

广东石门台亚热带典型常绿阔叶林和 亚热带山顶矮林群落特征

解丹丹^{1,2}, 苏志尧^{2*}

(1. 许昌学院城乡规划与园林学院, 河南许昌 461000; 2. 华南农业大学林学院, 广州 510642)

摘要: 为了研究亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林的物种组成和群落结构, 在广东石门台国家自然保护区内分别建立了 1 hm² 亚热带典型常绿阔叶林样地和 1 hm² 亚热带山顶矮林样地, 以样地内所有胸径 (DBH) ≥ 1 cm 的乔木、灌木和藤本为研究对象, 分析两种森林类型的物种组成、密度、径级和株高结构。结果显示: (1) 两种森林的 Sørensen 物种相似性指数为 0.41, 优势种不同, 但优势科却较相似; 其中, 茶科和杜鹃花科在两种森林中所占比例较高; (2) 亚热带典型常绿阔叶林的幼苗 ($1\text{ cm} \leq DBH < 2.5\text{ cm}$) 和幼树 ($2.5\text{ cm} \leq DBH < 12.5\text{ cm}$) 密度都显著小于亚热带山顶矮林, 但两种森林的小树 ($12.5\text{ cm} \leq DBH < 25\text{ cm}$) 和大树 ($DBH \geq 25\text{ cm}$) 密度均无显著差异; 亚热带典型常绿阔叶林幼苗和大树的平均胸径都显著大于亚热带山顶矮林, 而幼树的平均胸径则显著小于亚热带山顶矮林, 小树的平均胸径无显著差异; 亚热带典型常绿阔叶林中小树和大树的平均高度都显著大于亚热带山顶矮林, 而幼苗的平均高度显著小于亚热带山顶矮林, 幼树的平均高度无显著差异。综合分析表明, 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林的物种组成、密度、胸径和高度结构差异较大, 亚热带典型常绿阔叶林群落稳定性强于亚热带山顶矮林。

关键词: 群落结构; 物种组成; 亚热带典型常绿阔叶林; 亚热带山顶矮林; 石门台国家自然保护区; 广东

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2014)04-0355-07

Species Composition and Community Structure of Typical Subtropical Evergreen Broad-leaved Forest and Subtropical Montane Elfin Forest in Shimentai National Nature Reserve in South China

XIE Dan-Dan^{1,2}, SU Zhi-Yao^{2*}

(1. College of Urban-rural Planning and Landscape Architecture, Xuchang University, Xuchang, Henan 461000, China;

2. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: To study species composition and community structure of typical subtropical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF), we established 1 hm² EBLF plots and 1 hm² MELF plots in Shimentai National Nature Reserve in Guangdong, South China. Using all woody plants with $DBH \geq 1$ cm, including trees, shrubs and lianas in each plot, the species composition and community structure of the plots were analyzed based on species community, density, diameter at breast height (DBH) class structure and plant height structure of the area. Results showed that dominant species differed between EBLF and MELF, with a Sørensen similarity index value of 0.41, but dominant families (Theaceae and Ericaceae) were similar. The mean densities of seedlings ($1\text{ cm} \leq DBH < 2.5\text{ cm}$) and saplings ($2.5\text{ cm} \leq DBH < 12.5\text{ cm}$) were lower in EBLF than those in

收稿日期: 2013-10-08, 退修日期: 2014-03-17。

基金项目: 广东省林业科技创新专项资金项目(2010KJ CX012-02)。

作者简介: 解丹丹(1983-), 女, 博士, 主要从事森林生态学研究(E-mail: dandan854080@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zysu@scau.edu.cn)。

MELF, while there were no differences in density of small trees ($12.5 \text{ cm} \leq DBH < 25 \text{ cm}$) and adult trees ($DBH \geq 25 \text{ cm}$) between the two forest types. EBLF had higher mean DBH of seedlings and adult trees, but lower mean DBH of saplings than those of MELF, while there were no differences in mean DBH of small trees between the two forest types. Mean height of small trees and adult trees were higher and mean height of seedlings were lower in EBLF than those in MELF, but there were no differences in mean height of saplings between the two forest types. Our results highlight the differences in community structure and species diversity between EBLF and MELF, which likely resulted from differences in structure and diversity maintenance mechanisms of these two forest types, with EBLF being more stable than MELF.

Key words: Community structure; Species composition; Subtropical typical evergreen broad-leaved forest; Subtropical montane elfin forest; Shimentai National Nature Reserve; Guangdong

亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林是中国亚热带地区两种重要的植被类型^[1]。亚热带山顶矮林的群落外貌、高度、结构等都与亚热带典型常绿阔叶林有明显区别,如植株较矮,小径级乔木居多,植株密度较大等等^[2]。亚热带山顶矮林常分布在高海拔的山顶或山脊且地形复杂,野外调查难度极大。全球气候变化加剧,高海拔森林生态系统对此变化可能更加敏感,某些植物表现出向高海拔生境迁移的趋势^[3,4]可以看作是植物对气候变化的一种适应能力。在此背景下,亚热带山顶矮林群落可能逐渐被海拔更低的亚热带常绿阔叶林取代。因此,迫切需要对这两种森林的动态变化进行监测研究。马旭东等^[5]、尹爱国等^[6]和王旭等^[7]分别对广东车八岭、石门台和南岭自然保护区亚热带常绿阔叶林和亚热带山顶矮林群落特征进行了初步研究,但尚未见对两种森林的物种组成和群落结构进行比较的研究报道。了解物种组成和群落结构是认识森林生态系统过程和功能的基础,且能为揭示物种共存机制提供重要信息^[8,9]。而群落结构通常通过物种数量、组成和多度 3 个基本指标进行考察^[10]。因此,本研究以广东石门台自然保护区两种森林类型样地内植株胸径(DBH) $\geq 1 \text{ cm}$ 的所有乔木、灌木和藤本植物为研究对象,系统比较两种森林类型的物种组成、密度、径级和高度结构,以期亚热带森林的可持续经营提供基础性资料。

1 研究地区自然概况

广东省英德市北部的石门台自然保护区,地理位置处于 $24^{\circ}23'49'' \sim 24^{\circ}28'04''\text{N}$, $113^{\circ}16'$

$07'' \sim 113^{\circ}20'18''\text{E}$, 总面积达 $82\,260 \text{ hm}^2$, 以中低山地和丘陵为主,海拔高度为 $100 \sim 1587 \text{ m}$ 。该地区属亚热带季风气候,干湿季明显,4–10 月为雨季,年降雨量 2000 mm 以上,相对湿度 79% , 11 月至次年 3 月为旱季。该区年平均气温 20.8°C , 1 月平均气温 10.9°C , 极端最低气温 -3.6°C , 7 月平均气温 28.9°C , 极端最高气温达 38.6°C 。沿海拔梯度依次分布有沟谷季风常绿阔叶林、山地常绿阔叶林、亚热带常绿针阔叶混交林、山顶矮林、崖壁矮林、亚热带常绿针叶林、亚热带灌草丛和亚热带草丛。其中,常绿阔叶林是较为典型的植被类型,群落外貌浅绿色,郁闭度 $0.70 \sim 0.95$, 层间植物较少,林下多见蕨类植物。山顶矮林主要分布在海拔 700 m 以上的山脊和山顶,物种成分较少,群落总体矮化,树形多分枝和弯曲,群落外貌灰暗,郁闭度一般为 $0.60 \sim 0.80$ ^[1]。该区土壤类型以红壤、山地黄壤、赤红壤为主。主要保护对象为亚热带常绿阔叶林和珍稀动植物。

2 研究方法

2.1 野外调查

2011 年 7 月,在石门台自然保护区的典型常绿阔叶林 [typical evergreen broad-leaved forest (EBLF), $24^{\circ}24'48''\text{N}$, $113^{\circ}18'20''\text{E}$, 海拔 235 m] 和山顶矮林 [montane elfin forest (MELF), $24^{\circ}25'15''\text{N}$, $113^{\circ}19'24''\text{E}$, 海拔 710 m] 分别设置一个 1 hm^2 样地,每个样地再划分为 25 个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方。两个样地总面积为 2 hm^2 , 主体坡

向均为西南坡。在每个 20 m × 20 m 的样方内进行每木调查(胸径 ≥ 1 cm)，包括乔木、灌木和大型的木质藤本植物，记录种名、胸径和株高(藤本植物只记录胸径)。

2.2 统计分析

分别统计亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林所有样方内的物种数及其科、属组成。乔木层重要值的计算公式为： $IV = (RF + RD + RB) / 3$ ，其中， RF 为相对频度， RD 为相对密度， RB 为相对优势度^[11]。用 Sørensen 相似性指数比较两种森林的物种相似性，计算公式为： $C_s = 2c / (a + b)$ ， a 、 b 分别为两种森林各自的物种数； c 为二者共有的物种数。

按照径级大小将植株分为幼苗(1 cm ≤ DBH < 2.5 cm)、幼树(2.5 cm ≤ DBH < 12.5 cm)、小树(12.5 cm ≤ DBH < 25 cm)和大树(DBH ≥ 25 cm)^[12, 13] 4 个等级。用 Kruskal-Wallis (非参数的 ANOVA) 检验比较两种森林类型间幼苗、幼树、小树和大树的密度、胸径和高度是否存在显著差异。

所有数据统计分析在 Excel 2007 和 Statistica 8.0 软件中完成($\alpha = 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 群落物种组成

亚热带典型常绿阔叶林样地 $DBH \geq 1$ cm 的物种有 56 种，分属于 28 科 45 属。其中，主要优势科有茶科 Theaceae、杜鹃花科 Ericaceae 和山矾科 Symplocaceae(表 1)；主要优势物种(按重要值从大到小排列)为：木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.、腺叶山矾 *Symplocos adenophylla* Wall.、紫花杜鹃 *Rhododendron mariae* Hance、桃叶石楠 *Photinia prunifolia* Lindl、鼠刺 *Itea chinensis* Hook. et Arn. 和虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) Rosenth.。样地内 $DBH \geq 1$ cm 的物种个体共计 1816 株。其中， $DBH < 2.5$ cm 的个体有 358 株(19.71%)、 $DBH \geq 12.5$ cm 的个体有 263 株、 $DBH \geq 25$ cm 的个体有 65 株(3.58%)；平均 DBH 为 6.6 cm，最大 DBH 为 45.6 cm(木荷)。

亚热带山顶矮林样地 $DBH \geq 1$ cm 的物种有 75 种，分属于 38 科 58 属。其中，主要优势科有樟科 Lauraceae、杜鹃花科和茶科(表 1)；主要优

表 1 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林主要优势物种
Table 1 Top 10 dominant families and species in subtropical typical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF)

群落 Community	科名 Family	重要值 IV	种名 Species	重要值 IV
EBLF	茶科 Theaceae	24.40	木荷 <i>Schima superba</i>	24.40
EBLF	杜鹃花科 Ericaceae	11.38	腺叶山矾 <i>Symplocos adenophylla</i>	10.04
EBLF	山矾科 Symplocaceae	10.04	紫花杜鹃 <i>Rhododendron mariae</i>	9.19
EBLF	蔷薇科 Rosaceae	6.91	桃叶石楠 <i>Photinia prunifolia</i>	6.28
EBLF	大戟科 Euphorbiaceae	5.49	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	5.42
EBLF	鼠刺科 Escalloniaceae	5.42	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	4.68
EBLF	紫金牛科 Myrsinaceae	5.34	密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	3.61
EBLF	樟科 Lauraceae	4.88	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	3.47
EBLF	交让木科 Daphniphyllaceae	4.68	鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	3.05
EBLF	柿科 Ebenaceae	3.59	白背算盘子 <i>Glochidion wrightii</i>	2.96
MELF	樟科 Lauraceae	25.79	中华楠 <i>Machilus chinensis</i>	17.62
MELF	杜鹃花科 Ericaceae	15.26	紫花杜鹃 <i>Rhododendron mariae</i>	15.17
MELF	茶科 Theaceae	10.69	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	7.19
MELF	柿科 Ebenaceae	7.19	黄樟 <i>Cinnamomum porrectum</i>	5.64
MELF	壳斗科 Fagaceae	6.04	木荷 <i>Schima superba</i>	4.95
MELF	紫金牛科 Myrsinaceae	4.84	密花树 <i>Rapanea neriifolia</i>	4.75
MELF	山龙眼科 Proteaceae	4.25	网脉山龙眼 <i>Helicia reticulata</i>	4.25
MELF	鼠刺科 Escalloniaceae	3.03	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	3.06
MELF	木兰科 Magnoliaceae	2.84	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	3.03
MELF	桃金娘科 Myrtaceae	2.06	石笔木 <i>Tutcheria championii</i>	2.09

势物种 (按重要值从大到小排列) 为: 中华楠 *Machilus chinensis* (Champ. ex Benth.) Hemsl.、紫花杜鹃、罗浮柿 *Diospyros morrisiana* Hance、黄樟 *Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kost. [*C. parthenoxylum* Nees]、木荷和密花树 *Rapanea neriifolia* (S. et Z.) Mez。样地内 $DBH \geq 1$ cm 的物种个体共计 3208 株。其中, $DBH < 2.5$ cm 的个体有 650 株 (20.26%)、 $DBH \geq 12.5$ cm 的个体有 288 株、 $DBH \geq 25$ cm 的个体有 48 株 (1.50%); 平均 DBH 为 5.8 cm, 最大 DBH 为 43.8 cm (杨梅 *Myrica rubra* Sieb. et Zucc.)。

两种森林样地共调查到 104 个物种, 分属于 45 科 78 属, 两种森林物种的 Sørensen 相似性指数为 0.41, 科的 Sørensen 相似性指数为 0.64, 属的 Sørensen 相似性指数为 0.49。可见, 亚热带典型常绿阔叶林与亚热带山顶矮林中的优势种不同, 但优势科却相似, 茶科和杜鹃花科在两种森林中所占比例均较高。两种森林类型中均以小径级植株占优势, 大径级植株数量很少, 说明两种森林群落均处于大批幼年个体向成年个体转化的过程中,

群落稳定性不强^[4]。

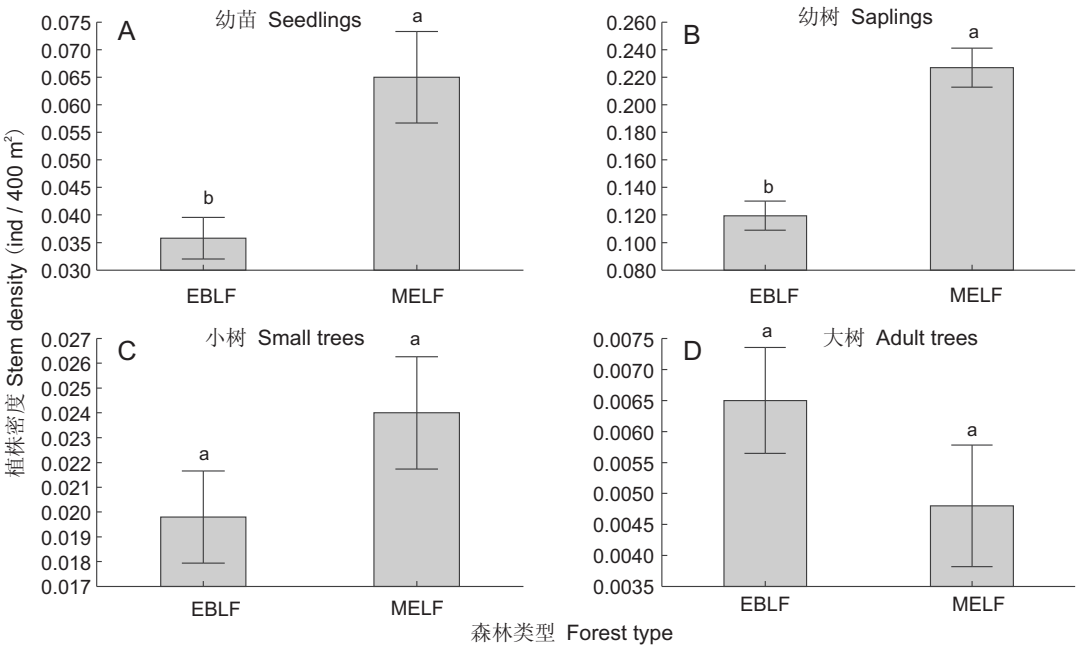
3.2 群落结构特征

3.2.1 个体密度

研究结果显示, 亚热带典型常绿阔叶林的幼苗和幼树的平均密度都显著小于亚热带山顶矮林 (图 1: A, B), 而两种森林的小树和大树的平均密度均无显著差异 (图 1: C, D)。两种森林的平均密度均是幼树 > 幼苗 > 小树 > 大树, 且不同径级植株间都有显著差异 ($P < 0.001$), 表明两种森林群落均处于进展演替的过程中, 且处于中期阶段, 群落稳定性较弱^[4]。

3.2.2 径级结构与更新

研究结果显示, 亚热带典型常绿阔叶林的幼苗和大树的平均胸径都显著大于亚热带山顶矮林 (图 2: A, D), 而亚热带典型常绿阔叶林幼树的平均胸径显著小于亚热带山顶矮林 (图 2: B)。而两种森林类型间小树的平均胸径无显著差异 (图 2: C)。对亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林中 6 种优势树种的径级结构进行分析, 结果显示, 亚热带典型常绿阔叶林样地中 6 种优势树种中的 4 种, 即



幼苗: 1 cm ≤ DBH < 2.5 cm; 幼树: 2.5 cm ≤ DBH < 12.5 cm; 小树: 12.5 cm ≤ DBH < 25 cm; 大树: DBH ≥ 25 cm。不同小写字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$)。下同。
Seedlings: 1 cm ≤ DBH < 2.5 cm; Saplings: 2.5 cm ≤ DBH < 12.5 cm; Small trees: 12.5 cm ≤ DBH < 25 cm; Adult trees: DBH ≥ 25 cm。Different lowercase letters indicate significant differences at the confidence level of $P < 0.05$. The same below.

图 1 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林物种平均密度比较

Fig. 1 Comparison of individual density for woody plants between typical subtropical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF)

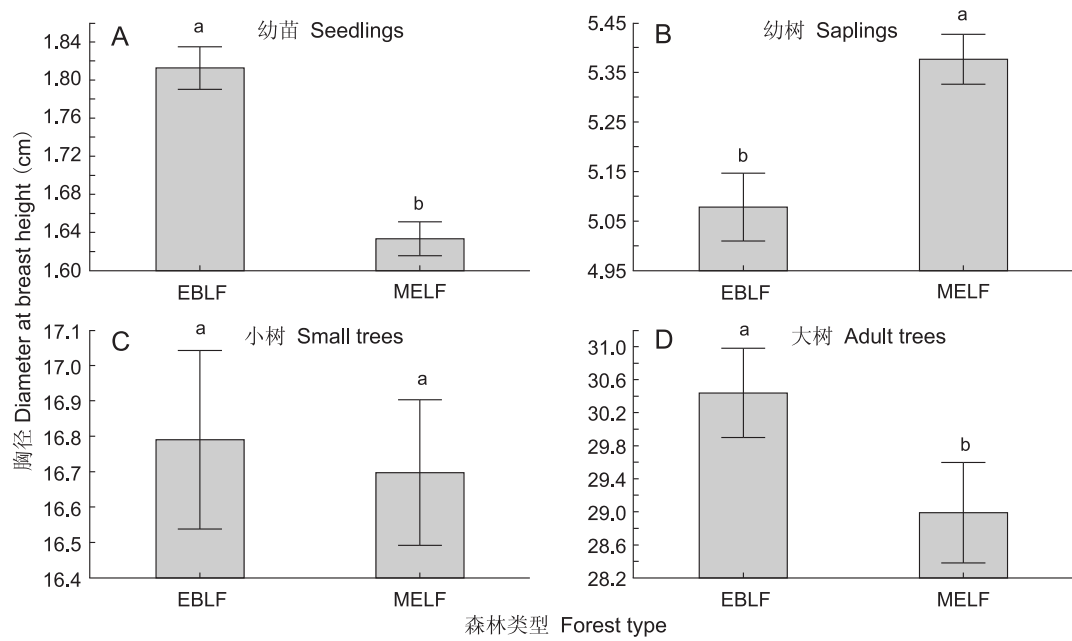


图 2 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林植株的平均胸径比较
Fig. 2 Comparison of DBH for woody plants between typical subtropical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF)

木荷、腺叶山矾、桃叶石楠和虎皮楠的径级结构均呈现小径级的个体占多数，随着径级的增大株数越来越少的分布规律，其余两种（紫花杜鹃和鼠刺）均为幼年个体居多（图 3：A~F）；而亚热带山顶矮林样地中 6 种优势树种中，仅密花树 1 种以幼年个体居多，其余 5 种径级结构呈不规则的偏正态分布，表明该群落中的优势种群的径级分布不均匀（图 3：G~L）。根据林木个体之间的竞争理论^[4]，亚热带典型常绿阔叶林中优势树种的径级分布结构是合理的，再结合前面（3.2.1）密度结构分析结果，进一步表明亚热带典型常绿阔叶林的群落稳定性强于亚热带山顶矮林^[10]。

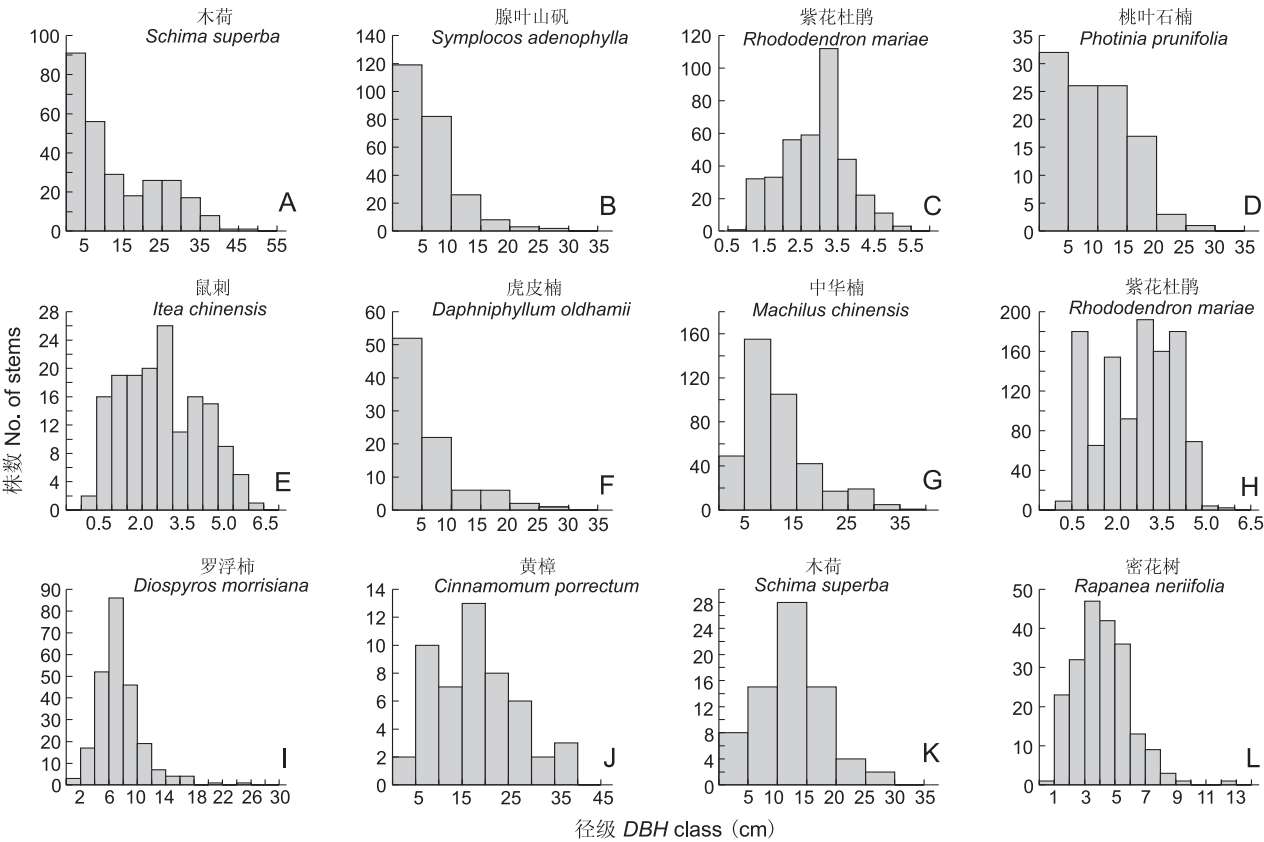
3.2.3 植株高度

研究结果显示，亚热带典型常绿阔叶林的小树和大树的平均高度都显著大于亚热带山顶矮林（图 4：C，D），而亚热带典型常绿阔叶林幼苗的平均高度显著小于亚热带山顶矮林（图 4：A）。两种森林类型间幼树的平均高度无显著差异（图 4：B）。

4 讨论

通过对广东石门台国家自然保护区亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林物种组成和群落结构的研究，结果表明茶科和杜鹃花科在两种森林群落

中所占比例均较高，但茶科在亚热带山顶矮林群落中所占比例比亚热带典型常绿阔叶林显著减少，而杜鹃花科所占比例则有显著增加趋势，反映了亚热带山顶矮林群落所处的特有生境^[6]。两种森林类型群落优势种的相似性不高，但优势科却相似，说明亚热带山顶矮林可能是亚热带典型常绿阔叶林向高海拔山脊或山顶地带的延伸分布，但由于地形和气候环境变化的影响，两者的群落结构和外貌产生了较大差别^[4]。亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林内个体平均密度都是幼树 > 幼苗 > 小树 > 大树，说明随着径级的增大株数越来越少的分布趋势并不明显，两类森林群落都处于不稳定状态，但从优势树种的径级结构来看，亚热带典型常绿阔叶林群落稳定性强于亚热带山顶矮林^[10,14]。全球气候变化会造成沿山体分布的植物产生适应性迁移^[15]，在此背景下，高海拔稳定性弱的山顶矮林很可能被低海拔稳定性较强的常绿阔叶林所替代；即使该地段确实发生了因气候变化造成的物种迁移和群落替代，但因为两个研究样地距离过远，也可能检测不到这种变化^[16]。植物竞争作用对不同径级植株的数量差异影响可能很大^[17]。亚热带典型常绿阔叶林幼苗和幼树的平均密度都小于亚热带山顶矮林，这可能是由于亚热带典型常绿阔叶林冠层



A~F 为亚热带典型常绿阔叶林的 6 种优势树种；G~L 为亚热带山顶矮林的 6 种优势树种。
A – F were the six most dominant tree species of typical subtropical evergreen broad-leaved forest; G – L were the six most dominant tree species of subtropical montane elfin forest.

图 3 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林 6 种优势树种的径级结构
Fig. 3 Size class of six most dominant woody plants in typical subtropical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF)

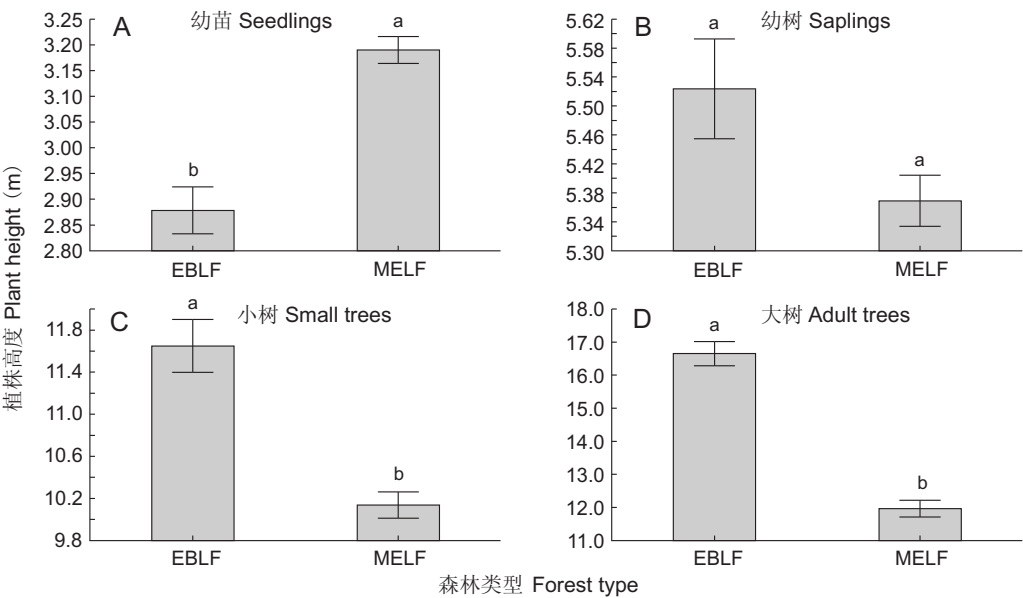


图 4 亚热带典型常绿阔叶林和亚热带山顶矮林植物的平均高度比较
Fig. 4 Comparison of mean plant height for woody plants between typical subtropical evergreen broad-leaved forest (EBLF) and subtropical montane elfin forest (MELF)

郁闭度和植株平均高度大于亚热带山顶矮林, 从而导致其林下光照较弱, 对植物更新生长不利^[18]; 此外, 亚热带山顶矮林土层薄^[7], 树木根系分布浅, 大树因受风容易倾倒形成林隙, 为小的个体提供了适宜的温度和光照, 使幼苗和幼树得以保留。亚热带典型常绿阔叶林中小树和大树的平均株高均大于亚热带山顶矮林, 反映了其林内植物对光的竞争作用更强^[19]。两种森林类型间植株高度和胸径差异还可能与土壤营养状况有关, 植物在低营养环境中可能采取较为保守的营养投资策略^[20], 将营养主要用于繁殖, 所以植株生长较慢。这些均有待于进一步从群落结构和多样性维持机制角度进行研究。

参考文献:

[1] 苏志尧, 陈北光, 吴大荣. 广东英德石门台自然保护区的植被类型和群落结构[J]. 华南农业大学学报, 2002, 23(1): 58-62.

[2] Zhu H, Xu ZF, Wang H, Li BG. Tropical rain forest fragmentation and its ecological and species diversity changes in southern Yunnan[J]. *Biod Conserv*, 2004, 13(7): 1355-1372.

[3] Lenoir J, Gégout JC, Marquet PA, de Ruffray P, Brisse H. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century [J]. *Science*, 2008, 320(5884): 1768-1771.

[4] 龙文兴, 臧润国, 丁易. 海南岛霸王岭热带山地常绿林和热带山顶矮林群落特征[J]. 生物多样性, 2011, 19(5): 558-566.

[5] 马旭东, 张苏峻, 苏志尧, 区余端, 刘刚. 车八岭山地常绿阔叶林群落结构特征与微地形条件的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5151-5160.

[6] 尹爱国, 贾小容, 苏志尧, 李彩虹. 广东石门台自然保护区山顶矮林植物区系的研究[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(2): 86-90.

[7] 王旭, 胡文强, 李家湘, 黄世能. 广东南岭石坑崆山顶矮林群落结构特征[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(6): 12-17.

[8] Tilman D, Reich PB, Knops JMH. Biodiversity and ecosystem stability in a decade long grassland experiment[J]. *Nature*, 2006, 441: 629-632.

[9] 吴娱, 张相锋, 董世魁, 刘世梁, 张翔, 苏旭坤, 王

学霞, 李媛媛. 阿尔金山自然保护区东部典型植物群落的物种组成、多样性及生物量[J]. 生态学杂志, 2013, 9(32): 2250-2256.

[10] 卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 路俊盟, 王庆刚, 何东, 张奎汉, 徐耀粘, 刘海波, 孟红杰, 黄汉东, 魏新增, 廖建雄, 乔秀娟, 江明喜, 谷志容, 廖春林. 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构[J]. 植物科学学报, 2013, 31(4): 336-344.

[11] 区余端, 苏志尧, 解丹丹, 柯炳氢, 李镇魁. 雪灾后粤北山地常绿阔叶林优势树种幼苗更新动态[J]. 生态学报, 2011, 31(10): 2708-2715.

[12] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯. 闽江口琅岐岛朴树种群结构与空间分布格局[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 221-226.

[13] 林玥, 任坚毅, 岳明. 太白山红桦种群结构与空间分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1335-1345.

[14] 方精云, 李意德, 朱彪, 刘国华, 周光益. 海南岛尖峰岭山地雨林的群落结构、物种多样性以及在世界雨林中的地位[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 29-43.

[15] 王纪军, 裴铁璠. 气候变化对森林演替的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1722-1730.

[16] 岳天祥, 范泽孟. 典型陆地生态系统对气候变化响应的定量研究[J]. 2014, 59(3): 217-231.

[17] Hao ZQ, Zhang J, Song B, Ye J, Li BH. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest [J]. *Forest Ecol Manag*, 2007, 252(1-3): 1-11.

[18] Trouwborst G, Oosterkamp J, Hogewoning SW, Harbinson J, Van Leperen W. The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy [J]. *Physiol Planta*, 2010, 138(3): 289-300.

[19] Díaz S, Lavorel S, de Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson TM. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments [J]. *Proc National Acad Sci USA*, 2007, 104(52): 20684-20689.

[20] Hooper DU, Chapin FS, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge[J]. *Ecol Monogr*, 2005, 75(1): 3-35.