

生境异质性对鼎湖山植物群落多样性的影响

彭闪江^{1,2}, 黄忠良^{1*}, 徐国良¹, 欧阳学军¹, 张池¹

(1. 中国科学院华南植物研究所鼎湖山树木园, 广东肇庆 526070; 2. 佛山市环境保护研究所, 广东佛山 528301)

摘要: 根据鼎湖山永久样地的调查资料, 探讨生境尺度异质性对植物群落物种多样性的影响。结果显示多样性指数随着生境异质性的变化而产生较大的差异。群落多样性指数随地形差异而表现出南坡> 北坡、坡底> 坡中> 坡顶的变化趋势。海拔梯度与多样性指数的线性关系不很明显, 但仍有随海拔升高而下降的倾向。以 Shannon-Wiener 多样性指数为权重参数的主成分分析结果表明, 影响植物群落多样性指数的第一主成分中, 干扰体系和坡向造成的异质性生境影响最大, 其贡献率为 42.95%。影响群落多样性的第二主成分因子主要是土壤类型和海拔梯度的变化, 贡献率为 26.24%。

关键词: 土壤类型; 物种多样性; 鼎湖山; 地形特征; 海拔梯度; 干扰体系

中图分类号: Q 145.2, 148.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)05-0391-08

*

Effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan Biosphere Reserve

PENG Shan-jiang^{1,2}, HUANG Zhong-liang^{1*}, XU Guo-liang¹,
OU YANG Xue-jun¹, ZHANG Chi¹

(1. *Dinghushan Arboretum, South China Institute of Botany, Academia Sinica, Zhaoqing 526070, China;* 2. *Foshan Institute of Environmental Protection, Foshan 510650, China*)

Abstract: Based on long-time investigation of permanent plot in Dinghushan Biosphere Reserve, we detected the effects of habitat heterogeneity on plant community diversity. Results indicated that diversity index showed a great difference in different forest communities that caused by variation of habitat attributes. Community diversity order correlated with topography attributes was: southern exposure> northern exposure, lower slope> middle slope> upper slope. Diversity index showed a tendency that value of diversity index decreased with increasing elevation, though linear correlation between them was not clear. Results of principal component analyses showed that disturbance regimes and exposure were the important factors as the first component had effects on community diversity, and its contribution is up to 42.95%. The second principal component (contribution is up to 26.24%) may reflect soil types and elevation gradient correlated with community diversity.

Key words: soil types; species diversity; Dinghushan; topography characteristics; elevation gradient; disturbance regimes

生境异质性被认为是生态系统生物多样性得以维持的重要因素。关于物理环境空间异质性在某些

空间尺度上与多样性存在正向线性关系争议不大 (Chambers 等, 1990; Pringle, 1990)。空间异质性程

收稿日期: 2002-08-23 修订日期: 2003-02-20

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899370); 中国科学院重大项目(KZ951-B1-110)资助。

作者简介: 彭闪江(1978-), 男, 湖南邵阳人, 硕士生, 从事保护与环境生态学方面的研究。* 为通讯联系人



度越高,意味着有更多的小生境及小气候条件,所以能满足更多具有不同生态位的物种的需要,从而实现多物种的共存。地形变化是产生异质性的生境的重要因素,给不同生活史策略和生理生态要求的物种提供了定居的生态位,有利于生物多样性的维持(Ehrenfeld, 1995; Nakamura 等, 1997)。干扰同样是影响生物多样性的因素。干扰体系特征包括尺度(大小)、频度和数量等的变化,能引起时间和空间的异质性,而使组成群落的物种产生变化响应,影响到植物种群结构及物种多样性(Sakio, 1997; 施济普等, 2002; 张金屯等, 1995; Stohlgren 等, 1998)。

大多数实例研究和一些理论模型研究检测的是单一的干扰或空间异质性对物种多样性的影响,而忽略了他们之间的交互作用。本文试图以鼎湖山的森林群落为研究对象,分析生境异质性对植物群落多样性的影响以及干扰体系与生境异质性共同作用下植物群落多样性的变化规律,探讨群落多样性的维持机制。

鼎湖山生物圈保护区具有南亚热带地带性植被——季风常绿阔叶林和其它多种植被类型,不同植被中明显存在生境条件和干扰体系的差异。例如,河岸林和针叶林在水分、温度条件和土壤类型等的差异(何金海等, 1982)。各植被中干扰体系也存在差别。沟谷林和河岸林中可能只存在洪流单一的自然干扰体系,而在季风常绿阔叶林内则存在山体滑坡和虫害等多种干扰体系(黄忠良, 2000)。干扰体系的差异进一步导致了异质性的生境,进而影响不同植被类型中群落组成结构和多样性的差异。有关本区群落多样性的研究已有一些报道(彭少麟, 1987; 黄忠良等, 2000),但较多的是分析群落组成结构、物种多样性的分布格局,或是探讨人为干扰和演替对群落物种多样性的影响,而缺少在生境尺度上的异质性特征及其同干扰体系之间相互关系对群落物种多样性影响的相关研究,本文从异质性角度入手,并采用主成分分析方法,评价生境异质性特征在影响物种多样性的相对作用,为本区的生物多样性保护和持续利用提供相关理论参考。

1 样地概况

本研究的鼎湖山生物圈保护区位于广东省中部,毗邻珠江三角洲,居 23°09'21" ~ 23°11'30" N, 112°30'39" ~ 112°33'41" E。全区总面积 1 155 hm²,

为大起伏山地丘陵,呈东北—西南走向。山峰海拔一般为 450~ 600 m,最高峰鸡笼山海拔 1 000.3 m,坡度平均为 30° ~ 45°。

鼎湖山的土壤由砂岩、砂页岩发育而成,从低到高海拔依次分布有赤红壤、黄壤和山地灌层草甸土。本区属南亚热带湿润季风型气候,水热条件丰富。年太阳总辐射约 4 665 MJ m⁻² a⁻¹,年平均日照时数约 1 433 h,年平均气温 20.9℃,最冷月(1月)和最热月(7月)的平均气温分别为 12.6℃ 和 28.1℃。其东南濒临太平洋,西南面朝印度洋,温暖湿润的季风气候给鼎湖山带来了丰沛的雨量,其年平均降雨量达 1 927 mm,但分布不均,其中 3~ 8 月的湿季降雨量占全年的 75% 以上,而 12 月到次年 2 月仅占 6%。年蒸发量 1 115 mm,年相对湿度 81.5% (黄展帆等, 1982)。

2 研究方法

2.1 样地调查和方法

利用在鼎湖山自然保护区 3 个 10 000 m² 永久样地(2 个在季风常绿阔叶林,1 个在混交林)内调查记录的数据资料,测定群落多样性并进行分析。探讨不同坡向对植物群落多样性的影响,将季风常绿阔叶林中两个同龄的锥栗(*Castanopsis chinensis*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)、黑桫欏(*Cyathea podophylla*)群落(分布在三宝峰的北坡)及黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)群落(同龄的分布在三宝峰南坡)相比较。为测度微尺度上海拔高差对群落物种多样性的影响是否显著,我们将各永久样地内样方(20 m × 20 m)依 30 m 的海拔差异排列分为 5 组(每组 5 个样方),第 1 组为海拔最低的一组,依次,海拔最高的为第 5 组,计算各组的多样性指数并进行比较。分析中尺度海拔梯度对群落多样性的影响,以 80~ 100 m 的海拔梯度进行分级。水分条件的差异,主要以距离水沟的远近和大气相对湿度作为指标。分析土壤类型对群落多样性的影响,则依据鼎湖山保护区土壤的成土条件与过程、土壤发育阶段性和土壤有机质及厚度等性质差异,分为赤红壤、水化赤红壤、黄壤及山地草甸土等类型,以比较各类群中群落多样性的差异。

2.2 多样性测度公式

多样性指数的计算使用如下公式: (1) Simpson 指数公式为: $D = 1 / \sum P_i^2$; (2) Shannon-Wiener 指数

公式为: $H = -\sum P_i \ln P_i$ 。以上式中, P_i 为某种个体数占群落(样地)总个体数的比例(马克平, 1997)。

2.3 分析方法

选取坡向、干扰体系、水分条件、微尺度海拔、中尺度海拔梯度、土壤类型和地形位置七个相关因子作为特征向量, 以 Shannon-Wiener 多样性指数为权重参数, 用 DPS 软件包进行主成分分析。

3 结果与分析

3.1 地形对群落结构和物种多样性的影响

3.1.1 鼎湖山植物群落结构和分布与坡位的关系

鼎湖山的植物群落结构和分布明显与地形相关, 如蒲桃 (*Syzygium jambos*)、水翁 (*Cleistocalyx operculatus*) 群落仅分布在河溪两侧, 凸脉榕 (*Ficus nervosa*)、鱼尾葵 (*Caryota ochlandra*) 群落分布在较宽阔的沟谷地带, 鸡笼山山顶分布的是鼎湖杜鹃

(*Rhododendron tinghuense*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 灌丛。

为分析坡位对群落多样性的影响, 将鼎湖山的植物群落根据地形分为坡底、坡中、坡顶 4 组。沟谷地带海拔较低, 遭受了较大的人为干扰, 另外, 沟谷地带湿度较大, 限制了一些植物种类在此定居。图 1 显示了坡位对群落物种多样性指数的影响。不难发现, 坡中和坡底的多样性指数较高, 坡顶最低。可见, 地形因子对群落多样性具有一定影响, 基本上生境条件好的地方, 多样性指数较高。

3.1.2 坡向对物种多样性的影响 坡向主要影响光照条件, 也间接影响到土壤、水分、温度和湿度等条件, 特别是南坡和北坡, 这种差异更为明显, 因而影响到不同坡向的植物群落组成结构和多样性。为探讨不同坡向对植物群落多样性的影响, 我们将分别位于南坡和北坡的两个季风常绿阔叶林群落的多样性指数进行了比较(年龄相近), 结果见表 1。

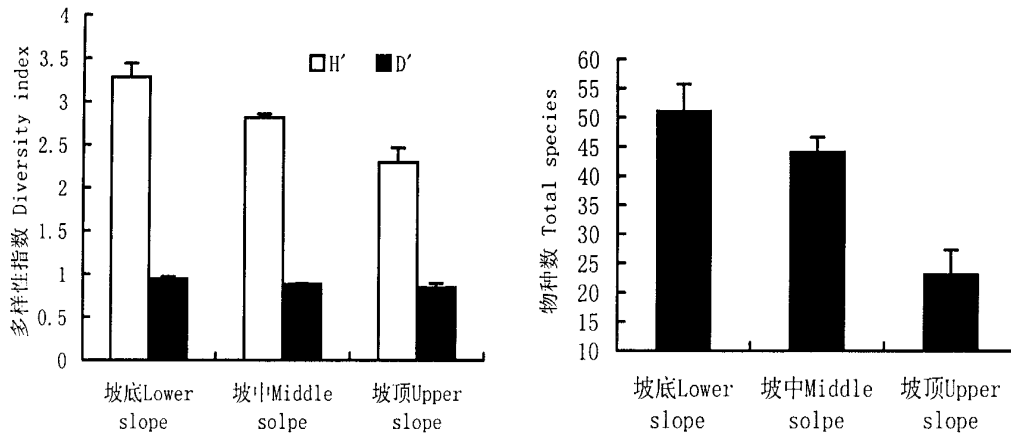


图 1 地形对群落物种多样性的影响

Fig. 1 Effects of topography location on species diversity in Dinghushan plant communities
H = Shannon-Wiener index; D = Simpson diversity index

表 1 不同坡向对季风常绿阔叶林两个植物群落物种多样性的影响

Table 1 Effects of exposure on species diversity of two communities in Dinghushan monsoon evergreen broad-leaved forests

坡向 Exposure	层次 Layer	香农指数 Shannon Index	Simpson 指数 Simpson Index	物种数 Species
南坡 South	乔木层 Tree layer	2.82	0.89	42
	灌木层 Shrub layer	2.6	0.89	30
	苗木草本层 Herb and seedling layer	2.31	0.8	30
北坡 North	乔木层 Tree layer	3.01	0.93	32
	灌木层 Shrub layer	2.08	0.77	19
	苗木草本层 Herb and seedling layer	2.25	0.79	24

注: 样方面积: 乔木层 1 200 m²; 灌木层 120 m²; 苗木草本层 50 m²。

Note: Plot area: Tree layer= 1 200 m²; Shrub layer= 120 m²; Herb and seedling layer= 50 m²。

很明显,北坡的群落物种丰富度在各个层次均较低,而多样性指数在各个层次不一样,北坡乔木层的多样性指数较南坡高,但灌木层和苗木草本层则是南坡大于北坡。显然,南坡的光照条件充足,适合更多种类生存。

3.2 水分条件对鼎湖山南坡植物群落组成和多样性的影响

林内的微生境是异质性的,异质性环境有利于维持物种多样性。距水沟(小溪)的远近,引起水分条件的差异,会影响植物群落组成结构和物种多样性。

从图 2 可以看出,从距水沟最远的第一组,到距水沟最近的第 5 组,物种丰富度和多样性指数基本呈下降的趋势。

3.3 土壤类型对群落多样性的影响

鼎湖山主要的土壤类型有赤红壤和黄壤。赤红壤是南亚热带的地带性土壤,分布在鼎湖山草塘、飞水潭等地。在保护较好的谷坡及水沟边,分布着水化赤红壤。黄壤分布于海拔 300 m 以上,可达 980 m 的山地。在最高峰鸡笼山山顶上,还分布着面积较小的山地灌丛草甸土。不同土壤类型上分布的植物群

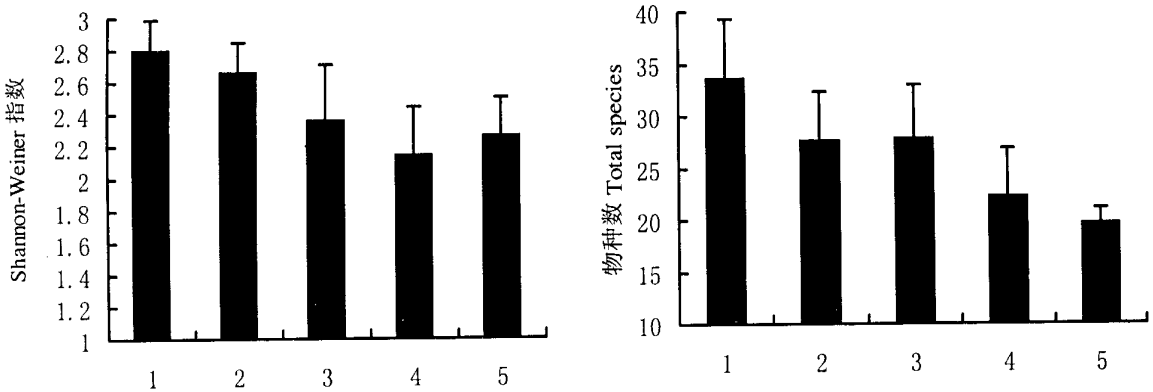


图 2 微地形对季风常绿阔叶林典型群落物种多样性的影响

Fig. 2 Effects of micro-topography on species diversity of monsoon evergreen broad-leaved forest

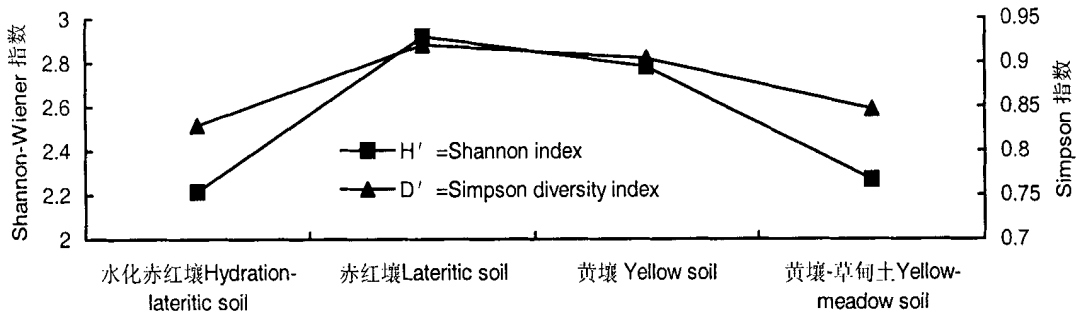


图 3 土壤类型对植物群落多样性的影响

Fig. 3 Effects of soil types on plant community diversity

落的物种多样性指数见图 3。其中以赤红壤类型的 Shannon-Weiner 指数和 Simpson 指数最高,而水化赤红壤区群落多样性指数最低,可能是因为水化赤红壤分布在溪涧谷地,林地非常阴暗潮湿,森林郁闭度大,光照不足的缘故所致。

3.4 海拔梯度上的物种多样性变化趋势

3.4.1 微尺度海拔梯度对群落物种多样性的影响

图 4 为各样地各组的物种丰富度和 Shannon-Weiner 指数状况。微尺度上海拔高差对物种丰富度

和多样性指数的影响比较复杂。混交林的物种丰富度有随海拔增高而增高的趋势,第一组样方出现例外是因边缘效应而较高,而混交林的 Shannon-Weiner 指数则呈相反趋势——随海拔升高而下降。季风常绿阔叶林 1 号样地 Shannon-Weiner 指数也有类似趋势,但其第 1 组值较低。

3.4.2 中尺度海拔影响群落结构和物种多样性 从海拔最低的蒲桃、水翁群落海拔最高的鸡笼山顶的鼎湖杜鹃、五节芒群落,形成一垂直梯度。各群落

的气候条件差异较大, 鸡笼山山顶的气温较低。据测定, 鼎湖山马尾松林、针阔叶混交林、沟谷常绿阔叶林和常绿阔叶林年平均气温和大气相对湿度依次为 22.7、80%, 20.9、82%, 20.4、87% 和 19.2、81%。年平均日较差依次为 5.9、4.6、3.6、3.1, 气候因子的差异, 对群落的物种多样性产生一定的影响。

图 5 显示, 海拔高度与群落多样性指数并不呈明显的线性关系。但仍有随海拔升高多样性指数下

降的趋势。海拔最低的蒲桃—水翁群落多样性指数较高, 海拔中等的格木群落的多样性指数最高, 其后有一段呈随海拔升高多样性指数下降的趋势。表现了随着海拔升高, 水湿条件变差, 引起群落物种多样性下降的格局。有些样地出现例外, 都与人为干扰有关。凸脉榕- 鱼尾葵群落多样性指数低便是由于人为干扰太大的缘故。此外, 海拔最高的两个群落多样性指数高, 也是因为它们位于保护区的核心区内, 人为干扰较小的原因。

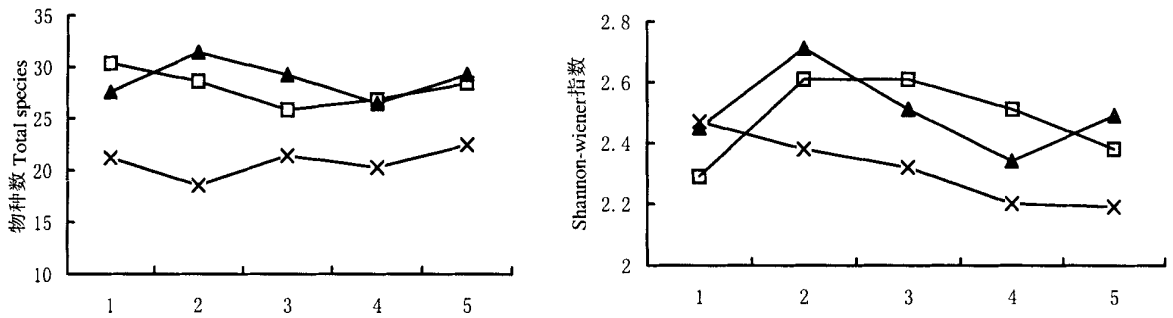


图 4 微尺度海拔高差对鼎湖山群落物种多样性的影响

Fig. 4 Effects of micro-scale of elevation on species diversity in Dinghusan forest

—x— 混交林 Mixed forest; - - 季风林 1 Monsoon broad-leaved forest 1; — 季风林 2 Monsoon broad-leaved forest 2

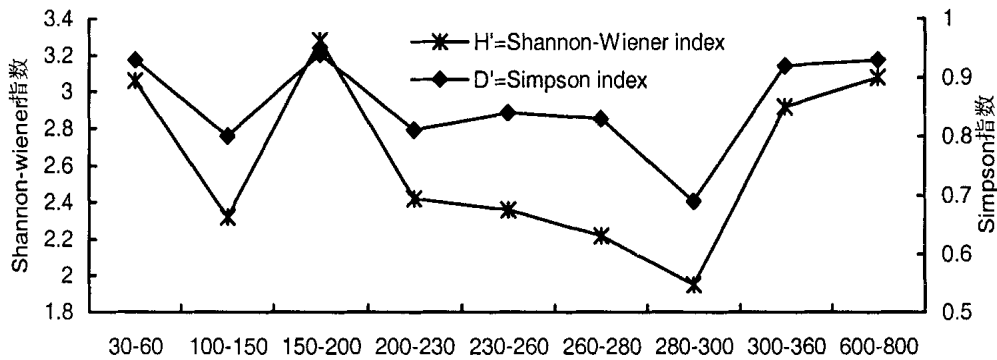


图 5 鼎湖山不同海拔梯度上的群落物种多样性指数变化

Fig. 5 Change of species diversity indices of communities along the elevation gradient

3.5 不同干扰体系下的植物群落多样性变化

鼎湖山常绿阔叶林包含有四种不同的植被类型, 分别为季风常绿阔叶林、山地常绿阔叶林、沟谷常绿阔叶林和河岸林。不同林型存在着不同类型与强度的干扰体系, 例如, 在沟谷林内可能只存在单一的洪流干扰, 在山地林和季风常绿阔叶林内, 存在山体滑坡、虫害及林窗等干扰类型。干扰体系的差异以及生境异质性的相互作用, 导致了物种组成结构和多样性格局的不同。从图 6 可以发现, 干扰体系较为

单一的沟谷林与河岸林, 其乔木层的香农多样性指数明显低于山地林和季风常绿阔叶林, 而灌木层显示了同样的趋势, 但多样性值普遍高于乔木层。

3.6 主成分分析结果

从表 2 可以看出主成分比较突出, 只需取前两个主成分, 就已经使累计贡献率达到 69.19%, 而且第一主成分非常高, 达到了 42.95%。其中特征向量绝对值较大的是干扰体系和坡向。因此, 群落多样性的差异主要反映的是干扰体系和坡向的影响, 这与

黄忠良等人的研究结果是一致的 (Stohltren 等, 1998)。水分条件和地形位置的异质性的影响也不容忽视。第二主成分中反映的是土壤类型和中尺度海拔梯度对多样性影响的程度, 其贡献率达到了 26.24%。我们的结果表明, 各种生境条件的组合所形成异质的环境, 促进了不同生理生态需求和生活史特征的植物物种生态位的分化, 有利于物种共存及物种多样性的维持。

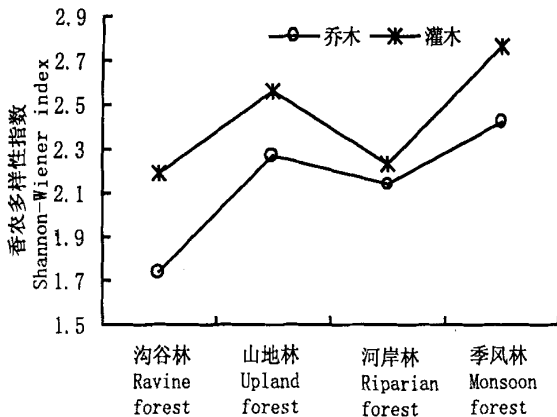


图 6 鼎湖山不同干扰体系下的植物群落多样性指数
Fig. 6 Plant community diversity indexes in different disturbance regimes of Dinghushan evergreen forests

4 结论与讨论

生境异质性对物种多样性影响, 可能是因为物种对物理因素的反应中, 或者是对两种甚至更多有限资源的竞争能力上存在的一种权衡, 这种权衡作用, 促使不同物种存在于空间不同的点上, 从而允许无共存和多样性的维持 (Reynolds 等, 1997; Li 等, 1995)。这种假说能很好的应用于植物群落, 因为土壤理化性质和土壤资源的空间异质性是自然环境的普遍特征, 几乎在各个尺度上都存在, 并且, 由于植物本身的生活史特征和它们在地上和地下的分布格局, 对资源的争夺使得植物之间不可避免地产生一种权衡。本研究结果也表明, 物种多样性随着土壤、水分、坡向等异质性特征而产生明显的差异, 这进一步证实了生境异质性是影响森林群落多样性的一个重要因素。

Titus (1990) 对自然淡水湿地群落的研究发现, 地形是影响群落结构的主要因素之一, 可能显著地影响多样性。Johnes 等 (1994) 研究中认为, 植被结构和多样性格局可能是地形的特征而起决定作用, Nakashizuka 等 (1995) 在温带落叶阔叶林内的相关

表 2 主成分分析的结果

Table 2 Results of principal component analyses

特征因子 Characteristic factors	第一主成分 The first component	第二主成分 The second component	第三主成分 The third component	第四主成分 The fourth component	第五主成分 The fifth component	第六主成分 The sixth component
坡向 Exposure	0.453 0	0.037 5	0.551 9	-0.205 2	0.320 3	-0.236 1
坡位 Topographic location	-0.394 0	-0.273 18	0.348 9	0.485 8	0.560 5	-0.311 8
微尺度海拔 Fine-scale elevation	-0.263 3	-0.383 66	0.393 1	-0.697 9	-0.051 7	0.048 6
水分条件 Moisture	0.402 9	-0.268 69	0.415 7	0.359 6	0.594 3	0.309 2
中尺度海拔 Middle-scale elevation	0.328 9	-0.447 99	-0.454 4	-0.244 7	0.201 5	0.564 6
土壤类型 Soil types	-0.183 5	0.648 33	0.198 4	-0.213 5	-0.105 5	0.648 2
干扰体系 Disturbance regime	-0.555 6	-0.288 55	-0.018 1	0.005 6	-0.418 8	0.099 6
特征值 Characteristic values	3.006 8	1.836 8	1.034 9	0.739 1	0.265 2	0.116 9
百分率 Rates (%)	42.95	26.24	14.78	10.55	3.78	1.68
累计贡献率 (%) Cumulated contributions	42.95	69.19	83.98	94.53	98.32	100.00

研究也得到了类似的结论。而在鼎湖山, 山体走向或者是地势的变化, 造成两侧植物群落所接受的光照、水分和种子源等方面的因子的不同而产生变化, 形成不同的群落组成以及物种多样性在坡底 > 坡中 > 坡顶的格局。前人研究的一些结论在本文研究中得以进一步证实。

尺度是生态学研究永恒的主题。在研究生境异质性与物种多样性格局之间的关系时, 必需充分

考虑尺度问题。在大尺度上, 海拔梯度在研究森林植被组成中一直扮演重要的作用, 因为它能影响温度、湿度等小气候环境因子的变化, 另外, 海拔高度的变化也可以反映人类活动强度的变化, 即由低海拔向高海拔减弱 (Moral 等, 1978)。随着海拔高度的增加, 生境条件逐渐变得严酷, 导致物种丰富度随着垂直高度的变化而降低。亦有认为垂直高度梯度与物种丰富度的纬度梯度相似, 但有一些例外 (谢晋阳

等, 1994)。我们的结果表明小尺度海拔对群落物种多样性的影响程度甚小, 而中尺度海拔显著影响多样性格局。图 5 显示了 Shannon-Winer 多样性指数和 Simpson 指数随海拔而波动的趋势。在较高海拔的位置, 一些群落多样性指数比较高, 可能反映的是干扰和生境异质性综合因素的结果。这同高贤明等 (1998) 对东灵山辽东栎群落多样性变化研究的结果基本是一致的。

Gregory 等 (1991) 报道了河岸林植被的物种多样性明显高于山地林的物种多样性, Nilsson 等 (1991) 也发现沿着河岸的维管植物物种数比邻近的山地林内高于 13% (> 260 个物种), Tabacchi 等 (1990) 在法国的研究也得到了类似的结论。我们的研究结果表明, 山地林和季风常绿阔叶林内的物种多样性 (香农多样性指数分别为 2.56、2.76) 都高于河岸林及沟谷林 (香农多样性指数分别为 2.23、2.19), 并不支持上述格局。造成这种差异的原因, 可能是因为不同研究地点洪流干扰的强度和频度等原因所致。由于鼎湖山河岸林和沟谷林多处于河溪两侧各 10~20 m 的范围内, 明显呈带状。夏季时节溪流涨水, 林内常被水淹而造成一些种类更新与定居非常困难, 因而, 林内物种组成相对简单, 优势种明显。在河岸林内主要由蒲桃 (*Syzygium jambos*) 和水翁 (*Cleistocalyx operculatus*) 组成, 而在沟谷林内则主要分布着凸脉榕 (*Ficus nervosa*)、鱼尾葵 (*Caryota ochlandra*) 和橄榄 (*Canarium album*)、肥荚红豆 (*Omosia fordiana*) 两种群落类型。

已有报道表明, 土壤特征是最有可能影响热带山地雨林物种组成和多样性动态的因子 (Soillins, 1998)。我们进行主成分分析的结果却发现, 群落多样性的变化主要反映的是干扰体系的影响 (人为干扰对本区群落多样性的影响报道见 (黄忠良等, 2000)), 不同土壤类型对多样性的影响位于第二主成分内。实际上, 没有任何单一的理论体系, 能够提供足够的证据来解释森林群落组成和多样性格局。因此, 综合生境异质性、干扰体系、气候和植物本身的生活史策略等相关因子的研究, 将有利于理解其对森林群落组成和多样性动态的影响。

参考文献

马克平. 1997. 生态系统多样性 [A]. 见: 蒋志刚, 马克平, 韩兴国. 保护生物学 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社

- Chambers PA, Prepas EE. 1990. Competition and coexistence in submerged aquatic plant communities: the effects of species interactions versus abiotic factors [J]. *Freshwater Biology*, **23**: 541-550
- Ehrenfeld JG. 1995. Microtopography and vegetation in Atlantic white cedar swamps: the effects of natural disturbances [J]. *Canadian Journal of Botany*, **73**: 474-484
- Gao XM (高贤明), Chen LZ (陈灵芝). 1998. Studies on the species diversity of *Quercus liaotungensis* communities in Beijing Mountains (北京山区辽东栎群落多样性的研究) [J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **22**(1): 23-32
- Gregory SV, Swanson FJ, Mckee WA. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones [J]. *Bioscience*, **41**: 540-551
- He JH (何金海), Chen ZQ (陈兆其). 1982. Soil types of Dinghushan biosphere reserve (鼎湖山自然保护区之土壤) [J]. *Tropical and Subtropical Forests Ecosystem Research* (热带亚热带森林生态系统研究), **1**: 25-38
- Huang ZL (黄忠良). 2000. The interactions of population dynamics of *Thalassodes quadraria* and the plant community structure and climate factors in Dinghushan (樟翠尺蛾种群动态与植物群落结构及气候因子的关系) [J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **19**(3): 24-27.
- Huang ZF (黄展帆), Fan GZ (范征广). 1982. Climate characteristics in Dinghu mountain (鼎湖山的气候) [J]. *Tropical and Subtropical Forests Ecosystem Research* (热带亚热带森林生态系统研究), **1**: 25-38
- Huang ZL (黄忠良), Kong GH (孔国辉), He DC (何道泉). 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve (鼎湖山植物群落多样性的研究) [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**(2): 193-198
- Johnes RH, Scharitz RR, Dixon PM, et al. 1994. Woody plant regeneration in four floodplain forests [J]. *Ecological Monographs*, **64**: 345-367.
- Li H, Reynolds JF. 1995. On definition and quantification of heterogeneity [J]. *Oikos*, **73**(2): 280-283
- Moral DR, Watson AF. 1978. Gradient structure of forest vegetation in the central Washington Cascades [J]. *Vegetatio*, **38**: 29-48
- Nakamura E, Yajima T, Kikuchi S. 1997. Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions along the Tokachi river, northern Japan [J]. *Plant Ecology*, **133**: 209-219

- Nakashizuka T, Iida S. 1995. Composition, dynamics and disturbance regimes of temperate deciduous forests in monsoon Asia[J]. *Vegetation*, **121**: 23- 30
- Nilsson C, Ekbal A, Gardfjell M, et al. 1991. Long-term effects of river regulation on river margin vegetation[J]. *Journal of Applied Ecology*, **28**: 963- 987.
- Peng SL (彭少麟). 1987. Community dominance in Guangdong subtropical forests(广东亚热带森林群落优势度)[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **7**(10): 36 - 42
- Pringle CM. 1990. Nutrient spatial heterogeneity: effects on community structure, physiognomy, and diversity of stream algae[J]. *Ecology*, **71**: 905- 920
- Reynolds JF, HL, Hungate BA. 1997. Soil heterogeneity and plant competition in an annual grassland[J]. *Ecology*, **78**(7): 2 076- 2 090
- Sakio H. 1997. Effects of natural disturbance on the regeneration of riparian forests in a Chichibu Mountains central Japan[J]. *Plant Ecology*, **132**: 181- 195.
- Shi JP (施济普), Zhu H (朱 华). 2002. Effects of three main disturbances on the plant diversity of the tropical forest in Xishuangbanna (三种干扰方式对西双版纳热带森林群落植物多样性的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), **22**(2): 129- 135
- Sollins P. 1998. Factors influencing species composition in tropical low land rain forest: does soil matter[J]. *Ecology*, **79**(1): 23- 30
- Stohlgren TJ, Bachand RR, Onami Yasuhiro, et al. 1998. Species-environment relationships and vegetation patterns: effects of spatial scale and tree life-stage[J]. *Plant Ecology*, **135**: 215- 228
- Tabacchi E, Tabacchi AN. 1990. Decamps O. Continuity and discontinuity of the riparian vegetation along a fluvial corridor[J]. *Landscape Ecology*, **5**: 9- 20
- Titus JH. 1990. Micro-topography and woody plant regeneration in a hardwood floodplain swamp in Florida [J]. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **117**: 429- 437.
- Xie JY (谢晋阳), Chen LZ (陈灵芝). 1994. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperature zone of north China (暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征)[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **14**(4): 337- 344
- Zhang JT (张金屯), Yan YC (阎耀川), Jin YX (金义兴). 1995. Plant community and heterogeneity (植物群落与异质性)[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物研究), **13**(2): 329- 336

(上接第 413 页 Continue from page 413)

- development of western China and rehabilitation, reconstruction of tropical and subtropical fragile karst ecosystem (西部开发与热带亚热带岩溶脆弱生态系统恢复重建)[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* (农业系统科学与综合研究), **18** (1): 13- 16
- Li XK (李先琨), Su ZM (苏宗明), Lü SH (吕仕洪), et al. 2003. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological signal for ecosystem rehabilitation and reconstruction (广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复的意义)[J]. *Journal of Mountain Science* (山地学报), **21**(2): 129 - 139.
- Jiang ZC (蒋忠诚). 1997. Element migration in karst geochemical processes of the dolomite in Nongla, Guangxi (广西弄拉白云岩地区的岩溶地球化学研究)[J]. *Carologica Sinica* (中国岩溶), **16**(4): 304- 312
- Jiang ZC (蒋忠诚). 1999. Element migration in karst dynamic system (岩溶动力系统中的元素迁移)[J]. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **54**(5): 438- 443
- Jiang ZC (蒋忠诚). 2001. Rehabilitation of Ecology and Optimization of Eco-agricultural structure in Carst Peak cluster Area in Nongla of Guangxi (广西弄拉峰丛石山生态重建经验及生态农业结构优化)[J]. *Guangxi Sciences* (广西科学), **8**(4): 308- 312
- Xu ZY (许兆然). 1993. A study of the limestone forest flora of southern and southwestern China (中国南部和西南部石灰岩植物区系的研究)[J]. *Guihaia* (广西植物), Supp. IV (增刊IV).