

# 秸秆覆盖免耕条件下中小型土壤动物的生态分布特征

杨 佩<sup>1</sup>, 王海霞<sup>1,2</sup>, 岳 佳<sup>1</sup>

(1. 吉林师范大学 旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 东北师范大学 城市与环境科学学院, 长春 130024)

**摘 要:** 分别于 2011 年 5 月、7 月和 9 月, 通过设置免耕农田不同的玉米秸秆覆盖率, 调查了中小型土壤动物的生态分布特征。采用 Tullgren 法分离中小型土壤动物, 室内显微镜下鉴定。结果表明: 共获得中小型土壤动物 6 814 只。其中优势类群: 甲螨(Oribatida)和辐螨(Actinedida), 占总个体数的 77.71%。土壤动物集中分布在 0—10 cm 土层, 占总个体数的 76%, 表聚性明显。Margalef 物种丰富度指数(R)指数显示,  $R(\text{全秸秆覆盖} + \text{免耕})3.10 > R(50\% \text{ 秸秆覆盖} + \text{免耕})2.96 > R(\text{普通玉米田})2.18$ , 说明全玉米秸秆覆盖免耕的农田中小型土壤动物类群多样性最高, 个体数量最多。50% 秸秆覆盖和全秸秆覆盖处理下中小型土壤动物的丰富度均高于普通玉米田。全秸秆覆盖免耕条件下螨类的数量是 2 680 只, 是普通玉米田螨类数量的 1.32 倍。在 50% 秸秆覆盖 + 免耕、全秸秆覆盖 + 免耕和普通玉米田这 3 种不同秸秆覆盖率和土壤环境下, 中小型土壤动物的季节分布差异明显。全秸秆覆盖与普通玉米田相比, 能提供丰富的生存条件, 有效提高了中小型土壤动物的生物多样性。

**关键词:** 秸秆覆盖; 免耕; 中小型土壤动物; 生物多样性

中图分类号: S154.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)02-0145-06

## Ecological Distribution of Middle-small-size Soil Faunas under Conservation Tillage and Straw Mulch Conditions

YANG Pei<sup>1</sup>, WANG Hai-Xia<sup>1,2</sup>, YUE Jia<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Tourism, Jilin Normal University, Siping, Jilin 136000, China;

2. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

**Abstract:** In May, July and September, 2011, the characteristics of the ecological distribution of small and medium-sized soil faunas was investigated by setting the no-tillage farmland of corn stover coverage. Small and medium-sized soil faunas were separated by using the Tullgren method. The results showed that a total of 6 814 small and medium-sized soil faunas under an indoor microscope were identified. The dominant group includes oribatida and actinedida, occupying 77.1%. Soil faunas were concentrated in 0—10 cm soil layer, occupying 76% of the individuals, with the apparent surface gathering character. The results showed that the Margalef species richness index (R) sequence followed the order of 3.10 (full straw cover + straw mulch) > 2.96 (50% straw cover + straw mulch) > 2.18 (ordinary cornfield), indicating that the small and medium-sized soil fauna diversity in farmland with full corn straw mulch was high and the number of individuals was maximal. 50% of the straw mulch and straw mulch richness of small and medium-sized soil faunas were higher than the ordinary corn field. The number of mites under the no-tillage conditions with full straw cover the was 2 680, which was 1.32 times of the number of mites in the ordinary cornfield. The seasonal distribution of soil meso was obvious differences under the different straw mulching levels and soil environment. Compared with the ordinary corn field, whole straw mulch provided a richer living conditions to improve small and medium-sized soil faunal biodiversity.

**Key words:** straw mulch; conservation tillage; middle-small-size soil faunas; biodiversity

免耕及作物秸秆覆盖是保护性耕作常用的耕作形式,通过免耕、地表微地形改造技术及地表覆盖、合理种植等综合配套措施,可以减少农田土壤侵蚀、保护农田生态环境,并获得生态效益、经济效益及社会效益协调发展<sup>[1]</sup>。免耕不仅能促进土壤团聚体的形成,有利于防止风蚀、水蚀和土壤沙化,起到减少能源消耗的作用,而且也可以改善土壤的基本肥力特征<sup>[2-3]</sup>。同时免耕可有效恢复生物生存原有的复杂环境,与传统耕作相比,通常具有更高的土壤动物数量和生物多样性<sup>[4]</sup>。有研究表明,秸秆覆盖能增加土壤表层微生物生物量,形成的微环境促进了土壤小型节肢动物群体的增长,特别有利于螨类数量的增长<sup>[5-7]</sup>;跳虫数量的变化与秸秆分解过程和程度有高度的相关性<sup>[8]</sup>。农田土壤动物不仅是土壤中的“居民”,它们还是土壤的一部分,其生存、取食、活动改变着土壤的结构和土壤的理化性质,影响着土壤物质能量的迁移转化,促进土壤有机质的形成,对改善农田生态系统土壤生态环境、增强作物对养分的吸收利用有着积极的作用,并在维持和发挥农田生态系统正常功能上起着无可替代的作用<sup>[9]</sup>。开展保护性耕作对中小型土壤动物的物种多样性研究具有十分重要的现实意义。本文在玉米完整生长周期内,取样调查中小型土壤动物群落,探讨秸秆覆盖免耕条件下中小型土壤动物的生态分布特征,可为保护性耕作研究在该地区的示范与推广提供参考依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 试验地点概况

试验地点位于全国重要的粮食生产基地<sup>[10]</sup>——吉林省四平市梨树县,地理坐标为 124°45′—124°53′E,42°49′—43°16′N。该县东部地处大黑山脉,海拔 250~537 m,西北部为平原和沿河沙地,属松辽平原的一部分,海拔 130~160 m,中部是丘陵向平原的过渡地段,海拔 160~250 m。该地区属温带大陆性季风气候。年降水量 577.2 mm,蒸发量 1 763.6 mm,雨量集中在 6—8 月,占年降水量的 65%。年平均气温 5.8℃,最热月为 7 月,平均气温 23℃,最冷月为 1 月,平均气温 -14.9℃。主要风害为南向和西南风向,多出现在 3~5 月,最大风速 23 m/s,年平均风速 4.6 m/s。早霜出现在 9 月下旬,晚霜终止于 4 月下旬,无霜期 140~150 d。

### 1.2 试验设计与研究方法

分别于 2011 年 5 月、7 月和 9 月,分 3 次对研究样地土壤动物进行调查。在实验田内选取 3 个样地,以 MT 代表 50% 秸秆覆盖+免耕,HT 代表 100% 秸

秆覆盖+免耕,TT 代表普通玉米田。每块样地设置 4 个平行取样,面积为 10 cm×10 cm,垂直方向分为 0—5,5—10,10—15,15—20 cm 共 4 个层次。3 个样地 3 次共取样 144 份。中小型土壤动物采用 Tullgern 干漏斗方法收集<sup>[11]</sup>,用 40 W 的白炽灯连续照射 24 h。所有的中小型土壤动物标本保存在 75% 酒精溶液+0.5% 福尔马林溶液中。分类鉴定参照文献<sup>[12—14]</sup>,一般鉴定到科的水平,按常规方法将成虫和幼虫的数量分开统计<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据分析

土壤动物群落多样性分析主要选择以下 4 个指标<sup>[16]</sup>:

Shannon—Wiener 物种多样性指数( $H'$ ):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

Margalef 物种丰富度指数( $R$ ):

$$R = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

Pielou 均匀度指数( $E$ ):

$$E = H' / \ln S \quad (3)$$

Simpson 优势度指数( $C$ ):

$$C = \sum (n_i / N)^2 \quad (4)$$

式中: $S$ ——类群数; $N$ ——个体总数; $n_i$ ——土壤动物第  $i$  类群的个体数; $P_i = n_i / N$ ,为土壤动物第  $i$  类群个体数占总个体数的比例。运用 Pearson 相关分析探讨中小型土壤动物与主要土壤环境因子之间的相关关系。采用 SPSS 17.0 软件进行相关分析;Excel 2007 软件进行数据统计分析及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 中小型土壤动物的多样性

2.1.1 结构组成 三次取样调查共收集到中小型土壤动物 6 814 只,隶属于 2 门 4 纲 12 目 23 科(表 1),其中以蛛形纲个体数最多,共捕获 5 601 只共 4 类,占总个体数的 82.20%,占土壤动物总类群数的 13%。其次是昆虫纲,捕获 1 188 只共 28 类,占总个体数的 17.43%,占土壤动物总类群数的 77%,说明昆虫纲在该实验农田土壤动物中的生物多样性和复杂性最高。整个研究区优势类群为甲螨(Oribatida)和辐螨(Actinedida),这两类共 5 295 只,共占土壤动物总数的 77.71%;常见类群为等节跳虫(Isotomidae)、球角跳虫(Hypogastruridae)、革螨(Gamasida)、紫色山跳虫科(Pseudachorutidae)和铗跖科(Japygidae),5 类共 1 318 只,占土壤动物总数的 19.34%;稀有类群为:长角跳科(Entomobryidae)、隐翅虫科(Staphylinidae)和圆跳科(Sminthuridae)等,共 24 类 201 只,占土壤动物总数的 2.95%。

表 1 采集区整个生长季中小型土壤动物名录

类群	总个体数	占全捕获量/%	多度	类群	总个体数	占全捕获量%	多度
环节动物门				苔甲科	7	0.10	+
寡毛纲				金龟子科	1	0.01	+
近孔寡毛目				步甲科	3	0.04	+
线蚓科	11	0.16	+	弹尾目			
后孔寡毛目				等节跳科	401	5.88	+++
正蚓科	4	0.06	+	球角跳虫科	444	6.52	+++
节肢动物门				圆跳科	15	0.22	+
唇足纲				绫跳虫科	11	0.16	+
地蜈蚣目	10	0.15	+	爪跳科	1	0.01	+
蛛形纲				长角跳虫科	55	0.81	+
蜘蛛目	1	0.01	+	紫色山跳虫科	72	1.06	+++
真螨目				双翅目	21	0.31	+
辐螨亚目	3559	52.23	+++	实蝇科	3	0.04	+
甲螨亚目	1736	25.48	+++	摇蚊科	1	0.01	+
寄螨目				双尾目			
革螨亚目	305	4.48	++	铗趴科	96	1.41	+++
昆虫纲				原铗趴总科	2	0.03	+
鞘翅目	2	0.03	+	缨翅目	1	0.01	+
步行虫科	3	0.04	+	管蓟马科	1	0.01	+
蚁甲科	2	0.03	+	膜翅目	1	0.01	+
隐翅虫科	39	0.57	+	蚁科	5	0.07	+
				等翅目	1	0.01	+

注:+++为优势类群,个体数占总数的10%及以上;++为常见类群,个体数占总数的1%~10%;+为稀有类群,个体数占总数的1%以下。

2.1.2 中小型土壤动物的多样性 根据 Shannon—Wiener 物种多样性指数( $H'$ ),Margalef 物种丰富度指数( $R$ ),Simpson 优势度指数( $C$ )和 Pielou 均匀度指数( $E$ )显示(表 2),Shannon—Wiener 物种多样性指数( $H'$ )为  $H'$ (MT)1.69> $H'$ (HT)1.40> $H'$ (TT)1.30,说明秸秆覆盖条件下中小型土壤动物的生物多样性均高于普通玉米田。也说明秸秆覆盖促进了农田土壤动物的生物多样性。Margalef 物种丰富度指数( $R$ )为  $R$ (HT)3.10> $R$ (MT)2.96> $R$ (TT)2.18,说明全秸秆覆盖玉米田的中小型土壤动物丰富程度最高,生物种类最多。随着玉米秸秆覆盖量的增加,该实验农田土壤动物的物种丰富度也随之提高。说明进行秸秆覆盖更有利于农田生态环境的恢复。Simpson 优势度指数( $C$ )为  $C$ (TT)0.38> $C$ (HT)0.36> $C$ (MT)0.28,说明普通玉米田样地的优势度指数高于其他两种秸秆覆盖率的样地,这说明该生境中某个种类的土壤动物的个体数占该生境总个体数的比例较高,类群数相对较少。辐螨数量占该样地总个体数的 54.3%。Pielou 均匀度指数( $E$ )为  $E$ (MT)0.55> $E$ (TT)0.45> $E$ (HT)0.43,说明 50%秸秆覆盖样地具有最高的均匀度,此样地中各物种在整个种群中分配得最均匀<sup>[14]</sup>。

表 2 中小型土壤动物各种指数

项目	指数			
	$H'$	$R$	$C$	$E$
MT	1.69	2.96	0.55	0.28
HT	1.40	3.10	0.43	0.36
TT	1.30	2.18	0.45	0.38

注:MT 代表 50%秸秆覆盖+免耕,HT 代表 100%秸秆覆盖+免耕,TT 代表普通玉米田,下同。

综上可知,秸秆覆盖免耕提高了农田土壤动物的物种多样性,物种丰富度和物种均匀度。跳虫分解了一定的半腐败植物,秸秆覆盖为跳虫以及其他中小型土壤动物提供了食物来源。秸秆覆盖免耕能有效维持土壤水分,保护了土壤动物生存应有的微环境。这说明秸秆覆盖免耕有利于提高农田土壤动物的生境条件。

2.2 中小型土壤动物的分布差异

2.2.1 季节分布差异 中小型土壤动物的季节分布差异明显(图 1),个体数和类群数均呈现出明显的季节变化,在玉米整个生长季中小型土壤动物个体数表现为:50%秸秆覆盖+免耕样地:612 只(9 月)>445 只(5 月)>143 只(7 月);100%秸秆覆盖+免耕样地:2 129 只(9 月)>759 只(5 月)>316 只(7 月);普通玉米田样地:1 404 只(7 月)>508 只(5 月)>498 只

(9月);各样地个体数的季节增长模式不同,其中50%秸秆覆盖+免耕样地和100%秸秆覆盖+免耕样地的中小型土壤动物个体数量都呈现出9月最多7月最少的特征。而普通玉米田样地中小型土壤动物个体数量的季节增长模式恰好与之相反,7月最多9月最少。这是因为在玉米的整个生长周期内,秸秆覆盖免耕样地与普通玉米田相比为中小型土壤动物提供了更多的食物,维护了适于中小型土壤动物生存的土壤微环境。类群数表现为:50%秸秆覆盖+免耕样地:17类(9月)>13类(5月)>12类(7月);100%秸秆

覆盖+免耕样地:19类(9月)>18类(5月)>15类(7月);普通玉米田样地:15类(9月)=15类(7月)>12类(5月);结果表明各样地类群季节分布不同。相同季节各样地的类群分布也尽相不同,5月:100%秸秆覆盖+免耕样地类群(18类)>普通玉米田样地(12类),100%秸秆覆盖+免耕样地比普通玉米田样地多出的类群为:地蜈蚣目、蚁科、苔甲科、蚁甲科、管蓟马科。秸秆覆盖免耕条件下土壤动物的类群数有一定的增长,说明秸秆覆盖免耕条件促进了土壤动物生物多样性,在一定程度上提高了农田土壤动物的生存环境。

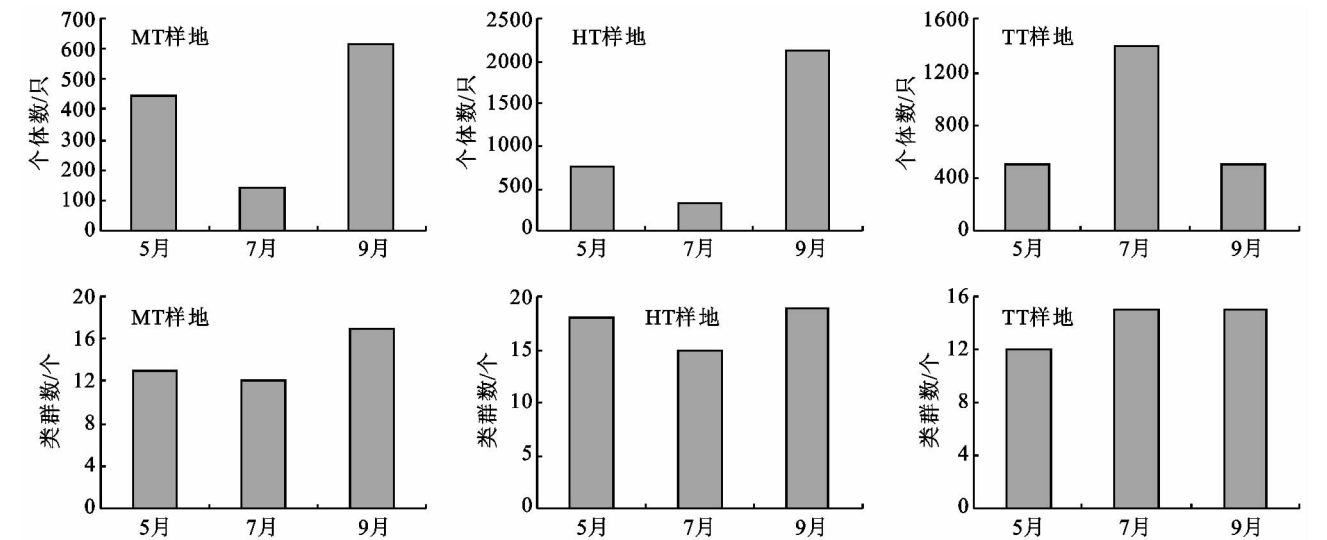


图1 中小型土壤动物的季节分布

2.2.2 垂直分布差异 由图2可以看出,在0—5 cm土层范围内:HT样地的个体数为578只,占该样地总个体数的48.17%;MT样地的个体数为2062只,占该样地总个体数的64.36%;TT样地的个体数为1021只,占该样地总个体数的42.37%;三个样地里中小型土壤动物表现出明显的表聚性。

在整个研究区域,个体数和类群数均随土层深度的增加而逐渐减少,0—5 cm表层土壤中有中小型土壤动物共3661只,占总个体数的53.73%;5—10 cm土层中有土壤动物1495只,占总个体数的21.94%;10—15 cm土层中有土壤动物1015只,占总个体数的14.90%;15—20 cm土层中有土壤动物643只,占总个体数的9.44%。这说明表层土壤较其他土层生存条件更优越,为土壤动物提供了适宜的阳光、水分、温度和丰富的食物来源。

这也可能与土壤的通透性有关,随着土层深度的增加,土壤的通透性减小,土壤动物的个体数和类群数也相应递减。另一方面15—20 cm的生存线也获得了一定量的土壤动物,这说明土壤动物具有较强的适应性,且其生存空间具有沿土壤剖面向下延伸的趋势。

### 2.3 中小型土壤动物与土壤理化性质的关系

中小型土壤动物优势类群甲螨和辐螨终生生活在土壤中<sup>[17]</sup>,土壤因子会在很大程度上对土壤动物的多样性和生态分布特征产生关键影响<sup>[18-20]</sup>。对中小型土壤动物的个体数,类群数以及多样性,优势度,均匀度和丰富度4个指数与主要土壤环境因子进行Pearson相关分析,计算结果见表3。

由表3可以看出,中小型土壤动物的个体数与土壤因子的相关关系不明显;类群数与土壤容重呈显著的负相关关系,这说明土壤容重过大则抑制土壤类群多样性,因此应适量提高耕层土壤的孔隙度,降低土壤容重,以此提高农田土壤动物类群的多样性;多样性指数与pH值呈极显著的负相关性,表明随着pH值的增加,农田土壤动物的多样性指数降低,因此土壤pH值应该在适宜的范围内,才能有效提高农田土壤动物的多样性指数;优势度指数与pH值呈极显著的正相关关系;均匀度指数与pH值呈极显著的正相关关系;丰富度指数与土壤因子的相关关系均不明显。从土壤动物总体指标与环境要素的相关系数来看,土壤动物各项指标与环境要素中含水率、有机质、全P和全N都没有达到显著相关程度。

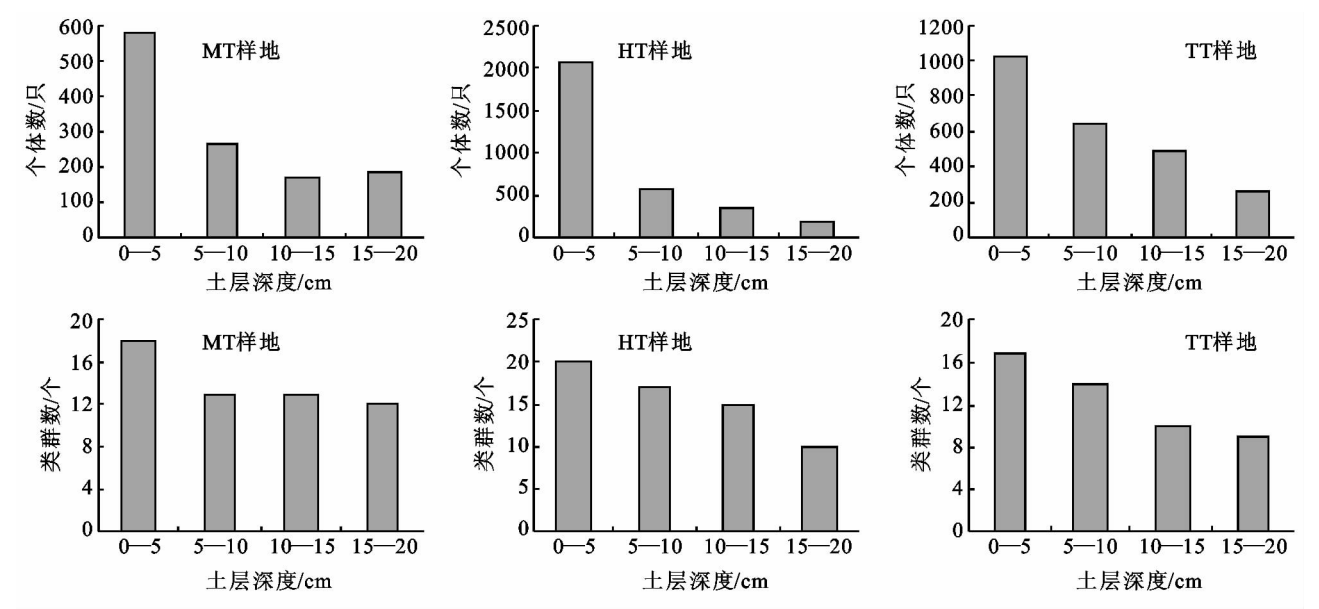


图 2 中小型土壤动物的垂直剖面分布

表 3 中小型土壤动物与主要土壤因子的 Pearson 相关系数 (n=18)

土壤指标	含水率/%	有机质/%	pH 值	全 P/%	全 N/%	土壤容重
个体数	0.064	0.009	0.240	0.096	-0.112	-0.287
类群数	0.248	0.226	-0.164	-0.060	-0.347	-0.469*
多样性指数	0.059	0.346	-0.752**	0.206	-0.003	-0.026
优势度指数	-0.087	-0.319	0.636**	-0.177	-0.077	-0.008
均匀度指数	-0.188	-0.251	0.571**	-0.144	-0.098	-0.071
丰富度指数	0.247	0.267	-0.437	-0.129	-0.310	-0.285

注: \* 表示相关系数达到  $P<0.05$  的相关水平, \*\* 表示相关系数达到  $P<0.01$  的极相关水平。

2.4 秸秆覆盖与免耕对中小型土壤动物的影响

秸秆覆盖免耕是保护性耕作常用的方法,免耕通常有复杂而稳定的生境系统<sup>[21]</sup>。对中小型土壤动物的多样性、优势度、均匀度、丰富度等指数影响显著(表 2)。在秸秆覆盖免耕玉米田中,随着秸秆覆盖量的增加,土壤动物在季节分布中个体数和类群数相应增加(图 1),土壤动物在垂直分布中个体数和类群数相应增加(图 2)。在整个研究区域,秸秆覆盖量对中小型土壤动物个体和类群分布的影响表现为,个体数:全秸秆覆盖免耕(3 204 只)>普通玉米田(2 416 只)>50%秸秆覆盖免耕(1 200 只);类群数:全秸秆覆盖免耕(26 类)>50%秸秆覆盖免耕(22 类)>普通玉米田(18 类)。这说明全秸秆覆盖免耕与普通玉米田相比提高了农田中小型土壤动物的个体数和类群数。全秸秆覆盖为土壤动物提供了适宜的生存环境,提供了食物被弹尾目的跳虫等参与分解,使跳虫的数量明显增加。跳虫个体数:全秸秆覆盖免耕(440 只)>普通玉米田(299 只)>50%秸秆覆盖免耕(260 只)。在不同的秸秆覆盖量下,螨类的数量分布不同,具体为:全秸秆覆盖免耕(2 680 只)>普通玉米田(2 034 只)>50%秸秆覆盖免耕(886 只)。

3 结 论

秸秆覆盖免耕可在一定范围内调节耕层土壤的微环境,随着秸秆覆盖量的变化,中小型土壤动物群落结构发生变化。个体数:全秸秆覆盖免耕>普通玉米田>50%秸秆覆盖,类群数:全秸秆覆盖免耕>50%秸秆覆盖>普通玉米田。表明全秸秆覆盖免耕的保护性耕作方式能有效提高中小型土壤动物的生物多样性。随着秸秆覆盖量的变化,中小型土壤动物的季节分布于普通玉米田相比有显著差异。全秸秆覆盖和 50%秸秆覆盖样地个体数:9 月>7 月>5 月。普通玉米田个体数:7 月>5 月>9 月。对比发现,全秸秆覆盖与普通玉米田相比,能提供更丰富的生存条件,使中小型土壤动物的生命周期延长,有效提高了中小型土壤动物的生物多样性。

在水资源紧缺和降水时间不可控制的条件下,玉米秸秆覆盖免耕能起到节水和保温的作用,并且明显提高了农田中小型土壤动物的个体数和类群数。在一定范围内,随着秸秆覆盖量的增加,土壤动物个体数和类群数均增加。在本次调查中,中小型土壤动物个体数,类群数以及多样性,优势度,均匀度和丰富度

4个指数与土壤含水率,有机质,全P和全N的相关关系不显著,中小型土壤动物类群数与土壤容量呈显著的负相关性;多样性指数与pH值呈极显著的负相关性;优势度指数与pH值呈极显著的正相关性;均匀度指数与pH值呈极显著的正相关性。

中小型土壤动物个体数和类群数与秸秆覆盖量+免耕的关系明显。随着玉米秸秆覆盖量的增加,全秸秆覆盖免耕样地个体数和类群数均高于普通玉米田。生物多样性的增加,提高了捕食性食物链和腐蚀性食物链的复杂性和稳定性。由于全秸秆覆盖一方面提高了耕层土壤的持水性,另一方面为土壤动物提供了食物来源,弹尾目的跳虫等参与食物的分解,使跳虫的数量明显增加。跳虫的个体数:全秸秆覆盖免耕(440只)>普通玉米田(299只)>50%秸秆覆盖(260只)。与普通玉米田相比,秸秆覆盖免耕能减缓水土流失,提高水分的渗透作用,因此在秸秆覆盖免耕条件下的农田中小型土壤动物个体数和类群数更多。

#### 参考文献:

- [1] 张海林,高旺盛,陈阜. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报,2005,10(1):16-20.
- [2] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon[J]. Soil Science Society of America Journal,2000,64(2):681-689.
- [3] Roldán A, Caravaca F, Hernández M T, et al. No-tillage, cropresidue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed(Mexico)[J]. Soil and Tillage Research,2003,72(1):65-73.
- [4] Winter J P, Voroney R P, Ainsworth D A. Soil microarthropods in long term no-tillage and conventional corn production[J]. Canadian Journal of Soil Science,1990,70(4):641-654.
- [5] Nakamoto T, Tsukamoto M. Abundance and activity of soil organisms in fields of maize grown with a white clover living mulch[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment,2006,115(1/4):34-42.
- [6] Brennan A, Fortuneb T, Bolgera T. Collembola abundance and assemblage structures in conventionally tilled

and conservation tillage arable systems[J]. Pedobiologia,2006,50(2):135-145.

- [7] Miura F, Nakamotoa T, Kanedab S, et al. Dynamics of soil biota at different depths under two contrasting tillage practices[J]. Soil Biology & Biochemistry,2008,40(2):406-414.
- [8] Zhang Q, Zak J C. Effects of gap size on litter decomposition and microbial activity in a subtropical forest[J]. Ecology,1995,76(7):2196-2204.
- [9] 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.
- [10] 吉林省土地管理局. 吉林省土地资源[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [11] 陈鹏. 土壤动物的采集和调查方法[J]. 生态学杂志,1983,2(2):46-51.
- [12] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [13] 南开大学. 昆虫学[M]. 北京:高等教育出版社,1984.
- [14] 郑乐怡,归鸿. 昆虫分类[M]. 南京:南京师范大学出版社,1999.
- [15] 王海霞,殷秀琴,周道玮. 松嫩草原区农牧林复合系统中小型土壤动物群落生态研究[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1715-1718.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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[J]. 土壤学报,2008,45(1):130-136.
- [19] Hasegawa M. 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(4):281-284.
- [20] 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(4):1707-1715.
- [21] 朱强根,朱安宁,张佳宝,等. 黄淮海平原小麦保护性耕作对土壤动物总量和多样性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(8):1766-1772.