, 影响了区域的水文调节功能、土壤保持能力以及周边生态景观格局。

矿区的人工林以樟子松为主, 部分地区零星分布沙柳、沙棘等灌木, 但整体上乔木占主导地位, 灌木和草本植物层次匮乏。这种单一树种集中造林的方式导致林分结构简单, 垂直分层不明显, 生态系统的稳定性和抗逆性较差。一些复垦区为便于管护, 集中连片种植耐旱速生树种, 使林下植被层覆盖率不足。群落结构在时间推移后趋于同质化, 林层间缺少垂直分层, 土壤有机质含量未能得到大幅提升。由于树种单一性较高, 吸引的昆虫及鸟类种类偏少, 造成生物多样性降低。部分地段表层土壤易在大风或暴雨条件下发生侵蚀, 水土保持功能未得到充分巩固。生态系统服务功能出现了“片面修复”的局面: 地表裸露情况有所缓解, 但整体水源涵养能力和生物多样性并未显著改善。土壤理化性质的持续改良速度也低于预期, 排土场附近微地形区域仍然存在水

分流失和地表坍塌的隐忧。

综上所述,神东矿区的人工林结构在一定程度上提升了局部区域的植被覆盖,由于群落多样性不足、立体结构不完善等因素,生态系统服务效能难以全面提升。该案例反映出,在生态脆弱区进行大面积人工林营造时,需要更注重混交林营造及物种多样性布局,实现林分结构的合理性与可持续性。

5 矿区生态脆弱区人工林结构的优化策略

5.1 多样化树种配置的策略

在矿区生态脆弱区,优化人工林结构的首要策略是引入多样化的树种组合,以增强林分的稳定性与生态功能。具体而言,应基于区域的气候条件、土壤性质以及水文特点,科学筛选适应性强的乡土树种和抗逆性优良的外来树种,以形成复合式林分结构。树种配置中需强调多功能性,可选择在生态功能上互补的乔木、灌木与草本植物。例如,在干旱地区,可选择耐旱性强的刺槐作为乔木,同时配植具备固氮功能的豆科灌木,以提升土壤肥力^[4]。此外,林分设计时需避免单一速生树种的大面积种植,因为单一树种的人工林通常易受病虫害侵袭,生态效能较低。实施多样化配置的过程中,需综合考虑生物多样性保护目标,可采用嵌套式群落构建技术,在大面积乔木林中嵌入小型灌木群落,形成多功能的人工林生态网络。

5.2 多层次空间结构的优化策略

人工林空间结构的优化对于提升矿区生态系统服务功能至关重要。通过营造具有垂直分层特征的乔灌木复合林模式,可以有效增强林分的生态效能。在实践中,应通过选择适宜的植物种类和调控林分密度,形成乔木层、灌木层和草本层之间的有序分布,以实现不同植物群落之间的资源互补。例如,在矿区地形复杂的区域,可在较高坡位种植深根乔木以防止水土流失,同时在坡脚配置草本植被以增强地表拦截作用。在人工林密度调控方面,需通过间伐技术对过密林分进行稀疏处理,以增强下层植被的光照与生长空间。此外,为优化水资源利用效率,可在不同坡向和坡度区域合理布置水分需求差异的植物,避免竞争加剧。通过优化空间结构的层次分布,人工林不仅能增强涵养水源与调节气候的功能,还能提高对矿区微环境的适应性。

5.3 动态管理与适应性修复的策略

针对矿区生态环境的特殊性,优化人工林结构的第三

个策略是实施动态管理与适应性修复技术。由于矿区生态系统在恢复过程中表现出动态性与阶段性特征,人工林的管理方案需根据不同时期的生态条件不断调整。例如,在初期恢复阶段,人工林可优先种植先锋树种以迅速形成地表覆盖,减缓水土流失;而在中后期,需逐步引入耐阴性较强的树种和多功能灌木,以优化生态功能。在动态管理过程中,应定期监测林分生长状况,包括树种生长速率、冠层发育以及根系分布特征,进而评估人工林的生态功能表现^[5]。对于生长缓慢或生态效能低下的区域,需及时引入补植、移植或替代种植措施。同时,可结合土壤改良技术,如施加生物炭或复合有机肥,以提升土壤的养分供给能力。此外,在矿区的动态生态修复中,还需综合运用自然演替与人工干预相结合的策略,逐步减少人为管理强度,鼓励人工林向近自然化方向演替,以增强其自我维持能力。

6 结语

矿区生态脆弱区人工林结构对生态系统服务的影响具有复杂性与多维性。其对供给服务的影响依赖于物种选择与密度优化;对调节服务的影响则与垂直结构和根系特性密切相关;文化服务与支持服务的效能主要取决于人工林的多样性与功能布局。此外,不同生态系统服务之间存在显著的协同与权衡关系,优化人工林结构需综合考虑多维度的生态效益。在未来的生态修复与管理实践中,应注重结构优化与服务需求的动态适配,以实现矿区生态系统服务的最大化与可持续发展。

参考文献:

- [1] 佚名.生态脆弱区煤炭现代开采地下水和地表生态保护关键技术[J].高科技与产业化,2021,27(6):57.
- [2] 肖武,张文凯,吕雪娇,等.西部生态脆弱区矿山不同开采强度下生态系统服务时空变化——以神府矿区为例[J].自然资源学报,2020,35(1):68-81.
- [3] 漆良华,田慧敏,王辉民,等.南方低质低效人工林质量改善与生态服务提升技术研究前瞻[J].中国水土保持科学(中英文),2024,22(5):1-8.
- [4] 庞萬隆,冀鹏浩,庞立东,等.内蒙古大兴安岭土地利用格局和生态系统服务功能的时空演变特征[J].水土保持通报,2024,44(4):340-351+361.
- [5] 刘晓曼,王超,高吉喜,等.服务“双碳”目标的中国人工林生态系统碳增汇途径[J].生态学报,2023,43(14):5662-5673.