

引用格式: 唐国强, 吴远媚, 蒙兰杨, 等. 不同强度修枝对格木幼林生长及干形的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(1): 45–53. TANG Guoqiang, WU Yuanmei, MENG Lanyang, *et al.* Effects of different intensities of pruning on growth and stem form of young *Erythrophleum fordii* plantation[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2026, 43(1): 45–53.

不同强度修枝对格木幼林生长及干形的影响

唐国强, 吴远媚, 蒙兰杨, 邓莉明, 唐武, 唐启乐, 农英敏, 莫美颖

(南宁市林业科学研究所, 广西南宁 530107)

摘要: 【目的】研究不同修枝强度对格木 *Erythrophleum fordii* 生长和干形的动态影响, 为格木修枝抚育提供理论依据。【方法】以 4 年生格木纯林为研究对象, 采用不修枝 (对照, ck), 以及低强度修枝 (修去树高 1/3 以下的枝条, T₁)、中强度修枝 (修去树高 1/2 以下的枝条, T₂)、高强度修枝 (修去树高 2/3 以下的枝条, T₃) 等 4 个处理, 各修枝处理均为 9 行 72 株小区, 设 4 次重复。连续 4 a 测定树高、胸径、冠幅和枝下高等, 利用方差分析、多重比较分析研究不同修枝强度及不同年度对树高、胸径、材积、冠幅、高径比、胸高形数、枝下高、冠高、冠高率的影响。【结果】低强度修枝对胸径和材积显著的促进作用集中在修枝后第 1 年 ($P<0.05$)。高强度修枝对树高和材积的抑制作用在修枝后第 1 年和第 3 年较为明显, 其中对树高的抑制作用达到显著水平 ($P<0.05$)。修枝对冠幅的调控呈现阶段性特征, 修枝后第 1 年冠幅不降反增, 第 2 年出现负增长且随着修枝强度的增加而减弱, 第 4 年各修枝强度无显著差异。修枝显著提高枝下高 ($P<0.05$), 降低冠高、冠高率和高径比, 表明早期修枝在优化树形的同时可能降低干材饱满度。【结论】格木生长对修枝的响应呈现显著的年度波动性, 影响作用集中在修枝后第 1 年, 后续影响减弱, 第 4 年后无显著影响。综合生长及干形指标, 低强度修枝在胸径、材积和枝下高间实现最佳平衡, 是培育大径材的最优策略。图 2 表 7 参 25

关键词: 格木; 修枝强度; 生长; 干形

中图分类号: S753.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2026)01-0045-09

Effects of different intensities of pruning on growth and stem form of young *Erythrophleum fordii* plantation

TANG Guoqiang, WU Yuanmei, MENG Lanyang, DENG Liming, TANG Wu, TANG Qile,
NONG Yingmin, MO Meiyang

(Nanning Forestry Research Institute, Nanning 530107, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] This study aims to clarify the impacts of different pruning intensities on the growth and stem form of *Erythrophleum fordii*, so as to provide a theoretical basis for its pruning and cultivation. [Method] Taking a 4-year-old pure forest of *E. fordii* as the research object, four treatments were set up: no pruning (control, ck), low-intensity pruning (removing branches below 1/3 of tree height, T₁), medium-intensity pruning (removing branches below 1/2 of tree height, T₂), and high-intensity pruning (removing branches below 2/3 of tree height, T₃). Each treatment consisted of 9 rows and 72 trees per plot, with four replicates. Tree height, diameter at breast height (DBH), crown width, and under-branch height were measured for four consecutive years. ANOVA and multiple comparisons were employed to analyze the effects of different pruning treatments and years on growth (height, DBH, volume), crown dynamics (crown width), and stem form (height to diameter ratio, breast height form factor, under-branch height, crown height, and crown height rate. [Result] T₁ significantly promoted DBH and volume of the tree ($P<0.05$), with effects concentrated in the

收稿日期: 2025-05-15; 修回日期: 2025-10-29

基金项目: 广西科技重大专项 (桂科 AA24263024); 广西林业科技推广示范项目 (桂林科研〔2022〕第 9 号)

作者简介: 唐国强 (ORCID: 0009-0005-7376-2115), 高级工程师, 从事林木遗传育种和森林培育研究。E-mail: tgq1010@126.com

first year after pruning. T_3 significantly inhibited tree height and volume growth in the first and third years after treatment, with the inhibitory effect on tree height reaching a significant level ($P < 0.05$). The regulation of crown width by pruning exhibited stage-specific characteristics, with crown width increasing instead of decreasing in the first year after pruning, negative growth occurring in the second year and weakening with increasing pruning intensity, and no significant difference in pruning intensity in the fourth year. Pruning significantly ($P < 0.05$) increased under-branch height but reduced crown height, crown height rate, breast height form factor, and height to diameter ratio, indicating that early pruning might reduce the bole fullness while optimizing the stem form. [Conclusion] The responses of growth to pruning showed significant annual fluctuations, with impacts mainly concentrated in the first year after pruning, and gradually weakening thereafter. After the fourth year, there is no significant effect. Considering both growth and stem form indicators, T_1 achieves the optimal balance between DBH, volume, and under-branch height, and is the optimal strategy for cultivating large-diameter timber. [Ch, 2 fig. 7 tab. 25 ref.]

Key words: *Erythrophleum fordii*; pruning intensity; growth; stem form

格木 *Erythrophleum fordii* 是中国亚热带地区特有的珍贵阔叶树种, 兼具重要的生态防护功能与经济价值, 主要分布在广西、广东、福建、台湾、浙江等省(自治区), 越南也有分布^[1]。格木木材坚硬致密、纹理美观, 是高端家具、建筑及工艺品的优质原料, 但天然分布区的缩减与人工林培育技术的滞后, 以及蛀干害虫的严重危害, 是制约格木人工林健康发展的关键限制因素^[2], 导致其资源供给长期处于紧缺状态, 目前被列为中国二级重点保护植物。林木人工修枝作为改善林木生长环境、培育大径级无节良材的重要抚育措施之一^[3-6], 在调节林分结构、调控林木生长、提高木材质量、维持林分稳定性等方面具有重要作用^[7-8]。有研究表明: 低强度修枝能够显著促进杉木 *Cunninghamia lanceolata*、红皮云杉 *Picea koraiensis*、云南松 *Pinus yunnanensis*、南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *mairei* 等^[9-12] 树种的胸径与材积增长。对杨树 *Populus* spp. 的研究发现: 合理修枝可减少冗余枝叶、优化碳分配, 使胸径年均增长率提升 9.2%~15.7%^[13]。林木幼林早期适度修枝有利于林木生长及伤口愈合^[14]。郝建^[15] 对 9 年生格木研究认为: 仅在修除 1/2 树冠时胸径与材积显著下降, 而低强度修枝对生长无显著影响。这可能是因为格木修枝效果受树龄、修枝强度及立地条件的综合影响, 且现有研究集中于中龄林阶段, 缺乏对幼林修枝的长期动态监测研究。

本研究以南宁市林业科学研究所 4 年生格木纯林为对象, 设计不同强度的修枝试验。修枝后进行连续 4 a 的观测, 系统分析不同修枝强度对格木生长及干形指标的影响规律, 旨在为建立格木幼龄林精准修枝技术体系提供理论依据。研究结果不仅有助于解决格木人工林培育中的关键技术难题, 还可对其他珍贵树种的修枝抚育提供科学参考, 对推动中国南方人工林可持续经营具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地及林分概况

试验数据来源于南宁市林业科学研究所 2 林班格木试验林。试验地地处广西南宁市武鸣区与隆安县交界处, 23°10'N, 107°59'E, 海拔为 130 m。林地建在石灰岩峰林峰丛间宽阔的缓丘台地, 坡度为 5°~15°, 地势较为平坦。试验地气候为南亚热带亚季风气候, 年平均气温为 21.5 °C, ≥ 10 °C 的年平均积温为 7 697.8 °C, 四季温和, 冬暖夏凉。1 月最冷, 平均气温为 12.3 °C, 历年最低气温为 -2.5 °C; 7 月最热, 平均气温为 29.5 °C, 极端最高气温为 40.6 °C。年平均降水量为 1 250.0 mm, 年均蒸发量为 1 613.8 mm。受局部气候影响属于半干旱地区, 雨季多在 4—8 月, 年平均相对湿度 79%, 年平均有霜日为 3.0~5.0 d, 干湿季节变化明显。土壤为第四纪红土发育成的中至厚层赤红壤, 土质黏性小, 土壤保水性差、渗透强。

格木试验林于 2015 年 5 月完成造林, 造林密度为 2 500 株·hm⁻², 林地面积为 0.8 hm²。造林苗木来源于南宁市林业科学研究所 40 年生格木林种子培育的苗木, 苗木根系发达、生长好, 无机械损伤和病

虫害，苗龄为 0.5 a，苗高为 35~50 cm，地径为 0.7~1.1 cm。格木苗种植后，及时淋定根水，以保证成活率。造林前 3 a 根据林地杂草情况及时清除杂草，每年春季追施复合肥 $[0.15 \text{ kg} \cdot \text{株}^{-1}]$ ， $m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=15:15:15$ ，总养分质量分数 $\geq 45\%$ 1 次。造林后第 4 年保存率为 89.45%。

2019 年 11 月初修枝前，调查试验林内的树高、胸径、冠幅和枝下高，2019 年 11 月底完成修枝，修枝后每年的 11—12 月测量相同的生长指标，连续测 4 a。修枝前和修枝后各年度林分生长指标见表 1。

1.2 试验设计与分析

1.2.1 试验设计 采用随机区组试验设计，设 3 种修枝处理和 1 个对照，即低强度修枝（修去树高 1/3 以下的枝条， T_1 ）、中强度修枝（修去树高 1/2 以下的枝条， T_2 ）、高强度修枝（修去树高 2/3 以下的枝条， T_3 ）以及不修枝（对照，ck）共 4 个处理。各处理均为 9 行 72 株小区，设 4 次重复（图 1）。

1.2.2 数据调查与分析 修枝前对试验区全园进行测定，分别用伸缩式测高杆测量树高和枝下高，直径卷尺测量胸径，皮卷尺测量冠幅（采用东西、南北方向冠幅的平均值）。修枝采用锯子或修枝剪刀（大枝用锯子，小枝用剪刀，不留桩）按照修枝设计要求紧贴主干修除枝条，修枝伤口统一不做任何处理。修枝后每年的 11—12 月测量相同的生长指标，连续 4 a。采用 Excel 2019 进行数据处理并绘制图表，采用 SPSS 23.0 进行方差分析及最小显著性差异法（LSD）进行多重检验，其中枝下高采用地上第 1 个活枝高度，冠高为树高与枝下高之差，冠高率为冠高与树高之比，高径比为树高与胸径之比。

1.2.3 其他指标计算 格木二元立木材积、胸高形数的计算公式^[16]为：

$$V = 0.667\,054 \times 10^{-4} D^{1.847\,954\,50} H^{0.966\,575\,09}; \quad (1)$$

$$f_{1.3} = V / (\pi D^2 H / 4). \quad (2)$$

式 (1)~(2) 中： $f_{1.3}$ 为胸高形数； V 为格木单株材积； D 为胸径； H 为树高。

格木树高增率、胸径增率、材积增率、冠幅增率的计算公式为：

$$P_H = (H_2 - H_1) / (H_2 + H_1) \times 200\%; \quad (3)$$

$$P_D = (D_2 - D_1) / (D_2 + D_1) \times 200\%; \quad (4)$$

$$P_V = (V_2 - V_1) / (V_2 + V_1) \times 200\%; \quad (5)$$

$$P_C = (C_2 - C_1) / (C_2 + C_1) \times 200\%。 \quad (6)$$

式 (3)~(6) 中： P_H 为树高增率 (%)； P_D 为胸径增率 (%)； P_V 为材积增率 (%)； P_C 为冠幅增率 (%)； H_2 为当年树高； H_1 为前一年度树高； D_2 为当年胸径； D_1 为前一年度胸径； V_2 为当年材积； V_1 为前一年度材积； C_2 为当年冠幅； C_1 为前一年度冠幅。

格木高径比和胸高形数变化量计算公式为：

$$\Delta H/D = (A_2 - A_1) \times 100\%; \quad (7)$$

$$\Delta f_{1.3} = (f_2 - f_1) \times 100\%。 \quad (8)$$

表 1 格木试验林分修枝前和修枝后各年度的生长指标情况

Table 1 Growth indicators of *E. fordii* trial stands before and after pruning in consecutive years

修剪后时间	树高/m	胸径/cm	冠幅/m	枝下高/m
修剪前	5.016±0.938	5.933±1.486	2.868±0.699	1.240±0.730
第1年	6.420±1.206	7.585±2.015	3.064±0.590	2.964±1.310
第2年	7.627±1.439	8.487±2.407	2.834±0.693	3.526±1.367
第3年	8.057±1.656	9.159±2.775	2.860±0.808	3.783±1.483
第4年	8.571±1.855	9.679±3.055	3.110±0.858	3.720±1.694

说明：数据为平均值±标准差。

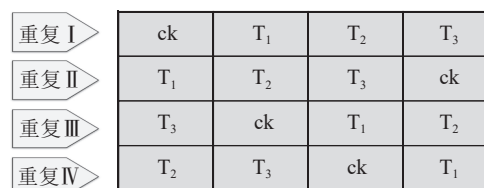


图 1 格木修枝试验设计示意图

Figure 1 Schematic diagram of the *E. fordii* pruning experiment design

式(7)~(8)中： $\Delta H/D$ 为格木高径比变化量(%)； $\Delta f_{1.3}$ 为胸高形数变化量(%)； A_2 为当年高径比； A_1 为前一年度高径比； f_2 当年胸高形数； f_1 为前一年度胸高形数。

2 结果与分析

2.1 不同修枝强度对格木树高生长的影响

分析结果(表2)表明：修枝第1年，树高增率从大到小依次为修枝 T_1 、ck、 T_2 、 T_3 ，其中 T_1 和ck间无显著差异， T_1 和ck显著大于 T_2 和 T_3 ($P<0.05$)， T_2 与 T_3 无显著差异。修枝第2年，各修枝处理间树高增率差异不显著。修枝第3年，树高增率从大到小依次为 T_1 、ck、 T_2 、 T_3 ，其中 T_1 、ck和 T_2 三者之间无显著差异， T_3 显著小于 T_1 和ck ($P<0.05$)，与 T_2 差异不显著。修枝第4年，各修枝处理间树高增率差异不显著。年均树高增率从大到小依次为 T_1 、ck、 T_2 、 T_3 ，其中 T_1 、ck和 T_2 三者之间无显著差异， T_3 显著小于 T_1 和ck ($P<0.05$)，与 T_2 差异不显著。这说明低强度的修枝对树高的生长促进作用不显著，而高强度的修枝对树高的生长存在显著的抑制作用，修枝对树高的影响主要体现在第1年和第3年。

表2 不同强度修枝对格木树高生长的影响

Table 2 Effects different intensities of pruning on tree height growth of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的树高增率/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	26.205±9.125 a	17.021±7.197 a	6.578±4.328 a	6.612±4.444 a	13.755±3.011 a
T_1	26.780±9.509 a	16.132±8.017 a	6.923±5.291 a	6.948±5.286 a	13.812±3.826 a
T_2	24.289±7.968 b	17.072±7.672 a	6.310±4.040 ab	6.747±4.458 a	13.281±3.160 ab
T_3	23.781±9.673 b	17.511±8.542 a	5.515±4.472 b	6.117±6.475 a	12.905±3.978 b

说明：数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同修枝强度对格木胸径生长的影响

分析结果(表3)表明：修枝后第1年，格木胸径增率从大到小依次为 T_1 、 T_2 、ck、 T_3 ， T_1 显著大于ck和 T_3 ($P<0.05$)，与 T_2 差异不显著， T_2 显著大于ck和 T_3 ($P<0.05$)，ck与 T_3 差异不显著。修枝后第2年、第3年、第4年，各处理间差异均不显著。年均胸径增率从大到小依次为 T_1 、 T_2 、 T_3 、ck， T_1 和 T_2 显著大于 T_3 和ck ($P<0.05$)， T_1 与 T_2 间无显著差异， T_3 与ck间无显著差异。这表明中低强度修枝对胸径的生长有显著的促进作用，修枝对胸径生长的影响主要体现在修枝第1年，第2~4年后影响不显著。

表3 不同强度修枝对格木胸径生长的影响

Table 3 Effects different intensities of pruning on DBH growth of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的胸径增率/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	23.341±10.404 b	10.415±6.251 a	6.984±5.204 a	4.904±4.143 a	11.173±4.497 a
T_1	27.154±11.983 a	11.455±6.729 a	7.343±5.237 a	4.603±3.542 a	12.323±4.979 b
T_2	25.912±10.918 a	11.609±5.659 a	7.195±4.799 a	5.343±3.986 a	12.219±4.509 b
T_3	21.591±11.970 b	11.574±6.280 a	7.105±5.121 a	5.454±4.401 a	11.176±4.842 a

说明：数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同修枝强度对格木材积生长的影响

结果(表4)表明：修枝第1年，材积增率从大到小依次为 T_1 、 T_2 、ck、 T_3 ， T_1 显著大于 T_2 、ck和 T_3 ($P<0.05$)， T_2 与ck无显著差异，但显著大于 T_3 ($P<0.05$)，ck显著大于 T_3 。修枝第2年，材积增率

从大到小依次为 T_3 、 T_2 、 T_1 、ck, T_3 显著大于 ck ($P<0.05$), 与 T_1 和 T_2 差异均不显著, T_2 、 T_1 和 ck 之间差异不显著。修枝第 3 年和第 4 年, 各处理间差异均不显著。年均材积增率从大到小依次为 T_1 、 T_2 、ck、 T_3 , T_1 、 T_2 和 ck 三者之间差异不显著, T_1 和 T_2 显著大于 T_3 ($P<0.05$), T_3 与 ck 差异不显著。由此可知: 低强度修枝对材积的生长有一定的促进作用, 高强度修枝对材积的生长有一定的抑制作用, 修枝对材积的影响主要体现在修枝第 1 年, 之后相对减弱, 修枝后第 3 年和第 4 年不同修枝强度对材积的影响不显著。

表 4 不同强度修枝对格木材积生长的影响

Table 4 Effects different intensities of pruning on volume growth of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的材积增率/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	66.262±19.182 b	34.110±23.953 a	19.403±18.529 a	15.164±9.686 a	29.310±7.176 ab
T1	72.897±23.615 a	35.519±19.555 ab	19.982±13.114 a	14.975±9.516 a	30.485±8.246 a
T2	68.162±22.348 b	36.615±20.789 ab	19.568±15.979 a	16.294±9.257 a	30.164±7.618 a
T3	59.388±28.491 c	39.202±17.817 b	16.207±38.667 a	15.971±38.143 a	28.509±8.183 b

说明: 数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.4 不同修枝强度对格木冠幅生长的影响

结果(表 5)表明: 修枝第 1 年, 冠幅增率从大到小依次为 ck、 T_2 、 T_1 、 T_3 , T_2 与 ck 差异不显著, T_1 和 T_3 显著小于 ck ($P<0.05$)。修枝第 2 年, 冠幅增率出现负增长, 从大到小依次为 T_3 、 T_2 、 T_1 、ck, 且各修枝处理均显著大于 ck ($P<0.05$)。修枝第 3 年, 冠幅增率从大到小依次为 ck、 T_2 、 T_3 、 T_1 , T_3 和 T_1 显著小于 ck ($P<0.05$)。修枝第 4 年, 各修枝处理间差异不显著。年均冠幅增率从大到小依次为 T_3 、 T_2 、ck、 T_1 , T_3 和 T_2 显著大于 T_1 ($P<0.05$), 但各修枝处理与 ck 差异均不显著。由此看出: 修枝前后 3 年对冠幅的生长有很大的影响, 但修枝第 1 年冠幅不降反增且影响的强度不是随着修枝强度而加强, 修枝第 2 年冠幅出现负向增长, 且随着修枝强度负向增长减弱, 这说明修枝主要是提供林间空间, 进而对枝条的增长有一定的促进作用, 但同时受林间郁闭度的影响。

表 5 不同强度修枝对格木冠幅生长的影响

Table 5 Effects different intensities of pruning on crown width growth of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的冠幅增率/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	10.586±13.998 a	-14.474±20.606 a	3.592±20.937 a	8.168±16.218 a	7.667±21.994 ab
T1	6.696±23.157 bc	-10.492±20.552 b	-2.684±15.889 c	10.378±15.170 a	3.891±22.848 a
T2	10.181±20.874 ba	-8.759±17.035 b	1.271±19.005 ab	6.447±16.851 a	8.992±23.678 b
T3	3.093±20.165 c	-2.321±16.035 c	-0.335±19.307 bc	8.733±20.136 a	9.184±24.978 b

说明: 数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

2.5 不同修枝强度对格木高径比和胸高形数的影响

分析结果(表 6)表明: 修枝第 1 年, 高径比变化量从大到小依次为 ck、 T_3 、 T_1 、 T_2 , T_3 与 ck 无显著差异, T_1 和 T_2 显著小于 ck ($P<0.05$), T_3 显著大于 T_2 ($P<0.05$), 与 T_1 无显著差异, T_1 与 T_2 差异不显著。修枝第 2 年, 高径比变化量从大到小依次为 ck、 T_2 、 T_3 、 T_1 , 各修枝处理间差异不显著。修枝第 3 年, 高径比变化量从大到小依次为 T_1 、 T_3 、ck、 T_2 , 各修枝处理间差异不显著。修枝第 4 年, 高径比变化量从大到小依次为 T_1 、ck、 T_2 、 T_3 , 各修枝处理间差异同样不显著。年均高径比变化量从大到小依次为 ck、 T_3 、 T_1 、 T_2 , T_1 、 T_2 和 T_3 显著小于 ck ($P<0.05$), T_3 、 T_1 和 T_2 之间无显著差异。这说明修枝降低高径比。

表6 不同强度修枝对格木高径比的影响

Table 6 Effects different intensities of pruning on height-diameter ratio of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的高径比变化量/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	2.950±12.540 a	9.908±55.405 a	-3.793±55.090 a	1.705±6.023 a	2.693±4.410 a
T ₁	-0.253±12.283 bc	4.140±9.275 a	0.186±8.396 a	1.979±5.985 a	1.513±4.140 b
T ₂	-1.650±11.524 c	9.090±50.694 a	-4.585±50.033 a	1.422±5.156 a	1.069±3.999 b
T ₃	1.572±13.049 ab	5.998±11.447 a	-1.397±13.146 a	0.577±14.909 a	1.688±4.354 b

说明：数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

修枝第1年，胸高形数变化量从大到小依次为 T₃、ck、T₂、T₁，T₃ 显著大于 ck、T₂ 和 T₁ ($P<0.05$)，T₂ 与 ck 差异不显著，T₁ 显著小于 ck ($P<0.05$)，T₂ 与 T₁ 不显著(表7)。修枝第2年，胸高形数变化量从大到小依次为 ck、T₂、T₁、T₃，各修枝处理间差异不显著。修枝第3年，胸高形数变化量从大到小依次为 T₃、T₁、ck、T₂，各修枝处理间差异不显著。修枝第4年，胸高形数变化量从大到小依次为 T₁、ck、T₂、T₃，各修枝处理间差异同样不显著。年均胸高形数变化量从大到小依次为 T₃、ck、T₂、T₁，T₃ 与 ck 无显著差异，但显著大于 T₂ 和 T₁ ($P<0.05$)，T₂ 与 ck 差异不显著，T₁ 显著小于 ck ($P<0.05$)，T₂ 与 T₁ 间无显著差异。这表明中低强度修枝可降低胸高形数。

表7 不同强度修枝对格木胸高形数的影响

Table 7 Effects different intensities of pruning on breast height form factor of *E. fordii*

修枝处理	修枝后不同时间的胸高形数变化量/%				
	第1年	第2年	第3年	第4年	年均
ck	-2.694±0.980 b	-1.133±1.825 a	-0.808±1.748 a	-0.531±0.386 a	-1.291±0.447 bc
T ₁	-3.089±1.268 a	-1.285±0.816 a	-0.749±0.565 a	-0.510±0.335 a	-1.408±0.519 a
T ₂	-2.879±1.109 ab	-1.243±1.639 a	-0.821±1.564 a	-0.575±0.357 a	-1.379±0.461 ab
T ₃	-2.453±1.438 c	-1.406±0.835 a	-0.620±1.963 a	-0.640±2.013 a	-1.280±0.511 c

说明：数据为平均值±标准差。不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。

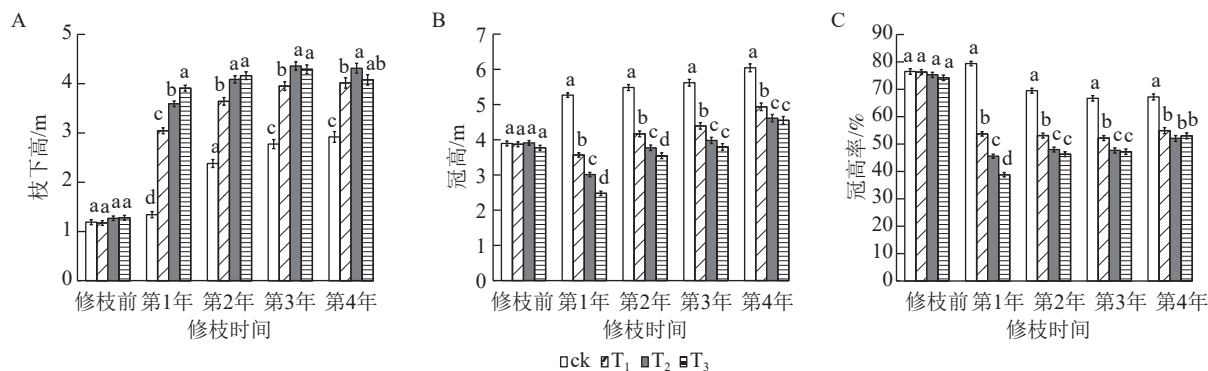
2.6 不同修枝强度对格木枝下高、冠高和冠高率的影响

由图2可知：修枝前各处理间枝下高、冠高及冠高率差异不显著，修枝后各修枝处理与 ck 在各年度均存在极显著差异。修枝后第1年和第2年，枝下高从大到小依次为 T₃、T₂、T₁、ck；修枝后第3年和第4年，枝下高从大到小依次为 T₂、T₃、T₁、ck；T₁、T₂ 和 T₃ 各年度枝下高分别高于对照 126.73%、167.46%、191.06% (修枝后第1年)，52.91%、71.65%、74.84% (修枝后第2年)，42.38%、57.08%、54.67% (修枝后第3年)，37.50%、47.71%、39.62% (修枝后第4年)。修枝后连续第4年，冠高从大到小依次均为 ck、T₁、T₂、T₃，T₁、T₂ 和 T₃ 各年度冠高分别低于对照 32.29%、42.82%、52.96% (修枝后第1年)，24.00%、31.21%、35.32% (修枝后第2年)，21.85%、29.16%、32.42% (修枝后第3年)，18.33%、23.66%、24.7% (修枝后第4年)。修枝后第1年、第2年和第3年，冠高率从大到小依次为 ck、T₁、T₂、T₃。修枝后第4年，冠高率从大到小依次为 ck、T₁、T₃、T₂。T₁、T₂ 和 T₃ 各年度冠高率分别低于对照 32.36%、42.57%、51.13% (修枝后第1年)，23.60%、30.93%、33.38% (修枝后第2年)，21.73%、28.48%、29.23% (修枝后第3年)，18.3%、22.47%、21.13% (修枝后第4年)。由此看出：修枝对枝下高、冠高及冠高率均存在显著影响，影响程度随修枝强度的增强而增加，但修枝第2年后对枝下高、冠高、冠高率影响程度随着时间的推移逐渐减弱。

3 讨论

3.1 修枝强度对生长指标的影响

自然整枝规律是林木人工修枝的重要依据和理论基础。适度修枝去除林木多余阴枝，减少营养消



不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 不同强度修枝后 1~4 a 枝下高、冠高和冠高率的生长和变化情况

Figure 2 Growth and changes in under-branch height, crown height, and crown height rate from 1 to 4 years after different pruning intensities

耗,有利于营养物质的再分配;同时林木修枝后可能存在补偿机制,即林木修枝受到创伤后,对物质积累产生不利影响,但林木可通过提高光合效率进行补偿^[17-18]。本研究结果表明:低强度修枝对胸径和材积有显著促进作用,这与欧建德等^[19]对南方红豆杉和杨康等^[20]对水曲柳 *Fraxinus mandshurica* 的研究结果相似。这可能源于格木光合产物向主干的再分配,与“资源最优分配假说”一致^[21]。适度减少冗余枝叶后,树木将光合产物优先分配至主干生长,从而显著提升胸径和材积增率,表明低强度修枝通过优化碳分配促进干材生长。然而,高强度修枝过度移除冠层枝叶,光合面积不足削弱光合能力,导致碳固定不足,从而显著抑制树高生长。这与孙尚伟^[22]对欧美杨 *Populus × euramericana* 的研究结论一致。值得注意的是,高强度修枝对树高的抑制效应在第 1 年和第 3 年尤为明显。这可能因为第 1 年为伤口修复高峰期,碳优先用于愈合,第 3 年可能因新叶尚未完全覆盖,光合恢复未达稳定,导致二次资源竞争。

3.2 修枝强度对冠幅生长的影响

修枝后冠幅的负增长及枝下高的显著提升反映了树木对空间竞争的适应性调整,即林分郁闭度升高,个体间竞争加剧,抑制冠层扩展。高强度修枝通过降低冠层郁闭度,迫使树木减少侧枝生长以集中资源维持主干优势。第 2 年冠幅负增长随修枝强度增加而减弱的现象,可能是由于修枝改变了树木的光照条件和养分分配,使得树木将更多的资源用于主干生长,而限制了侧枝的生长,从而导致冠幅增长受到抑制。但随着修枝强度的增强,树木的光照和通风条件进一步改善,可能在一定程度上缓解了冠幅的负向增长。前人在杉木修枝研究中得出过相似结论^[23]。同时,修枝后冠幅的补偿性恢复提示格木具有较强的生态可塑性,可通过调整枝条空间分布适应资源变化。

3.3 修枝强度对干形指标的影响

低强度修枝降低胸高形数的现象表明:早期修枝可能通过改变形成层活动影响木材形态。这与刘球等^[24]对托里桉 *Corymbia torelliana* 的研究结果一致。推测与光合产物优先分配至径向生长而非干形优化有关。高径比的降低反映了修枝对树形的调控作用,表现出径向生长率大于高生长率,这可能与格木的生长特性有关。唐继新等^[25]对 30 年生格木人工林生长规律的研究表明:格木胸径生长量的速生期在第 7~25 年,高生长的速生期在第 4~21 年。4 年生的格木通过低强度的修枝可能会短暂地促进径向生长,使得径向生长的速生期提前。本研究低强度修枝降低了高径比和胸高形数,很大程度上是因为低强度修枝促进了径向生长,降低了高径比和胸高形数,早期不利于中幼林格木的饱满度。修枝后第 3、第 4 年中强度修枝的枝下高大于高强度修枝和第 4 年高强度修枝的冠高率大于中强度修枝,可能与高强度修枝可促进萌枝有关。

综合生长与形质指标可知:低强度修枝在胸径(年均增率 12.32%)、材积(年均增率 30.49%)和枝下高(年均提升 42.38%)间实现了最佳平衡。这一结论与杨树修枝试验的推荐标准一致^[13],验证了低强度修枝在培育优质大径材中的普适性。本研究未涉及修枝对木材解剖结构(如管胞长度、纤维含量)及抗逆性(如病虫害抗性)的长期影响。未来需结合木材科学与生理生态学方法深化研究。此外,格木作为亚热

带珍稀树种,其修枝响应可能受立地条件(如土壤肥力、降水)的显著影响,建议开展多区域对比试验以完善技术标准。

4 结论

低强度修枝可促进树高、胸径和材积生长,其中对胸径和材积的促进作用集中在修枝后第1年;高强度修枝显著抑制树高和材积生长,主要体现在修枝后第1年和第3年。修枝对冠幅的影响呈阶段性,修枝后第1年冠幅变化与修枝强度无明显规律性,第2年出现负增长,且强度越大负增长越弱。第4年冠幅恢复增长。早期修枝会降低高径比和胸高形数,影响树干饱满度,同时显著提高枝下高,降低冠高及冠高率。这些影响在修枝后第2年之后逐渐减弱。修枝对格木生长的影响作用主要集中在修枝后第1年,后续影响减弱,第4年后无显著影响。综合生长和形质指标,低强度修枝能最佳平衡胸径、材积和枝下高的生长,是培育格木大径材的最优选择。

5 参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 117. Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Science. *Flora of China* [M]. Beijing: Science Press, 1988: 117.
- [2] 赵志刚, 王晨彬, 王胜坤, 等. 格木人工林内荔枝异形小卷蛾的生活史及其防治[J]. *西北林学院学报*, 2018, 33(6): 152–158. ZHAO Zhigang, WANG Chenbin, WANG Shengkun, *et al.* Life history of *Cryptophlebia ombrodelta* (Lepidoptera: Tortricidae) and comprehensive control in *Erythrophloeum fordii* plantation[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(6): 152–158. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2018.06.25.
- [3] BEADLE C, BARRY K, HARDIYANTO E, *et al.* Effect of pruning *Acacia mangium* on growth, form and heart rot[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238(1/3): 261–267. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.10.017.
- [4] DĂNESCU A, EHRING A, BAUHUS J, *et al.* Modelling discoloration and duration of branch occlusion following green pruning in *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior*[J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 335: 87–98. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.09.027.
- [5] SCHATZ U, HERÄJÄRVI H, KANNISTO K, *et al.* Influence of saw and secateur pruning on stem discolouration, wound cicatrization and diameter growth of *Betula pendula*[J]. *Silva Fennica*, 2008, 42(2). DOI: 10.14214/sf.258.
- [6] WANG Chunsheng, HEIN S, ZHAO Zhigang, *et al.* Branch occlusion and discoloration of *Betula alnoides* under artificial and natural pruning[J]. *Forest Ecology and Management*, 2016, 375: 200–210. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.05.027.
- [7] 黄开栋, 钱壮壮, 唐罗忠. 林木修枝对林地环境的影响研究进展[J]. *世界林业研究*, 2018, 31(2): 43–48. HUANG Kaidong, QIAN Zhuangzhuang, TANG Luozhong. Research progress in the effect of pruning on plantation environment[J]. *World Forestry Research*, 2018, 31(2): 43–48. DOI: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2017.0088.y.
- [8] 杨贺, 刘盛, 李国伟, 等. 修枝和间伐对长白落叶松人工幼龄林下草本植物多样性和土壤理化性质的短期影响[J/OL]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2025-04-07. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=NJLY20250403003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>. YANG He, LIU Sheng, LI Guowei, *et al.* The short-term effects of pruning and thinning on the diversity of herbaceous plants and soil physicochemical properties under the artificial *Larix olgensis* young forest[J/OL]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2025-04-07. <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=NJLY20250403003&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- [9] 沙子舟, 范少辉, 冯随起, 等. 不同强度修枝对杉木人工林生长的影响[J]. *西北林学院学报*, 2022, 37(1): 131–136. SHA Zizhou, FAN Shaohui, FENG Suiqi, *et al.* Effects of different pruning intensities on the growth of *Cunninghamia lanceolata* plantations[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, 37(1): 131–136. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2022.01.19.
- [10] 许艳红, 刘莹, 郭忠玲, 等. 不同修枝强度对红皮云杉生长的影响[J]. *北华大学学报(自然科学版)*, 2021, 22(4): 462–466. XU Yanhong, LIU Ying, GUO Zhongling, *et al.* Effect of different pruning intensities on growth of *Picea koraiensis*[J]. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 2021, 22(4): 462–466. DOI: 10.11713/j.issn.1009-4822.2021.04.007.
- [11] 李杨涛, 李莲芳, 杨文君, 等. 修枝对云南松林分结构及生长影响的分析[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2018, 38(3): 44–50. LI Yangtao, LI Lianfang, YANG Wenjun, *et al.* Analysis of pruning effecting on stand structure and growth of *Pinus yunnanensis*[J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2018, 38(3): 44–50. DOI: 10.11929/j.issn.2095-1914.2018.03.007.

- [12] 欧建德, 吴志庄. 南方红豆杉修枝后生长与干形动态表现[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(1): 104–111. OU Jiande, WU Zhizhuang. Growth and stem form quality with pruning in *Taxus wallichiana* var. *mairei*[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, 34(1): 104–111. DOI: 10.11833/j.issn.2095-0756.2017.01.015.
- [13] HUANG Kaidong, XU Cheng, QIAN Zhuangzhuang, et al. Effects of pruning on vegetation growth and soil properties in poplar plantations[J]. *Forests*, 2023, 14(3): 501. DOI: 10.3390/f14030501.
- [14] 魏理晖, 叶小鹏, 陈志云, 等. 密度及修枝对幼林杉木节子伤口愈合的影响[J]. 森林与环境学报, 2024, 44(6): 639–646. WEI Lihui, YE Xiaopeng, CHEN Zhiyun, et al. Effect of density and pruning on knot wound healing in young *Cunninghamia lanceolata* stands[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2024, 44(6): 639–646. DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2024.06.009.
- [15] 郝建. 格木人工林修枝技术体系研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017. HAO Jian. *Research on System of Pruning Technology of Erythrophleum fordii Plantation*[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2017.
- [16] 安宁, 郭文福, 丁贵杰, 等. 马尾松格木幼林混交效果研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(5): 1–6. AN Ning, GUO Wenfu, DING Guijie, et al. Study on mixed young plantation effect of *Pinus massoniana* and *Erythrophleum fordii*[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2020, 40(5): 1–6. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.05.001.
- [17] 蒙兰杨, 黄永利, 梁君霞, 等. 修枝对火力楠、红椎和大叶栎人工幼龄林林木形质的影响[J]. 林业科学, 2023, 59(9): 106–116. MENG Lanyang, HUANG Yongli, LIANG Junxia, et al. Effects of pruning on the form quality of artificial young forests of *Michelia macclurei*, *Castanopsis hystrix* and *Castanopsis fissa*[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2023, 59(9): 106–116. DOI: 10.11707/j.1001-7488.LYKX20230024.
- [18] 任天梦, 鲍雨, 苏亚勋, 等. 不同修枝处理对 10 年生三倍体毛白杨生长和光合特性的影响[J]. 植物研究, 2023, 43(6): 846–856. REN Tianmeng, BAO Yu, SU Yaxun, et al. Effects of different pruning treatments on growth and photosynthetic characteristics of 10-year-old triploid *Populus tomentosa*[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2023, 43(6): 846–856. DOI: 10.7525/j.issn.1673-5102.2023.06.007.
- [19] 欧建德, 吴志庄. 南方红豆杉修枝经营措施优化及评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(1): 117–122. OU Jiande, WU Zhizhuang. Optimization of pruning operation method for *Taxus wallichiana* var. *mairei*[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2017, 41(1): 117–122. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2017.01.018.
- [20] 杨康, 徐晓萱, 孙海龙, 等. 修枝强度对水曲柳人工林生长和干形的影响[J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(11): 10–16. YANG Kang, XU Xiaoxuan, SUN Hailong, et al. The impact of pruning intensity on the growth and stem form of *Fraxinus mandshurica* plantations[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2024, 52(11): 10–16. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2024.11.017.
- [21] POORTER H, NIKLAS K J, REICH P B, et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control[J]. *New Phytologist*, 2012, 193(1): 30–50. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x.
- [22] 孙尚伟. 修枝对欧美杨 107 及林下作物生长和生理的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2010. SUN Shangwei. *Effects of Pruning on Growth and Physiological Characteristic of Poplar (*Populus × euramericana* cv. ‘74/76’) and Crops*[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [23] 程朝阳. 杉木人工林无节材培育技术研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 530–534. CHENG Chaoyang. Study on the cultivation technique for non-knot timber of *Cunninghamia lanceolata*[J]. *Forest Research*, 2005, 18(5): 530–534. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2005.05.005.
- [24] 刘球, 李志辉, 陈少雄. 不同修枝强度对托里桉幼林生长的影响[J]. 桉树科技, 2010, 27(1): 32–36. LIU Qiu, LI Zhihui, CHEN Shaoxiong. Growth response of young *Corymbia torelliana* plantation to different pruning intensities[J]. *Eucalypt Science & Technology*, 2010, 27(1): 32–36. DOI: 10.13987/j.cnki.askj.2010.01.007.
- [25] 唐继新, 麻静, 贾宏炎, 等. 南亚热带珍稀濒危树种格木生长规律研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 37–44. TANG Jixin, MA Jing, JIA Hongyan, et al. Study on the growth law of a rare and endangered tree species of *Erythrophleum fordii* in south subtropical area of China[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, 35(7): 37–44. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.07.008.