

金华北山秋季不同植被类型大型土壤动物功能群及食物网^{*}

张龙龙 鲍毅新^{**} 李欢欢 斯幸峰 胡烁璞

(浙江师范大学生态研究所, 金华 321004)

摘要 于2007年10—11月对浙江金华北山的阔叶林、针叶林和荒地3种植被类型下大型土壤动物的功能类群和营养等级构成进行了研究,共得到大型土壤动物1848只,隶属4门8纲18目。结果表明:该地区土壤动物可划分为腐食性、植食性、捕食性动物3个同功能类群,土壤动物各同功能类群在组成、个体数量、密度等方面均具有相对稳定性,不同植被类型下大型土壤动物同功能种团的数量分布状况差异不显著(one-way ANOVA, $P > 0.05$),具有中等程度的相似性($0.75 > S \geq 0.5$),腐食性动物和捕食性动物组成及密度具有显著相关性($r = 0.899, r > r_c$),而植食性动物和腐食性动物、捕食性动物之间无明显的相关性,大型土壤动物各功能类群均呈现由表层向下逐渐减少的趋势($P < 0.05$)。大型土壤动物与其食物来源一起共有4个营养等级,其中大型土壤动物占据了第2、3、4级,大型土壤动物各功能类群与其食物来源之间构成了复杂的食物网。

关键词 功能群;食物网;大型土壤动物;群落结构

土壤动物是土壤中分解者的主要组成部分,在生态系统能量流动、物质循环以及土壤形成和熟化过程中均起重要的作用(殷秀琴等,2007)。土壤动物还是反映环境变化的敏感指示物,其数量和组成是评价土壤环境质量和土壤生物学状态的重要参数,能够表征环境受人为活动影响遭到破坏的程度。土壤动物群落结构和功能的稳定对维持生态系统的稳定性具有重要意义(尹文英,2000;王一华和傅荣恕,2003)。

以往对大型土壤动物的研究主要局限于群落特征、多样性、生态位以及大型土壤动物群落对环境因子的响应(Brussaard *et al.*, 2007; 殷秀琴等, 2007; 王振中等, 2007)等,对大型土壤动物群落功能类群和营养级的研究多见于国外(Moore *et al.*, 1988; Wardle *et al.*, 1995; Brussaard, 1998),国内也有一些研究(陈鹏, 1993; 张雪萍等, 2001; 黄丽荣和张雪萍, 2008)。功能群组成及功能群间的相互作用对群落生产力及其稳定性具有重要作用,功能群的研究能更好地认识生物多样性与生物结构和功能的关系(葛宝明等, 2008)。将大型土壤动物群落中的物种分成不同功能类群的意义表现在:(1)使复杂的生物群落简化,有利于认识系统的结构和功能;(2)弱化了物种的个别作用,从而强调了物种功能群的集体作用。功能群的划分使得研究群落内部能量物质流动简单化,因此采用功能群划分在研究生态系统物质能量流动方面广泛应用,特别是在植物群落生态领域,如荒漠草原地区不同载畜率对功能群特征及其多样性的影响(焦树英等, 2006)、内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究(白永飞等, 2002)等。

^{*} 浙江省生态学重点学科资助项目

作者简介:张龙龙,男,(1984—),山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为动物生态学。

^{**} 通讯作者 Corresponding author E-mail: sky90@zjnu.cn

在国内,陈鹏(1993)首次提出将土壤动物按其在生态系统中的功能进行分类,张雪萍和侯威岭等(2001)、黄丽荣和张雪萍(2008)在对东北和大兴安林北部森林生态系统土壤动物进行研究时将土壤动物划分为腐食性、植食性和捕食性3个同功能种团,研究地点都处于寒温带的东北地区,而对于亚热带地区大型土壤动物功能群的研究未见报道。因此,本研究对了解亚热带大型土壤动物生态学特征具有一意义。

1 研究方法

1.1 研究地点

金华北山位于N129°13',E118°52',主峰大盘尖海拔1312 m。全区以流纹岩为主,局部为裸露的石灰岩。土壤以中亚热带山地红、黄壤为主,pH5.0~6.5,红壤主要分布在海拔500 m以下的地段,黄壤主要分布在海拔500~1000 m之间,海拔1000 m以上分布着山黄泥土或山香灰土。北山属亚热带湿润季风气候,年平均降雨量为1500~1800 mm,年平均气温15.1℃,7月均温26.4℃,1月均温3.6℃,极端最高温41.3℃,极端最低温-9.5℃。本区地带性植被属于亚热带常绿阔叶林,主要乔木植物有木荷(*Schima superba*)、苦槠(*Castanopsis derophylla*)、枫香(*Liquidambar formosana*)等;灌木层主要有格药柃(*Eurya maricata*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)等;草本植物以鳞毛蕨(*Dryopteris*)、马兰(*Kalimeris indica*)、芒草(*Miscanthus sinensis*)等为主(郭水良,1998)。

1.2 研究方法

于2007年10月~11月对金华北山进行大型土壤动物调查。选择具有代表性的阔叶林、针叶林和荒地3种森林植被类型。由于具有代表性的阔叶林林地较多,故而选择4个样地,具有代表性的荒地和针叶林较少,仅各自选择2块样地,在所选的每个研究样地视面积大小取3~4个50 cm×50 cm样方,分3个土壤层(I:0~5 cm;II:5~10 cm;III:10~15 cm)取土,共取29个样方,87份土样(表1)。将土样带回实验室,用手拣法收集大型土壤动物进行分类鉴定。

表1 金华北山3种植被类型样地的分布

Table 1 Distribution of samples in different cover type in Mountain Beishan

植被类型 Cover type	样地数 Place number	样方数量 Sample number	土壤类型 Soil type	采样点地貌 Slope	平均气温(℃) Average T	天气 Weather
阔叶林 Broad leaf	4	15	黄、沙土或黑黄、潮湿土	斜坡和坡顶	22	阴 Cloudy
针叶林 Coniferous	2	7	黑黄、潮湿或微潮	斜坡和坡顶	19	阴 Cloudy
荒地 Waste land	2	7	黑黄或乌黄、微潮	坡顶	11	阴 Cloudy 晴 Fine

大型土壤动物是指躯体体长大于2 mm的土壤动物(尹文英等,1992),本文大型土壤动物的分类鉴定采用尹文英(1998)的大类别(纲、目或科)分类方法。

1.3 数据处理

采用以下公式测定大型土壤动物群落的多样性、均匀度、优势度和相似性:

Shannon-Wiener 多样性指数公式: $H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i (p_i = n_i/N)$

均匀性指数公式: $e = H' / \ln s$

Simpson 优势度指数公式: $c = \sum (n_i/N)^2$

Jaccard 相似性指数公式: $S = C/(A+B-C)$

公式中 H' 为多样性指数, e 为均匀性指数, c 为优势性指数, S 为相似性指数, A 、 B 分别为两群落的类群数, C 为两群落共有的类群数, n_i 为该区内第 i 个类群的个体数量, N 为样区内所有物种的个体数量, s 为样区内类群数目。

数据分析依靠 Spss13.0 和 Microsoft Excel 2003 进行, 通过单因素方差分析 (One-way ANOVA) 和多重比较 (S-N-K)、t 检验和相关性分析等进行数据的单元统计。

土壤动物功能群是指在功能上相近, 在系统中起着相似的生态作用, 占据着相同的生态位的土壤动物的组合 (黄丽荣和张雪萍, 2008)。本文参考陈鹏 (1993) 的方法对大型土壤动物按食性进行功能群划分, 所获大型土壤动物归纳为: 腐食性 (Saprozoic)、植食性 (Phytophage) 和捕食性动物 (Predacity)。结合大型土壤动物的食性关系, 拟定和划分大型土壤动物食物网组成 (林育真, 2004)。

2 研究结果

2.1 大型土壤动物群落组成及多样性

在 8 个样地、29 个样方中, 阔叶林样方 15 个、针叶林和荒地样方各 7 个 (表 1), 共取得土样 87 份, 土样总容积 $1.09 \times 10^6 \text{ cm}^3$ 。共获得各类大型土壤动物 1848 只, 隶属 4 门 9 纲 18 目, 分为腐食性、植食性和捕食性 3 个功能类群 (表 2)。其中, 腐食性动物 3 门 5 纲 5 目; 植食性动物 2 门 3 纲 8 目; 捕食性动物 1 门 3 纲 5 目。

表 2 定性调查发现的各功能群大型土壤动物组成

Table 2 Functional groups of soil macro-fauna found in the investigation, Mountain Beishan

功能群 Functional groups	门 Phylum	纲 Class	目 Order
PH	线形动物门 Nematelminthes	线虫纲 Nematoda	线虫 Gordiidea
PH	节肢动物门 Arthropoda	唇足纲 Chilopoda	综合目 Symphyla
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	鞘翅目 Coleoptera
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	膜翅目 Hymenoptera
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	直翅目 Orthoptera
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	等翅目 Isoptera
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	蜚蠊目 Blattoptera
PH	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	缨翅目 Thysanoptera

(续表)

功能群 Functional groups	门 Phylum	纲 Class	目 Order
SA	软体动物门 Mollusca	腹足纲 Gastropoda	柄眼目 Stylommatophora
SA	环节动物门 Annelida	寡毛纲 Oligochaeta	正蚓目 Lumbricida
SA	节肢动物门 Arthropoda	倍足纲 Diplopoda	圆马陆目 Sphaerotherida
SA	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	双翅目 Diptera
SA	节肢动物门 Arthropoda	甲壳纲 Crustacea	等足目 Isopoda
PR	节肢动物门 Arthropoda	唇足纲 Chilopoda	石蜈蚣目 Lithobiomorpha
PR	节肢动物门 Arthropoda	唇足纲 Chilopoda	地蜈蚣目 Geophilomorpha
PR	节肢动物门 Arthropoda	蛛形纲 Arachnoidea	蜘蛛目 Araneae
PR	节肢动物门 Arthropoda	蛛形纲 Arachnoidea	盲蛛目 Opiliones
PR	节肢动物门 Arthropoda	昆虫纲 Insecta	啮虫目 Psocoptera

pH:植食性动物 Phytophage;SA:腐食性动物 Saprozoic;PR:捕食性动物 Predacity.

比较 3 种不同植被类型下大型土壤动物的类群数、密度、多样性指数(H')、均匀性指数(e)和优势度指数(C)和相似性指数(S),结果见表 3。

阔叶林的 H' 值和 e 值高于针叶林和荒地,而 C 值则相反;类群数以阔叶林最高,荒地最低,表明阔叶林大型土壤动物群落种类比较丰富,种类分布均匀性好,优势类群所占个体数比例较少物种优势度较差;而荒地植被中,大型土壤动物群落种类最少,群落组成最简单,分布均匀性较差,物种优势类群突出;针叶林的 H' 和 e 值最低, C 值和密度值最高,说明针叶林中大型土壤动物群落的物种多样性最差,均匀性最差,优势类群最为突出,而且种群密度最高。3 种植被类型之间大型土壤动物达到中等相似性($0.75 > S \geq 0.5$)水平(表 3)。

表 3 北山不同植被下大型土壤动物群落多样性和相似性

Table 3 Diversity and similarity of soil macro-fauna in different vegetations in Mountain Beishan

指标 Index	阔叶林 Broad leaf	针叶林 Coniferous	荒地 Wasteland
NO	15	13	12
NI	708	772	368
DE	188.8	441.14	210.29
H'	2.259	1.6155	1.8662
e	0.8342	0.6298	0.751
C	0.1314	0.3225	0.2153
S	BC 0.6875**	BW 0.5882**	CW 0.5625**

NO: 类群数(Number of order); NI:个体数(只)Number of individual(Ind.); DE: 密度(ind./m²) Density;

BC: 阔叶林—针叶林 Broad leaf and Coniferous; BW: 阔叶林—荒地 Broadleaf and Wasteland;

CW: 针叶林—荒地 Coniferous and Wasteland; **: 中等相似($0.75 > S \geq 0.5$) Similar to the middle.

2.2 大型土壤动物的功能类群组成

金华北山大型土壤动物也可分为 3 个功能类群,即腐食性土壤动物、植食性土壤动物和捕

食性土壤动物(表 2 和 4)。

本研究获得的腐食性动物主要包括等足目、正蚓目、马陆、双翅目、腹足(柄眼目)5 类动物;植食性动物主要包括小杆目、鞘翅目、膜翅目、等翅目、直翅目、缨翅目、综合目、蜚蠊目 8 类动物;捕食性动物主要包括蜘蛛、地蜈蚣、石蜈蚣、盲蛛、捕食性昆虫(啮虫目)5 个类群。

因各种植被类型下所取样方数不同,故对 3 种植被类型下各功能群大型土壤动物平均密度(DE)(表 4)利用单因素方差分析和多重比较对大型土壤动物不同植被类型下功能群组成进行分析。结果显示 3 种植被类型下大型土壤动物功能群的组成总体上差异不显著($F=0.898, P>0.05$),各功能群的组成在不同植被类型下差异也不显著($F_{\text{腐食性动物}}=1.373, F_{\text{植食性动物}}=0.779, F_{\text{捕食性动物}}=0.185, P>0.05$)。

表 4 北山不同植被类型大型土壤动物功能群比较

Table 4 Comparison of macro-fauna guilds in different cover types

		阔叶林 Broadleaf		针叶 Coniferous		荒地 Wasteland		Σ	
		NI	DE	NI	DE	NI	DE	NI	DE
腐食动物 Saprozoic	等足类 Isopoda	60	16.0	40	22.9	0	0.0	100	13.8
	正蚓目(蚯蚓)Lumbricida	20	5.3	36	20.6	4	2.3	60	8.3
	圆马陆目(马陆)Guliformia	24	6.4	0	0.0	0	0.0	24	3.3
	双翅目 Diptera	0	0.0	4	2.3	8	4.6	12	1.7
	腹足(柄眼目)Gastropoda	20	5.3	0	0.0	0	0.0	20	2.8
	Σ	124	33.1	80	45.7	12	6.9	216	29.8
%		17.51	17.51	11.08	11.08	3.26	3.26	11.69	11.69
植食动物 Phytophage	线虫 Gordiodea	120	32.0	412	235.4	128	73.1	660	91.0
	鞘翅目 Coleoptera	152	40.5	60	34.3	56	32.0	268	37.0
	膜翅目 Hymenoptera	80	21.3	104	59.4	92	52.6	276	38.1
	等翅目 Isoptera	12	3.2	16	9.1	8	4.6	36	5.0
	直翅目 Orthoptera	16	4.3	4	2.3	0	0.0	20	2.8
	缨翅目 Thysanoptera	0	0.0	0	0.0	16	9.1	16	2.2
	综合目 Symphyla	4	1.1	4	2.3	0	0.0	8	1.1
	蜚蠊目 Blattoptera	0	0.0	4	2.3	0	0.0	4	0.6
	Σ	384	102.4	604	345.1	300	171.4	1288	177.7
%		54.24	54.24	78.24	78.24	81.52	81.52	69.70	69.70
捕食动物 Predacity	蜘蛛 Araneae	116	30.9	68	38.9	20	11.4	204	28.1
	地蜈蚣 Geophilomorpha	52	13.9	12	6.9	12	6.9	76	10.5
	石蜈蚣 Lithobiomorphy	12	3.2	8	4.6	8	4.6	28	3.9
	盲蛛 Opiliones	16	4.3	0	0.0	4	2.3	20	2.8
	捕食性昆虫	4	1.1	0	0.0	12	6.9	16	2.2
	Σ	200	53.3	88	50.3	56	32.0	344	47.4
%		28.25	28.25	12.19	12.19	15.22	15.22	18.61	18.61
Σ		708	188.8	772	441.1	368	210.3	1848	254.90
%		38.31	22.47	41.77	52.50	19.91	25.03		

NI: 个体数 number of individual; DE: 密度 Density; 捕食性昆虫: 啮虫目 Psocoptera。

2.3 大型土壤动物各功能类群的生态特征

2.3.1 腐食性动物

腐食性动物主要包括蚯蚓、线蚓、马陆、腹足类及腐食性甲壳类等。其中,腐食性甲壳纲(等足目)是该地区大型土壤动物中主要的腐食动物(表4),等足目个体数量较多,约占大型土壤动物总数量的5.41%,为常见类群。其生活环境为相对潮湿的土壤上层及凋落物层,以中小型无脊椎动物的尸体为食。

蚯蚓是该地区腐食性动物中活动能力最强的优势种,占大型土壤动物总数量的3.25%,蚯蚓繁殖能力强,消化系统发达,体内含有多种分解酶,因此具有较强的转化有机质的能力,对土壤形成及生态系统的能量流动和物质循环影响最大(张雪萍等,1996)。蚯蚓在土壤中吞食泥土和有机物质,使腐殖质和矿物质充分混合形成土壤团粒结构,提高了土壤通气透水性;将有机质粉碎,并不完全地分解,其排出物中含有大量的氮,还有有机的碳、钙、镁、磷等;分解能力强、食性大,每天摄食量相当于自身体重的50%~70%(孙儒泳,1987;王中民,1991),因此蚯蚓是该地区土壤动物区系中最有力的分解者。

腹足类(柄眼目)在该地区数量很少,仅占总数量的1.08%。马陆是以凋落物为食的重要土壤动物,马陆的密度既与凋落物的组成成份有关,也与土壤环境湿度相关。通常马陆的个体数呈现出潮湿的环境>干燥的环境,多雨季节>少雨季节,土壤表层>土壤下层(张雪萍,2001)。马陆对物质循环的主要贡献是对枯叶进行机械的破碎作用,使其更有利于其他土壤动物和微生物的分解,从而促进森林生态系统的物质循环和能量流动(张雪萍,2001)。

昆虫中的另一类腐食性动物双翅目数量较少,仅占总数量的0.65%。

2.3.2 植食性动物

植食性土壤动物主要是昆虫中的害虫种类。昆虫是土壤动物区系的重要组成部分,据估计,昆虫中约有95%~98%的种类在它们生命活动中的某一时期与土壤有着密切的关系(张雪萍等,1999;尹文英,1998;张贞华,1993)。如不少种类的地下害虫整个危害期均在土壤中度过。在金华北山大型土壤动物调查中主要的植食性昆虫包括鞘翅目的金龟子科(Scarabaeidae)、膜翅目、等翅目、直翅目的蝗科(Acridiidae)、缨翅目和蜚蠊目等类群。这些昆虫及其幼虫多半危害植物的根、茎等。

土壤线虫体型较小(0.5~4 cm),本文仅研究体长大于2 mm的,它们喜食农作物,如马铃薯、水稻等的细根,能导致植物病害(尹文英,1998)。

2.3.3 捕食性动物

捕食性动物是土壤生物群落中的消费者,在金华北山常见的种类主要有在数量上绝对优势的蜘蛛目动物,占北山捕食性动物的59.16%,为总数量的11.04%;蜈蚣类(包括石蜈蚣和地蜈蚣),它们是该地区比较重要的捕食性动物,其数量占该地区捕食性动物的30.32%,占该地区大型土壤动物总数量的5.63%;第三类是盲蛛类动物,它们的体型较大,也是捕食性动物的主力;捕食性螨类和线虫类虽然也是重要的捕食性动物,但因为它们个体太小,未被统计到大型土壤动物的捕食性种类中,它们通常捕食植食性螨、线虫、线蚓、小型昆虫的幼虫以及其它的小型节肢动物(尹文英,1998;张贞华,1993)。

2.4 大型土壤动物各功能类群的结构

2.4.1 各功能类群水平结构

分析金华北山不同植被类型大型土壤动物功能类群的特点(表4)可见,3种植被类型下大型土壤动物的种群密度分布不均匀,其种群密度(DE)排序:针叶林>荒地>阔叶林。腐食动物种群密度(DE)排序:针叶林>阔叶林>荒地;植食动物种群密度(DE)排序:针叶林>荒地>阔叶林;捕食动物种群密度排序(DE)排序:阔叶林>针叶林>荒地。

2.4.2 各功能类群垂直结构

对金华北山3种植被类型下大型土壤动物功能类群垂直分布的研究见表5。3种植被类型下各功能类群个体数及密度均表现为:0~5 cm>5~10 cm>10~15 cm,即呈现由表层向下逐渐减少的趋势。单因素方差分析的结果表明:不同植被类型下腐食性动物各层之间差异不显著($F=3.80, P>0.05$),各层之间 t 检验,差异也不显著;植食性动物各层之间差异不显著($F=3.23, P>0.05$),各层之间 t 检验,0~5 cm和10~15 cm层差异显著(单尾 $F=2.92, P<0.05$),其余差异不显著;捕食性动物各层差异极显著($F=19.86, P<0.01$);大型土壤动物总体上各层之间有显著差异($F=6.43, P<0.05$)。说明北山大型土壤动物各功能类群及总体上大型土壤动物均具有表聚性,捕食性动物和腐食性动物0~5 cm层个体所占比例(>70%)大于植食性动物0~5 cm层个体所占比例(58.37%),因此捕食性和腐食性动物更适宜在表层生活。

表5 北山3种植被类型下各同功能类群大型土壤动物的垂直分布

Table 5 Vertical distribution of the macro-fauna guilds in different cover type, Mountain Beishan

		荒地 Wasteland		针叶林 Coniferous		阔叶林 Broad leaf		Σ		%
		NI	DE	NI	DE	NI	DE	NI	DE	
腐食动物 Saprozoic	0~5 cm	8	4.6	52	29.7	96	25.6	156	21.5	71.49
	5~10 cm	8	4.6	24	13.7	18	4.8	50	6.9	22.91
	10~15 cm	0	0.0	4	2.3	8	2.1	12	1.7	5.50
	Σ	16	9.1	80	45.7	122	32.5	218	30.1	100.00
	%		10.4		52.35		37.2			
植食动物 Phytophage	0~5 cm	192	109.7	328	187.4	232	61.9	752	103.7	58.37
	5~10 cm	84	48.0	160	91.4	124	33.1	368	50.8	28.56
	10~15 cm	24	13.7	116	66.3	28	7.5	168	23.2	13.04
	Σ	300	171.4	604	345.0	384	102.4	1288	177.7	100.00
	%		27.7		55.75		16.5			
捕食动物 Predacity	0~5 cm	40	22.9	76	43.4	136	36.3	252	34.8	73.42
	5~10 cm	15	8.6	8	4.6	48	12.8	71	9.8	20.68
	10~15 cm	1	0.6	4	2.3	16	4.3	21	2.9	6.12
	Σ	56	32.0	88	50.3	200	53.3	344	47.4	100.00
	%		23.60		37.09		39.33			
Σ	0~5 cm	472	125.9	476	272.0	244	139.4	1192	164.4	64.50
	5~10 cm	180	48.0	192	109.7	96	54.9	468	64.6	25.32
	10~15 cm	56	14.9	104	59.4	28	16.0	188	25.9	10.17
	Σ	708	188.8	772	441.1	368	210.3	1848	254.9	100.00

NI: 个体数 number of individual; DE: 密度 Density.

2.5 大型土壤动物的食物网和营养级

以功能群划分为基础,北山大型土壤动物各功能群与食物来源一起组成多条食物链,并形成复杂的食物网(图 1)。

植食性动物以植物为食;腐食性动物以碎屑、植物凋落物以及植食性和捕食性动物遗骸为食;捕食性动物以植食性动物和腐食性动物为食。大型土壤动物食物网由捕食食物链和碎屑食物链彼此交错连接形成。

除第 1 营养级(碎屑和植物)作为食物来源分析外,金华北山大型土壤动物实际占据 3 个营养级。根据不同食物链组成(图 1)可知,植食性动物处于第 2 营养级;捕食性动物具有第 3 营养级和第 4 营养级的特征;腐食性动物既具有第 2 营养级的特征,又兼具第 3 和第 4 营养级的特征。

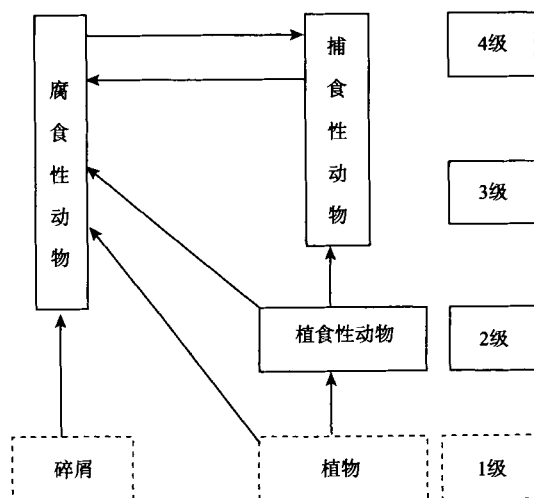


图 1 大型土壤动物食物网和营养级

Fig. 1 Trophic levels and food web of the macro-fauna

3 讨论

3.1 大型土壤动物功能类群特征及生态分布

不同种类甚至同种土壤动物在生命的不同时期有着不同的食性,这就决定了土壤动物食性的复杂性(Brussaard, 1998)。大型土壤动物中有些类群兼备几种食性,如腹足纲(Gastropoda)、线虫纲(Nematoda)、等足目(Isopoda)的动物中的有些种类是植食性的,有些是腐食性的,有的则是捕食性的,基于研究水平的限制以及大型土壤动物区系种类复杂、系统分类研究难度大等特点,对土壤动物功能类群的划分有不同的标准,如 Brussaard(1998)采用生活史对策、微栖息地、食性及生理生态等综合因素将土壤动物功能群进行分类;Moore 等(1988)采用反捕食对策对土壤动物进行分类。但是不同方法只能从原则上按各类群的总体特征将动物划分开,如啮虫目(Psocoptera)的多数种类为捕食性的,所以将这类动物划分到捕食性昆虫中;

小杆目(Rhabditida)大多数种类为植食性的所以将其划归为植食动物。这种分类方法从表面上看不够细致、精确,但对于具体的研究过程特别是对物质循环和能量流动的研究提供了很大的方便(黄丽荣和张雪萍,2008;张雪萍等,2001)。

本研究中华北山大型土壤动物可分为腐食性土壤动物、植食性土壤动物和捕食性土壤动物 3 个功能类群(表 2 和表 4),3 种植被类型下大型土壤动物功能群总体上差异不显著,各功能类群在 3 种植被类型下差异也不显著,说明金华北山不同植被类型下大型土壤动物功能类群具有稳定。

金华北山大型土壤动物水平结构分析(表 4)表明,腐食性动物和植食性动物密度均在针叶林中最高,由于针叶林中植物枯落物层较厚;捕食性动物密度在阔叶林中最高,可能与阔叶林中能量在各营养级间传递效率较高有关。对大型土壤动物垂直结构进行分析(表 5)显示:各功能类群大型土壤动物总体上具有表聚性,捕食性和腐食性动物较植食性动物更适宜在表层生活,原因是两者的能量来源更倾向于地表。

对金华北山 3 种植被类型下各同功能种团大型土壤动物个体数量的相关分析结果表明,腐食性动物和植食性动物相关系数 $r = 0.536$,腐食性动物和捕食性动物相关系数 $r = 0.899$,植食性动物和捕食性动物相关系数 $r = 0.113$,而当 $f = 3, \alpha = 0.1$ 时相关系数临界值 $r_0 = 0.805$,腐食性动物和捕食性动物相关系数大于临界值,其它均小于临界值,说明腐食性动物和捕食性动物之间具有显著相关性,而植食性动物和腐食性动物、捕食性动物之间无明显的相关性。

3.2 大型土壤动物的食物网和营养级

关于大型土壤动物群落结构研究主要集中在物种结构和多样性分析上(Brusgaard *et al.*, 2007;殷秀琴等,2007;王振中等,2007),国内尚无关于大型土壤动物食物网结构和营养级的研究。金华北山大型土壤动物各个功能类群与食物来源一起构成一个复杂的食物网(图 1),金华北山土壤动物处于第 2、3 和 4 营养级。但在森林生态系统中,还有其它的中小型土壤动物以及鸟类和兽类等,即存在更高或其它的营养级别。本文只讨论了大型动物的食物网和营养级的构成,因此会和生态系统中的真实情况有一定的区别,因为大型土壤动物群落的物质能量流动相对简单。

参 考 文 献

- 白永飞,张丽霞,张焱,陈佐忠. 2002. 内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究. 植物生态学报, **26**(3):308-316.
- 陈鹏. 1993. 帽儿山地区土壤动物群结构特征. 见:李景科,陈鹏(主编). 土壤动物生态地理研究. 长春:东北师大出版社.
- 葛宝明,鲍毅新,程宏毅,李欢欢,胡知渊. 2008. 灵昆岛东滩潮间带大型底栖动物功能群及营养等级构成. 生态学报, **28**(10):4796-4804.
- 郭水良. 1998. 浙江金华北山木本植物种群生态位研究. 植物研究, **18**(3):311~320.
- 黄丽荣,张雪萍. 2008. 大兴安岭北部森林生态系统土壤动物的功能类群及其生态分布. 土壤通报, **39**(5):1017-1022.
- 焦树英,韩国栋,赵萌莉,赵清泉,杨文斌. 2006. 荒漠草原地区不同载畜率对功能群特征及其多样性的影响. 干旱区资源与环境, **20**(1):161-165.

- 林育真主编. 2004. 生态学. 北京: 科学出版社.
- 孙儒泳主编. 1987. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社.
- 王一华, 傅荣恕. 2003. 辛硫磷农药对土壤螨类影响的研究. 山东师范大学学报(自然科学版), **18**(4): 72-75.
- 王振中, 张友梅, 李忠武. 2007. 湘中低山丘陵红壤森林生态系统土壤动物群落结构的特征. 土壤学报, **44**(6): 1097-1103.
- 王中民主编. 1991. 城市垃圾处理与处置. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 尹文英主编. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 尹文英主编. 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英主编. 2000. 中国土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 殷秀琴, 宋博, 邱丽丽. 2007. 红松阔叶混交林凋落物—土壤动物—土壤系统中 N、P、K 的动态特征. 生态学报, **27**(1): 128-134.
- 张雪萍, 崔国发, 陈鹏. 1996. 人工落叶松林土壤动物生物量的研究. 应用生态学报, **7**(2): 150-154.
- 张雪萍, 李春艳, 殷秀琴, 陈鹏. 1999. 不同使用方式林地的土壤动物与土壤营养元素的关系. 应用与环境生物学报, **5**(1): 26-31.
- 张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 2001. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布. 应用与环境生物学报, **7**(4): 370-374.
- 张雪萍, 李春艳, 张思冲. 2001. 马陆在森林生态系统物质转化中的功能研究. 生态学报, **21**(1): 75-79.
- 张雪萍, 黄丽荣, 姜丽秋. 2008. 大兴安岭北部森林生态系统大型土壤动物群落特征. 地理研究, **27**(3): 509-518.
- 张贞华主编. 土壤动物. 杭州: 杭州大学出版社, 1993.
- 郑祥, 鲍毅新, 孔军苗, 葛宝明. 2005. 金华北山阔叶林大型土壤动物群落的初步研究. 土壤, **37**(5): 545-550.
- Brussaard, L. P. C. Ruiter, G. G. Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **121**(3): 233-244.
- Brussaard, L. 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, **9**(1): 123-135.
- Moore, J. C. D. E. Walter, H. W. Hunt. 1998. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Ann. Rev. Entomol*, **33**: 419-439.
- Wardle, D. A. G. W. Yeates, R. N. Watson, K. S. Nicholson. 1995. The detritus food-web and the diversity of soil fauna as indicators of disturbance regimes in agro-ecosystems. *Plant and Soil*, **170**: 35-43.

The Functional Groups and Trophic Levels of Soil Macro-Fauna in Different Vegetation Type, Beishan Mountain, Jinhua*

ZHANG Longlong, BAO Yixin, LI Huanhuan, SI Xinfeng, and HU Shuoying

(Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004)

Abstract From October to November 2007, soil macro-fauna in broadleaf forest, coniferous forest and wasteland together with in different elevation in Mountain Beishan of Jinhua, Zhejiang province were investigated and 1848 macro-fauna individuals belonging to 3 phyla, 8 classes and 18 orders were collected. The species belonged to three different trophic functional groups: Saprophytic, Phytophage and Predacity. The density and species number of each functional group did not display variation by the one-way ANOVA method in different cover types and have stable functional group structure, individual number and density. Compared among the three different cover types of soil macro-fauna showed that they are similar to the middle ($0.75 > S \geq 0.5$). There is obvious relativity in functional group structure and density between Saprophytic and Predacity groups ($r = 0.899, r > r_s$), but no obvious relativity between Predacity and other two groups. The vertical distribution of different soil macro-fauna functional groups had obvious surface assembly ($P < 0.05$) in different cover types. There were 4 trophic levels at the macro-fauna community with the food resource, then the macro-fauna were the second, third and fourth level in the system, Macro-fauna community combined with the food resource makes up of a complicated food web.

Key words functional group; food web; macro-fauna; community structure; trophic levels

金华北山秋季不同植被类型大型土壤动物功能群及食物网

作者: 张龙龙, 鲍毅新, 李欢欢, 斯幸峰, 胡烁瑛

作者单位: 浙江师范大学生态研究所, 金华 321004

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7820627.aspx