

DOI: 10.5846/stxb201506301363

杨旭, 林琳, 张雪萍, 张利敏, 沙迪. 松嫩平原典型黑土耕作区中小型土壤动物时空分布特征. 生态学报, 2016, 36(11): - .

Yang X, Lin L, Zhang X P, Zhang L M, Sha D. Spatio-temporal distribution characteristics of meso-micro soil fauna in typical cultivated blacksoil in the Song-nen plain area. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(11): - .

松嫩平原典型黑土耕作区中小型土壤动物时空分布特征

杨 旭, 林 琳*, 张雪萍, 张利敏, 沙 迪

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: 为了考察松嫩平原黑土耕作区中小型土壤动物时空分布特征, 在松嫩平原东南至西北选取 5 个典型区域, 于 2009 年 5、8、10 月进行调查, 共获取土壤动物 15058 只, 分别隶属于 54 个类群, 其中甲螨亚目、前气门亚目和节跳虫科 3 类为优势类群, 占总数的 69.94%, 常见类群为 8 类, 占总数的 25.20%。分析结果表明: (1) 不同采样区域土壤动物差异明显 ($P < 0.01$), 海伦区域样地的土壤动物密度、多样性指数、均匀性指数、优势度指数最高。绥化地区土壤动物类群与丰富度指数最高。(2) 月份变化对土壤动物群落结构影响明显, 土壤动物多样性特征随着月份变化起伏较大, 8 月份的土壤动物特征显著区别于其它取样月份。(3) 垂直分布上, 土壤动物的个体数和类群数总体上是随土壤深度增加而减少, 但不同采样区域不同采样月份土壤动物垂直分布规律有一定差异。(4) 从土壤动物与土壤环境关系来看, 土壤环境的 pH、全氮与全磷与土壤动物群落结构显著相关 ($P < 0.05$), 土壤动物个数、均匀性指数、丰富度指数、密度与土壤理化性质关系显著相关 ($P < 0.05$), 土壤动物优势类群和常见类群的数量与土壤中全磷、碳氮比、总有机碳关系较为密切。

关键词: 耕作黑土; 松嫩平原; 中小型土壤动物; 时空分布特征

Spatio-temporal distribution characteristics of meso-micro soil fauna in typical cultivated blacksoil in the Song-nen plain area

YANG Xu, LIN Lin*, ZHANG Xueping, ZHANG Limin, SHA Di

College of Geographical Science, Harbin Normal University, Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin 150025, China

Abstract: Soil fauna is an important part in the soil ecosystem and plays important roles in material cycling. Furthermore, soil fauna, which is affected by tillage of the soil, is a good indicator species for the soil environment. The Song-nen plain is an important area for food production in China. To investigate the spatio-temporal distribution characteristics of meso-micro soil fauna in cultivated blacksoil in the Song-nen plain area, five typical areas, including Hulan, Suihua, Hailun, Yian, and Nenjiang, were chosen from southeast to northwest in the Song-nen plain. The study was conducted in May, August, and October 2009. Our study will provide a fundamental theory and method for biodiversity conservation and land management in the cultivated blacksoil area. Samples of meso-micro soil fauna were collected from soil layers at depths of 0—5, 5—10, 10—15 and 15—20 cm. We extracted and identified 15,058 individuals, belonging to 54 groups. Among them, *Oribatida*, *Prostigmata*, and *Isotomidae* were the dominant taxa, amounting for 69.94% of the total individuals in the soil fauna. The eight common groups were *Mesostigmata*, *Hypogastridae*, *Entomobryidae*, *Chironomidae*, *Onychiuridae*, *Sminthuridae*, *Nematoda*, and *Staphylinidae* larvae, totaling 25.20% of all individuals. The results derived from this

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371072&41301082); 哈尔滨师范大学校青年学术骨干项目 (10XQXG08)

收稿日期: 2015-06-30; **修订日期:** 2015-11-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yx_hit@ 163.com

research are as follows: (1) Differences in soil faunal characteristics were observed in different sampling areas ($P < 0.01$). The density of meso-micro soil fauna was highest in Hailun, whereas it was lowest in Nenjiang. The group number and richness index of meso-micro soil fauna were highest in Suihua, and were lowest in Nenjiang. The Shannon-Weiner and Evenness indices for meso-micro soil fauna were highest in Hailun, and lowest in Yian. The Simpson Dominance index was highest in Hailun, and lowest in Hulan. (2) Seasonal variation exerted a significant influence on community structure of soil fauna in the cultivated blacksoil area. The number and density of meso-micro soil fauna were significantly higher in October than in other months ($P < 0.01$). The Evenness and Richness indices of meso-micro soil fauna were significantly higher in August than in other months ($P < 0.05$). The Simpson Dominance index was significantly lower in August than in other months ($P < 0.05$). (3) Number of individuals and groups of soil fauna gradually decreased with depth. In addition, in different areas there were differences in the stability of the vertical distribution of soil fauna among seasons. There were not distinct differences in the number of individuals of meso-micro soil fauna in different soil layers in May, but there were significant differences in August and October. The number of individuals was much greater in the 0—5 cm layer than in other layers, and an obvious aggregation on the surface occurred in August and October. (4) Concerning the relationship of soil fauna and the soil environment, the values of pH, total nitrogen, and total phosphorus in cultivated black soil were strongly correlated with the community structure of soil fauna ($P < 0.05$). The number of individuals, Evenness index, Richness index, and density of soil fauna were closely related to soil physicochemical properties ($P < 0.05$), whereas the numbers of dominant and common groups were closely associated with total phosphorus, the carbon-nitrogen ratio, and total organic carbon in the soil.

Key Words: cultivated blacksoil area; song-nen plain; meso-micro soil fauna; spatial and temporal distribution

土壤动物是耕作生态系统的重要组成要素,也是生态系统物质循环的重要参与者^[1-2],近年来,关于耕作生态系统中土壤动物研究受到广泛关注^[3-8]。松嫩平原是中国重要商品粮生产地区之一,土壤动物作为土壤环境的指示生物之一^[9],群落结构特征可以表明耕作对土壤环境的影响,近年来,关于松嫩平原的土壤动物相关研究也逐渐成为热点^[10-12]。但对于耕作黑土区土壤动物关注相对较少,对耕作黑土区土壤动物分布特征及其与环境变化关系尚不明晰,为此,本文以松嫩平原耕作黑土区域作为调查样地,对在物质循环中具有重要作用的中小型土壤动物为研究对象,考察其时空分布特征及其与土壤环境因子的关系,本研究成果无论对于丰富土壤动物的群落分布特征研究内容,还是对于耕作黑土区的生物多样性保护和土地管理都具有着重要的意义。

1 研究区概况

本研究根据松嫩平原黑土耕地区实际情况,由东南至西北采取 5 个典型耕作黑土区域作为样地,分别为呼兰(126°38.861'E,46°3.344'N)、绥化(127°06'E,46°46'N)、海伦(126°55'E,47°27'N)、依安(125°16'E,47°55'N)和嫩江(125°16'E,49°09'N)。

2 研究方法

2.1 样品的采集与鉴定

根据东北地区冬季低温时间较长的特点,本研究于 2009 年 5 月、8 月与 10 月(分别代表春季、夏季、秋季)比较适宜土壤动物生存的时间段进行采样。每个采样区域选取 4 个样点,每样点采样面积为 10 cm×10 cm,由上至下依次取 0—5 cm、5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm 4 层采集土壤动物,用土钻采集土壤,以蛇形采样法在每个样地 4 个采样点取 0—20 cm 处的混合土壤样品 1 kg,作为土壤理化指标检测待用。中小型土壤动物采用 Tullgren 漏斗中经过 24 小时分离提取,参照尹文英的《中国土壤动物检索图鉴》进行鉴定^[13],土壤 pH 采用 pH 计(PT-10, sartorius)测定,土壤有机质采用重铬酸钾容量法进行测定,土壤有机碳采用 C/N 分

析仪 2100S(Elementar Vario-EL, Germany)测定,土壤全氮采用硫酸—双氧水消煮—凯氏蒸馏定氮法测定,土壤全磷采用硫酸—双氧水消煮—钒钼黄比色法测定,土壤全钾采用土壤全钾用酸溶-火焰光度法测定^[14],研究区域的土壤理化性质如表 1 所示。

表 1 各采样地的主要土壤理化性质(平均值±标准误)
Table 1 Soil properties in the different sites(Mean±SE)

样地 Sites	pH	OM/ (g/k)	TOC/ (g/kg)	TN/ (g/kg)	TP/ (g/kg)	TK/ (g/kg)	C/N
HuLan	7.00±0.07	29.33±0.8	17.01±0.05	1.18±0.42	5462.43±48.54	774.66±18.47	15.32±5.39
SuiHuai	5.95±0.00	41.38±0.5	24.00±0.44	1.78±0.08	8741.41±999.98	779.32±2.89	13.49±0.38
HaiLun	6.69±0.02	34.84±1.9	20.21±0.69	1.87±0.13	9022.54±982.14	754.74±43.53	10.84±1.11
YiAn	6.73±0.389	35.00±0.63	20.30±0.37	1.99±0.21	7583.59±2381.11	703.46±0.04	10.27±1.29
NenJiang	7.05±0.06	41.58±1.67	24.12±0.97	2.86±1.28	7199.84±144.75	743.14±12.03	9.29±3.82

Hulan:呼兰; Suihuai:绥化; Hailun:海伦; Yian:依安; Nenjiang:嫩江; OM:有机质 Organic matter; TOC:总有机碳 Total organic carbon; TN:全氮 Total nitrogen; TP:总磷 Total phosphorus; TK:全钾 Total potassium; C/N:碳氮比 Carbon-nitrogen ratio

2.2 数据处理分析

土壤动物优势度的划分依据:个体数占 10%以上类群为优势类群,1%—10%之间为常见类群,1% 以下的为稀有类群。土壤动物群落多样性特征采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H′)、Pielou 均匀度指数(E)、Margalef 丰富度指数(D)与 Simpson 优势度指数(C)表征^[15-18]。

本研究中土壤动物特征值的方差分析和均值比较采用单因素(ANOVA)方法研究;采用 Pearson 相关系数分析土壤环境因子和土壤动物群落结构参数的相关性;采用典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis,CCA)方法对土壤动物优势类群和常见类群的数量与土壤环境理化指标因子关系进行分析,所有数据分析与作图采用 Excel2003、SPSS17.0 与 CANOCO 4.5 软件。

3 研究结果

3.1 土壤动物结构特征

如表 2 所示,本研究在松嫩平原共获取中小型土壤动物 15058 只,分别隶属于 54 个类群,其中优势类群为甲螨亚目、前气门亚目和节跳虫科 3 类,占总数的 69.94%,常见类群为中气门亚目、姬跳虫科、绶跳虫科、摇蚊科、棘跳虫科、圆跳虫科、线虫和隐翅虫科幼虫等 8 类,占总个体的 25.20%,其余 43 类为稀有类群,占总个体数的 4.86%。其中,海伦采样区域获取土壤动物最多,共 4994 只,隶属于 38 个类群。总的来说,各采样区域土壤动物类群具有一定的差异性。

表 2 不同采样点土壤动物类群和数量组成
Table 2 Group composition and quantitative distribution of soil fauna community in the different sites

类群 Taxa	Hulan	Suihua	Hailun	Yian	Nenjiang	合计 Total	
	密度 Density/ (只/m ²)	密度 Density/ (只/m ²)	密度 Density/ (只/m ²)	密度 Density/ (只/m ²)	密度 Density/ (只/m ²)	密度 Density/ (只/m ²)	%
甲螨亚目 Oribatida	7733.33	16650.00	15216.67	11125.00	3116.67	10768.33	42.91
中气门亚目 Mesostigmata	2966.67	1200.00	3825.00	391.67	425.00	1761.67	7.02
前气门亚目 Prostigmata	3200.00	1541.67	3541.67	4408.30	975.00	2733.33	10.89
节跳虫科 Isotomidae	658.33	2208.33	7941.67	766.67	8675.00	4050.00	16.14
姬跳虫科 Hypogastridae	466.67	1783.33	1991.67	66.67	483.33	958.33	3.82
绶跳虫科 Entomobryidae	41.67	375.00	1583.33	58.33	75.00	426.67	1.70
摇蚊科 Chironomidae	25.00	75.00	1125.00	8.33	58.33	258.33	1.03
棘跳虫科 Onychiuridae	583.33	2066.67	1858.33	233.33	491.67	1046.67	4.17
鳞跳虫科 Tomocetidae	0.00	0.00	8.33	8.33	0.00	3.33	0.01

续表

类群 Taxa	Hulan 密度 Density/ (只/m ²)	Suihua 密度 Density/ (只/m ²)	Hailun 密度 Density/ (只/m ²)	Yian 密度 Density/ (只/m ²)	Nenjiang 密度 Density/ (只/m ²)	合计 Total	
						密度 Density/ (只/m ²)	%
圆跳虫科 Sminthuridae	33.33	900.00	983.33	33.33	125.00	415.00	1.65
疣跳虫科 Neanuridae	208.33	41.67	25.00	41.67	0.00	63.33	0.25
山跳科 Pseudachorutidae	125.00	108.33	566.67	75.00	108.33	196.67	0.78
线蚓科 Enchytraeidae	183.33	450.00	0.00	16.67	8.33	131.67	0.52
线虫 Nematoda	1383.33	1033.33	1125.00	983.33	1333.33	1171.67	4.67
长足蚯蚓科 Dolichopodadae	8.33	50.00	8.33	25.00	75.00	33.33	0.13
蚁科 Formicidae	666.67	16.67	0.00	0.00	0.00	136.67	0.54
蜘蛛目 Araneida	0.00	25.00	8.33	100.00	0.00	26.67	0.11
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.01
步甲科成虫 Carabidae	0.00	25.00	16.67	16.67	0.00	11.67	0.05
步甲科幼虫 Carabidae larvae	108.33	158.33	333.33	133.33	8.33	148.33	0.59
蝉 Cicadidae	0.00	0.00	16.67	0.00	0.00	3.33	0.01
剑虻科 Therevidae	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	1.67	0.01
地蜈蚣目 Geophilomorpha	8.33	0.00	16.67	0.00	0.00	5.00	0.02
隐翅甲成虫 Staphylinidae	266.67	108.33	150.00	50.00	91.67	133.33	0.53
隐翅虫科幼虫 Staphylinidae larvae	83.33	283.33	883.33	141.67	41.67	286.67	1.14
夜蛾科 Noctuidae	8.33	8.33	33.33	0.00	0.00	10.00	0.04
大蚊科 Tipulidae	16.67	0.00	8.33	0.00	0.00	5.00	0.02
蓟马科 Thripidae	58.33	116.67	41.67	0.00	8.33	45.00	0.18
金龟甲科幼虫 Scarabaeoidae larvae	8.33	33.33	0.00	0.00	0.00	8.33	0.03
金龟甲科成虫 Scarabaeidae	16.67	8.33	8.33	8.33	0.00	8.33	0.03
啮虫目 Corrodentia	0.00	33.33	8.33	8.33	0.00	10.00	0.04
石蛾科 Polycentropodidae	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
叩甲科幼虫 Elateridae	0.00	8.33	8.33	16.67	0.00	6.67	0.03
出尾罩甲科 Scaphidiidae	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	1.67	0.01
虎甲科幼虫 Cicindelidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
蝇科 Muscidae	50	16.67	16.67	8.33	0.00	18.33	0.07
锯谷盗幼虫 Silvanidae	0.00	0.00	16.67	0.00	0.00	3.33	0.01
尖眼罩蚊科 Sciaidae	8.33	16.67	8.33	0.00	0.00	6.67	0.03
么地蚣 geophilellidae	116.67	83.33	0.00	16.67	0.00	43.33	0.17
奇蛭科 Encocephalidae	8.33	8.33	0.00	0.00	0.00	3.33	0.01
蚜总科 Aphidoidea	258.33	116.67	175.00	8.33	0.00	111.67	0.44
毛蕈甲科 Dipylidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
姬蛭科 Nabidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
小蜂科 Chalcidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
蚋科 Simuliidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
蚁甲科 Pselaphidae	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	1.67	0.01
苔甲科 Scydmaenidae	0.00	0.00	8.33	0.00	0.00	1.67	0.01
蚱总科 Tetrigoidea	0.00	0.00	16.67	8.33	0.00	5.00	0.02
瓢甲科 Coccinellidae	0.00	8.33	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
叶甲科 Chrysomelidae	8.33	16.67	0.00	0.00	0.00	5.00	0.02
花蝽科 Anthoridae	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.01
长小蠹科 Platypodidae	0.00	8.33	8.33	0.00	0.00	3.33	0.01
总个体数 Individual number	2321	3555	4994	2256	1932	15058	
总类群数 Group number	33	38	38	28	17	54	

如表 3 所示,不同采样区域,中小型土壤动物特征差异明显(均为 $P<0.01$),通过 LSD 多重比较表明:海伦区域的土壤动物密度、多样性指数显著优于其它样地($P<0.01$);与其他样地相比,海伦区域土壤动物优势度

指数与均匀性指数也最高;绥化区域土壤动物类群与丰富度指数最高。

表 3 不同采样点土壤动物特征(平均值±标准误)

Table 3 Characteristics of soil fauna in the different sites (Mean±SE)

项目 Item	Hulan	Suihua	Hailun	Yian	Nenjiang
Density/(只/m ²)	19341.67±3234.04a	29625.00±2405.77b	41208.33±1636.21c	18800.00±1709.38a	16100.00±3523.04a
Group number	13.58±1.12 ac	16.25±1.42023b	15.67±0.26ab	11.75±0.52dc	10.5±0.5d
H'	1.8644±0.11ab	1.67±0.16a	2.14±0.07b	1.15±0.07c	1.62±0.12a
E	0.72±0.03a	0.60±0.04b	0.78±0.03a	0.47±0.03c	0.69±0.05ab
D	2.52±0.24ab	2.72±0.28a	2.44±0.04ab	2.08±0.12b	2.00±0.12b
C	0.22±0.02a	0.35±0.05ab	0.51±0.10b	0.50±0.03b	0.30±0.05a

同一行不同字母表示不同样地间的差异显著 ($P<0.05$) ;H': Shannnon-Wiene 多样性指数; E: 均匀度指数; D: 丰富度指数; C: 优势度指数

3.2 土壤动物的水平动态结构

本文中水平结构主要指不同采样区域处土壤动物结构特征,而动态是指月份变化。在松嫩平原耕作黑土区,月份变化对土壤动物分布影响明显,通过对不同月份动物特征值 LSD 多重比较表明:总的来说,10 月份土壤动物个数与密度显著高于 6 月与 8 月 ($P<0.01$),8 月份土壤动物均匀性、丰富度显著高于 6 月与 10 月 ($P<0.05$),8 月份土壤动物优势度显著低于 6 月与 10 月 ($P<0.05$)。以上分析表明研究区域内,月份变化对中小型土壤动物影响较大,8 月份最适宜中小型土壤动物生存,土壤肥力最好。

土壤动物个数在不同月份不同样地变化趋势不同。如图 1 所示:呼兰与海伦的中小型土壤动物个数 10 月最多(336,475 个),5 月最少(80,344 个),依安区域则 5 月最多(262 个),10 月最少(125 个),而绥化与嫩江则 10 月最多(398,326 个),最少是 8 月(206,67 个)。同样,中小型土壤动物类群与月份关系也随着采样地点变化发生明显改变。嫩江在 5 月土壤动物类群最多(11 种),呼兰与绥化在 8 月的土壤动物类群最多(17,22 种),海伦与依安在 10 月的土壤动物类群最多(16,13 种)。

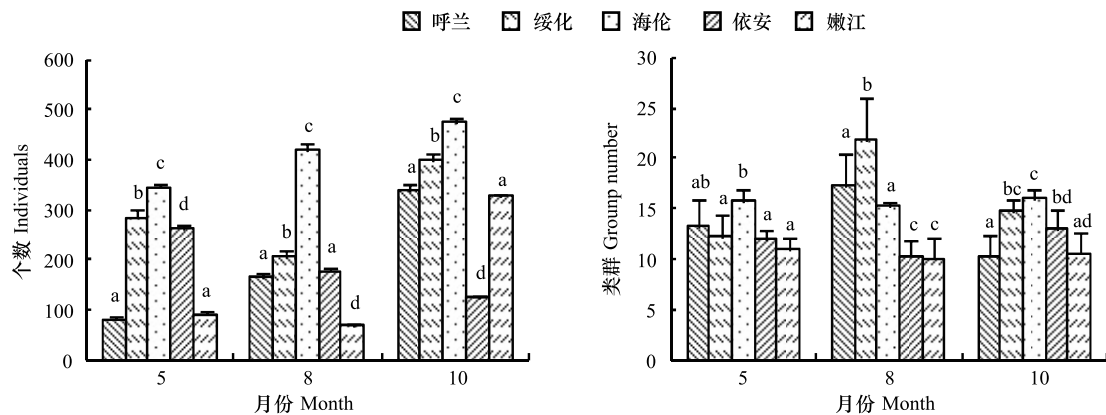


图 1 不同样地中小型土壤动物的个数与类群数

Fig.1 Individuals and group number of meso-micro soil fauna in the different sites

不同字母表示同一月份不同样地间的差异显著 ($P<0.05$)

3.3 土壤动物垂直结构动态特征

由表 4 可以看出,土壤动物的个体数和类群数总体上是随土壤深度增加而减少。对整个松嫩平原研究区域内土壤动物垂直分析可以看出,0—5 cm 土层的土壤动物与 5—10 cm、10—15 cm、15—20 cm 的差异显著 ($P<0.01$),5—10 cm 土层与 10—15 cm 土层土壤动物个数相近,15—20 cm 土层与 5—10 cm 及 10—15cm 土层土壤动物差异不明显 ($P>0.05$),各土层土壤动物类群数差异不显著 ($P>0.05$)。

表 4 中小型土壤动物垂直结构(平均值±标准误)

Table 4 Vertical structure of soil meso-micro soil fauna (Mean±SE)

土层 Soil layer	个体数 Individuals	类群数 Group number	H'	E	D	C	Density/ (只/m ²)
0—5cm	83.05±5.76	18.33±3.97	2.13±0.30	0.75±0.04	1.80±0.10	0.35±0.03	7246.71±627.82
5—10 cm	60.83±4.75	15.38±3.09	2.29±0.32	0.82±0.04	1.88±0.11	0.32±0.02	5326.70±497.34
10—5 cm	60.57±7.26	14.80±3.40	2.21±0.32	0.79±0.04	1.87±0.09	0.34±0.02	5333.37±721.84
15—20 cm	46.00±4.77	11.8±1.88	2.21±0.33	0.81±0.04	1.85±0.10	0.36±0.02	4148.36±498.60

H': Shannon-Wiener 多样性指数; E: 均匀度指数; D: 丰富度指数; C: 优势度指数

如图 2 所示,耕作黑土区不同土层土壤动物个数在不同月份特点不同。5 月份差异不显著,而 8 月与 10 月份具有明显差异性($P<0.05$),0—5 cm 土层处土壤动物明显多于其它土层,分别为 84.45 与 106.25,表现出明显表聚性。不同土层土壤动物类群在不同月份表现出较稳定特点,没有明显差异性($P>0.05$)。

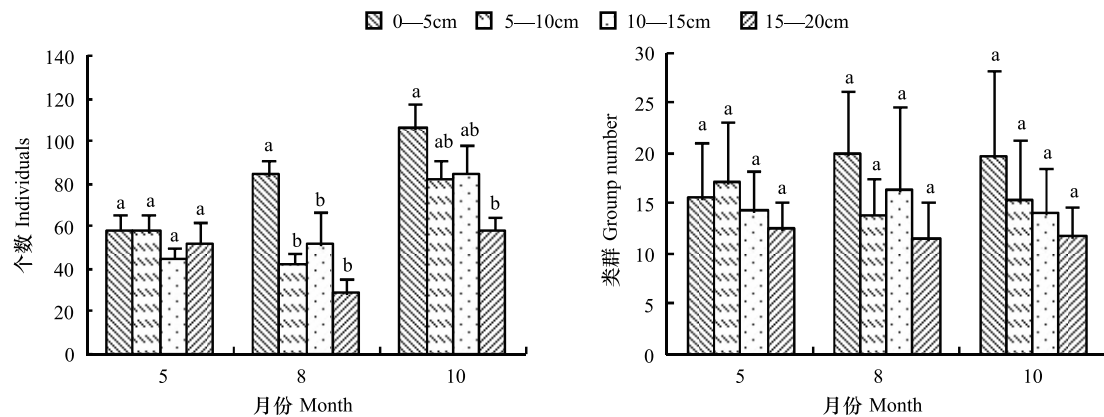


图 2 土壤动物个体数和类群数的垂直分布动态变化

Fig.2 variation of vertical structure of meso-micro soil fauna

3.4 土壤动物群落对土壤环境因子的响应特征

如表 5 所示,土壤动物的个数、密度与土壤的 pH、全氮显著负相关($P<0.01$),而与全磷显著正相关($P<0.01$)。土壤动物类群数与土壤全磷显著正相关($P<0.05$)。土壤动物多样性与土壤全磷显著正相关($P<0.01$)。土壤动物均匀性与全磷显著正相关($P<0.05$),土壤动物均匀性与有机质、有机碳显著负相关($P<0.05$)。土壤动物丰富度与土壤中的 pH、全氮显著负相关($P<0.05$),与碳氮比显著正相关($P<0.01$)。

表 5 中小型土壤动物群落与土壤环境主要因子相关系数

Table 5 Correlation Coefficient between meso-micro soil fauna community and soil environmental factors

特征指标	pH	TN	TP	OM	TOC	C/N
个体数 Individuals	-0.282 **	-0.0186 **	0.211 **	-0.030	-0.030	0.033
类群数 Group number	-0.057	-0.036	0.152 *	-0.088	-0.088	-0.089
H'	0.003	-0.048	0.208 **	-0.115	-0.115	-0.085
E	0.119	-0.011	0.135 *	-0.128 *	-0.128 *	-0.072
D	-0.180 **	-0.144 *	0.090	0.086	0.086	0.207 **
Density	-0.268 **	-0.178 **	0.136 *	0.024	0.024	0.097

** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

如图 3 所示,由 CCA 分析可以看出:前气门亚目、中气门亚目与 TOC 具有明显负相关关系,甲螨亚目与 C/N 明显正相关关系。姬跳虫科、摇蚊科、圆跳虫科与 TP 明显正相关关系。线虫与土壤 pH 具有一定正相关关系。节跳虫科与 TN 具有一定正相关关系。绶跳虫科、棘跳虫科、隐翅虫科幼虫与 TP 具有一定的正相关关系。排序轴 I 解释了 66.8% 的土壤生境和动物物种变化关系,排序轴 I 和 II 累计解释了 6.5% 的生境和动物

物种变化关系。总的来说,中小型土壤动物优势类群和常见类群的数量与土壤中 TP、C/N、TOC 关系较为密切。

4 结论与讨论

4.1 中小型土壤动物群落结构特征

土壤动物群落构成受到位置、植被类型等生境因素影响,不同生境中土壤动物结构特征存在差异^[19-20]。潘林等在松嫩平原的扎龙自然保护区研究表明:线虫纲为优势类群,与本研究有所不同^[21],这说明在同一平原上,不同区域位置,不同土地类型的土壤动物结构差异明显。同样在本研究中,不同区域也存在一定的差异,但所有样地都存在大量的甲螨亚目、前气门亚目和节跳虫科类群动物,这三个类群表现出普遍适应性。不同区域的土壤动物优势类群与一般类群相对差异不是很明显,只是土壤动物个数差异较大。但对于稀有土壤动物则差异明显,如表 2 所示,石蜈蚣目与石蛾科类群只在呼兰采样区域出现,蝉、剑虻科、出尾罩甲科、锯谷盗幼虫、网蝽科、蚁甲科、苔甲科与蚱总科类群只在海伦采样区域出现,虎甲科幼虫、毛蕈甲科、姬蝽科、小蜂科、蚋科与瓢甲科类群只在绥化采样区域出现,蜚总科类群只在依安采样区域出现,这表明该研究区域土壤动物的异质性强,这是由于所选取样地纬度差异较大从而导致生境差异较大进而使土壤动物区系发生变化,由于稀有类群对环境变化反应敏感,只有在特定的生境中才能生存,因此,对环境变化具有一定的指示作用^[21]。因此,对于松嫩平原耕作黑土区特定环境的稀有动物的研究,对于环境的评价具有重要的意义。同时,对于本研究区域优势动物类群与常见类群的确定也可以作为松嫩平原耕作黑土区代表类群与其它地区的土壤动物进行分析比较^[21]。

4.2 中小型土壤动物空间动态分布特征

不同月份的降雨、温度与土壤类型以及植被的差异是影响土壤动物的主要因素^[22]。在本研究中,土壤动物个数、均匀性、丰富度和优势度指数随着月份变化起伏较大,土壤动物类群数与多样性指数相对稳定。8 月份的土壤动物特征与其它取样月份区别较大。由于在 8 月,气候条件适宜,水热条件较好,在研究区域大多数土壤动物已逐步成熟,且种植作物的凋落物为大量土壤动物的聚集提供了食物资源,所以 8 月份土壤动物均匀性指数与丰富度指数最高,土壤动物优势度指数最低。王振海等在长白山苔原带研究表明^[23]:土壤动物个体数在 7 月份最少,而优势度指数降低,多样性指数、丰富度指数和均匀度指数最高。与本文研究结论有所不同,这进一步说明不同地区差异对土壤动物动态影响也是不同的。

4.3 中小型土壤动物垂直动态分布特征

土壤孔隙中充满空气,土壤动物依靠这些空气呼吸,在土壤表层的孔隙相对深层较大,随着土层加深,土壤孔隙逐渐减小,进而孔隙中所能提供的氧气减少了,就成为动物向下层分布的限制因子。在本研究中,总的来看,土壤动物的个体数和类群数总体上是随土壤随着深度增加而减少。这与王振海等研究的结论基本一致^[23],但很多样地在有的采样月份中,土壤动物的个体数和类群数是随土壤随着深度先减少,然后增加,这是因为土壤动物容易受外界干扰因素的影响^[24],由于气候变化和人为因素等的影响,会导致土壤动物的垂直迁

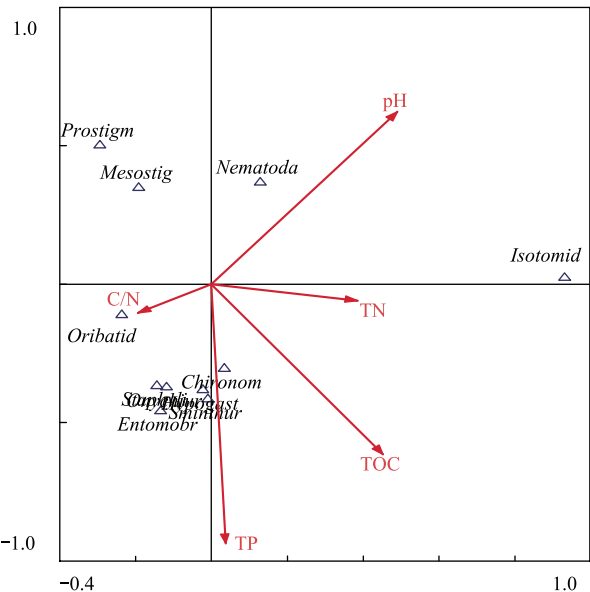


图 3 中小型土壤动物与土壤环境典范对应分析排序图

Fig.3 Canonical correspondence analysis ordination of meso-micro soil fauna and soil environment

甲螨亚目: Oribatida 前气门亚目: Prostigmata 节跳虫: Isotomidae 中气门亚目: Mesostigmata 姬跳虫科: Hypogastridae 绶跳虫科: Entomobryidae 摇蚊科: Chironomidae 棘跳虫科: Onychiuridae 圆跳虫科: Sminthuridae 线虫: Nematoda 隐翅虫科幼虫: Staphylinidae

移,从而表现出垂直分布上的发生变化,本研究对象是耕作土壤,地表土壤经常受人类干扰,因此,有时表层土壤动物相对较少。从不同样地不同的月份来看,由于气候变化,不同样地所处纬度不同,土壤生境有所不同,不同样地不同土层土壤动物分布情况略有不同。

4.4 中小型土壤动物与土壤环境关系

土壤动物群落与土壤营养物质有一定联系,土壤营养物质是土壤动物生存的必要条件。因此,土壤动物群落的分布与土壤理化性质密切相关^[25]。Pearson 双侧检验表明:本研究中,土壤环境的 pH、全氮与全磷对土壤动物群落影响最为密切,土壤动物个数、均匀性指数、丰富度指数、密度与土壤理化性质关系最密切。这与李娜等对三种温带森林大型土壤动物群于土壤环境关系的研究结论有所差异^[26]。这说明在不同地域土壤理化性质对不同土壤动物的影响存在差异。采用 CCA 分析大型土壤动物优势类群和常见类群的数量与土壤环境因子之间的关系,结果进一步表明具体某个土壤动物类群对不同土壤环境因子响应不同。通过对土壤动物与土壤环境的关系研究,可以有选择控制的土壤动物类群发展趋势,趋利避害,这对于土壤动物的发挥土壤动物耕作土壤物质循环中的作用具有重要的意义。

综上所述,通过以上研究结论,考察土壤动物时空分布特征,可以作为松嫩平原耕作黑土区的生物多样性保护、土地质量评价与管理的依据。

参考文献 (References):

- [1] Ayres E, Steltzer H, Berg S, Wall D H. Soil biota accelerate decomposition in high-elevation forests by specializing in the breakdown of litter produced by the plant species above them. *Journal of Ecology*, 2009, 97(5): 901-912.
- [2] 林英华. 长期施肥对农田土壤动物群落影响及安全评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2003; 2-10.
- [3] Mikheeva E V, Zhigal'skii O A, Mamina V P. Heavy metals in the soil-plant-animal system in the area of natural geochemical anomaly. *Russian Journal of Ecology*, 2003, 34(4): 281-283.
- [4] Zhi D J, Li H Y, Nan W B. Nematode communities in the artificially vegetated belt with or without irrigation in the Tengger Desert, China. *European Journal of Soil Biology*, 2008, 44(2): 238-246.
- [5] Ivask M, Kuu A, Meriste M, Truu J, Truu M, Vaater V. Invertebrate communities (Annelida and epigeic fauna) in three types of Estonian cultivated soils. *European Journal of Soil Biology*, 2008, 44(5-6): 532-540.
- [6] 战丽莉, 许艳丽, 张兴义, 裴希超, 赵刚, 王建华. 耕作方式对土壤螨类群落结构的影响. *中国生态农业学报*, 2013, 21(5): 598-605.
- [7] 朱永恒, 张衡, 韩斐, 周举花, 高婷婷. 长江中下游地区农田土地利用对中小型土壤动物群落的影响. *土壤通报*, 2014, 45(2): 314-319.
- [8] Zhu X Y, Zhu B. Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China. *Soil and Tillage Research*, 2015, 146: 39-46.
- [9] 王移, 卫伟, 杨兴中, 陈利顶, 杨磊. 我国土壤动物与土壤环境要素相互关系研究进展. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2441-2448.
- [10] 宋博. 松嫩平原羊草甸凋落物分解中土壤动物群落特征及其作用研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008; 8-9.
- [11] 殷秀琴, 王海霞, 周道玮. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. *生态学报*, 2003, 23(6): 1071-1078.
- [12] 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜. 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征. *生态学报*, 2014, 34(2): 442-450.
- [13] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000; 25-76.
- [15] 殷秀琴, 吴东辉, 韩晓梅. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性的研究. *地理科学*, 2003, 23(3): 316-322.
- [16] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). *生物多样性*, 1994, 2(4): 231-239.
- [17] Pielou E C. *Ecology Diversity*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1975: 1-8.
- [18] Jérôme C, Gomot-De Vaufleury A, Poinso-Balaguer N, Gomot L, Texier C, Cluzeau D. The use of invertebrate soil fauna in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*, 1999, 35(3): 115-134.
- [19] Oxbrough A, Irwin S, Kelly T C, O'Halloran J. Ground-dwelling invertebrates in reforested conifer plantations. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(10): 2111-2121.
- [20] 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.
- [21] 潘林, 董原, 郭继勋. 扎龙湿地自然保护区土壤动物研究. *安徽农业科学*, 2006, 34(24): 6587-6590.
- [22] 廖崇惠, 李健雄, 杨悦屏, 张振才. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落—群落结构的季节变化及其气候因素. *生态学报*, 2003, 23(1): 139-147.
- [23] 王振海, 殷秀琴, 蒋云峰. 长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性. *生态学报*, 2014, 34(3): 755-765.
- [24] 颜绍旭, 张伟东, 刘燕新, 傅声雷, 李媛良, 汪思龙. 雨雪冰冻灾害干扰对杉木人工林土壤动物的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 65-70.
- [25] 李伟, 崔丽娟, 王小文, 赵欣胜, 张曼胤, 高常军, 张岩. 太湖岸带湿地土壤动物群落结构与土壤理化性质的关系. *林业科学*, 2013, 49(7): 106-113.
- [26] 李娜, 张雪萍, 张利敏. 三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态. *生态学报*, 2013, 33(19): 6236-6245.