

## 蚂蚁利用资源的功能特征比较

武子文, 卢志兴, 陈又清\*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

关键词: 蚂蚁; 功能特征; 消耗资源量; 获取资源方式; 功能多样性

中图分类号: S763

文献标识码: A

### Comparison of Ant's Functional Traits in Resource Utilization

WU Zi-wen, LU Zhi-xing, CHEN You-qing

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

**Abstract:** In order to reveal the difference of functional traits of ants and study on ant's functional diversity, the functional traits of 17 ant species were measured. The results were as follows: (1) There was difference of functional traits in terms of resource utilization among ant species. *Pachycondyla rufipes* (Jerdon) was the largest, and *Technomyrmex albipes* (Smith) was the smallest one in the aspect of food consumption amount. *Technomyrmex bicolor* Emery and *Iridomyrmex anceps* (Roger), *Camponotus nicobarensis* (Mayr) and *Pachycondyla zhengi* Xu, *Gnamptogenys bicolor* (Emery) and *Aphaenogaster beccarii* Emery showed similarity in food consumption amount. (2) In the aspect of mode of resource utilization, *Oecophylla smaragdina* (Fabricius) has the longest relative legs, but their functions were prior to nesting, the 2 species of *Aphaenogaster*, 3 species of *Camponotus* and the *Iridomyrmex anceps* (Roger) could run fast to acquire resource, the rest 10 ant species had better resource utilization abilities in complex habitat. The overall trend showed that the species from the same family and genus had the similar traits in terms of food consumption amount and mode of resource utilization than those from different family or genus; the reason of difference was mainly due to the significantly different body sizes regardless the family or genus.

**Key words:** ants; functional traits; resource consumption amount; mode about resource utilization; functional diversity

生物多样性与生态系统功能的关系是当前备受生态学界关注的焦点<sup>[1]</sup>。大多数的生物多样性与生态系统功能研究中,人们常用物种多样性代替生物多样性<sup>[2]</sup>,但不同种在生理生态和形态特性等方面存在较大差异<sup>[3]</sup>。因而,生态系统功能不仅依赖物种的数目,而且依赖于物种所具有的功能特征,即功能多样性<sup>[4]</sup>。功能多样性指影响生态系统进程和功能的生物多样性的构成因素<sup>[5]</sup>。国外研究指出,功

能多样性的测定实质是功能特征的测定<sup>[6]</sup>。虽然有时候,测定特征比统计物种数更难,但是,测定较小数量的特征值比鉴定整个群落中的每个种更有效。生态系统功能或服务的实现首先要落实到具体的有机体或者群体<sup>[7]</sup>,而有机体要实现其功能由具体的功能特征承担<sup>[8]</sup>。

蚂蚁生物量巨大,分布十分广泛,除地球两极外,几乎所有陆地生态系统中均有分布<sup>[9]</sup>,在生态系

统中发挥重要的生态功能<sup>[10]</sup>,包括作为捕食者<sup>[11]</sup>和生态系统工程师等<sup>[12]</sup>。Kaspari 等<sup>[13]</sup>研究结果显示,蚂蚁的身体大小,相对腿长及眼睛相对大小能解释新世界中蚂蚁物种在生态的、形态空间上的差异,而且这些特征与蚂蚁的觅食行为相关<sup>[13]</sup>。在蚂蚁功能特征研究方面,国外涉及的主要是牛头蚁属(*Myrmecia*)、举腹蚁属(*Crematogaster*)、铺道蚁属(*Tetramorium*)等少数几个属<sup>[14]</sup>,目前,国内有关蚂蚁功能特征的研究未见相关报道。

本研究主要针对蚂蚁消耗和获取资源方面进行功能多样性评价的前期研究,包括资源的消耗量和获取资源的方式。通过形态学特征值来比较 17 种蚂蚁消耗资源量和获取资源方式的特征差异,旨在为今后功能多样性与生态系统功能研究提供一定的数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

研究地位于云南省东南部,红河州南部的绿春县牛孔乡(23°01'~23°07'N,102°08'~102°21'E),海拔 920~1 200 m,年均温度不低于 18℃,年降水量在 1 500 mm 以下,相对湿度 50%~80%<sup>[15]</sup>。设置的样地是农林复合系统,包括天然次生林、紫胶林、桉树林、旱地农田等 14 块样地,每块样地面积 30 m×50 m,样地之间距离 50~500 m,样地离农田、边缘不少于 100 m,以减少边缘效应。

### 1.2 取样方法

地表蚂蚁诱集方法采用地表陷阱法,具体方法参照参考文献[16~17]。枯枝落叶层蚂蚁诱集方法采用 Winkler 袋法,具体方法参照参考文献[18]。树栖蚂蚁诱集方法,采用树干诱饵法,即在每个诱杯放置处附近选取 1 棵树,将塑料杯用铁丝固定于树干上,距离地面高度 1.5 m,杯壁与树干紧密接触,杯子尽量靠近树冠,杯中放置一汤勺金枪鱼和一汤勺蜂蜜,杯口用中间开有 1 cm×1 cm 孔的盖子盖住,诱杯放置 48 h 后观察杯中蚂蚁并收集样本。

### 1.3 物种鉴定

所有收集的标本依据相关文献使用形态学方法<sup>[19-20]</sup>将蚂蚁鉴定到种,并请相关专家将标本鉴定结果进行核实。

### 1.4 功能特征测定

功能特征的测定方法:本研究依据 Bihn 等<sup>[21]</sup>使用的蚂蚁身体器官形态指标。身体大小被普遍认

为是有机体中重要的特征之一,它与有机体的生理的、生态的以及生活史特征密切相关<sup>[22]</sup>,身体大小决定了有机体消耗的资源量。消耗资源量用头长表示,因为蚂蚁头部与体质量密切相关。相对较长的腿能使有机体高效运动和觅食<sup>[23]</sup>,增加活动范围,但也阻止其利用一些觅食生态位和庇护所的类型<sup>[24]</sup>,因此,相对腿长提供了有机体利用资源的方式。获取资源方式用相对腿长代替表示。运用梧州奥卡牌体式解剖镜(XTL-2400),借助解剖镜上的测微尺测量蚂蚁身体特征值,形态特征测定时,每种蚂蚁选取 5 头个体,如果这 5 头蚂蚁体型相差较大,需要重新选取体型相近的蚂蚁,并保证同一功能特征下的每组数据相差不多于 2%,并最终以平均值作为该种蚂蚁的特征值。

#### 功能特征测定标准

(1)头长:头部正面观,唇基前缘至后头缘的垂直长度,如果唇基前缘和后头缘凹陷,则以唇基两侧角和后头角之间的垂直长度为准。

(2)相对腿长:3 条足腿节和胫节的长度之和与头长的比值<sup>[22]</sup>。

### 1.5 分析方法

基于形态学差异,选择个体大型、中型和小型的蚂蚁各数种,最终选择 17 种蚂蚁进入数据分析。

1.5.1 功能特征比较 通过对数据分布检验,已有数据不符合方差分析条件(正态分布),但符合非参数检验条件,因此采用 SPSS 16.0 非参数检验中的 Mann-Whitney 方法对 17 种蚂蚁的功能特征值进行两两比较。

1.5.2 功能特征聚类分析 使用 Primer7 软件对 17 种蚂蚁的消耗资源量和获取资源方式进行层次聚类分析,对 17 种蚂蚁相似的功能特征值进行层次上的分类。

## 2 结果与分析

### 2.1 蚂蚁功能特征值分析

从 17 种蚂蚁消耗资源量和获取资源方式特征值(表 1)可看出:不同种类的蚂蚁在这两种特征方面存在一定差异。在消耗资源量方面,红足厚结猛蚁最大,白足狡臭蚁最小;在获取资源方式方面,黄猄蚁相对腿长最大,显示其在简单平滑的栖境中能最快获取资源,列氏厚结猛蚁相对腿长最小,显示其在简单平滑的栖境中获取资源最慢,但在复杂栖境中有一定优势。

表1 蚂蚁头长和相对腿长功能特征值

亚科	物种名	头长/mm	相对腿长
猛蚁亚科(Ponerinae)	列氏厚结猛蚁( <i>Pachycondyla leuwenhoeiki</i> (Forel))	1.40 ± 0.00	3.85 ± 0.01
	郑氏厚结猛蚁( <i>Pachycondyla zhengi</i> Xu)	2.45 ± 0.00	4.36 ± 0.01
	双色曲颊猛蚁( <i>Gnamptogenys bicolor</i> (Emery))	1.30 ± 0.00	5.26 ± 0.00
	横纹齿猛蚁( <i>Odontoponera transversa</i> (Smith))	2.32 ± 0.01	4.79 ± 0.06
	红足厚结猛蚁( <i>Pachycondyla rufipes</i> (Jerdon))	3.22 ± 0.01	4.69 ± 0.02
切叶蚁亚科(Myrmicinae)	罗思尼举腹蚁( <i>Crematogaster rothneyi</i> Mayr)	0.70 ± 0.00	5.69 ± 0.00
	舒尔盘腹蚁( <i>Aphaenogaster schurri</i> Forel)	1.49 ± 0.00	7.62 ± 0.02
	贝卡盘腹蚁( <i>Aphaenogaster beccarii</i> Emery)	1.30 ± 0.00	7.51 ± 0.10
臭蚁亚科(Dolichoderinae)	扁平虹臭蚁( <i>Iridomyrmex anceps</i> (Roger))	0.94 ± 0.01	6.59 ± 0.06
	二色狡臭蚁( <i>Technomyrmex bicolor</i> Emery)	0.96 ± 0.01	5.63 ± 0.09
	白足狡臭蚁( <i>Technomyrmex albipes</i> (Smith))	0.63 ± 0.01	4.72 ± 0.06
蚁亚科(Formicinae)	黄猄蚁( <i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius))	1.70 ± 0.00	9.23 ± 0.19
	尼科巴弓背蚁( <i>Camponotus nicobarensis</i> Mayr)	2.45 ± 0.00	5.04 ± 0.01
	四斑弓背蚁( <i>Camponotus quadrinotatus</i> Forel)	1.14 ± 0.00	5.32 ± 0.02
	巴瑞弓背蚁( <i>Camponotus parius</i> Emery)	1.78 ± 0.01	6.17 ± 0.08
	安宁弓背蚁( <i>Camponotus anningensis</i> Wu et Wang)	1.60 ± 0.00	6.85 ± 0.05
	平和弓背蚁( <i>Camponotus mitis</i> (Smith))	1.75 ± 0.00	7.50 ± 0.01

## 2.2 蚂蚁功能特征值比较

2.2.1 蚂蚁消耗资源量比较 通过非参检验 Mann-Whitney U-test 分析,结果显示:扁平虹臭蚁和二色狡臭蚁( $U=4.50, P=0.06$ ),尼科巴弓背蚁和郑氏厚结猛蚁( $U=10, P=0.32$ ),双色曲颊猛蚁和贝卡盘腹蚁( $U=12.50, P=1$ )消耗资源量功能特征值的差异不显著;巴瑞弓背蚁和安宁弓背蚁( $U=4, P=0.04$ )消耗资源量功能特征值的差异显著,其他种类蚂蚁消耗资源量功能特征值的差异均极显著。

2.2.2 蚂蚁获取资源方式比较 通过非参检验 Mann-Whitney U-test 分析,白足狡臭蚁和红足厚结猛蚁( $U=7.00, P=0.25$ ),横纹齿猛蚁和白足狡臭蚁( $U=10.00, P=0.60$ ),红足厚结猛蚁和横纹齿猛蚁( $U=5.00, P=0.12$ ),平和弓背蚁和贝卡盘腹蚁( $U=10.00, P=0.60$ ),贝卡盘腹蚁和舒尔盘腹蚁( $U=7.00, P=0.25$ ),二色狡臭蚁和罗思尼举腹蚁( $U=5.00, P=0.11$ )获取资源方式的差异不显著;巴瑞弓背蚁和扁平虹臭蚁( $U=1, P=0.02$ ),安宁弓背蚁和扁平虹臭蚁( $U=2, P=0.03$ )获取资源方式的差异显著;其他种类蚂蚁获取资源方式的差异均极显著。

## 2.3 蚂蚁功能特征聚类分析结果

2.3.1 蚂蚁消耗资源量 层次聚类分析结果(图1)显示:不同蚂蚁种类消耗资源量存在一定差异。消耗资源量最高的红足厚结猛蚁、横纹齿猛蚁、尼科

巴弓背蚁和郑氏厚结猛蚁聚为一类;弓背蚁属的安宁弓背蚁、平和弓背蚁、巴瑞弓背蚁与黄猄蚁消耗资源量次之;盘腹蚁属的2种蚂蚁与列氏厚结猛蚁和双色曲颊猛蚁聚为一类;消耗资源量最低的四斑弓背蚁、二色狡臭蚁、扁平虹臭蚁、罗思尼举腹蚁和白足狡臭蚁聚为一类。

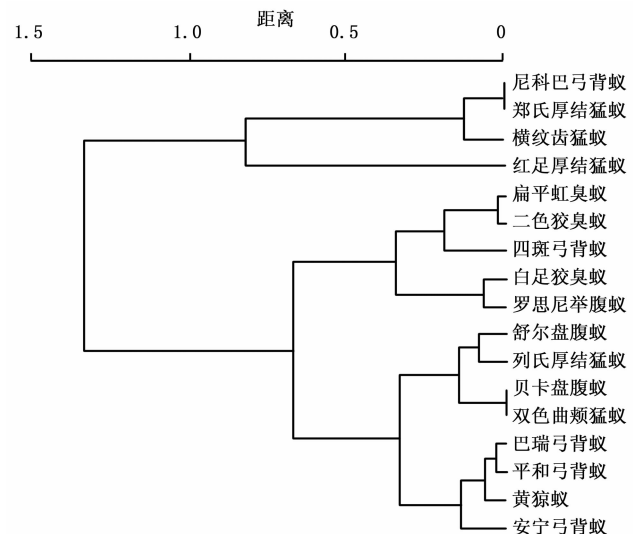


图1 蚂蚁消耗资源量层次聚类

2.3.2 蚂蚁获取资源方式 层次聚类分析结果(图2)显示:不同蚂蚁种类获取资源方式存在一定差异,可划分为3种类型。黄猄蚁枝叶蚁属特化的种类,在测定的17种蚂蚁中,相对腿长虽然最长,但其足的功能偏向筑巢;盘腹蚁属2种蚂蚁、平和弓背蚁、

巴瑞弓背蚁、安宁弓背蚁和扁平虹臭蚁聚为一类,这6种蚂蚁奔跑迅速,能快速获取食物资源;其他的10种蚂蚁偏好在复杂栖境中活动,相对前述的7种蚂蚁,在复杂栖境中获取资源有优势。

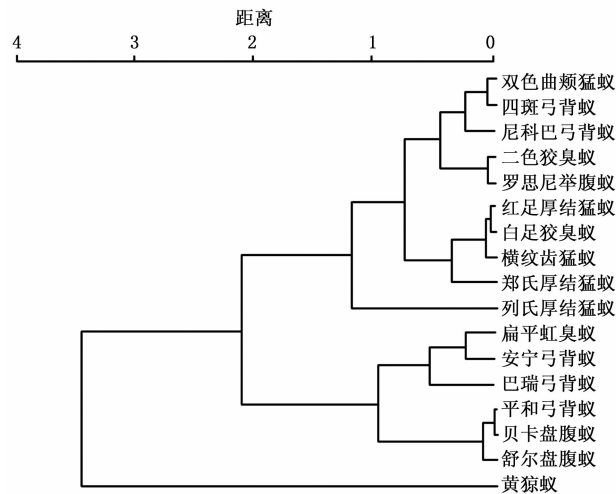


图2 蚂蚁获取资源方式的层次聚类

### 3 结论与讨论

物种有许多特征决定其生活的栖境类型,进而在生态系统中发挥相应的生态功能<sup>[25-26]</sup>。在生态系统中,利用资源的巨大差异即功能多样性导致生态系统功能的增加。例如,当不同物种具备相互补充的功能特征,它们将占据互不交叉的空间生态位,而且随着物种多样性的增加,整个生态位将被占满<sup>[27]</sup>。Díaz等<sup>[28]</sup>也发现关于功能多样性对生态系统功能影响的解释之一是,在异质化的栖境中,功能多样性能够增加资源的利用效率<sup>[28]</sup>。Villéger等提出,功能分异(趋异)指数(FDiv)表示群落内特征值的异质性,反应群落内随机抽取的2个物种特征值相同的概率有多少,同时也体现出物种间的生态位互补程度<sup>[29]</sup>,功能分异指数越高,表示种间生态位互补性越强,竞争作用则较弱,对系统中养分利用较充分有效,有利于增加系统的功能。本研究结果显示,无论是消耗资源量还是获取资源方式方面,选择的17种蚂蚁之间有一定的差异,说明绿春牛孔农林复合系统栖境类型丰富,蚂蚁消耗和获取资源的生态位有一定的分化,有利于物种共存和生态系统的稳定,与前述研究结果一致。

蚂蚁功能特征值与其栖境及觅食方式有一定关联。前人研究发现,蚂蚁群落中,身体大或身体指数大的种群在开阔栖境中数量多,如头部较宽的蚂蚁

类群在较少灌木覆盖和朽木较多的栖境中常见,如牛头蚁属、举腹蚁属、铺道蚁属等<sup>[14]</sup>。本研究在调查中发现,盘腹蚁属2种、弓背蚁属3种和扁平虹臭蚁共6种蚂蚁相对腿长的功能特征占优,奔跑迅速,擅长在开阔的栖境中活动,但作为树栖蚂蚁的黄猄蚁相对腿长最长,该蚂蚁行进路线单一<sup>[20]</sup>,是类特化种,其足的能力主要体现在筑巢;相对于郑氏厚结猛蚁,具有较长的相对腿长的白足狡臭蚁能更高效地在土壤、地表和植被上寻找食物资源(个人观察结果)。红足厚结猛蚁的资源消耗量最大,但获取资源的方式与横纹齿猛蚁相似,而横纹齿猛蚁在土壤和地表觅食的访问频率大于红足厚结猛蚁<sup>[20]</sup>,由此推断,这2种蚂蚁在觅食栖境、觅食行为或种群数量方面存在分化,导致其在生态系统中的功能有一定差异。

本研究发现,尽管蚂蚁体型大小有一定差异,但相同科属在这2种功能特征方面相近的物种数比不同科属多;物种消耗资源量和获取资源方式产生差异的主要原因是体型差异较大,这种现象的原因以及与蚂蚁在生态系统中发挥相关功能的关系值得深入研究。

### 参考文献:

- [1] Cameron T. 2002: the year of the 'diversity-ecosystem function' debate[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2002, 17(11): 495-496.
- [2] Zhong W H, Cai Z C. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay[J]. Applied Soil Ecology, 2007, 36(2): 84-91.
- [3] Hooper D U, Vitousek P M. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling[J]. Ecological Monographs, 2008, 68(1): 121-149.
- [4] Diaz S, Hodgson J G, Thompson K, et al. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents[J]. Journal of vegetation science, 2004, 15(3): 295-304.
- [5] Tilman D. Functional diversity[J]. Encyclopedia of biodiversity, 2001, 3(1): 109-120.
- [6] Luck G W, Harrington R, Harrison P A, et al. Quantifying the contribution of organisms to the provision of ecosystem services[J]. Bioscience, 2009, 59(3): 223-235.
- [7] Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? [J]. Ecology Letters, 2005, 8(5):468-479.
- [8] Valerie T. Eviner, F. Stuart Chapin III. Functional Matrix: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, 2003, 34(34):455-485.

- [9] Hölldobler B. The ants[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1990.
- [10] Gómez J M, Valladares F, Puerta C. Differences between structural and functional environmental heterogeneity caused by seed dispersal [J]. Functional Ecology, 2004, 18(6): 787 – 792.
- [11] Philpott S M, Armbrrecht I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function [J]. Ecological Entomology, 2006, 31(4): 369 – 377.
- [12] Lobry de Bruyn L A, Conacher A J. The role of termites and ants in soil modification: a review [J]. Australian Journal of Soil Research, 1990, 28(1): 55 – 93.
- [13] Kaspari M, Weiser M D. Ant activity along moisture gradients in a Neotropical forest [J]. Biotropica, 2000, 32(4a): 703 – 711.
- [14] Gibb H, Stoklosa J, I. Warton D, *et al.* Does morphology predict trophic position and habitat use of ant species and assemblages [J]. Oecologia, 2014, 177(2): 519 – 531.
- [15] 陈又清, 王绍云. 不同寄主植物对云南紫胶虫自然种群的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 761 – 765.
- [16] 卢志兴, 陈又清, 李 巧, 等. 云南紫胶虫种群数量对地表蚂蚁多样性的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6195 – 6202.
- [17] 李 巧, 陈又清, 郭 箫, 等. 云南元谋干热河谷不同生境地地表蚂蚁多样性 [J]. 福建林学院学报, 2007, 27(3): 272 – 277.
- [18] 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.
- [19] 吴 坚, 王常禄. 中国蚂蚁 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [20] 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.
- [21] Bihn J H, Gebauer G, Brandl R. Loss of functional diversity of ant assemblages in secondary tropical forests [J]. Ecology, 2010, 91(3): 782 – 792.
- [22] Peters R H. The ecological implications of body size [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.
- [23] Kaspari M, Weiser M D. The size-grain hypothesis and interspecific scaling in ants [J]. Functional Ecology, 1999, 13(4): 530 – 538.
- [24] Sarty M, Abbott K L, Lester P J. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community [J]. Oecologia, 2006, 149(3): 465 – 473.
- [25] Wiescher P T, Pearce-Duvel J M C, Feener D H. Assembling an ant community: species functional traits reflect environmental filtering [J]. Oecologia, 2012, 169(4): 1063 – 1074.
- [26] Gibb H, Parr C L. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents [J]. PlosOne, 2013, 8(5): e64005.
- [27] Loreau M. Biodiversity and ecosystem functioning: a mechanistic model [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1998, 95(10): 5632 – 5636.
- [28] Díaz S, Cabido M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2001, 16(11): 646 – 655.
- [29] Villéger S, Mason N W H, Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology [J]. Ecology, 2008, 89, 2290 – 2301.