

# 云南橡胶林和天然次生林枯落物层蚂蚁物种多样性、群落结构差异及指示种

张念念<sup>1</sup>, 陈又清<sup>1,\*</sup>, 卢志兴<sup>1</sup>, 张 威<sup>2</sup>, 李可力<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 2. 西南林业大学林学院, 昆明 650224)

**摘要:** 橡胶树 *Hevea brasiliensis* 是云南省重要的经济林木, 但对其生态服务功能尚存在争议。本研究以天然次生林为对照, 使用 Winkler 法对橡胶林枯落物层蚂蚁进行初步研究, 探讨橡胶林枯落物层蚂蚁的生态状况。于 2012 年 10 月和 2013 年 4 月采用 Winkler 袋法调查了云南省绿春县大黑山乡橡胶林和牛孔乡天然次生林枯落物层蚂蚁群落的物种多样性、群落结构差异及指示种。结果表明: 橡胶林枯落物层蚂蚁多度(转换后)、物种丰富度  $S$  和 ACE 值显著低于无干扰的天然次生林 ( $P < 0.05$ ); 蚂蚁多度(转换后)显著低于有干扰的天然次生林 ( $P < 0.05$ ), 而物种丰富度  $S$  和 ACE 值差异不显著。橡胶林枯落物层蚂蚁群落结构与两种天然次生林都不相似 ( $F = 3.93$ ,  $df = 12$ ,  $P < 0.01$ )。橡胶林中流浪种大头蚁属 *Pheidole* 的蚂蚁种类与天然次生林相比, 物种丰富度增加了 100%。天然次生林枯落物层中蚂蚁指示种有 3 种, 分别为刘氏隆头蚁 *Strumigenys lewisi*、黄足厚结猛蚁 *Pachycondyla luteipes* 和女媧角腹蚁 *Recurvidris nuwa*, 而橡胶林枯落物层中指示种仅为菱结大头蚁 *Pheidole nodus*。枯落物层蚂蚁物种多样性与枯落物厚度呈显著正相关, 而枯落物盖度仅与蚂蚁多度(转换后)有相关性。结果说明, 橡胶林经过长期的经营管理, 生态环境趋于稳定, 对枯落物层蚂蚁群落具有一定的保护作用, 但与天然次生林相比, 蚂蚁多度(转换后)及群落结构仍显示出明显的不同。

**关键词:** 蚂蚁; 橡胶林; 天然次生林; 枯落物层; 物种多样性; 指示种; 群落结构; Winkler 袋法

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2013)11-1314-10

## Species diversity, community structure difference and indicator species of leaf-litter ants in rubber plantations and secondary natural forests in Yunnan, southwestern China

ZHANG Nian-Nian<sup>1</sup>, CHEN You-Qing<sup>1,\*</sup>, LU Zhi-Xing<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, LI Ke-Li<sup>1</sup> (1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** Rubber trees (*Hevea brasiliensis*) are important economic forest trees in Yunnan province, China. But there are still different viewpoints on ecosystem services of rubber plantations. In order to reveal the differences of leaf-litter ant assemblages between rubber plantations and secondary natural forests, the species diversity, community structure differences and indicator species of ant communities in leaf litter were investigated by Winkler litter extraction in October 2012 and April 2013 in forests of the two types. The results showed that the abundance (transformed), species richness and ACE index of leaf-litter ants in rubber plantations were significantly lower than those in secondary natural forests without disturbance ( $P < 0.05$ ); ant abundance (transformed) in rubber plantations was significantly lower than that in disturbed secondary natural forests ( $P < 0.05$ ), however, the species richness and ACE index had no significant difference between them. There was no significant similarity of ant community composition between rubber plantations and secondary natural forests ( $F = 3.93$ ,  $df = 3$ ,  $P < 0.01$ ). The number of *Pheidole* species in rubber plantations increased by 100% compared with that in secondary natural forests. There were 3 indicator species (*Strumigenys lewisi*, *Pachycondyla luteipes* and *Recurvidris nuwa*) in leaf litter of secondary natural forests, but only one (*Pheidole nodus*) in leaf litter of rubber plantations. The ant species diversity in leaf litter had a significant positive correlation with the thickness of leaf litter, but only ant abundance (transformed) had a significant positive correlation with the

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270561)

作者简介: 张念念, 女, 1989 年 3 月生, 贵州织金人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: zniannian-309@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: cyqcaf@126.com

收稿日期 Received: 2013-07-09; 接受日期 Accepted: 2013-10-31

coverage of leaf litter. The results suggest that after long time management, the rubber plantation ecosystem has the trend to be stabilized, and can protect ant community to some extent, while the ant community composition is very different from that in secondary natural forests.

**Key words:** Ants; rubber plantation; secondary natural forest; leaf litter; species diversity; indicator species; community structure; Winkler extraction method

林内枯落物层担当着物质、能量循环和转移的重要任务, 借以维持着生态系统的功能和物质平衡 (Philip *et al.*, 2003; 杨丽萍和苏海鹏, 2011)。枯落物层节肢动物与土壤生物和植物根系等构成的地下生物群落, 对土壤物质循环和能量流动起着重要作用 (Donoso *et al.*, 2010); 而枯落物层为节肢动物提供了筑巢地点、食物资源和良好的微环境条件 (Lassau and Hochuli, 2004)。蚂蚁是枯落物层重要的捕食者, 能以自上而下 (top-down) 的方式影响整个生态系统的物种组成甚至生态系统的功能。枯落物层蚂蚁一方面能改变土壤微生境的特征从而对生境中的动、植物造成影响 (Sanders and Van Veen, 2011); 另一方面具有生物量大、对环境高度敏感、易于采集等特点 (Nakamura *et al.*, 2003, 2007; 李巧等, 2011)。因此, 枯落物层蚂蚁常用作热带和亚热带森林环境变化的指示生物 (Kaspari and Majer, 2000; Underwood and Fisher, 2006; Groc *et al.*, 2009)。在澳大利亚, 以蚂蚁作为指示生物对生态恢复进行评价的研究已经十分广泛 (Andersen, 1997; Hoffmann and Andersen, 2003; Hoffmann, 2010)。国际上研究枯落物层蚂蚁常用的抽样方法为 Winkler 袋法; 这一方法也被纳入蚂蚁群落抽样规范的 ALL 方案 (Ants of the Leaf Litter Protocol) 中。而国内对蚂蚁群落的研究忽略了枯落物层蚂蚁群落的调查和 Winkler 袋法的使用。

在森林生态系统中, 为了追求经济效益, 常常用简单经济林代替复杂的天然次生林。然而, 天然次生林由多种树种组成, 一定程度上提高了枯落物层微环境的异质性, 更有利于多种蚂蚁实现共存 (Lassau and Hochuli, 2004; Theunis *et al.*, 2005)。当天然次生林被单一植被替代后, 由于枯落物层微环境改变, 进一步会影响蚂蚁群落的多样性和物种组成 (Dunn, 2000; Chen *et al.*, 2011)。此外, 有研究表明: 人为干扰, 如管理的强度也可能会影响枯落物层蚂蚁物种丰富度以及群落稳定性 (Watt *et al.*, 2002; Philpott *et al.*, 2008; Pacheco *et al.*, 2009)。橡胶树 *Hevea brasiliensis* 为大戟科 (Euphorbiaceae) 橡胶树属 *Hevea* 的多年生热带雨林乔木树种, 原产于

南美洲亚马逊河流域。我国从 20 世纪 50 年代开始在云南地区种植橡胶树, 目前在云南省亚热带和热带区域中占据着十分重要的经济地位。但是实际生产中, 割胶、除草等人为干扰活动大大减弱了橡胶林的生态服务功能, 不利于橡胶林的持续健康发展 (周会平等, 2012)。橡胶树在冬季脱落叶片, 能够形成较厚的枯落物层。目前, 对橡胶林节肢动物的研究主要涉及鞘翅目的步甲、粪甲 (McGeoch *et al.*, 2002; Pearce and Venier, 2006) 和弹尾目昆虫 (王振中等, 2009)。而针对该生态系统中蚂蚁群落, 特别是枯落物层蚂蚁群落的报道还较少。

本研究采用 Winkler 袋法对橡胶林和天然次生林中枯落物层蚂蚁群落进行调查, 分析不同类型样地枯落物层蚂蚁的物种组成、多样性及群落结构差异, 并筛选出指示种。揭示不同植被类型林下枯落物及不同程度的人为干扰对枯落物层蚂蚁群落的影响, 探讨橡胶林生态状况, 为我国今后土地利用方式的选择优化及生态恢复策略的制定提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

橡胶林样地位于云南省绿春县大黑山乡 (22°41' ~ 22°56' N, 101°47' ~ 102°09' E), 海拔 511 ~ 558 m 地段。该地区年平均温度为 21.9℃, 年降雨量 2 313 mm, 相对湿度 50% ~ 85%, 全年基本无霜, 气候湿热, 属山地季风气候。全乡国土面积 42 400 ha, 森林覆盖率为 60.6%。1980 - 2010 年橡胶产业从 334 公顷增至 3 334 公顷, 现有橡胶林面积约占大黑山森林面积的 13%。

天然次生林样地位于云南省绿春县牛孔乡 (23°01' ~ 23°07' N, 102°08' ~ 102°21' E), 海拔 1 158 ~ 1 235 m 地段。该地区年平均温度为 19.1℃, 年降雨量 1 687 mm, 相对湿度 50% ~ 80%, 冬季有轻霜, 昼夜温差大, 属山地季风气候。全乡国土面积 40 518 ha, 森林覆盖率为 38%。

### 1.2 样地设置

橡胶林和天然次生林各选择 2 块 1 ha 以上的

样地, 分别记为 I, II, III 和 IV。其中, 样地 I 和样地 II 是以 30 年生的橡胶树为主的单优种人工植物群落, 树高 15 m, 乔木层林木密度 370 株/ha, 林下无灌木层, 林内长期踩踏形成固定的割胶路线, 未被踩踏部分有草本植物生长, 有割胶、施肥、除草等人为活动; 样地 III 为天然次生林, 乔木有 3 个明显的层次, 附生植物和藤本植物较多, 乔木优势种为麻栎 *Quercus acutissima*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、云南松 *Pinus yunnanensis*、红皮水锦树 *Wendlandia tinctoria*; 灌木层十分发达, 以大叶千斤拔 *Flemingia macrophylla*、假烟叶树 *Solanum erianthum*、滇橄榄 *Phyllanthus emblica* 为主; 样地 IV

主体为天然次生林, 但林内有轻微的放牧痕迹, 边缘有人工种植的紫胶虫寄主植物, 乔木有 2 个明显的层次, 乔木优势种为香樟 *Cinnamomum camphora*、南岭黄檀 *Dalbergia balansae* (人工种植)、杉木 *Cunninghamia lanceolata* (人工种植)、麻栎, 灌木层发达程度不及样地 III, 以尼泊尔野桐 *Mallotus nepalensis*、披针叶楠 *Phoebe lanceolata*、滇橄榄为主。各样地情况见表 1。

每块试验地内设置一个 60 m × 40 m 样地, 同一类型两块样地间距 1 km 以上。所选取的样地均为南坡, 坡度基本一致, 均远离道路及其他栖境至少 50 m, 以减少边缘效应 (Nakamura *et al.*, 2007)。

表 1 调查样地概况

Table 1 Overview of sampling plots

样地 Sampling plots	海拔 (m) Elevation	平均树高 (m) Average tree height	乔木盖度 (%) Tree coverage	灌木层盖度 (%) Shrub coverage	枯落物盖度 (%) Leaf-litter coverage	枯落物厚度 (mm) Leaf-litter thickness	管理 Management	干扰程度 Disturbance
I	511 ± 5	15.2	75.5	3.0	48.0	9.0	割胶 Rubber tapping, 除草 Weeding	高 High
II	558 ± 5	14.8	70.0	2.0	58.5	17.2	割胶 Rubber tapping, 除草 Weeding	高 High
III	1 235 ± 5	13.6	75.0	15.5	80.5	35.1	无 None	无 None
IV	1 158 ± 5	11.8	85.5	12.0	62.0	25.8	无 None	低 Low

I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. 表中的乔灌木数据为每块样地内 3 个 10 m × 10 m 样方的均值, 枯落物层数据为每块样地内 15 个 1 m × 1 m 样方的均值。Data of trees and shrubs in the table are the mean of three quadrats (each quadrats is 10 m × 10 m) in each sampling plot, and those of leaf litter are the mean of fifteen quadrats (each quadrats is 1 m × 1 m) in each sampling plot.

### 1.3 调查方法

**1.3.1 植被调查:** 在每个试验地内分别设置 3 个 10 m × 10 m 的大样方, 样方间距 20 m, 对本植物采用每木调查法记录物种名、胸径、树高、盖度, 胸径不足 2 cm 的乔木和灌木记录物种名、树高、盖度、数量。每个试验地选取 3 条 1 m × 100 m 样带调查草本及枯落物, 各样带间距 20 m, 每条样带上设置 5 个 1 m × 1 m 的样方, 样方间隔 10 m, 共 15 个小样方, 测量小样方中枯落物盖度和厚度。对样地内的干扰活动如放牧、采伐、人为采摘果实和药材等痕迹及其强度进行调查描述, 分为无干扰、低强度干扰、高强度干扰 3 种类型 (表 1)。

**1.3.2 枯落物层蚂蚁群落采集:** 结合云南省雨季和旱季分明的特点以及蚂蚁活动规律, 采用 Winkler 袋法分别在雨季末和旱季末对 4 个样地内枯落物层蚂蚁群落进行调查, 雨季末调查时间为

2012 年 10 月中下旬, 旱季末调查时间为 2013 年 4 月下旬, 调查时选取晴天进行。在每块样地内设置 5 × 3 网格 (Andersen, 1997), 每个交叉点设置一个 1 个 1 m × 1 m 的样方, 样方间隔 10 m, 每个样地 15 个小样方, 旱季和雨季共 30 个小样方。收集小样方内的所有枯落物, 用孔径为 1 cm × 1 cm 的铁丝网筛除较大部分, 将过滤物投入 Winkler 袋悬挂 72 h (Ivanov *et al.*, 2010) 收集蚂蚁保存于 75% 酒精中, 带回实验室整理鉴定, 根据相关资料 (吴坚和王常禄, 1995; 徐正会, 2002) 将蚂蚁鉴定到种。

### 1.4 数据分析

**1.4.1 物种组成、多样性和常见种:** 根据蚂蚁种类鉴定结果及各样地中蚂蚁多度 (样方的数据和, 包括转换前和转换后) 整理出物种组成名录, 同时采用 6 级计分制对每个样方蚂蚁个体数的数据进行转换 (1 分 = 1 头; 2 分 = 2 ~ 5 头; 3 分 = 6 ~ 10 头;



4 分 = 11 ~ 20 头; 5 分 = 21 ~ 50 头; 6 分  $\geq$  50 头), 以防止蚂蚁在少数样本中被大量计数 (Andersen, 1991, 1997; Hoffman and Kay, 2009)。运用 Excel 中 RAND 函数将各样地 15 个样本的转换数据随机分为 3 组 (陈青山等, 2009)。样地内转换后的多度为各样方的转换数据的总和。用分组后的数据进行多度 (abundance)、物种丰富度 (species richness)  $S$  值的计算。运用 EstimateS (Version 8.2.0) 软件对分组后的数据进行 ACE (abundance-base coverage estimator) 估计值的计算 (Colwell, 2004)。使用 SPSS 16.0 中的单因素方差分析 (One-way ANOVA) 对蚂蚁物种的多度 (转换后)、物种丰富度  $S$  值与 ACE 估计值进行方差分析 (方差分析前进行方差齐性检验, 结果均为方差整齐), 利用 LSD 法分别对多样性指数进行多重比较 (Hill *et al.*, 2008)。以转换后各蚂蚁物种相对多度  $> 10\%$  作为常见种判断标准 (李巧等, 2009)。

**1.4.2 相关分析:** 使用 Pearson 相关分析方法 (双侧检验) 分析枯落物层转换后的蚂蚁多度 (以单个样方为单位)、物种丰富度  $S$  值与枯落物各特征指数的相关性。

**1.4.3 群落结构相似性:** 利用分组后的数据 (1.4.1), 运用统计软件 R 语言中 Vegan 软件包, 利用线性模型排序原理对 4 个样地枯落物层蚂蚁 (数据为各蚂蚁物种在各样地的转换后多度) 进行主坐标分析 (principal coordinate analysis, PCoA), 以图上点之间的接近程度判断蚂蚁群落结构相似性 (Oksanen *et al.*, 2012); 利用多元方差分析原理, 使用 PerMANOVA (permutational multivariate analysis of variance) 方法检验蚂蚁群落结构差异显著性, 该方法可用于检验多个因变量之间是否存在显著性差异, 以距离测量为基础, 适用于生态学群落分析 (R Development Core Team, 2008; Oksanen *et al.*, 2012)。

**1.4.4 指示种:** 利用 Labdsv 软件包的 duleg 功能计算两种类型样地枯落物层蚂蚁的 IndVal 值。计算公式为  $IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij}$ , 显著性  $P$  值是在 1 000 次重复基础上得到的。IndVal 取值范围为 0 ~ 1, 以  $IndVal \geq 0.7$  作为标准确定指示种 (Andersen, 2001)。

## 2 结果与分析

### 2.1 蚂蚁物种组成及常见种分析

共采集枯落物层蚂蚁标本 1 575 头, 隶属 5 个

亚科 37 个属 72 种; 其中在样地 I 中采集蚂蚁标本共 83 头, 隶属 4 亚科 18 属 27 种; 在样地 II 中采集蚂蚁标本共 128 头, 隶属 4 亚科 23 属 26 种; 在样地 III 中采集蚂蚁标本共 999 头, 隶属 5 亚科 24 属 44 种; 在样地 IV 中采集蚂蚁标本共 365 头, 隶属 5 亚科 18 属 23 种。在天然次生林枯落物层中物种数较多的属为: 厚结猛蚁属 *Pachycondyla* 6 种、姬猛蚁属 *Hypoconera* 4 种、大头蚁属 *Pheidole* 4 种, 在橡胶林中为: 大头蚁属 8 种。各样地枯落物层蚂蚁种类及多度见表 2。

不同类型样地枯落物蚂蚁的常见种组成有差异, 天然次生林中常见种为 4 种, 橡胶林中为 3 种 (表 3)。黄足厚结猛蚁 *P. luteipes* 和邻姬猛蚁 *H. confinis* 是 4 个样地中共有的常见种, 天然次生林 (III) 枯落物层中黄足厚结猛蚁多度 (转换后) 高于橡胶林 (I 和 II) (图 1: A), 天然次生林 (IV) 枯落物层中邻姬猛蚁多度 (转换后) 高于橡胶林 (I) (图 1: B)。

### 2.2 枯落物层蚂蚁多样性比较

不同植被类型样地枯落物层蚂蚁多样性差异较大, 其中物种丰富度  $S$  值和多度 (转换后) 在不同样地间有极显著差异 ( $F_{(3,12)} = 60.357, P < 0.001$ ;  $F_{(3,12)} = 27.376, P < 0.001$ ), ACE 在不同样地间有显著差异 ( $F_{(3,12)} = 5.256, P = 0.027$ )。多重比较结果显示, 天然次生林 III 枯落物层蚂蚁转换后多度 ( $P < 0.01$ )、物种丰富度  $S$  值 ( $P < 0.01$ ) 以及 ACE 估计值 ( $P < 0.05$ ) 都显著高于橡胶林 (I 和 II); 天然次生林 IV 枯落物层蚂蚁仅转换后多度 ( $P < 0.01$ ) 显著高于橡胶林 (I 和 II) (表 4)。

### 2.3 蚂蚁物种多样性与枯落物特征值相关性分析

枯落物层蚂蚁多样性与枯落物厚度呈显著正相关。其中枯落物厚度与蚂蚁多度呈极显著正相关 (Pearson  $r = 0.357, P = 0.005$ ), 与物种丰富度呈显著相关性 (Pearson  $r = 0.265, P = 0.041$ )。而枯落物盖度仅与蚂蚁多度有相关性 (Pearson  $r = 0.280, P = 0.030$ ) (表 5)。

### 2.4 群落结构相似性

不同植被类型样地枯落物层蚂蚁群落结构差异较大, 橡胶林 (样地 I 和样地 II) 群落结构相似, 但天然次生林的 (样地 III 和样地 IV) 群落结构不相似 (图 2)。总体上, 橡胶林 (I 和 II) 和天然次生林 (III 和 IV) 蚂蚁群落结构存在极显著差异 (perMANOVA 分析,  $F = 3.93, df = 3, P < 0.01$ )。

表 2 各样地蚂蚁群落组成  
Table 2 Composition of ant communities in different sampling plots

亚科 Subfamily	物种 Species	转换后多度 Transformed abundance			
		I	II	III	IV
猛蚁亚科 Ponerinae	争吵大齿猛蚁 <i>Odontomachus rixosus</i> Smith	1(1)	1(1)	-	-
	小眼钩猛蚁 <i>Anochetus subcoecus</i> Forel	-	-	-	1(1)
	格拉夫钩猛蚁 <i>A. graeffei</i> Mayr	-	1(1)	-	-
	云南钩猛蚁 <i>A. yunnanensis</i> Wang	1(1)	-	-	-
	钩猛蚁 sp. 1 <i>Anochetus</i> sp. 1	-	-	2(2)	-
	双色曲颊猛蚁 <i>Gnamptogenys bicolor</i> (Emery)	-	1(1)	3(3)	-
	黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	6(7)	10(11)	39(59)	24(35)
	红足厚结猛蚁 <i>P. rufipes</i> (Jerdon)	-	-	1(1)	-
	列氏厚结猛蚁 <i>P. leeuwenhoekii</i> (Forel)	-	-	6(6)	3(3)
	安南厚结猛蚁 <i>P. annamita</i> (Andre)	-	-	1(1)	-
	邵氏厚结猛蚁 <i>P. sauteri</i> Forel	-	-	2(2)	1(1)
	郑氏厚结猛蚁 <i>P. zhengi</i> Xu	-	-	-	1(1)
	黑色埃猛蚁 <i>Emeryopone melaina</i> Xu	-	1(1)	-	-
	巴卡猛蚁 <i>Ponera baka</i> Xu	-	-	4(8)	2(4)
	邻姬猛蚁 <i>Hypoponera confinis</i> (Roger)	1(1)	4(4)	17(47)	34(64)
	鲍氏姬猛蚁 <i>H. bondroiti</i> (Forel)	-	-	5(11)	-
	邵氏姬猛蚁 <i>H. sauteri</i> (Forel)	-	-	2(4)	-
	姬猛蚁 sp. 1 <i>Hypoponera</i> sp. 1	-	-	1(1)	-
	横纹齿猛蚁 <i>Odontoponera transversa</i> (Smith)	-	-	-	2(2)
	伪切叶蚁亚科 Pseudomyrmecinae	缅甸细长蚁 <i>Teraponera birmana</i> (Forel)	-	-	2(2)
切叶蚁亚科 Myrmicinae	立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i> Emery	-	-	-	20(32)
	比罗举腹蚁 <i>C. biroii</i> Mayr	-	-	3(10)	-
	大阪举腹蚁 <i>C. osakensis</i> Forel	-	-	24(74)	-
	刘氏隆头蚁 <i>Strumigenys lewisi</i> Cameron	-	2(2)	3(3)	16(65)
	鳞毛蚁 sp. 1 <i>Trichoscapa</i> sp. 1	-	-	1(1)	-
	暗首棒角蚁 <i>Rhopalomastix umbracapita</i> Xu	-	-	2(2)	-
	全异巨首蚁 <i>Pheidologeton diversus</i> (Jerdon)	-	-	16(318)	-
	邻巨首蚁 <i>P. affinis</i> (Jerdon)	8(14)	2(4)	22(217)	-
	光滑盾胸蚁 <i>Meranoplus laeiventris</i> Emery	-	-	2(2)	-
	短刺棱胸蚁 <i>Pristomyrmex brevispinosus</i> Emery	1(1)	-	-	-
	双针棱胸蚁 <i>P. pungens</i> Mayr	-	2(3)	-	-
	女娲角腹蚁 <i>Recurvidris nuwa</i> Xu et Zheng	-	3(3)	7(15)	3(7)
	法老小家蚁 <i>Monomorium pharaonis</i> (Linnaeus)	-	8(11)	6(8)	3(3)
	海南小家蚁 <i>M. hainanensis</i> Wu et Wang	-	-	1(1)	-
	中华小家蚁 <i>M. chinensis</i> Santschi	-	-	1(1)	-
	罗氏棒切叶蚁 <i>Rhoptromyrmex wroughtonii</i> Forel	-	12(31)	7(22)	-
	英格来铺道蚁 <i>Tetramorium ingleyi</i> Forel	-	-	1(1)	-
	拉帕铺道蚁 <i>T. laparum</i> Bolton	-	-	2(2)	5(11)
	楔结铺道蚁 <i>T. cuneinode</i> Bolton	-	-	6(8)	-

续表 2 Table 2 continued

亚科 Subfamily	物种 Species	转换后多度 Transformed abundance			
		I	II	III	IV
	毛发铺道蚁 <i>T. ciliatum</i> Bolton	-	-	31(52)	48(116)
	克氏铺道蚁 <i>T. kraepelini</i> Forel	-	-	3(3)	-
	伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i> Forel	-	4(4)	12(22)	-
	菱结大头蚁 <i>P. nodus</i> Smith	2(2)	3(4)	1(1)	-
	印度大头蚁 <i>P. indica</i> Mayr	1(1)	-	-	-
	多齿大头蚁 <i>P. multidentis</i> Forel	1(1)	-	-	-
	长节大头蚁 <i>P. fervens</i> Smith	1(1)	-	-	-
	沃森大头蚁 <i>P. watsoni</i> Forel	2(2)	6(6)	12(30)	-
	皮氏大头蚁 <i>P. pieli</i> Santschi	6(6)	-	5(8)	-
	大头蚁 sp. 1 <i>Pheidole</i> sp. 1	2(2)	-	-	-
	罗氏心结蚁 <i>Cardiocondyla wroughtonii</i> (Forel)	-	3(3)	-	-
	裸心结蚁 <i>C. nuda</i> (Mayr)	1(1)	-	-	-
	贾氏火蚁 <i>Strumigenys jacoti</i> Wheeler	2(2)	2(2)	1(1)	6(8)
	疏毛无刺蚁 <i>Kartidris sparsipila</i> Xu	1(1)	-	-	-
	费氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster feae</i> (Emery)	4(6)	-	-	-
	舒尔盘腹蚁 <i>A. schurri</i> Forel	3(6)	-	3(3)	3(3)
臭蚁亚科 Dolichoderinae	白足狡臭蚁 <i>Technomyrmex albipes</i> (Smith)	1(1)	1(1)	1(1)	-
	二色狡臭蚁 <i>T. bicolor</i> Emery	6(10)	3(3)	-	-
	黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius)	1(1)	5(5)	5(11)	1(1)
	印度酸臭蚁 <i>T. indicum</i> Forel	-	-	2(3)	-
	黑可可臭蚁 <i>Dolichoderus thoracicus</i> (Smith)	-	1(1)	1(1)	-
蚁亚科 Formicinae	江西尖尾蚁 <i>Acropyga jiangxiensis</i> Wang et Wu	-	-	4(6)	-
	网纹刺结蚁 <i>Lepisiota reticulate</i> Xu	-	-	1(1)	-
	长足光结蚁 <i>Anoplolepis gracilipes</i> (Smith)	-	8(10)	-	-
	宾氏长齿蚁 <i>Myrmoteras binghamii</i> Forel	-	-	-	1(1)
	普通拟毛蚁 <i>Pseudolasius familiaris</i> (Smith)	1(1)	-	9(24)	2(2)
	长角立毛蚁 <i>Paratrechina longicornis</i> Latreille	3(4)	-	-	-
	亮立毛蚁 <i>P. vividula</i> (Nylander)	2(2)	4(7)	-	-
	黄猿蚁 <i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius)	4(4)	2(2)	-	1(1)
	哈氏多刺蚁 <i>Polyrhachis halidayi</i> Emery	1(1)	-	-	-
	邻居多刺蚁 <i>P. proxima</i> Roger	-	1(1)	-	-
	巴瑞弓背蚁 <i>Camponotus parius</i> Emery	-	-	-	1(1)
	平和弓背蚁 <i>C. mitis</i> Smith	3(3)	3(6)	-	2(2)

I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. 表中括号外数据为样地内所有 Winkler 袋中各蚂蚁物种转换后的多度之和; 括号内数据为样地内所有 Winkler 袋中各蚂蚁物种转换后的多度之和。Data outside the brackets are the sum of ant abundance (6-score transformed) in all samples, which those in brackets are the sum of ant abundance (untransformed) in all samples.

表 3 不同样地枯落物层蚂蚁常见物种  
Table 3 Common species of leaf-litter ant in different sampling plots

常见种 Common species	转换后的相对多度 Transformed relative abundance (%)			
	I	II	III	IV
黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	L	10.7	13.9	13.3
邻姬猛蚁 <i>Hypoponera confinis</i> (Roger)	L	L	L	11
立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i> Emery	-	-	-	18.8
邻巨首蚁 <i>Pheidologeton affinis</i> (Jerdon)	12.1	L	L	-
罗氏棒切叶蚁 <i>Rhoptromyrmex wroughtonii</i> Forel	-	12.9	L	-
毛发铺道蚁 <i>Tetramorium ciliatum</i> Bolton	-	-	11.1	26.5

I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. L: <10%; -: 无 None. 数字为6级计分制转换后的各物种的相对多度(转换后各物种多度占样地内所有物种多度的百分比)。Data are the transformed relative abundance (percentage of the transformed abundance relative to the total abundance of all species).

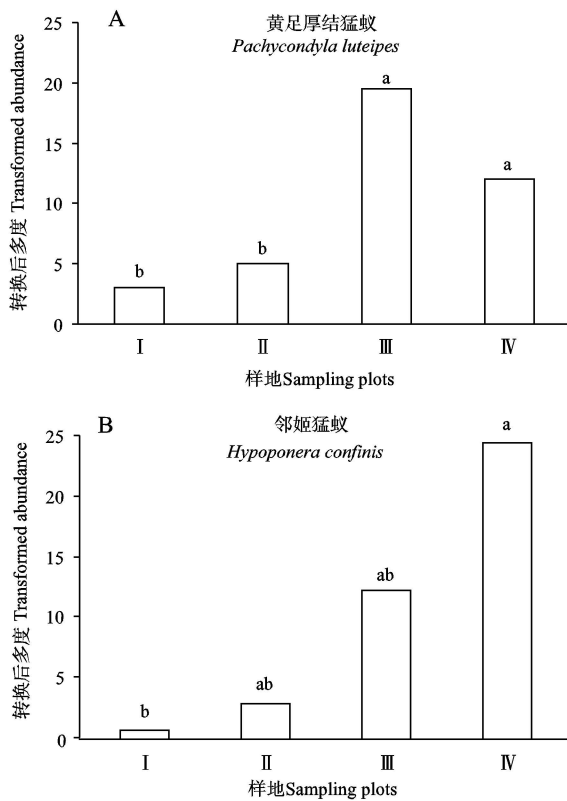


图 1 各样地枯落物层蚂蚁两种共有的常见种黄足厚结猛蚁(A)和邻姬猛蚁(B)多度(转换后)比较

Fig. 1 Comparisons of abundance (transformed) of the shared common species of leaf-litter ants *Pachycondyla luteipes* (A) and *Hypoponera confinis* (B) in different sampling plots I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. 图中多度为各样地分组后的6分制转换后物种多度均值。柱上不同字母表示样地间差异显著(One-way ANOVA, LSD 检验,  $P=0.05$ )。The abundance in the figure is the mean abundance of each group (6-score transformed). Significant difference is defined at the 0.05 level by different letters above bars (One-way ANOVA, LSD test,  $P=0.05$ ).

表 4 枯落物层蚂蚁多样性多重比较  
Table 4 Multiple comparison of diversity of leaf-litter ant communities

样地 Sampling plots	转换后多度 Transformed abundance	物种丰富度 S 值 Species richness S	ACE
I	22.00 ± 3.79 c	12.67 ± 1.76 b	18.33 ± 4.46 b
II	31.00 ± 4.58 c	15.00 ± 0.00 b	20.05 ± 1.08 b
III	93.33 ± 4.33 a	25.33 ± 0.88 a	28.79 ± 2.28 a
IV	60.33 ± 3.84 b	13.00 ± 1.15 b	14.94 ± 0.53 b

I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. 表中多度为分组后转换后的多度均值; 同列数据(平均值 ± SE)后不同字母表示在  $P=0.05$  水平上差异显著(One-way ANOVA, LSD 检验)。The abundance in the figure is the mean abundance of each group (6-score transformed). Data (mean ± SE) in the same column with different letters are significantly different at the 0.05 level (One-way ANOVA, LSD test).

表 5 蚂蚁多样性与枯落物特征值的相关分析  
Table 5 Correlation analysis between leaf-litter ant diversity and characteristics of litter

	枯落物盖度 Leaf litter coverage	枯落物厚度 Leaf litter thickness
转换后多度 Transformed abundance	0.280 *	0.357 **
丰富度 Richness	0.224	0.265 *

表中数值为 Pearson 相关系数; 双星号表示在 0.01 水平上显著相关, 星号表示在  $P=0.05$  水平上显著相关。The numbers in table are the Pearson correlation coefficient. The double asterisks represent significant correlation at the 0.01 level, while the asterisk represents significant correlation at the 0.05 level.

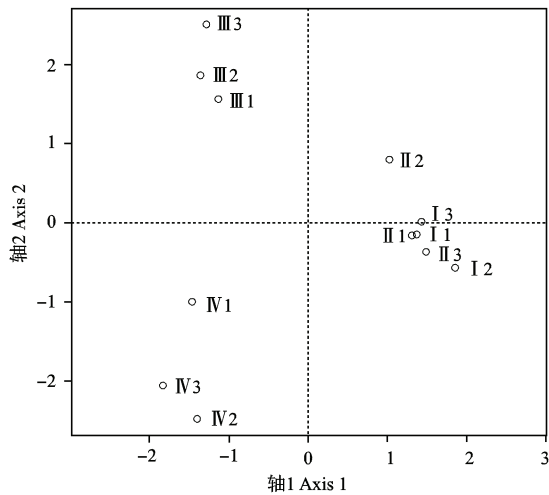


图 2 枯落物层蚂蚁主坐标(PCoA)分析

Fig. 2 PCoA analysis of leaf-litter ant communities

I, II: 橡胶林 Rubber plantation; III, IV: 天然次生林 Secondary natural forest. Axis 1 解释量为 44.3%, Axis 2 解释量 22.1%. Proportion explained of Axis 1 is 44.3%, while that of Axis 2 is 22.1%.

## 2.5 指示种分析

橡胶林枯落物层中蚂蚁指示种仅为菱结大头蚁 *P. nodus* 1 种, 天然次生林枯落物层中蚂蚁指示种有 3 种, 分别为刘氏隆头蚁 *Strumigenys lewisi*、黄足厚结猛蚁和女娲角腹蚁 *Recurvidris nuwa* (表 6)。

## 3 结论与讨论

土地利用方式的转变会改变蚂蚁群落的多样性和组成 (Dunn, 2000; Chen *et al.*, 2011)。本研究表明确橡胶林枯落物层蚂蚁多度和物种丰富度(表 4)与天然次生林相比, 都有一定程度的降低。其中橡胶林的多度均值比天然次生林样地 III 降低了 71.2%, 比天然次生林样地 IV 降低了 56.0%; 橡胶林的物种丰富度均值比天然次生林样地 III 降低了 45.5%。橡胶林蚂蚁群落结构(图 2)不同于天然次生林。这

表 6 各类型样地枯落物层蚂蚁群落指示种分析

Table 6 Indicator species analysis of leaf-litter ant communities

样地 Sampling plots	物种 Species	IndVal	P
天然次生林 Secondary natural forests	刘氏隆头蚁 <i>Strumigenys lewisi</i> Cameron	0.9048	0.001
	黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	0.7975	0.001
	女娲角腹蚁 <i>Recurvidris nuwa</i> Xu <i>et</i> Zheng	0.7692	0.001
橡胶林 Rubber plantations	菱结大头蚁 <i>Pheidole nodus</i> Smith	0.8333	0.001

计算公式为  $\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij}$ ,  $P$  值是在 1 000 次重复基础上得到的。仅列出具有统计学差异的指示种。Calculation formula is  $\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij}$ , and  $P$  value is based on 1 000 permutations. Only statistically significant indicator species are shown.

一结果可能是由于橡胶林植被单一以及人为干扰造成的。

天然次生林中物种数出现较多的属包括专业捕食者(厚结猛蚁属)、隐蔽物种(姬猛蚁属)和流浪物种(大头蚁属), 而橡胶林仅为流浪物(大头蚁属)。说明天然次生林中蚂蚁种类较多并能在该生境下共存, 这一结果可能是由于天然林的生境异质性较强导致的(Lassau and Hochuli, 2004), 而橡胶林树种单一, 生境异质性低, 导致枯落物层蚂蚁群落组成单一, 即单一树种导致的单一生境消除了天然林某些集团特征(guilds characteristic), 从而改变了蚂蚁群落(Pacheco *et al.*, 2009)。指示种的差异也进一步反映了橡胶林这种单一树种的种植模式对枯落物层蚂蚁群落结构产生了影响(图 2)。本研究中天然次生林枯落物层蚂蚁指示种有 3 种, 包括体型大的黄足厚结猛蚁和体型小的两种蚂蚁(刘氏隆头蚁和女娲角腹蚁; 而橡胶林中指示种仅为体型中

等的菱结大头蚁。有研究表明大头蚁属与环境质量呈显著负相关, 在环境质量下降(树种单一和干扰程度强)的时候它会大量出现并成为垄断物种(Andersen *et al.*, 2002; Bickel and Watanasit, 2005)。说明橡胶林的环境质量低于天然次生林。

国外对蚂蚁枯落物层多样性沿海拔梯度变化的研究表明: 在海拔 30 ~ 2 900 m 的范围, 蚂蚁的多样性随着海拔梯度的升高而降低(Bruehl *et al.*, 1999; Colwell and Lees, 2000; Robertson, 2002)。而本试验结果显示, 位于低海拔的橡胶林(511 ~ 558 m)的蚂蚁的种类和多度都显著低于海拔相对较高的天然次生林(1 190 ~ 1 235 m), 故植被类型对蚂蚁多样性造成了极大的影响。此外, 枯落物厚度和蚂蚁物种丰富度及多度有显著的正相关(表 5), 这和国外的相关研究相一致(Soares and Shoeder, 2001; Theunis *et al.*, 2005)。在枯落物最厚的无干扰天然次生林枯落物层, 生存着最多的



蚂蚁种类和个体数量,而枯落物厚度次之的有干扰天然次生林物种数与橡胶林差异不明显,但个体数却显著高于橡胶林,且物种组成不一样。如此看来,30年生长的橡胶林蚂蚁群落组成虽然与天然次生林不一致,但是经过30年的恢复,枯落物层蚂蚁多样性水平已接近有一定干扰的由多树种组成的天然次生林。究其原因除了橡胶林自身的生态恢复以外,可能还和割胶管理都是沿着同一路线进行,对胶林内的蚂蚁群落扰动不大有关。两个天然次生林间枯落物层蚂蚁群落组成和物种多样性存在差异,一方面是植物群落的差异影响蚂蚁多样性(Philpott *et al.*, 2006);另一方面,外界的干扰会降低蚂蚁的物种多样性(王玉玲, 2008; 朱朝芹等, 2010)。

本研究结果显示,经过30年生长的橡胶林,仍对枯落物层蚂蚁群落结构和多样性具有负面影响。因此,在保障橡胶林一定经济效益的同时,如何对单一树种的橡胶林进行合理树种配置及可持续经营,以保护当地生物多样性是未来值得深入探讨的问题。

**致谢** 感谢西南林业大学林学院徐正会教授帮助核实鉴定蚂蚁标本。

### 参考文献 (References)

- Andersen AN, 1991. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica*, 23, 575–585.
- Andersen AN, 1997. Ants as indicators of ecosystem restoration following mining: a functional group approach. In: Hale P, Lamb D eds. *Conservation outside Nature Reserves*. Centre for Conservation Biology, University of Queensland, Brisbane. 319–325.
- Andersen AN, Hoffmann BD, Müller WJ, Griffiths AD, 2002. Using ants as bioindicators in land management: simplifying assessment of ant community responses. *J. Appl. Ecol.*, 39: 8–17.
- Andersen AN, Ludwig JA, Lowe LM, Rentz DC, 2001. Grasshopper biodiversity and bioindicators in Australian tropical savannas: responses to disturbance in Kakadu National Park. *Austral Ecology*, 26(3): 21–222.
- Bickel TO, Watanasit S, 2005. Diversity of leaf litter ant communities in Ton Nga Chang Wildlife Sanctuary and nearby rubber plantations, Songkhla, southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 27(5): 943–955.
- Buehl CA, Mohamed M, Linsenmair KE, 1999. Altitudinal distribution of leaf litter ants along a transect in primary forests on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 15(3): 265–277.
- Chen QS, Zhong QH, Lin PX, Wang W, Yu SY, 2009. Experiment object randomized grouping by using Excel. *Chinese Journal of Health Statistics*, 26(3): 298–299. [陈青山, 钟倩红, 林佩贤, 王维, 俞守义, 2009. 在 Excel 中完成试验对象的随机化分组. *中国卫生统计*, 26(3): 298–299]
- Chen YQ, Li Q, Chen YL, Lu ZX, Zhou XY, 2011. Ant diversity and bio-indicators in land management of lac insect agroecosystem in Southwestern China. *Biodiversity and Conservation*, 20(13): 3017–3038.
- Colwell RK, 2004. Estimates: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Connecticut, CT. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Colwell RK, Lees DC, 2000. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. *Trends in Ecology & Evolution*, 15(2): 70–76.
- Donoso DA, Johnston MK, Kaspari M, 2010. Trees as templates for tropical litter arthropod diversity. *Oecologia*, 164(1): 201–211.
- Dunn RR, 2000. Isolated trees as foci of diversity in active and fallow fields. *Biological Conservation*, 95(3): 317–321.
- Groc S, Orivel J, Dejean A, Martin JM, Etienne MP, Corbara B, Delabie JHC, 2009. Baseline study of the leaf-litter ant fauna in a French Guianese forest. *Insect Conservation and Diversity*, 2(3): 183–193.
- Hill JG, Summerville KS, Brown RL, 2008. Habitat associations of ant species (Hymenoptera: Formicidae) in a heterogeneous Mississippi landscape. *Environmental Entomology*, 37(2): 453–463.
- Hoffmann BD, 2010. Ecological restoration following the local eradication of an invasive ant in northern Australia. *Biological Invasions*, 12(4): 959–969.
- Hoffmann BD, Andersen AN, 2003. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. *Austral Ecology*, 28(4): 444–464.
- Hoffmann BD, Kay A, 2009. *Pisonia grandis* monocultures limit the spread of an invasive ant – a case of carbohydrate quality? *Biological Invasions*, 11: 1403–1410.
- Ivanov K, Milligan J, Keiper J, 2010. Efficiency of the Winkler method for extracting ants (Hymenoptera: Formicidae) from temperate-forest litter. *Myrmecological News*, 13: 73–79.
- Kaspari M, Majer JD, 2000. Using ants to monitor environmental change. In: Agosti D, Majer JD, Alonso LE, Schultz TR eds. *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington DC. 89–98.
- Lassau SA, Hochuli DF, 2004. Effects of habitat complexity on ant assemblages. *Ecography*, 27: 157–164.
- Li Q, Chen YQ, Xu ZH, 2009. Research methods on ant community. *Chinese Journal of Ecology*, 28: 1862–1870. [李巧, 陈又清, 徐正会, 2009. 蚂蚁群落研究方法. *生态学杂志*, 28(9): 1862–1870]
- Li Q, Tu J, Xiong ZP, Lu ZX, Liu CJ, Zhang W, 2011. A review on bioindication based on arthropods. *Journal of Northwest Forestry University*, 26(4): 155–161. [李巧, 涂璟, 熊忠平, 卢志兴,

- 刘春菊, 张威, 2011. 节肢动物生物指示研究综述. 西北林学院学报, 26(4): 155 - 161]
- McGeoch MA, Van Rensburg BJ, Botes A, 2002. The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 39(4): 661 - 672.
- Nakamura A, Catterall CP, House AP, Kitching RL, Burwell CJ, 2007. The use of ants and other soil and litter arthropods as bio-indicators of the impacts of rainforest clearing and subsequent land use. *Journal of Insect Conservation*, 11(2): 177 - 186.
- Nakamura A, Proctor H, Catterall CP, 2003. Using soil and litter arthropods to assess the state of rainforest restoration. *Ecological Management & Restoration*, 4(S1): S20 - S28.
- Oksanen J, Kindt R, Legendre P, O'Hara B, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H, 2012. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-5. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Pacheco R, Silva RR, Morini MSC, Brandão CR, 2009. A comparison of the leaf-litter ant fauna in a secondary atlantic forest with an adjacent pine plantation in southeastern Brazil. *Neotropical Entomology*, 38(1): 55 - 65.
- Pearce JL, Venier LA, 2006. The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: a review. *Ecological Indicators*, 6(4): 780 - 793.
- Philip A, Philip V, George ES, Punnoose KI, Mathew M, 2003. Leaf litter decomposition and nutrient release in a fifteen year old rubber plantation. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 16(1/2): 81 - 84.
- Philpott SM, Perfecto I, Vandermeer J, 2006. Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. *Biod. Cons.*, 15: 125 - 141.
- R Development Core Team, 2008. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Robertson HG, 2002. Comparison of leaf litter ant communities in woodlands, lowland forests and montane forests of north-eastern Tanzania. *Biodiversity & Conservation*, 11(9): 1637 - 1652.
- Sanders D, van Veen FJ, 2011. Ecosystem engineering and predation: the multi-trophic impact of two ant species. *Journal of Animal Ecology*, 80(3): 569 - 576.
- Soares SM, Schoereder JH, 2001. Ant-nest distribution in a remnant of tropical rainforest in southeastern Brazil. *Insectes Soc.*, 48: 280 - 286.
- Theunis L, Gilbert M, Roisin Y, Leponce M, 2005. Spatial structure of litter-dwelling ant distribution in a subtropical dry forest. *Insectes Soc.*, 52: 366 - 377.
- Underwood EC, Fisher BL, 2006. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biological Conservation*, 132(2): 166 - 182.
- Wang YL, 2008. Survey on species diversity, ants in Zoukou Region, Henan. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 146 - 149. [王玉玲, 2008. 河南周口地区蚂蚁多样性调查. 昆虫知识, 45(1): 146 - 149]
- Wang ZZ, Zhang YM, Li ZW, 2009. Structural characteristics and biodiversity of soil animal community in Huangshan forest systems. *Scientia Silvae Sinicae*, 45(10): 168 - 173. [王振中, 张友梅, 李志武, 2009. 黄山森林生态系统土壤动物群落结构特征及其多样性. 林业科学, 45(10): 168 - 173]
- Watt AD, Stork NE, Bolton B, 2002. The diversity and abundance of ants in relation to forest disturbance and plantation establishment in southern Cameroon. *Journal of Applied Ecology*, 39(1): 18 - 30.
- Wu J, Wang CL, 1995. The Ants of China. China Forestry Press, Beijing. 24 - 182. [吴坚, 王常禄, 1995. 中国蚂蚁. 北京: 中国林业出版社. 24 - 182]
- Xu ZH, 2002. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. 15 - 67. [徐正会, 2002. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究. 昆明: 云南科技出版社. 15 - 67]
- Yang LP, Su HP, 2011. Researches of litter of rubber tree. *Tropical Agricultural Engineering*, 35(4): 40 - 43. [杨丽萍, 苏海鹏, 2011. 橡胶林凋落物研究进展. 热带农业工程, 35(4): 40 - 43]
- Zhou HP, Yan XS, Zhang HD, Zhang LQ, Wei LP, 2012. Species diversity of understorey vegetation in rubber plantations in Xishuangbanna. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 33(8): 1444 - 1449. [周会平, 岩香甩, 张海东, 张丽谦, 魏丽萍, 2012. 西双版纳橡胶林下植被多样性调查研究. 热带作物学报, 33(8): 1444 - 1449]
- Zhu CQ, Chi K, Ye XQ, Zhou H, Liu CM, 2002. Community structure and species diversity of ants in Xuzhou, Jiangsu Province. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 37(2): 7 - 10. [朱朝芹, 池康, 叶雪琴, 周虹, 刘缠民, 2010. 苏北农林生境蚂蚁多样性及群落结构研究. 江苏林业科技, 37(2): 7 - 10]

(责任编辑: 袁德成)