

两种生境条件下西南桦的生殖构件及其空间格局

程伟^{1,2}, 曾杰^{1*}, 赵志刚¹, 郭俊杰¹, 沙二¹, 刘宝^{1,3}, 赖家业³

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 山东省淄博市淄川区林业局, 山东 淄博 255100; 3. 广西大学林学院, 南宁 530001)

摘要: 在广西靖西土石山生态交错区调查了西南桦(*Betula alnoides*)生殖植株的生长状况, 并研究土山和石山两种生境条件下西南桦的生殖构件及其在冠层的分布格局。结果表明: 石山西南桦开始开花结实的林木胸径明显小于土山; 两种立地上西南桦植株的花芽、花序数以及雄花序比率与其胸径、树高均不显著相关($P > 0.05$); 土山和石山的西南桦雄花序数随着总花序数的增加均呈对数曲线增长趋势, 在生殖投资较小的情况下植株趋向于优先发育雄花序, 而在生殖投资较大时主要增加雌花序的数量; 西南桦生殖构件在两种生境间存在显著差异, 石山植株的雄花芽数、每个雄花芽发育出的雄花序数均显著低于土山($P < 0.05$), 雄花序少于雌花序的植株比例远高于土山, 生殖枝比率亦显著低于土山($P < 0.05$); 尽管石山雄花序、雌花序和总花序数量以及雄花序比率低于土山, 其雌花序比率高于土山, 但是由于两种立地上单株间变异幅度大, 独立 t 检验表明其差异均未达到显著水平; 两种立地上西南桦花序大多着生于树冠上、中层, 且 90% 以上的生殖枝居于树冠外层。

关键词: 西南桦; 生殖构件; 生境; 空间格局

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)01-0075-07

Reproductive Modules and Their Spatial Patterns of *Betula alnoides* in Two Habitats

CHENG Wei^{1,2}, ZENG Jie^{1*}, ZHAO Zhi-gang¹, GUO Jun-jie¹, SHA Er¹, LIU Bao^{1,3}, LAI Jia-ye³

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 2. Forest Bureau of Zichuan District, Zibo 255100, China; 3. Forestry School, Guangxi University, Nanning 530001, China)

Abstract: Growth status of reproductive individuals of *Betula alnoides* were investigated in an ecological ectone of two types of soils originated from limestone (site L) and granite (site G), respectively, at Jingxi County, Guangxi, and the relationships between reproductive modules and their allocation patterns in crown layer were discussed. The results showed that the diameter at breast height (DBH) in site L were remarkably smaller than that in site G, when plants started flowering and fruit setting. The number of flower buds, total number of inflorescences and ratio of male inflorescences were not significantly correlated with DBH and plant height ($P > 0.05$). The number of male inflorescences increased with increment of total number of inflorescences by logarithm curve, and the trees trended to develop male inflorescences under lower reproductive investment, while mainly develop female inflorescences under larger reproductive investment. There were remarkable differences in characteristics of reproductive module between both sites, the number of male buds and number of inflorescences developed from each male bud at site L was significantly lower than that in site G ($P < 0.05$), the ratio of the plants with male inflorescences less than female ones was much higher than that at site G, and the ratio of reproductive branches was also significantly lower than that at site G ($P < 0.05$). Although the number of male inflorescences, female inflorescences, total inflorescences and ratio of male inflorescences at site L were smaller than those at site G, and ratio of female inflorescences at site L was larger than that at site G, there were no significant difference between them ($P > 0.05$) due to high level of variation among individuals at each site. The majority of inflorescences were

收稿日期: 2009-02-16 接受日期: 2009-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(30400345); 国家科技支撑计划项目(2006BAD01A1603-03)资助

* 通讯作者 Corresponding author, email: zengj69@pub.guangzhou.gd.cn

on upper and middle layers of crown, and above 90% of reproductive branches occupied on the surface of crown at both sites.

Key words: *Betula alnoides*; Reproductive modules; Habitat; Spatial pattern

植物生殖构件一般包括花、花序、果实、种子及其所着生的生殖枝等^[1],它是个体水平上植物生殖生态学研究的重要内容,生殖构件的分布格局及其动态等是目前国内外学者们的研究重点之一^[2]。从构件水平研究植物生殖行为与环境的关系,有助于增进对植物种群和群落动态演化机制的认识,亦可揭示植物对环境的适应性。Cooper 等研究了杜鹃花科(Ericaceae) 3 种植物的枝条大小、年龄与其生殖特征的关系^[3]; Lopez 等研究了球果杜松豆(*Retama sphaerocarpa*)对生殖生长和营养生长的投资差异及其与年龄的关系^[4]; Drezner 调查了索诺拉沙漠中柱仙人掌(*Saguaro cactus*) 植株的生殖构件,发现其开始开花结实的年龄和构件大小与环境因子密切相关^[5]。Henriksson 等在小枝和枝水平上研究了山桦(*Betula pubescens* subsp. *czerepanovii*)雄花序的年际变化,强调多层次研究生殖构件的重要性^[6]; Makasa 系统研究了日本白桦(*Betula platyphylla* var. *japonica*)的生殖构件特征及其影响因素^[7],并评述了雌雄同株异花风媒树种的生殖分配^[8]。我国学者对七子花(*Heptacodium miconioides*)^[9]、长柄双花木(*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*)^[10]、金花茶(*Camellia nitidissima*)^[11]、栲树(*Castanopsis fargesii*)^[1]、白桦(*Betula platyphylla*)^[12]等的生殖构件特征进行了广泛的研究。

西南桦(*Betula alnoides*)为高大乔木,是热带、南亚热带地区颇具发展前景的珍贵用材树种,属雌雄同株异花的风媒植物,其花序为柔荑花序。西南桦的适宜土壤 pH 值为 4.2~6.5,在天然次生林内成为优势种^[13-14]。广西西部和西北部喀斯特地貌的广泛分布,形成了西南桦分布区(土壤由花岗岩等非碳酸岩类发育而成)与不适宜西南桦生长的石灰岩山地的镶嵌景观,邻近西南桦斑块的石灰岩山地由于土壤坡积与植被酸化等作用,局部地段亦形成西南桦的适宜生境,亦有西南桦生长。本文即在此种景观内开展西南桦生殖构件研究,探讨西南桦在两种生境条件下的生殖构件分布规律,以了解环境对西南桦有性生殖的影响以及西南桦在特定环境下的生殖行为对策及机制,为揭示西南桦种群有性生殖的重要特征和遗传育种研究提供科学依据。

1 试验区概况

试验区位于广西靖西县地州乡乐村(东经 106°20',北纬 22°58'),属亚热带季风性气候,温凉湿润,年均温 19.1℃,极端最高温 36.9℃,极端最低温-1.9℃,雨量充沛,年均降雨量 1 500 mm 以上。试验区内广布着以西南桦为优势树种的天然林,土壤有由花岗岩发育而成的黄壤、红黄壤(简称土山, Site G)和由石灰岩发育而成的棕色石灰土(简称石山, Site L)两种类型,为典型的土石山生态交错区。西南桦天然林内有黄杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、刺栲(*Castanopsis hystrix*)、黎蒴(*C. fissa*)、荷木(*Schima superba*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、香椿(*Toona sinensis*)等乔木树种,化香(*Platycarya strobilacea*)、米念芭(*Tirpitzia ovoidea*)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、杜茎山(*Maesa balansae*)和灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens*)等灌木种,悬钩子(*Rubus* sp.)、金樱子(*Rosa laevigata*)和钩儿茶(*Uncaria gambier*)等藤本植物以及野牡丹(*Melastoma* sp.)、尖子木(*Oxyspora paniculata*)、铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)、石苇(*Pyrrhosia lingua*)、石松(*Lycopodium japonicum*)、莎草(*Cyperus* sp.)、白茅(*Imperata cylindrical*)等草本植物。

2 研究方法

2.1 生殖植株生长调查

土山从坡脚至坡顶设置 100~120 m,宽 20 m 的样带 2 条,石山 9 个西南桦斑块面积为 0.2~20 hm²。用围尺测定西南桦幼树和成年树的胸径;用测杆测定树高和活枝下高,两者之差即为其冠长;用皮尺测定东西、南北两个方向的冠幅,均值即为冠幅;并记录是否开花结实。

2.2 生殖构件调查

在土山和石山生境分别随机选取 27 和 15 株生殖植株,植株间距 50 m 以上,调查每株的生殖构件。由于同一株西南桦的雌、雄花序生长发育速度不一致,雌花序长出时,部分雄花序已开始散粉甚至脱落,因此在雄花序散粉前调查生殖构件,用剥

芽法确定雌花芽及其花序数。依据冠长将树冠均分为上、中、下 3 层,于花期选取标准枝,记录雌、雄花序和生殖枝数量,估算各冠层以及整个植株的相应参数。为了论述上的方便,将仅着生雄花序的枝条称为雄花枝,仅着生雌花序的枝条称为雌花枝,两者皆有的枝条称为雌雄花枝,两者皆无的枝条称为营养枝。

应用 Strahler 法在树冠层由外向内确定枝序,外层的第一小枝为一级枝,两个一级枝相遇即为二级枝,两个二级枝相遇后则为三级枝,依此类推,如有不同枝级相遇,取较高者作为枝级^[14]。

2.3 数据处理

采用 SPSS11.5 软件进行数据处理,包括独立 t 检验和相关分析,相关系数采用 Spearman 指数。

3 结果和分析

3.1 生殖个体的大小特征

在 2 条土山样带和 9 个石山斑块中,胸径大于 20 cm 的西南桦植株均已开花结实。按照 5 cm 划分径级,土山样带和石山斑块中胸径为 15~20 cm 的西南桦植株,分别有 33.3% 和 34.7% 开花结实。在土山样带上,未见胸径小于 15 cm 的植株开花结实,其开花结实植株的最小胸径为 15.5 cm;而在石山斑块中,胸径为 10~15 cm 以及 5.5~10 cm 的植

株中分别有 11.6% 和 0.9% 开花结实,其开花结实植株的最小胸径为 5.8 cm。

独立 t 检验表明,对于同一径级的植株,其树高在两种立地间的差异不显著。由图 1 可知,15~20 cm、20~25 cm 以及 25~30 cm 径级植株的冠幅和冠长在两种立地间差异显著($P < 0.05$),石山立地 3 个径级植株的冠幅分别比土山高 16.6%、10.2% 和 23.5%,冠长分别高 57.9%、54.5% 和 14.5%;30~35 cm 径级植株的冠幅和冠长在两种立地间差异不显著。

3.2 生殖构件的数量特征

在土山的 27 株生殖植株中,单株雄花芽数为 344~23 044,雌花芽数为 12~16 617;雌、雄花芽数和花芽总数与胸径、树高以及树冠大小之间均无显著相关性($P > 0.05$)。在石山的 15 株植株中,单株雄花芽数为 57~14 338,雌花芽数为 12~16 077;雄花芽数与胸径、树高相关不显著,与冠长相关显著($P < 0.05$),花芽总数与冠幅、冠长间均呈显著相关。土山和石山两种立地间西南桦植株上每个雄花芽发育出的雄花序数差异极显著($P < 0.01$),分别为 3.3 ± 0.1 和 2.9 ± 0.1 ;两种立地间西南桦植株上每个雌花芽发育出的雌花序数差异不显著,分别为 3.5 ± 0.4 和 3.3 ± 0.5 。

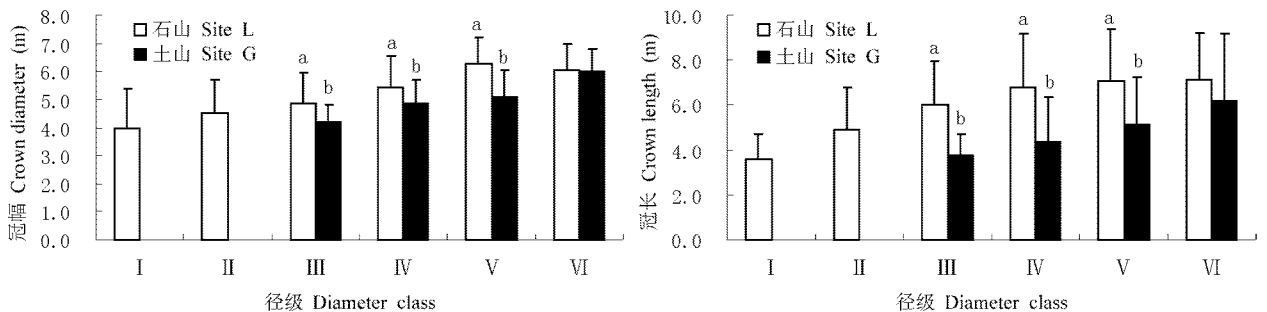


图 1 两种生境条件下西南桦生殖植株树冠大小特征

Fig. 1 Crown size of reproductive individuals of *Betula alnoides* at two sites

I: $D < 10$ cm; II: $10 \text{ cm} \leq D < 15$ cm; III: $15 \text{ cm} \leq D < 20$ cm; IV: $20 \text{ cm} \leq D < 25$ cm; V: $25 \text{ cm} \leq D < 30$ cm; VI: $30 \text{ cm} \leq D < 35$ cm; 同一径级不同立地间字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。Different letters above bars of the same diameter class mean significant difference at 0.05 level.

石山立地上西南桦植株雄花序数与冠长以及总花序数与冠幅之间相关显著($P < 0.05$);而在土山立地,花序数量与植株大小相关并不显著($P > 0.05$)。无论石山还是土山生境,西南桦植株的雌、雄花序数与其胸径间均无显著相关性,而且独立 t 检验表明,两种立地间西南桦植株的雌、雄花序和总花序数均差异不显著。

雌、雄花序数与植株的生殖投资密切相关,从图 2 可以看出,随着总花序数(NT)的增加,两种立地上西南桦的雄花序数(NM)均呈现对数曲线递增,增加到一定程度后渐趋平缓(石山: $NM = 7913.9 \ln NT - 61313$, $R^2 = 0.659 4$; 土山: $NM = 15388 \ln NT - 130802$, $R^2 = 0.701 3$);而雌花序数(NF)则呈线性递增(石山: $NF = 0.5574 NT - 3704.6$, $R^2 =$

0.666 1; 土山: $NF = 0.3745 NT - 3073.4$, $R^2 = 0.7919$)。从总体趋势看,在植株对生殖投资较少,

即总花序数较小的情况下,花芽优先向雄花序发育,雄花序达一定数量后则以雌花序为主。

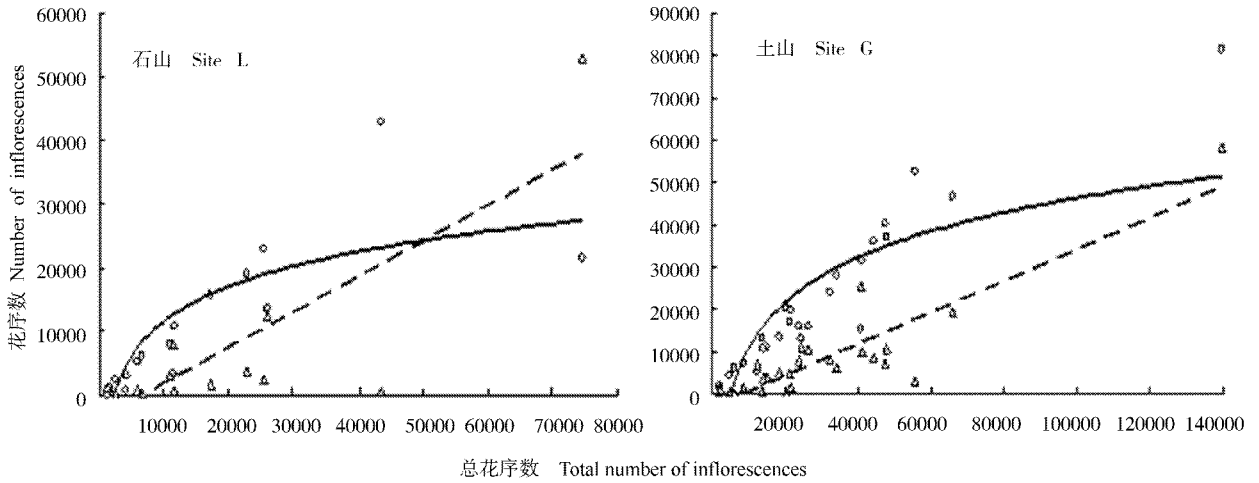


图 2 西南桦的雄、雌花序数与生殖投资的关系

Fig. 2 The relationship between number of male or female inflorescences of *Betula dnoides* and reproductive investments at two sites
—— 雄花序 Male inflorescences; - - - - - 雌花序 Female inflorescences

桦木之类的雌雄同株异花风媒植物存在全株均为雄花序或雌花序的现象,因此用雄花序数占总花序数的比例,即雄花序比例,比用雌、雄花序数的比值来衡量性别比更为合适^[7]。由图 3 可知,西南桦植株的雄花序数远大于雌花序数,即雄花序比例远大于 0.5。两种立地上,雄花序比例与植株大小间不显著相关($P > 0.05$)。尽管如此,两种生境条件下均存在雄花序数小于雌花序的单株。石山的 15 株

西南桦生殖植株中,1/3 植株(5 株)的雄花序数小于雌花序数,即雄花序比例小于 0.5;有 9 株雄花序比例超过 2/3。而土山的 27 株中,仅 1/9 植株(3 株)为雄花序数小于雌花序数,有 20 株雄花序比例超过 2/3。总体而言,石山植株的雄花序比例低于土山,而雌花序比例高于土山,但由于各生境条件下单株间雌、雄花序比例均变异大,其差异未达到显著水平($P > 0.05$)。

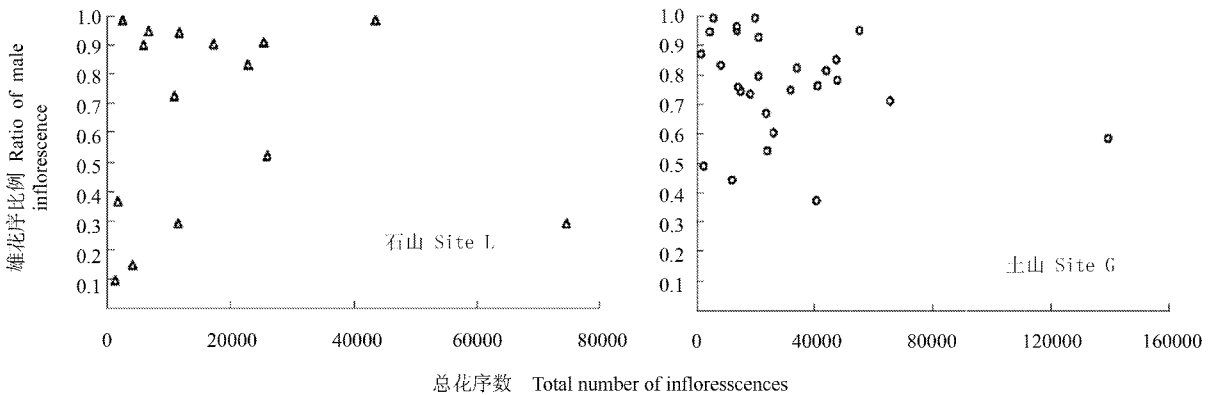


图 3 西南桦植株的雄花序比例

Fig. 3 Ratio of male inflorescence of *Betula dnoides* at two sites

相关分析表明,两种立地上西南桦植株生殖枝比率以及雄花枝、雌花枝和雌雄花枝占总枝条数的比例与胸径、树高以及树冠大小相关均不显著($P > 0.05$)。而生殖枝数则有所不同,土山上生殖枝数亦与胸径、树高以及树冠大小相关不显著;但石山的

生殖枝数与胸径、树高、冠长呈显著相关($P < 0.05$),与冠幅呈极显著相关($P < 0.01$),而且雄花枝数亦与这些生长因子呈显著相关。独立 t 检验表明,两种立地间生殖枝率、雌雄花枝率以及雌雄花枝数差异显著($P < 0.05$),其余指标如雄花枝、雌花枝数量和

比例以及生殖枝数差异均不显著。

3.3 生殖构件的空间分布

3.3.1 花序在不同冠层的分布

两种立地上植株雌花序、雄花序及其总量在树冠上层均大于 50%, 远高于中、下层(图 4)。除了石山树冠下层的雄花序比例略高于中层, 但差异不显著($P > 0.05$)之外, 石山的雌花序以及土山雌、雄花

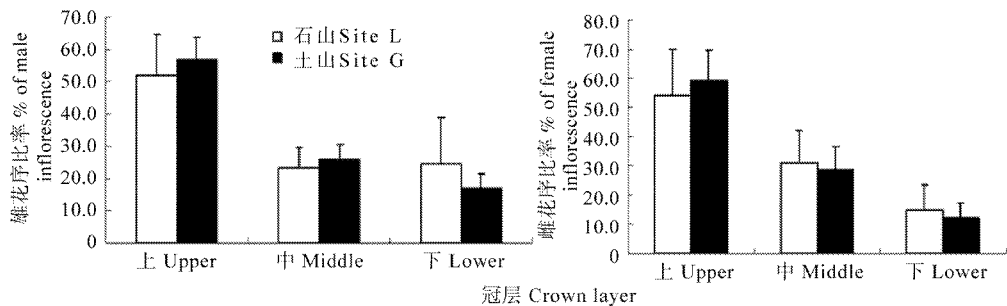


图 4 西南桦雌、雄花序在冠层的分布

Fig. 4 Distribution of male and female inflorescences in the crown of *Betula alnoides* at two sites

3.3.2 生殖枝的分布

土山和石山的西南桦生殖枝在冠层的分布为上层 > 中层 > 下层, 生殖枝在上层的分布比例均大于 50%, 而下层的比率均不足 20% (图 5)。各冠层内西南桦生殖枝占其枝条总数的比率在两立地间差异显著($P < 0.05$), 石山树冠上、中层生殖枝的比率约为 60%, 下层约 50%, 而土山各冠层的生殖枝比率均大于 70%。

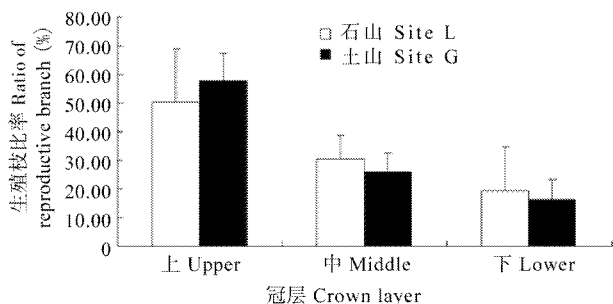


图 5 西南桦植株各冠层的生殖枝比率

Fig. 5 The ratio of reproductive branches in each crown layer of *Betula alnoides* at two sites

各冠层内雄花枝占其枝条总数的比例在立地间亦差异显著, 从图 6 可知, 石山上层雄花枝比例为 37.2%, 中层和下层均约 30%, 而土山雄花枝在各冠层的比例约 45%。两种立地间各冠层内雌花枝占其枝条总数的比例均差异不显著, 除了土山植株的树冠下层雌花枝比例小于 10%, 土山植株的上、中冠层以及石山植株的所有冠层雌花序比例均

序比例均为中层 > 下层, 且差异显著。雌、雄花序在各冠层的分配比例与植株生长因子间相关不显著($P > 0.05$), 且立地间差异不显著($P > 0.05$)。土山各冠层的雌、雄花序数与植株生长因子相关不显著; 而石山上、中层雄花序数与冠长、中层雄花序数与冠幅相关显著($P < 0.05$)。

为 10%~15%。土山和石山两种立地间西南桦植株树冠上层雌雄花枝所占比例差异极显著($P < 0.01$), 分别为 23.5% 和 10.0%; 土山西南桦植株的树冠中、下层雌雄花枝比例分别为 21.9% 和 18.2%, 高于石山(分别为 14.7% 和 9.4%), 但其差异不显著($P > 0.05$)。

土山和石山西南桦生殖枝在枝序上的分布规律为与一级枝 > 二级枝 > 其他级枝, 其中一级枝的比例分别为 92.9% 和 88.9%, 二级枝为 5.2% 和 8.0%, 其他级枝为 2.0% 和 3.2%, 可见两种立地上西南桦植株的绝大部分生殖枝为一级枝, 而二级和其他级枝所占的比例非常小, 与风媒植物栲树相似^[1]。

4 讨论

以往的研究表明, 植株大小是决定其开花始期、生殖构件数量的重要因素^[1], 一些学者提出了生殖力与植株大小相关的假说^[8]。本研究表明, 石山的西南桦开始开花结实的植株大小显著小于土山, 前者胸径为 10~15 cm 植株中有 11% 开花结实, 5.5~10 cm 植株中亦有 0.9% 开花结实, 最小的仅 5.8 cm, 而后者胸径超过 15 cm 的植株才开花结实。这与其生境差异密切相关: 石山土层较薄, 石粒含量高, 土壤保水性较差, 对林木产生水分胁迫作用, 尤其在旱季制约了林木生长; 石山由于局部岩石裸露, 林分密度较土山立地小, 林木获得的光

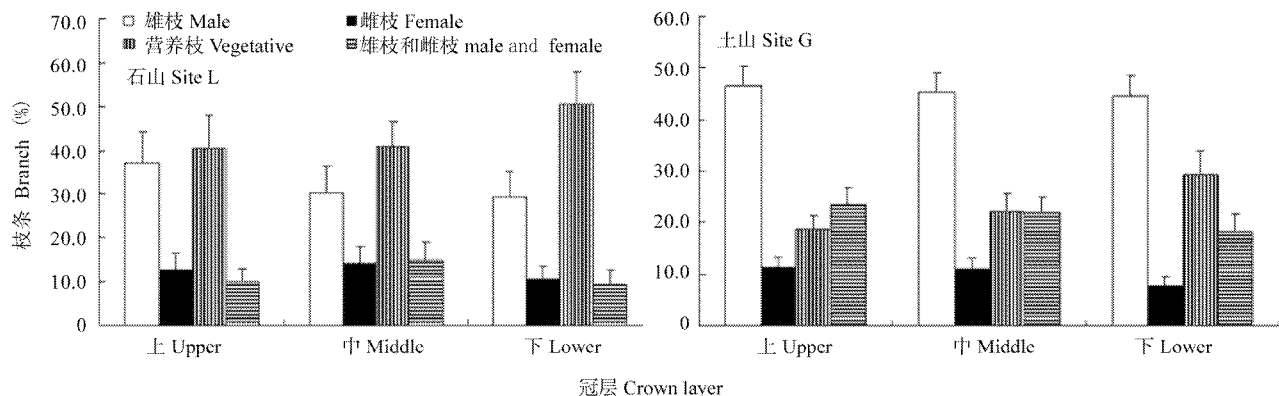


图 6 西南桦雌雄花枝比例与立地、冠层间的关系

Fig. 6 Relationships between ratio of reproductive branches and site types and crown layers of *Betula alnoides*

热资源较土山多;这些因素综合作用导致了石山立地开始生殖行为的植株大小明显小于土山。在石山和土山生境,西南桦植株的花芽、花序数量以及雌、雄花序比率与其树高、胸径间均不存在显著相关性,仅石山植株的花芽、花序数与冠长或冠幅显著相关($P < 0.05$),生殖枝数与胸径、树高及树冠特性显著相关,这与 Masaka 对日本白桦的研究结果基本一致,雌雄同株异花的风媒植物的植株大小与生殖构件特征并没有必然的相关性^[7]。

在本研究中,西南桦植株的雌、雄花序数与其总花序数显著相关($P < 0.05$),亦与 Masaka 的研究结果一致^[7],但两者间亦有较大差异。西南桦在生殖投资较小,即总花序数较小的情况下,西南桦趋向于优先发育雄花序,在生殖投资较大的情况下主要增加雌花序的发育(图 2);而日本白桦则相反,在生殖投资较小的情况下优先发育雌花序,在生殖投资较大的情况下主要增加雄花序的发育^[7]。这种差异可能与其树种特性以及进化历史有关。

西南桦生殖构件在石山和土山两种生境间亦存在明显差异,石山植株的雄花芽数、每个雄发芽发育出的雄花序数均显著低于土山($P < 0.05$),雄花序少于雌花序的植株比例远高于土山,生殖枝比率亦显著低于土山($P < 0.05$)。然而两种立地间雌花芽数和雌、雄花序数以及雌、雄花序比例则差异不显著。这也说明了西南桦生殖构件的影响因素较为复杂。除了生境条件影响之外,植株年龄等亦可能是重要因素,而且这些因素可能存在交互作用,本研究是在西南桦天然林中进行的,其年龄确定的难度大。有关日本白桦和白桦生殖构件与年龄间关系的研究亦是在其人工林内调查完成的^[7,12]。随着西南桦人工林的迅猛发展,有关植株年龄与其生

殖构件关系的研究亦将成为可能。

在本研究中,土山和石山两种立地上西南桦生殖植株的雌、雄花序数以及生殖枝数在冠层的分布规律均为上层 > 中层 > 下层;与肖宜安等对长柄双花木的研究结果一致,在他们所研究的各类型群落内以及各年龄阶段,其花序数和生殖枝数均为上层 > 中层 > 下层^[10];而与祖元刚等对白桦的研究结果不一致,对于白桦生殖植株,其雄花序数为中层 > 上层 > 下层,而雌花序数为上层 > 中层 > 下层^[12];亦与灌木种金花茶的生殖构件分布规律不同,金花茶的生殖枝数和生殖枝比率均为中、下层显著大于上层($P < 0.05$)^[11]。这些木本植物的生殖构件在冠层的分布格局之所以不同,可能与其生活型、植株密度、植株年龄等因素的差异有关。

本研究对于西南桦的遗传育种研究具有十分重要的意义。由于西南桦树体高大,开展杂交育种较为困难,我们课题组已建立通过花芽嫁接进行人工授粉的技术体系(另文发表),克服了这一难题。本研究摸清了西南桦生殖构件及其空间格局,对于花芽的采集提供了技术依据。而且本研究揭示了石山和土山两种立地上西南桦生殖构件差异,亦为西南桦种子园建设提供了理论依据和有益启示,如通过种子园的密度控制调节园内光热状况,辅以适当的胁迫处理,诱导植株提前开花结实。

参考文献

- [1] Chen B(陈波), Song Y C(宋永昌), Da L J(达良俊). Study on reproductive unit size and reproductive modules dynamics of *Castanopsis fargesii* in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province [J]. Bull Bot Res (植物研究), 2004, 24(1): 80-86. (in Chinese)
- [2] Su Z X(苏智先), Zhang S L(张素兰), Zhong Z C(钟章成).

- Advances in plant reproductive ecology [J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), 1998, 17(1): 39–46.(in Chinese)
- [3] Cooper S D, McGraw J B. Constraints on reproductive potential at the level of the shoot module in three ericaceous shrubs [J]. *Funct Ecol*, 1988, 2(1): 97–108.
- [4] Lopez F, Fungairino S, de las Heras P, et al. Age changes in the vegetative vs. reproductive allocation by module demographic strategies in a perennial plant [J]. *Plant Ecol*, 2001, 157: 13–21.
- [5] Drezner T D. Variation in age and height of onset of reproduction in the saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*) in the Sonoran Desert [J]. *Plant Ecol*, 2008, 194: 223–229.
- [6] Henriksson J, Ruohomaki K. Assessing costs of reproduction in mountain birch: The importance of considering the modular level [J]. *Ann Bot*, 2000, 86: 503–510.
- [7] Masaka K. Floral sex allocation at individual and branch levels in *Betula platyphylla* var. *Japonica* (Betulaceae), a tall, wind-pollinated monoecious tree species [J]. *Amer J Bot*, 2007, 94(9): 1450–1458.
- [8] Masaka K, Takada T. Floral sex ratio strategy in wind-pollinated monoecious species subject to wind-pollination efficiency and competitive sharing among male flowers as a game [J]. *J Theor Biol*, 2006, 240: 114–125.
- [9] Bian C M(边才苗), Jin Z X(金则新), Li J M(李钧敏). Characteristics of reproductive modules of endangered *Heptacodium miconioides* [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*(西北植物学报), 2005, 25(4): 756–760.(in Chinese)
- [10] Xiao Y A(肖宜安), He P(何平), Hu W H(胡文海), et al. Temporal and spatial dynamics of reproductive modules of endangered plant *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* natural populations [J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), 2005, 16(7): 1200–1204.(in Chinese)
- [11] Chai S F(柴胜丰), Wei X(韦霄), Jiang Y S(蒋运生), et al. The flowering phenology and characteristics of reproductive modules of endangered plant *Camellia nitidissima* [J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), 2009, 17(1): 5–11.(in Chinese)
- [12] Zu Y G(祖元刚), Mao Z J(毛子军), Yuan X Y(袁晓颖), et al. The blooming and production of reproductive modules in relation to tree age and their position within crowns in *Betula platyphylla* [J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 2000, 20(4): 673–677.(in Chinese)
- [13] Zeng J(曾杰), Zheng H S(郑海水), Weng Q J(翁启杰). Geographic distributions and ecological conditions of *Betula alnoides* in China [J]. *For Res*(林业科学研究), 1999, 12(5): 479–484.(in Chinese)
- [14] Zeng J(曾杰), Guo W F(郭文福), Zhao Z G(赵志刚), et al. Domestication of *Betula alnoides* in China: Current status and perspectives [J]. *For Res*(林业科学研究), 2006, 19(3): 379–384.(in Chinese)
- [15] Chen B(陈波), Da L J(达良俊), Song Y C(宋永昌). Flowering phenology and floral distribution of *Castanopsis fargesii* in Tiantong, Zhejiang Province [J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 2003, 27(2): 249–255.(in Chinese)