

鼎湖山植物群落 α 多样性与环境的关系李 林¹, 周小勇², 黄忠良^{1,*}, 魏识广¹, 史军辉¹

(1. 中国科学院华南植物园鼎湖山树木园, 肇庆 526070; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

摘要:用样带取样法, 来研究不同取样尺度和不同取样尺度条件下的多个环境因子与鼎湖山植物群落 α 多样性的关系。取样尺度分别为 10、20、40、80m 和 160m。涵盖鼎湖山主要的植被类型: 季风常绿阔叶林、针阔混交林、沟谷常绿阔叶林和针叶林。相关分析和主成分分析结果表明, 环境因子对各层次的 α 多样性的影响程度各不相同, 达到显著相关性的取样尺度也不一样, 表现出较大的复杂性, 同时也表明样带上的环境异质性较高。因此, 用海拔梯度作为主要的环境梯度来研究鼎湖山植物群落多样性具有合理性。海拔高度与乔木层多样性的关系在所有取样尺度上都较密切, 这说明海拔高度可能是影响乔木层 α 多样性的最重要环境因子。

关键词:鼎湖山; 样带; 取样尺度; α 多样性; 环境因子

文章编号: 1000-0933(2006)07-2301-07 **中图分类号:** **文献标识码:** A

Study on the relationship between α diversity of plant community and environment on Dinghushan

LI Lin¹, ZHOU Xiao-Yong², HUANG Zhong-Liang^{1,*}, WEI Shi-Guang¹, SHI Jun-Hui¹ (1. Dinghushan Arboretum, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Zhaoqing 526070, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, SUN Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2301 ~ 2307.

Abstract: Dinghushan national nature reserves is located in Zhaoqing, Guangdong Province, southern China (112°30'39" ~ 112°33'41"E, 23°09'21" ~ 23°11'30" N). Its total area is 1155hm², with the altitude of 14.1 ~ 1000.3m. It is covered by tropical-subtropical forest, and in the South subtropical wetness monsoon climate areas. The relationship between α diversity of plant community with different sampling scales and environmental factors were studied in this paper. The permanent transect of plant communities was established in Dinghushan, from the upside of Dekeng to Sanbao apex, with the scale of 10m × 1160m, that was subdivided into 120 contiguous 10m × 10m quadrats. It was 50.2m to 476.5m, with the absolute altitude 426m. Within each quadrat, altitude and other environmental factors were investigated, then every woody plant DBH ≥ 1cm were identified into species, and tagged. The sampling scales were 10m, 20m, 40m, 80m and 160m, including the main vegetation types of Dinghushan: (1) monsoon evergreen broad-leaved considered as a zonal vegetation with a history of more than 400 years, (2) mixed coniferous broad-leaf forest, (3) evergreen broad-leaved in the valley, (4) *Pinus massoniana* forest. The analysis of correlation and principal component results were showed that different environmental factors had a different effect on α diversity in four plant crown layers: Tree, Shrub, Herb and Liana. The difference of α diversity was significant at different sampling scales. Simultaneity, it showed high environmental heterogeneity on transect. Therefore, it is reasonable to choose altitude grads as the main environmental grads to study the biodiversity of Dinghushan plant community. Altitude had closely correlation with α diversity on tree layer at all the sampling scales, showing that altitude was the most important environmental factor for α diversity on tree

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470306)

收稿日期: 2005-09-19; **修订日期:** 2006-05-06

作者简介: 李林(1978 ~), 女, 陕西汉中, 博士, 主要从事保护生态学和苗木繁育研究. E-mail: dhsllin@scbg.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangzl@scbg.ac.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China(No.30470306)

Received date: 2005-09-19; **Accepted date:** 2006-05-06

Biography: LI Lin, Ph.D., mainly engaged in conservation ecology and nursery stock breeding. E-mail: dhsllin@scbg.ac.cn

layer.

Key words: Dinghushan; transect; sampling scale; α diversity; environmental factors

随着全球生物多样性的锐减,生物多样性的研究正成为科学家们关注的焦点之一。目前生物多样性的研究热点问题之一是生物多样性的维持机制。森林群落植物物种多样性的空间格局及其形成机理,是保护生物学的热点问题。关于生物多样性的维持机制假说有环境异质性的异质种群理论,岛屿生物地理学理论^[1],以及为了解决物种多度在时空上怎样变化的基本问题,近几年来 Hubbell 在岛屿生物地理学理论上建立了统一中性理论 (Unified Neutral Theory)^[2]。环境因子在决定生物多样性格局形成中的作用是人们普遍关注的问题之一。本文以群落多样性与环境因子之间的关系为研究对象,并自不同尺度上对它们的关系进行分析,以期得到影响 α 多样性的主导环境因子。

鼎湖山自然保护区地处南亚热带,具有丰富的生物多样性,目前为止对于植物多样性方面的研究都是采用样方取样法^[3-8],而用样带取样法来研究不同取样尺度和不同取样尺度条件下的环境因子对植物多样性空间格局的影响的工作还没有涉及。样带取样法具有样方取样法所没有的优点,样带法按一定的环境梯度进行连续取样,能充分说明物种多样性沿某梯度的分布特点,是研究环境梯度对物种多样性影响的有效手段。以前的样方法均是针对单个群落类型,而样带跨越多个群落类型,对于研究群落交错区的生物多样性变化格局,是唯一的有效手段。为探讨植物群落物种多样性垂直格局的形成机理,对环境因子沿海拔梯度的变化格局与群落物种多样性的变化格局之间的关系进行了分析研究。本文首次对鼎湖山植物群落物种多样性和多个环境因子之间的关系开展了系统的研究。想通过小尺度格局的变化,包括海拔因子在内,来研究鼎湖山植物群落 α 多样性与环境的尺度变化的关系。

1 研究地概况

鼎湖山国家级自然保护区建立于 1956 年,1979 年成为我国首批加入联合国教科文组织“人与生物圈”保护区网的成员之一。它位于广东省肇庆市东北部,地处 112°30'39" ~ 112°33'41"E, 23°09'21" ~ 23°11'30"N, 总面积 1155hm²,属低山丘陵地貌。海拔 14.1 ~ 1000.3m,海拔 800m 以下的土壤多为发育于砂岩和沙页岩母质上的赤红壤和黄壤。本地区属南亚热带季风湿润气候,年平均气温 20.9℃,年均降雨量 1956mm,年蒸发量 1115mm,年相对湿度为 81.5%。全年干湿季明显,降雨量的 70% 发生在 4 ~ 9 月份。鼎湖山拥有丰富的生物多样性,据统计,具有野生高等植物 1800 多种。王铸豪等在 1982 年将鼎湖山的植被划分为 8 种自然植被类型,7 种人工植被类型,并将这些植被类型划分为 22 个植物群落,季风常绿阔叶林是本地区典型的地带性植被。

2 研究方法

2.1 样带设置

本研究建成一条宽为 10m、长(水平距离)为 1160m 的永久样带,沿三宝峰山顶,经旱坑顶顺势而下直到山底进行布设,涵盖鼎湖山主要的植被类型,即穿过季风常绿阔叶林、针阔混交林、沟谷常绿阔叶林和针叶林。样带起点的海拔 40m,终点三宝峰的海拔 491.3m。坡度范围 0 ~ 50°,主坡向东南。在此样带上进行植物群落乔木层的物种、地形因子及土壤因子的调查。同时,在 10m 宽的样带内再设置一条宽为 2m、长度相同的小样带,用于灌木层、草本层和藤本层的物种调查。首先按每 5m 进行分割,然后依次两两合并分别获得 10m、20m、40m、80m 和 160m 等取样尺度。

2.2 调查内容和方法

2.2.1 植物物种数量特征 采用样带分层连续取样法,把样带分为乔木层、灌木层、草本层和藤本层 4 个层次进行调查,其中乔木层为胸径 ≥ 1 cm 的物种所组成的层次;灌木层为胸径 < 1 cm 灌木和乔木树种幼苗所组成的层次;草本层为草本植物所组成的层次;藤本层则为藤本植物所组成的层次。运用群落学调查的方法,对 232 个 5m \times 10m 的小样方中的胸径 ≥ 1 cm 的植物进行乔木层测定,测定的内容包括种名、位点(距起点距离)、

树高、胸径、枝下高、冠幅、坐标和立枯情况。其它3个层次在宽为2m的小样带上对232个 $5\text{m} \times 2\text{m}$ 的小样方中进行测定,测定内容包括种名、位点、株(丛)数、高度及盖度等。

2.2.2 环境因子

(1) 地形因子 地形因子的测定在 $5\text{m} \times 10\text{m}$ 的小样方中进行,①海拔:用海拔仪测定,并用罗盘仪修正,同时记录相邻两个小样方之间的相对高差,以此来共同确定每个小样方的海拔高度;不同取样尺度的海拔由两两合并的小样方的海拔平均海拔值来确定;②坡向和坡度:用罗盘仪确定,不同取样尺度的坡度由样方间的相对高差和水平距离来推算。

(2) 土壤因子 在鼎湖山样带取样尺度为10m时,即在每个面积为 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的样方中用土钻钻取20cm深的表层土壤,每个样方中随机钻取8个点,组成一个土壤混合样品,混合均匀后,取其中20g左右迅速装入封口袋,用于土壤新鲜含水量的测定。共采到116个土壤混合样品。带到实验室进行相关处理后,分别测定鲜土含水量和风干土含水量、pH值、有机质、全氮、有效磷和有效钾等指标。其中pH值用S-3C型酸度计来测定;全氮用半微量开氏法测定;有机质用重铬酸钾氧化-外加加热法测定;有效磷用 0.05mol/L HCL - 0.025mol/L , $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 浸提法测定;有效钾用 1mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度法测定。

不同取样尺度上的各种土壤指标的数值由各相互合并的小样方的平均值来确定。

2.3 α 多样性的测度方法

α 多样性是评价群落内物种多样性的指标,本研究选取下列 α 多样性指标来指示鼎湖山样带的物种多样性水平,并与环境因子做相关性分析。

(1) 物种丰富度 S :指调查样地或样方内的植物物种数目。

(2) Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum P_i \ln P_i$ (简称 Shannon 指数)

式中, P_i 为物种 i 的相对重要值, S 为种 i 所在样方的物种数。

由于计算重要值的方法很多,并且不同层次采用不同的计算方法,本研究中乔木层采用3种方法来计算重要值,其它3个层次只用一种方法来计算重要值。

乔木层采用如下计算方法:

$$\text{重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对优势度} + \text{相对密度})/3$$

灌、草、藤3个层次用如下计算方法:

$$\text{重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度})/3$$

以上各指标在物种多样性的研究中得到广泛的应用。在研究物种多样性的初期用物种株数来计算多样性指数较多,后来逐渐用重要值代替物种株数来计算物种多样性指数,并取得很好的效果^[9]。

3 结果与分析

3.1 环境因子间的相关性分析

地形等环境因子间及它们与土壤因子间的关系怎样,是分析影响群落物种多样性与环境因子关系时必然要了解的。对取样尺度为10m时的116个小样方的环境因子的原始数据进行相关分析(表1),发现它们间的相关性较复杂。海拔高度只与土壤含水量和土壤有效磷呈显著正相关,但相关系数都不大。坡度与其它5个土壤因子之间的相关系数极低,基本不存在相关性。而土壤各因子间的相关性稍强,除有机质与有效磷的相关性不显著外,其它的都达到显著水平相关,其中有效钾与其它4个土壤因子的相关性更明显些。值得注意的是,土壤pH值与其它环境因子都表现出负相关,尤其是与各土壤因子的负相关性都显著,这表明土壤pH值与其它的环境因子之间的变化趋势是不同的,也表明它可能是制约土壤养分的一个很重要的因子。总体来看,环境因子间的相关系数都不大,说明它们之间的相关性都不强,符合所分析因子间独立性的要求。

3.2 环境因子的主成分分析

通过主成分分析,采用几个环境因子的综合指标来代替众多的环境因子,以图找到反映样带上的环境状况的主要因子。由于坡度与其它5个土壤因子之间的相关系数极低,故将坡度以外的6个环境因子作为指

标,用取样尺度为 10m 的 116 个小样方的环境因子的原始数据进行主成分分析。结果如表 2 所示:前 3 个主成分的累计贡献率只有 75.074%,到第四主成分时累计贡献率为 84.867%,因此主成分不太突出,但仍有一定的分析意义;第一主成分贡献率较高(39.215%),在所分析的因子中居于重要地位,它是土壤因子的负荷系数;第二主成分中,海拔高度的负荷系数最大,达到 0.793;从各主成分的负荷系数来看,第二主成分主要包含了海拔高度因子,第一、三、四主成分主要包含了土壤理化性质的因子。因此,可将样带上的环境因子综合成地形因子指标,和土壤因子指标。主成分不太明显,可能与取样尺度(样方面积)较小有关,在小的取样尺度上,环境的异质性较大,因此主成分不突出。

表 1 环境因子之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient among environmental factors

环境因子 Environmental factors	海拔高度 Altitude	坡度 Gradient	含水量 Water content	pH 值 pH value	有机质 Organism	有效磷 Available phosphorus
坡度 Gradient	0.115					
含水量 Water content	0.238*	0.178				
pH 值 pH value	-0.083	-0.168	-0.326**			
有机质 Organism	0.055	-0.052	-0.471*	-0.204*		
有效磷 Available Phosphorus	0.351**	0.076	0.189*	-0.367**	0.126	
有效钾 Available Kalium	-0.024	0.030	0.404**	-0.475**	0.290**	0.310**

*、** 分别表示相关性在 0.05 和 0.01 水平上显著(双尾检验) Correlation is significant at the 0.05, 0.01 level (2-tailed), respectively

表 2 主成分分析的结果

Table 2 Results of principal component analyses

特征向量 Eigenvector	第一主成分 The first principal component	第二主成分 The second principal component	第三主成分 The third principal component	第四主成分 The forth principal component
pH 值 pH value	-0.700	0.05479	0.452	0.212
有效钾 Available Kalium	0.720	-0.302	-0.333	-0.08.146
有机质 Organism	0.584	-0.370	0.519	0.432
含水量 Water content	0.730	-0.155	0.421	-0.331
海拔高度 Altitude	0.337	0.793	0.366	-0.206
有效磷 Available Phosphorus	0.598	0.531	-0.298	0.444
特征根 Latent root	2.353	1.166	0.985	0.588
贡献率 Contributive rate (%)	39.215	19.442	16.417	9.793
累计贡献率 Total contributive rate (%)	39.215	58.657	75.074	84.867

3.3 α 多样性与环境因子的相关性分析

由表 3 可知,在取样尺度 10m 时,海拔高度与样带上 4 个层次的物种丰富度和 Shannon 指数都达到显著正相关,与草本层的两个 α 多样性指数呈负相关。当取样尺度为 20m 时,海拔高度与各层次的多样性的相关性与前一个取样尺度相似,只是海拔高度与草本层的相关性不显著,其它相关系数都增大,相关性增强。取样尺度 40m 时,乔木层的丰富度、Shannon 指数、灌木层和草本层的丰富度与海拔高度仍呈显著相关,并且草本层的两个指数与海拔高度表现负相关。取样尺度 80m 时,乔木层的丰富度、Shannon 指数、灌木层和藤本层的丰富度与海拔高度继续显著相关。取样尺度 160m 时,只有乔木层的两个指数与海拔高度达到显著正相关。从此可知,海拔高度与样带上的 4 个层次的 α 多样性指数关系密切,其中乔、灌两层的相关性大于与草、藤两层的相关性,尤其是与乔木层的 α 多样性指数的相关性最密切。在较小的取样尺度上,海拔高度与草、藤两层的相关性较密切,几乎在所有的取样尺度上,草本层的多样性指数都与海拔高度表现负相关,这表明在海拔较高处,草本植物的种类较少,因为草本植物对海拔变化较为敏感,高海拔的生境不利于草本植物的生长,故其丰富度和多样性指数较小。

表中的土壤含水量只在取样尺度 20m 和 40m 时,与乔木层的两个指数和灌木层的丰富度表现显著正相关,相关系数较小,在其它的取样尺度上与各层次的指数的相关性都不显著,这表明土壤含水量只有在中间的

取样尺度上对乔木层的 α 多样性和灌木层的丰富度产生影响。

表 3 样带各层次 α 多样性指数与环境因子的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between α diversity index and environmental factors

取样尺度 Sampling scales(m)	环境因子 Environmental factors	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer		草本层 Herb layer		藤本层 Liana layer	
		丰富度 Richness	Shannon index	丰富度 Richness	Shannon index	丰富度 Richness	Shannon index	丰富度 Richness	Shannon index
10	海拔 Altitude	0.514**	0.598**	0.554**	0.324**	-0.486**	-0.319**	0.283**	0.277**
	含水量 Water content	0.154	0.270	0.151	0.006	-0.114	0.006	0.013	0.007
	pH 值 pH value	-0.055	-0.156	0.050	0.107	0.319**	0.259**	-0.083	-0.050
	有机质 Organism	0.095	0.184	-0.027	-0.203	-0.061	0.042	-0.044	-0.054
	有效磷 Available Phosphorus	0.088	0.193	0.129	0.029	-0.214	-0.150	0.175	0.151
	有效钾 Available Kalium	0.174	0.185*	0.083	0.028	-0.001	0.076	0.097	0.071
20	海拔 Altitude	0.588**	0.651**	0.613**	0.343**	-0.510**	-0.228	0.323**	0.306*
	含水量 Water content	0.296*	0.438**	0.275*	-0.030	-0.044	0.101	0.149	0.096
	pH 值 pH value	-0.210	-0.274*	-0.011	0.059	0.229	0.159	-0.166	-0.120
	有机质 Organism	0.125	0.229	-0.007	-0.310*	0.051	0.145	-0.011	-0.052
	有效磷 Available Phosphorus	0.251	0.345**	0.197	0.082	-0.292*	-0.157	0.322*	0.302*
	有效钾 Available Kalium	0.269*	0.288*	0.169	0.024	0.051	0.126	0.238	0.230
40	海拔 Altitude	0.674**	0.721**	0.698**	0.300	-0.445*	-0.153	0.343	0.340
	含水量 Water content	0.403*	0.475**	0.390*	-0.162	-0.029	0.278	0.255	0.240
	pH 值 pH value	-0.303	-0.317	-0.160	-0.010	0.089	0.097	-0.319	-0.307
	有机质 Organism	0.104	0.230	0.086	-0.503**	0.066	0.232	-0.014	-0.097
	有效磷 Available Phosphorus	0.336	0.473**	0.355	0.030	-0.157	-0.065	0.437*	0.479**
	有效钾 Available Kalium	0.247	0.275	0.278	-0.078	0.198	0.298	0.323	0.329
80	海拔 Altitude	0.850**	0.805**	0.656**	0.305	-0.368	-0.044	0.548*	0.488
	含水量 Water content	0.482	0.485	0.620	-0.369	0.275	0.493	0.575*	0.495
	pH 值 pH value	-0.500	-0.392	-0.353	0.137	-0.111	-0.010	-0.625*	-0.590*
	有机质 Organism	0.105	0.204	0.272	-0.656*	0.253	0.324	0.078	-0.082
	有效磷 Available Phosphorus	0.580*	0.547*	0.566*	-0.031	0.109	0.180	0.727**	0.607*
	有效钾 Available Kalium	0.392	0.319	0.585*	-0.259	0.419	0.501	0.752**	0.651*
160	海拔 Altitude	0.790*	0.860*	0.594	0.311	-0.465	0.039	0.535	0.575
	含水量 Water content	0.654	0.665	0.837*	-0.512	0.322	0.736	0.69/8	0.603
	pH 值 pH value	-0.700	-0.643	-0.897**	0.319	-0.423	-0.541	-0.942**	-0.882**
	有机质 Organism	0.064	0.132	0.425	-0.758*	0.291	0.457	0.234	0.062
	有效磷 Available Phosphorus	0.727	0.621	0.780*	0.001	0.158	0.360	0.870*	0.861*
	有效钾 Available Kalium	0.571	0.521	0.806*	-0.386	0.795*	0.907**	0.800*	0.753

*、** 分别表示相关性在 0.05 和 0.01 水平上显著(双尾检验) Correlation is significant at the 0.05, 0.01 level (2-tailed), respectively

土壤 pH 值与草本层 α 多样性指数只在取样尺度 10m 时显著正相关,这可能与草本层中喜酸植物芒萁 (*Dicranopteris linearis* var. *dichotoma*) 的大量存在有关。在取样尺度 20m 时,只与乔木层的 Shannon 指数显著负相关。取样尺度 40m 时,与各指数的相关性都不显著。取样尺度 80m 和 160m 时,与藤本层的丰富度和 Shannon 指数都达到显著负相关,尤其在后一个取样尺度的相关系数较大,表明在较大的取样尺度上,土壤 pH 值是影响藤本植物分布的一个重要环境因素。总体看来,它与植物群落的 α 多样性呈负相关。

土壤有机质只在取样尺度 $\geq 20m$ 时才与灌木层的 Shannon 指数显著负相关,并且相关系数随取样尺度的增加而增加,由表 3 可见,它与灌木层的物种丰富度的相关性不大,即它对灌木层的物种丰富度影响不大,这说明土壤有机质可能是通过影响灌木层物种分布均匀程度来影响灌木层的多样性。

土壤有效磷在取样尺度 10m 时,与各层次 α 多样性指数相关性都不显著。与乔木层的指数只在取样尺度 20m、40m、80m 时才达到显著正相关。灌木层物种丰富度只在取样尺度 80m 和 160m 时才与其显著相关。草本层在取样尺度 20m 时,其丰富度与其达到显著负相关,在所有取样尺度上,草本层 α 多样性指数与其都表现负相关。在 4 个层次中,藤本层与土壤有效磷的相关性较强,从取样尺度 20m 开始,藤本层的两个指数都与其达到显著正相关,相关系数随取样尺度的增加而增大,这说明土壤有效磷是影响藤本层多样性的一个重要土壤肥力因子。

土壤有效钾在取样尺度 $\leq 20\text{m}$ 时,与乔木层的指数达到显著正相关,相关系数很小,总体上看,土壤有效钾对乔木层的多样性影响不大;在取样尺度 160m 时与草本层的多样性表现显著正相关,其它取样尺度上的相关性都不显著,在取样尺度 $\geq 80\text{m}$ 时与灌木层的丰富度显著正相关。藤本层与灌木层一样,只在取样尺度 $\geq 80\text{m}$ 时,其指数才与土壤有效钾显著正相关。

4 讨论

海拔梯度对植物多样性的影响较复杂,一般归纳成5种格局:(1)植物群落物种多样性与海拔高度负相关,即随海拔高度的升高,植物群落物种多样性降低。这种情况较普遍,很多研究结果都支持这种变化规律^[10-19]。(2)植物群落物种多样性在中等海拔高度最大,有学者称之为“中间高度膨胀(mid-altitude bulge)”^[10,20-26]。(3)植物群落物种多样性在中等海拔高度较低^[12]。(4)植物群落物种多样性与海拔高度正相关,即随海拔高度的升高,植物群落物种多样性增加^[12,15,18,27]。(5)植物群落物种多样性与海拔高度无关。研究表明,鼎湖山海拔高度与多样性正相关,这与通常多样性随海拔升高而下降不一样,原因可能是鼎湖山属于较低海拔丘陵区,而且处于亚热带区域,海拔最高不超过 800m ,随着海拔升高,温度下降不明显,仍然属于适合植物生长的范围内,而且所受人为干扰随高度升高而降低,水、光、温条件随海拔升高而趋于更优程度。

植物多样性与海拔梯度的关系错综复杂,目前还没有统一的结论。这与群落类型、水热条件、所处的土壤基质和取样尺度等不同有关。本研究显示,环境因子对各层次的 α 多样性的影响程度各不相同,达到显著相关性的取样尺度也不一样,表现较大的复杂性,同时也表明样带上的环境异质性较高。总的来看,海拔高度在较小的取样尺度上与各层次的 α 多样性的相关性都显著,说明海拔高度对乔、灌、草、藤4个层次的多样性有一定影响,其中海拔高度与乔木层多样性的关系在所有取样尺度上都较密切,这说明海拔高度可能是影响乔木层 α 多样性的最重要环境因子。在较小的取样尺度上,海拔高度与草、藤两层的相关性较密切,几乎在所有的取样尺度上,草本层的多样性指数都与海拔高度表现负相关,这表明在海拔较高处,草本植物的种类较少,因为草本植物对海拔变化较为敏感,高海拔的生境不利于草本植物的生长,故其丰富度和多样性指数较小。因为海拔高度的改变,会导致光照、水分和土壤等因子的改变,在有人类干扰的区域内,海拔梯度可能还是一个干扰梯度,即在低海拔区域的人为干扰大,高海拔区域的则较少。因此,用海拔梯度作为主要的环境梯度来研究鼎湖山植物群落多样性具有合理性。小尺度的其它环境因子对样带上植物群落的多样性肯定是有影响的,但是基于坡向、坡位等小地形因子难于量化,在调查时可以明确小尺度上的环境异质性是明显的,它们与植物群落多样性的关系还有待进一步分析研究。

References:

- [1] Zhao S Q, Fang J Y, Lei G C. Theoretical basis for species conservation: from the island biogeography to metapopulation dynamic theory. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7):1171 ~ 1179.
- [2] Hubbell, Stephen P. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. The United Kingdom: Princeton University Press, 2001. 157 ~ 158.
- [3] Peng S L, Zhou H C, Chen T X, *et al.* The quantitative characters of organization of forest communities in Guangdong. *Acta Phytocologica Sinica*, 1989, 13(1):10 ~ 17.
- [4] Peng S L, Fang W, Ren H, *et al.* The dynamics on organization in the successional process of Dinghushan cryptocarya community. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3):245 ~ 249.
- [5] Hang Z L, Kong G H, Wei P. Plant species diversity dynamics in Dinghu Mountain forests. *Chinese Biodiversity*, 1998, 6(2):116 ~ 121.
- [6] Hang Z L, Kong G H, He D Q. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2):193 ~ 198.
- [7] Yi S, Huang Z L, Ouyang X J. Study on the species diversity of interlayer plants of Dinghushan biosphere reserve. *Chinese Biodiversity*, 2001, 9(1):56 ~ 61.
- [8] Peng S J, Huang Z L, Xu G L, *et al.* effects of habitat heterogeneity on forest community diversity in Dinghushan biosphere reserve. *Guihaia*, 2003, 23(5):391 ~ 398.
- [9] Ma K P, Huang J H, Yu Shun L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II. species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3):269 ~ 277.
- [10] Whittaker R H. Vegetation of the Great Smoky Mountain. Oregon and California, *Ecology Monographs*, 1960, 30:279 ~ 338.

- [11] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the south slope. *Ecology*, 1965, 46: 429 ~ 452.
- [12] Peet R K. Forest vegetation of the Colorado, Front Range: Pattern of species diversity. *Vegetatio*, 1978, 37: 65 ~ 68.
- [13] Gentry A H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Missouri Bot. Gard*, 1988, 75: 1 ~ 34.
- [14] Wilson J B, Lee W G, Mark A F. Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio*, 1990, 86: 15 ~ 20.
- [15] Itow S. Species turnover and diversity patterns along an elevation broad-leaved forest coenocline. *Journal of Vegetation Science*, 1991, 2: 477 ~ 484.
- [16] Qian H. Spatial Pattern of Vascular Plant Diversity in North America North of Mexico and its Floristic relationship with Eurasia. *Annals of Botany*, 1999, 83: 271 ~ 283.
- [17] Shen Z H, Fang J Y, Liu Z L, *et al.* Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the East aspect of Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 721 ~ 732.
- [18] Zhang F, Zhang J T, Shang Guan T L. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan Mountain Nature Reserve. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(supplement): 46 ~ 51.
- [19] Hao Z Q, Yu S Y, Yang X M, *et al.* α diversity of communities and their variety along altitude gradient on northern slope of Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (7): 785 ~ 789.
- [20] Whittaker R H, Niering W A. Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona V. Biomass, production and diversity along the elevation gradient. *Ecology*, 1975, 56: 771 ~ 790.
- [21] Daubenmire R, Daubenmire J B. Forest vegetation of eastern Washington and northern Idaho. *Washington Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.*, 1968, 60: 1 ~ 104.
- [22] Peet R K. Forest vegetation of the Colorado, Front Range: Pattern of species diversity. *Vegetatio*, 1978, 37: 65 ~ 68.
- [23] Gentry A H, Dodson. Diversity and phytogeography of new tropical vascular epiphytes. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 1987, 74: 205 ~ 233.
- [24] Gentry A H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Ann. Missouri Bot. Gard*, 1988, 75: 1 ~ 34.
- [25] Xie J Y, Chen L Z. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of North China. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(4): 337 ~ 344.
- [26] Yue M, Zhang L J, Dang G D, *et al.* The relationships of Higher plants diversity and elevation gradient in Foping National Reserve. *Geographical Science*, 2002, 22(3): 349 ~ 354.
- [27] Baruch Z. Ordination and classification of vegetation along an altitudinal gradient in the Venezuelan paramos. *Vegetatio*, 1984, 55: 115 ~ 126.

参考文献:

- [1] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 物种保护的理论基础——从岛屿生物地理学理论到集合种群理论. *生态学报*, 2001, 21(7): 1171 ~ 1179.
- [3] 彭少麟, 周厚诚, 陈天杏, 等. 广东森林群落的组成结构数量特征. *植物生态学与地植物学学报*, 1989, 13(1): 10 ~ 17.
- [4] 彭少麟, 方炜, 任海, 等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 245 ~ 249.
- [5] 黄忠良, 孔国辉, 魏平. 鼎湖山植物物种多样性动态. *生物多样性*, 1998, 6(2): 116 ~ 121.
- [6] 黄忠良, 孔国辉, 何道泉. 鼎湖山植物群落多样性的研究. *生态学报*, 2000, 20(2): 193 ~ 198.
- [7] 易俗, 黄忠良, 欧阳学军. 鼎湖山生物圈保护区层间植物物种多样性的研究. *生物多样性*, 2001, 9(1): 56 ~ 61.
- [8] 彭闪江, 黄忠良, 徐国良, 等. 生境异质性对鼎湖山植物群落多样性的影响. *广西植物*, 2003, 23(5): 391 ~ 398.
- [9] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II. 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1995, 15(3): 269 ~ 277.
- [17] 沈泽昊, 方精云, 刘增力, 等. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析. *植物生态学报*, 2001, 25(6): 721 ~ 732.
- [18] 张峰, 张金屯, 上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落多样性研究. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 46 ~ 51.
- [19] 郝占庆, 于德永, 杨晓明, 等. 长白山北坡植物群落 α 多样性及其随海拔梯度的变化. *应用生态学报*, 2002, 13 (7): 785 ~ 789.
- [25] 谢晋阳, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征. *生态学报*, 1994, 14(4): 337 ~ 344.
- [26] 岳明, 张林静, 党高第, 等. 佛坪自然保护区植物群落物种多样性与海拔梯度的关系. *地理科学*, 2002, 22(3): 349 ~ 354.