

# 耕作方式对中小型土壤动物多样性影响\*

战丽莉<sup>1,2</sup> 许艳丽<sup>1\*\*</sup> 张兴义<sup>1</sup> 潘凤娟<sup>1</sup> 裴希超<sup>3</sup> 刘振宇<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土区农业生态国家重点实验室, 海伦农田生态系统国家野外观测研究站, 哈尔滨 150081; <sup>2</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>3</sup>黑河出入境检验检疫局, 黑龙江黑河 164300; <sup>4</sup>黑龙江省农业科学院植物脱毒苗木研究所, 哈尔滨 150086)

**摘要** 为探讨耕作方式对中小型土壤动物群落结构及多样性的影响, 选取中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站定位试验的 5 种耕作方式免耕、少耕、平翻耕作、组合耕作和旋耕为对象, 采用改良干漏斗 (Modified Tullgren) 法分离 0~15 cm 土层中的中小型土壤动物, 分析比较了不同耕作方式下中小型土壤动物的群落结构及分布特征。结果表明: 不同耕作方式下中小型土壤动物群落结构及分布特征存在差异; 高壳甲螨科和小甲螨科为 5 种耕作方式中共有的优势类群, 传统耕作的旋耕和平翻耕作之间, 保护性耕作的免耕和少耕之间中小型土壤动物群落结构相似度高; 组合耕作很好地保持了中小型土壤动物垂直分布的表聚特征, 少耕下中小型土壤动物群落结构具有较高的 Shannon 指数、均匀度和优势度; 耕作方式可影响中小型土壤动物群落结构, 少耕和组合耕作等保护性耕作措施有利于中小型土壤动物群落结构的稳定, 且保持了中小型土壤动物垂直分布的表聚特征。

**关键词** 耕作方式; 中小型土壤动物; 群落结构; 相似度; 垂直分布

**中图分类号** Q958.11 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)9-2371-07

**Effects of tillage mode on the diversity of soil meso- and micro-fauna.** ZHAN Li-li<sup>1,2</sup>, XU Yan-li<sup>1\*\*</sup>, ZHANG Xing-yi<sup>1</sup>, PAN Feng-juan<sup>1</sup>, PEI Xi-chao<sup>3</sup>, LIU Zhen-yu<sup>4</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory of Mollisols Agroecology, National Observation Station of Hailun Agroecology System, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China; <sup>2</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>3</sup>Heihe Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Heihe 164300, Helongjiang, China; <sup>4</sup>Institute of Virus-free Seedling Research, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(9): 2371-2377.

**Abstract:** To understand the effects of tillage mode on the community structure and diversity of soil meso- and micro-fauna, a field experiment was conducted at the National Observation Station of Agroecology System in Hailun of Northeast China. Five tillage modes including no tillage, reduced tillage, mold board tillage, combined tillage, and rotary tillage were chosen, and the modified Tullgren method were adopted to extract soil fauna from 0-15 cm soil layer, with the community structure and vertical distribution of soil meso- and micro-fauna analyzed. There existed differences in the community structure and vertical distribution of soil meso- and micro-fauna under different tillage modes. Liodidae and Oribatellidae were the dominant families under the five tillage modes, and the similarities of the community structure of soil meso- and micro-fauna were higher between moldboard plough and rotary tillage and between no tillage and reduced tillage. Combined tillage kept the surface accumulation of soil fauna. The diversity, evenness, and dominance of the soil fauna under reduced tillage were higher than those under other tillage modes. It was suggested that tillage mode could affect the community structure of soil meso- and micro-fauna, and conservation tillage (combined tillage and reduced tillage) could benefit the stability of soil faunal community structure and kept the surface accumulation of soil fauna in vertical distribution.

**Key words:** tillage mode; meso- and micro-fauna; community structure; similarity; vertical distribution.

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (kzcx2-yw-408-3) 资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: xyll@neigaehrb. ac. cn

收稿日期: 2012-03-13 接受日期: 2012-05-15

土壤动物长期生活在土壤或地表凋落物层中,直接或间接地参与土壤中物质和能量的转化,是土壤生态系统中重要的组成部分(Wolters, 2001; Bradford *et al.*, 2002)。土壤动物可以对土壤中存在的污染物质以及外界干扰做出响应,是土壤生态系统中重要的指示性生物(向昌国等, 2007)。耕作是农业生产中重要的农艺措施之一,耕作方式的改变会引起农田生态系统中土壤动物生境的改变,进而影响土壤动物群落结构,如牲畜践踏使土壤中的跳虫和螨类的数量、多样性和丰富度降低(Bengtsson, 2002; Cole *et al.*, 2008)。随着人们对环境质量要求的提高,保护性耕作越来越受到人们的重视。与传统耕作相比保护性耕作可以减少大气CO<sub>2</sub>的贡献(伍芬琳等, 2007)和降雨对土壤的侵蚀(孙建等, 2010)、提高土壤有机质含量(赵凡等, 2011)、土壤肥力(罗珠珠等, 2010)和田间持水能力(于同艳和张兴义, 2007a)。土壤有机质含量以及田间持水量是影响土壤动物群落结构的重要因素(林英华等, 2004),因此耕作方式与土壤动物分布、群落结构的关系受到关注。本研究选取东北黑土区定位试验的免耕、少耕、平翻耕作、旋耕和组合耕作5种耕作方式,对中小型土壤动物进行调查分析,比较中小型土壤动物垂直分布、群落结构及其相似性,以期对农田生态系统耕作方式评价提供依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

试验样地在黑龙江省海伦市中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站(47°26'N, 126°38')进行,海拔240 m,属于温带大陆性季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同季。年均气温1.5℃,极端最高温度37℃,极端最低温度-39.5℃,年均降水量500 mm,年均有效积温2450℃,年均日照时数2600~2800 h,无霜期为125 d。土壤类型为中厚层黑土,地下水埋深20~30 m(乔云发等, 2008)。

样地为长期定位试验区,起始于2003年,设置5种耕作方式,3次重复,随机排列,大豆和玉米轮作,小区规格40.0 m×8.4 m。耕作处理包括平翻耕作:秋季收获后翻耙起垄;少耕:夏季垄沟深松,收获后留茬越冬;免耕:免耕播种,不进行任何耕翻,秋收后秸秆粉碎覆盖;组合耕作:玉米夏季垄沟深松,秋季收获后旋松起垄,大豆原垄越冬,春耙茬直播;旋

耕:秋收后旋松起垄。其中旋耕和平翻耕作为传统耕作,免耕、少耕和组合耕作为保护性耕作,除5种耕作措施不同外,其他田间管理措施相同。

### 1.2 取样和土壤动物分离方法

土壤动物试验在2009年进行,种植作物为玉米。取样时期在玉米生长最旺盛的6月和7月,采用环刀法取样,每处理3次重复,土壤环刀的容积为100 cm<sup>3</sup>。按土壤剖面垂直不同深度0~5、5~10、10~15 cm分3层进行取样,采集到的土壤样品带回实验室,采用改良的Tullgren漏斗法进行分离中小型土壤动物(尹文英, 1992)。土壤动物鉴定参考尹文英《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 1998),鉴定到科。

### 1.3 数据处理

群落多样性分析主要采用Shannon指数(Shannon & Weaver, 1949)、Pielou均匀性指数(Callahan *et al.*, 2006)、Margalef丰富度指数(Yeates & Newton, 2009)和Jaccard相似性系数(林英华等, 2005),其计算公式如下:

$$\text{Shannon 指数: } H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

$$\text{Pielou 均匀性指数: } J' = H' / \ln S$$

$$\text{Margalef 丰富度指数: } D' = (S-1) / \ln N$$

式中, $S$ 为样方中观察的物种数, $p_i = N_i / N$ , $N$ 为样方中各物种多度指标总和, $N_i$ 为第 $i$ 个种的多度指标。

$$\text{Jaccard 相似性系数: } q = c / (a + b - c)$$

式中, $a$ 为A群落类群数, $b$ 为B群落类群种数, $c$ 为两群落共有类群数。当 $0 < q < 0.25$ 时,表示极不相似;当 $0.25 < q < 0.5$ 时,表示中等不相似;当 $0.5 < q < 0.75$ 时,中等相似;表示当 $0.75 < q < 1.00$ 时,极相似。

采用DPS v3.01软件完成数据处理。利用one-way ANOVA单因素方差分析多重比较(LSD)方法对不同处理数据进行差异显著性分析,差异显著水平为 $\alpha = 0.05$ ,结果用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤动物群落组成和数量

研究区共捕获土壤动物1719只,鉴定隶属于34科(表1)。高壳甲螨科和小甲螨科为田间主要共有优势类群。在6月高壳甲螨科、盲甲螨科和小甲螨科为田间主要共有优势类群,占总捕获数的70.9%,分别占该取样时期捕获总数的24.3%、27.6%和18.8%。7月中小型土壤动物的共有优势

表 1 不同耕作方式下各科土壤动物组成比例 (%)

Table 1 Percentage of each soil fauna family under different tillage systems

土壤动物名称	平翻耕作		免耕		少耕		旋耕		组合耕作	
	6月	7月								
矮蒲螞科 Pygmephoridae		1.3								
步甲螞科 Carabidae										0.7
颤蚓科 Tubificidae	1.4					2.2				
长角毛蚊科 Hesperinidae	64.3	2.6								
长足虹科 Dolichopodidae	1.4					0.3				
虫蜀虫戈科 Pauropodidae			0.5	1.3		0.3				
等节跳科 Isotomidae		17.1		5.3	1.7	11.1		4.8		0.7
地缝甲螞科 Gehypochthoniidae				2.6		6.7				
粪蚊科 Scatopsidae	1.4									
缝甲螞科 Hypochthoniidae										0.7
副铗螞科 Parajapygidae								2.4		
杆棱甲螞科 Mochlozetidae		0.7								
高壳甲螞科 Liodidae	2.9	6.6	32.7	35.5	31.7	13.3	11.2	42.2	42.4	62.2
古甲螞科 Palaeacaridae	1.4	2.6		5.3		4.4	0.7			
棘跳科 Onychiuridae	1.4	0.7	4.0	1.3	5.0	4.4	1.6	8.4	1.4	3.7
铗虫八科 Japygidae			0.5	1.3		2.2		3.6		0.7
巨螯螞科 Cunaxidae	5.7	7.2	4.0	6.6	10.0	2.2	0.3	1.2	9.4	3.0
巨须螞科 Macrochelidae			1.0							
罗甲螞科 Lohmannidae										1.5
盲甲螞科 Malaconothridae	1.4	18.4	2.0	1.3	0.8	6.7	72.7	1.2	0.7	1.5
木蜚科 Kalotermitidae		0.7								1.4
球缝甲螞科 Sphaerochthoniidae					1.7					
鸚虹科 Rhagionidae	2.9						0.3			1.4
水龟甲科 Hydrophilidae			0.5							
绥螞科 Sejidae	1.4	5.3		17.1		11.1		14.5	18.7	12.6
跳虫科 Poduridae		17.8				6.7				1.5
尾足螞科 Uropodidae			14.9		25.8		5.9			
未知	1.4				0.8	2.2			0.7	
吸螞科 Bdellidae		0.7			0.8		0.7	1.2	1.4	0.7
线蚓科 Enchytraeidae		2.0	0.5	1.3	2.5	2.2				
小甲螞科 Oribatellidae	12.9	15.8	38.1	19.7	17.5	24.4	5.9	20.5	15.8	8.1
隐颚螞科 Cryptognathidae			1.5							
直卷甲螞科 Archoplophoridae				1.3	1.7					
足角螞科 Podocinidae		0.7							0.7	0.7
类群数	13	16	12	13	12	14	11	10	13	14

类群为高壳甲螞科、绥螞科和小甲螞科,分别占该取样时期捕获总数的 33.1%、11.2% 和 15.9%,合计占总捕获数的 60.2%。两个取样时期共有的常见类群分别为棘跳科和巨螯螞科,常见类群占该时期捕获总数分别为 16.9% 和 34.8%,其余为稀有类群,仅占有较小的比例。不同耕作方式下中小型土壤动物类群数较为稳定,除旋耕外其余 4 种耕作方式下中小型土壤动物类群数从 6—7 月均有所增加,分析其中的原因可能是旋耕土壤比较疏松,接纳雨水能力强,使土壤回实的程度最大(于同艳等, 2007b),因此致使中小型土壤动物类群数减少。

中小型土壤动物在不同耕作方式下类群数和个

体数量随着玉米生育进程差异逐步表现出来(表 2),6 月不同耕作方式下中小型土壤动物类群数差异不显著,7 月中小型土壤动物类群数差异显著,其顺序为平翻耕作>组合耕作>免耕>少耕>旋耕,综合分析中小型土壤动物数量在不同耕作方式下土壤动物数量差异显著,顺序是旋耕>免耕>组合耕作>平翻耕作>少耕和平翻耕作>组合耕作>旋耕>免耕>少耕。

在 6 月和 7 月的 5 种耕作方式下类群数差异总体趋势相同,7 月总体上类群数在下降,但从 5 种耕作方式之间差异看 7 月较 6 月差异明显增加(表 2),总趋势是 7 月土壤动物个体数明显低于 6 月,仅

表2 5种耕作方式下土壤动物类群数和个体数量  
Table 2 Individual number and family number of soil fauna under different tillage systems

耕作方式	类群数		个体数	
	6月	7月	6月	7月
免耕	8.00 a	7.67 ab	67.33 ab	25.67 bc
平翻耕作	10.00 a	10.67 a	46.67 b	50.67 a
少耕	8.33 a	7.00 b	40.67 b	15.00 c
旋耕	7.33 a	6.67 b	101.33 a	27.67 abc
组合耕作	8.67 a	8.33 ab	46.33 b	45.00 ab

同行不同字母表示在0.05水平上差异显著。下同。

平翻稍高于6月。平翻耕作方式下中小型土壤动物数量在6月较低,7月则高于其他耕作措施;少耕中土壤动物的个体数量在6月和7月都是最少。平翻耕作中土壤动物类群数最高,该耕作方式下土壤动物数量相对较高。旋耕耕作中土壤动物类群数最少,但6月该耕作方式下土壤动物数量最高,主要是盲甲螨科土壤动物在本时期旋耕田中大量繁殖,分析产生该现象的原因可能是盲甲螨科土壤动物属于低等的腐食性螨类(吴东辉等,2008),在作物生长旺盛初期该类群土壤动物繁殖迅速。7月优势类群组成发生变化,绥螨科动物取代盲甲螨科成为优势类群之一,分析原因可能是绥螨科属于高等的捕食性螨类(吴东辉等,2007),在低等的腐食性螨类数量增加之后捕食性螨类因食物来源得到保障,数量急剧增加,但绥螨科土壤动物和盲甲螨科土壤动物是否具有直接的捕食关系还有待于进一步研究证明。

## 2.2 群落多样性和垂直分布

调查结果显示,不同耕作方式下中小型土壤动物的多样性明显不同(表3)。少耕中具有较高的多样性和丰富度,也具有较高的均匀度,3种指数均高于其他耕作方式,说明少耕对中小型土壤动物群落结构具有较好的保护作用,其次免耕7月多样性指数显著高于旋耕和组合耕作,但同一时期其丰富度

表3 5种耕作方式下土壤动物的多样性、均匀度和丰富度比较

Table 3 Diversity index, evenness and abundance index of soil fauna under five different tillage systems

耕作方式	Shannon 多样性指数		Margalef 丰富度指数		Pielou 均匀度指数	
	6月	7月	6月	7月	6月	7月
免耕	1.49 a	1.71 ab	0.11 b	0.04 c	0.73 bc	0.31 d
平翻耕作	1.36 a	2.09 a	0.21 b	0.20 ab	0.82 ab	0.81 ab
少耕	1.70 a	1.77 ab	0.41 a	0.27 a	0.92 a	0.84 a
旋耕	0.63 b	1.54 b	0.21 b	0.22 ab	0.89 a	0.61 c
组合耕作	1.61 a	1.36 b	0.19 b	0.17 b	0.64 c	0.76 b

显著低于其他4种耕作方式,而该种耕作方式下均匀度指数均显著低于同期其他耕作方式下均匀度指数( $P<0.05$ )。少耕和免耕两种保护性耕作措施由于对土壤扰动较少,保持了较高的中小型土壤动物多样性,相对于少耕,免耕田中土壤容重较大,土壤紧实且孔隙度较小、通气性差,因此免耕虽具有较高的Shannon多样性指数却具有较低的丰富度指数和优势度指数。

土壤动物在自然生态系统垂直分布具有明显的表聚特征(王振中和张友梅,1989;黄秋娟等,2009),农田生态系统中存在的一些因素往往可以改变这种特征,如施用化肥使中下层土壤动物数量高于表层,表聚特征消失(李淑梅等,2008a)。本研究对中小型土壤动物的垂直分布调查结果表明,耕作方式可以影响中小型土壤动物的垂直分布。6月所有耕作方式中5~10cm土层中小型土壤动物个体数量较低,平翻耕作下中小型土壤动物的表聚特征消失,而其他4种耕作方式均具有明显的表聚特征( $P<0.05$ )(图1)。7月除免耕外其他耕作方式下中小型土壤动物数量出现随深度增加而逐渐减少的趋势,平翻耕作和组合耕作方式下中小型土壤动物分布表聚特征明显,免耕具有表聚特征但10~15cm土层中小型土壤动物数量高于5~10cm土层中小型土壤动物的数量,少耕和旋耕虽不具有表聚特征但中小型土壤动物在这两种耕作方式中的垂直分布仍然出现随深度增加递减的趋势( $P<0.05$ )(图1)。比较6月和7月中小型土壤动物垂直分布情况和个体数量发现中小型土壤动物数量降低,其中平翻耕作方式下中小型土壤动物表聚现象出现,而旋耕中表聚特征消失,在不同耕作方式下土壤动物垂直分布随季节变化动态趋势还有待于进一步深入研究。免耕具有较好的表聚特征分析其中的原因可能是,免耕田土壤长时间处于较为紧实的状态,是养分汇集在表层,作物根系主要集中在土体表层(于同艳和张兴义,2007a),因此中小型土壤动物在免耕中的垂直分布具有明显的表聚特征。

## 2.3 群落相似性

土壤动物的组成因生境不同而异,但又存在一定的相似性(李密等,2011)。Jaccard指数( $q$ )是群落相似性分析中较常用的分析方法,适于某个类群存在或不存在的二元数据,反映的是群落之间的相似程度,数值越大,表明两个群落之间越相似。研究对6月和7月5种耕作方式土壤动物群落结构相似

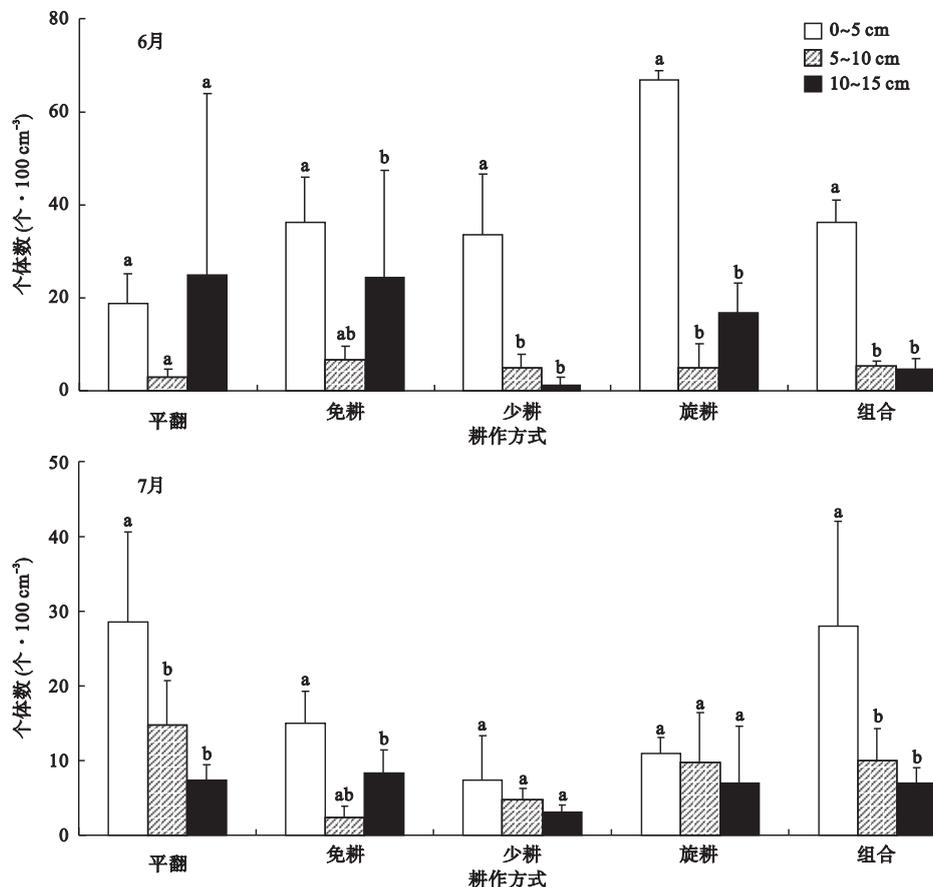


图1 不同时期5种耕作方式土壤动物的垂直分布比较

Fig. 1 Vertical distribution of soil fauna under different tillage systems in two sampling dates

度分别进行比较,不同耕作方式下,中小型土壤动物群落组成具有很高的异质性,相似性系数一般较低。6月5种耕作方式中土壤动物群落结构相似度较差,平翻耕作和组合耕作相似性最高但也仅为中等相似水平,其余耕作方式之间均为中等不相似(表4)。7月平翻耕作和少耕、平翻耕作和组合耕作、少耕和免耕、旋耕和免耕、旋耕和少耕、旋耕和组合耕作土壤动物群落结构分别达到了中等相似水平,其中免耕和少耕之间的相似性指数达到0.69,其他均为中等不相似水平(表4)。7月不同耕作方式之间土壤动物群落结构相似程度较6月升高,分析其中的原因为6月降水量由5月的12.6 mm增加到235.2 mm,且主要降水集中在6月的下旬,除免耕外其他4种耕作由于土壤的不断回实,耕作措施疏松土壤的效果逐渐消失,使中小型土壤动物类群数减少导致不同耕作方式之间相似性升高(于同艳等,2007b)。免耕与其他4种耕作措施不同,免耕连续7年不进行耕作处理,使得土壤容重显著高于其他耕作措施,

且免耕可以减低地表温度与浅土层温度(郑曙峰等,2011)。而其他耕作方式每年都进行不同程度耕翻作业,土壤通气性与孔隙度优于免耕(陈学文等,2012)。因此,免耕田中中小型土壤动物群落与其他传统耕作田中中小型土壤动物群落结构相似性的较差。

表4 不同耕作方式下土壤动物群落的相似性

Table 4 Similarity of soil fauna community under different tillage systems in June 2009

月份	耕作方式	平翻	免耕	少耕	组合耕作	旋耕
6	平翻耕作	-				
	免耕	0.25	-			
	少耕	0.32	0.41	-		
	组合耕作	0.44	0.24	0.39	-	
	旋耕	0.50	0.44	0.44	0.41	-
7	平翻耕作	-				
	免耕	0.45	-			
	少耕	0.50	0.69	-		
	组合耕作	0.58	0.42	0.47	-	
	旋耕	0.44	0.53	0.50	0.60	-

### 3 讨论

#### 3.1 群落组成数量及多样性

土壤动物在土壤生态系统物质和能量循环中都起着重要作用,土壤动物可以通过自身的行为改变土壤理化性质,同时土壤理化性质的改变可以引起土壤动物群落结构的变化(李淑梅和樊淑华, 2008b),且土壤动物是土壤生态系统中重要的指示性生物,林英华等(2006)研究表明,农田土壤动物群落多样性改变与长期耕作有关。土壤动物群落结构的变化可以很好地指示出土壤生态系统因为长期耕作产生的变化,尤其是保护性耕作可以通过增加土壤碳库来提高土壤动物的丰富度(朱根强等, 2010)。于同艳等(2007)在对本试验地5种耕作措施田间持水能力研究表明,以平翻和旋耕为代表的传统耕作虽然很好地疏松了土壤,但降低了耕层土壤田间持水能力,少耕和组合耕作措施可提高土壤的田间持水能力,使土壤具有很好的保水能力。平翻耕作和旋松耕作由于对土壤表层产生了较大的扰动,对土壤疏松强度影响最大,具有最大的土壤总孔隙度。免耕和少耕因具有较好的田间持水能力和较低的人渗滤而有利于土壤动物的多样性。本研究发现,免耕和少耕中土壤动物类群数和个体数量均低于其他耕作,分析其原因因为这两种耕作方式下土壤虽具有较好的田间持水能力和较低的人渗滤,同时也具有较高的土壤容重,其中免耕土壤容重最高,使土壤长期处于紧实状态,不利于土壤动物的活动和快速繁殖,因此出现了保护性耕作方式的免耕和少耕中的中小型土壤动物类群数和个体数不高的现象。

#### 3.2 群落相似性及垂直分布

不同耕作方式下,中小型土壤动物群落组成具有很高的异质性,相似性系数一般较低。平翻耕作和旋耕属于传统耕作方式,免耕、少耕和组合耕作作为保护性耕作。而在对5种耕作方式群落结构的相似度进行比较时发现,两种传统耕作之间,少耕和组合耕作之间中小型土壤动物群落结构均为中等不相似的现象,少耕、免耕和旋耕两两之间达到了中等相似的水平。推测其原因可能是,这5种耕作方式具有不同的强度,耕作强度相近群落结构也较为相近。黄红英等(2010)对菜地不同耕作方式土壤动物分析也是中等不相似,可见这种耕作下差异不仅存在于大田作物。中小型土壤动物在土壤中的垂直分布情

况可以反映不同耕作方式对土壤环境的影响,5种耕作方式下中小型土壤动物的垂直分布具有明显的随深度增加而减少的趋势。其中组合耕作具有明显的表聚特征,主要是因为组合耕作的特点为旋松和免耕隔年进行,使该种耕作方式下土壤较免耕疏松,而土壤环境承受扰动的程度较旋耕低,因此该种耕作方式更好的保持了土壤动物垂直分布的表聚特征。少耕虽然在第二次调查中表聚特征消失,但中小型土壤动物的垂直分布仍然保持了随深度增加而逐渐减少的趋势。少耕和组合耕作较好地保持了中小型土壤动物表聚特征,有利于农田生态环境的保护。

**致谢** 感谢中国科学院海伦农田生态试验站提供试验条件,感谢赵权在取样中给予的大力协助。

#### 参考文献

- 陈学文, 张晓平, 梁爱珍, 等. 2012. 耕作方式对黑土硬度和容重的影响. 应用生态学报, **23**(2): 439-444.
- 黄红英, 徐 剑, 叶吉龙, 等. 2010. 不同耕作方式对菜地土壤动物种类组成及多样性的影响. 广东农业科学, (5): 87-89.
- 黄秋娟, 侯晓杰, 王志刚, 等. 2009. 保定市不同绿地类型土壤动物的种类数量及分布特征. 安徽农业科学, **37**(21): 10012-10014, 1003.
- 李 密, 周红春, 谭济才, 等. 2011. 湖南省自然保护区天蛾科昆虫资源及相似性研究. 中国农学通报, **27**(10): 63-66.
- 李淑梅, 樊淑华. 2008. 施用不同肥料对农田土壤动物群落结构的影响. 河南农业科学, (2): 57-59.
- 李淑梅, 史留功, 李青芝. 2008. 不同施肥条件下农田土壤动物群落组成及多样性变化. 安徽农业科学, **36**(7): 2830-2831, 2989.
- 林英华, 杨学云, 张夫道, 等. 2005. 陕西黄土区不同施肥条件下农田土壤动物的群落组成和结构. 生物多样性, **13**(3): 188-196.
- 林英华, 张夫道, 杨学云, 等. 2004. 农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究. 中国农业科学, **37**(6): 871-877.
- 林英华, 朱 平, 张夫道, 等. 2006. 吉林黑土区不同施肥条件下农田土壤动物组成及多样性变化. 植物营养与肥料学报, **12**(3): 412-419.
- 罗珠珠, 黄高宝, 张仁陟, 等. 2010. 长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤肥力质量的影响. 中国生态农业学报, **18**(3): 458-464.
- 乔云发, 苗淑杰, 韩晓增. 2008. 长期施肥条件下黑土有机碳和氮的动态变化. 土壤通报, **39**(3): 545-548.
- 孙 建, 刘 苗, 李立军, 等. 2010. 不同耕作方式对内蒙古旱作农田土壤侵蚀的影响. 生态学杂志, **29**(3): 485-490.

- 王振中, 张友梅. 1989. 衡山自然保护区森林土壤中动物群落研究. *地理学报*, **44**(2): 205-213.
- 吴东辉, 尹文英, 陈鹏. 2008. 刈割条件下松嫩平原碱化羊草草地土壤螨类群落变化特征的研究. *土壤学报*, **45**(5): 1007-1014.
- 吴东辉, 尹文英, 杨振明. 2007. 松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤螨类群落特征的差异. *动物学报*, **53**(4): 607-615.
- 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 2007. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响. *生态学杂志*, **26**(12): 2035-2039.
- 向昌国, 杨世俊, 聂琴. 2007. 土壤动物对土壤环境的生物指示作用. *农业资源与环境科学*, **23**(4): 364-367.
- 尹文英. 1992. 中国亚热带土壤动物. 北京: 科学出版社.
- 尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 于同艳, 张兴义, 张少良, 等. 2007b. 耕作措施对农田黑土入渗速率的影响. *水土保持通报*, **27**(5): 71-74.
- 于同艳, 张兴义. 2007a. 耕作措施对黑土农田耕层水分的影响. *西南大学学报(自然科学版)*, **29**(3): 121-124.
- 赵凡, 何秀云, 沈玉梅, 等. 2011. 玉米秸秆还田保护性耕作对产量及土壤理化性状影响的灰色关联分析. *干旱地区农业研究*, **29**(4): 208-218.
- 郑曙峰, 王维, 徐道青, 等. 2011. 覆盖免耕对棉田土壤物理性质及棉花生理特性的影响. *中国农学通报*, **27**(7): 83-87.
- 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 2010. 保护性耕作下土壤动物群落及其与土壤肥力的关系. *农业工程学报*, **26**(2): 70-76.
- Bengtsson J. 2002. Disturbance and resilience in soil animal communities. *European Journal of Soil Biology*, **38**: 119-125.
- Bradford MA, Jones TH, Bardgett RD. 2002. Impacts of soil faunal community composition on model grassland ecosystems. *Science*, **298**: 615-618.
- Callahan MA, Richter DD, Coleman DC, et al. 2006. Long-term land-use effects on soil invertebrate communities in Southern Piedmont soils, USA. *European Journal of Soil Biology*, **42**: S150-S156.
- Cole L, Buckland SM, Bardgett RD. 2008. Influence of disturbance and nitrogen addition on plant and soil animal diversity in grassland. *Soil Biology & Biochemistry*, **40**: 505-514.
- Shannon CE, Weaver W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: University of Illinois.
- Wolters V. 2001. Biodiversity of soil animals and its function. *European Journal of Soil Biology*, **37**: 221-227.
- Yeates GW, Newton PC. 2009. Long-term changes in topsoil nematode populations in grazed pasture under elevated atmospheric carbon dioxide. *Biology and Fertility of Soils*, **45**: 799-808.
- 
- 作者简介** 战丽莉, 女, 1983年生, 博士研究生, 主要从事土壤动物多样性研究。E-mail: lilyzhan55187650@163.com
- 责任编辑** 刘丽娟
-