

# 海南石梅湾青皮林最小取样面积与物种多样性研究

颜文洪 胡玉佳\*

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

**摘要:** 石梅湾海岸青皮(*Vatica hainanensis*)林是海南独特的雨林群落之一。本文选用8种“种-面积渐近线”对该群落的最小取样面积进行了拟合研究。结果表明,其中5条曲线的 $R^2$ 大于0.97,拟合状况很好,但所得出的最小取样面积各不相同。进一步经过“重要值-面积曲线”的群落特征分析,确认群落的最小取样面积只有800 m<sup>2</sup>。石梅湾青皮林最小取样面积比海南其他类型雨林、滇南热带雨林、东南亚热带雨林以及非洲雨林都要小。通过对1000 m<sup>2</sup>样地的物种多样性分析,结果表明,在垂直结构上,石梅湾青皮林B层乔木的Gleason指数大于A层乔木,和海南山地雨林的情况不同。海岸青皮林为物种多样性不高的单优林,群落的物种多样性、均匀度远小于海南其他类型的山地雨林与混合青皮林。在海岸青皮林群落内,青皮的相对密度、相对优势度、重要值大大高于其他物种。此研究表明,海南热带雨林同样存在物种多样性不高、单优特征显著的顶极群落,海南海岸青皮林是迄今为止热带雨林取样面积最小的森林类型。

**关键词:** 拟合渐近线, 最小取样面积, 物种多样性, 海岸青皮林, 海南

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)02-0245-07

## Minimum sampling area and species diversity of coastal *Vatica hainanensis* forest in Shimei Bay, Hainan Island

YAN Wen-Hong, HU Yu-Jia\*

School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

**Abstract:** Coastal *Vatica hainanensis* forest in Hainan is a special type of tropical rainforest. To analyze this community, we used methods of sampling area analysis, including both quantitative mathematical modeling and qualitative comparison. 8 different mathematical models (species-area curves) were used to calculate the minimum sampling area and relevant coefficients. Importance values were derived to confirm the modeling consequences. Species diversity was also analyzed by various kinds of diversity indices. Results showed that the minimum sampling area of coastal *Vatica hainanensis* forest in Shimei Bay was 800 m<sup>2</sup>. This value of minimum sampling area was the lowest in global tropical rainforest types. Coastal *Vatica hainanensis* forest in Shimei Bay was a strongly mono-dominant forest with low species diversity. Thirdly, the pattern of tree layers in Shimei Bay, measured by the Gleason index, differed greatly from that of mountain rainforest on Hainan Island. The study revealed that Shimei Bay, Hainan Island hosts a natural rainforest climax community which has low species diversity and salient mono-dominant community characteristics.

**Key words:** modeling curve, minimum sampling area, species diversity, coastal *Vatica hainanensis* forest, Hainan Island

### 1 引言

热带雨林结构复杂,含有多种森林类型,而且因

种类组成不同而各有特点、相差悬殊(Jordan, 1985; Arnold, 1990; Manuel, 1999)。龙脑香(*Dipterocarp forest*)林广泛分布于东南亚太平洋区域,龙脑香科

基金项目: 国家自然科学基金项目(39800012), 香港华润研究基金(0258)  
收稿日期: 2003-07-17; 接受日期: 2004-01-01  
作者简介: 颜文洪, 男, 1966年出生, 在读博士, 副教授, 主要研究方向为环境生态学。  
\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lsdb02@zsu.edu.cn

植物总共大约有 14 个属 470 种,是亚洲雨林的特征种,而非洲雨林仅有 2 属 34 种(胡玉佳,李玉杏,1992;Kostermans,1992;Jussi *et al.*,1996;Hu,1997;Sarayudh *et al.*,2003)。在海南,龙脑香植物有 2 属 3 种,其中,青皮(*Vatica hainanensis*)是海南低地雨林的优势种(胡玉佳,1983;胡玉佳,李玉杏,1992;Hu,1997)。在我国青皮林主要分布于海南省的丘陵和中、低山区,以霸王岭、猕猴岭、尖峰岭较为集中。石梅湾天然青皮林分布在海岸带,拥有龙脑香科中唯一一种生长在滨海砂土上的青皮林。土壤为相当贫瘠的滨海白砂土,呈典型的“土壤顶极”(edaphic climax)(胡玉佳,李玉杏,1992;Hu,1997)。本文的目的在于探讨这一类型雨林的合理取样面积与种类结构特征。

最小取样面积就是在最小地段内,对一个特定群落类型能提供足够的环境空间(环境和生物的特性)或者能保证展现出该群落类型的种类组成和结构的真实特征所需要的面积(王伯荪等,1996)。最小取样面积是群落生态学领域研究的基本点之一,其大小取决于群落类型。Watson 于 1859 年第一次绘制了植物群落的种-面积曲线。Dieter and Heinz (1974)认为:最小取样面积意味着选取的样地面积的大小,在该大小范围内,相关群落的物种组成能够得到真实体现。国内外许多学者对最小取样面积的确定方法进行了研究(张宏达等,1955;Cottam,1956;王伯荪,李鸣光,1986;Arnold,1990;刘灿然等,1998)。对海南热带雨林最小取样面积与物种组成的研究主要在低地雨林和山地雨林进行(胡玉佳,李玉杏,1992;Hu,1997;王伯荪等,2002),但对海岸青皮林的相关研究未见详细报道。

2 研究地点与研究方法

2.1 研究地概况

石梅湾位于海南岛的东南海岸带,属于万宁市。1980 年此地设立青皮林自然保护区(省级),保护区中心位置为 110°09' E、18°11' N,林区海拔高度 6-12 m,总面积 949 hm<sup>2</sup>,其中核心区 319 hm<sup>2</sup>,处于原始雨林状态的面积超过 67 hm<sup>2</sup>。

石梅湾地处热带北沿,属热带海洋性季风气候,终年高温,无寒潮与霜冻,年均气温 24.5℃,光照率 50%(相当于 2230 h),年均降水 2032 mm,雨量集中在 5-10 月,约占全年总降水量的 89%。沿海滩分

布的是晚期海相新砂堤沉积及近代海滩沉积,岩性为浅黄色或灰白色中粗砂,厚 1.5-8 m,水位埋深 2-5 m。

现存青皮林宽 400-1000 m,距潮汐线 150 m,沿海岸呈带状分布。森林可分为 A 层乔木、B 层乔木、灌木层和草本层。由于台风等生态因子的影响,林冠高度和枝下高均低于山地雨林,藤本植物种类和数量较多,但缺乏巨大的木质藤本,所发现的最大一株藤本茎粗仅 1.5 cm;维管附生植物普遍,在取样面积内找到崖姜(*Pseudodrynaria coronans*)和巢蕨(*Neottopteris nidus*)22 株,也有附生的木本;由于种类组成的原因,板根和茎花贫乏。林冠形状呈典型的雨林外貌,林冠层的组成以青皮占绝对优势。

2.2 研究方法

2.2.1 野外调查

2002 年 5 月 8 日-5 月 13 日、11 月 17 日-25 日,在石梅湾青皮林核心区内,随机选取了 10 块代表性样地,样地面积 10 m×10 m,共 1000 m<sup>2</sup>。对样地内高 1.5 m 以上的所有植物进行每木调查,逐一测量记录其种名、胸径、树高、枝下高、冠幅;在每块样地内设置一个 1 m×1 m 小样方,进行幼苗和草本层植物调查,记录种类、高度、大小、数量等。

2.2.2 最小面积计算方法

重要值-面积曲线(IVAC):重要值于 1951 年由美国的 Curis 与 McIntosh 在研究 Wisconsin 植被群落连续体的过程中得到应用(Curis & McIntosh,1951),是群落中种的综合数量指标,对于复杂森林群落取样和结构研究而言有良好的实用性(王伯荪等,1982;王伯荪等,1995),王伯荪、胡玉佳等(1982)通过此法对亚热带常绿阔叶林进行了探讨,研究了群落中优势种的重要值与样地面积的曲线关系。

种-面积曲线(SAC):为确定最小取样面积的基本方法。种的数目随取样面积的增大而增加,但增加是有限度的,最后稳定在一个具体的数目。本文选取 8 种渐近曲线方程(Barkman,1989;刘灿然等,1998)进行计算:

$$S = aA / (1 + bA) \tag{1}$$

$$S = c / (1 + ae^{-bA}) \tag{2}$$

$$S = c - ae^{-bA} \tag{3}$$

$$S = \alpha (1 - e^{-bA}) \tag{4}$$

$$S = b + a \ln A \tag{5}$$

$$S = a \ln(A + 1) \tag{6}$$
$$S = a \ln(bA + 1) \tag{7}$$
$$S = aA^b \tag{8}$$

以上公式中  $A$  为面积,  $S$  为物种数,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  为可调参数。公式 (1)–(4) 为饱和种–面积曲线函数, 公式 (5)–(8) 为非饱和种–面积曲线函数。原始数据的统计分析采用 SAS 软件(王吉利, 张尧庭, 2000), 曲线拟合使用 Origin 软件(郝红伟, 施光凯, 2000)。

通过对上述 8 个公式的转化, 在选取参数的  $p$  (样地面积内物种数与群落总种数的比例, 介于 0 和 1 之间) 时, 最小面积分别为( de Caprariis *et al.*, 1976; 刘灿然等, 1998):

$$A = p/[b(1-p)] \tag{9}$$
$$A = -\ln[(1-p)/ap]/b \tag{10}$$
$$A = -\ln[c(1-p)/a]/b \tag{11}$$
$$A = -\ln(1-p)/b \tag{12}$$
$$A = e^{(S_p - b)/a} \tag{13}$$
$$A = e^{S_p/a} - 1 \tag{14}$$
$$A = (e^{S_p/a} - 1)/b \tag{15}$$
$$A = b\sqrt{S_p/a} \tag{16}$$

2.2.3 物种多样性与空间分布格局

以 10 个样地为研究对象, 进行物种整体与垂直分布的分析。物种多样性分析采用 Shannon-Wiener 指数和以此为基础的 Pielou 均匀度指数(王周平等, 2003), 种的综合数量特征指标采用重要值的方法(李博等, 2000); 垂直方向物种多样性的计算采用丰富度指数  $J'_{\text{Gleason}} = S/\ln A$ , 其中  $S$  为物种数,  $A$  为样方面积; 群落物种多样性指数分为整个群落指数 ( $I_t$ )、A 层指数 ( $I_A$ )、B 层指数 ( $I_B$ )、灌木层指数 ( $I_{sh}$ )、草本层指数 ( $I_h$ ), 反映垂直方向层次间的分布状况。

3 结果与分析

3.1 种–面积的渐近曲线拟合

通过拟合得到公式 (1)–(8) 的相应参数和模拟曲线(图 1)。结果显示公式 (5)、公式 (6)、公式 (7) 与实际状况拟合不好,  $R^2$  值低于 0.8, 相关性小于 0.900; 其他 5 个公式拟合结果很好,  $R^2$  值均大于 0.979, 相关性均大于 0.985。选取公式 (1)、公式 (2)、公式 (3)、公式 (4)、公式 (8) 共 5 个公式进入下一步最小取样面积的计算。

对应公式 (9)–(12) 和公式 (16), 比例因子  $p$  分别取值 0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、0.95, 得出的最小取样面积结果见表 1。虽然渐近公式的拟合效果良好, 但所生成的结果相差较大: 当  $p$  取值 0.8, 即包含 80% 的种类时, 方程 (10) 和方程 (12) 所得出的最小面积 (485 m<sup>2</sup>、513 m<sup>2</sup>) 只有方程 (16) 的 1/5。这些拟合曲线的  $R^2$  值分别为 0.97937、0.97176、0.99438, 虽然拟合曲线较好, 但数据出入大。方程 (11) 的  $R^2 = 0.99616$ , 是拟合效果最好的; 方程 (9) 的计算结果比方程 (11) 高, 但差别不大。拟合结果的差别是由于不同拟合渐近曲线的数学差异造成的, 具体最小面积还需进一步确认。

3.2 重要值–面积曲线

青皮林的主要优势树种有青皮、柄果木 (*Mischocarpus sundaicus*)、九节 (*Psychotria rubra*)、沙拉木 (*Salacia grandiflora*)、山石榴 (*Randia spinosa*)、山柑 (*Cansjera rheedii*)、轮叶木姜子 (*Litsea verticillata*)、五列木 (*Pentaphylax euryoides*)、乌口树 (*Tarenna attenuata*)、棕竹 (*Rhapis excelsa*)、大叶紫玉盘 (*Uvaria grandiflora*) 等。通过对 1000 m<sup>2</sup> 样地实测数据的计算显示, 青皮的重要值最高; 以下依次为柄果木、九节、沙拉木、山石榴。当取样面积小于 600 m<sup>2</sup> 时, 重

表 1 不同  $p$  值下的群落最小取样面积 (m<sup>2</sup>)  
Table 1 Minimum sampling area of different  $p$  values (m<sup>2</sup>)

方程 Equation	$p = 0.5$	$p = 0.6$	$p = 0.7$	$p = 0.8$	$p = 0.9$	$p = 0.95$
(9)	328	492	765	1311	2951	6229
(10)	242	313	390	485	627	758
(11)	258	357	487	669	980	1291
(12)	221	292	383	513	733	954
(16)	857	1287	1817	2450	3189	3598

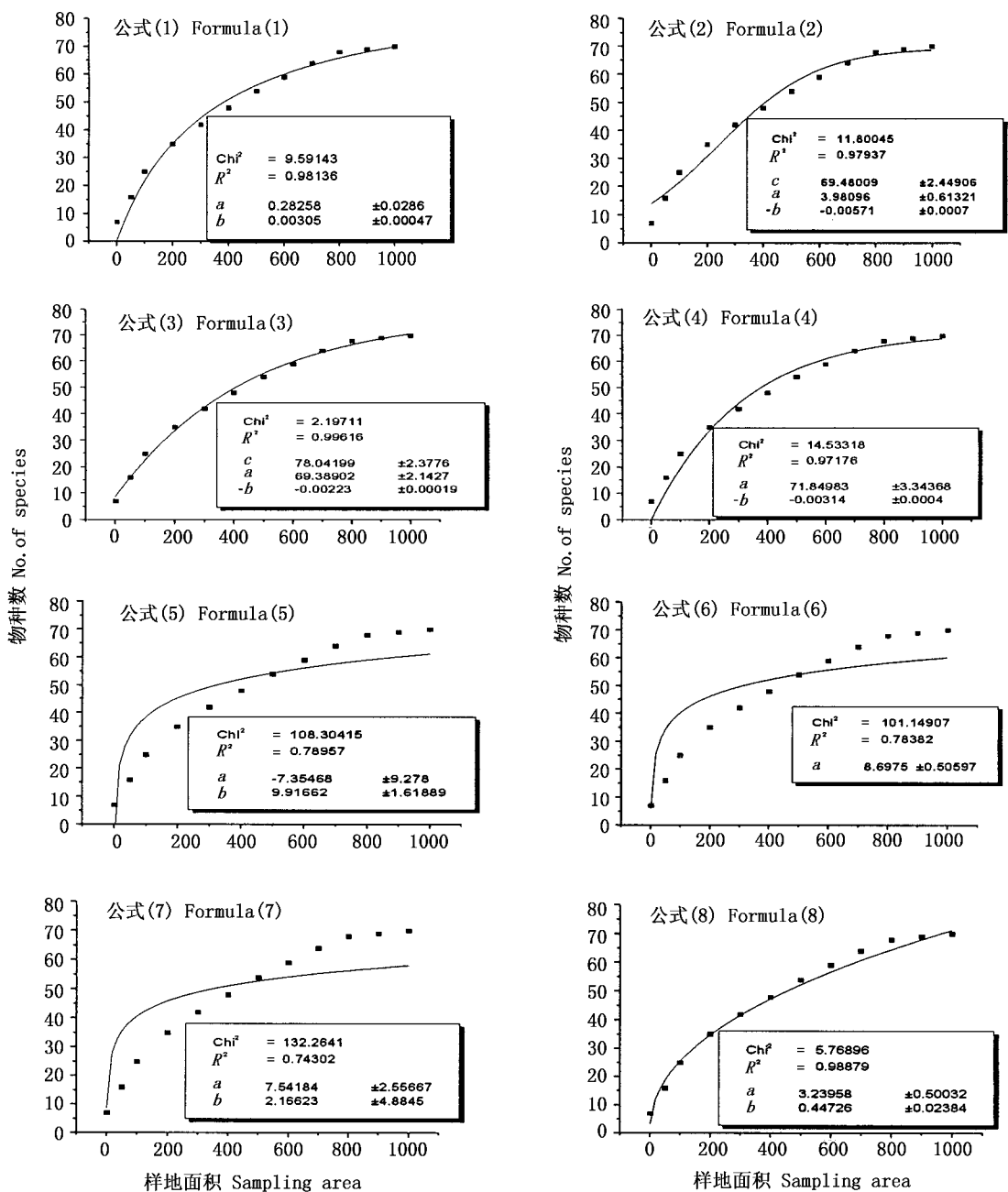


图1 公式(1)–(8)的拟合结果及相关参数  
Fig. 1 Fitting results and relevant parameters of formulae (1)–(8)

要值的数值波动大;当样地面积大于 700 m<sup>2</sup> 之后,主要物种的重要值变得稳定,通过作图显示这些物种的重要值曲线变得平滑(图 2),能反映真实的群落物种组成状况,为拟合计算提供了进一步的支持。因此,青皮林的最小面积确认为 800 m<sup>2</sup>。

3.3 物种多样性及空间分布

(1) Shannon-Wiener 指数( $H'$ )与均匀度指数(Shannon, 1948; Lasch *et al.*, 2002)。研究地青皮

林的 Shannon-Wiener 指数为 0.949、均匀度指数为 0.156。根据以往对海南的研究,尖峰岭山地雨林的多样性指数( $H'$ )最高,为 6.218;吊罗山地雨林最低,为 4.195;五指山、霸王岭介于两地之间。这几处研究地的 Pielou 指数介于 0.7–0.9 之间(Hu, 1997; 王伯荪等, 2001)(表 2)。数据显示:与海南其他类型的热带雨林不同,石梅湾青皮林的物种多样性不高,而且种类个体分配不均匀。

表 2 海南海岸青皮林与海南其他类型热带雨林多样性指数的比较  
Table 2 Comparison of Shannon-Wiener index ( $H'$ ) and Evenness index between coastal *Vatica* forest and several other rainforest types in Hainan

研究地 Study site	海拔 (m) Elevation	Shannon-Wiener index	均匀度指数 Evenness index	数据来源 Data sources
石梅湾海岸青皮林 Coastal <i>Vatica hainanensis</i> forest in Shimei Bay	5 – 15	0.949	0.156	本研究 This study
霸王岭混合青皮林 Mixed <i>Vatica hainanensis</i> forest in Bawangling	480	5.350	0.800	(Hu, 1997)
霸王岭山地雨林 Mountain rainforest in Bawangling	700 – 1250	5.190	0.748	(王伯荪等, 2001)
吊罗山山地雨林 Mountain rainforest in Diaoluoshan	900 – 980	4.195	0.880	(王伯荪等, 2001)
吊罗山混合青皮林 Mixed <i>Vatica hainanensis</i> forest in Diaoluoshan	700	6.060	0.850	(Hu, 1997)
五指山山地雨林 Mountain rainforest in Wuzhishan	820 – 870	5.900	0.859	(王伯荪等, 2001)
通什尖岭混合青皮林 Mixed <i>Vatica hainanensis</i> forest in Jianling, Tongshi	400	5.860	0.870	(Hu, 1997)
尖峰岭山地雨林 Mountain rainforest in Jianfengling	790	6.218	0.867	(王伯荪等, 2001)

表 3 石梅湾青皮林内主要物种的数量特征 (以 1000 m<sup>2</sup> 样地计)  
Table 3 Quantitative characteristics of the main species in *Vatica hainanensis* forest in Shimei Bay (in 1000 m<sup>2</sup> area)

物种 Species	相对密度 Relative density	相对频度 Frequency	相对优势度 Relative dominance	重要值 Importance value
青皮 <i>Vatica hainanensis</i>	40.3	6.5	74.2	121.0
柄果木 <i>Mischocarpus sundaicus</i>	18.8	6.5	6.0	31.3
九节 <i>Psychotria rubra</i>	11.0	6.5	4.2	21.7
沙拉木 <i>Salacia grandiflora</i>	5.8	5.9	4.0	15.7
山石榴 <i>Randia spinosa</i>	3.5	5.9	1.2	10.6
乌口树 <i>Tarenna attenuata</i>	1.1	3.2	1.1	5.4
五列木 <i>Pentaphylax euryoides</i>	1.1	2.6	1.0	4.7
轮叶木姜子 <i>Litsea verticillata</i>	1.3	2.6	0.7	4.6
山柑 <i>Cansjera rheedii</i>	1.0	3.2	0.4	4.6

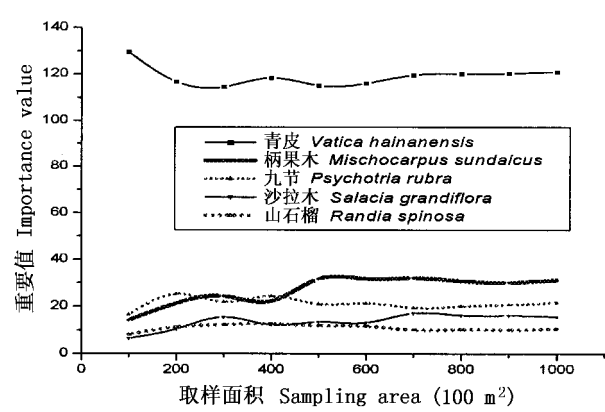


图 2 低地雨林青皮林内主要乔木物种的重要值  
Fig. 2 Importance value of dominant species in tree layers of coastal *Vatica hainanensis* forest

(2)主要物种的数量特征。表 3 列举了 1000 m<sup>2</sup> 样地主要种的群落学特征。青皮的重要值为 121.0 ,远高于其他植物 ;青皮的相对密度为 40.3 ,在研究地 ,其个体数量是列第二位的柄果木的 2.1 倍 ,其冠层盖度占到总盖度的 74.2%。每个样地都出现的物种还有柄果木、九节 ;10 个样地出现 9 次的有沙拉木、山石榴 ;其他种的出现频次低于 5。这些说明青皮的单优特征明显 ,柄果木、九节、沙拉木、山石榴为伴生种。

(3)空间层次的物种多样性指数。石梅湾青皮林空间各层物种的 Gleason 指数大小顺序为 :B 层乔木 > A 层乔木 > 灌木层 > 草本层 ,数值大小分别为 5.935、2.751、2.461、0.868。这一点与典型的山地

雨林不一样 海南吊罗山山地雨林 A 层乔木的 Gleason 指数最大 ,然后依次为 B 层乔木、灌木层、草本层(王伯荪等,2001)。也正是这一原因,造成从外观上看,林冠层的组成以青皮占绝对优势,形成与山地雨林显著不同的森林外貌。

4 讨论

(1)渐近线数学公式对群落最小取样面积的确定是有意义的,可以避免人为的主观因素。由于不同的曲线其渐近模式、假设前提和变量的不同,将导致计算结果的显著差异。这种差异与拟合效果、 $R^2$  无关,所以,在选择渐近公式时,应尽量避免只选取一种曲线模式的方法,应尽量多选几种,以进行对比。本研究选用 8 种曲线拟合后的结果显示:当  $p$  值选取 0.5 时,得出的最小样地面积大小相差 2.9 倍。利用重要值-面积曲线的方法在估计最小取样面积时,更强调群落的特征。本研究的取样面积梯度为  $100\text{ m}^2$ ,其他热带雨林相关研究的面积梯度有  $200\text{ m}^2$ (Hu, 1997)、 $500\text{ m}^2$ (朱华等,1998)、 $2000\text{ m}^2$ (Paijmans, 1970)等等。由于取样面积大小的非连续性,所以得出的数据有系统误差,造成最小面积判断模糊、对最小面积的定量分析存在不足。所以,对最小面积的判断需要这两种方法的结合,即在种-面积渐近线数学拟合的基础上,通过对群落特征的重要值-面积曲线的定性分析,对拟合结果进行确认。

(2)热带雨林由于森林类型和位置的不同,最小取样面积相差悬殊。本研究显示海南石梅湾海岸青皮林的最小取样面积为  $800\text{ m}^2$ ,是迄今为止全球热带雨林中取样面积最小的森林类型,比通常的海南山地雨林的  $6000-9000\text{ m}^2$ (王伯荪等,2002)的最小面积小很多。有些学者认为海南混合雨林的最小取样面积为  $2000\text{ m}^2$ (胡玉佳,李玉杏,1992;Hu, 1997);滇南热带雨林的最适取样面积为  $2500\text{ m}^2$ (朱华等,1998);印度尼西亚的 Bangka 地区雨林的最小面积也为  $2500\text{ m}^2$ (Dree, 1954);东南亚苏门答腊的 Ketamber 地区、印度尼西亚的 Sekundur 地区的雨林(Whitmore, 1990; Kartawinata, 1990)还有非洲加纳以及新几内亚的雨林的的最小取样面积均为  $1500\text{ m}^2$ (Paijmans, 1970; Hall & Swaine, 1976)。

(3)热带雨林同样存在物种多样性不高、单优特征显著的顶极群落,而且具有独特的林冠形状。

海南石梅湾海岸青皮林就是其中之一。石梅湾海岸青皮林中,青皮占重要值总数的 40.3%;海拔 400 m 的霸王岭混合青皮林中,青皮占重要值总数的 29.3%;海拔 700 m 的吊罗山混合青皮林中,青皮占重要值总数的 11.2%;通什尖岭混合青皮林海拔 480 m,青皮占重要值总数的 10.1%(胡玉佳,李玉杏,1992;Hu, 1997)。海南石梅湾的青皮林,青皮的相对密度、相对优势度、重要值大大高于其他物种,表现出显著的单优特征。

参考文献

Arnold, N. 1990. *Tropical Rainforest: a World Survey of Our Most Valuable and Endangered Habitat with a Blueprint for Its Survival*. Facts On File, Inc., New York.

Barkman, J. J. 1989. A critical evaluation of minimum area concepts. *Vegetatio*, **85**: 89-104.

Cottam, G. 1956. The use of distance measure in phytosociological sampling. *Ecology*, **37**(3): 451-460.

Curis, J. T. and McIntosh, R. P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, **32**(8): 426-496.

de Caprariis, P., Lindemann, R. H., Simon, E. and Gilbert, C. 1976. A method for determining optimum sample size in species diversity studies. *Mathematical Geology*, **8**(5): 578-581.

Dree, E. M. 1954. The minimum area in tropical rainforest with special reference to some types in Bangka (Indonesia). *Vegetatio*, **5**: 517-523.

Dieter, M. D. and Heinz, E. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley, New York.

Hall, J. B. and Swaine, M. D. 1976. Classification and ecology of closed-canopy forest in Ghana. *Journal of Ecology*, **64**: 913-953.

Hao, H. W. (郝红伟) and Shi, G. K. (施光凯). 2000. *Origin 6.0 Process and Progress*(Origin 6.0 实例教程). Chinese Electricity Press, Beijing. (in Chinese)

Hu, Y. J. 1997. The Dipterocarp forest of Hainan Island, China. *Journal of Tropical Forest Science*, **9**(4): 477-498.

Hu, Y. J. (胡玉佳). 1983. The phytocoenological features and types of Dipterocarp forest in Hainan Island. *Ecological Science*(生态科学), (2): 1-9. (in Chinese)

Hu, Y. J. (胡玉佳) and Ding, X. Q. (丁小球). 2000. A study on the species diversity of tropical natural forest in Bawangling, Hainan Island. *Chinese Biodiversity*(生物多样性), **8**(4): 370-377. (in Chinese)

Hu, Y. J. (胡玉佳), Wang, Y. H. (汪永华), Ding, X. Q. (丁小球) and Huang, X. (黄向). 2003. A comparison of plant species diversity with different slope direction in Wuzhishan, Hainan Island. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*(中山大学学报), **42**(2): 86-89. (in Chinese)

- Hu, Y. J. (胡玉佳) and Li, Y. X. (李玉杏). 1992. *Tropical Rainforests in Hainan Island* (海南岛热带雨林). Guangdong Higher Education Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Jordan, C. F. 1985. Soil of Amazon rain forest. In: Prance, G. T. and Lovejoy, T. E. (eds.), *Amazonia*. Pergamon Press, Oxford.
- Jussi, K., Yusuf, J., Goran, A. and Kari, T. 1996. Population dynamics of tree seedling in a mixed Dipterocarp rain-forest before and after logging and crown liberation. *Forest Ecology and Management*, **81**: 85 – 94.
- Kartawinata, K. 1990. A review of natural vegetation studies of Malesia with special reference to Indonesia. *The Plant Diversity of Malesia*, 121 – 132.
- Kostermans, R. H. G. 1992. *A Handbook of the Dipterocarpaceae of Sri Lanka*, Wildlife Heritage Trust of Sri Lanka, P. T. Gramedia, Jakarta.
- Lasch, P., Lindner, M., Erhard, M., Suckow, F. and Wenzel, A. 2002. Regional impact assessment on forest structure and functions under climate change—the Brandenburg case study. *Forest Ecology and Management*, **162**: 73 – 86.
- Li, B. (李博), Yang, C. (杨持) and Lin, P. (林鹏). 2000. *Ecology* (生态学). China Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Liu, C. R. (刘灿然), Ma, K. P. (马克平) and Yu, S. L. (于顺利). 1998. Plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing, China. VII. The determination of critical sampling areas for several types of plant communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **18**(1): 15 – 23. (in Chinese)
- Manuel, C. M. 1999. *Ecology: Concepts and Application*. McGraw-Hill, New York.
- Pajmans, K. 1970. An analysis of four tropical rain forest sites in New Guinea. *Journal of Ecology*, **58**: 77 – 101.
- Richards, P. W. 1952. *The Tropical Rain Forest*. Cambridge University Press, London.
- Sarayudh, B., Jame, V. L., Patrick, J. B., Mamoru, K., Ashton, P. S. and Takuo, Y. 2003. Spatial distribution patterns of dominant canopy Dipterocarp species in a seasonal dry evergreen forest in western Thailand. *Forest Ecology and Management*, **175**: 87 – 101.
- Shannon, C. E. 1948. The mathematical theory of communication. In: Shannon, C. E. and Weaver, W. (eds.), *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Wang, B. S. (王伯荪), Li, M. G. (李鸣光) and Peng, S. L. (彭少麟). 1995. *Phytopopulology* (植物种群学). Guangdong Higher Education Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪) and Li, M. G. (李鸣光). 1986. Application of area curve in tropical forest. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **10**(3): 162 – 170. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪), Yu, S. X. (余世孝) and Peng, S. L. (彭少麟). 1996. *Experimental Handbook of Phytoecology* (植物群落学实验手册). Guangdong Higher Education Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪), Zhang, W. Y. (张伟银) and Zhang, J. L. (张军丽). 2001. Spatial pattern analysis of species diversity in tropical mountane rain forest on Hainan Island. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), **9**(3): 229 – 234. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪), Zhang, W. Y. (张伟银) and Liang, S. C. (梁士楚). 2002. The group and feature of tropical forest vegetation of Hainan Island. *Guihaia* (广西植物), **22**(2): 107 – 115. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪), Zhang, Z. Q. (张志权), Lan, C. Y. (蓝崇钰) and Hu, Y. J. (胡玉佳). 1982. Studies on sampling techniques of the south-subtropical evergreen broad-leaf forest in Guangdong Province, China. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), **6**(1): 51 – 61. (in Chinese)
- Wang, J. L. (王吉利) and Zhang, Y. T. (张尧庭). 2000. *SAS Software and Applicational Statistics* (SAS 软件与应用统计). China Statistics Press, Beijing. (in Chinese)
- Wang, Z. P. (王周平), Li, X. G. (李旭光) and Shi, S. Y. (石胜友). 2003. A comparison study on the species diversity between the gap and non-gap in Jinyun Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **14**(1): 7 – 10. (in Chinese)
- Whitmore, T. C. 1990. *An Introduction to Tropical Rain Forest*. Clarendon Press, Oxford.
- Zhang, H. D. (张宏达), Wang, B. S. (王伯荪), Zhang, C. C. (张超常) and Qiu, H. X. (丘华兴). 1955. Research of plant communities in Dinghu Mountain, Gaoyao, Guangdong. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (中山大学学报), **3**: 159 – 225. (in Chinese)
- Zhu, H. (朱华), Wang, H. (王洪), Li, B. G. (李宝贵) and Xu, Z. F. (许再富). 1998. Species diversity of primary tropical rain forest of south Yunnan of China with special reference to sampling area. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **6**(4): 241 – 247. (in Chinese)