

网络出版时间:2020-11-27 14:22 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfau.2021.05.006
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20201127.1336.001.html

林窗面积对桉树林分内格木生长、形态及生物量分配的影响

张 培¹, 庞圣江¹, 贾宏炎^{1,2}, 赵志刚³, 湛红辉¹, 刘士玲¹, 陈文军⁴

(1 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600;

2 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西 凭祥 532600;

3 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520; 4 广西国有七坡林场, 广西 南宁 530225)

[摘 要] 【目的】研究林窗面积对桉树林分内格木生长、形态及生物量分配的影响, 探寻适用于桉树与珍贵树种格木混交的种植方式。【方法】在广西凭祥市热带林业实验中心林区, 以桉树人工林内林窗面积分别为 100, 150, 200, 300, 400 和 500 m² 6 种生境中的格木幼树为研究对象, 采用随机抽样法, 对格木的生长状况、叶片形态、干形和一级枝条特征进行调查分析, 并测算取样植株主干、根系、枝条和叶片的生物量。【结果】(1) 随着林窗面积增大, 格木的胸径、树高、树冠长度、平均冠幅和树冠比率均呈先增加后减小的趋势, 其在 200 和 300 m² 林窗中生长表现最佳; 叶片长度、叶片宽度、平均单叶面积和叶片长宽比均呈减小趋势, 但叶片长宽比在各种林窗间无显著差异; 比叶面积和叶面积指数则随林窗面积增加而增大。(2) 在干形指标方面, 200 和 300 m² 林窗明显提高了格木树干的通直度、圆满度并降低了尖削度。(3) 格木的一级分枝基径、枝条长度和枝条数量以及枝间距均随林窗面积增大而增加, 一级分枝角度的变化与之相反; 总体分枝率、逐步分枝率和枝径比均呈现先增大后减小的趋势。(4) 格木主干、枝条和叶片生物量均表现为 200 和 300 m² 林窗中最大, 根系生物量以 500 m² 林窗中最大; 6 种林窗生境中, 格木主干生物量占全株生物量的比例为 42.01%~50.13%, 根系占比为 22.32%~25.89%, 枝条占比为 15.18%~18.04%, 叶片占比为 12.18%~15.33%。【结论】林窗面积对桉树林内格木的生长、叶片和树干形态及生物量分配有明显影响。在桉树与格木混交经营过程中, 适宜面积的林窗更有利于格木生长发育及生物量积累, 建议将林窗面积控制在 200~300 m², 以达到促进格木生长和培育高品质木材的目的。

[关键词] 林窗面积; 桉树人工林; 格木干形; 叶片形态

[中图分类号] S718.5

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2021)05-0040-07

Effects of gap size on growth, morphology and biomass distribution of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

ZHANG Pei¹, PANG Shengjiang¹, JIA Hongyan^{1,2}, ZHAO Zhigang³,
CHEN Honghui¹, LIU Shiling¹, CHEN Wenjun⁴

(1 Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi 532600, China;

2 Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi 532600, China;

3 Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China;

4 Qipo Forestry Farm of Guangxi, Nanning, Guangxi 530225, China)

Abstract: 【Objective】This paper studied the effects of gap size on growth, morphology and biomass distribution of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation to explore suitable planting methods for

[收稿日期] 2020-04-16

[基金项目] 广西创新驱动发展专项(桂科 AA17204087-6); 国家自然科学基金项目(31400534)

[作者简介] 张 培(1984—), 女, 河南临颍人, 工程师, 主要从事林木良种选育与培育研究。E-mail: zhangpei08@126.com

[通信作者] 贾宏炎(1968—), 男, 湖南醴陵人, 高级工程师, 主要从事森林培育与生态研究。E-mail: rlxjhy@163.com

Eucalyptus and precious tree species-*E. fordii*.【Method】*E. fordii* saplings of six forest gaps (100,150, 200,300,400 and 500 m²) in *Eucalyptus* plantation on experimental center of tropical forestry of Pingxiang,Guangxi were studied. Then random sampling method was performed to survey growth,leaf, trunk shape and first-order branches morphological characteristics before plant main trunk,root,branch and leaf biomass were calculated.【Result】(1) With the increase of gap area,the diameter at breast height,tree height,crown length,crown diameter and crown ratio of *E. fordii* saplings increased first and then decreased with optimal values in types 200 and 300 m². The leaf length,width,single leaf area and leaf length width ratio decreased,and leaf length width ratio showed insignificant differences. The specific leaf area and leaf area index increased with increasing gap area.(2) In terms of trunk shape index,the forest gap types of 200 and 300 m² significantly improved stem straightness and stem fullness,while reduced taperingness.(3) The base diameter,length,number and spacing of first-order branches of *E. fordii* saplings increased with increasing gap area,while branching angles decreased. The overall bifurcation ratio,stepwise bifurcation ratio and branch diameter ratio increased first and then decreased.(4) The biomasses of main trunk, branch and leaf of *E. fordii* were the largest in forest gaps 200 and 300 m²,and maximum of root was in 500 m². The ratios of main trunk,root,branch and leaf to total biomass were 42.01%—50.13%,22.32%—25.89%,15.18%—18.04%,and 12.18%—15.33%,respectively.【Conclusion】Gap size had significant impacts on growth,leaf morphology,stem form and biomass distribution of *E. fordii* in *Eucalyptus* plantation. In mixed *Eucalyptus* and *E. fordii*,appropriate forest gap will be beneficial to growth and biomass accumulation of *E. fordii*. The suggested sizes of forest gap were 200—300 m².

Key words: gap size;*Eucalyptus* artificial plantation;*Erythrophleum fordii* stem form;leaf morphology

林窗指森林中无树冠遮荫的部分,是植物生长发育和生存的重要场所^[1]。林窗的形成,提高了林分内环境的异质性,造成幼树在生长、形态及生物量分配方面产生一定差异^[2-4]。近年来,为实现人工林可持续发展和环境保护的双赢目标,我国积极推崇近自然的林业经营理念,森林更新方式逐渐由皆伐迹地人工更新转变成林窗内或疏林下栽植幼苗幼树^[5]。林窗和林下光环境对人工更新幼树生长发育具有决定性影响^[6],制约着森林人工促进自然更新的实施成效,是亟待解决的森林培育基础理论问题。

森林经营过程中,采取不同强度的抚育间伐,实质就是创造不同大小的林窗,为保留的林木创造良好的环境条件,促进其生长发育^[7]。林窗改变了森林原有的环境条件和生态因子,如光照、温度、水分和植被状况等^[8-10]。与之相适应,林窗内的植物,包括目的树种的幼苗幼树为适应小生境的变化,通过趋光效应,利用林地空间生长发育并形成通直圆满的主干和树冠^[11]。Grogan 等^[12]和 Holladay 等^[13]有关林窗下人工更新幼苗生长适应性的研究表明,林窗面积对幼苗生长的影响存在一定阈值,中等大小林窗下幼苗更新状况最好,林窗过大会抑制苗木更新。不同大小林窗内光环境的差异也影响幼苗树

冠的发育,Takahashi 等^[14]研究发现,与林冠相比,林窗能促进幼苗侧枝和叶片的生长,可提高分枝率。Kato 等^[15]研究认为,随着林窗面积增加,幼树单株生物量及叶、枝、干、根各部分生物量也呈上升趋势,但林窗过大会抑制生物量积累。探究最有利于目的树种生长发育的林窗面积大小,对于混交造林与间伐技术措施的制定、促进森林结构优化具有重要的参考意义。

格木(*Erythrophleum fordii*)为豆科乔木树种,主要分布于中国、老挝和越南等亚洲东南部地区,是重要的珍贵用材树种,具有良好的生态功能和经济价值,但因砍伐过度,其资源总量日趋减少。为此,有关学者开展了格木天然种群表型分析^[16]、苗木营养诊断^[17]、造林技术^[18]和蛀害害虫^[19]方面的研究,但有关林窗内栽植格木进行人工更新的试验尚未见报道。研究不同面积林窗下格木的生长、形态和生物量分配特征,能够反映格木对林窗生境的适应能力及其更新潜力,同时对阐明格木生长发育过程及其间伐技术措施的优化非常重要,这也是提高我国森林可持续经营水平、生产更多优质林产品的目标所在。

本研究在马尾松(*Pinus massoniana*)采伐迹地

上,采用机械布设样地的方法,设置不同面积大小的林窗,在林窗外围种植桉树(*Eucalyptus*),林窗形成之后种植格木幼苗,调查林窗内栽植格木的生长、叶片、干形和一级枝条特征以及生物量分配等,分析格木生长发育及生物量分配与林窗生境的关系,探讨其对不同林窗生境的适应策略,以期为桉树与格木合理的混交经营提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究地位于广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站热带林业实验中心林区,地理位置为 $22^{\circ}04' - 22^{\circ}16'N$, $106^{\circ}41' - 106^{\circ}48'E$ 。该区属于南亚热带季风气候区,平均海拔 250 m 左右,季节分明,雨季集中于 4—10 月,年均降雨量 1 450 mm,年均气温 $21^{\circ}C$ 。在保存的原生植被林分中,格木、红椎(*Castanopsis hystrix*)和大叶栎(*Quercus griffithii*)是现存的主要树种,桉树是当地人工种植面积较大的树种;灌草植物主要以木荷(*Schima superba*)、粗叶榕(*Ficus hirta*)、蔓生莠竹(*Microstegium fasciculatum*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)和淡竹叶(*Lophatherum gracile*)为主;土壤为酸性红壤土。

2012 年 3 月,在研究区选择地形地貌、海拔、母岩、土壤类型、坡度、坡位等相同或相近的马尾松采伐迹地为研究样地,采用机械布设样地的方法,人工设置 6 种不同面积的林窗,每种面积的林窗设置 4 个重复。各种林窗的面积分别为 100,150,200,300,400 和 500 m^2 ,每个林窗的形状近似正方形,各林窗边界间距不小于 10 m。按照 2 m $\times$ 2 m 的造林密度在林窗外围种植桉树,林窗形成之后,在林窗内人工栽植 1 年生格木幼苗。按照每种林窗面积从小到大,依次分别栽植 9,16,25,36,49 和 64 株格木幼树。

2019 年 3 月,调查桉树的生长状况,平均胸径(15.65 ± 1.18) cm,平均树高(15.88 ± 1.25) m,郁闭度为 0.85。

1.2 研究方法

2019 年 4 月,在 6 种不同面积的林窗内,分别随机选取 24 株格木幼树作为研究对象,测定其生长和形态指标。同时,在每种林窗内,根据格木胸径和树高分别选择 3 株标准木,测定其植株生物量。

1.2.1 生长指标测定 测定格木幼树的胸径、树高、枝下高、树冠长度和平均冠幅,计算树冠比率(树冠长度/树高)。同时,调查并计算其树干通直度、圆

满度(胸径/地径)、杈干率(2 个或 2 个以上的主干发生率)、径高比(胸径/树高)和尖削度(地径/树高)。其中,为了分析方便,对树干通直度进行等级数量化处理,依据其弯曲程度依次将严重弯曲、弯曲、一般弯曲、比较通直和通直 5 个等级分别赋值 1~5,数值越高越通直^[20]。

1.2.2 形态指标测定 每种林窗选择 3 株格木标准木,在其树冠中部东、南、西、北 4 个方向,摘取生长正常且无损伤的叶片 50 枚装入自封保鲜袋带回实验室。采用紫光股份有限公司(UNIS)生产的 Uniscan M2 扫描仪获取叶片的数值图像,利用 Adobe Photoshop 软件测量叶片长度、宽度和单叶面积,然后将叶片于 $80^{\circ}C$ 烘箱中烘干至恒质量并称量,按下式计算比叶面积(SLA)和叶面积指数(LAI):

$$SLA = A_L \times N / M;$$

$$LAI = A_L \times N / \pi R^2。$$

式中: A_L 为平均单叶面积, N 为叶片数量, M 为叶片质量, R 为幼树冠幅的半径。

对调查幼树一级分枝进行编号,测量格木一级分枝与主干的夹角(分枝角度)及一级分枝的长度和基径,统计一级至三级分枝的总数量,测量枝间距(一级分枝在主干的垂直距离),计算枝径比(二级分枝与一级分枝直径的比值)及总体分枝率和逐步分枝率,其中总体分枝率(R_b)和逐步分枝率($R_{i:(i+1)}$)计算公式^[21]如下:

$$R_b = (N_t - N_s) / (N_t - N_l);$$

$$R_{i:(i+1)} = N_i / N_{(i+1)}。$$

式中: N_t 为所有分枝总数, N_s 为枝条分级中最高一级枝条总数, N_l 为一级分枝总数, N_i 、 N_{i+1} 分别为第 i 级和 第 $(i+1)$ 级枝条总数。

1.2.3 生物量测定 每种林窗分别选择 3 株格木标准木,采取全株收获法,用数字显示电子秤分别称量其叶片、枝条、主干和根系鲜质量;分别取各器官鲜样 0.5 kg,带回实验室于 $80^{\circ}C$ 烘箱中烘干至恒质量,分别测定各器官样品的烘干质量,计算各器官相对含水率,利用相对含水率计算各器官生物量及全株生物量。

1.3 数据处理

根据野外调查和实验室测定数据,合并相同面积林窗样地的调查数据取平均值。采用 Excel 2007 软件对数据进行整理,用 SPSS 20.0 软件进行统计分析和正态检验,用单因素方差分析(one-way ANOVA)对各项指标进行分析,最小显著性差异法

进行多重比较($\alpha=0.05$),用 Origin 7.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 林窗面积对格木生长的影响

从表 1 可以看出,不同面积林窗对格木生长的影响较大。随着林窗面积增大,格木的胸径、树高、

树冠长度、平均冠幅和树冠比率均呈先增加后减小的趋势,其在面积为 200 和 300 m² 林窗中生长表现最优,在面积为 100 m² 的林窗中表现较差。随着林窗面积增大,枝下高逐渐降低,林窗面积增加到 400 m² 以上时显著降低。说明不同面积林窗生境相比,200 和 300 m² 的林窗更有利于格木生长。

表 1 林窗面积对桉树林内格木生长的影响
Table 1 Effects of gap size on growth of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

林窗面积/m ² Area of gap	胸径/cm Diameter	树高/m Tree height	枝下高/cm Height under branch	树冠长度/m Crown length	平均冠幅/m Mean crown	树冠比率 Crown ratio
100	8.13±0.63 a	8.05±0.47 a	4.32±0.20 a	3.85±0.38 a	3.39±0.15 a	0.43±0.03 a
150	8.68±0.42 a	8.13±0.32 a	4.15±0.29 a	4.03±0.29 a	3.74±0.26 a	0.46±0.04 ab
200	9.80±0.52 bc	9.33±0.38 b	4.08±0.17 a	4.80±0.36 b	4.89±0.19 b	0.50±0.03 b
300	10.51±0.43 c	9.53±0.44 b	4.02±0.34 ab	5.02±0.21 b	4.77±0.34 b	0.52±0.02 b
400	9.33±0.62 ab	8.67±0.56 ab	3.47±0.25 b	4.78±0.26 b	3.78±0.33 a	0.49±0.04 ab
500	9.07±0.41 a	8.24±0.63 ab	3.28±0.32 b	4.07±0.33 a	3.44±0.25 a	0.47±0.02 ab

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。
Note:Different lowercase letters mean significant difference at $P<0.05$ levels among treatments,the same below.

2.2 林窗面积对格木干形的影响

由表 2 可知,不同面积林窗对格木树干通直度、树干圆满度、杈干率和尖削度 4 个干形性状的影响较大,对径高比影响不明显。随着林窗面积的增大,树干通直度和圆满度呈现先增加后减小的趋势,林窗面积为 200 和 300 m² 时最高。格木杈干率随着

林窗面积增大而升高,当林窗面积增加到 400 m² 以上时显著($P<0.05$)增高。100 m² 林窗树干尖削度最大,500 m² 林窗次之,且显著($P<0.05$)高于 200 和 300 m² 林窗。可见,在干形指标方面,200 和 300 m² 的林窗可明显提高树干通直度、圆满度并降低尖削度,有利于格木优良干形的培育。

表 2 林窗面积对桉树林内格木干形的影响
Table 2 Effects of gap size on form performance of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

林窗面积/m ² Area of gap	树干通直度 Stem straightness	树干圆满度 Stem fullness	杈干率/% Forking rate	径高比/(cm·m ⁻¹) Diameter height ratio	尖削度/(cm·m ⁻¹) Taperingness
100	4.25±0.58 a	0.43±0.06 b	28.93±10.15 a	1.01±0.05 a	2.18±0.12 a
150	4.39±0.44 a	0.46±0.03 b	32.42±9.26 a	1.08±0.08 a	2.02±0.16 ab
200	4.63±0.37 a	0.52±0.02 a	34.47±7.54 a	1.00±0.07 a	1.86±0.08 b
300	4.48±0.29 ab	0.57±0.05 a	38.25±6.64 a	1.10±0.08 a	1.81±0.11 b
400	3.76±0.23 b	0.41±0.07 bc	56.82±6.95 b	1.09±0.12 a	2.07±0.12 ab
500	3.68±0.26 b	0.38±0.04 c	60.19±8.11 b	1.09±0.13 a	2.13±0.09 a

2.3 林窗面积对格木叶片形态的影响

桉树林内不同林窗面积下格木叶片长度、宽度

及长宽比、平均单叶面积、比叶面积和叶面积指数的测定结果见表 3。

表 3 林窗面积对桉树林内格木叶片形态的影响
Table 3 Effects of gap size on leaf characteristics of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

林窗面积/m ² Area of gap	长度/cm Length	宽度/cm Width	叶片长宽比 Length-width ratio	平均单叶面积/cm ² Average leaf area	比叶面积 Specific leaf area	叶面积指数 Leaf area index
100	8.85±0.59 a	4.18±0.25 a	2.12±0.20 a	36.99±6.83 a	118.07±12.62 a	1.66±0.12 a
150	8.46±0.44 a	4.06±0.13 a	2.08±0.18 a	34.35±5.09 a	125.24±13.60 a	1.82±0.11 ab
200	7.32±0.31 b	3.87±0.22 ab	1.89±0.16 a	28.33±4.54 ab	133.18±14.82 ab	2.16±0.18 b
300	6.98±0.69 b	3.81±0.21 ab	1.83±0.19 a	26.59±4.52 ab	146.32±18.79 ab	2.24±0.21 b
400	6.75±0.67 b	3.74±0.14 b	1.80±0.22 a	25.25±3.72 ab	152.26±15.72 b	2.28±0.15 b
500	6.62±0.54 b	3.68±0.18 b	1.79±0.23 a	24.43±3.22 b	163.71±16.76 b	2.32±0.19 b

表 3 显示,随着林窗面积的增大,格木的叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比和平均单叶面积均呈减小趋势,其中叶片长宽比无显著($P>0.05$)变化。比

叶面积和叶面积指数均随着林窗面积的增加而增大,林窗面积为 100 和 150 m² 时格木比叶面积和叶面积指数相对较小,该面积林窗内格木可能以叶面

扩展、不重叠形式来增加光合面积,从而增大对光照的截获能力。而 100 m² 林窗格木叶面积指数显著 ($P<0.05$) 低于 200 m² 以上的 4 种林窗,其他林窗间差异不显著 ($P>0.05$),说明林窗面积增大到一定程度时,格木通过增加叶片数量来提高叶面积指数,进而增加光合作用面积,高效利用光资源。可见,林窗面积显著影响格木叶片形态,200 m² 以上的林窗即可达到较好的培育效果。

表 4 林窗面积对桉树林内格木一级分枝特征的影响

Table 4 Effects of gap size on first-order branch characteristics of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

林窗面积/m ² Area of gap	枝条基径/mm Branch diameter	枝条长度/cm Branch length	分枝角度/(°) Branch angle	枝条数量 Branch density
100	15.74±2.08 a	98.25±5.83 a	61.52±3.35 a	12.50±1.26 a
150	16.18±1.84 a	102.90±6.89 a	59.30±3.81 a	12.75±1.51 ab
200	20.76±1.56 ab	118.23±4.22 b	51.26±3.65 b	14.67±1.10 b
300	21.56±1.43 b	120.84±6.45 b	50.04±4.21 b	15.00±1.76 b
400	22.60±1.73 b	122.81±7.88 b	49.85±5.29 b	15.33±1.08 b
500	23.24±2.04 b	131.74±4.94 c	48.33±3.16 b	15.83±1.90 b

林窗面积/m ² Area of gap	总体分枝率 Overall bifurcation ratio	逐步分枝率 Stepwise bifurcation ratio	枝间距/cm Interval between diameter	枝径比 Branch diameter ratio
100	2.68±0.14 a	7.63±0.48 a	9.84±0.50 a	0.22±0.05 a
150	2.79±0.17 a	8.18±0.62 a	10.08±0.57 a	0.31±0.02 a
200	3.57±0.28 b	9.84±0.37 b	12.94±0.40 b	0.44±0.04 b
300	3.65±0.16 b	11.14±0.78 b	13.23±0.29 b	0.50±0.05 b
400	3.12±0.37 ab	9.23±0.65 ab	14.20±0.43 b	0.36±0.03 ab
500	3.06±0.25 ab	8.97±0.53 ab	14.68±0.74 b	0.32±0.04 a

注:“逐步分枝率”仅指一级枝条到二级枝条的逐步分枝率。
Note:“Stepwise bifurcation ratio” only refers to gradual branching rate from primary branches to secondary branches.

由表 4 可知,不同面积林窗间格木的总体分枝率、逐步分枝率、枝间距和枝径比差异性也较大。其中,总体分枝率、逐步分枝率和枝径比均呈现先增大后减小的趋势,200 和 300 m² 林窗与 100 和 150 m² 林窗有显著差异 ($P<0.05$),说明 200 和 300 m² 林窗下格木分枝更多,生命力更加旺盛。枝间距随林窗面积增加而逐渐增大,100 和 150 m² 林窗与其他

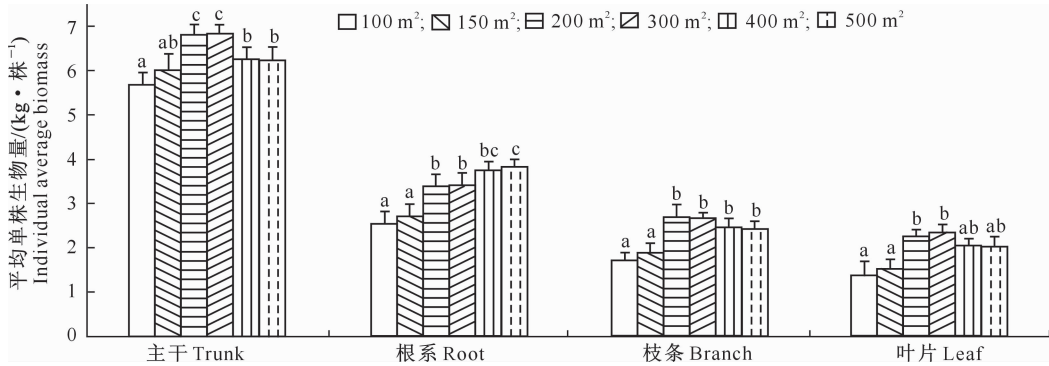
2.4 林窗面积对格木一级分枝特征的影响

表 4 显示,不同面积林窗间格木一级分枝基径、枝条长度、分枝角度、枝条数量差异较大。其中,格木一级分枝的基径、枝条长度和枝条数量均随林窗面积增大而增加,而一级分枝角度的变化趋势与之相反。说明林窗面积越小,光照相对减弱,一级枝条角度逐渐趋向平展,避免自我遮荫,更有利于叶片利用林内的散射光。

4 种林窗有显著差异 ($P<0.05$)。可见,在不同面积林窗生境下,格木通过分枝构型的可塑性调整,更有利于获取资源,以适应环境异质性变化。

2.5 林窗面积对格木生物量分配的影响

林窗大小对桉树林内格木各器官生物量的影响见图 1。



同一器官柱上标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$),下同

Different lowercase letter on the same organ column chart showed significant difference ($P<0.05$),the same as below

图 1 林窗大小对桉树林内格木各器官生物量的影响

Fig. 1 Effects of gap size on different organs biomasses of *Erythrophleum fordii* in *Eucalyptus* plantation

由图 1 可知,随着林窗面积增大,格木主干、枝条和叶片生物量均呈先增大后减小的趋势,其主干、枝条和叶片生物量均以 200 和 300 m² 林窗最大,400 和 500 m² 林窗次之,100 和 150 m² 林窗最小;根系生物量则随林窗面积增加呈增大趋势,以 500 m² 林窗显著($P<0.05$)高于 100~300 m² 林窗。

如图 2 所示,在 6 种林窗生境中,格木主干生物

量占总生物量的比例为 42.01%~50.13%,根系生物量占 22.32%~25.89%,枝条生物量占 15.18%~18.04%,叶片生物量占 12.18%~15.33%。说明格木生物量主要集中于主干,根系和枝条次之,叶片生物量最小。不同面积林窗生境间,格木的叶片、枝条、树干和根生物量分配均存在差异,说明林窗面积对格木生物量有显著影响。

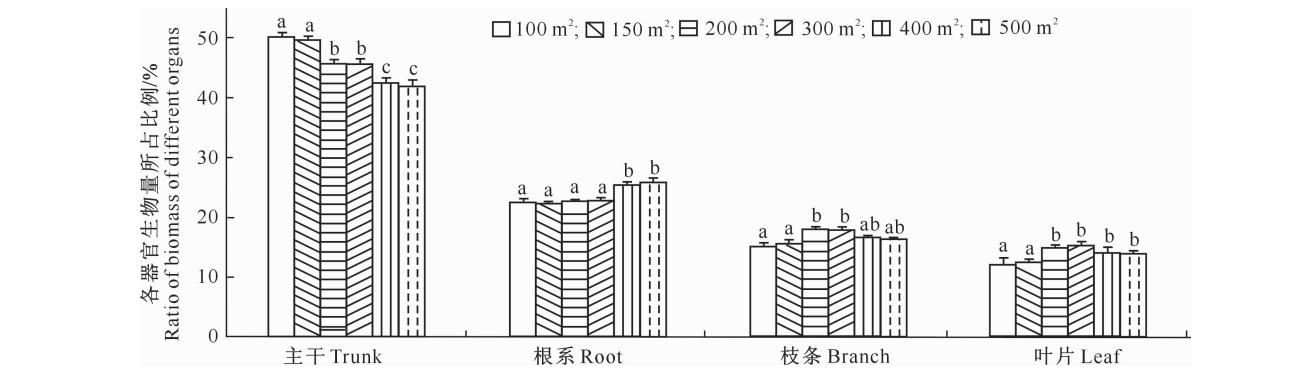


图 2 不同面积林窗生境下格木各器官生物量所占比例
Fig. 2 Ratio of biomasses of different organs *Erythrophleum fordii* in different gap habitats

3 讨 论

本研究表明,林窗面积对格木生长(除径高比)、叶片形态(除叶长宽比)以及生物量分配有明显影响。有学者研究发现,格木幼苗期需要较低的光饱和点和光补偿点,在 60%光照条件下,其苗高、地径增幅以及各器官的生物量积累均最大^[22-23],说明格木对不同光照条件的响应存在一定差异。因此,采取生长形态指标评价林窗面积对格木生长的影响具有一定的可行性。

本研究显示,在 200 和 300 m² 林窗中,格木胸径、树高、树冠长度、平均冠幅和树冠比率的生长表现最优,且均高于其他 4 个处理,这与格木苗期合理遮光^[24]以及适宜面积林窗可促进格木幼树生长^[25]的研究结果相似,说明格木幼龄期对光照需求存在一定阈值,适宜的林窗面积更有利于其生长。林窗面积还明显影响桉树林内格木的干形性状,这与前人的研究结论^[26]存在一定相似之处。200 和 300 m² 林窗在格木树干通直度、圆满度和降低树干尖削度方面表现最优,这可能与其在满足格木生长所需光照,协调胸径、树高等生长发育方面有关;但小林窗(100 m²)和大林窗(500 m²)的光照强度打破了这种协调关系,不利于格木优良干形的培育。

本研究中,随着林窗面积逐渐增大,格木叶片长度、宽度及叶片长宽比、平均单叶面积均呈减小趋

势,而比叶面积和叶面积指数逐渐增大,说明林窗面积明显影响格木叶片形态。然而,在不同面积林窗生境下,格木是否存在光合生理特性方面的差异,还有待进一步研究。

在不同面积林窗生境下,格木一级枝条发育特征差异较大。随着林窗面积的增大,一级分枝的基径、枝条长度、枝条数量以及枝间距均有所增加,一级分枝角度的变化与之相反,总体分枝率、逐步分枝率和枝径比均表现为先增大后减小的趋势,格木的总体构型在 200 和 300 m² 林窗中表现最佳。

随着林窗面积的增大,格木主干、枝条和叶片生物量均呈先增大后减小的趋势,在 200 和 300 m² 林窗中最大,根系生物量则随林窗面积增加而增大,这与庞圣江等^[27]在有关林窗大小对土沉香(*Aquilaria sinensis*)人工更新幼树生长发育的影响试验中,小林窗生境不利于幼树生长及其生物量积累的研究结论相似。说明格木对林窗大小的响应有一定相似性,适宜的林窗面积能够促进其各地上器官生长及生物量积累,而大林窗仅有利于根系生物量积累。

桉树为速生树种,初期即占据主林冠层,并形成荫蔽环境,可加速林窗内格木的生长。随着桉树的生长,林窗面积发生变化,冠层营养空间竞争加剧,格木处于林冠下方,其生长会受到一定的抑制。因此,基于格木与桉树混交的种间关系及其相互作用的平衡机制,适时开展抚育间伐或修枝管理,可使林

窗内格木幼树迅速调整至最佳生长状态,形成对林分生境的适应。

4 结 论

林窗面积对桉树林内格木的生长、形态及生物量分配有明显影响。桉树与格木混交经营过程中,适宜面积的林窗更有利于格木生长发育及其生物量积累,建议将林窗面积控制在 200~300 m²,以达到促进格木生长和培育高品质木材的目的。

[参考文献]

- [1] Watt A S. Pattern and process in the plant community [J]. Journal of Ecology, 1947, 35: 1-22.
- [2] Fownes J H, Harrington R A. Seedling response to gaps: separating effects of light and nitrogen [J]. Forest Ecology and Management, 2004, 203(1/2/3): 297-310.
- [3] 徐程扬. 不同光环境下紫椴幼树树冠结构的可塑性响应 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 339-343.
Xu C Y. Response of structural plasticity of *Tilia amurensis* sapling crowns to different light conditions [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(3): 339-343.
- [4] 余碧云, 张文辉, 胡晓静, 等. 栓皮栎地上部分构型及生物量分配 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2265-2272.
Yu B Y, Zhang W H, Hu X J, et al. Aboveground architecture and biomass distribution of *Quercus variabilis* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8): 2265-2272.
- [5] 陆元昌, 甘 敬. 21 世纪的森林经理发展动态 [J]. 世界林业研究, 2002, 15(1): 1-11.
Lu Y C, Gan J. Development of forest management in the 21st century [J]. World Forestry Research, 2002, 15(1): 1-11.
- [6] Zhu J J, Matsuzaki T, Lee F Q, et al. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 182(1): 339-354.
- [7] Niinemets U, Cescatti A, Lukjanova A, et al. Modification of light-acclimation of *Pinus sylvestris* shoot architecture by site fertility [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 111(2): 121-140.
- [8] Gray A N, Spies T A. Gaps size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment [J]. Journal of Ecology, 1996, 84(5): 635-645.
- [9] Ritter E, Dalsgaard L, Einhorn K S. Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi natural beech-dominated forest in Denmark [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 206: 15-33.
- [10] 刘兵兵, 张 波, 赵鹏武, 等. 林窗对大兴安岭南段杨桦次生林林下物种多样性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(4): 65-74.
Liu B B, Zhang B, Zhao P W, et al. Effects of forest gap on understory species diversity poplar and birch secondary forest in

- southern section of Daxing'an mountains [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020, 48(4): 65-74.
- [11] West G B, Brown J H, Enquist B J. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems [J]. Nature, 1999, 400(6745): 664-667.
- [12] Grogan J, Landis R M, Ashton M S, et al. Growth response by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) advance seedling regeneration to overhead canopy release in southeast Pará, Brazil [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 204(2/3): 399-412.
- [13] Holladay C A, Kwit C, Collins B. Woody regeneration in and around aging southern bottomland hardwood forest gaps: effects of herbivory and gap size [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 223(1/2/3): 218-225.
- [14] Takahashi K, Mikami Y. Crown architecture and leaf traits of understory saplings of *Macaranga semiglobosa* in a tropical montane forest in Indonesia [J]. Plant Species Biology, 2008, 23(3): 202-211.
- [15] Kato K, Yamamoto S I. Branch growth and allocation patterns of saplings of two *Abies* species under different canopy conditions in a subalpine old-growth forest in central Japan [J]. Ecoscience, 2002, 9(11): 98-105.
- [16] 李洪果, 陈达镇, 许靖诗, 等. 濒危植物格木天然种群的表型多样性及变异 [J]. 林业科学, 2019, 55(4): 72-86.
Li H G, Chen D Z, Xu J S, et al. Phenotypic diversity and variation in natural populations of *Erythrophleum fordii*, an endangered plant species [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(4): 72-86.
- [17] Zhao Z G, Lin K Q, Guo J J, et al. Diagnosis of macronutrient deficiency in *Erythrophleum fordii*, a nitrogen-fixing rosewood species [J]. Annals of Forest Research, 2015, 58(1): 15-26.
- [18] 杨保国, 刘士玲, 郝 建, 等. 珍贵树种格木研究进展 [J]. 广西林业科学, 2017, 46(2): 165-170.
Yang B G, Liu S L, Hao J, et al. Research advances on the rare tree of *Erythrophleum fordii* [J]. Guangxi Forestry Science, 2017, 46(2): 165-170.
- [19] 赵志刚, 王 敏, 曾 冀, 等. 珍稀树种格木蛀梢害虫的种类鉴定与发生规律初报 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(4): 534-538.
Zhao Z G, Wang M, Zeng J, et al. Species identification and occurrence analysis for a shoot-borer of *Erythrophleum fordii* [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2013, 35(4): 534-538.
- [20] 欧建德, 吴志庄, 罗 宁. 林窗大小对杉木林内南方红豆杉生长与形质的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3098-3104.
Ou J D, Wu Z Z, Luo N. Effects of forest gap size on the growth and form quality of *Taxus wallichiana* var. *mairei* in *Cunninghamia lanceolata* forests [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(10): 3098-3104.

[28]

姜双林,王根旺,周天林. 子午岭林区步甲类群多样性及其与生境的关系 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005,33(10):37-41.
Jiang S L,Wang G W,Zhou T L. The diversity and relationship with habitat of Carabine groups in Ziwuling forest area [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2005,33(10):37- 41.

[29]

于晓东, 罗天宏, 杨建, 等. 卧龙自然保护区落叶松林不同恢复阶段地表甲虫的多样性 [J]. 动物学研究, 2006, 27(1):1-11.
Yu X D,Luo T H,Yang J,et al. Diversity of ground-dwelling beetles in larch plantation with different stages of reforestation in Wolong natural reserve [J]. Zoological Research, 2006,27(1):1-11.

[30]

Daniel T,Jennings D T,Mark W,et al. Ants (hymenoptera: formicidae) associated with strip-clear cut and dense spruce-fir forests of Maine [J]. The Canadian Entomologist, 1986, 118(1):43-45.

[31]

Romero A E,Jávila M. Landscape heterogeneity in relation to variations in epigaecic beetle diversity of a Mediterranean ecosystem;implications for conservation [J]. Biodiversity and Conservation,2000,9(7):985-1005.

[32]

Maeto K,Sato S,Miyata H. Species diversity of longicorn beetles in humid warm-temperate forests; the impact of forest management practices on old-growth forest species in South-western Japan [J]. Biodiversity and Conservation, 2002, 11 (11):1919-1937.

[21]

Steingraeber D A,Waller D M. Non-stationarity of tree branching patterns and bifurcation ratios [J]. Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 1986, 228 (1251): 187-194.

[22]

唐敬超,刘萍,史作民,等. 南亚热带五种树种幼苗光合特征 [J]. 生态学杂志, 2016,35(9):2341-2347.
Tang J C,Liu P,Shi Z M,et al. Photosynthetic performance of five tree species seedlings in subtropical China [J]. Chinese Journal of Ecology,2016,35(9):2341-2347.

[23]

易伟坚,张海东,叶绍明,等. 光强对格木幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 南方林业科学, 2018,46(1):29-32.
Yi W J,Zhang H D,Ye S M,et al. From the effects of light intensity on seedling growth and photosynthetic characteristics of *Erythrophleum fordii* [J]. South of Forestry Science, 2018,46(1):29-32.

[24]

黄玲璞. 光氮互作对格木幼苗生长、生理特性的影响研究 [D]. 南宁:广西大学,2018.
Huang L P. A research on interaction of light and nitrogen on

Erythrophleum fordii Oliv. seedlings [D]. Nanning:Guangxi University,2018.

[25]

符气浩. 防护林带下插种树种:格木 [J]. 热带农业科学, 1980 (3):47-48.
Fu Q H. Planting tree species under shelterbelt:*Erythrophleum fordii* [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1980 (3):47-48.

[26]

Madsen P,Larsen J B. Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content [J]. Forest Ecology and Management, 1997,97(2):103-113.

[27]

庞圣江,张培,杨保国,等. 林隙大小对土沉香人工更新幼树生长发育的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020,48(4):83-88.
Pang S J,Zhang P,Yang B G,et al. Effects of gap size on the growth of transplanted saplings of *Aquilaria sinensis* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020,48(4):83-88.