

橡胶林种植对白蚁群落结构和多样性的影响

林小兵^{1,2} 刘胜杰¹ 肖海峰¹ 夏尚文¹ 杨效东^{1*}

(¹中国科学院西双版纳热带植物园, 热带森林生态学重点实验室, 云南勐仑 666303; ²中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 采用样带法对西双版纳纳板河自然保护区自然林(热带雨林和常绿阔叶林)和橡胶林白蚁群落进行了调查,探讨了橡胶林种植对白蚁群落结构、食性类群组成和多样性的影响。结果表明:(1)在3种森林类型中,共收集白蚁样本397份,隶属于2科10属20种,热带性白蚁种属组成突出;(2)季节对白蚁群落多度和丰富度有显著影响,总体表现为雨季高于旱季;(3)自然林中白蚁多度、丰富度和多样性指数显著高于单一橡胶林,且橡胶林中白蚁稀有种数量显著减少,同时土木食性白蚁的数量比例显著低于自然林,而木食性白蚁比例增加。研究认为,热带地区大面积单一橡胶林种植可对“生态系统工程师”白蚁群落结构和多样性产生较大的负面影响,应重视发展复合橡胶林模式保护白蚁生物多样性。

关键词 白蚁; 森林类型; 橡胶林; 生物多样性

Effects of rubber plantation on structure and diversity of termite community. LIN Xiaobing^{1,2}, LIU Sheng-jie¹, XIAO Hai-feng¹, XIA Shang-wen¹, YANG Xiao-dong^{1*} (¹Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun 666303, Yunnan, China; ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China).

Abstract: In this study, we investigated the termite community in natural forests (tropical rain forest and evergreen broad-leaved forest) and rubber plantation in Nabanhe Natural Reserve in Xishuangbanna, and explored the effects of rubber plantation on termite community structure, feeding group composition and diversity. The results are as follows: (1) A total of 397 samples of termites were collected in the three forest types, and 20 species of termites were identified belonging to 2 families and 10 genera. The dominant species were tropical termites; (2) Season was an important factor affecting the termite community, and the diversity of termites in the rainy season was higher than that in dry season; (3) The abundance, richness and diversity index of termites in the natural forests were significantly higher than that of rubber plantation. For feeding groups, the proportion of soil-wood feeding termites in the rubber plantation was significantly lower than that in the natural forests, while the proportion of wood feeding termites in the rubber plantation was higher. Our results suggested that large areas of monoculture rubber plantations in tropical region have negative impacts on termite community structure and diversity. We recommend that polyculture rubber plantations as the alternative monoculture rubber plantations should be developed to protect termite diversity.

Key words: termites; forest type; rubber plantation; biodiversity.

白蚁是一类古老的社会性昆虫,在昆虫分类系统上属于比较原始的等翅目昆虫,具有复杂的品级分化和集群巢居生活(黄复生等,2000)。全世界白蚁种类已超过3000种,广泛分布在南北纬45°之间

的热带和亚热带地区(Abensperg,2006; Bignell *et al.*, 2011),以含有木质素和纤维素的木材、枯枝、腐殖质、地衣、凋落物等为食(Abensperg,2006)。白蚁是热带地区最主要的分解者之一,热带森林中50%以上的枯死植物生物量被白蚁分解(Bignell *et al.*, 2000),同时,白蚁促进了生态系统氮素释放、有机

云南省重点基金项目(2016FA017)和中国科学院“西部之光”项目资助。

收稿日期:2017-03-08 接受日期:2017-06-20

* 通讯作者 E-mail: yangxd@xtbg.ac.cn

质(植物木质素)分解以及矿物质和养分循环(Hewitt *et al.*, 1990);也是全球碳循环和温室气体排放的重要参与者(Majeed *et al.*, 2012);白蚁活动和筑巢对土壤过程和土壤性质起着的积极影响,如改善土壤的理化性质,增加土壤中的有机质,提高了土壤肥力等(Davies, 2003),被誉为热带森林的“生态系统工程师”(Jones *et al.*, 2000; Samways *et al.*, 2010)。

西双版纳地处热带北缘,白蚁生物多样性极为丰富,热带森林内经常可见坟状、塔状和山峰状等白蚁蚁巢(肖维良等,1995)。已有研究表明,西双版纳地区有白蚁种类61种,约占云南白蚁种类123种的50%(肖维良等,1995;程冬保等,2014)。然而,近几十年来,该地区大面积的自然林(热带雨林和常绿阔叶林等)被单一种植的橡胶林替代(Xu *et al.*, 2014),成为影响白蚁物种多样性、功能群组成和丰富度的重要因素(Dosso *et al.*, 2013; Olugbemi, 2013)。已有研究显示,随着土地利用过程中干扰强度的加大,白蚁物种丰富度和相对多度均显著降低(Jones *et al.*, 2003; Vasconcellos *et al.*, 2010),自然林转变为其他土地利用方式后,土食性白蚁数量显著减少(Jones *et al.*, 2003)。

已有学者针对土壤动物、蜘蛛、线虫和昆虫等,在西双版纳地区开展橡胶林种植对生物多样性的影响的研究(杨效东等,1997;郑国等,2009; Meng *et al.*, 2012; Xiao *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2015)。本研究以西双版纳地区的纳板河自然保护区的热带雨林、常绿阔叶林和单一橡胶林为研究生境,通过对白蚁群落的调查,从而探讨橡胶林种植对白蚁群落结构和多样性的影响,为纳板河自然保护区生物多样性保护提供数据资料和科学管理依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省西双版纳傣族自治州的景洪市与勐海县接壤处的纳板河流域国家级自然保护区(100°32'E—100°44'E, 22°04'N—22°17'N),总面积26.6 km²,海拔539~2304 m,地势西北高东南低,气候类型属北热带湿润气候,有旱季(11月—翌年4月)和雨季(5—10月)之分,旱季时高温干燥,雨季时潮热多雨,年降水量为1190~2240 mm,年平均气温13.6~21.9℃。纳板河自然保护区内主要原生植被类型为热带季节沟谷雨林和山地常绿阔叶林,由于该保护区容纳了当地村民居住,因此在低海拔地

区有不同面积的橡胶林与自然林交错分布,并将自然林分割为形状各一、大小不等的片段森林斑块。本研究选取保护区中热带雨林片段;常绿阔叶林片段和15年橡胶林为主(采用宽窄行密株方式种植的橡胶单优人工群落,群落高15~25 m)作为研究样地,开展白蚁取样调查(表1)。

1.2 研究方法

白蚁的调查采取样带调查法(Jones *et al.*, 2000; Vaessen *et al.*, 2011)。2016年3月(旱季)和8月(雨季)分别在纳板河自然保护区曼点村(100°40'E, 22°07'N)附近选择3块位置相邻的森林样地,即热带雨林、常绿阔叶林和单一橡胶林,在每块林地内沿着垂直坡向设置3条100 m×2 m的调查样带,每条样带之间相隔50 m以上,样带距森林边缘20 m以上。调查时沿样带寻找藏匿在凋落物、倒木、枯枝、表层土壤中的白蚁和根据地上植被2 m高度树木表皮中的泥被或蚁路寻找白蚁。在实验室中,将取回来的白蚁及时进行计数并装入酒精浓度为80%的瓶中进行保存,以便后续鉴定。白蚁鉴定参考《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英,1998)和《中国动物志·昆虫纲·第十七卷·等翅目》(黄复生等,2000),以兵蚁形态为分类依据,在光学体视显微镜(型号:Leica S8APO)下鉴定并拍摄图片。同时,我们依据白蚁种类和参考文献资料(Bignell, 2000),将其划分为土食性白蚁、土木食性白蚁、木食性白蚁和食凋落物白蚁。

1.3 数据分析

对于白蚁种类和属组成优势度的划分,以每一种(属)出现次数占总出现次数10%以上的为优势种(属),出现次数占总次数1%~10%为常见种(属),出现次数占总次数1%以下为稀有种(属)。白蚁群落多样性指数采用以下4个指标进行计算(陶玲等,2004)。

Margalef 物种丰富度指数(E):

$$E = (S - 1) / \ln N_i$$

表1 纳板河自然保护区不同森林样地基本情况

Table 1 Basic situation of different forest plots in Nabanhe Nature Reserve

取样地点	森林类型	经度 (E)	纬度 (N)	海拔 (m)	面积 (hm ²)
曼点	热带雨林	100°39'41"	22°07'37"	792~806	214
曼点	常绿阔叶林	100°40'12"	22°07'52"	772~788	14.79
曼点	单一橡胶林	100°40'20"	22°07'55"	722~755	4.38

式中: N_i 为所有种的个体总数, S 为样地中物种数。

Shannon 多样性指数(H):

$$H = - \sum P_i / \ln P_i$$

式中: $P_i = n_i / N$, n_i 为第 i 种的个体数, N 为群落中所有种的个体数目。

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H / \ln S$$

Simpson 优势度集中性指数(C):

$$C = 1 - \sum (n_i / N)^2$$

白蚁群落结构的属、种和食性类群组成差异显著性比较用卡方检验(Chi-square test) 完成, 并采用 Origin 8.5 制图。不同森林类型白蚁种-多度分布图基于每一种白蚁数量占林地白蚁总数量的比例并取对数排列在 Excel 完成制图。使用双因素方差分析(ANOVA) 检验森林类型和季节两个因子对白蚁群

落结构(多度、丰富度和多样性指数) 影响的显著性, 通过多重比较(Tukey HSD 法) 分析 3 种森林类型之间白蚁群落多样性差异。以上数据分析使用统计软件 R 3.3.1 完成。

2 结果与分析

2.1 3 种森林类型白蚁群落结构组成

通过样带调查法在雨季和旱季两次取样, 在纳板自然河保护区的热带雨林、常绿阔叶林和单一橡胶林共收集到 397 份白蚁标本, 获取白蚁 19068 头白蚁, 隶属于 2 科(鼻白蚁科和白蚁科) 10 属 20 种, 其中热带雨林获取白蚁 2 科 8 属 17 种。常绿阔叶林获取白蚁 2 科 8 属 18 种, 单一橡胶林获取白蚁 1 科 6 属 10 种, 3 种森林类型白蚁群落物种组成情况见表 2。

表 2 纳板河 3 种森林类型白蚁群落组成

Table 2 The composition of termite communities in three forest types in Nabanhe Nature Reserve

种类组成	食性类群	出现次数(占总出现次数比例)		
		热带雨林	常绿阔叶林	单一橡胶林
鼻白蚁科 Rhinotermitidae				
长鼻白蚁属 <i>Schedorhinotermes</i>				
橄榄坝长鼻白蚁 <i>S. ganlanbaensis</i>	木食性	0	1(0.61)	0
乳白蚁属 <i>Coptotermes</i>				
匙须乳白蚁 <i>C. cochlearus</i>	木食性	2(1.55)	0	0
白蚁科 Termitidae				
稀白蚁属 <i>Speculitermes</i>				
狭须稀白蚁 <i>S. angustigulus</i>	食凋落物	4(3.10)	0	0
钩白蚁属 <i>Ancistrotermes</i>				
小头钩白蚁 <i>A. dimorphus</i>	木食性	2(1.55)	43(26.06)	48(46.60)
夏氏钩白蚁 <i>A. xiai</i>	木食性	0	2(1.21)	0
大白蚁属 <i>Macrotermes</i>				
云南大白蚁 <i>M. yunnanensis</i>	土木食性	8(6.20)	12(7.27)	10(9.71)
土垠大白蚁 <i>M. annandalei</i>	土木食性	3(2.33)	5(3.03)	0
黄翅大白蚁 <i>M. barneyi</i>	土木食性	19(14.73)	19(11.52)	0
土白蚁属 <i>Odontotermes</i>				
云南土白蚁 <i>O. yunnanensis</i>	土木食性	1(0.78)	2(1.21)	2(1.94)
粗颚土白蚁 <i>O. graveli</i>	土木食性	3(2.33)	3(1.82)	0
细颚土白蚁 <i>O. angustignathus</i>	土木食性	24(18.60)	16(9.70)	17(16.50)
锥颚土白蚁 <i>O. conignathus</i>	土木食性	2(1.55)	3(1.82)	0
黑翅土白蚁 <i>O. formosanus</i>	土木食性	38(29.46)	30(18.18)	12(11.65)
海南土白蚁 <i>O. hainanensis</i>	土木食性	3(2.33)	4(2.2)	0
华扭白蚁属 <i>Sinocapritermes</i>				
滇华扭白蚁 <i>S. yunnanensis</i>	土食性	0	1(0.61)	1(0.97)
钩扭白蚁属 <i>Pseudocapritermes</i>				
中华钩扭白蚁 <i>P. sinensis</i>	土食性	1(0.78)	1(0.61)	5(4.85)
近扭白蚁属 <i>Pericapritermes</i>				
多毛近扭白蚁 <i>P. latignathus</i>	土食性	3(2.33)	7(4.24)	3(2.91)
大近扭白蚁 <i>P. tetraphilns</i>	土食性	6(4.65)	8(4.85)	3(2.91)
合浦近扭白蚁 <i>P. hepuensis</i>	土食性	3(2.33)	3(1.82)	2(1.94)
近瓢白蚁属 <i>Peribulbitermes</i>				
景洪近瓢白蚁 <i>P. jinghongensis</i>	木食性	7(5.43)	5(3.03)	0
总计		129	165	103

热带雨林的白蚁群落属组成显著不同于常绿阔叶林 ($\chi^2 = 27.55, P < 0.001$) 和单一橡胶林 ($\chi^2 = 50.31, P < 0.001$) ,常绿阔叶林的白蚁属组成也与单一橡胶林呈现显著差异 ($\chi^2 = 8.04, P = 0.02$) 。热带雨林白蚁群落优势属是土白蚁属 (*Odontotermes*) (占全部出现次数的 55.04%) 和大白蚁属 (*Macrotermes*) (占全部出现次数的 23.26%) ;常绿阔叶林优势属为土白蚁属 (*Odontotermes*) (35.15%) 、钩白蚁属 (*Ancistrotermes*) (27.27%) 、大白蚁属 (*Macrotermes*) (21.82%) 和近扭白蚁属 (*Pericapritermes*) (10.91%) ;单一橡胶林则以钩白蚁属 (*Ancistrotermes*) (40.60%) 和土白蚁属 (*Odontotermes*) (30.10%) 为优势属(表 2 和图 1a)。

热带雨林白蚁种类组成也表现出显著不同于常绿阔叶林 ($\chi^2 = 37.22, P < 0.001$) 和单一橡胶林 ($\chi^2 = 69.97, P < 0.001$) ,且常绿阔叶林的白蚁种类组成与单一橡胶林差异显著 ($\chi^2 = 25.63, P < 0.001$) 。热带雨林中白蚁优势种是黑翅土白蚁 (*O. formosanus*) 、细额土白蚁 (*O. angustignathus*) 和黄翅大白蚁 (*M. barneyi*) ;常绿阔叶林的白蚁优势种为小头钩白蚁 (*A. dimorphus*) 、黑翅土白蚁 (*O. formosanus*) 和黄翅大白蚁 (*M. barneyi*) ;单一橡胶林的白蚁优势种类是小头钩白蚁 (*A. dimorphus*) 、细额土白蚁 (*O. angustignathus*) 和黑翅土白蚁 (*O. formosanus*) (表 2 和图 1b) 。从群落种-多度分布图可以看出(图 2) ,白蚁群落的优势种、常见种和稀有种比例在 3 种森林类型有明显变化 橡胶林稀有种数明显少于自然林 ,而白蚁优势种所占数量比例明显高于热带雨林和常绿阔叶林。

在白蚁食性类群组成方面 ,热带雨林的白蚁食性类群组成显著不同于常绿阔叶林 ($\chi^2 = 40.23, P < 0.001$) 和单一橡胶林 ($\chi^2 = 69.97, P < 0.001$) ,常绿阔叶林也与单一橡胶林有显著差异 ($\chi^2 = 13.49, P = 0.01$) 。土木食性白蚁在热带雨林所占比例(占全部出现次数的 78.29%) 最高 ,其次是常绿阔叶林(占全部出现次数的 56.97%) ,单一橡胶林最少(占全部出现次数的 24.85%) ,呈现减少的趋势(图 1c) 。木食性白蚁所占比例在 3 种森林类型中依次为:热带雨林 8.53%、常绿阔叶林 32.69%、橡胶林 46.60% ,呈现增加的趋势(图 1c) 。土食性白蚁占全部白蚁出现次数比例在不同森林类型间变化不大。此外 ,热带雨林的食性类群组成比常绿阔叶林和单一橡胶林丰富 ,增加了食凋落物白蚁类群(图 1c) 。

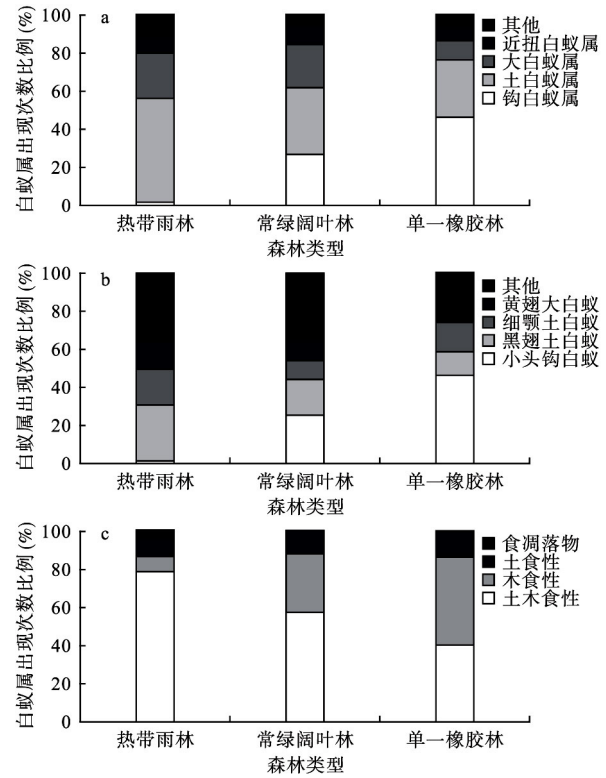


图 1 3 种森林类型白蚁属(a)、白蚁种类(b)和白蚁食性类群(c)的比较
Fig.1 Comparison of termite genera (a) , species (b) and feeding groups (c) among the three forest types

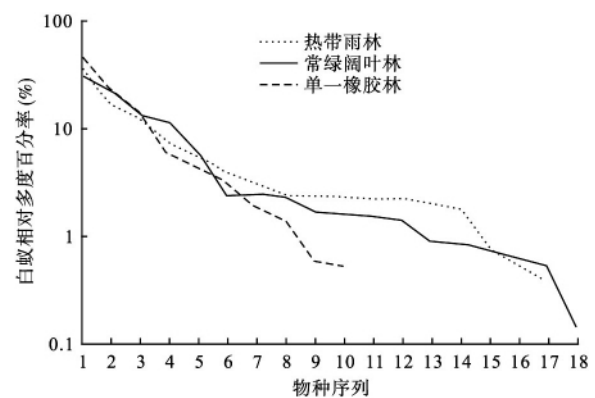


图 2 3 种森林类型白蚁群落种-多度分布图
Fig.2 Species-abundance of termite communities among the three forest types

2.2 3 种森林类型白蚁群落多样性差异

使用双因素方差分析(ANOVA) 检验不同森林类型和季节对白蚁群落结构(多度、丰富度和多样性指数)的影响(表 3) 并通过多重比较(Tukey HSD 法) 分析 3 种森林类型之间白蚁群落多样性的差异(图 3) 。

总体来看 ,季节和森林类型对白蚁群落多度、物

表3 森林类型和季节对白蚁多度、物种丰富度、Shannon 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数影响的双因素方差分析

Table 3 Two-factors analysis of variance (ANOVA) significant effect of forest type and season on termite abundance, species richness, Shannon index, Simpson dominance index, Pielou evenness index and Margalef richness index

因素	多度		物种丰富度		Shannon 指数		Simpson 优势度指数		Pielou 均匀度指数		Margalef 丰富度指数	
	F	df	F	df	F	df	F	df	F	df	F	df
森林类型	9.44**	2	18.81***	2	5.25*	2	1.81	2	0.17	2	12.91**	2
季节	27.56***	1	30.15***	1	0.53	1	0.04	1	8.29*	1	16.31**	1
森林类型×季节	2.07	2	0.269	2	0.27	2	0.26	2	1.48	2	0.09	2

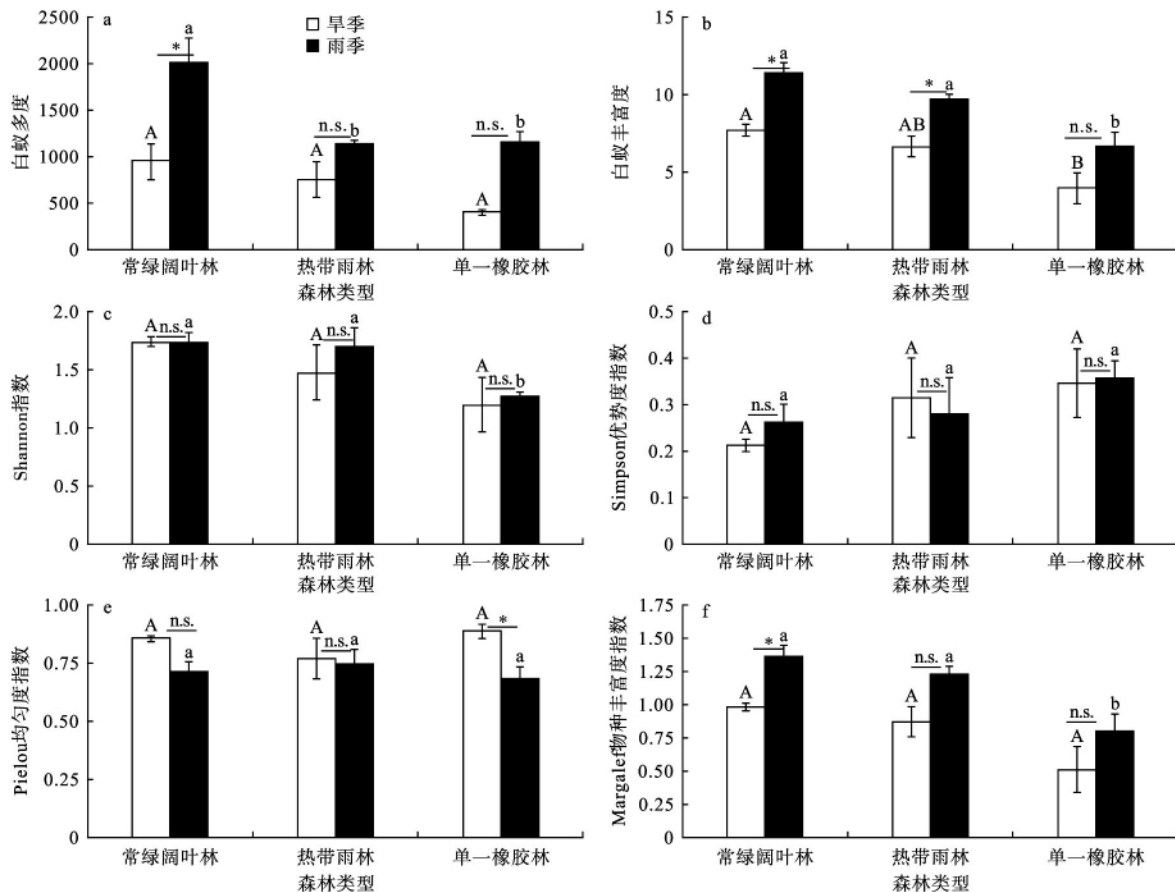
* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。

图3 3种森林类型中旱季和雨季白蚁群落的多度(a)、丰富度(b)、Shannon 指数(c)、Simpson 优势度指数(d)、Pielou 均匀度指数(e)和 Margalef 物种丰富度指数(f)的比较

Fig.3 Comparison of abundance (a), richness (b) and Shannon index (c), Simpson dominance index (d), Pielou evenness index (e) and Margalef richness index (f) of termite communities among the three forest types in dry and rainy season 平均值±标准误。不同大(小)写字母表示旱季(或雨季)3种不同森林类型白蚁群落差异显著(Tukey HSD 多重比较法 $P < 0.05$)。* 与 n.s. 表示相同森林类型的季节差异显著性 其中* $P < 0.05$ n.s. 表示 $P > 0.05$ 。

种丰富度和 Margalef 物种丰富度指数均呈现显著的独立影响(表3);在季节分布上,白蚁多度($F = 27.56$, $P < 0.001$)物种丰富度($F = 30.15$, $P < 0.001$)和 Margalef 物种丰富度指数($F = 16.31$, $P = 0.002$)表现为雨季显著高于旱季,而白蚁群落 Pielou 均匀度指数($F = 8.29$, $P = 0.014$)表现为旱季显著高于雨季, Shannon 指数($F = 0.53$, $P = 0.48$)和 Simpson 优势度

指数($F = 0.04$, $P = 0.85$)则没有呈现出显著的季节差异。对于不同的森林类型,白蚁群落多样性的季节差异有所不同(图3)。如白蚁群落多度在常绿阔叶林($F = 9.76$, $P = 0.03$)和单一橡胶林($F = 30.76$, $P = 0.005$)表现为雨季显著大于旱季(图3a),物种丰富度在常绿阔叶林($F = 24.2$, $P = 0.008$)和热带雨林($F = 16.2$, $P = 0.02$)也表现为雨季显著大于旱季(图

3b) ,而单一橡胶林白蚁群落 Pielou 均匀度指数则表现为旱季显著大于雨季($F = 12.48$, $P = 0.02$) (图 3e) 。

从不同森林类型的白蚁群落多样性分布来看, 雨季白蚁群落的物种丰富度($F = 12.85$, $P = 0.01$) 、多度($F = 9.36$, $P = 0.01$) 、Shannon 指数($F = 7.059$, $P = 0.007$) 和 Margalef 物种丰富度指数($F = 10.79$, $P = 0.01$) 在不同森林类型间存在显著差异, 表现为常绿阔叶林和热带雨林白蚁群落的物种丰富度、Shannon 指数和 Margalef 物种丰富度指数显著高于单一橡胶林, 白蚁多度则以常绿阔叶林显著高于其他两种森林类型(图 3) 。旱季, 除白蚁物种丰富度表现为常绿阔叶林显著高于单一橡胶林外($F = 15.22$, $P = 0.001$) 其他指数均没有显著差异(图 3) 。

3 讨论

3.1 3种森林类型白蚁群落组成

在西双版纳的纳板河自然保护区 3 种森林类型样地共采集到白蚁 2 科 10 属 20 种, 约占西双版纳地区所记录白蚁属(25 属) 的 40% 和白蚁种类(61 种) 的 33% (肖维良等, 1995) , 且明显高于国内同纬度地区的鼎湖山自然保护区(16 种) 和海南南湾自然保护区(10 种) (肖维良等, 1996) , 但低于 Jones 等(2003) 在印度尼西亚(54 种) 、Eggleton 等(2002) 在西非(133 种) 和 Souza 等(1994) 在巴西(64 种) 等热带地区调查的白蚁物种数。纳板河自然保护区拥有保存较好的热带雨林和常绿阔叶林, 使得保护区内白蚁种类较多, 优势种数量密度大, 热带性白蚁种属组成比较突出, 并以高等白蚁(白蚁科) 占有较高的数量比例。自然保护区白蚁群落以小头钩白蚁、黑翅土白蚁、黄翅大白蚁和细颚土白蚁为优势种, 该结果与裴汝康等(1986) 和肖维良等(1995) 在西双版纳地区发现的白蚁优势种类相似。

在纳板河自然保护区, 因橡胶种植已导致低海拔地区的部分自然林(热带雨林和常绿阔叶林) 被单一橡胶林所取代, 单一橡胶林内群落结构单一, 物种多样性减少, 人为干扰强度加大(Cao *et al.* , 1997; Zhu *et al.* , 2004; Mann 2009) , 这些变化势必对白蚁群落结构产生重要影响(Eggleton *et al.* , 1997) 。调查发现, 白蚁的科、属和种由自然林(热带雨林和常绿阔叶林) 到单一橡胶林逐渐减少, 特别是白蚁种类由常绿阔叶林中的 18 种下降到单一橡胶林的 10 种, 同时不同物种组成的数量比例发生较大变化, 橡胶林白蚁群落中少数优势种所占数量突出, 稀有种

成分减少, 说明土地利用变化对白蚁群落多样性的影响不仅在物种的丰富度上, 也体现在稀有种的构成和数量分布上。Vaessen 等(2011) 研究发现, 相对于自然林而言, 在油棕林白蚁种类主要是由长鼻白蚁属组成, Attignon 等(2005) 发现, 西非柚木种植园白蚁群落由单一优势种(一种钩白蚁属) 主导。白蚁物种丰富度随土地利用程度和人为干扰强度增加而急剧减少(Ackerman *et al.* , 2009; Dosso *et al.* , 2013) 。导致这一边变化的主要原因可能是自然林比橡胶林拥有丰富的食物资源和适宜环境, 土壤环境较好, 而橡胶林白蚁食物资源匮乏, 特别是倒木和凋落物食物资源少, 可能是白蚁物种组成单一的主要原因(Houston *et al.* , 2015) 。

在白蚁食性类群组成方面, 土木食性白蚁在热带雨林占有较高的比例(78.29%) , 常绿阔叶林次之(56.97%) , 而单一橡胶林中急剧减少(仅 24.85%) , 但木食性白蚁所占比例则呈现出单一橡胶林(46.60%) 最高, 常绿阔叶林次之(32.69%) , 而热带雨林最少(8.53%) 的分布格局。Davies(2002) 的研究也发现, 生境破碎化导致木食性白蚁多样性提高, 这与本研究结果类似。反映出土地利用所引起的自然环境、土壤状况、食物资源等变化导致土木食性白蚁的急剧减少(Souza *et al.* , 1994; Bandeira *et al.* , 2003) , 木食性白蚁显著增加(Davies *et al.* , 2002; Jones *et al.* , 2003) 等变化趋势, 木食性白蚁更适应于橡胶林环境, 这可能与橡胶林内相对干燥, 地表残留的小枯枝较多有关(Bignell *et al.* , 2000; Vasoncellos *et al.* , 2010; Paula *et al.* , 2015) 。

3.2 3种森林类型白蚁群落多样性差异

虽然季节对白蚁群落的 Simpson 优势度指数和 Shannon 指数没有显著影响, 但对白蚁多度和白蚁物种丰富度(物种丰富度指数) 有显著影响, 表现为雨季白蚁种类和白蚁数量显著高于旱季。Melo 等(2004) 在巴西发现, 雨季收集的白蚁数量显著高于旱季; Davies 等(2015) 在非洲萨王纳也发现, 旱季的白蚁种类和活动频率小于雨季和过渡期。雨季期白蚁群落的 Pielou 均匀度指数显著小于旱季, 说明雨季白蚁优势种个体数量显著增加, 分布范围广。加上食物资源(倒木、枯枝、凋落物等) 丰富, 是白蚁外出取食的高峰期, 也是白蚁活动最活跃的时候(Spain 2003; Davies 2003; Davies *et al.* , 2015) 。

气候条件和植被结构对白蚁群落结构具有重要影响(李志强等, 2015) 。本研究发现, 白蚁的丰富

度在自然林(常绿阔叶林和热带雨林)显著高于单一橡胶林,说明白蚁物种丰富度随土地利用程度和人为干扰强度增加而急剧减少(Ackerman *et al.*, 2009; Dosso *et al.*, 2013)。虽然旱季自然林白蚁群落多度、Shannon 指数和 Margalef 物种丰富度指数与单一橡胶林没有显著差异,但在雨季,由于温湿度增加,林内凋落物和倒木增多,白蚁群落多样性指标都表现为自然林显著高于单一橡胶林,这与 Vasconcellos 等(2010)在巴西、Eggleton 等(1997)在马来西亚和 Jones 等(2003)、Dosso 等(2013)在非洲研究结果相一致。说明西双版纳热带常绿阔叶林和热带雨林外来干扰小,环境保护相对较好,林地内微环境和土壤条件的稳定性优于单一橡胶林,林内倒木、枯枝、凋落物等白蚁食物资源丰富,可保持较高的白蚁群落多样性(Davies *et al.*, 1999; Houston *et al.*, 2015);而单一橡胶林中人类活动干扰大,植被单一,特别是食物资源匮乏,土壤贫瘠,大量白蚁稀有种难以在此生境中生存,多样性降低,优势种突出。

4 小 结

西双版纳独特的地理气候环境使得自然林中白蚁群落多样性丰富,热带属性种类明显。季节变化和森林类型对白蚁群落结构组成具有重要影响,雨季因温湿度适宜,食物资源丰富导致白蚁多样性和数量明显高于旱季;自然林转变为橡胶林后,白蚁的群落多样性显著下降,稀有种成分急剧减少,同时白蚁食性类群组成发生较大变化。白蚁群落结构的变化反映出土地利用变化与人类活动对生物多样性带来较大影响。白蚁作为生态过程的指示种和关键种类应受到更多的关注,其在生态系统中的重要角色应受到相应的重视和保护。

致 谢 本研究组的甘建民、陈志玲、牛山、赵宇帆、陈建松和师梦迪在野外取样和室内样品处理给予了有力的帮助,西双版纳纳板河流域国家级自然保护区对本次野外实验提供大力的支持。

参考文献

程冬保,阮冠华,宋晓钢. 2014. 中国白蚁种类调查研究进展. 中华卫生杀虫药械, **20**(2): 186-190.
 黄复生,朱世模,平正明,等. 2000. 中国动物志·昆虫纲·第十七卷·等翅目. 北京: 科学出版社.
 李志强,柯云玲,班大雄,等. 2015. 白蚁生物多样性及其对生态环境变化的指示作用. 生态学杂志, **34**(2): 557-561.

裴汝康,黄雅志. 1986. 西双版纳橡胶林白蚁调查. 热带林业科技, **1**(10): 28-31.
 陶玲,任璐. 2004. 进化生态学的数量研究方法. 北京: 中国林业出版社.
 肖维良,黄文忠,李艳红,等. 1996. 海南南湾自然保护区等翅目昆虫的生物多样性. 环境昆虫学报, **18**(4): 170-175.
 肖维良,李桂祥. 1995. 西双版纳白蚁的种类和特征. 白蚁科技, **12**(3): 6-10.
 杨效东,张建候. 1997. 西双版纳人工群落林土壤动物的旱季群落结构. 动物学研究, **18**(4): 403-409.
 尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
 郑国,杨效东,李枢强. 2009. 西双版纳地区六种林型地表蜘蛛多样性比较研究. 昆虫学报, **52**(8): 875-884.
 Abensperg TM. 2006. Seasonal changes in activity of subterranean termite species (Isoptera) in Western Australian wheat-belt habitats. *Australian Journal of Ecology*, **16**: 331-336.
 Ackerman IL, Constantino R, Gauch JHG, *et al.* 2009. Termite (Insecta: Isoptera) species composition in a primary rain forest and agroforests in central Amazonia. *Biotropica*, **41**: 226-233.
 Atignon SE, Lachat T, Sinsin B, *et al.* 2005. Termite assemblages in a west-African semi-deciduous forest and teak plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **110**: 318-326.
 Bandeira AG, Vasconcellos A, Silva M, *et al.* 2003. Effects of habitat disturbance on the termite fauna in a highland humid forest in the Caatinga Domain, Brazil. *Sociobiology*, **42**: 117-127.
 Bignell D, Eggleton P. 2000. Termites in Ecosystems: Termites, Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology. Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands.
 Bignell D. 2011. Morphology, physiology, biochemistry and functional design of the termite gut: An evolutionary wonderland// Bignell DE, Roisin Y, Lo N, eds. *Biology of Termites: A Modern Synthesis*. Dordrecht: Springer: 375-412.
 Cao M, Zhang JH. 1997. Tree species diversity of tropical forest vegetation in Xishuangbanna, SW China. *Biodiversity and Conservation*, **6**: 995-1006.
 Davies AB, Eggleton P, Rensburg BJV, *et al.* 2015. Seasonal activity patterns of African savanna termites vary across a rainfall gradient. *Insectes Sociaux*, **62**: 1-9.
 Davies RG. 2002. Feeding group responses of a neotropical termite assemblage to rain forest fragmentation. *Oecologia*, **133**: 233-242.
 Davies RG. 2003. Environmental and spatial influences upon species composition of a termite assemblage across neotropical forest islands. *Journal of Tropical Ecology*, **19**: 509-524.
 Davies RG, Eggleton P, Dibog L, *et al.* 1999. Successional response of a tropical forest termite assemblage to experimental habitat perturbation. *Journal of Applied Ecology*, **36**: 946-962.

- Dosso K , Deligne J , Yéo K , *et al.* 2013. Changes in the termite assemblage across a sequence of land-use systems in the rural area around Lamto Reserve in central Côte d' Ivoire. *Journal of Insect Conservation* , **17**: 1047–1057.
- Eggleton P , Bignell DE , Hauser S , *et al.* 2002. Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agriculture , Ecosystems & Environment* , **90**: 189–202.
- Eggleton P , Homathevi R , Jeeva D , *et al.* 1997. The species richness and composition of termites (Isoptera) in primary and regenerating lowland dipterocarp forest in Sabah , East Malaysia. *Ecotropica* , **3**: 119–128.
- Hewitt PH , Westhuizen MCVD , Linde TC , *et al.* 1990. The dry matter , energy and nitrogen budget of the harvester termite *Hodotermes mossambicus* (Hagen) . *South African Journal of Science* , **86**: 30–34 .
- Houston WA , Wormington KR , Black RL. 2015. Termite (Isoptera) diversity of riparian forests , adjacent woodlands and cleared pastures in tropical eastern Australia. *Austral Entomology* , **54**: 221–230.
- Jones DT , Eggleton P. 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: Testing a rapid biodiversity assessment protocol. *Journal of Applied Ecology* , **37**: 191–203.
- Jones DT , Susilo FX , Bignell DE , *et al.* 2003. Termite assemblage collapse along a land-use intensification gradient in lowland central Sumatra , Indonesia. *Journal of Applied Ecology* , **40**: 380–391.
- Majeed MZ , Miambi E , Robert A , *et al.* 2012. Xylophagous termites: A potential sink for atmospheric nitrous oxide. *European Journal of Soil Biology* , **53**: 121–125.
- Mann CC. 2009. Addicted to rubber. *Science* , **325**: 564–566.
- Melo ACS , Bandeira AG. 2004. A qualitative and quantitative survey of termites (Isoptera) in an open shrubby Caatinga in Northeast Brazil. *Sociobiology* , **44**: 707–716.
- Meng LZ , Martin K , Liu JX , *et al.* 2012. Contrasting responses of hoverflies and wild bees to habitat structure and land use change in a tropical landscape (southern Yunnan , SW China) . *Insect Science* , **19**: 666–676.
- Olugbemi BO. 2013. Intra and inter-colonial agonistic behavior in the termite , *Microcerotermes fuscotibialis* Sjostedt (Isoptera: Termitidae: Termitinae) . *Journal of Insect Behavior* , **26**: 69–78.
- Paula RCD , Silveira RDML , Rocha MMD , *et al.* 2015. The restoration of termite diversity in different reforested forests. *Agroforestry Systems* , **90**: 395–404.
- Samways MJ , McGeoch MA , New TR. 2010. Insect Conservation: A Handbook of Approaches and Methods. New York: Oxford University Press.
- Souza OFF , Brown VK. 1994. Effects of habitat fragmentation on Amazonian termite communities. *Journal of Tropical Ecology* , **10**: 197–206.
- Spain A. 2003. Seasonal patterns in the activity and species richness of surface-foraging termites (Isoptera) at paper baits in a tropical Australian savanna. *Journal of Tropical Ecology* , **19**: 449–456.
- Vaessen T , Verwer C , Demies M , *et al.* 2011. Comparison of termite assemblages along a landuse gradient on peat areas in Sarawak , Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science* , **23**: 196–203.
- Vasconcellos A , Bandeira AG , Moura FMS , *et al.* 2010. Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of Brazil. *Journal of Arid Environments* , **74**: 298–302.
- Xiao HF , Tian YH , Zhou HP , *et al.* 2014. Intensive rubber cultivation degrades soil nematode communities in Xishuangbanna , southwest China. *Soil Biology & Biochemistry* , **76**: 161–169.
- Xu J , Grumbine RE , Beckschäfer P. 2014. Landscape transformation through the use of ecological and socioeconomic indicators in Xishuangbanna , southwest China , Mekong Region. *Ecological Indicators* , **36**: 749–756.
- Zheng G , Li S , Yang X. 2015. Spider diversity in canopies of Xishuangbanna rainforest (China) indicates an alarming juggernaut effect of rubber plantations. *Forest Ecology and Management* , **338**: 200–207.
- Zhu H , Xu ZF , Wang H , *et al.* 2004. Tropical rainforest fragmentation and its ecological and species diversity changes in southern Yunnan. *Biodiversity and Conservation* , **13**: 1355–1372.

作者简介 林小兵 男 ,1992年生 硕士研究生 ,主要从事白蚁生物多样性的研究。E-mail: linxiaobing@xtbg.ac.cn
责任编辑 魏中青
