第 54 卷 第 4 期
2017 年 7 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 54，No. 4
July，2017

DOI：10.11766/trxb201607150210

长白山地丘陵区不同土地利用方式土壤动物群落生态分布特征*

李红月[1] 殷秀琴[1,2†] 马 辰[1] 郭玉梅[1]

（1 东北师范大学地理科学学院，长春 130024）

（2 吉林省动物资源保护与利用重点实验室，长春 130024）

摘 要 在长白山地丘陵区选择次生落叶阔叶林、灌木林、采伐迹地以及耕地四种土地利用方式，对其土壤动物群落的组成、多样性和分布特征进行研究。结果表明：不同土地利用方式土壤动物群落的水平分布呈现明显的差异。采伐迹地中型土壤动物个体密度和耕地中型土壤动物类群数季节变化明显。次生落叶阔叶林和灌木林土壤动物分布随土层加深急剧减少，采伐迹地和耕地垂直分布递减和缓。同一季节土壤动物的丰富度指数和多样性指数在不同土地利用方式差异显著。土壤动物的多样性表现为灌木林最高，耕地最低。不同土地利用方式影响土壤动物群落的生态分布，其中pH、土壤有机质、有效磷和速效氮是影响长白山地丘陵区不同土地利用方式土壤动物群落分布的主导因子。

关键词 土壤动物；生态分布；土地利用方式；丘陵区；长白山地

中图分类号 S154.5 **文献标识码** A

土壤动物是生态系统中种类繁多、数量巨大的一个类群，在分解生物残体、改变土壤理化性质、物质循环和能量转化过程中起着重要的作用，是地下生态系统中不可缺少的环节[1-3]。土壤动物群落的分布状况很大程度上依赖于它们所生存的环境。同时，土壤动物能够对土壤环境以及植被状况的改变做出响应。目前，土壤动物群落的结构特征及动态变化，作为反映土壤质量状况及植被分布变化的指标予以广泛的研究[4-5]。

土地利用方式对生态环境的作用日益受到高度重视[6]。土地利用方式的改变将会对生态系统产生重要的影响[7-8]。如土地利用方式的改变对小气候、土壤理化性质以及植被覆盖都会产生重要影响，进而改变了土壤微环境，导致土壤动物群落对其变化做出一定的响应。目前，国内外学者对不同土地利用方式土壤动物的研究已有一些报道[9-12]，但对于长白山地的报道相对匮乏。

长白山地丘陵区位于长白山地的西缘，并长期遭到多种形式的干扰与破坏，致使针阔混交林面积急剧减少，取而代之的是大面积的次生林，其土地利用方式多样化[13]。长白山地丘陵区不同的土地利用方式直接或间接的改变地表生态环境，进而改变地上生态系统与地下生态系统的养分循环、能量流动。本文以长白山地丘陵区的次生落叶阔叶林、灌木林、采伐迹地及耕地四种土地利用方式为研究对象，旨在探讨以下问题：（1）不同土地利用方式土壤动物是如何分布？（2）不同土地利用方式环境变化对土壤动物的影响。本研究可为长白山地丘陵区不同土地利用方式对土壤动物的影响提供数据支撑，为长白山地生态系统的健康评价、土地利用的管理及资源的可持续利用提供土壤动物学依据。

* 国家自然科学基金项目（41471211）资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China（No. 41471211）

† 通讯作者 Corresponding author，E-mail：yinxq773@ nenu.edu.cn

作者简介：李红月（ 1988—），女，吉林省吉林市人，硕士，主要从事土壤动物生态学研究。E-mail：yue460178616@163.com

收稿日期：2016-07-15；收到修改稿日期：2016-12-09；优先数字出版日期（www.cnki.net）：2017-05-02

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于吉林省吉林市昌邑区左家镇（44°10′～44°45′ N，126°01′～126°08′ E），地处长白山针阔叶混交林的西部边缘地带[14]。地质构造属于舒兰—伊通地堑的西部边缘，为花岗岩分布区，地貌类型为丘陵，平均海拔大约在300 m。气候为温带大陆性季风气候，年降水量580～600 mm，年平均气温3.6～4.5℃。地带性土壤为暗棕壤。原始植被为针阔叶混交林。20世纪上半叶，由于大量采伐树木修筑铁路，掠夺森林资源，致使原始植被砍伐殆尽，现生为次生落叶阔叶林，但部分地段已被开垦为农田，且主要种植玉米。

1.2　野外调查及样地确定

于2014年5月（春季）、7月（夏季）、9月（秋季）在长白山地丘陵区的左家，依据不同土地利用方式，选取次生落叶阔叶林（Secondary deciduous broad-leaf forest，SDBL）、灌木林（Shrubbery，SH）、采伐迹地（Cut-over land，COL）以及耕地（Arable land，AL）的典型地段作为研究对象。在次生落叶阔叶林和灌木林中分别设置10 m×10 m的样地，采伐迹地和耕地中设置5 m×5 m的样地，在样地内，按对角线法选取5个样方作为重复样采集土壤动物样品。

大型土壤动物取样面积为25 cm×25 cm；中型土壤动物采样面积为10 cm×10 cm。分别按凋落物层、0～5、5～10、10～15 cm采集土壤动物样品（耕地无凋落物层）。与此同时，采集每层土壤样品。使用Em50土壤水分温度测定仪测定0～5、5～10和10～15 cm层的土壤温度及湿度。

1.3　土壤动物分离及鉴定

大型土壤动物采用手捡法，中型土壤动物室内采用Tullgren分离。将获得的所有土壤动物放至浓度75%的酒精中固定，同时将挑捡出的正蚓科放入单独盛有福尔马林溶液的样瓶中。3次共取450个土壤动物样品。在OLYMPUS SZX16显微镜下鉴定土壤动物，一般鉴定到科[15]。

1.4　土壤样品处理及测定

将带回室内的土壤样品进行自然风干，挑拣出植物根系和碎石后，研磨过筛用于土壤理化性质的测定。土壤有机质含量采用KCr_2O_7–H_2SO_4消化$FeSO_4$滴定法测定；土壤速效氮采用碱解扩散法测定；土壤pH采用PHS-3B酸度计测定；土壤有效磷采用NH_4F浸提Smartchem140型全自动化学分析仪测定；土壤速效钾采用NH_4OAc浸提220FS型原子分光光度计测定[16]。

1.5　数据处理

采用丰富度指数（Margalef指数，D）和多样性指数（Shannon-Wiener指数，H'）进行定量测度土壤动物群落的多样性。具体计算公式如下：

$$D=S-1 / \ln N$$

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} n_i/N \times \ln(n_i/N)$$

式中，n_i为第i个类群的个体数，N为群落中全部类群的个体总数，S为类群数目。

应用SPSS19软件对数据统计分析，其中采用单因素方差分析（one-way ANOVA）和最小显著性检验（LSD）分析不同土地利用方式土壤动物群落的差异性。

应用冗余分析（Redundancy analysis，RDA）探讨不同土地利用方式土壤动物群落与土壤理化性质的关系[14]。选取的土壤环境因子为土壤含水率、温度、pH、有机质、速效氮、有效磷、速效钾。土壤动物个体密度和土壤环境因子数据均进行log（x+1）转换。而后，经蒙特卡罗置换检验（Monte Carlo permutation）所有排序轴均为极显著（$p<0.01$），表明RDA分析结果可信。冗余分析采用Canoco for windows 4.5软件进行。

2　结　果

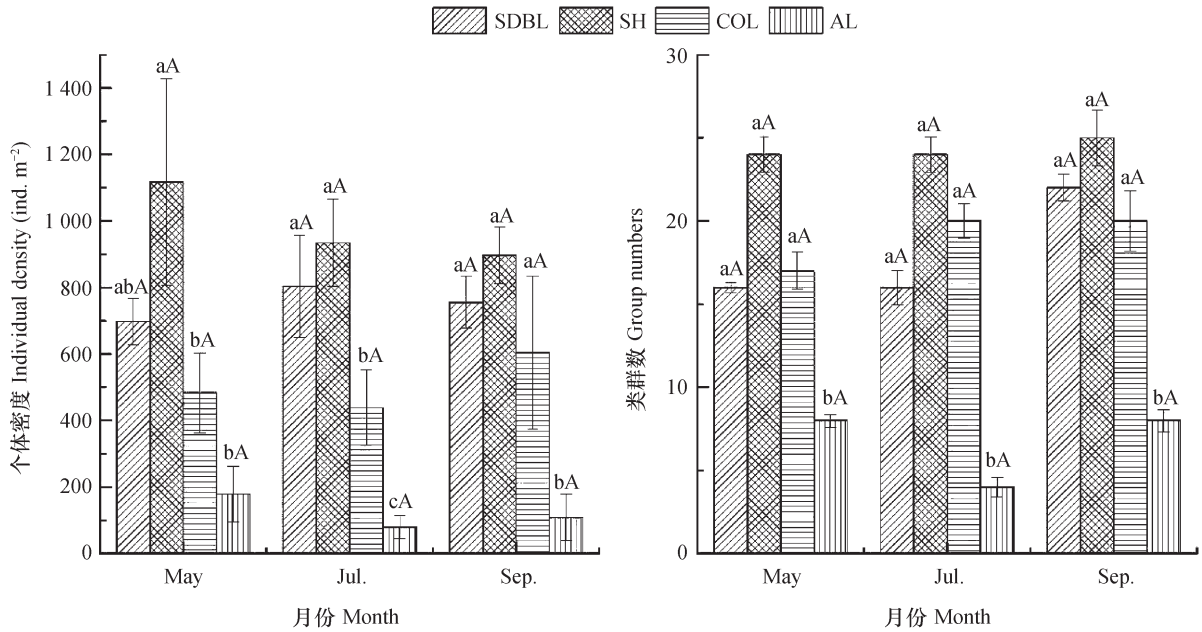
2.1　土壤动物群落组成与数量特征

本研究共获得土壤动物59类，16 344只，隶属于3门7纲21目/亚目。优势类群有3类，分别为甲螨亚目（27.04%）、辐螨亚目（20.94%）和等节跳虫科（16.05%），占所获得的土壤动物总个体数的64.03%；常见类群有9类，分别为山跳虫科（8.97%）、革螨亚目（8.03%）、球角跳虫科（4.26%）、蚁科（2.22%）、长角跳虫科（2.18%）、鳞跳虫科（2.13%）、鞘翅目幼虫（1.52%）、线蚓科（1.52%）、双翅目幼虫（1.50%），占土壤动物总个体数32.33%。稀有类群有48类，仅占土壤动物总个体数的3.64%。

2.2 土壤动物群落的水平分布特征

不同土地利用方式大型土壤动物群落的水平分布见图1。各土地利用方式大型土壤动物个体密度不尽相同。春季，灌木林大型土壤动物个体密度显著高于采伐地和耕地（$p < 0.05$）；夏季，次生落叶阔叶林和灌木林大型土壤动物个体密度显著高于采伐迹地和耕地（$p < 0.05$），采伐迹地显著高于耕地（$p < 0.05$）；秋季，耕地土壤大型动物个体密度显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）。四种土地利用方式大型土壤动物个体密度季节差异不明显（$p > 0.05$）。不同土地利用方式大型土壤动物类群数在各季节也不相同。其中，耕地大型土壤动物类群数显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）。各土地利用方式大型土壤动物类群数无显著的季节差异（$p > 0.05$）。

中型土壤动物群落水平分布见图2。不同土地利用方式中型土壤动物个体密度各不相同。春季灌木林中型土壤动物个体密度显著高于采伐迹地和耕地（$p < 0.05$）；夏季灌木林中型土壤动物个体密度显著高于耕地（$p < 0.05$）。秋季，耕地中型土壤动物个体密度显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）。仅采伐迹地中型土壤动物个体密度存在显著季节差异（$p < 0.05$）。不同土地利用方式中型土壤动物类群数在各季节中不尽相同。春季和夏季，次生落叶阔叶林和灌木林中型土壤动物类群数显著多于采伐迹地（$p < 0.05$），而耕地显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）；秋季，次生落叶阔叶林类群数显著多于采伐迹地和耕地（$p < 0.05$）。仅耕地类群数季节差异明显（$p < 0.05$）。



注：1）SDBL：次生落叶阔叶林，SH：灌木林，COL：采伐迹地，AL：耕地。2）小写字母不同代表同一月份不同土地利用方式的差异显著（$p < 0.05$），大写代表同一土地利用方式不同月份的差异显著（$p < 0.05$）。3）图中误差线为标准误。下同 Note：1）SDBL stands for Secondary deciduous broad-leaf forest land；SH for Shrubbery land；COL for Cut-over land and AL for Arable land（the same below）. 2）Different lower-case letters mean significant differences（$p < 0.05$）between lands different in land-use in the same season. Different capital letters mean significant differences（$p < 0.05$）between different seasons in the lands the same in land-use. 3）Error bar in the figure means standard deviation. The same below

图1 不同土地利用方式大型土壤动物个体密度和类群数动态

Fig. 1 Individual density and numbers of group of soil macro-fauna in the land relative to land-use

2.3 土壤动物群落的垂直分布特征

不同土地利用方式大型土壤动物群落的垂直分布见图3。大型土壤动物个体密度基本上随土层增加而逐渐递减（秋季的采伐迹地中10～15 cm层高于5～10 cm层），其中次生落叶阔叶林与灌木林大型土壤动物个体密度均存在明显的表聚性，但所有

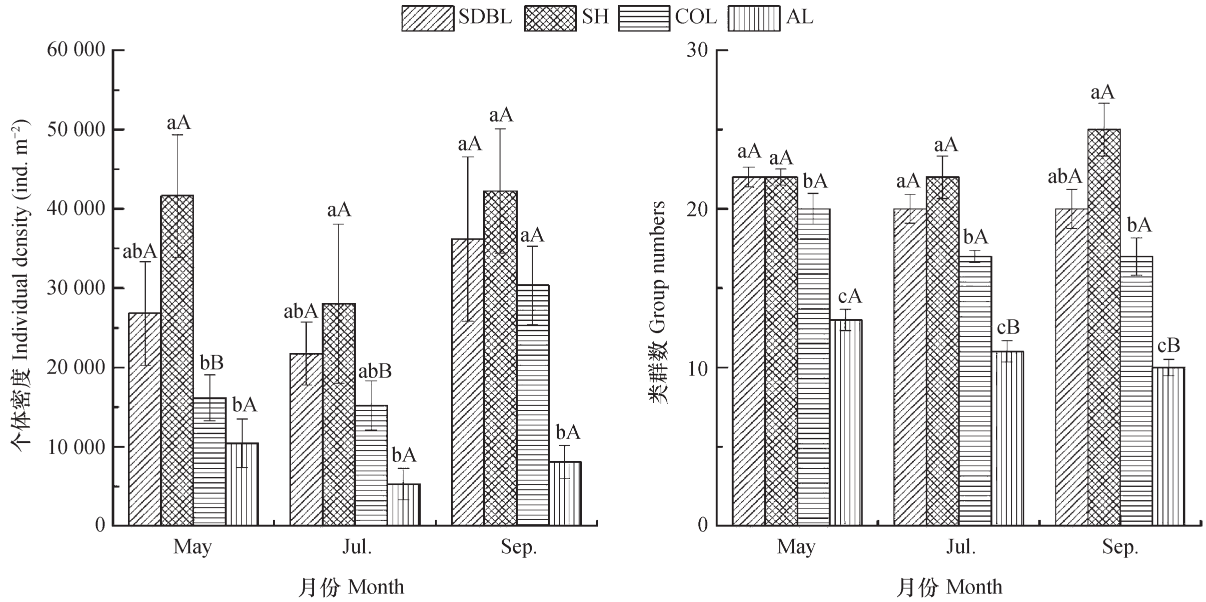


图2　不同土地利用方式中型土壤动物个体密度和类群数动态

Fig. 2　Individual density and numbers of group of soil meso-fauna in the land relative to land-use

土地利用方式中的凋落物层均少于0～5 cm层。大型土壤动物类群数也呈现出表聚性。其中，次生落叶阔叶林与灌木林大型土壤动物类群数表聚性较为明显。

不同土地利用方式中型土壤动物群落的垂直分布见图4。中型土壤动物个体密度垂直分布呈明显的表聚性，且不同土层差异显著（$p < 0.05$）。其中，夏季中型土壤动物个体密度的表聚性较高。除耕地以外，各土地利用方式中型土壤动物类群数均表现出表聚性。而耕地中型土壤动物类群数则在各土层无显著差异。

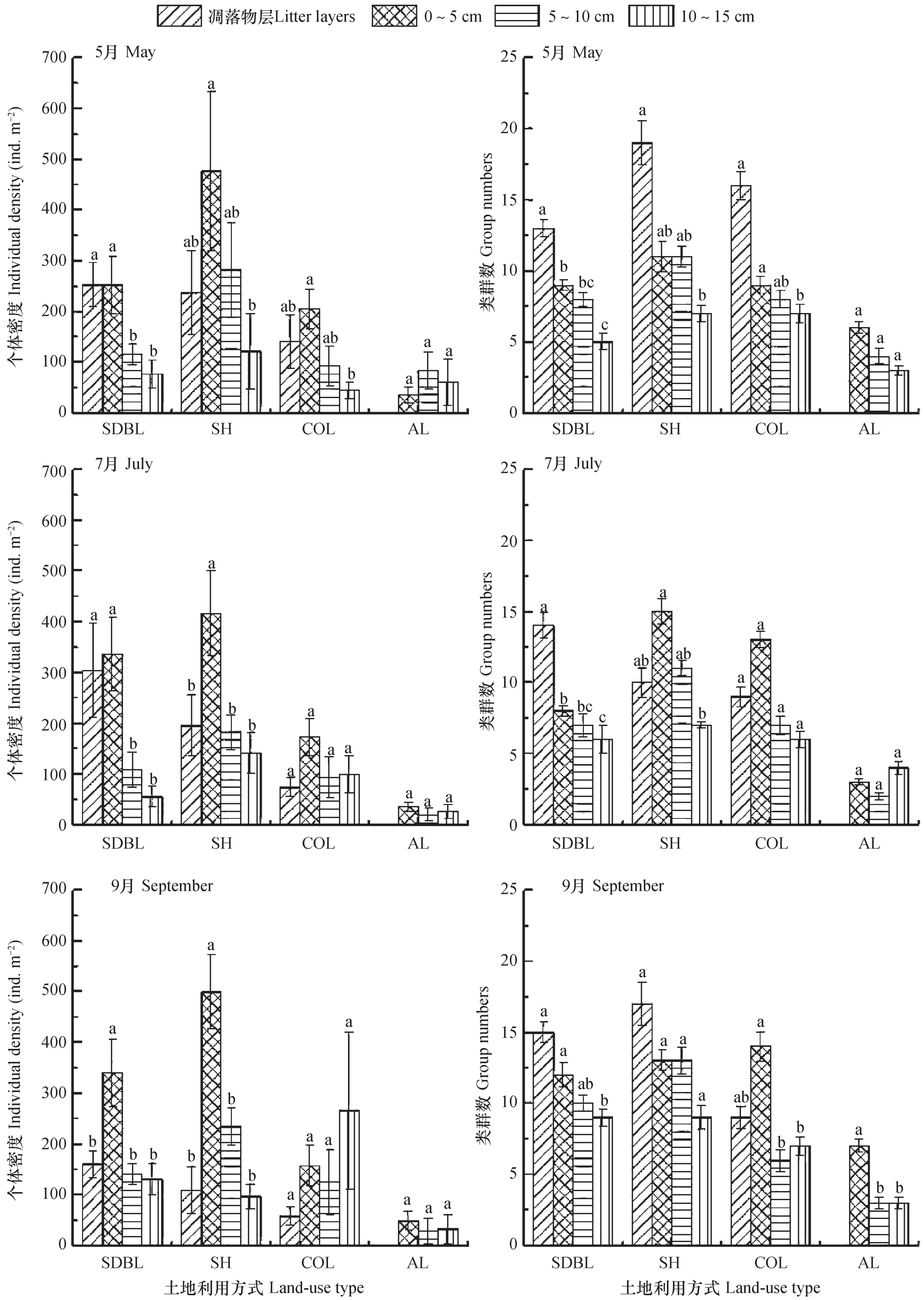
2.4　土壤动物群落的多样性特征

各土地利用方式大型土壤动物的丰富度指数与多样性指数见图5。春季采伐迹地丰富度指数显著高于次生落叶阔叶林与耕地（$p < 0.05$），次生落叶阔叶林丰富度指数显著高于耕地（$p < 0.05$）；采伐迹地大型土壤动物多样性指数显著高于其他土地利用方式（$p < 0.05$），同时次生落叶阔叶林和灌木林大型土壤动物多样性指数也显著高于耕地（$p < 0.05$）；夏季，耕地大型土壤动物丰富度指数与多样性指数均显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）。秋季，次生落叶阔叶林与灌木林丰富度指数与多样性指数均显著高于耕地（$p < 0.05$）。仅采伐迹地多样性指数存在季节显著差异（$p < 0.05$）。

各土地利用方式中型土壤动物丰富度指数与多样性指数见图6。春季，耕地中型土壤动物丰富度指数显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）；夏季，次生落叶阔叶林和灌木林的中型土壤动物丰富度显著高于采伐迹地和耕地（$p < 0.05$）；秋季，灌木林显著高于采伐迹地和耕地（$p < 0.05$）。次生落叶阔叶林、采伐迹地和耕地中型土壤动物丰富度指数存在显著季节差异（$p < 0.05$）。次生落叶阔叶林、灌木林及采伐迹地中型土壤动物多样性指数始终无显著差异（$p > 0.05$），但耕地显著低于其他土地利用方式（$p < 0.05$）。次生落叶阔叶林和灌木林中型土壤动物多样性指数存在显著季节变异（$p < 0.05$）。

2.5　土壤动物群落与土壤环境因子分析

RDA分析结果见图7，前两个排序轴解释了96.7%的土壤动物群落与土壤环境因子的关系，第一排序轴与pH、有效磷、土壤温度呈正相关，与土壤有机质、速效氮、土壤含水量呈负相关，同时在第一排序轴处土壤动物分布密集；第二排序轴与速效钾呈负相关，同时土壤动物分布相对稀疏。表明在长白山地丘陵区不同土地利用方式pH、有效磷、土壤有机质、速效氮、土壤温度、土壤含水量对土壤动物群落多样性以及分布有重要的影响，而速效钾的影响次之。同时，甲螨亚目、辐螨亚目、革螨亚目、等节跳虫科等均聚集在排序图的左侧，表明这些土壤动物对较高的土壤养分含量以及含水量做出积极的响应。



注：小写字母代表同一土地利用方式不同土层的差异显著（$p < 0.05$）。下同 Note: Different lower-case letters represent significant differences（$p < 0.05$）between different layers at the same land-use type. The same below

图3 不同土地利用方式大型土壤动物群落的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of the soil macro-fauna in lands different in land-use

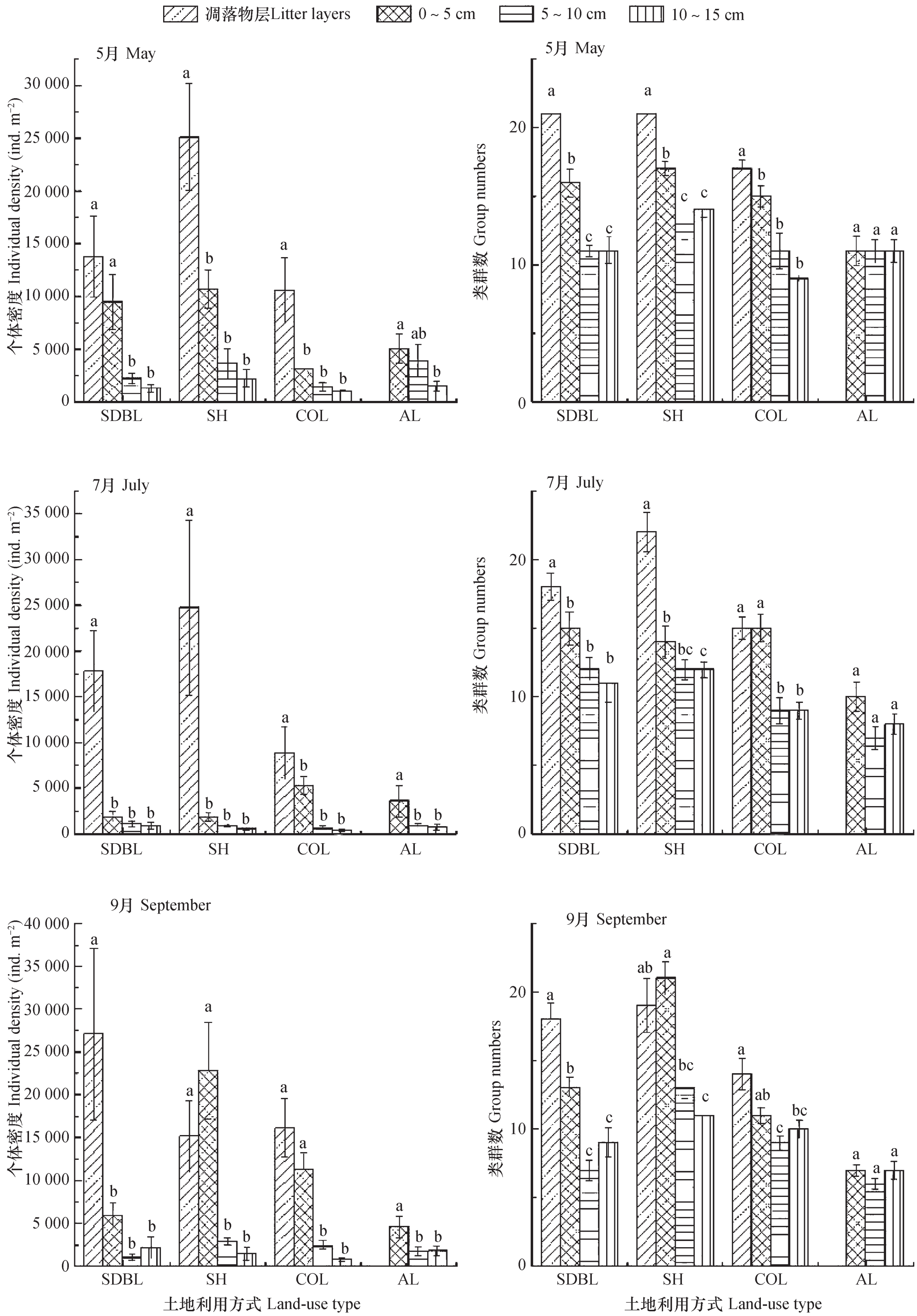


图4　不同土地利用方式中型土壤动物群落的垂直分布

Fig. 4　Vertical distribution of the soil meso-fauna in lands different in land-use

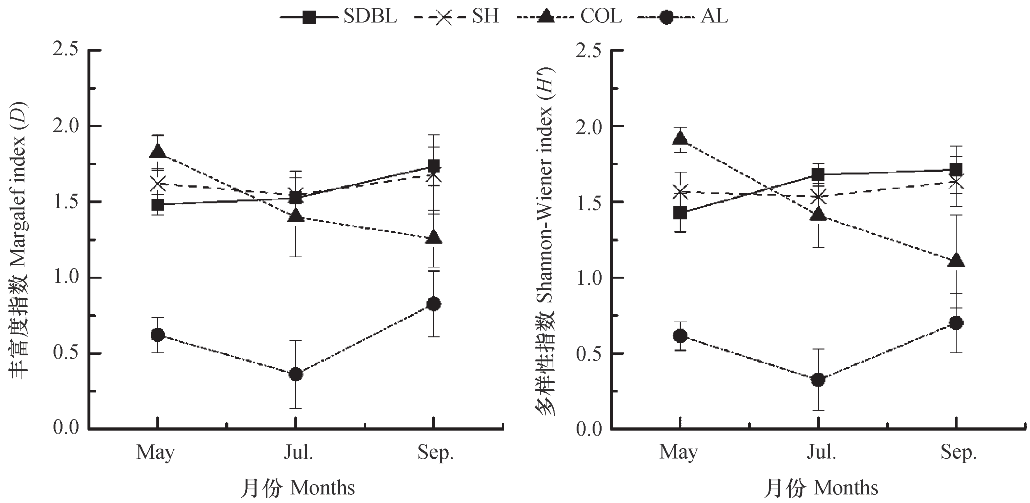


图5 不同土地利用方式大型土壤动物丰富度指数和多样性指数

Fig. 5 Margalef index and Shannon-Wiener index of the soil macro-fauna in lands different in land-use

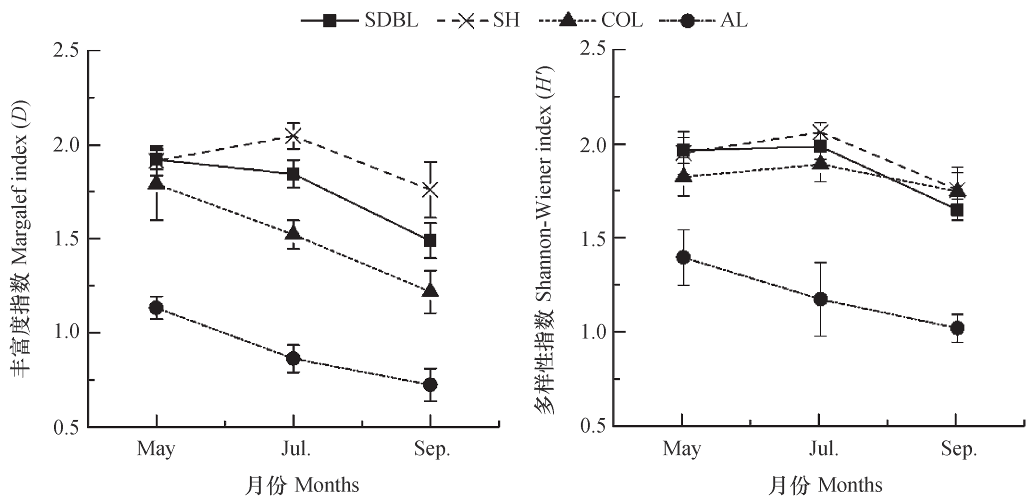
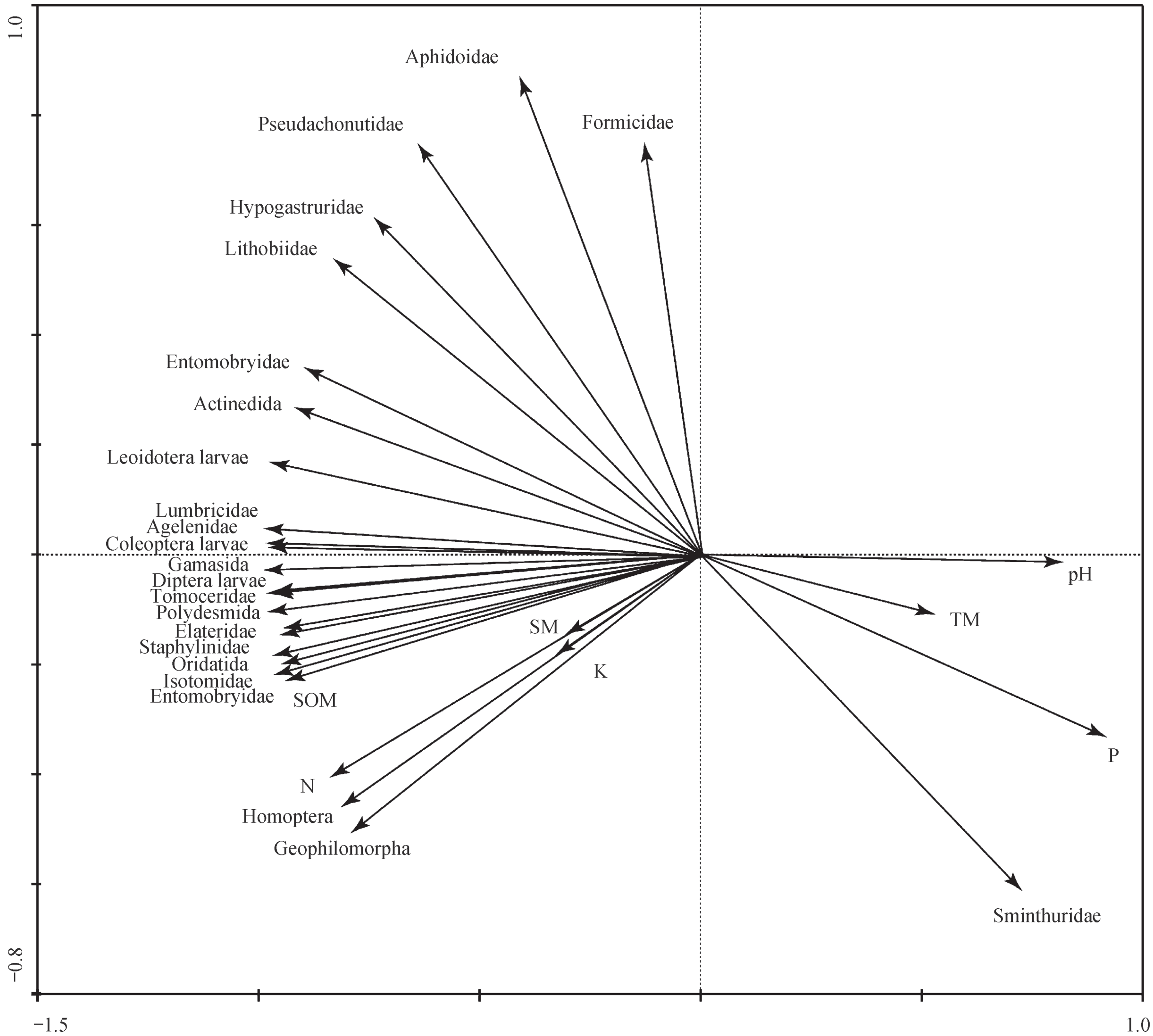


图6 不同土地利用方式中型土壤动物丰富度指数和多样性指数

Fig. 6 Margalef index and Shannon-Wiener index of the soil meso-fauna in lands different in land-use

3 讨 论

20世纪初，大规模的采伐使长白山地丘陵区原始针阔混交林遭到严重破坏，大面积的原始林逐渐被次生林、人工林及耕地所代替，森林景观格局的变化必然会影响生态系统生物多样性的形成和维持，而土壤动物对其响应更为敏感。本研究发现，不同土地利用方式，即受到人为干扰程度的不同，土壤动物群落组成和多样性存在明显的差异，尤其是耕地，其个体密度和类群数皆为最小，这与柯欣等[9]和吴东辉等[10]的研究结果相似。人为活动干扰影响土壤结构，改变了土壤动物的食物源。因此，使得耕地土壤动物密度和类群数相对少。灌木林土壤动物个体密度和类群数都较高，然而灌木林土壤有机质较次生落叶阔叶林贫瘠，此现象的主要原因是，灌木林正处于植被破坏后的次生演替恢复阶段，周边植物的侵入，增加了植物群落的多样性，生境中植物种类的增加将会建立起一个新的微环境并且改变土壤腐殖质的特性，为土壤动物提供了更多的食物，进而增加土壤动物的多样性[17]。在次生落叶阔叶林、灌木林和采伐迹地，春季和夏季发现象甲科分布较多，秋季步甲科分布较多。长白山地丘陵区秋季气温不高，且降水量较少，多受稳定的天气系统控制。为土壤动物创造了较为适宜的生存环境。另外，秋季新鲜的凋落物丰富了土壤动物的食物来源，从而增加一些土壤动物类群的个



SM，土壤含水量Soil moisture；TM，土壤温度Soil temperature；SOM，土壤有机质Soil organic matter；N，速效氮Readily available N；P，有效磷Available P；K，速效钾Readily available K；Oribatid，甲螨亚目；Acinedida，辐螨亚目；Isotomidae，等节跳虫科；Pseudachorutidae，山跳虫科；Gamasida，革螨亚目；Hypogastruridae，球角跳虫科；Formicidae，蚁科；Entomobryidae，长角跳虫科；Tomoceridae，鳞跳虫科；Coleoptera larvae，鞘翅目幼虫；Enchytraeidae，线蚓科；Diptera larvae，双翅目幼虫；Sminthuridae，圆跳虫科；Geophilomorpha，地蜈蚣科；Lumbricidae，正蚓科；Lithobiidae，石蜈蚣科；Staphylinidae，隐翅虫科；Homoptera，同翅目若虫；Leoidotera larvae，鳞翅目幼虫；Agelenidae，漏斗蛛科；polydesmida，马陆目；Elateridae，叩甲科幼虫；Aphidoidae，蚜科

图7　土壤动物群落组成与土壤环境因子的RDA分析

Fig. 7　Redundancy analysis（RDA）of composition of the soil fauna with soil environmental factors

体密度。

本研究土壤动物大多分布在土壤表层，而中型土壤动物表现的更为明显，这与多数学者的研究成果相同[18]。而土壤动物的表聚性与土壤理化性质密切相关，土壤动物以土壤环境为生存空间，绝大部分的类群要在土壤中终生生活，所以土壤理化性质对于土壤动物群落至关重要，而中型土壤动物的迁移能力相对较弱，因而对土壤环境的依赖程度更高，所以更容易受到土壤理化性质的制约。相关研究表明，不同土层的含水量直接影响土壤动物的群落组成与个体密度，尤其对线虫和弹尾纲等土壤动物的分布影响更为明显[19]。Blankinship等[20]研究发现夏季降水对土壤动物的种类组成、区系分布和多样性产生显著影响，但由于土壤动物的种类差异，对降水的响应也存在差异，这可能使得次生落叶阔叶林类群数和采伐迹地个体密度在10～15 cm

层高于5 ~ 10 cm层。

土壤动物群落特征既取决于不同土地利用方式的地上植物群落组成的丰富程度，又取决于土壤理化性质。土地利用方式的不同导致土壤理化性质的不同，进而影响土壤动物的群落特征和多样性。不同的采伐程度改变了地上植物群落组成，并改变了地下生态系统的物质和能量，在一定程度上改变了土壤动物的类群组成，从而使土壤动物群落在不同土地利用方式中产生差异。Culik等[21]研究表明，在可耕土地上，通过直接翻犁土壤，表层有机物的覆盖减少，进而使土壤中弹尾纲的丰富度较低。本研究中，甲螨亚目和等节跳虫科均对不同土地利用方式做出较大的响应，表明生境条件的变化对土壤中螨类和跳虫的数量影响较大。土地利用方式的不同带来的环境条件的改变，直接或是间接地改变了土壤动物的生存环境，从而对土壤动物生存和繁衍产生重大的影响。不同类群的土壤动物在生活史、营养方式、繁殖特征和适应机理等方面存在着明显的差异。因此，甲螨亚目和等节跳虫科对不同的土地利用方式所带来的环境变化做出了较大的响应。

土壤动物对土地利用方式改变所带来的各种环境变化的响应各不相同。本研究发现，多数土壤动物对于土壤pH表现出明显的负向响应。相关研究表明，土壤动物对于其生存环境具有一定适应性，微酸和中性条件下更适宜土壤动物生存[22]，这与本研究的结果类似。同时，本研究还发现，多数土壤动物对土壤有机质表现出明显的正向响应。土壤有机质与土壤肥力是密切相关的，其含量对植物的生长具有重要的意义。充足的土壤有机质可以使植物茂盛的生长，为土壤动物提供充足的食物，从而对维持土壤动物的生存具有重要的作用[23]。除此之外，本研究还发现多数土壤动物对土壤有效磷表现出明显负向响应。Tripathi等[24]研究表明，土壤有效磷的含量与土壤动物的多度成正相关，这与本研究的结果不同。Villenave等[25]研究表明，养分超过土壤动物生存所需量，便会表现出负向的响应。而本研究中，各土地利用方式土壤有效磷的含量均处于较高的水平。因此，使得本研究中多数土壤动物对土壤有效磷表现出明显负向响应。

4 结 论

长白山地丘陵区四种土地利用方式共获土壤动物59类，16 344只，隶属于3门7纲21目/亚目。土壤动物群落的水平分布在不同土地利用方式存在明显的差异性。采伐迹地中型土壤动物个体密度存在显著的季节变化，耕地中型土壤动物类群数则呈现出显著的季节变化。次生落叶阔叶林和灌木林土壤动物群落分布随着土层的加深急剧减少，而采伐迹地和耕地的垂直变化比较和缓。土壤动物的多样性在灌木林中最高，耕地最低。RDA分析结果表明，pH、土壤有机质、有效磷是影响长白山地丘陵区不同土地利用方式土壤动物群落分布的主导因子。

参 考 文 献

[1] Yin X Q，Song B，Dong W H，et al. A review on the eco-geography of soil fauna in China. Journal of Geographical Sciences，2010，20（3）：333—346

[2] Yin X Q，Li X Q，An J C，et al. Characteristics of ecological distribution of soil micro arthropod communities in the wetlands of the Lhasa River on the Qinghai-Tibet Plateau. Wetlands，2015，35（3）：589—596

[3] Liiri M，Häsä M，Haimi J，et al. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services-A microcosm study. Applied Soil Ecology，2012，55（2）：53—61

[4] Yan S K，Singh A N，Fu S L，et al. A soil fauna index for assessing soil quality. Soil Biology & Biochemistry，2012，47（2）：158—165

[5] Frouz J，Prach K，Pižl V，et al. Interactions between soil development，vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. European Journal of Soil Biology，2008，44（1）：109—121

[6] 李秀彬. 土地利用变化的解释. 地理科学进展，2002，21（3）：195—203
Li X B. Explanation of land use changes（In Chinese）. Progress in Geography，2002，21（3）：195—203

[7] Abdelkefi A，Rui V，Nayfeh A H，et al. Linking land use，in-stream stressors，and biological condition to infer causes of regional ecological impairment in streams. Freshwater Science，2016，32（3）：801—820

[8] Marichal R，Grimaldi M，Alexander F M，et al. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. Applied Soil Ecology，2014，83：177—185

[9] 柯欣，梁文举，宇万太，等. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报，2004，15（4）：600-604

Ke X，Liang W J，Yu W T，et al. Community structure and seasonal change of soil micro-arthropodes in the lower reaches of Liaohe River Plain under different land utilization（In Chinese）. Chinese Journal of Applied Ecology，2004，15（4）：600—604

［10］ 吴东辉，张柏，卜照义，等. 长春市不同土地利用生境土壤螨类群落结构特征. 生态学报，2006，26（1）：16—25

Wu D H，Zhang B，Bu Z Y，et al. The characteristics of community structure of soil mites from different habitats in Changchun area（In Chinese）. Acta Ecologica Sinica，2006，26（1）：16—25

［11］ Peña-Peña K，Irmler U. Moisture seasonality，soil fauna，litter quality and land use as drivers of decomposition in Cerrado soils in SE-Mato Grosso，Brazil. Applied Soil Ecology，2016，107：124—133

［12］ Bartz M L C，Brown G G，Rosa M G D，et al. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina，Brazil. Applied Soil Ecology，2014，83：59—70

［13］ 王野乔，吴正方，冯江. 长白山地理系统与生态安全. 长春：东北师范大学出版社，2010

Wang Y Q，Wu Z F，Feng J. Geosystems and ecological security of the Changbai Mountains（In Chinese）. Changchun：Northeast Normal University Press，2010

［14］ 刘继亮，殷秀琴，邱丽丽. 左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系研究. 土壤学报，2008，45（1）：130—136

Liu J L，Yin X Q，Qiu L L. Large-sized soil fauna and soil factors in Zuojia nature reserve（In Chinese）. Acta Pedologica Sinica，2008，45（1）：130—136

［15］ 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京：科学出版社，1998

Yin W Y. Pictorial keys to soil animals of China（In Chinese）. Beijing：Science Press，1998

［16］ 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京 ：中国农业出版社，2000

Bao S D. Soil analysis in agricultural chemistry（In Chinese）. Beijing：China Agriculture Press，2000

［17］ Thoms C，Gattinger A，Jacob M，et al. Direct and indirect effects of tree diversity drive soil microbial diversity in temperate deciduous forest. Soil Biology & Biochemistry，2010，42（9）：1558—1565

［18］ Doblasmiranda E，Sánchezpiñero F，Gonzálezmegías A. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem：Are litter and belowground compartmentalized habitats? Pedobiologia，2009，52（6）：361—373

［19］ Riutta T，Slade E M，Bebber D P，et al. Experimental evidence for the interacting effects of forest edge，moisture and soil macrofauna on leaf litter decomposition. Soil Biology & Biochemistry，2012，49（6）：124—131

［20］ Blankinship J C，Niklaus P A，Hungate B A. A meta-analysis of responses of soil biota to global change. Oecologia，2011，165（3）：553—565

［21］ Culik M P，Souza J L D，Ventura J A. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espírito Santo，Brazil. Applied Soil Ecology，2002，21：49—58

［22］ Ke X，Yue Q，Fu R，et al. Soil Fauna Community and Bio-assessment of Soil Acidity in Beach Land of Eastern Shanghai. Zoological Research，2002，23（2）：129—135

［23］ Ayuke F O，Brussaard L，Vanlauwe B，et al. Soil fertility management：Impacts on soil macrofauna，soil aggregation and soil organic matter allocation. Applied Soil Ecology，2011，48（1）：53—62

［24］ Tripathi G，Sharma B M. Impact of land use practices on faunal abundance，nutrient dynamics and biochemical properties of desert pedoecosystem. Environmental Technology，2005，26（11）：1205—1216

［25］ Villenave C，Saj S，Pablo A L，et al. Influence of long-term organic and mineral fertilization on soil nematofauna when growing *Sorghum bicolor* in Burkina Faso. Biology and Fertility of Soils，2010，46（7）：659—670

Ecological Distribution of Soil Fauna Communities in Hilly Regions of the Changbai Mountains Relative to Land Use

LI Hongyue[1] YIN Xiuqin[1，2†] MA Chen[1] GUO Yumei[1]

（1 *School of Geographical Sciences*，*Northeast Normal University*，*Changchun* 130024，*China*）

（2 *Jilin Key Laboratory of Animal Resource Conservation and Utilization*，*Changchun* 130024，*China*）

Abstract 【Objective】Soil fauna play a significantly crucial role in decomposing organic debris， altering physical and chemical properties, and promoting material and energy recycling of and in the soils. In addition to this, they are a key link between the above-and under-ground ecosystems. Change in land-use may bring about great impacts on the ecosystems. However, little has been reported on impacts of changes in land use on soil fauna communities in the Changbai Moutains. In this study, a field investigation was conducted in 2014 on composition, diversity and distribution of the soil fauna communities in four tracts of land different in land-use (secondary deciduous broad-leaf forest, shrubbery, cut-over land and farm land) in the Changbai Mountains. 【Method】 Sampling plots, 5 m × 5 m each, were set up in the cut-over land and the farm land, and, 10 m × 10 m each in the secondary deciduous broad-leaf forest land and shrubbery land. Within each plot, five subplots were set using the diagonal process for duplicate sampling, 25 cm × 25 cm each for macro-fuana and 10 cm × 10 cm each for meso-fauna, and samples were collected from the litter layer, 0 ~ 5, 5 ~ 10 and 10 ~ 15 cm soil layers in each subplot during spring, summer, and autumn 2014. Soil macro-fauna were picked out and collected by hand and soil meso-fauna with the Tullgren funnel extractor. One-way ANOVA and LSD were adopted to analyze differences in soil fauna community between lands under different land use, and RDA (redundancy analysis) to analyze relationships of soil fauna community with soil physico-chemical properties relative to land use.【Result】A total of 59 groups and 16 344 soil animals were collected and could be sorted into 3 phyla, 7 classes and 21 orders/suborders. Among these, Oribatida (27.04%), Actinedida (20.94%) and Isotomidae (16.05%) were the dominant groups. Differences between the four tracts of land were significant in soil fauna distribution at the community level. In the cut-over land, individual density of the soil meso-fauna varied significantly with the season, while in the farm land the number of soil meso-fauna groups did. In the secondary deciduous broad-leaved forest land and shrubbery land, the soil fauna community declined drastically in distribution with with soil depth, while in the cut-over land and farm land did not so drastically. Even in the same season, the four lands differed in Margalef index (*D* index) and Shannon-wiener index (*H'* index) of the soil macro-fauna. Only in the cut-over land, *D* index varied significantly with the season. In the same season, the four lands differed in *D* index and *H'* index of the soil meso-fauna. The secondary deciduous broad-leaved forest land, cut-over land and farmlands varied significantly in *H'* index of the soil meso-fauna, while the secondary deciduous broad-leaved forest land and shrubbery land did in *D* index. Redundancy analysis shows that soil fauna was significantly related to pH, organic matter, readily available P, readily available N, moisture content and temperature in the soil in community diversity and distribution. 【Conclusion】Obvious differences did exist between lands different in land use in distribution of soil fauna in community level in the Changbai Mountains. In the cut-over land the soil meso-fauna varies significantly with the season in individual density, while in the farm land, it does in number of groups. In the secondary deciduous broad-leaved forest land and shrubbery land the soil fauna communities decline drastically with soil depth, while in the cut-over land and farm land they do quite mildly. The shrubbery land is the highest in soil fauna community diversity and the farm land the lowest. RDA shows that soil pH, soil organic matter content and the content of readily available P and readily available N are the main factors affecting distribution of the soil fauna communities in all the four types of lands in the hilly regions of the Changbai Mountains.

Key words Soil fauna; Ecological distribution; Land-use type; Hilly regions; Changbai Mountains

（责任编辑：卢 萍）