

吉林省中西部平原区土壤线虫群落生态特征

吴东辉^{1,2}, 张 柏^{1,*}, 殷秀琴³, 卜照义⁴, 陈 鹏³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; 3. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024; 4. Department of Entomology, the Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA)

摘要:于 2003 年 7 月和 9 月,在吉林省中西部平原区进行土壤线虫取样,10 个采样区 28 个调查样地 2 次共捕获线虫 10220 只,个体密度平均 18250 只/m²,分别隶属于线形动物门 2 纲 7 目 20 科 32 属。真滑刃属、短体属和垫刃属为优势类群,是吉林省中西部平原区土壤线虫群落最重要的类群,稀有类群个体数量尽管很少,但分布的范围并不狭小,线虫各类群空间分布的广狭与个体数量的多寡在吉林省中西部平原区并未呈现出明显的一致性。土壤线虫群落垂直分布,受人类活动扰动的生境土壤线虫类群数和个体密度表聚性较差,土壤线虫向土壤下层移动明显;水平分布,天然林和受人类活动扰动生境土壤线虫类群数和个体密度差异显著;农田土地利用方式对土壤线虫群落特征影响总体是负面的,而居民点园地可能增加土壤线虫的类群数和生物多样性。*PPI/MI* 值对于不同人类活动对土壤生态环境的变化反映更敏感。

关键词:土壤线虫;物种丰富度;土地利用类型;吉林省中西部平原区

A survey on the ecological characteristics of soil nematodes in the mid-west plain in Jilin Province

WU Dong-Hui^{1,2}, ZHANG Bai^{1,*}, YIN Xiu-Qin³, BU Zhao-Yi⁴, CHEN Peng³ (1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Changchun 130012, China; 2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China; 3. School of Urban and Environment, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 4. Department of Entomology, the Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 59~67.

Abstract: The soil nematodes in the mid-west plain in Jilin Province were investigated with the emphasis laid on the species richness and abundance in relation to the types of land-use i. e. farm garden, farmland, Three-North Forest Shelterbelt, natural secondary forest and natural mowing pasture. The soil nematodes were extracted through Baermann extractor and were identified to the genus level with the aid of microscope.

A total of 10,220 soil nematode individuals was captured and fell into 2 classes, 7 orders, 20 families, and 32 genera. *Aphelenchus*, *Pratylenchus* and *Tylenchus* were the dominant groups that account for 62.7% of the total individuals. A considerable difference in the numbers of genera and individuals exists between the natural forest and other habitats affected by agricultural practice. The nematodes distributed evenly in the different layers of soil profile in all the habitats affected directly by humans in both samples collected in July and September except farm garden and farmland in July. In these two habitats affected intensively by agricultural activity during summer, more nematodes appeared in the lower layer of the soil profile.

These results suggest that the types of land use affect the species richness and abundance, and human activity has an impact on the soil nematode community. The Characteristics of the functional structure of the nematode communities in

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCXZ-SW-416);国家自然科学基金资助项目(40171053)

收稿日期:2004-04-25; **修订日期:**2004-09-20

作者简介:吴东辉(1971~),男,黑龙江省望奎人,博士生,主要从事土壤动物生态学研究。E-mail: huzizhangchun@sina.com

* 通信作者 Author for correspondence. E-mail: zhangbai@mail.neigae.ac.cn

致谢:感谢尹文英院士、张云美教授、梁文举研究员给予的建议和帮助

Foundation item: Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (KZCXZ-SW-416), National Natural Science Foundation of China (No. 40171053)

Received date:2004-04-25; **Accepted date:**2004-09-20

Biography: WU Dong-Hui, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil animals ecology, E-mail: huzizhangchun@sina.com

Acknowledgements: We thank Academician Yin W Y, Professor Zhang Y M, and Professor Liang W J for their advices and help

different habitats were analyzed by using MI (Maturity Index) and PPI (Plant Parasite Index) while Shannon-Wiener Index was used in analyzing the biodiversity of the nematode community. The results also showed that the ratio PPI/MI proposed by Bongers was a sensitive parameter to monitor agro-ecosystems.

Key words: soil nematodes; species richness and abundance; types of land-use; the mid-west plain in Jilin Province

文章编号: 1000-0933(2005)01-0059-09 中图分类号: Q142, Q958, S154.5 文献标识码: A

由于线虫在各类土壤中普遍存在,类群和数量丰富,群落生物多样性高,土壤线虫被看作是最重要的评价土壤质量变化的敏感性指示生物之一^[1~5]。近年来,国外土壤生态学者加强了农业生产活动对土壤线虫群落动态变化影响的研究^[6~15]。我国从20世纪80年代初开始土壤线虫生态学方面的研究^[16~22],但有关农业生产实践与土壤线虫群落动态变化关系方面的研究报道一直不多^[23~25]。

吉林中西部平原区属温带森林草原、草甸草原地带,处于生态系统从湿润森林向半干旱草原和沙漠的过渡带,是对环境变化响应比较突出的区域。本文对吉林省中西部平原区土壤线虫群落特征进行研究,目的在于了解该区土壤线虫群落组成、生态分布及土地利用方式差异对土壤线虫群落动态的影响,旨在为保护吉林省中西部平原区土壤线虫群落多样性和合理利用土壤动物资源,提高景观管理水平,促进土壤生态系统健康发展提供科学依据。

1 样地选择与研究方法

1.1 样地选择

研究区设在吉林省中西部平原区,该区属温带半湿润森林草原黑土、草甸草原黑钙土地带,降水集中在6~9月份。中部亚地带年均降水量500mm以上,干燥度1.0~1.1,原生植被为森林草原,地带性土壤为黑土。西部亚地带年均降水量350~500mm,干燥度1.1~1.49,原生植被为草甸草原,地带性土壤为黑钙土。

中部亚地带研究样地设在长春市、扶余市、德惠市、公主岭市黑土区,选择典型土地利用方式:农田、居民点园地和“三北”防护林调查取样,长春市净月潭天然次生林作为本底对照样地;西部亚地带研究样地设在白城市、大安市黑钙土区和长岭县风沙土区,选择典型土地利用方式:农田、居民点园地和“三北”防护林调查取样,本底对照样地设在大安市大岗乡姜家甸天然割草场。

因为吉林省中西部平原区的农田主要农作物为玉米,“三北”防护林以杨树纯林为主,因此研究区农田样地设在玉米田,防护林样地设在农田周围的杨树林。中部天然次生林对照样地设在净月潭国家森林公园蒙古栎(*Quercus mongolica*) + 紫椴(*Tilia amurensis*)林和杂木林群落,同时因为净月潭人工长白落叶松林(*Larx olgensis*)群落面积较大,保育时间在30a以上,1个调查样地设在长白落叶松林,西部天然割草场对照样地设在姜家甸草场天然羊草(*Anerolpidium chinense*)群落。

1.2 样品采集与处理

于2003年7月、9月,在研究区2次分别对扶余市三岔河镇、德惠市沃皮乡、长春市城西乡、公主岭市南崴子乡、白城市史家屯、大安市大安北镇、大安市大岗乡、长岭县太平川镇农田、防护林和居民点园地以及长春市净月潭国家森林公园和大安市大岗乡姜家甸天然割草场共10个采样区28个典型样地进行土壤线虫取样。每个样地随机取4个样方,每个样方面积5cm×5cm,分0~5cm,5~10cm,10~15cm三层采样(净月潭森林群落取凋落物层),2次共取土样696个。Baermann法实验室分离提取土壤线虫,显微镜下分析鉴定,线虫标本依据尹文英等《中国土壤动物检索图鉴》鉴定^[26],一般鉴定到属,同时统计个体数量。

1.3 数据处理

各类群数量优势度的划分:个体数占总捕获量的10%以上者为优势类群(+++),个体数占总捕获量1%~10%为常见类群(++),个体数占总捕获量的1%以下为稀有类群(+)^[17,27,28]。

根据线虫的头部形态学特征和取食生境将土壤线虫分为以下4个功能(营养)类群:食细菌类群(Bacterivores)、食真菌类群(Fungivores)、植物寄生类群(Plant parasites)、捕食类群/杂食类群(Predators/Omnivores)^[6,11,24]。

本文采用MI(maturity index)指数、PPI(plant parasite index)指数和 $\sum MI$ 指数表达各生境土壤线虫群落功能结构特征^[5,6,11,29~31],其3个指数计算公式形式相同,公式如下:

$$(1) MI \text{ 指数}(PPI \text{ 指数、} \sum MI \text{ 指数}) \quad MI(PPI, \sum MI) = \sum_{i=1}^n c p_i \times p_i$$

式中, $c p_i$ 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第*i*类群 colonizer-persister 值; n 为非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫类群数; P_i 为土壤线虫群落非植物寄生性(植物寄生性)土壤线虫第*i*类群的个体数占群落总个体数的比例。

本文采用Shannon-Wiener指数、DG指数和 C_j 指数计算各生境土壤线虫群落多样性。公式如下:

$$(2) \text{Shannon-Wiener 指数公式}^{[11,32,33]} \quad H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

P_i 为土壤线虫群落第 i 类群个体数占总个体数的比例; s 为土壤线虫群落所有类群数。

$$(3) DG \text{ 指数公式}^{[34]} \quad DG = (g/G) \sum_{i=1}^g \left(\frac{D_i C_i}{D_{i\max} C} \right)$$

式中, D_i 为土壤线虫群落第 i 类群个体数; $D_{i\max}$ 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 为各群落包含的总类群数, C_i/C 为 C 个群落中第 i 个类群出现的比率。

$$(4) C_j \text{ 指数公式}^{[28]} \quad C_j = H' r_j$$

$$r_j = A_j / A$$

$$A_j = (1/S_j) \sum_{i=1}^s (N_{ij}/N_i)$$

式中, N_{ij} 为群落 j 中类群 i 的个体数, N_i 为所有群落中类群 i 的总个体数, S_j 为群落 j 的类群数, S 为各群落的总类群数, A_j 为群落 j 中各类群群落间相对丰度的平均值, A 为各群落的平均个体丰盛度 [$A = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$]。

(5) 同时计算 Margalef 丰富度 (SR) 指数和 Pielou 均匀度 (J) 指数^[11,25]。

2 结果与分析

2.1 土壤线虫群落类群和个体数量组成

两次共捕获土壤线虫 10220 只, 个体密度平均 18250 只/ m^2 , 分别隶属于线形动物门 2 纲 7 目 20 科 32 属(表 1)。真滑刃属 *Aphelenchus*、短体属 *Pratylenchus* 和垫刃属 *Tylenchus* 为优势类群, 个体数占总捕获个体量 62.7%; 常见类群包括散香属 *Boleodorus* 等 10 属, 个体数占总捕获个体量 33.0%; 稀有类群类群数较多, 包括拟丽突属 *Acrobeloides* 等共 19 属, 占总捕获类群数 59.4%, 但个体数很少, 仅占总捕获个体数 4.3%。

中部亚地带共捕获土壤线虫 27 属、6989 只; 优势类群为真滑刃属、短体属和垫刃属, 共占中部总捕获个体数 63.0%; 常见类群包括散香属等 8 属, 共占中部总捕获个体数 29.0%; 稀有类群 16 属, 共占中部总捕获个体数 8.0%。西部亚地带共捕获土壤线虫 30 属、3231 只; 优势类群为真滑刃属和短体属, 共占西部总捕获个体数 58.5%; 常见类群包括垫刃属等 11 属, 共占西部总捕获个体数 37.3%; 稀有类群 17 属, 共占西部总捕获个体数 4.2%。

2.2 不同生境土壤线虫群落特征

2.2.1 线虫群落类群与个体密度垂直分布 表 2 数据表明, 中部天然林土壤线虫群落个体密度和类群数总体随土壤深度的增加而递减, 凋落物层线虫个体密度远大于其他土壤层, 表聚性明显; 其他生境土壤线虫群落个体密度、类群数在土壤中的垂直分布, 只有西部防护林 7 月线虫类群数和个体密度、中部居民点园地 9 月线虫类群数和个体密度、中部防护林 9 月线虫类群数和个体密度、西部居民点 9 月线虫个体密度和类群数保持随土壤深度的增加而递减, 其余生境线虫个体密度和类群数随土壤深度的增加均有不同程度增加, 其中 7 月居民点园地和农田增加最为明显, 显然耕作、施肥等农业生产活动影响了线虫群落垂直分布特征。

2.2.2 线虫群落类群与个体密度水平分布 中部土壤线虫群落个体密度空间分布, 天然林 > 防护林 > 居民点 > 农田, 天然林土壤线虫个体密度显著高于其他生境(图 1), 防护林、居民点园地和农田土壤线虫个体密度之间比较, 方差分析差异显著 ($F = 4.543, F_{0.05} = 4.26$), 多重比较, 防护林与农田间差异显著, 居民点园地和农田、防护林间无显著差异。

西部土壤线虫群落个体密度空间分布, 天然割草场 > 防护林 > 居民点 > 农田, 4 种生境土壤线虫个体密度分布彼此间较为均匀, 方差分析无显著性差异 ($F = 1.175, F_{0.05} = 3.49$); 由于天然割草场存在季节性的人为割草现象, 西部防护林又不是地带性植被, 土壤线虫群落个体密度的增长受到了一定限制。上述结果表明, 农田和居民点园地的农业生产活动会减少线虫个体密度。

土壤线虫群落类群数空间分布, 居民点园地在各自中、西部亚地带都是最高, 其次是防护林, 中部天然林、农田、西部天然割草场和农田生境土壤线虫类群数不高, 其中西部居民点园地土壤线虫群落类群数在所有生境中最高; 总体看农田生产减少土壤线虫群落类群数, 但是居民点园地人类扰动却增加了土壤线虫群落类群数, 说明人类扰动对土壤线虫群落特征是可以有正面效应的。

2.2.3 线虫群落类群与个体密度月份间变化 各生境土壤线虫群落类群数与个体密度存在月份波动。生境间比较, 线虫群落个体密度除中部天然林线虫 9 月份有大幅下降外, 其余中西部各生境线虫个体密度普遍升高, 中部各生境土壤线虫个体密度升幅小于西部, 中部升幅最大为农田, 西部升幅最大为防护林和天然割草场; 类群数方面, 中西部各生境土壤线虫类群数 9 月份与 7 月份相比普遍升高, 农田生境升幅最大, 中部天然林和西部天然割草场升幅最小。

不同土壤层次比较, 线虫个体密度只有中部天然林凋落物层、中部防护林 5~10cm 土壤层、居民点园地 10~15cm 土壤层、西部防护林 0~5cm 土壤层和居民点园地 10~15cm 土壤层 4 个层次 9 月份有不同程度下降(表 2), 其中中部天然林 9 月份凋

落物层线虫个体密度下降最为显著,降幅达 53.1%;其他不同土壤层线虫类群数和个体密度 9 月份普遍高于 7 月份,中部天然林 9 月份 0~5cm 层次个体数升高最大,升幅超过 200.0%。类群数方面,中西部各土壤层土壤线虫类群数 9 月份与 7 月份相比普遍升高。

表 1 吉林省中西部平原区土壤线虫类群与个体数量

Table 1 Individuals and groups of soil nematodes communities in the mid-west plain in Jilin Province

| 土壤线虫名称 Name of soil nematode | 中部 Middle part | | 西部 West part | | 合计 Total | |
|---------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | 个体数 Individuals | 优势度 Dominance | 个体数 Individuals | 优势度 Dominance | 个体数 Individuals | 优势度 Dominance |
| 真滑刃属 <i>Aphelenchus</i> | 2541 | +++ | 1419 | +++ | 3960 | +++ |
| 短体属 <i>Pratylenchus</i> | 873 | +++ | 470 | +++ | 1343 | +++ |
| 垫刃属 <i>Tylenchus</i> | 987 | +++ | 117 | ++ | 1104 | +++ |
| 散香属 <i>Boleodorus</i> | 443 | ++ | 213 | ++ | 656 | ++ |
| 小杆属 <i>Rhabditis</i> | 356 | ++ | 243 | ++ | 599 | ++ |
| 裸矛属 <i>Psilenchus</i> | 502 | ++ | 77 | ++ | 579 | ++ |
| 绕线属 <i>Plectus</i> | 366 | ++ | 203 | ++ | 569 | ++ |
| <i>Tylenchorhynchus</i> | 182 | ++ | 48 | ++ | 230 | ++ |
| 板唇属 <i>Chiloplacus</i> | 125 | ++ | 69 | ++ | 194 | ++ |
| 盘旋属 <i>Rotylenchus</i> | 125 | ++ | 51 | ++ | 176 | ++ |
| 鹿角唇属 <i>Cervidellus</i> | 66 | + | 72 | ++ | 138 | ++ |
| <i>Aphelenchoides</i> | 58 | + | 66 | ++ | 124 | ++ |
| <i>Diphtherophora</i> | 58 | + | 46 | ++ | 104 | ++ |
| <i>Acrobeloides</i> | 70 | ++ | 24 | + | 94 | + |
| 伊龙属 <i>Ironus</i> | 62 | + | 8 | + | 70 | + |
| 环属 <i>Criconema</i> | 51 | + | 8 | + | 59 | + |
| <i>Helicotylenchus</i> | 19 | + | 17 | + | 36 | + |
| 异色矛属 <i>Achromadora</i> | 12 | + | 24 | + | 36 | + |
| 孔咽属 <i>Aporcelaimus</i> | 20 | + | 14 | + | 34 | + |
| 针属 <i>Paratylenchus</i> | 20 | + | 7 | + | 27 | + |
| 基齿属 <i>Iotonchus</i> | 12 | + | 10 | + | 22 | + |
| <i>Nothotylenchus</i> | 17 | + | 3 | + | 20 | + |
| 色矛属 <i>Chromadorita</i> | 16 | + | 2 | + | 18 | + |
| 矮齿属 <i>Mylonchulus</i> | 4 | + | 5 | + | 9 | + |
| 剑属 <i>Xiphinema</i> | | | 7 | + | 7 | + |
| 似绕线属 <i>Anaplectus</i> | 1 | + | 3 | + | 4 | + |
| <i>Paracyatholaimus</i> | | | 2 | + | 2 | + |
| <i>Mesodorylaimus</i> | 2 | + | | | 2 | + |
| 单齿属 <i>Mononchus</i> | | | 1 | + | 1 | + |
| <i>Teratocephalus</i> | | | 1 | + | 1 | + |
| 头叶属 <i>Cephalobus</i> | 1 | + | | | 1 | + |
| 三等齿属 <i>Pelodera</i> | | | 1 | + | 1 | + |
| 合计 Total | 6989 | | 3231 | | 10220 | |

各生境土壤层次 9 月份土壤类群数和个体密度下移可能与气候变化有关,但整体升高的原因不明,除居民点园地和农田生境线虫类群数与个体密度 9 月份各层次整体升高,可能与农业生产活动减少有关,其他环境因素和土壤线虫生物学特性也可能影响这一结果,需要进一步研究。Yeates 和 Bird 通过研究相同土壤条件下不同农业管理方式对土壤线虫群落的影响,认为分析线虫群落多样性时除了考虑环境因素的影响外,时间因子也必须予以关注^[12]。

2.2.4 线虫群落功能结构 采用 $\sum MI$ 指数、 MI 指数、 PPI 指数和 PPI/MI 值研究不同土地利用方式下吉林中西部平原区土壤线虫群落功能结构的差异。功能(营养)类群划分和 cp 值的确定见表 3。 $\sum MI$ 指数、 MI 指数、 PPI 指数和 PPI/MI 值计算结果见表 4。

$\sum MI$ 指数分布,7 月份中部防护林>农田>天然林>居民点园地,西部防护林>居民点园地>农田>天然割草场;9 月份中部农田>居民点园地>防护林>天然林,西部天然割草场>防护林>农田>居民点园地。季节变化,9 月份中部农田和居

民点园地均有较大升幅。中部各月 $\sum MI$ 指数农田相对较高,天然林相对较低,西部防护林相对较高,农田相对较低。

表 2 吉林省中西部平原区土壤线虫群落垂直生态分布

Table 2 Vertical distribution of soil nematodes communities in the mid-west plain in Jilin Province

| | 7 月 Jul. | | | | | | 9 月 Sep. | | | | | |
|-----|----------|------|--------|------|---------|------|----------|-------|--------|------|---------|------|
| | 0~5cm | | 5~10cm | | 10~15cm | | 0~5cm | | 5~10cm | | 10~15cm | |
| | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B |
| NSF | 12 | 5700 | 11 | 5100 | 10 | 1067 | 19 | 16767 | 15 | 5267 | 13 | 2000 |
| ZFS | 14 | 6375 | 11 | 6750 | 16 | 5550 | 20 | 7100 | 19 | 5950 | 19 | 5750 |
| ZFY | 11 | 3650 | 11 | 1825 | 14 | 3800 | 19 | 6200 | 17 | 3200 | 14 | 1500 |
| ZFL | 7 | 950 | 6 | 650 | 11 | 1175 | 17 | 2700 | 15 | 2575 | 18 | 2625 |
| XMP | 9 | 5100 | 7 | 6800 | 8 | 2400 | 11 | 7400 | 8 | 7100 | 10 | 7300 |
| XFS | 15 | 9775 | 10 | 2525 | 6 | 675 | 18 | 5325 | 16 | 8625 | 18 | 7175 |
| XFY | 14 | 3925 | 20 | 1625 | 11 | 5275 | 13 | 6825 | 20 | 5425 | 18 | 4125 |
| XFL | 3 | 225 | 9 | 1175 | 9 | 1500 | 15 | 1575 | 13 | 2900 | 15 | 3075 |

* (1)NSF 中部天然次生林 Natural secondary forest of middle part; ZFS 中部“三北”防护林 Three-North Forest Shelterbelt of middle part; ZFY 中部居民点园地 Farmyard of middle part; ZFL 中部农田 Farmland of middle part; XMP 西部天然割草场 Natural mowing pasture of west part; XFS 西部“三北”防护林 Three-North Forest Shelterbelt of west part; XFY 西部居民点园地 Farmyard of west part; XFL 西部农田 Farmland of west part; (2)中部天然林凋落物层 7 月捕获线虫 15 属,密度 71567 只/m², 15 genera and 71567 individuals/m² captured in the litter layer of NSF in Jul., 9 月捕获线虫 15 属,密度 33600 只/m², 15 genera and 33600 individuals/m² captured in the litter layer of NSF in Sep.; (3)A 类群数 Genus numbers, B 个体密度(只/m²) Individual density(individuals/m²);下同 the same below

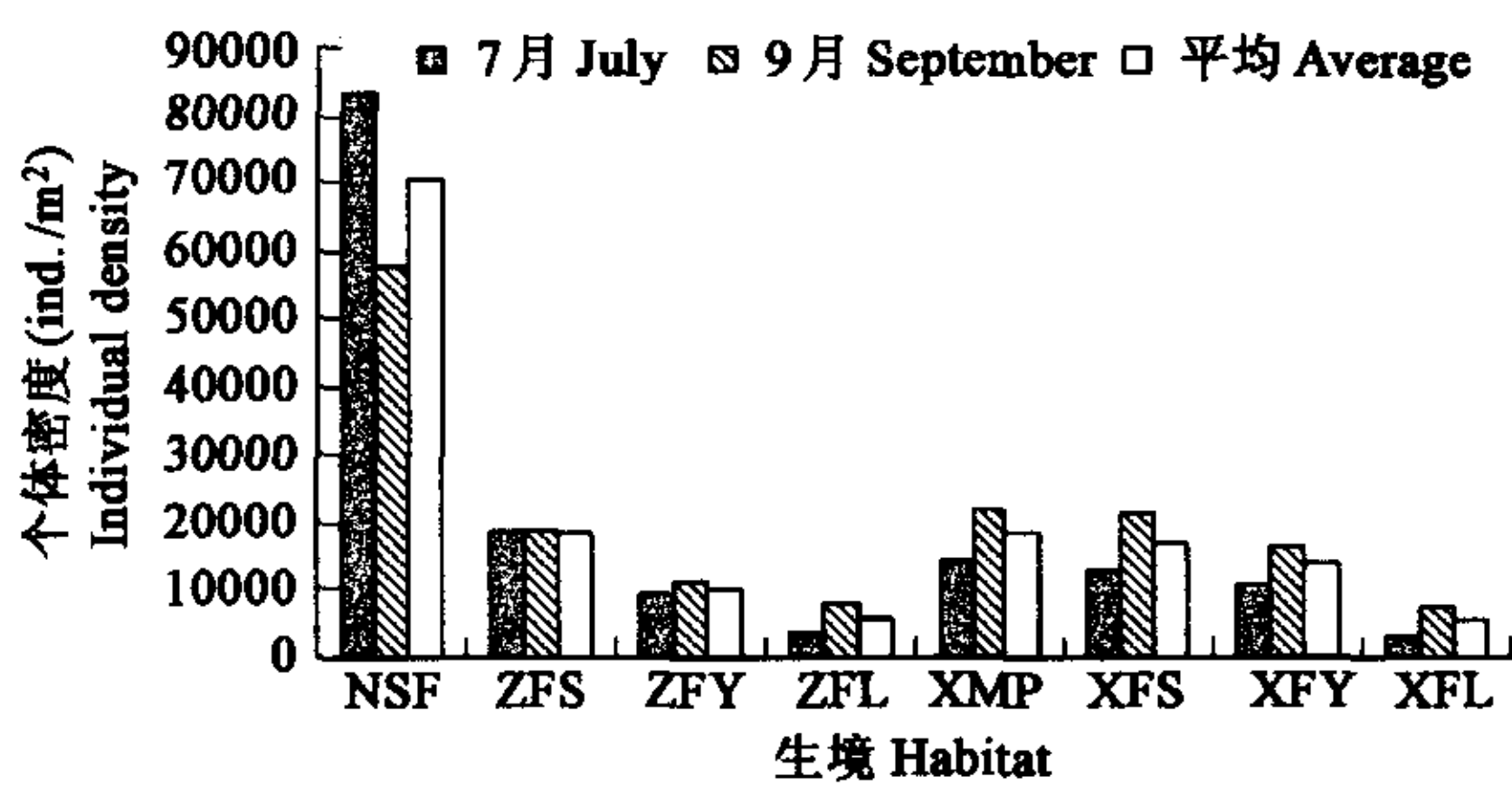


图 1 吉林省中西部平原区土壤线虫群落个体密度

Fig. 1 Individual density of soil nematodes communities in the mid-west plain in Jilin Province

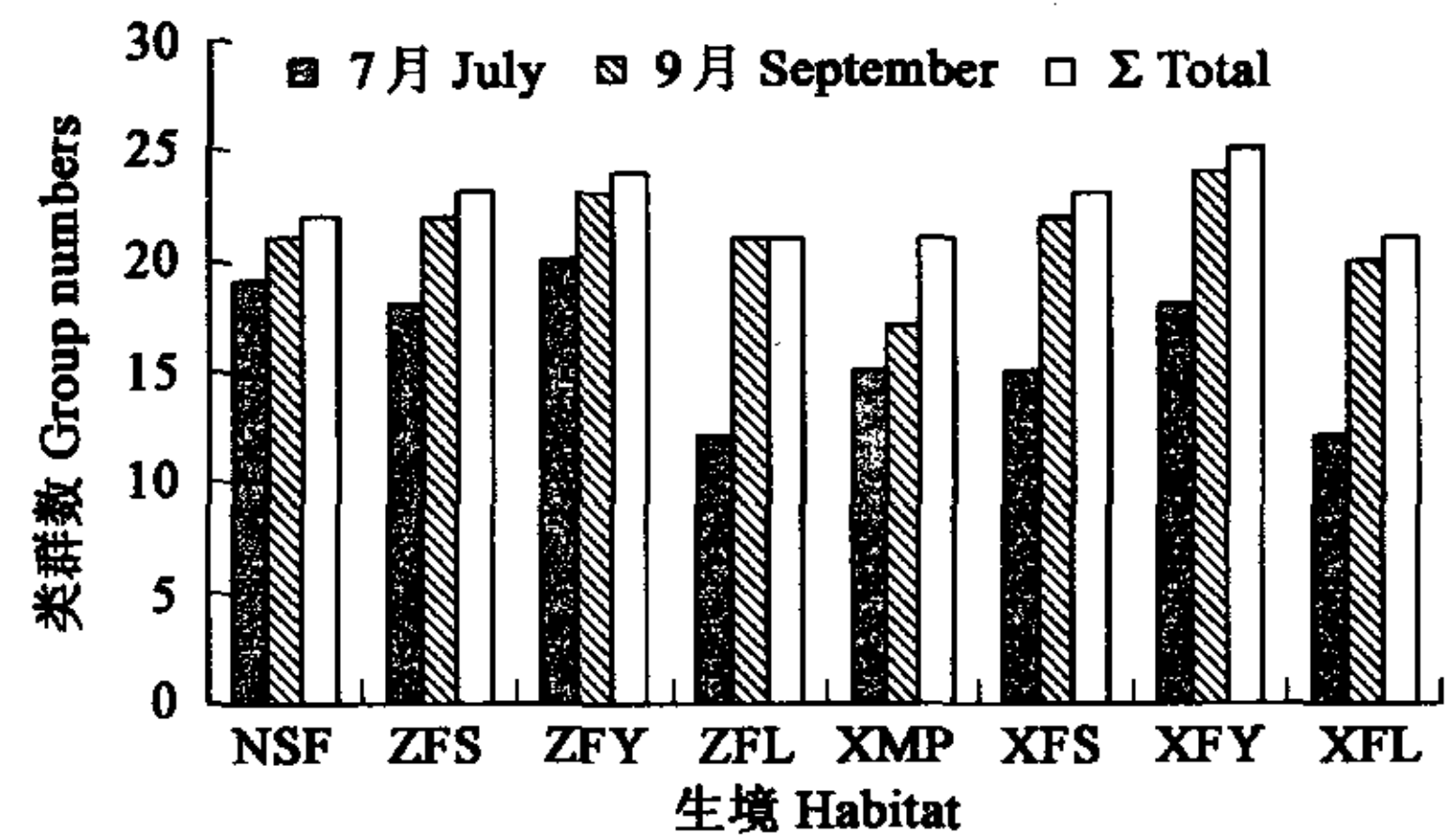


图 2 吉林省中西部平原区土壤线虫群落类群数

Fig. 2 Group numbers of soil nematodes communities in the mid-west plain in Jilin Province

表 3 吉林省中西部平原区土壤线虫功能类群划分与 cp 值确定

Table 3 Functional groups and cp values of soil nematodes in the mid-west plain in Jilin Province

| 属名 Genus | Guild | 属名 Genus | Guild | 属名 Genus | Guild | 属名 Genus | Guild |
|---------------------|-------|-------------------------|-------|-----------------------|-------|-------------------------|-------|
| <i>Pelodera</i> | Ba1 | <i>Teratocephalus</i> | Ba3 | <i>Iotonchus</i> | PO4 | <i>Tylenchus</i> | H2 |
| <i>Rhabditis</i> | Ba1 | <i>Aphelenchoides</i> | Fu2 | <i>Mononchus</i> | PO4 | <i>Paratylenchus</i> | H2 |
| <i>Cephalobus</i> | Ba2 | <i>Aphelenchus</i> | Fu2 | <i>Mesodorylaimus</i> | PO5 | <i>Helicotylenchus</i> | H3 |
| <i>Plectus</i> | Ba2 | <i>Paracyatholaimus</i> | PO3 | <i>Aporcelaimus</i> | PO5 | <i>Criconema</i> | H3 |
| <i>Chiloplacus</i> | Ba2 | <i>Achromadora</i> | PO3 | <i>Ironus</i> | PO5 | <i>Rotylenchus</i> | H3 |
| <i>Cervidellus</i> | Ba2 | <i>Chromadorita</i> | PO3 | <i>Boleodoris</i> | H2 | <i>Tylenchorhynchus</i> | H3 |
| <i>Acrobeloides</i> | Ba2 | <i>Diphtherophora</i> | PO3 | <i>Nothotylenchus</i> | H2 | <i>Pratylenchus</i> | H3 |
| <i>Anaplectus</i> | Ba2 | <i>Mylonchulus</i> | PO4 | <i>Psilenchus</i> | H2 | <i>Xiphinema</i> | H5 |

(1) Ba 食细菌类群 Bacterivores;Fu 食真菌类群 Fungivore);PO 捕食类群/杂食类群 Predators/Omnivores;H 植物寄生类群 Plant parasites; (2) 功能类群所附数字为 cp 值 Suffixed numbers of functional groups are cp values^[6,7,30]

MI 指数分布,7 月份中部天然林>防护林>农田>居民点园地,西部防护林>居民点园地>农田>天然割草场;9 月份中部天然林>农田>防护林>居民点园地,西部防护林>天然割草场>农田>居民点园地。季节变化,9 月份中部天然林升幅最大,西部居民点园地降幅最大。中部各月 MI 指数天然林最高,居民点园地最低;西部各月防护林最高,农田相对较低。MI 指数

表 4 吉林省中西部平原区土壤线虫群落功能结构特征

Table 4 Functional structure of soil nematodes communities in the mid-west plain in Jilin Province

| 项目 Item | | NSF | ZFS | ZFY | ZFL | XMP | XFS | XFY | XFL |
|-----------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\sum MI$ 指数 | C* | 2.7974 | 3.0870 | 2.6846 | 2.8741 | 2.9441 | 3.1060 | 3.0993 | 3.0000 |
| $\sum MI$ index | D | 2.9063 | 3.0359 | 3.0780 | 3.1108 | 3.0413 | 3.0402 | 3.0107 | 3.0364 |
| MI 指数 | C | 3.3458 | 3.3211 | 3.0206 | 3.1667 | 3.1839 | 3.4006 | 3.2820 | 3.2787 |
| MI index | D | 3.5972 | 3.2660 | 3.1719 | 3.2766 | 3.2597 | 3.3070 | 3.0895 | 3.2150 |
| PPI 指数 | C | 2.2710 | 2.7032 | 2.3164 | 2.3922 | 2.5714 | 2.5829 | 2.6641 | 2.6909 |
| PPI index | D | 2.3424 | 2.6525 | 2.5948 | 2.6296 | 2.5156 | 2.5243 | 2.7500 | 2.6023 |
| PPI/MI 值 | C | 0.6788 | 0.8140 | 0.7669 | 0.7554 | 0.8076 | 0.7595 | 0.8117 | 0.8207 |
| PPI/MI -ratio | D | 0.6512 | 0.8122 | 0.8181 | 0.8025 | 0.7717 | 0.7633 | 0.8901 | 0.8094 |

* C 7月 Jul.; D 9月 Sep.;下同 the same below

PPI 指数分布,7月份中部防护林>农田>居民点园地>天然林,西部农田>居民点园地>防护林>天然割草场;9月份中部防护林>农田>居民点园地>天然林,西部居民点园地>西部农田>防护林>天然割草场。季节间各生境升降幅度不大。中部 PPI 指数各月防护林最高,天然林最低,西部各月农田和居民点园地相对较高,防护林和天然割草场相对较低。

PPI/MI 值分布,7月份中部防护林>农田>居民点园地>天然林,西部西部农田>居民点园地>天然割草场>防护林;9月份中部居民点园地>防护林>农田>天然林,西部居民点园地>农田>天然割草场>防护林。月份间各生境升降幅度不大。中部各月天然林 PPI/MI 值最小,西部防护林和天然割草场最小。总体上,中西部各月西部 PPI/MI 值高于中部。

2.2.5 线虫群落生物多样性 生物多样性是群落生物组成结构的重要指标,反映群落内物种的多少和生态系统食物网的复杂程度,从而反映各生境间的相似性及差异性。有两个参数与群落多样性密切相关,即群落丰富度和群落均匀度,一方面,群落内组成类群愈丰富,则多样性越大,另一方面,群落内个体在类群间分配越均匀,即群落均匀度越大,则群落多样性越大^[35]。采用 H' 指数、 DG 指数和 C_j 指数计算各生境土壤动物群落多样性,计算结果见表 5。

表 5 吉林省中西部平原区土壤线虫群落多样性

Table 5 Diversity of soil nematodes in the mid-west plain in Jilin Province

| | | NSF | ZFS | ZFY | ZFL | XMP | XFS | XFY | XFL |
|-------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| C_j 指数 | C | 2.1777 | 0.5651 | 0.9466 | 0.1564 | 1.1373 | 0.8178 | 1.0933 | 0.2330 |
| C_j index | D | 1.1521 | 1.0796 | 0.9386 | 0.6787 | 0.4314 | 0.8613 | 0.8415 | 0.7946 |
| DG 指数 | C | 6.779 | 2.6513 | 2.1406 | 0.3871 | 0.5073 | 1.1639 | 1.9351 | 0.3112 |
| DG index | D | 5.9343 | 5.1287 | 3.0198 | 2.4268 | 1.0735 | 5.2033 | 3.6971 | 1.5107 |
| H' 指数 | C | 0.8713 | 0.8248 | 1.0088 | 0.7965 | 0.7919 | 0.7888 | 0.8242 | 0.8067 |
| H' index | D | 0.8429 | 0.9887 | 0.9179 | 0.9452 | 0.8876 | 0.9316 | 0.7941 | 0.8608 |
| SR 指数 | C | 5.2965 | 5.9165 | 7.3948 | 5.1635 | 6.4955 | 5.1562 | 6.4481 | 5.3283 |
| SR index | D | 6.1771 | 7.3013 | 8.3350 | 8.0010 | 6.8421 | 7.1749 | 8.1669 | 7.6613 |
| J 指数 | C | 0.6814 | 0.6571 | 0.7754 | 0.7381 | 0.6733 | 0.6707 | 0.6566 | 0.7475 |
| J index | D | 0.6375 | 0.7365 | 0.6741 | 0.7149 | 0.7214 | 0.6939 | 0.5754 | 0.6616 |

从表 5 数据看,丰富度指数 9 月份与 7 月份相比各生境都是升高,而均匀度指数是中部天然林和中西部居民点园地 3 个生境数值降低。 C_j 指数月份间升降与群落丰富度和均匀度的变化矛盾:西部天然割草场 C_j 指数 9 月份丰富度和均匀度都升高,但群落多样性却有所下降。 DG 指数在设计上考虑表达群落丰富度,却出现了中部天然林 9 月份丰富度升高,群落多样性下降的情况。 H' 指数在表达土壤线虫群落多样性时,考虑了群落丰富度和均匀度变化对多样性结果的影响。国外学者普遍运用 H' 指数与 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数相结合说明土壤线虫群落的多样性^[11]。

各生境 H' 指数空间分布,7月份中部居民点园地>天然林>防护林>农田,西部居民点园地>农田>天然割草场>防护林;9月份中部防护林>农田>居民点园地>天然林,9月份西部防护林>天然割草场>农田>居民点园地。月份变化,中西部各生境 H' 指数 7 月份和 9 月份相比升降幅度不大,其中只有西部天然割草场、中西部防护林和农田生境土壤线虫群落生物多样性 9 月份升高。居民点园地 7 月份生产活动增加了土壤线虫群落的多样性,经过一段时间的恢复,农田玉米生长、天然割草场恢复和防护林下草本群落的生长使植被盖度增加,环境质量有所改善,群落生物多样性得到提高,而居民点园地由于地面植被秋季被清除,地表环境恶化,导致群落多样性下降,天然林群落 9 月份群落多样性的下降主要是由于凋落物层环境的变化造成的。不同土地利用方式对于土壤线虫群落生物多样性的空间分布和季节变化有一定的影响。

3 讨论

吉林省中西部平原区真滑刃属、短体属、垫刃属共占总捕获量的 62.7%,综合优势度与空间分布两个方面的特征,可以认为真滑刃属、短体属、垫刃属是吉林省中西部平原区最重要的类群,少量优势科/属对土壤线虫群落特征起着至关重要的作用^[25]。稀有类群个体数量尽管很少,但分布的范围并不狭小,线虫各类群空间分布的广狭与个体数量的多寡在吉林省中西部平原区并未呈现出明显的一致性。

一个地区的生物类群、个体数量组成和生物多样性与环境资源的丰度密切相关。海南尖峰岭热带原始森林采集土壤线虫 63 属,北京小龙门暖温带落叶阔叶林采集土壤线虫 57 属,吉林长白山温带原始阔叶红松林采集土壤线虫 44 属^[21],黑龙江中部黑土区玉米田采集土壤线虫 16 属^[24]。本研究吉林中西部平原区采集土壤线虫 32 属,低于热带雨林、暖温带落叶阔叶林和同温度带的长白山原始阔叶红松林,高于同温度带黑龙江中部黑土区玉米田。吉林省中西部平原区土壤线虫群落多样性(H' 指数)也低于上述森林群落。

研究区线虫类群数和生物多样性低于尖峰岭热带雨林、小龙门暖温带落叶阔叶林和长白山原始阔叶红松林的原因,主要是尖峰岭、小龙门和长白山森林群落环境保持稳定时间长,林下凋落物厚,环境条件优越,土壤线虫群落受扰动小,而吉林省中西部平原区农田和居民点园地存在周期性的农业活动,即使中部天然次生林样地未受人类活动干扰,植被保持稳定时间仍然远短于东部森林,此外西部天然割草场存在每年周期性的割草活动,这都无助于研究区土壤线虫群落类群数和生物多样性的提高。

MI 指数和 PPI 指数最早由 Bongers 1990 年提出,反映土壤线虫群落功能结构特征,用以评价植被变化、农业活动、酸雨、各种污染等人类干扰活动对土壤线虫群落的影响,衡量土壤生态系统物质循环和能量流动状态^[29],后来 Yeates 又提出了 $\sum MI$ 指数^[11]。表 5 数据表明, MI 指数、 PPI 指数和 $\sum MI$ 指数存在空间变化和季节波动,但与吉林中西部平原区不同土地利用方式间并没有明显的相关性。

PPI/MI 值的应用是 Bongers 1997 年提出的,他认为农耕和施肥会使土壤线虫群落 PPI/MI 值升高,未受扰动的自然环境的土壤线虫群落 PPI/MI 值将低于耕作土壤,在一定条件下 PPI/MI 值反映土壤生态系统对外界干扰恢复程度可能更敏感^[30]。吉林省中西部平原区各生境 PPI/MI 值变化中部各月天然林 PPI/MI 值最小,西部防护林和天然割草场最小,基本符合客观实际,反映了土地利用方式对土壤线虫产生了影响,耕作和施肥减少了非植物寄生性线虫的类群数和个体数量,天然林和防护林以及天然割草场由于没有土壤结构改变和施肥活动,土壤线虫群落功能类群间关系较为稳定,植物寄生性、捕食性和自由生活线虫的类群数和个体密度比相对稳定, PPI/MI 值小是必然的。西部 PPI/MI 值整体高于中部,显示西部人类干扰对土壤线虫群落功能类群影响大于中部。

梁文举研究黑龙江省黑土区玉米田施肥对土壤线虫生物多样性影响,发现在玉米生长前期,施肥处理与对照样地土壤线虫群落多样性指数变化很大,而从灌浆期到收获期,处理与对照样地群落多样性变化不大^[24]。研究区农田土壤线虫群落月份变化特点与黑龙江省黑土区玉米田一致。Wasilewska 研究了农业活动对草地土壤线虫群落演替干扰,认为受干扰程度越大、发育时间越短的草地土壤线虫群落类群数和个体密度越小,生物多样性越低^[36]。西部天然割草场群落特征与其他西部生境差异不显著的原因,可能就是由于每年周期性的割草活动限制了土壤线虫群落的演替和发展。

最后需要补充说明的是,由于本文研究涉及不同类型的自然土壤以及耕作土壤,为了研究方便,采取了统一的土壤分层方法进行统计分析,这样土壤线虫群落垂直生态特征研究结果势必受到一定的影响。此外,为了更深入探讨不同土地利用方式对于土壤线虫群落生态特征的影响,对土壤线虫生存的土壤环境进行研究也是必要的,限于篇幅相关方面的研究结果将在后续论文中报道。

References:

- [1] Schloter M, Dilly O, Munch J C. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, **98**: 255~262.
- [2] Ferris M, Matute M M. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology*, 2003, **23**: 93~110.
- [3] Urzelai A, Hernandez A J, Pastor J. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 2000, **247**: 253~261.
- [4] Pate E, Ndiaye-Faye N, Thioulouse J, et al. Successional trends in the characteristics of soil nematode communities in cropped and fallow lands in Senegal (Sonkorong). *Applied Soil Ecology*, 2000, **14**: 5~15.
- [5] Bongers T, Bongers M. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 1998, **10**: 239~251.
- [6] Ferris H, Venette R C, Scow K M. Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Applied Soil Ecology*, 2004, **25**: 19~35.

- [7] Berkelmans R, Ferris H, Tenuta M. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology*, 2003, **23**: 223~235.
- [8] Ekschmitt K, Bakony G, Bongers M. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. *European Journal of Soil Biology*, 2001, **37**: 263~268.
- [9] Fu S L, Coleman D C, Hendrix P F. Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, **32**: 1731~1741.
- [10] Porazinska D L, Duncan L W, McSorley R, *et al.* Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. *Applied Soil Ecology*, 1999, **13**: 69~86.
- [11] Yeates G W, Bongers T. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, **74**: 113~135.
- [12] Yeates G W, Bird A F. Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode faunae of some South Australian soils. *Fundamental and Applied Nematology*, 1994, **17**: 133~145.
- [13] Freckman D W, Ettema C H. Assessing nematode communities in agri-ecosystems of varying human intervention. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1993, **45**: 239~261.
- [14] Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, **83**: 14~19.
- [15] Sohlenius B, Bostrom S, Sandor A. Long-term dynamics of nematode communities in arable soil under four cropping systems. *Journal of Applied Ecology*, 1987, **24**: 131~144.
- [16] Zhang Y Z, Chen P, Yang M X, *et al.* Soil animals primary investigation of forest eco-system in northern slope of Changbai Mountain. In: Zhao X L, *et al.* eds. *Studies on ecological zoo geography*. Chengdu: Chengdu Map Press, 1996. 224~242.
- [17] Chen P, Sun F, Bu Z Y. The investigation on the soil animals in northeastern China. *Journal of Northeast Normal University*, 1990, (supply): 1~12.
- [18] Wang Z Z, Zhang Y M, Wu H S. Study towards the eco-geographic community of Mountain soil Nematode in the middle of Hunan. *Acta Sci. Nat. Univ. Norm. Hu'nan*, 1992, **15**(3): 72~78.
- [19] Deng X B, Zou S Q, Fu X H, *et al.* The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(1): 130~138.
- [20] Liao C H, Li J X, Yang Y P, *et al.* The Community of Soil Animal in Tropical Rain Forest in Jianfengling Mountain, Hainan Island, China I. Composition and Characteristics of Community. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(11): 1866~1872.
- [21] Zhang Y M, Xu C G, Chen J Y, *et al.* On the ecology of soil nematodes in different climate zones. In: Yin W Y, *et al.* eds. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 149~182.
- [22] Li F C, Xu Y T, Nie G Y, *et al.* Ecological study on *Hexameris* sp. *Chinese Journal of Ecology*, 1994, **13**(4): 33~36.
- [23] Li H X, Liu M Q, Hu F, *et al.* Nematode abundance under different vegetations restored on degraded Red Soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(11): 1882~1889.
- [24] Liang W J, Zhang W M, Li W G, *et al.* Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the Black Soil Region. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(3): 237~240.
- [25] Liang W J, Lavian I, and Steinberger Y. Dynamics of nematode community composition in a potato field. *Pedobiologia*, 1999, **43**: 459~469.
- [26] Yin W Y, *et al.* *Pictorial keys to soil animals of China*. Beijing: Science Press, 1998. 51~89, 437~475.
- [27] Yin X Q, Wang H X, Zhou D W. Characteristics soil animals communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(6): 1071~1078.
- [28] Fu B Q, Chen w, Dong X H, *et al.* The Composition and Structure of the Four Soil Macro-faunas in Songshan Mountain in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(2): 215~223.
- [29] Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environment disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, **83**: 14~19.
- [30] Bongers T, van der Meulen H, Korthals G. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*, 1997, **6**: 195~199.
- [31] Bongers T, de Goede R G M, Korthals G, *et al.* Proposed changes of c-p classification for nematodes. *Russian Journal of Nematology*, 1995, **3**: 61~62.
- [32] Serigne T Kandji, Callistus K P O Ogol, Alain Albrecht. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. *Applied Soil Ecology*, 2001, **18**: 143~157.

- [33] Imaz A, Hernández M A, Ariño A H, *et al.* Diversity of soil nematodes across a Mediterranean ecotone. *Applied Soil Ecology*, 2002, **20**: 191~198.
- [34] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the Southern subtropical region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5):549~545.
- [35] Zheng S Z, Wu Q H, Wang H B, *et al.* *General ecology*. Shanghai: Fudan University Press, 1994. 160.
- [36] Wasilewska L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. *Pedobiologia*, 1994, **38**:1~11.

参考文献:

- [16] 张荣祖, 陈鹏, 杨明宪, 等. 长白山北坡森林生态系统土壤动物初步调查. 见: 赵小鲁, 等主编. 动物生态地理研究. 成都: 成都地图出版社, 1996. 224~242.
- [17] 陈鹏, 孙帆, 卜照义. 东北地区土壤动物的调查研究. 东北师范大学学报(自然科学版), 1990, (增刊): 1~12.
- [18] 王振中, 张友梅, 伍惠生. 湖南中部山地土壤线虫群落生态地理研究. 湖南师范大学学报(自然科学版), 1992, **15**(3): 72~78.
- [19] 邓晓保, 邹寿青, 付先惠, 等. 西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响. 生态学报, 2003, **23**(1): 130~138.
- [20] 廖崇惠, 李健雄, 杨悦屏, 等. 海南尖风岭热带林土壤动物群落——群落的组成及其特征. 生态学报, 2002, **22**(11): 1866~1872.
- [21] 张云美, 徐成纲, 陈建英, 等. 不同气候带土壤线虫的生态. 见: 尹文英, 等主编. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社, 2000. 149~182.
- [22] 李福春, 许砚田, 聂桂云, 等. 六索线虫的生态学研究. 生态学杂志, 1994, **13**(4): 33~36.
- [23] 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. 生态学报, 2002, **22**(11): 1882~1889.
- [24] 梁文举, 张万民, 李维光, 等. 施用化肥对黑土地区线虫群落组成及多样性产生的影响. 生物多样性, 2001, **9**(3): 237~240.
- [26] 尹文英, 等. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998. 51~89, 437~475.
- [27] 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. 生态学报, 2003, **23**(6): 1071~1078.
- [28] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构. 生态学报, 2002, **22**(2): 215~223.
- [34] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落的多样性研究. 生态学报, 1997, **17**(5): 549~545.
- [35] 郑师章, 吴千红, 王海波, 等. 普通生态学. 上海: 复旦大学出版社, 1994. 160.