

不同抚育间伐强度对人工林林分结构与生产力的影响

曹长春

沂源县大张庄镇人民政府 山东 淄博 256114

摘要: 本文系统综述了不同抚育间伐强度(弱度、中度、强度)对人工林林分结构(包括密度、径阶分布、树高、冠层结构及空间格局)和生产力(包括单株生长、林分蓄积生长、生物量分配及木材质量)的影响机制。研究表明,合理的间伐强度能够有效改善林内光照、水分和养分条件,促进保留木的径向和高生长,优化林分直径结构,增强林分稳定性,并在长期内维持或提升林分生产力。然而,过度的间伐可能导致林分郁闭度过低,削弱林地生产力并增加风倒风险;而间伐不足则无法有效缓解竞争压力,导致林分生长停滞。本文进一步探讨了基于立地条件、树种特性和经营目标的间伐强度决策框架,以期为我国人工林可持续经营提供理论依据与实践指导。

关键词: 抚育间伐; 间伐强度; 人工林; 林分结构; 林分生产力; 森林经营

引言

全球人工林在木材供应、生态保护等方面作用关键,但早期营造的许多人工林存在初植密度大、树种单一等问题,林分质量不高,生长衰退,难以实现预期效益。在此背景下,森林抚育经营尤其是抚育间伐成为提升森林质量的关键。抚育间伐通过伐除部分林木,调整林分组成和密度,改善生长环境,促进保留木生长。间伐强度是衡量间伐作业“力度”的核心指标,选择适宜强度至关重要^[1]。理论上,间伐可缓解资源竞争,提升单株生产力和木材品质,改变林分结构,影响微气候等。但间伐强度并非越大越好,过强会打破生态平衡,引发负面效应;过弱则难以达到目标。因此,探究不同抚育间伐强度对人工林林分结构与生产力的影响,揭示其内在机理,对制定科学经营方案、实现可持续经营意义重大。

1 间伐强度的定义与分类

间伐强度是量化间伐作业规模的核心参数,其准确界定是研究和实践的基础。目前,学界普遍采用以下三种方式来表征间伐强度:

1.1 基于胸径断面积(Basal Area, BA)的强度

这是最常用且被认为最科学的指标。间伐强度(I_{BA})计算公式为:

$$I_{BA} = \frac{BA_{\text{before}} - BA_{\text{after}}}{BA_{\text{before}}} \times 100\%$$

其中, BA_{before} 和 BA_{after} 分别代表间伐前后的林分每公顷胸径断面积 (m^2/ha)。该指标能较好地反映林冠对光能的截获能力,与林木的生理活动和生产力密切相关。

1.2 基于蓄积量(Volume)的强度

间伐强度(I_V)计算公式为:

$$I_V = \frac{V_{\text{before}} - V_{\text{after}}}{V_{\text{before}}} \times 100\%$$

其中, V_{before} 和 V_{after} 分别代表间伐前后的林分每公顷蓄积量 (m^3/ha)。此指标直观反映了可收获木材的多少,但受单株材积方程精度影响较大。

1.3 基于株数(Number of Stems)的强度

间伐强度(I_N)计算公式为:

$$I_N = \frac{N_{\text{before}} - N_{\text{after}}}{N_{\text{before}}} \times 100\%$$

其中, N_{before} 和 N_{after} 分别代表间伐前后的林分每公顷株数 (株/ha)。该指标简单易得,但忽略了林木大小的差异,准确性相对较低。

根据上述指标的数值范围,间伐强度通常被划分为三个等级:(1)弱度间伐:一般指伐除比例在15%以下。其主要目的是进行卫生伐,清除病腐木、枯立木和严重被压木,对林分整体结构影响较小。(2)中度间伐:伐除比例通常在15%至35%之间。这是应用最为广泛的强度等级,旨在有效降低竞争压力,促进优势木和亚优势木的生长,显著改善林分结构。(3)强度间伐:伐除比例超过35%,有时甚至高达50%以上。其目的在于快速调整林分密度,加速目标树的培育,或为引入伴生树种创造条件,但伴随较高的生态风险。需要强调的是,具体的数值界限并非绝对,应结合具体树种、林龄、立地条件和经营目标灵活调整。例如,对于速生树种(如桉树、杨树),其可承受的间伐强度阈值可能高于慢生树种(如红松、栎类)。

2 不同间伐强度对林分结构的影响

2.1 对林分密度与径阶分布的影响

间伐最直接的效果就是降低林分密度。不同强度的

间伐对密度的削减程度不同。弱度间伐后，林分密度变化不大，径阶分布基本保持原有状态，仅在小径阶处略有减少。中度间伐则能有效疏开林分，使中小径阶林木数量显著下降，林分平均胸径明显增大，径阶分布曲线向右移动，呈现出更为合理的“反J型”或近似正态分布，有利于形成复层异龄结构^[2]。强度间伐后，林分密度急剧下降，不仅中小径阶林木被大量移除，部分中等径阶的竞争木也可能被伐除，导致径阶分布变得稀疏，短期内可能出现大径阶林木占比过高的现象。

2.2 对林木高径生长的影响

间伐通过缓解资源竞争，对保留木的生长产生显著促进作用，但这种效应在径向生长和高生长上表现不同。

(1) 胸径生长：几乎所有研究都一致表明，间伐能显著提高保留木的胸径年生长量，且这种促进效应通常随间伐强度的增加而增强。中度和强度间伐下的保留木，由于获得了更充足的光照和根系伸展空间，其形成层活动旺盛，年轮宽度明显大于未间伐或弱度间伐林分。然而，这种正效应存在一个阈值，超过该阈值后，继续增加强度带来的边际效益会递减。

(2) 树高生长：间伐对树高生长的影响较为复杂。在郁闭度较高的幼龄林或中龄林中，适度的间伐（尤其是中度间伐）可能会轻微促进或不影响树高生长，因为林木仍处于向上争夺光照的竞争阶段。但在一些情况下，特别是强度间伐后，由于侧方遮荫的突然解除，林木可能将更多能量用于径向生长而非高生长，导致高径比（Height-to-DBH Ratio）下降，林木变得更加粗壮，从而提高了其抗风、抗雪压的能力，增强了林分的机械稳定性。

2.3 对冠层结构与林内环境的影响

林冠是林木进行光合作用的主要器官，也是调节林内微环境的关键。间伐直接改变了冠层的覆盖度和结构。

(1) 冠幅与叶面积指数（LAI）：间伐后，保留木的冠幅通常会迅速扩展，以填补因伐木留下的空间。中度间伐往往能使林分总叶面积指数维持在一个较高且稳定的水平，既保证了足够的光合生产能力，又避免了过度郁闭。弱度间伐对冠层结构改变有限；而强度间伐则可能导致LAI短期内大幅下降，林内透光率急剧增加。

(2) 林内微环境：随着郁闭度的降低，林内光照强度显著增强，尤其是在林下层，这为耐阴或喜光的更新苗木及灌草植被的生长创造了条件，增加了林下生物多样性。同时，林内空气流通性改善，湿度降低，有助于减少某些喜湿病害的发生。然而，过强的间伐会使土壤直接暴露于阳光下，导致土壤温度日较差增大，表层土壤水分蒸发加剧，在干旱地区可能对林木生长产生不利影响。

2.4 对林分空间格局的影响

传统的均匀间伐（如下层间伐、机械间伐）倾向于使林木在水平空间上分布更加均匀。然而，现代近自然经营理念倡导模仿自然干扰，采用目标树单株择伐或群团状间伐，可以创造出更为复杂的、非均匀的空间格局。这种异质性的空间结构被认为能更好地模拟天然林，增强林分的整体稳定性和生态功能^[3]。不同强度的间伐配合不同的空间配置方法，可以塑造出从规则到随机再到聚集等多种空间模式，为林分的长期演替提供多样化的路径。

3 不同间伐强度对林分生产力的影响

3.1 对单株生产力与林分蓄积生产力的影响

间伐对生产力的影响存在一个经典的权衡关系：单株生产力的提升与林分总生产力的潜在损失。

(1) 单株生产力：如前所述，间伐，特别是中度和强度间伐，能极大地促进保留木的单株材积生长。这些保留木生长更快、更健壮，未来有望成为高价值的大径级用材。

(2) 林分蓄积生产力：这是一个更具争议性的问题。短期内，任何形式的间伐都会直接移除一部分生物量，导致林分总蓄积量低于同等条件下未间伐的对照林分。然而，从长期（一个完整的轮伐期）来看，合理的间伐（尤其是中度间伐）能够通过激发保留木的补偿性生长，在轮伐期末获得与未间伐林分相当甚至更高的总蓄积量（包括间伐产出和终伐蓄积之和）。这是因为未间伐林分后期会经历严重的自疏过程，大量林木在无经济价值的情况下死亡腐烂。相比之下，强度间伐虽然单株生长最快，但由于移除了过多的潜在生产力载体，其林分总生产力在长期内往往低于中度间伐处理。因此，中度间伐通常被认为是平衡短期收益与长期生产力的最佳选择。

3.2 对生物量分配与碳汇功能的影响

间伐改变了林木体内同化产物的分配模式。在高密度竞争环境下，林木倾向于将更多资源分配给树高生长以争夺光照。间伐后，竞争压力减小，林木会将更多光合产物分配给径向生长和根系生长，导致地上生物量（尤其是干材）的比例增加，根冠比也可能发生变化。对于整个林分的碳汇功能而言，情况同样复杂。一方面，间伐移除了部分碳储存（伐倒木），并可能因土壤扰动和分解加速而暂时增加碳排放。另一方面，间伐促进了保留木的快速生长，增加了活立木的碳储量；同时，林下植被的繁茂也增加了生态系统的总碳固定能力^[4]。此外，间伐生产的木材如果被用于长期使用的木制品（如家具、建筑），则相当于将碳长期封存。综合来看，科学的间伐经营，特别是中度间伐，能够在不损害甚至增强森林长期碳汇能力的前提下，实现碳的有序流动和利用。

3.3 对木材质量的影响

木材质量是决定其经济价值的关键因素，主要包括干形、节疤、应力木和木材密度等。(1) 干形与节疤：间伐，尤其是及时的中度间伐，能有效促进林木的自然整枝。随着林冠抬升，下部枝条因光照不足而逐渐枯死脱落，形成的节疤会被后续的木材生长所包裹，从而减少活节的数量，提高无节良材率。强度间伐虽能加速这一过程，但若操作不当，也可能因保留木冠幅过大而产生新的大节疤。(2) 木材密度与力学性能：间伐对木材密度的影响尚无统一结论。一些研究表明，间伐后生长加快可能导致年轮变宽，早材比例增加，从而使木材密度略有下降。但也有研究发现，由于林木变得粗壮，应力木（如偏心生长产生的反应木）的形成减少，反而改善了木材的力学均匀性和加工性能。总体而言，适度的间伐更有利于培育出干形通直、节子少、材质均匀的优质木材。

4 间伐强度的决策框架

选择最优间伐强度是多目标、多约束的决策过程，需综合多方面因素构建科学决策框架：(1) 立地条件：肥沃湿润之地林木竞争激烈，可适当加大间伐强度；贫瘠干旱之地，为避免过度削弱林分覆盖与保水能力，应采取谨慎的弱度或中度间伐。(2) 树种特性：喜光速生树种（如落叶松、马尾松）能耐受较强间伐；耐阴慢生树种（如云杉、冷杉）对间伐强度敏感，宜采用较轻强度。(3) 林分阶段：幼龄林间伐以定株和卫生为主，强度宜轻；中龄林是结构性调整关键期，中度间伐最有效；近熟林侧重为目标树腾空间，强度依情况确定。(4) 经营

目标：生产中小径材或生物质能源，可采用高频次、低强度间伐；培育大径级、高价值用材，则需低频次、高强度间伐并配合目标树培育技术。

5 结语

本文分析显示，不同强度间伐对林分结构与生产力影响呈梯度效应。弱度间伐作用有限，多用于卫生清理；强度间伐虽促单株生长，但有牺牲总生产力、增加生态风险之弊；中度间伐多数情况下综合效益最佳，能优化直径结构、促进径向生长、改善林内环境、提升木材质量，维持或提升总生产力与碳汇功能。故人工林经营应摒弃“一刀切”模式，采用精细化、差异化间伐策略。未来研究与实践要融合现代信息技术，构建智能决策平台，推动抚育间伐向数据、模型驱动转变，实现人工林从数量扩张到质量提升的转型，为生态文明和“双碳”目标提供森林支撑。

参考文献

- [1]邢颖超,王晨羽,马舒琪,等.抚育间伐对不同类型人工林生长量及碳储量的影响[J/OL].应用与环境生物学报,1-13[2026-01-16].
- [2]宁华东.不同抚育间伐强度对木荷生长的影响[J].林业勘察设计,2025,45(01):58-60.
- [3]胡雪凡,金莹杉,王月容,等.不同抚育间伐方式对平原生态林空间结构的影响[J].林业与生态科学,2024,39(02):134-142+152.
- [4]赵玉红.不同抚育间伐强度对红松人工林生长的影响[J].南方农业,2024,18(04):197-199.