

小良热带人工林生态系统的土壤动物——群落组成、发展及其功能*

廖 崇 惠

(广东省昆虫研究所, 广州 510260)

摘 要

本文介绍1982年以来对小良人工林土壤动物的研究结果: 1) 土壤动物群落与植被的关系; 2) 群落的发展; 3) 枯枝落叶分解过程中土壤动物的作用。同时提出以下主要见解: 1) 纯桉林即使保留枯枝落叶, 土壤动物仍显贫乏, 故改土作用不大; 2) 群落的多样性发展, 可分成增长、过渡和稳定3个阶段, 与生物量发展相比, 较早地达到稳定; 3) 枯枝落叶的前期分解, 主要是由白蚁等大、中型土壤动物来完成。

关键词: 土壤动物群落; 土壤凋落物分解作用; 热带人工林; 白蚁

小良位于广东沿海台地上, 居东经 $110^{\circ}45'18''$, 北纬 $21^{\circ}27'49''$, 属热带北缘地区。这里年平均气温为 23°C , 常年降雨量在1500—1700mm之间, 有明显干、湿季。地带性土壤为砖红壤。原地带性典型植被为热带季雨林。但目前仅残存一些村边次生林。这里虽然地势不高(海拔一般在35—45m之间), 坡度很小, 但由于植被已破坏, 水土流失非常严重。近30年来, 先后大面积种植桉林和松林, 并逐步扩展阔叶混交林^[1]。

在热带水土流失地区, 人工地恢复森林生态系统, 对科研和生产都具有重要意义。土壤动物是森林生态系统的重要组成部分, 它在分解森林凋落物中, 对系统的能量与物质循环起着重要的调节作用。研究人工林中土壤动物群落的组成、发展及其分解作用, 对了解人工林生态系统及其发展是十分重要的。

一、不同植被类型下土壤动物群落组成的差异

本节比较了光裸地、桉林和阔叶混交林样地中土壤动物群落的组成, 研究了植被恢复对土壤动物产生的效应。1982年秋到1983年夏的平均资料^[5]表明, 各群落间存在着

1990年4月9日收稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

差异 (图 1)。

1. 光裸地 仅有少量草本和小灌木等地被植物。土壤动物总生物量仅 $0.33\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 类群数甚少, 没有蚯蚓。多样性指数 (H') 为 0.99。在各类群中, 仅线虫四季都能获得, 占总生物量 30.5%, 是土壤动物中的优势类群。鞘翅目 (主要是金龟子幼虫) 的生物量虽占 54.2%, 但存在季节甚短。

2. 桉林 树种为窿缘桉 (*Eucalyptus exserta*)。枯枝落叶被村民捡去作燃料, 故林地光裸。土壤动物总生物量比光裸地有所增加 (从 $0.33\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 增到 $1.57\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), 但种类仍很少。多样性指数 (H') 为 1.29。在群落组成上与光裸地明显不同, 线虫生物量相对很小, 不再是优势类群。蚯蚓和线蚓虽然不是优势类群, 但平均生物量分别占 23.2% 和 36.3%。在保留枯枝落叶的试验区内, 群落生物量明显增加至 $8.92\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 类群数也有增加, H' 值上升到 1.45。蚯蚓、线虫和等翅目 (白蚁) 四季均能采到, 生物量各占总生物量的 5% 以上, 被列为优势类群。

3. 阔叶混交林 由多个定植 7—9 年的人工植物群落组成。林高一般在 7—10 m, 多层结构, 林下枯枝落叶较多。在各人工植物群落之间, 土壤动物的组成无大的差异, 故群落组成按总体计算, 总生物量为 $18.0\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 为有地被物的桉林的 2 倍, 为光裸地的 55 倍。组成的类群数显著多于前者, H' 值达 1.80。优势类群增多, 有蚯蚓、线虫、同翅目幼虫和鳞翅目幼虫, 同时还出现一些生物量占 1—5% 的次优势类群, 如线蚓、金龟子幼虫等。

3 个不同植被类型的土壤动物群落的巨大差异表明: 1) 造林改良了土壤环境, 增加了土壤动物的种类和数量; 2) 在桉林中保留枯枝落叶, 可以丰富林中的土壤动物; 3) 阔叶混交林比纯桉林更有利于土壤动物的多样化和丰盛度的提高。

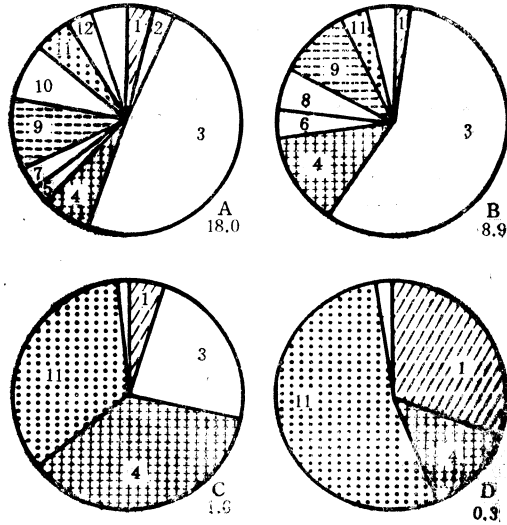


图 1 小良不同植被下土壤动物群落的组成 (自廖崇惠等, 1984)

A. 阔叶混交林 B. 桉林 (保护区) C. 桉林
D. 光裸地 英文字母下的数字为土壤动物生物量 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

Fig. 1 Community composition of soil animals under varied vegetations, Xiaoliang. A. broad-leaf mixed forest B. eucalyptus forest (reserved) C. eucalyptus forest D. bareland. numbers under the letter are biomass of soil animals ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) 1. 线虫纲 (Nematoda) 2. 腹足纲 (Gastropoda) 3. 巨蚓科 (蚯蚓) (Megascolecidae) (earthworms) 4. 线蚓科 (Enchytraeidae) 5. 倍足纲 (Diplopoda) 6. 综合纲 (Symphyla) 7. 直翅目 (Orthoptera) 8. 等翅目 (白蚁) (Isoptera) (termites) 9. 同翅目 (Homoptera) 10. 鳞翅目 (Lepidoptera) 11. 鞘翅目 (Coleoptera) 12. 膜翅目 (Hymenoptera) □ 其他, the others

二、人工阔叶混交林中土壤动物群落的发展过程

在桉林迹地上营造的阔叶混交林中选择几个林龄不同的样地, 连续调查 4 年, 比较土壤动物群落组成的变化, 并以具有百年历史的自然次生林作对照, 研究群落的发展过程 [6]。

(一) 群落的发育阶段

求出不同时空的土壤动物群落的密度——类群指数 ($D \cdot G$)¹⁾，并按造林的时间，将它们连系起来，制成图 2。仿 F. H. 鲍尔曼等^[4]森林生态系统发展的生物集累模型，把群落发展分成 3 个阶段：a) 增长期，大约在定植开始到 10—11 年间。此时，土壤动物类群和数量均迅速增长，其中昆虫部分增长较快，故林木受虫害威胁较大²⁾。b) 过渡期，大约在定植后 12—20 年间。群落的 $D \cdot G$ 指数从开始的最高峰缓慢下降。降幅较大者仍是昆虫部分。c) 稳定期，大约在定植 20 年之后开始，群落组成相对稳定。

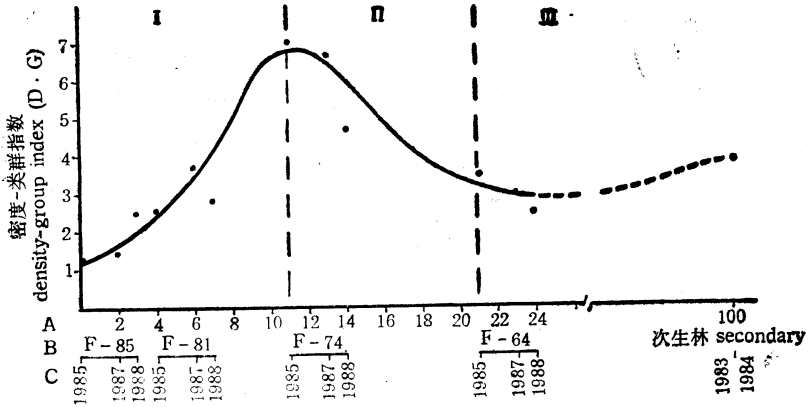


图 2 小良人工阔叶混交林中土壤动物群落的密度-类群指数 (廖崇惠等, 1990a)

A. 林龄 B. 调查样地 C. 调查年份

I. 增长期 II. 过渡期 III. 稳定期

Fig. 2 Density-group index ($D \cdot G$) of soil animal community in artificial broad-leaf mixed forest, Xiaoliang

A. age of forest B. sample plot, secondary forest C. year investigated

I. aggragate stage II. transting stage III. stable stage

(二) 不同类群的发育过程

1. 小型湿生动物 线虫、线蚓、缓步类和双翅目幼虫等类群，在群落增长期间，其数量随林龄的延长而增加，增量达 6 倍多。在过渡期间，数量下降，降幅为 36%。

2. 昆虫 以每年调查均获得标本的类群作为稳定的类群。林龄短的样地上有较多的不稳定类群。在不同林龄梯度上，缨翅目、同翅目、鳞翅目和啮虫目等，依次从不稳定的类群变成稳定的类群。

3. 白蚁 以黄翅大白蚁 (*Macrotermes barneyi*) 为主的白蚁种群，在植林的第 4 年，随凋落物的增加，在地上的数量达到最高 ($1545 \text{只} \cdot \text{m}^{-2}$)。此后，由于林内动物

1) $D \cdot G = \sum (D_i / D_{i \max}) (G / G_T)$, 其中:

D_i = 第 i 类群的密度;

$D_{i \max}$ = 在各群落中第 i 类群的最大密度;

G = 群落中的类群数;

G_T = 各群落所包含的全部类群数。

2) 余作岳等资料: 广东热带沿海侵蚀地的植被恢复途径及其效应 (1984)。

种类的复杂化而受到抑制。在群落过渡期内，保持在低的水平上，在稳定期的林地上仍保持平均 $120 \text{只} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右 (图 3)。

4. 蚯蚓 在原核林下数量极低，仅 $0.5 \text{只} \cdot \text{m}^{-2}$ ，改种阔叶混交林后 3 年内均未

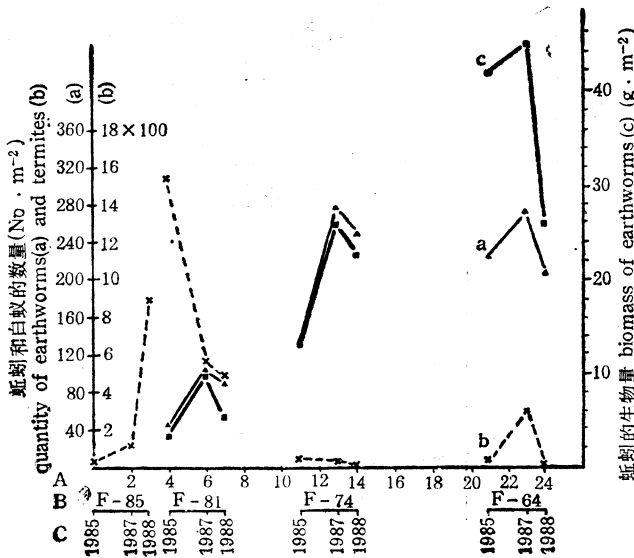


图 3 不同林龄的阔叶混交林中蚯蚓和白蚁的数量和生物量 (廖崇惠等, 1990a)

A. 林龄 B. 样地 C. 调查年份

Fig. 3 Quantity and biomass of earthworms and termites in artificial broad-leaf mixed forest of varied crop age

A. age of forest B. sample plot C. year investigated

发现。在植林后第 4 年的样地上开始发现蚯蚓，以后其数量迅速增长，大约在植林 13 年的样地上达到高峰 ($275 \text{只} \cdot \text{m}^{-2}$)。在 20 年以上的样地上，蚯蚓数量没有增加，但生物量明显上升，从 $26 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 升到 $45 \text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ (图 3)。升高的原因是主要种类的更迭：以体大、喜浅层生活的环毛蚓 (*Pheretima*) 代替体小、喜深层生活的寒蛭蚓 (*Ocnerodrilus*)。

二、土壤动物分解枯枝落叶的作用

在森林生态系统中，枯枝落叶的分解是能量与物质循环中十分重要的环节。由于分解是由多种作用导致的复杂过程，研究中要将土壤动物的作用与微生物等

作用严格区分是十分困难的，所以许多研究所提供的资料都是各种作用的综合结果。Satchell (1971) 通过生物呼吸推算出土壤微生物分解土壤有机物的能力为土壤动物的 5 倍^[11]。作者在小良热带人工林的研究中，用直接试验方法了解土壤动物在枯枝落叶分解过程中的作用，结果如下。

1. 大、中型土壤动物摄食是落叶面积消耗的主要动力 新鲜落叶面积消耗试验后的残叶，有明显的切割缺口 (图 4)，因此，面积消耗主要是大、中型土壤动物摄食的结果。通过逐月加入新鲜落叶，测量全年总加入面积和最后残余面积，计算总消耗率。在 7 种主要乔木落叶中，大叶相思 (*Acacia auriculaeformis*) 的消耗率最低，为 71.73%，多果榄仁 (*Terminalia myriocarpa*) 为 84.42%^[7]。

2. 土壤动物的数量与枯枝落叶的重量消耗有密切关系 在试验区内，大、中型土壤动物主要是褐云玛瑙螺 (*Acharina fulica*)、等足类、蜚蠊、倍足类、蛾类幼虫等。它们在试验设置内的数量与落叶面积的消耗率 (除白蚁消耗部分) 呈正相关 ($r = 0.999$ $df = 1$)^[7]。而小型土壤动物，如弹尾目、蛴螬目等生物量很小，与枯枝落叶的消耗无显著关系^[8]。

3. 白蚁消耗量的估计 在野外，比较有无白蚁到过的试验装置内枯枝落叶的自然消耗量，从而估计白蚁的消耗作用^[8]。试验的凋落物是仿单位面积凋落量而逐月添加的。试验结果是：年总凋落量为 $541.3 - 1089.6 \text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ，总的消耗率为 82.1—

94.3%，白蚁消耗率为 15.3—40.8%。在大叶相思为主的阔叶混交林中，白蚁的年平均生物量为 $3.076\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ [8]，其消耗量为 $444.5\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。占总消耗量的 43.3%。可见白蚁对枯枝落叶的消耗产生巨大的作用。

等足类消耗量的估计 通过调查林内等足类种群变化和测定不同温度饲养下对多种新鲜枯叶的摄食量，然后作出林内等足类摄食落叶量的估计¹⁾。鼠妇 (*Armadillo* sp.) 在 25°C 时摄食量最大，达 $117.1\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ，估计在林中年摄食量为 $7.8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。潮虫 (*Philoscia* sp.) 则在 20°C 时摄食量最大，为 $251.2\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ，在林中的摄食量为 $18.8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。在与白蚁相同的试验区内，二者合计摄食量为 $10.3—60.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。在潮湿、荫蔽、树种复杂的林地上，等足类较多，年平均生物量为 $1.06\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (其中潮虫为主)，由它们消耗的落叶量为 $60.4\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，为白蚁消耗量的 45%。在高爽的，以大叶相思为主的林地上，等足类以鼠妇为主，年平均生物量 $0.88\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ，消耗落叶量为 $27.7\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ，仅为白蚁消耗量的 6%。



图4 被土壤动物摄食过的落叶 (廖崇惠等, 1990b)
 Fig. 4 Leaf-fall eaten by soil animals a. 多果榄仁 (*Terminalia myriocapa*) b. 铁刀木 (*Cassia siamea*) c. 沙椴 (*Aphanamixis polystachya*) d. 大叶相思 (*Acacia auriculaeformis*) e. 蒙蒙木 (*Alphitonia philippinensis*) f. 白木香 (*Aquilaria sinensis*) g. 麻栎 (*Quercus acutissima*)

结 语

造林可改造环境，改良土壤。用桉树作为改造小良侵蚀台地的先锋树种是成功的，然而纯桉林仅能减少水土流失，对土壤的改良并未获得更好的结果。尽管在禁止扒取落叶的试验区内，土壤有机质较多，土壤动物的种类和数量有所增加，但仍显贫乏，不仅小良，鼎湖山几十年的大叶桉 (*E. robusta*) 林也是如此 [2]。只有在改种阔叶混交林之后，自然环境才能得到改善。人为地种植各种植物，可以促进动物种类的复杂化，但这需要一个较长的自然发展过程。

人工林土壤动物群落是随林龄的延长和森林的成长而逐渐形成的。群落组成的多样性发展过程，可划分为增长期、过渡期和稳定期。这与鲍尔曼按生物量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) 来划分生态系统发育阶段不同。多样性的“稳定期”比鲍尔曼的“稳定态 (steady state)”来得早。按纽约长岛 (Long Island) 的火烧林地和弃耕地上橡-松林生物群落次生演

1) 廖崇惠等：小良人工林的等足类：种群、分布与食性食量 (待发表)。

替曲线^[12], 种的多样性指标也是大约在 20 年之后开始稳定的, 而生物量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) 至少在 200 年之后。在鼎湖山, 由季风常绿阔叶林破坏后重新发展起来的稀树灌丛, 到现在已进一步发展成为次生的季风常绿阔叶林, 其恢复的历史不过 40—50 年。在此生境中的土壤动物类群的多样性已经与 400 多年历史的季风常绿阔叶林相似, 但其生物量仍远未赶上^[2], 显示出同样的发展规律。多样性是系统稳定性的基础。因此, 多样性变化进入稳定阶段, 对于系统的稳定性十分重要, 它预示着系统的发育已经获得稳定的基础。小良 1964 年定植的阔叶混交林正是处于这样的发展状态。

研究表明, 在多树种的人工混交林生态系统中, 白蚁不是无法控制的可怕害虫。白蚁能分解一些其他生物素难以分解的森林凋落物, 对系统的能量循环起着重要的作用。在群落发育上, 它也同样受到物种间的相互制约, 达到一定的平衡。获得这些认识, 对于人工林的管理具有重要意义。

在凋落物的分解过程中, 虽然微生物 (包括细菌、真菌、放线菌) 的作用较早开始, 但是作用缓慢^[10], 而常被包括在 micro-organism 内的小型土壤动物 (microfauna), 如弹尾目、蛴螬目、线虫等, 在小良人工林中数量很少, 分解作用不大。由于以上原因, 小良的人工林不会象温带森林那样, 极大部分有机物质由 micorbes 或 micro-organism 来分解^[8]。处于热带的小良人工林, 枯枝落叶的前期分解, 主要是由白蚁等大、中型土壤动物来完成的。

参 考 文 献

- [1] 余作岳、皮永丰, 1985: 广东热带沿海侵蚀地的植被恢复途径及其效应。热带亚热带森林生态系统研究, 第 3 集, 97—105 页。
- [2] 陈茂乾、廖崇惠, 1990: 鼎湖山森林土壤动物研究, II. 不同生境的群落组成。热带亚热带森林生态系统研究, 第 7 集, 95—104 页。
- [3] 高井康雄等, 1975: 土壤生态系统 (鄂永昌译)。土壤学进展, 1980 (3): 38—48。
- [4] F. H. 鲍尔曼等 (李录文等译), 1985: 森林生态系统的格局与过程。科学出版社, 1—7 页。
- [5] 廖崇惠、陈茂乾、谢映书, 1984: 小良热带人工林土壤动物初步调查。热带亚热带森林生态系统研究, 第 2 集, 214—226 页。
- [6] 廖崇惠、陈茂乾, 1990: 热带人工林土壤动物群落次生演替和发展过程的探讨。应用生态学报, 1 (1): 56—61。
- [7] 廖崇惠、陈茂乾, 1990: 小良人工阔叶混交林中枯枝落叶的分解过程及土壤动物对它的影响。热带亚热带森林生态系统研究, 第 6 集, 125—133 页。
- [8] 廖崇惠、陈茂乾, 1990: 小良人工阔叶混交林中白蚁对枯枝落叶的消耗作用。生态学报, 10 (2)。
- [9] 廖崇惠、林少明、李耀泉, 1990: 鼎湖山森林土壤动物研究, III. 某些类群的数量与枯枝落叶消耗的关系。热带亚热带森林生态系统研究, 第 6 集, 47—54 页。
- [10] Edwards, C. A., G. W. Heath, 1963: The role of soil animals in breakdown of leaf material. In Soil Organisms (J. Doeksen & J. van der Drift, eds). North Holland Publ. Co, Amsterdam, 76—83。
- [11] Satchell, J. E., 1971: Productivity of forest ecosystems. UNESCO. 619。
- [12] Whittaker, R. H., 1975: Communities and ecosystems second edition. MacMillan, New York & London. 173—175。

SOIL ANIMALS OF TROPICAL ARTIFICIAL FOREST ECOSYSTEM IN XIAOLIANG; COMMUNITY COMPOSITION, DEVELOPMENT AND FUNCTION

Liao Chonghui

(*Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260*)

Abstract

Soil animals in tropical artificial forest ecosystem in Xiaoliang, Guangdong Province, were observed from 1982 to 1989. The relationship between soil animal community and vegetation, community development, and the role of soil animals in decomposition course of soil litter were studied in detail. An understanding of development and function of artificial forest ecosystem was given. Pure eucalyptus forest was poor in soil animals, even if the soil litter was being retained, which gave less effects on soil improvement. Diverse development of the animal community could be divided into three stages, developing, transiting and stable stages. Compared with the biomass aggragate, the soil animal community development reached earlier to stable stage. The decomposition of soil litter was depended mainly on termites and other macro-mesofauna, especially in the earlier decomposition.

Key words: Soil animal community; Tropical artificial forest; Soil litter decomposition; Termite