

董伟华, 李晓强, 宋扬, 等. 公路运营对农田和防护林中小型土壤动物多样性的影响[J]. 地理科学, 2017, 37(3): 473-480. [Dong Weihua, Li Xiaoqiang, Song Yang et al. The Effect of Highway on Diversity of Soil Meso-microfauna in Farmland and Shelter Forest. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(3): 473-480.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.03.018

# 公路运营对农田和防护林中小型土壤动物多样性的影响

董伟华<sup>1,2</sup>, 李晓强<sup>1</sup>, 宋扬<sup>1</sup>, 吴祥文<sup>1</sup>, 刘同洲<sup>1</sup>, 许修宏<sup>2</sup>

(1. 长春师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130032; 2. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 对距高速公路不同距离样点中小型土壤动物多样性、相似性进行统计及典范对应分析(CCA)。共捕获中小型土壤动物 9 994 只, 隶属 3 纲 6 目 15 科。研究发现: ① 高速公路旁林地中小型土壤动物个体数高于农田; 林地和农田中小型土壤动物多样性在样点和季节间存在显著差异( $P < 0.05$ )。② 林地距离高速公路 5 m 和 1 600 m 样点、农田距离高速公路 5 m 和 800 m 中小型土壤动物群落相似性较低。③ 土壤有机质含量是影响高速公路林地和农田中小型土壤动物群落分布的重要土壤环境因子。距离高速公路远的林地和农田样点(800 m 和 1 600 m)中小型土壤动物多样性高于近距离样点(5 m)中小型土壤动物多样性, 与公路的运营对周边地区土壤理化性质、地表植被等的影响有关。

**关键词:** 高速公路; 林地; 农田; 中小型土壤动物; 多样性

**中图分类号:** Q958; S154 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2017)03-0473-08

公路运营过程中, 伴随而生的空气、噪音、水体和土壤污染对所途经地区的植被产生重要影响<sup>[1~4]</sup>。生态系统地下与地上部分紧密相关, 在自上而下的调控过程中, 地上植被的改变会显著影响土壤动物群落的分布<sup>[5,6]</sup>, 森林和农田生态系统由于地上植被不同, 对地下土壤动物群落必然会产生不同影响。绝大部分的土壤动物终身生活在土壤中, 特别是中小型土壤动物的移动能力弱, 对土壤环境的依赖程度高, 所以土壤微环境对于土壤动物群落分布产生重要影响<sup>[7,8]</sup>。目前, 关于公路路域土壤动物群落变化的研究不多<sup>[9~11]</sup>, 很少涉及公路运营对周边生态系统土壤动物多样性的影响。本文以京哈高速公路德惠路段周边林地和农田中小型土壤动物群落为研究对象, 对距高速公路不同距离农田和防护林地中小型土壤动物群落组成和多样性动态进行分析, 明确高速公路对途经林地和农田中小型土壤动物群落多样性影响的差异, 为公路途经黑土区路域生态安全、防止公路

路域黑土退化和促进路域生态环境持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于吉林省长春市中部京哈高速德惠段(44°02'50"N ~ 44°53'55"N, 125°14'30"E ~ 126°24'43"E)路域。地处东北典型黑土区, 第二松花江中游, 中温带半湿润季风气候。春季短暂干燥多风, 夏季温热多雨, 秋季凉爽, 冬季寒冷漫长。全年平均气温 4.5℃, 无霜期 140 d。年平均辐射量为 118.7 kcal/cm, 日照率为 59%, 年平均日照时数 2 695 h。年降水量 520 mm, 年季间变化较大。土壤类型以黑土、草甸土、黑钙土和冲积土为主。受人类长期活动的影响, 原始植被已不复存在, 大部分地区已开垦为农田。近年来农民采用常规、玉米连作, 一年一熟的耕作方式。农田间有些小面积的连续分布的天然次生林和人工植被, 主要以杨树为主, 地表植被以豚草(*Ambrosia arte-*

**收稿日期:** 2016-04-11; **修订日期:** 2016-06-01

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31200407, 31670527, 41601263)、吉林省科技厅自然科学基金项目(20170101166JC)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(31200407, 31670527, 41601263), Nature Science Foundation of Jinlin Province(20170101166JC).]

**作者简介:** 董伟华(1978-), 女, 河北唐山人, 教授, 博士, 研究方向为自然地理及土壤动物生态。E-mail: dongwh78@126.com

*misiiifolia*)、绿狗尾草(*Setaria viridis*)、铁苋菜(*Acalypha australis*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、小薊(*Cirsium setosum*)、黄金蒿(*Artemisia aurata*)、无芒稗(*Echinochloa crusgalli*)、葎草(*Humulus scandens*)、细叶水团花(*Adina rubella*)、圆叶牵牛(*Ipomoea purpurea*)、萝藦(*Metaplexis japonica*)、紫菀(*Aster tataricus*)、细叶胡枝子(*Lespedeza juncea*)、金色狗尾草(*Setaria pumila*)、苍耳(*Xanthium strumarium*)等为主,植被盖度80%~90%。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集与处理

2013年5月、8月和10月在京哈高速公路德惠段高速公路为中心,选取林地和农田2种生境,且在每个生境垂直于公路北侧分别选择距高速公路5 m、200 m、400 m、800 m和1 600 m的样点进行中小型土壤动物取样。中小型土壤动物的取样面积为10 cm×10 cm,按照0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm和15~20 cm分层取样,设置3个重复,共采集360个样品(2生境×5样点×3重复×4层×3次取样时间)。为了便于统计,本研究中将4层中小型土壤动物的数据合并,将土壤样品带回室内采用Tullgren法分离中小型土壤动物,样品保存在75%的乙醇溶液中。实体显微镜鉴定,主要依据《中国土壤动物检索图鉴》<sup>[12]</sup>、《昆虫分类》<sup>[13]</sup>和《幼虫分类学》<sup>[14]</sup>等工具书。土壤动物的幼虫和成虫有不同的生态功能,将幼虫和成虫分开统计个体数量<sup>[15]</sup>。

### 2.2 数据处理

中小型土壤动物群落的多样性指数通过以下几个参数来描述,主要包括个体数、类群数和Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )。计算公式如下<sup>[16]</sup>:  

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$
 式中, $s$ 为所有的类群数, $P_i$ 为取样点第*i*个类群土壤动物的个体数占该样点土壤动物总数的比例。

重复性方差分析林地和农田生境距高速公路不同距离样点、取样时间及二者相互作用对中小型土壤动物个体数、类群数、多样性指数的影响。单因素方差分析同一取样时间林地和农田生境不同距离样点间中小型土壤动物个体数、类群数和多样性指数的差异。对于不服从正态分布的数据,利用log( $X$ )转换,LSD进行多重比较,SPSS19.0软件进行方差分析。相似性指数(So-

rensen index和Morisita-Horn index)分析林地和农田生境距高速公路不同距离样点间中小型土壤动物的相似性<sup>[17,18]</sup>。典范对应分析(Canonical Correspondence analysis, CCA)定量研究环境因子(土壤有机质、土壤含水率、土壤pH和海拔)对中小型土壤动物群落的影响。为了减少变量的个数,优势类群和常见类群(占总个体数超过95%)进行统计分析。在进行排序分析之前,对中小型土壤动物个体数进行对数转换,应用排序软件CANOCO 4.5进行典范对应分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 高速公路对土壤动物群落组成的影响

高速公路途经林地距公路不同距离样点共捕获中小型土壤动物5 809只,隶属3纲6目10科(表1)。等节跳科、甲螨亚目、革螨亚目、线蚓科和辐螨亚目为优势类群,占土壤动物总个体数的86.50%。山跳虫科、鳞跳虫科、地跳虫科、隐翅虫科、双翅目幼虫和圆跳虫科为常见类群,占土壤动物总个体数的12.26%。距公路不同距离农田样点共捕获中小型土壤动物4 185只,隶属3纲6目9科。等节跳科、革螨亚目和甲螨亚目为优势类群,占土壤动物总个体数的60.14%。辐螨亚目、鳞跳虫科、线蚓科、拟鳞跳虫科、山跳虫科、圆跳虫科、步甲科幼虫、双翅目幼虫和隐翅虫科幼虫为常见类群,占土壤动物总个体数的39.52%。

距公路不同距离林地与农田生境中小型土壤动物群落组成存在差异。林地中小型土壤动物的优势类群多于农田,常见类群则少于农田,类群也存在差异。此外,球角跳虫科、筒跳虫科、地跳虫科、隐翅虫科和赤螨科仅在林地生境有分布。拟鳞跳虫科、步甲科幼虫和隐翅虫科幼虫和东京弓背蚁仅在农田生境有分布(表1)。

### 3.2 高速公路对土壤动物群落多样性的影响

重复性方差分析(表2)表明高速公路对途经林地和农田中小型土壤动物的Shannon-Wiener多样性指数在取样时间、样点和二者相互作用均存在显著差异( $P<0.05$ )。林地中小型土壤动物个体数在取样时间、样点和取样时间的相互作用存在显著差异( $P<0.05$ )。农田中小型土壤动物的个体数在取样时间、样点和二者相互作用间存在极显著差异( $P<0.01$ )。林地中小型土壤动物的类群数仅在取样时间存在极显著差异( $P<0.01$ ),农田中

表1 林地和农田中小型土壤动物群落组成

Table 1 The composition of soil meso-microfauna communities in shelter forest and cropland

种类	林地(距公路距离)							农田(距公路距离)						
	5 m	200 m	400 m	800 m	1600 m	合计	多度	5 m	200 m	400 m	800 m	1600 m	合计	多度
等节跳科 Isotomidae	228	371	180	210	702	1691	+++	103	131	190	471	219	1114	+++
甲螨亚目 Oribatida	159	473	238	94	286	1250	+++	86	69	105	271	167	698	+++
革螨亚目 Mesostigmata	56	88	53	286	355	838	+++	187	79	159	80	200	705	+++
线蚓科 Enchytraeidae	200	6	397	10	30	643	+++	86	45	30	71	20	252	++
辐螨亚目 Prostigmata	32	299	62	104	106	603	+++	58	92	133	43	65	391	++
山跳虫科 Pseudachorutidae	127	6	39	9	15	196	++	15	3	8	58	53	137	++
鳞跳虫科 Tomoceridae	37	42	7	9	69	164	++	14	41	94	106	90	345	++
地跳虫科 Oncopoduridae	33	32	27	16	29	137	++							
隐翅虫科 Staphylinidae	29	2	9	27	15	82	++							
双翅目幼虫 Diptera larvae	21	4	17	10	19	71	++	24	7	7	40	30	108	++
圆跳虫科 Sminthuridae	5	47	5	2	3	62	++	4	3	2	34	35	78	++
筒跳虫科 Tomoceridae	6		2	24	10	42	+							
赤螨科 Erythraeidae			4	8	1	13	+							
铗虫八科 Japygidae	3	4	1		5	13	+	2		4			6	+
球角跳虫科 Hypogastruridae	4					4	+							
拟鳞跳虫科 Oncopoduridae								8	9	48	147	31	243	++
步甲科幼虫 Carabidae larva								8	12	2	17	17	56	++
隐翅虫科幼虫 Staphylinida larva								4	12	2	12	14	44	++
东京弓背蚁 Camponotus tokioensis								3	3	0	2	0	8	+
总个体数	940	1374	1041	809	1645	5809		602	506	784	1352	941	4185	
类群数	14	12	14	13	14	15		14	13	13	13	12	14	

注:+++ 优势类群(个体数占总个体数比例>10%); ++ 常见类群(个体数占总个体数1%~10%); + 稀有类群(个体数占总个体数比例<1%)。空白处为无数据。

表2 样点和取样时间及二者相互作用对中小型土壤动物多样性的影响

Table 2 Effects of sample sites, sampling period and their interaction on diversity of soil meso-microfauna

生境	变异来源	自由度	个体数		类群数		多样性指数	
		df	F	P	F	P	F	P
林地	样点	4	1.49	0.276	3.46	0.051	4.88	0.019
	时间	2	9.29	0.001	41.77	<0.001	7.67	0.003
	样点×时间	8	3.30	0.014	2.42	0.052	3.21	0.016
农田	样点	4	28.55	<0.001	3.83	0.090	4.67	0.018
	时间	2	26.78	<0.001	0.97	0.933	12.32	0.006
	样点×时间	8	10.30	<0.001	7.39	<0.001	5.85	0.001

小型土壤动物的类群数在样点和取样时间的相互作用存在显著差异( $P<0.01$ )。

单因素方差分析表明优势类群等节跳虫科、革螨亚目和甲螨亚目个体数在同一季节不同样点之间存在显著差异( $P<0.05$ ),其季节动态如图1。

林地,5月1600 m样点等节跳虫科个体数显著高于其它样点( $P<0.05$ );5月和10月1600 m样点革螨亚目个体数显著高于5 m样点( $P<0.05$ );10月份200 m样点甲螨亚目个体数显著高于其它样点( $P<0.05$ )。农田,5月1600 m样点等节跳虫科、革螨亚

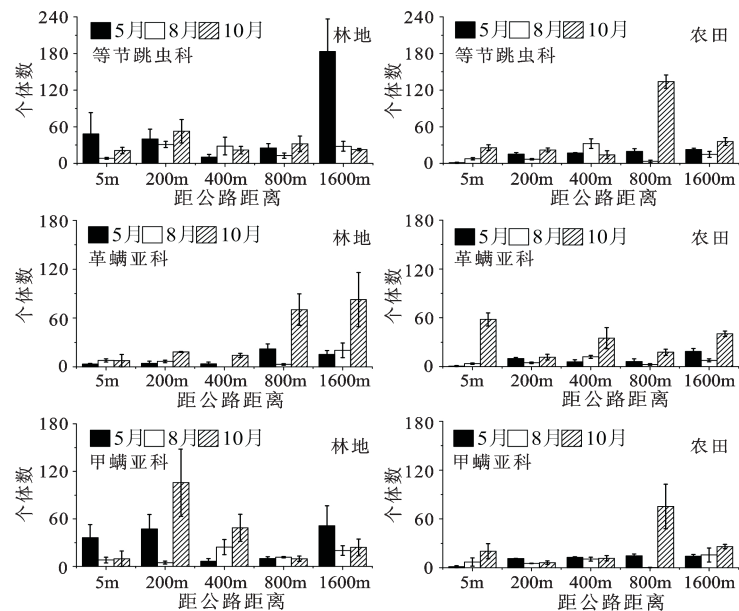


图1 林地和农田中小型土壤动物优势类群个体数变化(均值±标准误)

Fig.1 Abundance of soil meso-microfauna communities in shelter forest and cropland(Mean±SE)

目和甲螨亚目个体数显著高于5 m样点( $P<0.05$ ); 10月800 m样点等节跳虫科和甲螨亚目个体数显著高于5 m样点( $P<0.05$ )。

林地800 m样点中小型土壤动物的多样性指数高于其他样点(图2)。1600 m样点中小型土壤动物的类群数均值(8.22)高于5 m(8.11)及其他样点。农田1600 m样点中小型土壤动物的多样性指数显著高于5 m样点( $P<0.05$ )。800 m样点和1600 m样点

中小型土壤动物的类群数均值高于其他样点。

### 3.3 高速公路对土壤动物群落相似性的影响

对林地和农田距离高速公路不同距离样点中小型土壤动物的相似性指数进行分析计算,结果见表3和表4。表3结果显示林地距高速公路5 m和1600 m样点间土壤动物群落的Sorensen指数较低为0.489,说明林地5 m和1600 m样点间土壤动物群落相似性较低,其Morisita-Horn指数也不

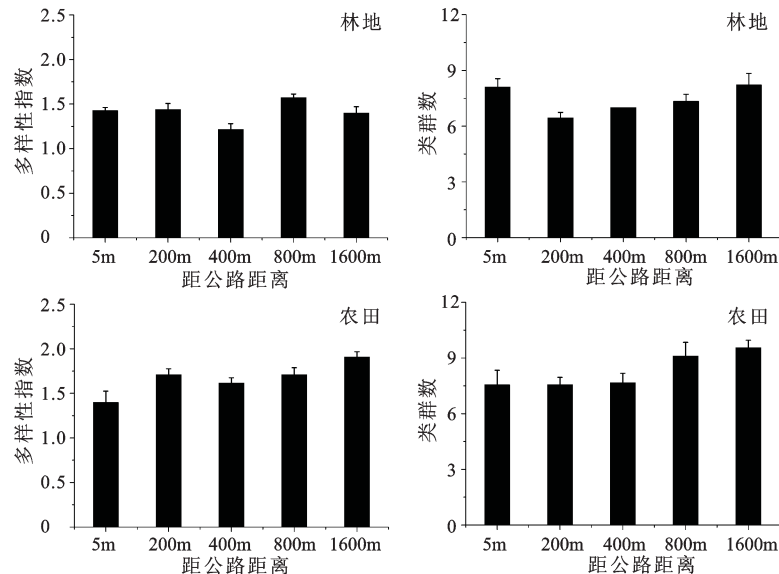


图2 林地和农田中小型土壤动物群落多样性指数和类群数比较(均值±标准误)

Fig.2 Shannon-Wiener index and richness of soil meso-microfauna communities in shelter forest and cropland (Mean±SE)



高为0.732,表明林地5 m和1 600 m土壤动物群落中优势类群的相似性也较低。2个样点共有优势类群仅有等节跳虫科和甲螨亚目,等节跳虫科在两个样点多度差异较大。常见类群中山跳虫科、隐翅虫科、革螨亚目和线蚓科在2个样点的多度差异也较大。

表3 林地中小型土壤动物群落的相似性指数

Table 3 Similarity index of soil meso-microfauna communities in shelter forest

距公路距离	5 m	200 m	400 m	800 m	1600 m
5 m	*	0.684	0.877	0.596	0.732
200 m	0.493	*	0.600	0.687	0.801
400 m	0.738	0.489	*	0.448	0.545
800 m	0.550	0.496	0.495	*	0.885
1600 m	0.489	0.627	0.480	0.632	*

对角线下方的是Sorensen指数,对角线上方是Morisita-Horn指数

表4 农田中小型土壤动物的相似性指数

Table 4 Similarity index of soil meso-microfauna communities in cropland

距公路距离	5 m	200 m	400 m	800 m	1600 m
5 m	*	0.862	0.867	0.666	0.886
200 m	0.729	*	0.971	0.840	0.912
400 m	0.724	0.724	*	0.827	0.943
800 m	0.473	0.491	0.572	*	0.865
1600 m	0.688	0.623	0.790	0.694	*

对角线下方的是Sorensen指数,对角线上方是Morisita-Horn指数

由表4可以看出,农田5 m和800 m样点间土壤动物群落的Sorensen指数最低为0.473,表明农田5 m和800 m样点间土壤动物群落组成最不相似性,其Morisita-Horn指数也最低为0.665,表明农田5 m和800 m样点间土壤动物群落优势类群相似性最低。2个不同距离样点共有优势类群仅有等节跳虫科和甲螨亚目,800 m样点等节跳虫科和甲螨亚目个体数显著多于5 m样点。常见类群圆跳虫科、拟鳞跳虫科、辐螨亚目、革螨亚目和线蚓科,在2个样点多度差异也较大。

3.4 土壤环境因子对土壤动物群落多样性的影响

图3显示林地土壤pH与轴1的相关系数最大为-0.563,土壤有机质与轴2的相关系数最大为0.853。土壤pH和土壤有机质是影响林地中小型

土壤动物群落分布的主要环境因子。农田土壤有机质与轴1的相关系数最大为-0.853,土壤含水率与轴2的相关系数最大为0.307。土壤有机质和土壤含水率是影响农田中小型土壤动物群落的主要环境因子。

4 讨论

高速公路途经林地和农田中小型土壤动物多样性存在显著差异,林地中小型土壤动物个体数多于农田。本研究发现在不同的季节间,气温是影响高速公路途经林地和农田中小型土壤动物群落分布的重要环境因子,而在相同季节,林地和农田生态系统,由于气候条件一致,生境的微环境差异会影响中小型土壤动物的分布及多样性,微环境条件差异主要来自地上植被和土壤理化性质的不同。林地中有较多的地表凋落物,本研究各个季节林地有机质含量高于农田。凋落物的分解能够促进土壤有机质的转化<sup>[19]</sup>,相关研究指出土壤动物和土壤有机质含量呈正相关<sup>[5]</sup>,本文CCA分析结果表明土壤有机质是影响农田中小型土壤动物群落的主要环境因子。由于地上与地下生态系统相互作用,土壤动物群落多样性会受到地表生态系统的影响。农田生态系统最主要的特点就是土壤受人为干扰影响比较大,最明显的干扰就是长期耕作、施肥和喷洒农药,这些农业生产活动影响地表植被的组成及生物量。农田地表植物种类少,地表凋落物少。土壤的理化性质受人类施肥的控制,土壤中的动物群落及多样性受人类的农业生产活动影响<sup>[20-23]</sup>。防护林主要以杨树为主,地表植被种类复杂,盖度较大,受人类的扰动相对较小。林地土壤的理化性质与农田存在差异。杨树相对于农田中的玉米植株高大,对高速公路运营期间产生的粉尘、噪音及重金属污染等具有很好的阻隔作用。基于以上的原因,林地和农田中小型土壤动物多样性存在差异。

高速公路对途经林地和农田中小型土壤动物的Shannon-Wiener多样性指数在取样时间、样点和二者相互作用均存在显著差异( $P<0.05$ )。总体上林地和农田生境距高速公路1 600 m样点的优势类群等节跳虫科、革螨亚目和甲螨亚目个体数高于5 m样点(表1)。林地和农田距公路800 m或1 600 m样点中小型土壤动物的类群数和多样性指数高于其他样点,其中农田1 600 m样点中小型

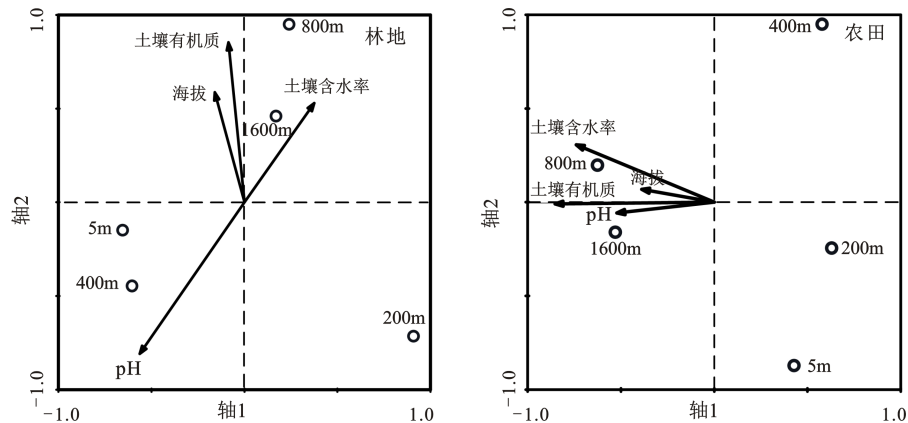


图3 土壤环境因子与林地和农田生境中小型土壤动物群落的典范对应分析

Fig.3 Canonical correspondence analysis of the relationships between soil environmental factor and soil meso-microfauna communities in shelter forest and cropland

土壤动物的多样性指数显著高于5 m样点( $P < 0.05$ )(图2)。相似性分析结果为林地距离高速公路5 m和1 600 m样点、农田5 m和800 m中小型土壤动物群落相似性较低(表3和表4)。综上所述,林地和农田生境距高速公路800 m和1 600 m样点中小型土壤动物多样性高于近距离样点(5 m)中小型土壤动物多样性。中小型土壤动物的群落组成和多样性在800 m和1 600 m样点发生明显变化,800 m和1 600 m可认为是高速公路对途经林地和农田不同生态系统的影响界限。相关研究指出离高速公路越近,重金属等污染越严重<sup>[3,11]</sup>。空气污染、噪音污染也随着距高速公路距离的增加而减少。土壤动物具有迁移能力弱、数量大、种类多等特点,因此受土壤环境变化的影响较大。离高速公路越近土壤动物群落结构受高速公路的影响越明显,而远离高速公路土壤动物群落结构受高速公路的影响越小,进而多样性较高。Hasegawa等的研究也表明弹尾目多样性随距公路距离的增加而逐渐减小<sup>[24]</sup>。研究指出跳虫在土壤生态风险评价中的具有重要应用价值<sup>[25]</sup>。土壤螨类对土壤环境质量变化具有生物指示作用<sup>[26]</sup>。在林地和农田,等节跳虫科、革螨亚目和甲螨亚目个体数在800 m或1 600 m样点存在明显变化,反映出等节跳虫科、革螨亚目和甲螨亚目动物对高速公路途经林地和农田不同生态系统的影响界限生物指示作用,对评价高速公路建设对土壤环境的影响具有重要价值。总之,高速公路的运营对途经区森林和农田生态系统的中小型土壤动物多样性产生了重要的影响,对不同生态系统的影响存在差异。

## 5 结论

高速公路途经林地和农田中小型土壤动物多样性存在显著差异,林地中小型土壤动物个体数高于农田。林地和农田生境中小型土壤动物多样性在样点和季节间存在显著差异( $P < 0.05$ )。林地和农田距高速公路800 m和1 600 m样点中小型土壤动物多样性高于距公路5 m样点中小型土壤动物多样性,800 m和1 600 m样点可认为是高速公路对途经林地和农田不同生态系统的影响界限。等节跳虫科、革螨亚目和甲螨亚目对高速公路途经林地和农田不同生态系统的影响界限具有生物指示作用。本研究可为高速公路的生态环境安全评估及其对高速公路路域土壤生物多样性保护提供理论参考。

## 参考文献(References):

- [1] 刘瑞超,丁四保,王成新,等. 高速公路对区域发展影响的评价体系研究——以山东省为例[J]. 地理科学, 2012, 32(7): 798-806. [Liu Ruichao, Ding Sibao, Wang Chengxin et al. The impact assessment system of expressway on regional development: a case study of Shandong province. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(7): 798-806.]
- [2] 李仰征,马建华. 高速公路旁土壤重金属污染及不同林带防护效应比较[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 105-109. [Li Angzheng, Ma Jianhua. Heavy metals pollution in roadside soils and protective effect of plant barriers along expressway. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(1): 105-109.]
- [3] 谷蕾,宋博,仝致琦,等. 连霍高速不同运营路段路旁土壤重金属分布及潜在生态风险[J]. 地理科学进展, 2012, 31(5): 632-638. [Gu Lei, Song Bo, Tong Zhiqi et al. Spatial distribu-

- tion and potential ecological risk assessment of heavy metals in roadside soils along the Lianyungang-Horgas Highway. *Progress in geography*, 2012, 31(5): 632-638.]
- [4] 刘春霞, 韩烈保. 高速公路边坡植被恢复研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(5): 2090-2098. [Liu Chunxia, Han Liebao. Review of researches in vegetation restoration of freeway slopes. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2090-2098.]
- [5] Yin Xiuqin, Song Bo, Dong Weihua et al. A review on the eco-geography of soil fauna in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, 20(3): 333-346.
- [6] Bardgett R D, Van der putten W H. Belowground biodiversity and ecosystem functioning[J]. *Nature*, 2014, 27: 505-511.
- [7] Motohiro H. The relationship between the organic matter composition of a forest floor and the structure of a soil arthropod community[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37: 281-284.
- [8] Salmon S, Artuso N, Frizzera L et al. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(7): 1707-1715.
- [9] 董炜华, 殷秀琴, 顾卫, 等. 公路路域植被不同演替阶段土壤动物群落特征[J]. *土壤学报*, 2008, 45(4): 678-685. [Dong Weihua, Yin Xiuqin, Gu Wei et al. Characteristics of soil fauna community related to vegetation succession alongside roads. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(4): 678-685.]
- [10] 殷秀琴, 顾卫, 董炜华, 等. 公路边坡人工恢复植被后土壤动物群落变化及多样性[J]. *生态学报*, 2008, 28(9): 4295-4305. [Yin Xiuqin, Gu Wei, Dong Huihua et al. The community change and diversity of soil fauna after artificial vegetation restoration in highway slope. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4295-4305.]
- [11] 李涛, 李灿阳, 俞丹娜, 等. 交通要道重金属污染对农田土壤动物群落结构及空间分布的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(18): 5001-5011. [Li Tao, Li Canyang, Yu Danna et al. Effects of heavy metals from road traffic on the community structure and spatial distribution of cropland soil animals. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 5001-5011.]
- [12] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998. [Yin Wenying. *Chinese soil animal retrieving pictures*. Beijing: Science Press, 1998.]
- [13] 郑乐怡, 归鸿. 昆虫分类[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 1999. [Zheng Leyi, Gui Hong. *Insect classification*. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 1999.]
- [14] 钟觉民. 幼虫分类学[M]. 北京: 农业出版社, 1990. [Zhong Ji-aomin. *Larvae taxonomy*. Beijing: Agricultural Press, 1990.]
- [15] 殷秀琴. 东北森林土壤动物研究[M]. 长春: 东北师范大学出版社, 2001. [Yin Xiuqin. *The Northeast forest soil animal studies*. Changchun: Northeast Normal University Press, 2001.]
- [16] Weaver W, Shannon C E. *The Mathematical Theory of Communication*[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [17] Doblas-Miranda E, Sánchez-Piñero F, González-Megías A. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, 39: 1916-1925.
- [18] Magurran A E. *Measuring biological diversity*[M]. 2004.
- [19] Berg B, McLaugherty C. *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*[M]. New York: Springer Verlag, 2007.
- [20] Cutz-Pool L Q, Palacios-Vargas J G, Castano-Meneses G et al. Edaphic collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo state, Mexico[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36(1): 46-52.
- [21] Liang W J, Lou Y L, Li Q et al. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 883-890.
- [22] 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. [Song Lihong, Wu Haitao, Wu Donghui. Soil fauna ecology in China cropland ecosystems: Research progress. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2898-2906.]
- [23] 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等. 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(2): 464-474. [Zhu Xinyu, Dong Zhixin, Kuang Fuhong et al. Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(2): 464-474.]
- [24] Hasegawa M, Sasaki T, Sato F et al. Effects of roads on collembolan community structure in subtropical evergreen forests on Okinawa Island, southwestern Japan[J]. *Pedobiologia*, 2015, 58(1): 13-21.
- [25] 刘玉荣, 贺纪正, 郑袁明. 跳虫在土壤污染生态风险评价中的应用[J]. *生态毒理学报*, 2008, 3(4): 323-330. [Liu Yurong, He Jizheng, Zheng Yuanming. A review of application of springtails in ecological risk assessment of contaminated soils. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(4): 323-330.]
- [26] Skubała P, Kafel A. Oribatid mite communities and metal bioaccumulation in oribatid species (Acari, Oribatida) along the heavy metal gradient in forest ecosystems[J]. *Environmental Pollution (Barking, Essex)*, 2004, 132(1): 51-60.

## The Effect of Highway on Diversity of Soil Meso-microfauna in Farmland and Shelter Forest

Dong Weihua<sup>1,2</sup>, Li Xiaoqiang<sup>1</sup>, Song Yang<sup>1</sup>, Wu Xiangwen<sup>1</sup>, Liu Tongzhou<sup>1</sup>, Xu Xiuhong<sup>2</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Changchun Normal University, Changchun 130032, Jilin, China; 2. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

**Abstract:** In the present study, an investigation of the composition, structure and diversity of the soil meso-microfauna was conducted in the Beijing-Harbin highway with Dehui city region. Sampling sites of 5 m, 200 m, 400 m, 800 m and 1 600 m away from the highway region were conducted in shelter forest and cropland habitat in May, August and October 2013. Diversity, similarity index and canonical correspondence analysis of soil meso-microfauna were statistically analyses. The results showed that we collected 9 994 individuals belonging to 3 classes, 6 orders, 17 families. Isotomidae, Mesostigmata and Oribatida were the most dominant groups in shelter forest and cropland habitat. Abundance of shelter forest soil meso-microfauna is higher than cropland. The results from the repeated measures ANOVA showed a significant sampling sites and sampling period influence on soil meso-microfaunal diversity in shelter forest and cropland habitat ( $P < 0.05$ ). The similarities of soil meso-microfaunal community between 5 m and 1 600 m sampling sites were lower than the other sampling sites in shelter forest habitat. The similarities of soil meso-microfauna community between 5 m and 800 m sampling sites were lower than the other sampling sites in cropland habitat. The canonical correspondence analysis results showed that the soil meso-microfaunal diversity was significantly correlated with content of soil organic matter in shelter forest and cropland habitat. Our results illustrate that diversity of soil shelter forest meso-microfauna is higher than cropland. Diversity of soil meso-microfauna of 800 m or 1 600 m sample points is higher than 5 m sample points in shelter forest and cropland habitat. The mechanism can be explained by vegetation type, human disturbance and environmental pollution.

**Key words:** highway; shelter forest; cropland; soil meso-microfauna; diversity