

连 旭, 隋玉柱, 武海涛, 等. 秸秆还田对黑土农田土壤甲螨群落结构的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(1): 134-142.

LIAN Xu, SUI Yu-zhu, WU Hai-tao, et al. Effect of on-site recycling of straw on community structure of soil Oribatida in black soil farmland[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(1): 134-142.

秸秆还田对黑土农田土壤甲螨群落结构的影响

连 旭^{1,2}, 隋玉柱¹, 武海涛^{2*}, 刘 冬², 郝 敏¹, 管 强²

(1. 青岛大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 湿地生态与环境重点实验室, 长春 130102)

摘 要:为探讨秸秆还田对农田土壤甲螨群落结构的影响,于2014年6月和10月、2015年6月和10月采用改良的Tullgren漏斗法,采集东北黑土区秸秆还田4年(SR4)、秸秆还田10年(SR10)和无秸秆还田(CK)样地土壤,对土壤甲螨群落结构进行研究。结果表明:4个采样时期共捕获土壤螨类11366只,其中甲螨8373只,占74%;SR4、SR10和CK中,甲螨的分布密度分别为13774、11946、5871 Ind·m⁻²,分别隶属于15、12属和7属;秸秆还田($F=81.954, P<0.001$)、季节($F=56.649, P<0.001$)、秸秆还田和季节交互作用($F=11.289, P<0.001$)都对土壤甲螨个体数量有显著性影响,而对甲螨类群数影响不显著;秸秆还田能够显著影响甲螨群落的丰富度指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数和密度-类群指数;季节动态上,表现出秋季甲螨分布密度普遍高于夏季。聚类分析也表明,秸秆还田黑土农田系统中甲螨群落组成(SR4与SR10)与传统耕作(CK)显著不同,而SR4和SR10处理的差异不明显。以上研究表明,秸秆还田有利于提高土壤甲螨群落结构多样性和密度,对土壤甲螨具有重要的保育作用,有利于农田土壤生态环境的保护和土壤肥力提升。

关键词:秸秆还田;土壤螨类;群落结构;聚类分析

中图分类号:X712 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2017)01-0134-09 doi:10.11654/jaes.2016-0911

Effect of on-site recycling of straw on community structure of soil Oribatida in black soil farmland

LIAN Xu^{1,2}, SUI Yu-zhu¹, WU Hai-tao^{2*}, LIU Dong², XI Min¹, GUAN Qiang²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

Abstract: On-site recycling of straw is an important method of soil fertility management in farmland. Straw is not only habitat for soil fauna, but also as a main source of litter. However, little is known about the effect of straw recycling on the community structure of soil fauna. In order to better understand the influence of straw recycling on community structure of soil Oribatida in black soil, an experiment was conducted in black soil farmland in Northeast China. Soil samples were collected from 0~20 cm soil layer under straw recycling for 4 years (SR4), 10 years (SR10) and conventional tillage (CK) in June and October of 2014 and 2015 and a modified Tullgren method was used to extract soil mites from the soil samples. A total of 11366 soil mites were captured on four sampling dates, of which 8373 (74%) were Oribatida. The density of soil Oribatida was SR4: 13774 per square meter, 15 families SR10: 11946 per square meter, 12 families and CK: 5871 per square meter, 7 families. Straw recycling, season, and the interaction between straw recycling and season all had significant ($P<0.001$) effects on individual density of soil Oribatida, but not on the number of families of Oribatida. Straw recycling also significantly affected the richness in-

收稿日期: 2016-07-12

作者简介: 连 旭(1991—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事土壤生态学方面的研究。E-mail: 861670154@qq.com

* 通信作者: 武海涛 E-mail: wuhaitao@iga.ac.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371261); 吉林省科技发展计划项目(20140101004JC); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-TZ-16)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China (41371261); The Jilin Provincial Research Foundation for Science and Technology Development, China (20140101004JC); The Major Deployment Program of the Chinese Academy of Sciences, China (KZZD-EW-TZ-16)

dex, the evenness index, the diversity index, the dominance index and the density-groups index of Oribatida. The density of the dominant species of soil Oribatida in autumn were generally higher than those in summer. Cluster analysis also showed that the Oribatida communities in SR4 and SR10 were significantly different from CK, but not from each other. Our results indicated that straw recycling is conducive to maintaining the diversity and density of soil Oribatida communities, and to the protection of ecological environment and fertility of the soils.

Keywords: straw recycling; soil mites; community structure; cluster analysis

农田生态系统是一种以作物为中心,生物群落与其生态环境间通过物质和能量交换以及相互作用为基础而人工建立的生态系统。农田生态系统是保障人类生存和可持续发展的基础,对人类发展具有十分重要而深远的影响^[1]。农作物秸秆含有丰富的氮、磷、钾、钙、镁、硫等农作物生长所需的营养元素,还田的秸秆分解后,能够有效增加土壤有机质含量,改变土壤物理结构,进而影响土壤肥力和土壤质量^[2]。秸秆还田作为重要的农艺措施之一,在改变土壤理化性质的同时,也能够为土壤动物提供良好的栖息环境和食物来源。秸秆还田对土壤理化性质影响已有较多研究。李传宝^[3]研究了秸秆还田对黑土土壤主要理化性状的影响,发现秸秆还田能够显著降低土壤容重,土壤有机质含量提高 13.34%。徐蒋来等^[4]研究了苏中地区秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响,发现秸秆还田能增加土壤全氮、有效磷、速效钾和总有机碳含量,可显著提高土壤肥力。而秸秆还田对土壤生物,特别是对土壤动物群落影响的研究相对较少。

土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分,其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消费者和特殊的分解者^[5-7]。土壤结构和理化性质变化的同时也改变了土壤动物的生存环境,进而影响土壤动物群落结构^[8-11]。现有土壤动物的响应研究,主要集中在对土壤动物整体群落水平的研究。董炜华等^[12]研究了高速公路隔断对农田大型土壤动物多样性的影响,发现大型土壤动物的个体数、类群数以及多样性指数存在差异;李涛等^[13]研究了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,发现土壤动物的类群数和个体数量受污染物影响显著,多样性指数也受到土壤污染程度的影响。朱新玉等^[14]研究了长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响,发现长期施肥对土壤理化性质产生影响的同时,也改变了土壤动物群落组成。但受到物种分类困难等因素的影响,对单一类群的响应研究并不多见^[15]。

土壤螨类是土壤动物的重要组成部分^[16],且其对土壤环境改变的响应较敏感,常被作为最重要的土壤

质量变化的指示生物之一^[17]。因此,国内外螨类研究学者加强了农业生产活动对土壤螨类群落组成影响的研究^[18],我国从 20 世纪 80 年代才开始土壤螨类的生态学研究^[19]。战丽莉等^[20]研究了耕作方式对土壤螨类群落结构的影响,发现耕作方式对土壤螨类数量和类群数存在显著影响,少耕和免耕更有利于土壤螨类群落结构稳定性及多样性的保持;吴东辉等^[21]研究了长春市不同土地利用生境土壤螨类的群落结构特征,发现长春市土地利用差异对土壤螨类群落结构特征影响显著。Hulsmann 等^[22]研究了不同耕作方式对土壤螨类(尤其是甲螨)的影响,发现甲螨受耕作方式影响显著,且有一定的季节性差异。而秸秆还田对单一类群的响应研究则更少,其中牟文雅等^[23]研究了玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响,发现秸秆还田可在一定程度上增加土壤线虫数量和种类多样性,改变线虫群落组成。整体而言,我国关于此方面的研究较少,特别是缺乏长期定位试验,缺少对土壤动物种水平的研究,严重阻碍了对秸秆还田生态效应的综合性了解和把握。

本研究选取我国东北典型黑土农田生态系统为研究对象,分析秸秆还田对土壤甲螨群落结构的影响,旨在为农田生态系统管理措施优化、土壤肥力提升和黑土质量表征提供科学的评价指标和依据。

1 研究方法

1.1 样地的选择

实验位于吉林省长春市德惠市米沙子乡的中国科学院东北地理与农业生态研究所黑土农业试验示范基地(44°12'N, 125°33'E)。试验站所在区域气候属于中温带大陆季风气候,其特点为四季分明,春季多风干旱,夏季炎热多雨,秋季昼暖夜爽,冬季寒冷漫长。年平均气温 4.4℃,年降水量 520 mm,无霜期 140 d。表层土壤(0~20 cm)pH 在 6.5 左右。土壤按发生学分类属于黑土土类,典型黑土亚类中的中层黑土,按我国系统分类其名称为筒育湿润均腐土,相应于美国土壤分类系统中的典型弱发育湿润软土^[24]。

试验处理为玉米秸秆全部还田(SR)和无秸秆还

田常规耕作(CK);其中,秸秆还田按照还田年限分为秸秆还田4年(SR4)和秸秆还田10年(SR10)两个处理。三种试验地直接相邻,本底相同;SR10自2004年开始试验,SR4自2011年开始试验。秸秆还田处理(SR)为高留茬直接覆盖秸秆还田,留茬高度为30~40 cm,并保留根茬不动,经日晒雨淋、风吹冻融等自然过程腐烂还田;耕种时采用不同年份错行耕种。秸秆还田量为8660 kg·hm⁻²,每块样地的面积为1.4 hm²。常规耕作(CK)为人为收割地上全部秸秆和地下根茬,并运出样地。

1.2 样品的采集、分离与鉴定

采样时间为2014年6月和10月,2015年6月和10月,采用土钻(直径6 cm,长20 cm)对三种农田生态系统(SR4、SR10和CK)以棋盘式采样法随机选择3垄作为3个平行;每垄随机取3个点,0~20 cm深度采样,装入自封袋混匀作为一个样品。采用改良的Tullgren漏斗法进行土壤螨类分离,分离得到的螨类于4℃、75%酒精中保存。在显微镜下观察、分离和鉴定,主要依据《中国土壤动物检索图鉴》^[25]和《A Manual of Acarology》^[26]鉴定,甲螨鉴定到种,部分到属,同时统计个体数量。前气门亚目、中气门亚目和无气门亚目螨类没有进行属和种分类,直接进行个体数量统计。

1.3 数据处理

土壤螨群落多样性,本文采用如下公式计算^[27]:

$$(1) \text{Shannon-Wiener 多样性指数 } H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$(2) \text{Pielou 均匀性指数 } J = H' / \ln S$$

$$(3) \text{Simpson 优势度指数 } C = \sum_{i=1}^S (n_i/N)^2$$

$$(4) \text{Margalef 丰富度指数 } D = (S-1) / \ln N$$

式中: P_i 为土壤螨群落第*i*类群个体数占总个体数的比例; S 为土壤螨群落所有类群数; n_i 为该区第*i*个类群的个体数量; N 为全部类群的个体总数。

$$(5) \text{密度-类群指数}^{[28]}$$

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g \left(\frac{D_i C_i}{D_{i \max} C} \right)$$

式中: D_i 为第*i*类群个体数; $D_{i \max}$ 为各群落中第*i*类群的最大个体数; g 为群落中的类群数; G 为各群落所包含的总类群数; C_i/C 为相对次数,即在*C*个群落中第*i*个类群出现的比率。

$$(6) \text{群落复杂性指数}^{[29]}$$

$$C_j = H'_j \times r_j = H'_{j \max} \times e_j \times r_j$$

式中: H'_j 、 $H'_{j \max}$ 和 e_j 分别为群落*j*的Shannon-Wiener多样性指数、最大多样性和均匀度; r_j 为校正系数,代表群落间相对丰度对群落*j*复杂性的影响,公式为:

$$r_j = A_j / \bar{A}; A_j = (1/S_j) \sum_{i=1}^S (N_{ij}/N_i); \bar{A} = (1/n) \sum_{j=1}^n A_j$$

式中: N_{ij} 为群落*j*中类群*i*的个体数; N_i 为所有群落中类群*i*的总个体数; $N_j = \sum_{i=1}^n N_{ij}$; S_j 为群落*j*的类群数; S 为各群落的总类群数; A_j 为群落*j*中各类群群落间相对丰度(N_{ij}/N_i)的平均值(即群落*j*的个体丰富度); $\bar{A}$ 为各群落的平均个体丰富度。

根据采样面积和所获得土壤螨类的数量,换算得到土壤螨类分布密度,同时对甲螨不同种所占甲螨总数的百分比进行了统计,分析得到不同种的优势度。运用SPSS16.0软件,利用多因素方差分析、多重比较LSD、Duncan方法对4个时期3种处理的动态数据,分析秸秆处理、季节动态对甲螨群落的影响,差异显著水平为0.05;采用Primer 7.0对4个时期有无秸秆处理的数据进行聚类分析(首先对2014年6月和10月、2015年6月和10月的数据进行平均计算,后进行平方根转化,采用Bray-Curtis相似度进行聚类分析),检验秸秆还田与无秸秆还田中甲螨组成是否有差异。采用Origin 8.0绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤螨类群落组成和数量

研究区4个时期共捕获土壤螨类11366只,其中前气门亚目(Prostigmata)1294只,中气门亚目(Mesostigmata)1567只,无气门亚目(Astigmata)132只,甲螨亚目(Oribatida)8373只,甲螨占74%,是土壤螨类的主体。SR4、SR10和CK中,甲螨的分布密度分别为13774、11946、5871只·m⁻²(表1)。

三种农田生态系统相比,土壤甲螨的分布密度具有显著差异($F=81.954, P<0.001$)。整体而言,SR4是CK的2.35倍,SR10是CK的2.03倍,可见秸秆还田后土壤甲螨密度明显增加。同时,优势类群、常见类群和稀有类群也发生了明显变化(表1):*Pilagalumna minima*和*Scheloribates fimbriatus*在SR4、SR10中为优势类群,而在CK中为常见类群;*Cryptoplia brevisetiger*和*Zygoribatula truncata*在SR4、SR10和CK中均为优势类群;*Epilohmannia ovata*和*Tectocepheus velatus*在SR4、SR10和CK中均为常见类群;*Acrotritia simile*在CK和SR4中为常见类群,而在SR10中

为稀有类群;*Eremulus flagellifer*,*Galumna cuneata*,*Haplozetes* sp.,*Hypochothonius rufulus*,*Nothrus anauniensis* 作为稀有类群存在于 SR4 和 SR10 中,而在 CK 中并未发现;*Ceratozetes japonicus*,*Ghilarovus changlingensis* 和 *Papillacarus hirsutus* 只存在于 SR4 中,而在 SR10 和 CK 中不存在。

2.2 土壤甲螨的个体数和类群数

土壤甲螨的分布密度具有显著季节差异($F=56.649, P<0.001$)。秸秆还田 4 年(SR4)和秸秆还田 10 年(SR10)甲螨个体分布密度最大值都在 2014 年 10 月出现,分别为 $(20\,521\pm763)\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $(18\,524\pm1867)\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2}$;最小值都在 2014 年 6 月出现,分别为 $(7299\pm150)\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $(7550\pm470)\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2}$;而 CK,秋季密度波动较大,最大值和最小值分别出现在 2014

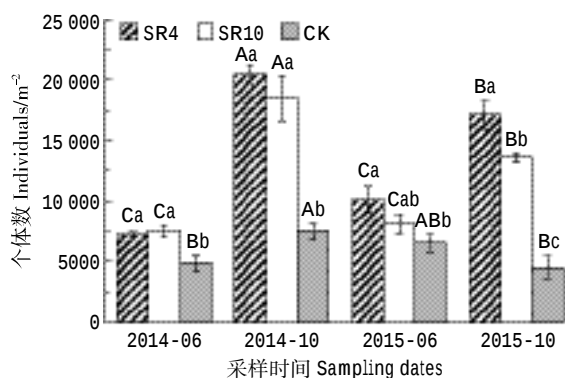
年 10 月 $(7537\pm688\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2})$ 和 2015 年 10 月 $(4522\pm945\text{Ind}\cdot\text{m}^{-2})$ 。三种农田系统中,土壤甲螨分布密度的差异性随采样季节而不同。2014 年,SR4 和 SR10 显著高于 CK,而 SR4 和 SR10 间无显著性差异;2015 年夏季 6 月,SR4 显著高于 CK,而 SR10 与 CK 间差异不显著;2015 年秋季 10 月,SR4 显著高于 SR10 和 CK,同时,SR10 也显著高于 CK(图 1)。秸秆处理和季节的交互作用也对土壤甲螨的个体数量具有显著影响($F=11.289, P<0.001$)。

方差分析表明,秸秆处理($F=2.433, P=0.109$)、季节($F=1.585, P=0.219$)、秸秆处理和季节交互作用($F=0.799, P=0.580$)对土壤甲螨类群数影响不显著(图 2),但对土壤甲螨优势类群有一定的影响。SR4 和 SR10 中 *Cryptoplia brevisetiger*($F=24.776, P<0.001$)、

表 1 土壤螨类组成、密度及优势度
Table 1 Composition, density and dominance of soil mites

螨类群 Mite Groups	属/种 Genus/Species	无秸秆还田 CK			秸秆还田 4 年 SR4			秸秆还田 10 年 SR10		
		密度 Individuals/ Ind·m ⁻²	百分比 Percent/%	优势度 Dominance	密度 Individuals/ Ind·m ⁻²	百分比 Percent/%	优势度 Dominance	密度 Individuals/ Ind·m ⁻²	百分比 Percent/%	优势度 Dominance
前气门 Prostigmata		1646±871			1716±454			2013±834		
中气门 Mesostigmata		2727±203			2542±618			1729±93		
无气门 Astigmata		79±36			255±233			155±81		
甲螨 Oribatida										
	<i>Acrotritria simile</i>	159±36	2.7	++	139±48	1.01	++	106±19	0.89	+
	<i>Ceratozetes japonicus</i>	—			7±7	0.05	+	—		
	<i>Cryptoplia brevisetiger</i>	3193±722	54.39	+++	5236±934	38.01	+++	5186±400	43.41	+++
	<i>Epilohmannia ovata</i>	555±132	9.46	++	737±201	5.35	++	337±91	2.82	++
	<i>Eremulus flagellifer</i>	—			10±6	0.07	+	17±3	0.14	+
	<i>Galumna cuneata</i>	—			30±30	0.22	+	3±3	0.03	+
	<i>Ghilarovus changlingensis</i>	—			7±7	0.05	+	—		
	<i>Haplozetes</i> sp.	—			26±15	0.19	+	26±16	0.22	+
	<i>Hypochothonius rufulus</i>	—			30±17	0.22	+	23±10	0.19	+
	<i>Nothrus anauniensis</i>	—			7±4	0.05	+	23±19	0.19	+
	<i>Papillacarus hirsutus</i>	—			56±33	0.41	+	—		
	<i>Pilogalumna minima</i>	159±16	2.7	++	2030±895	14.73	+++	2390±1033	20.01	+++
	<i>Scheloribates fimbriatus</i>	298±41	5.07	++	3117±1400	22.63	+++	2112±970	17.68	+++
	<i>Tectocepheus velatus</i>	536±41	9.12	++	443±125	3.22	++	221±52	1.85	++
	<i>Zygoribatula truncata</i>	972±100	16.55	+++	1901±178	13.8	+++	1501±351	12.56	+++

注:+++优势类群,个体数占总捕获量的 10%以上;++常见类群,个体数占总捕获量的 1%~10%;+稀有类群,个体数占总捕获量的 1%以下。
Note:+++Dominant group, individuals number is more than 10% of total individuals number; ++Frequent group, individuals number is between 10% and 1% of total individuals number; +Rare group, individuals number is less than 1% of total individuals number.



不同大写字母表示同一秸秆处理方式不同采样时间在 0.05 水平上差异显著;不同小写字母表示同一采样时间不同秸秆处理方式在 0.05 水平上差异显著。下同

Different capital letters indicate significant differences between the same tillage system and different sampling dates at the 0.05 level; Different small letters indicate significant differences between the same sampling date and different tillage systems at the 0.05 level, the same below

图 1 不同采样时期 3 种秸秆处理的土壤甲螨分布密度
Figure 1 Soil oribatida individuals under three tillage systems at different sampling dates

Pilogalumna minima ($F=71.04, P<0.001$)、*Scheloribates fimbriatus* ($F=104.3, P<0.001$) 和 *Zygoribatula truncate* ($F=7.06, P=0.004$) 都显著高于 CK。季节动态上, *Cryptoplia brevisetiger* ($F=21.2, P<0.001$)、*Pilogalumna minima* ($F=76.33, P<0.001$) 和 *Scheloribates fimbriatus* ($F=94.97, P<0.001$) 季节差异较大, 秋季分布密度明显大于夏季。秸秆处理和季节交互作用对 *Cryptoplia brevisetiger* ($F=21.19, P<0.001$)、*Pilogalumna minima* ($F=76.33, P<0.001$) 和 *Scheloribates fimbriatus* ($F=94.97, P<0.001$) 有显著性影响。

2.3 土壤甲螨的多样性

由表 2 可知, SR4 和 SR10 丰富度指数显著高于 CK (0.609 ± 0.021) ($F=16.435, P<0.001$), 而 SR4 (0.786 ± 0.017) 和 SR10 (0.789 ± 0.046) 没有显著性差异。季节动态上, 甲螨丰富度指数没有显著的季节性差异 ($F=2.831, P=0.06$)。

秸秆处理显著影响甲螨均匀度指数 ($F=3.557, P=0.044$), 同时均匀度指数有显著的季节性差异 ($F=5.755, P=0.004$); 秸秆处理和季节交互作用对甲螨均匀度指数也有显著性影响 ($F=3.511, P=0.012$)。CK (0.731 ± 0.061) 均匀度指数显著高于 SR10 (0.661 ± 0.031), 而 CK 和 SR4、SR4 和 SR10 没有显著性差异。季节动态上, 2015 年 10 月甲螨均匀度指数达到最大值 (0.762 ± 0.039)。

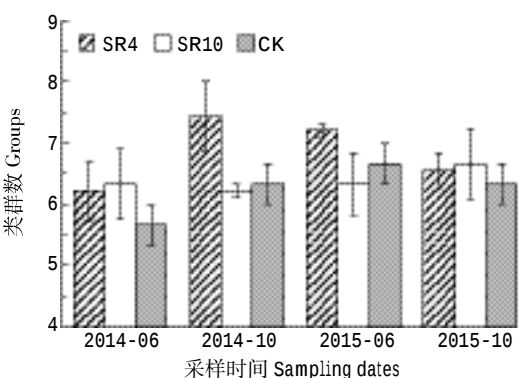


图 2 不同采样时期 3 种秸秆处理的土壤甲螨类群数
Figure 2 Soil oribatida groups under three tillage systems at different sampling dates

秸秆处理显著影响甲螨多样性指数 ($F=6.998, P=0.004$), 其中, SR4 (1.511 ± 0.021) 显著高于 SR10 (1.389 ± 0.053) 和 CK (1.333 ± 0.098), 而 SR10 和 CK 差异不显著。季节动态上, 2015 年 10 月甲螨多样性指数高于其他月份 ($F=3.835, P=0.022$)。秸秆处理和季节交互作用对甲螨多样性指数也有显著性影响 ($F=3.475, P=0.013$)。

优势度指数表现为, SR4 (0.718 ± 0.018) 显著高于 SR10 (0.667 ± 0.041) 和 CK (0.641 ± 0.049) ($F=5.217, P=$

表 2 秸秆、季节及其交互作用对土壤甲螨多样性的影响
Table 2 Effects of litter, season and their interaction on soil Oribatida diversity

参数		F 值 F value	P 值 P value
丰富度指数 Abundance index	秸秆处理	16.435	0.000***
	季节	2.831	0.060
	秸秆处理×季节	0.788	0.588
均匀度指数 Evenness index	秸秆处理	3.557	0.044*
	季节	5.755	0.004**
	秸秆处理×季节	3.511	0.012*
多样性指数 Diversity index	秸秆处理	6.998	0.004**
	季节	3.835	0.022*
	秸秆处理×季节	3.475	0.013*
优势度指数 Dominant index	秸秆处理	5.217	0.013*
	季节	6.153	0.003**
	秸秆处理×季节	4.374	0.004**
密度-类群指数 Density-group index	秸秆处理	7.437	0.003**
	季节	0.913	0.449
	秸秆处理×季节	1.262	0.312
复杂性指数 Complexity index	秸秆处理	0.495	0.616
	季节	0.264	0.850
	秸秆处理×季节	0.248	0.955

注: * $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$ 。

0.013), 而 SR10 和 CK 没有显著性差异。季节动态上, 2015 年 10 月甲螨优势度指数高于其他月份 ($F=6.153, P=0.003$)。秸秆处理和季节交互作用对甲螨优势度指数也有显著性影响 ($F=4.374, P=0.004$)。

SR4 和 SR10 密度-类群指数显著高于 CK (3.069 ± 0.182) ($F=7.437, P=0.003$), 而 SR4 (3.796 ± 0.183) 和 SR10 (3.952 ± 0.191) 没有显著性差异。

综合 4 个采样时期可见, 秸秆处理、季节、秸秆处理和季节交互作用对甲螨类群复杂性指数均没有显著性影响。

2.4 土壤甲螨聚类分析

依据土壤甲螨分布密度和种类组成特征, 如图 3 所示的聚类分析表明, 秸秆还田 4 年 (SR4) 和还田 10 年 (SR10) 的黑土农田生态系统土壤甲螨组成与对照传统耕作 (CK) 明显不同; 同时, 秸秆还田不同年限 (4 年和 10 年) 对甲螨群落组成也具有一定影响。

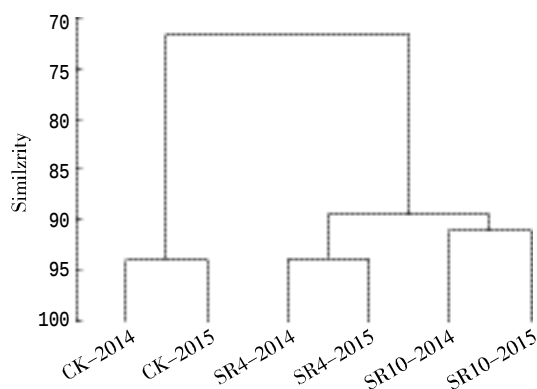


图 3 三种农田生态系统土壤甲螨群落聚类分析

Figure 3 Cluster dendrogram of soil Oribatida found in three different farmland

3 讨论

本实验从甲螨物种组成和分布密度角度, 充分证明了秸秆还田对土壤动物的保育作用。朱强根等^[30]、郭梨锦等^[34]也发现秸秆覆盖有利于土壤动物个体数量的增加。秸秆既是土壤甲螨的生境, 也是重要的食物来源。土壤动物群落结构主要受到土壤有机质含量、土壤含水量和土壤温度等的影响^[32]。本研究中, 秸秆还田主要采用地表还田方法, 秸秆直接在地表覆盖, 能够有效减少土壤水分蒸发, 减缓土壤温度变化的作用, 进而为土壤动物提供良好的栖息环境, 从而增加了甲螨的个体数量。

秸秆还田后, 秸秆周围会有大量的微生物进行繁殖, 形成土壤微生物活动层, 加速了对秸秆中有机态

养分的分解释放, 可提高土壤有机质含量^[33], 改善土壤团粒结构, 增强土壤保水保肥性能。因此, 秸秆分解增加了土壤有机质含量和质量, 在土壤动物食物链中自下而上的调控, 为土壤甲螨提供了更多的食物来源。除此之外, 秸秆也能够为甲螨提供更多的栖息生境, 可能为甲螨躲避捕食者提供了更好的隐蔽条件, 增加捕食者寻找猎物的时间和成本^[34], 也对土壤动物群落产生一定的影响, 尤其是中小型土壤动物, 从而增加了甲螨的个体数量和群落多样性。Henriksen 等^[35]研究发现成熟小麦秸秆还田后能够显著增加土壤氮含量, 并显著增加微生物生物量。Thomsen 等^[36]研究了长期黑麦秸秆还田对小麦产量和土壤碳氮的影响, 发现秸秆还田能够增加土壤碳含量, 并且随着秸秆还田量的增加而增加。朱玉芹等^[37]也研究了黑龙江省农场秸秆还田耕作样地, 发现 13 年后土壤有机质增加了 0.2%。还有研究结果表明^[38], 秸秆还田后显著提高土壤有机碳含量, 尤其在 0~20 cm 土层, 随秸秆还田由高到低, 土壤总有机碳含量分别较 CK 显著提高 6.96%、22.97%、12.41% ($P<0.05$)。

土壤甲螨多样性表现显著的季节差异, 主要受到季节土壤温湿度差异、地上植物生长状况等影响。本研究结果表明, 土壤甲螨的群落结构有一定的季节性差异, SR4 和 SR10 都表现出秋季甲螨个体密度高于夏季。因为在该研究区玉米播种一般在 5—6 月, 耕作播种会对土壤动物产生一定的影响, 动物个体数量会有所下降, 所以在 6 月受播种干扰的土壤动物类群还没有充分得到恢复, 而受秸秆还田的影响, 在玉米生长的中后期土壤动物密度会升高, 在 10 月达到较大值。有研究表明^[39], 干旱条件下甲螨的类群数和密度会减少; 也有研究者^[40]发现, 在同一海拔高度下土壤动物秋季个体数量高于夏季。朱强根^[41]研究发现蜚蠊目个体密度在夏季表现最低, 甲螨亚目的密度在秋季 (2008 年 10 月) 达到最大值。汪冠收^[42]发现在秸秆还田方式下, 甲螨亚目个体密度在 10 月份显著高于次年 6 月份 (约高 5 倍)。Sun 等^[43]研究了东北黑土农田不同耕作方式、季节和深度对土壤微生物的影响, 发现在同一耕作方式和采样深度下, 土壤微生物有一定的季节性差异。本研究还发现, 不同季节土壤甲螨类群数差异不明显, 说明秸秆还田即使不引起类群组成的变化, 但也能够带来分布密度的显著的季节动态差异。秸秆还田对土壤温湿度的调节作用, 还体现在传统耕作和秸秆还田耕作的季节动态差异上。秸秆还田耕作 (SR) 中, 秋季 10 月甲螨密度大于春季 6 月。但

传统耕作(CK)2015年6月和10月差异不显著,主要原因是2015年10月干旱少雨,传统耕作土壤干燥,甲螨数量显著下降;而秸秆还田耕作(SR)中,秸秆对土壤起到很好的覆盖作用,土壤湿度相对较高,依旧表现出10月大于6月的规律。

本研究结果表明,秸秆还田相比于传统耕作对土壤甲螨有重要的保育作用,但秸秆还田4年和10年的秸秆年限差异并没有引起甲螨类群数的显著变化。这说明在一定时间尺度内,秸秆还田通过改变土壤环境能够有效增加土壤动物的多样性和密度,但并非随还田量的增加直线上升。通过土壤动物多样性对比分析还可以发现,土壤动物类群数的增加主要是稀有物种的存在所导致,而土壤动物个体数量的增加主要是优势类群的个体数增加而导致。由于秸秆还田使得土壤动物群落结构变得更复杂,高营养级的捕食作用及各营养级类群之间竞争等相互影响,有可能使土壤动物个体数量和类群数偏低,导致SR4个体数>SR10个体数。

本研究表明,秸秆还田主要影响甲螨类群的丰富度指数、均匀度指数、多样性指数、优势度指数和密度-类群指数。因为秸秆还田为土壤动物提供了丰富的营养物质,使SR甲螨类群组成丰富,所以具有较高的丰富度和多样性。其他研究也表明^[29],组成简单、各类群数量较低的群落反而常常可能比组成丰富、各类群数量较高的群落具有更高的均匀度。本研究结果表明均匀度指数为CK>SR4>SR10,虽然CK在组成及数量上都低于SR,但CK均匀度高于SR,与前人的研究结果一致。汪冠收^[42]也发现秸秆还田样地内多样性指数较高,但均匀度指数明显低于CK。一般来说,群落越复杂,种类越多,群落的优势度也越小^[27]。朱强根^[41]发现均匀度指数和优势度指数表现基本相反,且优势度指数表现了秋季(10月)高于夏季(6月)。本研究结果显示,SR辛普森指数大于CK,在季节动态上10月>6月,原因可能是夏季动物的捕食行为对优势类群具有限制作用。组成丰富、各类群数量比较接近且相对丰盛的群落将具有较高的复杂性指数^[29]。本研究结果显示,复杂性指数表现为SR4>SR10>CK,虽然秸秆还田对甲螨类群复杂性指数没有显著性影响,但还是由于秸秆的作用使得SR>CK。有关密度类群指数,有研究者认为^[44],当类群数下降时,可以通过其他类群个体数量的增加获得补偿而导致密度类群指数不变,甚至增加。目前常用的多样性指数为丰富度指数、均匀度指数、优势度指数和香农-

威纳指数等,可以从不同角度去描述群落多样性的状况,但是当研究群落在不同时空阶段变化时,这些指数很难进行比较。这些指数可从不同的侧面有效反映秸秆还田后土壤甲螨组成多样性和变化,证实了秸秆还田是土壤动物恢复和保育的有效管理措施。

4 结论

秸秆还田显著增加了黑土农田土壤甲螨的分布密度和类群多样性。不同处理间土壤甲螨分布密度的季节变化较为一致,SR4和SR10均表现出秋季高于夏季。秸秆还田相比于传统无秸秆还田耕作,对土壤甲螨具有显著的保育作用。但秸秆还田4年和10年间类群组成和密度差异不明显,不同年限秸秆还田的影响需要不同类群土壤动物和更多年限的深入研究来进一步验证和揭示。

参考文献:

- [1] 尹飞,毛任钊,傅伯杰,等.农田生态系统服务功能及其形成机制[J].应用生态学报,2006,17(5):929-934.
YIN Fei, MAO Ren-zhao, FU Bo-jie, et al. Farmland ecosystem service and its formation mechanism[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 929-934.
- [2] 刘继明,卢萍,徐演鹏,等.秸秆还田对吉林黑土区土壤有机碳、氮的影响[J].中国土壤与肥料,2013(3):96-99.
LIU Ji-ming, LU Ping, XU Yan-peng, et al. Effect of straw returning on soil organic carbon and soil nitrogen in black soil area of Jilin[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013(3): 96-99.
- [3] 李传宝.秸秆还田对黑土土壤主要物理化学性状影响的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2012.
LI Chuan-bao. Study on the effect of corn straw on main physical and chemical characteristics of black soil[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012.
- [4] 徐蒋来,胡乃娟,张政文,等.连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响[J].土壤,2016,48(1):71-75.
XU Jiang-lai, HU Nai-juan, ZHANG Zheng-wen, et al. Effects of continuous straw returning on soil nutrients and carbon pool in rice-wheat rotation system[J]. Soil, 2016, 48(1): 71-75.
- [5] Bradford M A, Jones T H, Bardgett R D. Impacts of soil faunal community composition on model grassland ecosystems[J]. Science, 2002, 298(5593): 615-618.
- [6] 王可洪,武海涛,吴东辉.土壤动物对土壤呼吸的影响研究进展[J].土壤通报,2013,44(6):1526-1530.
WANG Ke-hong, WU Hai-tao, WU Dong-hui. Effects of soil fauna on soil respiration: Research progress[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2013, 44(6): 1526-1530.
- [7] 武海涛,吕宪国,杨青,等.土壤动物主要生态特征与生态功能研究进展[J].土壤学报,2006,43(2):314-323.

- WU Hai-tao, LÜ Xian-guo, YANG Qing, et al. Ecological characteristics and functions of soil fauna community[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2): 314-323.
- [8] Atuñ N A, Hamel C, Forge T, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and nematodes are involved in negative feedback on a dual culture of alfalfa and Russian wildrye[J]. *Appl Soil Ecol*, 2008, 40: 30-36.
- [9] 张永志, 徐建民, 柯欣, 等. 重金属 Cu 污染对土壤动物群落结构的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(增刊): 127-130.
- ZHANG Yong-zhi, XU Jian-min, KE Xin, et al. Effects of copper pollution on soil fauna community structure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(Suppl): 127-130.
- [10] Bengtsson J. Disturbance and resilience in soil animal communities[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38(2): 119-125.
- [11] Cole L, Buckland S M, Bardgett R D. Influence of disturbance and nitrogen addition on plant and soil animal diversity in grassland[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40(2): 505-514.
- [12] 董伟华, 李晓强, 宋扬. 京哈高速公路德惠路段两侧大型土壤动物多样性季节动态[J]. *南京农业大学学报*, 2016, 39(3): 425-432.
- DONG Wei-hua, LI Xiao-qiang, SONG Yang. Effect of the highway partition on soil macro-fauna diversity: A case study on Dehui section in Beijing-Harbin Highway[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39(3): 425-432.
- [13] 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 Can-yang, YU Dan-na, et al. Effects of heavy metals from road traffic on the community structure and spatial distribution of cropland soil animals[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(18): 5001-5011.
- [14] 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 Xin-yu, DONG Zhi-xin, KUANG Fu-hong, et al. Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(2): 464-474.
- [15] 谢桂林, 傅崇恕, 刘建丽, 等. 菏泽牡丹园土壤甲螨群落特点研究[J]. *生态学报*, 2004, 24(4): 693-699.
- XIE Gui-lin, FU Rong-shu, LIU Jian-li, et al. The community distribution of soil Oribatida in Heze peony garden[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 693-699.
- [16] 尹文英, 等. 中国亚热带土壤动物[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- YIN Wen-ying, et al. *Subtropical soil animals of China*[M]. Beijing: Science Press, 1992.
- [17] Valerie M, Behan P. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, 74(1): 411-423.
- [18] Peachey R E, Moldenke A, William R D, et al. Effect of cover crops and tillage system on symphylan (Symphyla: Scutigera) and Pergamasus quisquiliarum Canestrini (Acarina: Mesostigmata) populations, and other soil organisms in agricultural soils [J]. *Applied Soil Ecology*, 2002, 21(1): 59-70.
- [19] 王宗英, 路有成, 王慧英. 九华山土壤螨类的生态分布[J]. *生态学报*, 1996, 16(1): 58-64.
- WANG Zong-ying, LU You-cheng, WANG Hui-fu. The ecological distribution of soil mites in Jiuhua mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(1): 58-64.
- [20] 战丽莉, 许艳丽, 张兴义, 等. 耕作方式对土壤螨类群落结构的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(5): 598-605.
- ZHAN Li-li, XU Yan-li, ZHANG Xing-yi, et al. Effect of tillage systems on community structure of soil mites[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(5): 598-605.
- [21] 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[J]. *生态学报*, 2006, 26(1): 16-25.
- WU Dong-hui, ZHANG Bai, BU Zhao-yi, et al. The characteristics of community structure of soil mites from different habitats in Changchun area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 16-25.
- [22] Hulsman A, Wolters V. The effects of different tillage practices on soil mites, with particular reference to Oribatida[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 9(1): 327-332.
- [23] 牟文雅, 贾艺凡, 陈小云, 等. 玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(3): 1-10.
- MOU Wen-ya, JIA Yi-fan, CHEN Xiao-yun, et al. Effect of corn stover cultivation on the population dynamics and genus composition of soil nematode community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(3): 1-10.
- [24] 梁爱珍, 张晓平, 杨学明, 等. 耕作对东北黑土团聚体粒级分布及其稳定性的短期影响[J]. *土壤学报*, 2009, 46(1): 154-158.
- LIANG Ai-zhen, ZHANG Xiao-ping, YANG Xue-ming, et al. Short-term effects of tillage on soil aggregate size distribution and stability in black soil in Northeast China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(1): 154-158.
- [25] 尹文英, 等. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- YIN Wen-ying, et al. *Pictorial keys to soil animals of China*[M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [26] Krantz G W, Walter D E. A manual of acarology[M]. U. S: Texas Tech Press, 1988.
- [27] 廖崇惠, 李健雄. 华南热带和亚热带地区森林土壤动物群落生态[M]. 广州: 广州科技出版社, 2009.
- LIAO Chong-hui, LI Jian-xiong. *Forest soil animal community ecology in south tropical and subtropical zones*[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2009.
- [28] 廖崇惠, 李健雄. 再论 DG 指数的性质与应用[J]. *生物多样性*, 2009, 17(2): 127-134.
- LIAO Chong-hui, LI Jian-xiong. Re-evaluating the character and application of Density-group Index (DG)[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(2): 127-134.
- [29] 傅必谦, 陈卫, 董晓晖, 等. 北京松山四种大型土壤动物群落组成和结构[J]. *生态学报*, 2002, 22(2): 215-223.
- FU Bi-qian, CHEN Wei, DONG Xiao-hui, et al. The composition and structure of the four soil macrofaunas in Songshan mountain in Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(2): 215-223.
- [30] 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.
- ZHU Qiang-gen, ZHU An-ning, ZHANG Jia-bao, et al. Effect of con-

- servation tillage on soil fauna in wheat field of Huang-Huai-Hai plain [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(8):1766-1772.
- [31] 郭梨锦, 曹凑贵, 张枝盛, 等. 耕作方式和秸秆还田对稻田表层土壤微生物群落的短期影响[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(8):1577-1584.
- GOU Li-jin, CAO Cou-gui, ZHANG Zhi-sheng, et al. Short-term effects of tillage practices and wheat-straw returned to rice fields on topsoil microbial community structure and microbial diversity in Central China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(8):1577-1584.
- [32] 林英华, 黄庆海, 刘 骅, 等. 长期耕作与长期定位施肥对农田土壤动物群落多样性的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(11):2261-2269.
- LIN Ying-hua, HUANG Qing-hai, LIU Hua, et al. Effect of long-term cultivation and fertilization on community diversity of cropland soil animals[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(11):2261-2269.
- [33] 张 鹏, 李 涵, 贾志宽, 等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤碳矿化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(12):2518-2525.
- ZHANG Peng, LI Han, JIA Zhi-kuan, et al. Effects of straw returning on soil organic carbon and carbon mineralization in semi-arid areas of Southern Ningxia, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(12):2518-2525.
- [34] Gregor K, Ulrich B, Björn C R. Habitat structure alters top-down control in litter communities[J]. *Oecologia*, 2013, 172(3):877-887.
- [35] Henriksen T M, Breland T A. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(8):1121-1134.
- [36] Thomsen I K, Christensen B T. Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops[J]. *Soil Use and Management*, 2004, 20(4):432-438.
- [37] 朱玉芹, 岳玉兰. 玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J]. *玉米科学*, 2004, 12(3):106-108.
- ZHU Yu-qin, YUE Yu-lan. Research of corn straw returned to enrich the soil fertility[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2004, 12(3):106-108.
- [38] 路文涛, 贾志宽, 张 鹏, 等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(3):522-528.
- LU Wen-tao, JIA Zhi-kuan, ZHANG Peng, et al. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid areas of Southern Ningxia, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(3):522-528.
- [39] Astrid R T, Volkmar W. Responses of oribatid mite communities to summer drought: The influence of litter type and quality[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(11):2117-2130.
- [40] Tan B, Wu F Z, Yang W Q, et al. Seasonal dynamics of soil fauna in the subalpine and alpine forests of west Sichuan at different altitudes[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(1):12-22.
- [41] 朱强根. 黄淮海平原土壤节肢动物对耕作和施肥的响应[D]. 南京: 南京林业大学, 2010.
- ZHU Qiang-gen. The effect of tillage regime and fertilization management on soil arthropod community in Huang-Huai-Hai plain, China[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.
- [42] 汪冠收. 兰考县玉米秸秆还田分解中土壤动物群落特征及其作用研究[D]. 开封: 河南大学, 2012.
- WANG Guan-shou. Study on characteristics of soil fauna community and their function in reusing of cornstalk in Lankao County [D]. Kaifeng: Henan University, 2012.
- [43] Sun B J, Jia S X, Zhang S X, et al. Tillage, seasonal and depths effects on soil microbial properties in black soil of Northeast China[J]. *Soil & Tillage Research*, 2016, 155:421-428.
- [44] 颜绍馥, Anand N S, 邱红兵, 等. DG 指数在定量多样性时的缺陷及其内涵解析[J]. *生物多样性*, 2009, 17(5):524-530.
- YAN Shao-kui, Anand N S, QIU Hong-bing, et al. Pitfalls of DG Index in quantifying biodiversity and its intrinsic implication as a community parameter: A comment[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(5):524-530.