

蚂蚁群落研究方法*

李巧^{1*} 陈又清² 徐正会¹

(¹ 西南林学院保护生物学学院, 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 综述了蚂蚁群落常见抽样方法和分析方法,总结了陷阱法、样方法、诱饵法、枯落物抽样法、手拣法、杀虫剂击倒法、精细抽样法及样地调查法等抽样方法的优点及不足,分析了不同抽样方法采集蚂蚁的效率,介绍了国际上通用的地表蚂蚁抽样方法 ALL 草案及蚂蚁功能群研究,比较了物种累积曲线、相对多度、物种丰富度和多样性指数等在蚂蚁群落分析中的运用。指出了当前蚂蚁群落研究中存在研究方法不够规范的问题,提出了运用 ALL 草案在全国范围内进行蚂蚁群落调查,在高度异质性的生境开展抽样方法比较研究,加强对蚂蚁群落物种累积曲线及相对多度的分析,通过它们来进行科学的物种丰富度估计的建议。

关键词 蚂蚁群落;抽样;ALL 草案;多样性分析;功能群

中图分类号 Q 968 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)09-1862-09

Research methods on ant community. LI Qiao¹, CHEN You-qing², XU Zheng-hui¹(¹ Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China; ² Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(9):1862-1870.

Abstract: This paper summarized the common methods for sampling and analyzing ant community, reviewed the advantages and shortages of pitfall trapping, quadrat sampling, baiting, leaf-litter sampling, hand collection, chemical knocking-down, intensive sampling, and sample plot investigation, analyzed the efficiency of sampling ants by different sampling methods, introduced the ALL Protocol and ant functional groups, and compared the applications of species accumulation curve, relative abundance, species richness, and diversity index in the analysis of ant community. In the current researches on ant community, the methods adopted were not standard enough, and it was suggested that in order to have a scientific and reliable estimation of ant species richness, the ALL Protocol should be used to investigate the ant communities throughout China, the methods for sampling ants should be compared in heterogeneous habitats, and the analysis of ant community's species accumulation curve and relative abundance should be conducted in national scale.

Key words: ant community; sampling; ALL Protocol; diversity analysis; functional group.

蚂蚁是地球上分布最广泛、种类和数量最多的社会性昆虫,具有药用、食用及研究价值以及改良土壤、帮助植物授粉、传播植物种子、防治害虫等作用,有些种类危害作物、传播疾病或干扰人类生活,还有个别种类成为重要的外来入侵物种,对生态安全造成威胁(徐正会,2002;Underwood & Fisher,2006;Abbott & Green,2007)。由于蚂蚁具有高的多度和

多样性、在所有能级水平的生态重要性、易于采集以及对生态变化的敏感性,已经成为指示生物多样性和环境变化的重要物种(Andersen,1990;Alonso,2000;Kaspari & Majer,2000)。随着生态恢复实践的开展,以蚂蚁作为指示生物对生态恢复状况进行评价受到了许多国家的重视(Osborn *et al.*,1999;Watt *et al.*,2002)。

中国陆地生态系统复杂多样,动植物种类繁多,是生物多样性特别丰富的国家之一,同时,中国也是生物多样性受到最严重威胁的国家之一,生物多样

* 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点资助项目(riricaf200801z)。

* * 通讯作者 E-mail: lqfcb@126.com

收稿日期:2008-12-12 接受日期:2009-04-29

性监测与保护刻不容缓。中国蚂蚁群落研究相对贫乏,在蚂蚁被普遍应用于许多国家的生态恢复评价时,中国的相关研究仍处于空白阶段。本文试图通过对蚂蚁群落常见抽样和分析方法的概述,分析国内外蚂蚁群落研究方法的异同,以期为国内蚂蚁群落研究提供科学的方法论。

1 蚂蚁群落抽样方法

1.1 蚂蚁群落常见抽样方法

1.1.1 陷阱法(pitfall trapping) 即在调查样地内设置一定数量的陷阱,收集落入陷阱中的蚂蚁。该方法所需时间短,简便易行,在地表蚂蚁抽样中应用十分广泛,尤其适用于暴露的生境(Andersen, 1991 ; Bestelmeyer *et al.* 2000)。最常见的是采用 15 个 4 ~ 6 cm 口径的塑料杯作为陷阱,以乙醇或乙二醇作为保存液,排成 5 × 3 的方阵,陷阱之间间距 10 m ,放置 48 h 或 5 d 后取出各陷阱内收集的蚂蚁标本(Andersen, 1997a , 1997b)。也有人采用 9 个 7 cm 口径的塑料杯作为陷阱,以乙醇和乙二醇的混合液(混合比例为 1:1)作为保存液,排成 3 × 3 的方阵,陷阱之间间距 10 m ,放置 10 d 后取出各陷阱内收集的蚂蚁标本。此外,有的研究中陷阱数是 20 个或更多,有的将 3% 的甲醛作为保存液,还有在陷阱中使用诱饵如肉、蜜等(Osborn *et al.* , 1999 ; Ruiz - Jaén & Aide 2006)。陷阱也可布设于树冠层,进行树冠层蚂蚁的抽样(Osborn *et al.* , 1999)。在国内,陷阱法也被用于地表蚂蚁调查中,但不同研究人员选择了各自不同的陷阱数量、保存液种类及陷阱布设方式等(刘红等, 2002 ;张智英等, 2005 ;李巧等, 2007)。尽管陷阱法在蚂蚁群落调查中运用最广泛,但它具有明显的不足:不同种类蚂蚁由于运动能力的不同导致被陷阱捕获的几率不同,运动能力强的蚂蚁较运动能力差的更易于落入陷阱(Andersen, 1991)。另外,地表的物理结构会影响蚂蚁的捕获率,枯落物丰富或石头多的地表,陷阱对蚂蚁的捕获率会降低(Bestelmeyer *et al.* 2000)。再者,陷阱法捕获的多是地表活动的种类,不能反映出枯落物层蚂蚁的全部种类(Olson, 1991 ; Majer, 1996)。

1.1.2 样方法(quadrat sampling) 即在调查样地内设置一定面积的样方,观察和采集样方内的蚂蚁(Romero & Jaffe, 1989 ; Bestelmeyer *et al.* 2000)。不同研究人员设置的样方在大小和数量上有所不同。比较普遍的是将 12 个由木头或塑料管制成的 0.5

m × 0.5 m 的样方框置于地表,用短桩或钉子略微支起以不干预蚂蚁的活动,平行排列成 3 行,样方框之间相距 6 m ,每隔 2 min 观察、计数并采集样方框内的蚂蚁,总计调查 30 min(Andersen, 1991 ; Bestelmeyer *et al.* 2000)。样方法所提供的信息和陷阱法相似,但其在表达地表觅食蚂蚁的密度方面比陷阱法更精确,而且能用于调查蚂蚁的小时或日间行为模式,在行为生态学研究运用更加广泛。需要注意的是,在计数样方框内的蚂蚁时,使用多度尺度代替绝对数值往往更有效(Andersen, 1991 ; Bestelmeyer *et al.* 2000)。该方法要求调查者将样方内的蚂蚁根据种类不同悉数采集到不同的标本瓶中,因而可能会出现样方内蚁群数量过大而采集不全的问题;同时,活动能力强的蚂蚁也会给观察和采集带来困难;另外,夜间调查时黄色的小型蚂蚁常常会因为难以看到而被忽略,这些问题的存在最终导致该方法不能反映出被调查样方内蚂蚁的全貌(Bestelmeyer *et al.* 2000)。

1.1.3 诱饵法(baiting) 诱饵法原本不独立为抽样方法,仅配合其他抽样方法如陷阱法等使用,随着蚂蚁功能群研究的进展,诱饵法已发展为既可独立使用,也可配合其他抽样方法使用的简单、费用低廉、应用广泛的蚂蚁群落抽样方法。它是在调查样地内设置一定数量的诱饵,观察和采集被诱集的蚂蚁。诱饵的成分分为 2 类,单一食物构成的诱饵如鱼肉、肉、面包屑、蜜等,以及不同食物混合而成的诱饵如肉-蜜混合物(Bestelmeyer *et al.* , 2000)。群落调查时,诱饵数量常由于调查者调查目的的不同而各异。由于蚂蚁食性会因种类的不同而异,即使同一种类,其食性也会表现为季节性的变化,因此,运用诱饵法进行蚂蚁群落调查,不能完全反映调查区域蚂蚁群落的全貌。

1.1.4 枯落物抽样法(leaf-litter sampling) 是指使用特制的工具容纳枯落物,收集枯落物中的蚂蚁(Bestelmeyer *et al.* 2000)。随着蚂蚁群落研究的深入,该方法已较多的应用于地表蚂蚁抽样中,尤其适用于森林和林地生境(King *et al.* , 1998 ; Watt *et al.* , 2002 ; Ruiz-Jaén & Aide, 2006)。通常使用 Winkler 袋或 Berlese 漏斗进行枯落物抽样。使用 Winkler 袋的具体做法是:在调查样地内以 8 ~ 10 m 为间距选择 5 ~ 20 个 1 m² 取样点,将取样点内枯落物及距地表 3 ~ 5 cm 的土壤取出,用网眼直径为 1 cm 的网筛过滤除去大的杂物,过滤物置于 Winkler 袋中, 48

~72 h 后取出袋内底层酒精瓶内收集的蚂蚁标本 (King *et al.*, 1998; Watt *et al.*, 2002)。使用 Berlese 漏斗的具体做法是: 枯落物收集方法同前, 收集后不经过滤直接放入 1 或多个 Berlese 漏斗中, 将漏斗置于灯光下或阳光下, 蚂蚁受热后落入漏斗下方盛有酒精的容器内 (Bestelmeyer *et al.*, 2000)。枯落物抽样法能有效的对枯落物层蚂蚁进行抽样, 而运用其他的抽样方法对枯落物层蚂蚁进行调查均会出现抽样量过低的问题。然而, 该方法操作起来相对繁琐, 调查成本较高, 且不适用于干旱季节, 对于个体较大、运动能力强的种类抽样结果欠佳。

1.1.5 手拣法 (hand collecting) 也称直接抽样法 (direct sampling) 指在调查样地内仔细搜寻蚂蚁并直接采集看到的蚂蚁, 在早期的研究中运用最多 (Romero & Jaffe, 1989)。具体做法是: 在调查样地内至少设置 10 个样点, 2 名熟悉蚂蚁生境并受过训练的有耐心的人员在白天至夜间的不同时段在样点区域内随机走动, 使用镊子和抽吸器采集见到的蚂蚁标本, 每个样地采集时间不低于 4 h, 采集地点包括地表、植物表面、石块及树皮、原木及腐败物中等所有蚂蚁可能容身之处 (Romero & Jaffe, 1989)。手拣法是包括蚂蚁在内的节肢动物标本采集常用的方法, 在群落调查时, 由于该方法不能提供多维度方面的信息, 常常配合其他抽样方法使用, 单独使用则用于短期蚂蚁区系名录的编制 (Bestelmeyer *et al.*, 2000)。运用该方法的关键是要做到在时间上保证白天和夜间的充分抽样, 在空间上要保证全面反应不同物种对生境的不同需求, 而抽样时间和生境需依据群落调查目的和群落复杂程度而定。

1.1.6 杀虫剂击倒法 (chemical knockdown) 也称药物击落法, 即用化学杀虫剂对树木进行喷雾, 然后采集其上的蚂蚁, 该方法普遍运用于树栖节肢动物群落研究中 (Romero & Jaffe, 1989; Majer *et al.*, 2000)。其具体做法是: 选择一定数量的树木作为样株, 在样株下方悬挂 10 个 0.5 m^2 的漏斗形网, 需注意网之间不互相遮蔽并能满足对树冠不同部位的抽样, 在无风的清晨, 选用配有胡椒基增效醚的除虫菊酯或苄氯菊酯杀虫剂, 运用背包气力喷雾器对树冠进行喷雾, 收集落在网上的蚂蚁标本 (Majer *et al.*, 2000; Watt *et al.*, 2002)。运用药物击落法能够有效的采集高大树体上的蚂蚁标本, 被应用于树冠蚂蚁的调查。但是, 运用该方法需要较高的成本及较多的人员投入, 且仅适用于树冠而不适用于生

活在地表或土壤中的种类, 因而在蚂蚁群落研究中应用并不广泛。

1.1.7 精细抽样法 (intensive sampling) 它是指在调查样地内标出样带, 在样带上设置一定数量的样点, 采集样点区域植物、枯落物及土壤内的蚂蚁, 以及样点外的零散个体, 同时在移除枯落物后用诱饵进行一定时间的采集 (Bestelmeyer *et al.*, 2000)。具体做法之一是在调查样地内设置 3 个 $5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 的样点, 搜索样点内地表活动的蚂蚁, 移除样点内的植物并取出样方土壤, 在大约 4 h 的搜索时间内使用镊子和抽吸器采集地表、植物上及土壤内的蚂蚁标本 (Romero & Jaffe, 1989)。精细抽样法不同于其他抽样方法, 它能够提供更简单样点内蚂蚁区系的全部内容, 适用于小尺度研究, 尤其适用于枯落物丰富、结构复杂的生境 (Bestelmeyer *et al.*, 2000)。然而, 该方法所需时间相对较多, 且因其依赖于调查者对蚁巢的视觉判断而产生主观上的偏差, 在蚂蚁群落调查中运用不太普遍。

1.1.8 样地调查法 (sample plot investigating) 它是国内普遍使用的采集树冠、地表和土壤蚂蚁的调查方法 (徐正会, 2002)。该方法和精细抽样法十分类似, 只是在细节处理上存在差异。其具体做法是: 在每个样地内设置 5 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的样方, 各样方之间相距 10 m。每个样方由地表样、土壤样 (地表以下 0~20 cm) 和树冠样 (地表以上 0~5 m) 组成, 观察并采集地表层蚂蚁; 用小手镐挖掘 20 cm 深的土壤, 采集其内的蚂蚁标本; 用一块 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的白色幕布平置于样方之上, 振动地表以上 5 m 范围内的小乔木和灌木, 捕捉震落于幕布上的全部蚂蚁个体。并在样地内样方之外的区域进行随机的采集。该方法对调查样地内生活于树冠、地表和土壤的蚂蚁都进行了抽样, 能在较短时间内比较全面的反映样地内蚂蚁区系的全貌。然而, 该方法的抽样结果与调查人员的工作效率密切相关, 当不同调查人员对同一调查地点进行抽样时, 可能出现不一致的调查结果, 而且, 该方法仅在白天进行调查, 忽略了夜间活动的种类。

1.2 蚂蚁群落抽样方法比较

以上 8 种常见的蚂蚁抽样方法可以划分为被动抽样和主动抽样 2 种类型。陷阱法、样方法和诱饵法属于被动抽样, 易于重复且依赖于抽样地点蚂蚁活动能力来获取数据, 这些方法往往由于不同生境不同蚂蚁种类行为的不同或蚂蚁觅食行为的变化而

出现偏差,手拣法、杀虫剂击倒法、精细抽样法及样地调查法属于主动抽样,要求调查者在样区域内寻找蚂蚁,很难在调查者之间精确的重复,往往会因不同生境内研究人员的不同、对蚂蚁种类觉察能力的不同、抽样方法实施过程中的变化等出现偏差,而枯落物抽样法兼具主动抽样和被动抽样的特点,会因调查人员的变化和蚂蚁对刺激的反映不同而出现主观和客观上的偏差(Bestelmeyer *et al.* 2000)。

蚂蚁的社会性及其觅食路线的模式造成蚂蚁的团状分布,致使蚂蚁的可靠抽样十分困难,而不同采集方法的效率在一定程度上依赖于生境,任何抽样方法都具有本身的局限性(Romero & Jaffe, 1989 ; Andersen, 1991)。还没有野外试验来比较以上 8 种方法在蚂蚁群落抽样中的效率差异,一些学者对其中几种方法的效率进行了比较研究。

Romero 和 Jaffe(1989)在澳大利亚热带萨王纳地区 8 个不同地点比较了手拣法、精细抽样法和陷阱法在采集蚂蚁效率上的不同,研究结果表明:长达 8 h 的手拣法是估计蚂蚁种类数量的最有效和可信的方法,精细抽样法效率最低,而最佳做法是将手拣法和陷阱法结合起来。Andersen(1991)在澳大利亚热带萨王纳地区对地面觅食蚂蚁群落进行抽样研究的结果显示,样方中记录的所有常见种类在陷阱中同样被采集到,其研究结果支持了在澳大利亚暴露生境进行蚂蚁群落研究中陷阱法的运用。Olson (1991)在哥斯达黎加热带森林比较了陷阱法和枯落物抽样法在采集枯落物层蚂蚁效率上的不同,研究显示枯落物抽样法比陷阱法采集的蚂蚁属种更多,数量更大。Parr 和 Chown(2001)在南非萨王纳地区比较了陷阱法和枯落物抽样法在采集地表蚂蚁效率上的不同,研究显示陷阱法比枯落物抽样法能更有效的采集地表蚂蚁,2 种方法所得的蚂蚁相对多度不同,枯落物抽样法采集到数量众多的小型蚂蚁,而陷阱法采集到更多的大型蚂蚁。Delabie 等(2000)在巴西可可研究中心面积为 1 hm² 的可可种植园内进行了蚂蚁抽样方法比较实验,运用了 17 种抽样方法,其中包括常见的枯落物抽样法、陷阱法和诱饵法等,共采集蚂蚁 134 种。使用 Winkler 袋的枯落物抽样法采集蚂蚁的种类最多,其次为使用 Berlese 漏斗的枯落物抽样法,陷阱法略逊于枯落物抽样法,而诱饵法在这 3 种抽样方法中效率最低。任意 2 种方法组合在一起,采集到的蚂蚁种类占总种数的比例变动在 59% ~ 65% ;而任意 3 种方法组

合在一起时,则为 73% ~ 77%。因此,研究人员认为应该将使用 Winkler 袋的枯落物抽样法纳入地表蚂蚁的调查草案中,如果需要用到第 2 种方法,则应该是陷阱法。

1.3 地表蚂蚁抽样的 ALL 草案

随着蚂蚁作为指示生物对生物多样性及土地管理利用评价研究的不断深入,世界范围内掀起了蚂蚁群落研究的热潮(Ballinger *et al.* 2007 ; Boonzaaijer *et al.* 2007 ; Neville & Yen 2007)。蚂蚁生态学家期望建立一套规范的蚂蚁群落抽样方法,以实现不同地区、不同研究者的不同研究结果的交流与比较,揭示全球范围内蚂蚁多样性的现状,发挥蚂蚁作为指示生物在全球生物多样性保护中的重要作用(Agosti & Alonso 2000)。

在对地表蚂蚁抽样方法比较研究的基础上,Agosti 和 Alonso(2000)提出了 ALL 草案(Ants of the Leaf Litter Protocol, ALL)。该草案要求在调查区域至少设置 1 条长 200 m 的样带,在样带上以 10 m 为间距设置 20 个取样点,调查持续 48 h,有 1 ~ 2 人参与调查。在每个取样点运用标准化的、可重复的抽样方法进行调查,包括枯落物抽样法和陷阱法:收集 1 m² 的枯落物后用筛子过滤,过滤物置于小型 Winkler 袋中进行蚂蚁采集,布设 1 个陷阱。另外可选择腐木检查、刮取土壤及手拣法来采集更多的蚂蚁种类。在实施 ALL 草案时,需要注意的事项包括:选择样带前应穿过整个调查区域,以对环境变量有全面的了解;记录调查样带的生态数据;正确标记所有样本,陷阱样距枯落物样至少 1 m 等等。

一些调查者运用 ALL 草案在马达加斯加、马来西亚、印度、巴西及美国等地进行了蚂蚁群落抽样研究,结果证明了该草案在热带、亚热带及温带地区进行蚂蚁群落抽样研究的可行性(Fisher *et al.* 2000 ; King & Porter 2005)。尽管该草案对于抽样方法和抽样量有比较细致的要求,但由于蚂蚁群落受到植被和生境的强烈影响,在具体的调查中,有必要进行验证性抽样试验,以确定合理的抽样方法和抽样量,这样才能保证研究结果的可靠性。

2 蚂蚁群落多样性常见分析方法

2.1 物种累积曲线(species accumulation curves)

它是用来描述随着抽样量的加大物种增加的状况,以抽样量作为横坐标,以物种数目作为纵坐标,将每一抽样量所对应的物种数目在坐标系中标出并

连起来,就得到了一条曲线,这就是物种累积曲线。它记录了继续抽样下新物种出现的速率,是理解调查样地物种组成和预测物种丰富度的有效工具(Longino 2000)。抽样量可以用多种方式来表现,包括样本数量、个体数量、采集时间等等。物种累积曲线具有如下特点:在一定的抽样范围内,随着抽样量的加大,群落中大量的物种被发现,物种累积速率较快,曲线表现为急剧上升;至某一抽样量时,物种累积速率变得缓慢,曲线不再急剧上升而是趋于平缓(Longino 2000;Ugland *et al.*, 2003)。根据这一特点,可对抽样量是否充分进行判断,曲线一直急剧上升表明抽样量不足,需要增加抽样量;反之,则表明抽样充分,可进行数据分析。物种累积曲线被较多的用于植物及动物多样性研究中,国外的研究相对丰富,而国内研究十分少见(Moreno & Halfiter, 2001;Jiménez-Valverde 2006;Ulrich 2006)。许多学者在各自研究的基础上提出了满足曲线的数学模型,并运用模型进行物种丰富度的预测,以及计算达到指定目标所需要的抽样量,还有研究将其用于环境影响评价中(Thompson *et al.*, 2007)。对于蚂蚁群落研究而言,由于抽样总是很难完全的反映实际存在的物种数目,而在对未知地区进行群落调查时,通常缺乏针对该地区的方法论研究,往往根据经验设计抽样方案,而没有对抽样量是否充分进行考察,这样的研究结果其科学性令人置疑。因此,在群落研究中需要通过物种累积曲线来判断抽样量是否充分,在抽样量充分的前提下,运用物种累积曲线对物种丰富度进行预测。

2.2 相对多度(relative abundance)

多度(abundance)一般指物种的个体数目或种群密度,是物种优势度和均匀度的度量指标,多度的测定是现代种群生态学和群落生态学研究中最基本的工作(Wilson, 1994;Molles 2000)。相对多度是指物种对群落总多度的贡献大小或可称为相对重要性百分率,通常以物种个体数占个体总数的百分率表示。在表现形式上,主要有 2 种:列出重要物种的相对多度值,以及绘制相对多度次序图。相对多度次序图是生态多样性的图形描绘,它以物种数为横坐标,以多度值为纵坐标,全部物种按多度值的次序从大到小以圆点形式标注在坐标系中,表现了多样性组分的 2 个独立特性:全部圆点连起来的线段长度即表示样本的全部物种数,多度的均匀性由线段的陡峭程度来表现,越陡峭,意味着均匀度越低,则多

样性越低(Longino 2000)。在蚂蚁群落研究中,由于蚂蚁是社会性昆虫,其种群数量在不同种类之间相距悬殊,个体数量不能很好的表达多度,因此相对多度的测量是采用物种在样本中出现的频率来表示(Romero & Jaffe, 1989;Osborn *et al.*, 1999;Watt *et al.*, 2002)。在国内的相关研究中,蚂蚁群落相对多度的研究体现在群落性质成分分析中,往往根据个体数占全部个体总数的比例来判断优势种、常见种和稀有种(徐正会 2002)。

2.3 物种丰富度(species richness)

它是测度群落物种丰欠状况的指标,是最简单、最古老的物种多样性测度方法,对于时间和空间上确定或可控制的研究样地,能提供很有用的信息(马克平, 1994),在蚂蚁群落研究中运用最广泛(Andersen, 1997a;King *et al.*, 1998;King & Porter, 2005)。物种丰富度通常被视为决定保护价值的最重要标准之一,在多样性保护中,获得可靠的物种丰富度估计是一个重要的目标(Gaston, 1996;Longino, 2000)。通常运用非参数估计、拟合物种-多度分布、物种累积曲线及物种面积曲线等 4 种方法进行物种丰富度估计(Hortal *et al.*, 2006)。一些生物统计软件如 EstimateS 中提供了常用的估计方法如 ACE、ICE、Chao1、Chao2、M-M、Jackknife1 等等。在蚂蚁群落研究中,较多的是运用物种累积曲线对物种丰富度进行估计,其他的方法较少(Belshaw & Bolton, 1994;Andersen, 1997a;Watt *et al.*, 2002)。在国内研究中,往往直接以样本的物种数目 S 值来表现蚂蚁群落的物种丰欠状况(杨效东等, 2001;张智英等 2005;李巧等 2007)。它忽略了未被抽样到的可能数量不菲的物种,其结果可能导致对实际物种数的过低估计。

2.4 多样性指数

除了物种丰富度以外,Shannon-Wiener 指数、 α 指数、Simpson 指数、Pielou 指数及 Jaccard 指数等都是反映群落多样性的指数,它们在生物多样性研究中运用十分广泛。Shannon-Wiener 指数是对多样性信息不确定性的测度,是应用最广泛的多样性指数之一, α 指数与群落中物种数目和个体总数成正比,不受样方大小的影响,反映了群落的固有特性;Simpson 指数又称优势度指数,是对多样性的反面即集中性的度量;Pielou 指数是实测多样性与最大多样性的比率,体现了群落的均匀度;Jaccard 指数对群落相似性进行定性测度,是应用最广、效果最好的

相似性指数(马克平,1994)。在国外蚂蚁群落研究中,除物种丰富度以外的多样性指数的应用并不普遍(Levings,1983)。在国内蚂蚁群落研究中,Shannon-Wiener 指数、Simpson 优势度指数、Pielou 指数及 Jaccard 指数运用最多(刘红等,2002;徐正会,2002;张智英等,2005)。李巧等(2007)在云南元谋干热河谷不同生境地表蚂蚁多样性研究中发现,由于蚂蚁属社会性昆虫,一旦某些种群数量庞大的种类成为优势种,因优势度极其突出,多样性指数值受其影响反而比那些种类少而优势度不突出的群落要低得多,因而提出了以物种丰富度 S 值作为主要指标来评价地表蚂蚁群落多样性的建议。

3 蚂蚁功能群(functional group)

功能群在生态学中被广泛运用,尽管它没有一个被普遍接受的定义,它的划分也没有一定的标准,常常依据形态、生理、行为、生化特点或对环境的反应,或者依据能级标准以一种特殊的方式进行划分(Bengtsson,1998;Davic,2003)。在蚂蚁群落研究中,功能群研究十分活跃,利用蚂蚁功能群的研究来揭示蚂蚁群落对土地管理的反应,对栖境恢复状况进行评价,对生态系统的变化进行监测等(李巧等,2006)。

蚂蚁功能群划分最初由 Greenslade (1978)提出,根据蚂蚁在属级水平上竞争关系、生境要求、进化历史等方面的不同进行划分。在以后的研究中,Andersen(1990)强调了群落动态在功能群划分中的作用,依据蚂蚁在属级水平上竞争关系、生境要求和行为优势的不同,划分为 7 个功能群:1)优势臭蚁亚科(Dominant Dolichoderinae,DD);2)从属弓背蚁族(Subordinate Camponotini,SC);3)气候专家(Climatic Specialists);4)隐蔽种类(Cryptic Species,CS);5)机会主义者(Opportunists,OPP);6)广义切叶蚁亚科(Generalized Myrmicinae,GM);7)专业捕食者(Specialist Predators,SP)。各功能群的特点表现为:DD 功能群由数量丰富、活动力和侵略性强的种类构成,对其他蚂蚁具有很强的竞争性,喜欢热而暴露的生境。SC 功能群由体型较大、通常夜间觅食的种类构成,与优势臭蚁同时存在,在行为上恭顺于臭蚁。气候专家功能群包括 3 个亚功能群即热气候专家(Hot Climate Specialists,HCS)、冷气候专家(Cold Climate Specialists,CCS)及热带气候专家(Tropical Climate Specialists,TCS),HCS 由形态上、生理上或

行为上特化的适应热的类群组成,这些特化减少了它们与优势臭蚁的相互作用;CCS 的分布集中在寒温带,发生在优势臭蚁不太丰富的生境;TCS 的分布集中在湿润热带地区,发生在优势臭蚁不太丰富的生境。CS 功能群由主要在土壤和枯落物层觅食的类群构成,与地表活动的蚂蚁相互作用极低。OPP 功能群是未特化的、竞争力弱的生长于垃圾或乱石中的种类,其分布明显受到其他蚂蚁的影响,在受干扰的生境中有显著的优势。GM 功能群由发生在大多数生境中的广布属构成。SP 功能群由体型中至大型、蚁巢小的捕食性蚂蚁构成,与其他蚂蚁的相互作用不大(Andersen,1997a)。

蚂蚁功能群研究中有一个有趣的发现,一些功能群对环境压力和干扰影响的反应和植物的一些生活型相类似,如 DD、GM 和 OPP 功能群分别与树木、灌木和草本相对应,这种“巧合”实际上揭示出蚂蚁功能群组成反映了群落结构受压力和干扰影响表现出的生物地理格局:在干旱、半干旱和季节性干旱生境,蚂蚁群落常以具有高度侵略性的 DD 功能群的虹臭蚁属 *Iridomyrmex* 种类占优势,并伴随大量 HCS 功能群的 *Melophorus* 物种,随着压力和干扰的增加,这 2 个属的多样性和多度下降;在压力和干扰大的样地,蚂蚁多样性低,最丰富的物种通常是 OPP 功能群如立毛蚁属 *Paratrechina*、铺道蚁属 *Tetramorium* 和 *Rhytidoponera* 的种类,以及 GM 功能群(尤其是大头蚁属 *Pheidole* 和小家蚁属 *Monomorium* 的种类);一些外来物种常常充当 OPP 功能群占据了受干扰地区,然而,随着生态恢复的进程,这些 OPP 功能群的多度因虹臭蚁属物种多度和蚂蚁物种丰富度的增加而下降(Andersen,1995,1997c)。

在蚂蚁功能群研究中,规范的抽样方法因生境不同而异:在暴露生境中,大多数蚂蚁在地表觅食,多采用陷阱法和诱饵法进行抽样;在不太暴露的生境中,由于土壤、枯落物及树木上有一定的种类分布,因而还需辅以枯落物抽样、手拣法及树冠扫集和震落法等(Andersen,1997a,1997c)。在蚂蚁功能群分析中,主要分析各功能群物种丰富度、相对多度及组成模式等。多种抽样方法的数据合并进行物种丰富度分析,陷阱法数据用做相对多度的估计,而诱饵法得到的数据用来评价相对行为优势。诱饵法得到的相对多度远高于陷阱法的种类,诱饵法中观察到的随时间多度迅速增加的物种,以及诱饵法中多度为 5~6 级的物种均被看作行为上具有优势的物种。

根据蚂蚁生境分布和相对行为优势,结合蚂蚁群落各功能群的特点,将不同的分类单元归入到相应的功能群中,就得到了各功能群的组成模式。结合环境因子分析蚂蚁功能群的组成模式,可以对调查样地的生境质量、干扰或恢复状况等进行评价。

4 蚂蚁作为指示生物的发展趋势

生物多样性和生态恢复指示生物既包括小型无脊椎动物,也包括两栖类、鸟类等脊椎动物(李巧等 2006; Ruiz-Jaén & Aide 2006)。在国外,以地表蚂蚁作为指示生物对植被恢复进行评价研究十分广泛。在委内瑞拉,研究人员调查了6个不同森林的蚂蚁、植物和蝴蝶多样性,结果显示:地表蚂蚁多样性与树冠蚂蚁多样性相一致,植物多样性与蝴蝶多样性相关但与树冠蚂蚁不相关;指出了地表蚂蚁是最理想的指示生物,即便只涉及最常见的5种蚂蚁(Osborn *et al.*, 1999)。在澳大利亚,地表蚂蚁作为指示生物被广泛的运用到环境评价中,对火干扰、采矿、放牧、清理、采伐、洪灾、城市化等生境蚂蚁群落的调查发现,由于生境类型、干扰强度及受干扰时间的不同,单一物种的反应表现出很大的差异。但研究显示,有些物种表现出可预见的反应,如温带地区的 *Rhytidoponera*、干旱地区的弓背蚁属 *Camponotus* 和 *Melophorus*, 以及季风地区的虹臭蚁属 *Iridomyrmex* 的一些物种会因干扰的影响而增加(Hoffmann & Andersen 2003)。在南非,研究人员运用陷阱法调查了高草原上与火力发电站有关的煤灰堆上重建的地表蚂蚁群落,研究显示,蚂蚁的物种丰富度与恢复时间之间呈正相关关系,而蚂蚁多度与恢复时间之间表现为单峰关系,单一蚂蚁物种沿恢复梯度显示出清晰的演替格局,但结果并不趋向于自然草地,因此,自然草地群落不是煤灰堆恢复的现实目标(Hamburg *et al.*, 2004)。在国内,蚂蚁群落研究相对滞后,在抽样上,常用的方法如样地调查法仍不够规范;在分析上,仅仅只是对 Shannon-Wiener 指数及 Simpson 指数等进行分析,无法揭示蚂蚁群落物种组成和多样性的实际信息;另外,缺乏在功能群水平上的分析。这种现状制约了蚂蚁作为生物多样性和生态恢复指示生物的研究。

从全球范围来看,当前的蚂蚁群落研究仍存在问题:首先,许多调查的抽样量偏小,致使物种丰富度分析中往往以实测值取代估计值,在国内(徐正会 2002, 张智英等 2005; 李巧等 2007)及国

外(Andersen 2003; Nakamura *et al.*, 2007)的研究中均不鲜见;其次,全球范围内蚂蚁群落功能群研究还十分欠缺,其抽样和分析方法尚需进一步规范和完善。今后中国蚂蚁群落研究应注意4个方面:1)参考国外的相关研究结果,在中国不同类型的生态系统中开展蚂蚁群落抽样方法比较研究,尤其是对于一些具有高度异质性的生境,方法论的研究十分必要,这些抽样方法研究对于其他昆虫群落同样具有重要的指导意义;2)在科学抽样基础上,运用 ALL 草案在全国范围内进行蚂蚁群落调查,积累蚂蚁多样性基础信息,这些数据将是全球蚂蚁多样性的重要部分;3)进行蚂蚁群落物种累积曲线及相对多度的分析,通过它们来进行科学的物种丰富度估计;4)加强蚂蚁功能群研究,结合环境因子分析蚂蚁群落功能群的组成模式,对调查样地的生境质量、生物多样性、干扰或恢复状况等进行评价。

中国生态恢复及生物多样性监测与保护工作任务重而道远,参考先进的研究成果,在科学的方法论指导下进行蚂蚁群落研究,对于中国乃至全球生物多样性保护无疑具有重要意义。

参考文献

- 李巧,陈又清,郭萧,等. 2006. 节肢动物作为生物指示物对生态恢复的评价. 中南林学院学报, 26(3): 117-122.
- 李巧,陈又清,郭萧,等. 2007. 云南元谋干热河谷不同生境地表蚂蚁多样性. 福建林学院学报, 27(3): 272-277.
- 刘红,袁兴中,张承德. 2002. 山东曲阜地区蚂蚁群落结构及物种多样性研究. 生物多样性, 10(3): 298-304.
- 马克平. 1994. 生物群落多样性的测度方法// 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社: 141-165.
- 徐正会. 2002. 西双版纳自然保护区蚊科昆虫生物多样性研究. 昆明: 云南科技出版社.
- 杨效东,余宇平,张智英,等. 2001. 西双版纳傣族“龙山”片断热带雨林蚂蚁类群结构与多样性研究. 生态学报, 21(8): 1321-1328.
- 张智英,李玉辉,柴冬梅,等. 2005. 云南石林公园不同生境蚂蚁多样性研究. 生物多样性, 13(4): 357-362.
- Abbott KL, Green PT. 2007. Collapse of an ant-scale mutualism in a rainforest on Christmas Island. *Oikos*, 116: 1238-1246.
- Agosti D, Alonso LE. 2000. The ALL protocol: A standard protocol for the collection of ground dwelling ants// Agosti D, Majer JD, Alonso LE, eds. *Ants: Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London: Smithsonian Institution Press: 204-206.

- Alonso LE. 2000. Ants as indicators of diversity// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 80–88.
- Andersen AN. 1990. The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystems : A review and a recipe. *The Proceedings of the Ecological Society of Australia* , **16** : 347–357.
- Andersen AN. 1991. Sampling communities of ground-foraging ants : Pitfall catches compared with quadrat counts in an Australian tropical savanna. *Australian Journal of Ecology* , **16** : 273–279.
- Andersen AN. 1995. A classification of Australian ant communities , based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography* , **22** : 15–29.
- Andersen AN. 1997a. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities : A comparison with Australia. *Journal of Biogeography* , **24** : 10–20.
- Andersen AN. 1997b. Measuring invertebrate biodiversity : Surrogates of ant species richness in the Australian seasonal tropics. *Memoirs of the Museum of Victoria* , **56** : 355–359.
- Andersen AN. 1997c. Ants as indicators of ecosystem restoration following mining : A functional group approach// Hale P , Lamb D , eds. *Conservation Outside Nature Reserves*. Lisbon : The University of Queensland : 319–325.
- Andersen AN. 2003. Ant biodiversity in arid Australia : Productivity , species richness and community organization. *Records of the South Australian Museum Monograph Series* , **7** : 9–92.
- Ballinger A , Lake P , Nally R. 2007. Do terrestrial invertebrates experience floodplains as landscape mosaics ? Immediate and longer-term effects of flooding on ant assemblages in a floodplain forest. *Oecologia* , **152** : 227–238.
- Belshaw R , Bolton B. 1994. A survey of the leaf litter ant fauna in Ghana , West Africa (Hymenoptera : Formicidae). *Journal of Hymenoptera Research* , **3** : 5–16.
- Bengtsson J. 1998. Which species ? What kind of diversity ? Which ecosystem function ? Some problems in studies of relations between biodiversity and ecosystem function. *Applied Soil Ecology* , **10** : 191–199.
- Bestelmeyer BT , Agosti D , Alonso LE , *et al.* 2000. Field techniques for the study of ground-dwelling ants : An overview , description and evaluation// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 122–144.
- Boonzaaier C , McGeoch MA , Parr CL. 2007. Fine-scale temporal and spatial dynamics of epigaeic ants in Fynbos : Sampling implications. *African Entomology* , **15** : 1–11.
- Davie RD. 2003. Linking keystone species and functional groups : A new operational definition of the keystone species concept. *Conservation Ecology* , **7** : r11.
- Delabie JHC , Fisher BL , Majer JD , *et al.* 2000. Sampling effort and choice of methods// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 145–154.
- Fisher BL , Malsch AKF , Gadagkar R , *et al.* 2000. Applying the all protocol : Selected case studies// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 207–214.
- Gaston K. 1996. Species richness : Measure and measurement// Gaston K , ed. *Biodiversity : A biology of Numbers and Difference*. Cambridge : Blackwell : 77–113.
- Greenslade PJM. 1978. *Ants*// Low WA , ed. *The Physical and Biological Features of Kunoth Paddock in Central Australia*. Technical Paper No. 4. Canberra : CSIRO Division of Land Resources : 109–113.
- Hamburg H , Andersen AN , Meyer WJ , *et al.* 2004. Ant community development on rehabilitated ash dams in the South African Highveld. *Restoration Ecology* , **12** : 552–563.
- Hoffmann BD , Andersen AN. 2003. Responses of ants to disturbance in Australia , with particular reference to functional groups. *Austral Ecology* , **28** : 444–447.
- Hortal J , Borges PAV , Gaspar C. 2006. Evaluating the performance of species richness estimators : Sensitivity to sample grain size. *Journal of Animal Ecology* , **75** : 274–287.
- Jiménez-Valverde A , Mendoza SJ , Cano JM , *et al.* 2006. Comparing relative model fit of several species-accumulation functions to local Papilionoidea and Hesperioidea butterfly inventories of Mediterranean habitats. *Biodiversity and Conservation* , **15** : 177–190.
- Kaspari M , Majer JD. 2000. Using ants to monitor environmental change// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 89–98.
- King JR , Andersen AN , Cutter AD. 1998. Ants as bioindicators of habitat disturbance : Validation of the functional group model for Australia 's humid tropics. *Biodiversity and Conservation* , **7** : 1627–1638.
- King JR , Porter SD. 2005. Evaluation of sampling methods and species richness estimators for ants in upland ecosystems in Florida. *Environmental Entomology* , **34** : 1566–1578.
- Levings SC. 1983. Seasonal , annual and among site variation in the ground ant community of a deciduous tropical forest : Some causes of patchy species distributions. *Ecological Monographs* , **53** : 435–455.
- Longino JT. 2000. What to do with the data// Agosti D , Majer JD , Alonso LE , eds. *Ants : Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. Washington and London : Smithsonian Institution Press : 186–203.
- Majer JD , Recher HF , Ganesh S. 2000. Diversity patterns of eucalypt canopy arthropods in eastern and western Australia. *Ecological Entomology* , **25** : 295–306.
- Majer JD. 1996. The use of pitfall traps for sampling ants : A

- critique. *Proceedings of the Museum of Victoria* ,**56** :323–329.
- Molles MC. 1999. Ecology : Concepts and Applications. New York : McGraw-Hill Companies.
- Moreno CE , Halfiter G. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* ,**38** :487–490.
- Nakamura A , Catterall C , House A , *et al.* 2007. The use of ants and other soil and litter arthropods as bio-indicators of the impacts of rainforest clearing and subsequent land use. *Journal of Insect Conservation* ,**11** :177–186.
- Neville PJ , Yen AL. Standardising terrestrial invertebrate bio-monitoring techniques across natural and agricultural systems. *Australian Journal of Experimental Agriculture* ,**47** :384–391.
- Olson DM. 1991. A comparison of the efficacy of litter sifting and pitfall traps for sampling leaf litter ants (Hymenoptera : Formicidae) in a tropical wet forest , Costa Rica. *Biotropica* ,**23** :166–172.
- Osborn F , Goitia W , Cabrera M , *et al.* 1999. Ants , plants and butterflies as diversity indicators : Comparisons between strata in six neotropical forest sites. *Studies of Neotropical Fauna and Environment* ,**34** :59–64.
- Parr CL , Chown SL. 2001. Inventory and bioindicator sampling : Testing pitfall and winkler methods with ants in a South African Savanna. *Journal of Insect Conservation* ,**5** :27–36.
- Romero H , Jaffe K. 1989. A comparison of methods for sampling ants (Hymenoptera , Formicidae) in Savannas. *Biotropica* ,**21** :348–352.
- Ruiz-Jaén MC , Aide TM. 2006. An integrated approach for measuring urban forest restoration success. *Urban Forestry and Urban Greening* ,**4** :55–68.
- Thompson GG , Thompson SA , Withers PC , *et al.* 2007. Determining adequate trapping effort and species richness using species accumulation curves for environmental impact assessments. *Austral Ecology* ,**32** :570–580.
- Ugland KI , Gray JS , Ellingsen KE. 2003. The species-accumulation curve and estimation of species richness. *Journal of Animal Ecology* ,**72** :888–897.
- Ulrich W. 2006. Decomposing the process of species accumulation into area dependent and time dependent parts. *Ecological Research* ,**21** :578–585.
- Underwood EC , Fisher BL. 2006. The role of ants in conservation monitoring : If , when , and how. *Biological Conservation* ,**132** :166–182.
- Watt AD , Stork NE , Bolton B. 2002. The diversity and abundance of ants in relation to forest disturbance and plantation establishment in southern Cameroon. *Journal of Applied Ecology* ,**39** :18–30.
- Wilson JB. 1994. Plant community structure and its relation to the vertical complexity of communities : Dominance/diversity and spatial rank consistency. *Oikos* ,**70** :91–98.

作者简介 李 巧,女,1970年生,博士,副教授。主要从事森林昆虫学和昆虫多样性研究。E-mail : lqfcb@126.com
责任编辑 刘丽娟
