

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2012) 3 - 276 - 06

# 海南五指山市枫香次生林结构和树种多样性

马志波<sup>1 2</sup> 黄清麟<sup>1\*</sup> 戎建涛<sup>1</sup> Ma Hwan OK<sup>3</sup> 张 圣<sup>4</sup> 黎剑锦<sup>4</sup>

( 1. 中国林业科学研究院资源信息研究所 ,国家林业局林业遥感与信息技术重点实验室 ,北京 100091;

2. 廊坊市农林科学院 ,河北 廊坊 065000; 3. 国际热带木材组织 ,日本 横滨 220 - 0012; 4. 五指山市林业局 ,海南 五指山 572200)

摘 要: 海南五指山市 30 a 生枫香次生林结构和树种多样性研究结果表明: 乔木层共有 64 种树种 ,隶属于 27 科 47 属 ,枫香是优势树种; Shannon - Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数分别为 2. 80、0. 84 和 0. 67。乔木层可分出 2 个亚层 ,第 I 亚层有 27 种树种 ,Shannon - Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数分别为 1. 65、0. 56 和 0. 50 ,枫香是该亚层的优势种 ,重要值为 197. 51% ,其他只有中平树的重要值( 16. 10% ) 超过 10. 00%; 第 II 亚层有 58 种树种 ,Shannon - Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数分别为 3. 18、0. 93 和 0. 78; 重要值较大的有枫香、犁耙树、中平树和黄牛木 ,分别为 52. 58%、33. 06%、26. 55% 和 25. 29%。林分直径分布呈“反 J 型”; 根据“种 - 面积”关系导出群落最小调查面积为 2 000 m<sup>2</sup>。林分密度为 3 416 株/hm<sup>2</sup> ,平均胸径为 13. 5 cm ,平均高为 8. 7 m ,蓄积量为 271. 1 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

关键词: 海南; 次生林; 枫香; 林分结构; 树种多样性

中图分类号: S718. 54; S758. 5

文献标识码: A

近年来国际上对退化生态系统恢复研究日渐重视<sup>[1-2]</sup> ,主要通过群落学分析 ,探讨次生林与生物多样性保护之间的关系<sup>[3]</sup> ,退化森林生态系统恢复、重建机制<sup>[2,4]</sup> ,退化生态系统服务供应的恢复<sup>[5]</sup> ,和指导森林经营实践<sup>[6]</sup>。在我国长江流域、东南地区、台湾岛和海南岛等地 ,海拔 100 ~ 1 700 m 的森林中均有枫香( *Liquidambar formosana*) 分布<sup>[7-8]</sup> ,常见于受人类活动干扰形成的次生林中<sup>[7]</sup>。国内有关枫香树的研究主要集中于园林、园艺方面<sup>[7-9]</sup> ,研究多偏向于个体水平或更微观的层次 ,从群落水平上对以枫香次生群落结构和物种多样性等的系统分析尚少<sup>[10-11]</sup>。海南岛处于国际关注的生物多样性热点地区<sup>[12-13]</sup> ,在海南岛 ,与植物群落相关的研究主要针对典型地带性植被<sup>[14-20]</sup> ,尽管退化、次生植被已经引起了研究者的注意<sup>[2]</sup>。本文以海南五指山市面积最大、分布最广、最有代表性的次生林——枫

香次生林为对象 ,研究其林分结构和树种多样性 ,旨在有效保护与科学经营枫香次生林提供基础依据。

## 1 研究区自然概况

五指山市位于海南岛中南部 ,地处 109°19′ ~ 109°44′E、18°38′ ~ 19°02′N; 属热带雨林季风气候 ,冬无严寒 ,夏无酷暑 ,偶有寒霜 ,冬春干旱 ,夏秋多雨 ,雨旱分明 ,兼有台风 ,秋末日照少 ,日夜温差大; 年活动积温 8 166. 2 ~ 8 411. 5℃ ,年平均气温 22. 7℃ ,夏季平均气温 25. 9℃ ,冬季平均气温 17℃ ,年极端最高气温 37. 1℃ ,年极端最低气温 0. 1℃; 年平均日照时数 2 122. 6 h; 年平均降水量 1 771. 8 mm ,最大年降水量 2 810. 4 mm ,最小降水量 1 055. 5 mm; 年平均相对湿度 84%; 年蒸发量 1 985. 4 mm。

研究对象——枫香次生林 ,位于五指山市毛阳

收稿日期( Received date) : 2011 - 12 - 01; 改回日期( Accepted) : 2012 - 03 - 13。

基金项目( Foundation item) : 国际热带木材组织项目( ITTO RED - SPD 020/09 Rev. 1 ( F) ) 和国家林业局林业公益性行业科研专项( 200704010) 。 [Supported by ITTO project PD 423/06 Rev. 2 ( F) and Special Foundation for Forestry Science and Research of State Forestry Administration. ( Grant Number: 200704010) . ]

作者简介( Biography) : 马志波( 1977 - ) ,河北邢台人 ,在读博士。研究方向: 森林可持续经营。 [Ma Zhibo( 1977 - ) , male , Ph D candidate , majored in sustainable forest management. ] E - mail: populus@163. com

\* 通讯作者( Corresponding author) : 黄清麟( 1967 - ) ,福建莆田人 ,研究员 ,博士 ,博士生导师 ,主要研究方向: 森林可持续经营理论与技术。 [Huang Qinglin( 1967 - ) , male , Ph D , Professor , majored in sustainable forest management. ] E - mail: huangql@caf. ac. cn

镇毛辉村毛辉村民小组所属的林地内,是牧草地弃荒后大约经过 30 a 顺向演替后形成的,而前期的牧草地是皆伐天然林后炼山形成的。毛辉村民小组共有枫香次生林 116.5 hm<sup>2</sup>,占村民小组森林总面积的 35.3%,林龄 30 a 的枫香次生林占枫香次生林次生林总面积的 93.5%。

## 2 研究方法

林分调查于 2011-06 进行,在林分内设置半径为 3.26 m 样圆 70 个,调查胸径 ≥ 5 cm 的所有树木,记录其树种名称、胸径、树高等因子。统计所有样圆内的树种数,即丰富度( $S$ );重要值为相对频度、相对多度和相对显著度三者之和<sup>[21]</sup>,所有树种的重要值总和为 300.00%; Shannon - Wiener 多样性指数( $H'$ )、Simpson 多样性指数( $P$ )和 Pielou 均匀度指数( $E$ )计算公式<sup>[22]</sup>如下

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$E = H' / \ln S$$

式中  $P_i$  是指相对重要值,某个种的相对重要值等于该种的重要值除 300.00%。 $S$  为

## 3 结果与分析

### 3.1 树种组成

各树种重要值和各树种所在科的重要值结果如表 1 和表 2 所示。

枫香次生林共有树种 64 种,隶属于 27 科 47 属。重要值处于前 10 位的是枫香、犁耙柯、中平树、黄牛木、艾胶算盘子、厚皮树、余甘子、海南蒲桃、猴耳环和大果榕,这些树种的重要值之和占总重要值的 73.3%,是群落的主要组成树种。其中枫香是群落中的优势树种,枫香重要值占总重要值的 37.70%,略大于前 10 位中其余 9 个树种的重要值之和,是排在第二位中平树的 5.5 倍。

重要值大于 10.00% 的有 7 个科,为金缕梅科、大戟科、壳斗科、藤黄科、豆科、樟科和桑科,这些科的重要值占总重要值的 83.1%,是群落中重要的科。其中枫香所在的金缕梅科的重要值为 119.71,占总重要值的 39.90%,是排在第二位的大戟科的 2.3 倍,优势明显。从种属丰富度看,大戟科有 7 属 10 种,豆科有 5 属 7 种,樟科有 4 属 8 种,桑科有 2

属 4 种,壳斗科 2 属 4 种,无患子科 3 属 3 种。

枫香次生林中存在东南亚热带雨林的代表科—龙脑香科的 1 种植物,即青梅属(*Vatica*)的青皮 *V. mangachapoi*,但重要值较低(0.52%)。楝科、杜英科、山榄科、胡桃科、刺篱木科、野牡丹科、番荔枝科等科的重要值也较低。群落中还有一定数量的山铜材(重要值为 6.47%),该树种是我国的特有属—山铜材属(*Chunia*)的特有种。

### 3.2 林层结构

乔木层分出两个亚层。第 I 亚层树高 ≥ 10 m,第 II 亚层树高 < 10 m。第 I 亚层有 27 种树种,占总株数的 33.0%;枫香重要值为 197.50%,其他重要值大于 10.00% 的只有中平树,枫香重要值是中平树的 12.3 倍,占绝对优势;第 II 层有 58 种树种,占总株数的 67.0%,重要值较大的有枫香(52.58%)、犁耙柯(33.06%)、中平树(26.55%)和黄牛木(25.28%)等。

### 3.3 树种多样性

#### 3.3.1 种-面积关系

用树种数随样圆数(半径为 3.26 m、面积为 33.37 m<sup>2</sup>)的变化趋势描述枫香次生林的种-面积关系,如图 1 所示。当样圆数达到 60 个后树种数不再随样圆数增加而增加,说明对于演替 30 a 左右的枫香次生林而言,采用 2 000 m<sup>2</sup> 的调查面积可以满足需要。树种数与样圆个数之间的关系可以用方程  $y = 20.162 \ln x - 19.016$  较好地描述( $R^2 = 0.992$ ),其中  $y$  是样圆中的物种数,  $x$  是样圆个数。

#### 3.3.2 树种多样性

枫香次生林多样性指数计算结果如表 3 所示。第 II 亚层的多样性指数(即  $S$ 、 $H'$ 、 $P$  和  $E$  值)均大于第 I 亚层,表明第 II 亚层树种的丰富性和均匀性好于第 I 亚层。在两个亚层中,都是枫香的重要值最大,但第 II 亚层的小于第 I 亚层。

表 3 中同时列出其他研究者的相关结果。与白沙县演替 50 a 次生林<sup>[10]</sup>相比,本文枫香次生林的乔木树种丰富度相对较低,但  $H'$  值与之相等;与霸王岭枫香次生林<sup>[11]</sup>相比,本文枫香次生林树种丰富度相对较低,但两者的  $H$  值差异不大。

五指山自然保护区内典型低地雨林的  $H'$  为 5.38、树种超过 100 种<sup>[23]</sup>,本文的枫香次生林明显低于同一区域内典型低地雨林的树种多样性;尖峰岭保护区的典型山地雨林  $H'$ 、 $P$  和  $E$  分别为 4.11、0.973 和 0.80<sup>[19]</sup>,本文的枫香次生林也与之有较大差距。

表 1 枫香次生林中树种的重要值

Table 1 Important value of tree species in secondary forest of *Liquidambar formosana*

树种	相对频度/%	相对多度/%	相对显著度/%	重要值/%
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	18.03	34.96	60.24	113.24
犁耙柯 <i>Lithocarpus silvicularum</i>	7.92	8.65	3.89	20.46
中平树 <i>Macaranga denticulata</i>	7.38	7.64	5.09	20.11
黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	7.10	6.64	2.29	16.03
艾胶算盘子 <i>Glochidion lanceolarium</i>	4.37	4.01	2.34	10.73
厚皮树 <i>Lannea coromandelica</i>	4.64	2.63	2.63	9.91
余甘子 <i>Phyllanthus emblica</i>	4.37	2.51	0.88	7.76
海南蒲桃 <i>Syzygium cumini</i>	3.55	2.01	2.03	7.58
猴耳环 <i>Pithecellobium clypearia</i>	3.55	2.63	1.05	7.24
大果榕 <i>Ficus auriculata</i>	1.64	2.63	2.52	6.79
润楠 <i>Machilus nanmu</i>	3.28	2.63	0.68	6.60
山铜材 <i>Chunia bucklandioides</i>	2.19	3.01	1.28	6.47
白楸 <i>Mallotus paniculatus</i>	2.46	1.63	1.47	5.56
三桠苦 <i>Evodia lepta</i>	2.19	1.50	1.26	4.95
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	1.64	1.00	0.88	3.52
小花五桠果 <i>Dillenia pentagyna</i>	1.64	0.75	0.96	3.35
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	1.64	0.88	0.31	2.83
假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	1.64	0.75	0.38	2.77
野龙眼 <i>Dimocarpus longan</i>	0.82	0.75	1.14	2.71
烟斗柯 <i>L. corneus</i>	1.09	1.00	0.45	2.54
无患子 <i>Sapindus saponaria</i>	1.09	0.63	0.66	2.38
毛银柴 <i>Aporosa villosa</i>	1.09	0.50	0.37	1.96
黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	0.82	0.50	0.46	1.78
两广梭罗 <i>Reevesia thyrsoidea</i>	1.09	0.50	0.14	1.73
对叶榕 <i>F. hispida</i>	0.82	0.38	0.45	1.64
割舌树 <i>Walsura robusta</i>	0.27	0.50	0.84	1.61
黄豆树 <i>Albizia procera</i>	0.55	0.38	0.64	1.57
水石梓 <i>Sarcosperma laurinum</i>	0.82	0.38	0.12	1.32
小花山小橘 <i>Glycosmis parviflora</i>	0.55	0.38	0.24	1.16
海南合欢 <i>Albizia attopeuensis</i>	0.55	0.25	0.35	1.15
尖峰岭椎 <i>Castanopsis jianfenglingsis</i>	0.27	0.38	0.49	1.14
小叶樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.55	0.25	0.28	1.08
光果巴豆 <i>Croton chunianus</i>	0.55	0.25	0.25	1.05
小叶榕 <i>F. microcarpa</i>	0.27	0.38	0.40	1.05
大叶刺篱 <i>Flacourtia rukam</i>	0.27	0.50	0.25	1.02
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	0.55	0.38	0.09	1.01

重要值 $\geq 1$ 的种群重要值之和为 283.78, 占总重要值的 94.59%

说明: 表 1 中未列出重要值 1 以下的 28 个树种, 其中包括梨润楠 *M. pomifera*、黄樟 *C. porrectum*、桂木 *Artocarpus nitidus* subsp. *Lingnanensis*、银珠 *Peltophorum dasyrrhachis* var. *tonkinensis*、油楠 *Sindora glabra*、苏铁 *Cycas revoluta*、美叶菜豆树 *Radermachera frondosa*、白背算盘子 *G. wrightii*、细子龙 *Amesiodendron chinense*、越南山矾 *Symplocos cochinchinensis*、楹树 *Albizia chinensis*、山黄皮 *Randia cochinchinensis*、海南菜豆树 *R. hainanensis*、青皮 *Vatica mangachapoi*、谷木 *Memecylon ligustrifolium*、大花五桠果 *D. turbinata*、橄榄 *Canarium album*、琼楠 *Beilschmiedia intermedia*、禾串树 *Bridelia lansae*、石栎 *L. glaber*、长柄杜英 *E. petiolatus*、白背叶 *M. apelta*、藤春 *Alphonsea monogyna*、红毛山楠 *Phoebe hungmoensis*、华润楠 *M. chinensis*、山石榴 *R. spinosa*、刻节润楠 *M. cicatricosa* 和鹅掌柴 *Schefflera heptaphylla*

表 2 枫香次生林中科的重要值

Table 2 The important value of each family in secondary community of *Liquidambar formosana*

科	属数/个	种数/种	重要值/%	科	属数/个	种数/种	重要值/%
金缕梅科 <i>Hamamelidaceae</i>	2	2	119.71	楝科 <i>Meliaceae</i>	1	1	1.61
大戟科 <i>Euphorbiaceae</i>	7	10	51.48	杜英科 <i>Elaeocarpaceae</i>	1	2	1.46
壳斗科 <i>Fagaceae</i>	2	4	24.59	山榄科 <i>Sapotaceae</i>	1	1	1.32
藤黄科 <i>Clusiaceae</i>	1	1	16.03	紫葳科 <i>Bignoniaceae</i>	1	2	1.16
豆科 <i>Fabaceae</i>	5	7	15.76	刺篱木科 <i>Flacourtiaceae</i>	1	1	1.02
樟科 <i>Lauraceae</i>	4	8	11.36	茜草科 <i>Rubiaceae</i>	1	2	1.00
桑科 <i>Moraceae</i>	2	4	10.35	苏铁科 <i>Cycadaceae</i>	1	1	0.85
漆树科 <i>Anacardiaceae</i>	1	1	9.91	山矾科 <i>Symplocaceae</i>	1	1	0.59
桃金娘科 <i>Myrtaceae</i>	1	2	7.58	龙脑香科 <i>Dipterocarpaceae</i>	1	1	0.52
芸香科 <i>Rutaceae</i>	2	2	6.10	野牡丹科 <i>Melastomataceae</i>	1	1	0.48
无患子科 <i>Sapindaceae</i>	3	3	5.69	橄榄科 <i>Burseraceae</i>	1	1	0.47
梧桐科 <i>Sterculiaceae</i>	2	2	4.50	番荔枝科 <i>Annonaceae</i>	1	1	0.43
毒鼠子科 <i>Dichapetalaceae</i>	1	2	3.82	五加科 <i>Araliaceae</i>	1	1	0.42
胡桃科 <i>Juglandaceae</i>	1	1	1.78				

表 3 枫香次生林多样性指数比较

Table 3 Comparison on biodiversity indices of secondary forests of *Liquidambar formosana*

地点	类型	层次	海拔/m	调查面积/m <sup>2</sup>	重要值最大的树种及重要值/%	演替时间/a	<i>S</i>	<i>H'</i>	<i>P</i>	<i>E</i>
本研究地	次生林	乔木层	490	2 336	枫香 113.24	30	64	2.80	0.83	0.67
本研究地	-	第 I 亚层	-	-	枫香 197.50	-	27	1.65	0.56	0.50
本研究地	-	第 II 亚层	-	-	枫香 52.58	-	58	3.18	0.93	0.78
白沙县 <sup>[10]</sup>	次生林	乔木层	304	3 600	枫香 58.66	50	96	2.8	-	-
霸王岭 <sup>[11]</sup>	次生林	乔木层	360	7 500	枫香 46.59*	老龄林	88	2.83	-	-

\*：是按原作者的结果重新计算。

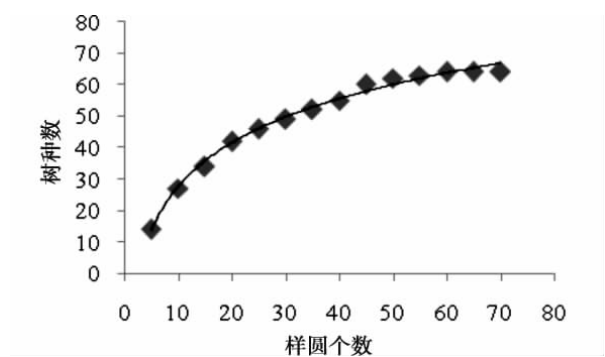


图 1 树种数随样圆个数的变化

Fig. 1 Variation of tree species numbers over sample numbers

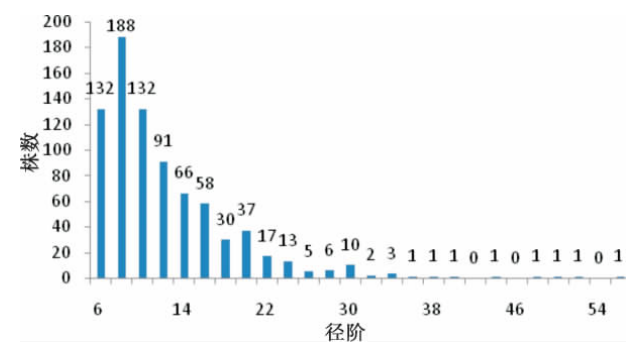


图 2 各径阶的林木株数

Fig. 2 Trees number in different diameter classes

3.4 林分直径结构

林分直径结构可以反映林分结构的稳定性。按 2 cm 为径距统计各径阶的株数分布如图 2 所示。枫香次生林直径分布呈“反 J”形,体现出异龄林的直径分布特征。

3.5 林分生长

枫香次生林分生长情况如表 4 所示。林分平均胸径为 13.5 cm,平均树高 8.7 m,林分密度 3 416 株/hm<sup>2</sup>,林分蓄积 271.1 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。第 I 亚层林分密度较低(占 33.0%),但蓄积量大(占 78.3%)。林分中有一定数量的具有较高保护与利用价值的树种,一类材有青皮、水石梓等,二类材有海南蒲桃等,三类材有黄樟、华润楠、谷木等。三类材与一类材林

木株数密度为 1 041 株/hm<sup>2</sup> (占全林的 30.5%)、蓄积量为 62.3 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 占(占全林的 23.0%)。

表 4 枫香次生林主要测树因子

Table 4 Main mensuration factors of secondary forest of *Liquidambar formosana*

因子	平均胸径 /cm	平均树高 /m	密度 /(N/hm <sup>2</sup> )	蓄积 /(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
全林	13.5	8.7	3 416	271.1
第 I 亚层	19.3	13.7	1 126	212.4
第 II 亚层	9.4	7.3	2 290	58.7
三类与一类材间	12.7	10.3	1 041	62.3

## 4 结论

海南五指山市 30 a 生枫香次生林中共有 64 个树种,隶属于 27 科 47 属。枫香为优势树种,犁耙柯、中平树、黄牛木、艾胶算盘子、厚皮树、余甘子和海南蒲桃等为主要组成树种。枫香所属的金缕梅科是优势科,大戟科、豆科、樟科、桑科和壳斗科和无患子科等在群落中也占有一定比重。

枫香次生林的 Shannon - Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数分别为 2.80、0.84 和 0.67。乔木层可分出两个亚层,第 I 亚层的多样性指数低于第 II 亚层。枫香占绝对优势;在第 II 亚层,枫香的优势不如第 I 亚层的明显。除了枫香,犁耙柯、中平树和黄牛木等的重要值也较大。

林分直径结构呈反“J”型,平均直径为 13.5 cm、平均树高为 8.7 m、密度为 3 416 株/hm<sup>2</sup>、蓄积量为 271.1 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。第 I 亚层株数比例较低(占 33.0%),但蓄积量比重大(占 78.3%)。枫香次生林中有一定比例的三类材至一类材树种(占全林株数的 30.5%、蓄积的 23.0%)。还有东南亚热带雨林的表树种——龙脑香科的青皮。

## 参考文献(References)

[1] He Jinsheng, Chen Weilie, Jiang Mingxi, et al. Plants species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges region[J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(4): 399-407 [贺金生, 陈伟烈, 江明喜, 等. 长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征[J]. 生态学报, 1998, 18(4): 399-407]

[2] Zang Runguo, Ding Yi, Zhang Zhidong, et al. Ecological basis for protection and recovery of major functional groups of tropical natural forest in Hainan Island[M]. Beijing: Science Press, 2010: 25-58 [臧润国, 丁易, 张志东, 等. 海南岛热带天然林主要功能群保护与恢复的生态学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 25-58]

[3] Ficetola G F, Furlani D, Colombo G, et al. Assessing the value of secondary forest for amphibians: Eleutherodactylus frogs in a gradient of forest alteration[J]. Biodiversity and conservation, 2008, 17(9): 2185-2195

[4] Parrotta J A, Turnbull J W, Jones N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands[J]. Forest Ecology and Management, 1997, 99(1-2): 1-7

[5] Chazdon R L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands[J]. Science, 2008, 320(5882): 1458-1460

[6] Roberts M R, Gilliam F S. Patterns and mechanisms of plant diversity in forest ecosystem: implications for forest management[J]. Ecological Applications, 1995, 5(4): 969-977

[7] Chen Youmin. A discussion on the names of Acer, Liquidambar, Aesculus[J]. Journal of Chinese Landscape Architecture, 1999, (1): 47 [陈有民. 关于槭、枫、槭香和七叶树等名称之我见——与台湾大学李学勇教授商榷[J]. 中国园林, 1999, (1): 47]

[8] Xu Lin. Studies on agrobacterium-mediated transformation system and preliminary functional analysis of AGAMOUS gene in Liquidambar formosana Hance[D]. Wuhan, China: Huazhong Agricultural University, 2008: 7-8 [徐林. 枫香基因转化体系的研究以及枫香 AGAMOUS 基因的初步功能分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 7-8]

[9] Li Xueyong. Is Feng-xiang( Liquidambar) and Feng( Acer) for the same kind of plant? [J]. Journal of Chinese landscape architecture, 2002, (6): 21-22 [李学勇. 枫香树与枫树是同一种树吗? ——敬向北京林业大学陈有民教授请益[J]. 中国园林, 2002, (6): 21-22]

[10] Liu Xianzhao, Lu Yuanchang, Zhou Yanhua. Dynamic changes of plant community structure and population niche in the recovery process of degenerated secondary forests[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(1): 22-28 [刘宪召, 陆元昌, 周燕华. 退化次生林恢复过程中群落结构和生态位动态[J]. 生态学杂志, 2010, 29(1): 22-28]

[11] Liu Wande, Zang Runguo, Ding Yi. Community features of two types of typical tropical monsoon forest in Bawangling nature reserve, Hainan Island[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3465-3476 [刘万德, 臧润国, 丁易. 海南岛霸王岭两种典型热带季雨林群落特征[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3465-3476]

[12] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. Nature, 2000, 403(6772): 853-858

[13] Lamoreux J F, Morrison J C, Rickts T H, et al. Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism[J]. Nature, 2006, 440(7081): 212-214

[14] An Shuqing, Zhu Xuelei, Wang Zhengfeng, et al. The plant species diversity in a tropical montane rain forest on Wuzhi Mountain, Hainan[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(6): 803-809 [安树青, 朱学雷, 王峥嵘, 等. 海南五指山热带山地雨林植物物种多样性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 803-809]

[15] Wang Bosun, Zhang Weiyin. The groups and features of tropical forest vegetation of Hainan Island[J]. Guihaia, 22(2): 107-115 [王伯荪, 张炜银. 海南岛热带森林植被的类群及其特征]

- [J]. 广西植物, 22(2): 107-115]
- [16] Yu Shixiao, Zang Runguo, Jiang Youxu. Spatial analysis of species diversity in the tropical vegetations along the vertical belt at Bawangling Nature Reserve, Hainan Island [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1438-1443 [余世孝, 臧润国, 蒋有绪. 海南岛霸王岭垂直热带植被物种多样性的空间分析[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1438-1443]
- [17] Hu Yujia, Wang Yonghua, Ding Xiaoqiu, et al. A comparison of plant species diversity with different slope direction in Wuzhishan, Hainan Island [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(2): 86-89 [胡玉佳, 汪永华, 丁小球, 等. 海南岛五指山不同坡向的植物物种多样性比较[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(2): 86-89]
- [18] Zang Runguo, Yang Yancheng, Jiang Youxu. Community structure and tree species diversity characteristics in a tropical montane rain forest in Bawangling nature reserve, Hainan Island [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(3): 270-275 [臧润国, 杨彦承, 蒋有绪. 海南岛霸王岭热带山地雨林群落结构及树种多样性特征的研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 270-275]
- [19] Fang Jingyun, Li Yide, Zhu Biao, et al. Community structures and species richness in the montane rain forest of Jianfengling, Hainan Island, China [J]. Chinese Biodiversity, 2004, 12(1): 29-43 [方精云, 李意德, 朱彪, 等. 海南岛尖峰岭山地雨林的群落结构、物种多样性以及在世界雨林中的地位[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 29-43]
- [20] Zheng Du, et al. Chinese eco-geographic regional system [M]. Beijing: The Commercial Press, 2008: 254-268 [郑度, 等. 中国生态地理区域系统研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2008: 254-268]
- [21] Song Yongchang. Vegetation Ecology [M]. Shanghai: East China Normal University Press, 2001: 39-45 [宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 39-45]
- [22] Fang Jingyun, Wang Xiangping, Shen Zehao, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Biodiversity Science, 2009, 17(6): 533-548 [方精云, 王襄平, 沈泽昊, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548]
- [23] Jiang Haisheng, Song Xiaojun, Yang Xiaobo, et al. Wuzhishan Nature Reserve comprehensive scientific investigation report in Hainan Province [R]. 2002 [江海生, 宋晓军, 杨晓波, 等. 海南省五指山自然保护区综合科学考察报告[R]. 2002]

## Structure and Tree Species Diversity of Secondary Forest of *Liquidambar formosana* in Wuzhishan City, Hainan Province

MA Zhibo<sup>1,2</sup>, HUANG Qinglin<sup>1</sup>, RONG Jiantao<sup>1</sup>, MA Huan OK<sup>3</sup>, ZHANG Sheng<sup>4</sup>, LI Jianjin<sup>4</sup>

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Forestry Remote Sensing and Information Technology, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Langfang Academy of Forestry and Agriculture, Langfang 065000, China; 3. International Tropical Timber Organization, Yokohama 220-0012, Japan; 4. Wuzhishan Forestry Bureau, Wuzhishan 572200, China)

**Abstract:** The structure and tree species diversity of 30-year-old secondary forest of *Liquidambar formosana* were analyzed. There were 64 different tree species in the secondary forest and they belonged to 47 genera of 27 families. *L. formosana* was the dominant species of the secondary forest. The biodiversity indices of Shannon-Wiener ( $H'$ ), Simpson ( $P$ ) and Pielou ( $E$ ) were 2.80, 0.84 and 0.67 respectively. There were 2 sub-storey in arbor storey. There were 27 tree species in sub-storey I and 58 tree species in sub-storey II. In sub-storey I, the biodiversity indices of  $H'$ ,  $P$  and  $E$  were 1.65, 0.56 and 0.50 respectively. There were only two tree species whose IV were bigger than 10.00% in sub-storey I. One was *L. formosana* (197.51%) and another was *M. denticulata* (16.10%). In sub-storey II, the biodiversity indices of  $H'$ ,  $P$  and  $E$  were 3.18, 0.93 and 0.78 respectively. The tree species with relative bigger IV were *L. formosana* (52.58%), *Lithocarpus silvicularum* (33.06%), *M. denticulata* (26.55%) and *Cratoxylum cochinchinense* (25.29%). The diameter distribution of the stand was inverse 'J' shape. The minimum inventory plot's area was 2 000 m<sup>2</sup> which were deduced from the relationship between the numbers of tree species and the plots area. The forest average DBH was 13.5 cm, average height was 8.7 m, density was 3 416 N/hm<sup>2</sup>, and the growing stock was 271.1 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** Hainan; secondary forest; *Liquidambar formosana*; forest structure; tree species diversity