

福建黄冈山东南坡和西北坡乔木物种多样性 及群落特征的垂直变化

郑成洋 刘增力 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 利用福建黄冈山东南坡 30 个样方和西北坡 13 个样方的资料, 研究该地区乔木物种丰富度的垂直变化。东南坡共记录到乔木物种 151 种, 隶属于 42 科 73 属; 西北坡 102 种, 隶属于 32 科 54 属。两坡面的乔木树种组成相差不大。物种丰富度随海拔的变化趋势是: 随海拔升高, 科、属、种的数量呈下降的趋势; 东南坡科、属、种的数量在海拔 800 - 1000 m 达到最大值, 西北坡在海拔 1500 - 1600 m 达到最大值。东南坡乔木物种 Shannon-Wiener 指数 (H) 与海拔呈负相关; 西北坡在海拔 1200 - 1800 m 范围内 H 高于东南坡; Sørensen 指数 (IAC) 在不同植被类型交替时出现上下波动, 从常绿阔叶林向针阔混交林转化时, 物种更替强烈, Sørensen 指数明显下降。乔木物种生长特征的分析表明, 最大树高 (H_{max}) 和最大胸径 (DBH_{max}) 出现在中海拔, 在相同海拔范围内西北坡的 H_{max} 和 DBH_{max} 高于东南坡; 东南坡 H_{max} 和 DBH_{max} 的峰值出现在海拔 800 - 900 m, 西北坡出现在海拔 1800 m。东南坡立木密度在海拔 1500 m 处达最高值, 而西北坡立木密度变化不明显, 仅在海拔 1900 m 以上明显下降。将全部乔木种划分为常绿阔叶、针叶和落叶阔叶等三种生活型, 分析不同生活型的生长特征发现, 常绿阔叶种类的胸高断面面积和 (total basal area, TBA) 在低海拔占比例大; 针叶种类沿海拔出现两个峰值, 与分布两种不同针叶林种类有关; 落叶阔叶林的 TBA 在各海拔段均占一定比例, 但在西北坡的比例要高于东南坡。两坡三种生活型的 TBA 沿海拔梯度变化特征基本上相似。

关键词: 物种组成, 生物多样性, 海拔梯度, 生长特征, 黄冈山

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 0094(2004)01 - 0063 - 12

Tree species diversity along altitudinal gradient on southeastern and northwestern slopes of Mt. Huanggang, Wuyi Mountains, Fujian, China

ZHENG Cheng-Yang, LIU Zeng-Li, FANG Jing-Yun

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: To investigate altitudinal changes of tree species biodiversity and community structures, we investigated 30 plots on the southeastern slope and 13 plots on the northwestern slope of Mt. Huanggang, Wuyi Mountains, Fujian Province. We recorded 151 tree species from 42 families and 73 genera on the southeastern slope, and 102 tree species from 32 families and 54 genera on the northwestern slope. There was no significant difference of tree species composition between these two slopes. The number of families, genera and species in the tree layer decreased as altitude increased. The richest families, genera and species were recorded at the altitudes between 800 - 1000 m a. s. l. on the southeastern slope, and between 1500 - 1600 m a. s. l. on the northwestern slope. The species diversity of tree layer on the northwestern slope was higher than that of the southeastern slope from 1200 - 1800 m a. s. l.. Shannon-Wiener index (H) correlated negatively with elevation on both slopes. Sørensen index (IAC) varied in transitional zones between vegetation types, and was lowest at the ecotone between evergreen broad-leaved forests and mixed coniferous and broad-leaved forests. Considering com-

* 基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (No. 49971002 和 39830050), Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 49971002 and 39830050).

收稿日期: 2003 - 06 - 12; 接受日期: 2003 - 09 - 10

作者简介: 郑成洋, 男, 1966 年出生, 在读博士生, 主要研究方向为植被生态学和生物多样性。E-mail: zhengcy@pku.edu.cn

munity structures, larger maximum tree height (H_{\max}) and maximum diameter of breast height (DBH_{\max}) were recorded at middle elevations than at upper or lower elevations. H_{\max} and DBH_{\max} were higher on the northwestern slope than on the southeastern slope at the same elevations. Total basal area (TBA) of evergreen broad-leaved trees was greater than those of deciduous broad-leaved trees and coniferous trees at low elevations. TBA of coniferous trees showed two peaks, corresponding to two different types of coniferous species while that of deciduous broad-leaved species stayed stable along the altitudinal gradient. TBA of deciduous broad-leaved trees was greater on the northwestern slope than on the southeastern slope. TBA patterns of these three life forms along the altitudinal gradient were similar on both slopes.

Key words: species composition, biodiversity, altitudinal gradient, community structure, Mt. Huanggang

亚热带常绿阔叶林是我国植被的重要组成部分(吴征镒主编,1980)。近年来对亚热带山地的物种多样性研究有些报道(Tang & Ohsawa, 1997; 黄忠良等, 1998; 黄清麟等, 1999; 易俗等, 2001; 沈泽昊, 张新时, 2000; 张光富, 2000),但这些研究常常只针对某一特定植被类型,缺乏系统的海拔梯度取样。不同的亚热带山地受到复杂地形因子的影响,水、热条件沿海拔梯度的变化明显,要准确地测定植物群落结构及其特征沿海拔梯度的变化十分困难(Lieberman *et al.*, 1996)。在世界各地山地垂直梯度研究中,植物物种多样性随海拔梯度变化的结果差别很大(Whittaker & Niering, 1965; Whittaker & Niering, 1975; Hamilton & Perrott, 1981; Peet, 1978; Itow, 1991; Baruch, 1984; Wilson & Sydes, 1988)。一些研究表明,物种多样性在中海拔达到最大,而另一些研究则显示随海拔升高物种多样性呈直线下降或与海拔无关。本文利用我国亚热带典型代表山地——福建武夷山黄冈山的调查资料,研究物种多样性和群落生长特征随海拔的变化规律。

武夷山地区的植物研究可以追溯到 1845 年。英国人 Fortune 首次进入武夷山采集植物标本,1945 年后我国植物学家林来官、何景等曾到黄冈山采集植物标本,1964 年中国科学院植物研究所简焯坡到黄冈山西北坡和东南坡采集植物标本。20 世纪 70 年代末,福建省科委组织开展保护区十年科学考察,其中对黄冈山植物分布(黄新和, 1963; 林鹏, 叶庆华, 1983, 1985; 陈忠仁等, 1983)、保护区植物区系(林有润等, 1981)及植被类型(黄友儒等, 1981)等方面进行了较细致的研究。在植物群落多样性研究方面,以往仅在甜槠(*Castanopsis eyrei*)林(李振基等, 2002a)和尖叶黄杨(*Buxus sinica* ssp. *aem-*

ulans)矮曲林(李振基等, 2002b)等几个类型中有报道,但对黄冈山整体的物种多样性则未见研究。

1 研究区域

武夷山是我国东南大陆生物多样性的关键区域,而在全球同一纬度上其他大陆大都是荒漠或生物物种贫乏的地区(陈昌笃, 1999)。本区地带性植被为亚热带常绿阔叶林。就植物物种组成而言,武夷山国家级自然保护区分布的高等植物种数占福建省的 46.5% (福建科学技术委员会主编, 1993)。武夷山脉为东北—西南走向,北起浙江省东南部,横亘福建省西北,南至广东省南岭。黄冈山(海拔 2158 m, 117°47'18"E, 27°51'42"N)位于武夷山脉北段,是武夷山脉的主峰,亦为我国东南大陆最高峰,其主峰及周围地区属于福建和江西武夷山国家级自然保护区的核心区。黄冈山垂直高差从 450 - 2158 m,东南坡地势较平缓,西北坡陡峭(图 1)。

武夷山气候属于典型的中亚热带湿润季风气候(罗汉民, 1986),年均温 13.8℃,年均降水量 2368.0 mm (海拔 1200 m,保护区先峰岭气象观测站资料)(图 2a)。雨季集中在 4 - 6 月,与武夷山市气候相比(图 2b),气温更低、降雨更多。在夏季东南坡是迎风坡,冬季西北坡是迎风坡,不同海拔高度的 14 个气象站观测资料表明,东南和西北坡降水量相差 100 - 150 mm,差别不大(翁笃鸣, 1990)。为了进一步测量黄冈山气温梯度变化,在东南坡海拔每 200 m 间隔设置 8 个 HOBO Onset 自动温湿度记录仪。从 2001 年 11 月至 2002 年 11 月的记录数据统计表明,年平均气温直减率为 0.43℃/100 m,1 月平均 0.38℃/100 m,7 月平均 0.47℃/100 m (图 3)(郑成洋等,待发表)。

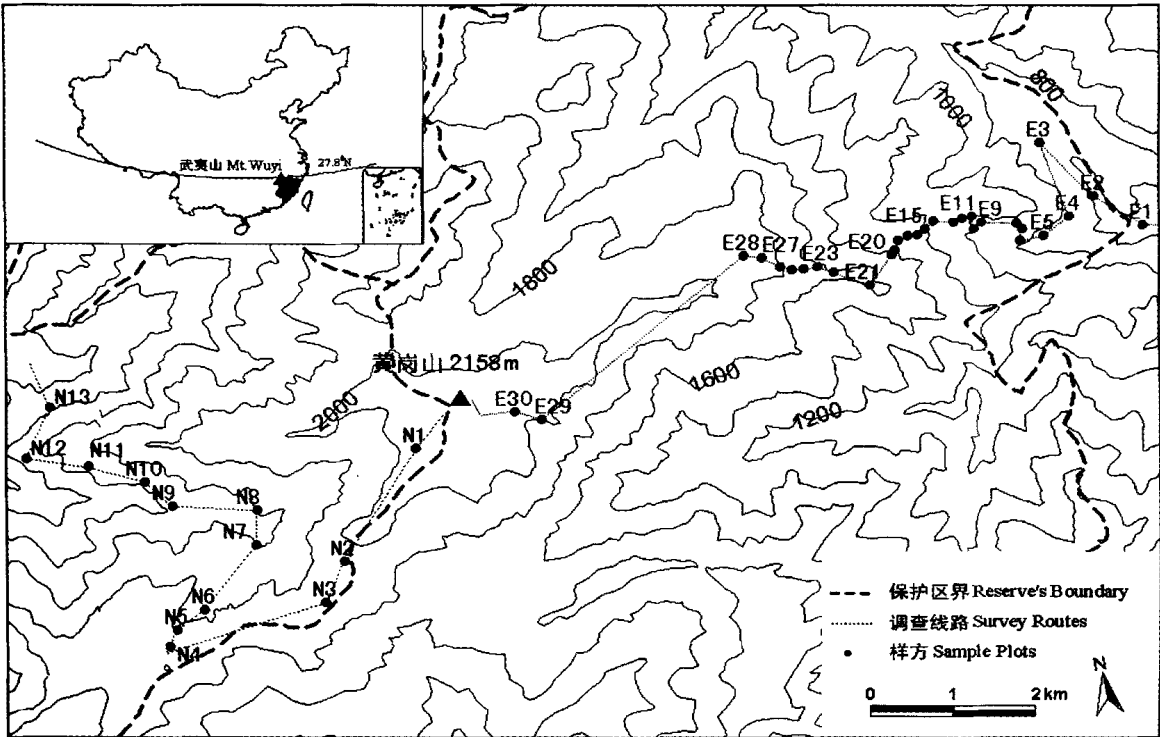


图 1 黄岗山研究区域示意图。东南坡样方 50 m 间隔,西北坡样方 100 m 间隔,图中等高线为 200 m。
Fig. 1 Study area in Mt. Huanggang. 50 m intervals sample plots on southeastern slope, 100 m intervals on northwestern slope and 200 m contour intervals.

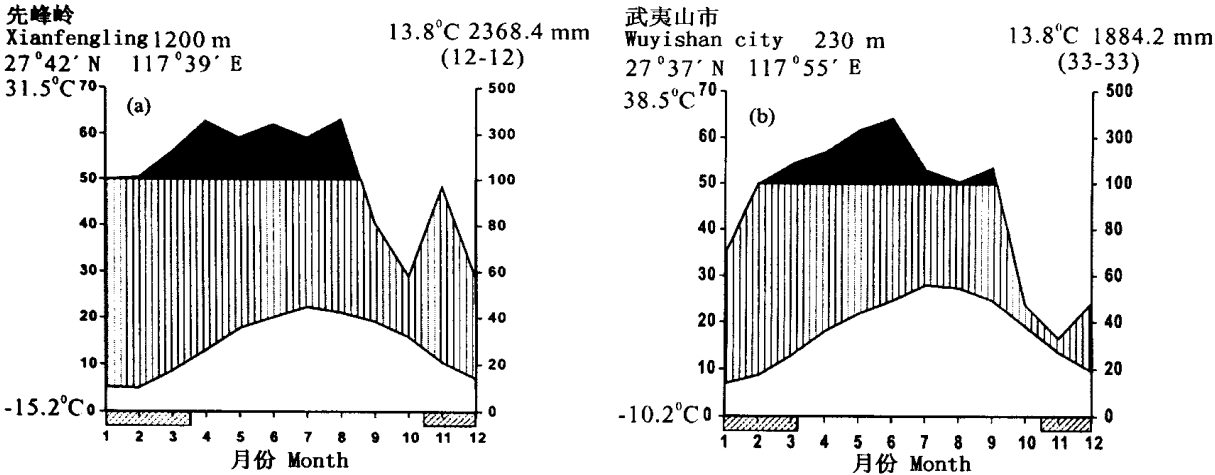


图 2 保护区先峰岭生态气候图(a)(资料来源:保护区先峰岭气象观测站),武夷山市生态气候图(b)(资料来源:武夷山市气象局)
Fig. 2 Ecological climatic diagram for Wuyishan National Nature Reserve (a) (data source: Meteorological Station in Xianfengling), and Wuyishan City (b) (data source: Wuyishan City Meteorological Station), Fujian Province.

2 研究方法

2.1 样方设置与调查内容

采用样方法研究黄岗山植被垂直梯度。东南坡海拔每上升 50 m 设置一个植物样方,采用

GPS12XLC 定位,海拔高度用海拔仪实测。共调查 30 个样方,其中样方 E1 - E3 为人工毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 林,样方 E4 - E30 均属于天然林。西北坡采用海拔 100 m 间隔取样,共设 13 个样方,其中低海拔(700 - 1100m)为人工经营的毛

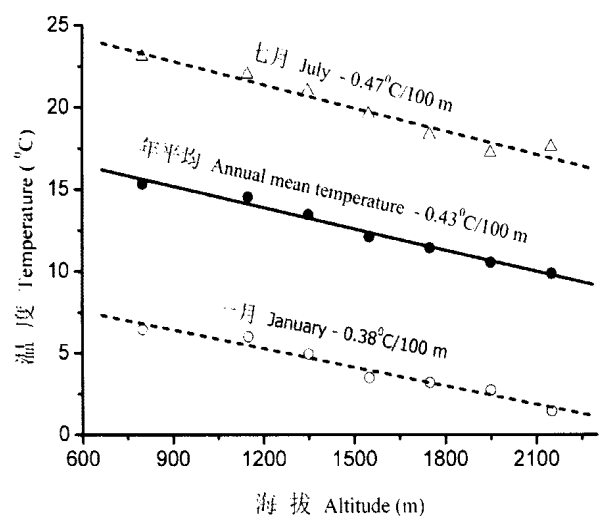


图3 黄岗山平均气温直减率(资料来源:7个HOBO Onset自动温湿度记录仪实测,2001-2002)
Fig.3 Lapse rate of temperature in Mt. Huanggang (data source: 7 sets of HOBO Onset temperature's recorders in 200 m interval, 2001 - 2002)

竹林,没有设置样地。除人工经营的毛竹林(20 m×20 m)和灌木、草本(10 m×10 m)以外,其他样方大小均为20 m×30 m。野外调查时每一样方分成若干个100 m²的小样方,乔木层逐一测量胸径DBH>3.3 cm的所有个体的胸径和树高;对于灌木和草本层,选取两个对角小样方(10 m×10 m),记录每个小样方中全部灌木和草本物种,测量高度H>0.3 m的灌木的基径、盖度和高度;草本测量优势度(或盖度)、多度和高度。

2.2 物种丰富度测定方法

本文只分析DBH>3.3 cm的乔木树种的多样性及垂直梯度变化。统计样方内物种总数,并以样方为单位分别计算物种隶属的科、属。

物种丰富度: S = 样方内出现的乔木物种数

2.3 多样性测度方法

Shannon-Wiener 指数: $H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$ (Magurran, 1988)

Pielou 指数: $E = H / \ln S$ (Magurran, 1988)

其中: P_i 为第*i*种的重要值,重要值采用某种乔木胸高断面积和与样方中所有乔木胸高断面积之和的比值,即该种的相对胸高断面积。

2.4 多样性测度方法

Sørensen 指数: $IA_c = \frac{2c}{a+b}$ (Magurran, 1988)

Sørensen 指数表示两个群落的相似性系数,其中:*a*和*b*分别为两群落各自的物种数,*c*为两群落的共有物种数。

3 结果与分析

3.1 物种组成

东南坡30个样方共记录到乔木151种,隶属于42科73属;而西北坡13个样方记录乔木102种,隶属于32科54属。两坡物种数居前10位的科、属、种见表1。从表1可以看出,两坡乔木物种组成相差不大。

黄岗山常绿阔叶林可以分布至海拔1200 m,主要由青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、多脉青冈(*C. multinervis*)、甜槠、罗浮栲(*C. fabri*)、硬斗柯(*Lithocarpus hancei*)、木荷(*Schima superba*),以及散生的樟科新木姜子属(*Neolitsea*)、润楠属(*Machilus*)和樟属(*Cinnamomum*)等组成。常绿阔叶林亚乔木层数量较多的是杜鹃花属(*Rhododendron*)、山矾属(*Symplocos*)和冬青属(*Ilex*)植物。落叶乔木一般不形成单一的优势群落,通常散生在常绿阔叶林或针阔混交林中,主要物种有拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)、钟花樱(*Prunus campanulata*)等。针阔混交林分布在海拔1100-1600 m之间,主要由甜槠、青冈、缺萼枫香(*Liquidambar acalycina*)、野漆(*Toxicodendron succedaneum*)和黄山松(*Pinus taiwanensis*)等组成。针叶林分布在海拔1600-2000 m,主要有黄山松林、铁杉(*Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*)林和柳杉(*Cryptomeria fortunei*)林三个群落,而分布在低海拔的针叶乔木树种马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)多散生在常绿阔叶林或毛竹中。山顶矮林分布在海拔1900-2100 m,主要由马银花(*Rhododendron ovatum*)、尖叶黄杨(*Buxus sinica* spp. *aemulans*)、江南山柳(*Clethra cavaleriei*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)、薄毛豆梨(*Pyrus calleryana* f. *tomentilla*)、光亮山矾(*Symplocos lucida*)等组成。山顶草甸分布在海拔2000-2158 m,主要由沼原草(*Moliniopsis hui*)、箱根野青茅(*Deyeuxia hakonesis*)、芒(*Miscanthus sinensis*)等组成。样方中各优势乔木物种沿海拔梯度变化见表2。

表 1 黄岗山东南坡和西北坡排前十位的乔木科、属、种
Table 1 Top ten of the most common families , genera and species on southeastern and northeastern slopes of Mt. Huanggang

科 Families	属 Genera	常绿阔叶乔木物种 Evergreen broad-leaved tree species	
		东南坡 SE slope	西北坡 NW slope
1. 壳斗科 (18 ^a , 24 ^b)	1. 杜鹃花属 <i>Rhododendron</i> (4 ^a , 25 ^b)	1. 木荷 <i>Schima superba</i> (31.2 % ^c , 22 ^b)	1. 多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i> (37.0 % ^c , 7 ^b)
2. 樟科 (15 ^a , 17 ^b)	2. 青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i> (5 ^a , 23 ^b)	2. 鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i> (12.4 % ^c , 23 ^b)	2. 木荷 <i>Schima superba</i> (8.8 % ^c , 4 ^b)
3. 山茶科 (14 ^a , 26 ^b)	3. 木荷属 <i>Schima</i> (1 ^a , 22 ^b)	3. 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (10.3 % ^c , 10 ^b)	3. 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i> (7.0 % ^c , 4 ^b)
4. 山矾科 (12 ^a , 15 ^b)	4. 栲属 <i>Castanopsis</i> (9 ^a , 16 ^b)	4. 多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i> (5.1 % ^c , 11 ^b)	4. 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (6.2 % ^c , 2 ^b)
5. 蔷薇科 (8 ^a , 21 ^b)	5. 山矾属 <i>Symplocos</i> (12 ^a , 15 ^b)	5. 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (4.8 % ^c , 19 ^b)	5. 闽皖八角 <i>Illicium minwanense</i> (5.6 % ^c , 5 ^b)
6. 杜鹃花科 (6 ^a , 27 ^b)	6. 柃属 <i>Eurya</i> (5 ^a , 15 ^b)	6. 罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i> (3.4 % ^c , 7 ^b)	6. 猴头杜鹃 <i>Rhododendron simiarum</i> (4.6 % ^c , 2 ^b)
7. 冬青科 (6 ^a , 9 ^b)	7. 润楠属 <i>Machilus</i> (6 ^a , 10 ^b)	7. 硬斗柯 <i>Lithocarpus hancei</i> (2.0 % ^c , 6 ^b)	7. 包石栎 <i>Lithocarpus cleistocarpus</i> (4.0 % ^c , 2 ^b)
8. 槭树科 (5 ^a , 13 ^b)	8. 冬青属 <i>Ilex</i> (6 ^a , 10 ^b)	8. 黄瑞木 <i>Adinandra millettii</i> (1.9 % ^c , 9 ^b)	8. 鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i> (3.3 % ^c , 5 ^b)
9. 杜英科 (4 ^a , 6 ^b)	9. 槭属 <i>Acer</i> (5 ^a , 12 ^b)	9. 钩栲 <i>Castanopsis tibetana</i> (1.9 % ^c , 6 ^b)	9. 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (3.1 % ^c , 3 ^b)
10. 金缕梅科 (3 ^a , 9 ^b)	10. 木姜子属 <i>Litsea</i> (4 ^a , 11 ^b)	10. 猴头杜鹃 <i>Rhododendron simiarum</i> (1.7 % ^c , 6 ^b)	10. 短尾柯 <i>Lithocarpus brevicaudatus</i> (2.4 % ^c , 5 ^b)

落叶阔叶乔木物种 Deciduous broad-leaved tree species		针叶物种 Coniferous tress species	
东南坡 SE slope	西北坡 NW slope	东南坡 SE slope	西北坡 NW slope
1. 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i> (22.61 % ^c , 8 ^b)	1. 化香 <i>Platycarya strobilacea</i> (16.9 % ^c , 2 ^b)	1. 黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (85.1 % ^c , 20 ^b)	1. 铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> var. <i>tchekiangensis</i> (37.6 % ^c , 4 ^b)
2. 钟花樱 <i>Prunus campanulata</i> (19.74 % ^c , 11 ^b)	2. 缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (13.2 % ^c , 7 ^b)	2. 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (9.2 % ^c , 6 ^b)	2. 黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (34.5 % ^c , 6 ^b)
3. 缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (10.53 % ^c , 3 ^b)	3. 紫茎 <i>Stewartia sinensis</i> (10.0 % ^c , 3 ^b)	3. 铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> var. <i>tchekiangensis</i> (3.6 % ^c , 8 ^b)	3. 柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i> (11.3 % ^c , 1 ^b)
4. 薄毛豆梨 <i>Pyrus calleryana</i> f. <i>tomentilla</i> (7.25 % ^c , 8 ^b)	4. 野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i> (6.9 % ^c , 2 ^b)	4. 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (1.6 % ^c , 3 ^b)	4. 南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>chinensis</i> (10.8 % ^c , 2 ^b)
5. 华东山柳 <i>Clethra barbinervis</i> (5.06 % ^c , 5 ^b)	5. 郁香野茉莉 <i>Styrax odoratissimus</i> (6.8 % ^c , 3 ^b)	5. 南方红豆杉 <i>Taxus wallichiana</i> var. <i>chinensis</i> (0.4 % ^c , 2 ^b)	5. 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (3.7 % ^c , 1 ^b)
6. 南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i> (4.27 % ^c , 1 ^b)	6. 钟花樱 <i>Prunus campanulata</i> (6.7 % ^c , 5 ^b)	6. 柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i> (0.2 % ^c , 1 ^b)	6. 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (2.1 % ^c , 1 ^b)
7. 尖叶白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i> (4.12 % ^c , 5 ^b)	7. 鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i> (6.4 % ^c , 2 ^b)		
8. 江南山柳 <i>Clethra cavaleriei</i> (2.47 % ^c , 5 ^b)	8. 黄山木兰 <i>Magnolia cylindrica</i> (6.1 % ^c , 2 ^b)		
9. 青榨槭 <i>Acer davidii</i> (2.23 % ^c , 8 ^b)	9. 中华石楠 <i>Photinia beauveriana</i> (4.2 % ^c , 5 ^b)		
10. 野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i> (1.1 % ^c , 2 ^b)	10. 薄毛豆梨 <i>Pyrus calleryana</i> f. <i>tomentilla</i> (4.1 % ^c , 5 ^b)		

注：a：科或属在样方中出现的次数；b：样方中乔木物种个体数(株)平均值；c：该乔木物种占有样方中乔木物种的胸高断面面积比例。
a , the recording number of sample plots for the families or genera ; b , the average number of stems of tree species in the sample plots ; c , the percentage of basal area of tree species in total basal area at DBH in the sample plots.

3.2 物种多样性沿海拔梯度的变化

3.2.1 物种丰富度

从图 4 可以看出,黄岗山乔木层的科、属、种数沿着海拔梯度的变化十分明显。东南坡乔木层的物种数(S)最大值(S=42,E5)出现在海拔 800 m 的常绿阔叶林中,该处是典型的亚热带常绿阔叶林代表群落(黄友儒等, 1981),主要由壳斗科、山茶科、杜鹃花科、胡桃科等组成,其中也散生拟赤杨、青

榨槭(*Acer davidii*)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)等落叶阔叶树种。海拔 800 m 以上,随着海拔的升高,乔木层的物种丰富度明显下降($y = 56.85 - 0.026x$, $n = 26$, $R^2 = 0.767$, $P < 0.001$)。科、属数沿海拔梯度变化结果与物种丰富度表现基本一致(图 4a,b)。在海拔 800 m 以下,乔木层物种丰富度偏低,主要原因是砍伐的影响。低海拔的人工经营毛竹林样方(E1-E3)的物种丰富度(S)低。

表 2 黄岗山东南坡与西北坡植物样方基本概况
Table 1 Sample plots characteristics on SE and NW slopes of Mt. Huanggang

编号 No.	样方面积 Plot size (m ²)	投影面积 Projected area (m ²)	海拔 ALT (m)	坡向 ASPE	坡度 Slope (°)	物种数 No. of species	No. of TF	No. of TG	No. of TS	N (No./hm ²)	H' (m)	H (m)	H _{max} (m)	DBH (cm)	DBH _{max} (cm)	TBA (m ² /hm ²)	优势种 Dominant species
E1	20*20	378	560	S20E	19	83	8	10	11	2270	1.79	8.7	16.0	11.5	25.8	115.2	毛竹、丝栗栲、拟赤杨
E2	20*20	346	600	S80E	30	63	12	14	15	430	1.72	11.4	18.0	12.9	34.4	29.5	毛竹、罗浮栲、甜槠
E3	20*20	328	720	N10E	35	53	13	14	21	4970	2.06	9.2	23.0	12.8	46.5	63.6	毛竹、少叶黄杞、甜槠
E4	20*30	564	780	S75W	20	91	21	27	37	2700	2.75	6.2	16.0	12.7	52.5	34.1	马尾松、硬斗柯、杉木
E5	20*30	491	800	S60E	35	106	20	26	42	3260	2.78	7.1	13.0	10.6	46.8	28.8	毛竹、建润楠、青冈
E6	20*30	424	850	W	45	84	14	19	32	2360	2.76	6.6	23.0	15.7	48.7	45.4	马尾松、拟赤杨、钩栲
E7	20*30	485	900	S30W	36	76	18	27	38	2410	2.26	6.7	25.0	18.5	76.4	64.5	甜槠、钩栲、罗浮栲
E8	20*30	473	950	N40E	38	82	21	27	38	3960	2.67	9.1	30.0	12.4	60.5	47.4	甜槠、马尾松、多脉青冈
E9	20*30	530	1000	S80W	28	67	19	28	36	3230	2.62	9.0	28.0	12.1	51.2	37.1	马尾松、木荷、甜槠、杉木
E10	20*30	564	1050	S5W	20	51	12	17	24	4150	1.82	8.1	25.0	10.1	40.4	33.0	黄山松、甜槠、木荷
E11	20*30	544	1100	N5E	25	64	14	19	19	3290	1.18	8.8	25.0	12.5	42.3	40.5	黄山松、甜槠、木荷
E12	20*30	564	1150	S70E	20	81	15	25	32	5210	1.96	8.8	25.0	9.4	46.2	36.0	木荷、黄山松、福建野樱
E13	20*30	571	1200	S80E	18	44	12	13	15	5910	1.15	8.3	24.0	9.4	37.2	41.4	黄山松、木荷、鹿角杜鹃
E14	20*30	596	1250	S10E	7	64	15	18	25	6460	1.79	7.5	22.0	7.8	27.1	30.7	黄山松、木荷、鹿角杜鹃
E15	20*30	591	1300	S80E	10	35	11	13	16	8800	2.05	7.3	22.0	7.4	41.4	37.3	黄山松、木荷、缺萼枫香
E16	20*30	520	1350	N60W	30	48	9	12	12	3140	1.45	4.4	11.0	8.7	28.6	18.7	木荷、鹿角杜鹃、黄山松
E17	20*30	544	1400	N10W	25	44	12	17	28	3880	2.00	5.3	12.0	14.8	49.3	66.7	木荷、多脉青冈、青冈
E18	20*30	460	1450	N20W	40	48	13	17	22	6810	2.10	5.3	20.0	11.3	39.5	67.7	黄山松、木荷、多脉青冈
E19	20*30	491	1500	N40W	35	40	7	8	9	6610	1.31	5.2	12.0	8.9	31.2	40.7	木荷、黄山松、鹿角杜鹃
E20	20*30	446	1550	S70E	42	30	9	10	10	2740	1.04	7.5	15.0	14.0	39.8	42.3	黄山松、木荷、鹿角杜鹃
E21	20*30	424	1600	S60E	45	49	8	13	16	3180	0.89	6.7	25.0	14.1	59.2	49.7	黄山松、鹿角杜鹃、福建野樱
E22	20*30	544	1650	S30E	25	22	7	9	12	1910	0.76	6.3	12.0	16.6	39.5	41.2	黄山松、铁杉、木荷
E23	20*30	491	1700	N30E	35	40	8	13	18	2560	1.39	5.6	12.0	14.0	41.4	39.5	黄山松、木荷、云锦杜鹃、柳杉
E24	20*30	530	1750	S70E	28	32	5	10	13	2980	0.92	6.3	13.0	14.6	39.5	50.2	黄山松、铁杉、云锦杜鹃
E25	20*30	520	1800	S30E	30	30	10	13	16	2170	0.74	5.1	10.0	13.7	42.3	32.0	黄山松、江南山柳、薄毛豆梨
E26	20*30	479	1850	S15W	37	17	6	7	8	3090	0.69	4.8	9.0	13.1	33.1	41.7	黄山松、铁杉、薄毛豆梨
E27	20*30	491	1950	S10W	35	18	6	7	9	4960	0.50	4.6	9.0	10.2	28.6	40.4	黄山松、铁杉、薄毛豆梨

表 2 (续) Table 2 (continued)

编号	样方面积	投影面积	海拔	坡向	坡度	物种数	No. of TF	No. of TG	No. of TS	N	H'	H	H _{max}	DBH	DBH _{max}	TBA	优势种	Dominant species
No.	Plot size (m ²)	Projected area (m ²)	ALT (m)	ASPE	Slope (°)	No. of species				(No./hm ²)		(m)	(m)	(cm)	(cm)	(m ² /hm ²)		
E28	20*30	598	2000	N30W	5	18	3	4	4	2460	0.24	5.2	9.0	11.4	29.0	25.3	黄山松、铁杉、薄毛豆梨	
E29	10*10	91	2050	S10E	25	15	1	1	1	1100	0.00	2.8	4.5	9.8	20.1	8.4	黄山松	
E30	10*10	88	2100	S40E	28	29	2	3	3	1093	0.17	5.1	9.0	11.5	20.7	26.8	黄山松、云锦杜鹃	
N1	10*10	94	2050	N80W	20	26	7	7	9	2980	1.51	5.4	9.0	10.5	22.0	25.7	黄山松	
N2	10*10	91	2000	N80W	25	20	4	4	4	3750	0.44	5.1	7.0	9.8	18.1	28.4	黄山松	
N3	20*20	363	1950	N20W	25	12	2	2	2	280	0.67	2.3	2.7	5.5	7.0	0.7	满山红、灯笼花	
N4	20*20	380	1920	W	18	20	4	4	5	710	0.72	3.2	6.0	10.8	25.5	6.5	黄山松、薄毛豆梨、云锦杜鹃	
N5	20*30	544	1900	N	25	14	9	9	10	900	1.81	7.7	14.0	14.7	47.1	15.2	包石栎、南方红豆杉、岩铃	
N6	20*30	591	1850	N20W	10	42	11	16	19	2640	2.46	6.8	18.0	16.0	73.2	53.3	多脉青冈、紫茎、闽皖八角	
N7	20*30	520	1800	N10W	30	49	14	18	24	3040	1.97	7.7	30.0	19.6	73.2	91.4	铁杉、南方红豆杉、多脉青冈	
N8	20*30	564	1700	N70E	20	48	12	17	22	1650	1.70	7.3	21.0	19.8	88.2	50.7	多脉青冈、铁杉、鹅掌楸	
N9	20*30	479	1600	N80W	37	65	16	24	30	4990	2.51	6.7	22.0	12.9	58.3	64.7	多脉青冈、缺萼枫香、黄山松	
N10	20*30	530	1500	N10E	28	44	11	16	20	2470	2.08	8.4	28.0	17.8	53.8	61.5	柳杉、木荷、猴头杜鹃	
N11	20*30	509	1400	S45W	32	84	16	21	28	3830	2.08	7.8	27.0	15.8	60.5	74.7	黄山松、化香、木荷、多脉青冈	
N12	20*20	346	1300	N45W	30	60	12	18	21	2420	1.76	9.6	22.0	22.2	55.7	71.0	甜槠、木荷、缺萼枫香、短尾柯	
N13	20*20	328	1200	N45W	35	65	11	16	19	3540	1.64	9.5	20.0	18.8	54.1	97.7	野漆、多脉青冈、拟赤杨	

注：TF：乔木科；TG：乔木属；TS：乔木种；N：立木密度；H：平均树高；H_{max}：最大树高；DBH：平均胸径；DBH_{max}：最大胸径；TBA：胸高断面面积之和；H'：Shannon-Wiener 指数；E1-E30：东南坡样方，N1-N13：西北坡样方
Noe：TF, Tree Families; TG, Tree Genera; TS, Tree Species; N, Stem Density; H, Mean Height; H_{max}, Maximum Height; DBH, Mean Diameter at Breast Height; DBH_{max}, Maximum DBH; TBA, Total Basal Area; H', Shannon-Wiener index; E1-E30, Sample plot in the SE slope, N1-E13, Sample in the NW slope.
甜槠 *Castanopsis eyrei*; 丝栗栲 *C. fargesii*; 罗浮栲 *C. fabri*; 钩栲 *C. tibetana*; 多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis*; 硬头柯 *Lithocarpus hancei*; 短尾柯 (*L. brevicaudatus*); 包石栎 *L. cleistocarpus*; 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*; 木荷 *Schima superba*; 缺萼枫香 *Liquidambar acalycina*; 闽皖八角 *Illicium minwanense*; 马尾松 *Pinus massoniana*; 黄山松 *P. taiwanensis*; 杉木 *Cunninghamia lanceolata*; 铁杉 *Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*; 南方红豆杉 *Taxus wallichiana* var. *chinensis*; 柳杉 *Cryptomeria fortunei*; 毛竹 *Phyllostachys pubescens*; 薄毛豆梨 *Pyrus calleryana* f. *tomentilla*; 福建野樱 *Prunus fokiensis*; 建润楠 *Machilus oreophila*; 江南山柳 *Clethra cavaleriei*; 鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae*; 满山红 *R. mariesii*; 云锦杜鹃 *R. fortunei*; 猴头杜鹃 *R. similatum*; 灯笼花 *Enkianthus chinensis*; 少叶黄杞 *Engelhardtia fenzlii*; 拟赤杨 *Alniphyllum fortunei*; 岩铃 *Eurya saccicola*; 鹅掌楸 *Liriodendron chinense*; 紫茎 *Stewartia sinensis*; 化香 *Platycarya strobilacea*; 野漆 *Toxicodendron succedaneum*

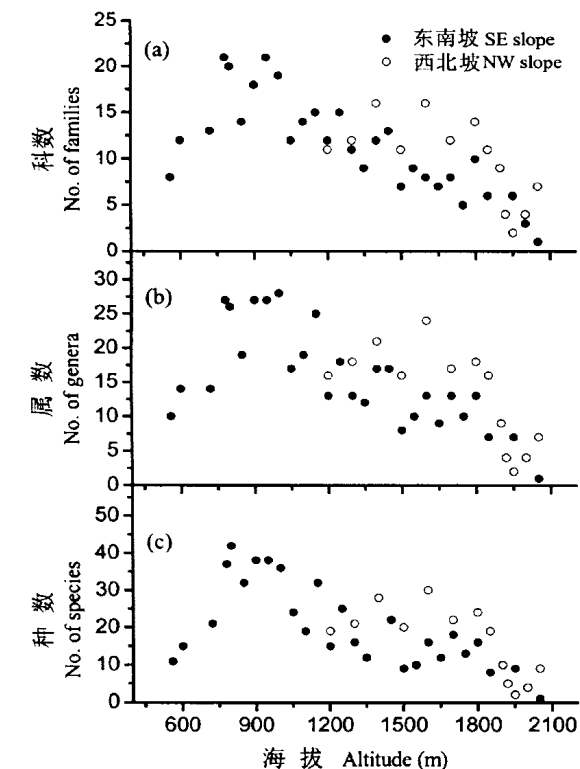


图 4 乔木科、属、种数量沿海拔梯度的变化
Fig. 4 Number of families (a), genera (b), species (c) along altitudinal gradient

西北坡乔木层的科、属、种数沿着海拔梯度变化也很明显(图 4)。乔木层的物种数(S)最大值($S=30$, N10)出现在海拔 1600 m 的针阔混交林中,该植被带属于针阔混交林与针叶林过渡带,群落主要由壳斗科、山茶科、冬青科、松科等组成。物种数与海拔之间有显著的相关性($r=-0.71$, $P<0.01$)。

东南坡和西北坡物种丰富度的比较结果表明:在相同海拔条件下,西北坡的物种丰富度大于东南坡。东南坡除了 E1 - E3 三个人工毛竹林样方外,随着海拔升高,物种丰富度呈明显下降趋势;而西北坡则维持较高水平,直到海拔 1900 m 以上才迅速下降。

3.2.2 多样性

在森林群落中乔木层是决定物种多样性的关键因素。采用 Shannon-Wiener 指数(H)和 Pielou 指数(E)测度乔木层多样性沿海拔梯度的变化。东南坡乔木层物种的 Shannon-Wiener 指数与物种丰富度(S)随海拔变化的趋势十分类似(图 4c、图 5a)。Shannon-Wiener 指数与海拔之间有明显的负

相关性($r=-0.87$, $P<0.01$),Pielou 指数与海拔之间也呈明显的负相关性($r=-0.81$, $P<0.01$)。东南坡在低海拔(400 - 750 m)几乎没有天然林,样方 E1 - E3 为人工经营的毛竹林,Shannon-Wiener 指数($H=1.86\pm0.18$)低于天然林样方 E4 - E9($H=2.64\pm0.20$)。在海拔 800 m 以上,东南坡乔木物种的 Shannon-Wiener 指数随着海拔升高而明显下降。

西北坡乔木层物种 Shannon-Wiener 指数与海拔没有明显的相关性($r=-0.53$, $P=0.064$),Shannon-Wiener 指数在海拔 1500 - 1800 m 范围远高于其他海拔段。Pielou 指数与海拔也没有明显的相关性($r=-0.13$, $P=0.668$)。但值得注意的是,西北坡 Shannon-Wiener 指数波动比较大,可能的原因是植物群落类型多样化。根据黄新和(1963)调查,西北坡 1100 m 以上共有 11 个不同植物群落。

武夷山保护区东西宽约 25 km,平均海拔仅 1200 m,由于山峰起伏,山脊纵横交错。实际上造成两坡环境梯度相差不甚明显,但西北坡接受的热量

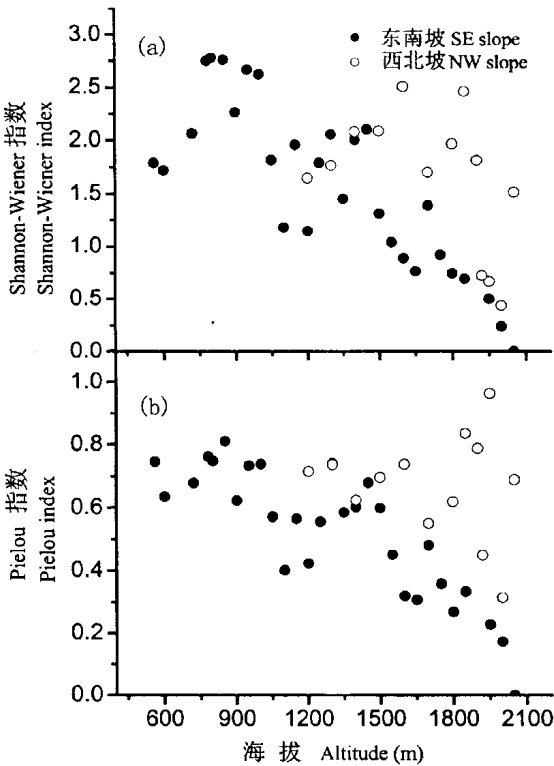


图 5 乔木层物种 Shannon-Wiener 指数(a)和 Pielou 指数(b)沿海拔梯度的变化
Fig. 5 Shannon-Wiener index (a) and Pielou index (b) of tree layer along an altitudinal gradient

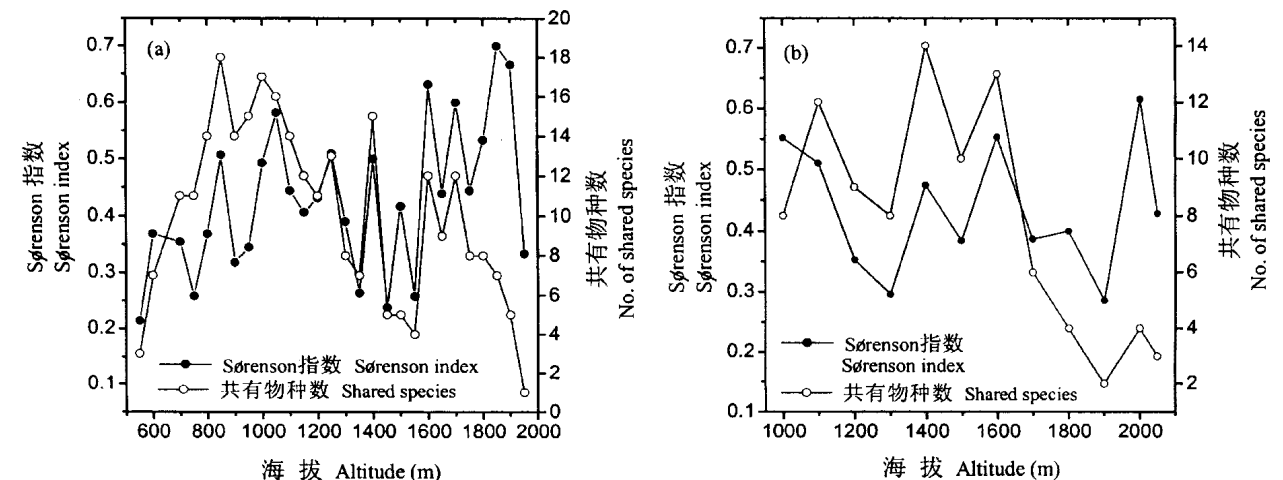


图 6 东南坡(a)、西北坡(b)乔木 Sørensen 指数和共有物种数沿海拔梯度的变化
Fig. 6 Sørensen index and shared species of tree layer along altitudinal gradient in southeastern slope (a) and northwestern slope (b)

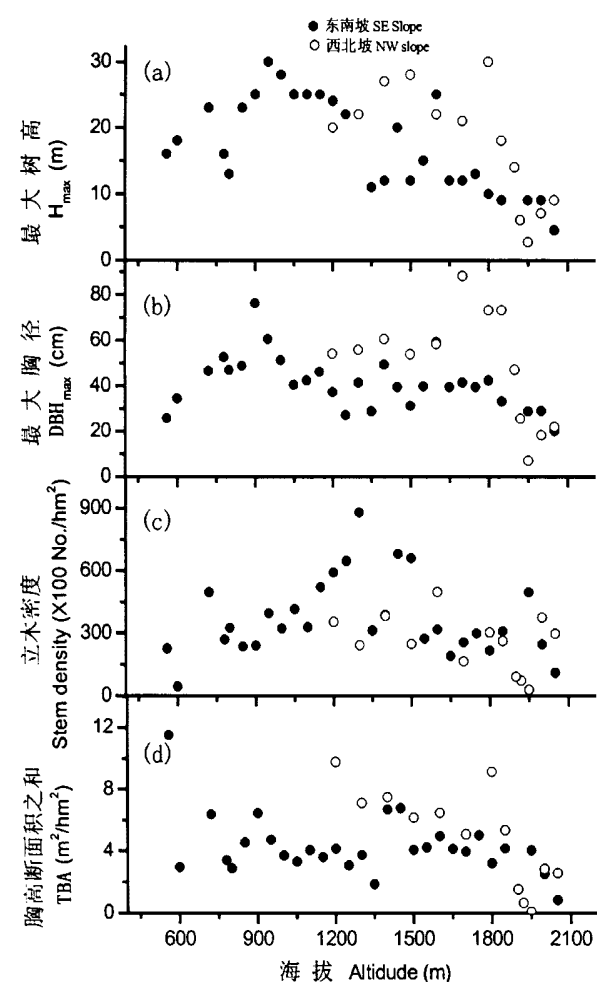


图 7 最大树高、最大胸径、木立密度和胸高断面积之和沿海拔梯度的变化
Fig. 7 Change of maximum tree height (a), maximum DBH (b), stem density (c), total basal area (d) along an altitudinal gradient

相对比东南坡少,环境比东南坡更为湿润。因此,西北坡常常生长高大偏耐阴乔木树种,植物群落层次复杂,表现为西北坡 Shannon-Wiener 指数高于东南坡(图 5)。

3.3 多样性

多样性表达群落间的多样性 (Whittaker, 1965)。从图 6a 可以看出,东南坡海拔 800 m 以下人工经营的毛竹林 Sørensen 指数低于其他群落。在 800 - 1100 m 海拔段为天然常绿阔叶林群落,受人为破坏减少,共有物种增加,相似性增加,表现为 Sørensen 指数增高;自海拔 1100 m 向上 Sørensen 指数逐渐下降,这一转折点为常绿阔叶林向针阔混交林的转变,说明群落中物种更替强烈,相似性下降;另一转折点出现在海拔 1600 m。海拔在 1600 m 以上为针叶林,群落相似性增加,而 1900 m 出现山地矮林,与针叶林相比其相似性下降。共有物种的数量变化趋势与 Sørensen 指数相似,但在海拔 1800 m 以上物种数量较少,Sørensen 指数值相差比较大。

西北坡 Sørensen 指数在 1300 m、1600 m 和 1900 m 均出现明显的转折点。这是由植被类型的交替变化所引起:海拔 1300 m 以下为常绿阔叶林,1300 - 1600 m 为常绿落叶阔叶混交林,1600 - 1800 m 为针阔混交林,1800 m 以上出现针叶林。比较东南坡与西北坡的 Sørensen 指数可以得出,西北坡的常绿阔叶林分布海拔高于东南坡,西北坡在海拔 1300 - 1600 m 出现高比例的落叶阔叶物种;而东南坡海拔 1600 m 以上为针叶林。

3.4 群落生长特征沿海拔梯度的变化

群落的生长特征代表群落的生产潜力。黄岗山东南坡在低海拔的最大树高 (H_{\max})、胸径 (DBH_{\max})、立木密度和胸高断面面积之和 (TBA) 都偏低,这可能与人为干扰有直接关系。最大树高和最大胸径出现在海拔 900 m 的 E7 样方中,物种为马尾松 ($DBH_{\max} = 76.5\text{ cm}$, $H_{\max} = 35\text{ m}$); 东南坡 DBH_{\max} 在低海拔 (600 - 900 m) 较高,中海拔 (900 - 1800 m) 变化不明显,海拔 1900 m 以上 DBH_{\max} 明显下降 (图 7b)。东南坡乔木密度在中海拔 (1200 - 1600 m) 最高,低海拔和高海拔比较低; 单位面积的 TBA 在海拔 450 - 1900 m 相差不大,在海拔 1900 m 后迅速减少。

西北坡相对东南坡气候条件较阴湿,乔木树种生长较高大,立木密度降低 (图 7)。最大树高和最大胸径出现在海拔 1800 m 的铁杉林样方中 (N8, $DBH_{\max} = 73.2\text{ cm}$, $H_{\max} = 30\text{ m}$); 另外,样方 N11 (海拔 1500 m) 出现高大的柳杉,其树高和胸高断面面积之和值也比较高。随着海拔上升,乔木树高、胸高断面面积之和和立木密度均明显下降。

比较东南坡和西北坡 H_{\max} 、 DBH_{\max} 和 TBA 可以发现 (图 7a, b, d), 海拔 1200 - 1800 m 的西北坡 H_{\max} 和 DBH_{\max} 都比东南坡高,立木密度比东南坡低,主要原因是西北坡生长高大耐阴物种如铁杉、柳杉、南方红豆杉 (*Taxus wallichiana* var. *chinensis*) 和包石栎 (*Lithocarpus cleistocarpus*) 等,而东南坡

相对比较干燥,以耐旱的阳性物种黄山松为主要建群种,生长较缓慢。

为了进一步分析不同生活型胸高断面面积之和沿海拔梯度的变化,把乔木物种分成常绿阔叶、落叶阔叶和针叶三种生活型。图 8 表示 TBA 比例沿海拔的变化。东南坡 450 - 1000 m 以常绿阔叶林占绝对优势,1000 - 1600 m 常绿阔叶树和针叶树各自占相当比例,该植物群落为针阔混交林,1600 - 2100 m 以针叶树占绝对优势 (图 8a)。东南坡落叶阔叶树的 TBA 在各个海拔范围均占一定比例,海拔 1500 m 以上落叶阔叶树的 TBA 所占比例逐步降低,低海拔地区的落叶乔木 TBA 的比例仍然较高,主要是由于落叶阔叶物种的个体胸径大,物种数少。这些落叶阔叶物种主要有: 南酸枣 (*Choerospondias axillaris*)、拟赤杨等。西北坡 TBA 随海拔梯度变化情况基本相同,但常绿阔叶林生长延伸的海拔高度比东南坡高,可分布到海拔 1900 m 左右 (图 8b)。

4 结语

通过对东南坡和西北坡的乔木物种垂直梯度变化的研究,得出如下结论:

(1) 黄岗山东南和西北坡的物种组成成分相差不大,东南坡乔木科、属、种数量随着海拔升高,呈下降的趋势。西北坡变化波动较大,与西北坡群落多样化有关。

(2) 乔木层物种多样性 (H) 随着海拔梯度

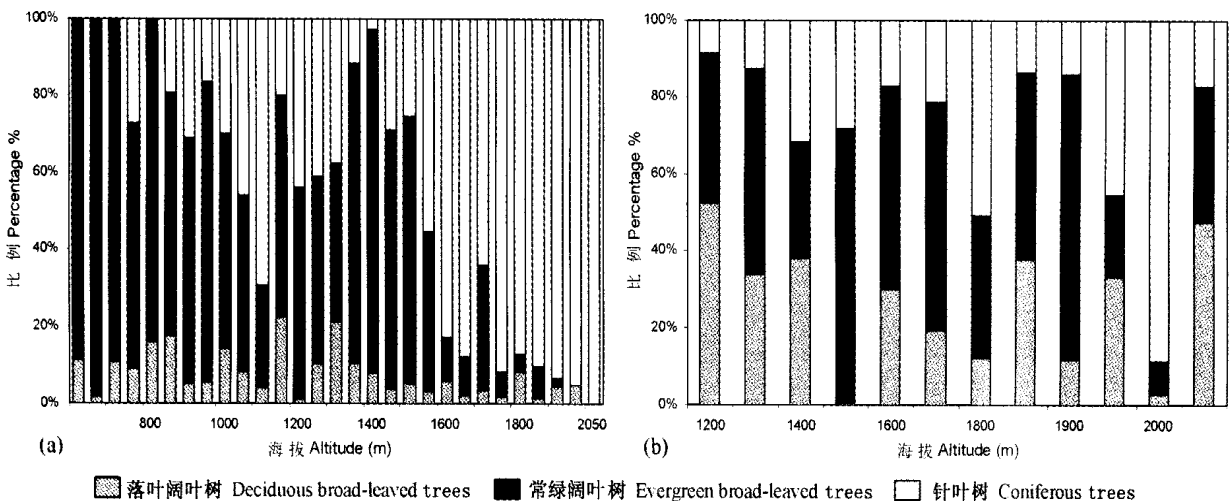


图 8 东南坡(a)和西北坡(b)三种生活型的乔木胸高断面面积之和所占比例沿海拔梯度的变化

Fig. 8 Total basal area percentage of evergreen, deciduous and coniferous tree species on (a) SE slope and (b) NW slope along an altitudinal gradient

变化与物种丰富度 (S) 的变化相似; 除低海拔人工经营毛竹林外, H 值与海拔之间有明显的负相关性 ($r = -0.87$, $P < 0.01$)。西北坡的 H 值与海拔没有明显的相关性 ($r = -0.53$, $P = 0.064$), 其 H 值比东南坡高。

(3) 乔木层 Sørensen 指数在东南坡和西北坡中不同群落交替时出现转折点, 与植物群落的分布十分一致。物种交替强烈的地段, Sørensen 指数明显下降。

(4) 黄岗山东南坡和西北坡的 H_{\max} 、 DBH_{\max} 和 TBA 表现为: 中间大、两端小。在 1200 - 1800 m 范围内西北坡的 H_{\max} 、 DBH_{\max} 和 TBA 比东南坡高。东南坡乔木密度在中海拔段 (1600 m) 达到最大, 而西北坡乔木树高和胸径高于东南坡, 但西北坡密度波动较大。

(5) 将乔木区分为常绿阔叶、落叶阔叶和常绿针叶三种生活型。它们的 TBA 所占比例沿海拔梯度的变化表现出如下规律: 东南坡 450 - 1000 m 常绿阔叶林占绝对优势, 1000 - 1600 m 常绿阔叶林和针叶林各自占相当比例, 1600 - 2100 m 以针叶林占绝对优势, 落叶阔叶林在各海拔范围均有分布。西北坡 TBA 与东南坡相似, 但常绿阔叶林成分从低海拔到高海拔均占很高的比例, 针叶林只在较高海拔 (1300 - 1900 m) 有较高的比例。

致谢: 植物标本鉴定得到福建武夷山国家级自然保护区管理局刘初钿高级工程师的帮助, 在此深表感谢!

参考文献

- Baruch, Z. 1984. Ordination and classification of vegetation along an altitudinal gradient in the Venezuelan paramos. *Vegetatio*, **55**: 115 - 126.
- Chen, C. D. (陈昌笃). 1999. Biodiversity in the Wuyi Mountains and its importance in China. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **7**(4): 320 - 326. (in Chinese)
- Chen, Z. R. (陈忠仁), Huang, S. Q. (黄绳全) and Shi, J. S. (施金生). 1983. The mountainous elfin forest on Mt. Huanggang, Fujian, China. *Wuyi Science Journal* (武夷科学), **3**: 23 - 29. (in Chinese)
- Hamilton, A. C. and Perrott, R. A. 1981. A study of altitudinal zonation in the montane forest belt of Mt. Elgon, Kenya/ Uganda. *Vegetatio*, **45**: 107 - 125.
- Huang, Q. L. (黄清麟), Dong, N. J. (董乃钧) and Li, Y. H. (李元红). 1999. Main types and characteristics of natural broad-leaved forest of the mid-subtropical zone in Fujian Province. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **17** (4): 368 - 374. (in Chinese)
- Huang, X. H. (黄新和). 1963. The vegetation distribution along altitudinal gradient in Mt. Wuyi, Jiangxi. In: Biology Department, Jiangxi University (ed.), *Scientific Research Papers of Jiangxi University* (江西大学科学研究论文集), 155 - 165. (in Chinese)
- Huang, Y. R. (黄友儒), Lin L. G. (林来官) and Zhang Q. Q. (张清其). 1981. The vegetation forms of the Wuyishan Nature Reserve. *Wuyi Science Journal* (武夷科学), **1**: 28 - 46. (in Chinese)
- Huang, Z. L. (黄忠良), Kong, G. H. (孔国辉) and Wei, P. (魏平). 1998. Plant species diversity dynamics in Dinghu mountain forests. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **6**(2): 116 - 121. (in Chinese)
- Ito, S. 1991. Species turnover and diversity patterns along an elevation broadleaved forest coenocline. *Journal of Vegetation Science*, **2**: 477 - 484.
- Li, Z. J. (李振基), Liu, C. D. (刘初钿), Yang, Z. W. (杨志伟), He, J. Y. (何建源) and Lin, P. (林鹏). 2002a. Studies on the species diversity of the closed stable forest and the disturbed forest of *Castanopsis eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**(1): 64 - 68. (in Chinese)
- Li, Z. J. (李振基), Chen, L. Z. (陈鹭真), Lin, Q. X. (林清贤), Lin, J. L. (林建丽), Liu, D. L. (刘德龙), Liu, C. D. (刘初钿), He, J. Y. (何建源), Chen, B. H. (陈炳华), Huang, Z. H. (黄泽豪), Lin, W. Q. (林文群) and Shi, D. M. (石冬梅). 2002b. Study on the species diversity of higher plants in *Buxus Sinica* var. *parvifolia* dwarf community in Wuyishan Mountains. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* [厦门大学学报 (自然科学版)], **41**(5): 574 - 578. (in Chinese)
- Lieberman, D., Lieberman, M., Peralta, R., and Hartshorn, G. S. 1996. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. *Journal of Ecology*, **84**: 137 - 152.
- Lin, P. (林鹏) and Ye, Q. H. (叶庆华). 1983. Studies on the vegetation of the Wuyishan Nature Reserve. I. Outline of the vegetation distribution in the Huanggang Mountain. *Wuyi Science Journal* (武夷科学), **3**: 16 - 22. (in Chinese)
- Lin, P. (林鹏) and Ye, Q. H. (叶庆华). 1985. The meadow vegetation on the top of Mt. Huanggang in Wuyishan Nature Reserve. *Wuyi Science Journal* (武夷科学), **5**:

- 256 - 264.
- Lin, Y. R. (林有润), Wang, X. W. (王学文) and Zhang, G. C. (张桂才). 1981. A preliminary study of the flora of the spermatophyte in the Wuyishan Nature Reserve (WYNR) in Fujian. *Wuyi Science Journal* (武夷科学), **1**: 57 - 82. (in Chinese)
- Luo, H. M. (罗汉民). 1986. *Climatology* (气候学). Meteorological Press, Beijing. (in Chinese)
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Peet, R. K. 1978. Forest vegetation of the Colorado, Front Range, pattern of species diversity. *Vegetatio*, **37**: 65 - 78.
- Shen, Z. H. (沈泽昊) and Zhang, X. S. (张新时). 2000. A quantitative analysis on the floristic elements of the Chinese subtropical region and their spatial patterns. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), **38**(4): 366 - 380. (in Chinese)
- Tang, C. Q. and Ohsawa, M. 1997. Zonal transition of evergreen, deciduous, and coniferous forests along the altitudinal gradient on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*, **133**: 63 - 78.
- The committee of Fujian Science and technology (福建科学技术委员会主编). 1993. Report of Scientific Survey in Wuyishan Nature Reserve (武夷山自然保护区科学考察报告集). Fujian Science and Technology Press, Fuzhou, 154 - 310. (in Chinese)
- Weng, D. M. (翁笃鸣). 1990. *Topographic Climatology of Mountain* (山区地形气候). Meteorological Press, Beijing. (in Chinese)
- Whittaker, R. H. and Niering, W. A. 1975. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production, and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, **56**: 771 - 790.
- Whittaker, R. H. and Niering, W. A. 1965. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the south slope. *Ecology*, **46**: 429 - 452.
- Whittaker, R. H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, **147**: 250 - 260.
- Wilson, J. B. and Sydes, M. T. 1988. Some tests for niche limitation by examination of species diversity in the Dunedin area, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, **26**: 237 - 244.
- Wu, Z. Y. (吴征镒主编). 1980. *Vegetation of China* (中国植被). Science Press, Beijing, 1 - 429. (in Chinese)
- Yi, S. (易俗), Huang, Z. L. (黄忠良) and Ouyang, X. J. (欧阳学军). 2001. Study on the species diversity of interlayer plants of Dinghushan Biosphere Reserve. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**(1): 56 - 61. (in Chinese)
- Zhang, G. F. (张光富). 2000. Species diversity of a shrub community in Tiantong region, Zhejiang Province and its implication for succession. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **8**(3): 271 - 276. (in Chinese)

(责任编辑: 时意专)