

热带季节雨林凋落叶分解过程中的中小型土壤节肢动物的群落结构及动态

杨效东

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘要: 2000年5月-2001年4月,采用尼龙网袋法,以西双版纳热带季节雨林混合凋落叶作为分解基质,在3个季节雨林样地开展分解实验,对实验过程中分解袋内的中小型土壤节肢动物(meso-microarthropod)进行取样调查。根据所获数据探讨了中小型土壤节肢动物群落在分解过程中的结构和动态。结果显示:(1)在季节雨林凋落叶分解过程中,中小型土壤节肢动物群落组成始终以弹尾目和蟬蟎目相对数量较高(均在30%以上),成为优势类群。(2)分解中期,土壤节肢动物群落多样性指数,类群、个体及重要类群的数量均处于整个分解过程中的较高水平,分解初期和后期相对较低,且波动性大,其中分解初期各多样性指标在波动过程中呈逐步增长趋势,而后期逐步降低,其变化过程受凋落叶数量和质量、林地降雨量变化的影响。土壤动物群落类群和个体相对密度(每克凋落叶干重的类群数和个体数)的变化可在一定程度上反映土壤动物与凋落物质量的动态关系。(3)不同样地间,土壤节肢动物群落结构及动态差异在分解前期不明显,而分解后期差异有所增加,但3样地凋落叶分解物质损失率没有明显差异。

关键词: 分解,中小型土壤节肢动物群落,相对密度,多样性,西双版纳,中国

中图分类号: Q958

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2004)02-0252-10

Dynamics and community structure of soil meso-microarthropods during leaf litter decomposition in tropical seasonal rain forests of Xishuangbanna, Yunnan

YANG Xiao-Dong

Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223

Abstract: We examined the dynamics and community structure of soil meso-microarthropods during litter decomposition in tropical rain forests of Xishuangbanna, SW China between May, 2000 and April, 2001. The experiment was carried out in three plots of tropical seasonal rain forest located within a distance of 15 km. Mixed-species litterbags were constructed and placed in the field for one year. Soil meso-microarthropods were extracted from the litterbags by the Tullgren method each month during litter decomposition. The densities of soil meso-microarthropod groups and individuals were calculated per gram of dry litter (relative density). The data showed that Collembola and Acari were the most abundant groups of arthropods in the tropical seasonal rain forests (above 30%). Diversity indices, numbers of groups and number of individuals of soil meso-microarthropod were all higher in the middle stage of decomposition than in the early and end stages of decomposition. Variation of soil meso-microarthropod communities, including abundance of some groups, was correlated with litter quantity and quality. Relative density of soil meso-microarthropod reflects the dynamic relationship between litter quality and number of groups and individuals of soil meso-microarthropods during the decomposition process. The differences of diversity and abundance of soil meso-microarthropods among three different plots were higher in the end stage of decomposition than in the early stage of decomposition, but litter weight loss did not differ among the three different study site plots.

Key words: decomposition, soil meso-microarthropod community, relative density, diversity, Xishuangbanna, China

基金项目: 国家自然科学基金(30000131 和 40173039)和云南省自然科学基金(2001C0063M 和 2001C0064M)资助

收稿日期: 2003-07-16; 接受日期: 2004-01-14

作者简介: 杨效东,男,1966年出生,副研究员,主要研究方向为土壤生态学。E-mail: Yangxd@xtbg.ac.cn

凋落物是森林生态系统中养分循环的重要组成部分,其分解速率和养分元素的释放对生态系统生产力有重要的影响(Swift *et al.*, 1979; Anderson & Swift, 1983; Martin & Scott, 1997; Coleman & Crossley, 1996; 黄建辉等, 1998)。分解是土壤微生物作用的主要结果,但土壤动物通过破碎、搅动、摄食、刺激(微生物活性)和接种(微生物)等活动,在凋落物分解过程中对分解速率及养分释放也发挥着极为重要的作用(Swift *et al.*, 1979; Seastedt, 1984; Benckiser, 1997; Reichle, 1977; Santos & Whitford, 1981; 钟伟彦等, 1999; 张雪萍等, 2001; 廖崇惠等, 1992)。其影响效应与分解过程中土壤节肢动物群落的组成、数量分布、时空动态及演替变化有关(Heneghan *et al.*, 1998, 1999; Grizelle & Seastedt, 2000, 2001; Coleman & Crossley, 1996; Reddy, 1995; 柯欣等, 1999)。西双版纳是我国热带森林面积最大、类型最多样、保存最完整、生物多样性最丰富的地区,季节雨林是这一地区热带雨林的主要类型。由于处在热带生物区系向亚热带生物区系过渡的生物地理群落交错带(生态脆弱带)上,该地区生物资源极为脆弱,易受人为活动干扰和破坏而不易恢复(朱华, 1999)。因此研究这一地区热带雨林生态系统结构和功能,探索雨林凋落物分解过程及机制具有重要意义。郑征等(1992)曾对季节雨林凋落量和凋落物分解率进行了研究,任泳红(1999)比较了季节雨林和人工橡胶林凋落物的分解速率,但均未涉及分解过程中土壤节肢动物群落的变化。本文根据2000年5月-2001年4月的调查数据,分析了西双版纳季节雨林凋落叶分解过程中,分解袋内中小型土壤节肢动物群落的组成、数量动态和多样性变化。

1 研究样地和方法

1.1 样地概况

研究地区位于西双版纳傣族自治州勐腊县勐仑镇,地理位置为 $21^{\circ}41'N$, $101^{\circ}25'E$,海拔600 m左右。该区属西南热带季风气候,年均温度 $21.4 - 22.6^{\circ}C$,年降雨量1556 mm,其中雨季降雨量约占全年的87%,干季仅占13%。如考虑温度的变化,全年可分为干热季(3-4月)、雨季(5-10月)和雾凉季(11月-次年2月)。地带性植被为热带季节雨林和季雨林。研究林地选取当地热带湿性季节沟谷雨林的典型代表类型:绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*)

-千果榄仁(*Terminalia myriocarpa*)林,群落高度40 m左右,盖度约为85% - 95%,结构复杂,物种丰富。上层乔木主要树种为番龙眼、千果榄仁、毗黎勒(*Terminalia bellirica*)、毛麻楝(*Chukrasia tabularis* var. *velutina*)、梭果玉蕊(*Barringtonia macrostachya*)、大叶白颜树(*Gironniera subaequalis*)、云树(*Garcinia cowa*)、假广子(*Knema erratica*)、细罗伞(*Ardisia tenera*)、蚁花(*Mezzettiopsis creaghii*)等;灌木层除上层乔木的幼苗幼树外,常见种有染木(*Saprosma ternatum*)、狭叶巴戟(*Morinda angustifolia*)、玉叶金花(*Mussaenda* sp.)等;草本层种类较少,主要为海芋(*Alocasia macrorrhiza*)、盈江南星(*Arisaema inkiangense*)等。该群落主要分布于海拔900 m以下的湿润沟谷,生境异质性高。我们在勐仑自然保护区附近选取了3块不同地理位置的季节雨林作为研究样地(表1)。

1.2 材料和方法

为使实验结果更好地反映自然状况下季节雨林凋落叶分解过程和土壤节肢动物群落的动态,根据季节雨林物候变化和凋落物动态,分解实验安排在落叶高峰期(任泳红, 1999)后进行,即2000年5月-2001年4月。试验采用尼龙网袋法,在雨林落叶高峰期的3月分别收集各样地地表新鲜凋落叶混合样(主要成分为番龙眼、千果榄仁叶片,其中番龙眼凋落叶占总量的85%左右),带回室内风干后称取30 g分装入2 mm网目、15 cm × 15 cm尼龙袋中。2000年4月在每块样地布置了60个凋落叶分解袋。分解袋按5条样带(每条样带间隔10 m)、每条样带12个样点(每样点间隔5 m)放置于固定样地(50 m × 60 m)的落叶层下,让其与土壤表面接触。从5月开始,每月从各样地取回5袋,共收集12个月次。样袋取回后首先用Tullgren式干漏斗分离土壤节肢动物,然后置于 $60^{\circ}C$ 下烘干、称重。另取相同重量(30 g)风干叶在 $105^{\circ}C$ 下烘烤至恒重,推算出网袋内初始样品干重。土壤节肢动物标本依据《中国亚热带土壤动物》(尹文英, 1992)和《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 1998)分类至目。

土壤节肢动物群落多样性指数由Shannon-Wiener多样性指数(H')表达,其中 $H' = -\sum P_i \ln P_i$,式中 H' 为群落目水平上的多样性指数, $P_i = N_i/N$; N_i 为每一类群的个体数, N 为群落总的个体数(Magurran, 1988)。

表 1 热带季节沟谷雨林 3 块样地的主要生境条件

Table 1 Habitat characteristics of the three plots in tropical seasonal rainforests in Xishuangbanna

样地 Site	位置 Location	海拔 Altitude (m)	盖度 Coverage (%)	样地环境 Site description
季节雨林 1 Seasonal rain forest 1 (SRF1)	距植物园约 15km, 属勐仑自然 保护区, 是 CERN 在版纳热带雨 林定位研究样地。 SRF1 is located within the Xishuangbanna Nature Reserve with a distance of 15 km to the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden. It is a CERN study site.	750	90 - 95	林地面积较大, 周围主要是常绿阔叶林, 样地包括 坡度较大的坡地和平缓的冲积地, 由于是 CERN 的 研究样地, 人为干扰较小。 Large area of contiguous evergreen broad-leaved forest. Landform includes both riparian and upland habitats. There is little human disturbance in the area due to protection as a field site for the China Ecological Re- search Network study.
季节雨林 2 Seasonal rain forest 2 (SRF2)	位于曼掌寨附近, 距植物园约 12km, 属于勐仑自然保护区。 SRF2 is also located within the Xishuangbanna Nature Reserves, 12 km to the Xishuangbanna Trop- ical Botanical Garden.	650	90 - 95	林地面积较大, 周围三面为森林, 一面是农田, 样地 由坡地 (upland) 构成, 周围的雨林下有当地居民种 植的砂仁, 样地中人为干扰小。 Large area of contiguous evergreen broad-leaved forest dominated by riparian habitat. Although a medicine plant <i>Amomum</i> was planted in the surrounding areas by farmers, there is little human disturbance in the forest.
季节雨林 3 Seasonal rain forest 3 (SRF3)	位于植物园迁地保护区。 SRF3 is located inside the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden.	600	85 - 90	林地面积较小, 周围被次生林和橡胶林包围, 样地 由坡度较大的坡地和平缓冲积地构成, 其中因植物 迁地保护有其他新物种移入, 并有少量次生树种, 干扰相对较大。 Forest area is relative small. Surrounding vegetation is secondary forest and rubber tree plantations. Landform includes both riparian and upland habitats. Invasive plants from the introduced species were found in the forest. Human disturbance is obvious as compared with the SRF1 and SRF2 plots.

在此需要明确: 为防止或减少分解过程中凋落叶碎屑从分解袋内丢失而人为增加分解速率, 同时又保证功能意义上的中小型土壤节肢动物 (meso-microarthropod) (Swift *et al.*, 1979) 能进入网袋, 实验采用网目为 2 mm 的分解袋 (Grilzelle & Seastedt, 2000)。因此体宽大于 2 mm 的大型土壤节肢动物 (Macroarthropod) 将被限制在分解袋外面。

2 结果与分析

2.1 中小型土壤节肢动物群落的组成及变化

不同时间 12 次取样, 共获取中小型土壤节肢动物 17 066 个, 分属 6 纲 26 目。3 样地分解袋内中小型土壤节肢动物群落组成状况见表 2。土壤节肢动物群落月平均数量为每克凋落物干重中动物个体数的 12 次取样平均数; 各类群相对多度为各类群月平均数量占群落月平均总数的百分比; 频度指 12 次取样中, 各类群所获取的次数。

3 块样地凋落叶分解过程中, 中小型土壤节肢动物组成状况相似: 在数量上均以弹尾目和蜚蠊目占绝对优势, 并且两个类群的相对多度接近, 均在 30% 以上, 成为优势类群; 膜翅目蚂蚁的相对多度较

低, 与鞘翅目、半翅目、双翅目、倍足纲、等足目、蜘蛛目、拟蝎目构成常见类群 (1% - 10%); 其他类群的相对多度少于 1%, 视为稀有类群。各样地因生境异质性和人为干扰程度不同, 生物类群的绝对数量分布 (多度) 和在群落中的数量比例 (相对多度) 呈现一定差异, 其中常见、稀有类群的相对数量在样地间的差异明显大于优势类群。

不同分解月份, 各样地分解袋内中小型土壤节肢动物群落的组成具有一定程度的变化 (图 1), 主要体现在优势及常见类群占群落数量比例和稀有类群的组成成分上。各样地弹尾目和蜚蠊目在整个分解过程中始终占有高的数量比例, 但在不同样地其相对多度的变化趋势不同。对于常见和稀有类群, 其相对多度的月变化差异更大, 如膜翅目蚂蚁在 SRF2 样地分解过程的第 5 个月、SRF3 样地分解过程的第 1、5 和 10 个月, 在群落中的数量比例相对较高。

2.2 凋落叶分解量、土壤节肢动物类群和个体数量的变化

凋落叶在分解过程中, 有机质的重量随时间不断发生变化, 损失率可反映其分解的动态。我们将

表 2 热带季节沟谷雨林凋落叶分解实验中中小型土壤节肢动物群落的组成状况

Table 2 Soil meso-microarthropod community composition during leaf litter decomposition in tropical seasonal rain forests

	季节雨林 1 SRF1			季节雨林 2 SRF2			季节雨林 3 SRF3		
	月平均数量 ¹	相对多度% ²	频度 ³	月平均数量 ¹	相对多度% ²	频度 ³	月平均数量 ¹	相对多度% ²	频度 ³
弹尾目 Collembola	8.22 ± 5.10	37.81	12	6.60 ± 2.47	31.30	12	8.49 ± 3.96	35.70	12
双尾目 Diplura	0.05 ± 0.06	0.24	6	0.21 ± 0.13	1.00	10	0.03 ± 0.05	0.11	3
原尾目 Protura	0.18 ± 0.29	0.84	7	0.22 ± 0.35	1.04	10	0.13 ± 0.15	0.57	7
直翅目 Orthoptera	0.03 ± 0.08	0.12	2	0	0	0	0.004 ± 0.01	0.02	1
革翅目 Dermaptera	0.01 ± 0.03	0.06	3	0.01 ± 0.03	0.04	4	0	0	0
啮虫目 Psocoptera	0.09 ± 0.12	0.43	6	0.15 ± 0.16	0.72	11	0.56 ± 1.55	2.36	9
半翅目 Hemiptera	0.33 ± 0.36	1.52	12	0.27 ± 0.26	1.29	10	0.24 ± 0.29	1.03	10
同翅目 Homoptera	0.02 ± 0.04	0.10	3	0.08 ± 0.14	0.37	8	0.14 ± 0.12	0.57	10
缨翅目 Thysanoptera	0.04 ± 0.12	0.20	3	0.01 ± 0.04	0.06	3	0.05 ± 0.08	0.19	6
鞘翅目 Coleoptera	0.99 ± 0.61	4.57	12	1.76 ± 0.83	8.34	12	0.86 ± 0.76	3.62	12
双翅目 Diptera	0.38 ± 0.33	1.75	12	0.29 ± 0.26	1.38	9	0.62 ± 0.79	2.61	12
鳞翅目 Lepidoptera	0.05 ± 0.07	0.23	6	0.05 ± 0.07	0.23	7	0.03 ± 0.05	0.13	4
蜚蠊目 Blattoptera	0.11 ± 0.16	0.50	7	0.16 ± 0.19	0.75	10	0.03 ± 0.03	0.14	7
膜翅目蚂蚁 Hymenoptera (ant)	2.10 ± 2.54	9.67	12	2.12 ± 2.61	10.07	12	1.79 ± 1.37	7.55	12
等翅目 Isoptera	0	0	0	0	0	0	0.37 ± 0.89	1.55	3
等足目 Isopoda	0.21 ± 0.18	0.98	10	0.27 ± 0.20	1.28	11	0.46 ± 0.36	1.96	12
倍足纲 Diplopoda	0.55 ± 0.55	2.51	11	0.45 ± 0.35	2.13	9	0.57 ± 0.42	2.39	11
蜘蛛目 Araneae	0.66 ± 0.60	3.03	12	0.75 ± 0.48	3.57	12	1.07 ± 0.93	4.48	12
蜱螨目 Acari	7.28 ± 4.42	33.47	12	7.09 ± 3.82	33.66	12	7.43 ± 5.62	31.25	12
盲蛛目 Opiliones	0.01 ± 0.03	0.04	1	0	0	0	0.01 ± 0.03	0.04	2
拟蝎目 Pseudoscorpiones	0.30 ± 0.27	1.36	11	0.40 ± 0.32	1.91	10	0.28 ± 0.37	1.16	12
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	0.06 ± 0.10	0.26	6	0.02 ± 0.07	0.10	4	0.04 ± 0.05	0.15	7
地蜈蚣目 Geophilomorpha	0.04 ± 0.08	0.19	4	0.04 ± 0.06	0.17	5	0	0	4
蜈蚣目 Scolopendromorpha	0.02 ± 0.05	0.11	3	0.13 ± 0.28	0.60	8	0.01 ± 0.02	0.03	1
结合纲 Symphyla	0.003 ± 0.01	0.01	2	0.003 ± 0.01	0.01	1	0.27 ± 0.24	1.12	10
蠃戥纲 Pauropoda	0	0	0	0	0	0	0.30 ± 0.28	1.28	5
总计 Total	21.74 ± 13.02	100.00		21.08 ± 6.50	100.00		23.78 ± 12.85	100.00	

1: Mean monthly individual number; 2: Relative abundance; 3: Frequency

一年的分解时间分为前期(分解的第1-4月)、中期(第5-8月)和后期(第9-12月),对凋落叶损失率和节肢动物群落变化进行分析。3块样地凋落叶损失率的变化趋势极为相似,无显著差异($P > 0.05$):在分解初期凋落叶损失较快,平均月损失率约为20%;4个月后分解袋中凋落叶残留率为30%左右,总损失率70%以上。此后分解速率减缓,在分解中期,平均月损失率为3%左右。分解后期,分解袋中的凋落叶基本分解完,残留率仅为12%-15%。在凋落叶分解过程中,3样地分解袋内中小型土壤节肢动物的类群和个体数,以及它们的相对密度显示出相应的变化:分解前期,中小型土壤节肢动物类群数(目/袋)、个体数(个/袋)和个体相对密度(个/克凋落物干重)呈现出由高至低的变化;而类群相对密度(目/克凋落物干重)则表现为逐步增长的趋势。SRF1和SRF3样地土壤节肢动物个体

数在分解第一个月最高,它们的月变化幅度也较SRF2样地大。至分解第5个月开始,各样地土壤节肢动物类群数、个体数及个体相对密度又呈现较大的增长(SRF3样地从第4个月开始),并在分解中期处于较高的水平,SRF2样地在分解的第5个月因膜翅目蚂蚁和鞘翅目数量激增出现个体总数的高峰值。分解后期,土壤节肢动物类群和个体数总体上表现出先减后增、波动较大的变动趋势(图2)。

2.3 中小型土壤节肢动物群落多样性比较

土壤节肢动物群落多样性可由类群数及类群相对密度、个体数及个体相对密度和Shannon-Wiener多样性指数反映(Grizelle & Seastedt, 2000),计算结果见表3。

表3显示,在不同样地,中小型土壤节肢动物群落各多样性指标略有不同,但样地间均无显著差异($P > 0.05$)。分解过程中,3样地土壤节肢动物群落

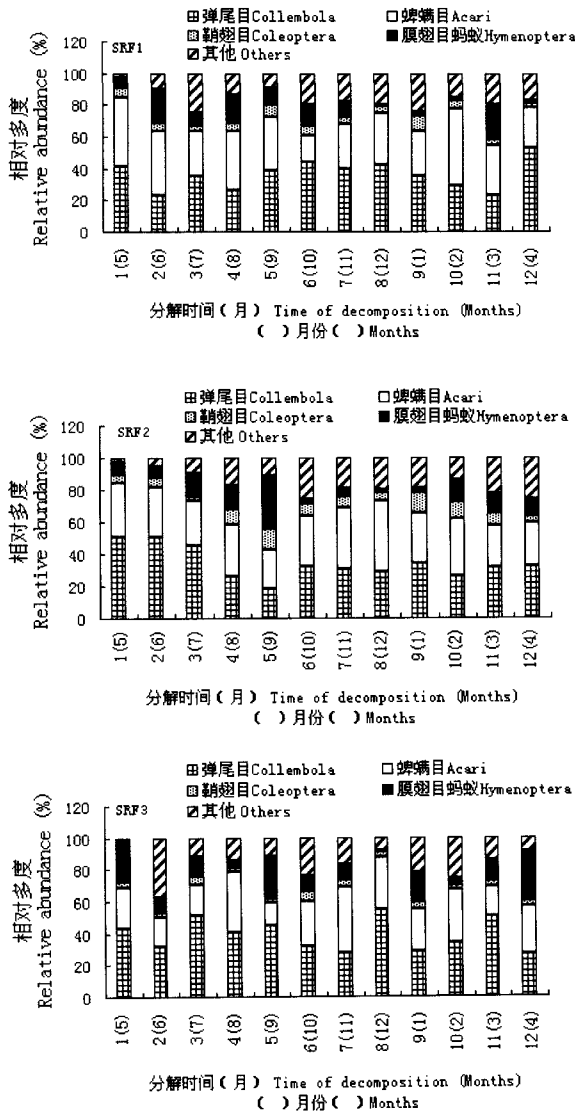


图1 3样地分解实验中中小型土壤节肢动物群落组成变化
Fig. 1 The dynamics of soil meso-microarthropod community composition during leaf litter decomposition in the three plots

Shannon-Wiener 多样性指数变化趋势基本一致:在分解初期较低;随凋落叶的分解,多样性指数逐渐升高,并在分解中期达到最高值;中期以后,多样性指数曲线波动较大。不同样地土壤节肢动物群落多样性指数在分解初期无明显差异,而在分解中期和后期,样地间差异增大(图3)。

2.4 中小型土壤节肢动物重要类群的数量变化

分解过程中,分解袋内土壤节肢动物优势类群弹尾目和螨螨目以及常见类群膜翅目蚂蚁、鞘翅目的个体数变化影响着整个群落数量变化趋势;而

重要分解者倍足纲、等足目的数量动态对凋落叶的分解有较大影响;一些重要的捕食性类群如蜘蛛目、拟蝎目和唇足纲,它们在群落中所占数量虽少,并且对分解不产生直接的作用,但它们处于土壤节肢动物群落营养级的顶部,通过调控群落结构而间接影响凋落物的分解速率,具有重要的“下行效应”(top-down)(Hunter & Price, 1992; 刘满强等, 2002)。在此,对上述重要类群在3样地分解袋内的个体数及个体相对密度进行分析,其结果反映了季节雨林中重要中小型土壤节肢动物类群在凋落叶分解过程中的变化(图4)。

弹尾目和螨螨目个体数在开始分解后的第1个月最高;随后2个月迅速减少,进入分解中期,其数量开始增加;直至分解后期在波动中逐步降低。等足目、倍足纲、蛛形纲(蜘蛛+拟蝎)个体数在分解开始数量极少,以后随分解进程逐步增长,在中期不同月份达到各自的峰值后开始逐渐降低,而在分解第11-12个月又再次出现一次增长(等足目除外)。膜翅目蚂蚁个体数在大部分时间数量较为恒定,仅在分解初期的第1个月(SRF3样地个体数最高)、中期的第5个月(SRF2样地获取极高的个体数)和后期的第11个月(SRF1样地捕获较多)出现较大波动,也说明蚂蚁活动性强,分解袋中所获取的数量可能不足以反映其数量变化的真实情况。鞘翅目的个体数变化相对稳定,在分解初期第1个月和中期第5个月从样地获取的数量较高。对于唇足纲(蜈蚣)而言,其个体数在分解初期较多;从分解中期第5个月开始逐步递减;但在分解实验的最后1个月,从各样地获取的个体数均较高。上述类群的个体相对密度的变化与实际所获个体数有总体趋势上的一致性,表现出在分解初期,它们的个体相对密度处于较低水平;随后逐步增长,至分解中期处于较高的水平,不同类群的数量密度的高峰值出现时间不同;分解后期密度下降,而在最末期大多数类群的个体相对密度再次增加,表现出双峰型曲线。此外还可看出,弹尾目在分解实验初期第1个月获取的个体数明显高于螨螨目;在以后的分解过程中,它们的数量差异不大。其他类群显示出较大的差异,如等足目数量明显低于倍足类,蜘蛛纲数量显著高于唇足纲。需要指出,等翅目白蚁作为主要分解者在凋落叶分解袋中却极少捕获,仅在SRF3样地个别月获取较高的数量,估计与其生活习性有关。廖崇

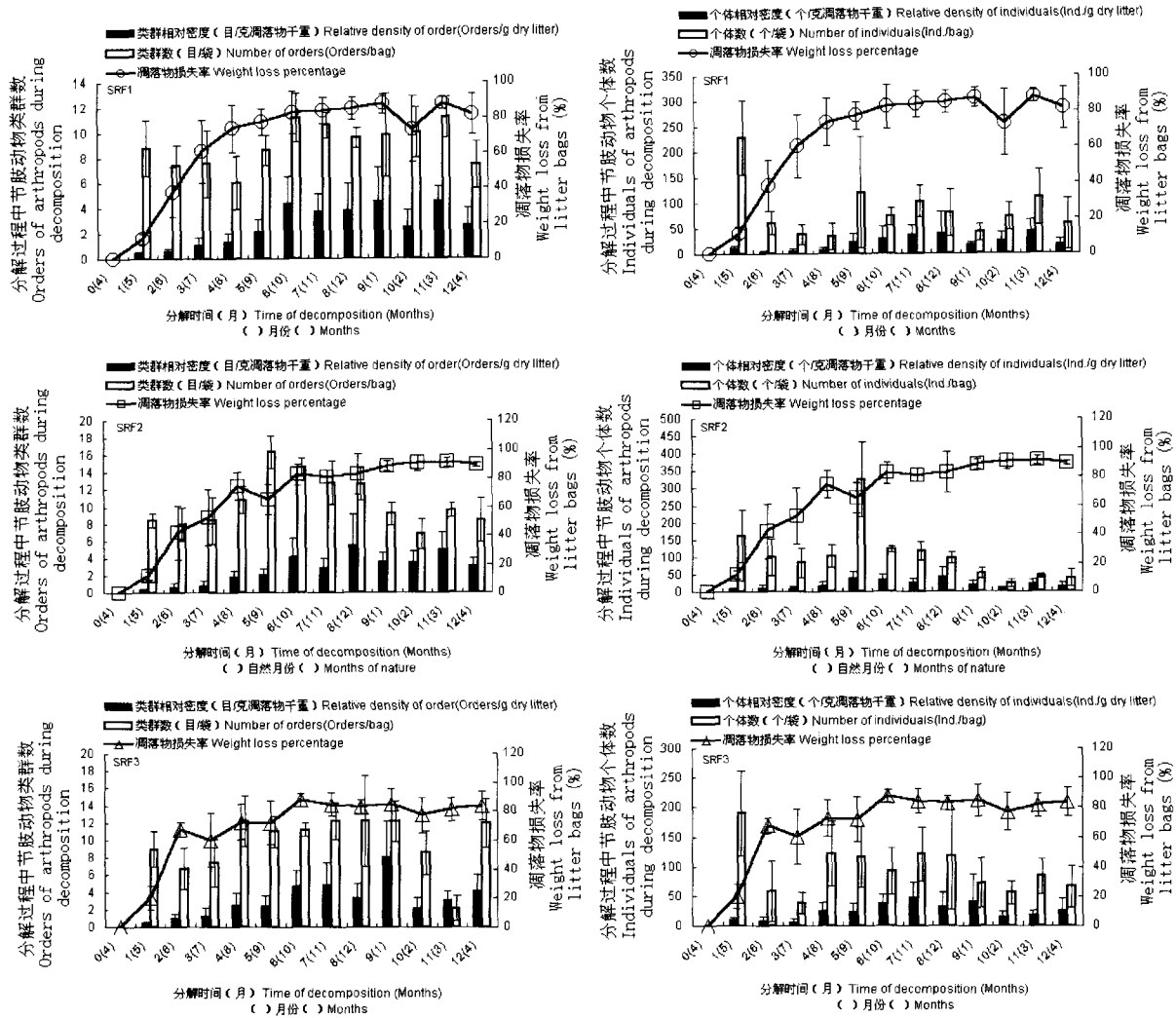


图 2 3 样地凋落叶分解实验中凋落叶物质损失率、中小型土壤节肢动物类群和个体数的变化

Fig. 2 The dynamics of leaf-litter weight loss percentage, groups and individual numbers of soil meso-microarthropod communities during litter decomposition in the three plots

表 3 3 样地凋落叶分解袋内中小型土壤节肢动物群落多样性比较

Table 3 Comparison of diversity of soil meso-microarthropod communities in litter bags from the three plots

	SRF1	SRF2	SRF3
类群数(目/袋) Number of orders(Orders/ bag)	9.02 ± 0.67 ^a	10.05 ± 0.64 ^a	10.48 ± 0.94 ^a
个体数(个/袋) Number of individuals(Inds./bag)	84.98 ± 26.22 ^a	105.6 ± 29.57 ^a	94.62 ± 20.06 ^a
Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index	1.46 ± 0.16 ^a	1.60 ± 0.20 ^a	1.51 ± 0.17 ^a
类群相对密度(目/克凋落叶干重) Relative density of order (Orders/g dry litter)	2.67 ± 1.21 ^a	2.83 ± 1.20 ^a	3.20 ± 1.52 ^a
个体相对密度(个/克凋落叶干重) Relative density of individuals (Inds./g dry litter)	22.30 ± 13.02 ^a	21.77 ± 11.99 ^a	24.56 ± 11.54 ^a

不同小写字母表示样地间差异显著($P=0.05$) Different small letters indicate difference at $P=0.05$

惠等(1995)在亚热带人工林凋落叶分解的研究显示,白蚁发挥着重要的作用;但在获取样品时,生活的白蚁已离开分解袋,导致捕获数量少。

3 小结与讨论

(1) 季节雨林凋落叶分解过程中,3 样地分解袋内中小型土壤节肢动物群落始终以弹尾目和蜱螨目

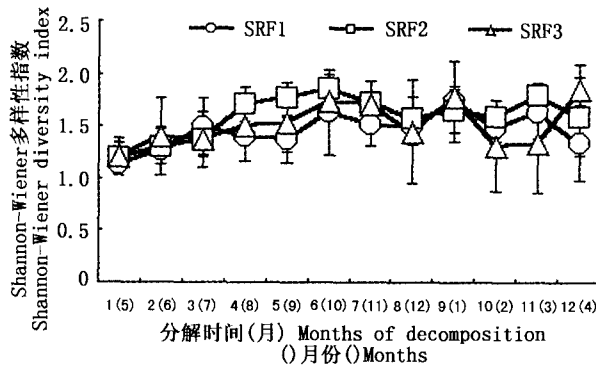


图3 分解实验中中小型土壤节肢动物群落 Shannon 多样性指数动态

Fig. 3 The dynamics of Shannon-Wiener diversity index of soil meso-microarthropod during leaf litter decomposition

占有较高的数量(30%以上);膜翅目蚂蚁的相对数量较低;鞘翅目、半翅目、双翅目、倍足纲、等足目、蜘蛛目、拟蝎目的相对多度月变化差异虽然较大,但年均值在 1% - 10% 之间,被视为群落的常见类群。在波多黎各热带湿性雨林凋落叶的分解过程中,分解袋内土壤节肢动物群落组成以蜱螨目占据绝对优势,占整个群落个体数量的 86% 以上;而弹尾目相对数量很低,仅 1% - 2%;其他类群如膜翅目蚂蚁、鞘翅目、倍足纲、等足目、蜘蛛目及唇足纲类群的相对数量(Grizelle & Seastede, 2000)也低于本实验结果。这与两地热带雨林植被结构、凋落物基质、土壤理化性质及气候条件的差异有较大关系。此外,凋落叶在不同的分解阶段,其土壤节肢动物群落组成也具有一定的变化,体现在优势类群的相对数量分布和常见、稀有类群的组成上。

(2) 季节雨林具有与气候因子相适应的生物小循环节律,在凋落物动态上表现出:在干季(3 - 4 月)多数树种换叶,林地凋落物数量达到高峰;雨季(5 - 10 月)地表凋落物进入快速分解期,为植物生长提供养分(任泳红等,1999)。郑征等(1992)对季

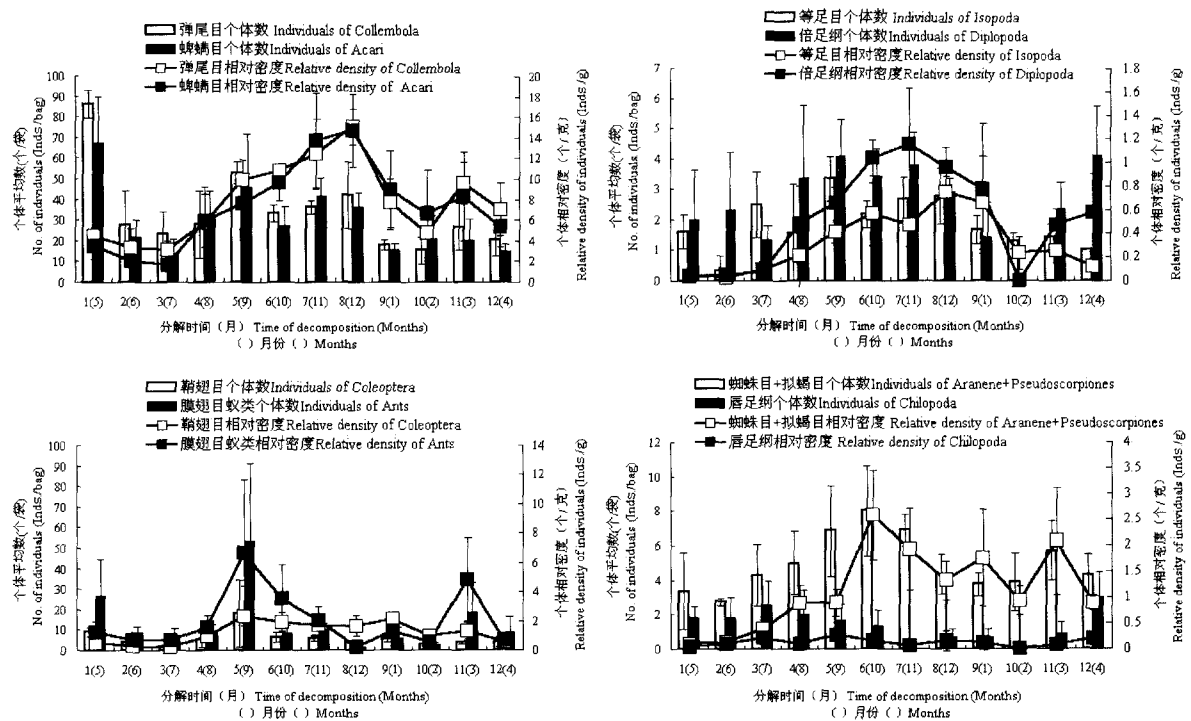


图4 季节雨林凋落叶分解实验中中小型土壤节肢动物群落重要类群数量动态比较

Fig. 4 Comparison of individual number of important soil mesoarthropod groups during litter decomposition in the three plots

节雨林凋落物分解动态的研究表明:雨季中期的凋落物分解率最高,是干季的9倍,周年分解率与降雨量有极显著的正相关关系。本分解实验初期为高温多雨的雨季中期(5-8月份),凋落叶分解量高,损失较快;分解中期后,凋落叶损失率降低,分解速度减慢,这与已有的结果类似(任泳红等,1999;郑征等,1992)。

在凋落物分解过程中,分解袋内中小型土壤节肢动物群落类群数和个体数也显示出明显的变化,总体上呈“W”型变化趋势,表现在分解中期较高,初期、后期各指标相对较低,且波动性较强。群落中不同生活习性及功能的类群显示出一定的演替次序:分解初期第1个月,小型类群如弹尾目和蜱螨目先进入分解袋并具有较高的数量,其他类群甚少;随分解进程,常见类群的数量逐步增加,如等足目和倍足纲在分解中期才在分解袋中占有一定的数量(图1,3)。中小型土壤节肢动物群落在分解实验过程中的动态一方面受分解袋中凋落物控制,同时也与林地温湿度因子的变化相关。食物资源(凋落物)是影响土壤节肢动物群落动态的重要因子,既反映在凋落物的数量(生物量)上,也体现在凋落物质量(C/N和C/P)的变化上,其中凋落物中N、P浓度较高或C/N、C/P较低时,更有利于土壤节肢动物类群、个体数量和生物量的发展(Swift *et al.*, 1979; Tian *et al.*, 1993; Gholz *et al.*, 2000; Matthew & Zou, 2002)。在季节雨林凋落叶分解过程中,凋落叶中C浓度随分解进程逐步减少,而N浓度逐渐增加,C/N逐步降低(郑征等,1992)。因此,凋落叶质量的变化(C/N降低)可能是导致本试验分解中期土壤节肢动物群落类群和个体数增加的原因之一。分解后期,虽然凋落叶中C/N较低,但因凋落叶数量减少,土壤节肢动物类群和个体数也逐步下降。

在温带不同类型森林(针叶林、山毛榉林和橡树-云杉混交林)凋落叶分解实验过程的研究中,小型土壤节肢动物(弹尾目和蜱螨目)的个体相对密度动态也表现出分解中期高于初期和后期的变化趋势,其相对密度与林地凋落物损失量呈正相关关系;而在山毛榉林中等足目生物量与凋落物损失量相关;混交林中倍足纲与分解率有明显的关系,说明这些中小型土壤节肢动物与其他非生物因素(降雨、凋落物湿度和温度等)一起对凋落物损失起作用。在分解初期的2-3个月时间中,凋落物初重的

快速损失与物质物理性溶解相关;而中、后期凋落物重量损失速率减缓,损失量增加,物质损失率与土壤节肢动物群落个体数变化呈指数关系(Swift *et al.*, 1979; Seastedt & Crossley, 1980; Reddy, 1992; Reddy & Venkataiah, 1989; Reddy & Alfred, 1989; Irmiler, 2000)。所不同的是温带森林凋落叶分解速率相对较慢,小型土壤节肢动物个体相对密度在第2年才开始显著增加;而西双版纳季节雨林凋落叶在当年就基本分解完,土壤节肢动物类群和个体相对密度在分解的第3或4个月开始增长。它们在不同月份的变化可以较好地反映出土壤动物与凋落叶质量的互动关系。

热带雨林干湿季降雨量差异也可能对分解过程中土壤节肢动物群落动态产生影响。一般而言,土壤节肢动物类群和个体数量在湿季要明显高于干季,并且雨季初期因凋落物和土壤含水量的适当增加,小型土壤节肢动物数量呈现明显的增长;而雨季中期部分时间,动物数量明显下降,但雨季初、末期没有太大差异(Willis, 1976; Raghubanshi, 1990)。从本实验实际获取的土壤节肢动物类群数、个体数以及当年降雨量的情况看,土壤节肢动物个体数在分解初期波动较大的原因可能与季节交替过程中的降雨量变化太大有关。分解初期处于雨季初期(5月份)向中期(6、7月份)过渡的时期,月均降雨量从5月份的150 mm跃升到6、7月份的350 mm(当年最高)。优势类群弹尾目、蜱螨目个体数在雨季初期(分解第1个月),因凋落物含水量的适当增加而出现激增;随后进入降雨量最高时期,凋落物和土壤层含水量过高,两类群数量又明显减少;而8月份(分解中期)降雨量降低后,林地凋落物含水量又适合其种群数量发展。这两个类群的数量动态控制着整个分解袋内土壤节肢动物群落的数量变化,也导致群落总数变化与它们的变化趋势相近。

综上所述,分解过程中凋落物数量和质量的改变、土壤温湿度因子的差异均对土壤节肢动物群落产生影响,但实验未就上述影响因子对土壤节肢动物在分解过程中的作用进行单独测定,土壤节肢动物群落在分解过程中的变化机制尚需进一步研究。

(3)自然条件下,雨林凋落物分解过程中不断有新鲜凋落物加入,并且不同大小的土壤动物均参与了分解过程。因此在实际凋落物分解过程中,土壤节肢动物的变化比分解袋实验条件下所获结果更

为复杂。本项实验试图比较不同片断季节沟谷雨林凋落叶分解进程,了解中小型土壤节肢动物的群落结构及多样性在分解进程中的变化状况。采用分解袋法可固定凋落物初量,测定不同分解时间段凋落物初量的损失状况,同时调查分解袋残留物中土壤节肢动物群落。这一方法也为大多数学者所采用 (Grizelle & Seastedt, 2000, 2001; Irmiler, 2000; Swift *et al.*, 1979; Seastedt & Crossley, 1980; Reddy & Alfred, 1989), 只是分解袋网目的选取有所不同。研究涉及的 3 块样地均为同一种植被结构的季节雨林,由于研究样地不同,森林凋落物总量(任泳红, 1999; 郑征等, 1990)、地形和土壤条件的差异势必对林地凋落物中节肢动物群落的组成及数量结构产生一定影响;而林地因植被覆盖度、面积大小及人为干扰程度的不同,也间接地对分解进程中节肢动物种群的消长产生影响,使得不同样地凋落叶分解袋中土壤节肢动物群落多样性、重要类群的数量分布和动态产生一定差异。但从 3 样地凋落叶物质损失率变化看,样地间凋落物中节肢动物群落的差异并未对凋落叶分解速率产生不同影响。

致谢: 本项研究野外工作得到中国科学院西双版纳热带雨林生态系统定位研究站的大力支持,论文写作过程中得到本园邹晓明研究员的悉心指导,在此一并致谢。

参考文献

- Anderson, J. M. and Swift, M. J. 1983. Decomposition in tropical forests. In: Sutton, S. L., Whitmore, T. C. and Chadwick, A. C. (eds.), *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell Scientific Publications Press, Oxford.
- Benckiser, G. 1997. *Fauna in Soil Ecosystems: Recycling, Nutrient Fluxes, and Agricultural Production*. Basel Press, New York.
- Coleman, D. C. and Crossley, D. A. 1996. *Fundamentals of Soil Ecology*. Academic Press, New York.
- Coleman, D. C. and Hendrix, P. F. 2000. *Invertebrates as Webmaster in Ecosystems*. CABI Press, New York.
- Gholz, H. L., Wedin, D. A., Smitherman, S. M., Harmon, M. E. and Parton, W. J. 2000. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biology*, **6**: 751 - 765.
- Grizelle, G. and Seastedt, T. R. 2000. Comparison of the abundance and composition of litter fauna in tropical and subalpine forest. *Pedobiologia*, **44**: 545 - 555.
- Grizelle, G. and Seastedt, T. R. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology*, **82**: 955 - 964.
- Heneghan, L., Coleman, D. C., Zou, X., Crossley, D. A. and Haines, B. L. Jr. 1998. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: a study of tropical and temperate sites. *Applied Soil Ecology*, **9**: 33 - 38.
- Heneghan, L., Coleman, D. C., Zou, X., Crossley, D. A. and Haines, B. L. Jr. 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: tropical-temperate comparisons of a single substrate. *Ecology*, **80**: 1873 - 1882.
- Hunter, M. D. and Price, P. W. 1992. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*, **73**: 724 - 732.
- Huang, J. H. (黄建辉), Chen, L. Z. (陈灵芝) and Han, X. G. (韩兴国). 1998. Advances in litter decomposition in forest ecosystems. In: Li, C. S. (李承森) (ed.), *Advances in Plant Sciences* (植物科学进展). China Higher Education Press, Beijing, 218 - 236. (in Chinese)
- Irmiler, U. 2000. Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, **44**: 105 - 118.
- Ke, X. (柯欣), Zhao, L. J. (赵立军) and Yin, W. Y. (尹文英). 1999. Succession in communities of soil animals during leaf litter decomposition in *Cyclobalanopsis glauca* forest. *Zoological Research* (动物学研究), **20**(3): 207 - 213. (in Chinese)
- Liao, C. H. (廖崇惠), Chen, M. Q. (陈茂乾) and Chen, J. H. (陈锦华). 1992. Population ecology of two species of terrestrial isopods and their role in litter decomposition. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **38**(1): 23 - 30. (in Chinese)
- Liao, C. H. (廖崇惠), Lin, S. M. (林少明), Li, J. X. (李健雄), Chen, J. H. (陈锦华) and Huang, H. T. (黄海涛). 1995. A comparative study of soil animals on litter decomposition in varied types of artificial forests. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15**(Supp A): 198 - 203. (in Chinese)
- Liu, M. Q. (刘满强), Hu, F. (胡锋), Li, H. X. (李辉信), Chen, X. Y. (陈小云) and He, Y. Q. (何圆球). 2002. Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**(1): 54 - 61. (in Chinese)
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measure-*

- ment. Princeton University Press, Princeton.
- Martin, K. and Scott, D. W. 1997. Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie. *Ecology*, **78**: 732 – 739.
- Matthew, W. W. and Zou, X. M. 2002. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantation on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, **170**: 161 – 171.
- Raghubanshi, A. S., Srivastava, S. C. and Singh, R. S. 1990. Nutrient release in leaf litter. *Nature*, **346**: 227.
- Reddy, M. V. and Alfred, J. R. B. 1989. Seasonal abundance of microarthropods of decaying needle-litter in a pine plantation in relation to mass loss, moisture and temperature. *Journal of Soil Biology and Ecology*, **9** (2): 104 – 117.
- Reddy, M. V. and Venkataiah, B. 1989. Influence of microarthropod abundance and climatic factors on weight loss and mineral nutrients of *Eucalyptus* leaf litter during decomposition. *Biology and Fertility of Soils*, **8** (4): 319 – 324.
- Reddy, M. V. 1992. Effect of microarthropod abundance and abiotic variables on mass loss and concentration of nutrients during decomposition of *Azadirachta indica* leaf litter. *Tropical Ecology*, **33** (1): 89 – 96.
- Reddy, M. V. 1995. *Soil Organisms and Litter Decomposition in the Tropics*. Oxford & IBH Press, New Delhi.
- Reichle, D. E. 1977. The role of soil invertebrates in nutrient cycling. In: Lohm, U. T. (ed.), *Soil Organisms as Components of Ecosystems*. *Ecology Bulletin*, **25**: 145 – 156.
- Ren, Y. H. (任泳红), Cao, M. (曹敏), Tang, J. W. (唐建维), Tang, Y. (唐勇) and Zhang, J. H. (张建侯). 1999. A comparative study on litterfall dynamics in a seasonal rain forest and a rubber plantation in Xishuangbanna, SW, China. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **23**: 418 – 425. (in Chinese)
- Santos, P. F. and Whitford, E. G. 1981. The effect of microarthropods in litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. *Ecology*, **62**: 654 – 663.
- Seastedt, T. R. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralisation process. *Annual Review of Entomology*, **29**: 25 – 46.
- Seastedt, T. R. and Crossley, D. A. Jr. 1980. Effects of microarthropods on the seasonal dynamics of nutrients in forest litter. *Soil Biology & Biochemistry*, **12**: 337 – 342.
- Swift, M. J., Heal, O. W. and Anderson, J. M. O. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell Scientific Publications Press, London.
- Tian, G., Brussaard, L. and Kang, B. T. 1993. Biological effects of plant residues with contrasting chemical composition under humid tropical conditions: effect on soil fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, **25** (6): 731 – 737.
- Willis, E. O. 1976. Seasonal changes in the invertebrate litter fauna on Barro Colorado Island, Panama. *Review of Brasil Biology*, **36**: 643 – 657.
- Yin, W. Y. (尹文英). 1992. *Subtropical Soil Animals of China* (中国亚热带土壤动物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yin, W. Y. (尹文英). 1998. *Pictorial Keys to Soil Animals of China* (中国土壤动物检索图鉴). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang, X. P. (张雪萍), Li, C. Y. (李春艳) and Zhang, S. C. (张思冲). 2001. Study of the function of millipedes in substance decomposition. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**(1): 75 – 79. (in Chinese)
- Zheng, Z. (郑征), Liu, L. H. (刘伦辉), He, A. J. (和爱军) and Jing, G. F. (荆桂芬). 1990. Litterfall and leaf consumption by animals in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **32**(7): 551 – 557. (in Chinese)
- Zheng, Z. (郑征), Liu, L. H. (刘伦辉), He, A. J. (和爱军) and Jing, G. F. (荆桂芬). 1992. Studies on the litter decomposition in humid seasonal rainforest in Xishuangbanna, China. *Yunnan Journal of Ecology Study* (云南生态学研究), **3**: 26 – 34. (in Chinese)
- Zhong, W. Y. (钟伟彦), Yin, X. Q. (殷秀琴) and Chen, P. (陈鹏). 1999. Relationship of litter decomposition and consumption with soil animals in Mao'er Mountain forest. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10** (4): 511 – 512. (in Chinese)
- Zhu, H. (朱华). 1990. The tropical rainforest vegetation in Xishuangbanna. *Tropical Geography* (热带地理), **10**(3): 233 – 240. (in Chinese)