第 21 卷第 6 期
2001 年 6 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol. 21, No. 6
Jun., 2001

青冈林土壤跳虫群落结构在落叶分解过程中的变化

柯 欣，赵立军，尹文英
（中国科学院上海昆虫研究所，上海 200025）

摘要：1993 年 5 月到 1995 年 4 月，用落叶袋法研究青冈（*Cyclobalanopsis glauca*）落叶分解过程中跳虫的群落结构变化。用多样性指数、演替指数、相似系数分析跳虫在落叶分解过程中群落结构及其季节变化特点。青冈落叶分解经淋洗、养分固定和养分活化 3 个阶段，分解常数分别为 $k_1 = 9.11$，$k_2 = 2.57$，$k_3 = 0.43$（百分比/月）。跳虫在落叶分解过程中的集聚型分为 3 组：A 组为落叶分解前期集聚的种类，B 组为后期的种类，C 组为中期或全过程的种类。分析讨论了落叶分解过程与跳虫功能群及群落结构变化的关系。

关键词：土壤跳虫；群落结构；林相；落叶分解

Succession of collembolan community structure during decomposition of leaves in *Cyclobalanopsis glauca* forest

KE Xin, ZHAO Li-Jun, YIN Wen-Ying (*Shanghai Institute of Entomology, Chinese Academ of Sciences, Shanghai* 200025, *China*)

Abstract: Changes in collembolan community structure during leaf litter decomposition were investigated with litter bag method from May 1993 to April 1995 in *Cyclobalanopsis glauca* forest. Successional changes in the community structure were expressed by the diversity index, succession index and similarity index. The community organization was compared among different stages of the decomposition of leaves. The pattern of mass loss of leaf litter was represented by three phases: leaching phase (0～7 months), immobilization phase (7～16 months) and mobilization phase (16～24 months). The decomposition rate of the phases were 9.11, 2.57 and 0.43 percentage month^{-1} using the decomposition constant (K). According to their successional patterns during the leaf decomposition, the collembolan species could be recognized as following three categories: the earlier colonizers (A), the later ones (B) and the long-term colonizers or those appeared only in the middle stage (C). The decomposition process in relation to the function of collembolan species and therefore the succession of collembolan community was discussed.

Key words: collembola; decomposition rate; litter bag method; succession;, forests
文章编号：1000-0933(2001)06-0982-06 **中图分类号**：Q958.1 **文献标识码**：A

在森林生态系统中，落叶是有机物进入土壤的一个重要来源，落叶分解为土壤动物提供食物和生境[1,2]。落叶分解是微生物和土壤动物相互作用的结果[3,4]，并取决于落叶的质地和理化特性[5~7]。在分解过程中，落叶的质、量、理化特性和组成结构等不断变化，使得适应不同性质食物源和生境的土壤动物种类组成发生相应变化[1,8,9]。因此，这种土壤动物群落结构随落叶分解不同阶段的变化可以反映不同种类土壤动物的食性和生境特点，从而反映出各种类在落叶分解中的作用。

跳虫是落叶分解中最重要的功能群之一[7~10]。在落叶分解过程中，微生物直接分解落叶[11]，跳虫则起

基金项目：国家自然科学基金资助项目（39670106）
收稿日期：1999-06-10；**修订日期**：2000-01-29
作者简介：柯 欣（1960～ ），男，汉，四川人，博士，副研究员。主要从事土壤动物生态学研究工作。

万方数据

着重要的间接作用。由于跳虫主要以植物碎屑和微生物为食，因此，它们可以通过撕碎落叶、取食并刺激微生物的活性来促进落叶的分解[7,10]。

有关跳虫在落叶分解过程中群落结构变化的研究已有不少[1,2,8,9]，但对青冈这样的阔叶林研究较少。作者已对青冈落叶分解过程中几个主要土壤动物类群（甲螨、跳虫、双翅目、膜翅目、蜘蛛目、蠕蛾纲、原尾虫和鳞翅目等 20 个）的群落结构变化进行了研究[12]。本研究的目的是，在青冈落叶分解过程中跳虫群落结构的变化及其各种类的变化型。

1　材料与方法

1.1　采样点

位于浙江杭州北高峰灵隐保护区，海拔 350m，雨量充沛，相对湿度大。土壤为红壤，疏松，表面有 10～15cm 的落叶层。植被为常绿、夏绿、针阔混交林，郁闭度 85%。主要建群树种为青冈（*Cyclobalanopsis glauca*）、马尾松（*Pinus massoniana*）、麻栎（*Quercus acutissima*）、杉木（*Cunning hamia lanceolata*）、青栲（*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*）、石栎（*Lithocarpus glaber*）等。

1.2　研究方法

在落叶期采集新鲜青冈落叶，放入烘箱内烘干（80℃烘 8h），称取 5g 烘干落叶装入 20 目尼龙网袋（15cm×15cm）。将网袋（300 只）埋入落叶层下。每月取出 10 个网袋样品，从样品中分离出跳虫并鉴定[13]，网袋内残留落叶放入烘箱内烘干后称重。共采样 24 次。

1.3　统计分析

1.3.1　群落结构　土壤动物的群落结构采用总个体数、Shannon 多样性指数（H'）[14]、类群丰富度和均匀度（J）[15]来表达：

$$H' = \sum_{i=1}^{S} P_i \log_2 P_i,\ J = \frac{H'}{\log_2 S}$$

其中，S 为类群数，P_i 为第 i 类群的百分比。

1.3.2　演替指数　某类群的群落结构变化趋势采用演替指数（M）及偏差（S_d）[16]来表示，它反映落叶分解过程中某类群占据时间的统计量：

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{S} t_i n_i}{N},\quad S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{S} n_i (t_i - M)^2}{N}}$$

其中，S 为类群数，t_i 为开始到第 i 次采样时的月数，n_i 为第 i 次采样时某类群的个体数，N 为某类群个体总数。

1.3.3　落叶质量损失（Mass loss）　落叶由于分解作用其质量减少的部分：

$$\text{落叶质量损失} = \left(1 - \frac{\text{落叶残存量（干重）}}{\text{落叶分解前埋入量（干重）}}\right) \times 100\%$$

2　研究结果

2.1　落叶分解过程

青冈落叶分解过程可分为 3 个阶段：第 1 阶段为淋洗阶段，从落叶袋埋入土壤开始到第 7 个月，分解量为 60%；第 2 为养分固定阶段，7 到 16 个月，分解量 20%；第 3 为养分活化阶段，16 到 24 个月，几乎不再分解。24 个月累积分解量为 80%。每阶段用分解常数 K 值表示，分别为 K_1、K_2、K_3（图 1）。

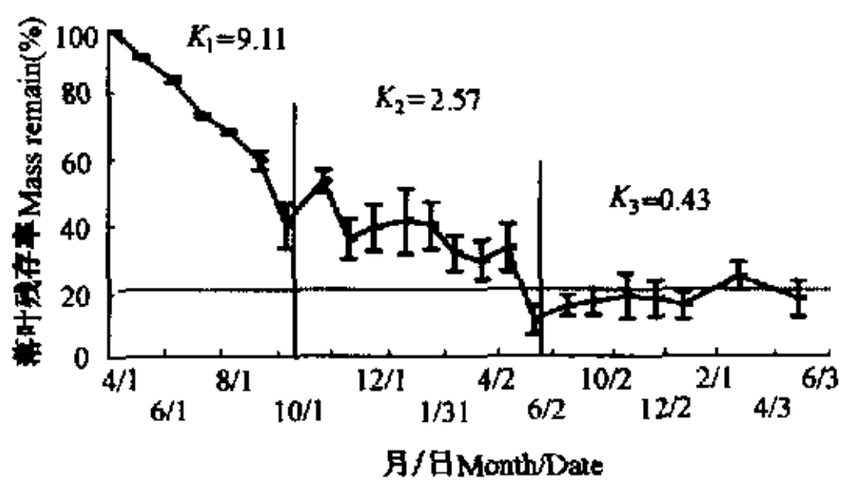

图 1　青冈落叶的分解变化

Fig. 1　Changes in mass loss of leaf litter of *Cyclobalanopsis glauce*

2.2　跳虫种类和数量

2a 间落叶袋中跳虫种类和平均密度如表 1 所示。共出现跳虫 24 种，其中，优势种（超过总个体数的

万方数据

10%)3 个,常见种(0.5% ~ 10%)16 个,稀少种(小于 0.5%)5 个[14]。

表 1 青冈落叶袋内跳虫种类、密度和相对多度

Table 1 Species, population densities and percentage of collembolan species in the litter bags during the investigating period

种类 Species	次序 Rank	密度 Population density (m^{-2})	相对多度 Relative abundance (%)	标准误 Standard errors
鳞蛛 *Tomocerus* sp.	1	951.11	13.49	29.67
萝卜拟蛛 *Onychiurus fimetarius*	2	942.22	13.37	29.72
鳞长蛛 *Lepidocyrtus* sp.	3	897.78	12.74	23.43
长角蛛 *Entomobrya* sp.	4	595.56	8.45	26.79
微小等蛛 *Isotomiella minor*	5	595.56	8.45	24.01
类符蛛 *Folsomina onychiurina*	6	471.11	6.68	11.42
拟裸长角蛛 *Pseudosinella* sp.	7	444.44	6.31	13.70
短角蛛 *Neelus* sp.	8	355.56	5.04	13.74
等节蛛 *Isotoma* sp.	9	337.78	4.79	13.15
刺齿蛛 *Arrhopalite* sp.	10	257.78	3.66	7.94
铲圆蛛 *Papirinus* sp.	11	222.22	3.15	9.19
八眼符蛛 *Folsomia octoculata*	12	195.56	2.77	13.83
球圆蛛 *Spheridia* sp.	13	186.67	2.65	4.76
杭州刺齿蛛 *Homidia hangzhouensis*	14	177.78	2.52	8.30
弯毛裸长角蛛 *Sinella curviseta*	15	133.33	1.89	7.30
吉井氏土蛛 *Tullbergia yosii*	16	80.00	1.13	4.88
具齿蛛 *Odontella* sp.	17	62.22	0.88	17.78
叶蛛 *Lobella* sp.	18	44.44	0.63	3.42
奇蛛 *Xenylla* sp.	19	44.44	0.63	2.74
球角蛛 *Hypogastrura* sp.	20	26.67	0.38	2.05
符蛛 *Paranura* sp.	21	17.78	0.25	1.37
环角蛛 *Ptenothrix* sp.	22	8.89	0.13	0.68
四齿蛛 *Tetracanthera* sp.	23	0.20	0.00	0.00
握角圆蛛 *Sminthurides* sp.	24	0.20	0.00	0.00
总个体数 Total individuals		7049.3		

2.3 跳虫群落结构在落叶分解中的变化

跳虫的总个体数、多样性指数、均匀度和种类丰富度在落叶分解过程中的变化如图 2 所示。种数和个体数均在落叶埋入土壤后第 1 个月最多,而后迅速下降。在第 3 个月,个体数密度从 1700 头/m^2 降至 500 头/m^2,而后一直在这个水平上下波动。种数下降至第 7 个月开始上升。由于 1994 年 8 月份干旱,跳虫的密度、种数和多样性指数均在此时骤降,但 10 月份又迅速回升。

2.4 跳虫种类集聚

依每种跳虫在落叶分解过程中集聚的时期,可将 22 种跳虫分为 3 组:A 组为落叶分解前期集聚的种类,多行地表生活,随着分解的进行,其密度逐渐下降;B 组为分解后期集聚的种类,多生活在腐殖质中,随着分解的进行,其密度上升;C 组为在整个分解过程中都有发生或者仅在中间阶段集聚的种类。各种类的集聚型见图 3。

2.5 跳虫种类集聚的时间

演替指数反映跳虫在落叶分解过程中集聚的时间。表 2 给出了 22 种跳虫的演替指数,其中超过 12 个月的跳虫种类占 50%。

2.6 跳虫密度与落叶质量损失的相关性

万方数据

表 2　跳虫的演替指数和偏差

Table 2　Succession index of collembolan species in the litter bags during the study period

种类 Species	演替指数(月数) Succession index (Months)	
	指数 (M)	偏差 (S_d)
类符蛛 *Folsomina onychiurina*	23.25	2.6
球角蛛 *Hypogastrura* sp.	22.00	10.8
吉井氏土蛛 *Tullbergia yosii*	19.22	6.1
具齿蛛 *Odontella* sp.	17.71	6.8
叶蛛 *Lobella* sp.	17.00	8.1
奇蛛 *Xenylla* sp.	16.25	9.0
八眼符蛛 *Folsomia octoculata* sp.	15.45	3.8
拟裸长角蛛 *Pseudosinella* sp.	15.26	2.5
萝卜拟蛛 *Onychiurus fimetarius*	13.58	1.7
微小等蛛 *Isotomiella minor*	13.48	2.2
铲圆蛛 *Papirinus* sp.	12.12	3.5
弯毛裸长角蛛 *Sinella curviseta*	9.93	4.5
杭州刺齿蛛 *Homidia hangzhouensis*	9.65	3.9
刺齿蛛 *Arrhopalite* sp.	7.79	2.0
等节蛛 *Isotoma* sp.	6.63	2.8
短角蛛 *Neelus* sp.	6.55	2.7
鳞蛛 *Tomocerus* sp.	5.55	1.7
鳞长蛛 *Lepidocyrtus* sp.	4.84	1.7
长角蛛 *Entomobrya* sp.	2.27	2.1
符蛛 *Paranura* sp.	1.00	12.1
环角蛛 *Ptenothrix* sp.	1.00	17.1
球圆蛛 *Spheridia* sp.	1.00	3.7

表 3　跳虫种类密度与落叶质量损失的线性相关系数

Table 3　Coefficients for linear relations between litter mass loss and collembolan species densities

种类 Species	组 Categories	相关系数 Coefficients
长角蛛 *Entomobrya* sp.	A	0.66*
球圆蛛 *Spheridia* sp.	A	0.65*
环角蛛 *Ptenothrix* sp.	A	0.65*
符蛛 *Paranura* sp.	A	0.65*
鳞长蛛 *Lepidocyrtus* sp.	A	0.65*
鳞蛛 *Tomocerus* sp.	A	0.59
弯毛裸长角蛛 *Sinella curviseta*	C	0.58
杭州刺齿蛛 *Homidia hangzhouensis*	C	0.46
短角蛛 *Neelus sp.*	A	0.44
等节蛛 *Isotoma* sp.	A	0.40
刺齿蛛 *Arrhopalite* sp.	B	0.27
球角蛛 *Hypogastrura* sp.	C	−0.49
具齿蛛 *Odontella* sp.	C	−0.39
吉井氏土蛛 *Tullbergia yosii*	C	−0.38
奇蛛 *Xenylla* sp.	C	−0.31
微小等蛛 *Isotomiella minor*	B	−0.29
拟裸长角蛛 *Pseudosinella* sp.	B	−0.28
类符蛛 *Folsomina onychiurina*	C	−0.27
叶蛛 *Lobella* sp.	C	−0.21
八眼符蛛 *Folsomia octoculata*	C	−0.21
铲圆蛛 *Papirinus* sp.	B	−0.05
萝卜拟蛛 *Onychiurus fimetarius*	C	−0.05

* $P < 0.05$

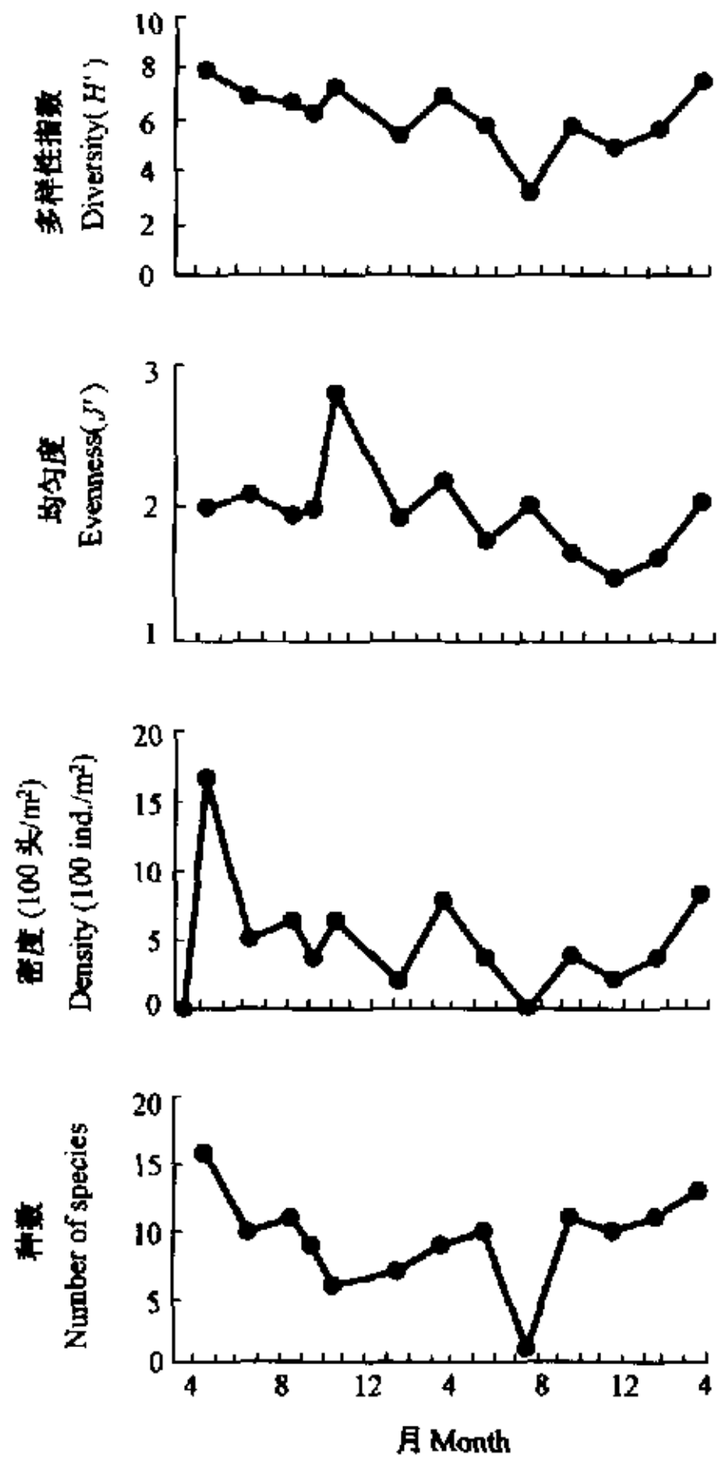

图 2　跳虫群落参数的变化

Fig. 2　Changes in collembolan community parameters

22 种跳虫密度与落叶质量损失的相关性及其显著性检验见表 3。其中，5 种跳虫的相关显著，其余为无显著的线性相关。

3　讨论

青冈落叶相对其他树种来说在土壤中分解较快。本研究中，青冈落叶埋入土壤后第 16 个月，其分解量超过 80%，剩余不到 20%的量在 8 个月内无变化。因此，2a 时间的变化可以反映青冈落叶分解的主要过程，但还不能反映全过程，进一步的研究需增长观察落叶分解的时间。

跳虫的集聚型反映了其对变化着的生境和食物源的适应性。在落叶分解过程中，落叶组成成分的变化为跳虫提供质地不同的食物源和生境，这样，在落叶分解的不同阶段，适应生境和食物源的跳虫种类组成不同，从而，导致了跳虫群落结构变化。在淋洗阶段，落叶质量损失主要源于落叶表面易溶物的淋洗作

万方数据

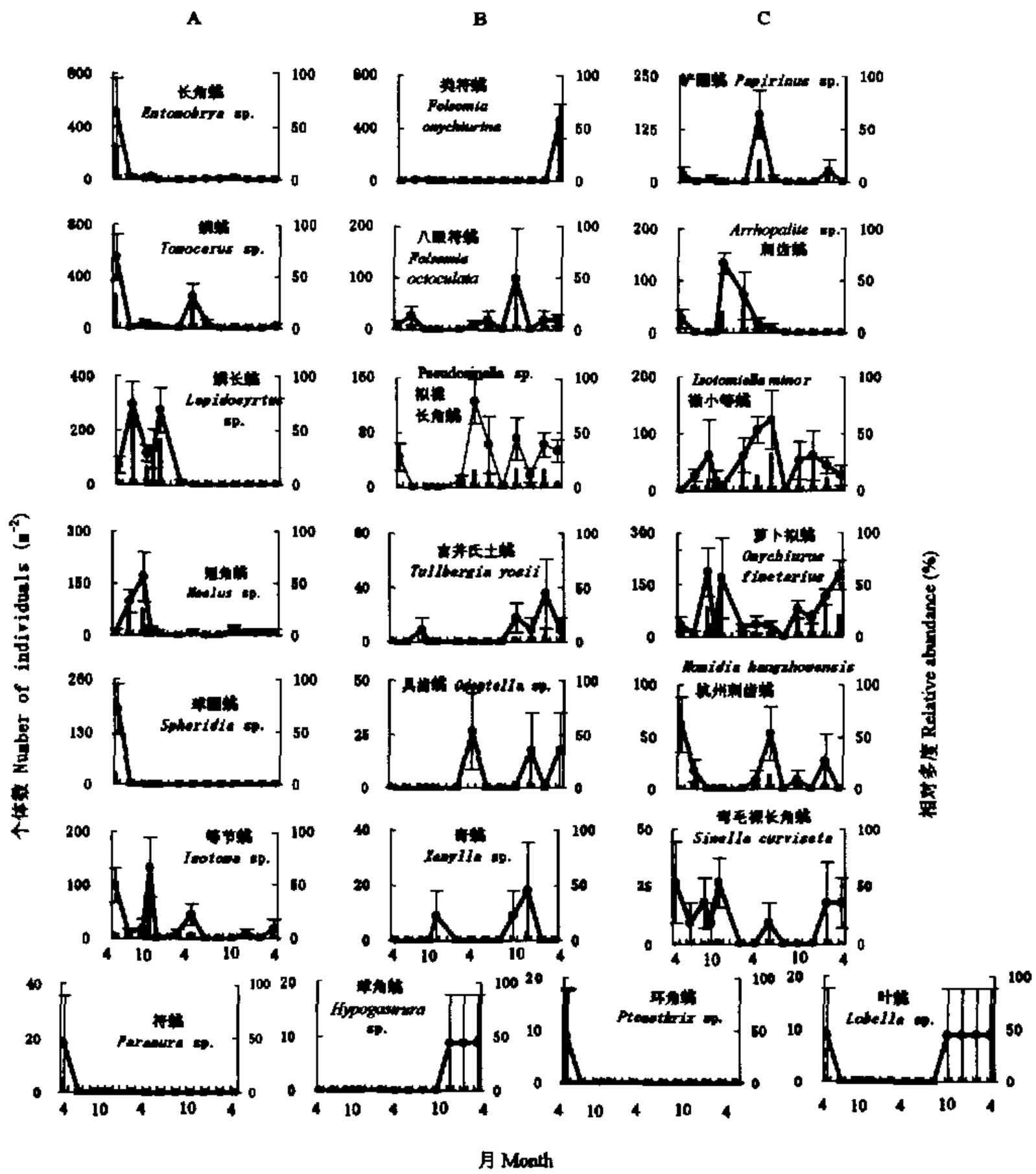

图3 跳虫种类在落叶分解过程中的集聚型

Fig. 3 Colonization patterns of collembolan species during the decomposition of leaf litter

用和微生物对易分解化合物的分解作用，这个阶段出现的跳虫种类以取食微生物的为主，A组的跳虫为此类。淋洗阶段过后，落叶木质部保护层外露，微生物难以继续分解，此时，跳虫首先撕开木质部层，然后微生物进入木质部层内部继续分解。这个时期集聚的跳虫多为植食或菌植兼食，为分解中较重要的功能群，B、C组的跳虫为此类。Hasegawa 和 Hiroshi[9]认为，落叶分解过程中早期集聚的跳虫种类是食菌性的，而后期集聚的种类是食植物碎屑的。在落叶分解的早期阶段，真菌处于生物量增值期，食菌性种类取食真菌为该阶段的主要取食特征，当到了落叶分解的后期，真菌生物量大幅度减少，此时，土壤动物取食植物碎屑就成为主要取食特征。因此，跳虫群落结构的变化可以解释为：在落叶分解的不同阶段，对于不同种类跳虫来说，可获得的食物源是不同的，随着食物源的变化，跳虫群落结构发生改变。

由于本研究所选环境条件较为均匀且处理为随机设置，因此本文在落叶质量损失与跳虫种类密度的相关性上只做了相关系数分析。

万方数据

参考文献

[1] Takeda H. A 5 year study of pine needle litter decomposition in relation to mass loss and faunal abundances. *Pedobiologia*, 1988, **32**: 221～226.

[2] Hasegawa M. Changes in Collembola and Cryptostigmata communities during the decomposition of pine needles. *Pedobiologia*, 1997, **41**: 225～241.

[3] 张立宏，许光辉. 微生物和蚯蚓的协同作用对土壤肥力影响的研究. 生态学报，1990，**10**(2)：116～120.

[4] 王宗英，路有成，王慧芙. 九华山土壤螨类的生态分布. 生态学报，1996，**16**(1)：58～64.

[5] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems. In: Anderson J M ed. *Studies in Ecology*, **5**. Oxford: Blackwelle Scientific Publication. 1979. 372.

[6] Anderson J M. Succession diversity and trophic relationships of some soil animals in decomposing leaf litter. *Journal of Animal Ecology*, 1975, **44**: 475～495.

[7] Seastedt T R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Ann. Rev. Entomol.*, 1984, **29**: 25～46.

[8] Takeda H. Changes in the collembolan community during the decomposition of needle litter in a coniferous forest. *Pedobiologia*, 1995, **39**: 304～317.

[9] Hasegawa M, Hiroshi T. Changes in feeding attributes of four collembolan populations during the decomposition process of pine needles. *Pedobiologia*, 1995, **39**: 155～169.

[10] Petersen H. A review of collembolan ecology in ecosystem context. *Acta Zool. Fennica*, 1994 **195**:111～118.

[11] 杨靖春，祖元刚，倪　平，等. 东北羊草草原微生物在能流中作用的研究：常微分方程稳定性在能流上的应用. 生态学报，1988，**8**(3)：270～276.

[12] 柯　欣，赵立军，尹文英. 青冈林土壤动物群落结构在落叶分解过程中的演替变化. 动物学研究，1999，**20**(3)：207～213.

[13] 谢荣栋，赵立军. 技术与方法. 见：尹文英主编. 中国亚热带土壤动物. 北京：科学出版社，1992. 75～95.

[14] 赵志模，郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆：科学技术文献出版社重庆分社，1990. 200～203.

[15] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological coll··tion. *J. Theor. Biol.*, 1966, **13**: 131～144.

[16] Usher M. Seasonal and vertical distribution of a population of soil arthrop··: Collembola. *Pedobiologia*, 1970, **10**: 224～236.

万方数据