

# 海南橡胶林植物多样性特征

兰国玉<sup>1,2\*</sup> 吴志祥<sup>1,2</sup> 谢贵水<sup>1,2</sup>

1 (中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737)

2 (农业部儋州热带作物科学观测实验站, 海南儋州 571737)

**摘要:** 为探讨人工林物种多样性维持机制及人为干扰后人工林群落的多样性恢复机制, 作者依据自然林的理论建立了一个1 ha的橡胶(*Hevea brasiliensis*)林固定样地, 通过研究近自然管理后样地内植物物种组成与分布来探讨近自然管理后橡胶林生物多样性的特征。结果表明: 近自然管理后橡胶林群落物种多样性较高, 1 ha样地内共有植物69科155属183种。在面积为4,000 m<sup>2</sup>、3,000 m<sup>2</sup>和2,000 m<sup>2</sup>时分别包含了样地内大约90%的种、属和科; 逻辑斯蒂模型拟合拟合种-面积曲线效果较好( $R^2=0.997$ ), 证明了1 ha取样尺度可以满足橡胶林群落物种多样性研究的需要。多度-面积曲线和丰富度-面积曲线与随机分布模型有明显的差异, 表明橡胶林群落内个体数及物种分布呈非随机性。(4)对数级数模型和对数正态模型拟合橡胶林群落的种-多度分布都不理想, 相比而言后者拟合效果稍好。

**关键词:** 近自然管理, 物种多样性, 种-面积曲线, 种-多度分布

## Characteristics of plant species diversity of rubber plantation in Hainan Island

Guoyu Lan<sup>1,2\*</sup>, Zhixiang Wu<sup>1,2</sup>, Guishui Xie<sup>1,2</sup>

1 Rubber Research Institute Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737

2 Danzhou Investigation & Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture of China, Danzhou, Hainan 571737

**Abstract:** To explore diversity maintaining mechanism and restoration after disturbance of the plantation, we established a 1-ha dynamic rubber plantation plot and managed it in a close to nature way according to the core theory of close to nature forest. Based on field survey data, plant species composition and distribution in the rubber plantation was analyzed. A total of 183 species belonging to 155 genera and 69 families were recorded in the plot. In the area of 4,000 m<sup>2</sup>, 3,000 m<sup>2</sup> and 2,000 m<sup>2</sup>, the plot contains about 90% of species, genus and family respectively. Logistic model fitted species-area is very good with  $R^2$  0.997, which indicates that 1-ha plot is large enough for monitoring of species diversity of rubber plantation. The distribution pattern of abundance and richness in the plot are very different from those constructed from random placement model, which indicates that the unevenness distribution of abundance and richness are not caused by the random distribution. The species-abundance distribution of the plot could not be well fitted by using the lognormal model and log serial model. In comparison, the lognormal model fits it better than log serial model.

**Key words:** close to natural management, species diversity, species-area curve, species-abundance distribution

近年来, 由于天然橡胶价格的不断提升和国内需求的不断增加, 胶农种植橡胶树(*Hevea brasiliensis*)的积极性很高, 致使各地毁林种胶的事件屡有

发生, 引起了社会各界的广泛关注(安锋等, 2011)。一些学者从根本上否定发展天然橡胶林的积极作用, 认为种植橡胶使得原始林面积锐减(Ziegler,

收稿日期: 2014-04-14; 接受日期: 2014-08-29

基金项目: 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费项目(160022013013)和海南省自然科学基金(313060)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: languoy@gmail.com

2009), 是造成水土流失、生物多样性减少(Li *et al.*, 2007; Zhai *et al.*, 2012)及区域干旱(Tan *et al.*, 2011)等问题的罪魁祸首。面对以上质疑, 如何既能实现天然橡胶产业的可持续发展, 又能实现环境的保护, 是科研人员面临的一个重要而紧迫的科学问题。

近自然经营是兼顾林业生产和自然保护的一种经营模式, 其经营思想可表述为“在确保森林结构关系自我保存能力的前提下遵循自然条件的林业活动”(吴瑶等, 2014)。其理论基础为近自然林业理论(Close to Natural Forest Theory), 该理论起源于德国, 强调人类应尽可能地按照森林的自然规律来从事林业生产活动(邵青还, 2003)。“近自然林”具有天然林的稳定特征, 能持续发挥多种效益, 是人工林与天然林的有机结合(张硕新等, 1996)。目前, 欧盟各国普遍采用了近自然林业经营的方法(许新桥, 2006), 而且大多数实践取得了成功(Schütz, 1999)。我国近年来在近自然林业抚育技术和评价技术等方面开展了大量研究和实践(杜强和张永涛, 2010), 如果能将近自然林的理论应用在天然橡胶产业中, 不仅可以实现橡胶林生物多样性的恢复, 也可以实现天然橡胶产业的可持续发展。

国内对橡胶林群落物种多样性已经开展了一些研究(Liu *et al.*, 2006; 王纪坤等, 2012; 向仰州等, 2012; 周会平等, 2012; 萧自位等, 2014), 但由于研究目的不同, 这些研究均没有调查橡胶林植物多度或盖度及每个物种在样地中的分布。依据近自然林理论, 我们于2012年在海南儋州试验场设立了1个1 ha固定样地, 并实行近自然管理。本文基于该样地2013年的野外调查数据, 分析了群落内物种组成、多度及分布特征, 拟探讨以下两个问题: (1)近自然管理后橡胶林物种组成、分布及多样性特征如何? (2)与其他热带森林相比, 其物种多样性的水平和特征究竟如何? 通过以上问题的探讨, 旨在发展人工林树种多样性维持机制理论, 尝试揭示人为干扰后人工橡胶林群落的多样性恢复机制。

## 1 研究区概况

儋州市位于海南岛的西北部, 处于东亚大陆季风气候的南缘, 属热带湿润季风气候, 夏无酷暑, 冬无严寒, 阳光充足, 雨量充沛。常年平均气温为23.5℃, 最热月7月的平均温度为27.8℃, 极端最高

气温33℃, 最冷月1月的平均气温为17.5℃, 极端最低气温3.2℃。多年平均降雨量为1,815 mm, 由于受季风影响, 全年雨量分布很不均匀, 干季雨季分明。5–10月为雨季, 占年雨量的84%, 11月至次年4月为干季, 占年雨量的16%。实验区位于海南儋州中国热带农业科学院试验场内。

实验区内橡胶树的品系为‘热研7-33-97’。该品种是以高产的‘RRIM600’和抗风的‘PR107’为亲本选育出来的速生早熟高产抗风品种, 其抗病(白粉病)能力较强(王少明等, 2009)。该品种1995年被评为大推品种(黄华孙, 2005), 种植面积达目前海南民营新建胶园的约90%。该品种对中部山区环境有良好的适应性, 具有代表性。

实验区内橡胶树于2005年种植, 2013年开割。中国热带农业科学院橡胶研究所于2012年在儋州试验场四队橡胶林建立了1个1 ha固定样地, 开始实行近自然管理。在建立固定样地之前, 实验区内实行常规管理, 存在施用化肥、压青、清除林内植被等生产活动, 林内设有营养沟。之所以在开始割胶后实行近自然管理, 主要是因为开割前林分尚未完全郁闭, 如果采用近自然管理会严重影响橡胶树的生长和营养积累。

**生境及群落特征。**实验区海拔70–100 m, 坡度在5–10°, 林分郁闭度为85%以上。实验区橡胶树平均胸径为15.7 cm, 平均高度为14.6 m。近自然管理前, 由于存在控萌和压青等生产活动, 林下植被基本上被清理, 一些盖度大的物种如散穗弓果黍(*Cyrtococcum patens*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、短叶黍(*Panicum brevifolium*)等禾本科植物略有残余分布。近自然管理后, 许多植物物种得以恢复, 但群落结构仍比较简单, 主要有3个层次: 第一层为乔木层, 全部由橡胶树组成, 近似均匀地分布于整个样地之中, 高度为10–15 m; 第二层为灌木层, 高度为2–3 m, 主要是一些灌木和藤本植物及乔木树种的幼苗, 代表性物种为构树(*Broussonetia papyrifera*)和大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*); 第三层为草本层, 是一些乔木、灌木、藤本的幼苗及草本植物, 其中最为典型的为散穗弓果黍、火炭母(*Polygonum chinense*)、短叶黍、丰花阔叶草(*Borreria latifolia*)等植物, 一些藤本植物如牛筋藤(*Malaisia scandens*)则在灌木层和草本层中交叉出现。

## 2 方法

### 2.1 样地建设方法

样地布设方法参照巴拿马Barro Colorado Island 50 ha样地的技术规范(Condit, 1995, 1998)。样地大小为100 m×100 m, 采用全站仪将其划分为400个5 m×5 m样方, 以5 m×5 m样方为基本调查单位。样地地形图见附图1。

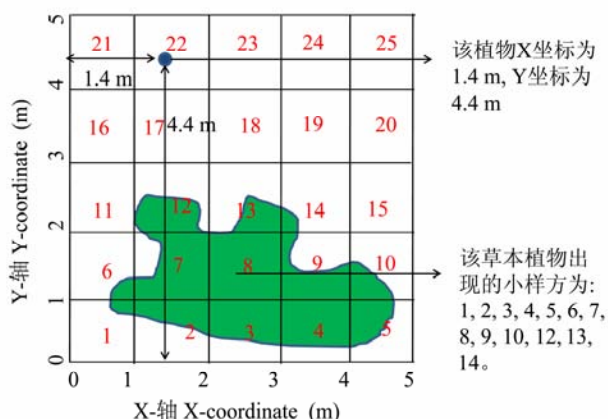


图1 某种植物在5 m×5 m样方中的坐标值及出现的小样方  
Fig. 1 X and Y coordinates of a species in the 5 m × 5 m quadrats and the subplot where it locates

对于乔木(橡胶树)树种测量其胸径(树干1.3 m处)和高度, 以及在5 m×5 m样方中的x和y坐标值。对于灌木层物种记录其种名、高度及在5 m×5 m样方中的x和y坐标值。草本层调查包括蕨类植物、乔木和灌木的幼苗、藤本及草本植物。对容易调查个体数的草本层植物, 如个体比较大的蕨类等, 调查内容包括种名及在5 m × 5 m样方中的x和y坐标值; 对于不易调查个体数的草本层植物, 如散穗弓果黍等禾本科植物, 需将5 m × 5 m样方划分为25个1 m × 1 m小样方, 并将每个小样方编号为1, 2, 3, ..., 25, 记录该种的种名及出现该种的样方编号(图1)。

### 2.2 分析方法

#### 2.2.1 多度和丰富度随机分布模型

应用随机分布模型拟合橡胶林群落内多度和丰富的分布, 并与实际观测值进行比较, 以此了解橡胶林群落物种多度与丰富度的分布。

随机模型多度(Coleman, 1981):

$$N_a = \frac{N}{A} a \quad (1)$$

随机模型丰富度(Coleman, 1981):

$$S_a = S - \sum_{i=1}^S (1 - \frac{a}{A})^{n_i} \quad (2)$$

其中 $N_a$ 为面积为 $a$ 时的个体数量,  $S_a$ 为面积 $a$ 时的物种数,  $N$ 为总个体数,  $A$ 为总面积,  $n_i$ 为物种 $i$ 的个体数。

绘制多度和丰富度曲线的95%置信区间, 来检验实际观测值与拟合值是否有明显差异, 如果观测值在置信区间内, 则差异不显著; 反之亦然。

#### 2.2.2 种-面积曲线的拟合

种-面积曲线是用R软件绘制: 是计算面积为1 m×1 m, 2 m×2 m, 3 m×3 m, ..., 100 m×100 m的系列样方内物种个数, 然后以面积为x轴, 物种数为y轴绘制曲线。上述系列样方为以样地的左下角为起始点0.0点, 边长分别为1 m, 2 m, 3 m, ..., 100 m的正方形。采用3种种-面积模型, 即对数模型、幂函数模型和逻辑斯蒂模型进行模拟。其表达式分别是: 对数模型 $S = z \times \ln(A) + C$  (Gleason, 1922), 幂函数模型 $S = c \times A^z$ , 逻辑斯蒂模型 (Arrhenius, 1921),  $S = b / (c + A^{-z})$  (Archibald, 1949)。其中 $S$ 为物种数,  $A$ 为取样面积,  $c$ 、 $b$ 和 $z$ 均为模型参数。比较3个模型的决定系数( $R^2$ ), 以此判断3个模型拟合效果的好坏。

#### 2.2.3 多度的拟合

物种-多度分布是群落中物种个体数的频率分布, 最早也拿来作为物种多样性的测度。不同学者用不同的方法表示物种多度分布, 其中最为有名且最有效的方法之一为等级/多度图(Magurran, 2004)。本文采用对数正态模型和对数级数模型拟合了海南橡胶林样地内的种-多度分布, 多度等级按照Preston(1948)关于多度的划分。

首先绘制种-多度的直方图, 其次采用对数正态模型和对数级数模型对橡胶林群落的种-多度分布进行拟合, 再用卡方判别每个多度等级的观测物种数和理论物种数的差别(Williamson & Gaston, 2005), 卡方值越大, 表示模型拟合的效果越差。如果 $\chi^2 > 5.89$  ( $\chi^2_{0.05, 13} = 5.89$ ,  $P=0.05$ ), 则拒绝原假设: 即实际多度值与拟合的多度值存在较大的差异。

对数正态模型:

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

(3)

其中 $\mu, \sigma^2$ 分别为多度值取对数后的平均值和方差,  $x$ 表示个体数,  $f(x)$ 表示个体数为 $x$ 的物种数。

对数级数:

$$f_n=\alpha x^n/n, n=1,2,3,\dots(\text{Fisher } et\ al.,\ 1943)$$

(4)

其中 $f_n$  是个体数为 $n$ 的物种数,  $\alpha$ 为多样性指数,  $x$ 是参数。 $\alpha>0$  并且  $0<x<1$ (大多数情况下 $x>0.9$ )。

拟合物种-多度分布的方法通常是先根据Preston(1948)的多度等级划分等级, 多度等级为 $n$ 包含的个体数量从 $2^n$ 到 $(2^{n+1}-1)$ , 其中 $n=0, 1, 2, 3, \dots$ 。

2.2.4 多样性指数

采用 $\alpha$ 多样性指数和Shannon-Wiener指数计算橡胶林群落不同面积内的多样性指数, 并绘制多样性指数-面积曲线图。

$\alpha$  多样性指数(Fisher *et al.*, 1943):

$$S=\alpha\times\ln(1+N/\alpha)$$

(5)

其中 $\alpha$ 是多样性指数,  $N$ 是个体数,  $S$ 是物种数。

Shannon-Wiener指数:

$$H=-\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i$$

(6)

其中 $P_i$  为1株个体属于第 $i$ 个种的概率, 以其个体占总个体数的百分比表示。

3 结果

3.1 橡胶林群落物种组成

在1 ha的样地中共有橡胶树439棵, 林下植物183种, 隶属于69科155属(附表1, 表1)。其中蕨类植物10种, 被子植物173种(包括单子叶植物26种, 双子叶植物147种)。按照生活型来分, 183个物种中有乔木物种46种(主要为乔木树种的幼苗和幼树), 灌

木植物45种, 藤本植物22种, 草本植物(一年生草本和多年生草本)70种。

群落中橡胶树的直径大多数在16–18 cm之间(附图2), 而15 cm以下的约占1/4, 15–17 cm的约占1/2; 小径阶如直径小于10 cm的橡胶树有11株, 而直径大于20 cm的仅有1株。总之, 橡胶树胸径分布较为集中, 个体虽存在差异, 但并不显著。

3.2 橡胶林群落种面积曲线

橡胶林群落的种-面积曲线表明(图2), 在面积为0–4,000 m<sup>2</sup> 时, 物种数随着样地面积的增加而快速增加; 在面积为4,000–10,000 m<sup>2</sup>时, 物种数增加的速度下降。在样地面积为4,000 m<sup>2</sup>时, 包含了约165个物种, 占总种数的90.1%。

用同样的方法绘制出属-面积曲线和科-面积曲线。前者和种-面积曲线表现出的规律相似, 如在面积为0–3,000 m<sup>2</sup>时, 属数随着样地面积的增大而快速增加; 在面积为3,000–10,000 m<sup>2</sup>时, 属数增加的速度降低, 在面积3,000 m<sup>2</sup>时, 包含了约140个属,

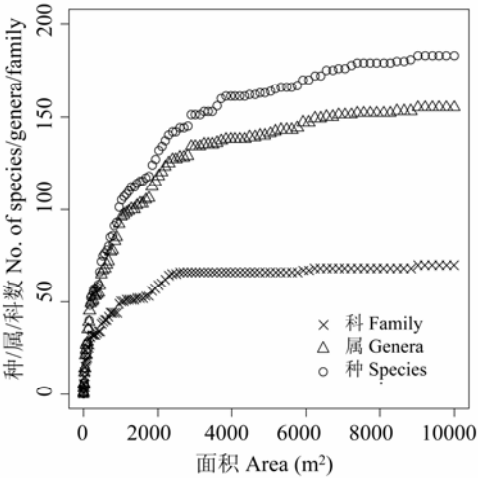


图2 海南橡胶林种/属/科-面积曲线图  
Fig. 2 Species-, genera-, and family-area relationship in a 1-ha rubber plantation plot in Hainan

表1 海南橡胶林群落的植物类型组成统计  
Table 1 Plant species types of a rubber plantation plot in Hainan

植物类群 Taxa	物种数 No. of species (%)	生活型 Life form	物种数 No. of species (%)
被子植物 Angiospermae			
单子叶植物 Monocotyledoneae	26 (14.2)	乔木 Tree	46 (25.1)
双子叶植物 Dicotyledoneae	147 (80.3)	灌木 Shrub	45 (25.0)
蕨类植物 Pteridophyte	10 (5.5)	草本 Herb	70 (38.3)
合计 Total	183 (100)	藤本 Liana	22 (12.0)

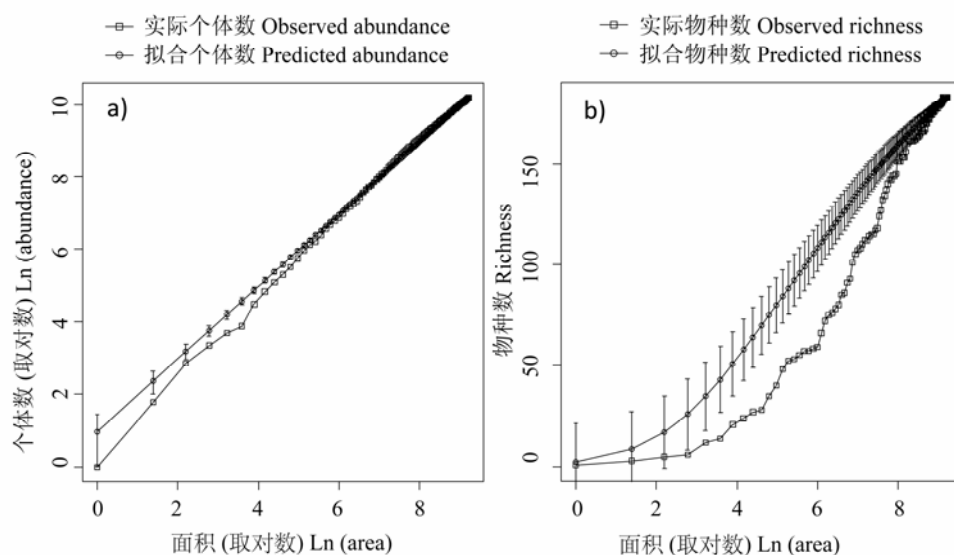


图3 海南橡胶林1 ha样地个体数-面积曲线和种-面积曲线

Fig. 3 Abundance-area relationship and species-area relationship in a 1-ha rubber plantation plot in Hainan

占总属数的90.3%。后者与种-面积曲线表现的规律略有不同,在一定尺度内随着面积的增加(如在2,200–6,000 m<sup>2</sup>范围内)而累积科数并不增加。但总的来说,在面积为0–2,000 m<sup>2</sup>之间时,科数随着样地面积的增加而快速增加,在面积2,000 m<sup>2</sup>时,包含了62个科,占总科数的89.8%。

### 3.3 橡胶林群落多度和丰富度的分布

从多度-面积曲线(图3a)和丰富度-面积曲线(图3b)可以看出,随着面积的增加,一定面积内实际植物个体数及拟合值均呈近似直线增加的趋势,然而仍有一定差别,这种差别在中小尺度上表现更为明显,表明橡胶林群落内植物个体数的分布为非随机分布。同样,一定面积内实际植物物种数与拟合值也存在明显差别,表明橡胶林群落内丰富度同样为非随机分布。

### 3.4 橡胶林种-面积曲线的拟合

3种种-面积曲线拟合结果表明,对数模型不能实现对种面积曲线的拟合,而幂函数模型和逻辑斯蒂模型可以实现拟合。幂函数模型为 $S = 10.6 \times A^{0.32}$  ( $R^2 = 0.887$ ,  $P < 0.001$ ); 逻辑斯蒂模型为 $S = 1.12 / (0.005 + A^{-0.74})$  ( $R^2 = 0.974$ ,  $P < 0.001$ ), 详见附表2。由图4明显可以看出,逻辑斯蒂模型的拟合结果与观测值比较吻合。

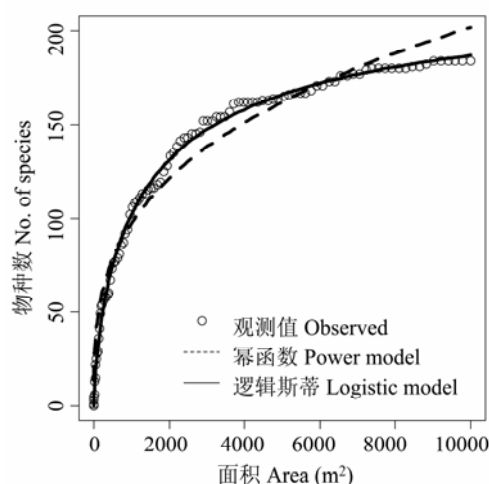


图4 海南橡胶林种-面积曲线的拟合

Fig. 4 Fitness the species-area relationship in a 1 ha rubber plantation plot in Hainan

### 3.5 物种多度分布

由图5可以看出,对数正态模型和对数级数模型的拟合曲线与实际的多度分布直方图的差别很大,故这两个模型的拟合效果都不好,对数正态模型的卡方值为34.1(附表3),小于对数级数模型的卡方值80.9。因此,相比而言,对数正态模型比对数级数模型的拟合效果好。同时可以看出,如果除去

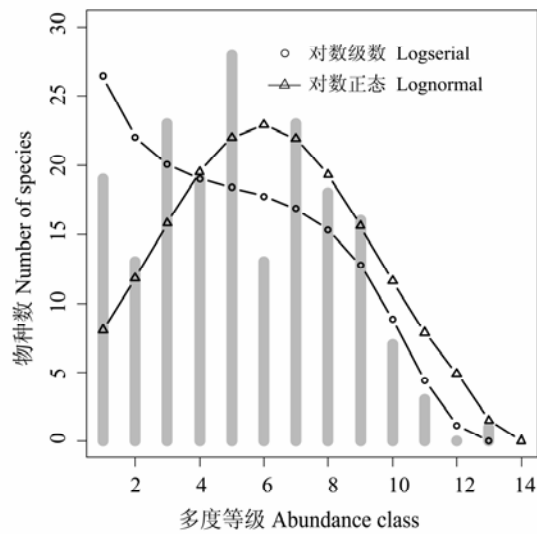


图5 海南橡胶林群落物种多度分布的拟合  
Fig. 5 Fitness the species–abundance of rubber plantation in Hainan

一些稀有物种，橡胶林群落物种多度分布近似地服从对数正态分布模型。

3.6 多样性指数

图6为样地的多样性指数–面积曲线图。可以看出Shannon指数和 $\alpha$ 指数表现出一致的趋势，但仍有差别。如当面积增加到3,000 m<sup>2</sup>时，Shannon指数不再增加，曲线表现得更为平滑。而 $\alpha$ 多样性指数–面积曲线则略有波动。

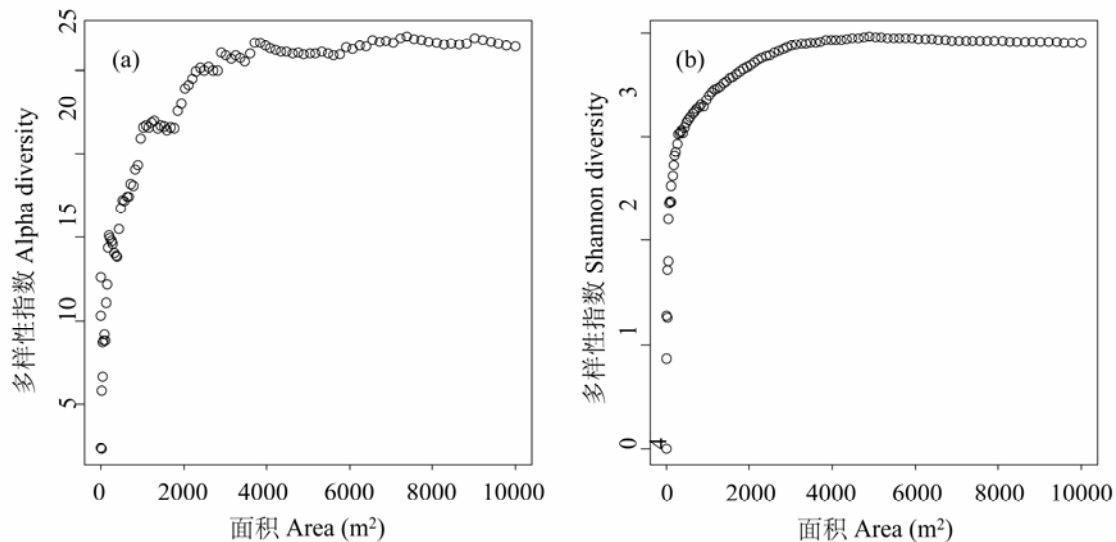


图6 海南橡胶林多样性指数–面积曲线. a:  $\alpha$ 多样性指数–面积曲线; b: Shannon多样性指数–面积曲线。  
Fig. 6 Diversity–area curve of rubber plantation in Hainan. a,  $\alpha$  index–area curve; b, Shannon index–area curve.

4 讨论

4.1 橡胶林群落实行近自然管理后物种多样性并不低

橡胶林群落由于受人为生产活动的影响，群落内物种多样性较低，但我们比较了调查面积相似的橡胶林与热带山地雨林、热带雨林的物种数，发现橡胶林实行近自然管理后，其群落物种多样性并不低(附表4)。海南岛尖峰岭山地雨林1 ha样地内有直径大于5 cm的树种171种，隶属52科93属(方精云等, 2004); 海南琼北地区的热带雨林青梅(*Vatica mangachapoi*, 龙脑香科)林0.9 ha的样地内含有物种155种，隶属132属64科(杨小波等, 2005)。需要说明的是：尖峰岭的山地雨林只调查直径大于5 cm的乔木和灌木，并没有包含草本植物；琼北地区的龙脑香热带雨林的调查虽然包含了草本，但树高1.5 m以下的乔灌木种类没有调查。因此，直接比较橡胶林与山地雨林或热带雨林的多样性比较困难，但至少可以说明橡胶林群落实行近自然管理后物种多样性并不低。

常规管理的橡胶林下植物物种多样性受人为影响较大。管理强度较大的林段下可能仅有几种草本植物，管理强度稍弱的林段下物种多样性稍高些，而且不同林段的物种多样性也可能迥然不同。我们在常规管理的橡胶林中选取2个20 m×20 m小样方作为补充，比较了近自然管理与常规管理的种–

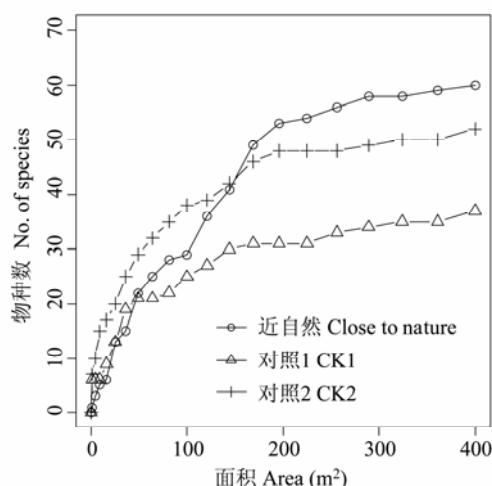


图7 近自然管理与常规管理种-面积曲线比较  
Fig. 7 Comparison on species-area relationship between close to nature management and traditional management

面积曲线(图7),可以看出,近自然管理橡胶林的物种多样性较明显高于常规管理。

#### 4.2 1 ha的取样面积对于研究橡胶林群落的物种多样性已经足够

取样面积不同,得出的结论往往也有所不同,即所谓的尺度效应(邬建国, 1995)。取样面积越大,取样数量越多,所得到的结果越可靠,但难度也越大。一般认为群落调查的取样面积至少应该大于群落的最小面积(董鸣, 1996)。2005年台湾林业试验所在南投柳杉(*Cryptomeria fortunei*)人工林设立永久试验样地,研究不同疏伐强度对人工林组成、结构与功能、生物多样性等的影响<sup>①</sup>,其样地的面积为1 ha。海南橡胶林内植物主要包括草本植物,乔木和灌木树种很少,而且高度基本处于草本层或仅少数物种存在于灌木层,且本项目研究方法为连续取样,并详尽调查1 ha样地内每株植物种类及分布,因此我们认为1 ha样地的面积具有代表性。

种-面积模型对尺度具有明显的依赖性,选择模型必须考虑在不同尺度下的模型的拟合优度。Fisher等(1943)发现,对数模型适合模拟小尺度上种-面积关系,幂函数模型适合中等尺度,逻辑斯蒂模型适合较大的研究尺度(Archibald, 1949; He & Legendre, 1996; 姜俊等, 2012)。He和Legendre(1996)

的研究也指出:大尺度上逻辑斯蒂模型能较合理地描述该区域的种-面积关系,只要取样面积足够大,能涵盖该区域的所有物种,逻辑斯蒂模型就优于其他模型。本文采用3种模型拟合了橡胶林群落的种面积曲线,结果表明逻辑斯蒂模型拟合效果相对较好。这一结果在一定程度上验证了He和Legendre (1996)的结论,另一方面也表明1 ha的取样面积能够满足橡胶林群落的物种多样性研究。

#### 4.3 近自然管理后人为干扰影响尚未完全消除

本研究中的橡胶林群落是2012年建立固定样地后才实行近自然管理的,群落内的物种大多数是人为清理地面植被后建立起来的,可视为森林恢复的初级阶段。但群落中人为干扰的影响尚未完全消失,反映在植物物种组成和森林结构等方面。在物种组成方面,橡胶林群落中有5个世界广布的入侵杂草,如假臭草(*Praxelis clematidea*)、飞机草(*Eupatorium odoratum*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)等,入侵类杂草较高的优势度反映了群落处于演替的初级阶段;在森林结构方面,尽管橡胶林群落中有构树、倒吊笔(*Wrightia pubescens*)、大青等乔木,但这些物种尚未进入林冠层,高度仅2-3 m,也反映出了群落处在演替的初级阶段。

对数正态分布本身是随机过程的产物,当每一个物种在取样中的个体数量随机决定而不依赖于其他物种时,其物种-多度常表现为这种分布(尚玉昌和蔡晓明, 1992)。符合这种模型的群落大多属于环境条件较好、物种丰富而分布较均匀的群落,如热带雨林或海湾森林群落及多数昆虫群落(赵志模和郭依泉, 1990)。一些学者就物种-多度的对数正态分布是否可作为热带雨林中生境干扰程度的指标进行过激烈辩论(Basset *et al.*, 1998; Hill & Hamer, 1998; Nummelin, 1998; Watt, 1998)。橡胶林群落物种-多度分布近似于对数正态分布,一方面表明橡胶林群落环境较好,物种丰富且分布较为均匀,另一方面也证明了符合对数正态模型的物种-多度的群落可作为生境干扰程度的指标。本研究的橡胶林群落人为干扰后建立的近自然林,群落中的物种分布格局是尚未完全通过种间竞争而形成的格局,有近似随机分布(已经偏离了随机分布)的格局。

#### 参考文献

An F (安锋), Chen QB (陈秋波), Xie GS (谢贵水), Lin WF

① 金恒镞 (2008) 台湾人工林的适应性管理. 生态系统研究与管理简报, 19(5), 1-12.

- (林位夫), Zeng XH (曾宪海) (2010) Hydrological and ecological effects of rubber plantations. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), **26**, 359–365. (in Chinese with English abstract)
- Archibald EEA (1949) The specific character of plant communities. II. A quantitative approach. *Journal of Ecology*, **37**, 274–288.
- Arrhenius O (1921) Species and area. *Journal of Ecology*, **9**, 95–99.
- Basset Y, Novotny V, Miller SE, Springate ND (1998) Assessing the impact of forest disturbance on tropical invertebrates: some comments. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 461–466.
- Coleman DB (1981) On random placement and species–area relations. *Mathematical Biosciences*, **54**, 191–215.
- Condit R (1995) Research in large, long-term tropical forest plot. *Tree*, **10**, 18–22.
- Condit R (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*, pp.1–14. Springer, Berlin.
- Dong M (董鸣) (1996) *Investigation and Analysis of the Terrestrial Biocommunity* (陆地生物群落调查观测与分析). pp.1–58. Standards Press of China, Beijing. (in Chinese)
- Du Q (杜强), Zhang YT (张永涛) (2010) A review of close-to-nature forestry management technology in China. *Science of Soil and Water Conservation* (中国水土保持科学), **8**(1), 119–124. (in Chinese with English abstract)
- Fang JY (方精云), Li YD (李意德), Zhu B (朱彪), Liu GH (刘国华), Zhou GY (周光益) (2004) Community structures and species richness in the montane rain forest of Jianfengling, Hainan Island, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **12**, 29–43. (in Chinese with English abstract)
- Fisher RA, Corbet AS, Williams CB (1943) The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology*, **12**, 42–58.
- Gleason HA (1922) On the relation between species and area. *Ecology*, **3**, 158–162.
- He FL, Legendre P (1996) On species–area relations. *The American Naturalist*, **148**, 719–737.
- Hill JK, Hamer KC (1998) Using species abundance models as indicators of habitat disturbance in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 458–460.
- Huang HS (黄华孙) (2005) *Fifty Year's Rubber Tree Breeding in China* (中国橡胶育种五十年), pp. 175–176. China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)
- Jiang J (姜俊), Zhang CY (张春雨), Zhao XM (赵秀海) (2012) Plant species–area relationship in a 42-hm<sup>2</sup> research plot of coniferous and broad-leaved mixed forest in Jiaohe, Jilin Province, China. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **36**, 30–38. (in Chinese with English abstract)
- Li HM, Aide TM, Ma YX, Liu WJ, Cao M (2007) Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China. *Biodiversity and Conservation*, **16**, 1731–1745.
- Liu HM, Jiang JS, Dong SL (2006) Study on biodiversity of the tropical rubber plantation in Hainan. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, **30**(6), 55–60.
- Magurran AE (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Nummelin M (1998) Log-normal distribution of species abundances is not a universal indicator of rain forest disturbance. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 454–457.
- Preston FW (1948) The commonness and rarity of species. *Ecology*, **29**, 254–283.
- Schütz JP (1999) Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with favoring species diversity in forests? *Forestry*, **72**, 359–366.
- Shang YC (尚玉昌), Cai XM (蔡晓明) (1992) *General Ecology* (普通生态学). Peking University Press, Beijing. (in Chinese)
- Shao QH (邵青还) (2003) An elucidation to nature-approximating forestry and forestry target. *World Forestry Research* (世界林业研究), **16**(6), 1–2. (in Chinese with English abstract)
- Tan ZH, Zhang YP, Song QH, Liu WJ, Deng XB, Tang JW, Deng Y, Zhou WJ, Yang YL, Yu GR, Sun XM, Liang NS (2011) Rubber plantations act as water pumps in tropical China. *Geophysical Research Letters*, **38**, L24406.
- Taylor LR (1978) Bates, Williams, Hutchinson—a variety of diversities. In: *Diversity of Insect Faunas* (eds Mound LA, Warloff N), pp. 1–8. Blackwell, Oxford.
- Wang JK (王纪坤), Lan GY (兰国玉), Wu ZX (吴志祥), Xie GS (谢贵水) (2012) Investigation and analysis of plant resources under rubber forests in Hainan Island. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* (热带农业科学), **31**(6), 31–36. (in Chinese with English abstract)
- Wang SM (王少明), Xu YC (徐扬川), Luo SQ (罗世巧), Gao XS (高新生) (2009) Adaptability of new desirable rubber clone ‘Reyan 7-33-97’ in central mountainous areas of Hainan Province. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* (热带农业科学), **29**(6), 1–4. (in Chinese with English abstract)
- Watt AD (1998) Measuring disturbance in tropical forests: a critique of the use of species–abundance models and indicator measures in general. *Journal of Applied Ecology*, **35**, 468–469.
- Williamson M, Gaston KJ (2005) The lognormal distribution is not an appropriate null hypothesis for the species–abundance distribution. *Journal of Animal Ecology*, **74**, 409–422.
- Wu JG (邬建国) (1995) Pattern and scale in ecology: problem of modifiable areal unit. In: *Lecturer of Modern Ecology* (现代生态学讲座) (ed. Li B (李博)), pp. 1–9. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu Y (吴瑶), Li FR (李凤日), Qin KL (秦凯伦), Zhang MH (张明华), Zhang JF (张金富) (2014) Impacts of close-to-nature management on soil chemical properties of Korean



- pine forest in northeastern China. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), **42**(1), 76–79. (in Chinese with English abstract)
- Xiang YZ (向仰州), Xu DP (徐太平), Yang ZJ (杨曾奖), Zhang NN (张宁南), Guo JY (郭俊誉) (2012) Relationship between plant species diversities and soil physical properties in two plantations in Hainan Province. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), **9**(1), 37–41. (in Chinese with English abstract)
- Xiao ZW (萧自位), Wang XH (王秀华), Zheng L (郑丽), Wang XL (王小李), Gao LH (高丽洪), Tang JW (唐建维) (2014) Biomass and its allocation pattern of monoculture and mixed rubber-tree plantations in Xishuangbanna. *Journal of Central South University of Forestry and Technology* (中南林业科技大学学报), **34**(2), 108–116. (in Chinese with English abstract)
- Xu XQ (许新桥) (2006) Survey on theory of nature-approximate forestry. *World Forestry Research* (世界林业研究), **19**(1), 10–13. (in Chinese with English abstract)
- Yang XB (杨小波), Wu QS (吴庆书), Li YL (李跃烈), Wu XY (吴小毅), Chi QH (池清湖), Wang SN (王生年) (2005) Characteristic of tropical forest composition in north of Hainan Island. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **41**(3), 19–24. (in Chinese with English abstract)
- Zhai DL, Cannon CH, Slik JWF, Zhang CP, Dai ZC (2012) Rubber and pulp plantations represent a double threat to Hainan's natural tropical forests. *Journal of Environmental Management*, **96**, 64–73.
- Zhang SX (张硕新), Lei RD (雷瑞德), Chen CG (陈存根), Liu JJ (刘建军) (1996) "Near-natural forest": a promising man-made natural forest. *Journal of Northwest Forestry College* (西北林学院学报), **11**(S1), 157–162. (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZM (赵志模), Guo YQ (郭依泉) (1990) *Principles and Methods of Community Ecology* (群落生态学原理与方法). Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press, Chongqing. (in Chinese)
- Zhou HP (周会平), Yan XS (岩香甩), Zhang HD (张海东), Zhang LQ (张丽谦), Wei LP (魏丽萍) (2012) Species diversity of understorey vegetation in rubber plantations in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), **33**, 1444–1449. (in Chinese with English abstract)
- Ziegler AD, Fox J, Xu J (2009) The rubber juggernaut. *Science*, **324**, 1024–1025.

(责任编辑: 臧润国 责任编辑: 周玉荣)

## 附录 Supplementary Material

### 附图1 橡胶林固定样地地形图

Fig. S1 Topographic map of a 1-ha rubber plantation plot

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-1.pdf>

### 附图2 海南橡胶林群落橡胶树径阶分布图

Fig. S2 DBH histogram of rubber trees in a 1-ha rubber plantation in Hainan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-2.pdf>

### 附表1 海南儋州橡胶林群落物种名录

Table S1 Species list of a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-3.pdf>

### 附表2 海南儋州橡胶林群落种-面积曲线模型拟合

Table S2 Fitness of different models on species-area relationship for a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-4.pdf>

### 附表3 海南儋州橡胶林群落种-多度分布的模型卡方检验

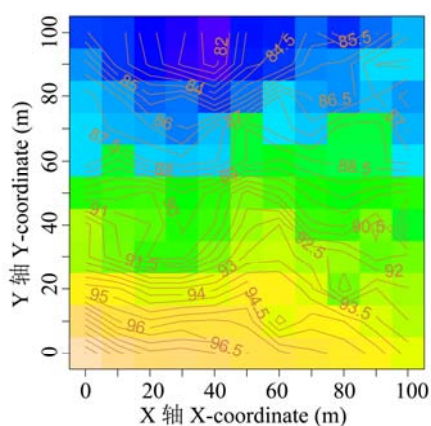
Table S3 Chi-square test of species abundance distributions for a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-5.pdf>

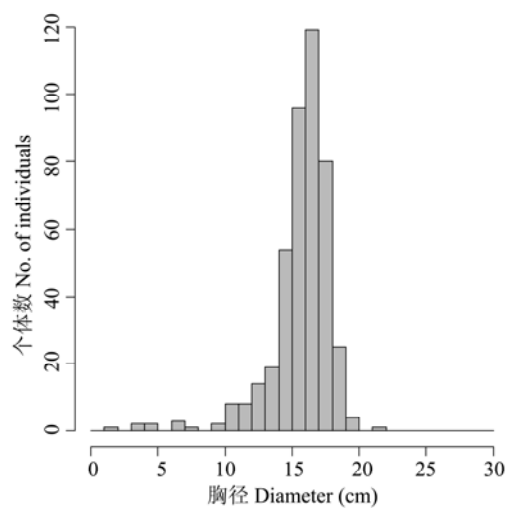
### 附表4 海南橡胶林与海南热带雨林物种丰富度比较

Table S4 Comparisons of species richness between rubber plantation and other tropical rain forests in Hainan

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-080-6.pdf>



附图1 橡胶林固定样地地形图  
 Fig. S1 Topographic map of a 1-ha rubber plantation plot



附图2 海南橡胶林群落橡胶树径阶分布图  
 Fig. S2 DBH histogram of rubber trees in a 1-ha rubber plantation in Hainan

收稿日期: 2014-04-14; 接受日期: 2014-08-29

基金项目: 中国热带农业科学院橡胶研究所基本科研业务费项目(160022013013)和海南省自然科学基金(313060)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: languoy@gmail.com

附表1 海南儋州橡胶林群落物种名录

Table S1 Species list of a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
1	爵床科	Acanthaceae	楠草属	<i>Dipteracanthus</i>	楠草	<i>Dipteracanthus repens</i> (L.) Hassk.
2	石蒜科	Amaryllidaceae	独脚仙茅属	<i>Curculigo</i>	光叶仙茅	<i>Curculigo glabrescens</i> (Ridl.) Merr.
3	钩枝藤科	Ancistrocladaceae	钩枝藤属	<i>Ancistrocladus</i>	钩枝藤	<i>Ancistrocladus tectorius</i> (Lour.) Merr.
4	番荔枝科	Annonaceae	暗罗属	<i>Polyalthia</i>	暗罗	<i>Polyalthia suberosa</i> (Roxb.) Thw.
5	番荔枝科	Annonaceae	假鹰爪属	<i>Desmos</i>	假鹰爪	<i>Desmos chinensis</i> Lour.
6	夹竹桃科	Apocynaceae	狗牙花属	<i>Ervatamia</i>	狗牙花	<i>Ervatamia divaricata</i> (L.) Burk. cv. Gouyahua
7	夹竹桃科	Apocynaceae	倒吊笔属	<i>Wrightia</i>	倒吊笔	<i>Wrightia pubescens</i> R. Br.
8	夹竹桃科	Apocynaceae	狗牙花属	<i>Ervatamia</i>	海南狗牙花	<i>Ervatamia hainanensis</i> Tsiang
9	夹竹桃科	Apocynaceae	腰骨藤属	<i>Ichnocarpus</i>	腰骨藤	<i>Ichnocarpus frutescens</i> (L.) W. T. Aiton
10	冬青科	Aquifoliaceae	冬青属	<i>Ilex</i>	伞花冬青	<i>Ilex godajam</i> (Colebr. ex Wall.) Wall.
11	天南星科	Araceae	犁头尖属	<i>Typhonium</i>	犁头尖	<i>Typhonium divaricatum</i> (L.) Decne.
12	天南星科	Araceae	海芋属	<i>Alocasia</i>	海芋	<i>Alocasia macrorrhiza</i> (Linn.) Schott
13	五加科	Araliaceae	楸木属	<i>Aralia</i>	黄毛楸木	<i>Aralia decaisneana</i> Hance
14	萝藦科	Asclepiadaceae	匙羹藤属	<i>Gymnema</i>	大叶匙羹藤	<i>Gymnema tingens</i> Spreng.
15	菊科	Asteraceae	泽兰属	<i>Eupatorium</i>	飞机草	<i>Eupatorium odoratum</i> L.
16	菊科	Asteraceae	三七草属	<i>Crassocephalum</i>	革命菜	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore
17	菊科	Asteraceae	泽兰属	<i>Praxelis</i>	假臭草	<i>Praxelis clematidea</i> (Crisebach) King et Robinson
18	菊科	Asteraceae	金腰箭属	<i>Synedrella</i>	金腰箭	<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn.
19	菊科	Asteraceae	白酒草属	<i>Conyza</i>	小飞蓬	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.
20	菊科	Asteraceae	斑鸠菊属	<i>Vernonia</i>	夜香牛	<i>Vernonia cinerea</i> (L.) Less.
21	菊科	Asteraceae	一点红属	<i>Emilia</i>	一点红	<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.
22	菊科	Asteraceae	菊苣属	<i>Erechtites</i>	菊苣	<i>Erechtites hieracifolia</i> (L.) Raf. ex DC.
23	菊科	Asteraceae	鬼针草属	<i>Bidens</i>	鬼针草	<i>Bidens pilosa</i> L.
24	菊科	Asteraceae	翅果菊属	<i>Pterocypsela</i>	翅果菊	<i>Pterocypsela indica</i> (L.) Shih
25	菊科	Asteraceae	地胆草属	<i>Elephantopus</i>	白花地毯草	<i>Elephantopus tomentosus</i> L.
26	蹄盖蕨科	Athyriaceae	蹄盖蕨属	<i>Athyrium</i>	蹄盖蕨	<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
27	紫葳科	Bignoniaceae	猫尾木属	<i>Dolichandrone</i>	猫尾木	<i>Dolichandrone cauda-felina</i> (Hance) Benth. et Hook. f.
28	紫葳科	Bignoniaceae	木蝴蝶属	<i>Oroxylum</i>	木蝴蝶	<i>Oroxylum indicum</i> (L.) Vent.
29	乌毛蕨科	Blechnaceae	乌毛蕨属	<i>Blechnum</i>	乌毛蕨	<i>Blechnum orientale</i> L.
30	紫草科	Boraginaceae	厚壳树属	<i>Ehretia</i>	毛萼厚壳树	<i>Ehretia laevis</i> Roxb.
31	苏木科	Caesalpiniaceae	山扁豆属	<i>Cassia</i>	决明	<i>Cassia tora</i> Linn.
32	山柑科	Capparaceae	山柑属	<i>Capparis</i>	小刺山柑	<i>Capparis micracantha</i> DC.
33	山柑科	Capparaceae	山柑属	<i>Capparis</i>	锡朋槌果藤	<i>Capparis zeylanica</i> L.
34	山柑科	Capparaceae	白花菜属	<i>Cleome</i>	皱子白花菜	<i>Cleome rutidosperma</i> DC.
35	卫矛科	Celastraceae	南蛇藤属	<i>Celastrus</i>	南蛇藤	<i>Celastrus orbiculatus</i> Thunb.
36	使君子科	Combretaceae	风车子属	<i>Combretum</i>	风车子树	<i>Combretum alfredii</i> Hance.
37	鸭跖草科	Commelinaceae	水竹叶属	<i>Aneilema</i>	大叶水竹叶	<i>Aneilema scapiflorum</i> Wight.
38	鸭跖草科	Commelinaceae	鸭跖草属	<i>Commelina</i>	饭包草	<i>Commelina bengalensis</i> Linn.
39	鸭跖草科	Commelinaceae	鸭跖草属	<i>Commelina</i>	节节草	<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.
40	旋花科	Convolvulaceae	鳞蕊藤属	<i>Lepistemon</i>	鳞蕊藤	<i>Lepistemon binectariferum</i> (Wall. ex Roxb.) O. Kuntze
41	旋花科	Convolvulaceae	银背藤属	<i>Argyreia</i>	硬毛白鹤藤	<i>Argyreia capitata</i> (Vahl) Arn. ex Choisy
42	旋花科	Convolvulaceae	山猪菜属	<i>Merremia</i>	山猪菜	<i>Merremia umbellata</i> (L.) Hallier f. subsp. <i>orientalis</i> (Hallier f.)
43	旋花科	Convolvulaceae	山猪菜属	<i>Merremia</i>	掌叶山猪菜	<i>Merremia vitifolia</i> (Burm. f.) Hall. f.
44	莎草科	Cyperaceae	莎草属	<i>Cyperus</i>	多脉莎草	<i>Cyperus diffusus</i> Vahl.
45	莎草科	Cyperaceae	水蜈蚣属	<i>Kyllinga</i>	单穗水蜈蚣	<i>Kyllinga monocephala</i> Rottb.
46	莎草科	Cyperaceae	珍珠茅属	<i>Scleria</i>	珍珠茅	<i>Scleria hebecarpa</i> Nees
47	莎草科	Cyperaceae	莎草属	<i>Cyperus</i>	绿穗莎草	<i>Cyperus fuscus</i> L. f. <i>pallens</i> Husnet
48	姬蕨科	Dennstaedtiaceae	鳞盖蕨属	<i>Microlepia</i>	热带鳞盖蕨	<i>Microlepia speluncae</i> (L.) Moore
49	姬蕨科	Dennstaedtiaceae	鳞盖蕨属	<i>Microlepia</i>	华南鳞盖蕨	<i>Microlepia hancei</i> Prantl
50	毒鼠子科	Dichapetalaceae	毒鼠子属	<i>Dichapetalum</i>	毒鼠子	<i>Dichapetalum gelonioides</i> (Roxb.) Engl.
51	薯蓣科	Dioscoreaceae	薯蓣属	<i>Dioscorea</i>	山薯	<i>Dioscorea fordii</i> Prain et Burkill
52	薯蓣科	Dioscoreaceae	薯蓣属	<i>Dioscorea</i>	白薯蓣	<i>Dioscorea hispida</i> Dennst.
53	大戟科	Euphorbiaceae	大戟属	<i>Euphorbia</i>	铺地草	<i>Euphorbia prostrata</i> Ait.
54	大戟科	Euphorbiaceae	黑面神属	<i>Breynia</i>	黑面神	<i>Breynia fruticosa</i> (L.) Hook. f.

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
55	大戟科	Euphorbiaceae	叶下珠属	<i>Phyllanthus</i>	小果叶下珠	<i>Phyllanthus reticulatus</i> Poir.
56	大戟科	Euphorbiaceae	银柴属	<i>Aporusa</i>	银柴	<i>Aporusa dioica</i> (Roxb.) Muell. Arg.
57	大戟科	Euphorbiaceae	白树属	<i>Suregada</i>	白树	<i>Suregada glomerulata</i> (Bl.) Baill.
58	大戟科	Euphorbiaceae	土蜜树属	<i>Bridelia</i>	大叶土蜜树	<i>Bridelia fordii</i> Hemsl.
59	大戟科	Euphorbiaceae	山麻杆属	<i>Alchornea</i>	红背山麻杆	<i>Alchornea trewioides</i> (Benth.) Muell. Arg.
60	大戟科	Euphorbiaceae	小盘木属	<i>Microdesmis</i>	小盘木	<i>Microdesmis caseariifolia</i> Planch.
61	大戟科	Euphorbiaceae	山麻杆属	<i>Alchornea</i>	羽脉山麻杆	<i>Alchornea rugosa</i> (Lour.) Muell. Arg.
62	大戟科	Euphorbiaceae	白饭树属	<i>Fluggea</i>	白饭树	<i>Fluggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Baill.
63	大戟科	Euphorbiaceae	野桐属	<i>Mallotus</i>	粗糠柴	<i>Mallotus philippensis</i> (Lam.) Muell.-Arg.
64	大戟科	Euphorbiaceae	算盘子属	<i>Glochidion</i>	毛果算盘子	<i>Glochidion eriocarpum</i> Champ. ex Benth.
65	大戟科	Euphorbiaceae	叶下珠属	<i>Phyllanthus</i>	叶下珠	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.
66	大戟科	Euphorbiaceae	橡胶树属	<i>Hevea</i>	橡胶	<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A. Juss.) Muell. Arg.
67	壳斗科	Fagaceae	锥属	<i>Castanopsis</i>	海南锥	<i>Castanopsis hainanensis</i> Merr.
68	禾本科	Gramineae	芒属	<i>Miscanthus</i>	芒	<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.
69	禾本科	Gramineae	弓果黍属	<i>Cyrtococcum</i>	散穗弓果黍	<i>Cyrtococcum patens</i> (L.) A. Camus var. <i>latifolium</i> (Honda) Ohwi
70	藤黄科	Guttiferae	藤黄属	<i>Garcinia</i>	岭南山竹子	<i>Garcinia oblongifolia</i> Champ. ex Benth.
71	藤黄科	Guttiferae	藤黄属	<i>Garcinia</i>	山竹	<i>Garcinia mangostana</i> L.
72	莲叶桐科	Hernandiaceae	青藤属	<i>Illigera</i>	红花青藤	<i>Illigera rhodantha</i> Hance
73	金丝桃科	Hypericaceae	黄牛木属	<i>Cratoxylum</i>	黄牛木	<i>Cratoxylum cochinchinensis</i> (Lour.) Bl.
74	茶茱萸科	Icacinaeae	微花藤属	<i>Iodes</i>	小果微花藤	<i>Iodes vitiginea</i> (Hance) Hemsl.
75	樟科	Lauraceae	木姜子属	<i>Litsea</i>	假柿木姜子	<i>Litsea monopetala</i> (Roxb.) Pers.
76	樟科	Lauraceae	木姜子属	<i>Litsea</i>	潺槁木姜子	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C.B. Rob.
77	豆科	Leguminosae	崖豆藤属	<i>Millettia</i>	海南崖豆藤	<i>Millettia pachyloba</i> Drake
78	豆科	Leguminosae	千斤拔属	<i>Flemingia</i>	大叶千斤拔	<i>Flemingia macrophylla</i> (Willd.) Prain
79	豆科	Leguminosae	葛藤属	<i>Pueraria</i>	越南葛藤	<i>Pueraria montana</i> (Lour.) Merr.)
80	百合科	Liliaceae	龙血树属	<i>Dracaena</i>	长花龙血树	<i>Dracaena angustifolia</i> Roxb.
81	百合科	Liliaceae	菝葜属	<i>Smilax</i>	菝葜	<i>Smilax china</i> L.
82	马钱科	Loganiaceae	马钱属	<i>Strychnos</i>	牛眼马钱	<i>Strychnos angustiflora</i> Benth.

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
83	海金沙科	Lygodiaceae	海金沙属	<i>Lygodium</i>	海金沙	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.
84	锦葵科	Malvaceae	黄花稔属	<i>Sida</i>	白背黄花稔	<i>Sida rhombifolia</i> L.
85	锦葵科	Malvaceae	肖梵天花属	<i>Urena</i>	地桃花	<i>Urena lobata</i> L.
86	锦葵科	Malvaceae	黄花稔属	<i>Sida</i>	桤叶黄花稔	<i>Sida alnifolia</i> L.
87	锦葵科	Malvaceae	黄花稔属	<i>Sida</i>	长梗黄花稔	<i>Sida cordata</i> (Burm. f.) Borss.
88	野牡丹科	Melastomataceae	野牡丹属	<i>Melastoma</i>	多花野牡丹	<i>Melastoma affine</i> D. Don
89	楝科	Meliaceae	楝属	<i>Melia</i>	楝	<i>Melia azedarach</i> L.
90	防己科	Menispermaceae	秤钩风属	<i>Diploclisia</i>	苍白秤钩风	<i>Diploclisia glaucescens</i> Bl.
91	防己科	Menispermaceae	千金藤属	<i>Stephania</i>	粪箕笃	<i>Stephania longa</i> Lour.
92	防己科	Menispermaceae	细圆藤属	<i>Pericampylus</i>	细圆藤	<i>Pericampylus glaucus</i> (Lam.) Merr.
93	防己科	Menispermaceae	轮环藤属	<i>Cyclea</i>	毛叶轮环藤	<i>Cyclea barbata</i> Miers
94	含羞草科	Mimosaceae	含羞草属	<i>Mimosa</i>	含羞草	<i>Mimosa pudica</i> L.
95	含羞草科	Mimosaceae	猴耳环属	<i>Pithecellobium</i>	亮叶猴耳环	<i>Pithecellobium lucidum</i> Benth.
96	含羞草科	Mimosaceae	银合欢属	<i>Leucaena</i>	银合欢	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
97	桑科	Moraceae	波罗蜜属	<i>Artocarpus</i>	白桂木	<i>Artocarpus hypargyreus</i> Hance
98	桑科	Moraceae	波罗蜜属	<i>Artocarpus</i>	菠萝蜜	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam
99	桑科	Moraceae	榕属	<i>Ficus</i>	粗叶榕	<i>Ficus hirta</i> Vahl.
100	桑科	Moraceae	榕属	<i>Ficus</i>	对叶榕	<i>Ficus hispida</i> Linn. f.
101	桑科	Moraceae	构属	<i>Broussonetia</i>	构树	<i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) L'Her. ex Vent.
102	桑科	Moraceae	牛筋藤属	<i>Malaisia</i>	牛筋藤	<i>Malaisia scandens</i> (Lour.) Planch.
103	桑科	Moraceae	榕属	<i>Ficus</i>	全缘琴叶榕	<i>Ficus pandurata</i> Hance var. <i>holophylla</i> Migo
104	桑科	Moraceae	鹊肾树属	<i>Streblus</i>	鹊肾树	<i>Streblus asper</i> Lour.
105	桑科	Moraceae	榕属	<i>Ficus</i>	黄毛榕	<i>Ficus esquiroliana</i> Lévl.
106	桑科	Moraceae	鹊肾树属	<i>Streblus</i>	叶被木	<i>Streblus taxoides</i> (Heyne) Kurz
107	桑科	Moraceae	桑属	<i>Morus</i>	桑	<i>Morus alba</i> L.
108	紫金牛科	Myrsinaceae	酸藤子属	<i>Embelia</i>	酸藤子	<i>Embelia laeta</i> (Linn.) Mez.
109	紫金牛科	Myrsinaceae	杜茎山属	<i>Maesa</i>	鲫鱼胆	<i>Maesa perlarius</i> (Lour.) Merr.
110	桃金娘科	Myrtaceae	玫瑰木属	<i>Syzygium</i>	海南蒲桃	<i>Syzygium hainanense</i> Chang et Miao

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
111	酢酱草科	Oxalidaceae	酢酱草属	<i>Oxalis</i>	酢酱草	<i>Oxalis corniculata</i> Linn.
112	棕榈科	Palmae	轴榈属	<i>Licuala</i>	穗花轴榈	<i>Licuala fordiana</i> Becc.
113	露兜树科	Pandanaceae	露兜树属	<i>Pandanus</i>	露兜草	<i>Pandanus austrosinensis</i> TL Wu.
114	蝶形花科	Papilionaceae	葫芦茶属	<i>Tadehagi</i>	葫芦茶	<i>Tadehagi triquetrum</i> (L.) Ohashi
115	蝶形花科	Papilionaceae	山绿豆属	<i>Desmodium</i>	假地豆	<i>Desmodium heterocarpon</i> (L.) DC.
116	蝶形花科	Papilionaceae	相思子属	<i>Abrus</i>	毛相思子	<i>Abrus mollis</i> Hance
117	蝶形花科	Papilionaceae	山绿豆属	<i>Desmodium</i>	显脉山绿豆	<i>Desmodium reticulatum</i> Champ. ex Benth.
118	西番莲科	Passifloraceae	西番莲属	<i>Passiflora</i>	龙珠果	<i>Passiflora foetida</i> L.
119	胡椒科	Pipraceae	胡椒属	<i>Piper</i>	假蒟	<i>Piper sarmentosum</i> Roxb.
120	海桐花科	Pittosporaceae	海桐花属	<i>Pittosporum</i>	台琼海桐	<i>Pittosporum pentandrum</i> (Blanco) Merr. var. <i>hainanense</i> (Gagnep.)
121	禾本科	Poaceae	甘蔗属	<i>Saccharum</i>	斑茅	<i>Saccharum arundinaceum</i> Retz.
122	禾本科	Poaceae	地毯草属	<i>Axonopus</i>	地毯草	<i>Axonopus compressus</i> (Sw. ) Beauv.
123	禾本科	Poaceae	黍属	<i>Panicum</i>	短叶黍	<i>Panicum brevifolium</i> L.
124	禾本科	Poaceae	钝叶草属	<i>Stenotaphrum</i>	钝叶草	<i>Stenotaphrum helferi</i> Munro ex Hook. f.
125	禾本科	Poaceae	莠竹属	<i>Microstegium</i>	蔓生莠竹	<i>Microstegium vagans</i> (Nees) A. Camus
126	禾本科	Poaceae	黍属	<i>Panicum</i>	铺地黍	<i>Panicum repens</i> L.
127	禾本科	Poaceae	酸模芒属	<i>Centotheca</i>	酸模芒	<i>Centotheca lappacea</i> (L.) Desv.
128	禾本科	Poaceae	狗尾草属	<i>Setaria</i>	棕叶狗尾草	<i>Setaria palmifolia</i> (Koen.) Stapf
129	禾本科	Poaceae	箬竹属	<i>Garcini</i>	广东箬竹	<i>Indocalamus guangdongensis</i> H. R. Zhao et Y. L. Yang
130	蓼科	Polygonaceae	蓼属	<i>Polygonum</i>	火炭母	<i>Polygonum chinense</i> L.
131	蓼科	Polygonaceae	吊兰属	<i>Muehlewbeckia</i>	千叶兰	<i>Muehlewbeckia complera</i> L.
132	凤尾蕨科	Pteridaceae	凤尾蕨属	<i>Pteris</i>	井边茜	<i>Pteris ensiformis</i> Burm.
133	凤尾蕨科	Pteridaceae	凤尾蕨属	<i>Pteris</i>	半边旗	<i>Pteris semipinnata</i> L.
134	蔷薇科	Rosaceae	悬钩子属	<i>Rubus</i>	越南悬钩子	<i>Rubus cochinchinensis</i> Tratt.
135	茜草科	Rubiaceae	鸡矢藤属	<i>Paederia</i>	毛叶鸡屎藤	<i>Paederia cavaleriei</i> Levl.
136	茜草科	Rubiaceae	耳草属	<i>Hedyotis</i>	耳草	<i>Hedyotis auricularia</i> L.
137	茜草科	Rubiaceae	龙船花属	<i>Ixora</i>	海南龙船花	<i>Ixora hainanensis</i> Merr.
138	茜草科	Rubiaceae	九节属	<i>Psychotria</i>	黄脉九节	<i>Psychotria straminea</i> Hutch.

序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
139	茜草科	Rubiaceae	丰花草属	<i>Borreria</i>	二萼丰花草	<i>Borreria repens</i> DC. Prodr.
140	茜草科	Rubiaceae	丰花草属	<i>Borreria</i>	丰花草	<i>Borreria stricta</i> (Linn. f.) G. Mey.
141	茜草科	Rubiaceae	玉叶金花属	<i>Mussaenda</i>	海南玉叶金花	<i>Mussaenda hainanensis</i> Merr.
142	茜草科	Rubiaceae	鸡屎藤属	<i>Paederia</i>	鸡屎藤	<i>Paederia scandens</i> (Lour.) Merr.
143	茜草科	Rubiaceae	巴戟天属	<i>Morindaparvifolia</i>	鸡眼藤	<i>Morinda parvifolia</i> Bartl. et DC.
144	茜草科	Rubiaceae	九节属	<i>Psychotria</i>	九节	<i>Psychotria rubra</i> (Lour.) Poir.
145	茜草科	Rubiaceae	丰花草属	<i>Spermacoce</i>	阔叶丰花草	<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K. Schum
146	茜草科	Rubiaceae	山黄皮属	<i>Catunaregam</i>	山石榴	<i>Catunaregam spinosa</i> (Thunb.) Tirveng.
147	茜草科	Rubiaceae	鱼骨木属	<i>Canthium</i>	猪肚木	<i>Canthium horridum</i> Bl. Bijdr.
148	茜草科	Rubiaceae	龙船花属	<i>Ixora</i>	龙船花	<i>Ixora chinensis</i> Lam.
149	茜草科	Rubiaceae	巴戟天属	<i>Morinda</i>	羊角藤	<i>Morinda umbellata</i> L. subsp. obovata Y. Z. Ruan
150	芸香科	Rutaceae	黄皮属	<i>Clausena</i>	假黄皮	<i>Clausena excavata</i> Burm. F.
151	芸香科	Rutaceae	花椒属	<i>Zanthoxylum</i>	两面针	<i>Zanthoxylum nitidum</i> (Roxb.) DC.
152	无患子科	Sapindaceae	荔枝属	<i>Litchi</i>	荔枝	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.
153	无患子科	Sapindaceae	滨木患属	<i>Arytera</i>	滨木患	<i>Arytera littoralis</i> Bl.
154	无患子科	Sapindaceae	赤才属	<i>Erioglossum</i>	赤才	<i>Erioglossum rubiginosum</i> (Roxb.) Bl.
155	无患子科	Sapindaceae	龙眼属	<i>Dimocarpus</i>	龙眼	<i>Dimocarpus longan</i> Lour.
156	无患子科	Sapindaceae	异木患属	<i>Allophylus</i>	异木患	<i>Allophylus viridis</i> Radlk.
157	无患子科	Sapindaceae	无患子属	<i>Sapindus</i>	无患子	<i>Sapindus mukorossi</i> Gaertn.
158	梧桐科	Scrophulariaceae	翅子树属	<i>Pterospermum</i>	翅子树	<i>Pterospermum acerifolium</i> Willd.
159	梧桐科	Scrophulariaceae	翅子树属	<i>Pterospermum</i>	翻白叶树	<i>Pterospermum heterophyllum</i> Hance
160	梧桐科	Scrophulariaceae	苹婆属	<i>Sterculia</i>	假苹婆	<i>Sterculia laceolata</i> Cav.
161	玄参科	Scrophulariaceae	蝴蝶草属	<i>Torenia</i>	毛叶蝴蝶草	<i>Torenia benthamiana</i> Hance
162	卷柏科	Selaginellaceae	卷柏属	<i>Selaginella</i>	异穗卷柏	<i>Selaginella effusa</i> Alston
163	苦木科	simaroubaceae	鸦胆子属	<i>Brucea</i>	鸦胆子	<i>Brucea javanica</i> (L.) Merr.
164	茄科	Solanaceae	茄属	<i>Solanum</i>	海南茄	<i>Solanum procumbens</i> Loureiro.
165	茄科	Solanaceae	茄属	<i>Solanum</i>	少花龙葵	<i>Solanum photeinocarpum</i> Nakamura et S. Odashima
166	叉蕨科	Tectarioidaceae	三叉蕨属	<i>Tectaria</i>	三叉蕨	<i>Tectaria subtriphylla</i> (Hook. et Arn.) Copel.



序号	科名	拉丁科名	属名	拉丁属名	种名	拉丁种名
167	叉蕨科	Tectarioidaceae	沙皮蕨属	<i>Hemigramma</i>	沙皮蕨	<i>Hemigramma decurrens</i> (Hook.) Cop.
168	金星蕨科	Thelypteridaceae	毛蕨属	<i>Cyclosorus</i>	华南毛蕨	<i>Cyclosorus parasiticus</i> (L.) Farwell.
169	椴树科	Tiliaceae	破布叶属	<i>Microcos</i>	破布叶	<i>Microcos paniculata</i> L.
170	椴树科	Tiliaceae	扁担杆属	<i>Grewia</i>	细叶扁担杆	<i>Grewia piscatorum</i> Hance
171	榆科	Ulmaceae	朴属	<i>Celtis</i>	假玉桂	<i>Celtis timorensis</i> Span.
172	马鞭草科	Verbenaceae	赧桐属	<i>Clerodendrum</i>	赧桐	<i>Clerodendrum japonicum</i> (Thunb.) Sweet.
173	马鞭草科	Verbenaceae	赧桐属	<i>Clerodendrum</i>	大青	<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> Turcz.
174	马鞭草科	Verbenaceae	腐婢属	<i>Premna</i>	豆腐柴	<i>Premna microphylla</i> Turcz.
175	马鞭草科	Verbenaceae	紫珠属	<i>Callicarpa</i>	尖尾枫	<i>Callicarpa longissima</i> (Hemsl.) Merr.
176	马鞭草科	Verbenaceae	牡荊属	<i>Vitex</i>	山牡荊	<i>Vitex quinata</i> (Lour.) Will.
177	马鞭草科	Verbenaceae e	楔翅藤属	<i>Sphenodesm</i>	多花楔翅藤	<i>Sphenodesme floribunda</i> Chun et How
178	葡萄科	Vitaceae	乌荑莓属	<i>Cayratia</i>	乌荑莓	<i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.
179	葡萄科	Vitaceae	崖爬藤属	<i>Tetrastigma</i>	三叶崖爬藤	<i>Tetrastigma hemsleyanum</i> Diels et Gilg
180	姜科	Zingiberaceae	闭鞘姜属	<i>Costus</i>	闭鞘姜	<i>Costus speciosus</i> (Koen.) Smith
181	姜科	Zingiberaceae	山姜属	<i>Alpinia</i>	草豆蔻	<i>Alpinia katsumadai</i> Hayata
182	姜科	Zingiberaceae	闭鞘姜属	<i>Costus</i>	光叶闭鞘姜	<i>Costus tonkinensis</i> Gagnep.
183	姜科	Zingiberaceae	姜属	<i>Zingiber</i>	红球姜	<i>Zingiber zerumbet</i> (L.) Smith

附表2 海南儋州橡胶林群落种-面积曲线模型拟合

Table S2 Fitness of different models on species-area relationship for a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

模型 Model	参数 Parameter			$R^2$
	b	c	z	
幂函数模型 Power Model	—	10.6	0.32	0.887
逻辑斯蒂模型 Logistic Model	1.12	0.005	0.74	0.974

附表3 海南儋州橡胶林群落种-多度分布的模型卡方检验

Table S3 Chi-square test of species-abundance distributions for a 1-ha rubber plantation plot in Danzhou, Hainan

模型 Model	卡方值 Chi-square	自由度 d. f.	$P$
对数正态 Log normal	34.1	13	<0.001
对数级数 Log serial	80.9	13	<0.001

附表4 海南橡胶林与海南热带雨林物种丰富度比较

Table S4 Comparisons of species richness between rubber plantation and other tropical rain forests in Hainan

森林类型 Forest types	海拔 Elevation	降雨量 Precipitation (mm)	样地面积 Area (ha)	研究对象 Objective	种数/属数/科数 No. of species/genera/family	参考文献 Reference
橡胶林(近自然)	70-100	1,815	1.0	全部植物	183/155/69	本研究 This study
热带山地雨林(尖峰岭)	790	2,651	1.0	DBH $\geq$ 5 cm	171/93/52	方精云等(2004)
热带雨林(文昌)	70-85	2,000	0.9	H>1.5 m树木和草本	155/132/64	杨小波等(2005)
热带山地雨林(吊罗山)	600	2,566	0.5 $\times$ 2	DBH $\geq$ 2.5 cm	190/95/44	方精云等(2004)

(不连续取样)