

## 气候低适宜区域橡胶种植模式对蚂蚁多样性的影响

于潇雨, 卢志兴, 李巧, 燕迪, 陈又清

引用本文:

于潇雨, 卢志兴, 李巧, 等. 气候低适宜区域橡胶种植模式对蚂蚁多样性的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(10): 1472–1480.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190062>

---

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 紫胶玉米混农林模式对地表蚂蚁多样性及功能群的影响

Effects of lac–corn agroforest ecosystem on ground–dwelling ant diversity and functional groups

中国生态农业学报. 2016(1): 81–89 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.150564>

### 不同生境对蚂蚁功能群的影响——以云南省绿春县为例

Effects of habitat on ant functional groups: A case study of Lü chun County, Yunnan Province, China

中国生态农业学报. 2016, 24(6): 801–810 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.151209>

### 东北平原典型玉米种植区农业景观植物多样性研究——以昌图县为例

The plant diversity of agro–landscapes in typical maize planting areas in the Northeast Plain, China— A case study of Changtu County

中国生态农业学报. 2018, 26(4): 480–492 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170955>

### 有机管理对不同农田生境草本植物 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 多样性的影响

Effects of organic management on the diversity of  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  of herbaceous plants in different agricultural habitats

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(11): 1617–1625 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190549>

### 稻虾共作对稻田土壤nirK反硝化微生物群落结构和多样性的影响

Effects of integrated rice–crayfish farming system on community structure and diversity of nirK denitrification microbe in paddy soils

中国生态农业学报. 2018, 26(9): 1324–1332 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.171165>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190062

于潇雨, 卢志兴, 李巧, 燕迪, 陈又清. 气候低适宜区域橡胶种植模式对蚂蚁多样性的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1472-1480

YU X Y, LU Z X, LI Q, YAN D, CHEN Y Q. Effects of rubber planting patterns on ant diversity in low climate suitable area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1472-1480

## 气候低适宜区域橡胶种植模式对蚂蚁多样性的影响\*

于潇雨<sup>1</sup>, 卢志兴<sup>2</sup>, 李巧<sup>1\*\*</sup>, 燕迪<sup>1</sup>, 陈又清<sup>2\*\*</sup>

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

**摘要:** 为了揭示中、低适宜区域橡胶种植地的生物多样性状况, 及选择有益于保护生物多样性的种植模式, 使用陷阱法于2015年9月和2016年8月调查了钝叶黄檀-玉米地(对照)、橡胶纯林(II)、橡胶-茶树混农林(III)、橡胶-咖啡混农林(IV)中地表层和树冠层蚂蚁物种多样性、群落结构差异及指示物种, 以研究不同类型种植模式间蚂蚁群落间的差异。结果表明: 4种类型样地中, 地表层蚂蚁中多度、物种丰富度、ACE值均存在显著差异( $P < 0.05$ ), 大小排序为橡胶-茶树混农林>橡胶纯林>钝叶黄檀-玉米地>橡胶-咖啡混农林; 树冠层蚂蚁群落多度存在显著差异( $P < 0.05$ ), 大小排序为橡胶纯林>橡胶-茶树混农林>橡胶-咖啡混农林>钝叶黄檀-玉米地, 物种丰富度和ACE值不存在显著差异( $P > 0.05$ )。地表层和树冠层蚂蚁群落结构样地类型间均存在极显著差异( $P < 0.01$ ), 其中橡胶-茶树混农林的蚂蚁群落结构与其余样地存在较高的相似性。4种类型样地中均存在1种指示物种, 钝叶黄檀-玉米地为棒刺大头蚁(*Pheidole spathifera*), 橡胶林为黑头酸臭蚁(*Tapinoma melanocephalum*), 橡胶-茶树混农林为环纹大齿猛蚁(*Odontomachus circulus*), 橡胶-咖啡混农林为缅甸细长蚁(*Tetraponera birmana*)。从本研究来看, 橡胶-茶树混农林是当地橡胶复合农林系统中兼具经济效益, 又能较好保护蚂蚁多样性的种植模式。

**关键词:** 气候低适宜区域; 复合农林生态系统; 橡胶林; 蚂蚁; 物种多样性; 群落结构; 指示物种

**中图分类号:** Q968.1

**文章编号:** 2096-6237(2019)10-1472-09

**开放科学码(资源服务)标识码(OSID):**



## Effects of rubber planting patterns on ant diversity in low climate suitable area\*

YU Xiaoyu<sup>1</sup>, LU Zhixing<sup>2</sup>, LI Qiao<sup>1\*\*</sup>, YAN Di<sup>1</sup>, CHEN Youqing<sup>2\*\*</sup>

(1. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry Sciences, Kunming 650224, China)

**Abstract:** Rubber is a very important economic crop in China, its' cultivation area in the medium to low climate suitable area accounts for about 79.06% of the total area. In recent years, the status of biodiversity in low climate-suitable areas and methods used to choose planting patterns to protect biodiversity in rubber growing area need immediate attention. In order to reveal the differences of ground-dwelling and canopy foraging ant communities in rubber plantations ( ), rubber-tea agroforestry ( ), rubber-coffee agroforestry ( ), and *Dalbergia obtusifolia*-corn agroforestry (control plot, ), species diversity, community structure differences, and indicator species of ant communities were investigated using traps in September 2015 and

\* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2018ZC002)和国家自然科学基金项目(31270561, 31470493)资助

\*\* 通信作者: 李巧, 主要从事昆虫学研究, E-mail: lqfcb@126.com; 陈又清, 主要从事昆虫生态学研究, E-mail: cyqcaf@126.com  
于潇雨, 研究方向为昆虫生态学。E-mail: yxy\_sc@163.com

收稿日期: 2019-03-27 接受日期: 2019-06-04

\* This study was supported by the Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund of China (CAFYBB2018ZC002) and the National Natural Science Foundation of China (31270561, 31470493).

\*\* Corresponding authors: LI Qiao, E-mail: lqfcb@126.com; CHEN Youqing, E-mail: cyqcaf@126.com  
Received Mar. 27, 2019; accepted Jun. 4, 2019

August 2016 in 4 different types of sites. The results were as follows: the abundance, species richness, and ACE index of ground-dwelling ant communities demonstrated significant differences among the 4 types of sites, ranked as  $> > >$  ( $P < 0.05$ ). Moreover, the abundance of canopy foraging ant communities revealed significant differences, ranked as  $> > >$  ( $P < 0.05$ ). However, species richness and ACE index did not exhibit significant differences ( $P > 0.05$ ). The community structure of both the ground-dwelling and canopy foraging ant communities displayed significant differences among the 4 types of sites ( $P < 0.01$ ). The ant community structure of rubber-tea agroforestry had higher similarity with other sites. There was one indicator species in each of the 4 types of sites, such as *Pheidole spathifera* in *Dalbergia obtusifolia*-corn agroforestry, *Tapinoma melanocephalum* in rubber plantations, *Odontomachus circulus* in rubber-tea agroforestry, and *Tetraponera birmana* in rubber-coffee agroforestry. Our results indicate that the rubber-tea agroforestry is a choice that has both economic benefits as well as offers good protection to ant communities in the local rubber plantations. Therefore, it is of interest to conduct further studies on the management of rubber plantation patterns.

**Keywords:** Low climate suitable area; Agroforest ecosystem; Rubber plantation; Ant; Species diversity; Community structure; Indicator species

全球每年扩张的人工林面积为 450 万  $\text{hm}^2$ , 然而这些人工林并非都被种植在了适宜区域<sup>[1]</sup>。我国是橡胶树(*Hevea brasiliensis*)种植大国, 2016 年我国橡胶种植面积达 114 万  $\text{hm}^2$ , 云南省的橡胶种植面积为 56.67 万  $\text{hm}^2$ 。经济和市场因素推动了我国橡胶种植园向气候中、低适宜区扩张, 其中被种植在气候中、低适宜区域的橡胶种植园约占种植总面积的 79.06%<sup>[2]</sup>。对于种植园的扩张, 有两方面的观点: 一方面认为橡胶的种植改善了当地的社会发展和经济状况; 另一方面认为橡胶种植的发展并不意味着橡胶产量的增长, 反而是对生物多样性和环境可持续性的威胁<sup>[3-5]</sup>。但在气候中、低适宜区域还没有相关数据或试验来验证。

在平衡经济发展和生态系统保护的矛盾中, 橡胶复合种植模式被认为是既能在有限的土地上获得较高经济效益, 又能较好地保护生态环境的可持续土地利用方式<sup>[6-7]</sup>。关于橡胶复合农林种植模式的研究更多侧重于提高产量和质量。另外学者们关注了橡胶复合农林对于水<sup>[8]</sup>和土壤理化<sup>[9-11]</sup>的影响。在橡胶复合农林对于生物多样性的影响方面, 已有相关学者在气候高适宜区对土壤动物、线虫、蜘蛛(Araneae)和白蚁(Isoptera: Termitidae)的多样性进行的研究和探讨<sup>[12-15]</sup>, 发现橡胶单一种植会对生物群落和结构产生负面影响, 复合农林系统对恢复和保护物种多样性具有重要意义。总之, 气候高适宜区橡胶复合农林系统不管是对环境的可持续性还是对生物多样性保护都有较高的生态效益。但在中、低适宜区域, 两方面的研究均较少。因此, 在气候中、低适宜区的橡胶种植园中开展其对生物多样性的影响十分必要。

昆虫作为地球上种类丰富、生物量庞大且多样性高的生物类群, 在生态系统功能中发挥着重要作

用, 生态系统健康状况与其种群数量和行为的变化密切相关<sup>[16-18]</sup>。蚂蚁(Hymenoptera: Formicidae)为膜翅目昆虫, 具有重要的生态系统功能和较高的生物多样性<sup>[19-20]</sup>, 能通过改变土壤的物理化学环境来影响植物、微生物和土壤生物<sup>[21]</sup>, 且由于其多度、丰富度高, 对环境变化和干扰敏感, 易于采集而被广泛作为生物指示物<sup>[22-25]</sup>。使用蚂蚁作为指示物种能较好地反映土壤管理状况<sup>[26]</sup>, 也被用于栖息地恢复的研究<sup>[27]</sup>。同时通过监测蚂蚁的物种丰富度和群落结构, 可为生物多样性恢复提供度量标准<sup>[28]</sup>。

近年来, 我国橡胶种植向气候中、低适宜区域扩张的趋势十分突出, 在新的区域种植模式也较多, 如何保持经济和生态效益的平衡十分迫切。本研究选择了云南省常见的橡胶种植模式即橡胶纯林、橡胶-茶树(*Camellia sinensis*)混农林和橡胶-咖啡(*Coffea arabica*)混农林, 以当地常见的传统土地类型钝叶黄檀(*Dalbergia obtusifolia*)-玉米(*Zea mays*)地为对照, 调查了样地内地表层和树冠层蚂蚁的物种丰富度、多度、群落结构和指示物种, 探究橡胶在气候低适宜区域种植是否对当地生物多样性造成威胁以及哪一种橡胶种植模式是平衡经济和生态效益的较好选择, 旨在为当地的橡胶种植、管护及生物多样性保护提供管理依据和数据资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于云南省墨江县雅邑乡座细村委会(23°13'56"~23°15'51"N, 101°43'14"~101°45'05"E), 海拔 850~1 130 m。该地区属于橡胶种植气候低适宜区<sup>[2]</sup>, 气候类型属于西南山地季风气候, 年平均气温 21.5 , 年平均降水 1 450 mm, 适宜种植玉米、水稻(*Oryza sativa*)等农作物。

## 1.2 样地设置

选择当地 4 种典型的样地类型, 分别为钝叶黄檀-玉米地( )、橡胶纯林( )、橡胶-茶树混农林( )以及橡胶树-咖啡混农林( )。钝叶黄檀-玉米地是当地较为常见、面积最多的土地利用类型, 钝叶黄檀为常见的紫胶寄主植物, 已有 6 年未放过紫胶虫, 种植密度大约为  $450 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。每年雨季种植玉米, 除草和施肥 1~2 次, 干扰中等, 旱季则撂荒。橡胶纯林为当地新兴起的一种土地利用类型, 橡胶树种植时间为 2008 年左右, 调查时树龄约 7 年左右, 还未进行割胶, 种植前为传统的紫胶-玉米地, 橡胶树株间距 3 m, 行间距 8 m, 样地郁闭度 70%, 林下草本层发达, 每年会使用除草剂除草 1 次, 管理强度低, 干扰程度中等。有农户在橡胶林下种植茶树和咖啡树, 形成橡胶-茶树混农林和橡胶-咖啡混农林系统, 所选取的混农林系统中橡胶树的种植年份、胸径、树高、株间距、行间距及郁闭度等与橡胶树纯林基本一致。橡胶-茶树混农林中茶树树龄 5 年以上, 茶树高约 1 m, 种植在橡胶树行间距间, 树株间距 1 m, 行间距 2 m, 在收获季节农户每周均有采茶活动, 不打化学杀虫剂, 每年修剪 1 次, 样地郁闭度 75%, 林下草本层发达, 管理和干扰强度较低; 橡胶-咖啡混农林中咖啡树间种在橡胶树的每 2 行间, 树龄 4~5 年, 树高 2 m 左右, 株距 1 m, 每年施化肥两次, 不定期进行害虫的化学防治和除草, 林下草本层不发达, 管理强度最大。

每种类型选择 2 个调查样地, 每块样地面积大于  $0.5 \text{ hm}^2$ , 相同类型样地间距 1 km 以上, 所选取的样地均为南坡, 坡度和土壤条件基本一致。为减少边缘效应, 均选取远离道路及其他栖境至少  $50 \text{ m}$ <sup>[29]</sup>。

## 1.3 调查方法

云南的雨季, 降雨量充分, 食物充沛, 在此季节调查蚂蚁多样性具有代表性。试验选择 2015 年 9 月和 2016 年 8 月, 使用陷阱法对地表层和树冠层蚂蚁开展了 2 次调查, 每次调查时间持续 7~10 d, 调查时避开雨天。具体方法: 每个样地设置 2 条样带, 样带间距大于 50 m。在每个样带上设置 10 个地表陷阱, 间距 10 m, 使用 50 mL 乙二醇(50%)作为诱剂。同时在样带上地表陷阱附近选择 10 株乔木, 至少间距 10 m, 将树栖蚂蚁诱集陷阱固定在树干上, 离地 1.5 m, 使用 50%的乙二醇作为陷阱溶液。在陷阱中使用支架放置诱饵, 诱饵为蜂蜜和金枪鱼的混合物, 支架下端立于陷阱瓶中央, 蚂蚁无法接触

诱饵<sup>[30]</sup>。陷阱放置 48 h 后, 收集装置中的蚂蚁标本于装有 70%的乙醇离心管中保存。将采集到的标本带回实验室, 参考相关文献及网站将蚂蚁鉴定到种<sup>[19,31]</sup>并统计数量, 无法鉴定到种的以形态种对待<sup>[32]</sup>。

## 1.4 分析方法

将地表层和树冠层蚂蚁数据分开, 两次调查的数据合并, 因部分种类蚂蚁样本量较大, 为防止被大量计数, 采用 6 级计分制对蚂蚁多度进行了数据转换(1=1 头; 2=2~5 头; 3=6~10 头; 4=11~20 头; 5=21~50 头;  $6 \geq 50$  头)<sup>[33-34]</sup>。

1) 抽样充分性: 使用 R 语言 iNEXT 软件包绘制基于个体数的物种稀疏及预测曲线<sup>[35]</sup>。

2) 多样性比较: 以样带为重复, 即 1 块样地以 10 个陷阱为 1 组, 每块样地有 4 个重复。根据蚂蚁物种丰富度及(6 级计分制转换后)多度使用 Estimate S 计算 ACE 估计值。使用 PASW Statistics 18 软件使用单因素方差分析中的 LSD 对 4 个类型样地蚂蚁物种丰富度(多度 6 级计分制转换后)及 ACE 估计值进行多重比较并进行方差齐性检验<sup>[36]</sup>。

3) 群落结构相似性: 使用 PRIMER v7 中的非度量多维尺度分析(non-metric multi-dimensional scaling, nMDS)分析 4 种不同类型样地地表层和树冠层蚂蚁群落差异。重点关注不同类型样地蚂蚁群落在物种组成上的差异, 将不同物种的多度(6 级计分制转换后)进行有或无转换。使用群落结构相似性计算地表层和树冠层蚂蚁群落结构差异的显著性。同时, 使用层次聚类分析(hierarchical cluster analysis)对不同类型样地蚂蚁群落中 60%相似水平的样地以圆圈的方式叠加到 nMDS 结果图中<sup>[30]</sup>。

4) 指示物种分析: 使用 R 语言中的 indicpecies 软件包计算各样地物种的 IndVal 值<sup>[30]</sup>。以 IndVal 值  $\geq 0.7$  作为确定指示物种的标准<sup>[29]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 抽样充分性

由 4 种类型样地的地表层和树冠层蚂蚁群落的基于个体数物种稀疏及预测曲线(图 1)。4 条累积曲线的实线部分代表实际个体数和物种数, 虚线部分代表个体数和物种数的估计值, 当虚线部分趋于平缓时, 说明抽样充分。由图 1 可知, 两个图中的 4 条曲线上升一段距离后, 虚线部分均趋于平缓, 表明 4 种类型样地地表层和树冠层蚂蚁群落抽样充分。

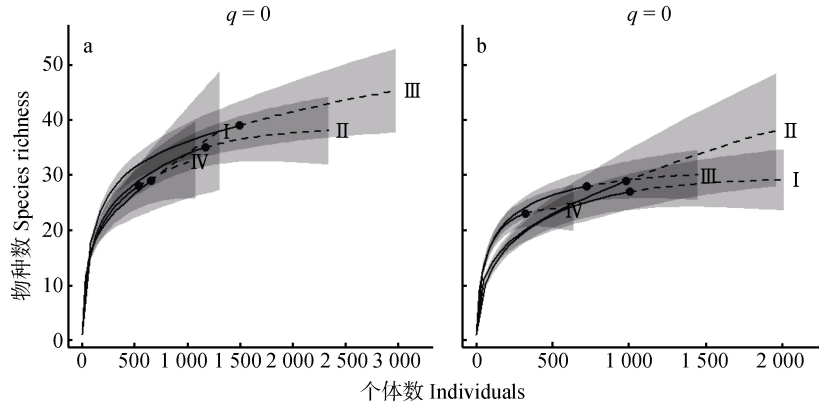


图 1 橡胶不同种植模式样地地表层(a)和树冠层(b)基于个体数的物种稀疏及预测曲线

Fig. 1 Rare species number and extrapolation curves of ground-dwelling (a) and canopy foraging (b) ant communities based on individuals number in sites of different rubber planting patterns  
为钝叶黄檀-玉米地, 为橡胶纯林, 为橡胶-茶树混农林, 为橡胶-咖啡混农林。 : *Dalbergia obtusifolia*-corn agroforestry; : rubber-plantation; : rubber-tea agroforestry; : rubber-coffee agroforestry.

2.2 物种丰富度及多度

共采集蚂蚁标本 7 864 头, 隶属于 6 亚科 33 属 67 种。地表层蚂蚁标本 4 549 头, 隶属于 6 亚科 31 属 54 种。其中样地 共采集蚂蚁标本 742 头, 隶属于 5 亚科 17 属 29 种; 样地 共采集蚂蚁标本 1 381 头, 隶属于 5 亚科 22 属 35 种; 样地 共采集蚂蚁标本 1 715 头, 隶属于 5 亚科 22 属 39 种; 样地 共采集蚂蚁标本

711 头, 隶属于 5 亚科 18 属 28 种。树冠层蚂蚁标本 3 315 头, 隶属于 4 亚科 24 属 49 种。其中样地 共采集蚂蚁标本 1 005 头, 隶属于 6 亚科 18 属 27 种; 样地 共采集蚂蚁标本 1 174 头, 隶属于 6 亚科 15 属 29 种; 样地 共采集蚂蚁标本 804 头, 隶属于 6 亚科 17 属 29 种; 样地 共采集蚂蚁标本 322 头, 隶属于 6 亚科 13 属 23 种。各样地蚂蚁物种及多度见表 1。

表 1 橡胶不同种植模式样地蚂蚁物种名录和多度以及 6 级评分转换后多度

Table 1 Species list, abundance and the abundance converted by six-level score of ant communities in sites of different rubber planting patterns

亚科 Subfamily	物种名 Species	钝叶黄檀-玉米地 <i>Dalbergia obtusifolia</i> -corn agroforestry	橡胶纯林 Rubber plantation	橡胶-茶树混农林 Rubber-tea agroforestry	橡胶-咖啡混农林 Rubber-coffee agroforestry
猛蚁亚科 Ponerinae	环纹大齿猛蚁 <i>Odontomachus circulus</i>	31(26)	21(18)	113(62)	19(16)
	格拉夫钩猛蚁 <i>Anochetus graeffei</i>	—	3(3)	—	21(14)
	双色曲颊猛蚁 <i>Gnamptogenys bicolor</i>	6(6)	27(21)	—	—
	黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i>	10(10)	15(13)	12(12)	8(7)
	红足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla rufipes</i>	19(19)	11(9)	1(1)	1(1)
	爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i>	31(25)	34(28)	26(21)	20(15)
	猎镰猛蚁 <i>Harpegnathos venator</i>	—	1(1)	1(1)	1(1)
	勃氏细颚猛蚁 <i>Leptogenys peuqueti</i>	1(1)	16(6)	—	26(8)
	横纹齿猛蚁 <i>Odontoponera transversa</i>	286(143)	401(174)	396(173)	176(100)
盲蚁亚科 Aenictinae	锡兰盲蚁 <i>Aenictus ceylonicus</i>	2(2)	—	—	—
	盲蚁 <i>Aenictus</i> sp.	1(1)	—	—	—
伪切叶蚁亚科 Pseudomyrmecinae	黑细长蚁 <i>Tetraponera nigra</i>	3(3)	24(15)	47(35)	5(5)
	缅甸细长蚁 <i>Tetraponera birmana</i>	—	3(3)	7(4)	73(32)
切叶蚁亚科 Myrmicinae	粒沟切叶蚁 <i>Cataulacus granulatus</i>	1(1)	—	2(2)	—
	罗思尼举腹蚁 <i>Crematogaster rothneyi</i>	15(11)	—	37(21)	—
	立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i>	2(2)	22(20)	46(36)	71(36)
	上海举腹蚁 <i>Crematogaster zoceensis</i>	—	14(11)	1(1)	4(4)
	比罗举腹蚁 <i>Crematogaster biroii</i>	4(2)	—	—	—
	大阪举腹蚁 <i>Crematogaster osakensis</i>	7(6)	164(31)	—	—

续表 1

亚科 Subfamily	物种名 Species	钝叶黄檀-玉米地 <i>Dalbergia obtusifolia</i> -corn agroforestry	橡胶纯林 Rubber plantation	橡胶-茶树混农林 Rubber-tea agroforestry	橡胶-咖啡混农林 Rubber-coffee agroforestry
	举腹蚁 <i>Crematogaster</i> sp.	—	61(6)	—	—
	刘氏隆头蚁 <i>Strumigenys lewis</i>	—	2(2)	3(3)	—
	邻巨首蚁 <i>Pheidologeton affinis</i>	639(20)	264(41)	232(49)	37(17)
	女娲角腹蚁 <i>Recurvidris nuwa</i>	—	—	1(1)	—
	法老小家蚁 <i>Monomorium pharaonis</i>	7(3)	2(2)	75(19)	7(6)
	东方小家蚁 <i>Monomorium orientale</i>	—	—	—	1(1)
	中华小家蚁 <i>Monomorium chinensis</i>	128(51)	411(61)	295(37)	123(24)
	棘扁胸蚁 <i>Vollenhovia acanthina</i>	—	2(2)	—	—
	史氏铺道蚁 <i>Tetramorium smithi</i>	2(2)	8(8)	8(7)	—
	光颚铺道蚁 <i>Tetramorium insolens</i>	1(1)	1(1)	—	—
	铺道蚁 <i>Tetramorium</i> sp.	—	3(3)	—	—
	罗氏铺道蚁 <i>Tetramorium wroughtoni</i>	6(4)	—	26(5)	—
	台湾切叶蚁 <i>myrmecina taiwanan</i>	—	—	—	1(1)
	棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i>	110(60)	11(9)	32(25)	—
	卡泼林大头蚁 <i>Pheidole capellini</i>	53(20)	407(94)	275(61)	37(13)
	伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i>	31(18)	98(19)	108(23)	5(4)
	菱结大头蚁 <i>Pheidole noda</i>	1(1)	24(11)	52(22)	3(2)
	印度大头蚁 <i>Pheidole indica</i>	1(1)	—	—	—
	沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i>	12(9)	35(5)	7(4)	—
	皮氏大头蚁 <i>Pheidole pieli</i>	8(8)	41(26)	36(27)	22(13)
	大头蚁 <i>Pheidole</i> sp.	113(59)	69(34)	272(79)	221(77)
	宽结大头蚁 <i>Pheidole nodus</i>	—	—	—	4(2)
	费氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster feae</i>	—	—	2(2)	—
	舒尔盘腹蚁 <i>Aphaenogaster schurri</i>	—	—	1(1)	—
臭蚁亚科 Dolichoderinae	狡臭蚁 <i>Technomyrmex</i> sp.	7(4)	—	—	2(2)
	吉氏酸臭蚁 <i>Tapinoma geei</i>	1(1)	—	1(1)	—
	黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i>	101(36)	166(78)	38(30)	—
	费氏臭蚁 <i>Dolichoderus feae</i>	—	—	—	2(2)
	鳞结臭蚁 <i>Dolichoderus squamanodus</i>	53(20)	3(3)	12(10)	9(6)
	黑可可臭蚁 <i>Dolichoderus thoracicus</i>	23(15)	9(9)	20(10)	19(10)
	邻臭蚁 <i>Dolichoderus affinis</i>	—	—	—	2(2)
蚁亚科 Formicinae	开普刺结蚁 <i>Lepisiota capensis</i>	3(3)	12(10)	27(27)	—
	暗淡刺结蚁 <i>Lepisiota opaca</i>	1(1)	7(7)	5(5)	1(1)
	网纹刺结蚁 <i>Lepisiota reticulate</i>	—	1(1)	—	—
	罗思尼斜结蚁 <i>Plagiolepis rothneyi</i>	—	—	11(4)	2(2)
	长足光结蚁 <i>Anoplolepis gracilipes</i>	10(10)	2(2)	8(8)	2(2)
	宾氏长齿蚁 <i>Myrmoteris binghamii</i>	—	—	—	1(1)
	普通拟毛蚁 <i>Pseudolasius familiaris</i>	—	—	11(7)	—
	长角立毛蚁 <i>Paratrechina longicornis</i>	—	—	2(2)	7(6)
	黄足立毛蚁 <i>Paratrechina flavipes</i>	—	10(8)	13(11)	—
	大眼平结蚁 <i>Prenolepis magnocula</i>	1(1)	—	—	—
	黄猄蚁 <i>Oecophylla smaragdina</i>	1(1)	—	33(21)	10(7)
	邻居多刺蚁 <i>Polyrhachis proxima</i>	2(2)	—	—	—
	伊劳多刺蚁 <i>Polyrhachis illaudata</i>	—	1(1)	1(1)	—
	毛钳弓背蚁 <i>Camponotus lasiselene</i>	4(4)	1(1)	4(4)	4(4)
	巴瑞弓背蚁 <i>Camponotus parius</i>	2(2)	80(59)	113(65)	50(43)
	平和弓背蚁 <i>Camponotus mitis</i>	7(7)	68(47)	105(71)	45(38)
	红头弓背蚁 <i>Camponotus singularis</i>	—	—	1(1)	—
	待定种 Pending species	—	—	—	1(1)

括号内为 6 级评分转换后多度。Data in brackets are abundance converted by using the six-level score.

### 2.3 蚂蚁多样性比较

4 种类型样地地表层蚂蚁物种丰富度、多度及 ACE 估计值 [ $F_{(3,12)}=7.043, P=0.005; F_{(3,12)}=5.112, P=0.017; F_{(3,12)}=5.795, P=0.011$ ] 存在显著差异。其中样地 I 的物种丰富度、多度及 ACE 估计值最高, 样地 II 的物种丰富度、多度及 ACE 估计值最低。

4 种类型样地树冠层蚂蚁物种丰富度、多度及 ACE 估计值 [ $F_{(3,12)}=1.564, P=0.249; F_{(3,12)}=7.180, P=0.005; F_{(3,12)}=0.475, P=0.706$ ] 部分有显著差异。其中样地 II 多度最高, 样地 I 多度最低, 物种丰富度和 ACE 估计值无显著差异。具体数值如表 2 所示。

表 2 橡胶不同种植模式样地地表层和树冠层蚂蚁多样性比较

Table 2 Diversity comparison of ground-dwelling and canopy foraging ant communities in sites of different rubber planting patterns

种植模式 Plant pattern	地表层 Ground			树冠层 Canopy		
	物种丰富度 Species richness	多度 Abundance	ACE	物种丰富度 Species richness	多度 Abundance	ACE
钝叶黄檀-玉米地 <i>Dalbergia obtusifolia</i> -corn agroforestry	19.00±1.47bc	109.75±13.74bc	22.56±1.90a	13.50±1.26a	45.75±2.02b	16.50±1.74a
橡胶纯林 Rubber plantation	20.75±1.49ab	140.50±12.39ab	24.18±2.28a	15.00±1.58a	85.25±13.56a	21.38±3.91a
橡胶-茶树混农林 Rubber-tea agroforestry	25.50±1.55a	169.50±16.78a	28.61±1.88a	17.50±1.85a	83.50±5.98a	20.42±2.10a
橡胶-咖啡混农林 Rubber-coffee agroforestry	13.25±2.78c	80.75±22.95c	15.21±3.02b	13.75±1.03a	50.75±4.61b	19.22±3.85a

表中多度为以 6 级评分转化后的值。同列数据(平均值±标准误)后不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。Abundance data are data converted by using the six-level score. Data with different lowercase letters are significantly different at 0.05 level.

### 2.4 群落结构相似性

4 种类型样地地表层蚂蚁群落结构存在显著差异(ANOSIM Global  $R=0.471, P=0.001$ )(图 2a)。其中样地 II 与样地 III 以及样地 I 的地表层蚂蚁群落结构相似, 样地 I 与样地 II 的地表层蚂蚁群落结构相似, 样地 IV 与其他 3 个类型样地地表层蚂蚁群落结构不

相似。

4 种类型样地树冠层蚂蚁群落结构存在显著差异(ANOSIM Global  $R=0.596, P=0.001$ )(图 2b)。其中样地 III 与样地 II 和样地 IV 的树冠层蚂蚁群落结构存在一定程度相似。样地 I 和样地 II 的树冠蚂蚁群落结构与其余 2 个类型样地不相似。

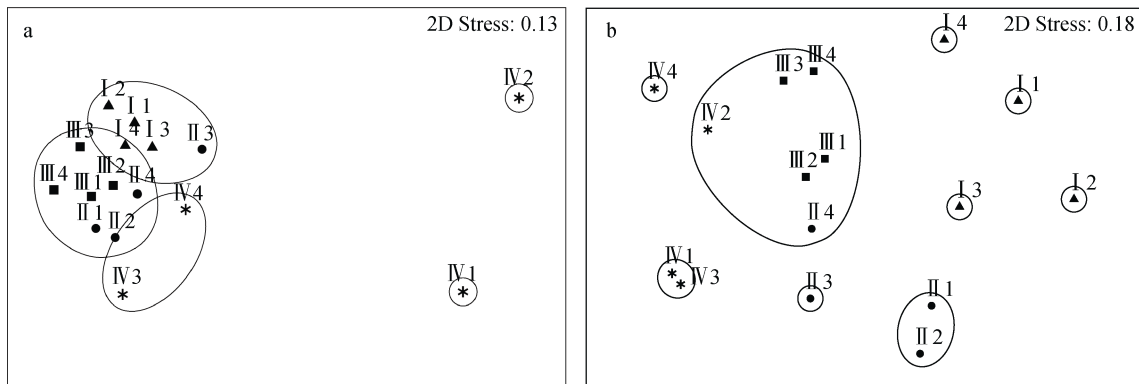


图 2 橡胶不同种植模式样地地表层(a)和树冠层(b)蚂蚁群落结构 NMDS 分析

Fig. 2 Similarity of structures of ground-dwelling (a) and canopy foraging (b) ant communities in sites of different rubber planting patterns

为钝叶黄檀-玉米地, 为橡胶纯林, 为橡胶-茶树混农林, 为橡胶-咖啡混农林; 样地代码后数字为样带编号。图中黑圈表示 60%相似性水平。I: *Dalbergia obtusifolia*-corn agroforestry; II: rubber plantation; III: rubber-tea agroforestry; IV: rubber-coffee agroforestry. The number after the site code is the replicate number. The dark circles represent 60% similarity level.

### 2.5 指示物种

蚂蚁指示物种的不同也反映出了不同类型样地间的生境差异。4 种类型样地蚂蚁指示值(表 3)表明, 棒刺大头蚁(*Pheidole spathifera*)指示了紫胶-玉米地, 环纹大齿猛蚁(*Odontomachus circulus*)指示了橡胶-茶树混农林, 黑头酸臭蚁(*Tapinoma melanocephalum*)指

示了橡胶纯林, 缅甸细长蚁(*Tetraponera birmana*)指示了橡胶-咖啡混农林。

## 3 讨论与结论

多项研究表明人工林向气候中、低适宜区域扩张, 伴随着生物多样性降低的状况<sup>[1,37-39]</sup>。在本研究

表 3 4 种类型样地蚂蚁指示物种  
Table 3 Indicator species of ant in 4 sites of different rubber planting patterns

种植模式 Plant pattern	物种 Species	采集位置 Collected location	IndVal	P
钝叶黄檀-玉米地 <i>Dalbergia obtusifolia</i> -corn agroforestry	棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i>	地表层 Ground	0.766	0.001
橡胶纯林 Rubber plantation	环纹大齿猛蚁 <i>Odontomachus circulus</i>	地表层 Ground	0.720	0.001
橡胶-茶树混农林 Rubber-tea agroforestry	黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i>	树冠层 Canopy	0.724	0.001
橡胶-咖啡混农林 Rubber-coffee agroforestry	缅甸细长蚁 <i>Tetraponera birmana</i>	树冠层 Canopy	0.726	0.001

指示值(IndVal)计算公式:  $IndVal_{ij}=A_{ij} \times B_{ij}$ ,  $A_{ij}$  表示物种  $i$  在样地  $j$  中的特异性,  $B_{ij}$  表示物种  $i$  在样地  $j$  中的保真度。P 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物种。IndVal<sub>ij</sub>= $A_{ij} \times B_{ij}$ , in which  $A_{ij}$  is the proportion of species  $i$  in sample site  $j$ ,  $B_{ij}$  is the proportion of abundance of species  $i$  in sample site  $j$ ; P is based on 1 000 permutations. Only statistically significant indicator species is presented.

中, 低气候适宜区的橡胶纯林虽并未降低当地的蚂蚁多样性, 但在橡胶-咖啡混农林中 ACE 估计值却显著低于钝叶黄檀-玉米地。相较于蚂蚁多样性, 蚂蚁的群落结构更难被改变<sup>[40]</sup>, 但橡胶-咖啡混农林的蚂蚁群落结构与其余 3 种类型的样地呈现出不相似, 表明橡胶-咖啡混农林种植已导致当地的蚂蚁群落形成了较大的改变。进一步说明人工林在向气候中、低适宜区域发展存在改变当地生物群落结构, 降低生物多样性的风险。

但橡胶-茶树混农林则与以上情况相反, 其蚂蚁多样性高于紫胶-玉米地且拥有与橡胶纯林类似的蚂蚁群落结构。由此可以推断, 选择正确的种植模式对生物多样性的保护十分重要。在橡胶种植的气候高适宜区域的研究表明橡胶的单一种植会降低当地的生物多样性<sup>[41-42]</sup>。本研究中的橡胶-茶树混农林的蚂蚁多样性最高, 与前人在橡胶种植气候高适宜区域开展的研究<sup>[12-15]</sup>结论相似。此外, 过度的干扰也会导致橡胶林内生物多样性降低<sup>[12,43-44]</sup>。而蚂蚁正是对环境的干扰极为敏感, 其多样性表现出对农业管理强度强烈的消极反应<sup>[45]</sup>。本研究中橡胶纯林、橡胶-茶树混农林系统较高的多样性, 以及橡胶-咖啡混农林较低多样性也与人为干扰的强度有关。

通过分析生境中蚂蚁群落中每种物种的指示值, 选取能指示环境的指示物种, 可以较好地反映环境的变化<sup>[46]</sup>。相关文献表明大头蚁属(*Pheidole*)的蚂蚁物种与生态环境呈显著负相关, 当环境质量降低的时候会出现多度居高的现象<sup>[47-48]</sup>, 钝叶黄檀-玉米地的人为干扰对于生物多样性保护是不利的, 这与 Lu 等<sup>[49]</sup>对紫胶林的研究结果相似。黑头酸臭蚁是一种喜栖息于稳定环境中的流浪蚁<sup>[26,50]</sup>。橡胶纯林的指示物种为黑头酸臭蚁说明橡胶纯林的环境处于相对稳定的状态, 人为干扰适度。有研究表明, 大齿猛蚁属(*Odontomachus*)栖息在土壤或腐烂的木材中, 喜节肢动物丰富生境<sup>[51-52]</sup>。橡胶树-茶树混农林的生境指

示物种为环纹大齿猛蚁, 可见样地中腐殖层较厚, 节肢动物丰富, 生物多样性高。缅甸细长蚁在树洞里筑巢并取食半翅目昆虫蜜露或捕食节肢动物, 能够适应一定的干扰<sup>[19,53]</sup>。橡胶-咖啡混农林的指示物种为缅甸细长蚁, 与该样地中存在介壳虫危害, 干扰程度中等的情况相符。该研究的发现与前人研究一致<sup>[45,47]</sup>, 蚂蚁作为指示物种能较好反映土地利用模式的变化, 在生态系统修复及退化的评价中具有一定的应用前景。

虽然本研究地处于橡胶种植气候低适宜区域, 但研究结果表明并不是所有的橡胶种植模式都会对当地的蚂蚁多样性产生负面影响, 蚂蚁多样性的保护成效与橡胶种植模式的选择有关。本文结果显示, 橡胶-茶树混农林是当地橡胶复合农林系统中既具备经济效益, 又能较好保护蚂蚁多样性的适宜模式。如何对橡胶-茶树混农林进行可持续经营管理是未来值得探讨的问题。橡胶树的复合农林种植模式还有很多, 因当地研究样地类型有限, 是否有更适宜的橡胶复合农林系统还有待进一步研究。

致谢 感谢赵婧文和付兴飞在野外调查和内业工作给予的帮助与支持。

## 参考文献 References

- [1] CARLE J, VUORINEN P, DEL LUNGO A. Status and trends in global forest plantation development[J]. Forest Products Journal, 2002, 52(7/8): 12-23
- [2] 刘少军, 周广胜, 房世波. 中国橡胶树种植气候适宜性区划[J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2335-2345  
LIU S J, ZHOU G S, FANG S B. Climatic suitability regionalization of rubber plantation in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(12): 2335-2345
- [3] 黄慧德. 2017 年我国天然橡胶将增产[J]. 世界热带农业信息, 2017, (1): 4  
HUANG H D. 2017 China's natural rubber will increase production[J]. World Tropical Agriculture Information, 2017, (1): 4
- [4] KOU W L, DONG J W, XIAO X M, et al. Expansion dynamics of deciduous rubber plantations in Xishuangbanna, China

- during 2000–2010[J]. *Giscience & Remote Sensing*, 2018, 55(6): 905–925
- [5] 吴兆录, 杨正彬. 西双版纳橡胶种植的正负影响和改进途径[J]. *曲靖师范学院学报*, 2001, 20(6): 64–69  
WU Z L, YANG Z B. Rubber cultivation in Xishuangbanna: influences and improving approaches[J]. *Journal of Qujing Normal College*, 2001, 20(6): 64–69
- [6] 汤柔馨, 马友鑫, 莫慧珠, 等. 橡胶林复合种植模式的生态与经济效益评价[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2016, 38(S1): 121–129  
TANG R X, MA Y X, MO H Z, et al. Benefit assessment of rubber ecosystems of various inter-cropping modes[J]. *Journal of Yunnan University: Natural Sciences*, 2016, 38(S1): 121–129
- [7] BHAGWAT S A, WILLIS K J, BIRKS H J B, et al. Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity?[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(5): 261–267
- [8] WU J E, LIU W J, CHEN C F. Below-ground interspecific competition for water in a rubber agroforestry system may enhance water utilization in plants[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 19502
- [9] 祖超, 邹华松, 谭乐和, 等. 橡胶与胡椒复合种植模式分析[J]. *热带农业科学*, 2011, 31(12): 26–32  
ZU C, WU H S, TAN L H, et al. Analysis on the complex planting pattern of rubber and pepper[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2011, 31(12): 26–32
- [10] 袁媛, 孟磊, 庞玉新, 等. 对比三种南药-橡胶立体复合种植模式对胶林土壤理化性质的影响[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(30): 91–96  
YUAN Y, MENG L, PANG Y X, et al. Effect of three different herb-rubber intercropping patterns on soil physical and chemical properties in rubber forest[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(30): 91–96
- [11] CHEN C F, LIU W J, JIANG X J, et al. Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use[J]. *Geoderma*, 2017, 299: 13–24
- [12] XIAO H F, TIAN Y H, ZHOU H P, et al. Intensive rubber cultivation degrades soil nematode communities in Xishuangbanna, southwest China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 76: 161–169
- [13] 林小兵. 西双版纳橡胶林种植模式对白蚁群落结构和多样性的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017  
LIN X B. The effect of different rubber plantation on termite community structure and diversity distribution in Xishuangbanna[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2017
- [14] 杨效东, 张建候. 西双版纳人工群落林土壤动物的旱季群落结构[J]. *动物学研究*, 1997, 18(4): 403–409  
YANG X D, ZHANG J H. Community structure of soil animals in man-made plant communities in dry seasons in Xishuangbanna[J]. *Zoological Research*, 1997, 18(4): 403–409
- [15] 郑国, 杨效东, 李枢强. 西双版纳地区六种林型地表蜘蛛多样性比较研究[J]. *昆虫学报*, 2009, 52(8): 875–884  
ZHENG G, YANG X D, LI S Q. Biodiversity of ground-dwelling spider in six forest types in Xishuangbanna, S.W. China[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2009, 52(8): 875–884
- [16] MCGEOGH M A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators[J]. *Biological Reviews*, 1998, 73(2): 181–201
- [17] 李巧, 涂璟, 熊忠平, 等. 节肢动物生物指示研究综述[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 155–161  
LI Q, TU J, XIONG Z P, et al. A review on bioindication based on arthropods[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(4): 155–161
- [18] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 以昆虫作为指示生物评估森林健康的生物学与生态学基础[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1625–1630  
WANG Y P, WU H, XU H C. Biological and ecological bases of using insect as a bio-indicator to assess forest health[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1625–1630
- [19] 徐正会. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002  
XU Z H. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002
- [20] HÖLDOBLER B, WILSON E O. *The Ants*[M]. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1990
- [21] WIDHIONO I, PANDHANI R D, DARSONO, et al. Short communication: Ant (Hymenoptera: Formicidae) diversity as bioindicator of agroecosystem health in northern slope of Mount Slamet, Central Java, Indonesia[J]. *Biodiversitas*, 2017, 18(4): 1475–1480
- [22] LAWES M J, MOORE A M, ANDERSEN A N, et al. Ants as ecological indicators of rainforest restoration: Community convergence and the development of an ant forest indicator index in the Australian wet tropics[J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(20): 8442–8455
- [23] ANDERSEN A N, MAJER J D. Ants show the way Down Under: Invertebrates as bioindicators in land management[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004, 2(6): 291–298
- [24] 李巧, 卢志兴, 张威, 等. 地表蚂蚁在云南萨王纳地区植被恢复过程中的指示作用[J]. *生态学报*, 2015, 35(18): 6199–6207  
LI Q, LU Z X, ZHANG W, et al. Ground-dwelling ants as bioindicators during 30-year vegetation restoration in a savanna area, Yunnan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(18): 6199–6207
- [25] OSBORN F, GOITIA W, CABRERA M, et al. Ants, plants and butterflies as diversity indicators: Comparisons between strata at six forest sites in Venezuela[J]. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 1999, 34(1): 59–64
- [26] SCHNELL M R, PIK A J, DANGERFIELD J M. Ant community succession within eucalypt plantations on used pasture and implications for taxonomic sufficiency in biomonitoring[J]. *Austral Ecology*, 2003, 28(5): 553–565
- [27] KING J R, ANDERSEN A N, CUTTER A D. Ants as bioindicators of habitat disturbance: Validation of the functional group model for Australia's humid tropics[J]. *Biodiversity & Conservation*, 1998, 7(12): 1627–1638
- [28] ANDERSEN A N. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance[J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22(1): 15–29

- [29] NAKAMURA A, CATTERALL C P, HOUSE A P N, et al. The use of ants and other soil and litter arthropods as bio-indicators of the impacts of rainforest clearing and subsequent land use[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2007, 11(2): 177–186
- [30] 赵婧文, 卢志兴, 陈又清. 云南绿春县天然次生林和 4 种人工林树冠层蚂蚁群落多样性[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(5): 823–830  
ZHAO J W, LU Z X, CHEN Y Q. Diversity of canopy foraging ant communities in secondary natural forest and plantations in Lüchun, Yunnan[J]. *Forest Research*, 2017, 30(5): 823–830
- [31] FISHER B L. Antweb[EB/OL]. California Academy of Sciences. [2019-04-19]. <https://www.antweb.org/>
- [32] 李巧, 陈又清, 郭萧, 等. 云南元谋干热河谷不同生境地表蚂蚁多样性[J]. *森林与环境学报*, 2007, 27(3): 272–277  
LI Q, CHEN Y Q, GUO X, et al. Diversity of ants on the ground in different habitats in Yuanmou arid-hot valley, Yunnan[J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2007, 27(3): 272–277
- [33] 卢志兴, 陈又清. 不同生境对蚂蚁功能群的影响——以云南省绿春县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(6): 801–810  
LU Z X, CHEN Y Q. Effects of habitat on ant functional groups: a case study of Lüchun County, Yunnan Province, China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(6): 801–810
- [34] HOFFMANN B D, KAY A. *Pisonia grandis* monocultures limit the spread of an invasive ant — A case of carbohydrate quality?[J]. *Biological Invasions*, 2009, 11(6): 1403–1410
- [35] CHAO A N, GOTELLI N J, HSIEH T C, et al. Rarefaction and extrapolation with hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies[J]. *Ecological Monographs*, 2014, 84(1): 45–67
- [36] 卢志兴, 李可力, 张念念, 等. 紫胶玉米混农林模式对地表蚂蚁多样性及功能群的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(1): 81–89  
LU Z X, LI K L, ZHANG N N, et al. Effects of lac-corn agroforest ecosystem on ground-dwelling ant diversity and functional groups[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(1): 81–89
- [37] BROCKERHOFF E G, JACTEL H, PARROTTA J A, et al. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity?[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(5): 925–951
- [38] FITZHERBERT E B, STRUEBIG M J, MOREL A, et al. How will oil palm expansion affect biodiversity?[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(10): 538–545
- [39] 王震洪, 段昌群, 起联春, 等. 我国桉树林发展中的生态问题探讨[J]. *生态学杂志*, 1998, 17(6): 64–68  
WANG Z H, DUAN C Q, QI L C, et al. A preliminary investigation of ecological issues arising in the man-made forest of eucalyptus in China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(6): 64–68
- [40] DUNN R R, AGOSTI D, ANDERSEN A N, et al. Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness[J]. *Ecology Letters*, 2009, 12(4): 324–333
- [41] 周宗, 胡绍云, 谭应中. 西双版纳大面积橡胶种植与生态环境影响[J]. *云南环境科学*, 2006, 25(S1): 67–69  
ZHOU Z, HU S Y, TAN Y Z. Ecological environment impact from large-scale rubber planting in Xishuangbanna[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2006, 25(S1): 67–69
- [42] 邢慧, 蒋菊生, 麦全法, 等. 海南橡胶区不同群落结构林下生物多样性分析[J]. *热带农业科学*, 2012, 32(3): 49–53  
XING H, JIANG J S, MAI Q F, et al. Biodiversity of different forest community and structure in rubber planting areas in Hainan[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2012, 32(3): 49–53
- [43] ZHENG G, LI S Q, YANG X D. Spider diversity in canopies of Xishuangbanna rainforest (China) indicates an alarming juggernaut effect of rubber plantations[J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 338: 200–207
- [44] 林小兵, 刘胜杰, 肖海峰, 等. 橡胶林种植对白蚁群落结构和多样性的影响[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(10): 2847–2854  
LIN X B, LIU S J, XIAO H F, et al. Effects of rubber plantation on structure and diversity of termite community[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(10): 2847–2854
- [45] PHILPOTT S M, PERFECTO I, ARMBRECHT I, et al. Ant diversity and function in disturbed and changing habitats[M]//LACH L, PARR C, ABBOTT K. *Ant Ecology*. Oxford: Oxford University Press, 2010: 137–156
- [46] HOFFMANN B D, JAMES C D. Using ants to manage sustainable grazing: Dynamics of ant faunas along sheep grazing gradients conform to four global patterns[J]. *Austral Ecology*, 2011, 36(6): 698–708
- [47] ANDERSEN A N, HOFFMANN B D, MÜLLER W J, et al. Using ants as bioindicators in land management: Simplifying assessment of ant community responses[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(1): 8–17
- [48] BICKEL T O, WATANASIT S. Diversity of leaf litter ant communities in ton nga chang wildlife sanctuary and nearby rubber plantations, Songkhla, Southern Thailand[J]. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2005, 27(5): 943–955
- [49] LU Z X, HOFFMANN B D, CHEN Y Q. Can reforested and plantation habitats effectively conserve SW China's ant biodiversity?[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2016, 25(4): 753–770
- [50] 郑基焕, 张润杰. 红火蚁与黑头酸臭蚁对不同食物资源的竞争[J]. *环境昆虫学报*, 2010, 32(3): 312–317  
ZHENG J H, ZHANG R J. Interspecific competition between the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* buren and the ghost ant, *Tapinoma melanocephalum* (F.) for different food resources[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32(3): 312–317
- [51] SCHMIDT C A, SHATTUCK S O. The higher classification of the ant subfamily ponerinae (Hymenoptera: Formicidae), with a review of ponerine ecology and behavior[J]. *Zootaxa*, 2014, 3817(1): 1–242
- [52] WILLIAM L, BROWN J R. Contributions towards a reclassification of the Formicidae. Part . Ponerinae, tribe Ponerini, subtribe Odontomachiti. Section B. Genus Anochetus and bibliography[J]. *Studia Entomologica*, 1978, 20(1/4): 549–651
- [53] ANDERSON K E, RUSSELL J A, MOREAU C S, et al. Highly similar microbial communities are shared among related and trophically similar ant species[J]. *Molecular Ecology*, 2012, 21(9): 2282–2296