

桉-栎混合凋落物分解及其土壤动物群落动态*

李艳红^{1,2} 罗承德^{1**} 杨万勤¹ 胡杰² 吴福忠¹

(¹ 四川农业大学林学院, 四川雅安 625014; ² 西华师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川南充 637009)

摘要 采用放置不同孔径凋落袋(6目、30目和260目)的方法,研究了四川省乐山市苏稽镇不同比例巨桉(*Eucalyptus grandis*)与台湾栎木(*Alnus formosana*)混合凋落物的质量损失率及土壤动物群落结构的变化.结果表明:不同比例桉-栎混合凋落物均表现出前期分解迅速,后期分解较慢的规律.不同孔径凋落物袋中凋落物的分解率表现为6目最大,30目次之,260目最小.同孔径凋落物袋中不同比例桉-栎混合凋落物的分解速率也有不同,6目中各种凋落物分解时长相差较小,而30目和260目中纯巨桉、纯台湾栎木凋落物分解率达95%的时间之差分别为1175 d和908 d.凋落物分解过程中大型土壤动物类群结构发生了明显变化,分解初期主要为啮虫目,中期为后孔寡毛目,后期为鞘翅目,末期为双翅目.这些结果为进一步研究桉栎混交林物质循环提供了重要数据.

关键词 巨桉 台湾栎木 土壤动物群落 凋落物分解 混合凋落物

文章编号 1001-9332(2011)04-0851-06 **中图分类号** S154.5 **文献标识码** A

Decomposition of eucalyptus-alder mixed litters and dynamics of soil faunal community. LI Yan-hong^{1,2}, LUO Cheng-de¹, YANG Wan-qin¹, HU Jie², WU Fu-zhong¹ (¹ Faculty of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China; ² Ministry of Education Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, China West Normal University, Nanchong 637009, Sichuan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(4): 851-856.

Abstract: In order to understand the decomposition characteristics of eucalyptus (*Eucalyptus grandis*)-alder (*Alnus formosana*) mixed litters and the roles of soil fauna in the decomposition process, litter samples of the two tree species were collected from the Suji Town of Leshan, Sichuan Province, and mixed with different proportions. The mixtures were put in 6-, 30-, and 260-mesh litterbags to investigate their mass loss and the dynamics of soil faunal community during the process of decomposition. Different proportion mixtures all presented the same decomposition pattern, *i. e.*, decomposed rapidly in early period and slower in later period. The mixtures had the highest decomposition rate in 6-mesh litterbag, followed by in 30-mesh, and in 260-mesh litterbag. In the litterbags with same meshes, the decomposition rate of different proportion mixed litters also varied. In 6-mesh litterbag, the durations for the decomposition of the litters had slight difference; while in 30- and 260-mesh litterbags, the durations for pure *E. grandis* and *A. formosana* litters getting 95% mass loss had a difference of 1175 and 908 days, respectively. During the decomposition of the litters, soil macrofauna had an obvious change in community structure. In early period, Psocoptera dominated; in mid period, Opisthoptera dominated; in later period, Coleoptera dominated; and by the end, Diptera dominated. This study provided important information to understand the material cycling in eucalyptus-alder mixed plantation.

Key words: *Eucalyptus grandis*; *Alnus formosana*; soil faunal community; litter decomposition; mixture leaf litter.

森林凋落物是指森林生态系统内由生物组分产生并归还到林表地面,作为分解者的物质和能量来

源,借以维持生态系统功能的所有有机物质总称^[1].凋落物分解是生态系统物质循环和能量流动的最为关键的过程之一^[2-3],但常常受到多种生物与非生物因素的综合影响^[4-6].土壤动物不仅可以破碎、搅动、摄食凋落物,直接作用于凋落物分解,而

* 国家自然科学基金项目(30771702,30872014)、国家科技支撑计划项目(2008BAD2B01)和四川省教育厅重点项目(09ZA127)资助.

** 通讯作者. E-mail: lcdya@163.com

2010-08-26 收稿,2011-01-18 接受.

且可以通过刺激微生物的生长,促进凋落物的质量损失与元素释放^[7-10].不同体径的土壤动物,其食性和活动差异对不同质量的凋落物分解往往具有不同的贡献^[11-12],因而研究不同质量凋落物分解过程中不同体径土壤动物特征,对于了解凋落物分解过程具有重要意义.相对于物种结构单一的纯林,混交林的凋落物可以为土壤动物提供更多类型的潜在可用资源^[13-16],分解过程中可能具有更多的土壤动物类型^[17],并可能加速混交林生态系统物质循环过程.由于不同体径土壤动物的活动范围和活动能力具有明显差异,因而在混合凋落物分解过程中的作用势必存在较大差异,但至今尚缺乏相应的关注.

巨桉(*Eucalyptus grandis*)具有速生、丰产、优质、适应性强、用途广泛等特点,是南方工业原料林的主要造林树种之一.由于长期以来的大面积单一种植,物种多样性丧失^[18]、土壤地力退化等生态风险突出.台湾桉木(*Alnus formosana*)是非豆科固氮的常绿速生树种^[19],可能成为降低巨桉人工林生态风险的伴生树种.因此,充分认识巨桉与台湾桉木混合凋落物的分解特征及其土壤动物的结构变化,不仅可为了解土壤动物在混合凋落物分解中的重要作用提供基础数据,而且还为通过揭示混交林物质循环过程以构建合理可行的人工林模式提供科技支撑.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地区概况

研究区域位于四川省乐山市苏稽镇(103°36′—103°37′ E, 29°36′—29°37′ N),属中亚热带气候带,四季分明,雨量丰沛,年平均降水量多数在1000 mm以上,水热同季,年平均气温在16.5~18.0℃,≥0℃积温为6100℃~6500℃,≥10℃积温在5269℃~5662℃,≥20℃积温在2930℃~3376℃,年平均无霜期长达300 d以上.研究区域主要木本植物有多花野牡丹(*Melastoma affine*)、乌泡子(*Rubus parkeri*)、岗桉(*Eurya groffii*)、菝葜(*Smilax china*)等;主要草本植物有芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、十字苔草(*Carex cruciata*)、苔草科和莎草科多个属等.

1.2 试验方法

2009年4月,收取巨桉纯林、台湾桉木纯林的自然凋落叶,自然状态下风干,按5种不同的比例,[桉10 g,台湾桉木0 g(10E);桉7 g,台湾桉木3 g(7E:3A);桉5 g,台湾桉木5 g(5E:5A);桉3 g,

台湾桉木7 g(3E:7A);桉0 g,台湾桉木10 g(10A)]分别放入3种不同孔径^[11](6目、30目和260目)尼龙袋(20 cm×20 cm)中.其中,6目允许各种土壤动物的作用;30目网袋则基本排除了大型土壤动物的影响,允许中小型土壤动物自由出入;260目网袋则尽可能排除土壤动物的作用.每种比例,每种规格的凋落物各54袋,共计810袋,放置于相应比例桉-桉混交人工林下,其上覆盖少许土壤,以固定凋落物袋.当年5月至翌年4月取样.根据凋落物分解规律,前半年每半个月采集一次样品,后半年每月采集一次样品.每次采集不同孔径不同混合比例的凋落物袋各3袋,采用干漏斗法(tullgren)和手捡法分离凋落物中的土壤动物,镜检计数分类,参照《中国土壤动物检索图鉴》^[20]鉴定捕获的土壤动物.分离结束后,清除叶片表面土壤颗粒和混入的杂物,65℃烘干后称量.

1.3 数据处理

凋落物质量损失率= $\{(X_0 - X_t) / X_0\} \times 100\%$.其中: X_0 为样品的初始干质量; X_t 为样品分解 t 段时间后的干质量.

凋落物分解过程中质量损失过程可用Olson的指数衰减模型^[21]进行动态模拟,模拟式为: $X/X_0 = E^{-Kt}$.式中: X_0 为分解初始样品干质量; X 为时间 t 时的样品干质量; K 为平均分解速度常数(K 值越大,凋落物分解速度越快).

数据统计分析均采用SPSS 13.0和Excel软件完成,利用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较不同凋落物混合对土壤动物群落特征的影响,当各组方差齐性时,用LSD进行两两比较;当各组方差不齐时,用Dunnetts C进行两两比较.

2 结果与分析

2.1 桉-桉凋落物质量损失率

不同比例混合桉-桉凋落物的分解均表现出前期分解迅速,后期分解缓慢的规律.但不同比例混合凋落物的分解率具有明显差异.截至180 d,260目和30目凋落物袋中10E、7E:3A、5E:5A、3E:7A、10A凋落物质量损失率分别为64%、60.5%、31.5%、45.5%、31.5%和68.4%、52.4%、46.4%、53%、28%;截至330 d,260目和30目中10E、7E:3A、5E:5A、3E:7A、10A凋落物质量损失率分别为77%、62.5%、47.5%、63%、72.5%和74.7%、69.4%、54.7%、84.4%、69.7%.

6目的凋落物袋网孔较大,所有土壤动物可以

表 1 6 目中不同比例桉-栎混和凋落物质量损失率

Table 1 Mass loss rate of leaf litter mixture of eucalyptus (E) and alder (A) in the litterbags with 6 meshes (%)

混和比例 Mixture ratio	分解时间 Decomposition time (d)			
	0 ~ 45	45 ~ 90	90 ~ 135	135 ~ 180
10E	16.0	30.0	34.0	20.0
7E : 3A	50.3	40.7	4.3	4.7
5E : 5A	59.3	31.0	5.0	4.7
3E : 7A	66.3	21.4	5.3	7.0
10A	98.5	0.1	1.4	0.0

自由出入,因此与自然状态下凋落物的分解相似. 其不同比例混合桉-栎凋落物的质量损失率的变化存在较大差异(表 1). 分解前期(0 ~ 45 d), 10E、7E : 3A、5E : 5A、3E : 7A 和 10A 凋落物质量损失率呈增长趋势, 栎凋落物的分解速度较混和凋落物和桉凋落物快. 分解中期(45 ~ 90 d), 7E : 3A 凋落物的质量损失率最大, 而在分解后期、末期(90 ~ 135 d, 135 ~ 180 d), 桉的分解较快. 分解前期, 7E : 3A 由于栎木凋落物的加入, 大大提高了整个凋落物的分解速度, 而 3E : 7A 因桉树凋落物的存在, 分解速率有所降低.

从图 1 可以看出, 3 种网孔的分解速率(质量损失率)是 6 目明显快于 260 目和 30 目, 在 5E : 5A 凋落物中, 30 目的分解速率明显快于 260 目, 其他 4 种凋落物 30 目和 260 目的分解速率基本一致. 凋落物分解至 210 d 之后, 7E : 3A、5E : 5A 和 3E : 7A 中 30 目的分解速率快于 260 目, 10A 正好相反, 而 10E 二者基本一致.

2.2 土壤动物对凋落物分解时间的影响

应用指数衰减模型可计算 5 种不同比例混合凋落物分解过程的分解率(K)以及土壤动物不同的作用程度下分解到 50% 时所需的时间 $t_{0.5}$ 及分解到 95% 时所需的时间 $t_{0.95}$ (表 2). 从表 2 可以看出, 当有大型土壤动物存在时(6 目), 栎木的 K 值最大, 凋落物分解速率最快, 桉的 K 值最小, 分解速率最慢; 但在缺少大型土壤动物作用的情况下(30 目和 260 目), 栎木的分解速率较为缓慢, 而桉树的分解速率明显快于栎木, 混合凋落物的分解速率介于二者之间. 30 目和 260 目中纯桉和纯栎木分解到 95% 的时间分别相差 1175 和 908 d, 而混合凋落物之间差别较小.

2.3 凋落物分解过程中土壤动物数量和类群变化

在凋落物分解过程中, 大型土壤动物、中小型土壤动物的个体数量在分解初期有少许波动, 随后基本趋于平稳(图 2). 大型土壤动物群落在次年的 1、

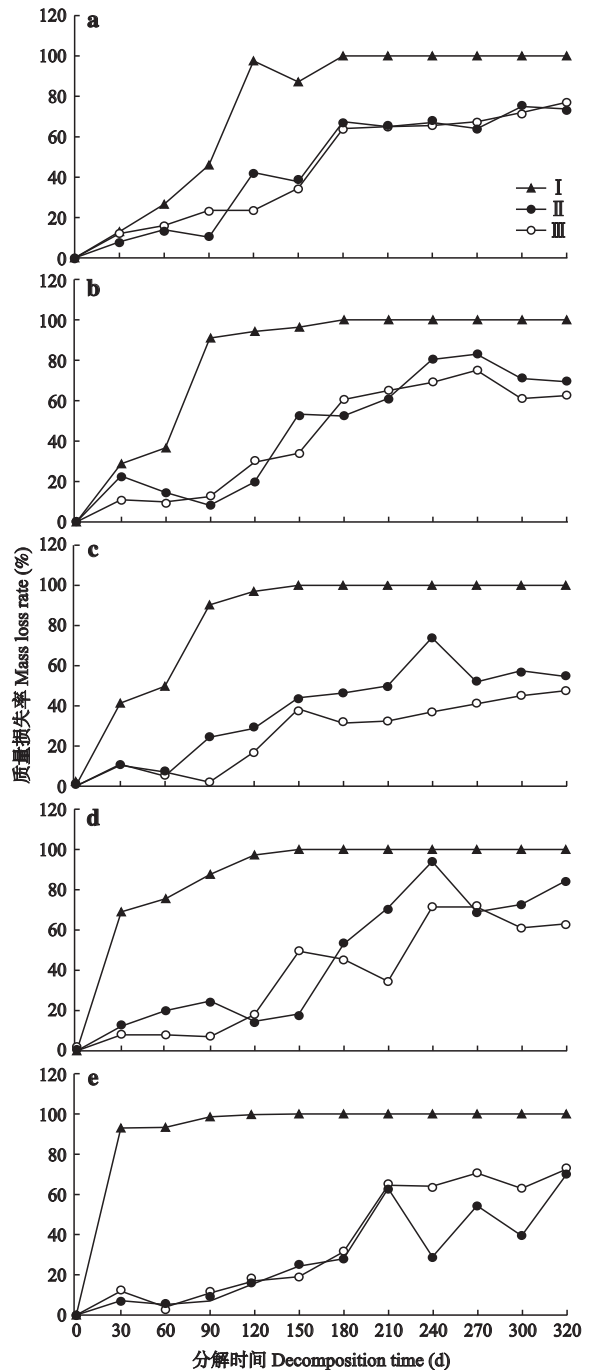


图 1 不同孔径下桉-栎混和凋落物的分解动态

Fig. 1 Decomposition dynamics of leaf litter mixture of eucalyptus (E) and alder (A) in the litterbags with different meshes.

a) 10E; b) 7E : 3A; c) 5E : 5A; d) 3E : 7A; e) 10A. I : 6 目 6 meshes; II : 30 目 30 meshes; III : 260 目 260 meshes.

2 月稍有回升, 中小型土壤动物在次年的 3、4 月略有波动. 其中 10A、5E : 5A 和其余 3 种凋落物中的大型土壤动物群落个体数分别在 6 月、7 月和 8 月达到最高峰. 10E 及 3E : 7A 凋落物中的中小型土壤动物群落在 7 月达到最高峰, 而 10A、5E : 5A 及

表2 不同处理下 K 值和凋落物分解时间Table 2 K value and litter decomposition time (d) under different treatments

处理 Treatment	K			I	$t_{0.5}$		$t_{0.95}$		
	I	II	III		II	III	I	II	III
10E	7.5	2.2	2.0	33	113	124	146	489	537
7E:3A	8.6	1.5	1.9	29	172	135	128	737	588
5E:5A	10.5	1.2	0.8	26	204	336	102	876	1445
3E:7A	10.8	1.5	1.2	22	168	208	102	723	902
10A	17.4	0.7	0.8	15	387	336	62	1664	1445

I: 6目6 meshes; II: 30目30 meshes; III: 260目260 meshes.

7E:3A则在8月达到最高峰. 主要大型土壤动物类群在凋落物分解过程中出现的时间有差异, 分解初期主要为啮虫目, 中期为后孔寡毛目, 后期为鞘翅目, 末期为双翅目. 中小型土壤动物蜱螨目、弹尾目在凋落物分解全过程中都有分布, 而综合纲和蠍线纲只有当凋落物分解到一定程度时才出现, 主要集中在10、11月和次年的4月.

在3种不同网孔类型凋落物袋中, 桉、栎纯凋落物分解过程中的土壤动物个体总数均为30目>260目>6目, 3种比例混合凋落物中土壤动物个体总数均为260目>30目>6目. 5种比例混合凋落物中(含纯林), 类群数均表现为30目>6目>260目, 但差异性不显著. 6目下不同比例凋落物中土壤动物个体数差异性极显著($P=0.001$, $F=5.348$), 而30目($P=0.261$, $F=1.356$)和260目($P=0.583$,

$F=0.719$)差异不显著.

3 讨 论

研究混合凋落物分解动态对揭示混交林系统物质循环规律, 构建综合效益较高的人工林系统具有重要意义. 本项研究表明, 不同比例混合的桉-栎凋落物分解速率存在明显差异, 桉树凋落物比例偏大时明显抑制混合凋落物的分解, 而栎木凋落物的加入促进了混合凋落物的分解. 不同比例混合的桉-栎凋落物分解过程中土壤动物群落也具有明显差异. 表明桉树和栎木混交可以在一定程度上改善单一桉树人工林的物质循环, 改变人工林内土壤动物的结构和功能.

由于不同物种凋落物质量存在差别, 混合凋落物的分解常常表现出抑制或者促进分解的作用. 本研究5种不同比例混合桉-栎凋落物分解速率就表现出一定的差异. 土壤动物可自由出入的6目凋落物袋中混合凋落物分解速率表现为10A>3E:7A>5E:5A>7E:3A>10E. 表明自然状态下, 栎木的分解速率快于桉树, 即凋落物的分解速率取决于凋落物的物种组成及凋落物的质量特征. 这与 Smith等^[22]和 Aubert等^[23]的研究结果一致. Aubert等^[23]认为, 凋落物分解过程中土壤微生物及小型土壤动物(microbiota)的作用相对较大; Hättenschwiler等^[24]认为, 大型土壤动物决定了凋落物分解的速率; 而 Wardle等^[25]则认为, 影响凋落物的分解速率在于凋落物质量和土壤生物的相互作用. 6目的凋落物袋允许大型土壤动物自由活动, 由于大型土壤动物的摄食和搬运^[26], 促进了凋落物的分解^[27]. 从6目不同比例混合凋落物的分解速率可知, 大型土壤动物促进了栎木凋落物的分解. 30目、260目凋落物袋限制了大型土壤动物的自由出入, 对比30目、260目下不同比例混合凋落物的分解速率可知, 在缺少大型土壤动物的情况下, 中小型土壤动物对桉凋落物分解的作用程度较大, 而对栎木凋落物作用

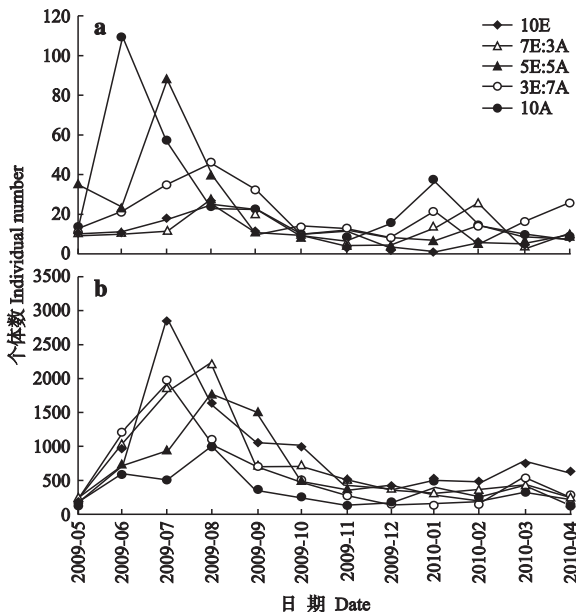


图2 凋落物分解过程中大型和中小型土壤动物群落的动态变化

Fig. 2 Dynamics of soil macro-, meso-, and micro-fauna community during litter decomposition.

a) 大型土壤动物 Macro-fauna; b) 中小型土壤动物 Meso-, and micro-fauna.

较小,其原因尚需要进一步深入研究。

在桉-栲混合凋落物分解过程中,杂食性土壤动物自始至终存在,而腐食性动物主要存在于分解后期和末期,主要为后孔寡毛目、鞘翅目的隐翅虫科以及双翅目的幼虫。这与林英华等^[28]认为杂食性土壤动物在凋落物分解过程中始终占优势的观点基本一致。土壤动物在凋落物分解过程中的出现时序取决于其食性和凋落物的分解程度。虽然 6 目凋落袋的凋落物至 2009 年 12 月基本分解完毕,但凋落袋中仍残存一些泥土和有机质的混合物,其中还有少量的大型土壤动物活动,因而在次年 4 月还可采集到少量大型土壤动物。另外,试验中 260 目的土壤动物个体数偏高,可能由于初期有少量弹尾目和蜚蠊目进入凋落袋后,袋内的微环境为蜚蠊目和弹尾目提供了丰富的食物,另一方面,因为网孔小,呼吸产生的热量不易散失,微环境的温度升高,从而促进了中小型土壤动物的生长和繁殖^[29-30],而小网孔又限制了新个体的外出,因而 260 目凋落袋中小型动物的个体数反而较 30 目高,虽与试验设想有一定偏差,但也证明了相对大型土壤动物而言,中小型动物对凋落物分解所起作用甚微。

桉-栲混合凋落物可以明显促进桉树凋落物的分解,改变土壤动物群落的结构和功能,这为认识凋落物质量变化与土壤动物间的相互作用关系,调控生态风险相对较高、生态功能相对单一的巨桉人工林种植模式提供了重要的理论依据。

参考文献

- [1] Wang F-Y (王凤友). Review of forest litters. *Advance of Ecology* (生态学进展), 1989, **6**(2): 82-89 (in Chinese)
- [2] Yang W-Q (杨万勤), Deng R-J (邓仁菊), Zhang J (张健). Forest litters decomposition and its response to global change. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(12): 2889-2895 (in Chinese)
- [3] Whalen JK, Bottomley PJ, Myrold DD. Carbon and nitrogen mineralization from light and heavy-fraction additions to soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, **32**: 1345-1352
- [4] Dyer ML, Meentemeyer V, Berg B. Apparent controls of mass loss rate of leaf litter on a regional scale. Litter quality vs. climate. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1990, **5**: 311-323
- [5] Berg B, Berg MP, Bottner P, et al. Litter mass-loss rates in pine forests of Europe and Eastern United

- States: Some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, **20**: 127-159
- [6] Pausas JG, Casals P, Romanyà J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: Effects of N content and the moss layer. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, **36**: 989-997
- [7] Wise DH, Matthias S. Decomposition of leaf litter in a mull beech forest: Comparison between canopy and herbaceous species. *Pedobiologia*, 1994, **38**: 269-288
- [8] Ekschmitt K, Liu MQ, Vetter S, et al. Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability. Why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma*, 2005, **128**: 167-176
- [9] Maraun M, Scheu S. Changes in microbial biomass, respiration and nutrient status of beech (*Fagus sylvatica*) leaf litter processed by millipedes (*Glomeris marginata*). *Oecologia*, 1996, **107**: 131-140
- [10] Seastedt TR. The role of microarthropods in decomposition and mineralization process. *Annual Review of Entomology*, 1984, **29**: 25-46
- [11] Zhang X-P (张雪萍), Zhang Y (张毅), Hou W-L (侯威岭), et al. Decomposition of coniferous litter and the function of soil animals in the Xiao Hingan Mountains. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 2000, **20**(6): 552-556 (in Chinese)
- [12] Takeda H. A 5 years study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiologia*, 1988, **32**: 221-226
- [13] Wu P-F (吴鹏飞), Zhu B (朱波). Comparison of soil animal community characteristics between alder and cypress mixed plantation and cypress pure plantation. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2008, **14**(4): 488-493 (in Chinese)
- [14] Xu G-L (徐国良), Zhou G-Y (周国逸), Mo J-M (莫江明), et al. The responses of soil fauna composition to forest restoration in Heshan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(7): 1670-1677 (in Chinese)
- [15] Yi L (易兰), You W-H (由文辉), Song Y-C (宋永昌). Soil animal communities in the litter of the evergreen broad-leaved forest at five succession stages in Tiantong, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(3): 466-473 (in Chinese)
- [16] Hemerik L, Brussaard L. Diversity of soil macro-invertebrates in grasslands under restoration succession. *European Journal Soil Biology*, 2002, **38**: 145-150
- [17] Wardle DA, Van Der Putten WH. Biodiversity, ecosystem functioning and above-ground/below-ground linkages// Loreau M, Naeem S, Inchausti P, eds. Biodiversity and Ecosystem Functioning. Oxford: Oxford Univer-

- sity Press, 2002: 155–168
- [18] Yu X-B (余雪标). Studies on the Productivity and Soil Properties of *Eucalypt* Plantation with the Different Continuous-Planting Rotation. PhD Thesis. Nanjing: Nanjing Forestry University, 1998 (in Chinese)
- [19] Deng T-X (邓廷秀), Liu G-F (刘国凡). A preliminary study on alder and cypress mixed forest. *Acta Phytocologica Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), 1987, **11** (1): 59–67 (in Chinese)
- [20] Yin W-Y (尹文英), Hu S-H (胡圣豪), Ning Y-Z (宁应之), *et al.* Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese)
- [21] Olson JS. Energy storage and the balance of produce and decomposition in ecological systems. *Ecology*, 1963, **44**: 322–331
- [22] Smith VC, Bradford MA. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 2003, **24**: 197–203
- [23] Aubert M, Margerie P, Trap J, *et al.* Aboveground-belowground relationships in temperate forests: Plant litter composes and microbiota orchestrates. *Forest Ecology and Management*, 2010, **259**: 563–572
- [24] Hättenschwiler S, Gasser P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2005, **102**: 1519–1524
- [25] Wardle DA, Lavelle P. Linkages between soil biota, plant litter quality and decomposition// Cadisch G, Giller KE, eds. *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. Wallingford: CAB International, 1997: 107–124
- [26] Sun G (孙刚), Yin X-Q (殷秀琴), Zu Y-G (祖元刚). Preliminary studies on soil animals in a ragweed habitat. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22** (4): 608–611 (in Chinese)
- [27] Bradford MA, Tordoff GM, Eggers T, *et al.* Microbiota, fauna and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos*, 2002, **99**: 317–323
- [28] Lin Y-H (林英华), Zhang F-D (张夫道), Liu H-D (刘海东), *et al.* Fluctuation of soil fauna community in Baiwangshen during paper mulberry leaf litter decomposition. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), 2005, **40**(3): 60–66 (in Chinese)
- [29] Kennedy AD. Simulated climate change: A field manipulation study of polar microarthropod community response to global warming. *Ecography*, 1994, **17**: 131–140
- [30] Harte J, Rawa A, Price V. Effects of manipulated soil microclimate on mesofaunal biomass and diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, **28**: 313–322

作者简介 李艳红,女,1973年生,博士研究生.主要从事动物生态学研究,发表论文10余篇. E-mail: ls626@126.com

责任编辑 肖红
