

大庆草甸草原区大型土壤动物功能类群

林 琳, 邬天媛, 李景科, 张雪萍

(哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025)

摘要: 在中国土壤动物已有的3个功能类群划分研究的基础上, 将杂食性动物从原有3类群分类中分离出来, 并加以补充与完善, 形成了相对完整的腐食性、植食性、捕食性、杂食性四个功能类群。对大庆草甸草原区土壤动物功能类群进行调查, 共获大型土壤动物1432只, 隶属于3门4纲39类。植食性动物个体数量最多但生物量最小。各功能类群在水平方向的分布上, 腐食、植食、捕食性动物在林地和轻度退化草原等相对稳定的环境占优势, 而杂食性动物则在不稳定环境占优势, 表现出明显的对不稳定环境的适应; 垂直分布上, 各功能类群的个体数除腐食性动物第二层最多外, 均表现为自表层向下逐渐减少; 时间变化上, 不同群落各功能类群5月、7月、9月的动态变化表现不尽一致, 不具有明显的规律性。

关键词: 大型土壤动物; 功能类群; 分类; 草甸草原; 大庆市

1 引言

土壤动物是生态系统中重要的分解者, 对土壤的形成、发展以及生态系统的能量转化和物质循环都起着重要的作用。近年对土壤动物功能类群及土壤动物食物网的研究在国外已经成为生态研究的焦点之一^[1,2]。土壤动物中的大型土壤动物对土壤健康有重要的指示作用^[3]。为了研究方便, 陈鹏提出了按土壤动物在生态系统中的功能进行分类^[4], 张雪萍等将大型土壤动物划分为3个同功能种团^[5], 之后又有一些关于土壤动物功能类群的研究也都是采用这种分类方法^[6, 7]。土壤动物食性复杂, 有些种类兼有几种食性。此前土壤动物功能类群分类由于研究基础的限制将土壤动物划分为腐食性、植食性、捕食性3个类群, 本文在已有研究基础上, 将杂食性动物从原有3类群分类中分离出来, 从而形成了相对完整而系统的腐食性、植食性、捕食性、杂食性4个功能类群。

土壤动物种类繁多, 个体大小、活动能力、活动方式各不相同。许多不同种类土壤动物在食性与功能上相近, 在系统中起着相似的生态作用, 占据相似的生态位, 即同功能类群是更稳定的环境变化指标。不同地区, 各功能类群土壤动物的种类组成不尽相同, 但其对环境变化的响应具有一定的规律, 是土壤动物综合生态研究的重要支撑。探讨不同功能类群与特定环境间的关系、贡献及其对环境变化的响应, 可为退化土壤生态系统科学管理提供依据。同时, 大型土壤动物功能类群的研究, 可简化土壤动物多样性研究, 提高系统分析结果的准确性。土壤动物4个功能类群的划分较3类群划分更加科学合理, 为土壤动物更系统的分类提供了依据。

目前, 对黑龙江省土壤动物的调查大都集中在森林生态系统, 而草原生态系统至今尚

收稿日期: 2012-04-20; 修订日期: 2012-08-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071033)

作者简介: 林琳 (1986-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生, 主要从事环境生态学研究。

E-mail: linlin.tianxin@163.com

通讯作者: 张雪萍, 女, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 主要从事环境生态与土壤动物学研究。E-mail: Hellozxp@163.com

无系统的研究数据。本文对大庆草甸草原区6个群落的土壤动物进行了系统的调查和比较,获得了大量基础资料,并依据新的土壤动物功能类群划分方法对该区系土壤动物进行了系统分析。该研究对揭示大庆草甸草原区土壤动物资源功能特征、生态分布规律及土壤动物在草甸草原区的作用具有重要意义。

2 研究区概况与数据来源

研究区选在大庆市。该市位于黑龙江省松嫩平原中部,地理位置处在北纬 $45^{\circ}23'$ 至 $47^{\circ}29'$ 、东经 $123^{\circ}45'$ 至 $125^{\circ}48'$ 之间,属于温带半干旱大陆性季风气候。年平均气温 4.2°C ,年平均降水约440mm,无霜期143天。冬季寒冷,春秋季多风。地带性植被为草甸草原,伴生有盐生草甸和沼泽。

研究地点位于黑龙江省大庆草甸草原区,共选取6个样地:3个草原群落(按照植被覆盖率划分:轻度、中度和重度退化草原)、以及湿地、林地、耕地。

其中,轻度退化草原的羊草覆盖率约占80%,生长状况较好,平均高度15~20 cm。兼有草本植物蒲公英(*Taraxacum* L)、车轴草(*Trifolium* L)、车前(*Plantago asiatica*)等。

中度退化草原的羊草覆盖率约占60%,生长状况一般,平均高度10~15 cm。含有少量的草本植物车前、车轴草、稗草(*Echinochloa crusgalli*)、蒲公英等。

重度退化草原的羊草覆盖率约占40%,退化严重,平均高度8~12 cm。草本植物有蒲公英、车轴草、车前等。

湿地以芦苇为主,盖度95%,兼有稗草等。

林地木本植物郁闭度为70%,主要为赤杨(*Alnus jatonica*)、家榆(*Ulmus pumila*)、柳(*Salix*)等。杨树高12~13 m,榆树高3~4 m。草本植物盖度70%,主要为蒲公英、蕨(*Pteridium apuulinum*)、断穗狗尾草(*Setaria arenaria*)、莎草(*Cyperus* L)、车前等。

耕地(玉米地)玉米盖度95%,地表草本植物盖度10%,主要为蒲公英、葎草(*Humulus scandens* (Lour.) Merr.)等。

于2007年5月、7月、9月分三次在大庆草甸草原的6个样地进行随机取样,每次每样地取样方10个。每个样方面积为 $50\text{cm}\times 50\text{cm}$,分三层(0~5 cm层、5~10 cm层、10~15cm层)取样,共540个样(3次/年 \times 6样地/次 \times 10个样/样地 \times 3层/个样),取样量远大于实验条件下所需基本统计要求的调查数量,调查数据可靠。用手捡法分离大型土壤动物。分离的样本参考尹文英编著的《中国土壤动物分类检索图鉴》^[8]进行分类鉴定,大部分土壤动物鉴定到科,个别鉴定到种,同时用分析天平测取大型土壤动物的生物量(湿重)。

3 结果分析

3.1 土壤动物功能类群的划分

土壤动物种类组成复杂,食性多样,有些种类兼备几种食性。已有的土壤动物功能类群的划分由于研究基础的限制,通常划分为腐食性、植食性、捕食性3个类群^[5-7],随着研究的深入、资料的积累与丰富,本文在对已有3类群划分的基础上对中国土壤动物区系进行了较系统的研究,将杂食性动物从原有3类群分类中分离出来,并加以补充与完善^[9, 16],从而形成了相对完整的4个功能类群,具体分类研究结果如下。

3.1.1 腐食性土壤动物 腐食性土壤动物主要食用各种植物性的凋落物如枯枝、落叶、朽木, 包括腐食、粪食、菌食和尸食性4个土壤动物类群, 对生态系统的物质分解具有重要的促进作用。2001年小兴安岭森林生态系统调查中的腐食动物只有寡毛纲的蚯蚓、线蚓、倍足纲的马陆、腹足纲^[15] (Gastropoda) 的蜗牛、蛞蝓、昆虫纲 (Insecta) 的鞘翅目、双翅目等12类。本文在近年研究与积累的基础上, 将软体动物如蛞蝓、蜗牛等依据并权衡其食性将其归类于杂食性动物。并依据主要食性特征, 将鞘翅目、双翅目、膜翅目等类群中的大部分功能类群对象划分到科的水平, 部分划分到种的水平, 共58类 (表1)。

3.1.2 植食性土壤动物 植食性土壤动物主要是以植物的枝、叶、根或其汁液等为食的动物。原有2001年的研究, 植食性土壤动物只分为鞘翅目、鳞翅目、半翅目、膜翅目 (蚁) 等10类。与腐食性动物功能类群划分方法相同, 对于植食性土壤动物本文也依据并权衡其食性进行归类, 将腹足纲的部分种类、鞘翅目、双翅目、半翅目、直翅目、鳞翅目、同翅目、缨翅目等昆虫类群中的部分种类依据其主要食性特征, 将各功能类群对象大部分划分到科的水平, 部分划分到种的水平, 共计86类 (表2)。

3.1.3 捕食性土壤动物 捕食性土壤动物是土壤生物群落中的消费者, 以土壤中的一些其他动物为食。原有2001年的研究, 捕食性土壤动物只分石蜈蚣 (*Lithobiomorpha*)、地蜈蚣 (*Geophilomorpha*)、蛛形纲 (Arachnida) 蜘蛛目 (Araneae)、捕食性昆虫、伪蝎目 (*Pseudoscorpionida*) 等13类。与腐食性动物功能类群划分方法相同, 对于捕食性土壤动物我们也依据并权衡其食性进行归类, 除了已有的唇足纲 (*Chilopoda*) 的石蜈蚣、地蜈蚣、蜘蛛目等外, 将食性多样的昆虫纲中的几个较大的目如: 鞘翅目、双翅目、半翅目、膜翅目等类群中的部分种类依据其主要食性特征, 将各功能类群对象大部分划分到科的水平, 部分划分到种的水平, 共计49类 (表3)。

3.1.4 杂食性土壤动物 杂食性土壤动物是指兼备几种食性的土壤动物。该类群在2001年的研究中没有独立分类。与腐食性动物功能类群划分方法相同, 对于杂食性土壤动物也依据并权衡其食性进行归类, 将食性多样的昆虫纲中的几个较大的目如: 鞘翅目、半翅目、直翅目、膜翅目等类群中的部分种类依据其主要食性特征, 将各功能类群对象大部分划分到科的水平, 部分划分到种的水平, 加上腹足纲动物, 共计32类 (表4)。

3.2 大庆草甸草原各土壤动物功能类群的组成与数量

3.2.1 各土壤动物功能类群的组成 对所选的大庆草甸草原6个典型群落的3次调查研究结果表明, 腐食性土壤动物主要有蚯蚓、线蚓、鞘翅目 (粪金龟科、出尾蕈甲科、葬甲等)、双翅目 (尖眼蕈蚊科、摇蚊科、大蚊科等) 等; 植食性土壤动物主要有鞘翅目 (锹甲科、叩甲科、芫菁科、扁甲科等)、半翅目 (网蝽科)、鳞翅目、蚁科 (玉米毛蚁、黄毛蚁等) 等; 捕食性土壤动物主要有蜘蛛目、地蜈蚣目、鞘翅目 (步甲科、虎甲科、郭公虫科等)、半翅目 (驼蝽科, 花蝽科)、双翅目 (鹬虻科、长足虻科、食虫虻科、剑虻科、沼大蚊科、舞虻科等)、蚁科 (黑毛蚁、日本弓背蚁、皱红蚁等) 等; 杂食性土壤动物主要有腹足纲、鞘翅目 (金龟甲科、隐翅甲、拟步甲科、叶甲科等) 等。草原大型土壤动物功能类群的组成除蚯蚓、线蚓、腹足纲动物之外, 绝大部分为土壤节肢动物, 特别是以土壤昆虫占优势, 而腹足纲占杂食动物总个体数的74%, 说明各功能类群的组成分布很不均匀。

3.2.2 各功能类群的生物量与个体数量 大庆草甸草原6个典型群落的大型土壤动物调查结果 (表5) 从总体来看, 生物量研究结果: 杂食性 (47.19%) > 腐食性 (41.02%) > 捕食

表 1 腐食性土壤动物主要类群
Tab. 1 The soil animal guilds of Saprozoic

纲	目	科	种
寡毛纲 ^[5,8] Oligochaeta	正蚓目 Lumbricida	链胃蚓科 Moniligastridae, 寒 蚓	
		科 Ocnerodrilidae, 棘蚓科	
		Acanthodrilidae, 八毛蚓科	
		Octochaetidae, 微毛蚓科	
		Microchaetidae, 正蚓科	
		Lumbricidae, 巨蚓科	
		Megascolecidae	
	颤蚓目 Tubificida	线蚓科 Enchytraeidae, 颤蚓科 Tubi- ficidae	
倍足纲 Diplopoda	马陆目 ^[5] Juliformia		
昆虫纲 Isecta	鞘翅目 ^[5,8,9,10,20] Coleoptera	水龟甲科 Hydrophilidae, 缨甲科 Ptiliidae, 球蕈甲科 Leiodidae, 长朽木甲科 Melandryidae, 伪瓢甲科 Endomychidae, 薪甲科 Lathridiidae, 拟球甲科 Corylophidae, 出尾蕈甲科 Scaphidiidae, 盘甲科 Discolomidae, 长角象甲科 Anthribidae, 粪金龟科 Geotrupidae, 葬甲科 Silphidae, 皮金龟 Trogidae, 露尾甲科 Nitidulidae, 金龟甲总科 Scarabaeoidea	台风蛱螂 <i>Scarabaeus typhon</i> 、赛西蛱螂 <i>Sisyphus schaefferi</i> 、神农洁蛱螂 <i>Catharsius molossus</i> 、镰双凹蛱螂 <i>Ontis falcatus</i> 、短亮凯蛱螂 <i>Caccobius brevis</i> 、墨侧裸蛱螂 <i>Gymnopleurus mopsus</i> 、独行喙蛱螂 <i>Onthephagus sdivagus</i> 、婪喙蛱螂 <i>Onthophagus lenzi</i> 、臭蛱螂 <i>Copris ochus</i> 、三开蛱螂 <i>Copris tripartitus</i> 、中华晓犀金龟 <i>Eophileurus chinensis</i> 、掘喙蛱螂 <i>Onthophagus fodiens</i> 、公羊喙蛱螂 <i>Onthophagus tragus</i> 、双顶喙蛱螂 <i>Onthophagus vertex</i> 、立叉喙蛱螂 <i>Onthophagus olsoufieffi</i> 、黑缘喙蛱螂 <i>Onthophagus manrginalis nigrimargo</i> 、戴锤角粪金龟 <i>Bolbotrypes davidis</i> 等
	双翅目 ^[5] Diptera larvae	沼大蚊科 Limoniidae, 毛蠓科 Psychodidae, 粪蚊科 Scatopsidae, 粗股粪蚊科 Hyperoscelididae, 毛蚊科 Bibionidae, 水虻科 Stratiomyiidae, 尖翅蝇科 Lonchopteridae, 蚤蝇科 Phoridae, 尖眼蕈蚊科 Sciaridae, 大蚊科 Tipulidae, 蝇科 Muscidae, 蕈蚊科 Mycetophilidae, 摇蚊科 Chironomidae	
	半翅目 ^[5,8,20] Hemiptera	扁蝽科 Aradidae	
	直翅目 ^[11] Orthoptera	螞蚱科 Tettigoniidae 1 种	

表 2 植食性土壤动物主要类群

Tab. 2 The soil animal guilds of Phytophage

纲	目	科	种
昆虫纲 Insecta	鞘翅目 ^[5,9,10,20] Coleoptera	叩甲科 Elateridae, 象甲科 Curculionidae, 锹甲科 Lucanidae, 扁甲科 Cucujidae, 拟花蚤科 Scaptidae, 芫菁科 Meloidae, 吉丁虫科 Buprestidae, 锯谷盗科 Silvanidae, 窃蠹科 Anobiidae Fleming, 双齿长蠹 <i>Sinoxylon japonicus</i> Lesne, 天牛科 Cerambycidae, 豆象科 Laridae, 粉蠹科 Lyctidae Billberg, 小蠹科 Scolytidae, 金龟甲总科 Scarabaeoidea	华北大黑鳃金龟 <i>Holotrichia</i> 、暗黑鳃金龟 <i>olotrichia parallela</i> 、铜绿丽金龟 <i>Anomala corpulenta</i> 、日本金龟子 <i>Popillia japonica</i> 、弱脊异丽金龟 <i>Anomala sulcipennis</i> 、中华弧丽金龟 <i>Popillia quadriguttata</i> 、黑皱鳃金龟 <i>Trematodes tenebrioides</i> 、黑绒鳃金龟 <i>Maladera orientalis</i> 、小黄鳃金龟 <i>Metabolus flavescens</i> 、黄褐丽金龟 <i>Anomala exoleta</i> 、阔胸犀金龟 <i>Pentodon patruelis</i> 、华阿鳃金龟 <i>Apogonia chinensis</i> 、黑阿鳃金龟 <i>Apogonia cupreviridis</i> 、弟兄鳃金龟 <i>Melolontha frater</i> 、大栗鳃金龟 <i>Melolontha hippocastani mongolica</i> 、围绿单爪鳃金龟 <i>Hoplia cincticollis</i> 、小阔胫玛绢金龟 <i>Malader ovatula</i> 、阔胫玛绢金龟 <i>Maladera verticalis</i> 、苹毛丽金龟 <i>Proagopertha lucidula</i> 、毛喙丽金龟 <i>Adoretus hirsutus</i> 、华美花金龟 <i>Cetonia magnifica</i> 、白斑跗花金龟 <i>Clinterocera mandarina</i> 、暗绿花金龟 <i>Cetonia viridiopaca</i> 、饥星花金龟 <i>Potosia famelica</i> Janson、棉花弧丽金龟 <i>Popillia mutans</i> 、斑喙丽金龟 <i>Adoretus tenuimaculatus</i> 、亮绿彩丽金龟 <i>Mimela splendens</i> 、弓斑丽金龟 <i>Cyriopertha arcuata</i> 、额喙丽金龟 <i>Adoretus nigrifrons</i> 、黄粉鹿花金龟 <i>Dicranocephalus wallichi</i> 、绿罗花金龟 <i>Rhomborrhina unicolor</i> 、日铜罗花金龟 <i>Rhomborrhina japonica</i> 等
	双翅目 ^[5,8] Diptera larvae	瘿蚊科 Cecidomyiidae、毛蚊科 Bibionidae、茎蝇科 Psilidae	
	半翅目 ^[8,13,20] Hemiptera	土蝽科 Cydnidae Billberg, 长蝽科 Lygaeidae Schilling, 网蝽科 Tingidae Reuter, 红蝽科 Pyrrhocoridae Fieber 等	

续表 2

直翅目 ^[11] Orthoptera	菱蝗科 Tetrigidae, 短角蝗科 Eumastacidae, 癩蝗科 Pamphagidae, 瘤锥蝗科 Chrotogonidae, 锥头蝗科 Pyrgomorphidae, 剑角蝗科 Acrididae, 丝角蝗科 Oedipodidae, 槌角蝗科 Gomphoceridae, 斑腿蝗科 Catantopidae, 网翅蝗科 Arcypteridae, 螻蛄科 Gryllotalpidae, 蟋蟀科 Gryllidae	
鳞翅目 ^[14] Lepidoptera larvae	麦蛾科 Gelechiidae, 卷蛾科 Tortricidae, 螟蛾科 Pyralidae, 尺蛾科 Geometridae, 叶蛾科 Noctuidae	黄地老虎 <i>Agrotis segetum</i> Schiffertiller、白边地老虎 <i>Euxoa oberthuri</i> Leech、小地老虎 <i>Agrotis ypsilon</i> Rottemberg、八字地老虎 <i>Agrotis nigrum</i> Linnaeus、警纹地老虎 <i>Agrotis exclamationis</i>
同翅目 ^[13] Homoptera	叶蝉 Cicadellidae	
缨翅目 ^[18, 20] Thysanoptera	蓟马科 Thripidae, 管蓟马科 Phlaothripidae	烟蓟马 <i>Thrips tabaci</i> Lindeman、稻蓟马 <i>Chloethrips oryzae</i> 、禾蓟马 <i>Frankliniella tenuicornis</i> Uzel、稻管蓟马 <i>Haplothrips aculeatus</i> Fabricius
膜翅目 ^[10] Hymenoptera	蚁科 Formicidae	粗面收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> 、食草切叶蚁 <i>Messor graminicola</i> 、玉米毛蚁 <i>Lasius alienus</i> 、黄墩蚁(黄草蚁、黄毛蚁) <i>Lasius flavus</i>
腹足纲 ^[15] Diplopoda	柄眼目 Stylommatophora	坚齿螺科 Camaenidae, 巴蜗牛科 Bradybaenidae

性（6.98%）>植食性动物（4.81%）。其中腐食和杂食性动物是生物量的主体，占88.21%，它们是生态系统中分解者中的主体。

研究表明，各样地不同功能类群生物量所占相对比例，可反映研究区域人为影响程度和环境稳定性水平。各功能类群在群落中所占比例可反映自然生态系统所受到的人为干扰程度。受干扰程度轻的，腐食性占优势，如林地和轻度退化草场，分别为72.62%和68.56%；中度干扰环境扰动较频繁，则杂食性种类（广食性种类）占优势：如中度退化草原和季节性积水的湿地，分别为93.27%和71.63%；耕地作为半人工化系统，各功能类群比例特殊，4者比例相对均匀，其原因是耕作层水、热、气等土壤环境条件相对均质；而重度退化草原区则几乎没有或很少有腐食性动物与杂食性动物，而活动范围较大、活动力较强的捕食性动物占绝对优势，如调查区的重度退化草场捕食性动物占93.16%，但其绝

表3 捕食动物主要类群

Tab. 3 The soil animal guilds of Predacity

纲	目	科	种
蛛形纲	蜘蛛目		
Arachnida	Araneida		
	伪蝎目		
	Pseudoscorpionida		
唇足纲 ^[5]	石蜈蚣目		
Diplopoda	Lithobiomorpha		
	地蜈蚣目		
	Geophilomorpha		
昆虫纲	鞘翅目 ^[5,8,10,20]	步甲科 Carabidae, 虎甲科	
Isecta	Coleoptera	Cicindelidae, 阎甲科	
		Histeridae, 蚁甲科	
		Pselaphidae, 苔甲科	
		Scydmaenidae, 瓢甲科	
		Coccinellidae, 萤科	
		Lampyridae, 花萤科	
		Cantharidae, 郭公虫科	
		Cleridae	
	双翅目 ^[5]	舞虻科 Empididae, 剑虻	
	Diptera larvae	科 Therevidae, 鹬虻科	
		Rhagionidae, 食木虻科	
		Xylophagidae, 沼大蚊科	
		Limoniidae, 虻科	
		Tabanidae, 食虫虻科	
		Asilidae, 长足虻科	
		Dolichopodidae, 花蝇科	
		Anthomyiidae	
	半翅目 ^[5,8,16,20]	奇蝽科	
	Hemiptera	Enicocephalidae Stal,	
		花蝽科 Anthocoridae	
		Fieber, 驼蝽科	
		Microphysidae Dohrn, 猎	
		蝽科 Reduviidae, 姬蝽科	
		Nabidae, 鞭蝽科	
		Dipsocoridae, 益蝽	
		Picromerus lewisi Scott	
	缨翅目 ^[18]	纹蓟马科	
	Thysanoptera	Aeolothripidae	

续表 3

膜翅目 ^[12, 17] Hymenoptera	蚁科 Formicidae	日本弓背蚁 <i>Camponotus japonicus</i> Mayr、北方蚁 <i>Formica aquilonia</i> Yarrow、红林蚁 <i>Formica sinae</i> Emery、少毛江蚁 <i>Formica wongi</i> 、黑腹臭蚁 <i>Hypoclinea taprobanae</i> Smith、艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> Nylander、日本黑褐蚁 <i>Formica japonica</i> Motsch- ulsky、高加索黑蚁 <i>Formica transcaucasica</i> Nasonov、富氏凹头蚁 <i>Formica fukaii</i> Wheeler、丝光褐林蚁 (丝光蚁) <i>Formica fusca</i> Linnaeus、乌拉尔林蚁 <i>Formica uralensis</i> Ruzsky、亮毛蚁 <i>Lasius fuliginosus</i> Latreille、黑毛蚁 <i>Lasius niger</i> Linnaeus、细足捷蚁 <i>Anoplolepis longipes</i> 、贝卡氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster beccarii</i> Emery、史氏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster smythiesii</i> Forel、皱红蚁(红蚁) <i>Myrmica ruginodis</i> Nylander、吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel、弯角红蚁 <i>Myrmica lobicornis</i> Nylander 等
--	---------------	--

对数量并不多。

个体数量研究结果：植食性（40.64%）>杂食性（29.89%）>捕食性（26.61%）>腐食性动物（2.86%），即植食性动物最多，腐食性动物最少。各功能类群个体数量与生物量的相对比例同样是反映环境条件的重要指标。如腐食性动物个体数量的多寡可反映土壤动物对环境适应程度。杂食性动物个体数量多寡可反映草原区土壤环境限制因子变化幅度。

3.3 各功能类群土壤动物的分布特征

3.3.1 各功能类群土壤动物的水平分布

(1) 不同功能类群个体数量的水平分布。腐食性动物：林地>轻度退化草原>湿地>耕地>中度退化草原>重度退化草原；植食性动物和捕食性动物：林地、中度退化草原居多，重度退化草原和耕地较少；杂食性动物：湿地、中度退化草原居多。各样地的不同功能类群的生物量所占比例不同，这说明不同样地或不同生境的环境有其独特性。

(2) 不同功能类群生物量的水平分布。腐食性动物：林地占 64.73%，显著多于轻度退化草原（17.36%）和湿地（16.55%），其他群落均小于 1%；植食性动物：林地约占 56.61%，显著多于湿地（13.7%）和轻度退化草原（约 12%），重度和中度退化草原则低于 8%；捕食动物：林地占 65%，显著多于轻度退化草原（5.69%），湿地（4.28%）和耕地（1.55%）。前三个功能类群均以林地中比例最大，可见林地为土壤动物提供了有利的生存条件，为生态系统的物质循环提供了营养物质。但杂食动物在本调查中结果较特殊，表现为中度退化草原（47.09%）和湿地（41.45%）显著大于其他 4 个群落。对上述 4 个功能类群的分析，除捕食性动物在重度退化草原占优势外，其他功能类群的生物量均接近于零，说明上述类群土壤动物不适应该区的生存环境，而捕食性动物多的原因是他们活动能力较强，具有较大的流动性，即它们不是群落中的稳定类群。

对大型土壤动物总个体数量与生物量的结构分析表明，其总规律表现为人为影响小的

表 4 杂食性土壤动物主要类群
Tab. 4 The soil animal guilds of Omnivore

纲	目	科	种
昆虫纲 Isecta	鞘翅目 ^[8,9,20] Coleoptera		
	半翅目 ^[20] Hemiptera	盲蝽科 Miridae	
	直翅目 ^[11] Orthoptera	螽蜥科 Tettigoniidae	
	膜翅目 ^[12,17] Hymenoptera	蚁科 Formicidae	宽结大头蚁 <i>Pheidole nodus</i> Smith、亮红大头蚁 <i>Pheidole fervida</i> Smith、黑蚂蚁 <i>Polyrhachis vicina</i> Roger
腹足纲 Diplopoda	中腹足目 Mesogastropoda	环口螺科 Cyclophoridae	

注：N 为个体数；B 为生物量(湿重)，单位为 g。

群落土壤动物生物量多于人为影响大的群落。但局部出现了土壤动物生物量中度退化草原>轻度退化草原的相悖的情况。究其原因，轻度退化草原是人工牧场的割草场，植被覆盖率较高，但每年的植物归还量较小，对土壤凋落物积累与环境稳定性造成一定的影响。轻度退化草原大型土壤动物个体数和生物量少于中度退化草原，但类群数却多于中度退化草原。中度退化草原位于大庆草甸草原，虽具有放牧等干扰，但整体环境较割草场稳定，植被覆盖率是影响土壤动物生存的重要因子，凋落物归还量与环境稳定性作为土壤环境的重要影响因子同样影响土壤动物的多样性，其综合影响结果具有复杂性。

3.3.2 土壤动物各功能类群的垂直分布 分析大庆草甸草原 6 个样地土壤动物各功能类群个体数量的垂直分布情况（表 6），0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 三层，从表中可以看出，各功能类群的个体总数除腐食性土壤动物第二层最多，植食、捕食和杂食动物的垂直分布都表现为自表层向下逐渐减少的趋势。但每个样地各有差别，表层枯落叶较少或没有的样地 0~5 cm 层的土壤动物数量相对较少，如耕地、重度退化草地等，其土壤动物表聚性不明显，而表层枯落叶较多的样地土壤动物表聚性显著。

3.3.3 土壤动物各功能类群时间动态 根据以往的调查研究^[21]，5 月、7 月、9 月的降水和气温等气象要素的变化，可反映土壤动物在春、夏、秋三季的数量和生物量变化的时间节

表 5 大庆草甸草原区各功能类群土壤动物个体数量与生物量比较(7.5m²)

Tab. 5 The comparison of individual number and biomass of soil animal guilds in Daqing meadow

		草原						湿地		林地		耕地		Σ	
		轻度退化		中度退化		重度退化									
		N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
腐食动物	Σ	10	1.1052	2	0.0008	0	0	6	1.0538	19	4.1221	4	0.0853	41	6.3672
Saprozoic	(%)	5.81	68.56	0.58	0.02	0	0	1.72	24.86	3.66	72.62	18.18	35.81	2.86	41.02
植食动物	Σ	82	0.0911	158	0.0511	7	0.004	19	0.1024	311	0.4231	5	0.0757	582	0.7473
Phytophage	(%)	47.67	5.65	46.06	1.379	25	6.838	5.46	2.42	59.92	7.45	22.73	31.78	40.64	4.81
捕食动物	Σ	70	0.0616	91	0.1971	21	0.0545	28	0.0464	163	0.7068	8	0.0168	381	1.0832
Predacity	(%)	40.70	3.82	26.53	5.33	75	93.16	8.05	1.09	31.41	12.45	36.36	7.05	26.61	6.98
杂食动物	Σ	10	0.3542	92	3.4496	0	0	295	3.036	26	0.4245	5	0.0604	428	7.3247
Omnivore	(%)	5.81	21.97	26.82	93.27	0	0	84.77	71.63	5.01	7.48	22.73	25.36	29.89	47.19
Σ		172	1.6121	343	3.6985	28	0.0585	348	4.2386	519	5.6765	22	0.2382	1432	15.5224
(%)		12.01	10.39	23.95	23.82	1.96	0.38	24.30	27.31	36.24	36.57	1.54	1.53		

表 6 大庆草甸草原大型土壤动物各功能类群个体数量的垂直分布 (7.5m²)

Tab. 6 The number of different guild soil animal's vertical distribution in Daqing meadow

功能类群	深度/cm	轻退	中退	重退	湿地	林地	耕地	各层占比例/%
腐食动物	0~5	5	0	0	2	4	1	29.27
	5~10	3	1	0	3	9	1	41.46
	10~15	2	1	0	1	6	2	29.27
植食动物	0~5	29	94	1	5	143	1	46.59
	5~10	29	50	4	7	94	1	31.57
	10~15	26	16	2	7	74	3	21.84
捕食动物	0~5	51	61	11	17	74	2	57.14
	5~10	14	22	9	6	59	4	30.16
	10~15	4	6	1	5	30	2	12.70
杂食动物	0~5	8	40	0	233	4	1	66.82
	5~10	1	37	0	40	12	2	21.50
	10~15	1	15	0	22	10	2	11.68

律。本研究结果表明，总个体数和生物量都是7月>9月>5月。各功能类群总的个体数量与生物量不一致。其中，各功能类群总的个体数量：腐食性动物7月>5月>9月；植食性动物9月>5月>7月；捕食性动物9月>7月>5月；杂食性动物7月>9月>5月。各功能类群总的生物量：腐食性动物7月>5月>9月；植食性动物9月>5月>7月；捕食性动物5月>9月>7月；杂食性动物9月>5月>7月。

对于土壤动物各功能类群总个体数与生物量，在以往的研究中，通常森林地区1年中9月土壤动物个体数与生物量最大^[22]，本研究地点为半干旱草原，水作为重要的限制因子对土壤动物的数量具有较大的影响，因此，7月的总个体数与生物量显著高于5月和9月。耕地群落情况较特殊，土壤动物个体数与生物量全年均无明显改变，且数量一直维持

在较低水平,说明农药化肥的使用大大影响了土壤动物的生存与发展^[19]。

不同群落各功能类群5月、7月、9月的动态变化表现不尽一致,不具有明显的规律性。林地群落总生物量最大,且变化相对均匀。湿地群落7月、9月土壤动物个体数量较大,并在7月产生峰值。本调查腹足纲共出现334个,其中,7月占总量的72%。说明腹足纲对降水条件有很好的响应,但这一结果对反映草原群落的一般特征不一定具有普遍意义。如林地和中度退化草原两个人为影响较小的自然群落,植食性与捕食性动物个体数量均以9月最多,不同群落捕食性动物个体数与生物量年内变化较小;而植食性动物个体数较多,但生物量较小,说明该类群个体相对较小。

4 森林与草原各主要功能类群土壤动物生物量特征比较

对大庆草甸草原不同群落各功能类群土壤动物个体数与生物量的研究结果表明,林地群落中,除杂食动物外,其他3个功能类群均具有显著的优势。由此,可特别将典型森林区(大兴安岭森林生态系统)与典型草原区土壤动物功能类群的分析结果^[7]比照分析(表7),以此进一步说明,土壤动物功能类群对特定环境的表征作用及森林和草原群落土壤动物类群的差别。

由表7可见,腐食性动物:森林的个体密度约为草原的610倍,生物量约为草原的25倍;植食性动物:个体密度是草原的1.7倍,生物量是草原的14.6倍;捕食性动物:个体密度是草原的4.7倍,生物量是草原的6.5倍;杂食性动物:个体生物量是草原的1.2倍,生物量是草原的0.96倍。

森林、草原地区的腐食性、植食性、杂食性动物三者之和与捕食性动物(营养级之间)生物量之比分别约为:25:1和13.3:1,个体数之比分别约为:14.7:1和2.8:1。结果可见,草原地区个体密度在营养级之间的比例很小,未能达到通常1/10定律的比率,其他数值比率基本正常。

腐食动物的个体密度和生物量在凋落物丰富、环境稳定的森林地区具有显著优势^[23]。森林地区植食动物生物量优势也较显著。而森林与草原捕食动物之比无论是个体数还是生物量相差均不十分悬殊。这也说明土壤动物各功能类群中,具有较多的冗余种。杂食动物:森林和草原群落的比较中森林没有优势,且在生物量上略低于草原。由此更进一步说明,杂食性是动物对不稳定环境适应的表现,环境越稳定越有利于狭食性动物的发展。

5 结论与讨论

(1) 土壤动物各功能类群的划分对简化土壤生态系统功能分析提供了科学的方法,土壤动物功能类群的变化能很好的反映环境特征的变化,因此功能类群研究是土壤生态学研究的深入与发展。

(2) 各功能类群在水平方向的分布:腐食、植食、捕食性动物在林地和轻度退化草原等较稳定的环境占优势,杂食性动物表现出明显的对不稳定环境的适应;垂直分布:各功能类群的个体数量除腐食性动物第二层最多外,均表现为自表层向下逐渐减少;时间变化:不同群落各功能类群5月、7月、9月的动态变化表现不尽一致,不具有明显的规律性。

表 7 典型森林与草原区大型土壤动物功能类群生物量比较

Tab. 7 Comparison between the typical forest and grassland soil macrofauna functional groups of biomass

		大庆草原				大兴安岭森林			
		总和		占各功能类群		总和		占各功能类群	
		<i>N</i> (个/m ²)	<i>B</i> (g/m ²)	<i>N</i> (%)	<i>B</i> (%)	<i>N</i> (个/m ²)	<i>B</i> (g/m ²)	<i>N</i> (%)	<i>B</i> (%)
腐食动物 Saprozoic	蚯蚓	0.27	0.0052	4.94	0.61	25	12.6399	0.75	59.62
	线蚓科	1.6	0.0004	0.29	0.05	3222	6.8033	96.61	32.09
	鞘翅目	2	0.0298	36.56	3.51	6	0.1021	0.18	0.48
	双翅目	1.6	0.8135	29.25	95.83	82	1.6537	2.46	7.80
	Σ	5.47	0.8489			3335	21.199		
	占总量比例/%	2.86	41.02			88.37	86.39		
植食动物 Phytophage	鞘翅目	2.8	0.0195	3.61	19.57	35	1.0307	26.32	70.82
	鳞翅目	1.07	0.0101	1.38	10.14	6	0.0236	4.51	1.62
	半翅目	9.73	0.0459	12.54	46.13	8	0.0548	6.01	3.76
	直翅目	0.4	0.0019	0.51	1.91				
	同翅目	0.13	0.0002	0.12	0.20	9	0.0302	6.76	2.07
	蚁科	63.47	0.0221	81.79	22.19	75	0.3161	56.39	21.92
	Σ	77.6	0.0996			133	1.4554		
	占总量比例/%	40.64	4.81			3.52	5.93		
捕食动物 Predacity	蜘蛛目	12.67	0.0190	24.94	13.16	102	0.3015	42.50	32.03
	地蜈蚣目	1.2	0.0064	2.36	4.43	85	0.4906	35.42	52.12
	鞘翅目	12	0.1081	23.62	74.86	28	0.0482	11.67	5.12
	双翅目	1.73	0.0033	3.41	2.28				
	半翅目	1.33	0.0017	2.62	1.18				
	蚁科	21.87	0.0060	43.05	4.15	25	0.1010	10.43	10.74
	Σ	50.8	0.1444			240	0.9413		
	占总量比例/%	26.61	6.98			6.36	3.84		
杂食动物 Omnivore	腹足纲	44.53	0.4194	42.94	42.94	35	0.7781	53.03	82.69
	鞘翅目	12.53	0.5572	57.06	57.06	31	0.1628	46.96	17.30
	Σ	57.07	0.9766			66	0.9409		
	占总量比例/%	29.89	0.4718			1.75	0.84		
各类群总和		190.93	2.0696			3774			

土壤动物个体大小相差悬殊，个体数量和生物量研究结果相差很大，结论不具有明显的统一性。大型土壤动物生物量的研究结果对于环境特征变化的反映较个体数量具有更大的准确性和稳定性，是生态系统功能研究的重要依据。因此，大型土壤动物生物量研究应

引起高度关注。再者,国内土壤动物功能类群的相关研究并不丰富,作为生态系统功能研究的重要依据,尚有大量的工作需要开展,如同位素示踪技术的运用必将使功能类群的研究产生重大飞跃,对推进土壤生态系统研究可能会产生深刻影响。

参考文献 (References)

- [1] Pollierer M M, Langel R, Scheu S et al. Compartmentalization of the soil animal food web as indicated by dual analysis of stable isotope ratios ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, (41): 1221-1226.
- [2] Brussaard L. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 1998, (9): 123-135.
- [3] Cole L, Bradford M A, Peter J A et al. The abundance, richness and functional role of soil meso and macrofauna in temperate grassland: A case study. *Applied Soil Ecology*, 2006, (33): 186-198.
- [4] 陈鹏. 帽儿山地区土壤动物群结构特征. 见: 李景科, 陈鹏. 土壤动物生态地理研究. 长春: 东北师范大学出版社, 1993. 169-184.
- [5] 张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 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*, 2001, 7(4): 370-374.
- [6] 黄丽荣, 张雪萍. 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*, 2008, 39(5): 1017-1022.
- [7] 张淑花, 张雪萍. 大兴安岭森林火烧迹地大型土壤动物功能类群. *东北林业大学学报*, 2011, 39(8): 70-72.
- [8] 尹文英. 中国土壤动物分类检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [9] 王运兵, 张中印, 徐小娃, 等. 金龟甲总科昆虫食性的调查研究. *湖北农业科学*, 2007, 46(6): 928-929.
- [10] 任炳忠, 赵卓, 郝锡联. 东北地区危害农业、林业的鞘翅目昆虫多样性的研究. *松辽学刊: 自然科学版*, 2000, 2(1): 20-24.
- [11] 涂小云, 章士美, 王国红. 直翅目昆虫的食性分析. *江西农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 24(5): 608-611.
- [12] 孙晓玲, 任炳忠. 东北地区的蚂蚁资源及其研究进展. *松辽学刊: 自然科学版*, 2001, 39(3): 20-23.
- [13] 欧晓红, 李淑芳, 秦瑞豪, 等. 生态恢复草坡的昆虫多样性测评. 见: 中国生物多样性保护与研究进展 VI—第六届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文. 2004. 295-301.
- [14] 韩红香, 薛大勇. 中国动物志·昆虫纲 第54卷: 鳞翅目·尺蛾科·尺蛾亚科. 北京: 科学出版社, 2011.
- [15] 陈德牛, 高家祥. 中国经济动物志陆生软体动物. 北京: 科学出版社, 1987.
- [16] 陈振耀. 捕食性天敌—益蝽. *昆虫天敌*, 1986, (4): 207-208.
- [17] 陆奇平, 张健华, 赵小凯, 等. 黑蚂蚁的食性与生态习性的研究. *湖南文理学院学报: 自然科学版*, 2008, 20(3): 42-45.
- [18] 韩运发. 中国经济昆虫志 第55册: 缨翅目. 北京: 科学出版社, 1997.
- [19] 杜习乐, 马建华, 吕昌河. 污灌农田土壤动物及其对重金属污染的影响——以开封市化肥河污灌区为例. *地理研究*, 2010, 29(4): 617-628.
- [20] 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. 广州: 广东科技出版社, 2009.
- [21] 殷秀琴, 等. 东北森林土壤动物研究. 长春: 东北师范大学出版社, 2001.
- [22] 张雪萍, 黄丽蓉, 姜丽秋. 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*, 2008, 27(3): 509-518.
- [23] 唐本安, 余中元, 陈春福, 等. 海南蚂蟥岭流域桉树人工林土壤动物生态地理特征. *地理研究*, 2010, 29(1): 120-128.

Studies on functional groups of macro-soil animals in Daqing meadow steppe based on the new classification

LIN Lin, WU Tianyuan, LI Jingke, ZHANG Xueping

(College of Geographical Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China;

Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment,

College of Heilongjiang Province, Harbin 150025, China)

Abstract: The study of soil fauna functional groups is important to the research of soil animal ecology. Many species have similar feeding habits and functions in a wide range of soil fauna, as well as in ecosystems. Species composition of soil fauna varies in different regions, however, there is a certain rule for them to respond to the environmental change. So soil fauna is regarded as a stable indicator to reflect changes in the environment. Researching functional groups of macrofauna is meaningful to reduce the complexity of soil fauna biodiversity, and increase the reliability of system analysis. However, very little work has been done with respect to functional categories of soil fauna in Chinese grassland ecosystems. In this paper, dynamic investigation of soil fauna was systematically done in six sites in Daqing meadow zone, which revealed compositions, characteristics and distribution law of macrofauna, response to environmental change and role of functional group.

In this paper, based on the study of three function groups of soil animals in China, systematic investigation was done on soil fauna. Omnivore was divided into the original three groups, and the classification was supplemented and perfected. Thus, relatively complete function groups were formed, and soil fauna could be divided into saprophyte, herbivore, omnivore and predatory animals. The classification system of four functional groups was more scientific, accurate and operational than three previous functional group systems. In this survey, a total of 1432 soil animals were collected, which belonged to 39 categories, 4 classes and 3 phyla. There was a large number and low biomass in herbivore, which indicated that the size of this group was small. The horizontal distribution of soil fauna showed that saprophyte, herbivore and predatory animals were the dominant groups in stable environment, such as in the forest and in the slightly degraded pasture. The omnivore was the dominant groups in unstable environment, which adapted to this situation. Furthermore, the regularity of vertical distribution shows that the number of individuals of all groups gradually decreased from top to bottom except the second layer with the largest number of omnivore. The regularity of temporal evolution indicated the variations of all functional groups were different in May, July and September, and there was no certain regulation. By comparing functional groups of soil fauna in Daqing meadow ecosystem with that in typical forest ecosystem, it was found that the biomass of saprophyte, herbivore, predatory and omnivore in forest ecosystem was 3.8, 14, 6.5 and 0.9 times of that in meadow ecosystem, respectively.

Key words: macro-soil animals; functional groups; classification; Daqing; meadow