

浙江天童国家森林公园微地形与植被结构的关系

杨永川^{1, 2}, 达良俊^{3, 4*}, 由文辉^{3, 4}

(1. 重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 2. 教育部三峡库区生态环境重点实验室, 重庆 400045;
3. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 4. 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘要: 植物群落的本质特征之一是群落中的植物和环境之间存在一定的相互关系。丘陵地区的地形由各种微地形单元构成, 这些微地形单元在空间上的分化提供的异质化的生境导致了区域丰富的物种和群落多样性的形成。选择浙江东部低山丘陵地区具有典型代表意义的天童国家森林公园, 在地形识别的基础上, 结合详细的植被调查, 分析了不同微地形单元物种组成及其林分结构的变化。结果表明, 基于物种组成相似性, 7 个微地形单元可以归为 2 组, 与通过侵蚀前线划分结果一致。依据物种在这 2 个小尺度地形单元的分布格局, 可以划分出 3 个特征种组, 即上部坡面分布型、下部坡面分布型和无统计偏差型。壳斗科、山茶科、冬青科和山矾科常绿物种是构成上部坡面植被的主要成分, 而榆科、槭树科、胡桃科和漆树科等的落叶种及樟科常绿种则是构成下部坡面植被的主要成分。下部坡面各微地形单元的林分垂直构造比上部坡面复杂, 由榆科、槭树科、胡桃科和漆树科生境先锋种形成的明显超高层以及超大个体的存在是其显著特征。但其密度低于上部坡面微地形单元。上部坡面的顶坡和谷头凹地明显缺乏乔木层的存在。侵蚀前线是丘陵地区不同生境最重要的划分界限, 由其切分上部坡面和下部坡面是评价物种组成和林分结构的两大基本功能区域。

关键词: 天童国家森林公园; 低山丘陵; 微地形单元; 侵蚀前线; 物种组成; 群落结构

文章编号: 1000-0933(2005)11-2830-11 **中图分类号:** Q 143 **文献标识码:** A

Vegetation structure in relation to micro-landform in Tiantong National Forest Park, Zhejiang, China

YANG Yong-Chuan^{1, 2}, DA Liang-Jun^{3, 4*}, YOU Wen-Hui^{3, 4} (1. Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2. Key Lab of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University Ministry of Education, Chongqing 400045, China; 3. Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 4. Shanghai Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and Eco-restoration, Shanghai 200062, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2830~2840

Abstract The relationship between plants and conditions is one of the most essential characters of plant communities. The landform of a hilly area usually consists of various micro-landform units. The heterogeneous habitats created by spatial arrangement of those units may support richer species and more communities. Landforms are assumed to be one of the most principal and determinant factors affecting the vegetation pattern within a climatic region. In humid hilly regions, the habitats are influenced by water erosion, which varies in frequency and extent. Tiantong National Park (29°48'N, 121°47'E), a representative hilly and lower mountainous area with well-protected vegetation in East Zhejiang, was selected to study the relationship between micro-landforms and vegetation structure.

Seven micro-landform units, i.e., crest slope (CS), upper sideslope (US), head hollow (HH), lower sideslope (LS),

基金项目: 国家重点基础发展研究计划资助项目(G2000046801); 国家自然科学基金重点资助项目(30130060)

收稿日期: 2005-05-27; **修订日期:** 2005-08-24

作者简介: 杨永川(1977~), 男, 重庆铜梁人, 博士, 主要从事植被生态学和城市生态学研究. E-mail: yongchuanyang@yahoo.com.cn

致谢: 研究工作得到横滨国立大学 Takao Kikuchi 教授指导; 论文写作过程中华东师范大学环境科学系陈小勇教授和杭州师范学院陈波副教授提供了宝贵的建议; 野外工作得到杨同辉、方和俊、宋坤、宋立彬和麻寒娜等同学帮助, 在此一并致谢

Foundation item: State Key Basic Research Program of China (No. G2000046801); National Natural Science Key Foundation of China (No. 30130060)

Received date: 2005-05-27; **Accepted date:** 2005-08-24

Biography: YANG Yong-Chuan, Ph.D., mainly engaged in vegetation ecology and urban ecology. E-mail: yongchuanyang@yahoo.com.cn

foot slope (FS), flood terrace (FT) and river bed (RB), were identified. They could be classified into two parts based on the similarity of species composition, namely upper hillslope (UHA) (including CS, US and HH) and lower hillslope (LHA) (including LS, FS, FT and RB). The result was coincident with that divided by erosion line. Based on the distribution patterns between the UHA and LHA, the species were classified into three groups. Group A was mostly or strictly confined to UHA, group B was confined to LHA, and group C was associated statistically with neither part. Evergreen species of Fagaceae, Theaceae, Symplocaceae and Aquifoliaceae were the main components of the vegetation developed in UHA, while deciduous species of Juglandaceae, Ulmaceae, Anacardiaceae and evergreen species of Lauraceae were the main components of vegetation developed in LHA. Though the densities were lower than those in UHA, the vertical structure of the forest stands on the micro-landform units in LHA was more complex. The existence of emergent layer composed by species of Juglandaceae, Ulmaceae and Anacardiaceae was the most remarkable feature of the forest stands in LHA. However, among the micro-landforms in UHA, vegetation on two micro-landforms, i.e., crest slope and head hollow, lack obvious tree layer.

Above results indicated that the erosion front is an important reference in demarcating different habitats within the hilly regions. The UHA and LHA demarcated by the erosion line were functional areas for assessing species composition and stand structure.

Key words: Tiantong National Forest Park; hilly and mountainous region; micro-landform unit; erosion front; species composition; stand structure

植物群落的本质特征之一是群落中的植物和环境之间存在一定的相互关系^[1]。在区域至全球尺度上, 地带性气候条件是决定植物种、生活型或植被类型分布的主导因素^[1,2], 而在同一气候区, 地形是影响植被格局的最重要的因子之一^[3~6]。地形通过地貌过程, 对植被产生直接作用^[7]。在由陡峭的地形及丰富的降水形成的高侵蚀速度的山地或丘陵地区, 植被的格局和动态受地表的侵蚀过程影响, 一旦这些过程的时间间隔小于植物的寿命, 就会影响它们的建立和生长^[3,8]。因此, 植被结构的差异和特定的地形构造密切相关。此外, 它还通过形态(如起伏等)的变化控制了光、热、水和土壤养分等资源因子的空间再分配^[7,9]。因此, 地形是为植物群落提供生境多样性的最重要的环境梯度之一, 植被格局与地形格局密切相关^[10]。

湿润的丘陵地区是主要被水侵蚀(包括水的间接影响, 如滑坡等)而形成的包含各种干扰频率的生境复合体, 是一个从小流域角度来研究植被与地形的关系的理想单元^[3]。同时, 丘陵是与人类的生活关系最为密切的地区^[11], 所以也是人为影响最强的地区。在大的气候相对一致的情况下, 干扰和生境异质性是形成群落及物种多样性的决定因子^[12,13]。丘陵地区的植被通常在人为干扰和生境的双重梯度上表现出很高的多样性和复杂性。

浙江天童国家森林公园的植被因为坐落其中的天童寺而保存良好, 是浙江东部丘陵地区地带性植被的代表地段。在 349hm² 的面积内, 不但物种组成丰富, 包括了蕨类植物 24 科 49 属 96 种 9 变种, 种子植物 148 科 506 属 968 种, 植被类型同样多样, 11 个群落/群丛(含 3 个亚群丛)在此共存^[14]。针对浙江天童国家森林公园植被, 从植物社会学角度开展了一些定性研究^[14~18], 主要的工作集中于人为干扰影响形成的常绿阔叶林次生演替系列^[19~21]①。对公园内丰富的物种和群落多样性的形成和维持机制的研究甚少涉及。本文从地形分化引起的植被分异出发, 通过对不同微地形单元物种组成及其林分结构的变化研究, 旨在为深入理解小的空间范围内生物多样性的形成和维持机制提供基本信息。

1 研究区域及方法

1.1 研究区概况

天童国家森林公园位于浙江鄞州区东南部, 距宁波市 28km, 地处北纬 29°48', 东经 121°47', 面积 349hm²。该地森林植被保存良好, 是浙江省东部丘陵地区地带性植被类型的代表性地段。气候为温暖潮湿的亚热带季风气候。年平均气温为 16.2℃, 最热月为 7 月, 平均温度为 28.1℃; 最冷月为 1 月, 平均气温为 4.2℃; 大于 10℃ 的年积温为 5166.2℃, Kira 的温暖指数(Kira, 1945)是 135℃·月, 寒冷指数是 -0.8℃·月。年降水量为 1374.7mm, 多集中在夏季。年平均相对湿度为 82%, 变率不大。年蒸发量为 1320.1mm, 小于降水量。森林公园内土壤主要为山地黄红壤, 成土母质主要是中生代的沉积岩及部分酸性火成岩和花岗岩残积风化物^[14,21]。

1.2 调查方法

1.2.1 微地形单元识别 采用 Kikuchi^[7]和 Nagamatsu & Miura^[8]的方法(图 1), 在天童国家森林公园内进行微地形单元的辨

① 陈波 栲树(*Castanopsis fargesii* Franch.) 的生殖生态学研究 博士学位论文, 华东师范大学, 上海, 2001

识, 确认了 7 个微地形单元, 即顶坡(CS)、上部边坡(US)、谷头凹地(HH)、下部边坡(LS)、麓坡(FS)、泛滥性阶地(FT)和谷床(RB)。

顶坡(crest slope, CS)是沿着山脊线的缓坡, 占据了坡面的最上面区域, 主要由凸起片断以及分水线构成。上部边坡(upper sideslope, US)位于顶坡的下方, 其上部和下部的边界均为凸起断面的变换线, 其地形剖面通常是线性或者轻微的凸型。谷头凹地(head hollow, HH)是集水区上方的凹坡, 其三面被上部边坡包围, 如果地势起伏较大, 其上部通常有断崖状的谷头急坡(headmost wall, 上部边坡最陡峭的部分)存在, 谷头凹地内既没有溪水也没有沟道, 这个单元通过坡面漫流排水, 也被称为零次谷(zero-order valley)。下部边坡(lower sideslope, LS)位于上部边坡之下, 是丘陵地区最陡的坡, 其上部边界通常有一个明显的、凸的坡面变换, 而下部边界则为凹的坡面变换, 其地形剖面通常是轻微的凹型或者线性。麓坡(foot slope, FS)位于下部边坡的下方, 稍微成凹型, 平缓, 由来自于下部边坡的碎石堆积而成。泛滥性阶地(flood terrace, FT), 以及谷床(river bed, RB)是由河流过程(fluvial process)形成的平坦的表面, 前者很少被洪水淹没, 而后者则频繁的受到降水形成的洪水淹没。

上述微地形单元可以通过一条明显的边界线(侵蚀前线, erosion line)划分为上部坡面(upper hillside area, CS, US and HH)和下部坡面(lower hillside area, LS, FS, FT and RB)。下部坡面是由切割和侵蚀过程形成的, 而在上部坡面, 剥蚀显得更为重要^[4, 8, 22]。

1.2.2 植被调查 在各个微地形单元内进行样地选择, 并尽量回避人为干扰强烈的区域。采用斑块取样法(patch sampling method)^[8, 23, 24]进行取样。共计获取 72 个样方, 样方面积大小不等, 总面积 18605m²。对每个样方内所有高度超过 1.5m 的木本植物进行了每木调查。首先鉴别植物种类, 测定记录每株植物的胸径(DBH, cm)、高度(H, m)、枝下高(HB, m)、叶下高(HL, m), 对植株中高度超过 1.5m 的萌枝(sprouting trunks)也同时测定记录了胸径。

1.3 数据处理

1.3.1 优势种确定 优势种由优势度分析法^[21, 25]确定。公式如下:

$$d = 1/N \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{j=1}^m x_j^2 \right\}$$

式中, x_i 为前位物种(top species, T)的相对优势度值(RD), 以相对基部面积的百分比值(RBA, %)表征每个种的优势度。 $\bar{x}$ 为以优势种(dominant species)数量确定的优势种理想百分比(ideal percentage share), x_j 为剩余种(remaining species)的百分比(U)。N 为总种数。如果只有一个优势种, 则优势种的理想百分比为 100%。如果有两个优势种, 则它们的理想百分比为 50%, 如果有 3 个优势种, 则理想百分比为 33.3%, 依次类推。

1.3.2 潜在树高(potential tree height) 以扩展异率方程(expanded allometry equation)^[26]测定 DBH-H 相关性, 并估计潜在树高。公式为:

$$1/H = 1/(\alpha \times DBH) + 1/H^*$$

式中, H (m) 为高度, α 为常数, DBH (diameter at the breast height, cm), H^* (m) 为潜在树高。以每个微地形单元样方内出现的所有个体($H \geq 1.5m$) 为整体进行计算。

2 研究结果

2.1 不同微地形单元的物种组成

72 个样方中共出现 120 种。其中, 常绿针叶乔木 3 种, 常绿阔叶乔木 34 种, 常绿阔叶小乔木/大灌木 22 种, 常绿阔叶灌木 14 种, 落叶阔叶乔木 28 种, 落叶阔叶小乔木/大灌木 8 种, 落叶阔叶灌木 11 种。

只出现在一个微地形单元的特有种(unique species) 24 个, 排除只出现 1 次的种, 苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、油茶(*Camellia oleifera*)、茅栗(*Castanea seguinii*)、赤皮栲(*Cyclobalanopsis gilva*)和冬青(*Ilex purpurea*)仅出现于 US 中, 天目木兰(*Magnolia amoenia*)仅出现于 FT 中。只出现在上部坡面的 28 种, 只出现在下部坡面的占 23 种, 共有种数为 69 种, 占总种数的 57.5%。

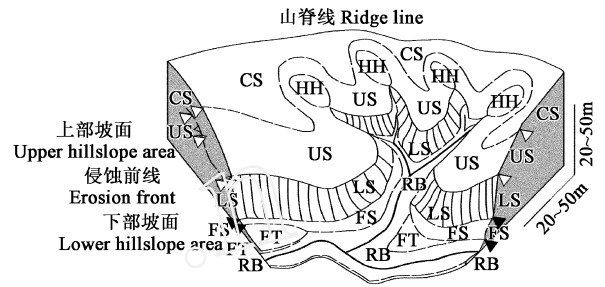


图 1 丘陵地微地形区分模式图^[7, 8]

Fig 1 The schematic diagram of the micro-landforms in a hilly area^[7, 8]

CS: 顶坡 Crest slope; US: 上部边坡 Upper sideslope; HH: 谷头凹地 Head hollow; LS: 下部边坡 Lower sideslope; FS: 麓坡 Foot slope; FT: 泛滥性阶地 Flood terrace; RB: 谷床 River bed

△和▲分别代表凸和凹的坡面变换 △ and ▲ indicate convex and concave break of slope, respectively

基于植物组成相似性的微地形单元聚类分析可以将 7 个微地形单元划分为 2 组, 即上部坡面(CS、US 和 HH)及下部坡面(LS、FS、FT 及 RB)(图 2)。在上部坡面,CS 和 US 有很高的物种组成相似性, 首先聚为一类, 而后再与 HH 聚合; 而在下部坡面,LS 和 FS 具有几乎完成相同的物种组成, 首先聚为一类, 尔后与也有很高的相似性的 FT 聚合, 最后再与 RB 聚合。

2.2 物种分布与微地形

应用二项式检验来比较上部坡面和下部坡面植物种分布格局。每个种在上部坡面和下部坡面的期望值由该种的总个体数乘以上部坡面和下部坡面各占总调查面积的比例。将期望值与实际值进行统计检验。在 120 种中, 56 个种在上部坡面的密度显著高于($p < 0.05$)下部坡面, 24 个种在下部坡面的密度显著高于($p < 0.05$)上部坡面(表 1)。个体数量在 3 个以下的种均无显著性差异。上部坡面总的密度显著高于下部坡面。密度上部坡面显著高于($p < 0.05$)下部坡面的种归为 A 组, 下部坡面显著高于($p < 0.05$)上部坡面的种归为 B 组, 上部坡面和下部坡面没有显著统计差异的归为 C 组。

A 组和 B 组均有各个生活型物种的存在(表 1)。常绿针叶乔木中, 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)属于 A 组, 而三尖杉(*Cephalotaxus fortunei*)属于 B 组。常绿阔叶乔木中, 壳斗科的米槠(*Castanopsis carlesii*)、栲树(*C. fargesii*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、长叶石栎(*L. harlandii*)、云山青冈(*Cyclobalanopsis nubium*)、褐叶青冈(*C. stewardiana*)、青冈(*C. glauca*)、青栲(*C. myrsinaefolia*)等, 山茶科的木荷(*Schinus superba*)、樟科的红楠

(*Machilus thunbergii*)和香樟(*Cinnamomum camphora*), 冬青科的毛梗铁冬青(*Ilex rotunda* var. *nucricarora*)和短梗冬青(*I. buergeri*)等物种属于 A 组, 而樟科的长叶木姜子(*Litsea elongata*)、华东楠(*M. leptophylla*)、紫楠(*Phoebe sheareri*)、细叶香桂(*C. subavenium*)和刨花楠(*M. pauhoi*), 冬青科的大叶冬青(*I. latifolia*)属于 B 组。常绿阔叶小乔木和灌木中, 山矾科的薄叶山矾(*Symplocos ananala*)、山矾(*S. sumuntia*)、四川山矾(*S. setchuensis*)、黑山山矾(*S. heishanensis*)、光叶山矾(*S. lancifolia*)和老鼠矢(*S. stellaris*), 山茶科的杨桐(*Cleyera japonica*)、细齿柃(*Eurya nitida*)和厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera*), 金缕梅科(*Hamamelidaceae*)的杨梅叶蚊母树(*Distylium myricoides*), 樟科的浙江新木姜子(*Nelitsea aurata* var. *chekiangensis*), 蔷薇科的腺叶桂樱(*Prunus phaeosticta*)和光叶石楠(*Photinia glabra*)等物种属于 A 组, 而山茶科的细枝柃(*E. loquaiiana*)、山矾科的黄牛奶(*S. laurina*), 卫矛科(*Celastraceae*)的矩叶卫矛(*Euonymus oblongifolius*)以及木兰科(*Magnoliaceae*)的披针叶茴香(*Illicium lanceolatum*)属于 B 组。常绿阔叶灌木中, 山茶科的连蕊茶、窄基红柃(*Eurya rubiginosa* var. *attenuata*)、隔药柃(*E. muricata*)和油茶, 杜鹃花科(*Ericaceae*)的米饭(*Vaccinium mandarinorum*)、乌饭(*V. sbracteatum*)和马银花(*Rhododendron oratum*), 蔷薇科的石斑木(*Rhaphiolepis indica*), 交让木科(*Daphniphyllaceae*)的交让木(*Daphniphyllum macropodum*)以及桃金娘科(*Myrtaceae*)的赤楠(*Syzygium buxifolium*)属于 A 组, 而山茶科的茶(*Camellia sinensis*)等属于 B 组。

落叶阔叶乔木中, 桦木科(*Betulaceae*)的雷公鹅耳枥(*Carpinus viminea*)、安息香科(*Styracaceae*)的拟赤扬(*Alniphyllum fortunei*)、木犀科(*Oleaceae*)的苦槠木(*Fraxinus insularis*)和豆科的黄檀(*Dalbergia hupeana*)等属于 A 组, 榆科(*Ulmaceae*)的西川朴(*Celtis vandervoetiana*)、杭州榆(*Ulmus changii*)和糙叶树(*Aphananthe aspera*)、槭树科(*Aceraceae*)的橄榄槭(*Acer olivaceum*)和天童锐角槭(*A. acutum* var. *tientungense*)、胡桃科(*Juglandaceae*)的华东野胡桃(*Jugans cathayensis* var. *fom osana*)和青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)以及漆树科(*Anacardiaceae*)的南酸枣(*Choerospondias axillaris*)等树种属于 B 组。落叶阔叶小乔木中, 赛山梅(*Styrax confusus*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、野鸦椿(*Euscaphis japonica*)和山鸡椒(*Litsea cubeba*)属于 A 组, 而化香(*Platycarya strobilacea*)属于 B 组。落叶阔叶灌木中, 忍冬科(*Caprifoliaceae*)的荚蒾(*Viburnum dilatatum*)、杜鹃花科的杜鹃花(*Rhododendron simsii*)和马鞭草科(*Verbenaceae*)的豆腐柴(*Premna microphylla*)属于 A 组, 而樟科的山胡椒(*Lindera glauca*)属于 B 组。

当然, 部分 A 组物种除在上部坡面分布外, 还在下部坡面具有较多的分布, 如长叶石栎、云山青冈、红楠和连蕊茶等, B 组物种, 特别是乔木树种, 基本局限分于下部坡面。

2.3 不同微地形单元的优势种

5 种生活型 22 个种在 7 个微地形单元成为优势种(表 2)。常绿阔叶乔木中, 木荷和米槠在上部坡面的 CS 和 US 均为优势

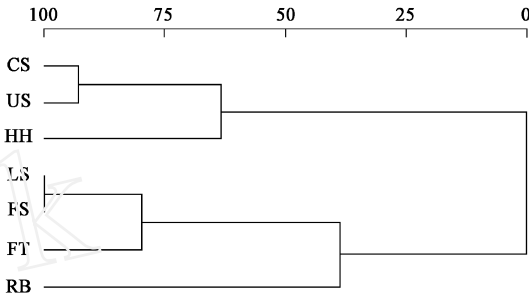


图 2 微地形单元聚类图

Fig 2 Dendrograms obtained by cluster analyses using the values of a similarity index

The distance measure is Sørensen (Bray-Curtis); The dendrogram indicates similarity of species composition among the seven micro-landform units; CS, 顶坡 Crest slope; US, 上部边坡 Upper sideslope; HH, 谷头凹地 Head hollow; LS, 下部边坡 Lower sideslope; FS, 麓坡 Foot slope; FT, 泛滥性阶地 Flood terrace; RB, 谷床 River bed; 下同 the same below

表 1 上部坡面与下部坡面植物种分布的二项式检验

Table 2 Binomial test for the distribution of trees between the upper hillslope area (UHA) and lower hillslope area (LHA)						
种组 Species group	生活型 Life form	植物名称 Species	相对数量 Relative no. trees (%)		总计 Numbers of trees	二项式检验 Binomial test
			上部坡面	下部坡面		
			UHA	LHA		
A	ECT	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	100.0	0.0	8	**
A	EBT	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	97.3	2.7	479	**
A	EBT	长叶石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	69.4	30.6	327	**
A	EBT	木荷 <i>Schinus superba</i>	97.8	2.2	315	**
A	EBT	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	57.1	42.9	308	*
A	EBT	云山青冈 <i>Cyclobalanopsis nubium</i>	70.4	29.6	304	**
A	EBT	栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>	97.3	2.7	110	**
A	EBT	青栲 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i>	75.6	24.4	86	**
A	EBT	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	90.8	9.2	76	**
A	EBT	青冈 <i>C. glauca</i>	83.3	16.7	72	**
A	EBT	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	98.3	1.7	58	**
A	EBT	褐叶青冈 <i>C. stewardiana</i>	75.5	24.5	53	**
A	EBT	短梗冬青 <i>Ilex buergeri</i>	87.2	12.8	47	**
A	EBT	毛梗铁冬青 <i>I. rotunda</i> var. <i>nucricarola</i>	75.0	25.0	28	**
A	EBT	香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	92.3	7.7	26	**
A	EBT	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	100.0	0.0	17	**
A	EBT	刺叶桂樱 <i>Prunus spinulosa</i>	93.3	6.7	15	**
A	EBT	薯豆 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	81.8	18.2	11	*
A	EBT	皱柄冬青 <i>I. kengii</i>	87.5	12.5	8	*
A	EBST	薄叶山矾 <i>Symplocos anamala</i>	98.6	1.4	493	**
A	EBST	山矾 <i>S. sumuntia</i>	85.3	14.7	279	**
A	EBST	四川山矾 <i>S. setchuensis</i>	95.5	4.5	268	**
A	EBST	杨桐 <i>Cleyera japonica</i>	72.0	28.0	211	**
A	EBST	黑山山矾 <i>S. heishanensis</i>	100.0	0.0	96	**
A	EBST	光叶石楠 <i>Photinia glabra</i>	100.0	0.0	76	**
A	EBST	腺叶桂樱 <i>Prunus phaeosticta</i>	68.6	31.4	70	**
A	EBST	细齿枹 <i>Eurya nitida</i>	98.2	1.8	56	**
A	EBST	厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i>	100.0	0.0	48	**
A	EBST	光叶山矾 <i>S. lancifolia</i>	74.1	25.9	27	*
A	EBST	赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	100.0	0.0	21	**
A	EBST	浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	90.2	9.8	796	**
A	EBST	杨梅叶蚊母树 <i>Diospyllum myricoides</i>	89.4	10.6	348	**
A	EBST	石斑木 <i>Raphiolepis indica</i>	100.0	0.0	27	**
A	EBST	米饭 <i>Vaccinium mandarinorum</i>	100.0	0.0	22	**
A	EBST	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	100.0	0.0	21	**
A	EBS	连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	55.1	44.9	1679	**
A	EBS	窄基红褐枹 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	97.0	3.0	735	**
A	EBS	隔药枹 <i>E. muricata</i>	86.9	13.1	213	**
A	EBS	老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	97.8	2.2	180	**
A	EBS	马银花 <i>Rhododendron oratum</i>	97.2	2.8	180	**
A	EBS	油茶 <i>C. oleifera</i>	98.2	1.8	56	**
A	EBS	乌饭 <i>V. sbracteatum</i>	95.2	4.8	21	**
A	DBT	雷公鹅耳枥 <i>Carpinus vimeana</i>	84.9	15.1	93	**
A	DBT	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	75.9	24.1	87	**
A	DBT	苦槠木 <i>Fraxinus insularis</i>	90.5	9.5	74	**
A	DBT	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	88.9	11.1	9	*
A	DBT	毛山樱 <i>Prunus tomentosa</i>	100.0	0.0	3	*
A	DBT	野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>syvestris</i>	100.0	0.0	3	*
A	DBST	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	100.0	0.0	17	**
A	DBST	赛山梅 <i>Syrtax confusus</i>	71.0	29.0	69	**
A	DBST	野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	100.0	0.0	11	**

续表 1

A	DBST	山鸡椒 <i>L itsea cubeba</i>	90.0	10.0	10	* *
A	DBST	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	100.0	0.0	3	*
A	DBS	莢蒾 <i>V iburnum dilatatum</i>	97.8	2.2	45	* *
A	DBS	杜鹃花 <i>R hododend ron sim sii</i>	100.0	0.0	34	* *
A	DBS	豆腐柴 <i>P ren na m icrophy lla</i>	87.5	12.5	8	*
B	ECT	三尖杉 <i>Ceph lotaxus fortunei</i>	0.0	100.0	11	* *
B	EBT	长叶木姜子 <i>L itsea elongata</i>	8.8	91.2	1239	* *
B	EBT	华东楠 <i>M achilus lep tophy lla</i>	0.8	99.2	499	* *
B	EBT	紫楠 <i>Phoebe shearerii</i>	0.0	100.0	113	* *
B	EBT	细叶香桂 <i>Cinnam om um subavenium</i>	27.1	72.9	107	* *
B	EBT	大叶冬青 <i>I. latifolia</i>	29.6	70.4	27	*
B	EBT	刨花楠 <i>M. pauhoi</i>	0.0	100.0	3	*
B	EBST	细枝枥 <i>Eurya nitida</i>	27.4	72.6	164	* *
B	EBST	黄牛奶 <i>Symp locos laurina</i>	19.0	81.0	58	* *
B	EBST	矩叶卫矛 <i>Euonym us oblong ifolius</i>	9.1	90.9	44	* *
B	EBST	批针叶茴香 <i>Illicium lanceolatum</i>	0.0	100.0	428	* *
B	EBS	茶 <i>Cam ellia sinensis</i>	0.0	100.0	6	* *
B	EBS	小叶女贞 <i>L igustrum quihoui</i>	0.0	100.0	5	*
B	EBS	狗骨柴 <i>Tricalysia dubia</i>	0.0	100.0	4	*
B	DBT	橄榄槭 <i>A cer olivaceum</i>	35.6	64.4	73	* *
B	DBT	南酸枣 <i>Choerospond ias ax ilisris</i>	15.9	84.1	63	* *
B	DBT	西川朴 <i>Celtis vandervoetiana</i>	0.0	100.0	43	* *
B	DBT	杭州榆 <i>U lm us chang ii</i>	0.0	100.0	35	* *
B	DBT	青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i>	0.0	100.0	31	* *
B	DBT	糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>	0.0	100.0	23	* *
B	DBT	天童锐角槭 <i>A. acutum</i> var. <i>tientungense</i>	0.0	100.0	17	* *
B	DBT	华东野胡桃 <i>J ugans cathayensis</i> var. <i>fom osana</i>	0.0	100.0	9	* *
B	DBST	化香 <i>P latycarya strobilacea</i>	21.1	78.9	19	* *
B	DBS	山胡椒 <i>L indera glauca</i>	45.3	54.7	66	NS
C	EBT	宁波木犀 <i>O sm anthus cooperi</i>	50.0	50.0	44	NS
C	EBT	小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	51.2	48.8	43	NS
C	EBT	赤皮栲 <i>C. gilva</i>	100.0	0.0	4	NS
C	EBT	杜英 <i>E laeocarpus decip iens</i>	33.3	66.7	3	NS
C	EBST	豹皮樟 <i>L indera coreana</i>	45.5	54.5	55	NS
C	EBST	槲木 <i>L oropetalum chinense</i>	64.0	36.0	25	NS
C	EBS	红山茶 <i>Cam ellia japonica</i>	33.3	66.7	12	NS
C	EBS	胡颓子 <i>E laeagnus glabra</i>	50.0	50.0	12	NS
C	DBT	枫香 <i>L iquid am bar fom osana</i>	38.1	61.9	21	NS
C	DBT	油桐 <i>V ernicia fordii</i>	47.4	52.6	19	NS
C	DBT	灯台树 <i>Cornus cortroversa</i>	41.7	58.3	12	NS
C	DBT	樟木 <i>S assaf ras tzum u</i>	66.7	33.3	12	NS
C	DBT	野漆树 <i>T ox icodend ron succed aneum</i>	63.6	36.4	11	NS
C	DBT	四照花 <i>C. kousa</i>	28.6	71.4	7	NS
C	DBT	八角枫 <i>A lang ium chinense</i>	71.4	28.6	7	NS
C	DBT	白栎 <i>Quercus fabri</i>	85.7	14.3	7	NS
C	DBT	君迁子 <i>D iospy ros lotus</i>	60.0	40.0	5	NS
C	DBST	青皮木 <i>S choepf ia jasm inodora</i>	100.0	0.0	4	NS
C	DBS	小叶石楠 <i>Photinia parvifolia</i>	83.3	16.7	6	NS
所有种 A ll species			62.7	37.3	12160	* *
面积 A rea (m ²)			9575	9030		
(%)			51.5	48.5		

ECT, 常绿针叶乔木 Evergreen conifer tree; EBT, 常绿阔叶乔木 Evergreen broad-leaved tree; EBST, 常绿阔叶小乔木或大灌木 Evergreen broad-leaved sub-tree; EBS, 常绿阔叶灌木 Evergreen broad-leaved shrub; DBT, 落叶阔叶乔木 Deciduous broad-leaved tree; DBST, 落叶阔叶小乔木或大灌木 Deciduous broad-leaved sub-tree; DBS, 落叶阔叶灌木 Deciduous broad-leaved shrub; 下同 the same below; * * 1% 水平上显著 Significant difference at the 1% level; * 5% 水平上显著 Significant difference at the 5% level; NS, 不显著 No significant difference; C 组只列出了超过 4 个个体的种类 For species belongs to group C, only whose total number of individuals was larger than four were represented; For each species group, refer to text

种,而栲树则仅为US 的优势种,而樟科的长叶木姜子、华东楠及冬青科的大叶冬青主要为下部坡面微地形单元的优势种,特别是华东楠,在下部坡面各微地形单元中均为序位靠前的优势种。云山青冈除在上部坡面各微地形单元中均为优势种外,还在下部坡面的LS 中成为优势种,而长叶石栎则在除RB 和FT 外的5 个微地形单元中均为优势种。常绿阔叶小乔木杨梅叶蚊母树仅在CS 中成为优势种,杨桐和披针叶茴香仅在下部坡面成为优势种。常绿阔叶灌木马银花仅在CS 为优势种。落叶阔叶乔木中,雷公鹅耳枥在上部坡面各微地形单元及下部坡面的LS 中均为优势种。天童锐角槭、青钱柳、华东野胡桃、南酸枣、糙叶树、西川朴和枫香(*L.iquidambar formosana*)等仅在下部坡面微地形单元中成为优势种,橄榄槭除在下部坡面微地形单元中成为优势种外,还在上部坡面的HH 中成为优势种。而落叶阔叶小乔木化香仅在下部坡面的FT 中成为优势种。

表2 各微地形单元优势种

优势种Dominant species	微地形Micro-landform units						
	CS	US	HH	LS	FS	FT	RB
常绿阔叶乔木 Evergreen broad-leaved trees							
木荷 <i>Schinusuperba</i>	5*	1					
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	3	2					
栲树 <i>C. fargesii</i>		5					
云山青冈 <i>Cyclobalanopsis nubium</i>	2	6	3	9			
长叶石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	4	3	1	5	5		
长叶木姜子 <i>Litsea elongata</i>				3	6		
华东楠 <i>Machilus leptophylla</i>				2	2	1	1
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>						2	
常绿阔叶小乔木或大灌木 Evergreen broad-leaved sub-trees or big shrubs							
杨梅叶蚊母树 <i>Diosyllum myricoides</i>	6						
杨桐 <i>Cleyera japonica</i>				10			
披针叶茴香 <i>Illicium lanceolatum</i>						7	
常绿阔叶灌木 Evergreen broad-leaved shrubs							
马银花 <i>Rhododendron oratum</i>	7						
落叶阔叶乔木 Deciduous broad-leaved trees							
雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i>	1	4	2	11			
橄榄槭 <i>Acer olivaceum</i>			4	6	4	6	
青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i>				6		4	
华东野胡桃 <i>Juglans cathayensis</i> var. <i>formosana</i>				4		8	
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>				1	1		
天童锐角槭 <i>Acer acutum</i> var. <i>tientungense</i>				8			
糙叶树 <i>Aphananthe aspera</i>					7	9	
西川朴 <i>Celtis vanderhoetiana</i>					3	3	
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>						5	
落叶阔叶小乔木或大灌木							
化香 <i>Platycarya strobilacea</i>							7

* 数字表示优势顺位值 The number indicates the sequence

2.4 不同微地形单元的生活型分布

从各生活型的相对优势度在各微地形单元的分布来看(图3),占最大比例的常绿阔叶乔木和落叶阔叶乔木都明显呈双峰分布。常绿阔叶乔木分布的峰值是上部坡面的US 和下部坡面的RB,而落叶阔叶乔木分布的峰值则是上部坡面的CS 和下部坡面的FS。下部坡面的常绿阔叶乔木所占比例由LS 向RB 递增,其中占主要地位的是华东楠。上部坡面CS 和HH 落叶阔叶乔木所占比例较高,在于CS 第1 优势种为雷公鹅耳枥,而HH 4 个优势种中,2 个为落叶成分,即雷公鹅耳枥和橄榄槭。

2.5 不同微地形单元的林分结构

各微地形单元间树木的大小和密度有差异,特别是上部坡面和下部坡面各微地形单元之间差异明显(表3)。上部坡面各微地形单元之间,HH 除最大胸径最大之外,其余指标均为最小。下部坡面各微地形单元之间,最大树高差异不大,最大胸径FT 最小,密度RB 最低,而基面积则LS 最小。下部坡面微地形单元的潜在高度(Potential tree height)和最大胸径明显高于上部坡面,而上部坡面除HH 外,密度高于下部坡面。基面积上部坡面均低于下部坡面。

各微地形单元的群落高度级的最高峰值均为2~4m,上部坡面的US 层次结构完整,而CS 和HH 明显缺乏冠层个体。下部坡面各微地形单元均具有较多的20m 及以上的个体,常形成超高层,RB 在6~12m 的高度范围内,出现明显的断层。下部坡面

各微地形单元 6m 以下的个体少于上部坡面的 CS 和 US (图 4a)。

从胸径级频率分布图来看, 上部坡面的 CS 和 US 呈较为规则的逆 J 型, HH 呈 L 型, 随径级的增加, 密度呈指数下降, 而下部坡面的 4 个微地形单元呈多峰型, 尤以 RB 最为明显。比上部坡面相比, 下部坡面各微地形单元均有比上部坡面更多的超过 35cm 的大径级个体, 而小于 5cm 的个体则明显比 CS 和 US 少 (图 4b)。

对上部坡面和下部坡面共有种的最大高度和胸径进行比较, 结果表明 A 组大部分物种的最大高度和胸径都为上部坡面大于下部坡面, B 组物种的最大高度和胸径几乎都是下部坡面大于上部坡面, 而 C 组物种表现出了以上 2 种变化格局 (图 5)。

以每个微地形单元所有的个体为基础所得到的潜在树高下部坡面各微地形单元明显比上部坡面高, 均超过 30m。上部坡面 US 最高, 而 HH 最低, 而在下部坡面, LS、FS 和 FT 具有相似的潜在树高, RB 则有较大的差距 (图 6)。

从 DBH-H 曲线来看, 下部坡面各微地形单元具有基本一致的变化趋势, 只是 RB 在大胸径级处具有较快的收敛速度。它们均处于上部坡面各单元的上方。上部坡面各微地形单元的变化趋势具有较大的差异, US 处于 HH 和 CS 向下部坡面各单元过渡的位置。CS 和 HH 树木高生长受到明显的限制 (图 6)。

3 讨论

3.1 微地形单元的物种组成

日本的温带和暖温带进行的大量研究表明, 由侵蚀前线(erosion front)或者叫切割前线(dissection front)分离的上部坡面和下部坡面是评价物种组成和林分结构的两大基本功能区域^[4~5, 8, 27~29]。本研究对 7 个微地形单元的, 包括 CS、US 和 HH 以及 LS、FS、FT 和 RB 的分析也得到了证实。上部坡面和下部坡面物种组成、植物大小以及林分结构均有显著的差别。而这两大区域内的微地形之间的变化则远不如那么明显。

表 3 各微地形单元林分结构比较表

微地形单元 Micro-landform unit	上部坡面 Upper hillslope area			下部坡面 Lower hillslope area			
	顶坡	上部边坡	谷头凹地	下部边坡	麓坡	泛滥性阶地	谷床
	CS	US	HH	LS	FS	FT	RB
最大高度 Max. Height (m)	20	25	17	30	27	25	25
潜在高度 Potential Height (m)	21.3	26.4	16.3	35.1	34.1	35.3	31.6
最大胸径 Max. DBH (cm)	48.5	52	54	87	108.5	60	104
密度 Individual density (ind./100 m ²)	104.5	80.7	40.2	54.3	50.4	49.0	37.8
基面面积 BA (m ² /a)	35.2	30.2	28.2	37.2	54.3	52.4	59.4

上部坡面和下部坡面均有各个生活型特征种组的存在。常绿阔叶乔木和小乔木种中, 壳斗科、山茶科、冬青科和山矾科的主要种表现为上部坡面的分布格局, 而樟科的主要种则表现为下部坡面的分布格局。常绿阔叶灌木中, 山茶科和杜鹃花科的主要种表现为上部坡面的分布格局。落叶阔叶树种中, 榆科、槭树科、胡桃科和漆树科的主要种表现为下部坡面的分布格局。

一些生活型类似的同科、同属或相近科、属的物种在小尺度空间上发生了分布上的替代。如杉科的杉木和三尖杉科的三尖杉分别为上部坡面和下部坡面常绿针叶乔木的特征种。山茶科柃木属(*Eurya*)细齿柃、窄基红褐柃和隔药柃分布于上部坡面, 细枝柃分布在下部坡面, 山茶属(*Camellia*)油茶分布于上部坡面, 茶分布于下部坡面, 樟科新木姜子属(*N. eolitsea*)的浙江新木姜子分布于上部坡面, 而长叶木姜子分布于下部坡面, 润楠属(*Machilus*)红楠分布于上部坡面, 而华东楠和刨花楠分布于下部坡面, 冬青科木梗铁冬青、皱柄冬青分布于上部坡面, 而大叶冬青分布于下部坡面, 山矾科的黄牛奶分布于下部坡面, 而其余种分布于上部坡面等。地形的差异形成的异质的生境为这些生长在一起的生态上相似的个体物种提供了共存的条件, 这是区域生物多样性得以维持的重要机制^[10, 30, 31]。

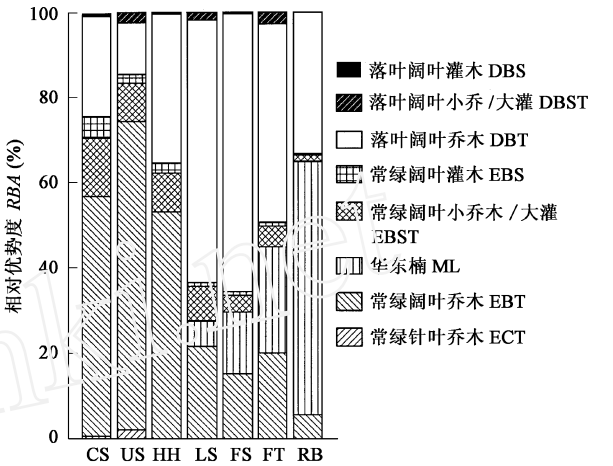


图 3 各微地形单元不同生活型的相对优势度

Fig. 3 Relative dominance of different life forms among the seven micro-landform units

ECT, Evergreen conifer tree; EBT, Evergreen broad-leaved tree; ML, *Machilus leptophylla*; EBST, Evergreen broad-leaved sub-tree; EBS, Evergreen broad-leaved shrub; DBT, Deciduous broad-leaved tree; DBST, Deciduous broad-leaved sub-tree; DBS, Deciduous broad-leaved shrub

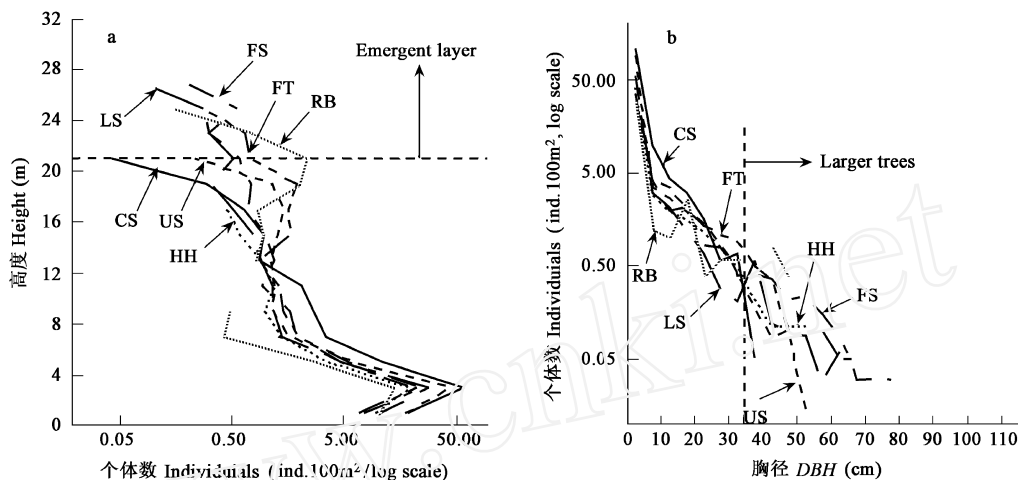


图4 微地形单元的大小级分布图

Fig 4 Size distribution of trunks in each microlandform unit

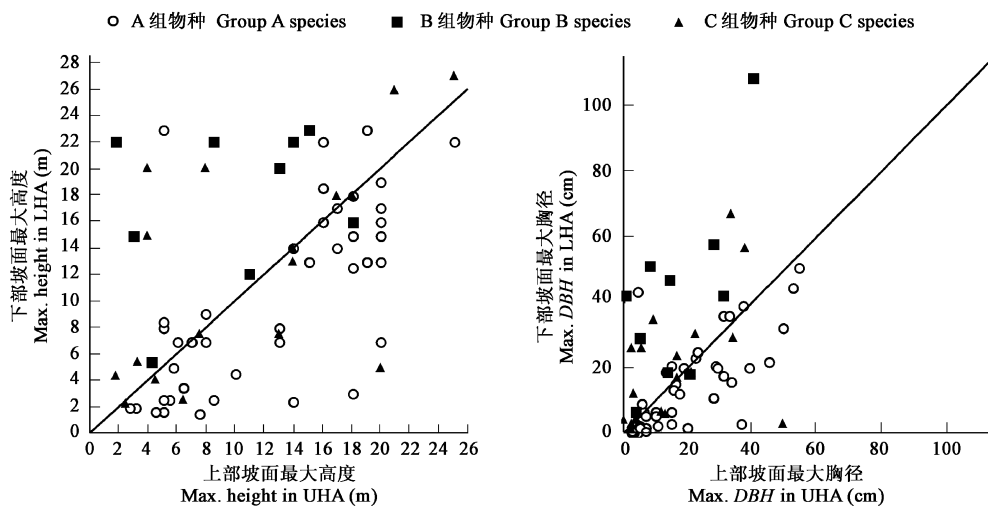


图5 69个共有种在上部坡面和下部坡面的最大高度和胸径比较

Fig 5 Comparisons of height of the tallest individuals and the DBH of the largest individuals between the upper hillslope area (UHA) and the lower hillslope area (LHA), Results for 69 species occurring in both slopes are shown; UHA, 上面坡面; LHA, 下面坡面 UHA, Upper hillslope; LHA, Lower hillslope

上部坡面的优势种除橄榄槭和雷公鹅耳枥外均为常绿树种, 除橄榄槭属于B组外的, 均为A组物种。而下部坡面的优势种除B组物种外, 部分A组物种, 如长叶石栎、云山青冈和雷公鹅耳枥等也在某些微地形单元占据优势地位, 只是其优势顺位已经很靠后, 多达10个落叶树种成为优势种, 而4个常绿树种中, 仅华东楠占据了靠前的顺位。在某种程度上, 上部坡面的HH的优势种组合与下部坡面的LS具有较大的相似性。

3.2 微地形单元的林分结构

下部坡面和上部坡面在林分结构上具有显著的差异。大量的研究表明, 下部坡面比上部坡面林分结构更差^[3, 4, 28]。而研究表明除密度低于上部坡面外, 各项指标均高于上部坡面。从垂直结构看, 下部坡面的结构更为丰富, 往往具有超高层的存在, 而

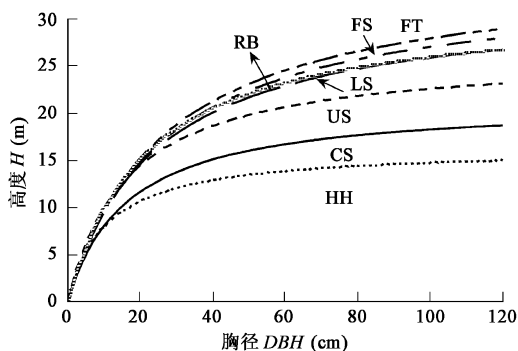


图6 各微地形单元胸径-高度关系图

Fig 6 The DBH-H relation among the microlandform units

上部坡面仅US具有零星的超高个体的存在。而下部坡面的潜在高度更是远大于上部坡面。而胸径级结构的组成上,下部坡面也比上部坡面具有更多的超大个体的存在。在下部坡面,更多的是落叶落叶树种占据了优势种的地位,它们具有更高的高度和胸径,其个体数量虽然不多,但是足以使下部坡面具有更大的生物量(BA)。在10个优势落叶树种中,雷公鹅耳枥为上部坡面种,枫香和化香为区域次生植物群落的常见优势种(广布先锋种),而其余7种均为明显的下部坡面特征种,这些落叶阔叶树种具有长寿命的先锋种的基本特征,高大、生长快,叶寿命短,不耐荫,树冠位于冠层之上。这些种类被称为顶极先锋种(Climax pioneer)或生境先锋种(Habitat pioneer)^[32~34]。虽然本身是先锋种,但是起到顶极种的作用,将处于长期支配群落的地位^①。

下部坡面各微地形单元的胸径分布具有多峰型的特征,这与坡塌与小尺度浅的滑坡等干扰密切相关^[4]。RB胸径的多峰型分布最为明显,而且其高度也存在明显的断层,这可能与周期性的由降水引起的洪水淹没密切相关^[35]。而CS缺乏冠层可能和风速有关,通常山脊处具有最大的风速^[32,36],另外分布在山脊的植物通常采用一些保护性策略以适应干旱^[26]。而HH是上部坡面干扰最强烈的微地形单元^[8],但是其林下密集的苦竹(*P. leioblastus amarus*)又阻碍了下部坡面高大阳生乔木的入侵,而且HH通常靠近山脊,风速可能也是其树高生长的限制因子。

References

- [1] Song Y C. *Vegetation Ecology*. Shanghai: East China Normal University, 2001. 142
- [2] Shen Z H and Zhang X S. The spatial pattern and topographic interpretation of the forest vegetation at Dalaoling region in the Three Gorges. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **42**(10): 1089~1095
- [3] Sakai A and Ohsawa M. Topographical pattern of the forest vegetation on a river basin in a warm-temperate hilly region, Central Japan. *Ecological Research*, 1994, **9**: 269~280
- [4] Hara M, Hirata K, Fujihara M, et al. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, South-West Japan. *Ecological Research*, 1996, **11**: 325~337
- [5] Nagamatsu D, Yoshihiko H and Mochida Y. Influence of micro-landforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest. *Ecological Research*, 2003, **18**: 533~547
- [6] Zhang M, Xiong G M, Chen Z G, et al. The topography heterogeneity of *Fagus engleriana*-*Cyclobalanopsis oxyodon* community in Shennongjia region. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(12): 2686~2692
- [7] Kikuchi T. *Vegetation and Landforms*. Tokyo: University of Tokyo Press, 2001. 2~93
- [8] Nagamatsu D and Mirura O. Soil disturbance regime in relation to micro-scale landforms and its effects on vegetation structure in a hilly area in Japan. *Plant Ecology*, 1997, **133**: 191~200
- [9] Shen Z H. A multi-scale study on the vegetation-environment relationship of a mountain forest transect. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(4): 461~470
- [10] Enoki T. Microtopography and distribution of canopy trees in a subtropical evergreen broad-leaved forest in the northern part of Okinawa Island, Japan. *Ecological Research*, 2003, **18**: 103~113
- [11] Zou B J. *Principles of Little Geomorphology*. Beijing: The Commercial Press, 1982
- [12] Graham B, Martin J L and Marcia J. Waterway, Environmental heterogeneity and species diversity of forest sedges. *Journal of Ecology*, 2000, **88**: 67~87
- [13] Fang J Y, Shen Z H and Cui H T. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology. *Biodiversity Science*, 2004, **12**(1): 10~19
- [14] Song Y C and Wang X R. *Vegetation and flora of Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Document Press, 1995
- [15] Song Y C and Wang X H. An ecological overview of vegetation and landscape of Tiantong National Forest Park. *Eco-Habitat: JISE Research*, 1999. 17~22
- [16] Kawano K, Nakamura Y and Song Y C. Photosociologically comparative study of the evergreen broad-leaved forest around Tiantong, in Zhejiang Province, eastern China and western Japan. *Eco-Habitat: JISE Research*, 1999. 23~33
- [17] Murakami Y, Nakamura Y and Song Y C. Scrub and grassland vegetation in rural landscape area of Tiantong National Forest Park. *Eco-Habitat: JISE Research*, 1999. 45~63
- [18] Nakamura Y, Murakami Y, Kawano K, et al. The vegetation of forest landscape in Tiantong National Forest Park. *Eco-Habitat: JISE Research*, 1999. 64~73

① Da L J. Structure and dynamics of forest vegetation in man-dominated landscape in warm-temperate region. PhD dissertation. Chiba University, Chiba, 1992

- Research*, 1999, 35~44
- [19] Li X D and Song Y C. The markov process modeling of secondary succession in broadleaved evergreen forest in the eastern part of Zhejiang Province, China. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(4): 345~351.
- [20] Ding S Y. Comparative ecology of successive seral of evergreen broad-leaved forest. Kaifeng: Henan University Press, 1999.
- [21] Da L J, Yang Y C and Song Y C. Study on the population structure and regeneration types of main species of evergreen broadleaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang province, eastern China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 376~384.
- [22] Tamura T and Miyagi T. Landslides after the forest fire in the Tomiya Hills, north of Sendai. In: Izumi, S, ed. Ecology of forest fire: Fire behavior in forest area and fire effects on ecosystem. Forest Fire Group, Tohoku University, Sendai, 1987. 331~340.
- [23] Da L J and Ohsawa M. A abandoned pine-plantation succession and influence of pine mass-dieback in the urban landscape of Chiba, Central Japan. *Japanese Journal of Ecology*, 1992, 42: 81~93.
- [24] Ozaki K and Ohsawa M. Successional change of forest pattern along topographical gradients in warm-temperate mixed forests in Mt. Kiyosumi, central Japan. *Ecological Research*, 1995, 10: 223~234.
- [25] Ohsawa M. Difference of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji. *Vegetatio*, 1984, 57: 15~52.
- [26] Tateno R and Takeda H. Forest structure and tree species distribution in relation to topography-mediated heterogeneity of soil nitrogen and light at the forest floor. *Ecological Research*, 2003, 18: 559~571.
- [27] Hatano S. On classification of geomorphology in mountainous regions. *Annals of Tohoku Geographical Association*, 1986, 38: 87~89.
- [28] Hara M, Hiroshi K and Oono K. Relationship between micro-landform and vegetation structure in an evergreen broad-leaved forest on Okinawa Island, S-W. Japan. *Natural History Research*, 1996, 4(1): 27~35.
- [29] Kikuchi T and Miura O. Vegetation patterns in relation to micro-scale landforms in hilly land regions. *Vegetatio*, 1993, 106: 147~154.
- [30] Daubenmire R. Translated by Chen Q C. Plant Communities-A Textbook of Plant Synecology. Beijing: People Education Press, 1981. 249~298.
- [31] Whittaker R H. Community and Ecosystem. New York: Macmillan, 1970.
- [32] Ohsawa M, Wildpret W and Acro M D. A comparative study on evergreen broad-leaved forests and trees of the Canary Islands and Japan. Laboratory of Ecology, Chiba University, 1999, 67~87.
- [33] Tang C Q and Ohsawa M. Coexistence mechanisms of evergreen, deciduous and coniferous trees in a mid-montane mixed forest on Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*, 1999, 161: 215~230.
- [34] Tang C Q and Ohsawa M. Tertiary relic deciduous forests on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Folia Geobotanica*, 2002, 37: 93~106.
- [35] Sakio H. Effects of natural disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains, Central Japan. *Plant Ecology*, 1997, 132: 181~195.
- [36] Takaoka S and Sasa K. Landform effects on fire behavior and post-fire regeneration in the mixed forests of northern Japan. *Ecological Research*, 1996, 11: 339~349.

参考文献

- [1] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版社, 2001. 142.
- [2] 沈泽昊, 张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释. *植物生态学报*, 2000, 42(10): 1089~1095.
- [6] 张谧, 熊高明, 陈志刚, 等. 神龙架米心水青冈-曼青冈群落的地形异质性及其生态影响. *生态学报*, 2004, 24(12): 2686~2692.
- [9] 沈泽昊. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究. *生态学报*, 2002, 22(4): 461~470.
- [11] 邹豹君. 小地貌学原理. 北京: 商务印书馆, 1982.
- [13] 方精云, 沈泽昊, 崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容. *生物多样性*, 2004, 12(1): 10~19.
- [14] 宋永昌, 王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被和区系. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1995.
- [19] 李兴东, 宋永昌. 浙江东部常绿阔叶林次生演替的随机过程模型. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1993, 17(4): 345~351.
- [20] 丁圣彦. 常绿阔叶林比较生态学. 开封: 河南大学出版社, 1999.
- [21] 达良俊, 杨永川, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要种群结构及其更新类型研究. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 376~384.
- [30] Daubenmire R. 植物群落-植物群落生态学教程. 陈庆诚译. 北京: 人民教育出版社, 1981.