

西双版纳热带次生林和橡胶林蚯蚓数量分布及其与环境因子的关系^{*}

杜 杰^{1,2} 杨效东^{1**} 张 花^{1,2} 余广彬^{1,2}

(¹中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 2006年 1月, 通过样地调查法比较了西双版纳次生林和橡胶林 2种不同土地利用方式的蚯蚓数量分布状况及其与环境因子的关系。结果表明: 自然林转变为橡胶林后, 土壤养分及植物有机碳输入均明显减少, 同时蚯蚓群落发生较大的变化: 在橡胶林, 热带外来种蚯蚓无围海蚓的密度 ($52127 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$) 显著高于林地内本地种蚯蚓远环蚓的密度 ($0153 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$), 但在次生林, 2种蚯蚓的密度和生物量无显著差异; 橡胶林本地种蚯蚓远环蚓的密度 ($0153 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$) 和生物量 ($0132 \text{ g} \# \text{ m}^{-2}$) 与次生林 ($6193 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$, $7176 \text{ g} \# \text{ m}^{-2}$) 相比呈下降趋势。无围海蚓的幼蚓在其种群中占有较大比例, 类似增长型种群年龄结构, 而远环蚓则主要以成蚓为主。相关分析表明, 橡胶林的细根生物量与无围海蚓的密度呈显著正相关。由此预示蚯蚓群落结构的这种变化可能与橡胶林土地利用引起的植被变化、土壤养分下降等因素密切相关, 同时外来种蚯蚓与本地种蚯蚓本身的生态适应对策也不可忽视。

关键词 土地利用; 橡胶林; 次生林; 无围海蚓; 远环蚓

中图分类号 Q145.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2008)11-1941-07

Quantitative distribution of earthworms and its relationships with environmental factors in tropical secondary forest and rubber plantation in Xishuangbanna. DU Jie^{1,2}, YANG Xiaodong¹, ZHANG Hua^{1,2}, YU Guangbin^{1,2} (¹Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(11): 1941-1947.

Abstract To understand the influence of land use change on earthworm communities, the quantitative distribution of earthworms and its relationships with environmental factors in the tropical secondary forest and rubber plantation in Xishuangbanna, Southwest China were studied in January 2006. The results showed that after the secondary forest converted into rubber plantation, soil nutrients and organic C input from plants reduced significantly and earthworm communities altered. In rubber plantation, the density of tropical exotic earthworm (*Ponotocolex corethrurus*) ($52127 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$) was significantly higher than that of native earthworm (*Amyntas* sp.) ($0153 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$); while in secondary forest, no significant differences were observed in the density and biomass of the two earthworm species. The density ($0153 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$) and biomass ($0132 \text{ g} \# \text{ m}^{-2}$) of *Amyntas* sp. in rubber plantation showed a decrease trend compared with those in secondary forest ($6193 \text{ ind} \# \text{ m}^{-2}$, $7176 \text{ g} \# \text{ m}^{-2}$). An increasing population of *P. corethrurus* was accounted by the larger proportion of its juveniles density and biomass, while *Amyntas* sp. was mainly composed of adults. The fine root biomass of rubber plantation was positively correlated with the density of *P. corethrurus*. It was suggested that the vegetation change and soil nutrient decrease due to the conversion of secondary forest into rubber plantation had promoted the reproduction of exotic earthworm, and the adaptive strategies of exotic and native earthworms could not be ignored.

Key words land use; rubber plantation; secondary forest; *Ponotocolex corethrurus*; *Amyntas* sp.

^{*} 中国科学院 2006年度/西部之光0人才培养计划资助项目。

^{**} 通讯作者 E-mail: yangxd@xtbg.ac.cn

收稿日期: 2007212206 接受日期: 2008208215

蚯蚓被称为 / 生态系统工程师 0, 在生态系统中具有重要作用 (Decaens et al, 1999), 如刺激微生物和其他土壤动物活动、促进凋落物分解、提高土壤肥力等 (黄初龙和张雪萍, 2005)。热带土地利用方式的变化常常引起蚯蚓群落结构的改变, 甚至导致外来种蚯蚓入侵和本地种蚯蚓的消失 (Gonzalez et al, 2006), 并对原有生态系统造成一系列的负面影响, 如减少真菌密度与多样性, 引起微生物生物量、活性的变化 (McLean et al, 2006), 改变土壤理化性质 (Barros et al, 2001) 甚至造成植物群落退化 (Hale et al, 2006)。巴西亚马逊中部热带森林转变为草地以后, 68% 的大型土壤动物从中消失, 本地种蚯蚓种类数及密度急剧减少并导致外来种蚯蚓无围海蚓 (*Pontoscolex corethrurus*) 的入侵, 其密度高达 $400 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 约占土壤动物 90% 的生物量, 引起了土壤板结、厌氧条件增强、甲烷排放量增加和草地植物的枯萎 (Chauvel et al, 1999); 波多黎各热带森林转变为草地后, 外来种蚯蚓无围海蚓的密度甚至达到 $831 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ (Zou & Gonzalez 1997), 引起了凋落物分解速率和土壤 CO_2 排放量的增加 (Liu & Zou 2002)。

因其丰富的生物多样性, 西双版纳地区被认为是国际生物多样性研究热点和应优先保护的地区 (Myers et al, 2000)。从 1976 年 2003 年不到 30 年的时间, 西双版纳天然林覆盖率由近 70% 下降到不足 50%, 尤其是当地生物多样性最丰富的热带季节雨林的面积从 101.9% 下降到 31.6%。这主要与当地土地利用方式的变化有密切关系, 自 1956 年开始种植橡胶以来, 以橡胶栽培为主的土地利用方式逐步代替了过去的传统土地利用方式如集体林和轮歇式的次生林, 橡胶林面积从 1976 年的 11.1% 上升到 2003 年的 111.3%, 并有持续上升的趋势 (Li et al, 2007)。橡胶林的扩张引起了一系列的生态问题, 包括生境破碎化、生物多样性的丧失 (Zhu et al, 2004)、动物栖息地的丧失 (许再富, 2004)、土壤侵蚀 (张一平等, 1997) 和气候变化 (宫世贤和凌升海, 1996) 等。土壤是陆地生态系统中生物种类最丰富、数量最多的亚系统 (傅声雷, 2007), 但是有关西双版纳橡胶林土地利用方式对土壤动物群落影响的研究极为少见。次生林和橡胶林均是西双版纳主要的土地利用方式, 本文比较研究了 2 种土地利用方式下林地的蚯蚓数量分布格局及其与环境因子的关系, 对深入了解热带土地利用方式与土壤生物多样

性的关系有重要意义。

1 研究地区和研究方法

1.1 样地概况

研究地位于西双版纳州勐腊县勐仑镇 (21°56'N, 101°15'E), 海拔约为 580 m, 属北热带季风气候, 一年中干湿季分明, 有雾凉季 (11 月) 翌年 2 月)、干热季 (3 月 4 月) 和雨季 (5 月 10 月) 之分, 年平均气温 21.5°C , 10°C 积温 7860°C , 平均最低气温 7.15°C , 年日照时数 1828 h, 年降水量 1557 mm, 年相对湿度 86%, 地带性植被为热带季节雨林和季雨林, 土壤为由白垩纪砂岩发育而成的砖红壤。

在中国科学院西双版纳热带植物园人工群落试验区各选取 3 块人工橡胶林和自然次生林片段作为调查样地, 每块次生林和橡胶林片段互为一对组合, 二者距离不超过 100 m 并具有相同的坡面。橡胶林是以 30 年生橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 为主的单优种人工群落, 采用宽窄行密株的种植方式, 树高 15 ~ 25 m, 乔木层林木密度 $370 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$; 次生林是热带雨林经刀耕火种后撂荒自然演替形成的 38 年左右次生林群落林, 优势种为木姜子 (*Litsea spl.*)、印度栲 (*Castanopsis indica*)、披针叶楠木 (*Phoebe lanceolata*)、鹅掌柴 (*Schefflera venulosa*), 乔木层平均高度为 15 ~ 20 m, 乔木层林木密度 $1240 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 2 种植被类型样地的坡度均为 20°~ 30°。橡胶林经常有人类活动, 如割胶、施肥、喷洒除草剂等, 次生林人为干扰较少。

1.2 取样方法

2006 年 1 月, 采用样地调查法在上述 6 块样地进行取样调查, 取样 (测定) 项目包括: 蚯蚓、土壤理化性质、地表凋落物 (叶) 现存量、细根生物量。在每块样地建立一条样线, 沿样线设置 10 个间距为 5 m 的取样点, 即每种土地利用方式林地共取 30 个样。在取样点用 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 取样框采用手拣法收集地表凋落物, 并将 0 ~ 10、10 ~ 20 cm 土壤层的蚯蚓带回实验室。所取蚯蚓用水洗净, 用纸巾将其体表水分吸干, 根据其体色、取样深度和文献记录 (Lavelle et al, 1988; Hendrix & Bohlen, 2002) 分生态型、年龄段记录其鲜质量。用盛有 75% 酒精的小瓶分别标记保存蚯蚓, 用于物种鉴定。蚯蚓分类依据 5 中国亚热带土壤动物 6 和 5 中国土壤动物检索图鉴 6 (尹文英, 1992 1998)。地表凋落物用 70°C 烘箱烘干至恒量并计算其生物量。在每个 $25 \text{ cm} \times 25$

cm的蚯蚓取样点旁,用直径 5 cm的土壤环刀分别取 0~ 10和 10~ 20 cm层土样各 2个,一个用于测定细根([1 mm)生物量,另一个用于测定土壤水分,并在取样时用地温计测定不同土壤层(0~ 10、10~ 20 cm)的温度。植物根系用手检出后放在 2 mm网筛上洗净,在 70 e 的烘箱内烘干至恒量,分径级称量。土壤水分用 105 e 的烘箱将土样烘 24 h 测定。此外,在每块林地随机选取 3 个取样点,用直径 5 cm的土壤环刀分 0~ 10、10~ 20 cm土壤层取样,所得土样带回实验室风干,由中国科学院西双版纳热带植物园生物地球化学实验室分析土壤理化性质。土壤 pH: 电位法测定(土 Bk = 1B2l5); 有机质(OM): 硫酸、重铬酸钾氧化 2l 加热法测定; 全 N: 浓 H₂SO₄消解,开氏定 N法测定; 全 Ca HCD₄HF消解,ICP AES测定; 全 K HCD₄HF消解,ICP AES测定。

113 数据处理

用 SPSS 13l0 统计分析软件分析数据,在 Sig2 maPlot 10l0 软件中绘制数据图。先计算各样地数据的平均值,再以相同土地利用方式的样地数作为重复进行统计分析。所有数据经非参数单样本 Ko2 mogorov2Sm imov检验符合正态分布。用配对样本 t 检验比较蚯蚓密度与生物量、土壤理化性质、地表凋落物(叶)现存量、细根([1 mm)生物量;用 2 变量相关分析计算蚯蚓的密度、生物量与细根([1 mm)生物量、地表凋落物(叶)现存量的 Pearson相关系数。

2 结果与分析

211 蚯蚓密度和生物量水平分布

本次调查在 2种不同土地利用方式的林地内仅发现舌文蚓科(Glossoscolecida)、岸蚓属(P onto scolex)的热带外来种蚯蚓无围海蚓(P on to scolex corethrurus)和巨蚓科(Megascolecidae)、远环蚓属(Amyntas)的本地种蚯蚓(尹文英, 1992 1998)。由于所获取的本地种蚯蚓数量较少,且它们的生活习性相近,而本文目的在于比较不同土地利用方式林地的蚯蚓数量变化,为此未对本地种蚯蚓确定具体种名,仅以远环蚓为名进行数量统计和比较。橡胶林无围海蚓的密度(52l27 ind# m⁻²)和生物量(5l36 g# m⁻²)不仅高于该林地内本地种蚯蚓远环蚓的密度(0l53 ind# m⁻²)和生物量(0l32 g# m⁻²),也高于其在次生林的密度(8l53 ind# m⁻²)

和生物量(0l50 g# m⁻²),其中密度的分布差异达到显著水平(P < 0l05)。次生林本地种蚯蚓远环蚓的密度(6l93 ind# m⁻²)与该林地内外来种蚯蚓无围海蚓的密度相近,但其生物量(7l76 g# m⁻²)略高于无围海蚓,并且也高于其在橡胶林的分布,但无统计上的显著差异(P > 0l05)(图 1)。

212 蚯蚓密度和生物量垂直分布

从表 1 可以看出,无论橡胶林还是次生林,2种蚯蚓的密度和生物量在 2个土壤层间都没有呈现出显著的垂直分布差异。

213 蚯蚓的年龄结构

通过对 2种不同土地利用方式林地所获蚯蚓的总体分析得出,在雾凉季,无围海蚓主要由幼蚓构成,其幼蚓的密度、生物量分别占总数的 80l70%、5l196%,幼蚓密度显著高于成蚓。此外,还在样地内发现了少量的该种蚯蚓蚓茧(共 11 个)。远环蚓的幼蚓密度、生物量只占其总数的 28l57%、0l93%,种群主要由成蚓组成,其成蚓的密度和生物量有高于幼蚓的趋势,但统计差异不显著(P > 0l05)(图 2)。

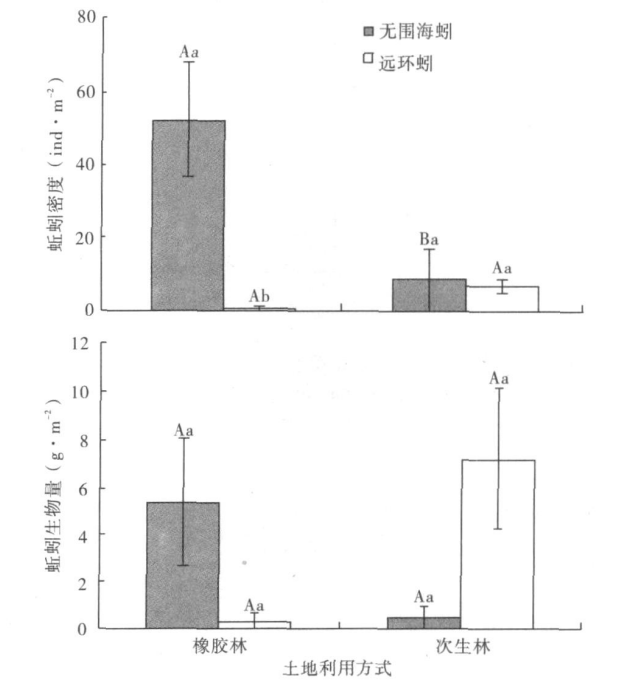


图 1 橡胶林、次生林蚯蚓密度、生物量(鲜质量)的比较
Fig 1 Comparison of earthworm density and biomass (fresh mass) between rubber plantation and secondary forest
相同的大写字母表示同种蚯蚓、不同林地无显著差异;相同的小写字母表示同种林地、不同蚯蚓无显著差异(P > 0l05 n = 3);数据为平均值 ± 标准误。

表 1 不同土壤层蚯蚓密度、生物量的比较
Tab 1 Comparison of earthworm density and biomass between different soil layers

土地利用方式	土壤层 (cm)	无围海蚓		远环蚓	
		密度 (ind# m ⁻²)	生物量 (g# m ⁻²)	密度 (ind# m ⁻²)	生物量 (g# m ⁻²)
橡胶林	0~ 10	48l 53a (15l 36)	5l 00a (2l 57)	0l 53a (0l 53)	0l 32a (0l 32)
	10~ 20	3l 73a (1l 4l)	0l 35a (0l 14)	0l 00a (0l 00)	0l 00a (0l 00)
次生林	0~ 10	6l 40a (6l 40)	0l 19a (0l 19)	6l 40a (2l 44)	7l 72a (3l 00)
	10~ 20	2l 13a (2l 13)	0l 31a (0l 31)	0l 53a (0l 53)	0l 04a (0l 04)

同列内相同的字母表示同种林地的 2 个土壤层间无显著差异 (P > 0.05, n = 3), 括号内数据为标准误。

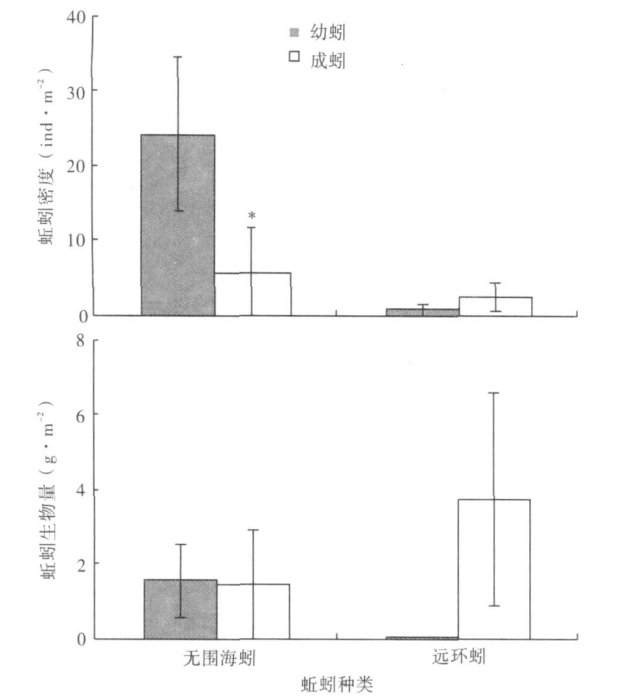


图 2 成蚓与幼蚓密度、生物量 (鲜质量) 的比较
Fig 2 Comparison of earthworm density and biomass (fresh mass) between adults and juveniles
数据为平均值 ± 标准误 (* P < 0.05, n = 6)。

表 2 橡胶林和次生林土壤理化性质的比较
Tab 2 Comparison of soil properties between rubber plantation and secondary forest

土地利用方式	土壤层 (cm)	pH	土壤水分 (%)	土壤温度 (°C)	有机质 (g# kg ⁻¹)	全 N (g# kg ⁻¹)	全 Ca (g# kg ⁻¹)	全 K (g# kg ⁻¹)
橡胶林	0~ 10	4l 57Aa (0l 09)	31l 90Aa (0l 41)	17l 84A a (0l 21)	33l 16Aa (1l 33)	1l 81Aa (0l 06)	0l 26Aa (0l 04)	14l 00A a (2l 08)
	10~ 20	4l 57Aa (0l 03)	32l 07Aa (0l 43)	18l 77Ab (0l 12)	22l 25Ab (0l 58)	1l 41Ab (0l 07)	0l 18Aa (0l 02)	15l 42A a (2l 12)
次生林	0~ 10	4l 42Aa (0l 05)	32l 97Aa (1l 31)	18l 28A a (0l 15)	43l 88Ba (1l 09)	2l 18Ba (0l 03)	0l 14Aa (0l 01)	11l 35A a (0l 80)
	10~ 20	4l 52Aa (0l 02)	31l 21Aa (1l 45)	18l 48A a (0l 10)	26l 52Ab (1l 64)	1l 41Ab (0l 05)	0l 13Aa (0l 01)	11l 64A a (0l 69)

相同的大写字母表示不同林地、相同土壤层无显著差异; 相同的小写字母表示同种林地、不同土壤层间无显著差异 (P > 0.05, n = 3); 括号内数据为标准误。

214 土壤理化性质

表 2 可见, 2 种土地利用方式林地的土壤 pH 值、土壤水分含量、土壤温度和全 K、全 Ca 含量均无显著差异; 次生林 0~ 10 cm 土壤层的土壤有机质、全 N 含量显著高于橡胶林, 但在 10~ 20 cm 土壤层无显著差异。就相同林地不同的土层而言, 2 林地的土壤 pH 值、土壤水分含量和全 Ca、全 K 含量的垂直分布差异不显著, 但土壤有机质和全 N 含量呈现出随土壤深度增加而明显降低的趋势; 橡胶林 0~ 10 cm 土壤层的土壤温度比 10~ 20 cm 土壤层更低, 但次生林 2 个土壤层的土壤温度无显著差异 (表 2)。

215 地表凋落物、细根生物量及其与蚯蚓的相关关系

次生林地表凋落物 (叶) 现存量和 0~ 10 cm 土壤层细根生物量显著高于橡胶林, 但 10~ 20 cm 土壤层的细根生物量没有林地间的显著差异。在垂直分布上, 2 种林地的细根都主要分布在 0~ 10 cm 土壤层, 次生林 0~ 10 cm 土壤层的细根生物量显著高于 10~ 20 cm 土壤层, 但橡胶林 2 个土壤层的细根生物量差异不显著 (表 3)。

相关分析表明, 无围海蚓的密度与橡胶林细根生物量呈显著正相关 (r = 0.199, P = 0.0104), 但与橡胶林地表凋落物 (叶) 现存量的相关关系不显著 (P > 0.105); 无围海蚓的生物量以及远环蚓的密度和生物量与橡胶林地表凋落物 (叶) 现存量和细根生物量均没有明显的相关关系 (P > 0.105)。在次生林, 2 种蚯蚓密度和生物量与细根生物量、地表凋落物 (叶) 现存量都没有表现出显著的相关关系 (P > 0.105) (表 4)。

表 3 2林地地表凋落物(叶)现存量、细根生物量 (g#m⁻²)

Tab 3 Forest floor (leaf) biomass and fine root biomass of two different forests

土地利用方式	地表凋落物(叶)现存量	细根生物量(0~10 cm)	细根生物量(10~20 cm)
橡胶林	30145A (2146)	70172Aa (20117)	3215Aa (8124)
次生林	159135B (5113)	165112Ba (3196)	34135Ab (4152)

同列内相同的大写字母表示不同林地无显著差异;同行内相同的小写字母表示同种林地的细根生物量在不同土壤层无显著差异(P>0105, n=3);括号内数据为标准误。

表 4 2林地蚯蚓与细根生物量、地表凋落物(叶)现存量的相关分析

Tab 4 Analysis of correlation between earthworm and fine root biomass forest floor (leaf) biomass of two different forests

土地利用方式	项目	无围海蚓		远环蚓	
		密度	生物量	密度	生物量
橡胶林	细根生物量	0199 ^a (0104)	0188 (0131)	0185 (0135)	0185 (0135)
	地表凋落物(叶)现存量	0198 (0111)	0197 (0116)	0195 (0120)	0195 (0120)
次生林	细根生物量	-0157 (0161)	-0157 (0161)	0175 (0146)	0190 (0128)
	地表凋落物(叶)现存量	0144 (0171)	0144 (0171)	-0121 (0187)	0107 (0195)

数据用相关系数 r 与显著性水平 P 值(括号内)表示(* P<0105, n=3)。

3 讨 论

311 土地利用变化与外来种蚯蚓入侵

热带地区土地利用是导致生物多样性减少的重要人类活动方式,不仅对地上生物产生明显的影响,对地下生物多样性也有不可忽视的作用。在热带生态系统,土地利用变化是引起蚯蚓群落结构变化并导致外来种蚯蚓入侵的重要原因(Gonzalez et al, 2006)。全球至少已有上百种蚯蚓在其原来分布区以外的地区成功地建立了种群(Fragoso et al, 1999)。

本调查结果显示,西双版纳橡胶种植土地利用不仅改变了地上植被的组成与结构,在一定程度上导致了地表有机质、土壤有机质和全 N 含量的降低,而土壤 pH 则呈上升趋势(表 2 和表 3);同时也引起了蚯蚓群落结构的变化:本地种蚯蚓远环蚓的数量减少,外来种蚯蚓无围海蚓在橡胶林成功定居,其密度显著高于林地内本地种蚯蚓远环蚓的密度,占据了整个蚯蚓群落密度的 90% 以上。虽然在次

生林也发现了无围海蚓,但它的密度和生物量与远环蚓没有显著的统计差异。与此相似, Gonzalez 等(1996)在波多黎各的研究表明,虽然外来种蚯蚓无围海蚓在次生林占有较高的数量比例成为优势种,但本地种蚯蚓在次生林也具有相当的数量,而人工松林、枫林仅发现无围海蚓。由此表明,自然林生态系统因较高的土壤养分和干扰较少而保持有更高的本地种蚯蚓密度和生物量,热带外来种蚯蚓无围海蚓则更容易入侵到人类活动影响强烈的环境(Fragoso & Lavelle, 1992)。Kalisz 和 Wood(1995)认为物理干扰或生境片段化是外来种蚯蚓在原来具有本地种蚯蚓居住的生态系统建立种群并占据优势的先决条件。Dlamini 和 Haynes(2004)的研究发现,在几个以无围海蚓为优势种的生态系统内,蚯蚓的密度与土壤 pH 值呈极显著正相关(r=0138, P<0101)。Lavelle 等(1987)研究表明,无围海蚓对土壤理化性质具有很宽的耐受幅度,可在土壤有机质 110%~211% 和 pH 410~811 的土壤中正常生活,并与土壤微生物共生,从而比很多本地种蚯蚓具有更强的适应能力。在西双版纳地区,自然林向橡胶林转变的过程中伴随着森林砍伐、火烧、挖坑翻土等对生态系统急剧的扰动,土壤有机碳、总 N 含量下降(表 2、表 3), pH 值和土壤容重增加(Yang et al, 2004)。这些人类活动的干扰和土壤理化性质的改变将导致本地种蚯蚓减少并为外来种蚯蚓定居创造有利条件。

312 蚯蚓种群年龄结构

本调查发现,远环蚓以成蚓居多,而无围海蚓的种群主要由幼蚓构成,类似增长型种群年龄结构,表明其种群有很大的增长潜力。有研究认为,持续繁殖、孤雌生殖、高产卵率、孵化期短等适应对策可能是无围海蚓在变化较大的环境条件下比本地种蚯蚓更具适应能力并成功定居的重要原因(Lavelle, 1988; Gonzalez et al, 2006)。由于本次调查的数据反映的仅是土壤温、湿度较低(土壤温度:18℃左右;土壤水分:32%左右)的雾凉季状况,较低的土壤温、湿度在一定程度上限制了蚯蚓的繁殖和增长。在高温、高湿的雨季(5月下旬~10月下旬),2种蚯蚓可能会有更高的繁殖率。因此,在雾凉季 2种蚯蚓种群年龄结构的差异是否会因不同蚯蚓的繁殖季节不同而变化尚需要进一步观测。

313 蚯蚓与地表凋落物、细根生物量的关系

根据其生活特性, 蚯蚓通常被分为 3 个典型的生态型。表居型 (epigeic): 体色较深, 小到中型个体, 居住在地表凋落物层或浅层土壤, 以地表凋落物或微生物为食; 土居型 (endogeic): 无色或浅色, 小到中型个体, 居住在土壤层, 以土壤有机质和细根及其分泌物为食; 上食下居型 (anecic): 居住在土壤层, 背部有体色, 大型个体 (一般在 15 cm 以上), 以地表凋落物和土壤有机质为食 (Bouch, 1977; Lavelle 1988)。因此植物群落的地上、地下有机碳输入将是蚯蚓重要的食物来源。橡胶林土地利用方式引起植被类型的改变, 从而导致系统中植物有机碳资源 (数量和质量) 输入和土壤养分发生变化。在本次调查取样中, 远环蚓均在浅层土壤中发现, 体色较深, 判定为表居型蚯蚓, 而无围海蚓则是典型的土居型蚯蚓 (Lavelle et al, 1987)。尽管统计分析表明, 在 2 种林地, 远环蚓与地表凋落物 (叶) 均未有显著的相关性, 但是与次生林相比, 橡胶林具有数量更少和种类单一的地表凋落物 (叶) 现存量, 本地种蚯蚓远环蚓的密度、生物量也更低。地表凋落物的这种变化可能对表居型的远环蚓产生极为不利的影响, 因为凋落物不仅可以作为食物资源限制表居型蚯蚓生长, 同时地表凋落物还是其栖息地和避难所。本研究同时显示, 橡胶林细根生物量与土居型蚯蚓无围海蚓的密度呈显著正相关, 表明橡胶林细根或细根分泌物可能是无围海蚓的食物来源, 但是在次生林这种相关关系并不明显, 这可能与次生林复杂的植物群落结构和林地内较高的土壤有机质、全 N 含量有关。因而在次生林向橡胶林转变后, 系统内地上、地下有机碳输入的变化可能是导致蚯蚓群落变化的重要原因, 但还需要进一步研究证实。

314 土地利用与外来种蚯蚓无围海蚓的扩散

本研究显示, 橡胶林中外来种蚯蚓无围海蚓的密度仅为 $52127 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 比其他很多研究结果低, 这主要是因为本试验取样时间在雾凉季 (1 月), 土壤温、湿度较低 (表 3), 其种群数量受到土壤水分和温度的限制 (Lavelle et al, 1987), 但可预见在气温和降雨较高的雨季其数量将会出现较大幅度的增长。需要指出的是, 我国经济的高速发展对橡胶产量提出了更高的需求 (Li et al, 2007), 版纳地区橡胶林种植的面积日益增加将为该种蚯蚓的扩散提供

生境条件。在全球变暖的影响下, 无围海蚓的种群数量是否会随着时间的推移而持续或急速增长, 甚至最终形成生态入侵是值得关注的问题。

致谢 野外工作得到李乔顺、杨赵的大力支持, 英文部分由陈安潜副研究员修改, 深表谢意。

参考文献

- 傅声雷. 2007. 土壤生物多样性的研究概况与发展趋势. 生物多样性, 15(2): 109-115
- 宫世贤, 凌升海. 1996. 西双版纳雾在减少. 气象, 22(11): 10-14
- 黄初龙, 张雪萍. 2005. 蚯蚓环境生态作用研究进展. 生态学杂志, 24(12): 1466-1470
- 许再富. 2004. 亚洲象与竹/蕉分布隔离的生态效果及其保护对策探讨. 生态学杂志, 23(4): 131-134
- 尹文英. 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 张一平, 张克映, 马友鑫, 等. 1997. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征. 土壤侵蚀与水土保持学报, 3(4): 25-30
- Barros E, Cumip, Hallaire V, et al. 2001. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. Geoderma, 100: 193-213.
- Bouch MB. 1977. Strategies kmbricennes. Ecological Bulletin, 25: 122-132
- Chauvel A, Grimaki M, Barros E, et al. 1999. Pasture damage by an Amazonian earthworm. Nature, 398: 32-33
- Decaens T, Mariani L, Lavelle P. 1999. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Applied Soil Ecology, 13: 87-100
- Dlamini TC, Haynes RJ. 2004. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern KwaZulu-Natal. South Africa. Applied Soil Ecology, 27: 77-88
- Fragoso C, Lavelle P, Blanchart E, et al. 1999. Earthworm communities of tropical agroecosystems. Origin, structure and influences of management practices // Lavelle P, Brussaard L, Hendrix P, eds. Earthworm Management in Tropical Agroecosystems. London: CABI Press. 27-56
- Fragoso C, Lavelle P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. Soil Biology and Biochemistry, 24: 1397-1408
- Gonzalez G, Huang CY, Zou XM, et al. 2006. Earthworm invasion in the tropics. Biological Invasions, 8: 1247-1256
- Gonzalez G, Zou XM, Borges S. 1996. Earthworm abundance

- and species composition in abandoned tropical crop lands: Comparisons of tree plantations and secondary forest. *Pe2dobio1ogia*, 40: 385- 391.
- Hale CM, Frellich LE, Reich PB. 2006. Changes in hardwood forest understory plant communities in response to European earthworm invasions. *Ecology*, 87: 1637- 1649.
- Hendrix PF, Bohlen P. 2002. Exotic earthworm invasions in North America: Ecological and policy implications. *BioSci2ence*, 52: 801- 811.
- Kalisz PJ, Wood HB. 1995. Native and exotic earthworms in wildland ecosystems// Hendrix P, ed. *Earthworm Ecology and Biogeography in North America*. Boca Raton: Lewis Press. 117- 126.
- Lavelle P, Barois J, Cruz J, et al. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae: Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics. *Bio2logy and Fertility of Soils*, 5: 88- 194.
- Lavelle P. 1988. Earthworm activities and the soil system. *Bio2logy and Fertility of Soils*, 6: 237- 251.
- Li HM, Aide T, Ma YX, et al. 2007. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China. *Biodiversity and Conservation*, 16: 1731- 1745.
- Liu ZG, Zou XM. 2002. Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a Puerto Rican pasture and a wet forest. *Ecological Applications*, 12: 1406- 1417.
- Mclean MA, Migg2Kleian S, Parkinson D. 2006. Earthworm invasions of ecosystems devoid of earthworms: Effects on soil microbes. *Biological Invasions*, 8: 1257- 1273.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853- 858.
- Yang JC, Huang H, Pan QR, et al. 2004. Long-term impacts of land-use change on dynamics of tropical soil carbon and nitrogen pools. *Journal of Environmental Sciences*, 16: 256- 261.
- Zhu H, Xu ZF, Wang H, et al. 2004. Tropical rain forest fragmentation and its ecological and species diversity change in Southern Yunnan. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1355- 1372.
- Zou XM, Gonzalez G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 627- 629.

作者简介 杜 杰, 男, 1982年生, 硕士研究生。主要从事土壤生态学和动植物关系方面的研究。E2mail: dujie282@163.com

责任编辑 刘丽娟
