

卧龙亚高山暗针叶林不同林冠环境下 华西箭竹分株种群结构特征

宋利霞, 陶建平*, 王 微, 席 一, 王永健, 冉春燕

(西南师范大学生命科学学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 详细调查了林下、中林窗、大林窗和林缘旷地等4种亚高山暗针叶林林冠环境下的华西箭竹 (*Fargesia nitida*) 分株种群, 对其表现结构(株高、基径和生物量)和年龄结构进行了较系统的对比研究。主要研究结果如下: (1) 分株水平上, 华西箭竹表现结构在4种林冠环境下均有极显著差异 ($p < 0.01$), 且随林冠郁闭度的减小, 分株个体的高度、基径和生物量有递增的趋势(林下 < 中林窗 < 大林窗); (2) 分株各构件在总生物量中所占比例随林冠环境变化而改变: 除林缘旷地外, 叶的生物量百分比与林冠郁闭度呈正相关。林缘旷地中, 地下茎和根系的生物量百分比均高于其余3种环境; (3) 不同林冠环境下分株单位叶面积叶重存在显著差异 ($p < 0.05$), 且随林冠郁闭度的减小而增大。单叶生物量和单叶面积均以中林窗最大, 林缘旷地次之, 二者与大林窗或林下均有显著差异 ($p < 0.05$)。华西箭竹的单株叶片数量以大林窗最大, 与其余3种环境有极显著差异 ($p < 0.01$); (4) 分株种群的死亡率以林下最低 ($p < 0.01$), 但各种群平均年龄间无显著差异 ($p > 0.05$)。可见, 华西箭竹分株种群对林冠环境变化的反应主要体现在形态和生物量分配上, 而非种群的年龄上。

关键词: 华西箭竹; 分株种群; 种群结构; 亚高山暗针叶林; 卧龙自然保护区

文章编号: 1000-0933(2006)03-0730-07 **中图分类号:** Q948, Q145 **文献标识码:** A

The ramet population structures of the clonal bamboo *Fargesia nitida* in different canopy conditions of subalpine dark coniferous forest in Wolong Nature Reserve, China

SONG Li-Xia, TAO Jian-Ping*, WANG Wei, XI Yi, WANG Yong-Jian, RAN Chun-Yan (Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Life Science, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (3): 730 ~ 736.

Abstract: The bamboo *Fargesia nitida*, one of the Giant Panda's main food sources and dominant shrub species of the forest understory, is mainly distributed in the dark coniferous belt (at altitudes of 2450m to 3200m) in western Sichuan and southern Gansu in China. To study the impacts of different forest canopy conditions on subalpine dwarf bamboo populations, ramet population structures of clonal *Fargesia nitida* were surveyed in: forest understory (FU), moderate gap (MG), large gap (LG) and forest edge wilderness (FEW). In order to reveal whether these four canopy conditions affect the ramet structures and to estimate the effect sizes, a field census of *Fargesia nitida* populations' age structure, morphological traits (culm height, basal diameter and leaf area) and biomass allocation was conducted in an *Abies faxoniana* forest situated in Wolong Nature Reserve in western Sichuan, China. The main results showed that: (1) At the ramet level, the performance structures of the four populations were

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30300047); 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB111505); 中国科学院成都生物研究所恢复生态实验室开放基金资助项目(R02-03)

收稿日期: 2005-03-21; **修订日期:** 2005-11-16

作者简介: 宋利霞(1980~), 女, 四川省蒲江人, 硕士生, 主要从事植物种群生态学研究. E-mail: song211@swu.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: taojianping@163.com

Foundation item: The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30300047); the National Key Projects for Basic Research in China (No. 2002CB111505); Open Foundation of the Restoration Ecology Laboratory of Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences (R02-03)

Received date: 2005-03-21; **Accepted date:** 2005-11-16

Biography: SONG Li-Xia, Master candidate, mainly engaged in plant population ecology. E-mail: song211@swu.edu.cn

significantly different (one-way ANOVA, $p < 0.01$), and as the canopy cover decreased the mean height, basal diameter and biomass of the populations increased in the order of FU < MG < LG; (2) The modular biomass proportions of ramets varied with different canopy conditions and leaf biomass proportion was positively related to canopy cover except for FEW, in which the biomass proportions of rhizome and roots were both higher than those in the other three canopy environments; (3) The ramet specific leaf mass increased in parallel with the decrease of canopy cover (one-way ANOVA, $p < 0.05$) of the four different populations. In the MG, the individual leaf biomass was the heaviest and individual leaf area the largest, followed by those in the FEW. Both the individual leaf biomass and leaf area were respectively different from those in the FU or LG (one-way ANOVA, $p < 0.05$). Leaf number per ramet in the LG was the biggest and was significantly different among the four different canopy conditions (one-way ANOVA, $p < 0.01$); (4) The ramet population mortality was the lowest in the FU (Chi-square test, $p < 0.01$), while there was no significant difference in the average population age (Mann-Whitney test, $p > 0.05$). 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 *Fargesia nitida* to changed canopy conditions.

Key words: *Fargesia nitida*; ramet population; population structure; subalpine dark coniferous forest; Wolong Nature Reserve

亚高山暗针叶林的自然更新以林窗更新为主^[1,2]。林窗环境为森林灌木层的优势种类——亚高山小径竹类提供了良好的生存条件,小径竹能迅速侵入林窗环境进行克隆生长,密集丛生的枝干和盘根错节的根系可影响乔木树种的更新和幼苗的生长,同时极大地降低了森林木本的多样性^[3-7]。从某种程度上说,小径竹的存在成为影响林窗内乔木树种幼苗更新的关键因素^[4,8]。因此,小径竹类植物在亚高山暗针叶林林窗内的生长、生态适应,以及对林窗更新和林窗动态的影响及其作用机制成为亚高山森林循环更新研究的一个重要问题^[8]。

迄今为止,对亚高山小径竹类的研究仅限于以冷箭竹为代表的少数竹类的种群年龄结构、种群生物量和种群繁殖特性等方面^[4,9]。有关研究表明,亚高山暗针叶林不同林冠环境下小径竹的生长具有差异^[4,8,9],但关于不同林冠环境下小径竹克隆分株种群的结构、动态及其对环境适应等方面的研究还亟待深入。本研究以华西箭竹为对象,主要探讨:(1)在分株水平上,华西箭竹种群对不同林冠环境是否存在表现结构和年龄结构的差异;(2)若存在差异,这些差异与其生存的林冠环境有何关系。

1 研究区域概况

本研究在卧龙自然保护区境内进行,样地选择在四川省林业科学研究院邓生亚高山暗针叶林定位站(东经 102°58'21",北纬 30°51'41")附近,海拔约 2800m,坡度约 15°。样地为典型的以岷江冷杉(*Abies faxoniana*)占优势的原始暗针叶林,华西箭竹为林下灌木层优势种,在林内和林缘均有大量分布。该地区为四川盆地向青藏高原的过渡地带,属于青藏高原气候区,西风急流南支和东南季风控制其天气过程,特征为气候凉爽、气温年较差小、干湿季明显、相对湿度大,年平均气温 4.3℃,年降水量 848.9mm,年蒸发量 772.5mm,日照时数 1185.4h,土壤为山地棕色暗针叶林土^[4,10]。研究区域内有华西箭竹(*Fargesia nitida*)、冷箭竹(*Bashania fangiana*)和峨眉玉山竹(*Yushania chungii*)3 种竹子分布^[4],其中以华西箭竹的分布较多。

2 研究方法

2.1 研究材料

华西箭竹(*Fargesia nitida* (Mitford) Keng f.)为箭竹属长三角鞘系、多年生 1 次性开花结实的木本克隆植物。秆丛生或近散生,高 2~5m,粗 1~2cm。地下茎(假鞭)为合轴型,长 10~13cm,直径 1~2cm。在自然生境中,其幼竹和壮竹的秆基节上可产生假鞭,长成新的立竹(分株,ramet)而扩展无性系。该植物在我国主要产于甘肃南部和四川西部,生于海拔 2540~3200m 的林下或山坡形成灌丛,为大熊猫的主食竹之一^[4,11]。

2.2 野外调查

野外调查于 2004 年 8~9 月,在海拔高度(2800m±25m)、坡度、坡向基本一致的典型亚高山原始暗针叶林内和林缘进行。以 2003 年对同一样地内林窗面积分布的调查数据作为确定林窗等级的基础^[2],选择形状

基本相似的中林窗(冠林窗面积 158.3m²)和大林窗(冠林窗面积 401.2m²)以及森林林下和林缘旷地(即林外华西箭竹纯林,面积 1500 m² 以上,简称旷地)作为样地。在各样地内随机设置 4 m × 4 m 的样方 8 个,统计华西箭竹的株数和丛数;同时随机选择 100 株华西箭竹的完整分株,详细记录其年龄^[4]、株高和基径,并标记其中的 40 株分株。从标记的分株中随机选出 20 株,详细记录每一株的叶片数,并从植株的不同部位随机取下 30 枚叶片压平带回实验室,测量每枚叶片的面积和生物量。其余的 20 株分株用清水冲洗干净根部的泥沙,带回实验室烘干至衡重,按叶、枝、茎秆、地下茎、粗根和细根等几部分称量。

2.3 数据处理分析

结合 4 种环境中种群的高度(height, *H*)特征,将分株高度划分为 4 个等级: I 级($H < 2m$)、II 级($2 \leq H < 3m$)、III 级($3 \leq H < 4m$)和 IV 级($H \geq 4m$);根据基径(basal diameter, *BD*)的分布状况,将基径划分为 5 个等级: I 级($BD < 0.5cm$)、II 级($0.5 \leq BD < 1cm$)、III 级($1 \leq BD < 1.2cm$)、IV 级($1.2 \leq BD < 1.4cm$)和 V 级($BD \geq 1.4cm$);根据根系的生长特点和功能差异,将华西箭竹的根系划分为粗根(直径 > 0.5mm)和细根(直径 ≤ 0.5mm);结合种群的年龄分布状况,把种群划分为 4 个年龄级:1 ~ 9a 的分株以 3a 为单位划分为 3 个年龄级(I ~ III 级),大于 9a 的分株为 IV 龄级。

用 one-way ANOVA 分析分株种群的株高、基径、生物量和叶参数间的差异,并作 LSD 多重比较。用 Chi-square 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。所有数据分析均用 SPSS11.0 完成。

3 结果与分析

3.1 分株种群的高度结构

旷地的分株种群在 4 个高度级均有分布,其余 3 种林冠环境中则只有 3 个高度级分布(图 1a)。林下以 I、II 高度级的分株居多,占总数的 84%;中林窗和旷地都以 II、III 级为主,分别占 86% 和 85%;大林窗则以 III、IV 级最多,达到 88%。由林下→旷地→中林窗→大林窗, I、II 级的分株逐渐减少, III、IV 级逐渐增加。不同种群平均高度:林下(2.34m) < 旷地(3.03m) < 中林窗(3.29m) < 大林窗(3.72m)(图 1b)。各分株种群高度的方差分析和 LSD 多重比较的结果表明,4 种林冠环境下种群平均高度差异均极显著($p < 0.01$)(图 1b)。

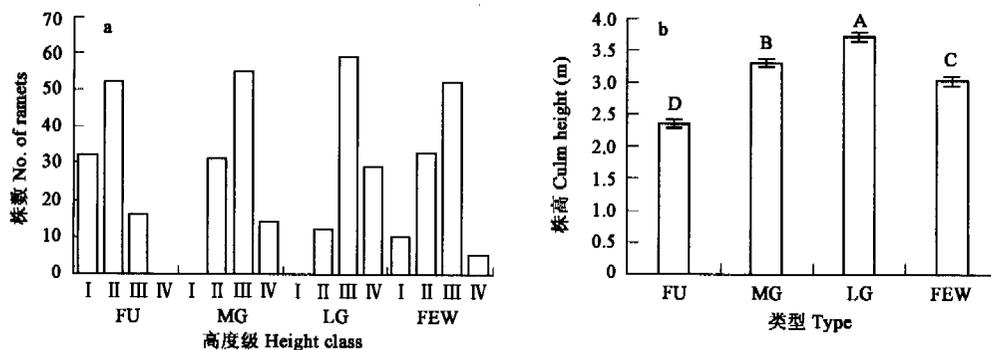


图 1 不同林冠环境下华西箭竹种群的分株高度结构和株高特征(平均值和标准误)

Fig.1 The ramet-height distribution(a) and the mean value (± SE) of culm height(b) of *Bashania fangiana* populations in different canopy conditions

图中不同字母表示均值间差异显著 The values sharing the different letters are significant different at $p < 0.05$; FU 林下 Forest understory; MG 中林窗 Middle gap; LG: 大林窗 Large gap; FEW 林缘旷地 Forest edge wilder

3.2 分株种群的径级结构

径级结构的分布与高度结构相似(图 2a),林下华西箭竹 II、III 径级分株占 82%;中林窗 III、IV 径级占 67%;旷地 III、IV 径级占 68%;大林窗 IV、V 径级占 76%。从林下→中林窗→旷地→大林窗, II 级分株逐渐减少, IV、V 级逐渐增加。4 种林冠环境中,种群平均基径为林下(0.902cm) < 中林窗(1.202cm) < 旷地(1.228cm) < 大林窗(1.310cm)(图 2b),方差分析和 LSD 多重比较结果表明,除中林窗与旷地平均基径间差异不显著外,其余种群间平均基径差异极显著($p < 0.01$)(图 2b)。

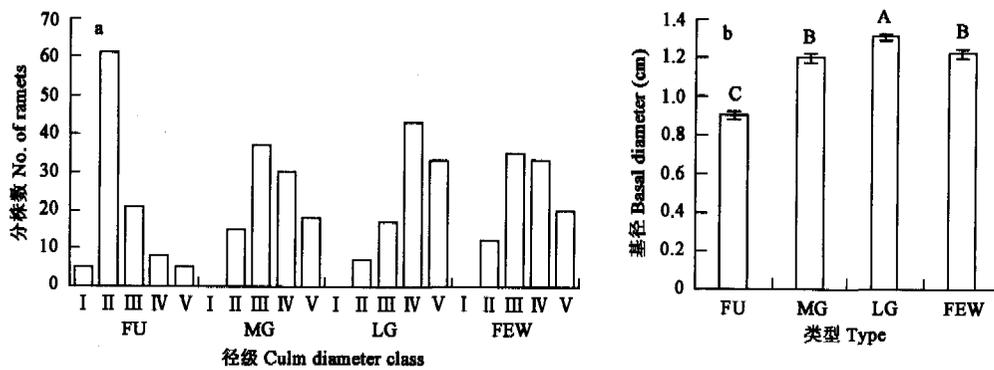


图 2 不同林冠环境下华西箭竹种群的分株径级结构和基径特征(平均值和标准误)

Fig.2 The ramet-basal diameter distribution (a) and the mean value (\pm SE) of basal diameter (b) of *Bashania fangiana* populations in different canopy conditions

图中不同字母表示均值间差异显著 The values sharing the different letters are significant different at $p < 0.05$; FU, MG, LG, FEW 字母意义同图 1 The meanings of letters FU, MG, LG, FEW are the same as Fig.1

3.3 分株生物量分配

茎秆生物量百分比为林下 < 旷地 < 中林窗 < 大林窗,且均超过 50%;叶生物量百分比以林下的分株最高,按林下→中林窗→大林窗递减。地下茎、粗根和细根的生物量百分比均以旷地最高(图 3a)。各样地内,分株的平均生物量为林下(41.879g) < 中林窗(103.410g) < 旷地(121.834g) < 大林窗(168.914g)。经单因素方差分析和 LSD 多重比较,四种环境下种群的分株生物量均有显著差异($p < 0.05$)(图 3b)。

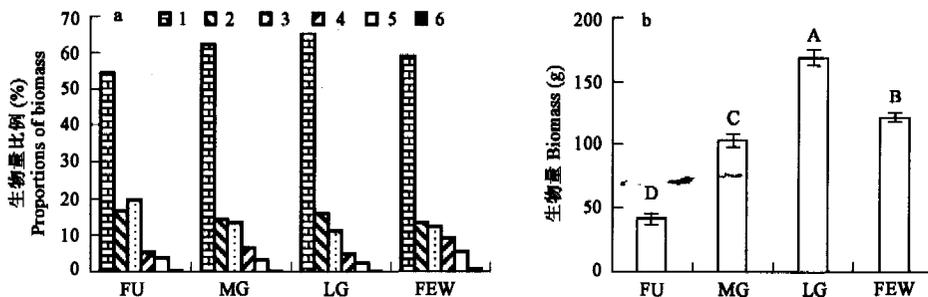


图 3 不同林冠环境下华西箭竹种群的分株生物量分配和生物量特征(平均值和标准误)

Fig.3 The biomass allocation (a) and the mean value (\pm SE) of biomass (b) of *Bashania fangiana* populations in different canopy conditions

图中不同字母表示均值间差异显著 The values sharing the different letters are significant different at $p < 0.05$; 1 茎秆 Stem; 2 枝 Branch; 3 叶 Leaf; 4 地下茎 Rhizome; 5 粗根 Thick root; 6 细根 Thin root. FU, MG, LG, FEW 字母意义同图 1 The meanings of letters FU, MG, LG, FEW are the same as Fig.1

3.4 叶的特征

4 种林冠环境中,种群单位叶面积叶重为旷地($3.15 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) > 大林窗($3.28 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) > 中林窗($3.13 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) > 林下($2.99 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$),不同种群分株的单位叶面积叶重间均有显著差异($p < 0.05$)(图 4a);种群单叶生物量为中林窗(18.20mg) > 旷地(17.40mg) > 大林窗(13.35mg) > 林下(13.00mg),其中中林窗和旷地的单叶生物量与大林窗或林下都有显著性差异($p < 0.05$)(图 4b);单叶叶面积中林窗最大,旷地次之,仅大林窗与林下差异不显著,其余种群间差异显著($p < 0.05$)(图 4c);单株的叶片数量以大林窗最大,且与其余 3 种林冠环境的分株叶片数量有显著差异($p < 0.01$)(图 4d)。

3.5 年龄结构特点

除林下前 3 个年龄级的数量差异不大外,其余各样地种群的年龄分布有递减的趋势。4 种环境中的 I ~ II 级无性系分株各占总数的 56%、71%、63% 和 70%(图 5)。标准化年龄级分株数后,计算不同环境的种群死亡率林下 43.9%,中林窗 49.5%,大林窗 50.5%,旷地 49.1%。检验发现林下种群死亡率与其它 3 种环境

的有明显差异 (Chi-square test, $df = 3$, $\chi^2 = 30.548$, $p < 0.01$), 而 3 种环境之间无差异 (Chi-square test, $df = 2$, $\chi^2 = 4.249$, $p = 0.120$)。通过对随机统计的植株进行加权平均, 得到 4 种林冠环境下的平均年龄: 林下 ($4.85a \pm 0.59a$)、中林窗 ($4.19a \pm 0.61a$)、大林窗 ($4.14a \pm 0.56a$)、旷地 ($4.14a \pm 0.58a$)。在所抽取的样本中, 林下环境的平均年龄大于其它 3 种环境, 但通过非参数 U 检验表明 4 种林冠环境下种群的平均年龄差异不显著 (Mann-Whitney test, $U = 4309.5, 4337.5, 4303, 4921.5, 4976.0, 4972.5$, $df = 1$, $p > 0.05$)。

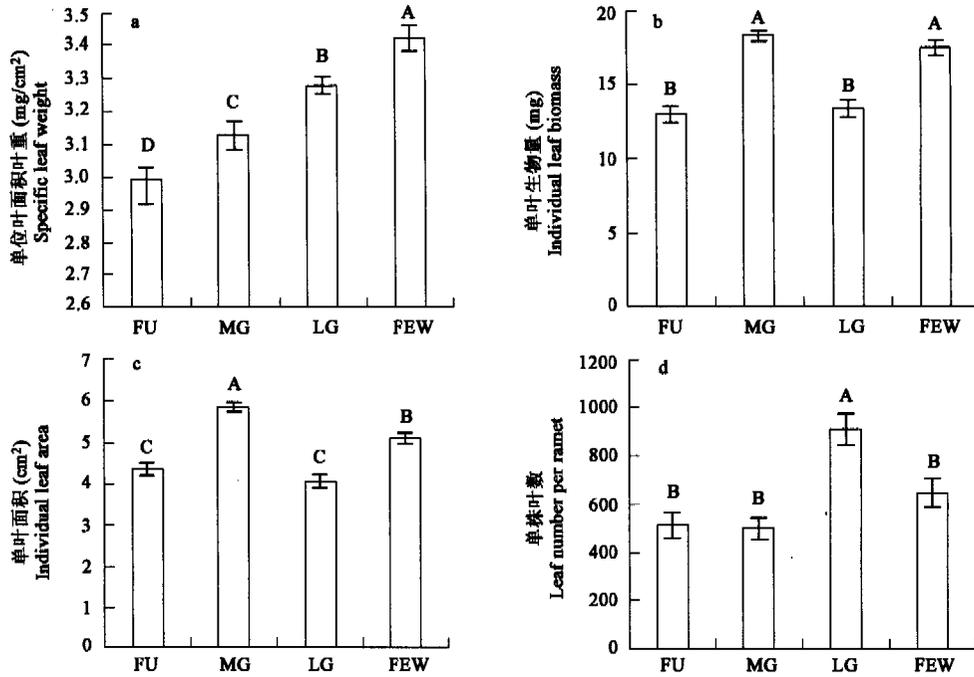


图 4 不同林冠环境下叶参数多重比较(平均值和标准误)

Fig. 4 Leaf parameters in different canopy environment (mean \pm SE)

不同字母表示均值间差异显著 The values sharing the different letters are significant different at $p < 0.05$; FU, MG, LG, FEW 字母意义同图 1 The meanings of letters FU, MG, LG, FEW are the same as Fig. 1

4 讨论

不同的森林林冠环境, 光照的可利用度不同, 导致植株生长发育存在差异^[12]。林冠郁闭度(光照水平)影响着竹类生长和更新^[9,12]。Widmer 对香竹族竹类 (*Chusquea* spp.) 的研究表明, 林窗环境中, 香竹的单丛数量和单株直径较林下都有所增加^[13]。本研究的结果与之相似: 在亚高山针叶林内, 随大林窗向中林窗和林下深入, 华西箭竹的分散程度不断提高, 单丛数量和单株直径均有递减的趋势。大林窗环境中, 华西箭竹大多成丛分布, 且每丛数量多, 密度相当大, 其株高、基径和单株生物量均明显高于其余环境的华西箭竹。对一些藤本植物和克隆植物表现结构的研究显示, 绞股蓝 (*Gynostemma pentaphyllum*) 的株高随光照减弱而增

加^[14]; 聚花过路黄 (*Lysimachia congestiflora*) 的生物量随光照减弱而降低^[15]。本次调查研究表明, 华西箭竹种群的分株高度并非林下最高, 分株生物量也不是旷地最大。这说明不同形态的植物对变化的光环境可能存在行为表现和生存策略的差异。气候条件(热量、水分及二者的配合状况)是决定竹类水平地带性分布和垂直地带性分布的主要因素, 也是决定其能否良好生长的关键^[4,9]。比较不同林冠环境下种群的表现结构, 能较好体

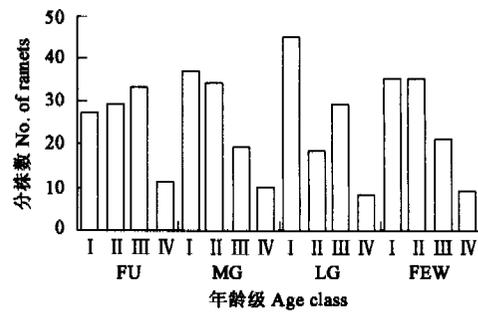


图 5 不同林冠环境下华西箭竹种群的分株年龄结构

Fig. 5 Ramet-age distribution of *Bashani fangiana* populations in different canopy conditions

FU, MG, LG, EW 字母意义同图 1 The meanings of letters FU, MG, LG, EW are the same as Fig. 1

现环境因子对种群的作用强度和种群对环境的适应特性^[16]。大林窗环境的光照比中林窗和林下强,土壤水分比旷地充沛,对于喜高湿的华西箭竹^[4]来说,该环境更适于生长。亚高山暗针叶林的大林窗林冠环境中,华西箭竹的长势最好,这与植物在其适宜的环境条件下能够充分地利用光、温、水、土壤等因素,实现自身生存扩展最大化的特性基本一致^[16]。

刘庆等对斑苦竹(*Pleiolobus maculata*)无性系隔离者的资源分配研究表明,在水资源差的条件下,无性系投入较多的资源于地下部分无性系的生长^[17]。本研究中,旷地条件下分株的地下茎和根系的生物量百分比最高,且地下茎和粗根明显长于其它环境,细根数量也最大。这可能与旷地环境中光照强,土壤和大气的湿度相对较低有关。华西箭竹的根茎长,细根数量大,可能意味着其较强的扩散潜力和吸水能力,从而补偿环境中水分可利用性的降低。可认为这是竹类无性系对水分资源所表现的一种觅养行为^[17],也可以理解为无性系为了逃避不利生境,同时获取更多生存资源的一种有效生态对策^[17-19]。

叶的生物量百分比由林下→中林窗→大林窗递减,单位叶面积叶重呈旷地>大林窗>中林窗>林下的特点。在森林林下环境中,光照水平低,植株投入较大比例的生物量于光合器官——叶的构建,同时通过增加单位生物量叶面积(减小单位叶面积叶重)的投入来捕获光能,以适应弱光环境^[14,20]。有研究表明,随生境相对光强降低,植株的单叶面积增大,单株叶数减少^[14,21],但本研究中,单叶面积以中林窗最大,旷地次之(图4c)。中林窗的分株单叶面积比林下大,可能与中林窗光环境较林下得到明显改善,植株处于较为优越的环境中,利用环境资源的能力增强和生产能力提高有关;大林窗中的分株单叶面积小于旷地,可能与大林窗中的单株叶片数量较大有关(图4d)。

魏辅文等对峨热竹(*Bashania spanostachya*)的研究表明,成竹死亡率与上层乔木郁闭度呈负相关^[22],但 Uhl 等的研究认为,林窗大小对林窗内植物的死亡率没有影响^[23]。本研究表明,林下环境分株种群的死亡率相对低,其余环境间则无显著差异。这说明不同植物对林窗环境的适应性可能存在差异。在林下环境中,华西箭竹的幼龄个体数量相对小,但单丛数量相对小、单株生物量相对少,因此种内竞争相对弱,幼龄个体存活相对容易,种群死亡率低;大林窗中幼龄数量最大,但单丛数量和丛内分株种群密度大,种内竞争激烈,可导致分株种群幼龄个体的死亡率增高。种群的平均年龄无差异,可认为种群的平均存活时间在各环境中基本相同,这体现了种群通过其分株形态和生物量分配的变化对优劣不同的林冠环境的有效适应。可见,种群对不同林冠环境的反应主要体现在形态和生物量分配上。

在亚高山森林中,光照随林冠郁闭度的增大而减弱,华西箭竹分株种群的长势也随林冠郁闭度的增大而渐差。乔木幼苗比下层灌木更需要光照^[4],林窗中光照和光合有效辐射的增强有利于乔木的定居^[24,25]。但随林冠郁闭度的减小而逐渐粗壮的茎秆和繁茂的枝叶,使灌木亚层夺取了乔木幼苗生长最需要的光照和营养^[25,26]。可认为,竹类大量生长的大林窗环境条件与小林窗和林下非常类似^[12],从而影响乔木幼苗的生长。此外,随林窗增大而更粗壮的地下根茎盘根错节于距土壤表面约40cm深的范围里,与幼苗的定居有尖锐的矛盾,幼苗的根系必须穿过根茎层才能生长、发育、定居^[4]。野外调查发现,华西箭竹生长较好的林窗内,冷杉幼苗的数量明显低于有相同环境条件而箭竹盖度小的林窗。同时还观察到,不同林冠环境下华西箭竹种群的分布格局也有一定的变化,这也可能是影响乔木幼苗生长和定居的重要因素。有关不同林冠环境下华西箭竹的分布格局与森林林窗更新的关系还有待进一步研究。

References:

- [1] Liu Q, Wu Y, He H. Ecological problems of subalpine coniferous forest in the southwest of China. *World Sci Tech Res Dev*, 2001, 23(2): 63 ~ 69.
- [2] Wang W, Tao J P, Li Z F, et al. Gap features of subalpine dark coniferous forest in Wolong Nature Reserve. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 1989 ~ 1993.
- [3] Editorial Board of Forests in Sichuan. *Forests in Sichuan*. Beijing: China Forestry Press, 1992. 703 ~ 708.
- [4] Qin Z S, Taylor A H, Cai X S. Bamboo and forest dynamic succession in the ecological environment of Giant Panda in Wolong. Beijing: China Forestry press, 1993. 13, 37 ~ 39, 52 ~ 57, 149 ~ 156, 170 ~ 210, 245 ~ 318.
- [5] Taylor A H, Qin Z S, Liu J. Tree regeneration in an *Abies faxoniana* forest after bamboo dieback, Wanglang Natural Reserve, China. *Canadian Journal of*

- Forest Research, 1995, 25(12): 2034 ~ 2039.
- [6] Taylor A H, Qin Z S, Liu J. The structure and dynamics of subalpine forest in the Wanglang Natural Reserve, China. *Vegetatio*, 1996, 124(1): 25 ~ 38.
- [7] Hiura T, Sano J, Konno Y. Age structure and fine-scale disturbance of *Abies sachalinensis*, *Picea glehnii* and *Butala ermanii* growing under the influences of a dwarf bamboo understorey in North Japan. *Canadian Journal of Forest Research*, 1996, 26(2): 287 ~ 297.
- [8] Qi Z M, Wang K Y, Yang W Q, et al. Ecological Studies on Bamboo (*Fargesia*) Communities. *World Sci Tech Res Dev*, 2004, 26(1): 73 ~ 78.
- [9] Wang J X, Ma Z G. Ecological studies on giant panda's main bamboos. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Press, 1993. 62 ~ 87.
- [10] Li Z X, Zheng H, Ouyang Z Y, et al. The spatial distribution characteristics of throughfall under *Abies faxoniana* forest in the Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 1015 ~ 1021.
- [11] *Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Flora Reipublicae Popularis Sinicae (Vol. 9)*, Beijing: Science Press, 1996. 428 ~ 431.
- [12] Tabarelli M, Mantovani W. Gap-phase regeneration in a tropical montane forest: the effects of gap structure and bamboo species. *Plant Ecology*, 2000, 148(2): 149 ~ 155.
- [13] Widmer Y. Pattern and performance understory bamboos (*Chusquea* spp.) under different canopy bamboo closures in old-growth oak forest in Costa Rica. *Biotropica*, 1998, 30(3): 400 ~ 415.
- [14] He W M, Zhong Z C. Morphological and growth responses of the climbing plant, *Gynostemma pentaphyllum* seedlings to varying light intensity. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 375 ~ 378.
- [15] Chen J S, Dong M, Yu D, et al. Clonal architecture and ramet population characteristics of *Lysimachia congestiflora* growing under different light conditions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1383 ~ 1388.
- [16] Zhang W H, Wang Y P, Kang Y X, et al. Study on the relationship between *Larix chinensis* population's structure and environment factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 41 ~ 47.
- [17] Liu Q, Li Y X, Zhong Z C. Effects of moisture availability on clonal growth in bamboo *Pleioblastus maculata*. *Plant Ecology*, 2004, 173(1): 107 ~ 113.
- [18] de Kroon H, Schieving F. Resource allocation pattern as a function of clonal morphology: a general model applied to foraging clonal plant. *Journal of Ecology*, 1991, 79(2): 519 ~ 530.
- [19] Zhong Z C. Reproductive strategies of plant populations. *Chinese Journal of Ecology*, 1995, 14(1): 37 ~ 42.
- [20] Zhang W Y, Wang B S, Li M G, et al. The effects of light intensity on growth and morphology in *Mikania micrantha* Seedlings. *Sun Yatsen University Forum*, 2002, 22(1): 222 ~ 226.
- [21] Li J C, Su S M, Li W H. Effect of light intensity on the plant growth in *H. citrina*. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 1995, 15(1): 78 ~ 81.
- [22] Wei F W, Feng Z J, Wang Z W, et al. Association between environmental factors and growth of bamboo species *Bashania spanostachya*, the food of giant and red pandas. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 710 ~ 714.
- [23] Uhl C, Clark K, Dezoo N, et al. Vegetation dynamics in Amazonian treefalls gaps. *Ecology*, 1988, 69(3): 751-763.
- [24] Denslow J S, Schultz J C, Vitousek P M, et al. Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. *Ecology*, 1990, 71(1): 165 ~ 179.
- [25] Denslow J S, Ellison A M, Sanford R E. Treefall gap size effects on above- and below-ground process in a tropical wet forest. *Journal of Ecology*, 1998, 86(4): 597 ~ 609.
- [26] van der Meer P J, Sterck F J, Bongers F. Tree seedling performance in canopy gaps in a tropical rain forest at Nouragues, French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, 1998, 14(2): 119 ~ 137.

参考文献:

- [1] 刘庆, 吴彦, 何海. 中国西南亚高山针叶林的生态学问题. *世界科技研究展*, 2001, 23(2): 63 ~ 69.
- [2] 王徽, 陶建平, 李宗峰, 等. 卧龙自然保护区亚高山暗针叶林林隙特征研究. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 1989 ~ 1993.
- [3] 《四川森林》编委会. *四川森林*. 北京: 中国林业出版社, 1992. 703 ~ 708.
- [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. 北京: 中国林业出版社, 1993. 13, 37 ~ 39, 52 ~ 57, 149 ~ 156, 170 ~ 210, 245 ~ 318.
- [8] 齐泽民, 王开运, 杨万勤, 等. 川西箭竹群落生态学研究. *世界科技研究与发展*, 2004, 26(1): 73 ~ 78.
- [9] 王金锡, 马志贵. 大熊猫主食竹生态学研究. 成都: 四川科学技术出版社, 1993. 62 ~ 87.
- [10] 李振新, 郑华, 欧阳志云, 等. 岷江冷杉针叶林下穿透雨空间分布特征. *生态学报*, 2004, 24(5): 1015 ~ 1021.
- [11] 中国植物志编委会. *中国植物志* (第 9 卷). 北京: 科学出版社, 1996. 428 ~ 431.
- [14] 何维明, 钟章成. 攀援植物绞股蓝幼苗对光照强度的形态和生长反应. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 375 ~ 378.
- [15] 陈劲松, 董鸣, 于丹, 等. 不同光照条件下聚花过路黄的克隆构型和分株种群特征. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1383 ~ 1388.
- [16] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 太白红杉种群结构与环境的关系. *生态学报*, 2004, 24(1): 41 ~ 47.
- [19] 钟章成. 植物种群的繁殖对策. *生态学杂志*, 1995, 14(1): 37 ~ 42.
- [20] 张炜银, 王伯荪, 李鸣光, 等. 不同光照强度对薇甘菊幼苗生长和形态的影响. *中山大学学报*, 2002, 22(1): 222 ~ 226.
- [21] 李军超, 苏陕民, 李文华. 光强对黄花菜植株生长效应的研究. *西北植物学报*, 1995, 15(1): 78 ~ 81.
- [22] 魏辅文, 冯祚建, 王祖旺, 等. 相岭山系大、小熊猫主食竹类峨热竹的生长发育与环境因子的相互关系. *生态学报*, 1999, 19(5): 710 ~ 714.