

文章编号:1001-1498(2016)04-0576-05

巨桉林和天然次生林枯落物层蚂蚁多样性及指示种

卢志兴, 李可力, 张念念, 陈又清*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要: [目的] 探讨巨桉林中蚂蚁群落的生态状况及植被变化后蚂蚁群落的响应, 为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。 [方法] 于2012年10月和2013年4月采用Winkler袋法调查云南省绿春县的巨桉人工林和天然次生林中枯落物层蚂蚁群落。 [结果] 共采集枯落物层蚂蚁5亚科34属66种2118头。四个样地间枯落物层蚂蚁的物种丰富度有显著差异 (GLM, $t = -2.068, P = 0.039$), 相对多度无显著差异 (GLM, $t = -0.174, P = 0.863$), 其中巨桉林 E1 蚂蚁物种丰富度最高, N2 最低; 天然次生林 N1 蚂蚁多度最高, E2 最低。巨桉林枯落物层蚂蚁群落结构与天然次生林无显著差异 (ANOSIM Global $R = 0.5, P = 0.333$)。巨桉林中的指示物种为菱结大头蚁和东方小家蚁, 天然次生林中的指示物种为红足厚结猛蚁。枯落物层厚度与蚂蚁物种丰富度显著负相关, 枯落物层其它指标与蚂蚁物种丰富度和多度均无显著相关性。 [结论] 干扰少、林下植被丰富的人工巨桉林对枯落物层蚂蚁群落多样性的保护具有积极意义。

关键词: 巨桉林; 枯落物特征; 蚂蚁多样性; 群落结构; 指示物种

中图分类号: S792.39

文献标识码: A

Diversity and Indicator Species of Leaf-litter Ants in *Eucalyptus grandis* Plantations and Secondary Natural Forests

LU Zhi-xing, LI Ke-li, ZHANG Nian-nian, CHEN You-qing

(Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] To review the effects of *Eucalyptus grandis* plantations on leaf-litter ant community. [Method] Investigations of leaf-litter ant communities of *E. grandis* plantations and secondary natural forest were conducted by Winkler litter extraction in October 2012 and April 2013 in Lüchun County, Yunnan Province. [Result] 2118 ant individuals were collected, representing 66 species, 34 genera, 5 families of Formicidae. There were significant differences in species richness of leaf-litter ants among plots (GLM, $t = -2.068, P = 0.039$). But no significant difference was found in abundance among plots (GLM, $t = -0.174, P = 0.863$). The *E. grandis* plantation plot E1 had the highest leaf-litter ant species richness, while the secondary natural forest plot N2 the lowest. The secondary natural forest N1 had the highest leaf-litter ant abundance, and the *E. grandis* plantation plot E2 the lowest. The ant community structure of *E. grandis* plantations showed no significant difference with secondary natural forest (ANOSIM Global $R = 0.5, P = 0.333$). *Pheidole noda* Smith and *Monomorium orientale* Mayr were the indicator species of *Eucalyptus grandis* plantations, *Pachycondyla luteipes* (Mayr) was the indicator species of secondary natural forest. There was a negative correlation between the ant species richness and the leaf-litter depth. The ant species richness and abundance were not significantly correlated with the leaf-litter characteristics. [Conclusion] The *E. grandis* plantations with less disturbance and rich vegetation had positive effects on leaf-litter ant community

收稿日期: 2015-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270561和31470493)

作者简介: 卢志兴(1986—), 男, 云南玉溪人, 助理研究员, 主要从事昆虫害虫生态学研究. E-mail: endeavou@163.com

* 通讯作者: 陈又清, 研究员

protection.

Keywords: *Eucalyptus grandis* plantations; leaf-litter characteristics; ant community diversity; community structure; indicator species

随着经济增长需求,森林利用开发程度日益增强,森林生态系统正发生着显著变化,很多天然林逐渐被树种单一的人工经济林所取代^[1]。桉树是较为典型的代表,其面积超过 200 万 hm^2 。目前,对于桉树林的生态效应有正负两种截然不同的观点,开展了大量研究^[2-3],与天然植被相比,桉树林下植被及枯落物十分有限,这些有限的资源如何影响生物多样性值得关注。

林内枯落物层维持着生态系统物质和功能的平衡^[4],是生态系统能量流动和物质循环的重要环节,其中的节肢动物与土壤生物和植物根系等在其中起着重要作用^[5]。由多树种组成的天然次生林林下枯落物层微环境的异质性有利于蚂蚁物种共存^[6-8]。单一树种人工林取代天然植被往往会导致栖境内枯落物层微环境改变,进而影响蚂蚁群落多样性^[9]。此外,人工林管理强度变化也会影响枯落物层蚂蚁物种丰富度以及群落稳定性^[10-12]。蚂蚁是枯落物层功能实现重要的组成部分,能以自上而下的方式影响整个生态系统的物种组成及生态系统功能。枯落物层蚂蚁群落的变化,不仅影响枯落物层生态功能,同时也对生境中的动、植物造成显著影响;另一方面由于蚂蚁对环境变化高度敏感^[13],常用作热带和亚热带森林环境变化的指示生物^[14-17]。Winkler 袋法是目前针对枯落物层蚂蚁抽样运用较多的方法,这一方法已被纳入蚂蚁群落抽样规范的 ALL 方案(Ants of the Leaf Litter Protocol)。而国内对蚂蚁群落的研究多数忽略枯落物层蚂蚁群落的调查和 Winkler 袋法的使用,人工林下枯落物层对蚂蚁群落多样性的价值极少得到重视。

本研究采用目前国内运用较少的 Winkler 法调查云南省绿春县巨桉林和天然次生林中枯落物层的蚂蚁群落,分析比较两种类型样地枯落物层蚂蚁的物种组成、群落结构及多样性,并筛选获得指示物种,探讨巨桉林中蚂蚁群落的生态状况及植被变化后蚂蚁群落的响应,为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

研究地位于云南省南部的绿春县境内,巨桉林

是当地重要的人工经济林,山坡和半山坡上有大量分布。巨桉林样地位于绿春县大兴镇海拔 1 401 ~ 1 421 m 地段。天然次生林作为对照样地,位于绿春县牛孔乡海拔 1 020 ~ 1 250 m 地段。该地区年平均温度为 19.1 $^{\circ}\text{C}$,年平均降雨量 1 687 mm,属典型山地季风气候。

1.2 样地设置

选取巨桉林和天然次生林两种类型样地。遵照采样既满足抽样充分性又节省人力物力的原则,每种类型各选取 2 块面积大于 1 hm^2 的样地,在每块样地中选择 100 m \times 100 m 地块作为调查样地,各样地间距 1 km 以上。所选取的样地均为南坡,坡度、土壤条件等基本一致。巨桉林间伐过 1 次,以 6 年生巨桉(*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden)为主,密度 1 030 株/ hm^2 ,草本层发达,无明显的人为放牧等活动痕迹。林地内散生着(或种植)少量的岗稔(*Eurya groffii* Merr.)、西南木荷(*Schima wallichii* Choisy)和八角树(*Illicium verum* Hook. f.)等。天然次生林 N1 样地乔灌木主要树种为麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.)、栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)、云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)、红皮水锦树(*Wendlandia tinctoria* (Roxb.) DC. ssp. *intermedia* (How) W. C. Chen)等。天然次生林 N2 的主要树种为香樟(*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl)、南岭黄檀(*Dalbergia balansae* Prain)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、麻栎、披针叶楠(*Phoebe lanceolata* Nees)和滇橄榄(*Phyllanthus taxodiifolius* Beille)等,灌木层发达程度不及 N1。各样地信息见表 1。

表 1 调查样地信息简介

样地	海拔/ m	郁闭度/ %	灌草层 盖度/%	枯落物 盖度/%	枯落物 厚度/cm	干扰 程度
E1	1 410	77.7	38.6	42.0	11.1	低
E2	1 422	73.3	26.7	50.3	7.93	低
N1	1 235	77.7	38.6	63.3	25.7	无
N2	1 160	73.3	26.7	81.9	35.3	高

注: E1 和 E2 表示巨桉林, N1 和 N2 表示天然次生林。

1.3 蚂蚁群落的调查方法

于 2012 年 10 月和 2013 年 4 月两次采用 Winkler 袋法调查了巨桉林和天然次生林枯落物层蚂蚁

群落,具体方法见张念念等^[8]。每个 Winkler 袋的蚂蚁分别保存于含有 75% 酒精的离心管中,带回实验室鉴定到种,不能鉴定到种的按形态种对待^[18]。

1.4 数据分析

基于蚂蚁爬行距离一般不超过 10 m,研究样地的取样间距为 10 m,故每个样本可作为独立样本。分析前对蚂蚁多度进行 6 级评分转换,1 头为 1 分,2~5 头为 2 分,6~10 头为 3 分,11~20 头为 4 分,21~50 头为 5 分,大于 50 头为 6 分,最终得到相对多度^[19]。(1)不同样地枯落物层蚂蚁物种丰富度与相对多度比较:采用 R 语言中的广义线性模型 (GLM, Generalized Linear Model) 的 Poisson 模型分析不同样地每个 Winkler 袋中的蚂蚁物种丰富度及相对多度差异显著性^[20]。(2)使用统计软件 PRIMER v7 中的非度量多维排序方法 (nMDS, Non-metric multidimensional scaling) 比较不同样地枯落物层基于有无数据 (0/1) 的蚂蚁群落结构相似性,使用 ANOSIM 方法比较群落结构相似性差异^[21]。(3)使用 R 语言中的 labdsv 软件包进行指示物种分析,该方法是通过计算不同物种在多样地中的保真度 (Fidelity) 和特异度 (Specificity),以此计算获得各物种的指示值 IndVal^[22]。(4)使用 SPSS 18.0 中的相关分析 (Correlate) 方法分析枯落物盖度和厚度与蚂蚁多度及物种丰富度的相关性。

2 结果与分析

2.1 物种丰富度及相对多度比较

共采集枯落物层蚂蚁 2 118 头,隶属于 5 亚科 34 属 66 种 (表 2)。4 个样地间枯落物层蚂蚁的物种丰富度有显著差异 (GLM, $t = -2.068$, $P = 0.039$),多度无显著差异 (GLM, $t = -0.174$, $P = 0.863$)。天然次生林 N1 的蚂蚁物种丰富度显著高于 N2 (GLM, $t = -3.383$, $P < 0.01$),其余样地间无显著差异。天然次生林 N1 蚂蚁多度显著高于 N2 (GLM, $t = -2.656$, $P = 0.013$) 和巨桉林 E2 (GLM, $t = 2.077$, $P = 0.048$),其余样地间无显著差异 (表 3)。

表 2 桉树林和天然次生林枯落物层蚂蚁物种名录和多度

物种名	样地			
	E1	E2	N1	N2
小眼钩猛蚁 (<i>Anochetus subcoecus</i> Forel)	0	0	0	1
格拉夫钩猛蚁 (<i>Anochetus graeffei</i> Mayr)	3	4	0	0
云南钩猛蚁 (<i>Anochetus yunnanensis</i> Wang)	0	2	0	0
双色曲颧猛蚁 (<i>Gnamptogenys bicolor</i> (Emery))	0	0	3	0

物种名	续表 2 样地			
	E1	E2	N1	N2
黄足厚结猛蚁 (<i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr))	28	27	58	35
红足厚结猛蚁 (<i>Pachycondyla rufipes</i> (Jerdon))	0	0	1	0
安南厚结猛蚁 (<i>Pachycondyla annamita</i> (Andre))	0	0	8	3
邵氏厚结猛蚁 (<i>Pachycondyla sauteri</i> Forel)	0	0	1	0
爪哇厚结猛蚁 (<i>Pachycondyla javana</i> (Mayr))	0	1	0	2
邻姬猛蚁 (<i>Hypoponera confinis</i> (Roger))	27	6	40	64
鲍氏姬猛蚁 (<i>Hypoponera bondroiti</i> (Forel))	0	1	30	4
姬猛蚁属 sp. 1 (<i>Hypoponera</i> sp. 1)	0	0	3	0
横纹齿猛蚁 (<i>Odontoponera transversa</i> Smith)	0	2	0	2
缅甸细长蚁 (<i>Tetraponera birmana</i> (Forel))	0	0	2	1
罗思尼举腹蚁 (<i>Crematogaster rothneyi</i> Mayr)	0	4	0	0
黑褐举腹蚁 (<i>Crematogaster rogenhoferi</i> Mayr)	3	9	0	0
立毛举腹蚁 (<i>Crematogaster ferrarii</i> Emery)	8	31	0	32
比罗举腹蚁 (<i>Crematogaster biroii</i> Mayr)	23	9	10	0
大阪举腹蚁 (<i>Crematogaster osakensis</i> Forel)	25	0	74	0
大禹圆鳞蚁 (<i>Epitrirus dayui</i> Xu)	1	0	0	0
琴状隆头蚁 (<i>Strumigenys lyroessa</i> (Roger))	0	8	0	0
长隆头蚁 (<i>Strumigenys exilirhina</i> Bolton)	7	7	3	65
木盲切叶蚁 (<i>Carebara lignata</i> Westwood)	2	0	0	0
塔蚁属 sp. 1 (<i>Pyramica</i> sp. 1)	0	26	1	0
棒角蚁属 sp. 1 (<i>Rhopalomastix</i> sp. 1)	0	1	0	0
高结稀切叶蚁 (<i>Oligomyrmex altinodus</i> Xu)	17	33	1	8
邻巨首蚁 (<i>Pheidologeton affinis</i> Jerdon)	11	0	539	0
光滑盾胸蚁 (<i>Meranoplus laeiventris</i> Emery)	0	0	2	0
女娲角腹蚁 (<i>Recurvidris nuwa</i> Xu et Zheng)	17	16	20	7
法老小家蚁 (<i>Monomorium pharaonis</i> Linnaeus)	3	13	8	3
东方小家蚁 (<i>Monomorium orientale</i> Mayr)	3	1	1	0
中华小家蚁 (<i>Monomorium chinensis</i> Santschi)	0	1	1	0
纤细小家蚁 (<i>Monomorium gracillimum</i> Smith)	2	0	0	0
罗氏棒切叶蚁 (<i>Rhoptromyrmex wroughtonii</i> Forel)	93	26	22	0
英格来铺道蚁 (<i>Tetramorium ingleyi</i> Forel)	0	1	1	0
拉帕铺道蚁 (<i>Tetramorium laparum</i> Bolton)	0	1	0	0
毛发铺道蚁 (<i>Tetramorium ciliatum</i> Bolton)	0	0	54	127
阿普特铺道蚁 (<i>Tetramorium aptum</i> Bolton)	35	1	0	0
楔结铺道蚁 (<i>Tetramorium cuneinode</i> Bolton)	4	3	15	0
棒刺大头蚁 (<i>Pheidole spathifera</i> Forel)	1	0	0	0
来氏大头蚁 (<i>Pheidole lighti</i> Wheeler)	12	23	30	0
伊大头蚁 (<i>Pheidole yeensis</i> Forel)	0	0	4	0
菱结大头蚁 (<i>Pheidole noda</i> Smith)	2	3	1	0
印度大头蚁 (<i>Pheidole indica</i> Mayr)	0	0	21	0
塞奇大头蚁 (<i>Pheidole sagei</i> Forel)	1	0	1	0
皮氏大头蚁 (<i>Pheidole pileri</i> Santschi)	0	1	10	0
罗氏心结蚁 (<i>Cardiocondyla wroughtonii</i> (Forel))	11	5	0	0
舒尔盘腹蚁 (<i>Aphaenogaster schurri</i> Forel)	0	0	3	3
白足狡臭蚁 (<i>Technomyrmex albipes</i> (Smith))	0	14	0	0
二色狡臭蚁 (<i>Technomyrmex bicolor</i> Emery)	12	12	7	0
黑头酸臭蚁 (<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius))	0	2	5	1
印度酸臭蚁 (<i>Tapinoma indicum</i> Forel)	4	0	3	0
黑可可臭蚁 (<i>Dolichoderus thoracicus</i> (Smith))	0	0	1	0
凹头臭蚁 (<i>Dolichoderus incisus</i> Xu)	0	6	0	0
扁平虹臭蚁 (<i>Iridomyrmex anceps</i> (Roger))	2	0	0	0
叶亚尖尾蚁 (<i>Acropyga yaeyamensis</i> Terayama)	0	0	6	0
开普刺结蚁 (<i>Lepisiota capensis</i> Mayr)	1	0	0	0

物种名	续表2			
	样地			
	E1	E2	N1	N2
网纹刺结蚁 (<i>Lepisiota reticulata</i> Xu)	0	1	1	0
阿祿斜结蚁 (<i>Plagiolepis alluaudi</i> Emery)	21	7	0	0
宾氏长齿蚁 (<i>Myrmoteras binghamii</i> Forel)	0	0	2	1
西氏拟毛蚁 (<i>Pseudolasius silvestrii</i> Wheeler)	33	5	20	2
双齿唇拟毛蚁 (<i>Pseudolasius bidenticypeus</i> Xu)	0	0	4	0
黄足立毛蚁 (<i>Paratrechina flavipes</i> (Smith))	4	7	0	0
黄猄蚁 (<i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius))	0	0	0	1
巴瑞弓背蚁 (<i>Camponotus parius</i> Emery)	0	0	0	1
平和弓背蚁 (<i>Camponotus mitis</i> (Smith))	0	0	0	2

表3 不同样地枯落物层蚂蚁物种丰富度及多度比较

样地类型	物种丰富度	相对多度
E1	8.73 ± 0.52ab	27.73 ± 2.44ab
E2	8.60 ± 0.77ab	21.33 ± 2.89b
N1	8.67 ± 0.75a	67.80 ± 18.80a
N2	5.13 ± 0.31b	24.33 ± 3.29b

注:表中同列不同字母表示在0.05水平上差异显著。

2.2 群落结构比较

巨桉林枯落物层蚂蚁群落结构与天然次生林无显著差异 (ANOSIM Global $R = 0.5, P = 0.333$)。由nMDS排序结果(图1)来看,巨桉林蚂蚁群落结构与天然次生林N1较为相似,两个天然次生林间的枯落物蚂蚁群落结构相似性较低。

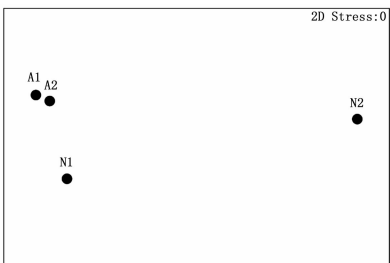


图1 不同样地枯落物层蚂蚁群落结构 NMDs 分析

2.3 指示物种分析

巨桉林枯落物层蚂蚁指示物种与天然次生林不一致(表4)。巨桉林中的指示物种为菱结大头蚁和东方小家蚁,天然次生林中的指示物种为红足厚结猛蚁。

表4 枯落物层蚂蚁群落指示物种分析

样地类型	物种名	IndVal	P
巨桉林	菱结大头蚁 <i>Pheidole noda</i> Smith	0.833 3	0.001
	东方小家蚁 <i>Monomorium orientale</i> Mayr	0.800 0	0.001
天然次生林	黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i> (Mayr)	0.628 4	0.001

注:IndVal_{ij} = A_{ij} × 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,IndVal指示值由Labdsv软件包计算得到。

2.4 枯落物特征对蚂蚁物种丰富度及多度的影响

枯落物层盖度和厚度与枯落物层蚂蚁多度无显著相关性。枯落物盖度与枯落物层蚂蚁物种丰富度无显著相关性,枯落物厚度与蚂蚁物种丰富度显著负相关(表5)。

表5 蚂蚁多度和物种数与枯落物特征相关分析

项目		枯落物特征	
		盖度	厚度
多度	Pearson 相关系数	0.102	0.167
	显著性	$P = 0.438$	$P = 0.201$
物种丰富度	Pearson 相关系数	0.102	0.167
	显著性	$P = 0.438$	$P = 0.201$

注:表中数值为Pearson相关系数,* *在0.01水平(双侧)上显著相关。

3 结果与讨论

蚂蚁群落对环境变化的响应主要体现在多度、物种丰富度、群落结构等的变化上^[23]。本研究结果表明,管护较好、林下植被丰富的巨桉林蚂蚁群落物种丰富度、多度及群落结构与天然次生林接近。相对于物种丰富度,群落结构的恢复更加困难^[24]。调查结果显示,巨桉人工林中的蚂蚁群落结构接近于其中的天然次生林N1,说明巨桉林中枯落物层中的蚂蚁群落结构恢复较好,对生物多样性的保护具有积极作用。

蚂蚁作为指示生物能较好指示环境变化^[25]。黄足厚结猛蚁(*Pachycondyla luteipes* (Mayr))多分布在热带和亚热带干扰较少、郁闭度高、植被较丰富的原始林和次生林生境中。本研究中,该蚂蚁为天然次生林的指示物种,表明该次生林保护较好。菱结大头蚁(*Pheidole noda* Smith)和东方小家蚁(*Monomorium orientale* Mayr)为喜欢郁闭度相对较低的开阔生境^[8]。本研究中,这两种蚂蚁为巨桉林的指示物种,表明该林地仍存在一定的人为干扰,需要进一步保护和恢复。

枯落物特征,如枯落物厚度、盖度、温湿度等因素对其中生活蚂蚁产生的影响较为复杂,在不同生境中,枯落物特征对蚂蚁物种丰富度及多度的影响不一致,有正相关性^[26]或不相关等^[27]。本研究发现枯落物特征与蚂蚁物种丰富度和多度均无显著相关性,与前人研究一致。仅枯落物厚度与蚂蚁物种丰富度显著负相关,可能原因是N2中枯落物层湿度较大造成(观察结果)。

4 结论

绿春县巨桉林对枯落物层蚂蚁群落多样性保护

具有一定的积极作用,巨桉林枯落物层蚂蚁多度与天然次生植被接近,而物种丰富度甚至高于天然次生植被,蚂蚁群落结构也与天然次生植被无显著差异。筛选获得巨桉林蚂蚁指示物种2种,它们的生态学特点指示出巨桉林仍需进一步恢复。本研究表明长期保护性经营且干扰较少的巨桉人工林中的蚂蚁多度、物种丰富度、群落结构与天然次生林较为接近,这说明经营管理较好、保留林下植被的巨桉林有利于保护林下枯落物层的蚂蚁多样性和群落结构。

参考文献:

- [1] 刘国华,傅伯杰,陈利顶,等. 中国生态退化的主要类型特征及分布[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 13-19.
- [2] Suguituru S S, Silva R R, Souza D R D, *et al.* Ant community richness and composition across a gradient from Eucalyptus plantations to secondary Atlantic Forest[J]. *Biota Neotropica*, 2011, 11(1): 369-376.
- [3] Wang J, Liao Q S, Ding W M, *et al.* Invertebrate biodiversity in litter layers of natural forest and Eucalyptus plantation in eastern Guangdong, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 25-31.
- [4] Philip A, Philip V, George E S, *et al.* Leaf litter decomposition and nutrient release in a fifteen year old rubber plantation[J]. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 2003, 16(1/2): 81-84.
- [5] Donoso D A, Johnston M K, Kaspari M. Trees as templates for tropical litter arthropod diversity[J]. *Oecologia*, 2010, 164(1): 201-211.
- [6] Lassau S A, Hochuli D F. Effects of habitat complexity on ant assemblages[J]. *Ecography*, 2004, 27(2): 157-164.
- [7] Theunis L, Gilbert M, Roisin Y, *et al.* Spatial structure of litter-dwelling ant distribution in a subtropical dry forest[J]. *Insectes sociaux*, 2005, 52(4): 366-377.
- [8] 张念念,陈又清,卢志兴,等. 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[J]. *昆虫学报*, 2013, 56(11): 1314-1323.
- [9] Chen Y Q, Li Q, Chen Y L, *et al.* Ant diversity and bio-indicators in land management of lac insect agroecosystem in Southwestern China[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2011, 20(13): 3017-3038.
- [10] Watt A D, Stork N E, Bolton B. The diversity and abundance of ants in relation to forest disturbance and plantation establishment in southern Cameroon[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(1): 18-30.
- [11] Philpott S M, Arendt W J, Armbrecht I, *et al.* Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: review of the evidence on ants, birds, and trees[J]. *Conservation Biology*, 2008, 22(5): 1093-1105.
- [12] Pacheco R, Silva R R, Morini M S C, *et al.* A comparison of the leaf-litter ant fauna in a secondary Atlantic forest with an adjacent pine plantation in southeastern Brazil[J]. *Neotropical Entomology*, 2009, 38(1): 55-65.
- [13] Nakamura A, Catterall C P, House A P, *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.
- [14] Kaspari M, Majer J D. Using ants to monitor environmental change. In: Agosti D, Majer J, Alonso E, *et al.* (eds.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*[M]. *Biological Diversity Handbook Series*. Smithsonian Institution Press. Washington D. C, 2000, 89-98.
- [15] Underwood E C, Fisher B L. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how[J]. *Biological conservation*, 2006, 132(2): 166-182.
- [16] Andersen A N. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia[J]. *Journal of biogeography*, 1997, 24(4): 433-460.
- [17] Hoffmann B D, Andersen A N. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups[J]. *Austral Ecology*, 2003, 28(4): 444-464.
- [18] Burger J C, Redak R A, Allen E, *et al.* Restoring arthropod communities in coastal sage scrub[J]. *Conservation Biology*, 2003, 17(2): 460-467.
- [19] 卢志兴,陈又清,张威,等. 蚂蚁-紫胶虫兼性互利关系对蚂蚁群落多样性的影响[J]. *生物多样性*, 2013, 21(3): 343-351.
- [20] Kabacoff, R I. *R in Action: Data analysis and graphics with R*[M]. Manning Publications, Westampton, 2011, 313-330.
- [21] Clarke K R, Gorley R N. *PRIMER version 6: user manual/tutorial*[M]. PRIMER-E, Plymouth, UK, 2006.
- [22] Team R C. *R: A language and environment for statistical computing*[M]. Vienna, Austria, 2012.
- [23] Leal I R, Filgueiras B K, Gomes J P, *et al.* Effects of habitat fragmentation on ant richness and functional composition in Brazilian Atlantic forest[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21(7): 1687-1701.
- [24] Dunn R R. Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration[J]. *Conservation Biology*, 2004, 18(2): 302-309.
- [25] 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.
- [26] Kaspari M. Testing resource-based models of patchiness in four Neotropical litter ant assemblages[J]. *Oikos*, 1996, 76(3): 443-454.
- [27] Kalif K A B, Azevedo-Ramos C, Moutinho P, *et al.* The effect of logging on the ground-foraging ant community in eastern Amazonia[J]. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 2001, 36(3): 215-219.