

DOI: 10.11766/trxb201811260410

刘鹏飞, 红梅, 美丽, 王文东, 赵乌英嘎, 李志新. 不同玉米秸秆还田量的土壤大型动物夏季群落动态特征[J]. 土壤学报, 2020, 57(3): 760–772.

LIU Pengfei, HONG Mei, MEI Li, WANG Wendong, ZHAO Wuyingga, LI Zhixin. Dynamics of Soil Macrofauna Community in Farmlands Different in Corn Stalk Returning Rate[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(3): 760–772.

不同玉米秸秆还田量的土壤大型动物夏季群落动态特征*

刘鹏飞¹, 红梅^{1†}, 美丽¹, 王文东¹, 赵乌英嘎¹, 李志新²

(1. 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古自治区土壤质量与养分资源重点实验室, 呼和浩特 010011; 2. 扎赉特旗农业技术推广中心, 内蒙古兴安盟 137600)

摘要: 调查不同玉米秸秆还田量下的农田大型土壤动物群落动态特征, 于 2016 年 6—9 月玉米生育期内进行, 采用手拣法捕获土壤动物。结果表明: 共捕获大型土壤动物 2 681 只, 隶属于 41 个类群。方差分析显示, 13 500 kg·hm⁻² 还田处理 (SR4) 显著提高了大型土壤动物个体数, 12 000 kg·hm⁻² 还田处理 (SR3) 显著提高了大型土壤动物类群数。多样性表明: 多样性指数和丰富度指数随玉米生长季总体呈现出先增加后下降的趋势; 均匀度指数随玉米生长季总体呈现出下降的趋势; 优势度指数总体与多样性指数变化趋势相反, 随玉米生长季呈现出先下降后增加的趋势。垂直分布表明: 随玉米的生长时期的推移, 表层 0~10 cm 土层的大型土壤动物有向 10~20 cm 土层下移的趋势。功能群特征表明: 捕食性大型土壤动物个体数随玉米生长季呈现先增加后下降的趋势; 植食性和腐食性大型土壤动物个体数随玉米生长季呈现增加的趋势; 杂食性大型土壤动物个体数在玉米生长季无明显变化。RDA 分析表明: 受农田土壤环境因子影响较大的大型土壤动物类群主要是研究区的优势类群, 大型土壤动物的个体数与土壤有机质含量和土壤含水量关系紧密。总体上, 玉米秸秆还田影响地表土壤的微环境, 进而影响了大型土壤动物群落的组成、分布特征和功能群, 玉米秸秆还田有益于农田大型土壤动物功能群的发展。

关键词: 玉米秸秆还田量; 大型土壤动物; 土壤环境

中图分类号: Q958 **文献标志码:** A

Dynamics of Soil Macrofauna Community in Farmlands Different in Corn Stalk Returning Rate

LIU Pengfei¹, HONG Mei^{1†}, MEI Li¹, WANG Wendong¹, ZHAO Wuyingga¹, LI Zhixin²

(1. College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Inner Mongolia Key Laboratory of Soil Quality and Nutrient Resources, Hohhot 010011, China; 2. Agricultural Technology Extension Center in Zhalaide Banner, Hinggan League, Inner Mongolia 137600, China)

Abstract: 【Objective】To investigate dynamic characteristics of the soil macrofauna community in farmlands different in corn stalk returning rate, a field survey was carried out. 【Method】Soil fauna were captured by hand-sorting during the maize growth

* 农业农村部黑土地保护与利用试点项目资助 Supported by the Pilot Project of Black Land Protection and Utilization of the Ministry of Agricultural and Rural Affairs

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: nmhm1970@sina.com

作者简介: 刘鹏飞 (1993—), 男, 内蒙古鄂尔多斯人, 硕士研究生, 主要从事土壤利用与保护研究。E-mail: 1208965574@qq.com

收稿日期: 2018-11-26; 收到修改稿日期: 2019-04-07; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2019-07-20

period from June to September 2016. 【 Result 】 A total of 2 681 large soil fauna were captured, belonging to 41 groups. Variance analysis shows that Treatment SR4 (13 500 kg·hm⁻² in corn stalk returning rate) increased the number of individuals of soil macrofauna significantly ($P<0.05$), while Treatment SR3 (12 000 kg·hm⁻² in corn stalk returning rate) increased the number of macrofauna groups significantly ($P<0.05$). With growth of the corn in the farmland diversity index and richness index of the macrofauna varied, displaying a trend of rising first and then declining, and evenness index a downward trend, while dominance index did reversely, following a trend just opposite to that of the diversity index, that is, declining first and then rising. With growth of the corn, soil macrofauna in the 0~10 cm soil layer tended to migrate downwards to the 10~20 cm soil layer. Analysis of functional groups shows that the group of predaceous macrofauna increased first and then decreased in number of individuals with growth of the corn, while. The groups of phytophagous and saprophagous fauna exhibited a trend rising with growth of the corn and in number of individuals with rising corn stalk returning rate too. However, the number of individuals of omnivorous macrofauna did not change significantly with growth of the corn by a certain degree. RDA analysis shows that the groups of soil macrofauna that were affected quite strongly by farmland soil environmental factors were mainly the dominant groups in the research area. The number of macrofauna individuals was closely related to the contents of soil organic matter and soil moisture. 【 Conclusion 】 The dominant groups are affected by soil environmental factors. Return of corn stalk alters microenvironment of the surface soil, which in turn affects composition, distribution characteristics and functional groups of the macrofauna community. So return of corn stalk is beneficial to the development of functional groups of the soil macrofauna in farmlands.

Key words: Corn stalk returning rate; Soil macrofauna; Soil environment

农作物秸秆是农田生态系统物质循环的物质基础^[1], 是农业生产中的重要生物物质资源, 具有高的养分价值^[2]。我国秸秆资源有 6 亿~8 亿吨, 秸秆资源丰富^[3]。秸秆还田有利于维护农田生态系统中土壤动物的生存环境^[4-6]。土壤动物是土壤生态系统的重要组成部分, 是生态系统物质循环的重要参与者^[7-9], 其活动能够改善土壤性质与结构, 对土壤中有机的分解与腐殖质的形成等养分循环过程有积极作用, 并在维持和发挥农田生态系统正常功能上起着不可替代的作用^[10]。近年来, 东北黑土区由于过度开垦、土壤侵蚀及不合理的田间管理措施, 造成一系列生态环境问题。而东北黑土区是我国粮食的主产区, 土壤有机质的下降对我国粮食生产造成一定威胁。随着对玉米秸秆在农田生态系统重要性认知的提高, 玉米秸秆还田对土壤动物群落的影响和土壤动物对秸秆分解的作用受到关注^[11]。国内现有的秸秆还田对土壤动物的响应主要以秸秆覆盖还田为主, 其研究表明, 秸秆覆盖还田土壤动物类群多样性和丰富度增加^[12], 类群和个体数增加^[5, 13], 显著影响甲螨群落的多样性指数, 秸秆覆盖还田和季节交互作用对土壤甲螨个体数量有显著影响^[14]。因此, 本研究在前人研究的基础上, 以黑土区农田作为研究样点, 通过试验明确玉米秸秆在不同量还田下大型土壤动物群落变化特征, 为农田生态系统优化管

理, 玉米秸秆资源化利用提供科学评价指标和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古兴安盟扎赉特旗农业科技示范园区试验示范种植基地(46°45'N, 122°47'E)。平均海拔 206 m, 属温带大陆性气候, 年均气温为 3.24℃, 年均降水量 400 mm, 降水主要集中在 6—9 月。无霜期 120~140 d。2016 年玉米生长季 5—9 月平均气温为 20.22℃, 降水量为 379 mm, 相对湿度 34%, 平均风速为 4.62 m·s⁻¹, 土壤类型为暗栗钙土。

1.2 试验设计

玉米秸秆通过 1 500 kg·hm⁻² 的数量级梯度精确还田, 即 9 000 (SR1)、10 500 (SR2)、12 000 (SR3)、13 500 kg·hm⁻² (SR4), 常规无秸秆还田为对照 (CK), 共 5 个处理。随机区组设计, 3 次重复。小区面积 10 m×10 m=100 m², 共 20 垄, 行距 50 cm, 小区之间间隔 2 m。以玉米秸秆为原料, 经过彻底粉碎加工成秸秆沫于 2016 年 4 月翻地埋入土中。种植作物为玉米, 各处理试验田采用统一常规耕作方法。

1.3 样品采集与土壤动物鉴定

样品采集于2016年玉米生长季6—9月份进行, 每月取样一次(6月中旬、7月中旬、8月中旬和9月末)。取样时在每个小区中间点选择典型玉米生长生境, 分别对0~10、10~20和20~30 cm共3个土层依次取样, 采样面积为20 cm×20 cm=400 cm², 采用手拣法收集大型土壤动物(体长在2 mm以上的动物)。分类鉴定参考《中国土壤动物检索图鉴》^[15], 并在显微镜下对标本进行鉴定, 所有大型土壤动物鉴定到科, 成虫和幼虫分开统计。

在每个小区取0~30 cm的混合土壤样品1 kg, 作为土壤理化性质指标的测试。土壤pH采用电位法(土:液=1:5)进行测定; 土壤温度采用地温计(TP101型)测定; 土壤容重采用环刀法(环刀直径为5 cm, 高5 cm); 土壤含水量采用烘干称重法测定; 土壤有机质采用重铬酸钾-容量法测定^[16]。

1.4 数据统计与分析

对个体类群等级划分为: 个体数占总个体数10%以上的土壤动物类群为优势类群, 1%~10%之间的土壤动物类群为常见类群, 1%以下的为稀有类群。对大型土壤动物群落特征进行分析时, 采用香农-威尔(Shannon-Wiener)多样性指数(H)、Pielou均匀度指数(E)、Margalef丰富度指数(D)和辛普森(Simpson)优势度指数(C)进行分析^[17-18]。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和多重比较方法(LSD)对不同数据进行差异显著性分析。采用冗余分析法(RDA)分析了农田大型土壤动物群落主要类群个体数与土壤环境因子的相关性。数据处理与作图采用SAS 9.0, Canoca 4.5, Excel 2003软件进行。

群落多样性指数计算公式如下:

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$E = H / \ln S$$

$$D = (S - 1) / \ln N$$

$$C = \sum_{i=1}^S (n_i / N)^2$$

式中, P_i 为第*i*个物种的个体数占总个体数的比率; S 为类群数; N 为总个体数; n_i/N 表明各个体数占总

个体数的百分数。

2 结果

2.1 玉米秸秆还田后大型土壤动物群落组成

由表1可知, 研究区共捕获大型土壤动物2 681只, 分别隶属于13目41个类群。其中优势类群为隐翅甲科、象甲科幼虫和线蚓科3类, 占总个体数74.93%; 常见类群为叶甲科、步甲科、金龟甲科、隐翅甲科幼虫、缨甲科幼虫、正蚓科、舞虻科幼虫、长足虻科幼虫和奥地蜈蚣科9类, 占总个体数19.17%; 其余29类为稀有类群, 占总个体数5.89%。优势类群构成了研究区大型土壤动物的主体。不同处理间比较, 对照CK大型土壤动物个体数最少, SR4处理大型土壤动物个体数最多, 并随玉米秸秆还田量增加个体数随之增加, 个体数排序为SR4>SR3>SR2>SR1>CK。

2.2 玉米秸秆还田后大型土壤动物主要类群的变化

由图1所示, 玉米秸秆还田后大型土壤动物主要类群的个体数随取样时间和类群的不同而不同。鞘翅目成虫个体数在玉米生长时期的6月份发现较少, 7月份秸秆还田处理的个体数较6月的个体数显著增加($P<0.05$)。鞘翅目幼虫个体数在6—8月份发现较少, 9月份个体数增加, SR2和SR4处理9月份的个体数显著高于6—8月份的个体数($P<0.05$)。颤蚓目的个体数在6月份没有发现, 7月份较少, 8、9月份个体数增加。从总计可以看出, 玉米秸秆还田后大型土壤动物随着玉米生长时期的推移, 个体数随之增加, 并且随着玉米秸秆还田量的增加, 个体数随之增加。

2.3 玉米秸秆还田后大型土壤动物多样性特征

由图2所示, 多样性指数随着玉米生长季总体上呈现出先增加后下降的趋势, SR1处理7月份多样性指数显著高于6月和9月多样性指数($P<0.05$), SR3处理7月和8月多样性指数显著高于9月份($P<0.05$)。均匀度指数随玉米生长季总体上呈现出下降的趋势, SR4处理6月均匀度指数显著高于7月和9月($P<0.05$)。丰富度指数随玉米生长季总体上呈现出先增加后下降的趋势, SR1和SR2处理7月和8月丰富度指数显著高于6月和9月($P<0.05$),

表 1 不同处理大型土壤动物组成

Table 1 Composition of soil macrofauna relative to treatment

群落组成 Community composition		功能群 Guild		CK		SR1		SR2		SR3		SR4		总计 Total	
目 Order	科 Family	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%
鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae	Pr	12	5.19	8	2.60	16	3.31	19	2.78	35	3.59	90	3.36	
	隐翅甲科 Staphylinidae	S	82	35.5	85	27.6	129	26.65	147	21.52	211	21.64	654	24.39	
	步甲科 Carabidae	Pr	10	4.33	12	3.90	19	3.93	28	4.10	25	2.56	94	3.51	
	叩甲科 Elateridae	Ph	0	0	1	0.32	0	0	0	0	0	0	1	0.04	
	缨甲科 Ptiliidae	Ph	0	0	0	0	0	0	1	0.15	0	0	1	0.04	
	伪瓢虫科 Endomychidae	Pr	1	0.43	2	0.65	0	0	0	0	1	0.10	4	0.15	
	金龟甲科 Scarabaeidae	Ph	2	0.87	1	0.32	5	1.03	10	1.46	10	1.03	28	1.04	
	象甲科 Curculionidae	Pr	2	0.87	1	0.32	0	0	1	0.15	0	0	4	0.15	
	步甲科幼虫 Carabidae larvae	Pr	3	1.30	7	2.27	3	0.62	4	0.59	6	0.62	23	0.86	
	象甲科幼虫 Curculionidae larvae	Ph	9	3.90	52	16.88	40	8.26	246	36.02	451	46.26	798	29.77	
	叩甲科幼虫 Elateridae larvae	Ph	3	1.30	3	0.97	4	0.83	2	0.29	1	0.10	13	0.48	
	花萤科幼虫 Cantharidae larvae	Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.10	1	0.04	
	叶甲科幼虫 Chrysomelidae larvae	Ph	0	0	0	0	0	0	1	0.15	0	0	1	0.04	
	瓢甲科幼虫 Coccinellidae larvae	Pr	0	0	1	0.32	2	0.41	0	0	0	0	3	0.11	
	隐翅甲科幼虫 Staphylinidae larvae	Ph	4	1.73	2	0.65	3	0.62	13	1.90	9	0.92	31	1.16	
	蚁甲科幼虫 Pselaphidae larvae	Pr	2	0.87	0	0	1	0.21	0	0	1	0.10	4	0.15	
	阔甲科幼虫 Histeridae larvae	Pr	1	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.04	

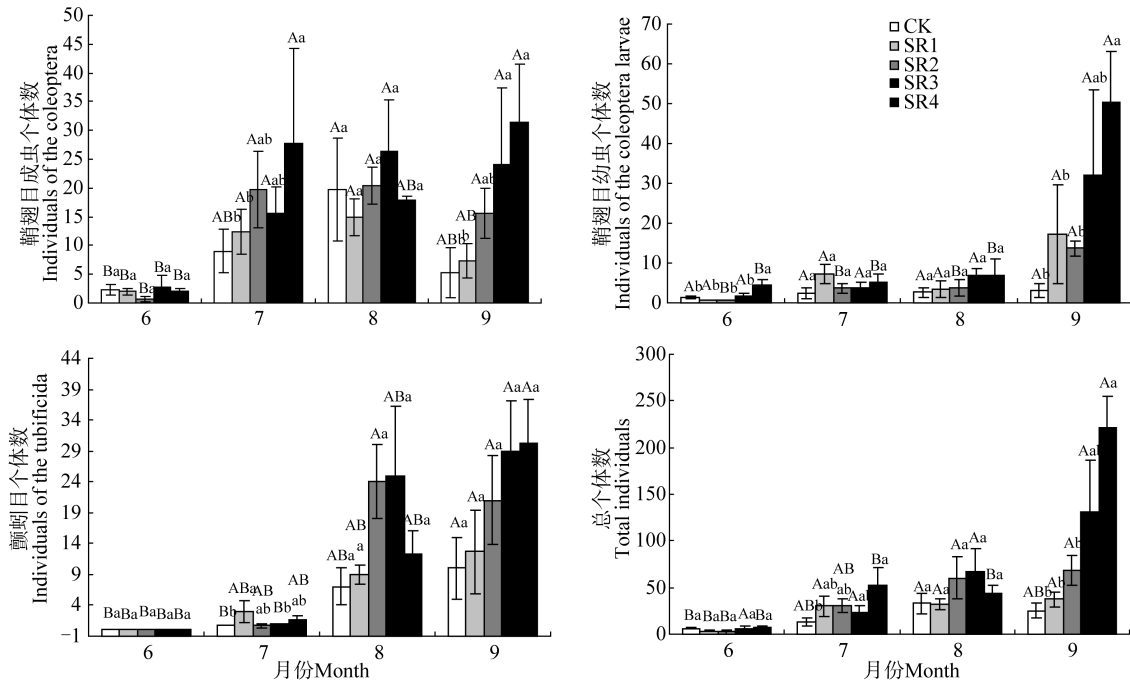
续表

群落组成 Community composition		功能群		CK		SRI		SR2		SR3		SR4		总计 Total		
目 Order	科 Family	Guild	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	
	拟步甲科幼虫 Tenebrionidae larvae	S	0	0	0	0	0	0	3	0.62	1	0.15	1	0.10	5	0.19
	金龟甲科幼虫 Scarabaeoidea	S	1	0.43	3	0.97	0	0	0	0	3	0.44	7	0.72	14	0.52
	缨甲科幼虫 Ptiliidae larvae	S	5	2.16	16	5.19	7	1.45	7	1.45	13	1.90	24	2.46	65	2.42
颤蚓目 Tubificida	颤蚓科 Lumbricidae	S	0	0	2	0.65	0	0	0	0	0	0	1	0.10	3	0.11
	线蚓科 Enchytraeidae	S	59	25.54	64	20.78	170	35.12	170	35.12	132	19.33	132	13.54	557	20.78
正蚓目 Lumbricida	正蚓科 Lumbricidae	S	5	2.16	9	2.92	13	2.69	13	2.69	15	2.20	26	2.67	68	2.54
双翅目 Diptera	鹬虻科 Rhagionidae	Pr	0	0	0	0	2	0.41	2	0.41	2	0.29	0	0	4	0.15
	毛蚊科 Bibionida	S	0	0	1	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.04
	盗虻科 Asilidae	Pr	0	0	4	1.30	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.15
	蕈蚊科幼虫 Mycetophilidae larvae	Pr	0	0	6	1.95	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.22
	舞虻科幼虫 Empididae larvae	Pr	0	0	0	0	35	7.23	35	7.23	16	2.34	8	0.82	59	2.20
	食木虻科幼虫 Xylophagiae larvae	Pr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.10	1	0.04
	长足虻科幼虫 Dolichopodadae larvae	Pr	11	4.76	5	1.62	7	1.45	7	1.45	6	0.88	7	0.72	36	1.34
膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	O	6	2.60	2	0.65	4	0.83	4	0.83	4	0.59	3	0.31	19	0.71
蜘蛛目 Araneae	管巢蛛科 Clubionidae	Pr	1	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.04
	平腹蛛科 Gnaphosidae	Pr	4	1.73	3	0.97	2	0.41	2	0.41	4	0.59	1	0.10	14	0.52
	跳蛛科 Salticidae	Pr	0	0	1	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.04

续表

群落组成 Community composition		功能群 Guild		CK		SR1		SR2		SR3		SR4		总计 Total	
目 Order	科 Family	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%	个体数 Individuals	%
盲蛛目 Opiliones	长奇盲蛛科 Phalangidae	1	0.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.04
半翅目 Hemiptera	土蝽科 Cydnidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.15	0	0	1	0.04
地蜈蚣目 Geophilomorpha	奥地蜈蚣科 Oryidae	3	1.30	12	3.90	11	2.27	7	1.02	10	1.03	43	1.60		
等足目 Isopoda	鼠妇虫科 Porcellio spinicornis	0	0	0	0	1	0.21	0	0	0	0	0	0	1	0.04
等翅目 Isoptera	木虱科 Kalotermitidae	2	0.87	1	0.32	2	0.41	4	0.59	2	0.21	11	0.41		
嗜目 Psocoptera	嗜科 Psocidae	2	0.87	4	1.30	3	0.62	3	0.44	1	0.10	13	0.48		
鳞翅目 Lepidoptera	夜蛾科幼虫 Noctuidae larvae	0	0	0	0	2	0.41	0	0	0	0	0	0	2	0.07
总个体数 Total individuals		231		308		484		683		975		2 681			
总类群数 Total group number		24		27		24		25		25		41			

注：CK：对照，SR1：秸秆还田 9 000 kg·hm⁻²，SR2：秸秆还田 10 500 kg·hm⁻²，SR3：秸秆还田 12 000 kg·hm⁻²，SR4：秸秆还田 13 500 kg·hm⁻²；Ph：植食性，Pr：捕食性，S：腐食性，O：杂食性；%：指各类群土壤动物个体数所占该处理总个体数的比例；表中“0”表示该土壤动物类群在该处理中未被发现。Note: CK: control check; SR1: 9 000 kg·hm⁻² corn stalks returned; SR2: 10 500 kg·hm⁻² corn stalks returned; SR3: 12 000 kg·hm⁻² corn stalks returned; SR4: 13 500 kg·hm⁻² corn stalks returned; Ph: Phytophagous; Pr: Predaceous; S: Saprophagous; O: Omnivorous; %: the proportion of individuals of soil fauna in different groups of soil to the total number of individuals in the treatment. “0” indicates that this group was not found in this treatment.



注：不同大写字母表示月份间差异显著 ($P < 0.05$)，不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)；CK：对照，SR1：秸秆还田 9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，SR2：秸秆还田 10 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，SR3：秸秆还田 12 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，SR4：秸秆还田 13 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。下同。Note: Different uppercase letters indicate significant difference between months ($P < 0.05$), and different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$); CK: control check; SR1: 9000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ corn stalks returned; SR2: 10 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ corn stalks returned; SR3: 12 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ corn stalks returned; SR4: 13 500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ corn stalks returned. The same below.

图 1 玉米秸秆还田后大型土壤动物群落主要类群个体数

Fig. 1 Change in number of individuals of major groups of soil macrofauna in farmlands with corn stalk returned

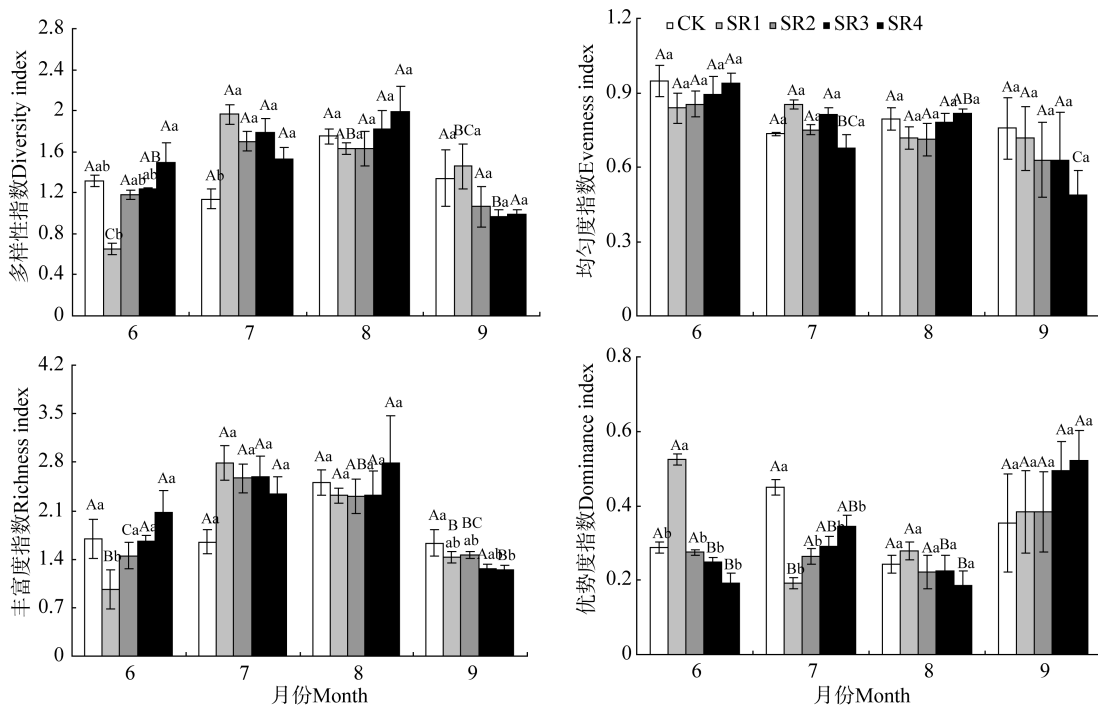


图 2 玉米秸秆还田量对大型土壤动物群落多样性的影响

Fig. 2 Impact of corn stalk returning on diversity of the soil macrofauna community in farmland

SR4 处理 6—8 月丰富度指数显著高于 9 月 ($P<0.05$)。优势度指数总体与多样性指数变化趋势相反, 随玉米生长季呈现出先下降后增加的趋势, SR3 和 SR4 处理优势度指数 9 月显著高于 6 月和 8 月 ($P<0.05$)。

2.4 玉米秸秆还田后大型土壤动物个体数垂直分布

由图 3 所示, 随着玉米的生长 6 月份大型土壤动物个体数在 0~10 cm 土层所占比例最多; 7—9 月 0~10 cm 土层个体数所占比例下降, 10~20 cm 土层个体数所占比例增加; 6—9 月 20~30 cm 土层的个体数所占比例均最少。

2.5 玉米秸秆还田后大型土壤动物功能群特征

由图 4 所示, 捕食性大型土壤动物个体数随玉米的生长季呈现先增加后下降的趋势, 6—9 月中各处理间个体数无显著差异 ($P>0.05$)。植食性大型土壤动物个体数 6—8 月较少, 9 月个体数显著增加,

并且 9 月 SR4 处理与 CK、SR1 和 SR2 处理有显著差异 ($P<0.05$)。腐食性大型土壤动物个体数随玉米生长季呈现增加的趋势, 并且随秸秆还田量的增加, 个体数总体上表现为增加的趋势。7 月 SR4 处理与对照 CK 有显著差异 ($P<0.05$), 9 月 SR4 处理与 SR1 处理有显著差异 ($P<0.05$)。杂食性大型土壤动物个体数在玉米生长季 6—8 月变化较一致, 9 月没有发现杂食性大型土壤动物。

2.6 秸秆还田大型土壤动物群落与土壤理化性质的关系

由表 2 知, 玉米秸秆还田后与对照 CK 相比, 土壤有机质和土壤含水量显著增加 ($P<0.05$), 且随玉米秸秆还田量的增加呈增加趋势; 土壤容重显著下降 ($P<0.05$), 随玉米秸秆还田量的增加呈下降趋势; 土壤温度下降, 对照 CK 与 $12\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (SR3) 处理下有显著差异 ($P<0.05$); 土壤 pH 在玉米秸秆还田后无显著变化 ($P>0.05$)。

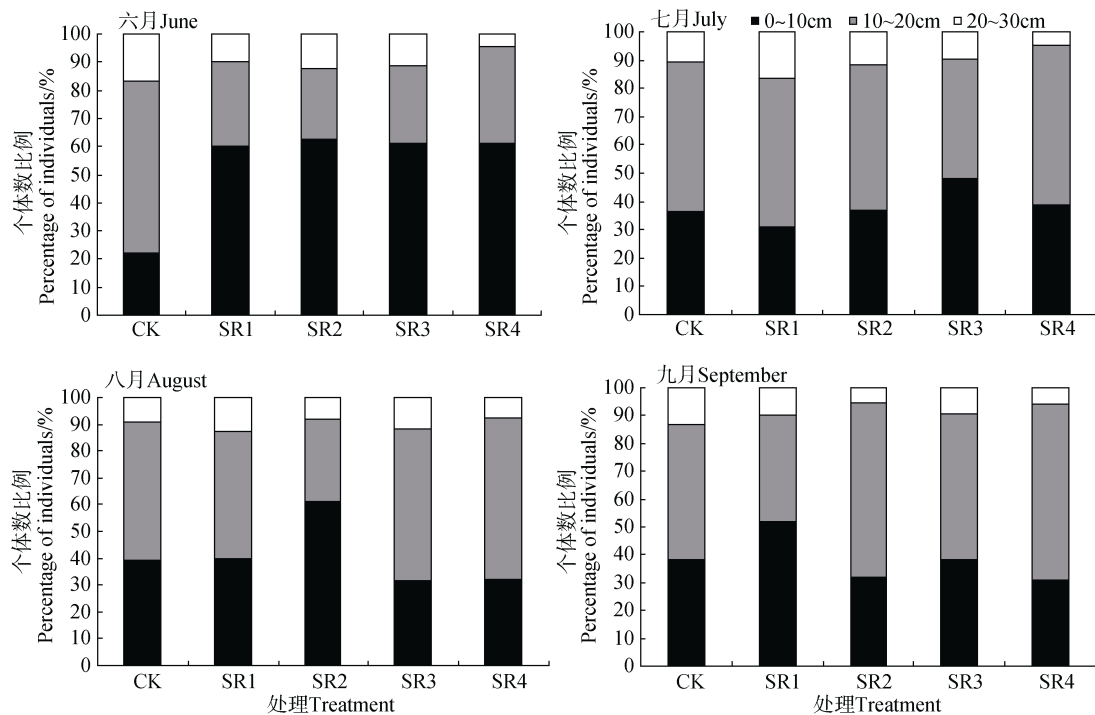
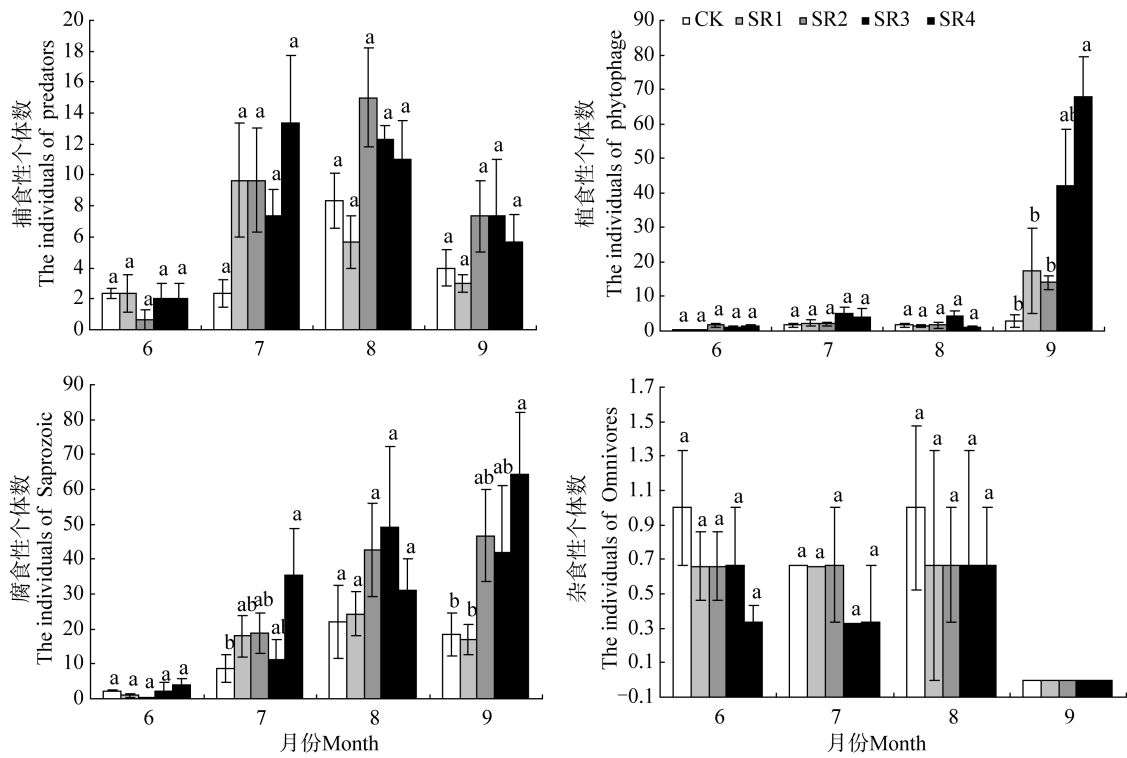


图 3 玉米秸秆还田量对大型土壤动物群落个体数垂直分布的影响

Fig. 3 Impact of return of corn stalk on vertical distribution of individuals of soil macrofauna

为进一步探讨不同玉米秸秆还田量下土壤理化性质对大型土壤动物主要群落的影响, 采用冗余分析方法进行分析 (图 5)。结果表明, 第一主轴和第二主轴分别解释了农田大型土壤动物主要类群总变量的 93.80% 和 5.90%。土壤有机质和土壤含水量与

第一排序轴均存在显著正相关关系 ($P<0.05$)。土壤有机质与隐翅甲科、象甲科幼虫、缨甲科幼虫和正蚓科呈显著正相关 ($P<0.05$), 土壤 pH 与隐翅甲科幼虫呈显著负相关 ($P<0.05$), 土壤含水量与隐翅甲科和线蚓科呈显著正相关 ($P<0.05$)。



注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$) .

图 4 玉米秸秆还田量对大型土壤动物群落功能群特征的影响

Fig. 4 Impact of return of corn stalk on functional groups of the soil macrofauna community in farmland

表 2 不同玉米秸秆还田量下土壤理化性质

Table 2 Soil physico-chemical properties relative to treatment

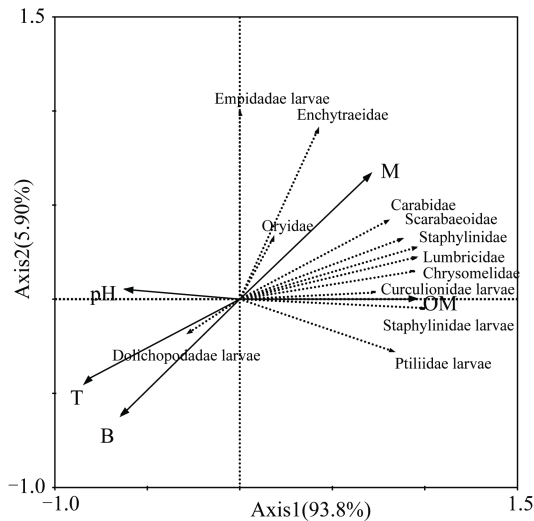
处理 Treatment	有机质 Organic matter ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	容重 Bulk density ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	pH	温度 Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	含水量 Moisture ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	38.24±0.51c	1.35±0.03a	7.93±0.02a	25.86±0.19a	236.3±3.2c
SR1	40.23±0.29bc	1.23±0.02b	7.97±0.10a	25.89±0.30a	245.1±3.1bc
SR2	39.81±0.17bc	1.15±0.02c	7.96±0.09a	25.58±0.07ab	261.1±1.8ab
SR3	41.07±0.25b	1.17±0.01c	7.87±0.78a	25.16±0.13b	256.9±4.1b
SR4	44.79±0.84a	1.14±0.01c	7.91±0.13a	25.34±0.10ab	263.9±1.0a

注：不同小写字母表示处理间有显著差异 ($P < 0.05$)。Note: Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$) .

3 讨论

农业生产中，对农田采取玉米秸秆还田措施可以增加土壤养分和玉米秸秆的资源化利用。本研究

中，玉米秸秆还田后显著增加了大型土壤动物群落的个体数，类群数有一定的增加，这与李泽兴等^[12]随玉米秸秆覆盖量增加农田土壤动物数量增加的结果较一致，原因可能是玉米秸秆还田后增加了土壤有机质含量^[19]和农田腐殖质的土壤含水量^[20]，土壤容



注：BD：容重；OM：有机质；T：土壤温度；M：土壤含水量。Note：BD：Bulk density；OM：Organic matter；T：Temperature；M：Moisture。

图5 大型土壤动物群落主要类群冗余分析 (RDA)

Fig. 5 Redundancy analysis of major groups of the soil macrofauna in farmland

重降低和孔隙增加,加快了玉米秸秆沫的降解速率,为大型土壤动物提供了充足食物资源;因此随着玉米秸秆还田量的增加大型土壤动物个体数呈增加趋势。土壤动物个体数量的增加是由于优势类群的土壤动物个体数量增加所引起的^[21]。在本研究中,个体数增加主要以优势类群的隐翅甲科、象甲科幼虫和线蚓科3类为主;同时,本研究采用RDA分析了大型土壤动物群落主要类群个体数和土壤环境因子之间的关系,隐翅甲科和象甲科幼虫与土壤有机质呈显著正相关,隐翅甲科和线蚓科与土壤含水量呈显著正相关。

研究期间,大型土壤动物群落多样性在玉米生长季表现出明显变化。多样性指数和丰富度指数随着玉米生长季总体上呈现出先增加后下降的趋势,总体在7月和8月玉米拔节期和抽穗期多样性指数和丰富度指数最大。朱强根等^[22]的研究表明:免耕秸秆覆盖样地在拔节期有助于提高土壤动物多样性;杨旭等^[23]在松嫩平原黑土耕作区研究表明8月份土壤动物均匀度指数和丰富度指数最高,优势度指数最低。原因可能是7月和8月份土壤中的水热条件适中,促进土壤微生物活动,加快玉米秸秆降解的速度^[23-24],对土壤性质和结构进行了改善,这些因素可能促进土壤生物的活动、促进土壤养分循环,增加了多样性^[25]。本研究中优势度指数总体与

多样性指数和丰富度指数变化趋势相反,总体在9月玉米成熟期优势度指数最大。优势度指数的大小表明该群落中某个类群的土壤动物个体数占该群落总个体数比例的大小^[26],即某一个群落的优势度指数越小,丰富度指数越大,多样性指数也越大^[27]。王振海等^[28]在长白山苔原带研究表明7月份土壤动物优势度指数降低,多样性指数、丰富度指数和均匀度指数最高。进一步说明,在不同地区和不同时间及不同措施处理的差异下对土壤动物多样性动态影响是不同的。

土壤动物通常表现出表聚性,土壤动物个体数和类群数随土壤深度加深而降低^[24, 28],不同土壤类型降减速率可能不同^[29],但在沙地或农业用地中土壤动物的垂直分布可能会出现逆向分布的现象^[30]。在本研究中,不同玉米秸秆还田量下各月份不同土层的大型土壤动物表明:随玉米的生长时期的推移,表层0~10 cm的大型土壤动物有向10~20 cm土层下移的趋势。原因可能是经过秸秆还田后,玉米秸秆末主要位于土壤表层中,能够为大型土壤动物提高大量的食物资源,导致大型土壤动物在表层最多,但在9月末可能由于土壤温度低,大型土壤动物有向下移动的趋势。

不同功能类群对不同玉米秸秆还田量的响应存在差异。以线蚓科和隐翅甲科为主要的腐食性类群个体数随玉米生长季的推移个体数增加,并随玉米秸秆还田量的增加而增加。有研究表明:线蚓的数量能够反映群落环境特点和土壤质地状况,通常土壤含水量高、有机质丰富的群落线蚓科的数量就多^[31]。本研究中,秸秆还田后线蚓科数量显著增加,原因可能是粉碎的秸秆还田以后不仅可以增加土壤腐殖质含量,还可以增加土壤含水量,加快秸秆的腐解,秸秆腐解的越多,越有利于腐食性类群生存;同时,腐食性类群的个体数增加,说明农田土壤生态系统物质循环和能量转换的过程增加^[32]。杂食性类群随玉米生长季的推移个体数变化较一致,并且在9月末没有发现;这与蒋云峰等^[13]在4月、7月和10月的取样研究中杂食性类群仅在4月和7月获得的研究结果较为一致。捕食性类群作为生态系统的次级消费者,个体数随玉米生长季的推移呈先增后降的趋势,秸秆还田后其类群总体个体数增加,但未随秸秆还田量的增加而增加;捕食性类群主要由鞘翅目的步甲科、叶甲科,双翅目的舞虻科幼虫和长足虻科幼虫,地蜈蚣目和蜘蛛目等组成。

4 结 论

玉米秸秆还田后受农田土壤环境因子影响较大的大型土壤动物类群主要是研究区的优势类群, 占总个体数 74.93%, 构成了研究区大型土壤动物群落的主体。玉米秸秆还田作为保护性耕作措施之一, 玉米秸秆还田有助于提高大型土壤动物个体数, 随玉米秸秆还田量增加个体数增加; 玉米秸秆还田在一定程度上提高了大型土壤动物的类群数。多样性指数和丰富度指数随玉米生长季总体呈现出先增加后下降的趋势; 均匀度指数随玉米生长季总体呈现出下降的趋势; 优势度指数随玉米生长季呈现出先下降后增加的趋势。玉米秸秆还田增加了群落多样性指数, 使土壤生态系统向更稳定方向发展。大型土壤动物群落随玉米生长时期的推移, 表层 0~10 cm 土层的大型土壤动物有向 10~20 cm 土层下移的趋势。捕食性大型土壤动物个体数随玉米生长季呈现先增加后下降的趋势; 植食性和腐食性大型土壤动物个体数随玉米生长季呈现增加的趋势; 杂食性大型土壤动物个体数在玉米生长季无明显变化。

参考文献 (References)

- [1] Yang X, Gao M X, Zhang X P, et al. Effect of straw-returning management on meso-micro soil fauna in a cultivated black soil area. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(7): 2206—2216[J]. [杨旭, 高梅香, 张雪萍, 等. 秸秆还田对耕作黑土中小型土壤动物群落的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2206—2216.]
- [2] Lao X R, Sun W H, Wang Z, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4): 618—623. [劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618—623.]
- [3] Wang J C, Dai L, Tian Y S, et al. Analysis of the development status and trends of biomass energy industry in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(9): 276—282. [王久臣, 戴林, 田宜水, 等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 276—282.]
- [4] Zhan L L. Diversity and influencing factor of meso-soil animal under farm land of black soil[D]. Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2013. [战丽莉. 农田黑土中小型土壤动物多样性特征及其影响因素[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2013.]
- [5] Yang P, Wang H X, Yue J. Ecological distribution of middle-small-size soil faunas under conservation tillage and straw mulch conditions[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(2): 145—150. [杨佩, 王海霞, 岳佳. 秸秆覆盖免耕条件下中小型土壤动物的生态分布特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 145—150.]
- [6] Zhu X Y, Dong Z X, Kuang F H, 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. [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.]
- [7] Lin Y H. Effect of long-term fertilization on agricultural soil fauna community and its evaluation[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2003. [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.]
- [8] Ayres E, Steltzer H, Berg S, et al. Soil biota accelerate decomposition in high-elevation forests by specializing in the breakdown of litter produced by the plant species above them[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97(5): 901—912.
- [9] Wei W, Xu Y L, Zhu L, et al. Effect of long-term fertilization on soil microbial communities in farmland of black soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(2): 372—380. [魏巍, 许艳丽, 朱琳, 等. 长期施肥对黑土农田土壤微生物群落的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 372—380.]
- [10] Mulder C, Boit A, Bonkowski M, et al. A belowground perspective on Dutch agroecosystems: How soil organisms interact to support ecosystem services// *Advances in Ecological Research*[G]. Elsevier, 2011: 277—357.
- [11] Xu Y P, Tan F, Hu Y P, et al. Effect of straw returning on cropland soil meso-and micro-arthropods community in the black soil area[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2015, 50(2): 262—271. [徐演鹏, 谭飞, 胡彦鹏, 等. 秸秆还田对黑土区农田中小型土壤节肢动物群落的影响[J]. 动物学杂志, 2015, 50(2): 262—271.]
- [12] Li Z X, Sun G Z, Wang Y, et al. Effects of maize stubble mulch amount on soil animal community structure[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(16): 296—300. [李泽兴, 孙光芝, 王洋, 等. 玉米秸秆覆盖量对农田土壤动物群落结构的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 296—300.]
- [13] Jiang Y F, Ma N, Zhang S, et al. Effect of stover mulching frequency on the community structure of soil macrofauna in no-till systems in the black soil region of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(2): 452—459. [蒋云峰, 马南, 张爽, 等. 黑土区

- 免耕秸秆不同覆盖频率下大型土壤动物群落结构特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 452—459.]
- [14] Lian X, Sui Y Z, Wu H T, 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. [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.]
- [15] Yin W Y. Pictorial keys to soil animals of China[M]. Beijing: Science Press, 1998. [尹文英. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [16] Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis[J]. 2000. [鲍士旦. 土壤农化分析[J]. 北京: 中国农业出版社, 2000.]
- [17] Liu J, Gao M X, Wu D H. Characteristics of ground-dwelling soil macro-arthropod communities in a biodiversity monitoring plot of black soil cropland, northeastern China[M]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(12): 3965—3975. [刘洁, 高梅香, 吴东辉. 基于黑土农田生物多样性监测样地的地表大型节肢动物群落特征[M]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3965—3975.]
- [18] Xu H, Yin X Q, Ma C. Community structure and ecological distribution of soil Collembola from typical farmland ecosystems in the Changbai Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(23): 8005—8014. [许还, 殷秀琴, 马辰. 长白山地典型农田生态系统土壤跳虫群落结构及其生态分布特征[J]. 生态学报, 2017, 37(23): 8005—8014.]
- [19] Zhao Y L, Xue Z W, Guo H B, et al. Effects of tillage and crop residue management on soil respiration and its mechanism[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(19): 155—165. [赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤呼吸的影响及机理[J]. 农业工程学报, 2014, 30(19): 155—165.]
- [20] Zhang X P. On the relation of soil animal to environmental quality[J]. *Natural Science Journal of Harbin Normal University*, 1995, 11(4): 95—99. [张雪萍. 土壤动物与环境质量关系探讨[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1995, 11(4): 95—99.]
- [21] Zhang Q Y, Huang C N, Wang G D, et al. Effect of straw returning to upland field alternated from paddy field on maize yields and large soil animal communities[J]. *Journal of Agricultural Science Yanbian University*, 2013, 35(4): 335—342. [张庆宇, 黄初女, 王光达, 等. 秸秆还田对水田改旱田地玉米产量及地下大型土壤动物群落的影响[J]. 延边大学农学学报, 2013, 35(4): 335—342.]
- [22] Zhu Q G, Zhu A N, Zhang J B, et al. Diversity of soil fauna in corn fields in Huang-Huai-Hai Plain of China under effects of conservation tillage[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(10): 2417—2423. [朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 黄淮海平原保护性耕作下玉米季土壤动物多样性[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2417—2423.]
- [23] Yang X, Lin L, Zhang X P, et al. Spatio-temporal distribution characteristics of meso-micro soil fauna in typical cultivated blacksoil in the Song-Nen plain area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(11): 3253—3260. [杨旭, 林琳, 张雪萍, 等. 松嫩平原典型黑土耕作区中小型土壤动物时空分布特征[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3253—3260.]
- [24] Liu P F, Hong M, Chang F, et al. Impact of straw returning on cropland soil mesofauna community in the western part of black soil area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(1): 139—146. [刘鹏飞, 红梅, 常菲, 等. 秸秆还田对黑土区西部农田中小型土壤动物群落的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(1): 139—146.]
- [25] Li Q, Zhou D W, Chen X Y. The accumulation, decomposition and ecological effects of above-ground litter in terrestrial ecosystem[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(14): 3807—3819. [李强, 周道玮, 陈笑莹. 地上枯落物的累积、分解及其在陆地生态系统中的作用[J]. 生态学报, 2014, 34(14): 3807—3819.]
- [26] Yin X Q, An J C, Tao Y, et al. Community changes of soil macrofauna in native and degenerative wetlands of the Lhasa river[J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1643—1649. [殷秀琴, 安静超, 陶岩, 等. 拉萨河流域健康湿地与退化湿地大型土壤动物群落比较研究[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1643—1649.]
- [27] Zhang X P, Huang L R, Jiang L Q. Characteristics of macro-soil fauna in forest ecosystem of northern Da Hinggan Mountains[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(3): 509—518. [张雪萍, 黄丽荣, 姜丽秋. 大兴安岭北部森林生态系统大型土壤动物群落特征[J]. 地理研究, 2008, 27(3): 509—518.]
- [28] Wang Z H, Yin X Q, Jiang Y F. Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 755—765. [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[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 755—765.]
- [29] Wu H T, Lü X G, Yang Q, et al. Ecological characteristics and functions of soil fauna community[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2): 314—323. [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.]
- [30] Guan H B, Guo L, Liu Y J. The vertical distribution, seasonal dynamics and community variety of soil animal in horqin sandy land[J]. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(S1): 111—115. [关宏斌, 郭砺, 刘永江. 科尔沁沙地土壤动物垂直分布、季节动态及群落多样性探讨[J]. 中国沙漠, 1999, 19(S1): 111—115.]
- [31] Zhang X P, Hou W L, Chen P. Soil animal guilds and

their ecological distribution in the northeast of China[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2001, 7 (4): 370—374. [张雪萍, 侯威岭, 陈鹏. 东北森林土壤动物同功能种团及其生态分布[J]. 应用与

环境生物学报, 2001, 7 (4): 370—374.]

- [32] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems[M]. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1979.

(责任编辑: 卢 萍)