

# 引种栽培雷竹对秋季土壤动物群落结构的影响

赵 波<sup>1</sup>, 肖玖金<sup>2,3</sup>, 周泓杨<sup>3</sup>, 张 健<sup>1,3</sup>

(1. 四川农业大学 林学院, 四川 成都 611130; 2. 四川农业大学 都江堰校区, 四川 都江堰 611830; 3. 四川农业大学 生态林业研究所, 四川 成都 611130)

**摘要:** 为了解雷竹 *Phyllostachys violascens* 引种栽培对当地土壤动物群落结构的影响, 于 2014 年 10 月, 以毗邻乡土竹类慈竹 *Neosinocalamus affinis* 和农耕地为对照, 采用手捡法和干湿漏斗法对土壤动物群落进行调查。结果显示: 实验共收集到土壤动物 3 477 只, 隶属于 3 门 9 纲 24 目; 土壤动物平均密度排序为雷竹( $3.47 \times 10^5$  只·m<sup>-2</sup>) > 慈竹( $9.65 \times 10^4$  只·m<sup>-2</sup>) > 农耕地( $4.58 \times 10^4$  只·m<sup>-2</sup>), 类群数为慈竹(30 个) > 雷竹(28 个) > 农耕地(15 个), 其中, 各样地间土壤动物平均密度和类群数差异显著( $P < 0.05$ )。密度-类群指数( $I_{DG}$ )以雷竹和慈竹样地显著高于农耕地( $P < 0.05$ ), 各样地土壤动物丰富度指数( $D$ )和多样性指数( $H'$ )存在显著差异( $P < 0.05$ ), 其余各指数差异不显著( $P > 0.05$ ); 各样地土壤动物垂直分布均呈现表聚性分布特性; 雷竹与慈竹样地土壤动物的群落相似性较高, 各样地土壤动物的相似性指数均表现为随土层深度的增加而降低。雷竹的引种栽培对当地土壤动物群落分布与多样性特征产生了一定影响。图 2 表 5 参 32

**关键词:** 土壤动物学; 雷竹; 土壤动物; 群落结构; 物种多样性

中图分类号: S154.5; S718.69

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2016)03-0409-09

## Community structure and biodiversity characteristics of soil fauna for *Phyllostachys violascens* stands in autumn

ZHAO Bo<sup>1</sup>, XIAO Jiu Jin<sup>2,3</sup>, ZHOU Hongyang<sup>3</sup>, ZHANG Jian<sup>1,3</sup>

(1. Forestry College, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China; 2. Dujiangyan Campus, Sichuan Agricultural University, Dujiangyan 611830, Sichuan, China; 3. Institute of Ecological Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

**Abstract:** *Phyllostachys violascens*, an economic plant, was introduced into Dujiangyan from Zhejiang Province after earthquake, not only can increase local people's incomes, but also plays an important role in ecology construction. Soil fauna, an important component of soil ecosystems, the density, groups and diversity were easily affected by the plant types. To determine the effects of *Phyllostachys violascens* cultivation on soil fauna community structure, a study was carried out in fields of *Ph. violascens*, *Neosinocalamus affinis*, and cropland in October 2014. Macrofauna samples ( $n=3$ ) were picked up by hand with the area of 50 cm × 50 cm (0.25 m<sup>2</sup>). After recording the types of soil fauna, the samples were put into a container with alcohol and transported to laboratory for detailed classification to family level. Mesofauna was collected by steel core ( $r = 5$  cm,  $v = 100$  cm<sup>3</sup>) and store in soil fauna sealing black bags. The collected samples then were transported to laboratory within 12 h and subsequently separated by Baermann method (for nematodes) and Tullgren method (for mesofauna) over a period of 48 h, respectively. All collected soil fauna were calculated and classified by microscope, and identified to the family level following *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Indexes used in the

收稿日期: 2015-06-09; 修回日期: 2015-08-26

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(31400457, 41201587); 四川省教育厅资助项目(12ZB307, 13ZA0258)

作者简介: 赵波, 从事土壤生态学研究。E-mail: zhaobo123789@hotmail.com。通信作者: 肖玖金, 副教授, 博士, 从事生态学等研究。E-mail: j.xiao@sicau.edu.cn

analysis included: average density, group number, density-groups, Margalef, Shannon-Wiener, Pieluo, Simpson and Sorensen. A total of 3 477 soil fauna individuals, belonging to 3 phyla, 9 classes, and 24 orders were collected. Significant differences were found among the three plots ( $F$  test,  $P < 0.05$ ): with the average density for soil fauna being *Ph. violascens* ( $3.47 \times 10^5 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )  $>$  *N. affinis* ( $9.65 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )  $>$  cropland ( $4.58 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ) and with the order for group number being *N. affinis* (30)  $>$  *Ph. violascens* (28)  $>$  cropland (15). The density-groups index for *Ph. violascens* was significantly higher ( $F$  test,  $P < 0.05$ ) than that in the other two plots; significant differences for the Margalef index value were found in multiple comparison of three plots ( $F$  test,  $P < 0.05$ ); and no significant differences were found among the three plots for Pieluo and Simpson index. For vertical distribution in the three plots, soil fauna density decreased with increasing depth. The largest similarity index was found between the *Ph. violascens* and *N. affinis*, with a decrease as depth increased. After comparing the soil fauna characteristics with *N. affinis* and cropland, respectively, introducing *Ph. violascens* cultivation had a positive effect on the distribution and diversity of soil fauna. [Ch, 2 fig. 5 tab. 32 ref.]

**Key words:** soil zoology; *Phyllostachys violascens*; soil fauna; community structure; biodiversity

土壤动物是生态系统中分解者的重要组成部分,对土壤的形成、物质循环及能量流动具有重要意义,是土壤肥力的指标之一<sup>[1-4]</sup>。不同植被类型造成土壤理化性质的异质性<sup>[2]</sup>,会导致生态系统内土壤动物多样性特征的差异<sup>[5]</sup>。雷竹 *Phyllostachys violascens* 为禾本科 Poaceae 竹亚科 Bambusoideae 刚竹属 *Phyllostachys* 竹种,原产浙西北丘陵平原地带<sup>[6]</sup>,由于雷竹具出笋早、产量高、经济效益显著等特点,被各地广泛引种<sup>[7]</sup>。四川都江堰在“5·12”灾后重建过程中,为实现农业转型升级,当地政府引进并大力发展雷竹产业,实现了生态保护、农民增收和农村产业转型的目的,并带动当地旅游业的发展。相关学者对雷竹展开了广泛的研究,其研究主要集中在土壤碳库<sup>[8]</sup>、土壤微生物<sup>[9-10]</sup>、土壤养分<sup>[11-12]</sup>等,这些研究丰富了雷竹研究成果,对雷竹产业的发展具有重要意义。目前,有关雷竹的研究主要集中在原产地江浙一带,而有关雷竹异地引种后,对当地生态环境的影响却鲜有报道,因此,本研究选取农耕地和慈竹 *Neosinocalamus affinis* 林分别作为引种雷竹前的土地利用方式及乡土竹类进行研究,希望通过对比分析不同生境下的土壤动物群落特征,了解引种雷竹对当地土壤动物群落结构的影响,旨在为雷竹产业的可持续健康发展以及生物多样性保护提供科学依据。

## 1 试验地概况

试验地位于成都平原与四川盆周西缘山地接合部的丘陵地区——四川省都江堰市蒲阳镇向峨乡雷竹基地(31°05′07.91″N, 103°44′18.71″E),属亚热带气候类型,海拔为 759 m。据都江堰市气象局统计,区域内年平均气温为 15.1 °C,年平均降水量为 1 225.4 mm,具有明显的春雨期、梅雨期和秋雨期,年平均相对湿度为 81%,年平均日照时数为 1 024.2 h,无霜期为 269 d。样地土壤为砂岩上发育的黄壤,质地为重壤质, pH 6.5~6.8,土壤肥力中等,保肥保水性好。

都江堰向峨乡在 5·12 地震后,针对灾后重建和农业转型的需要,从浙江省临安市引种目前市场需求较大的雷竹,以期实现农民增收和生态环境建设的目的。该区域雷竹栽植地前期土地利用类型为农耕地,出笋期受人为采伐干扰,其他季节干扰小;慈竹为当地乡土竹类,呈散生丛状分布,轻度人为干扰,林分郁闭度高;农耕地前期农作物为玉米 *Zea mays*,地表无凋落物。本次调查研究样地雷竹林下主要植被为喜旱莲子草 *Alternanthera philoxeroides*, 荩草 *Arthraxon hispidus*, 稗草 *Echinochloa crusgalli*, 常春藤 *Hedera nepalensis*, 野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia*, 爵床草 *Justicia procumbens*;慈竹林下基本无植被覆盖,主要凋落物为慈竹叶;农耕地的植被以喜旱莲子草为主。各样地详细信息见表 1。

## 2 调查方法与数据分析

### 2.1 调查方法与鉴定

2.1.1 土壤动物的调查与分离 于 2014 年 10 月分别在雷竹、慈竹和农耕地采样,各样地面积设为 20 m × 20 m。在各样地中心分别按“品”字型布点,设置 3 个 50 cm × 50 cm(0.25 m<sup>2</sup>)的小样方,对凋落

表 1  样地基本信息

Table 1  Basic conditions of the three plots

| 样地类型 | 海拔/m | 坡位 | 坡向 | 样地面积/m <sup>2</sup> | 竹龄/a | 栽植密度/(株·hm <sup>-2</sup> ) | 土壤含水量/% | 干扰强度 | 平均林高/m | 胸径/cm |
|------|------|----|----|---------------------|------|----------------------------|---------|------|--------|-------|
| 雷竹   | 759  | 下  | 东南 | 400                 | 5~6  | 1 650                      | 14.04   | 中等   | 8      | 4.5   |
| 慈竹   | 762  | 下  | 东南 | 400                 | >20  | 5 000                      | 16.74   | 弱    | 13     | 6.5   |
| 农耕地  | 756  | 下  | 东南 | 400                 |      |                            | 12.20   | 极强   |        |       |

物层、0~5 cm 层、5~10 cm 层、10~15 cm 层的土壤动物进行手检，并将收集到的土壤动物放入盛有体积分数为 75%的乙醇容器中杀死，对其编号分类并计数，带回实验室在解剖镜下鉴定；在各样点挖土壤剖面，分 0~5 cm 层、5~10 cm 层、10~15 cm 层用环刀( $r=5\text{ cm}$ ， $v=100\text{ cm}^3$ )自下往上顺次取土样，取土样 2 个·层<sup>-1</sup>，用尼龙网包好贴上标签装入黑布袋，带回实验室分别用 Tullgren 干漏斗和 Baermann 湿漏斗分离土样中的土壤动物。同时，在雷竹、慈竹林各样点收集 10 cm × 10 cm(0.01 m<sup>2</sup>)面积的凋落物带回实验室进行分离，由于农耕地无地表凋落物，则只分离土壤层的土壤动物。土壤动物的分离均在烘虫箱中进行，控制烘虫箱温度在 35~40 ℃。凋落物、干生和湿生的烘虫时间均为 48 h。分离出的土壤动物除湿生外，均用盛有体积分数为 75%的乙醇培养皿中收集，在解剖镜下观察计数；湿生土壤动物的收集则用清水。凋落物与干生土壤动物隔 12 h 观察 1 次，湿生土壤动物隔 4 h 观察 1 次，观察间隔时间逐步增长。对观察到的所有土壤动物进行分类并计数。

2.1.2 土壤动物的鉴定  土壤动物的分类鉴定，土壤动物的分离参照肖玖金等<sup>[13]</sup>和黄玉梅等<sup>[14]</sup>的方法，将手检和分离所得的土壤动物置于双目解剖镜(Leica, EZ4HD)，主要采用《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[15]</sup>《中国亚热带土壤动物》<sup>[16]</sup>《昆虫分类检索》<sup>[17]</sup>和《幼虫分类学》<sup>[18]</sup>进行分类鉴定，鉴定至纲、目等较高的分类阶元。

2.1.3 土壤理化性质的测定  测定方法按照中国科学院南京土壤研究所编写的《土壤理化分析》进行<sup>[19]</sup>。

2.2 数据分析与处理

类群数量等级：个体数量大于捕获总量的 10.0%以上者为优势类群(+++)，占 1.0%~10.0%者为常见类群(++)，不足 1.0%者为稀有类群(+).

群落多样性分析：土壤动物多样性特征主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$ ，Margalef 丰富度指数  $D$ ，Pielou 均匀度指数  $J$ ，Simpson 优势度指数  $C$  和密度-类群指数  $I_{DC}$  来计算<sup>[20]</sup>。

Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ ):  $H'=-\sum P_i\ln P_i$ 。其中： $P_i=n_i/N$ ， $n_i$  为第  $i$  个类群的个体数； $N$  为所有类群的个体数。Margalef 丰富度指数( $D$ ):  $D=(S-1)/\ln N$ 。其中： $S$  为类群数， $N$  为全部类群的个体总数。Pielou 均匀度指数( $J$ ):  $J=H'/\ln S$ 。其中： $H'$  为 Shannon-Wiener 多样性指数， $S$  为类群数。Simpson 优势度指数  $C$ :  $C=\sum (n_i/N)^2$ 。其中： $n_i$  为第  $i$  个类群的个体数； $N$  为所有类群的个体数。密度-类群指数( $I_{DC}$ ):  $I_{DC}=g/G\sum D_iC_i/D_{\max}C$ 。其中： $D_i$  为第  $i$  类群个体数； $D_{\max}$  为各群落中第  $i$  类群的最大个体数； $g$  为群落中的类群数； $G$  为各群落所包含的总类群数； $C_i$  即在  $C$  个群落中第  $i$  个类群出现的比率。

群落相似性分析：采用 Sorensen 相似性指数( $Q$ )，即  $Q=2C/(A+B)$ 。其中： $C$  为 2 个群落或样地生境共有类群数， $A$  和  $B$  分别为生境  $a$  和生境  $b$  的类群数。

数据的处理和分析采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 完成，采用 Origin 8.1 绘制图形。用单因素方差分析(one-way ANOVA)对不同样地间土壤动物群落组成进行检验。如果差异显著则用最小显著差(LSD)法(方差齐性)或 Dunnetts'C 法(方差不齐)进行多重比较。利用双因素方差分析(two-way ANOVA)检验土层分布以及样地类型对土壤动物群落结构和多样性的总体影响，显著性水平设定为  $\alpha=0.05$ 。方差分析时，对不服从正态分布的数据，利用  $\log(x+1)$  转换，如果仍不服从正态分布，则进行 Kruskal Wallis Test( $H$ )非参数检验。

3 结果与分析

3.1 土壤动物的组成

本次研究调查共捕获土壤动物 3 477 只，隶属于 3 门 9 纲 24 目(表 2)。优势类群为线虫纲和线蚓科，分别占总体个数的 62.26%和 24.07%；常见类群为前气门亚目 Prostigmata，中气门亚目 Mesostigma-

ta, 等翅目 Isoptera 和膜翅目 Hymenoptera, 占总个数的 10.89%; 剩余甲螨亚目 Oribatida, 鞘翅目 Coleoptera 等构成稀有类群, 其个体数占总个体数的 2.78%。在雷竹样地中共捕获 8 纲 23 目 1 816 只土壤动物, 平均密度  $3.47 \times 10^5$  只  $\cdot m^{-2}$ ; 慈竹样地中捕获 9 纲 24 目 1 263 只土壤动物, 平均密度  $9.65 \times 10^4$  只  $\cdot m^{-2}$ ; 农耕地中捕获 6 纲 12 目 398 只土壤动物, 平均密度  $4.58 \times 10^4$  只  $\cdot m^{-2}$ 。

表 2 土壤动物群落组成统计

Table 2 Compositions of soil fauna community in the three plots

| 类群                       | 雷竹                           |           | 慈竹                           |           | 农耕地                          |           | 合计                         |           | 丰富度 |
|--------------------------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|----------------------------|-----------|-----|
|                          | 平均密度/<br>(只 $\cdot m^{-2}$ ) | 百分比/<br>% | 平均密度/<br>(只 $\cdot m^{-2}$ ) | 百分比/<br>% | 平均密度/<br>(只 $\cdot m^{-2}$ ) | 百分比/<br>% | 密度/<br>(只 $\cdot m^{-2}$ ) | 百分比/<br>% |     |
| 线虫纲 Nematoda             | 238 783.78                   | 68.75     | 37 518.13                    | 38.87     | 28 520.57                    | 62.32     | 304 822.47                 | 62.26     | +++ |
| 线蚓科 Enchytaeidae         | 71 301.41                    | 20.53     | 30 251.55                    | 31.34     | 16 297.47                    | 35.61     | 117 850.43                 | 24.07     | +++ |
| 前气门亚目 Prostigmata        | 16 433.33                    | 4.73      | 13 600.00                    | 14.09     | —                            | —         | 30 033.33                  | 6.13      | ++  |
| 中气门亚目 Mesostigmata       | 5 700.00                     | 1.64      | 4 700.00                     | 4.87      | —                            | —         | 10 400.00                  | 2.12      | ++  |
| 等翅目 Isoptera             | 3 703.10                     | 1.07      | 3 313.33                     | 3.43      | —                            | —         | 7 016.43                   | 1.43      | ++  |
| 膜翅目 Hymenoptera          | 3 881.97                     | 1.12      | 1 774.59                     | 1.84      | 220.00                       | 0.48      | 5 876.56                   | 1.20      | ++  |
| 甲螨亚目 Oribatida           | 1 527.89                     | 0.44      | 633.33                       | 0.66      | —                            | —         | 2 161.22                   | 0.44      | +   |
| 鞘翅目 Coleoptera           | 731.96                       | 0.21      | 925.33                       | 0.96      | —                            | —         | 1 657.30                   | 0.34      | +   |
| 蜘蛛目 Araneae              | 1 072.83                     | 0.31      | 180.43                       | 0.19      | 36.00                        | 0.08      | 1 289.26                   | 0.26      | +   |
| 缨翅目 Thysanoptera         | 1 133.33                     | 0.33      | 66.67                        | 0.07      | —                            | —         | 1 200.00                   | 0.25      | +   |
| 双翅目(幼)Diptera            | 266.67                       | 0.08      | 252.00                       | 0.26      | 339.53                       | 0.74      | 858.20                     | 0.18      | +   |
| 鞘翅目(幼)Coleoptera         | 500.00                       | 0.14      | 309.33                       | 0.32      | 4.00                         | 0.01      | 813.33                     | 0.17      | +   |
| 双尾目 Diplura              | 33.33                        | 0.01      | 566.67                       | 0.59      | —                            | —         | 600.00                     | 0.12      | +   |
| 综合纲 Symphyla             | 169.77                       | 0.05      | 411.53                       | 0.43      | —                            | —         | 581.30                     | 0.12      | +   |
| 弹尾目 Collembola           | 333.33                       | 0.10      | 233.33                       | 0.24      | —                            | —         | 566.67                     | 0.12      | +   |
| 啮目 Psocoptera            | 376.86                       | 0.11      | 174.67                       | 0.18      | —                            | —         | 551.53                     | 0.11      | +   |
| 鳞翅目(幼)Lepidoptera        | 33.33                        | 0.01      | 508.43                       | 0.53      | 1.33                         | 0.00      | 543.10                     | 0.11      | +   |
| 革翅目 Deramptera           | —                            | —         | 362.20                       | 0.38      | 176.43                       | 0.39      | 538.63                     | 0.11      | +   |
| 盲蜘蛛目 Opiliones           | 366.67                       | 0.11      | 100.00                       | 0.10      | —                            | —         | 466.67                     | 0.10      | +   |
| 蜚蠊目 Blattoptera          | 401.33                       | 0.12      | 41.33                        | 0.04      | 2.67                         | 0.01      | 445.33                     | 0.09      | +   |
| 等足目 Isopoda              | 277.33                       | 0.08      | 77.33                        | 0.08      | 56.00                        | 0.12      | 410.67                     | 0.08      | +   |
| 寡毛纲 Oligochaeta          | 78.67                        | 0.02      | 52.00                        | 0.05      | 85.33                        | 0.19      | 216.00                     | 0.04      | +   |
| 唇足纲 Chilopoda            | 169.77                       | 0.05      | —                            | —         | —                            | —         | 169.77                     | 0.03      | +   |
| 双翅目 Diptera              | —                            | —         | 169.77                       | 0.18      | —                            | —         | 169.77                     | 0.03      | +   |
| 啮虫目 Corrodentia          | —                            | —         | 133.33                       | 0.14      | —                            | —         | 133.33                     | 0.03      | +   |
| 鳞翅目 Lepidoptera          | —                            | —         | 66.67                        | 0.07      | —                            | —         | 66.67                      | 0.01      | +   |
| 蜈蚣目 Scolopendromorpha    | 21.33                        | 0.01      | 20.00                        | 0.02      | 12.00                        | 0.03      | 53.33                      | 0.01      | +   |
| 直翅目 Orthoptera           | 4.00                         | 0.00      | 33.33                        | 0.03      | 4.00                         | 0.01      | 41.33                      | 0.01      | +   |
| 倍足目 Diplopoda            | —                            | —         | 40.00                        | 0.04      | —                            | —         | 40.00                      | 0.01      | +   |
| 裂盾目 Schizomida           | 33.33                        | 0.01      | —                            | —         | —                            | —         | 33.33                      | 0.01      | +   |
| 地蜈蚣目 Geophilomorpha      | 4.00                         | 0.00      | 4.00                         | 0.00      | 4.00                         | 0.01      | 12.00                      | 0.00      | +   |
| 石蜈蚣目 Lithobiomorpha      | 1.33                         | 0.00      | 2.67                         | 0.00      | 6.67                         | 0.01      | 10.67                      | 0.00      | +   |
| 半翅目 Hemiptera            | 2.67                         | 0.00      | —                            | —         | —                            | —         | 2.67                       | 0.00      | +   |
| 平均密度/(只 $\cdot m^{-2}$ ) | 347 343.33                   |           | 96 521.96                    |           | 45 765.99                    |           | 489 631.29                 |           |     |
| 总类群数/个                   | 28                           |           | 30                           |           | 15                           |           | 33                         |           |     |

说明: “—”表示无或未采集到, +++为优势类群, ++为常见类群, +为稀有类群。

3.2 土壤动物群落的水平分布特征

3 种类型样地的土壤动物水平分布特征显示: 雷竹样地土壤动物平均密度显著高于慈竹和农耕地 ( $P<0.05$ ), 类群数高于农耕地, 低于慈竹样地 ( $P<0.05$ ) (表 2)。方差分析结果显示: 各样地间土壤动



物平均密度与类群数均存在显著差异( $P<0.05$ )。

参照尹文英<sup>[15]</sup>对土壤动物体型的划分,将本次研究调查到的土壤动物分为大型和中小型两大类。从图 1 可以看出:雷竹样地大型和中小型土壤动物平均密度均显著高于慈竹和农耕地( $P<0.05$ ),而类群数高于农耕地,显著低于慈竹( $P<0.05$ )。对大型和中小型土壤动物群落特征进行方差分析,结果显示:各样地大型土壤动物的平均密度和类群数均无显著性差异( $P>0.05$ ),中小型土壤动物的平均密度和类群数均存在显著性差异( $P<0.05$ )。

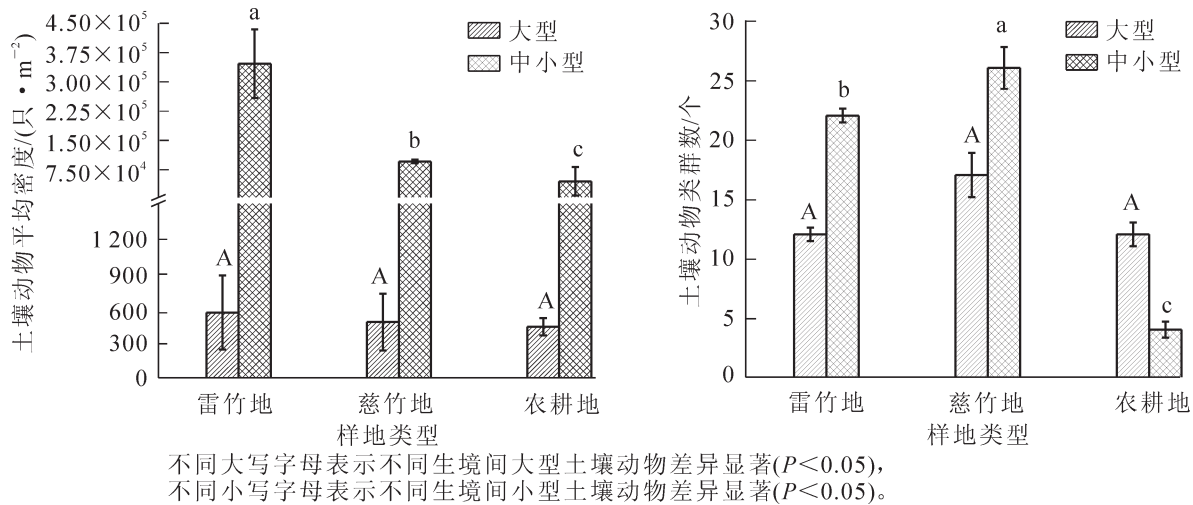
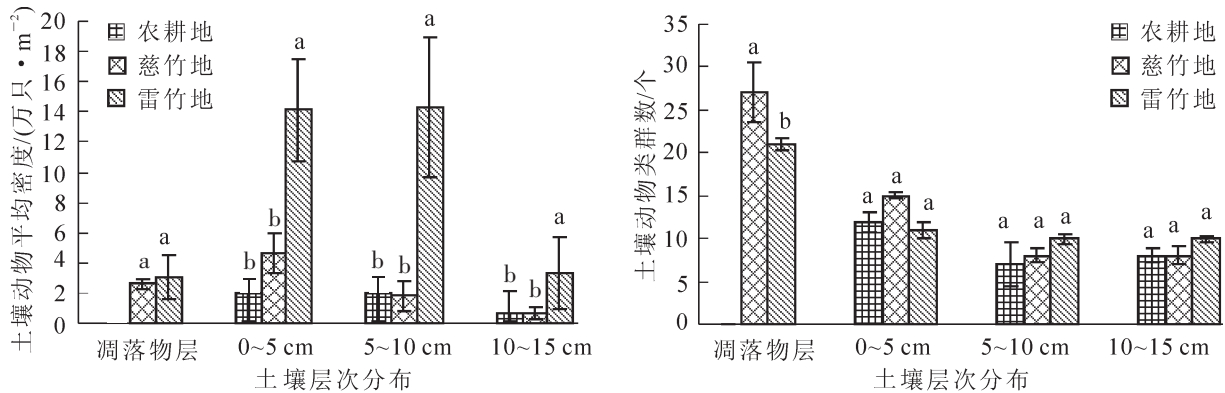


图 1 各生境不同体型土壤动物水平分布变化

Figure 1 Horizontal distribution of soil fauna in the three habitats

### 3.3 土壤动物群落的垂直分布特征

不同的土壤深度,由于含水量、有机质等不同,其土壤动物群落的垂直分布也不同<sup>[20-22]</sup>。从图 2 可以看出:雷竹样地中各层土壤动物的平均密度均高于慈竹和农耕地,其中,雷竹和慈竹凋落物层的平均密度差异达到显著水平( $P<0.05$ );雷竹样地中凋落物层和 0~5 cm 层土壤动物的类群数低于慈竹,5 cm 以下土层雷竹样地高于慈竹与农耕地,其中各样地凋落物层的类群数差异达到显著水平( $P<0.05$ )。



不同小写字母表示不同生境间相同土壤层差异显著( $P<0.05$ )。

图 2 各生境土壤动物垂直分布变化

Figure 2 Vertical distribution of soil fauna in each layer of three habitats

3 种类型样地中土壤动物的类群数均表现为土壤表层具有较高的类群数,在大于 5 cm 土壤深度,类群数减少速度趋于平缓;雷竹和慈竹样地中,土壤动物均集中分布在凋落物层。3 种类型样地的土壤动物群落分布特征基本满足以下规律:从地表向下,随土层深度的增加,土壤动物数量和类群多样性逐渐减少,并且减少的速度越来越快。

双因素方差分析结果显示(表 3):土层分布对土壤动物的群落结构具有极显著影响( $P<0.01$ ),在土

表 3 各生境土壤动物群落结构的双因素方差分析(*F* 值)

Table 3 Two-way ANOVA of soil fauna diversity (*F*)

| 项目      | 个体数      | 类群数      | <i>H'</i> | <i>J</i> | <i>C</i> | <i>I</i> <sub>DC</sub> | <i>D</i> |
|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|------------------------|----------|
| 样地类型    | 1.366    | 0.836    | 0.422     | 0.843    | 0.554    | 0.452                  | 1.259    |
| 土层      | 22.518** | 34.758** | 4.429*    | 1.124    | 0.818    | 47.731**               | 10.653** |
| 样地类型×土层 | 0.142    | 1.744    | 0.555     | 0.391    | 0.351    | 2.684*                 | 1.188    |

说明：*H'* 为 Shannon-Wiener 多样性指数，*J* 为 Pielou 均匀度指数，*C* 为 Simpson 优势度指数，*I*<sub>DC</sub> 为密度-类群指数，*D* 为 Margalef 丰富度指数。\* 表示存在显著相关性 ( $P<0.05$ )；\*\* 表示存在极显著相关性 ( $P<0.01$ )。

壤动物多样性方面，土层分布对密度-类群指数和 Margalef 丰富度指数具有极显著影响 ( $P<0.01$ )，Shannon-Wiener 多样性指数具有显著影响 ( $P<0.05$ )；样地类型对土壤动物群落结构和多样性特征影响水平低于土层分布；样地类型和土层分布的交互作用仅对密度-类群指数有显著影响 ( $P<0.05$ )。

3.4 土壤动物的多样性特征

在 3 种类型的样地中，土壤动物 Shannon-Wiener 多样性指数表现为雷竹与慈竹、农耕地间均无显著差异 ( $P>0.05$ )，但慈竹与农耕地间存在显著差异 ( $P<0.05$ )；Pielou 均匀度指数与 Simpson 优势度指数表现为各样地间均无显著差异 ( $P>0.05$ )；雷竹与慈竹样地土壤动物的密度-类群指数无显著差异 ( $P>0.05$ )，但雷竹、慈竹与农耕地间存在显著差异 ( $P<0.05$ )；3 种类型样地土壤动物 Margalef 丰富度指数均存在显著性差异 ( $P<0.05$ ，表4)。

表 4 各生境土壤动物群落的多样性、均匀度、优势度和丰富度

Table 4 Richness, diversity, evenness and dominance of soil fauna in the three habitats

| 样地类型 | <i>H'</i>      | <i>J</i>      | <i>C</i>      | <i>I</i> <sub>DC</sub> | <i>D</i>      |
|------|----------------|---------------|---------------|------------------------|---------------|
| 雷竹   | 1.99 ± 0.19 ab | 0.68 ± 0.06 a | 0.22 ± 0.06 a | 4.37 ± 0.81 a          | 2.82 ± 0.05 b |
| 慈竹   | 2.22 ± 0.22 a  | 0.71 ± 0.08 a | 0.19 ± 0.07 a | 4.70 ± 0.60 a          | 3.64 ± 0.50 a |
| 农耕地  | 1.75 ± 0.05 b  | 0.77 ± 0.08 a | 0.25 ± 0.05 a | 0.97 ± 0.29 b          | 1.84 ± 0.37 c |

说明：*H'* 为 Shannon-Wiener 多样性指数，*J* 为 Pielou 均匀度指数，*C* 为 Simpson 优势度指数，*I*<sub>DC</sub> 为密度-类群指数，*D* 为 Margalef 丰富度指数。同行不同小写字母表示不同生境间差异显著 ( $P<0.05$ )。

3.5 土壤动物类群的相似性分析

不同的立地类型其生境条件不同，必然导致土壤动物的类群分布以及多样性不同，但各生境往往又表现出具有一定的相似性<sup>[23]</sup>。本研究，采用 Sorensen 相似性指数，对 3 种生境土壤动物类群的相似性指数进行了对比。从表 5 可以看出：作为竹类，雷竹与慈竹样地的土壤动物类群具有较高的相似性，且两者间土壤动物相似性指数达到了 0.8，而雷竹与农耕地、慈竹与农耕地的相似性则较低。

表 5 各生境土壤动物类群相似性指数

Table 5 Composition index of soil fauna group in the three habitats

| 样地类型 | 雷竹    | 慈竹    | 农耕地 |
|------|-------|-------|-----|
| 雷竹   | 1     |       |     |
| 慈竹   | 0.814 | 1     |     |
| 农耕地  | 0.651 | 0.652 | 1   |

4 讨论

本次研究调查中，雷竹林和慈竹林土壤动物优势类群数量分别占总捕获量的 89.27%和 84.30%，而农耕地中优势类群占总捕获量的 97.93%，表明与雷竹和慈竹林相比，农耕地土壤动物数量集中在少数类群上，而雷竹和慈竹林受到的人为干扰小，土壤动物各类群数量较为均匀；研究发现，农耕地中未捕获到蜚螨目 Arachnoidea，这除了与农耕地周期性的扰动影响有关外，地表凋落物的缺失也是其主要原因<sup>[24]</sup>。

雷竹林土壤动物平均密度均显著高于慈竹林和农耕地 ( $P<0.05$ )，这可能与雷竹的引种改变了耕地植物多样性低及凋落物缺乏的状态有关。同时，雷竹栽植后，土壤的扰动减少，土壤的含水量和有机质

增加,使得以线虫为主的湿生土壤动物数量大幅度上升<sup>[25]</sup>,其中雷竹林土壤线虫数量分别是慈竹林和农耕地的 6.4 倍和 8.4 倍,线蚓数量分别是慈竹林和农耕地的 2.4 倍和 4.4 倍。

各样地土壤动物密度剖面及类群分布具有明显的表聚性特征,这与大多数研究结果一致<sup>[26-27]</sup>,同时,受多种因素的影响,土壤动物偶尔呈逆层分布的现象。本研究中,形成这种逆分布现象的原因可能与农耕地的耕作活动有关,导致农耕地 10~15 cm 土层中土壤动物类群数较 5~10 cm 高,另外,雷竹地下茎属单轴散生型<sup>[28]</sup>,其散生根系主要分布在 0~10 cm 层中,从而导致雷竹林土壤动物平均密度在 0~5 cm 和 5~10 cm 层较高。

土壤动物的多样性,不仅是生态环境评价的重要指标,还能反映群落的稳定性,因此,研究土壤动物的多样性对于整个生态系统的研究具有重要的意义<sup>[29-30]</sup>。多样性指数反映群落组成的复杂程度,均匀度指数则能反映各物种个体数目分配的均匀程度,较高的多样性指数和均匀度指数表明该生态系统更长的食物链以及更为复杂的种间关系<sup>[20, 31-32]</sup>。对各样地土壤动物多样性指数结果分析显示,雷竹和慈竹样地的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数均较农耕地高,表明退耕还竹后,竹林生态系统较农耕地能为土壤动物提供了更长的食物链,出现了更多的共生现象,一定程度上提高了土壤动物的多样性和丰富度。雷竹样地的密度-类群指数( $I_{DG}$ )高于农耕地,说明雷竹林生境内土壤动物多度增长的潜力大,雷竹的引种栽培对于提高该地区土壤动物群落多度具有重要作用。3 种生境中,雷竹林土壤动物的 Simpson 优势度指数介于慈竹林和农耕地间,表明雷竹引种后相对于原始迹地农耕地来说,有利于土壤动物群落各类群的生存,群落的优势度越小,生态系统中群落越复杂,且种群越多,群落的优势度也越小<sup>[30]</sup>。

土壤动物类群的相似性分析表明,雷竹和慈竹样地的相似性最高(为 0.814),高于雷竹和慈竹样地与农耕地的相似性(分别为 0.651 和 0.652),这主要是由于雷竹和慈竹具有相似的经营方式和植被生态系统,而农耕地受到人为干扰的强度和频度均较高,导致雷竹和慈竹间具有较高的相似性。

综上所述,就目前而言,引种雷竹进行退耕还竹极大地增加了土壤动物类群数和个体数,雷竹的引种对该地区土壤动物群落特征产生了一定影响。本研究通过与慈竹和农耕地的对照,初步讨论了雷竹的引种对土壤动物群落结构的影响,为了更加准确地掌握雷竹的引种对当地生态环境的影响,还应该加强对雷竹栽植密度、不同经营强度及栽植年限等因素对土壤动物群落结构的影响研究。

## 5 参考文献

- [1] 武海涛, 吕宪国, 杨青, 等. 土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展[J]. 土壤学报, 2006, **43**(2): 314 - 323.  
WU Haitao, LÜ Xianguo, YANG Qing, et al. Ecological characteristics and functions of soil fauna community [J]. *Acta Ped Sin*, 2006, **43**(2): 314 - 323.
- [2] 朱永恒, 赵春雨, 王宗英, 等. 我国土壤动物群落生态学研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, **24**(12): 1477 - 1481.  
ZHU Yongheng, ZHAO Chunyu, WANG Zongying, et al. Research on soil animal community ecology in China [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **24**(12): 1477 - 1481.
- [3] WALLWORK J A. *Ecology of Soil Animals* [M]. London: McGraw-Hill, 1970.
- [4] WOLTERS V. Biodiversity of soil animals and its function [J]. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37**(4): 221 - 227.
- [5] 陈珊, 陈双林. 集约经营对雷竹林生态系统稳定性的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2013, **30**(4): 578 - 584.  
CHEN Shan, CHEN Shuanglin. Effect of intensive cultivation management on stability of *Phyllostachys violascercs* forest ecosystem [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2013, **30**(4): 578 - 584.
- [6] 余运威, 应叶青, 任丽萍, 等. 浙江临安竹林土壤动物群落结构特征及多样性[J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(4): 581-587.  
YU Yunwei, YING Yeqing, REN Liping, et al. Community structure and biodiversity of soil animals in bamboo stands of Lin'an, Zhejiang [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(4): 581 - 587.
- [7] 黄必恒, 方伟, 许加意. 中国雷竹引种与适生区域[J]. 浙江林学院学报, 2001, **18**(1): 10 - 14.  
HUANG Biheng, FANG Wei, XU Jiayi. Division of introduction range and suitable planting areas for *Phyllostachys*

- praecox* in China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2001, **18**(1): 10 – 14.
- [8] 姜培坤, 周国模, 徐秋芳. 雷竹高效栽培措施对土壤碳库的影响[J]. 林业科学, 2002, **38**(6): 6 – 11.  
JIANG Peikun, ZHOU Guomo, XU Qiufang. Effect of intensive cultivation on the carbon pool of soil in *Phyllostachys praecox* stands [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38**(6): 6 – 11.
- [9] 董林根, 姜小娟, 方茂盛. 雷竹覆盖栽培林地土壤微生物的初步研究[J]. 浙江林学院学报, 1998, **15**(3): 236 – 239.  
DONG Linggen, JIANG Xiaojuan, FANG Maosheng. Primary study of soil microorganism in Lei bamboo forest of protected cultivation [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1998, **15**(3): 236 – 239.
- [10] 郭帅, 徐秋芳, 沈振明, 等. 雷竹林土壤氨氧化微生物对不同肥料的响应[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(3): 343 – 351.  
GUO Shuai, XU Qiufang, SHEN Zhenming, *et al.* Response of soil ammonia-oxidizing organisms on fertilization and mulch in *Phyllostachys violascercs* stands [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(3): 343 – 351.
- [11] 徐祖祥, 陈丁红, 李良华, 等. 临安雷竹种植条件下土壤养分的变化[J]. 中国农学通报, 2010, **26**(13): 247 – 250.  
XU Zuxiang, CHEN Dinghong, LI Lianghua, *et al.* A study on the change in soil nutrients under the condition of bamboo shoot planting in Lin'an [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, **26**(13): 247 – 250.
- [12] 陈珊, 陈双林, 郭子武, 等. 林地覆盖经营对雷竹叶片主要养分特征的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2014, **31**(2): 272 – 279.  
CHEN Shan, CHEN Shuanglin, GUO Ziwu, *et al.* Leaf nutrient degradation due to mulching in a *Phyllostachys violascercs* stand [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2014, **31**(2): 272 – 279.
- [13] 肖玖金, 张健, 杨万勤, 等. 巨桉 *Eucalyptus grandis* 人工林土壤动物群落对采伐干扰的初期响应[J]. 生态学报, 2008, **28**(9): 4531 – 4539.  
XIAO Jiu Jin, ZHANG Jian, YANG Wanqin, *et al.* Short-term response of soil fauna community to harvesting disturbance in *Eucalyptus grandis* plantation [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(9): 4531 – 4539.
- [14] 黄玉梅. 巨桉人工林土壤动物生态初步研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.  
HUANG Yumei. *Preliminary Study on Ecological Characteristics of Soil Fauna in Eucalyptus grandis Plantation* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2006.
- [15] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 1 – 6.
- [16] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 80 – 83.
- [17] 李鸿兴, 隋敬之, 周士秀. 昆虫分类检索[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [18] 钟觉民. 幼虫分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [19] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [20] 黄玉梅. 土壤动物群落多样性研究进展[J]. 西部林业科学, 2004, **33**(3): 63 – 68.  
HUANG Yumei. Research progress on community diversity of soil invertebrate [J]. *J West Chin For Sci*, 2004, **33**(3): 63 – 68.
- [21] 战丽莉, 许艳丽, 张兴义, 等. 耕作方式对中小型土壤动物多样性影响[J]. 生态学杂志, 2012, **31**(9): 2371 – 2377.  
ZHAN Lili, XU Yanli, ZHANG Xingyi, *et al.* Effects of tillage mode on the diversity of soil meso- and micro-fauna [J]. *Chin J Ecol*, 2012, **31**(9): 371 – 2377.
- [22] 路有成, 王宗英. 九华山土壤动物的垂直分布[J]. 地理研究, 1994, **13**(2): 74 – 81.  
LU Youcheng, WANG Zongying. Vertical distribution of soil animal on the Jiuhua Mountain [J]. *Geogr Res*, 1994, **13**(2): 74 – 81.
- [23] 殷秀琴, 吴东辉, 韩晓梅. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性的研究[J]. 地理科学, 2003, **23**(3): 316 – 322.  
YIN Xiuqin, WU Donghui, HAN Xiaomei. Diversity of soil animals community in Xiaoxing'an Mountains [J]. *Sci Geogr Sin*, 2003, **23**(3): 316 – 322.
- [24] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, **23**(1): 60 – 64.  
LIN Bo, LIU Qing, WU Yan, *et al.* Advances in the studies of forest litter [J]. *Chin J Ecol*, 2004, **23**(1): 60 – 64.
- [25] 邵元虎, 傅声雷. 试论土壤线虫多样性在生态系统中的作用[J]. 生物多样性, 2007, **15**(2): 116 – 123.



- SHAO Yuanhu, FU Shenglei. The diversity and functions of soil nematodes [J]. *Biodiversity Sci*, 2007, **15**(2): 116 – 123.
- [26] 吴东辉, 尹文英, 卜照义. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤线虫的群落特征[J]. 生态学报, 2008, **28**(1): 1 – 12.
- WU Donghui, YIN Wenying, BU Zhaoyi. Changes among soil nematode community characteristics in relation to different vegetation restoration practices in the moderate degraded grasslands of Sonanen [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(1): 1 – 12.
- [27] 张淑花, 张雪萍. 大兴安岭火烧迹地土壤动物的群落多样性[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(5): 672 – 676.
- ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping. Soil animal community diversity in the burned areas of the Great Xing'an Mountains, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2009, **15**(5): 672 – 676.
- [28] 龚祝南, 赵惠如. 国产散生竹地下茎的比较解剖观察及分类学的初步研究[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 1990, **13**(3): 62 – 69.
- GONG Zhunan, ZHAO Huiru. A comparative anatomical interstigation and systematic classification studies and rhizome of Chinese monopodial bamboos [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci*, 1990, **13**(3): 62 – 69.
- [29] 中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [30] 廖崇惠, 李健雄. 华南热带和南亚热带地区森林土壤动物群落生态[M]. 广州: 广东科技出版社, 2009.
- [31] SIMPSON E H. Measurement of diversity [J]. *Nature*, 1949, **163**(4148): 688.
- [32] PIELOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections [J]. *J Theor Biol*, 1966, **13**: 131 – 144.