

鼎湖山季风常绿阔叶林凋落叶分解与土壤动物群落动态和多样性^{*}

熊燕^{1,2} 刘强² 陈欢² 彭少麟^{3**}

(¹ 华东师范大学生命科学学院, 上海 200062; ² 海南师范学院生物系, 海口 571158; ³ 中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘要 2001年12月~2002年12月, 采用不同孔径分解凋落叶样袋法, 对鼎湖山季风常绿阔叶林3类凋落叶的分解进行了研究, 并对落叶分解过程中凋落叶袋内和袋下土样中的土壤动物群落和多样性进行了调查。结果表明, 3种孔径袋内凋落叶的分解速率为大孔>中孔>微孔; 混合凋落叶的分解速率大于单种凋落叶; 蜚蠊目在凋落叶分解的整个过程中相对数量都较高, 弹尾目在凋落叶的分解过程中在凋落叶袋和土壤间移动, 数量变化较大。凋落叶袋内大、中型土壤动物的个体数量在分解前期较多, 中、小型土壤动物在分解的中期数量剧增; 凋落叶袋内土壤动物的个体数量、密度以及多样性指数都随着落叶的分解而增加, 9月最高; 土壤样内则在分解的前期较高, 以后逐渐降低。凋落叶的分解和土壤动物群落动态及多样性受凋落叶基质质量以及样地温度、降雨量等综合因素的影响。

关键词 落叶分解, 土壤动物, 群落, 多样性, 亚热带, 鼎湖山

中图分类号 Q958 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2005)10-1120-00

Leaf litter decomposition of monsoon evergreen broadleaved forest and dynamics and diversity of soil fauna community in Dinghu Mountain. XIONG Yan^{1,2}, LIU Qiang², CHEN Huan², PENG Shaolin³ (¹ School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; ² Department of Biology, Hainan Normal University, Haikou 571158, China; ³ School of Life Science, Sunyatsen University, Guangzhou, 510275, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(10): 1120~1126.

With litterbag method, this paper studied the leaf litter decomposition of monsoon evergreen broadleaf forests in Dinghu Mountain, and the dynamics and diversity of soil fauna community within and out of bags from Dec. 2001 to Dec. 2002. The results showed that the decomposition rate of leaf litter in bags with different mesh sizes was decreased in order of coarse size > medium size > fine size. Mixed litters decomposed more rapidly than single species litters. Acarina was the most abundant group of soil fauna in litter bags and soil during the process of litter decomposition, while the individuals of Collembola had a greater change during litter decomposition. The density, diversity index, and the numbers of groups and individuals of soil fauna in litterbags increased with litter decomposition, especially in the 9th month. The diversity index and the numbers of the individuals of important soil fauna in soil were higher in early than in mid and late stages of decomposition. The decomposition process of leaf litter and the dynamics of soil fauna community diversity were correlated with litter quality, temperature and rainfall in the site.

Key words litter decomposition, soil fauna, community, diversity, subtropical forest, Dinghu Mountain.

1 引言

森林凋落叶分解是养分归还土壤的一种重要形式, 是森林生态系统物质循环的重要环节。凋落叶分解是一个非常复杂的过程, 受气候、土壤、凋落叶质量、土壤微生物和土壤动物的影响。土壤动物直接或间接地以凋落叶为食, 能碎裂和研细凋落叶, 刺激营养的释放或固定, 还能增加微生物活性, 有利于微生物细胞的散布, 因此, 土壤动物在森林凋落叶的分解中有非常重要的作用^[3, 6, 16, 17]。在凋落叶分解过程中, 由于落叶的质量、组成、化学成分以及微生物

的变化, 土壤动物的群落结构亦随着分解的不同阶段而变化^[15, 20]。关于亚热带森林土壤动物对凋落叶的分解有土壤动物分解作用的定性研究, 有重要类群在森林生态系统中分解量以及土壤动物生物量与凋落物分解关系的研究^[9, 11, 12], 但对凋落叶分解过程中土壤动物的群落动态未见报道。本文通过鼎湖山季风常绿阔叶林凋落叶的分解试验, 对凋落叶袋内和土样中的土壤动物群落组成和动态变化

^{*}国家自然科学基金重大项目(39899370)和广东省自然科学基金重大资助项目(980952)。

^{**}通讯作者

收稿日期: 2004-12-22 改回日期: 2005-03-07

进行了研究,旨在进一步探讨该地区主要树种落叶的分解状况以及凋落叶分解过程中参与分解的重要土壤动物类群和土壤动物群落结构的动态变化。

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

鼎湖山国家级自然保护区位于广东省肇庆境内,23°09′~23°11′N,112°30′~112°34′E。本区属亚热带湿润季风气候,年平均气温为20.9℃,年降雨量达1900mm,有明显的干湿季节,其中4~8月的降雨量占全年的70%以上。样地选在地带性植被季风常绿阔叶林中,海拔290~310m,坡向为东偏南向,土壤为黄壤。植物群落结构复杂,乔木分3层,主要优势种有黄果厚壳桂(*Cryptocarya cohcinna*)、厚壳桂(*C. chinensis*)、锥栗(*Castanopsis chinensis*)、荷木(*Schima superba*)、肖蒲桃(*Acmena acuminatissima*)、华润楠(*Machilus chinensis*)和云南银柴(*Aporosa yunnanensis*)等。林下包括灌木层及草本层,林中还有较多的藤本植物和附生植物。

2.2 研究方法

2.2.1 凋落叶分解采用凋落叶样袋法 2001年旱季8~9月在样地及周围地区收集凋落叶,采集即将脱落的衰老叶片和收集地面刚落的叶片。收集的凋落叶风干后分别装入孔径为0.03mm(微孔,防止土壤动物进入),1.00mm(中孔,只允许中、小型土壤动物进入)和5.00mm(大孔,允许所有土壤动物进入)的尼龙网袋中。尼龙网袋大小为15cm×15cm,每种孔径网袋装入15g单种凋落叶和20g混合凋落叶。单种凋落叶为锥栗和荷木,混合凋落叶是由锥栗、荷木、厚壳桂、黄果厚壳桂、云南银柴、红车(*Syzygium rehderianum*)、肖蒲桃、白颜树(*Gironniera subaequali*)、凸脉榕(*Ficus nervosa*)、陈氏钓樟(*Lindera chunii*)共10种亚热带常绿季风阔叶林乔木层主要树种的凋落叶等量混合。

2001年12月将装有凋落叶的尼龙袋(凋落叶袋)置于样地的落叶层下(中孔径凋落叶袋9月放置),2002年3、6、9、12月收回样袋,共72袋,带回室内,用Tullgren式漏斗分离土壤动物48h,分离结束后清除叶片表面土壤颗粒和混入的杂物,烘干后立即称重记录。每一次取凋落叶袋的同时在袋下采集土样,以100cm³土壤环刀分3层取样,共取96个样。用Tullgren和Baermann式漏斗分离土壤动物48h。

2.2.2 数据处理与分析 数据采用SPSS10.0软件进行统计分析。群落结构参数有个体数(密度),类群数,多样性指数和均匀性指数。土壤动物群落多样性用Shannon Wiener多样性指数 H' :

$$H' = - \sum (P_i) (\ln P_i)$$

$$P_i = N_i / N$$

式中, P_i 为样品内第*i*类群的个体数与群落中总个体数量的比值, N 为总个体数。

Pielou均匀性指数 E :

$$E = H' / \ln S$$

式中, H' 为多样性指数, S 为类群数。

3 结果与分析

3.1 凋落叶的分解

在一年的分解实验中,凋落叶的有机质重量随时间而发生变化,用残留量反映凋落叶的分解动态。3种孔径凋落叶的分解趋势基本相同,可分为3个阶段:第一个阶段为凋落叶袋置于土壤表面开始到第3个月,凋落叶分解比较慢,残留量下降少;第二个阶段为第3~9个月,凋落叶分解迅速,残留量下降快;第三个阶段为第9~12个月,分解趋于平稳,落叶损耗减少。凋落叶袋孔径不同,凋落叶的分解速度不同。分解一年后,大孔径凋落叶袋内凋落叶的残留量为初始凋落叶量的42.4%,中孔径的残留量为43.14%,而微孔径残留量达73.0%。大孔径与微孔径的残留量差异极显著($P=0.0027$),中孔径与微孔径的残留量差异显著($P=0.0306$)。3种孔径的落叶总的分解格局是大孔>中孔>微孔(图1)。

3.2 凋落叶袋和土样中土壤动物群落组成和变化 一年内取样4次,在凋落叶袋内共获得土壤动

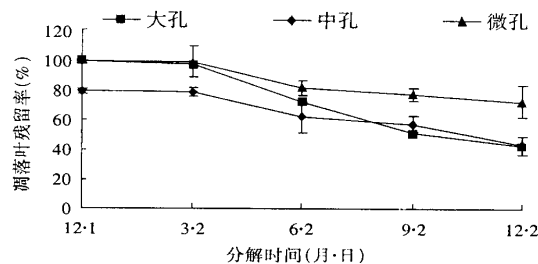


图1 不同孔径凋落叶袋内凋落叶的残留率

Fig. 1 Litter mass remaining percentage in types of litter bags with different mesh sizes

物标本 2682 个,隶属于 8 纲,26 目;土壤样中共获土壤动物标本 687 个,分属 8 纲,20 目^[1,2,7]。无论是凋落叶袋内还是土壤样中,均以蜚蠊目和弹尾目的数量占优势,蜚蠊目占全捕量的 50 %以上,弹尾目也分别占到 20 %和 10 %以上。在凋落叶袋内膜

翅目、双翅目、鞘翅目和鳞翅目构成常见类群(相对多度在 1 %~10 %) ;土壤样中的常见类群包括有膜翅目、双翅目、鞘翅目;另外蚯蚓、线虫、蜚蠊目和综合纲的数量也占到全捕量的 1 %以上;其余类群为稀有类群(相对多度在 1 %以下)(表 1)。

表 1 鼎湖山常绿阔叶林凋落叶袋内和土样中的土壤动物组成和数量

Tab. 1 Soil fauna community composition and numbers in litter bags and soil in monsoon evergreen broadleafed forests of Dinghu Mountain

类 群	凋落叶袋内					土壤样内		
	中孔	大孔	合计	占个体数百分比 %	多度	合计	占个体数百分比 %	多度
蜚蠊目 Acarina	975	591	1566	58.39	+++	370	53.86	+++
弹尾目 Collembola	318	331	649	24.20	+++	112	16.30	+++
膜翅目 Hymenoptera	158	78	236	8.80	++	47	6.84	++
双翅目 Diptera	14	25	39	1.45	++	57	8.30	++
鞘翅目 Coleoptera	13	24	37	1.38	++	13	1.89	++
鳞翅目 Lepidoptera	14	16	30	1.12	++	1	0.15	+
盲蛛目 Opiliones	17	15	22	0.82	+	1	0.15	+
蜘蛛目 Araneae	8	6	14	0.52	+	2	0.30	+
拟蝎目 Pseudoscorpiones	5	7	12	0.45	+	4	0.58	+
原尾目 Protura	5	4	9	0.34	+	3	0.44	+
嘴目 Procoptera	2	8	8	0.30	+	4	0.58	+
等足目 Isopoda	2	5	7	0.26	+	0	0	
缨翅目 Thysanoptera	3	3	6	0.22	+	1	0.15	+
蜚蠊目 Blattoptera	2	3	5	0.19	+	7	1.01	++
同翅目 Homoptera	1	4	5	0.19	+	3	0.44	+
半翅目 Hemiptera	1	3	4	0.15	+	1	0.15	+
带马陆目 Polydesmida	1	3	4	0.15	+	0	0	
综合纲 Symphyla	1	3	4	0.15	+	16	2.32	++
螳螂目 Grylloblattodeae	1	2	3	0.11	+	0	0	
双尾目 Diplura	3	0	3	0.11	+	0	0	
等翅目 Isoptera	0	2	2	0.07	+	0	0	
圆马陆目 Sphaerotheriida	1	1	2	0.07	+	0	0	
蜈蚣目 Scolopendromorpha	0	2	2	0.07	+	0	0	
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	0	1	1	0.04	+	0	0	
线纲 Pauropoda	1	0	1	0.04	+	0	0	
直翅目 orthoptera	0	1	1	0.04	+	0	0	
脉翅目 Neuroptera	0	0	0	0		1	0.15	+
球马陆目 Glomerida	0	0	0	0		1	0.15	+
线虫纲 Nematoda	0	0	0	0		12	1.75	++
寡毛纲 Oligochaeta	0	0	0	0		31	4.51	++
总计	1579	1103	2682	100.00		687	100.00	

注: +++ 优势类群(>10 %); ++ 常见类群(1 %~10 %); + 稀有类群(<1 %)。

土壤动物群落的组成随凋落叶的分解而变化。蜚蠊目的数量在凋落叶的整个分解过程中一直较高,而弹尾目和常见类群以及稀有类群的数量在分解过程中发生变化。分解的前 3 个月,凋落叶袋内大、中型土壤动物类群较多,稀有类群的数量较高,而弹尾目的数量低;分解到 6 月,稀有类群开始减少,常见类群的数量增加;分解到 9 月,弹尾目数量大量增加,以后开始下降。而土样中稀有类群 6 月最多,9 月最少,弹尾目数量在 3 月最高(图 2)。分解的初期是旱季(1~3 月),在凋落叶分解中起重要作用的弹尾目动物通过进入土壤深层来躲避干旱,当干旱过后又回到凋落叶袋中栖息和取食^[9],因

此,在落叶分解的不同阶段弹尾目动物在凋落叶袋与土壤间内外迁移,弹尾目数量的变化对整个土壤动物群落数量产生影响。

3.3 凋落叶袋内和土样中土壤动物重要类群的数量变化

凋落叶袋内和土样内土壤动物的优势类群和常见类群的数量变化影响整个群落数量变化趋势,而凋落叶袋内重要土壤动物类群的个体数量与凋落叶的分解有密切关系。通过对凋落叶袋内重要土壤动物个体数和密度与凋落叶残留量的相关性分析显示,凋落叶的分解与优势类群蜚蠊目、弹尾目和常见类群双翅目的数量呈显著正相关($r = 0.7503$,

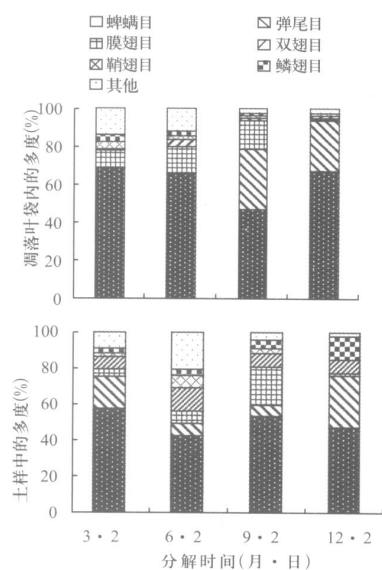


图2 凋落叶袋内和土样内土壤动物群落组成的变化

Fig.2 Dynamics of soil fauna community composition in the litter bags and soil

$r = 0.7724$, $r = 0.7679$, $P < 0.05$)。在凋落叶袋内, 蛴螬目在分解的前3个月个体数较高, 第6个月有所下降, 第9个月迅速增长, 第12个月最高。弹尾目在分解的前6个月数量一直很少, 在分解中期数量剧增, 到分解的后期开始下降。膜翅目蚂蚁也是在分解的前3个月个体数较高, 第6个月有所下降, 第9个月迅速增长, 第12月下降到最低。盲蛛目、蜘蛛目虽然数量较少, 但其个体数在凋落叶的分解过程中变化明显。盲蛛目是在分解的前期最高, 在分解的中期降到最低, 后期有所回升, 而蜘蛛目随落叶分解而下降, 在分解的12月降到最低。

对土样中的土壤动物重要类群的数量分析发现, 其变化趋势与凋落叶袋内不同。蛴螬目和弹尾目的个体数在分解的前3个月最高, 到第6月减少很多。蛴螬目在第9月略有回升, 但变化幅度很小。弹尾目在分解的第12月有所增加。膜翅目蚂蚁的个体数量相对稳定, 仅在分解第12月数量有所降低。盲蛛目在土样中很少, 被结合纲代替。分解后期土样中土壤动物数量和类群全部减少(图3)。

3.4 不同孔径凋落叶袋内土壤动物个体数和类群数的变化

在凋落叶一年的分解过程中, 大孔径凋落叶袋

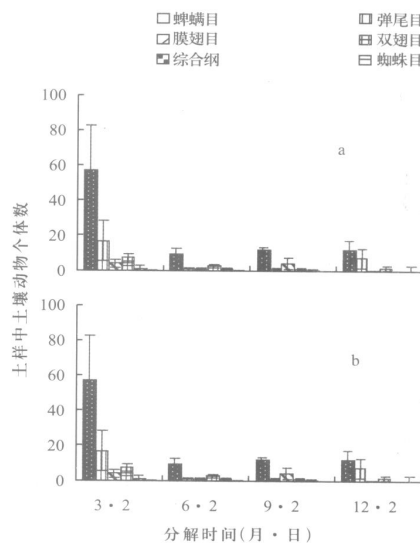


图3 凋落叶袋(a)和土样(b)中土壤动物重要类群的数量变化

Fig.3 Dynamics of individual number of important soil fauna groups in litter bags(a) and soil(b)

内土壤动物的个体数量和密度一直随着落叶的分解而增加, 在分解的前期增加比较缓慢, 第6~9个月增加迅速。土壤动物类群在分解的前期比较少, 在第9月达到一峰值, 分解后期减少。中孔径凋落叶袋内土壤动物密度和动物类群数量的变化趋势与大孔径袋内基本一致, 其土壤动物个体数在分解的第9月最高, 后期开始下降(图4)。这种变化可能是因为, 在分解的第6~9月, 凋落叶碎裂程度加大, 土壤动物的作用面增加, 有更多的土壤动物参与对凋落叶的分解作用, 到分解后期, 凋落叶残留量减少, 土壤动物的数量和类群也相应减少了。

3.5 不同凋落叶分解过程中土壤动物个体数量的变化

凋落叶袋内分别放置了鼎湖山常绿阔叶林中优势树种荷木、锥栗以及样地内主要树种的混合凋落叶。落叶的种类不同, 分解的速度有差异。混合落叶的分解速度大于单种落叶($P = 0.000$), 单种落叶荷木和锥栗的分解速度也有显著差异($P = 0.010$)。混合落叶和荷木落叶的分解速度在各时间段变化幅度不大, 落叶重量损失比较均匀。锥栗落叶在前期分解的速度较慢, 从第6个月开始分解加快, 残留量下降剧烈。

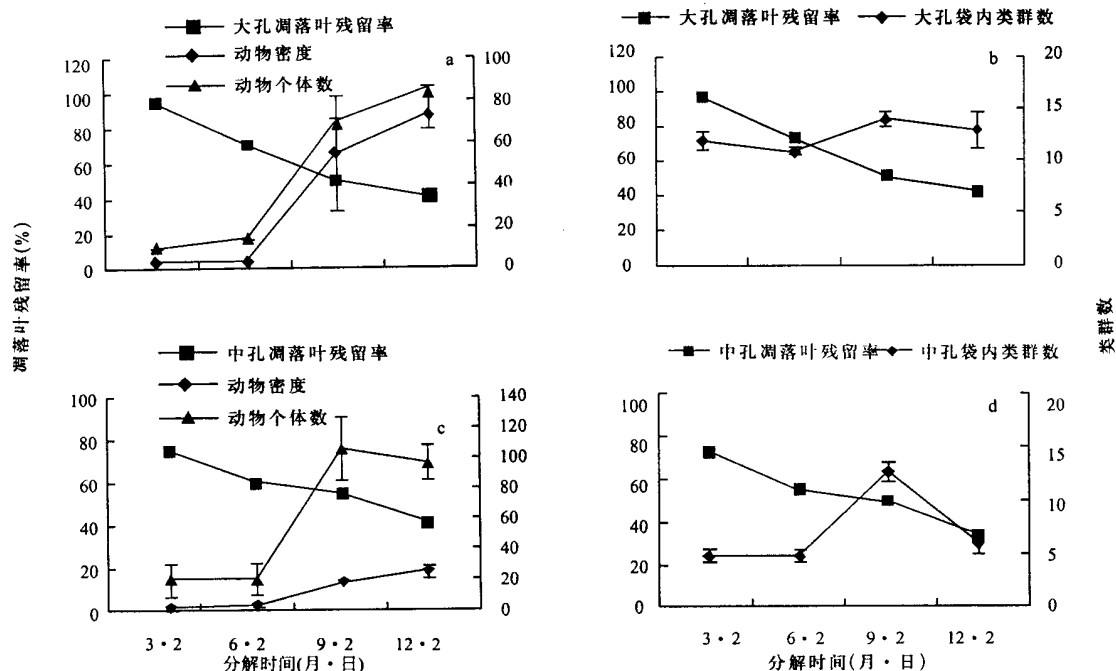


图4 凋落叶分解过程中凋落叶袋内土壤动物类群和个体数的变化

Fig.4 Dynamics of individuals, group numbers of soil fauna in litter bags during the litter decomposition

3种凋落叶袋内土壤动物的个体数量也随着落叶的分解而增加,混合落叶和锥栗落叶内土壤动物的数量在第9个月达到一峰值后逐渐下降,荷木落叶袋内动物个体数量则一直随落叶的分解而增加(图5)。土壤动物个体数量在单种与混合凋落叶间无显著差异。

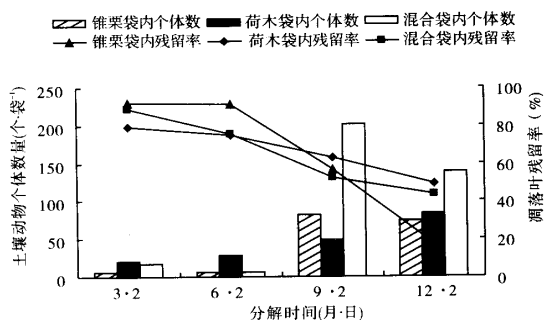


图5 单种和混合凋落叶分解过程中残留率与土壤动物个体数量的变化

Fig.5 Dynamics of litter mass remaining percentage and individual number of soil fauna in single and mixed species litters decomposition

3.6 土壤动物群落多样性指数和均匀性指数变化

土壤动物群落多样性可由类群数、个体数量、密度和多样性指数、均匀性指数来反映(图6)。大孔

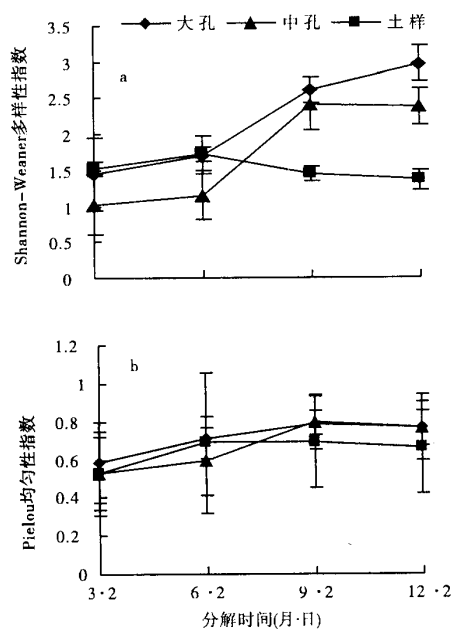


图6 凋落叶袋(a)和土样(b)内土壤动物群落多样性和均匀性指数动态

Fig.6 Dynamics of Shannon diversity and Pielou indices of soil fauna in litter bags(a) and soil(b)

径凋落叶袋内其多样性指数与动物的个体数、密度

的变化趋势相同,在分解的初期较低,随着落叶的分解而升高。中孔径凋落叶袋在9月达到最高值后下降。在凋落叶袋下的土壤中,土壤动物多样性指数的变化趋势正好相反,在分解的初期较高,在第6月达到最高后开始降低。凋落叶袋内土壤动物均匀性指数无论大孔径还是中孔径都是在分解的前6月较低,第9月最高,以后逐渐降低。土样的均匀性指数在分解的初期缓慢升高,第6月以后变化不明显。

4 讨 论

4.1 土壤动物对凋落叶分解的作用

从3种孔径凋落叶袋(5.00、1.00、0.03 mm)内凋落叶的分解情况看,分解消耗的基本趋势是大孔>中孔>微孔,即大、中、小型土壤动物和微生物的共同作用大于中、小型土壤动物和微生物的共同作用大于微生物的单独作用。落叶的分解是在土壤动物和微生物形成的食物网中进行的。微生物直接分解凋落叶,中、小型土壤动物则通过对微生物的取食和土壤动物间的捕食作用将从凋落叶中获得的物质、能量以无机或小分子的形式释放到土壤中。这种捕食与被捕食的作用激发了微生物和土壤动物的活性,从而促进了分解过程^[8]。微孔径凋落叶分解率低,说明微生物对凋落叶的分解在缺乏土壤动物的协同作用时受到削弱。中、小型土壤动物在凋落叶分解中的作用已得到公认,其中弹尾目和螨类的作用受到更多的关注。弹尾目动物虽然个体小,但个体数量大,具有将大块有机物撕碎的强大口器。在落叶分解的中期,弹尾目等中、小型土壤动物可将微生物难分解的木质素层撕开、弄碎,使微生物进入木质素层内部进行分解,增加了分解微生物与凋落叶的接触面,从而使分解得以继续快速进行。有文献报道热带大型土壤动物对凋落叶的分解作用大^[21]。它们碎裂凋落叶等大有机颗粒,通过消化道将真菌孢子接种到有机质上来加速凋落叶的腐解。本实验大孔径凋落叶袋内的凋落叶分解率比微孔径提高了30.6%,但考虑到大孔径袋内碎裂后的凋落叶碎屑可能从孔隙漏出或被土壤动物带走,有可能高估大孔径袋内凋落叶的分解率;另外,与微孔径袋相比,大孔径袋内由土壤动物与微生物相互作用提高的微生物作用的效应部分并没有扣去,这样也会高估大、中型土壤动物对凋落叶分解的作用。

4.2 凋落叶分解和土壤动物群落动态与凋落叶基质质量

凋落叶的基质质量(N、P、C的浓度,C/N,木质素lignin/N和C/P等)是影响凋落叶分解和土壤动物动态的重要因素,其中C/N和lignin/N是最能反映凋落叶分解速率的指标^[16,19]。测定了用于分解实验的3种类型的凋落叶的初始质量参数,3类凋落叶可分为两组,混合落叶具高N、P和低C、C/N, ligin/N;锥栗和荷木落叶具低N、P和高C、C/N, ligin/N。相关性分析显示,凋落叶的分解速率与lignin/N($r = -0.943$, $P = 0.005$)和C浓度($r = -0.829$, $P = 0.042$)有较高的负相关性,这与混合落叶的分解速度快于两种单种落叶相对应。

不同类群的土壤动物可获得的食物源是不同的,随着食物源的变化,土壤动物的群落组成和数量将发生改变。凋落叶中N、P浓度较高或C/N、C/P较低时,将有利于土壤动物类群的聚集和个体数量的发展^[5]。3类落叶分解过程中,C浓度在前6个月下降,在6月形成低谷,随后又上升。C/N随时间逐渐下降至6个月,第6~12个月趋于稳定;Lignin/N随落叶的分解先下降,第6个月时最低,然后又有上升。C和木质素浓度的变化可能是袋内土壤动物的类群和数量在分解的前期开始增加,中期最高,后期降低的原因之一。

4.3 凋落叶分解和土壤动物动态与气候因素

云南热带季雨林凋落叶分解实验表明,热带季雨林凋落叶经过一年的分解,凋落叶基本分解完,分解后期残留率仅为12%~15%^[5]。我们在海南尖峰岭热带季雨林的凋落叶分解实验也显示,同一种、相同孔径的凋落叶袋内的凋落叶在海南热带雨林的分解速率明显高于在鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的分解速率,经过一年的分解,热带季雨林内大孔径凋落叶袋内剩余凋落叶量为初始凋落叶量的18.6%^[4],亚热带季风常绿阔叶林为42.4%。因此,一年的分解可以反映亚热带常绿阔叶林分解的主要过程,但不能反映全过程,进一步的研究还需增长凋落叶分解的观察时间。在云南季雨林凋落叶的分解过程中,中、小型土壤节肢动物类群数和个体数量在分解的初期呈现由高至低的变化,是因为分解初期凋落物含水量的适当增加而出现激增,当进入降雨量的最高时期,因凋落物和土壤层含水量过高,数量又明显减少^[5]。González等^[14]在波多黎各热带干性和湿性雨林土壤动物组成和丰富度的比较研究中也提出,湿性雨林落叶中土壤动物的密度和多样性都比干性雨林高。海南尖峰岭热带季雨林和鼎

湖山亚热带季风常绿阔叶林降雨量接近,并具有相似的降雨模式,但两样地间的年平均气温相差 3.7°C 。在凋落叶分解过程中,两样地土壤动物的个体数量、群落组成和季节变化也存在差异^[13,14]。综上所述,凋落叶的分解不仅受凋落叶质量、土壤微生物和土壤动物的影响,还受气温、降雨量等气候条件的影响,而凋落叶的数量、质量和气候条件又影响土壤动物群落结构和多样性。因此有关土壤动物在落叶分解中的作用以及在落叶分解中土壤动物群落的变化要综合更多的因素进行探讨。

致谢 上海生命科学院植物生理生态所柯欣博士对本文的撰写提供帮助,在此表示感谢!

参考文献

- [1] 尹文英,沈韞芬,孙希达,等. 1992. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京:科学出版社.
- [2] 尹文英,胡圣豪,沈韞芬,等. 1998. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社.
- [3] 仲伟彦,殷秀琴,陈鹏. 1999. 帽儿山森林落叶分解消耗与土壤动物关系的研究[J]. 应用生态学报, 10(4): 511~512.
- [4] 刘强. 2003. 热带亚热带森林凋落物交互分解的生态学实验研究[D]. 广州:中国科学院华南植物研究所.
- [5] 杨效东. 2004. 热带季节雨林落叶分解过程中的中小型土壤动物的群落结构及动态[J]. 生物多样性, 12(2): 252~261.
- [6] 张雪萍,张毅,侯威岭,等. 2000. 小兴安岭针叶凋落物的分解与土壤动物的作用[J]. 地理科学, 20(6): 552~556.
- [7] 郑乐怡,归鸿. 1999. 昆虫分类[M]. 南京:南京师范大学出版社.
- [8] 柯欣,赵立军,尹文英. 1999. 青冈林土壤动物群落结构在落叶分解过程中的演替变化[J]. 动物学研究, 20(3): 207~213.
- [9] 徐国良,黄忠良,欧阳学军,等. 2002. 鼎湖山地表无脊椎动物多样性及其与凋落物的关系[J]. 动物学研究, 23(6): 477~482.
- [10] 彭少麟,刘强. 2002. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应[J]. 生态学报, 22(9): 1534~1544.
- [11] 廖崇惠,陈茂乾,陈锦华. 1992. 两种陆栖等足类的种群及其分解落叶的作用[J]. 动物学报, 38(1): 23~30.
- [12] 廖崇惠,林少明,李耀泉,等. 1995. 土壤动物生物量与森林凋落物分解的关系[J]. 生态学报, 15(增刊): 156~164.
- [13] González G, Seastedt TR. 2000. Comparison of the abundance and composition of litter fauna in tropical and subalpine forests[J]. *Pedobiologia*, 44: 545~555.
- [14] González G, Seastedt TR. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests[J]. *Ecology*, 82: 955~964.
- [15] Heneghan L, Coleman DC, Zou X, et al. 1998. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: A study of tropical and temperate sites[J]. *Appl. Soil Ecol.*, 9: 33~38.
- [16] Heal OW, Anderson JM, Swift MJ. 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical overview[A]. In Cadisch G, eds. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition* [C]. Wallingford, UK: CAB International, 3~30.
- [17] Petersen H, Luxton M. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes[J]. *Oikos*, 39: 287~388.
- [18] Rohan GG, Richard DB. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes[J]. *Soil Biol. Biochem.*, 33: 2073~2081.
- [19] Taylor BR, Parkinson D, Parsons WJ. 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: A microcosm test[J]. *Ecology*, 70(1): 97~104.
- [20] Takeda H. 1995. Changes in the Collembolan community during the decomposition of needle litter in a coniferous forest[J]. *Pedobiologia*, 39: 304~317.
- [21] Yamashita T, Takeda H. 1998. Decomposition and nutrient dynamics of leaf bags of two mesh sizes set in two dipterocarp forest in Peninsular Malaysia[J]. *Pedobiologia*, 42: 11~21.

作者简介 熊燕,女,1968年生,副教授,博士生。主要从事土壤动物生态及系统进化的研究。发表论文15篇。E-mail: yxiong@sibs.ac.cn
责任编辑 李凤芹