

# 百望山土壤动物群落结构在枸树落叶分解中的变化

林英华<sup>①②</sup> 张夫道<sup>①\*</sup> 刘海东<sup>③</sup> 苏化龙<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>中国农业科学院土壤肥料研究所 北京 100081; <sup>②</sup>中国林业科学研究院森林保护研究所 北京 100091;

<sup>③</sup>北京百望山森林公园管理处 北京 100091)

**摘要:** 2002年4~11月,采用凋落袋法(5 mm、1 mm和1/300 mm)对北京百望山土壤动物群落结构在枸树(*Broussonetia papyrifera*)凋落叶分解过程中的动态变化进行了研究。在56只分解袋中,共采集到土壤动物3322只(未知17只),隶属5门12纲25目19科,其中摇蚊科(Chironomidae)、盲蛛目(Opiliones)、圆跳科(Sminthuridae)等节跳科(Isotomidae)、棘跳科(Onychiuridae)、长角跳科(Entomobryidae)、蜱螨目(Acariformes)为优势类群。土壤动物以杂食性和植食性为主。3种凋落袋中,土壤动物总类群数和个体总数均5 mm > 1 mm > 1/300 mm,并且前两者分别在10月份或7月份达到最大值。土壤动物多样性随月份变化幅度较大,多样性变化与反映群落变化的个体数量、类群数以及均匀性指数的变化不一致。鼠妇科(Porcellionidae)在凋落物中集聚的时间最长,后孔寡毛目(Oligochaeta opisthopora)集聚的时间最短,分别为12.48和8.00个月。

**关键词:** 土壤动物群落 枸树 集聚 凋落物分解 百望山

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2005)03-60-07

## Fluctuation of Soil Fauna Community in Baiwangshan during Paper Mulberry Leaf Litter Decomposition

LIN Ying-Hua<sup>①②</sup> ZHANG Fu-Dao<sup>①</sup> LIU Hai-Dong<sup>③</sup> SU Hua-Long<sup>②</sup>

(<sup>①</sup> *The Institute Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081;*

<sup>②</sup> *Research Institute of Forest Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091;*

<sup>③</sup> *Administer of Beijing Forest Park, Beijing 100091, China*)

**Abstract:** Fluctuation of soil fauna community during Paper Mulberry leaf litter decomposition was investigated from April. to Nov. 2002 by litterbag(5 mm, 1 mm and 1/300 mm) method in Baiwangshan, Beijing. 3322 individual(17 unidentified) were collected from 56 litterbags, which belonged to 5 Phyla, 12 Classes, 25 Orders, 19 Familia. The most dominant taxa were Chironomidae, Opiliones, Sminthuridae, Isotomidae, Onychiuridae, Entomobryidae and Acariformes. Both omnivores and phytophage were dominant in Paper Mulberry forest litter. Both soil fauna individual and community were in order of highest to lowest: 5 mm > 1 mm > 1/300 mm in three mesh size of litterbags with the most at Oct. or Jul. respectively. The diversity of soil fauna was variable and not according to individuals, community and evenness. The colonized time of Porcellionidae was the longest and Oligochaeta Opisthopora was the last, which

基金项目 科技部社会公益研究专项资金资助项目(No.2000-177);

\* 通讯作者;

第一作者介绍 林英华,女,博士,研究方向 动物生态学和土壤生态环境,E-mail:linyinhua@263.net,现工作单位为中国林业科学研究院森林保护研究所。

收稿日期 2004-10-12,修回日期 2005-03-09

were 12.48 and 8.00 months respectively.

**Key words** Soil fauna community ; Paper Mulberry ; Colonized ; Leaf litter decomposition ; Baiwangshan

土壤动物是土壤生态系统中的重要组成部分,生态系统中的生物在循环过程中,通过消化和粉碎落叶刺激微生物参与落叶的分解<sup>[1]</sup>,其群落结构随着落叶在分解过程中落叶的质量、化学成分以及微生物等的改变而变化<sup>[2]</sup>。

土壤动物在凋落物分解过程中的有序变化不仅反映了落叶的结构、化学和生物特性,而且一些土壤动物出现或消失以及取食方式的改变,也会对食物网结构产生一定的影响。因此,对土壤动物群落结构在凋落物分解过程中的动态变化进行研究,有利于了解凋落物层土壤动物群落结构的演替及其与凋落物分解作用之间的相互关系,阐明土壤动物群生态系统物质循环和能量流动中的作用。

## 1 自然概况与研究方法

**1.1 自然概况** 百望山地处北京小西山,为太行山余脉,地质变化复杂,其地理坐标东经 116°21'43"~116°28'12",北纬 39°57'52"~40°02'11"。土壤为山地褐色土,大部分为淋溶褐色土,土壤发育层次不明显。暖温带大陆性气候,冬寒夏热,春季多风,年平均气温 11.6℃,年降水量 630 mm,集中在夏季 6~8 月份的雨量占全年雨量的 70% 以上,冬季降雨占全年的 10% 左右。

西山林场在地带性植被分区中属华北夏绿林区。自然生长的乔木种类较少,多为 20 世纪 50~60 年代营造的人工林。主要树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、元宝枫(*Acer truncatum*)、黄栌(*Cotinus coggyria*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)和枸树(*Broussonetia papyrifera*)等。

**1.2 实验方法** 为获得更接近自然状态下森林凋落物层土壤动物群落,于 2001 年 9 月中下旬采集阔叶林(枸树林)的自然凋落叶,称取 15 g(鲜重,在计算时换算为干重)分别放入 3 种不同网孔(5 mm、1 mm 和 1/300 mm)尼龙袋中(15 cm × 20 cm)将网袋按照间距 1 m 并排埋入落叶层下,共

计 56 袋,于次年 4~10 月间,每月采集一次样品,其中 5 mm、1 mm 各 3 袋,1/300 mm(对照)1 袋。利用改良干漏斗(Modified Tullgern)和手捡法进行分离土壤动物并进行鉴定,烘干尼龙袋内残留落叶并称重。

由于分类的限制,以所鉴定到的类群进行分类;土壤动物体型大小依据在食物分解过程中的作用<sup>[3]</sup>进行分类。

**1.3 数据分析** 群落多样性指数采用香农-威纳多样性指数(Shannon-Weaner index)、Pielou 指数和辛普森优势度指数(Simpson index),即

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i, j_s = H' / \ln S, C = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2,$$

式中  $H'$  为多样性指数,  $P_i$  为第  $i$  个种的个体数占群落总个体数的比率,  $S$  为类群数,  $N$  为群落总个体数,  $n_i$  为第  $i$  个种的个体数。

土壤动物在落叶分解过程中的集聚时间采用演替指数表示,  $T_i = \sum_{i=1}^s n_i \cdot m_i / N, Sdv =$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^s n_i \cdot (m_i - T_i)^2 / N},$$

式中  $T_i$  为演替指数,  $n_i$  为第  $i$  次采集时的个体数,  $m_i$  为开始到第  $i$  次采集时的月数,  $Sdv$  为标准差,  $N$  为总个体数。

各类群数量等级划分:个体数量占全部捕获量 10% 以上为优势类群,介于 1%~10% 之间的为常见类群,介于 0.1%~1% 为稀有类群,0.1% 以下的为极稀有类群。

## 2 结果与分析

**2.1 土壤动物群落组成** 在 3 种类型的 56 只分解袋中,共采集到土壤动物 3 322 只(未知 17 只),隶属 5 门 12 纲 25 目 19 科,如表 1 所示,其中大型土壤动物 32 类,优势类群 2 类,即摇蚊科、盲蛛目,分别占大型土壤动物的 16.67% 和 24.43%,常见类群 14 类,即金龟科、瘦蚊科、近孔寡毛目、蜘蛛目、啮虫目、蓟马科、隐翅甲科、革翅目、蚁科、后孔寡毛目、双尾目、柄眼目、鼠

表 1 洞落袋中土壤动物群落结构

序号	门	纲	目	科	体型	丰度	多度	食性
1	线虫动物门 Nemata				中小	0.74		O
2	环节动物门 Annelida	寡毛纲 Oligochaeta	后孔寡毛目 Oligochaeta opisthopora		大	4.60	**	S
3			近孔寡毛目 Ol. plesiopora		大	1.72	**	S
4	软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	柄眼目 Stylommatophora		大	6.61	**	Ph
5	缓步动物门 Tardigrada				大	0.29		Ph
6	节肢动物门 Arthropoda	蜘蛛纲 Arachnida	蜘蛛目 Araneae		大	1.72	**	Pr
7			伪蝎目 Pseudoscorpiones		大	0.29		Pr
8			盲蛛目 Opiliones		大	24.43	***	Pr
9			蜱螨目 Acariformes		中小	36.17	***	O
10		软甲纲 Malacostraca	等足目 Isopoda	鼠妇科 Porcellionidae	大	6.61	**	S
11				潮虫科 Oniscidae	大	0.57		S
12		倍足纲 Diplopoda	圆马陆目 Sphaerotheriida		大	0.57		Ph
13			眼马陆目 Ommotophora		大	0.57		Ph
14		唇足纲 Chilopoda	蛸蜒目 Scutigromorpha		大	0.57		Ph
15			地蜈蚣目 Geophiomorpha		大	0.57		Pr
16			石蜈蚣目 Lithobiomorpha		大	0.29		Pr
17		综合纲 Symphyla			中小	0.98		Pr
18		蠍线纲 Paupoda			大	0.86		?
19		原尾纲 Protura			中小	0.03		F
20		弹尾纲	弹尾目 Collembola	跳虫科 Poduridae	中小	0.07		O
21				长角跳科 Entomobryidae	中小	21.74	***	O
22				等节跳科 Isotomidae	中小	12.41	***	O
23				棘跳科 Onychiuridae	中小	16.77	***	O
24				短角跳科 Neelidae	中小	0.03		O
25				圆跳科 Sminthuridae	中小	10.89	**	O
26		双尾纲	双尾目 Diplura		大	6.32	**	D
27		昆虫纲 insecta	等翅目 Isoptera		中小	0.17		D
28			革翅目 Deramptera		大	3.16		O

续表 1

序号	门	纲	目	科	体型	丰度	多度	食性
29			半翅目 Hemiptera		大	0.57		Ph
30			啮虫目 Psocoptera		大	1.72	**	Ph
31			缨翅目 Thysanoptera	蓟马科 Thripidae	大	2.01	**	Ph
32			鞘翅目 Coleoptera	步甲科 Carabidae	大	0.57		Pr
33				金龟科 Scarabeidae	大	1.44	**	Ph
34				拟步甲科 Tenebrionidae	大	0.29		Pr
35				隐翅甲科 Staphylinidae	大	2.01	**	S
36				叶甲科 Chrysomelidae	大	0.86		Ph
37			鳞翅目 Lepidoptera		大	7.18	**	Ph
38			双翅目 Diptera	瘦蚊科 Cecidomyiidae	大	1.44		S
39				摇蚊科 Chironomidae	大	16.67	***	S
40				蝇科 Muscidae	大	0.29		S
41				蚤蝇科 Phoridae	大	0.86		S
42			同翅目 Homoptera		大	0.29		O
43			膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	大	4.02	**	O
	未知类群		倍足纲 Diplopoda			3		
			鞘翅目(幼) Coleoptera (larva)			8		
			未知名(幼) Unknown (larva)			1		
			双翅目幼虫 Diptera( larva)			5		

Ph :Phytophage 植食 ,D :Debris-feeder's 枯食 ,F :Fungivorous forms 菌食 ,Pr :Predators 捕食 ,S :Saprozoic 腐食 ,O :Omnivores 杂食。

\*\*\* 优势类群 ,\*\* 常见类群

妇科、鳞翅目,分别占大型土壤动物的 1.44%、1.44%、1.72%、1.72%、1.72%、2.01%、2.01%、3.16%、4.02%、4.60%、6.32%、6.61%、6.61%、7.18%。中小型土壤动物 11 类 优势类群 5 类,即圆跳科、等节跳科、棘跳科、长角跳科、蜚螋目,分别占中小型土壤动物的 10.89%、12.41%、16.77%、21.74% 和 36.17% ;其他均在 0.10% 以下,为稀有或极稀有类群 稀有和极稀有类群则是对森林环境变化中的敏感类群,他们在某一时期及土壤条件适宜时,其种群数量会逐渐增加,并成为某一时期的常见类群。百望山

森林凋落层土壤动物以中小型动物为主。

凋落物层动物营养功能群范围较广,杂食性和植食性土壤动物所占的比例最大(26.19%) ;其次腐食性(21.43%) ,菌食性所占的比例最少(2.38%)。

2.2 土壤动物群落变化 百望山森林凋落层土壤动物数量和类群数在凋落物分解过程中的逐月变化如图 1 所示,从图 1 中可以看出,大型和中小型土壤动物个体数量及类群数 4~7 月份呈递增趋势,9~11 月呈递减趋势。3 种类型凋落袋中土壤动物数量和类群均为 5 mm > 1

mm > 1/300 mm 并且前两者分别在 10 月或 7 月 达到最大值 ,变化趋势如图 2。

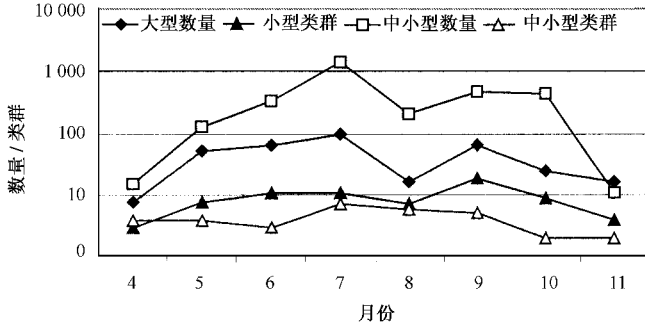


图 1 土壤动物数量与类群变化

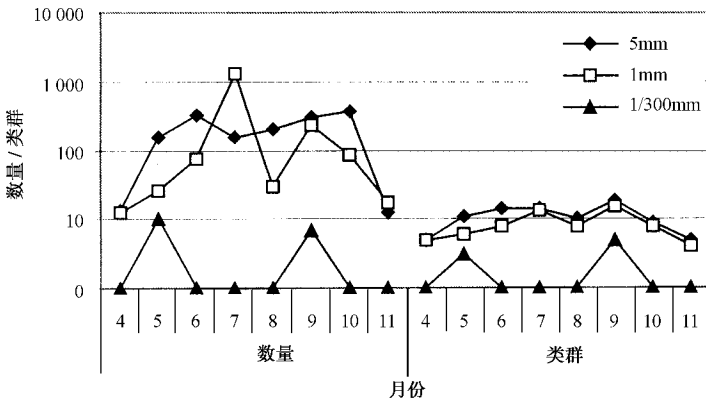


图 2 不同类型网袋土壤动物数量与类群变化

土壤动物的多样性随月份增加变化幅度较大(图 3),多样性变化与反映群落变化的个体数量、类群数以及均匀性指数的变化不一致,大型和中小型土壤动物多样性指数分别在 5、7 月达到最高值,均匀性则在 11 和 6 月达到最大值,优势度则分别在 11 和 10 月达到最大值。

2.3 土壤动物营养功能类群演变 落叶分解过程是在土壤动物所形成的食物网中进行的,

土壤动物取食特征随分解阶段发生改变。在百望山阔叶林中,杂食性土壤动物营养功能群在 4~10 月始终占优势,腐食性功能群仅在 11 月占优势,腐食性、植食性和捕食性功能群在落叶分解过程中也占有一定的比例,其他两类营养功能类群在落叶分解过程中所占的比例均较低,如图 4 所示。

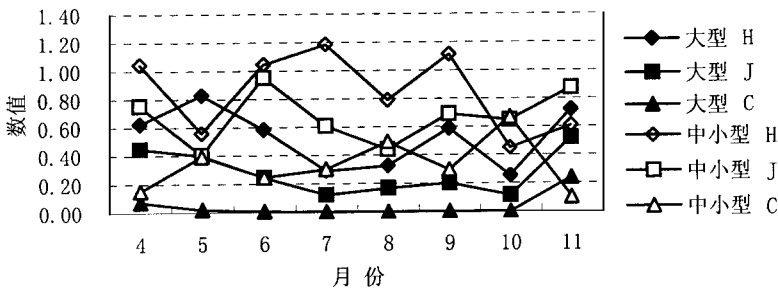


图 3 土壤动物多样性、均匀性与优势度变化动态

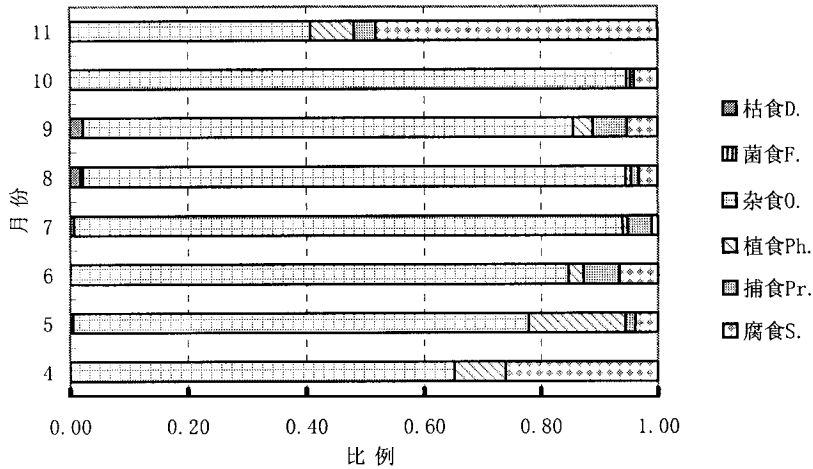


图4 凋落叶分解过程中土壤动物营养功能变化

演替指数反映土壤动物集聚的时间,土壤动物主要群落集聚时间及变化范围如表2。从表2中可以看出,在阔叶林集聚时间最短的分别是后孔寡毛目、鳞翅目和革翅目,集聚时间分别为8.00、8.20和8.27个月,最长的则分别是近孔寡毛目、瘦蚊科和鼠妇科,集聚时间分别为12.00、12.20和12.48个月。

表2 主要土壤动物集聚时间(单位:月)

序号	名称	集聚时间	标准差
1	后孔寡毛目 Oligochaeta opisthopora	8.00	1.06
2	近孔寡毛目 Oligochaeta plesiopora	12.00	0.00
3	柄眼目 Stylommatophore	9.96	2.96
4	蜘蛛目 Araneae	10.83	2.03
5	盲蛛目 Opiliones	9.85	0.79
6	蜱螨目 Acariformes	11.31	1.74
7	鼠妇科 Porcellionidae	12.48	1.93
8	长角跳科 Entomobryidae	10.00	0.04
9	等节跳科 Isotomidae	10.94	1.68
10	棘跳科 Onychiuridae	10.09	0.29
11	圆跳科 Sminthuridae	10.07	0.94
12	双尾目 Diplura	11.00	0.90
13	革翅目 Deramptera	8.27	0.86
14	啮虫目 Psocoptera	9.00	0.00
15	蓟马科 Thripidae	10.86	2.17
16	金龟科 Scarabeidae	10.40	1.50
17	隐翅甲科 Staphylinidae	11.43	0.70
18	鳞翅目 Lepidoptera	8.20	0.86
19	瘦蚊科 Cecidomyiidae	12.20	1.60
20	摇蚊科 Chironomidae	10.76	1.61
21	蚁科 Formicidae	10.50	1.35

### 3 讨论

在陆地凋落物分解过程中,土壤动物群落

改变与落叶养分浓度损失有关<sup>[4]</sup>。在百望山构树落叶分解过程中,大型和中小型土壤动物数量及类群数变化趋势相同,并均在7月达到最高,9月则开始下降,这与凋落袋内凋落物分解的速度和所释放出的营养物质浓度有关。凋落物的分解过程是生物因子和非生物因子共同作用的结果,其分解率和分解时间取决于落叶生物特性、土壤、气候以及土壤生物的影响。凋落物的分解是在多种因素作用下进行的,除受化学组成影响,环境因子中的土壤水分、土壤pH、地表温度、相对湿度对落叶的分解起着控制性作用<sup>[5,6]</sup>。百望山属于北京西部山地的一部分,由于地形起伏较大,气候条件随海拔、坡向等地形因子的不同而改变,使水热条件在山地不同部位有较大的差异,研究地位于海拔200m左右的半山东南坡的斑块状阔叶林中,其盖度介于60%~70%之间,林内温湿度较大,因而对落叶的分解起到了一定的促进性作用。

凋落物分解是一个缓慢的过程,需要较长的时间,一般应至少连续观察2年以上,才能反映出分解动态。根据Olsen(1963)建立凋落物分解方程<sup>[7]</sup>,构树第一年分解率在60.0%左右,其完全分解的时间在2年以上,本文仅是第一年凋落物分解过程土壤动物的数量和类群,因此无法确定是否反映全部参与凋落物分解过程的土壤动物群落,有待于对第二年和第三年凋

落物进行研究,以进一步确定土壤动物群落结构有无差别。

土壤动物类群在落叶上集聚时间的长短是对落叶分解过程中食物源变化的反映。在枸树叶分解的 4~11 月,真正腐食性土壤动物仅出现在 8 月,且仅占 0.45%,而杂食性土壤动物始终占优势,即在落叶分解早期集聚的类群是兼有 2~3 种或 3 种以上食性的土壤动物,并且从 4 月一直持续 11 月,腐食性土壤动物虽占一定比例,但其比例从 4 月至 10 月递减,这与 Hasegawa 等<sup>[8]</sup>认为,落叶分解过程中早期集聚的土壤动物类群是食菌性,后期则是食植物碎屑,存在一定的差异。由于土壤动物食性复杂以及在实际工作中对其划分存在一定的难度,文中土壤动物食性的划分是依类群整体食性为依据,这与实际工作中土壤动物的食性是否存在差别,还有待进一步研究确认。从 21 类主要土壤动物类群集聚的时间看,鼠妇科在凋落物集聚的时间最长,其次是瘦蚊科,最短的是后孔寡毛目和鳞翅目,这除了与环境因子有关外,在落叶分解过程中,由于取食行为的变化,导致一些物种的出现或消失,引起参与分解过程的食物网中的土壤动物群落结构发生改变,从而引起土壤动物类群在不同凋落物上的集聚时间产生变化<sup>[9]</sup>,实质上就是食物源的改变引起了土壤动物结构变化。从大类群角度,对落叶残存量与土壤动物个体数量的相关分析表明,蜚蠊目、等足目、弹尾目、双翅目和膜翅目以及倍足纲土壤动物随着落叶分解的进行数量逐渐增多,而其他则逐渐减少。这种不同类群对落叶分解过程中落叶残存量变化的不同反应是与各自的取食习性有关。

本文共选取 3 种类型的尼龙网袋对百望山凋落层的土壤动物群落以及动态变化状况进行研究,土壤动物总类群数和个体总数均为 5 mm > 1 mm > 1/300 mm,表明土壤动物数量和类群的变化与网袋网孔的大小有关,孔径增大,便于大型土壤动物进出网袋而促进凋落物分解<sup>[10]</sup>,导致大孔凋落袋养分迅速分解,使土壤动物个

体数量和类群在植物生长季节大量集聚;孔径过小,限制了土壤动物的进出,其凋落物的分解是同凋落物本身易溶物质自然淋失、微生物的活动以及环境因子相互作用的结果,但由于凋落物性质的不同,随时间变化的趋势不尽一致。

由于受条件所限,本文仅采用改良干漏斗法和手拣法对森林凋落层的土壤动物种类及数量进行了研究,但对一些湿性中小动物尚未进行分析,这对本文的分析结果是否产生影响,还有待于今后的进一步研究加以确认。

致谢 本研究得到中国林业科学院马强硕士以及北京百望山森林公园的大力支持,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 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**(2):131~140.
- [2] Takeda H. A 5 years study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiologia*, 1988, **32**(3):304~317.
- [3] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Berkeley: Univ Calif Press, 1979.
- [4] Tracy B, Gartner Z, Zoe G, Cardon. Decomposition dynamics in mixed species leaf litter. *Oikos*, 2004, **104**(2):230~246.
- [5] 卢俊培, 刘其汉. 海南岛尖峰岭热带林凋落物分解过程的研究. *林业科学研究*, 1989, **2**(1):25~33.
- [6] 郭继勋, 祝廷成. 羊草草原枯落叶分解的研究. *生态学报*, 1993, **13**(3):214~219.
- [7] Olsen J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological system. *Ecology*, 1963, **44**(2):322~331.
- [8] Hasegawa M, Hiroshi T. Changes in feeding attributes of four collembolan populations during the decomposition process of pine needles. *Pedobiologia*, 1995, **39**(2):155~169.
- [9] Ulrich Irmner. Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, 2000, **44**(2):105~118.
- [10] Bradford M A, Tordoff G M, Eggers T, et al. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos*, 2002, **99**(2):317~323.