

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.12

蚂蚁对不同土地利用的物种响应及生物指示 ——以云南为例

卢志兴, 陈又清*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所)

摘要: 为了揭示不同土地利用状态下蚂蚁群落在物种层面的变化, 采用陷阱法调查了云南省绿春县天然次生林、桉树林、紫胶林、紫胶-玉米混农林、橡胶林、旱地和农田 7 种类型样地地表蚂蚁群落。共采集地表蚂蚁 16704 头, 隶属于 8 亚科 44 属 106 种。不同类型样地地表蚂蚁群落结构有差异 (ANOSIM Global $R = 0.786$, $P = 0.01$), 桉树林、紫胶林和紫胶玉米混农林地表蚂蚁群落结构与天然次生林相似, 与橡胶林和农田不相似。不同样地具有各自的特有种, 旱地和农田中各为 1 种, 其余样地有 5–8 种。在多个样地中均有出现的物种在不同类型样地中的多度变化明显。对群落结构相似性贡献率 $\geq 5\%$ 的特征物种分析显示, 天然次生林中的特征物种明显与旱地和农田不同。天然次生林中的指示物种为毛发铺道蚁 *Tetramorium ciliatum*, 桉树林中为亮褐举腹蚁 *Crematogaster contemta*, 紫胶林中为飘细长蚁 *Tetraponera allaborans*, 旱地中为伊大头蚁 *Pheidole yeensis*。不同特征物种及指示物种的生物学特性与不同样地特征相关联。地表蚂蚁通过物种组成及多度变化响应土地利用变化, 蚂蚁特征物种可以作为指示物种的补充。

关键词: 土地利用; 蚂蚁; 群落结构; 特征物种; 指示物种

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0950-11

The species-level responses of ant communities to land use and its bio-indicators: A case study in Yunnan Province

LU Zhi-Xing, CHEN You-Qing* (Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China)

Abstract: In order to reveal the species-level change of ant communities in land use changing process, investigations were conducted on ground-dwelling ant communities of secondary natural forest, eucalyptus plantation, lac insect plantation, lac-corn agroforest, rubber plantation, dry land and farmland in Lüchun County, Yunnan Province. 16704 ant individuals were collected, representing 106 species 44 genera in 8 subfamilies of Formicidae. Community structures of ground-dwelling ants had significantly differences among different sites (ANOSIM Global $R = 0.786$, $P = 0.01$). Ant community structures of eucalyptus plantation, lac insect plantation and lac-corn agroforest were similar with secondary natural forest, and these sites were dissimilar with rubber plantation and farmland. Different sites had their endemic species. There was only one endemic species in dry land and farmland, and other sites had five to eight endemic species, respectively. Abundance of species appeared in most sites had a significantly change within different sites. Typical species which had contributions over 5% to community similarities showed typical species belong to secondary natural forest were different from dry land and farmland. *Tetramorium ciliatum* is the indicator of secondary natural forest. *Crematogaster contemta* is the indicator of eucalyptus plantation. *Tetraponera*

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31270561, 31470493)

作者简介: 卢志兴, 男, 1986 年生, 云南华宁人, 博士, 研究方向为昆虫生态学, E-mail: endeavou@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: cyqcaf@126.com

收稿日期 Received: 2015-11-25; **接受日期** Accepted: 2016-06-03

allaborans is the indicator of lac insect plantation. *Pheidole yeensis* is the indicator of dry land. Biology and ecology of typical species and indicators were associated with each habitat. Ground-dwelling ants had responses to land use change by species composition and abundance change. Typical species can use as a complement to the indicator species application.

Key words: Land-use; ants; community structure; typical species; indicators

土地利用变化一般被认为是一种区域性的环境问题,但是其重要性越来越受到全球关注。这种由人类主导的实践活动正导致热带雨林消失,强化农林复合系统及农田的产出,已经改变了地球上很大比例的地表特征 (Foley *et al.*, 2005)。土地利用变化是一种影响生物多样性的重要的全球性压力 (Sala *et al.*, 2000; UNEP, 2002; Zebisch *et al.*, 2004)。大部分的研究只是关注最重要的压力,即原始森林清除的影响,而极少关注农业系统土地利用强度对生物多样性的影响 (Sala *et al.*, 2000)。然而,随着农业用地利用强度的增加,已经导致日益增长的生物多样性压力,而且这种趋势可能增强 (Tilman *et al.*, 2001),在今后的几十年里,这种对生物多样性的压力可能演变成一种最重要的形式 (Petit *et al.*, 2001)。

生物多样性受到影响后最终以物种的变化形式体现,目前研究多从物种多样性、物种组成、多度、结构相似性等层面研究土地利用变化对群落的影响 (Gómez *et al.*, 2003; Dauber *et al.*, 2006; Yeo *et al.*, 2011; Rizali *et al.*, 2013)。群落受到影响后,群落中的哪些物种受到影响以及如何受影响,才是理解群落响应栖境变化的机制的基础 (Lavorel *et al.*, 2011)。

蚂蚁在陆地生态系统中几乎均有分布,具有较高的生物多样性和重要的生态系统功能 (Hölldobler and Wilson, 1990),其多度、物种丰富度及群落结构变化被认为能够较好指示生态系统运行状况 (Philpott *et al.*, 2008; Andersen *et al.*, 2012; Luke *et al.*, 2014)。已有研究显示,土壤和植被是影响蚂蚁群落的主要因素,其次是干扰导致大部分蚂蚁多度降低,改变蚂蚁群落结构 (Hoffmann and Anderson, 2003; Philpott *et al.*, 2008; Hoffmann, 2010)。在不同利用强度下,蚂蚁物种组成、群落结构及动态能够反映出干扰强度变化 (Hoffmann, 2000)。在低利用强度下,少数物种竞争优势地位,排斥其它物种,而在高利用强度下,仅少量压力耐受物种和特化物种能够存活 (Bestelmeyer and Wiens, 1996; Anderson *et al.*, 2004)。在同等干扰条件下,对环境变化敏

感的物种受到环境变化的影响最大,通过研究这些物种的变化,可以快速获知生态系统状态。

本研究通过调查不同土地类型地表蚂蚁群落,比较不同样地中物种有无及其多度变化,分析不同样地的特征蚂蚁及指示物种,在物种层面探讨 1) 土地利用差异导致的群落结构变化中哪些物种在变化? 2) 物种如何变化? 以期为今后在山地土地利用变化中有针对性地保护蚂蚁多样性提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

在云南省绿春县大兴镇、牛孔乡和大黑山乡 3 个地点选取天然次生林 (NF)、桉树林 (EP)、紫胶林 (LP)、紫胶-玉米混农林 (MP)、橡胶林 (RP)、旱地 (DL) 和农田 (FL) 7 种类型样地调查蚂蚁群落,每种类型各选取两块面积大于 1 hm² 的样地作为重复样地,间距 1 km 以上。7 种类型样地均处于阳坡,坡度基本一致,土壤条件差异不大,同一类型两块重复样地的植被、郁闭度、枯落物等情况基本一致。天然次生林位于牛孔乡海拔 1150-1235 m 地段,植被保护较好,主要乔木有麻栎 *Quercus acutissima*、栓皮栎 *Quercus variabilis*、云南松 *Pinus yunnanensis* 等,林下地表覆盖大量枯落物,郁闭度 65% 以上;紫胶林位于牛孔乡海拔 1000-1065 m 地段,主要乔木为紫胶虫寄主植物南岭黄檀 *Dalbergia balansae*,林下草本层发达,样地内长期放养云南紫胶虫 *Kerria yunnanensis*,地表有少量枯落物,郁闭度约 50%;紫胶-玉米混农林位于牛孔乡海拔 980-1000 m 地段,主要乔木为南岭黄檀 *Dalbergia balansae*,密度为紫胶林 1/3,林下在雨季种植玉米 *Zea mays*,旱季则撂荒,郁闭度约 40%;旱地位于牛孔乡海拔 900-1000 m 地段,雨季种植玉米,旱季则撂荒,撂荒期草本层发达;农田位于牛孔乡海拔 950-1030 m 地段,长期从事水稻生产,采样前种植过水稻,土壤板结,地表有少量草本植物;桉树林位于大兴镇海拔 1400-1420 m 地段,以 6 年生桉

树 *eucalyptus grandis* 为主, 灌草层发达, 地表有枯落物, 郁闭度约 50%; 橡胶林为 30 年生橡胶 *Hevea brasiliensis* 树林, 地面有固定的收胶路线, 橡胶树行间有草本和灌木植物生长, 地表有枯落物, 郁闭度 75% 以上。

1.2 调查方法

分别于 2012 年 10 月和 2013 年 4 月进行了 7 种类型样地两次蚂蚁群落调查。使用直径 6 cm, 高 8 cm 的塑料杯作为陷阱调查蚂蚁群落, 每个样地设置 5×3 网格状的 15 个陷阱, 间距 10 m, 每个陷阱内倒入 50 mL 50% 乙二醇作为陷阱液, 放置 48 h 后收集蚂蚁置于含有 75% 酒精的离心管中带回实验室。根据相关资料将蚂蚁鉴定到种, 不能鉴定到种的, 按形态种对待 (吴坚和王常禄, 2000; 徐正会, 2002)。

1.3 数据分析

为了避免陷阱处于蚂蚁活动路径或蚁巢旁时出现单个陷阱个体数偏大的情况, 对蚂蚁多度数据进行 6 级评分转换, 1 级 1 头, 2 级 2–5 头, 3 级 6–10 头, 4 级 11–20 头, 5 级 21–50 头, 6 级大于 50 头 (Hoffmann and Andersen, 2003; 卢志兴等, 2013), 利用统计软件 PRIMER v7 中的层次聚类方法 (Hierarchical Cluster analysis) 比较各样地蚂蚁群落结构相似性 (基于 Bray-Curtis similarity), 并使用相似性分析 (ANOSIM, analysis of similarities) 检验 7 种类型样地蚂蚁群落结构相似性差异显著性, 以平方根转换后的多度数据绘制各物种在不同了些样地中的阴影图 (Shade plot), 比较不同样地蚂蚁群落中的物种组成及多度变化 (Clarke and Gorley, 2006)。同时, 使用 PRIMER v7 中的相似性百分比 (SIMPER, Similarity Percentages) 方法分析不同类型样地中的特征蚂蚁, 选取对群落结构相似性贡献率≥5% 的蚂蚁作为主要特征种类 (Clarke and Warwick, 2001)。利用统计软件 R 语言中的 Labdsv 软件包计算不同类型样地地表蚂蚁指示物种 (R Team, 2012), 以 *IndVal* 值≥0.7 作为指示物种的判定标准 (Nakamura *et al.*, 2007)。

2 结果与分析

2.1 不同类型样地地表蚂蚁群落结构及物种组成变化

共采集地表蚂蚁 16704 头, 隶属于 8 亚科

44 属 106 种。其中天然次生林 37 属 86 种; 桉树林中 32 属 76 种; 紫胶林 36 属 79 种; 橡胶林 34 属 67 种; 紫胶–玉米混农林 34 属 68 种; 旱地 22 属 41 种; 农田 11 属 22 种。

不同类型样地地表蚂蚁群落结构有差异 (ANOSIM Global $R = 0.786$, $P = 0.01$), 桉树林地表蚂蚁群落结构与天然次生林相似, 紫胶林与紫胶–玉米混农林相似, 旱地与紫胶林及紫胶–玉米混农林相似。上述 5 种类型样地地表蚂蚁群落结构与橡胶林和农田不相似, 橡胶林地表蚂蚁群落结构与农田不相似 (图 1)。7 种类型样地均有各自的特有物种 (见附表)。弯刺角腹蚁 *Recurvidris recurvispinosa* 等 8 种蚂蚁仅出现在桉树林中, 多毛厚结猛蚁 *Pachycondyla pilosior* 等 7 种蚂蚁仅出现在天然次生林中, 光胫多刺蚁 *Polyrhachis tibialis* 等 5 种蚂蚁仅出现在紫胶林中, 克氏锯猛蚁 *Prionopelta kraepelini* 等 7 种蚂蚁仅出现在紫胶–玉米混农林中, 大隐猛蚁 *Cryptopone gigas* 仅出现在旱地中, 云南细蚁 *Leptanilla* sp. 1 等 5 种仅出现在橡胶林中, 费氏臭蚁 *Dolichoderus feae* 仅出现在农田中。在多个样地中均有出现的物种中, 不同样地间该物种的多度有差异。其中, 毛发铺道蚁 *Tetramorium ciliatum* 和舒尔盘腹蚁 *Aphaenogaster schurri* 在天然次生林中的多度较高, 卡泼林大头蚁 *Pheidole capellini*、立毛举腹蚁 *Crematogaster ferrarii* 和和平弓背蚁 *Camponotus mitis* 在紫胶林中的多度较高, 女蜗角腹蚁 *Recurvidris nuwa*、棒刺大头蚁 *Pheidole spathifera*、东方小家蚁 *Monomorium orientale* 和中华小家蚁 *Monomorium chinensis* 在紫胶–玉米混农林中的多度较高, 伊大头蚁 *Pheidole yeensis* 在旱地中的多度较高, 皮氏大头蚁 *Pheidole pili* 和沃森大头蚁 *Pheidole watsoni* 在橡胶林中的多度较高, 罗氏心结蚁 *Cardiocondyla wroughtonii* 和扁平虹臭蚁 *Iridomyrmex anceps* 在农田中的多度较高。(见图 1 和附表)

2.2 不同类型样地的特征物种

进一步分析不同类型样地中对群落结构相似性贡献累积超过 70% 的物种, 结果显示地表蚂蚁群落结构在天然次生林中变化较大 (该类型样地的群落平均相似性为 39.87%), 在桉树林和紫胶–玉米混农林中变化相对较小 (该类型样地的群落平均相似性分别为 65.73% 和 64.66%), 紫胶林、橡胶林、旱地和农田则超过 50%。在多个类型样地中出现的特征蚂蚁物种为横纹齿猛蚁

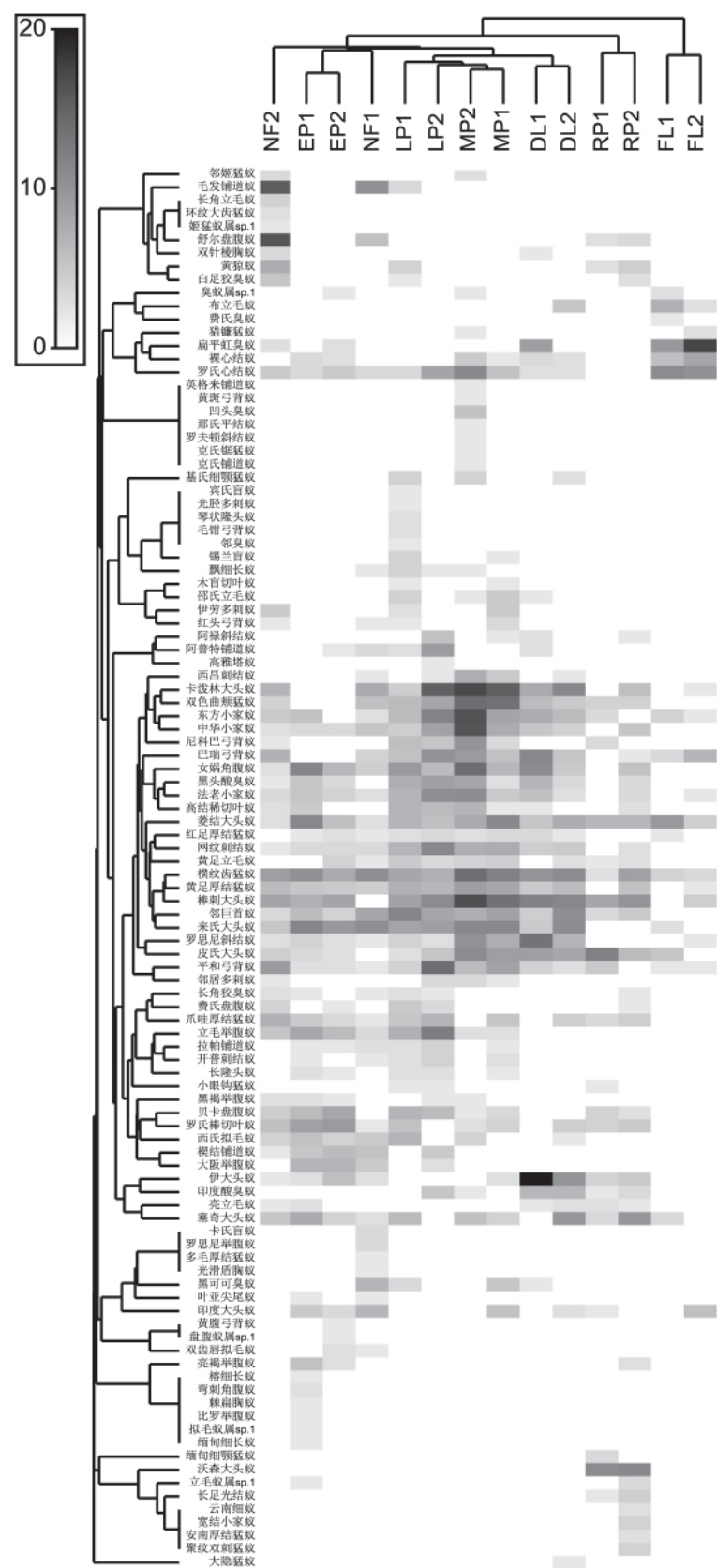


图1 不同样地地表蚂蚁群落结构层次聚类阴影图

Fig. 1 Shade plot of ant communities among different plots based on hierarchical cluster analysis

Odontoponera transversa (5 个类型样地均出现)、棒刺大头蚁 (5 个类型样地均出现) 和来氏大头蚁 *Pheidole lighti* (4 个类型样地均出现), 其中, 横纹齿猛蚁在天然次生林中具有最高的群落相似性

贡献比例, 在紫胶林中最低 (见表 1); 棒刺大头蚁在紫胶林和旱地中具有较高的群落相似性贡献比例 (见表 1); 来氏大头蚁在桉树林中具有较高的群落相似性贡献比例。

表 1 不同样地地表蚂蚁群落相似性平均贡献率

Table 1 Similarity percentages-species average contributions of ant communities among different sites

物种名 Species	平均相似性 (%) Average similarity						
	39. 87	65. 73	52. 52	52. 85	64. 66	54. 11	51. 18
	NF	EP	LP	RP	MP	DL	FL
猛蚁亚科 Ponerinae							
双色曲颊猛蚁 <i>Gnamptogenys bicolor</i>					11. 19		
横纹齿猛蚁 <i>Odontoponera transversa</i>	16. 94	8. 51	5. 20		8. 62	11. 98	
切叶蚁亚科 Myrmicinae							
立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i>		5. 32	5. 20				
大阪举腹蚁 <i>Crematogaster osakensis</i>		6. 38					
邻巨首蚁 <i>Pheidologeton affinis</i>			6. 80				
女蜗角腹蚁 <i>Recurvidris nuwa</i>		5. 85	4. 00				
罗氏棒切叶蚁 <i>Rhoptromyrmex wroughtonii</i>		10. 64					
毛发铺道蚁 <i>Tetramorium ciliatum</i>	22. 58						
棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i>		6. 91	7. 60	16. 67	11. 19	15. 67	
来氏大头蚁 <i>Pheidole lighti</i>	5. 65	12. 77	7. 20		7. 69		
卡泼林大头蚁 <i>Pheidole capellini</i>	9. 68				14. 22	7. 37	
伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i>						11. 98	
菱结大头蚁 <i>Pheidole noda</i>				10. 78			
沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i>				30. 39			
皮氏大头蚁 <i>Pheidole pieli</i>				9. 80		7. 83	
罗氏心结蚁 <i>Cardiocondyla wroughtonii</i>							36. 84
裸心结蚁 <i>Cardiocondyla nuda</i>							11. 84
贝卡盘腹蚁 <i>Aphaenogaster beccarii</i>		5. 32					
舒尔盘腹蚁 <i>Aphaenogaster schurri</i>	7. 26						
臭蚁亚科 Dolichoderinae							
黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i>			5. 60				
印度酸臭蚁 <i>Tapinoma indicum</i>						5. 07	
扁平虹臭蚁 <i>Iridomyrmex anceps</i>							31. 58
蚁亚科 Formicinae							
罗思尼斜结蚁 <i>Plagiolepis rothneyi</i>						5. 53	

注: 平均相似性是同一类型样地重复样地的相似性。NF, 天然次生林; EP, 桉树林; LP, 紫胶林; RP, 橡胶林; MP, 紫胶玉米混农林; DL, 旱地; FL, 农田。附表同。Note: Average similarity means similarity of repeated sample in same site. NF, Secondary natural forest; EP, Eucalyptus plantation; LP, Lac insect plantation; RP, Rubber plantation; MP, Lac-corn agroforest; DL, Dry land; FL, Farmland. Same in the appendix.

不同类型样地特征物种存在差异, 其中天然次生林中的特征蚂蚁为毛发铺道蚁和舒尔盘腹蚁; 桉树林中为大阪举腹蚁 *Camponotus parius* 和罗氏棒切叶蚁 *Rhoptromyrmex wroughtonii*; 紫胶林中为邻巨首蚁 *Pheidologeton affinis* 和黑头酸臭蚁 *Tapinoma melanocephalum*; 紫胶混农林中为双色曲颊猛蚁 *Gnamptogenys bicolor*; 橡胶林中为菱结大头蚁 *Pheidole noda* 和沃森大头蚁; 旱地中为伊大头蚁、印度酸臭蚁 *Tapinoma indicum* 和罗思尼斜结蚁

Plagiolepis rothneyi; 农田中为罗氏心结蚁、裸心结蚁 *Cardiocondyla nuda* 和扁平虹臭蚁。

2.3 不同类型样地地表蚂蚁指示物种

不同类型样地地表蚂蚁指示物种明显不同(表2)。旱地中为喜欢开放栖境的伊大头蚁; 紫胶林中指示物种为飘细长蚁 *Tetraponera allaborans*; 天然次生林中指示物种为毛发铺道蚁; 桉树林中指示物种为亮褐举腹蚁 *Crematogaster contemta*。橡胶林、紫胶-玉米混农林和农田中无指示物种。

表2 不同土地类型地表蚂蚁指示值分析
Table 2 IndVal analysis of ground-dwelling ant communities among different sites

样地类型 Sites	物种名 Species	IndVal	P
旱地 Dry land	伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i>	0.8333	0.001
紫胶林 Lac insect plantation	飘细长蚁 <i>Tetraponera allaborans</i>	0.7143	0.001
天然次生林 Secondary natural forest	毛发铺道蚁 <i>Tetramorium ciliatum</i>	0.9677	0.001
桉树林 Eucalyptus plantation	亮褐举腹蚁 <i>Crematogaster contemta</i>	0.8333	0.001

注: $IndVal_{ij} = A_{ij} \times B_{ij}$, 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。Note: A_{ij} is the proportion of sites of type j with species i , B_{ij} is the proportion of the number of abundance of species i that are in a j type of site.

3 结论与讨论

物种是生态系统功能实现的载体, 基于物种组成的群落结构分析可以较好揭示出生态系统运行状态 (Lavorel *et al.*, 2011), 土地利用变化直接改变了蚂蚁群落结构。整体上看, 天然次生林、人工林、混农林及农耕系统中地表蚂蚁群落结构不相似(图1)。首先, 不同类型样地中特有物种数量不一致, 旱地和农田中各有1个特有物种, 其余类型样地中有5至8种特有物种(表1)。不同土地利用的生境与特有蚂蚁物种的生态学特性密切相关, 天然次生林中的环纹大齿猛蚁、卡氏盲蚁和光滑盾胸蚁特有种被认为是分布在植被相对较好、有枯落物层的栖境中(徐正会, 2002); 紫胶林和紫胶-玉米混农林中的光胫多刺蚁、黄斑弓背蚁和凹头臭蚁喜欢在植物上活动且喜食蜜露资源(卢志兴等, 2013); 农田中的费氏臭蚁多分布在开放有干扰的栖境中(徐正会, 2002)。其次, 多度发生变化的物种也明显响应了土地利用变化导致的栖境变化。毛发铺道蚁和舒尔盘腹蚁在植被条件较好的天然次生林中的多度较高, 在其余样地中多度较低或没有, 同时, 毛发铺道蚁也是天然次生林的指示物种, 表明这两种蚂蚁需

要依赖较好质量栖境生存, 与前人研究一致(Chen *et al.*, 2011); 伊大头蚁、扁平虹臭蚁、裸心结蚁和罗氏心结蚁在旱地和农田中的多度较高, 伊大头蚁也是旱地的指示物种, 表明这些蚂蚁趋向于开放有干扰的栖境, 与国外研究一致(Hoffmann, 2003)。第三, 蚂蚁群落结构相似性反映了不同土地利用下生境条件的相似性。天然次生林和桉树林特征物种毛发铺道蚁和舒尔盘腹蚁为依赖具枯落物层复杂栖境的物种(张智英等, 2005; Chen *et al.*, 2011), 大阪举腹蚁和罗氏棒切叶蚁则需要依赖植物空间结构较为复杂的栖境生存(陈友等, 2013), 紫胶林的黑头酸臭蚁喜食蜜露(Chen *et al.*, 2011, 卢志兴等, 2013), 旱地中的伊大头蚁和农田中的扁平虹臭蚁则喜欢有干扰开放的栖境(Hoffmann, 2003)。

土地利用转变导致蚂蚁群落多样性降低, 物种组成及群落结构随着干扰及利用强度发生改变(Hoffmann, 2010; de Castro Solar *et al.*, 2016), 一方面, 这种差异是由于样地土壤、植被组成及结构变化造成, 另一方面则是由于不同土地利用强度差异造成(Hoffmann and Andersen, 2003; Armbrrecht *et al.*, 2006)。本研究结果显示, 不同类型样地蚂蚁群落组成及结构差异明显, 在林分条件好、干扰少的天然次生林或部分人工林中

(如桉树林), 蚂蚁物种组成及群落结构不同于利用强度高、干扰多的农业系统, 与前人研究一致。人工林由于树种单一被认为不利于多样性保护, 实际上, 在保护相对较好, 干扰少的桉树林、具有提供蜜露食物资源的紫胶林以及复合型的紫胶-玉米混农林系统中, 蚂蚁物种组成及群落结构与天然次生林具有一定的相似性, 这对西南脆弱山地生态系统中的生物多样性保护具有积极作用。

已有研究多通过分析蚂蚁指示物种, 以这些物种的生物学习性和生态学特点来指示栖境变化或栖境质量情况 (Hoffmann and Andersen, 2003; Hoffmann, 2010; Menke *et al.*, 2015)。由于很多蚂蚁的生态学研究仍然是空白, 可能会缺乏对应指示物种的生态学资料; 同时, 对一些栖境数据的分析并不能获得指示物种, 使得指示物种方法在运用中受到一定的限制 (Nakamura *et al.*, 2007; Hoffmann, 2010)。基于 SIMPER 的特征物种分析说明, 物种在某类型样地中对群落相似性贡献率越高, 则在该种栖境中的存在越稳定, 与该栖境的关联程度较可靠 (Nakamura *et al.*, 2007; Delabie *et al.*, 2009)。本文通过对云南蚂蚁群落结构在不同土地利用方式下的变化分析, 筛选出在蚂蚁群落变化中起关键作用的物种, 也能较好指示栖境变化和栖境质量情况, 可作为指示物种的补充加以利用。

致谢: 感谢西南林业大学徐正会教授帮助核实标本。

参考文献 (References)

- Armbrrecht I, Perfecto I, Silverman E. Limitation of nesting resources for ants in Colombian forests and coffee plantations [J]. *Ecological Entomology*, 2006, 31 (5): 403–410.
- Andersen AN, Fisher A, Hoffmann BD, *et al.* Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants [J]. *Austral Ecology*, 2004, 29 (1): 87–92.
- Andersen AN, Woinarski JCZ, Parr CL. Savanna burning for biodiversity: Fire management for faunal conservation in Australian tropical savannas [J]. *Austral Ecology*, 2012, 37 (6): 658–667.
- Bestelmeyer BT, Wiens JA. The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine Chaco [J]. *ecological Applications*, 1996: 1225–1240.
- Chen YQ, Li Q, Chen YL, *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.
- Chen Y, Luo CW, Li HW, *et al.* Investigation of ant species and distribution on Wuliang mountain [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2013, 42 (5): 118–122. [陈友, 罗长维, 李宏伟, 等. 无量山蚂蚁种类及其分布 [J]. 河南农业科学, 2013, 42 (5): 118–122]
- Clarke KR, Gorley RN. PRIMER Version 6: User Manual/Tutorial [M]. Plymouth: PRIMER-E, 2006.
- Clarke KR, Warwick RM. An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Change in Marine Communities [M]. Plymouth: PRIMER-E, 2001.
- Dauber J, Bengtsson JAN, Lenoir L. Evaluating effects of habitat loss and land-use continuity on ant species richness in seminatural grassland remnants [J]. *Conservation Biology*, 2006, 20 (4): 1150–1160.
- Delabie JHC, Céréghino R, Groc S, *et al.* Ants as biological indicators of Wayana Amerindian land use in French Guiana [J]. *Comptes. Rendus. Biologies*, 2009, 332 (7): 673–684.
- Foley JA, DeFries R, Asner GP, *et al.* Global consequences of land use [J]. *Science*, 2005, 309 (5734): 570–574.
- Gómez C, Casellas D, Oliveras J, *et al.* Structure of ground-foraging ant assemblages in relation to land-use change in the northwestern Mediterranean region [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12 (10): 2135–2146.
- Hoffmann BD, Andersen AN. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups [J]. *Austral Ecology*, 2003, 28 (4): 444–464.
- Hoffmann BD. Responses of ant communities to experimental fire regimes on rangelands in the Victoria River District of the Northern Territory [J]. *Austral Ecology*, 2003, 28 (2): 182–195.
- Hoffmann BD. Using ants for rangeland monitoring: Global patterns in the responses of ant communities to grazing [J]. *Ecological Indicators*, 2010, 10 (2): 105–111.
- Hölldobler B, Wilson EO. The Ants [M]. Harvard University Press, 1990.
- Lavorel S, Grigulis K, Lamarque P, *et al.* Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services [J]. *Journal of Ecology*, 2011, 99: 135–147.
- Lu ZX, Chen YQ, Zhang W, *et al.* Effects of facultative mutualism between ants and lac insects on the diversity of ant communities [J]. *Biodiversity Science*, 2013, 21 (3): 343–351. [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]
- Luke SH, Fayle TM, Eggleton P, *et al.* Functional structure of ant and termite assemblages in old growth forest, logged forest and oil palm plantation in Malaysian Borneo [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2014, 23 (11): 2817–2832.
- Menke SB, Gaulke E, Hamel A, *et al.* The effects of restoration age and prescribed burns on grassland ant community structure [J].

Environmental Entomology, 2015, 44 (5): 1336 – 1347.

Nakamura A, Catterall CP, House APN, *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.

Petit S, Firbank L, Wyatt B, *et al.* MIRABEL: Models for integrated review and assessment of biodiversity in European landscapes [J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2001, 30 (2): 81 – 88.

Philpott SM, Arendt WJ, Armbrrecht 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.

Rizali A, Clough Y, Buchori D, *et al.* Long – term change of ant community structure in cacao agroforestry landscapes in Indonesia [J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2013, 6 (3): 328 – 338.

Sala OE, Chapin FS, Armesto JJ, *et al.* Global biodiversity scenarios for the year 2100 [J]. *Science*, 2000, 287 (5459): 1770 – 1774.

Team RC. R: A Language and Environment for Statistical Computing [M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

Tilman D, Fargione J, Wolff B, *et al.* Forecasting agriculturally driven global environmental change [J]. *Science*, 2001, 292 (5515): 281 – 284.

United Nations Environment Programme. Global Environmental Outlook: 3. Past, Present and Future Perspectives [M]. London: Earthscan Publications, 2002.

Wu J, Wang CL. The Ants of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. 吴坚, 王常禄. 中国蚂蚁 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995]

Xu ZH. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002. 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]

Yeo K, Konate S, Tiho S, *et al.* Impacts of land use types on ant communities in a tropical forest margin (Oumé – Côte d'Ivoire) [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6 (2): 260 – 274.

Zebisch M, Wechsung F, Kenneweg H. Landscape response functions for biodiversity – assessing the impact of land – use changes at the county level [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67 (1): 157 – 172.

Zhang ZY, Li YH, Chai DM, *et al.* Ant biodiversity in different habitats in Shilin Park, Yunnan Province [J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13 (4): 357 – 362. 张智英, 李玉辉, 柴冬梅, 等. 云南石林公园不同生境蚂蚁多样性研究 [J]. 生物多样性, 2005, 13 (4): 357 – 362]

附表 不同样地蚂蚁名录及多度
Appendix Ant species and abundance of different sites

物种名 Species	NF	EP	LP	RP	MP	DL	FL
钝猛蚁亚科 Amblyoponinae							
克氏锯猛蚁 <i>Prionopelta kraepelini</i>					1		
猛蚁亚科 Ponerinae							
环纹大齿猛蚁 <i>Odontomachus circulus</i>	2						
小眼钩猛蚁 <i>Anochetus subcoecus</i>			2	1			
双色曲颊猛蚁 <i>Gnamptogenys bicolor</i>	17		36	8	271	20	
大隐猛蚁 <i>Cryptopone gigas</i>						1	
黄足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla luteipes</i>	17	14	34	17	49	20	1
多毛厚结猛蚁 <i>Pachycondyla pilosior</i>	1						
红足厚结猛蚁 <i>Pachycondyla rufipes</i>	1	3	5		5	4	1
安南厚结猛蚁 <i>Pachycondyla annamita</i>				2			
爪哇厚结猛蚁 <i>Pachycondyla javana</i>	14	9	22	8	7	5	
邻姬猛蚁 <i>Hypoponera confinis</i>	3				2		
姬猛蚁属 <i>Hypoponera</i> sp. 1	1						
猎镰猛蚁 <i>Harpegnathos venator</i>					1		2
缅甸细颚猛蚁 <i>Leptogenys birmana</i>				6			
基氏细颚猛蚁 <i>Leptogenys kitteli</i>			7		5	2	

续上表

物种名 Species	NF	EP	LP	RP	MP	DL	FL
聚纹双刺猛蚁 <i>Diacamma rugosum</i>				4			
横纹齿猛蚁 <i>Odontoponera transversa</i>	67	56	54	26	167	87	8
盲蚁亚科 Aenictinae							
锡兰盲蚁 <i>Aenictus ceylonicus</i>			4		1		
宾氏盲蚁 <i>Aenictus binghami</i>			1				
卡氏盲蚁 <i>Aenictus camposi</i>	7						
细蚁亚科 Leptanillinae							
云南细蚁 <i>Leptanilla</i> sp. 1				3			
伪切叶蚁亚科 Pseudomyrmecinae							
瓢细长蚁 <i>Tetraoponera allaborans</i>	1		5		1		
榕细长蚁 <i>Tetraoponera microcarpa</i>		1					
缅甸细长蚁 <i>Tetraoponera birmana</i>		1					
切叶蚁亚科 Myrmicinae							
罗思尼举腹蚁 <i>Crematogaster rothneyi</i>	7						
黑褐举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i>	2	4	1		1		
立毛举腹蚁 <i>Crematogaster ferrarii</i>	16	52	165		6		
亮褐举腹蚁 <i>Crematogaster contemta</i>		14		2			
比罗举腹蚁 <i>Crematogaster biroi</i>		1					
大阪举腹蚁 <i>Crematogaster osakensis</i>	9	33	2				
琴状隆头蚁 <i>Strumigenys lyroessa</i>			2				
长隆头蚁 <i>Strumigenys exilirhina</i>		4	6		1		
木盲切叶蚁 <i>Carebara lignata</i>			1		1		
高雅塔蚁 <i>Pyramica elegantula</i>			1				
高结稀切叶蚁 <i>Oligomyrmex altinodus</i>	3	6	120	2	14	1	
邻巨首蚁 <i>Pheidologeton affinis</i>	65	44	163	54	81	115	
光滑盾胸蚁 <i>Meranoplus laeviventris</i>	1						
双针棱胸蚁 <i>Pristomyrmex pungens</i>	4					1	
女蜗角腹蚁 <i>Recurvidris nuva</i>	8	117	42	10	156	66	
弯刺角腹蚁 <i>Recurvidris recurvispinosa</i>		4					
法老小家蚁 <i>Monomorium pharaonis</i>	5	24	171	7	82	24	1
东方小家蚁 <i>Monomorium orientale</i>	16	31	217	6	438	45	6
宽结小家蚁 <i>Monomorium latinode</i>				19			
中华小家蚁 <i>Monomorium chinensis</i>	12	6	110	10	533	18	
棘扁胸蚁 <i>Vollenhovia acanthina</i>		1					
罗氏棒切叶蚁 <i>Rhoptromyrmex wroughtonii</i>	106	520	65	22	7	26	
英格来铺道蚁 <i>Tetramorium ingleyi</i>					1		

续上表

物种名 Species	NF	EP	LP	RP	MP	DL	FL
拉帕铺道蚁 <i>Tetramorium laparum</i>	2	2	7		1		
毛发铺道蚁 <i>Tetramorium ciliatum</i>	326		3				
阿普特铺道蚁 <i>Tetramorium aptum</i>	3	1	36			2	
克氏铺道蚁 <i>Tetramorium kraepelini</i>					1		
楔结铺道蚁 <i>Tetramorium cuneinode</i>	10	21	11				
棒刺大头蚁 <i>Pheidole spathifera</i>	43	66	111	65	466	188	13
来氏大头蚁 <i>Pheidole lighti</i>	120	142	372		158	54	2
卡泼林大头蚁 <i>Pheidole capellini</i>	121		216	20	867	165	1
伊大头蚁 <i>Pheidole yeensis</i>	3	41		23	5	2858	
菱结大头蚁 <i>Pheidole noda</i>	7	120	39	37	123	35	73
印度大头蚁 <i>Pheidole indica</i>	32	21		1	12	2	26
沃森大头蚁 <i>Pheidole watsoni</i>				142			
塞奇大头蚁 <i>Pheidole sagei</i>	14	37	23	222	16	37	7
皮氏大头蚁 <i>Pheidole pieli</i>	24	7	12	140	182	78	13
罗氏心结蚁 <i>Cardiocondyla wroughtonii</i>	12	11	38		93	5	150
裸心结蚁 <i>Cardiocondyla nuda</i>		7			9	8	42
贝卡盘腹蚁 <i>Aphaenogaster beccarii</i>	5	30	34	9	4		
费氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster feae</i>	4	1	12	1			
舒尔盘腹蚁 <i>Aphaenogaster schurri</i>	386			5			
盘腹蚁属 <i>Aphaenogaster</i> sp. 1		1					
臭蚁亚科 Dolichoderinae							
白足狡臭蚁 <i>Technomyrmex albipes</i>	52		1	3			
长角狡臭蚁 <i>Technomyrmex antennis</i>	3	1	3	1			
黑头酸臭蚁 <i>Tapinoma melanocephalum</i>	1	11	173	4	25	47	
印度酸臭蚁 <i>Tapinoma indicum</i>			17	9	1	32	
费氏臭蚁 <i>Dolichoderus feae</i>							1
黑可可臭蚁 <i>Dolichoderus thoracicus</i>	42		6		7	1	
凹头臭蚁 <i>Dolichoderus incisus</i>					11		
邻臭蚁 <i>Dolichoderus affinis</i>			1				
臭蚁属 <i>Dolichoderus</i> sp. 1		1			1		2
扁平虹臭蚁 <i>Iridomyrmex anceps</i>	3	4				134	312
蚁亚科 Formicinae							
叶亚尖尾蚁 <i>Acropyga yaeyamensis</i>	1	1					
开普刺结蚁 <i>Lepisiota capensis</i>	1	1	9		3		
西昌刺结蚁 <i>Lepisiota xichangensis</i>	1		1		55	1	
网纹刺结蚁 <i>Lepisiota reticulate</i>	4	7	74	2	37	13	

续上表

物种名 Species	NF	EP	LP	RP	MP	DL	FL
阿禄斜结蚁 <i>Plagiolepis alluaudi</i>			10	1	1	2	
罗思尼斜结蚁 <i>Plagiolepis rothneyi</i>	5	10	6		151	235	1
罗夫顿斜结蚁 <i>Plagiolepis Wroughtoni</i>					1		
长足光结蚁 <i>Anoplolepis gracilipes</i>				6			
西氏拟毛蚁 <i>Pseudolasius silvestrii</i>	14	14	15		6	1	
双齿唇拟毛蚁 <i>Pseudolasius bidenticlepeus</i>	1	2					
拟毛蚁属 sp. 1 <i>Pseudolasius</i> sp. 1		1					
邵氏立毛蚁 <i>Paratrechina sauteri</i>			5		10	1	
长角立毛蚁 <i>Paratrechina longicornis</i>	5						
亮毛蚁 <i>Paratrechina vividula</i>	1	2		4		4	
黄足立毛蚁 <i>Paratrechina flavipes</i>	1	4	9	3	12	3	
布立毛蚁 <i>Paratrechina bourbonica</i>						11	19
立毛蚁属 sp. 1 <i>Paratrechina</i> sp. 1		1		3			
那氏平结蚁 <i>Prenolepis naraojii</i>					1		
黄猱蚁 <i>Oecophylla smaragdina</i>	46		7	8			
光胫多刺蚁 <i>Polyrhachis tibialis</i>			1				
邻居多刺蚁 <i>Polyrhachis proxima</i>	1		3		6		
伊劳多刺蚁 <i>Polyrhachis illaudata</i>	7		3		6		
毛钳弓背蚁 <i>Camponotus lasiselene</i>			2				
巴瑞弓背蚁 <i>Camponotus parius</i>	33		59	1	75	99	16
尼科巴弓背蚁 <i>Camponotus nicobarensis</i>	1		63	4	201		
平和弓背蚁 <i>Camponotus mitis</i>	56	4	275	7	48	6	2
黄斑弓背蚁 <i>Camponotus albosparsus</i>					1		
黄腹弓背蚁 <i>Camponotus helvus</i>		1					
红头弓背蚁 <i>Camponotus singularis</i>	2		1		3		