

华北落叶松林分生长对间伐和修枝的响应

赵匡记¹, 纪福利², 刘延文², 刘晓兰², 贾忠奎¹, 马履一¹

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护重点实验室, 北京 100083; 2. 河北省塞罕坝机械林场, 河北 围场 068466)

摘要: 揭示抚育对林木生长指标的影响, 是确定合理间伐和修枝经营决策的重要内容, 对促进林木生长, 增加林分木材储量, 摆脱木材匮乏困境有着重要意义。以河北省塞罕坝地区华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii* (幼龄林 15 年生, 中龄林 22 年生, 近熟林 38 年生) 为研究对象, 研究不同间伐强度 (T_0 对照, T_1 轻度间伐 10%, T_2 中度间伐 20%, T_3 重度间伐 30%, T_4 极重度间伐 35%) 和修枝强度 (P_1 轻度修枝, P_2 中度修枝 50%, P_3 重度修枝 66%) 对林分生长 (胸径、树高、蓄积量) 的影响。结果表明: 15 年生林分蓄积 3 a 总生长量 (V) 随间伐强度及修枝强度增加均呈增加趋势, $V(T_0) < V(T_2) < V(T_1) < V(T_4) < V(T_3)$, $V(P_1) < V(P_2) < V(P_3)$ 。22 年生林分除 T_2 外, 蓄积总生长量随间伐强度增加而减小, $V(T_0) > V(T_1) > V(T_3) > V(T_4) > V(T_2)$; 随修枝强度增加而减小, $V(P_1) > V(P_2) > V(P_3)$ 。38 年生林分除 T_3 外, 蓄积总生长量随间伐强度的增加而增加, $V(T_3) < V(T_0) < V(T_1) < V(T_2) < V(T_4)$; 随修枝强度的增加呈先减后增趋势, $V(P_1) > V(P_3) > V(P_2)$ 。林龄与间伐强度存在交互效应, 15, 22, 38 年生蓄积 3 a 总生长量分别以 $V(T_4+P_2)$ ($2.10 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_0+P_2)$ ($1.13 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_4+P_3)$ ($0.63 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 最大。通过本试验研究明确了抚育对各林木生长指标的影响, 为合理开展人工林抚育技术增加林木生长量提供科学依据。图 6 表 2 参 24

关键词: 森林培育学; 蓄积量; 间伐; 修枝; 抚育强度; 华北落叶松

中图分类号: S753.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2016)04-0581-08

Growth of *Larix principis-rupprechtii* with thinning and pruning

ZHAO Kuangji¹, JI Fuli², LIU Yanwen², LIU Xiaolan², JIA Zhongkui¹, MA Lüyi¹

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Saihanba Mechanical Forest Farm of Hebei Province, Weichang 068466, Hebei, China)

Abstract: To promote tree growth, increase timber reserves, and decrease the scarcity of timber forests, this study identified the influence of thinning and pruning on tree growth indexes and provided a technological basis for tree growth through artificial forest tending techniques. For the Saihanba area, treatments of *Larix principis-rupprechtii* forest types [young forest of 15 years (a), middle-age forest of 22 a, and near-mature forest of 38 a], of effects of different thinning intensities (T_0 -no thinning, T_1 -mild thinning-10%, T_2 -moderate thinning-20%, T_3 -severe thinning-30%, and T_4 -extremely severe thinning-35%), and of pruning intensities (P_1 -no pruning, P_2 -mild pruning-50%, and P_3 -severe pruning-66%), on stand growth (DBH, tree height, and volume) were researched. Results were as follows. In the 15 a stand, volume growth (V) increased with an increase in thinning intensity [$V(T_0) < V(T_2) < V(T_1) < V(T_4) < V(T_3)$]; and with an increase in pruning intensity [$V(P_1) < V(P_2) < V(P_3)$]; in the 22 a stand, except for T_2 , volume growth decreased as thinning intensity increased [$V(T_0) > V(T_1) > V(T_3) > V(T_4) > V(T_2)$], decreased with an increase in pruning intensity [$V(P_1) > V(P_2) > V(P_3)$]; and in the 38 a stand, except for T_3 , accumulation growth increased with increased thinning intensity, [$V(T_3) < V(T_0) < V(T_1) < V(T_2) < V(T_4)$], but with pruning intensity [$V(P_1) > V(P_3) > V(P_2)$].

收稿日期: 2015-08-27; 修回日期: 2015-10-22

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(TD2011-08); 国家林业公益性行业科研专项(201004021)

作者简介: 赵匡记, 博士, 从事用材林与能源林培育理论与技术研究。E-mail: zhaokj@bjfu.edu.cn。通信作者:

贾忠奎, 副教授, 从事用材林与能源林培育理论与技术研究。E-mail: jiazk@bjfu.edu.cn

(P₂)]. For age and thinning intensity, the maximum volume growth for 15 a was $V(T_4 + P_2)$ ($2.10 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), for 22 a was $V(T_0 + P_2)$ ($1.13 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), and for 38 a was $V(T_4 + P_3)$ ($0.63 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$). This study identified the influence of thinning and pruning on the tree growth, and guide the application of artificial forest tending technique for tree growth. [Ch, 6 fig. 2 tab. 24 ref.]

Key words: silviculture; stock volume; thinning; pruning; thinning intensity; *Larix principis-rupprechtii*

中国木材消费世界排名第2位,但是森林面积仅为19 545万 hm^2 ,森林蓄积量为137.21亿 m^3 ,人均仅 10.45 m^3 ,列世界第142位^[1]。解决木材储量问题已迫在眉睫。合理的森林抚育可以大力提高森林质量,增加森林蓄积量,扩大木材储量。因此,揭示抚育对林木生长的影响对于提升森林产量有重要意义。合理的抚育经营措施能有效促进森林的生长。间伐强度和修枝强度的选择是森林经营措施中的关键环节。专家学者进行了大量的相关研究,其中漆良华等^[2]和王懿祥等^[3]研究了间伐对森林生长的影响,任世奇等^[4]研究了修枝对尾巨桉 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* 生长的影响,李孝良等^[5]研究了修枝对欧美107杨 *Populus euramericana* ‘Neva’生长量的影响,但是在间伐和修枝对华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii* 林木生长量综合影响方面的研究较少。华北落叶松是喜光树种,适应性强,对土壤水分条件和土壤养分条件的适应范围很广,是华北山区重要的造林树种之一。本试验选择华北落叶松作为研究对象,以间伐和修枝对林分蓄积量的影响作为研究方向,对不同间伐强度、不同修枝强度及修枝间伐综合处理措施对华北落叶松生长量的影响进行了研究,为利用人工林抚育技术,增加木材储量提供科学依据。

1 研究地概况

本试验布设在河北省塞罕坝机械林场阴河林场前曼甸营林区,地处河北省围场满族蒙古族自治县北部, $42^{\circ}02' \sim 42^{\circ}36' \text{N}$, $116^{\circ}51' \sim 117^{\circ}39' \text{E}$ 。地形以丘陵、曼甸为主。该地区属寒温带半干旱半湿润季风气候区,海拔为1 600~1 800 m,年平均气温为 $-1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $29.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 $-38.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温为 $1 663.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;年平均降水量为433.0 mm。土壤以暗灰色森林土为主,华北落叶松为优势树种。

2 研究方法

于2010年6月对华北落叶松林分胸径、树高、蓄积量测定后,进行不同抚育处理。2013年7月对林分胸径、树高和蓄积量等3种生长指标进行复测,以方差分析等方法分析不同抚育措施对华北落叶松3 a总生长量的影响。

2.1 固定标准地设置

通过对试验地的全面踏查,选择了具有代表性、生长正常的15, 22, 38年生3个林龄的华北落叶松人工林作为研究对象。所选人工林土壤类型均为灰色森林土,立地条件均为曼甸;抚育前15年生华北落叶松林分密度均为 $5 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,22年生华北落叶松林分密度均为 $2 800 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$,38年生华北落叶松林分密度均为 $870 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2010年4月进行固定标准样地的设置,其中15, 22, 38年生林分各设置了45块固定样地,标准样地面积均为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 。

2.2 固定标准地调查及处理

2010年6月对标准样地内的林木进行每木检尺,记录树高(利用激光测高测距仪测定)、胸径(胸径尺测定)、郁闭度、海拔(全球定位系统测定),获得林地抚育前的基本信息(表1)。根据所测数据对每块标准样地进行基本调查,确定其抚育间伐强度和修枝强度。本试验于2010年7月设置了5种间伐强度和3种修枝强度(表2),其中间伐强度以采伐林木蓄积量占所在样地林木总蓄积量的比例确定,分为弱度10%(T₁),中度20%(T₂),强度30%(T₃),极强度35%(T₄)和对照(T₀)。结合当地生产实际,每种间伐强度处理设置3种不同修枝强度(按照冠高比计算),分别为轻度2:3(P₁),中度1:2(P₂)和重度1:3(P₃),其中每种处理组合设置3个重复。

2.3 数据分析

分别于2010年6月和2013年7月对标准样地内的林木进行每木检尺,得到林木树高、胸径。同时

表 1 抚育前样地调查信息

Table 1 Investigation information before tending

林龄/a	密度/(株·hm ⁻²)	平均胸径/cm	平均树高/m	海拔/m
15	5 000	8.64	7.80	1 630
22	2 800	11.40	10.07	1 630
38	870	21.97	17.50	1 630

表 2 不同林龄华北落叶松人工林间伐和修枝试验处理

Table 2 Different ages of *Larix principis-rupprechtii* thinning and pruning treatments

林龄/a	处理	轻度间伐 T ₁	中度间伐 T ₂	重度间伐 T ₃	极重度间伐 T ₄	对照 T ₀
15, 22, 38	轻度修枝 P ₁	P ₁ + T ₁	P ₁ + T ₂	P ₁ + T ₃	P ₁ + T ₄	P ₁ + T ₀
	中度修枝 P ₂	P ₂ + T ₁	P ₂ + T ₂	P ₂ + T ₃	P ₂ + T ₄	P ₂ + T ₀
	重度修枝 P ₃	P ₃ + T ₁	P ₃ + T ₂	P ₃ + T ₃	P ₃ + T ₄	P ₃ + T ₀

选取标准木 1 株·样地⁻¹ 制作解析木, 135 块样地, 共 135 株标准木。通过对解析木的分析进行林木材积的推算, 结合林分密度计算林分蓄积量^[6-8]。所得数据采用 Excel 2007 及 SPSS 20.0 进行统计分析, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA), 双因素方差分析和 Duncan 法进行方差分析和多重比较。

3 结果与分析

3.1 抚育对华北落叶松胸径生长的影响

3.1.1 间伐对华北落叶松胸径生长的影响 胸径生长量是反应林木生长状况的重要指标。试验结果表明: 不同间伐强度对不同林龄林分的影响不同(图 1)。15 年生华北落叶松人工林胸径(D)3 a 总生长量为 $D(T_0)$ (1.41 cm) < $D(T_1)$ (1.50 cm) < $D(T_4)$ (1.51 cm) < $D(T_3)$ (1.60 cm) < $D(T_2)$ (1.88 cm), 随着间伐强度的增强呈先增后减的趋势, T₂ 胸径 3 a 总生长量最大, 是 T₀ 胸径(最小值)的 1.33 倍; 22 年生林木胸径总生长量除 T₂ 外, 随着间伐强度的增强而增加, $D(T_0)$ (1.01 cm) < $D(T_1)$ (2.47 cm) < $D(T_3)$ (2.83 cm) < $D(T_2)$ (2.84 cm) < $D(T_4)$ (2.89 cm); 38 年生林木胸径 3 a 总生长量除 T₃ 外, 随着间伐强度的增强呈增加趋势, 为 $D(T_0)$ (0.44 cm) < $D(T_1)$ (1.26 cm) < $D(T_2)$ (1.73 cm) < $D(T_4)$ (2.04 cm) < $D(T_3)$ (2.25 cm), T₃ 胸径总生长量最大为 2.25 cm, 各间伐强度之间存在显著差异(P<0.01)。3 个林龄胸径总生长量为 $D(22 a)$ (2.41 cm) > $D(15 a)$ (1.58 cm) > $D(38 a)$ (1.48 cm)。

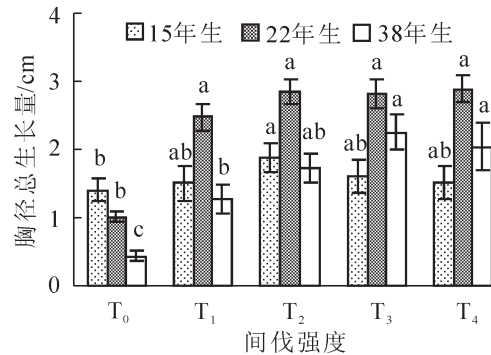
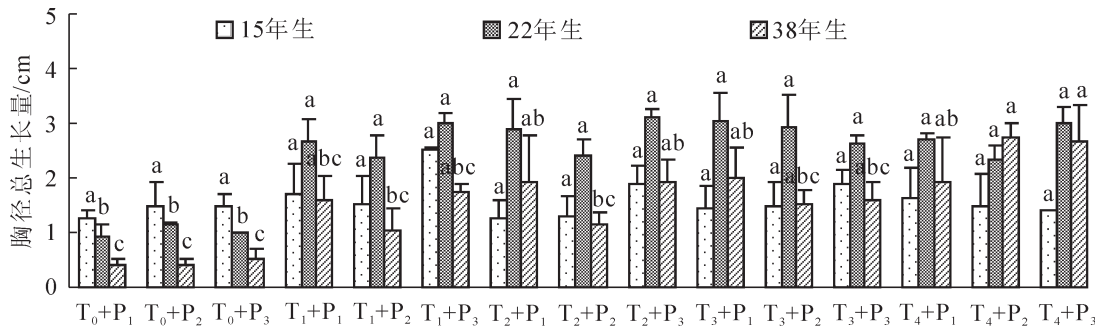


图 1 胸径总生长量对间伐强度的响应

Figure 1 Response of DBH growth to thinning

3.1.2 修枝对华北落叶松胸径生长的影响 通过对不同修枝强度处理华北落叶松胸径(D)3 a 总生长量进行分析, 结果表明: 胸径总生长量 15 年生为 $D(P_1)$ (1.77 cm) > $D(P_3)$ (1.51 cm) > $D(P_2)$ (1.46 cm); 22 年生为 $D(P_1)$ (2.53 cm) > $D(P_2)$ (2.42 cm) > $D(P_3)$ (2.27 cm), 随修枝强度增强而减小, P₁ 胸径总生长量最大是 P₃(最小值)的 1.11 倍; 38 年生为 $D(P_3)$ (1.73 cm) > $D(P_2)$ (1.36 cm) > $D(P_1)$ (1.34 cm), 随修枝强度增强而增大, 与 22 年生趋势正好相反, P₃ 胸径总生长量是 P₁ 的 1.29 倍。22 年生和 38 年生林分不同修枝强度间胸径 3 a 总生长量差异显著(P<0.05)。

3.1.3 间伐、修枝和林龄交互效应对华北落叶松胸径生长的影响 对抚育后华北落叶松胸径 3 a 总生长量进行多因素(间伐、修枝、林龄)方差分析, 结果表明: 只有间伐和林龄及两者交互作用对胸径总生长量表现出显著差异(P<0.01)。对 3 个林龄不同抚育措施胸径总生长量分析比较(图 2), 得知: 15 年生以 T₁+P₃ 胸径总生长量最大, 为 2.51 cm, T₀+P₁ 最小为 1.27 cm, 各处理间差异不显著; 22 年生以 T₃+P₁ 胸径总生长量最大, 为 3.02 cm, T₀+P₁ 最小为 0.92 cm, T₀+P₁, T₀+P₂, T₀+P₃ 与其他处理存在显著差异(P<0.05); 38 年生以 T₄+P₂ 胸径总生长量最大为 2.73 cm, T₀+P₂ 最小为 0.4 cm, 处理间差异显著(P<0.05)。



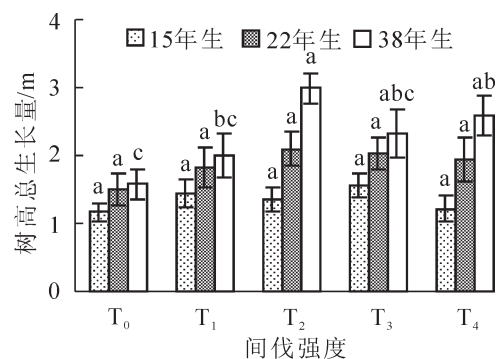
同龄林间不同字母表示在0.05水平差异显著, 相同字母表示差异不显著。

图2 抚育对15, 22, 38年生华北落叶松胸径总生长量综合影响

Figure 2 Response of DBH growth of 15, 22, 38 years old *Larix principis-rupprechtii* to tending

3.2 抚育对华北落叶松树高生长的影响

3.2.1 间伐对华北落叶松树高生长的影响 树高是评价林木生长状况的重要指标之一。树高(H)3 a 总生长量对间伐强度响应见图3。15年生华北落叶松人工林树高总生长量为 $H(T_3) > H(T_1) > H(T_2) > H(T_4) > H(T_0)$, 随着间伐强度的增强基本表现为先增后减的趋势, T_3 树高总生长量最大, 为1.55 m, 是最小 T_0 (1.17 m)的1.32倍, 各抚育间伐强度间差异不显著($P > 0.05$); 22年生林木树高总生长量随着间伐强度的增强表现为先增后减的趋势, 为 $H(T_0)$ (1.49 m) $< H(T_1)$ (1.82 m) $< H(T_4)$ (1.93 m) $> H(T_3)$ (2.03 m) $> H(T_2)$ (2.10 m), T_2 树高总生长量最大, 是最小 T_0 (最小值)的1.41倍, 各抚育间伐强度间差异不显著($P > 0.05$); 38年生树高总生长量除 T_3 外, 随着间伐强度的增强表现为先增后减的趋势, 为 $H(T_0)$ (1.58 m) $< H(T_1)$ (2.01 m) $< H(T_3)$ (2.33 m) $> H(T_4)$ (2.59 m) $> H(T_2)$ (2.99 m), T_2 树高总生长量最大, 是最小值 T_0 的1.89倍, 间伐强度之间存在极显著差异($P < 0.01$)。3个林龄树高总生长量为 $H(38 a)$ (2.25 m) $> H(22 a)$ (1.87 m) $> H(15 a)$ (1.35 m)。



同龄林间不同字母表示在0.05水平差异显著, 相同字母表示差异不显著。

图3 树高总生长量对间伐强度的响应

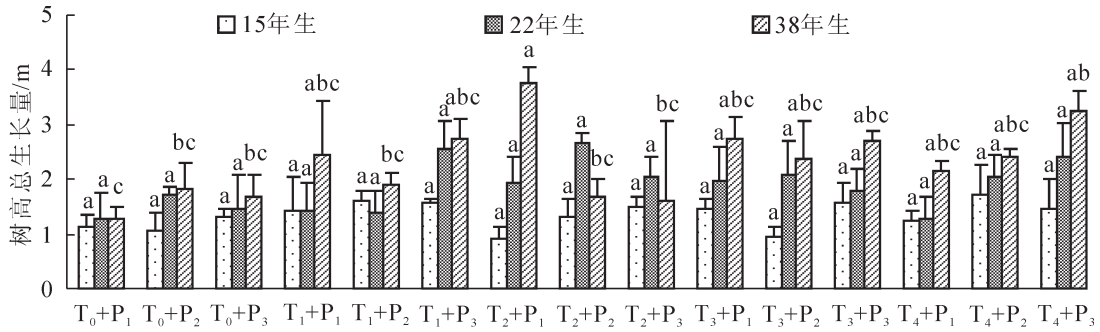
Figure 3 Response of tree height growth to thinning

3.2.2 修枝对华北落叶松树高生长的影响 修枝对华北落叶松树高3 a 总生长量的影响: 15年生为 $H(P_3)$ (1.47 m) $> H(P_1)$ (1.31 m) $> H(P_2)$ (1.26 m), 随修枝强度增强呈先减后增趋势, P_3 树高总生长量最大是最小值 P_2 的1.17倍; 22年生为 $H(P_3)$ (2.08 m) $> H(P_1)$ (1.88 m) $> H(P_2)$ (1.66 m), 与15年生趋势相同, P_3 树高总生长量最大是 P_2 (最小值)的1.25倍; 38年生为 $H(P_3)$ (2.35 m) $> H(P_2)$ (2.34 m) $> H(P_1)$ (2.06 m), 随修枝强度增强呈增大的趋势, P_3 树高总生长量最大是最小值 P_1 的1.14倍。38年生林分不同修枝强度间存在显著差异。15和22年生林木生长适应性较弱, 修枝对其生长有一定的损伤作用, 但重度修枝较程度上去除了林木的消耗枝, 同时增加了林分透光度, 反而促进林木的高生长。38年生林分适应性强, 修枝对林木损伤造成的抑制生长的效应较小, 故随着修枝强度的增加, 树高总生长量增加^[9]。

3.2.3 间伐、修枝和林龄交互效应对华北落叶松树高生长的影响 对抚育后华北落叶松树高3 a 总生长量进行多因素(间伐、修枝、林龄)方差分析的结果表明: 只有间伐和林龄对树高总生长量表现出显著差异($P < 0.01$), 修枝对树高总生长量的影响差异不显著, 间伐、修枝、林龄间不存在交互效应。通过对3个林龄不同抚育措施树高总生长量的分析比较(图4): 15年生以 T_4+P_2 树高总生长量最大, 为1.71 m, T_2+P_1 最小, 为0.92 m, 各处理间差异不显著; 22年生以 T_2+P_2 树高生长量最大, 为2.66 m, T_0+P_1 最小, 为1.27 m, 各处理间差异不显著; 38年生以 T_2+P_1 树高总生长量最大为3.75 m, T_0+P_1 最小为1.26 m, 处理间差异显著($P < 0.05$)。

3.3 抚育对华北落叶松蓄积3年总生长量的影响

3.3.1 间伐对华北落叶松蓄积量变化的影响 间伐强度对蓄积(V)3 a 总生长量的影响结果见图5。15

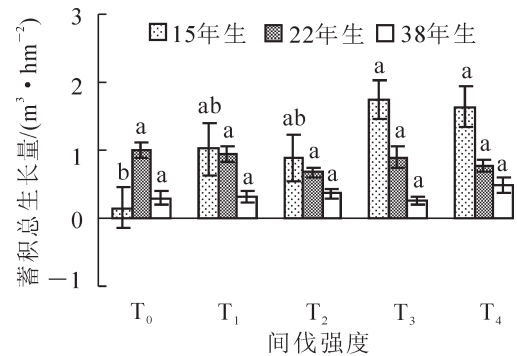


同龄林间不同字母表示在0.05水平差异显著，相同字母表示差异不显著。

图 4 抚育对 15, 22, 38 年生华北落叶松树高 3 a 总生长量综合影响

Figure 4 Response of tree height growth of 15, 22, 38 years old *Larix principis-rupprechtii* to tending

年生华北落叶松人工林蓄积总生长量随间伐强度的增加大体呈增加趋势为 $V(T_0)$ ($0.15 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_1)$ ($1.02 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_2)$ ($0.89 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_3)$ ($1.76 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), $V(T_4)$ ($1.64 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), T_3 蓄积总生长量最大是 T_0 (最小值) 的 11.73 倍, T_0 与 T_3 和 T_4 差异显著 ($P < 0.05$); 22 年生林木除 T_2 外, 蓄积总生长量随着间伐强度的增加呈减小趋势, 为 $V(T_0)$ ($1.00 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_1)$ ($0.95 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_3)$ ($0.90 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_4)$ ($0.78 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_2)$ ($0.67 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), T_0 蓄积总生长量最大, 是 T_2 的 1.49 倍, 各抚育间伐强度间差异不显著 ($P > 0.05$); 38 年生林分除 T_3 外, 蓄积总生长量随着间伐强度增加而增加, $V(T_4)$ ($0.49 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_2)$ ($0.36 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_1)$ ($0.32 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_0)$ ($0.30 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(T_3)$ ($0.26 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), T_4 蓄积总生长量最大是最小值 T_0 的 1.88 倍, 间伐强度不存在显著差异。3 个林龄蓄积总生长量为 $V(15 \text{ a})$ ($1.09 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(22 \text{ a})$ ($0.86 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(38 \text{ a})$ ($0.34 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。由上述结果可知: 华北落叶松各龄级林分蓄积 3 a 总生长量基本随间伐强度的增加而增加。究其原因, 可能是间伐处理能够增大林木个体生长空间, 减缓林内竞争, 优化林木生长环境, 进而促进林木材积的增长^[10]。



同龄林间不同字母表示在 0.05 水平差异显著，相同字母表示差异不显著。

图 5 蓄积 3 a 总生长量对间伐强度的响应

Figure 5 Response of tree volume growth to thinning

3.3.2 修枝对华北落叶松蓄积量变化的影响 修枝对华北落叶松蓄积 3 a 总生长量的影响: 15 年生蓄积量变化量为 $V(P_3)$ ($1.36 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_2)$ ($1.05 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_1)$ ($0.86 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 随修枝强度增强呈增大趋势, P_3 蓄积总生长量最大是 P_1 的 1.58 倍; 22 a 蓄积量变化量为 $V(P_1)$ ($0.92 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_2)$ ($0.86 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_3)$ ($0.80 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 与 15 年生趋势相反, 随着修枝强度的增加而减小, P_1 蓄积总生长量最大是 P_3 的 1.15 倍; 38 年生为 $V(P_1)$ ($0.37 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_3)$ ($0.34 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) $> V(P_2)$ ($0.32 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$), 随修枝强度增强呈先减后增的趋势, P_1 蓄积总生长量最大, 是 P_2 的 1.16 倍。3 个林龄不同修枝强度间差异均显著 ($P < 0.05$)。

3.3.3 间伐、修枝和林龄交互效应对华北落叶松蓄积总生长量的影响 对抚育后华北落叶松蓄积总生长量进行多因素(间伐、修枝、林龄)方差分析的结果表明: 只有间伐和林龄及两者交互作用对蓄积总生长量表现出极显著差异 ($P = 0.001 < 0.01$)。对 3 个林龄不同抚育措施蓄积 3 a 总生长量的分析比较(图 6): 15 年生以 T_4+P_2 蓄积总生长量最大, 为 $2.10 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 是 T_1+P_3 最小 ($0.17 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 的 12.35 倍; 22 年生以 T_0+P_2 蓄积总生长量最大, 为 $1.13 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 是 T_2+P_1 最小 ($0.51 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 的 2.22 倍; 38 年生以 T_4+P_3 蓄积总生长量最大为 $0.63 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 是 T_0+P_3 最小 ($0.14 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) 的 4.50 倍。3 个林龄各抚育处理间差异不显著。

4 讨论

在一定范围内, 林木胸径 3 a 总生长量随间伐强度的增加呈增加趋势。推测可能的原因有 2 点: ①

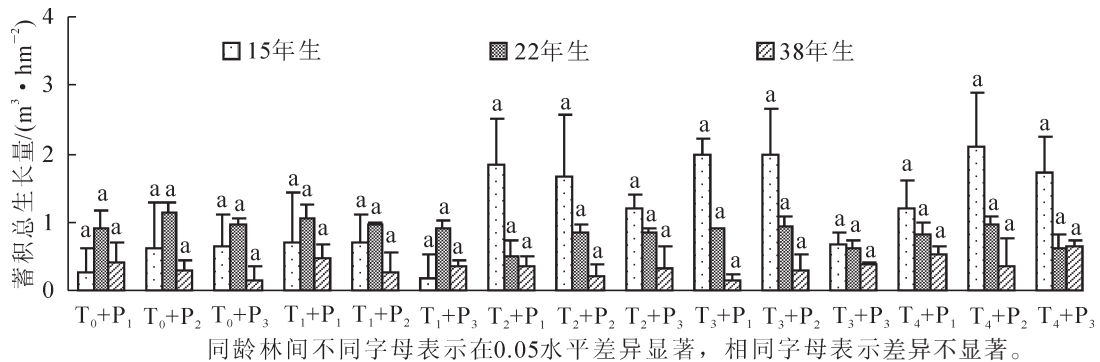


图6 抚育对15, 22, 38年生华北落叶松蓄积总生长量综合影响

Figure 6 Response of volume growth of 15, 22, 38 years old *Larix principis-rupprechtii* to tending

对同一林分而言,在一定抚育强度范围内,间伐强度增加,生长空间、光辐射等有利条件不断得到扩充,保留木生长环境逐步优化,出现林分胸径增长效应;但是间伐强度过大,则会对林分生长环境带来较大改变和冲击,保留木为适应急剧改变后的生长环境,出现林分生长的失去效应。调整林分结构,选择最佳抚育强度对于保留木生长极为重要^[11-12]。②对不同林龄林分而言,林龄大的林分生长更为稳定,适应性更强,更容易接受强度较大抚育措施对其环境带来的改变,并利用新的生长环境进行生长,它们的最佳抚育强度也较高^[13-14]。

15年生华北落叶松未修枝林分的胸径3a总生长量最大,重度修枝强度的林分胸径总生长量大于轻度修枝强度的林分。22年生林分的胸径总生长量随着修枝强度增大而减小,而38年生林分的胸径总生长量随着修枝强度增大而增加。可见,本研究支持前人的林木修枝后存在补偿机制的学说^[15-17]和前人对红松 *Pinus koraiensis* 人工林效果调查的理论^[18-19],即15年生和22年生林分在修枝后,同化物从树冠向下经树木韧皮部运输,在经过树皮切口处时不能直接通过,只能沿修枝切口之间的狭窄韧皮区域向下运输,从而影响了同化物的向下运输的速度,造成了切口上部同化物积累,下部同化减少的情况,表现出轻度修枝后胸径总生长量减小;强度修枝措施使修枝切口较多,造成物质积累较少,突破开启补偿作用的阈值,林木为了补偿枝叶缺失对物质积累的不利影响,在一定条件下,通过提高光合效率等途径进行补偿,增加同化物供给量,从而表现出重度修枝胸径总生长量较轻度修枝胸径总生长量略有增加的现象。38年生林木,林龄较大,树冠更为茂密,侧枝生长需要的物质质量更多,但是由于树冠茂密树冠下层枝叶光合效率较低,修枝能除去树冠下部受光差的枝条,除去妨碍主干生长的竞争枝,大侧枝及枯枝,能够促进林木的径级生长。因38年生林木树干直径大,修枝切口间的韧皮区域较宽,切口对同化物质向下运输的阻碍较小,且修枝减少了不必要的营养消耗,改善了林内的生长条件,故38年生林木胸径总生长量随着修枝强度的增加而增加。

一定范围内林分树高生长随间伐强度增加而增加,不同修枝强度林分的高生长量差异不显著,林分密度是影响华北落叶松树高生长的重要因素;抚育前密度仅为 $870 \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的近熟林树高生长量在3个龄级林分中最大。这一研究结果,间接证实这个观点。郑世锴等^[20]的研究表明:“在纯林中,抚育采伐对林分平均树高的影响并不显著,树高的生长主要取决于立地条件”。推测其原因,可能是因研究树种不同,不同树种高生长对环境条件的要求有所差异。王伟峰等^[21]的研究也证实这一说法。

树冠枝叶进行光合作用产生同化物的同时其自身生长也消耗同化物质,当枝叶过于茂盛,树冠下部枝叶光合作用产生的同化物较少甚至少于其自身生长消耗的同化物,从而成为林木生长的负担,这主要是由于下部枝叶的部分物质累积来自于临近枝叶的光合作用^[22],故进行修枝去除光合效率低的枝叶使得林木生长加快;但修枝强度过大,使得枝叶大量减少,枝叶产生的同化物使林木不能充分发挥其生长潜能,也使得林木生长受到抑制。适宜的修枝强度可去除对林木生长产生负担的枝叶,并能为林木生长提供足量的同化物^[23-24]。

5 参考文献

[1] 杨旭东,李俊魁.解决中国木材短缺问题的思考和建议[J].北京林业大学学报:社会科学版,2009,8(3):105

- 108.

YANG Xudong, LI Junkui. Consideration and suggestion on solving timber shortage problems in China [J]. *J Beijing For Univ Soc Sci*, 2009, **8**(3): 105 - 108.

- [2] 漆良华, 刘广路, 范少辉, 等. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳储量与碳格局的影响[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(8): 1482 - 1488.
- QI Lianghua, LIU Guanglu, FAN Shaohui, *et al.* Effects of different tending measures on carbon density, storage, and allocation pattern of *Phyllostachys edulis* forests in western Fujian Province [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28**(8): 1482 - 1488.
- [3] 王懿祥, 张守攻, 陆元昌, 等. 干扰树间伐对马尾松人工林目标树生长的初期效应[J]. 林业科学, 2014, **50**(10): 67 - 73.
- WANG Yixiang, ZHANG Shougong, LU Yuanchang, *et al.* Initial effects of crop trees growth after crop tree release on *Pinus massoniana* plantation [J]. *Sci Silv Sin*, 2014, **50**(10): 67 - 73.
- [4] 任世奇, 陈健波, 周维, 等. 修枝对尾巨桉生长及光合生理的影响[J]. 生态学杂志, 2013, **32**(11): 2978 - 2984.
- REN Shiqi, CHEN Jianbo, ZHOU Wei, *et al.* Effects of pruning on the growth and photosynthetic physiology of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* [J]. *Chin J Ecol*, 2013, **32**(11): 2978 - 2984.
- [5] 李孝良, 蔡卫兵, 马永春, 等. 造林密度和修枝对欧美 107 杨生长量的影响[J]. 林业科技开发, 2014, **28**(1): 115 - 117.
- LI Xiaoliang, CAI Weibing, MA Yongchun, *et al.* Influences of planting density and pruning on the growth of *Populus euramericana* 'Neva' [J]. *China For Sci Technol*, 2014, **28**(1): 115 - 117.
- [6] 张远东, 刘彦春, 刘世荣, 等. 基于年轮分析的不同恢复途径下森林乔木层生物量和蓄积量的动态变化[J]. 植物生态学报, 2012, **36**(2): 117 - 125.
- ZHANG Yuandong, LIU Yanchun, LIU Shirong, *et al.* Dynamics of stand biomass and volume of the tree layer in forests with different restoration approaches based on tree-ring analysis [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2012, **36**(2): 117 - 125.
- [7] 程瑞梅, 封晓辉, 肖文发, 等. 北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2011, **31**(8): 2086 - 2095.
- CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, *et al.* Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in north subtropical region [J]. *Acta Ecol Sin*, 2011, **31**(8): 2086 - 2095.
- [8] 邵全琴, 杨海军, 刘纪远, 等. 基于树木年轮信息的江西千烟洲人工林碳蓄积量分析[J]. 地理学报, 2009, **64**(1): 69 - 83.
- SHAO Quanqin, YANG Haijun, LIU Jiyuan, *et al.* Dynamic analysis on carbon accumulation of a plantation in Qianyanzhou based on tree ring data [J]. *Acta Geogr Sin*, 2009, **64**(1): 69 - 83.
- [9] PINKARD E A, BATTAGLIA M, BEADLE C L, *et al.* Modeling the effect of physiological responses to green pruning on net biomass production of *Eucalyptus nitens* [J]. *Tree Physiol*, 1999, **19**(1): 1 - 12.
- [10] 徐金良, 毛玉明, 郑成忠, 等. 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响[J]. 林业科学研究, 2014, **27**(1): 99 - 107.
- XU Jinliang, MAO Yuming, ZHENG Chengzhong, *et al.* Effect of thinning on growth and timber outturn in *Cunninghamia lanceolata* plantation [J]. *For Res*, 2014, **27**(1): 99 - 107.
- [11] FRANK B, EDUARDO S. Biomass dynamics of *Erythrina lanceolata* as influenced by shoot-pruning intensity in Costa Rica [J]. *Agrofor Sys*, 2003, **57**(1): 17 - 26.
- [12] BURGESS P J, INCOLL L D, CORRY D T. Poplar (*Populus* spp.) growth and crop yields in a silvicultural experiment at three lowland sites in England [J]. *Agrofor Sys*, 2005, **63**(2): 157 - 169.
- [13] NABB K M, VANDERSCHAAF C. Growth of graded Sweetgum 3 years after root and shoot pruning [J]. *New For*, 2005, **29**(3): 313 - 320.
- [14] NEILSEN W A, PINKARD E A. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata* [J]. *Can J For Res*, 2003, **33**(11): 2067 - 2073.
- [15] 苏芳莉, 刘明国, 迟德霞, 等. 天然次生林抚育间伐效果[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2008, **27**(2): 305 - 308.
- SU Fangli, LIU Mingguo, CHI Dexia, *et al.* Thinning effect on growth status of natural secondary forest [J]. *J Liaoning Tech Univ Nat Sci*, 2008, **27**(2): 305 - 308.

- [16] 王世绩, 刘雅荣, 朱春全, 等. 杨树失叶对生长超越补偿作用的研究[J]. 林业科学研究, 1993, **36**(3): 294 – 298.
WANG Shiji, LIU Yarong, ZHU Chunquan, *et al.* A study on the over-compensation effect of poplar from leaf loss [J]. *For Res*, 1993, **36**(3): 294 – 298.
- [17] BAYALA J, TEKLEHAIMANOT Z, QUEDRAOGO S J. Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso [J]. *Agrofor Sys*, 2002, **54**(3): 203 – 214.
- [18] 李荣岐, 姜秀志. 红松人工林修枝效果的调查[J]. 林业科技, 2001, **26**(5): 11 – 12.
LI Rongqi, JIANG Xiuzhi. Effect of pruning for *Pinus koraiensis* man-made stands [J]. *For Sci Technol*, 2001, **26**(5): 11 – 12.
- [19] SCHMIDT T L, WARDLE T D. Impact of pruning eastern redcedar (*Juniperus virginiana*) [J]. *West J Appl For*, 2002, **17**(4): 189 – 193.
- [20] 郑世锴, 刘奉觉, 徐宏远, 等. 山东临沂地区杨树人工林密度及经济效益的研究[J]. 林业科学研究, 1990, **3**(2): 166 – 171.
ZHENG Shikai, LIU Fengjue, XU Hongyuan, *et al.* A study on density and economic benefits of poplar plantation in Linyi Prefecture, Shandong Province [J]. *For Res*, 1990, **3**(2): 166 – 171.
- [21] 王伟峰, 廖为明, 王强, 等. 樟子松人工林树高生长对气候因子的响应研究[J]. 江西林业科技, 2009(3): 1 – 5.
WANG Weifeng, LIAO Weiming, WANG Qiang, *et al.* Studies on the respond of height growth to the climate factors in *Pinus sylvestris* plantation [J]. *J Jiangxi For Sci Technol*, 2009(3): 1 – 5.
- [22] 牛正田, 张绮纹, 彭镇华, 等. 国外杨树速生机制与理想株型研究进展[J]. 世界林业研究, 2006, **19**(2): 23 – 27.
NIU Zhengtian, ZHANG Qiwei, PENG Zhenhua, *et al.* Advances in research on fast-growing mechanism and ideotypes of poplar [J]. *World For Res*, 2006, **19**(2): 23 – 27.
- [23] 黄占斌, 山仑. 春小麦拔节期有限供水的产量和生理效应研究初报[J]. 西北植物学报, 1994, **14**(5): 28 – 30.
HUANG Zhanbin, SHAN Lun. The primary study of yield and physiological effect to limited water supplement at jointing stage of spring wheat [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 1994, **14**(5): 28 – 30.
- [24] 金轲, 汪德水, 蔡典雄, 等. 水肥耦合效应研究(Ⅱ)不同N, P, 水配合对旱地冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, **5**(1): 8 – 13.
JIN Ke, WANG Deshui, CAI Dianxiong, *et al.* Response and interaction for water and fertilizer (Ⅱ) the effect of different composition N, P and water on the yield of winter wheat [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 1999, **5**(1): 8 – 13.