苔藓土壤节肢动物群落及其多样性

查广才¹, 梁来荣², 周昌清¹

(1. 中山大学生命科学院, 广州 510275; 2. 复旦大学环境与资源生物学系, 上海 200433)

摘要:苔藓土壤中分布着种类和数量丰富的节肢动物, 主要是中、小型土壤动物。对上海市区苔藓土壤节肢动物群落进行了为期一年的调查研究, 用 Tullgren 分离装置, 共收集土壤节肢动物 19542 只, 隶属 5 纲 11 目 46 科 58 种。螨类和弹尾类共占总捕量的 97.4%, 为苔藓土壤节肢动物的优势类群。螨类占苔藓土壤节肢动物种类的 74.2%, 个体数量的 79.7%, 是苔藓土壤节肢动物群落的特征类群。优势种跗线螨 (*Tarsonemus* sp.) 和真长须螨 (*Eustigmaeus clavated*) 均取食苔藓, 并耐受低温, 跗线螨占节肢动物总捕量的 45%, 真长须螨占 15%。苔藓层节肢动物以螨类的前气门亚目为主, 多为优势种和常见种, 个体数量多, 而土壤层节肢动物以螨类的隐气门亚目和弹尾类为主, 种类较丰富。苔藓土壤节肢动物群落的多样性指数和优势集中性指数主要由螨类决定, 受季节的影响明显, 5 月和 10 月份多样性指数最高, 1 月份最低, 而 1 月优势集中性指数最高。

关键词:苔藓土壤; 节肢动物群落; 多样性分析

Community structure and diversity of arthropods in moss soil

ZHA Guang-Cai¹, LIANG Lai-Rong², ZHOU Chang-Qing¹ (1. School of Life Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Environmental Resources Biology, Fudan University, Shanghai 200433, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1057~1062.

Abstract: The community structure and diversity of arthropods in moss soil in the campus of Fudan University, Shanghai were investigated from October 1992 to October 1993. The experimental area was a 200m² stand of *Ligustrum incidum*, *Metasequoia hlyptostroboides*, *Cinnamomum camphora* and *Neriu indicum* trees, in which the forest floor was covered by a continuous thick layer of moss. Samples were collected monthly, mid-month commencing at 10.00 am. A metal sampler (10cm × 10cm × 10cm) was used, and 5 samples were taken randomly from the moss floor each time. Samples were separated in the laboratory by Tullgren devices. A total of 19542 arthropod specimens that belonged to 5 classes, 11 orders, 46 families and 58 species were collected. The Orders Acarina and Collembola accounted for 97.4% of the total collected individuals with Acarina being the most dominant group. Acarina accounted for 74.2% of the total species and 79.7% of total individuals while Collembola accounted for 17.7% of the total individuals. Diplura were common, while the Geophilomorpha, Polydesmida, Thysanoptera and Hymenoptera were rare. Homoptera and Araneae were temporary immigrants in moss soil. The mites

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (39230070)

收稿日期: 2002-06-07; 修订日期: 2002-10-15

作者简介: 查广才 (1965~), 男, 河南罗山人, 博士生, 副教授, 主要从事动物和水生生物生态学研究。E-mail: lsp01cgc@taurus.zsu.edu.cn

本文承 Debbie Rae 博士协助撰写修改英文摘要, 谨表诚挚谢意

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 39230070)

Received date: 2002-06-07; Accepted date: 2002-10-15

Biography: 查广才, Ph.D. candidate, Associate professor, mainly engaged in the zoecology and aquatic ecology. E-mail: Lspolcgc@yahoo.com.cn

Tarsonemus sp and *Eustigmaeus clavated* were the dominant species of the moss soil arthropod community and accounted for 45% and 15% of the total individuals, respectively. Both species fed on moss and tolerated lower temperatures, with their population dynamics being obviously affected by the growth stage of moss and the season. While the Prostigmata of Acarina were dominant on moss and exhibited seasonal population fluctuations the Collembola and the Cryptostigmata of Acarina were dominant in the soil of moss and their populations were small and stable. A long period of high or low temperature was harmful to the arthropods of moss soil, particularly to the dominant species. Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index and Simpson dominance index were used to describe diversity. Diversity of the moss soil arthropod community was strongly influenced by Acarina. The diversity indexes and evenness indexes of moss soil arthropod community were highest in May (Summer; wet season), and October (Autumn; dry season), and lowest in January (Spring; cold season), while the dominance indexes were highest in January.

Key words: moss soil; arthropod community; diversity analysis

文章编号:1000-0933(2003)06-1057-06 中图分类号:Q958.1 文献标识码:A

苔藓植物分布广泛,结构相对简单,因其独特的生理适应机制,能在一般高等植物难以生存的高寒、干旱、贫瘠的土壤和弱光环境中生长,对环境的变化敏感,是一类良好的生物指示植物^[1,2],可用于全球变化和环境污染地指示和监测作用^[3]。苔藓植物种群及群落的生态研究已受到重视,也有众多报道^[4,5],但却忽视了对苔藓土壤系统中动物类群的研究。苔藓植物与其生长的土壤形成一种独特的生态环境即苔藓土壤生态系统,苔藓土壤系统的特点表现为不稳定性和不连续性。根据调查研究,发现苔藓土壤系统中分布着种类和数量极为丰富的动物类群,苔藓土壤系统为动物生存提供了丰富的食物资源和稳定的栖息环境。苔藓土壤动物及其组成的群落是否和苔藓植物一样对环境变化敏感,能否作为环境污染和气候变化的指示生物,还有待研究。动物如何适应苔藓土壤这一特殊生境以及苔藓土壤动物在自然生态系统演化过程中的作用,也值得重视。目前国内外有关土壤动物的研究较多^[6~8],但对苔藓土壤动物的研究还很少^[9,10],国内关于苔藓土壤动物群落及多样性的研究还未见报道。本文是对上海市区苔藓土壤节肢动物群落调查研究的结果,旨在了解苔藓土壤节肢动物的种类、数量和多样性变化,保护和利用苔藓土壤生态系统及动物多样性在环境污染与变迁过程中的指示作用。

1 研究材料与方法

1.1 研究样地的自然概况

经调查,上海市区分布大量的苔藓植物,它们主要生长在大型公园和大学校园的林荫树下,也有生长在古老建筑物房屋瓦顶;有的成不连续斑块状分布,有的生长成连续的大块苔藓植被层。经大量的实地考察,在复旦大学校园内一幢古老教学楼四周,选择一块苔藓植物生长发育良好、苔藓连成厚密的植被层、面积约 200m² 的地方为试验样地。上层植被主要为女贞 (*Ligustrum incidum*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*)、香樟 (*Cinnamomum camphora*) 和夹竹桃 (*Nerium indicum*) 几种乔木遮掩,下层阴暗潮湿,环境稳定,实验样地加以保护,不受人为和其它因素干扰。实验样地的土壤年平均温度为 16.5℃,土壤的含水量年平均值为 25.2%,pH 值的年平均值为 8.01。

1.2 研究方法

对苔藓土壤节肢动物群落的定量调查研究,是在 1992 年 10 月至 1993 年 10 月间进行,取样时间定在每月中旬 10:00,用 10cm×10cm×10cm 金属采样器,在样地内采取 5 个具有代表性样点,装入编号的采集袋内,带回实验室用 Tullgren 装置分离,获得的土壤节肢动物标本,在双筒解剖镜下分拣计数,分类鉴定依据文献^[11~13]进行。

苔藓土壤节肢动物多样性分析,采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' : $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, Pielou 均

均匀性指数 $E: E = H' / \ln S$ 和 Simpson 优势集中性指数 $D: D = \sum_{i=1}^S (P_i)^2, P_i = n_i / N, n_i$ 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数, P_i 为第 i 种个体数占总个体数的比例, S 为群落中物种数。

2 结果与分析

2.1 苔藓土壤节肢动物群落类群及数量组成

在对苔藓土壤节肢动物群落为期 1a 的定量调查中,共收集苔藓土壤节肢动物 19542 只(包括 1 种线蚓),隶属于 5 纲 11 目 46 科 58 种,结果见表 1。苔藓土壤节肢动物主要由中、小型土壤动物组成,其中螨类和弹尾类为优势类群,螨类占总捕量的 79.7%,数量占绝对优势;弹尾类占总捕量的 17.7%,数量居第二;螨类和弹尾类共占总捕量的 97.4%,二者共同组成苔藓土壤节肢动物群落的主体。双尾类和线蚓类为常见类群,双尾类占总捕量的 0.8%,线蚓类占总捕量 0.9%。稀有类群有蚜虫、蚂蚁、双翅类、翅类、蜘蛛、地蜈蚣和带马陆等 7 类,仅占总捕量的 0.9%。已鉴定的苔藓土壤节肢动物,螨类占 74.2%,弹尾类占 8.6%,二类共占已知种类的 82.8%,其它种类占 17.2%。螨类在苔藓土壤节肢动物群落中,个体数量和种类均占有绝对优势,是苔藓土壤节肢动物群落的特征类群。弹尾类虽然占有一定数量的个体,但种类相对贫乏。螨类与弹尾类的数量之比(a/c)为 4.5/1,与亚热带土壤动物 $a/c > 1$ [6,13] 的结果一致。

2.2 苔藓土壤螨类的组成特征

螨类作为苔藓土壤节肢动物群落的特征类群,分析其种类与数量组成具有重要意义。螨类主要由前气门亚目(Prostigmata)、中气门亚目(Mesostigmata)和隐气门亚目 Cryptostigmata 又称甲螨亚目 oribatida) 3 个亚群组成。在收集到的螨类标本中,共鉴定 45 种,前气门亚目有 8 种,占螨类种数的 17.8%,数量占螨类总捕量的 84.5%,占苔藓土壤节肢动物总捕量的 67.6%。该亚群的螨类主要为植食性螨,生活在苔藓植被层,以苔藓植物为食,多为优势种和常见种,数量变动较大,直接受苔藓植物生长状况和季节的影响 [9]。隐气门亚目有 25 种,占螨类种数的 55.6%,种类最多,但数量并不占优,仅占螨类总捕量的 13.9%,占苔藓土壤节肢动物总捕量的 10.6%。该亚群的螨类主要生活在土壤层,为根食者、枯食者和菌食者,数量组成较稳定,受苔藓植物生长状况和季节变化影响较小,是一类比较适合生存在苔藓土壤这一特殊生境的节肢动物。中气门亚目有 11 种,占螨类种数的 24.4%,数量只占螨类总捕量的 1.6%。该亚群主要为捕食者,生活在土壤层或在土壤层与苔藓层之间来回游动,种类较多,数量却很少。在螨类组成中,个体数量最多的是前气门亚目的附线螨(*Tarsonemus* sp.),它的个体数量占整个苔藓土壤节肢动物捕获量的 45%,是苔藓土壤节肢动物群落的强优势种;其次是真长须螨(*Eustigmaeus clavated*),其个体数量占苔藓土壤节肢动物总捕量的 15%,是苔藓土壤节肢动物群落的优势种。此外,前气门亚目的真足螨(*Eupodes* sp.)、隐爪螨(*Nanorchestes* sp.)、巨须螨(*Pulaeus glebulentus*)和隐气门亚目的覆盖头甲螨(*Tectocephus velatus*)、木单一甲螨(*Xylobates* sp.)、上罗甲螨(*Epilohmannia ovata*)、奥甲螨(*Brachioppiella sheshanensis*)、菌甲螨(*Schelorbates* sp.)为苔藓土壤节肢动物群落的常见种,其它螨类均为稀有种类 [9]。

2.3 苔藓土壤节肢动物群落多样性分析

苔藓土壤节肢动物群落的多样性指数、均匀性指数和优势集中性指数的季节变化见表 2。群落的多样性指数和优势集中性指数主要由螨类的种类和数量决定,同时受季节和苔藓植物生长状况的影响。隐气门亚目和中气门亚目的种类决定群落的多样性指数,而前气门亚目优势种的个体数量及弹尾目的个体数量决定群落的优势集中性指数。表中的结果显示,苔藓土壤节肢动物群落的物种数量在 5 月份和 10 月份多,在 1 月份和 8 月份少,而节肢动物的个体数量在 12 月份最多,其次是 1 月份和 2 月份,在 3 月份和 8 月份个体数量最少。群落的多样性指数和均匀性指数在 10 月份和 5 月份高,表明苔藓土壤节肢动物在秋季和春季种类相对丰富,个体数量分布比较均衡,多样性指数高,群落的优势集中性不明显,说明春季和秋季适合多数苔藓土壤节肢动物的生存与繁衍;群落的多样性指数和均匀性指数在 1 月份最低,其次是 12 月份和 2 月份,而优势集中性指数 1 月份最高,其次也是 12 月份和 2 月份,是因为苔藓土壤节肢动物群落在冬季以优势种为优势种,前气门亚目的附线螨和真长须螨,这类优势种能忍受低温,且能在低温和苔藓植物生长良好的条件下大量繁衍,同时低温也有效抑制了常见类群和稀有类群的种类和数量,导致 1 月份群

表 1 苔藓土壤节肢动物类群和多度

Table 1 Sort and abundance of moss soil arthropods

类群 Sorts	多度 Abundance	类群 Sorts	多度 Abundance
蛛形纲 Arachnida		懒甲螨科 Nothridae	
蜱螨目 Acarina		<i>Nothrus biciliatus</i>	+
前气门亚目 Prostigmata		洼甲螨科 Camisiidae	
跗线螨科 Tarsonemoidae		<i>Platynothrus</i> sp.	+
真足螨科 Eupodidae	++++ ①	沙珠足甲螨科 Eremobelbidae	
<i>Eupodes</i> sp.	++ ③	<i>Eremobelba japonica</i>	+
长须螨科 Stigmaeidae		滑珠甲螨科 Damaeolidae	
<i>Eustigmaeus clavated</i>	+++ ②	<i>Fosseremus quadripertitus</i>	+
<i>Eustigmaeus microsegnis</i>	+ ④	盖头甲螨科 Tectocephidae	
隐爪螨科 Nanorchestidae		<i>Tectocephus velatus</i>	++
<i>Nanorchestes</i> sp.	++	奥甲螨科 Oppiidae	
巨须螨科 Cunaxidae		<i>Arcoppia</i> sp.	+
<i>Pulaeus glebulentus</i>	++	<i>Lasiobelba</i> sp.	+
叶爪螨科 Penthaleidae		<i>Brachioppiella sheshanensis</i>	++
<i>Penthaleus</i> sp.	+	<i>Multioppia brevipectinata</i>	+
吸螨科 Bdellidae		盾珠甲螨科 Suctobelbidae	
<i>Bdella</i> sp.	+	<i>Suctobelbella naginata</i>	+
中气门亚目 Mesostigmata		菌甲螨科 Scheloribatidae	
寄螨科 Parasitidae		<i>Scheloribates</i> sp.	++
<i>Parasitus</i> sp.	+	木单翼甲螨科 Xylobatidae	
<i>Pergamasus</i> sp.	+	<i>Xylobates</i> sp1	+
厉螨科 Laelapidae		<i>Xylobates</i> sp2	+
<i>Hypoaspis queenlandicus</i>	+	<i>Xylobates</i> sp3	+
<i>Hypoaspis</i> sp.	+	<i>Perxylobates</i> sp.	+
囊螨科 Ascidae		尖棱甲螨科 Ceratozetidae	
<i>Asca</i> sp.	+	<i>Ceratozetes imperatoria</i>	+
<i>Lasioseius</i> sp.	+	大翼甲螨科 Galumnidae	
植绥螨科 Phytoseiidae		<i>Pergalumna intermedia</i>	+
<i>Amblyseius makuwa</i>	+	蜘蛛目 Araneae	+
新寄螨科 Neoparasitidae		唇足纲 Chilopoda	
<i>Neoparasitus scleoides</i>	+	地蜈蚣目 Geophilomorpha	
派盾螨科 Parholaspidae		地蜈蚣科 Geophilidae	+
<i>Euparholaspulus</i> sp.	+	倍足纲 Diplopoda	
巨螯螨科 Macrochelidae		带马陆目 Polydesmida	
<i>Macrocheles</i> sp.	+	带马陆科 Polydesmidae	+
厚厉螨科 Pachylealapidae		昆虫纲 Insecta	
<i>Pachylaelaps</i> sp.	+	弹尾目 Collembola	
无气门亚目 Astigmata		等节跳科 Isotomidae	+++
食甜螨科 Glycyphogidae		长角跳科 Entomobyridae	++
<i>Lepidoglyphus destructor</i>	+	园跳虫科 Sminthuridae	++
隐气门亚目 Cryptostigmata		双尾目 Diplura	
真卷甲螨科 Euphthiracaridae		副跳虫八科 Parajapygidae	
<i>Rhysotritia ardua</i>	+	<i>Parajapyx isabellae</i>	++
卷甲螨科 Phthiracaridae		缨翅目 Thysanoptera	+
<i>Phthiracarus Clemens</i>	+	双翅目 Diptera	+
广缝甲螨科 Cosmochthoniidae		膜翅目 Hymenoptera	
<i>Cosmochthonius reticulatus</i>	+	蚁科 Formicidae	+
罗甲螨科 Lohmanniidae		同翅目 Homoptera	
<i>Lohmannia</i> sp.	+	蚜目 Aphididae	+
<i>Mixacarus tianmuensis</i>	+	寡毛纲 Oligochaeta	
上罗甲螨科 Epilohmanniidae		近孔寡毛目 Plesiopora	
<i>Epilohmannia ovata</i>	++	线蚓科 Enchytraeidae	
<i>Epilohmannia pallida pacifica</i>	+	<i>Fridericia</i> sp.	++

① 优势类群 Dominant groups (>40%)

② 优势类群 Dominant groups (10%~40%)

③ 常见类群 Common groups (1%~10%)

④ 稀有类群 Rare groups (<1%)

表 2 苔藓土壤节肢动物不同月份多样性指数

Table 2 Diversity indexes of moss soil arthropod community in different months

项目 Item	1 月 Jan	2 月 Feb	3 月 Mar	4 月 Apr	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul	8 月 Aug	9 月 Sept	10 月 Oct	11 月 Nov	12 月 Dec
种类数 Species	17	23	25	25	30	27	23	17	25	30	26	24
总个体数 Total numbers	1836	1817	838	1214	1592	1709	1290	946	1470	1564	1487	3876
H'	1.2826	1.3378	1.9741	1.9132	2.0656	1.9232	1.9686	1.6736	1.8890	2.2130	1.7384	1.3949
E	0.1927	0.3295	0.4862	0.4712	0.5087	0.4737	0.4848	0.4122	0.4652	0.5450	0.4281	0.3435
D	0.7219	0.4737	0.2780	0.2675	0.2178	0.2413	0.1810	0.3439	0.2565	0.1871	0.3048	0.3472

落的多样性指数低,优势集中性突出。有意义的是持续的低温和持续的高温均能有效抑制苔藓土壤节肢动物群落的种群数量。苔藓土壤节肢动物可忍受暂时的高温和暂时的低温,而难以忍受持续高温和持续低温的积温效应,优势种表现极为明显,这可能是苔藓土壤节肢动物群落个体数量在 3 月份和 8 月份较低的原因。以上结果表明苔藓土壤节肢动物适宜生活在环境气候温和的春季和秋季,冬季更有利于优势种繁衍,无论是持续的高温还是持续的低温对苔藓土壤节肢动物的生存与繁衍都是有害的。此外,在定量调查收集的标本中,蚜虫在 9 月份、10 月份突然出现,而且 10 月份种群密度高达 1380 个/m²,这说明苔藓植物可作为某些蚜虫的临时寄主植物^[14],但蚜虫并不长期生活在苔藓土壤系统中,而是临时或偶然迁移到苔藓土壤系统内的节肢动物。

3 讨论

苔藓土壤的独特性在于苔藓植被层与土壤层紧密连接在一起,生活在苔藓层与土壤层的节肢动物难以分开,而一般森林土壤动物则不同,植被层与土壤层相分离,因此,苔藓土壤节肢动物中包括大量的植食性种类。苔藓土壤节肢动物的多样性和丰富度主要由螨类的种类和数量决定,多样性主要受隐气门亚群和中气门亚群的影响,数量的波动则主要受前气门亚群和弹尾类的影响。苔藓植物的生长状况,季节气候的变化和降雨量等均影响苔藓土壤节肢动物群落的多样性。在苔藓植物生长旺盛的春季和秋冬季,特别是在冬季,苔藓植物显示出独特的耐寒性,生长发育良好,为苔藓层植食性螨类提供丰富的食物资源,这是冬季以苔藓为食的附线螨、真长须螨及真足螨等植食性螨类大发生的重要原因,也是某些蚜虫冬季以苔藓为临时寄主,大量集结在苔藓层的原因。在高温干旱的夏季,苔藓生长较差,导致 7 月份和 8 月份苔藓层植食性螨类种群数量大减,而生活在土壤层的螨类却能保持种群的相对稳定,这主要是因为土壤层环境的温度、湿度和食物等生态因子,相对苔藓层要稳定,苔藓植物对土壤层节肢动物弹尾类、甲螨类和线蚓类种群数量的影响是间接的而不是直接的。由于苔藓土壤相对于森林土壤比较贫瘠,土壤有机质含量低,因此,苔藓土壤层节肢动物的多样性和丰富度远不如森林土壤节肢动物^[15-16],尤其是一些稀有类群,在高温、干旱或低温等极端环境条件下,迅速从苔藓土壤节肢动物群落中消失,对苔藓土壤环境变化敏感,是良好的环境变化指示动物。此外,苔藓土壤动物还可作为环境污染的指示生物^[17,18],需进一步研究,同时苔藓土壤动物群落中存在着复杂的生态位、种间和种内关系,也有待进一步研究。

References:

- [1] Cao T, Lu Y, Wu Y H, et al. Bioindication of bryophytes to environmental pollution in Anshan city. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1998, **9**(6): 635~639.
- [2] Xie W, Cao T, Han G C, et al. Studies on indication of bryophytes to air pollution in Fushun District, Northeast China. *Chin. J. Ecol.*, 1999, **18**(3):1~5.
- [3] Wu Y H, Gao Q, Cheng G D, et al. Response of bryophytes to global change and its bioindication. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(7):895~900.
- [4] Zhang 万芳数据, Pan B R. A review on the studies of bryophyte ecology in arid and semi-arid areas. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(7):1129~1134.

- [5] Guo S L, Cao T. Advances in bryophyte ecology. *Journal of Zhejiang Normal University(Nat. Sci.)*, 2000, **23** (3):291~296.
- [6] Yin W Y. *Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 10~306
- [7] 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): 549~555.
- [8] Yin X Q, Li J D. Diversity of soil animals community in Lemus Chinensis grassland. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1998, **9**(2):186~188.
- [9] Zha G C. Preliminary study on the population dynamics of moss soil animals. *Acta Scientiarum Naturalium of Xinyang Teachers College*, 1998, **11**(1): 61~65.
- [10] Snrz J. The ecology of the microarthropod community inhabiting the moss cover of roofs. *Pedobiologia*, 1992, **36**: 331~340.
- [11] Jun-ich Aoki. *Soil Zoology*. Tokyo: Beilonwan, 1973.
- [12] Liang L R. *Handbook of Acarina taxonomy*. Shanghai: Shanghai Scientific & Technological Press, 1981.
- [13] Yin W Y, Shen Y F, Song D X ed. *Subtropical Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1992. 7~574.
- [14] Wang Q, He S A, Wu P C. The role of bryophytes in biodiversity. *Chinese Biodiversity*, 1999, **7**(4):332~339.
- [15] Liu H, Yuan X Z. Diversity of forest soil animals in the eastern mountain regions of China. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(3):221~225.
- [16] Fu B Q, Chen W, Dong X H. The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan mountain in Beijing. *Acta Ecologic Sinica*, 2002, **22**(2):215~223.
- [17] Wang Z Z, Zhang Y M, Xia W S, et al. Effects of organophosphorus pesticide on community structure of soil animals. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(4):357~366.
- [18] Liang W J, Ge T K, Duan Y X. Bioindication of soil fauna to soil health. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2001, **32**(1):70~72.

参考文献:

- [1] 曹同, 路勇, 吴玉环, 等. 苔藓植物对鞍山市环境污染的生物指示作用. *应用生态学报*, 1998, **9**(6): 635~639.
- [2] 谢维, 曹同, 韩桂春, 等. 苔藓植物对抚顺地区大气污染的指示作用研究. *生态学杂志*, 1999, **18**(3):1~5.
- [3] 吴玉环, 高谦, 程国栋, 等. 苔藓植物对全球变化的响应及其生物指示意义. *应用生态学报*, 2002, **13**(7):895~900.
- [4] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 干旱与半干旱地区苔藓植物生态学研究综述. *生态学报*, 2002, **22**(7):1129~1134.
- [5] 郭水良, 曹同. 苔藓植物生态学研究进展. *浙江师范大学学报*, 2000, **23**(3):291~296.
- [6] 尹文英. *中国土壤动物*. 北京: 科学出版社, 2000. 10~306.
- [7] 廖崇惠, 李健雄, 黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*, 1997, **17**(5): 549~555.
- [8] 殷秀琴, 李健东. 羊草草原土壤动物群落多样性的研究. *应用生态学报*, 1998, **9**(2):186~188.
- [9] 查广才. 苔藓土壤动物种群动态的初步研究. *信阳师范学院学报*, 1998, **11**(1): 61~65.
- [11] 青木淳一. *土壤动物学*. 东京: 北隆馆, 1973.
- [12] 梁来荣. *蜚螨分科手册*. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- [13] 尹文英, 沈缜芬, 宋大祥, 等. *中国亚热带土壤动物*. 北京: 科学出版社, 1992. 7~574.
- [14] 汪庆, 贺善安, 吴鹏程. 苔藓植物在生物多样性中的作用. *生物多样性*, 1999, **7**(4):332~339.
- [15] 刘红, 袁兴中. 中国东部山地森林土壤动物多样性. *山地学报*, 2000, **18**(3):221~225.
- [16] 付必谦, 陈卫, 董晓晖. 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.
- [17] 王振中, 张友梅, 夏卫生. 有机磷农药对土壤动物群落结构的影响研究. *生态学报*, 1996, **16**(4):357~366.
- [18] 梁文举, 葛亭彪, 段玉玺. 土壤健康及土壤动物生物指示的研究与应用. *沈阳农业大学学报*, 2001, **32**(1):70~72.