

贵州雷公山秃杉林不同林冠环境下 箭竹分株种群结构特征

杨 宁, 陈 璟, 杨满元, 郭 锐, 赵林峰, 林仲桂, 陈志阳

(湖南环境生物职业技术学院 园林学院, 湖南衡阳 421005)

摘 要:通过对贵州雷公山秃杉林的 4 种林冠环境, 即林下(FU)、中林窗(MG)、大林窗(LG)和林缘旷地(FEW)内的箭竹的分株种群结构(包括株高、基径、生物量、叶和分株数等)和年龄结构进行较系统对比研究。结果显示: (1) 从林下→中林窗→大林窗, 箭竹分株种群的株高(h)、基径(bd)与生物量显著增加。(2) 在 4 种林窗环境中, 箭竹各构件的生物量的百分比发生相应变化, 枝和叶片生物量的百分比沿林下→中林窗→大林窗→林缘旷地的顺序显著减小, 在林缘旷地, 地下茎、粗根($d > 0.5$ mm)和细根($d \leq 0.5$ mm)生物量的百分比显著高于其他 3 种林冠环境。(3) 箭竹分株单位叶面积叶重沿林下→中林窗→大林窗→林缘旷地的顺序显著增大, 单叶生物量与叶面积以中林窗最大, 林缘旷地次之, 二者与大林窗或林下差异显著; 大林窗的单株叶片数显著高于其余 3 种林冠环境。(4) 在 4 种林冠环境中, 箭竹分株种群死亡率以林下最低, 但各种群平均年龄间无显著差异。研究表明, 箭竹分株种群对林冠环境变化的响应主要体现在形态与生物量的分配上, 而非种群的年龄。

关键词: 箭竹; 分株种群; 种群结构; 秃杉; 雷公山自然保护区

中图分类号: Q948.15⁺7

文献标志码: A

Ramet Population Structures of *Sinarundinaria basihursuta* on Different Canopy Conditions of *Taiwania flousiana* Forest in Leigong Mountain of Guizhou Province

YANG Ning, CHEN Jing, YANG Manyuan, GUO Rui, ZHAO Linfeng, LIN Zhonggui, CHEN Zhiyang

(College of Landscape Architecture, Hunan Environmental-Biological Polytechnic College, Hengyang, Hunan 421005, China)

Abstract: To study the impacts of different forest canopy conditions of *Taiwania flousiana* forest on *Sinarundinaria basihursuta* population, and reveal whether they affect the ramet structures and to estimate the effect sizes, we systematically conducted comparative survey about ramet population structures (including height, basal diameter, biomass allocation, leaf area and number of ramets) and age structure of *S. basihursuta* in: forest understory (FU, $S = 50.7 \text{ m}^2$), moderate gap (MG, $S = 160.4 \text{ m}^2$), large gap (LG, $S = 406.7 \text{ m}^2$) and forest edge wildness (FEW, $S = 1\,086.3 \text{ m}^2$) of *T. flousiana* forest in Leigong Mountain Nature Reserve of Guizhou Province, Southwestern China. The main results showed that: (1) The height (h), basal diameter (bd) and biomass of *S. basihursuta* ramet population significantly increased in the sequence of FU → MG → LG. (2) The modular biomass percentage of *S. basihursuta* ramets varied with different canopy conditions. Branch and leaf biomass percentage decreased in the order of FU → MG → LG → FEW. The biomass percentage of rhizome and roots in the FEW were both significantly higher than those in the other three canopy environments. (3) The ramet specific leaf weight significantly increased in the sequence of FU → MG → LG → FEW. In the MG, the individual leaf biomass was the heaviest and the individual leaf area the

收稿日期: 2013-07-12; 修改稿收到日期: 2013-09-29

基金项目: 湖南省重点项目(62020608001); 湖南省科技厅项目(S2006N332); 湖南省教育厅科学研究项目(12C1057); 湖南省普通高校优秀青年骨干教师培养对象资助项目; 湖南环境生物职业技术学院南岳学者基金项目(湘环职院[2012]4号)

作者简介: 杨 宁(1974—), 男, 博士, 副教授, 主要从事植物生态学及恢复生态学的教学与研究。E-mail: yangning8787@sina.com

largest, followed by those in the FEW, both were respectively different from those in the FU or LG; Leaf number per ramet in the LG was the biggest and was significantly different from the other three canopy conditions; (4) The ramet population mortality was the lowest in the FU, while there was no significant difference in the average population age. All the results indicated that it was not ramet age, but the morphological changes and biomass distribution that exhibited the response of the ramet population of *S. basihursuta* to changed canopy conditions.

Key words: *Sinarundinaria basihursuta*; ramet population; population structure; *Taiwania flousiana*; Leigong Mountain Nature Reserve

秃杉(*Taiwania flousiana*)属杉科台湾杉属,是第三纪古热带植物区系的孑遗种,为世界稀有珍贵常绿树种,在1999年国务院批准的《国家重点保护野生植物》(第一批)中,被列为Ⅱ级保护濒危植物,主要分布于贵州省黔东南州境内雷公山国家级自然保护区(26°20′25″~26°25′00″ N, 108°12′00″~108°20′00″ E),秃杉林主要以斑块状星散分布在保护区东南面斜坡中部800~1300 m之间的沟谷两侧。在秃杉林的分布区域内,其林窗环境为一森林灌木层的优势种类——箭竹(*Sinarundinaria basihursuta*)提供了良好的生存条件,箭竹能迅速侵入林窗环境进行克隆生长,由于其地下根系盘根错节,地上箭竹成丛生长,从而影响到秃杉树种的更新与幼苗的生长,从某种意义上来说,箭竹的存在成为影响秃杉幼苗更新的关键因素^[1-3]。因此,箭竹在雷公山秃杉林林窗内的生长、生态适应,以及对林窗更新和林窗动态的影响已成为雷公山秃杉循环更新研究的一个重要问题。迄今有关亚高山小径竹类的研究仅限于对其种群年龄结构,种群生物量和种群繁殖特性等方面^[4-5]。但关于在不同的林冠条件下箭竹的分株种群结构、动态及其对环境的适应等方面的研究还亟待深入。本研究以贵州雷公山秃杉林的箭竹为研究对象,主要探讨:(1)在分株水平上,箭竹种群在不同林冠环境条件下是否存在分株种群特征(包括株高、基径、生物量、叶和分株数等特征)和年龄结构的差异;(2)若存在差异,这些差异与其生存的林冠环境条件有何关系。

1 研究区概况

本研究在雷公山自然保护区秃杉分布区域内进行,样地选择在(26°20′13″ N, 108°15′40″ E)附近的定位点进行,海拔1200 m,坡度35°,样地内为典型的以秃杉占优势的原始针叶林,箭竹为林下灌木层的优势种,在林下与林缘均有大量分布。该区域属亚热带湿润气候,特征为气候凉爽,气温年差较小,干湿季明显,相对湿度较大,年均温14.3℃,年降雨

量1400 mm以上,土壤为山地黄壤类,酸性,质地为壤土,土层深厚。

2 研究方法

2.1 样地设置

于2012年8~9月,经充分踏查,结合2011~2012年对同一样地内林窗面积分布的调查数据^[1-2],筛选4个在海拔、坡度、坡向等生态因子基本相似的林窗为试验样地(表1)。林窗大小按 H/D 值(H 为林窗边缘秃杉的平均高度, D 为林窗直径)划分^[6-7]。 $H/D=1:0.5$ 为林下; $H/D=1:1$ 为中林窗; $H/D=1:1.5$ 为大林窗; $H/D=1:2.0$ 为林缘旷地。用皮尺测量从每个林窗中心沿北、东北、东、东南、南、西南、西、西北等8个方向到林窗林冠边缘的距离,采用等角多边形公式计算林窗面积(S):

$$S=0.5 \sum_{i=1}^n l_{i+1} \cdot l_i \cdot \sin(2\pi/n)$$

式中,由于最后一点与第一点重合,故 $l_{n+1}=l_1$; n 为多边形的边数^[8]。

在各林窗内随机设置2个5 m×5 m的样方,统计箭竹的株数与丛数;同时随机选择50株箭竹的完整分株,记录其年龄、株高与基径。从标记的分株中随机选取30株,记录每株的叶片数,并从植株的不同部位随机取下40枚叶片,测量每枚叶片的面积与生物量。其余的20株分株,洗净,烘干,按叶、枝、茎秆、地下茎、粗根和细根等几部分称量^[10-11]。

2.2 数据处理分析

结合野外调查,将箭竹种群的高度(h)划分为 h_I ($h<1.5$ m)、 h_{II} ($1.5 \text{ m} \leq h<2.5$ m)、 h_{III} ($2.5 \text{ m} \leq h<3.5$ m)和 h_{IV} ($h \geq 3.5$ m)4个等级;基径(bd)划分为 bd_I ($bd<0.8$ cm)、 bd_{II} ($0.8 \text{ cm} \leq bd<1.2$ cm)、 bd_{III} ($1.2 \text{ cm} \leq bd<1.5$ cm)、 bd_{IV} ($1.5 \text{ cm} \leq bd<1.7$ cm)和 bd_V ($bd \geq 1.7$ cm)5个基径;年龄(a)划分为 a_I ($a<3$ a)、 a_{II} ($3 \leq a<6$ a)、 a_{III} ($6 \leq a<9$ a)和 a_{IV} ($a \geq 9$ a)4个龄级;根据箭竹根系直径(d)的大小,将箭竹根系划分为粗根($d>0.5$ mm)和细根(d

表 1 林窗样地基本特征

Table 1 Basic characteristics of gap site

项目 Item	林下 FU	中林窗 MG	大林窗 LG	林缘旷地 FEW
面积 Area/(m ²)	57.5	160.4	406.7	1 086.3
林冠开阔度 Canopy openness/%	8.7	19.8	32.5	56.1
坡度 Slope/°	43	40	42	45
坡向 Aspect	东南 Southeast	东南 Southeast	东南 Southeast	东南 Southeast
海拔 Altitude/m	1 200	1 190	1 180	1 220

注:林冠开阔度指从林冠下方看到开阔天空的比例^[9];FU, 林下;MG, 中林窗;LG, 大林窗;FEW, 林缘旷地。下同。

Note;Canopy openness was the percentage of open sky seen from beneath the forest canopy^[9];FU, Forest understory;MG, Moderate gap;LG, Large gap;FEW, Forest edge wildeness. The same as below.

≤0.5 mm)两级。

所有数据均采用 3 次重复的“平均值±标准差”表示;用 SPSS 13.0 软件进行统计分析;用单因素方差分析法(one-way ANOVA)分析箭竹分株种群特征(包括株高、基径、生物量、叶和分株数等)的差异,用最小显著差异法(LSD)作多重比较;采用 Chisquare test 比较分株种群间死亡率的差异,用 Mann-Whitney test 检验种群间平均年龄的差异性。

3 结果与分析

3.1 箭竹分株种群的高度结构

图 1 显示,在林下(FU),箭竹种群的分株数大小顺序为: $h_{II} > h_I > h_{III} > h_{IV}$ ($P < 0.05$),其中以高度级 h_{II} 和 h_I 的分株数居多,占总数的 84.83%;在中林窗(MG),箭竹种群分株数的大小顺序为: $h_{III} > h_{II} > h_{IV} > h_I$ ($P < 0.05$),其中高度级 h_{II} 和 h_{III} 的分株数占总分株数的 85.48%;在大林窗(LG),箭竹分株分株数大小顺序为: $h_{III} > h_{IV} > h_{II} > h_I$ ($P < 0.05$),其中以高度级 h_{III} 和 h_{IV} 的分株数为主,占 89.43%;在林缘旷地(FEW),箭竹种群分株数的大小顺序为: $h_{III} > h_{II} > h_I > h_{IV}$ ($P < 0.05$),其中高度级 h_{II} 和 h_{III} 分株数最多,达到84.81%。在由林下→林缘旷地→中林窗→大林窗深化过程中,高度级 h_I 和 h_{II} 的箭竹分株数逐渐减少,高度级 h_{III} 和 h_{IV} 的箭竹分株数逐渐增加(图 1)。不同林冠环境下箭竹分株种群的高度大小顺序为林下<林缘旷地<中林窗<大林窗($P < 0.05$)(表 2)。

3.2 箭竹分株种群的径级结构

箭竹种群的径级(bd)结构与高度结构相似,在林下中,箭竹分株种群的分株数大小顺序为: $bd_{II} > bd_{III} > bd_{IV} > bd_I > bd_V$ ($P < 0.05$),其中基径级 bd_{II} 和 bd_{III} 的箭竹分株数居多,占 81.41%;在中林窗,箭竹分株种群的分株数大小顺序为: $bd_{III} > bd_{IV} > bd_V > bd_{II} > bd_I$ ($P < 0.05$),其中基径级 bd_{III} 和

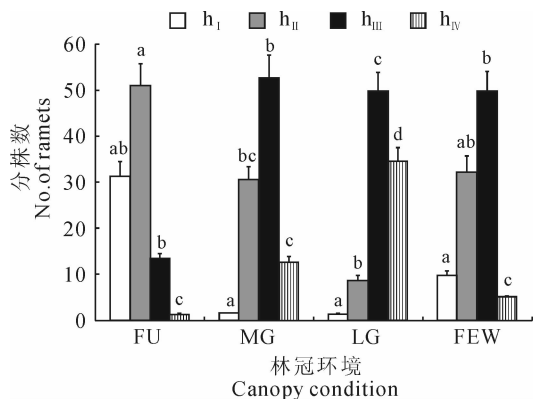


图 1 不同林冠环境下箭竹种群的高度结构

I. $h < 1.5$ m; II. $1.5 \text{ m} < h < 2.5$ m;
III. $2.5 \text{ m} < h < 3.5$ m; IV. $h \geq 3.5$ m

Fig. 1 The ramet-height distribution of *S. basihirsuta* populations on different canopy conditions

表 2 不同林冠环境下箭竹种群株高特征

Table 2 The culm height properties of *S. basihirsuta* populations on different canopy conditions

类型 Type	株高 Culm height/m
林下 FU	2.45±0.21d
中林窗 MG	3.28±0.30b
大林窗 LG	3.76±0.32a
林缘旷地 FEW	3.04±0.29c

注:不同小写字母表示不同林冠环境下差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note;Different normal letters indicate significant difference among different canopy conditions at 0.05 level. The same as below.

bd_{IV} 箭竹分株数占总分株数的 65.91%;在大林窗,箭竹分株种群的分株数大小顺序为: $bd_{IV} > bd_V > bd_{III} > bd_{II} > bd_I$ ($P < 0.05$),其中基径级 bd_{IV} 和 bd_V 的箭竹分株数占优势,占75.60%;在林缘旷地,箭竹分株种群的分株数大小顺序为: $bd_{III} > bd_{IV} > bd_V > bd_{II} > bd_I$ ($P < 0.05$),其中以基径级 bd_{III} 和 bd_{IV} 为主,占 64.89%。从林下→中林窗→林缘旷地→大林窗, bd_{II} 分株数逐渐减少, bd_{IV} 分株数和 bd_V

分株数逐渐增加(图 2)。不同林冠环境条件下箭竹基径的大小顺序为:林下<中林窗<林缘旷地<大林窗($P<0.05$)(表 3)。

3.3 箭竹种群分株的生物量分配

从表 4 可知,在林下、中林窗、大林窗与林缘旷地 4 种林冠环境下,不同林冠环境下生物量大小顺序为:林下<中林窗<林缘旷地<大林窗($P<0.05$);在 4 种不同林冠环境中,茎秆生物量均超 50%,其大小顺序为:林下<林缘旷地<中林窗<大林窗($P>0.05$);枝生物量百分比大小顺序为:林缘旷地<大林窗<中林窗<林下($P<0.05$);叶片生物量百分比沿林下→中林窗→大林窗→林缘旷地的顺序显著递减;地下茎、粗根和细根生物量百分比均以林缘旷地最高,显著高于其他林冠环境。

3.4 箭竹的叶片特征

表 5 表明,在 4 种林冠环境中,种群单位叶面积叶重的大小顺序为:林缘旷地>大林窗>中林窗>林下($P<0.05$);而种群单叶生物量的大小顺序为:中林窗>林缘旷地>大林窗>林下,其中中林窗和林缘旷地的单叶生物量与大林窗或林下的单叶生物量差异显著。单叶面积在中林窗中最大,林缘旷地次之,仅在大林窗与林下中单叶面积差异不显著,其余种群单叶面积差异显著;单株叶片数在大林窗中最大,且与林下、中林窗与林缘旷地 3 种林冠环境的分株叶片数有显著差异。

3.5 箭竹的年龄结构特征

表 6 显示,箭竹的年龄(a)结构特征为:在林下, a_I 、 a_{II} 和 a_{III} 龄级箭竹的分株数差异不大($P>0.05$),而在中林窗、大林窗和林缘旷地 3 个林冠环境中箭竹的分株数随龄级的增大而显著减小($P<0.05$);在林下、中林窗、大林窗和林缘旷地 4 种林窗环境中, a_I 和 a_{II} 龄级分株数之和分别占其总数的 57%、70%、62%与 66%(表 6)。标准化年龄级分株数后,在林下、中林窗、大林窗和林缘旷地中种群死

亡率分别为 39.3%、51.4%、52.1%和 51.0%,林下种群死亡率显著低于中林窗、大林窗和林缘旷地的种群死亡率(Chi-square test, $df=3$, $\chi^2=25.546$, $P<0.01$),而中林窗、大林窗和林缘旷地 3 种林窗环境间的种群死亡率无显著差异(Chi-square test, $df=2$, $\chi^2=4.469$, $P=0.127$)。通过对随机统计的植株进行加权平均,4 种林窗环境的箭竹的平均年龄的大小顺序为:林下(4.76 ± 0.54 a)>中林窗(4.20 ± 0.64 a)>大林窗(4.15 ± 0.44 a)>林缘旷地(4.14 ± 0.65 a),但差异不显著(Mann-Whitney test, $U=4\ 312.80, 4\ 316.65, 4\ 890.34, 4\ 932.76$,

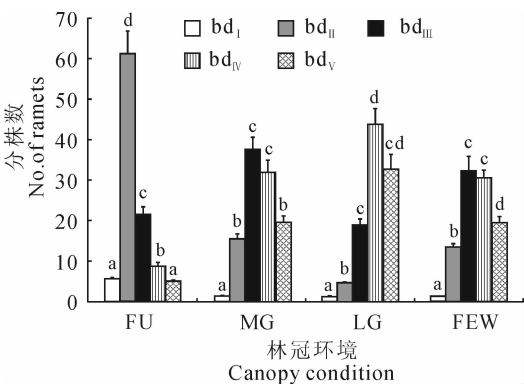


图 2 不同林冠环境下箭竹种群的分株径级结构
I. $bd<0.8$ cm; II. $0.8\text{ cm}<bd<1.2$ cm;
III. $1.2\text{ cm}<bd<1.5$ cm; IV. $1.5\text{ cm}<bd<1.7$ cm; V. $bd\geq1.7$ cm

Fig. 2 The ramet-basal distribution of *S. basihursuta* populations on different canopy conditions

表 3 不同林冠环境下箭竹种群基径特征

Table 3 The basal diameter properties of *S. basihursuta* populations on different canopy conditions

类型 Type	基径 Nasal diameter/cm
林下 FU	0.857±0.065c
中林窗 MG	1.201±0.131b
大林窗 LG	1.265±0.129a
林缘旷地 FEW	1.203±0.118b

表 4 不同林冠环境下箭竹种群的生物量特征

Table 4 The biomass allocation properties of *S. basihursuta* populations on different canopy conditions

项目 Item		林下 FU	中林窗 MG	大林窗 LG	林缘旷地 FEW
生物量 Biomass/g		45.098±3.983d	108.658±13.145c	172.138±15.329a	127.365±11.845b
生物量比例 Proportions of biomass/%	茎秆 Stem	50.40±4.43a	51.80±4.98a	52.70±5.00a	51.00±4.64a
	枝 Branch	24.03±2.01a	20.63±1.95b	19.11±1.79b	16.32±1.58c
	叶 Leaf	20.30±2.00a	19.60±1.87a	18.40±1.80ab	17.60±1.76b
	地下茎 Rhizome	2.98±0.36c	4.87±0.46b	5.67±0.53b	9.76±0.84a
	粗根 Thick root	1.54±0.02c	2.12±0.02b	3.09±0.03ab	4.23±0.03a
	细根 Thin root	0.75±0.05c	0.98±0.06bc	1.03±0.09b	1.09±0.08a

表 5 不同林冠环境下箭竹种群叶的参数

Table 5 Leaf parameters of *S. basihursuta* populations on different canopy conditions

参数 Parameter	林下 FU	中林窗 MG	大林窗 LG	林缘旷地 FEW
单位叶面积叶重 Specific leaf weight/(mg · cm ⁻²)	2.98±0.23d	3.15±0.33c	3.30±0.29b	3.43±0.28a
单叶生物量 Individual leaf biomass/mg	13.01±1.20b	18.43±1.54a	13.30±1.16b	17.89±1.57a
单叶面积 Individual leaf area/cm ²	4.54±0.32c	5.98±0.55a	4.32±0.42c	5.05±0.47b
单株叶数 Leaf number per ramet	453.67±40.54b	450.56±39.74b	853.09±65.09a	480.76±25.09b

表 6 不同林冠环境条件下 4 个龄级的箭竹分株数

Table 6 No. of ramets of *S. basihursuta* populations in four age class on different canopy conditions

龄级 Age class	林下 FU	中林窗 MG	大林窗 LG	林缘旷地 FEW
a _I (a<3 a)	27.13±2.32a	35.32±2.98a	43.47±3.96a	32.39±2.56a
a _{II} (3≤a<6 a)	29.54±2.46a	33.76±3.07a	21.25±1.98c	31.54±3.00a
a _{III} (6≤a<9 a)	32.76±3.00a	19.28±1.27ab	30.06±3.00b	22.67±2.43ab
a _{IV} (a≥9 a)	11.09±1.54b	10.64±1.54b	9.16±0.98d	10.78±1.21b

注:同列数据不同小写字母表示不同龄级分株数差异显著($P<0.05$)。

Note: Different normal letters within same column meant significant difference among age classes at 0.05 level.

$df=1, P=0.179$)。

4 讨 论

在贵州雷公山秃杉分布区,随着大林窗向中林窗和林下的深入,林冠开阔度的减小,光照水平减弱,箭竹的分散程度不断提高,单丛分株数、株高、基径与单株生物量呈递减趋势,这一研究结果与 Widmer^[12]对香竹族竹类(*Chusquea* spp.)的研究结果相似。但值得注意的是,本次调查发现,箭竹种群的株高和分株生物量均在大林窗中出现峰值,而并非在林下与林缘旷地最大,这说明不同形态的箭竹对变化的生态因子(包括光、温、水、土壤等)或者各生态因子的配合状况存在行为表现和生存策略的差异,同时也是决定他们能否良好生长的关键^[13-14];大林窗的光照条件优于中林窗与林下,土壤含水量较林缘旷地充沛,对于喜光、喜高湿的箭竹来说,在大林窗的环境中长势最好,这与植物在其适宜的环境条件下能充分利用光、温、水、土壤等生态因素,实现自身生存扩展最大化的特征基本一致^[15-16]。

在 4 种林窗环境中,在林缘旷地中,光照最强,土壤与大气湿度最低,箭竹为了逃避不利生境,获取更多的生存资源,通过增加其地下茎、粗根与细根的生物量的百分比来扩大其地下营养空间,说明箭竹为逃避不利生境,获取了较强的扩散潜力和吸水能力等有效生态对策,是其长期自然选择的结果^[13,17]。与刘庆等^[18]对斑苦竹的研究结果相似。

单位叶面积重按林缘旷地→大林窗→中林窗→林下的顺序递减,叶的生物量百分比呈现出林下>中林窗>大林窗>林缘旷地的特点,在林下,光照水

平低,植株通过增大生物量的百分比用于光合器官——叶的构建,同时通过减少单位叶面积叶重来捕获光能,以适应弱光环境^[19-20]。单叶面积以中林窗→林缘旷地→林下→大林窗的顺序递减,此研究结果与何维民^[19]与李军超^[21]的“植株随生境相对光强降低,植株的单叶面积增大,单株叶数减少”在研究结果相异,其原因可能与在中林窗的林冠环境中,光照条件较优越,植株利用资源的能力和生产能力得以提高有关;大林窗的单叶面积小于林缘旷地,可能与大林窗的单株叶片数较大有关。

林下箭竹分株种群死亡率显著较低,其他 3 种林冠环境较高且其间无显著差异。原因在于:林下箭竹的幼龄个体数量与单丛数量相对较少,单株生物量相对低,种内竞争弱,个体存活容易,种群死亡率低;而在其他林冠环境中,单丛数量与分株数增大,种内竞争激烈,导致种群死亡率增高,该研究结果与魏辅文等^[22]认为“成竹死亡率与上层乔木郁闭度呈负相关”,以及与 Uhl 等^[23]认为“林窗大小对林窗内植物的死亡率没有影响”的研究结果相异。在 4 种林窗环境之中,箭竹种群的平均年龄无差异,即平均存活时间基本相同,体现了箭竹通过其分株形态和生物量分配的变化来适应不同的林窗环境,也就是说箭竹对不同林冠环境的反应主要体现在分株形态的改变与生物量的分配。

野外调查发现,在箭竹生长较好的林窗内,由于其粗壮的地下根茎盘根错节,地上茎叶成丛生长,夺取了秃杉幼苗生长需要的光照条件与营养,与秃杉幼苗的生长与发育形成了尖锐的矛盾,因此秃杉幼苗的数量明显地低于其他林窗环境^[24-25];同时还发

现,在不同林窗环境下,箭竹的种群分布格局也有一定的变化,影响到秃杉幼苗生长与定居^[26-28]。有关不同林冠环境下箭竹的分布格局与秃杉林林窗更新的关系尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Structure and spatial distribution pattern of *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2011, **31**(10): 2 100—2 105(in Chinese).
- [2] CHEN ZH Y(陈志阳), YANG N(杨 宁), YAO X M(姚先铭), *et al.* Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(7): 2 158—2 165(in Chinese).
- [3] QI Z M(齐泽民), WANG K Y(王开运), YANG W Q(杨万勤), *et al.* Ecological studies on bamboo (*Fargesia*) communities[J]. *World Sci. Tech. Res. Dev.* (世界科技研究与发展), 2004, **26**(1): 73—78(in Chinese).
- [4] 秦自生, 艾伦·泰勒, 蔡绪慎. 卧龙大熊猫生态环境的竹子与森林动态演替[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993, 13: 37—39, 52—57, 170—210, 245—318.
- [5] LI ZH X(李振新), ZHENG H(郑 华), OUYANG ZH Y(欧阳志云), *et al.* The spatial distribution characteristics of throughfall under *Abies faxoniana* forest in the Wolong Nature Reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(5): 1 015—1 021(in Chinese).
- [6] LASZLO G, BARBARA M, ANDREA H, *et al.* Effects of gap size and associated changes in light and soil moisture on the understory vegetation of a Hungarian beech forest[J]. *Plant Ecology*, 2006, 183: 133—145.
- [7] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), LI J G(李建国). Study on dynamic of water content on the sloping-land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2009, **16**(6): 16—21(in Chinese).
- [8] LIU SH CH(刘少冲), DUAN W B(段文标), *et al.* Effects of forest gap on tree species regeneration and diversity of mixed broadleaved Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(6): 1 381—1 388(in Chinese).
- [9] XI W M, PEET R K, URBAN D L. The impacts of a large hurricane on understory sapling dynamics and diversity in north Carolina Piedmont forests, USA[J]. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 2012, 6: 51—59.
- [10] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), LI J G(李建国). On biomass properties of the main plant communities in sloping-land with purple soils in Hengyang basin[J]. *Journal of Hunan Agricultural University* (Nat. Sci. Edi.) (湖南农业大学学报·自然科学版), 2009, **35**(5): 466—469(in Chinese).
- [11] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Relationships between vegetation characteristics and soil properties at different restoration stages on slope land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, South-central China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(1): 90—96(in Chinese).
- [12] WIDMER Y. Pattern and performance understory bamboos (*Chusquea* spp.) under different canopy bamboos closures in old-growth oak forest in Costa Rica[J]. *Biotropica*, 1998, **30**(3): 400—415.
- [13] ZHONG ZH CH(钟章成). Reproductive strategies of plant populations[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 1995, **14**(1): 37—42(in Chinese).
- [14] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Niche dynamics of main plant communities in natural restoration succession process on sloping land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (水土保持通报), 2010, **30**(4): 87—93(in Chinese).
- [15] ZHANG W H(张文辉), WANG Y P(王延平), KANG Y X(康永祥), *et al.* Study on the relationship between *Larix chinensis* population structure and environment factors[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2004, **24**(1): 41—47(in Chinese).
- [16] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Spatial pattern of main populations of the natural recovery shrub stage community in sloping-land with purple soils in Hengyang[J]. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2009, **18**(3): 996—1 001(in Chinese).
- [17] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Analysis on soil physio-chemical characteristics in different restoration stages on sloping-land with purple soils in Hengyang[J]. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), 2012, **33**(6): 757—761(in Chinese).
- [18] LIU Q, LI Y X, ZHONG ZH CH. Effects of moisture availability on clonal growth in bamboo *Pleiblastus maculate*[J]. *Plant Ecology*, 2004, **173**(1): 107—113.
- [19] HE W M(何维民), ZHONG ZH CH(钟章成). Morphological and growth responses of the climbing plant, *Gynostemma pentaphyllum* seedlings to varying light intensity[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2000, **24**(3): 375—378(in Chinese).
- [20] ZHANG W Y(张炜银), WANG B S(王伯荪), LI M G(李鸣光), *et al.* The effects of light intensity on growth and morphology in *Mikania micmatha* seedlings[J]. *Sun Yatsen University Forum* (中山大学学报), 2002, **22**(1): 222—226(in Chinese).
- [21] LI J CH(李军超), SU SH M(苏陕民), LI W H(李文华). Effect of light intensity on the plant growth in *H. citrina*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 1995, **15**(1): 78—81(in Chinese).
- [22] WEI F W(魏辅文), FENG Z J(冯祚建), WANG Z W(王祖旺), *et al.* Association between environmental factors and growth of bamboo species *Bushania spanostachya*, the food of giant and red pandas[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1999, **19**(5): 710—714(in Chinese).
- [23] UHL C, CLARK K, DEZZEO N, *et al.* Vegetation dynamics in Amazonian treefalls gaps[J]. *Ecology*, 1988, **69**(3): 751—763.
- [24] LIU Q(刘 庆), WU Y(吴 彦), HE H(何 海). Ecological problems of subalpine coniferous forest in the southwest of China[J]. *World Sci. Tech. Res. Dev.* (世界科技研究展), 2001, **23**(2): 63—69(in Chinese).
- [25] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* The change of soil microbial biomass carbon and the relationship between it and soil physio-chemical factors in different restoration stages on sloping-land with purple soils in Hengyang[J]. *Ecology and Environmental Sciences* (生态环境学报), 2013, **22**(1): 25—30(in Chinese).
- [26] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), YANG M Y(杨满元), *et al.* Soil enzyme activities in different re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang of Hunan Province, China[J]. *Journal of Plant Nutritin and Fertilizer* (植物营养与肥料学报), 2013, **19**(6): 1 516—1 524(in Chinese).
- [27] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), LI J G(李建国), *et al.* The vegetation restoration mode construction in sloping-land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Pratacultural Science* (草业科学), 2010, **27**(10): 10—16(in Chinese).
- [28] YANG N(杨 宁), ZOU D SH(邹冬生), *et al.* Study on numerical classification and species diversity of plant community in a sloping-land with purple soils in Hengyang Basin[J]. *Research of Agricultral Moclernization* (农业现代化研究), 2009, **30**(5): 615—619(in Chinese).