

# 西双版纳热带森林树洞丰富度及其分配特点\*

刘俊雁<sup>1,2</sup> 郑征<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要** 树洞是森林生态系统的重要结构,对动物多样性的维持起着重要作用。为研究热带森林树洞的数量特征及其分配特点,选取西双版纳 20 hm<sup>2</sup> 热带森林动态监测样地为研究对象,采用地面观测法调查了样地内所有胸径 ≥ 5 cm 活立木上的树洞。结果表明:(1) 该样地森林的树洞密度为 108.4 个 · hm<sup>-2</sup>,具有树洞的树 1725 株(占树木总数的 6.22%),隶属于 208 个种;(2) 树木个体的树洞数量随径级增加而增加,并在种间变化不均匀;(3) 树木出现空心的概率随胸径级的增加而显著增加,并且在树种间存在显著差异;(4) 与其他纬度地区森林的树洞密度比较,本研究结果支持了 Boyle 等(2008)提出的低纬度森林具有较高树洞密度的推测。

**关键词** 树洞密度; 树种; 胸径; 西双版纳

**中图分类号** Q948.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)2-0271-05

**Abundance and distribution pattern of tree cavity in tropical forest in Xishuangbanna, Southwest China.** LIU Jun-yan<sup>1,2</sup>, ZHENG Zheng<sup>1\*\*</sup> (<sup>1</sup> Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, Yunnan, China; <sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31** (2): 271–275.

**Abstract:** Tree cavity is the key component of forest ecosystem, playing important roles in the conservation of animal diversity. To clarify the quantitative characteristics and distribution patterns of tree cavities in tropical forests, a ground-based observation was conducted in a 20 hm<sup>2</sup> tropical forest dynamic monitoring plot in Xishuangbanna of Southwest China to survey the cavities on all the living trees with diameter at breast height (DBH) ≥ 5 cm. In the plot, 1725 trees belonging to 208 species, occupying 6.22% of the total, had tree cavities, and the mean density of the cavities was 108.4 cavities · hm<sup>-2</sup>. The number of the cavities per tree increased with DBH, and varied among tree species. The probability of the trees being cavity-bearing increased with increasing DBH, and differed significantly with tree species. As compared with the investigations on the tree cavities at other latitudes, our findings supported the inference proposed by Boyle *et al.* (2008), *i. e.*, the forests at low latitudes would have a higher density of tree cavities.

**Key words:** tree cavity density; tree species; diameter at breast height (DBH); Xishuangbanna.

树洞具有重要的生态功能,它能为许多动物提供栖息、筑巢、捕食、繁殖和躲避天敌的场所,在维持森林动物群落的物种多样性方面起着重要作用(Gibbons & Lindenmayer, 1996)。然而,随着人类活动干扰加剧,全球许多森林中树洞的数量逐渐减少(Lindenmayer *et al.*, 2009),极大地限制了树洞巢居动物的多样性和丰富度(Braithwaite *et al.*, 1984),

在一定程度上,还可能导致一些濒危动物的灭绝。为此,树洞成为森林经营管理以及生物多样性保护的一个重要关注对象,对树洞丰富度及其分配特点的研究则有助于上述工作的开展。

当前对树洞的研究多来自温带森林(Gibbons *et al.*, 2002; Harper *et al.*, 2005; Lindenmayer & Ough, 2006),对热带地区的研究甚少。过去一些研究认为,热带森林的一级洞巢种类(如啄木鸟)较温带森林的少,并且热带缺乏形成树洞的因素如火烧和冻害等(Gale & Barfod, 1999),所以热带地区的树洞密

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q1-05-04)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: zhengz@xtbg.ac.cn

收稿日期: 2011-09-05 接受日期: 2011-11-29

度较温带地区低 (Gibbs *et al.*, 1993)。但是, Boyle 等 (2008) 认为, 热带森林的树洞密度可以很高, 并且呈随纬度增加而逐渐减少的趋势。然而, 由于来自热带和亚热带等森林树洞的调查都还十分有限, 关于热带森林树洞的情况仍然不清楚。加之目前研究者在树洞调查方法上还存在差异 (Zheng *et al.*, 2009), 对于树洞密度随纬度的变化趋势还缺乏更多数据支持。因此, 在更多热带森林开展树洞丰富度及其分配特点的研究对于了解总体上热带地区的树洞情况是十分必要的。

本研究以西双版纳 20 hm<sup>2</sup> 热带森林动态监测样地为对象, 调查样地的树洞的数量及分配特点, 考查树木个体的树洞数量在径级间和树种间的变化, 研究树木发生空心的概率与树木胸径和树种的关系, 以及检验树洞密度随纬度降低而增加的推测。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 自然概况

研究地点位于云南南部, 该区地处东南亚热带北缘, 受西南季风影响, 雨季和旱季交替明显。森林植被类型主要为热带季节雨林、热带季雨林和热带山地季风常绿阔叶林 (朱华, 2007)。

研究样地为西双版纳 20 hm<sup>2</sup> 热带森林动态监测样地 (21°36'42"N—58°N, 101°34'26"E—47°E), 样地尺度为 500 m×400 m, 分为 500 个 20 m×20 m 的样方, 样地内海拔变化为 709 ~ 869 m。样地树种组成丰富, 共有 468 个种, 隶属于 213 个属和 70 个科, 其中优势种有望天树 (*Parashorea chinensis*)、假海桐 (*Pittosporopsis kerrii*)、短刺锥 (*Castanopsis echidnocarpa*)、毛猴欢喜 (*Sloanea tomentosa*) 和蚁花 (*Mezzettia creaghii*) 等 (兰国玉等, 2008)。样地的主要植被类型是以望天树占优势的热带季节雨林 (Zhu, 2006)。

### 1.2 研究方法

2011 年 2—4 月, 对 20 hm<sup>2</sup> 样地内所有胸径 ≥ 5 cm 的活立木进行树洞的调查, 记录树干以及大枝上的洞口直径 ≥ 2 cm 的树洞。树洞的测量参考 Remm 等 (2006) 的方法, 以洞口宽度和高度中较小者作为洞口直径。对于位置较高的树洞, 则利用望远镜 (10×25) 进行地面观察。为尽可能减少实验误差, 树洞的观测只有在 3 个观察者重复确认后才记录, 并选在林内光照强的时间段 (10:00—16:00) 进行观测。

### 1.3 数据处理

分别统计各树种的树洞密度, 分析树种的树洞密度与树木密度间的关系。把样地内调查的乔木按胸径大小分为 5 级: 5 ~ 10, 10 ~ 20, 20 ~ 30, 30 ~ 40, ≥ 40 cm。将各胸径的树洞数除以各自的树木数 (包括没有形成树洞的树木) 得到平均个体的树洞数量 (个·株<sup>-1</sup>), 分析个体树洞数在径级间、树种间的变化。

树干或大枝上具有一个以上树洞的树木称为空心树 (Harper *et al.*, 2005)。空心树的界定并非树木内部要形成空心, 只是认为树木有树洞的形成即为空心树。因此, 树木个体发生空心的概率即空心树的数量占全部树木数的比率。本文利用卡方检验分析树木个体发生空心的概率在径级间和树种间是否存在差异。数据处理采用 SPSS 17.0, 作图采用 SigmaPlot 10.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 树洞丰富度及种间、径级分配

调查了胸径 ≥ 5 cm 的乔木共 27745 株, 有树洞 2168 个, 平均树洞密度达 108.4 个·hm<sup>-2</sup>。具有树洞的树 1725 株, 占调查树木总数的 6.22%。出现树洞的个体共包括 208 种 (占种类总数的 53.9%), 隶属于 123 个属和 55 个科。

树洞数量在种间的分配不均匀, 在含有树洞的 208 个树种中, 蚁花和木奶果的总树洞数量最多, 分别为 167 个和 143 个, 而八宝树 (*Duabanga grandiflora*)、稠琼楠 (*Beilschmiedia roxburghiana*) 等 41 个树种分别都只有 1 个树洞。树种间树洞数量的差异受到树木个体数量的影响, 树种的树洞密度与各自树木密度之间存在显著正相关 ( $r = 0.670$ ,  $P < 0.01$ )。

树洞数量在径级间的分配表现为随树木径级的增加逐渐减少 ( $r = -0.816$ ,  $P < 0.05$ ), 小胸径树木 ( $\leq 20$  cm) 的树洞数量高达 1185 个, 占树洞总数的 54.7%, 而胸径 ≥ 60 cm 树木具有的树洞数为 193 个, 仅占总数的 8.9%。

### 2.2 树木个体的树洞数量随径级和树种间的变化

由图 1 可见, 随着径级的增加, 树木个体的树洞数量逐渐增加。小径级 (5 ~ 10 cm) 的个体树洞平均数很低 (0.03 个·株<sup>-1</sup>), 而 ≥ 40 cm 径级树木的个体树洞的平均数量高达 0.3 个·株<sup>-1</sup> (图 1)。

个体的树洞平均数在重要值前 20 位树种间的

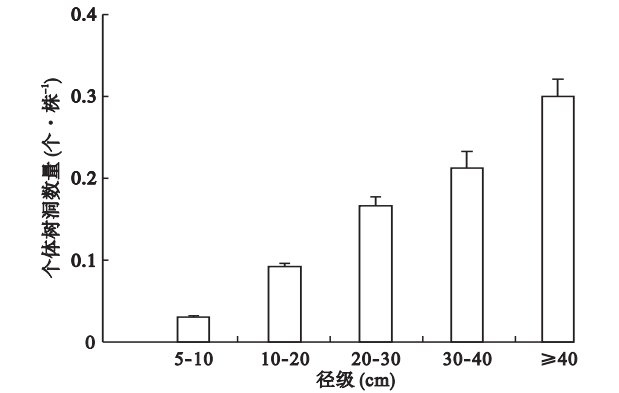


图1 个体树洞数量随径级的变化  
Fig.1 Change of cavities per tree with DBH classes

变化明显,其中红锥 (*Castanopsis hystrix*) 和毛猴欢喜的个体树洞平均数最高,分别为 0.29 和 0.17 个·株<sup>-1</sup>,而假海桐和钝叶桂 (*Cinnamomum bejolghota*) 个体的树洞平均数则很低,只有 0.01 ~ 0.02 个·株<sup>-1</sup>(图 2)。

2.3 树木发生空心的概率

样地内重要值前 20 位树种的树木共 16166 株,

其中假海桐的数量最多(4483 株),数量最少是大叶锥(142 株),尽管这些树种间树木数量差异较大,但每个树种都具有丰富的样本数。总体上各个树种的树木数量都随径级增加而减少(表 1)。然而,树木发生空心的概率随径级的增加而增加(表 1)。卡方检验表明不同径级的树木发生空心的概率存在显著差异( $\chi^2=609.3,df=4,P<0.001$ )。

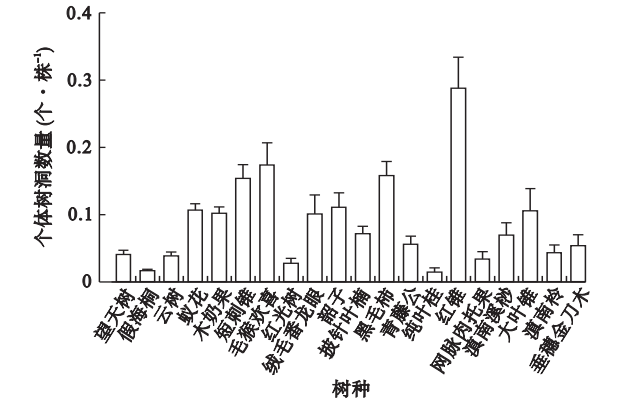


图2 20 个主要树种的个体树洞数量的种间变化  
Fig.2 Cavities per tree among 20 main tree species

表 1 西双版纳 20 hm<sup>2</sup>热带森林样地中重要值前 20 位树种的树木发生空心的概率

Table 1 Likelihood of trees being cavity-bearing among top twenty tree species with the highest importance values in Xishuangbanna 20 hm<sup>2</sup>tropical forest plot

树种	乔木数量	平均胸径 (cm)	LTC	胸径级 (cm)									
				5-10		10-20		20-30		30-40		≥40	
				PT	LTC	PT	LTC	PT	LTC	PT	LTC	PT	LTC
望天树 <i>Parashorea chinensis</i>	1432	20.2	3.49	46.37	1.66	26.68	1.31	9.64	7.25	5.87	4.77	11.45	12.20
假海桐 <i>Pittosporopsis kerrii</i>	4483	7.0	1.74	93.82	1.59	5.78	3.86	0.29	7.69	0.09	0	0.02	0
云树 <i>Garcinia cowa</i>	1540	10.8	3.18	55.06	0.59	37.47	5.03	6.82	14.29	0.39	0	0.26	0
蚁花 <i>Mezzettia creaghii</i>	1558	11.8	9.24	47.24	5.03	44.03	12.25	8.15	18.11	0.51	0	0.06	
木奶果 <i>Baccaurea ramiflora</i>	1400	9.8	8.43	61.71	4.51	35.36	13.54	2.71	26.32	0.21	66.67		
短刺锥 <i>Castanopsis echidnocarpa</i>	592	26.5	11.99	9.46	1.79	25.17	9.40	27.87	10.30	24.66	15.07	12.84	22.37
毛猴欢喜 <i>Sloanea tomentosa</i>	282	32.7	12.06	23.05	3.08	20.92	11.86	13.83	12.82	11.35	3.13	30.85	21.84
红光树 <i>Knema furfuracea</i>	617	12.2	2.43	52.84	0.31	31.77	2.55	11.83	6.85	2.76	17.65	0.81	20
绒毛番龙眼 <i>Pometia tomentosa</i>	207	30.2	7.25	24.15	0	23.19	2.08	12.08	0	10.14	4.76	30.43	20.63
韶子 <i>Nephelium chryseum</i>	387	16.3	8.01	42.12	2.45	29.97	6.03	15.25	13.56	7.75	13.33	4.91	42.11
披针叶楠 <i>Phoebe lanceolata</i>	677	7.0	6.50	93.21	6.18	6.65	11.11					0.15	0
黑毛柿 <i>Diospyros hasseltii</i>	399	16.7	13.53	34.84	5.76	32.58	10.00	20.80	24.10	8.77	25.41	3.01	33
青藤公 <i>Ficus langkokensis</i>	576	11.2	4.34	52.43	1.33	39.41	5.73	7.47	16.28	0.69	25		
钝叶桂 <i>Cinnamomum bejolghota</i>	399	13.6	1.50	44.36	0.57	39.35	1.91	10.53	0	3.26	0	2.51	20
红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	212	27.5	21.23	7.08	0	26.89	12.28	31.60	14.93	16.98	27.78	17.45	48.65
网脉肉托果 <i>Semecarpus reticulata</i>	265	17.6	3.40	39.62	3.81	27.17	1.39	16.60	2.27	9.06	4.17	7.55	10.00
滇南溪砂 <i>Chisocheton siamensis</i>	329	12.2	5.78	49.54	3.68	37.08	6.56	10.94	11.11	1.52	0	0.91	33.33
大叶锥 <i>Castanopsis megaphylla</i>	142	33.3	8.45	16.20	8.70	20.42	6.90	9.15	7.69	19.01	0	35.21	14.00
滇南柃 <i>Eurya austroyunnanensis</i>	410	9.94	3.90	59.51	2.05	38.29	5.73	2.20	22.22	0		0	
垂穗金刀木 <i>Barringtonia pendula</i>	259	16.24	4.63	35.91	0	33.59	3.45	20.85	9.26	7.72	15.00	1.93	20.00
合计	16166	17.14	5.24	61.05	2.39	25.05	7.23	7.25	12.28	3.19	11.84	3.45	20.25

PT, 树木数占该种树木总数的比例(%) ;LTC, 树木发生空心的概率(%)。

表 2 不同纬度森林的树洞密度  
Table 2 Cavity density from forests of different latitudes

纬度 N	研究地点	洞口大小 (cm)	树洞密度 (个·hm <sup>-2</sup> )	参考文献
10°25′	哥斯达黎加	2.5	111.7	Boyle <i>et al.</i> ,2008
15°25′	泰国西部	3	407	Pattananavibool & Edge, 1996
21°36′	西双版纳	2	108.4	本研究
24°32′	哀牢山	2	184	杨廉雁等,2010
37°	加利福尼亚州	2.5	3.4	Waters <i>et al.</i> ,1990
52°	威尔士南部	2	15.5	Edington & Edington, 1972
52°	荷兰东部	2.3	6.2	van Balen <i>et al.</i> ,1982
58°	爱沙尼亚	1	0.7	Löhmus <i>et al.</i> ,2005
58°	瑞典南部	2.5	8	Sandström,1992
58°32′	爱沙尼亚	2.1	4.1	Remm <i>et al.</i> ,2006
60°09′	瑞典	2.5	60.4	Carlson <i>et al.</i> ,1998

树木发生空心的概率在这 20 个树种间的变化很大(1.5%~21.23%),平均为 8.62%(表 1)。其中,红锥的树木个体发生空心的概率最高(21.23%),而假海桐、钝叶桂的树木发生空心概率则相对较低(<2%)(表 1)。不同树种间发生空心的概率存在显著差异( $\chi^2=495.1$ ,  $df=19$ ,  $P<0.001$ ),各树种的树木发生空心的概率与各自的平均胸径显著正相关( $r=0.554$ ,  $P=0.011$ )。进一步分析发现在各个径级中树木发生空心的概率也存在显著的种间差异(DBH 5~10 cm,  $\chi^2=129.2$ ,  $df=19$ ,  $P<0.001$ ; DBH 10~20 cm,  $\chi^2=113.2$ ,  $df=19$ ,  $P<0.001$ ; DBH 20~30 cm,  $\chi^2=44.4$ ,  $df=18$ ,  $P<0.001$ ; DBH 30~40 cm,  $\chi^2=43.9$ ,  $df=17$ ,  $P<0.001$ ; DBH  $\geq 40$  cm,  $\chi^2=36.9$ ,  $df=16$ ,  $P<0.01$ )。

3 讨论

3.1 树洞丰富度

目前在树洞的调查方法上,对树洞的最小洞口直径还未有统一的标准,不同研究者采取的标准不同,例如,有 $\geq 1$  cm(Lindenmayer *et al.* ,2000), $\geq 2$  cm(Wormington *et al.* ,2003), $\geq 2.5$  cm(Fan *et al.* ,2003), $\geq 5$  cm(Harper *et al.* ,2005)等。从中选取最小洞口直径与本研究尽量一致的研究结果进行比较(表 2),从表 2 可以看出,西双版纳热带森林的树洞密度比低纬度地区低,却高于许多高纬度地区的树洞密度。总体上,树洞密度随着纬度的增加而逐渐减少,这符合 Boyle 等(2008)提出的树洞密度随纬度变化的推测。西双版纳热带森林之所以有较高的树洞密度,可能是因为该地区具有丰富的降雨量和

较高的温度,这会导致了较高的木质分解速率,从而促进树洞的形成(Boyle *et al.* ,2008)。此外,热带地区比温带更易遭受强风的干扰,树木容易造成枝条断裂而形成树洞。

3.2 树洞密度与树木密度的关系

研究表明,较高的树木密度必然导致较高的树洞密度(杨廉雁等,2010)。西双版纳热带森林中树洞密度较高可能是因为该森林具有较高的树木密度(1387 株·hm<sup>-2</sup>)。同时,各树种的树洞密度也受其树木密度的影响,如蚁花、木奶果的树洞密度较高是因为其对应的树木密度较高(>70 株·hm<sup>-2</sup>)。

3.3 树木个体的树洞数量随径级与种间的变化

本研究发现,总体上树木个体的树洞数量随着径级的增加而增加,就物种而言,具有较高平均胸径(>23.8 cm)的红锥、毛猴欢喜等树种具有很高的树洞数,这可能是因为胸径较大的树木经历的干扰更多,从而形成更多的树洞(Inions *et al.* ,1989)。相反,假海桐的个体树洞数量很少也主要是由于该树种的平均胸径很小(6.9 cm)。另外,红锥、短刺锥等壳斗科植物萌生能力很强,树干分枝多且枝粗,折断容易形成树洞。

3.4 树木发生空心的概率

本研究表明,不同径级的树木发生空心的概率存在差异,大径级的个体比小径级的发生空心的概率更高。这是由于树木胸径是影响树洞形成的最主要因素(Lindenmayer *et al.* ,2000),基于树木胸径与年龄的正相关关系(Wormington *et al.* ,2003),胸径越大的树木经历干扰的几率就越大,树木分解的时间越长,从而树木发生空心的概率越高。

同样地,本研究发现,树木发生空心概率在种间也存在明显差异,这与其他很多研究结果一致(Fan *et al.* ,2003; Harper *et al.* ,2005)。其原因,一方面是因为各树种的平均胸径存在差异,有研究表明,平均胸径能解释树种间发生空心概率存在差异原因的 69%(Zheng *et al.* ,2009);另一方面,树种特征(如木质密度、化学成分)也会影响树木发生空心的概率,木材密度大的树种不易造成机械损伤,从而不易于树洞的形成(Curran *et al.* ,2008);树木中含有某些有利于微生物分解的化学成分则会促使树洞的形成。但是,这些特征影响树洞形成的机制还有待进一步研究。

3.5 对该地区森林经营管理的启示

树洞为各种动物提供巢居和繁殖的场所,不同



树洞巢居动物选择不同类型的树洞,其中洞口大小是动物选择利用树洞的一个重要因素(Goldingay & Stevens, 2009)。许多研究表明,乔木只有达到一定的胸径才可能形成树洞以满足各种树洞巢居动物的需求(Gibbons & Lindenmayer, 1996)。然而,西双版纳热带森林中大部分为小胸径树木,尽管树洞密度较高,但洞口尺度小,适合动物利用的少,树洞对动物的可利用性很低。因此,有必要制定合理的森林保护措施,加强对大树、老林的保护以维持树洞巢居动物的生境需要,从而促进当地生物多样性的保护。

## 参考文献

- 兰国玉, 胡跃华, 曹敏, 等. 2008. 西双版纳热带森林动态监测样地——树种组成与空间分布格局. 植物生态学报, **32**(2): 287–298.
- 杨廉雁, 郑征, 张树斌. 2010. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林树洞数量的初步研究. 云南大学学报, **32**(S1): 399–404.
- 朱华. 2007. 论滇南西双版纳的森林植被分类. 云南植物研究, **29**(4): 377–387.
- Boyle WA, Ganong CN, Clark DB, et al. 2008. Density, distribution and attributes of tree cavity in an old-growth tropical rain forest. *Biotropica*, **4**: 241–245.
- Braithwaite LW, Turner J, Kelly J. 1984. Studies on the arboreal marsupial fauna of eucalypt forests being harvested for woodpulp at Eden, N. S. W. III. Relationships between faunal densities, eucalypt occurrence and foliage nutrients and soil parent material. *Australian Wildlife Research*, **11**: 41–48.
- Carlson AU, Sandström U, Olsson K. 1998. Availability and use of natural tree holes by cavity nesting birds in a Swedish deciduous forest. *Ardea*, **86**: 109–119.
- Curran TL, Gersbach LN, Edwards W, et al. 2008. Wood density predicts plant damage and vegetative recovery rates caused by cyclone disturbance in tropical rainforest tree species of North Queensland, Australia. *Austral Ecology*, **33**: 442–450.
- Edington JM, Edington MA. 1972. Spatial patterns and habitat partition in breeding birds of an upland wood. *Journal of Animal Ecology*, **41**: 331–357.
- Fan Z, Shifley S, Spetich M, et al. 2003. Distribution of cavity trees in midwestern old-growth and second-growth forests. *Canadian Journal Forest Research*, **33**: 1481–1494.
- Gale N, Barfod AS. 1999. Canopy tree mode of death in a western Ecuadorian rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, **15**: 415–436.
- Gibbons P, Lindenmayer DB. 1996. A review of issues associated with the retention of trees with hollows in wood production forests. *Forest Ecology and Management*, **83**: 245–279.
- Gibbons P, Lindenmayer DB, Barry SC, et al. 2002. Hollow selection by vertebrate fauna in forests of southeastern Australia and implications for forest management. *Biological Conservation*, **103**: 1–12.
- Gibbs JP, Hunter ML, Melvin SM. 1993. Snag availability and communities of cavity nesting birds in tropical versus temperature forest. *Biotropica*, **25**: 236–241.
- Goldingay RL, Stevens JR. 2009. Use of artificial tree hollows by Australian birds and bats. *Wildlife Research*, **36**: 81–97.
- Harper MJ, McCarthy MA, van der Ree R. 2005. The abundance of hollow-bearing trees in urban dry sclerophyll forest and the effect of wind on hollow development. *Biological Conservation*, **122**: 181–192.
- Inions GB, Tanton MT, Davey SM. 1989. Effects of fire on the availability of hollows in trees used by the Common Brush-tail Possum, *Trichosurus vulpecula* Kerr, 1792, and the Ringtail Possum, *Pseudocheirus peregrinus* Boddaerts, 1785. *Australian Wildlife Research*, **16**: 449–458.
- Lindenmayer DB, Cunningham RB, Pope ML, et al. 2000. Cavity sizes and types in Australian eucalypts from wet and dry forest types: A simple of rule of thumb for estimating size and number of cavities. *Forest Ecology and Management*, **137**: 139–150.
- Lindenmayer DB, Welsh A, Donnelly C, et al. 2009. Are nest boxes a viable alternative source of cavities for hollow-dependent animals? Long-term monitoring of nest box occupancy, pest use and attrition. *Biological Conservation*, **142**: 33–42.
- Lindenmayer DB, Ough K. 2006. Salvage logging in the montane ash *Eucalypt* forest of the Central Highlands of Victoria and its potential impacts on biodiversity. *Conservation Biology*, **20**: 1005–1015.
- Löhmus A, Löhmus P, Remm J, et al. 2005. Old-growth structural elements in a strict reserve and commercial forest landscape in Estonia. *Forest Ecology and Management*, **216**: 201–215.
- Pattananavibool A, Edge WD. 1996. Single-tree selection silviculture affects cavity resources in mixed deciduous forests in Thailand. *Journal of Wildlife Management*, **60**: 67–73.
- Remm J, Löhmus A, Remm K. 2006. Tree cavities in riverine forests: What determines their occurrence and use by hole-nesting passerines? *Forest Ecology and Management*, **221**: 267–277.
- Sandström U. 1992. Holes in trees: Their occurrence, formation, and importance for hole-nesting birds in relation to silvicultural practice. Department of Wildlife Ecology Report No. 23. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences.
- van Balen JH, Booy CJH, Vanfranecker JA, et al. 1982. Studies on hole-nesting birds in natural nest sites. I. Availability and occupation of natural nest sites. *Ardea*, **70**: 1–24.
- Waters JR, Noon BR, Verner J. 1990. Lack of nest site limitation in a cavity-nesting bird community. *Journal of Wildlife Management*, **54**: 239–245.
- Wormington KR, Lamb D, McCallum HI, et al. 2003. The characteristics of six species of living hollow-bearing trees and their importance for arboreal marsupials in the dry sclerophyll forests of southeast Queensland, Australia. *Forest Ecology and Management*, **182**: 75–92.
- Zheng Z, Zhang SB, Yang GP, et al. 2009. Abundance and distribution of cavity trees in an old-growth subtropical montane evergreen broadleaved forest. *Canadian Journal Forest Research*, **39**: 2234–2235.
- Zhu H. 2006. Forest vegetation of Xishuangbanna, South China. *Forestry Studies in China*, **8**: 1–27.

作者简介 刘俊雁,女,1986年生,硕士。主要从事植物生态学方面的研究。E-mail: liujunyan2300@yahoo.com.cn  
责任编辑 王伟