

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.04.008

土壤动物群落对桢楠人工林边缘效应的响应

王戈¹, 罗熲丽², 张亚², 涂程伟², 辜云杰^{3*}

(1. 四川省九顶山省级自然保护区, 四川 什邡 618400; 2. 四川农业大学林学院, 四川 成都 611130;
3. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081)

摘要:为研究四川盆地西缘山地土壤动物群落对桢楠(*Phoebe zhennan*)人工林边缘效应的响应,选择58年生的桢楠人工林为研究对象,采用手捡法和干湿生漏斗分离法对桢楠人工林林地中心及林地边缘的土壤动物群落进行了调查。调查共捕获土壤动物887只,隶属于3门9纲12目23科。调查结果显示:各样地土壤动物个体数排序为:林地边缘(5.37×10^4) > 林地中心(2.69×10^4);类群数排序为:林地边缘(21) > 林地中心(17),土壤动物群落具有明显的表聚性;林地边缘的密度类群指数(DG)显著高于林地中心,样地间林地边缘与林地中心的丰富度指数(D)存在极显著差异($P < 0.01$),各样地间多样性指数(H')、优势度指数(C)、均匀度指数(J)差异不显著($P > 0.05$)。综上,林地边缘效应导致林缘土壤动物的密度、类群数和多样性特征等方面明显高于林地中心。

关键词:桢楠人工林;边缘效应;土壤动物群落

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)04-0039-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The Respond of Soil Animal Communities on the Edge Effect of *Phoebe zhennan* Plantations

WANG Ge¹ LUO Man-li² ZHANG Ya² TU Cheng-wei² GU Yun-jie^{3*}

(1. Shifang Monitoring Station of Jiuding Mountain Provincial Natural Reserve of Sichuan, Shifang 618400, China;
2. College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China;
3. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

Abstract: In order to study the respond of soil animal communit on the edge effect of *Phoebe zhenna* plantations of the western borders of the Sichuan Basin mountain, choosing the 58-year-old *Phoebe zhenna* plantation as objects, Macro-fauna samples were picked up by hand and using Tullgren-Baermann separation methods to investigate the soil animal communities in wooldland margins of *Phoebe zhenna* plantation woodland. The results showed that a total of 887 individuals of soil fauna, belonging to 3 phylums, 9 classes, 12 orders, 23 families. The survey results displayed that the number order of soil fauna in herb was the edge (5.37×10^4) > the center (2.69×10^4), The density order of total species was the edge (21) > the center (17). Soil animal community was obviously surface-accumulated. The density-group index (DG) was significantly higher on the edge than in the center. There were extremely significant differences about the diversity index (D) ($P < 0.01$). The various diversity index (H'), the dominance index (C), evenness (J) were no significant differences ($P > 0.05$). In conclusion, the edge effect led to the synergism of soil animal density, number of species and diversity were significantly higher than

收稿日期:2019-07-01

基金项目:楠木高效培育技术研究(2016YFD0600603);桢楠种源家系区域造林试验(2019CZZX28)

作者简介:王戈(1962-),工程师,主要从事营林生产、林木资源培育、护林防火和野生动植物保护, e-mail:wangge3388@163.com。

*通讯作者:辜云杰,副研究员,主要从事森林资源培育研究, e-mail:15398954@qq.com。

those in the center the forest land.

Key words: Artificial *Phoebe zhenna* forest, Edge effect, Soil animal community

土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分,作为分解者参与土壤生态系统的物质和能量循环,是森林土壤肥力的重要指标^[1~4]。土壤动物群落和植物的互动影响着生态系统的过程^[5~6],而土壤生态系统又是森林生态系统不可或缺的一部分。因此,土壤动物对生态系统的功能和稳定性具有重要意义^[7~11],并能在一定程度上指示环境的变化^[12~15],如生境的变化,因此对于不同生态系统下的土壤动物群落结构^[16]、生态功能^[7]及多样性^[11]研究普遍,但对于边缘效应对土壤动物的影响研究较少。

边缘效应是指在两个或多个不同性质的生态系统(或其他系统)交互作用处,由于某些生态因子(可能是物质、能量、信息或地域)或系统属性的差异和协和作用而引起系统某些组分及行为(如种群密度、生产力、物种多样性等)的较大变化^[17]。边缘效应是生态学和生物保护的重要概念之一,它在研究生态系统尺度和景观生态系统尺度的能量流和物质流等生态过程中具有重要的作用^[18]。目前针对边缘效应对植被的研究内容已经比较丰富,但是针对边缘效应对土壤动物群落特征的研究报道还比较少。本研究以人工桉楠林为例,探讨边缘效应对土壤动物群落结构特征影响以及研究方向,以期为森林经营、保护区管理等生产实践和生态环境综合治理提供科学依据。

1 研究样地与研究方法

1.1 试验地概况

样地设在成都平原与四川盆周西缘山地接合部的都江堰灵岩山(103°25'42"~103°47'E,30°44'54"~31°22'9"N)58年生的桉楠人工林纯林,样地土壤为砂岩上发育的黄壤,质地为重壤质^[18]。pH值6.5~6.8。由于多雨,在淀积层与母质层之间有明显的潜育现象,土壤肥力中等,保肥保水性好。海拔780 m~1 009 m,年平均气温16℃,年均最低气温5℃,年均最高气温35℃^[19],平均年降水量为1 225.4 mm,年平均日照时数1 024.2 h。

1.2 研究方法

1.2.1 实验地设置

于2016年8月,在四川省都江堰市灵岩山人工

桉楠林选择较少受到人为干扰的地块作为调查区域。按照不同的种植密度,采用随机抽样的方法,共设置两个大小为10 m×10 m的样地,2个宽度为10 m的样带。

1.2.2 实验方法

于2016年8月分别对所设样地和样带进行土壤动物群落调查和分析。在林地中心的各样地内分别按“品”字型布点,在林地边缘的各样带设置3个50 cm×50 cm(0.25 m²)的样方,土壤剖面分凋落物层、0 cm~5 cm、5 cm~10 cm、10 cm~15 cm共4个层次,并对其进行手捡,将所得的土壤动物放入75%浓度的酒精容器中杀死,按样地、样方注明编号,带回实验室在解剖镜下观察鉴定;在每个样地内采3份10 cm×10 cm(0.01 m²)枯落物,用尼龙网包好,编号并放入黑布袋,带回实验室对土壤动物进行分离;另外,在各样点挖土壤剖面,分0 cm~5 cm、5 cm~10 cm、10 cm~15 cm共3个土层,各土层用圆形取样环刀($r=5\text{ cm}, v=100\text{ cm}^3$)自上而下取土,每层各取两个,用尼龙网包好土样,编号后放入黑布袋,完整带回实验室用Tullgren干漏斗(干生)和Baermann湿漏斗(湿生)对土样中的土壤动物进行分离。土壤动物的分离参照黄玉梅^[1, 5, 21]等方法,土壤动物的分离均在烘虫箱中进行,烘虫箱的温度控制在35℃~40℃。干生、湿生、枯落物的分离时间均是48 h,其中湿生4 h观察1次,分离出的土壤动物除湿生以外,都用盛有75%浓度的酒精培养皿收集,在解剖镜下观察鉴定土壤动物种类并计数,湿生土壤动物的收集用清水,最后在解剖镜下进行分类鉴定和数量统计。

1.3 土壤动物鉴定

土壤动物的分类鉴定:将手捡和分离所得的土壤动物放置在双目解剖镜(Leica, EZ4HD)下观察;主要采用《中国土壤动物检索图鉴》^[22]、《中国亚热带土壤动物》^[23]和《昆虫分类检索》^[24]进行分类鉴定,一般鉴定到科的水平。

1.4 多样性指数

类群等级划分:个体数量占捕获总量的10.0%以上者为优势类群(+++),在1.0%~10.0%为常见类群(++),小于1.0%者为稀有类群(+)^[20]。

群落的多样性分析:土壤动物多样性主要采用 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 、Margalef 丰富度指数 D 、Pieluo 均匀度指数 J 和 Simpson 优势度指数 C 来计算^[24, 25]。

Shannon-Wiener 多样性指数 (H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: $P_i = n_i/N$, 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):

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

式中: S 为类群数, N 为所有类群的个体数。

Pieluo 均匀度指数 (J):

$$J = H' / \ln s \quad (3)$$

式中: H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, s 为类群数。

Simpson 优势度指数 (C):

$$C = \sum_{i=1}^s (P_i)^2 \quad (4)$$

式中: n_i 为第 i 个类群的个体数; N 为所有类群的个体数。

1.5 数据处理

差异显著性分析:采用独立样本 T 检验 (Independent-Samples T Test) 对不同样地间土壤动物群落组成进行检验,显著性水平设定为 $P = 0.05$ 。

数据的整理与分析采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0,采用 Excel 2010 绘制图形。

2 结果与分析

2.1 土壤动物的组成

本次调查共捕获土壤动物 887 只,隶属于 3 门 9 纲 12 目 23 科 (见表 1)。优势类群为线虫纲,占总密度的 80.30%;常见类群为丽甲螨群、缓螨科、蚁科、双翅目幼虫,分别占总密度的 7.05%、4.30%、2.94%、1.20%;其他种类构成稀有类群,其密度占总密度的 4.21%。在林中样地共捕获 3 门 8 纲 11 目 17 科 310 只土壤动物,平均密度 2.69×10^4 只 \cdot m^{-2} ;林地边缘样地中捕获 3 门 8 纲 12 目 21 科 577 只土壤动物,平均密度 5.37×10^4 只 \cdot m^{-2} ;林地边缘的土壤动物多,林地中心的土壤动物较少。

表 1 土壤动物群落组成统计

Tab. 1 Compositions of soil fauna communities in the three plots

类群	林地		林缘		合计 Total		多度
	平均密度 /(只 \cdot m^{-2})	百分比 /%	平均密度 /(只 \cdot m^{-2})	百分比 /%	密度 /(只 \cdot m^{-2})	百分比 /%	
线虫纲 <i>Nematoda</i>	21007.33	78.04	43761.33	81.43	64768.66	80.30	+++
丽甲螨群 <i>Liacaroid Mites</i>	1933.33	7.18	3750.00	6.98	5683.33	7.05	++
缓螨科 <i>Sejidae</i>	1983.33	7.37	1483.33	2.76	3466.67	4.30	++
蚁科 <i>Formicidae</i>	878.00	3.26	1492.67	2.78	2370.67	2.94	++
双翅目幼虫 <i>Diptera larvae</i>	516.67	1.92	450.00	0.84	966.67	1.20	++
棘科 <i>Onychiuridae</i>	150.00	0.56	533.33	0.99	683.33	0.85	+
跳虫科 <i>Poduridae</i>	10.00	0.04	527.33	0.98	537.33	0.67	+
懒甲螨群 <i>Nematoda</i>	166.67	0.62	316.67	0.59	483.33	0.60	+
圆科 <i>Sminthuridae</i>	—	—	266.67	0.50	266.67	0.33	+
隐翅甲科 <i>Staphylinidae</i>	33.33	0.12	233.33	0.43	266.67	0.33	+
木虱科 <i>Kalotermitidae</i>	83.33	0.31	166.67	0.31	250.00	0.31	+
蜘蛛目 <i>Araneae</i>	22.67	0.08	198.67	0.37	221.33	0.27	+
爰蚰科 <i>Scutigerelellidae</i>	—	—	66.67	0.12	66.67	0.08	+
鳞科 <i>Tomoceridae</i>	—	—	66.67	0.12	66.67	0.08	+
蚁甲科 <i>Pselaphidae</i>	33.33	0.12	16.67	0.03	50.00	0.06	+
叶螨科 <i>Phyllidae</i>	—	—	50.00	0.09	50.00	0.06	+
鼠妇科 <i>Porcellionidae</i>	36.00	0.13	9.33	0.02	45.33	0.06	+
缘蝽科 <i>Coreidae</i>	—	—	33.33	0.06	33.33	0.04	+
蠖蝮科 <i>Labiduridae</i>	33.33	0.12	—	—	33.33	0.04	+
金龟甲科幼虫 <i>Scarabaeidae larvae</i>	—	—	33.33	0.06	33.33	0.04	+
小蛸类 <i>Microdrile oligochaetes</i>	13.33	0.05	14.67	0.03	28.00	0.03	+
蜈蚣目 <i>Scolopendromorpha</i>	0.67	0.00	19.33	0.04	20.00	0.02	+
等节科 <i>Isotomidae</i>	16.67	0.06	—	—	16.67	0.02	+
平均密度	26918		53740		80658		
类群数	17		21		23		

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

2.2 土壤动物群落的垂直分布特征

林地中心土壤剖面凋落物层、0 cm ~ 5 cm、5 cm ~ 10 cm、10 cm ~ 15 cm 层土壤动物占总土壤动物平均密度 3.90%、70.82%、15.01% 和 10.27%；林地边缘凋落物层、0 cm ~ 5 cm、5 cm ~ 10 cm、10 cm ~ 15 cm 层土壤动物占总土壤动物平均密度 5.14%、48.65%、21.51% 和 24.70%；可以看出各样地的枯落物层占比最少，而土壤表层土壤动物比重最高(见图1)。

林地边缘样带中土壤动物的平均密度各层均高于林地中心，其中，两种类型样地土壤动物的平均密度均表现为表层土壤具有较高的平均密度，且凋落物层的土壤动物平均密度低于土壤层，土壤动物集中分布于 0 ~ 5 cm 层。林中样地的土壤动物群落的

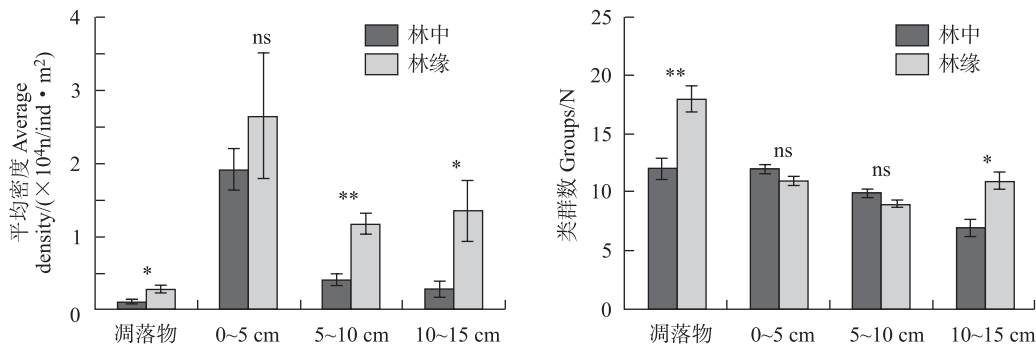


图1 各生境土壤动物垂直分布变化

Fig. 1 Each habitat change the vertical distribution of soil fauna

注: ns 表示不存在显著相关性($P > 0.05$); * 表示存在显著相关性($P < 0.05$); ** 表示存在极显著相关性($P < 0.01$)

2.3 干生、湿生土壤动物的变化

在两种类型的样地土壤,通过不同分离方法获得不同样地间土壤动物平均密度的存在差异,主要是干生和湿生两种分离(0 cm ~ 5 cm 层、5 cm ~ 10 cm 层与 10 cm ~ 15 cm 层的土壤动物)(见表2)。林地中心土壤通过干、湿生分离出来的土壤动物分别占林地中心土壤动物密度(只含从土壤中分离出来的数量,不含手捡和枯落物中的土壤动物,下同。)5.56%、94.4%;林地边缘土壤通过干、湿生分离出来的土壤动物分别占林地边缘土壤动物密度 10.68%、89.32%。可以看出各样地通过湿生分离的土壤动物比干生多。

差异性检验结果显示:干生土壤动物各样地间差异达到显著水平($F = 0.355, P = 0.018$);湿生土壤动物各样地间差异不显著($P > 0.05$)。在采样地点和土壤的热容量相同的条件下,土壤动物的分离效果除了受不同分离方法的影响以外,还主要受

分布特征为:从地表向下,随土层深度的增加,土壤动物平均密度逐渐下降;林地边缘的样地的土壤动物群落的分布特征为:从地表向下,随土层深度的增加,土壤动物平均密度先降低后增大。

差异性检验结果显示:凋落物层各样地平均密度差异达到显著水平($F = 3.147, P = 0.016$),类群数差异达到极显著水平($F = 6.400, P = 0.006$);0 ~ 5 cm 各样地平均密度差异不显著($P > 0.05$),类群数差异不显著($P > 0.05$);5 ~ 10 cm 层各样地平均密度差异达到极显著水平($F = 1.000, P = 0.001$),类群数差异不显著($P > 0.05$);10 ~ 15 cm 层各样地类群数差异达到显著水平($F = 12.157, P = 0.034$),类群数差异达到显著水平($F = 1.231, P = 0.023$)。

分离器内的温度影响^[27, 28]。

表2 各生境干、湿分离土壤动物的群落结构特征(平均值 ± 标准误)

Tab. 2 Community structure characteristics of each habitat Tullgren and Baermann separation of soil fauna

样地类型	林地	林缘
干生	2 866.67 ± 1 673.65 ^a	11 000.00 ± 1 258.31 ^b
湿生	48 666.67 ± 29 717.19 ^a	92 000.00 ± 29 143.32 ^a

注:同行相同小写字母表示差异不显著($P > 0.05$);同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 不同体型土壤动物群落的水平分布特征

按照尹文英^[22]对土壤动物体型的划分,将本次调查到的土壤动物分为大型和中小型两大类。林地中心大型、中小型土壤动物分别占林地中心样地土壤动物密度的 3.90%、96.10%,林地边缘大型、中小型土壤动物分别占林地边缘样带土壤动物密度的 5.14%、94.86%。可以看出各样地的中小型土壤动物比大型土壤动物数量多。

林地边缘的大型和中小型土壤动物平均密度均高于林地中心(见表3)。差异性检验结果显示:两种类型样地大型土壤动物差异显著($F = 3.147, P = 0.016$),中小型土壤动物差异显著($F = 9.976, P = 0.026$)。

表3 各生境不同体型土壤动物水平分布变化(平均值 ± 标准误)

Tab.3 Community structure characteristics of each habitat Tullgren and Baermann separation of soil fauna (mean ± SE)

样地类型	林地	林缘
大型土壤动物	1050.00 ± 301.938 ^a	2800.00 ± 527.889 ^b
中小型土壤动物	25868.00 ± 3219.098 ^a	51640.00 ± 9365.823 ^b

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

2.5 土壤动物的多样性变化特征

土壤动物多样性是20世纪90年代以来土壤与生态系统研究的热点领域范畴。林地边缘土壤动物除均匀度指数外,其他指数均高于林地中心土壤动物。

差异性检验结果显示:两种类型的样地中Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数、Simpson优势度指数表现为各样地间均无显著性差异($P > 0.05$);Margalef丰富度指数表现为各样地存在极显著差异($F = 0.231, P = 0.010$)。

表4 各生境土壤动物群落的多样性特征(平均值 ± 标准误)

Tab.4 Characteristics of each habitat diversity of soil fauna (mean ± SE)

样地类型	林地	林缘
H'	0.79 ± 0.12 ^a	0.86 ± 0.13 ^a
J	0.35 ± 0.05 ^a	0.32 ± 0.04 ^a
C	0.63 ± 0.06 ^a	0.64 ± 0.06 ^a
D	0.84 ± 0.09 ^A	1.28 ± 0.11 ^B

注:同行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

3 讨论

本次调查结果显示:桉楠人工林土壤动物群落表现出了明显的正效应,即效应区比相邻的群落具有更为优良的特性,例如物种多样性增加^[29]。林地边缘的土壤动物数量和类群数均高于林地中心,产生这种影响的主要原因有:第一,内在因素的影响。对于林地中心样地来说,桉楠是常绿大乔木,叶型较小,凋落物极少,加之林地中心土壤板结现象严重,

没能给土壤动物提供适宜的生存环境,导致桉楠林地中心的土壤动物在多方面指数远不及林地边缘的土壤动物。第二,外在因素的影响。核心区的林地,由于有边缘地区树木的保护,可以避免外来因子的影响,但在边缘地区,由于缺乏高大林木的保护,光照、风沙等可以直接侵入林下,从而导致林地边缘地区的生境与林地内部的生境(气温、地温、空气相对湿度、光照度等)有较大差异^[18]。第三,人为因素的影响。边缘的林地因人为需要会将凋落物清扫堆积在边缘林地中,凋落物层较厚,土壤层也更为肥沃,而凋落物在森林生态系统中占有极其重要的地位,它的分解是森林生态系统养分循环的一个重要环节,不但是土壤动物最直接的物质和能量来源,其数量和种类对土壤动物的群落组成、多样性和丰富度等都有极大程度的影响^[17]。

边缘效应对中小型湿生土壤动物——线虫纲造成的影响较其他土壤动物小,占总密度的80.30%,优势度较其他类群始终较高;林地边缘的土壤动物数量和类群多,林地中心的土壤动物数量和类群较少。其原因可能是由于林地边缘的凋落物层较厚,土壤腐殖质、有机质含量高,土壤孔隙度较大,利于土壤动物生存和生活。土壤动物水平变化中,各样地间大、中小型土壤动物平均密度均具有显著差异($P < 0.05$),其原因可能是大型土壤动物可以在凋落物和土壤不同层次间穿梭密度不稳定,而中小型土壤动物大多为腐食性,其食源主要为凋落物^[1],平均密度随凋落物的变化而变化。土壤动物垂直变化中,林地边缘样地中各层土壤动物的平均密度均高于林地中心,两种类型样地土壤动物的平均密度均表现为表层土壤具有较高的平均密度,且凋落物层的土壤动物平均密度低于土壤层,土壤动物集中分布于0~5 cm层。其原因可能是由于林地中心的凋落物少而干燥、土壤板结现象严重,而0~5 cm层位于凋落物下,受到保护,土壤相对湿润,土壤质地也较为松软,适合土壤动物存活。

土壤动物的变化与森林生态系统的能量物质循环、平衡和稳定性具有很大程度的关联^[30]。在桉楠人工林下,林分单一,植物功能群多样性较低,研究表明,多样性较低的林分,其土壤动物多样性、森林土壤肥力远低于多样性高的林分,以致于其生态系统功能难以维系,不利于森林可持续发展。边缘效应是自然界和人类生态系统的普遍规律,因此,必须充分利用边缘规律为整个生物圈服务。首先是开拓边缘,重视整体格局,从生物多样性和生态系统功能

的角度出发,促进人工林结构优化、合理经营规划和可持续发展,提高植物的多样性,增加凋落物种类、层次和数量。通过地上和地下生物的互动,提高土壤动物多样性和丰富度,促进土壤养分元素的循环,从而使人工楠木林整个生态系统的各项功能实现可持续发展的目标。其次要调控边缘,根据实际情况的需要来对边缘予以调控。边缘地带常常是不稳定的,要维持或避免高的边缘效应,重要的是要保持或消除边缘的动态特征,从而更有利于边缘效应的利用、管理和生物多样性的保护。本实验主要初步调查了楠木人工林林中和林缘的土壤动物与土壤动物群落结构特征,揭示林地中心与林地边缘的土壤动物差异,而边缘效应的利用、管理和生物多样性的保护还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 黄玉梅. 亚高山森林植物层次去除对土壤生态过程的影响[D]. 四川农业大学, 2012.
- [2] 殷秀琴, 邱丽丽, 杨令宾, 等. 森林凋落物-土壤动物-土壤系统中营养元素含量关系及分异[J]. 地理研究, 2006, 25(02): 320~326.
- [3] Blower J, Wallwork J. Ecology of soil animals[J]. Ecol Soil Anim. 1970.
- [4] Volkmar W. Biodiversity of soil animals and its function[J]. Eur J of Soil Biol. 2001, 37(4): 221~227.
- [5] 黄玉梅, 张健, 杨万勤. 巨桉人工林土壤动物群落结构特征[J]. 生态学报, 2006, 26(08): 2502~2509.
- [6] 聂立凯, 于政达, 孔范龙, 等. 土壤动物对土壤碳循环的影响研究进展[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 882~890.
- [7] 蒋海东, 杨青, 吕宪国. 土壤动物在农业生态系统中的研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(04): 805~808.
- [8] 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(02): 314~323.
- [9] 宋理洪, 武海涛, 吴东辉. 我国农田生态系统土壤动物生态学研究进展[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2898~2906.
- [10] 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.
- [11] 殷秀琴, 宋博, 董炜华, 等. 我国土壤动物生态地理研究进展[J]. 地理学报, 2010, 65(01): 91~102.
- [12] 黄旭, 文维全, 张健, 等. 川西高山典型自然植被土壤动物多样性[J]. 应用生态学报, 2010, 21(01): 181~190.
- [13] 刘任涛, 赵哈林, 赵学勇. 流动沙地灌丛内外生境中土壤动物群落结构研究[J]. 中国沙漠, 2013, 33(01): 167~173.
- [14] 秦钟, 章家恩, 李庆芳. 城市化地区不同生境下中小型土壤动物群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(12): 3049~3056.
- [15] 吾玛尔·阿布力孜, 古丽布斯坦·努尔买买提, 阿布都肉苏力·吐孙, 等. 新疆阜康绿洲不同生境土壤动物群落多样性及其季节动态[J]. 生态学杂志, 2013, 32(06): 1412~1420.
- [16] 刘继亮, 曹靖, 李世杰, 等. 秦岭西部山地次生林和人工林大型土壤动物群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(09): 2459~2466.
- [17] 毕润成, 杨焕根, 朱新军. 山西霍山落叶阔叶林边缘效应的研究[J]. 西北植物学报, 2004, 24(08): 1441~1447.
- [18] 田超, 杨新兵, 刘阳. 边缘效应及其对森林生态系统影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2011, 22(08): 2184~2192.
- [19] 卢扬煦, 唐成平, 严丽平, 等. 楠木人工林林下植物物种多样性研究[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(01): 11~15.
- [20] 马莲花, 罗豫川, 陈诚, 等. 都江堰灵岩山香樟过熟林种子雨分布特征[J]. 四川林业科技, 2015, 36(06): 27~31.
- [21] 黄玉梅. 巨桉人工林土壤动物生态初步研究[D]. 四川农业大学, 2006.
- [22] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [23] 尹文英. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [24] 李鸿兴, 隋敬之, 周士秀. 昆虫分类检索[M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [25] 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(03): 63~68.
- [26] 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[J]. 生态学报, 1997, 17(05): 99~105.
- [27] 殷秀琴, 马祝阳. Tullgren法对土壤动物的分离效率[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2002, 34(02): 84~91.
- [28] 铁烈华, 张林成, 冯茂松, 等. 烘虫温度和时间对中小型土壤动物烘虫分离效果的影响[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(01): 45~50.
- [29] 陈智华, 顾磊, 江晓霞. 边缘效应在生态学中的应用[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2005, 05(06): 6~10.
- [30] 张良辉. 川西亚高山云杉人工林分结构调控下植物与土壤动物多样性研究[D]. 四川农业大学, 2010.