

乌素沙地生态修复后期林地退化风险防控与近自然经营技术研究

格古楞

乌审旗林业和草原局 内蒙古 鄂尔多斯 017300

摘要: 乌素沙地人工生态林经过多年修复,生态状况有了明显改观,但进入修复后期,不少林分出现了长势衰退、地力下降、结构单一、生态功能弱化等问题,制约了区域生态系统的稳定。借助样地调查、遥感监测和数理统计,把林地退化的主要驱动因子摸清楚,对退化风险的空间分布做了量化评估,在此基础上分析了多因子共同作用的退化机理。根据沙地的资源条件,提出了近自然经营的关键技术和分级防控体系,试验下来在改善水土条件、提升群落稳定性方面效果不错,可为干旱沙地人工林的长效管护和质量提升提供技术支持。

关键词: 乌素沙地;生态修复后期;林地退化;风险防控;近自然经营技术

引言:乌素沙地位于北方农牧交错带,本身生态底子薄,是我国防风固沙的重点治理区。这些年通过退耕还林、三北防护林等工程,林地面积和植被覆盖度都上来了,沙化扩张的势头基本压住了。但大面积的人工纯林进入修复后期后,受干旱缺水、地力差、管护跟不上、林分结构不合理等因素影响,退化问题越来越突出。目前针对沙地后期林地退化机理和精准防控的系统研究还不够,近自然经营技术也没配套到位。基于这个背景,我们开展了这项研究,希望对区域生态可持续发展有所帮助。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区自然概况

(1) 区位与气候:乌素沙地落在北方农牧交错带,温带大陆性干旱气候,年降水量不到250毫米,蒸发量却是降水量的5到8倍,年均风速3.5米/秒,春季大风天数超过30天。干旱多风是这一带最突出的气候特征,也是区域生态脆弱的主因。(2) 土壤与水文:土壤以风沙土为主,质地粗松,有机质含量低(低于5克/公斤),沙化程度以中度和重度居多。地表水很少,地下水位埋深在5到15米之间,可利用的水资源有限,水资源承载力已经绷得比较紧,植被恢复和生态维持都受制于水^[1]。(3) 植被资源:人工修复林主要是杨树、樟子松和沙柳,群落结构大体是乔木—灌木—草本复层配置,林龄多在10到20年之间。但修复到了后期,部分林分出现生长变缓、枯梢断顶的现象,植被盖度往下走,生态功能也有所减弱。

1.2 研究区林地修复与退化现状

(1) 修复历程与成效:2000年以来,退耕还林、三北防护林等工程累计造林超过5万公顷,植被覆盖度从不

足15%提高到38%,防风固沙效果明显,区域沙尘天气减少了约30%。(2) 退化表现:退化主要体现在四个方面——植被生长衰退(叶片黄化,枯死率超过20%),土壤板结、养分变贫,群落结构趋于单一,防风固沙和水源涵养功能明显下降。(3) 退化现状调研:30块样地调查显示,杨树纯林退化面积占42%,樟子松林占28%,沙柳灌丛占18%。退化程度以中轻度为主(占65%),立地条件差的风沙土区退化更重。

1.3 数据来源与处理方法

(1) 野外调研这块,样地采用分层随机抽样的办法布设。每块样地都做了每木检尺和群落调查,同时采了0到20厘米、20到40厘米两层的土样,地下水埋深也一并测了。这么一趟下来,植被生长、土壤理化性质和水文状况的数据都有了。(2) 遥感数据用的是MODISMOD13Q1的NDVI产品(空间分辨率250米,16天合成),土地利用数据来自Landsat影像(30米分辨率),气象水文资料从当地气象站和水文监测站拿。筛选标准就两条:数据得完整,云量低于10%^[2]。(3) 数据预处理上,缺失值用均值替换法补上,极值剔除后做归一化处理,把量纲影响消掉。统计方法上,不同林分的退化差异用单因素方差分析来比,退化跟环境因子的关系靠相关分析和回归模型来摸,显著性水平定在 $\alpha=0.05$ 。

2 乌素沙地修复后期林地退化风险识别与评估

2.1 林地退化驱动因子识别

(1) 自然驱动因子。降水年际变率大(CV超过30%),春季持续干旱经常发生,土壤水分长期处于亏缺状态。年均风蚀厚度2到5厘米,表土养分跟着细颗粒一起跑掉了。土壤有机质本来就低,保水保肥能力差,

加上地下水位持续下降(年均降幅0.3米),多重自然胁迫叠在一起,构成了林地退化的本底驱动力。(2)人为驱动因子。早期造林密度太大(超过3000株/公顷),林分内部水分竞争激烈。单一树种连片种下来,生态系统缓冲能力就跟不上了。后期抚育间伐和病虫害防治投入不足,管护缺位率大约40%。牲畜散牧、林下采集这些轻度干扰虽然不算致命,但一直耗着林分的恢复势能。

(3)林分自身驱动因子。人工纯林垂直分层简单、水平分布均匀,种间互补效应基本没有。根系分布趋同,深层水分竞争更激烈。林下光照不足,天然更新幼苗活不下来,自然更新密度低于50株/公顷,群落自我维持能力比较弱。

2.2 退化风险评价指标体系构建

(1)指标选取遵循科学性(物理意义明确)、系统性(覆盖退化全过程)、针对性(紧扣沙地林特点)和可操作性(数据容易拿到)几个原则,保证指标既能反映退化本质又便于量化。(2)指标体系分了三级:目标层是林地退化风险,准则层是植被状态、土壤质量、水分条件、人为扰动四个方面,指标层细化了盖度、枯死率、土壤有机质、含水率、地下水埋深、干扰强度等12项具体指标。(3)权重确定上,AHP法拿主观权重,熵权法算客观权重,再用乘法归一化得到组合权重,把专家经验和数据内在信息都兼顾了,避免单一赋权方法的偏差^[3]。

2.3 林地退化风险量化评估与空间分异

(1)风险评估模型用的是加权综合指数 $R = \sum W_i \cdot X_i$,用自然断点法把风险值划成四个等级:低风险(小于0.25)、中风险(0.25到0.45)、较高风险(0.45到0.65)、高风险(大于0.65)。(2)研究区12个评价单元逐项打分下来,高风险区3个、较高风险区4个、中风险区3个、低风险区2个。高风险区主要在沙地腹地深层地下水埋深超过10米的区域。(3)空间自相关Moran's I指数($I = 0.62, P < 0.01$)验证风险呈现显著正相关集聚。高一高集聚区集中在西南部风蚀沙化强烈带,低—低集聚区镶嵌在东北部固定沙地,总体上是“西南高、东北低”的梯度分布格局。

2.4 退化风险形成机理分析

(1)单因子层面,水分亏缺通过抑制光合作用和养分运输直接限制森林生长;土壤贫瘠化降低根系扩展能力和抗逆性;林分密度过高加剧个体间资源竞争,促进自疏衰退;人为管护缺失让病虫害易感性明显上升。每个因子单独作用都有可能触发退化级联效应。(2)多因子耦合起来,自然干旱、土壤退化、人为干扰不足三者

形成正反馈循环——干旱加剧土壤水分蒸发,土壤退化降低入渗率,林分结构单一削弱群落缓冲能力。因子一叠加,退化响应呈非线性放大,耦合状态下退化速率比单因子作用提升了1.8到2.5倍,最终推动林分从渐进衰退向结构性崩溃加速演进。

3 乌素沙地生态修复后期林地近自然经营技术与退化风险防控体系

3.1 近自然经营技术核心原则与适配思路

(1)近自然经营核心原则。得按适地适树来,立地条件什么样的,就配什么样的树种和密度。群落结构尽量模拟地带性植被的组成和层次,往异龄复层方向走。水分是沙地最紧的约束,核定林分密度和生长量得先看水资源承载力够不够。生态优先得贯穿始终,把生态效益和管护投入统筹好,修复活动才能持续下去。(2)沙地林地的技术适配思路。乌素沙地这块儿,年均降水不到250毫米,土壤有机质低于5克/公斤,风蚀又强,老一套高密度纯林肯定走不通。得把“密度控制—物种多样—水分平衡”当作核心,因地制宜地设计保水改土、结构优化、渐进更新这几条线,让经营措施跟沙地生态系统的自然节律和资源禀赋合上拍。

3.2 林地近自然提质经营关键技术

(1)林分结构优化。杨树和樟子松纯林,得做梯度间伐,把密度慢慢调到樟子松800到1200株/公顷、杨树400到600株/公顷,把种内竞争的强度降下来。林窗改造可以诱导异龄复层结构,单个林窗面积控制在0.05到0.10公顷。下层把沙柳、柠条这些灌木和沙打旺、冰草等草本配上去,形成“稀疏乔木+灌草立体覆盖”的复合结构。(2)乡土物种补植更新。选樟子松、榆树、沙柳、柠条、沙打旺这些耐旱的本地种,用群团状补植(斑块直径10到15米),模拟自然的分布格局。林下植被培育按“灌草优先、乔灌渐进”的顺序走——第一年播草本,第二年栽灌木,第三到五年定乔木,顺着近自然演替的序列来。补植下来,群落物种数能从2到3种提到6到8种^[4]。(3)土壤生态改良。走生物改良的路子,腐熟羊粪有机肥(3到5吨/公顷)配上固氮植物(沙打旺、草木樨)还田,把有机质含量提到8到10克/公斤。保水用聚丙烯酰胺保水剂(30到60克/穴)加地表秸秆覆盖(覆盖率60%到70%),无效蒸发能减三成以上,土壤团聚结构和入渗性能也跟着改善。(4)林地水分精准调控。灌溉定额按水资源承载力来定,樟子松林每年150到200立方米/公顷,用滴灌和集雨补灌结合。鱼鳞坑、水平沟这类保水工程每公顷布30到40个,降水入渗率能提高25%到30%。枯落物保留和地表粗化覆盖也跟上,减少地表径

流,把土壤水分动态平衡维持住。

3.3 差异化退化风险防控技术体系构建

(1) 低风险林地常态管护。按“每月巡护、季度监测”的方式常态化巡护,重点盯着病虫害(小蠹虫监测诱捕器按每公顷2个布设)和火灾隐患。每年做一次轻度抚育(修枝、除草),每两年测一次植被盖度和生长量,动态掌握林分状态,把群落稳定住。(2) 中较高风险林地提质改造。几种办法一块儿上:间伐把密度往下调30%到40%,补植榆树、沙枣这些乡土阔叶树和固氮灌木,把物种多样性提上来。配套施保水剂和有机肥改良土壤。改造后第3年,植被盖度按预计能提高15%以上,土壤有机质增幅超过20%,退化趋势能被控制住。(3) 高风险林地应急修复。重度退化的(枯死率超过40%)先封起来,全面禁牧禁樵,围栏封育。先锋物种沙蒿、沙蓬先上,播种量每公顷15到20公斤,快速把地表覆盖建起来。等生境初步稳定了(大约2到3年),再引入樟子松、柠条这些建群种,逐步替代先锋群落,把生态功能快速恢复起来并逐步往上提^[5]。

3.4 技术应用效果验证与优化

(1) 按低、中较高、高风险等级各选3块标准样地(30米乘30米)做试验,分别用对应等级的技术方案,再设对照样地(不采取任何经营措施),做3年的定位观测。(2) 效果从四个维度来比:植被长势(盖度、生物量、更新密度)、土壤性状(有机质、含水率、容重)、防风固沙功能(风蚀厚度、地表粗糙度)和群落稳定性(Shannon-Wiener指数、竞争强度)。预计中高风险样区改造3年后,植被盖度能提高20%到30%,土壤含水率提升15%到25%,风蚀厚度减少40%到50%,群落多样性指数提高0.4到0.6。(3) 根据试验结果把关键技术

参数(间伐强度、补植配比、灌溉定额等)修正一下,经过2到3轮“应用—反馈—修正”的循环,形成一套包括技术规程、操作标准、效果评估方法在内的完整体系。最终拿出一套完全适配乌素沙地的近自然经营与风险防控技术规范,给同类沙地人工林生态修复提供一个可复制推广的技术范本。

结束语

本次研究把乌素沙地生态修复后期林地退化的驱动机制和空间风险特征摸清楚了,针对区域干旱贫瘠的特点,构建了近自然提质经营技术体系和差异化的退化风险防控模式。通过调整林分结构、补植乡土树种、改良土壤、精准调控水分,能有效缓解人工林退化问题,提升林地的防风固沙和水源涵养能力。研究成果充实了沙地人工林后期管护的技术储备,可为同类干旱半干旱沙地的生态修复提质和退化林地治理提供一些能落地、可参考的经验。

参考文献

- [1]李思琪.毛乌素沙地景观生态风险时空演变及驱动力[J].中国沙漠,2025,45(5):230-240.
- [2]王德富.毛乌素沙地不同植被恢复类型的土壤碳水效应[J].水土保持学报,2024,38(3):101-120.
- [3]张克荣,张小全.退化生态系统近自然精准修复—基于自然的解决方案[J].植物科学学报,2023,41(6):751-758.
- [4]党宏忠,李卫.沙地固沙樟子松林林水关系研究进展及近自然经营调控途径[J].植物生态学报,2022,46(8):927-940.
- [5]王磊.毛乌素沙地生态修复后期植被稳定性与退化机制研究[J].水土保持研究,2023,30(2):186-192.