

不同林龄马尾松人工林土壤节肢动物群落结构*

谭波 吴福忠 杨万勤** 张健 徐振锋 刘洋 苟小林

(四川农业大学生态林业研究所 林业生态工程重点实验室, 四川温江 611130)

摘要 于 2011 年春季(5 月)和秋季(10 月),研究了长江上游地区 3、8、14、31 和 40 年生马尾松林土壤节肢动物群落结构.结果表明:试验共捕获土壤动物 4045 只,隶属 57 科.土壤节肢动物的个体密度和类群数量随土壤深度增加显著降低,且这种趋势随林龄的增加而增加.不同林龄马尾松林土壤节肢动物的优势类群和常见类群差异较大,且土壤节肢动物的个体密度和类群数量差异显著.与其他林龄相比,造林 3 年的马尾松林土壤节肢动物的群落结构及多样性差异显著,群落相似度低.马尾松林的土壤节肢动物个体密度和类群数量及生物多样性在 8 年生阶段最高,此后,随林龄的增加明显降低.马尾松林地力可能随林龄的增加而衰退,对马尾松人工林的植被调控和改造宜在 8 年生阶段进行.

关键词 低效林 地力衰退 土壤节肢动物 生物多样性 马尾松

文章编号 1001-9332(2013)04-1118-07 **中图分类号** S714.3 **文献标识码** A

Population structure of soil arthropod in different age *Pinus massoniana* plantations. TAN Bo, WU Fu-zhong, YANG Wan-qin, ZHANG Jian, XU Zhen-feng, LIU Yang, GOU Xiao-lin (Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Institute of Ecological Forestry, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, Sichuan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2013, 24(4): 1118–1124.

Abstract: An investigation was conducted on the population structure of soil arthropod community in the 3-, 8-, 14-, 31-, and 40-years old *Pinus massoniana* plantations in the upper reaches of the Yangtze River in spring (May) and autumn (October), 2011, aimed to search for the scientific management of the plantation. A total of 4045 soil arthropods were collected, belonging to 57 families. Both the individual density and the taxonomic group number of the soil arthropod community decreased obviously with increasing soil depth, and this trend increased with increasing stand age. The dominant groups and ordinary groups of the soil arthropod community varied greatly with the stand age of *P. massoniana* plantation, and a significant difference ($P < 0.05$) was observed in the individual density and taxonomic group number among different age *P. massoniana* plantations. In comparison with other stand age *P. massoniana* plantations, 3-years old *P. massoniana* plantation had a significant difference in the structure and diversity of soil arthropod community, and the similarity index of the soil arthropod community was lower. The individual density, taxonomic group number, and diversity of soil arthropod community were the highest in 8-years old *P. massoniana* plantation, and then, decreased obviously with increasing stand age. It was suggested that the land fertility of the *P. massoniana* plantations could be degraded with increasing stand age, and it would be appropriate to make artificial regulation and restoration in 8-years old *P. massoniana* plantation.

Key words: lowly efficient forest; land fertility degradation; soil arthropod; biodiversity; *Pinus massoniana*.

* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAC09B05)、四川省教育厅科技创新团队项目(11TD006)、四川省应用基础研究项目(2012JY047)、四川省科技支撑计划项目(2010NZ0051)和四川省杰出青年学术技术带头人培育计划项目(2012JQ0059)资助.

** 通讯作者. E-mail: scyangwq@163.com

2012-07-23 收稿, 2013-01-09 接受.

土壤动物是陆地生态系统的重要组成成分^[1]，在凋落物分解、土壤有机质形成、地力维持等方面具有十分重要的作用^[2-3]，是指示植被演替、环境干扰及气候变化等的重要生物学指标^[4-7]，因而土壤动物群落的结构、多样性和生态功能等受到普遍关注。人工林生态系统在为土壤动物群落提供生存环境的同时，也对土壤动物群落产生深远影响^[7-8]。一方面，人工林植被群落的层次结构变化可明显改变土壤水热环境，影响土壤动物群落的生存和繁衍^[4,6-7]；另一方面，人工林植物群落的组成变化能显著改变食物资源多样性，影响土壤动物群落结构和功能^[8-10]。因此，人工林植被群落结构及其环境的改变必然对土壤动物群落产生显著影响，而作为响应因子的土壤动物群落又会对人工林土壤环境变化作出重要的生物指示^[2,4,9-11]。

马尾松(*Pinus massoniana*)是我国亚热带地区重要的造林树种之一^[12]，在我国生态环境建设和林业产业中具有十分重要且不可替代的作用。但大面积的马尾松纯林也会带来地力衰退、病虫害集中暴发以及地上/地下生物多样性降低等生态安全问题^[11-12]。加强马尾松人工林合理经营与调控是实现马尾松人工林持续经营亟待解决的科学问题。在人工林系统退化过程中，植物群落结构的变化总是伴随着进行，并出现明显的环境效应和生物效应^[7-9,11]。目前，这些效应在养分循环、凋落物量、林分生物量和土壤理化特性等的研究已有大量报道^[12-16]。然而，它们在土壤动物群落上如何体现？土壤动物群落对系统退化过程有何指示作用？这方面的的问题仍不甚清晰。因此，本文以长江上游不同林龄马尾松人工林为研究对象，研究了马尾松不同林龄阶段的土壤节肢动物群落结构和多样性，以期为马尾松人工林的经营与调控提供一定参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于四川省高县来复镇(28°34′—28°36′ N,104°32′—104°34′ E,海拔412~567 m)，地处长江上游和四川盆地南缘，属中亚热带湿润季风气候。年平均气温18.1℃，最高气温(7月)36.8℃，最低气温(1月)7.8℃，年均降雨量1021 mm。土壤为山地黄壤，土层厚度约50 cm。原生植被为亚热带常绿阔叶林，但现已基本垦殖为马尾松人工林，林下灌木为梨叶悬钩子(*Rubus pirifolius*)、枹栎(*Quercus serrate*)、油樟(*Cinnamomum longepaniculatum*)、野桐(*Mallotus japonicas*)、铁仔(*Myrsine africana*)、茶茱萸(*Viburnum setigerum*)、展毛野牡丹(*Melastoma normale*)等；草本为蕨(*Pteridium aquilinum*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)、芒(*Miscanthus sinensis*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、皱叶狗尾草(*Setaria plicata*)和淡竹叶(*Lophatherum gracile*)等。

1.2 样地设置

在研究区域内，根据小斑地形图，选择一个年龄序列(3、8、14、31和40年)的马尾松人工林作为研究对象，设置样地(1 hm²)。各样地土壤基本理化性质见表1，植物组成情况如下：

I：3年生马尾松林，无乔木层，梨叶悬钩子、展毛野牡丹、盐肤木(*Ruhus chinensis*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、葛藤(*Pueraria lobata*)等构成灌木层，草本层为黄茅(*Heteropogon contortus*)、芒、雀稗(*Paspalum thunbergii*)、白酒草(*Conyza japonica*)和积雪草(*Centella asiatica*)等。

II：8年生马尾松林，乔木层初步形成，平均树高4.8 m，郁闭度0.6，灌木层由茶(*Camelia sinensis*)、裂叶榕(*Ficus laceratifolie*)、野桐、梨叶悬钩子和铁仔等组成，草本层为芒、芒萁、金星蕨、美洲商陆(*Phytolacca americana*)和马唐(*Digitaria sanguinalis*)等。

III：14年生马尾松林，平均树高9.3 m，郁闭度0.8，灌木层为枹栎、野桐、葛藤、巴豆(*Croton tigilium*)和香花崖豆藤(*Millettia dielsiana*)等，草本层

表 1 不同林龄马尾松人工林的土壤理化性质
Table 1 Soil properties of *Pinus massoniana* plantations with different ages

林龄 Forest age (a)	凋落物厚度 Litter thickness (cm)	总有机碳 Total organic C (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	坡度 Slope (°)
3	1.18±0.26d	15.45±2.07c	0.67±0.04b	3.04±0.05b	18
8	2.85±0.41c	29.03±0.91a	1.21±0.13a	4.54±0.25a	22
14	3.18±0.34c	12.55±1.52c	0.50±0.03c	2.29±0.23c	18
31	4.12±0.32b	8.82±2.14d	0.53±0.02c	1.95±0.12d	20
40	5.30±0.35a	20.11±1.19b	0.33±0.01d	4.08±0.45a	22

同列不同字母表示差异显著(P<0.05) Different letters in the same column showed significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

为芒、芒萁、狗脊蕨 (*Woodwardia japonica*)、蕨和乌蕨 (*Cayratia japonica*) 等。

IV: 31 年生马尾松林, 平均树高 14.3 m, 郁闭度 0.6, 灌木层为梨叶悬钩子、野桐、铁仔、枹栎、尖叶榕 (*F. henryi*) 等, 草本层为蕨、芒、芒萁、皱叶狗尾草和单芽狗脊蕨 (*Woodwardia unigemmata*) 等。

V: 40 年生马尾松林, 平均树高 15.6 m, 郁闭度 0.7, 灌木层为油樟、梨叶悬钩子、乌泡 (*Rubus multi-bracteatus*) 和梔子 (*Gardenia jasminoides*)。草本层为芒、芒萁、淡竹叶、皱叶狗尾草、马唐和姬蕨 (*Hypolepis punctata*) 等。

1.3 样品采集与测定

于 2011 年的 5 月 (春季) 和 10 月 (秋季) 进行样品采集。在样地内随机选取 5 个样方, 采集凋落物层、土壤层 0~5 cm 和 5~10 cm 样品。凋落物层采用手拣法取样, 面积为 10 cm×10 cm, 土壤层采用体积为 100 mL (d=5 cm) 的圆形取样器采集。所采土壤动物样品装入透气的收集袋低温保存, 迅速带回实验室, 用 Tullgren 漏斗 (4 mm) 分离收集的土壤节肢动物, 分离周期为 48 h。采用体视解剖镜和生物显微镜镜检计数和分类, 参照《中国土壤动物检索图鉴》^[17]、《昆虫分类检索》^[18] 等进行鉴定 (科水平)。同时, 野外记录当时气温、地温, 并取适量的土壤样品带回室内测定土壤理化性质: 土壤含水量用烘干法测定; pH 值用电位法测定; 土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定; 全氮采用半微量凯氏定氮法测定; 全磷用钼锑抗比色法测定^[19]。

1.4 数据处理

将数据换算成土壤动物的平均个体密度和类群数量。个体数量占捕获总数 10% 以上的为优势类群, 1%~10% 的为常见类群, 1% 以下的为稀有类群^[3]。

采用 Jaccard 相似性系数 (q) 和密度-类群指数 (DG) 来描述土壤节肢动物群落特征, 各指数计算公式如下^[6,20]:

$$q = \frac{c}{a+b-c}$$
$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g (D_i C_i / D_{i\max} C)$$

式中: q 为共同系数; a 为 A 样地全部类群数; b 为 B 样地全部类群数; c 为 A、B 两样地共有的类群数。 D_i 为第 i 类群的密度; $D_{i\max}$ 为各群落中第 i 类群的最大密度; g 为群落中类群数, G 为各群落所包含的总类群数; C_i/C 为相对次数, 即在 C 个群落中第 i 个

类群出现的比率。

数据采用 SPSS 19.0 软件统计分析, 单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 检验不同林龄马尾松人工林土壤动物群落特征差异, 显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落表聚性

共捕获土壤节肢动物共 4045 只, 隶属 57 科 (表 2)。由表 3 可见, 不同林龄马尾松土壤节肢动物具有明显的表聚现象, 主要集中在凋落物和土壤 0~5 cm 层次, 5~10 cm 层次仅分布蚁科和原铗叭科 2 个类群。各林龄马尾松不同土壤层次的土壤节肢动物个体密度和类群数量差异显著 ($P<0.05$), 平均密度和类群数量均以凋落物层最高。并且马尾松成林 (8 年) 后, 凋落物层土壤节肢动物个体密度和类群数量所占比例随林龄的增加明显增加。

2.2 土壤动物群落结构

不同林龄马尾松土壤节肢动物群落差异明显。

1) 5 个林龄的马尾松土壤节肢动物以蜱螨目和弹尾目为主要类群, 二者占总数量的 80.4%~89.7%。其中, 蜱螨目类群以甲螨亚目为主 (62.8%~91.8%), 前气门亚目类群仅在造林 3 年至 14 年生阶段出现, 而中气门亚目类群个体数量和比例随林龄的增加明显增加 (5.7%~37.1%)。蜱螨目 (A) 与弹尾目 (C) 的比值 (A/C) 也差异明显, 以造林 3 年生最低 (0.92), 14 年生最高 (1.69)。2) 不同林龄马尾松土壤节肢动物的优势类群和常见类群明显不同。造林 3 年以直卷甲螨科、奥甲螨科、疣跳科和鳞跳科为优势类群, 常见类群为绥螨科、懒甲螨科、圆跳科和蚁科等; 造林 8 年以若甲螨科、棘跳科和等节跳科为优势类群, 常见类群为大翼甲螨科、三甲螨科、短角跳科和驼跳科等; 造林 14 年以若甲螨科和棘跳科为优势类群, 常见类群为厚厉螨科、奥甲螨科、疣跳科和光蠼科; 造林 31 年以土革螨科、若甲螨科和棘跳科为优势类群, 常见类群为跳蛛科、三甲螨科、等节跳科和蚁科等; 造林 40 年以若甲螨科和棘跳科为优势类群, 常见类群为直卷甲螨科、懒甲螨科、圆跳科和原铗叭科等。3) 各林龄马尾松土壤节肢动物的个体密度和类群数量差异显著 ($P<0.05$), 平均个体密度和类群数量均以造林 8 年最高, 3 年最低, 且以 10 月最高 (8 年类群数量除外)。此外, 马尾松成林后, 土壤节肢动物个体密度和类群数量也随林龄的增加而降低。

表 2 不同林龄马尾松人工林土壤节肢动物平均密度
Table 2 Average density of soil arthropod of *Pinus massoniana* plantations with different ages (ind · m⁻²)

土壤动物类群 Soil fauna group	林龄 Forest age (a)									
	3		8		14		31		40	
	5 月 May	10 月 October	5 月 May	10 月 October	5 月 May	10 月 October	5 月 May	10 月 October	5 月 May	10 月 October
1 球蛛科 Theridiosomatidae	19. 4	13. 9	16. 7	16. 7	2. 8	5. 6	16. 7	19. 4	11. 1	2. 8
2 光盃蛛科 Liocranidae	0	5. 6	5. 6	0	13. 9	11. 1	11. 1	11. 1	0	5. 6
3 皿蛛科 Linyphiidae	0	0	11. 1	16. 7	2. 8	11. 1	11. 1	11. 1	8. 3	0
4 蟹蛛科 Thomisidae	0	0	0	0	5. 6	0	0	0	0	0
5 狼蛛科 Lycosidae	0	0	2. 8	13. 9	0	0	0	2. 8	0	8. 3
6 漏斗蛛科 Agelenidae	0	5. 6	8. 3	8. 3	5. 6	8. 3	2. 8	8. 3	0	0
7 跳蛛科 Salticidae	13. 9	11. 1	27. 8	36. 1	22. 2	22. 2	30. 6	22. 2	13. 9	11. 1
8 园蛛科 Araneidae	5. 6	0	5. 6	13. 9	11. 1	0	5. 6	0	0	2. 8
9 猫蛛科 Oxyopidae	0	0	5. 6	0	0	0	0	0	0	0
10 长奇盲蛛科 Phalangidae	0	0	5. 6	5. 6	2. 8	11. 1	0	2. 8	0	0
11 土伪蝎科 Chthonidae	0	2. 8	22. 2	44. 4	5. 6	11. 1	0	22. 2	0	0
12 植绥螨科 Phytoseiidae	0	0	44. 4	11. 1	0	0	0	0	0	0
13 厚厉螨科 Pachylaelapidae	0	22. 2	100. 0	77. 8	100. 0	77. 8	77. 8	188. 9	66. 7	188. 9
14 土革螨科 Ologamasidae	33. 3	22. 2	177. 8	277. 8	288. 9	88. 9	355. 6	366. 7	144. 4	188. 9
15 绥螨科 Sejidae	44. 4	33. 3	44. 4	44. 4	211. 1	177. 8	155. 6	200. 0	111. 1	66. 7
16 长须螨科 Stigmaeidae	0	33. 3	77. 8	22. 2	77. 8	0	0	0	0	0
17 吸螨科 Bdellidae	0	0	44. 4	44. 4	0	0	0	0	0	0
18 大翼甲螨科 Galumnidae	0	0	311. 1	266. 7	200. 0	200. 0	200. 0	200. 0	111. 1	66. 7
19 直卷甲螨科 Archoplophoridae	311. 1	188. 9	388. 9	500. 0	244. 4	500. 0	66. 7	100. 0	66. 7	144. 4
20 丽甲螨科 Liacaridae	200. 0	122. 2	55. 6	133. 3	22. 2	22. 2	11. 1	11. 1	11. 1	11. 1
21 若甲螨科 Oribatulidae	0	0	688. 9	788. 9	855. 6	811. 1	377. 8	544. 4	200. 0	300. 0
22 奥甲螨科 Oppiidae	66. 7	455. 6	88. 9	177. 8	88. 9	211. 1	88. 9	233. 3	88. 9	144. 4
23 懒甲螨科 Nothridae	0	277. 8	88. 9	66. 7	88. 9	200. 0	200. 0	166. 7	155. 6	177. 8
24 缝甲螨科 Hypochthoniidae	88. 9	88. 9	44. 4	0	22. 2	0	0	0	0	0
25 三甲螨科 Oribotritiidae	0	0	133. 3	188. 9	111. 1	155. 6	44. 4	133. 3	0	22. 2
26 四奥甲螨科 Quadroppiidae	0	111. 1	55. 6	0	0	0	11. 1	33. 3	0	0
27 地蜈蚣科 Geophilidae	0	0	22. 2	55. 6	33. 3	33. 3	11. 1	11. 1	0	0
28 原铗叭科 Propagygidae	0	0	77. 8	33. 3	55. 6	122. 2	55. 6	55. 6	55. 6	77. 8
29 圆跳科 Sminthuridae	11. 1	55. 6	388. 9	277. 8	166. 7	177. 8	277. 8	177. 8	133. 3	211. 1
30 短角跳科 Neelidae	100. 0	166. 7	77. 8	111. 1	0	88. 9	0	22. 2	0	0
31 棘跳科 Onychiuridae	0	66. 7	577. 8	711. 1	633. 3	588. 9	344. 4	544. 4	233. 3	400. 0
32 疣跳科 Neanuridae	255. 6	655. 6	88. 9	155. 6	44. 4	66. 7	0	0	0	0
33 爪跳科 Paronellidae	0	22. 2	44. 4	122. 2	33. 3	77. 8	0	22. 2	0	22. 2
34 驼跳科 Cyphoderidae	0	0	155. 6	111. 1	77. 8	100. 0	77. 8	77. 8	77. 8	111. 1
35 长角跳科 Entomobryidae	0	77. 8	55. 6	122. 2	88. 9	11. 1	88. 9	33. 3	0	0
36 等节跳科 Isotomidae	22. 2	0	411. 1	688. 9	133. 3	488. 9	177. 8	366. 7	166. 7	277. 8
37 鳞跳科 Tomoceridae	233. 3	433. 3	144. 4	55. 6	188. 9	133. 3	100. 0	177. 8	77. 8	111. 1
38 光蠼科 Epilampridae	44. 4	166. 7	19. 4	36. 1	311. 1	444. 4	27. 8	19. 4	44. 4	111. 1
39 蟋蟀科 Gryllidae	25. 0	19. 4	5. 6	19. 4	2. 8	8. 3	0	0	0	0
40 球螋科 Forficulidae	8. 3	0	2. 8	13. 9	2. 8	13. 9	13. 9	8. 3	8. 3	19. 4
41 驼螭科 Microphysidae	0	5. 6	8. 3	0	0	0	0	0	0	0
42 土螭科 Cydnidae	0	0	5. 6	5. 6	22. 2	0	8. 3	8. 3	0	0
43 奇螭科 Enicocephalidae	11. 1	0	0	5. 6	5. 6	0	5. 6	0	0	0
44 管蓟马科 Phlaeothripidae	0	5. 6	13. 9	36. 1	44. 4	38. 9	2. 8	8. 3	13. 9	13. 9
45 叶蝉科 Jassidae	0	2. 8	5. 6	2. 8	2. 8	2. 8	0	0	0	0
46 长角毛蚊科幼虫 Hesperinidae	0	0	22. 2	44. 4	11. 1	27. 8	22. 2	13. 9	11. 1	11. 1
47 蝇科幼虫 Muscidae	2. 8	13. 9	2. 8	0	16. 7	0	0	0	2. 8	0
48 摇蚊科幼虫 Chironomidae	0	0	22. 2	19. 4	30. 6	13. 9	30. 6	30. 6	13. 9	13. 9
49 长足虻科幼虫 Dolichopdidae	41. 7	13. 9	2. 8	0	0	0	0	0	2. 8	0
50 夜蛾科幼虫 Noctuidae	0	0	5. 6	2. 8	0	0	0	0	0	0
51 尺蛾科幼虫 Geometridae	0	0	2. 8	2. 8	0	2. 8	0	2. 8	2. 8	5. 6
52 螟蛾科幼虫 Pyralidae	0	0	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8
53 毒蛾科幼虫 Lymantriidae	0	2. 8	2. 8	11. 1	16. 7	16. 7	8. 3	5. 6	2. 8	8. 3
54 隐翅甲科 Staphylinidae	0	47. 2	11. 1	41. 7	11. 1	27. 8	5. 6	5. 6	8. 3	13. 9
55 金龟甲科 Scarabaeidae	19. 4	2. 8	8. 3	22. 2	8. 3	8. 3	2. 8	2. 8	2. 8	2. 8
56 蚁科 Formicidae	136. 1	47. 2	38. 9	77. 8	50. 0	50. 0	88. 9	127. 8	88. 9	102. 8
57 重嗜科 Amphientomidae	0	0	0	0	2. 8	0	0	0	0	0
个体密度 Individuals density	1694. 4	3200. 0	4683. 3	5544. 4	4380. 6	5072. 2	3019. 4	4002. 8	1938. 9	2858. 3
类群数 Number of groups	22. 0	33. 0	55. 0	48. 0	47. 0	41. 0	37. 0	41. 0	31. 0	33. 0

表 3 不同林龄马尾松人工林土壤节肢动物密度和类群表聚性
Table 3 Density and groups of soil arthropod communities varied with soil layers in *Pinus massoniana* plantations with different ages

土壤层次 Soil layer	林龄 Forest age (a)									
	3		8		14		31		40	
	密度 Density (ind · m ⁻²)	类群 Taxa (No.)	密度 Density (ind · m ⁻²)	类群 Taxa (No.)	密度 Density (ind · m ⁻²)	类群 Taxa (No.)	密度 Density (ind · m ⁻²)	类群 Taxa (No.)	密度 Density (ind · m ⁻²)	类群 Taxa (No.)
凋落物层 Litter layer	654. 17a (205. 13)	22. 17a (5. 81)	1256. 94a (216. 76)	38. 83a (3. 76)	1138. 89a (120. 03)	34. 67a (1. 63)	944. 44a (142. 17)	30. 33a (2. 67)	630. 56a (144. 59)	25. 00a (2. 00)
0 ~ 5 cm	130. 56b (32. 35)	8. 33b (2. 07)	293. 06b (48. 71)	20. 00b (5. 18)	252. 78b (40. 37)	18. 00b (3. 29)	159. 72b (32. 24)	13. 17b (3. 92)	109. 72b (14. 35)	9. 50b (1. 64)
5 ~ 10 cm	28. 33c (10. 54)	1. 00c (0. 00)	26. 67c (5. 56)	1. 00c (0. 00)	33. 88c (8. 60)	1. 00c (0. 00)	22. 77c (4. 30)	1. 00c (0. 00)	16. 67c (9. 13)	1. 00c (0. 00)

括号里数字为标准差 Data in the brackets were SD.

表 4 不同林龄马尾松人工林土壤节肢动物 Jaccard 相似性系数
Table 4 Similarity index of soil arthropod of *Pinus massoniana* plantations with different ages

林龄 Forest age (a)	5 月 May				10 月 October			
	3	8	14	31	3	8	14	31
40	0. 351 *	0. 759 ***	0. 714 **	0. 700 **	0. 473 *	0. 854 ***	0. 864 ***	0. 761 ***
31	0. 380 *	0. 614 **	0. 592 **		0. 574 **	0. 812 ***	0. 805 ***	
14	0. 311 *	0. 564 **			0. 480 *	0. 688 **		
8	0. 359 *				0. 435 *			

* 低 Low; ** 中 Medium; *** 高 High.

2.3 土壤动物群落多样性与相似性

土壤节肢动物的 DG 指数在不同林龄马尾松和季节都表现出一定的差异(图 1). 各林龄马尾松 DG 指数表现为 8 年生>14 年生>31 年生>40 年生>3 年生,以 10 月较高,且马尾松成林后,DG 指数随林龄的增加明显降低. 方差分析表明,不同林龄马尾松林 DG 指数存在显著差异($P<0.05$). 同时,Jaccard 相似性系数能反映不同生态系统之间土壤动物群落的相似程度,计算值在 0.75 ~ 1.00 为极相似,0.5 ~ 0.75 为中等相似^[6,9]. 从表 4 可知,造林 3 年与成林后的马尾松的土壤节肢动物群落相似度低. 造林

8 年的土壤节肢动物群落结构与 40 年极相似,与 14 年中等相似,但与 31 年的相似度随季节变化而不同.

3 讨 论

植被的组成及其结构变化常常决定着生态系统中其他成分的组成和结构特征^[7,21]. 大量研究表明,土壤动物群落结构与植被状况密切相关,植物群落变化过程中土壤动物群落也发生着改变^[7,14,21-22]. 因此,土壤动物群落组成和结构对生态系统植被结构和演替具有重要的指示作用^[9,23-24]. 本研究中,造林 3 年的马尾松林土壤节肢动物群落的个体密度和类群数量都最低,优势类群和常见类群组成与成林后差别明显. 这是由于新造林地表植被、环境(光照、温度和湿度)和凋落物厚度(表 1)与成林后的马尾松差异较大造成的. 随着马尾松林龄的增加和成林郁闭,土壤节肢动物群落的个体密度和类群数量迅速增加,并在 8 年生时期达到了各林龄的最高值,出现许多稀有类群. 这与成林后林下植被多样性增加、土壤环境改变以及食物和养分资源有效性提高有关^[7-8]. 然而,虽然成林后的马尾松林土壤节肢动物群落的优势类群组成较为一致(均有若甲螨科和棘跳科),但是不同林龄阶段马尾松林的常见类群却存在显著不同. 同时,土壤节肢动物群落的个体密度和类群数量也随林龄的增加不断降低,优势类群(如蜱螨目)及蜱螨目(A)与弹尾目(C)的比值(A/C)结构不断改变. 可见,土壤节肢动物群落结构随

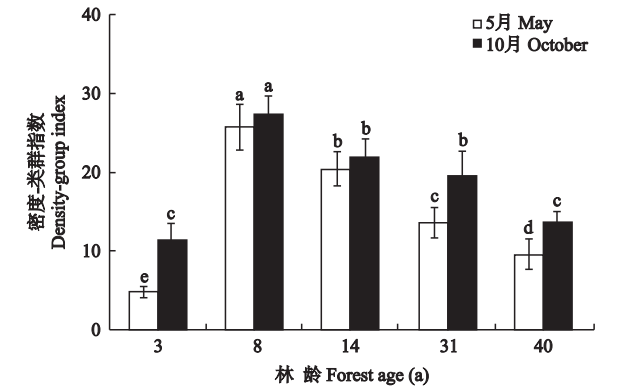


图 1 不同林龄马尾松人工林土壤节肢动物多样性
Fig. 1 Diversity indices of soil arthropod of *Pinus massoniana* plantations with different ages.
同月份不同字母表示差异显著($P<0.05$) Different letters in the same month showed significant difference at 0.05 level.

马尾松人工林植被变化发生了明显的改变,可能对凋落物分解和土壤养分循环产生影响,从而对土壤环境变化产生一定的作用。

值得关注的是,由于本研究所选的马尾松人工林在造林 14 年后已出现明显的肥力衰退(表 1)和植被多样性降低现象。因此,土壤节肢动物的个体密度和类群数量在造林 31 年和 40 年后的显著降低可以看作是地下部分生物对马尾松人工林地力衰退的有效生物指示。同时,由于某些类群只出现在特定的演替阶段或在某些阶段显著增加,它们对土壤环境和系统稳定性具有一定的指示意义^[2,9,25]。本研究中,中气门亚目(寄螨目)可能是马尾松人工林地力衰退的指示类群。然而,土壤动物的标志类群常常具有季节差异,本研究仅开展了春和秋两季的调查研究,时间较短,尚不能找出各阶段不同季节的标志类群,因而需进一步加强长期定位监测,这对于探讨马尾松人工林植被调控或地力退化过程中土壤动物的指示作用具有重要意义。此外,各林龄阶段土壤节肢动物的个体密度和类群数量存在明显的表聚现象。一方面,凋落物层具有丰富的食物源和较好的透气性及温湿度条件,为土壤动物提供了良好栖息环境^[6,26]。另一方面,随林龄的增加,马尾松林土壤肥力退化,植物多样性降低,土壤层食物资源匮乏^[7-8,27],因而凋落物层土壤节肢动物个体密度和类群数量所占比例明显增加,这种变化也一定程度暗示着马尾松人工林地力衰退。

土壤动物群落多样性常常能揭示其对植被演替、环境污染、水热动态的响应^[3,6-11,28]。本研究中,土壤节肢动物的 *DG* 指数随马尾松林植被演替过程表现出明显的动态变化:1) 在新造林阶段(3 年),植(地)被的缺失很难有效地维持土壤动物大量存活所需的食物资源和环境条件,且土壤动物易受土壤水热变化影响^[9,28],因而 *DG* 指数最低,季节波动最大。2) 到 8 年生阶段,造林树种(马尾松)、乡土植被和先锋植被及灌木、草本植被大量并存,为土壤动物提供了多样化的食物源^[7,10,22],而林分郁闭和凋落物累积后逐渐改善了土壤动物的栖息生境^[11,26-27],这使得土壤动物个体密度和类群数量迅速增加,*DG* 指数也随之快速增加,并达到了各林龄阶段最高值。3) 从造林 14 年至 40 年阶段,由于马尾松林迅速生长和林冠郁闭,逐渐将乡土植被和先锋植被淘汰,形成灌木层缺失,草本单一(蕨类为主)的马尾松纯林,加之凋落物的组成较简单,分解缓慢,土壤肥力退化,从而导致土壤动物的 *DG* 指数

出现降低。可见,土壤节肢动物群落多样性同样随马尾松林植被群落结构发生了明显的变化,而 *DG* 指数在造林 8 年后的显著降低可以看作是对马尾松人工林地下部分生物多样性降低的重要生物指示指标。此外,虽然造林 40 年的土壤节肢动物群落的 Jaccard 相似性系数与造林 8 年极相似,但是其 *DG* 指数却显著低于造林 8 年时期,这也表明马尾松人工林随着林龄的增加出现生物多样性降低。

综上所述,不同林龄阶段马尾松人工林土壤节肢动物优势类群和常见类群差异较大;马尾松林土壤节肢动物的个体密度和类群数量及生物多样性在造林 8 年后维持着最高水平,此后,均随林龄的增加明显降低;各林龄阶段土壤节肢动物个体密度、类群数量及多样性指数的动态变化是马尾松林地力衰退的重要生物指示。研究结果表明,马尾松人工林植被调控和低效林改造应以 8 年生阶段为宜,在此期间加强科学管理和合理经营,可有效防止马尾松人工林生态系统退化。

参考文献

- [1] Swift MJ, Heal OW, Aanderson JM. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Oxford: Blackwell Scientific, 1979
- [2] Huhta V. The role of soil fauna in ecosystems: A historical review. *Pedobiologia*, 2007, **50**: 489-495
- [3] Tan B (谭 波), Wu F-Z (吴福忠), Yang W-Q (杨万勤), *et al.* Soil macro-fauna community diversity and its response to seasonal freeze-thaw in the subalpine/alpine forests of western Sichuan. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2012, **20**(2): 215-223 (in Chinese)
- [4] Wang Z-Z (王振中), Zhang Y-M (张友梅), Xing X-J (邢协加). Effect of change in soil environment on community structure of soil animal. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2002, **39**(6): 892-897 (in Chinese)
- [5] Darby BJ, Neher DA, Housman DC, *et al.* Few apparent short-term effects of elevated soil temperature and increased frequency of summer precipitation on the abundance and taxonomic diversity of desert soil micro- and meso-fauna. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, **43**: 1474-1481
- [6] Huang X (黄 旭), Wen W-Q (文维全), Zhang J (张 健), *et al.* Soil faunal diversity under typical alpine vegetations in west Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(1): 181-190 (in Chinese)
- [7] Maharning AR, Mills AAS, Adl SM. Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands. *Applied Soil Ecology*, 2009, **41**: 137-147
- [8] Bird S, Coulson RN, Crossley DA. Impacts of silvicultural practices on soil and litter arthropod diversity in a

- Texas pine plantation. *Forest Ecology and Management*, 2000, **131**: 65–80
- [9] 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. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(3): 466–473 (in Chinese)
- [10] Tong F-C (佟富春), Wang Q-L (王庆礼), Liu X-S (刘兴双), *et al.* Dynamics of soil fauna communities during succession process of secondary forests in Changbai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(9): 1531–1535 (in Chinese)
- [11] Scheu S, Albers D, Alpeh J, *et al.* The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: Trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 2003, **101**: 225–238
- [12] Yang H-X (杨会侠), Wang S-L (汪思龙), Fan B (范 冰), *et al.* Dynamics of annual litter mass and nutrient return of different age Masson pine plantations. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2010, **29**(12): 2334–2340 (in Chinese)
- [13] Zhang D-H (张鼎华), Ye Z-F (叶章发), Li B-F (李宝福). The effects of rotating plantation on the soil fertility of forest land and the growth of stand. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2001, **37**(5): 10–15 (in Chinese)
- [14] Liu M-Q (刘满强), Hu F (胡 锋), Li H-X (李辉信), *et al.* Soil arthropod communities under different artificial woodland restored on degraded red soil. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2002, **22**(1): 54–61 (in Chinese)
- [15] Zhang J-W (张家武), Liao L-P (廖利平), Li J-F (李锦芳), *et al.* Litter dynamics of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* mixed forest and its effect on soil nutrients. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1993, **4**(4): 359–363 (in Chinese)
- [16] Xiang W-H (项文化), Tian D-L (田大伦). Nutrient cycling in *Pinus massoniana* stands of different age classes. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2002, **26**(1): 89–95 (in Chinese)
- [17] Yin W-Y (尹文英), Hu S-H (胡圣豪), Shen Y-F (沈韞芬). Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 1998 (in Chinese)
- [18] Li H-X (李鸿兴), Sui J-Z (隋敬之), Zhou S-X (周士秀), *et al.* Index of Insect Classification. Beijing: China Agriculture Press, 1987 (in Chinese)
- [19] Lu R-K (鲁如坤). Analytical Methods of Soil and Agrochemistry. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999 (in Chinese)
- [20] Liao C-H (廖崇惠), Li J-X (李健雄), Huang H-T (黄海涛). Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1997, **17**(5): 549–555 (in Chinese)
- [21] Xu G-L (徐国良), Zhou G-Y (周国逸), Mo M (莫明), *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)
- [22] Lin Y-H (林英华), Zhang F-D (张夫道), Zhang J-Q (张俊清), *et al.* Preliminary investigation on temporal and spatial variation of structure of soil fauna community in different natural vegetations of Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(10): 2616–2622 (in Chinese)
- [23] Liao C-H (廖崇惠), Chen M-Q (陈茂乾). Secondary succession of soil animal community and its development process in tropical artificial forest. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1990, **1**(1): 53–59 (in Chinese)
- [24] Han B-Y (韩宝瑜). Composition and diversity of arthropod community in Masson pine stands. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2001, **9**(1): 62–67 (in Chinese)
- [25] Wu H-T (武海涛), Lü X-G (吕宪国), Yang Q (杨青), *et al.* Ecological characteristics and functions of soil fauna community. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2006, **43**(2): 314–323 (in Chinese)
- [26] Lin Y-H (林英华), Sun J-B (孙家宝), Zhang F-D (张夫道). Characteristics of soil fauna community in forest floor at different climate zone, China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2009, **29**(6): 2938–2944 (in Chinese)
- [27] Berg MP, Kniese JP, Bedaux JJM, *et al.* Dynamics and stratification functional groups of micro- and mesoarthropods in the organic layer of a Scots pine forest. *Biology and Fertility of Soils*, 1998, **26**: 268–284
- [28] Doblas-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Different microhabitats affect soil macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean arid ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 2009, **41**: 329–335

作者简介 谭 波,男,1984 年生,博士研究生.主要从事土壤生态和森林生态研究. E-mail: bobotan1984@163.com

责任编辑 肖 红
