

不同施肥方式下玉米田土壤中小型节肢动物的群落特征及稳定性

孔 云^{1,2}, 张 婷¹, 李 刚¹, 杨殿林¹, 赵建宁¹, 张贵龙¹, 王丽丽¹, 修伟明^{1,2}

(1. 农业农村部环境保护科研监测所, 农业农村部产地环境污染防治重点实验室/天津市农业环境与农产品安全重点实验室, 天津 300191;

2. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866)

摘 要: 设置对照不施肥、单施有机肥、化肥减量 50% 配施有机肥、常规化肥配施有机肥、化肥增量 50% 配施有机肥、单施化肥 6 个长期定位试验处理, 研究华北潮土区玉米田长期施肥处理下土壤中小型节肢动物的变化。结果表明, 调查共获得 3 140 个中小型土壤动物, 隶属于 5 纲 9 目 35 科。施肥增加了土壤中小型节肢动物数量和物种数, 增加了表层土壤中小型节肢动物的多样性, 对节肢动物有明显的促进作用, 有利于小型节肢动物群落结构的稳定。大量配施化肥对某些土壤动物有抑制作用, 降低了土壤动物的种类, 显著减少了土壤中小型节肢动物的均匀性。变异主成分分析结果表明, 弹尾目、真螨目对施肥处理有明显的相关性。有机肥与适量化肥配施对中小型土壤节肢动物群落有促进作用, 过量配施化肥对土壤动物数量及种类有明显抑制作用, 不利于土壤动物群落结构稳定。

关键词: 玉米; 施肥措施; 土壤中小型节肢动物; 群落结构; 主成分分析

中图分类号: S513.061

文献标识码: A

Soil Meso- and Micro- Arthropods Community Characteristics and Stability in Maize Soil with Different Fertilization Regimes

KONG Yun^{1,2}, ZHANG Ting¹, LI Gang¹, YANG Dian-lin¹, ZHAO Jian-ning¹,

ZHANG Gui-long¹, WANG Li-li¹, XIU Wei-ming^{1,2}

(1. Key Laboratory of Original Agro-Environmental Pollution Prevention and Control, MARA/Tianjin Key Laboratory of Agro-Environment and Agro-Product Safety, Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191;

2. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: In order to better understand the influence of different fertilization regimes on soil meso- and micro-arthropods in fluvo-aquic soil, the field experiment was conducted that included six treatments, i.e., contrast, organic fertilizer, reduce 50% chemical fertilizer plus organic fertilizer, normal chemical fertilizer plus organic fertilizer treatment, increase 50% chemical fertilizer plus organic fertilizer, chemical fertilizer. Indicate: A total of 1570 soil meso- and micro-arthropods were obtained in this survey, belonging to 5 classes, 9 orders and 35 families. On the whole, fertilization increased the total numbers and species of soil arthropods, significantly increased the diversity of soil animals in surface soil. It was beneficial to the stability of animal communities. However, a large number of chemical fertilizers were used to inhibit some soil arthropods and reduce the species of soil arthropods. In addition, higher content of chemical fertilizer could significantly reduce the evenness of soil arthropods. It suggested organic manure plus synthetic fertilizer was suitable for the amount of soil meso- and micro-arthropods, but more chemical fertilizer was harmful to the stability of soil arthropods.

Key words: Maize; Fertilizer treatment; Soil meso- and micro-arthropods; Community structure; Principal component analysis

录用日期: 2019-04-23

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503121-04)、国家重点研发计划支持项目(2016YFD0201009)

作者简介: 孔 云(1991-), 女, 山东德州人, 硕士, 主要从事农业有害生物与环境安全研究。E-mail: 18040007889@163.com

修伟明为本文通讯作者。E-mail: xiuweiming@caas.cn

施肥能直接有效的改善土壤肥力,增加粮食产量,实现农民创收^[1]。以往以数量为目标的农业生产方式,在大规模用化学肥料换取农作物产量的同时,也带来了诸多负面问题^[2,3]。要想实现农业绿色可持续发展必须改变以往高投入、高消耗、资源过度开发的粗放型发展方式。

土壤动物在土壤生态系统中起着重要作用^[4],一方面有利于营养物质的吸收、转化、释放,另一方面能调节土壤理化性质及微生物量^[5-8]。不同农业生产方式将对土壤动物的分布、种类和数量产生影响^[9,10]。有研究报道,化肥的施用可抑制或致死土壤动物,导致土壤动物物种多样性指数明显降低^[11]。有机肥的施用则有助于线虫、蚯蚓和甲螨等土壤动物的生存和发展^[12],显著增加土壤跳虫数量^[13]。刘树堂等^[14]发现,长期单施有机肥及其配施化肥,能显著增加土壤动物蜱螨类、弹尾类、线虫类的数量。战丽莉等^[15]也发现,化肥配施有机肥使土壤甲螨的个体数量显著增高,且化肥配施有机肥土壤中甲螨表聚特征明显。有机肥替代化肥已成为我国绿色农业发展的重要措施,本研究通过在华北潮土区布设长期施肥试验,开展不同施肥措施对土壤中小型节肢动物数量、种群及群落结构的影响研究,为华北潮土区科学施肥、实现农业绿色可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于农业农村部环境保护科研监测所武清试验站(39°21'N, 117°12'E),该地区气候类型为暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年平均气温为11.6℃,年平均无霜期196~246 d,年降水量520~660 mm,土壤类型为潮土。供试土壤基本理化性质,pH值7.58,全碳10.83 g/kg,全氮1.18 g/kg,全磷0.72 g/kg,硝态氮19.95 mg/kg,铵态氮5.06 mg/kg,速效磷18.6 mg/kg,速效钾50.67 mg/kg^[16]。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,于2010年开始进行对照A0(不施肥)、单施有机肥A1(有机肥15 t/hm²)、化肥减量50%配施有机肥A2(有机肥15 t/hm²; N,基肥55.2 kg/hm²、追肥36.8 kg/hm²)、常规量化肥配施有机肥A3(有机肥15 t/hm²; N,基肥117.3 kg/hm²、追肥78.2 kg/hm²)、化肥增量50%配施有机肥A4(有机肥15 t/hm²; N,基肥172.5 kg/hm²、追肥115.0 kg/hm²)、单施化肥A5(N,基肥117.3 kg/hm²、追肥78.2 kg/hm²),所有处理P₂O₅81.0 kg/hm²,K₂O 75.0 kg/hm²。每个处

理3次重复,小区面积为400 m²,各小区间隔50 cm。有机肥由牛粪和鸡粪混合堆腐而成;氮肥为尿素(N, 46.4%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅, 12%),钾肥为硫酸钾(K₂O, 50%);有机肥和磷钾肥做基肥,氮肥60%做基肥,40%在玉米小喇叭口期做追肥施入。田间管理同一般大田生产。种植制度为冬小麦-夏玉米轮作。

1.3 样品采集

2015年7月、8月、9月底采集土壤样品。采集时,去除地表杂物,分别随机划分3个区域,在近玉米株处选择面积为50 cm×50 cm的样点,用100 cm³土壤取样器分层取0~5 cm、6~10 cm、11~15 cm土层样品,放入封口袋中密封带回。

1.4 土壤中小型节肢动物的分离与鉴定

用干漏斗法收集土壤中节肢动物样品^[17]。根据尹文英^[18]的《中国土壤动物检索图鉴》将分离到的土壤螨、跳虫鉴定到科,其余鉴定到目。

1.5 土壤中小型节肢动物的群落分析

根据土壤动物个体数量进行分类,优势类群+++ :个体数占样本总量10%以上类群,常见类群++ :个体数占样本总量1%~10%,稀有类群+ :个体数在样本总量1%以下。

群落多样性指数分析包括:Shannon-Weiner多样性指数、Pielou均匀性指数、Margalef丰富度指数,其中:

Shannon-Weiner多样性指数: $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots, S$)

Pielou均匀性指数: $J = H'/\ln S$

Margalef丰富度指数: $D = (S-1)/\ln N$

其中:S-样品中的物种数; $P_i = N_i/N$, N-样品中的物种数总和, N_i -第*i*个物种个数。

1.6 数据处理与分析

试验数据用SPSS17.0软件进行方差分析(one-way ANOVA),并用LSD法对不同处理之间进行差异显著性检验($P < 0.05$),并用Origin9.1软件作图。采用主成分分析(PCA)研究不同施肥处理对不同土层土壤动物数量的影响,应用CANOCO 4.5软件进行分析运算。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤中小型节肢动物组成影响

本次调查共获得3 140个中小型土壤动物,隶属于5纲9目35科(表1)。真螨目、弹尾目为优势类群,是本地区广适性土壤节肢动物类群。35科中有优势类群2个,分别为等节跳科(Isotomidae)和棘跳科

表 1 不同处理土壤动物组成

Table 1 Group composition of soil fauna in different treatments

类 群 Group		A0	A1	A2	A3	A4	A5	优势度 Dominance
真螨目	Acariformes	295	246	242	345	264	158	+++
奥甲螨科	Oppiidae	—	4	10	—	1	17	++
隐颚螨科	Cryptognathidae	26	12	15	19	2	11	++
真卷甲螨科	Euphthiracaridae	—	—	2	—	3	4	+
巨须螨科	Cunaxidae	22	10	13	4	2	29	++
副大翼甲螨科	Parakalumnidae	24	8	13	42	26	11	++
镰螯甲螨科	Tydeidae	—	—	17	—	2	—	+
罗甲螨科	Lohmanniidae	2	—	10	2	1	—	+
盲甲螨科	Malacoethridae	54	41	26	73	53	19	++
矮蒲螨科	Pygmephoridae	34	30	32	27	13	21	++
微离螨科	Microdispidae	4	31	11	2	5	2	++
注甲螨科	Camisiidae	28	13	17	20	3	4	++
盾螨科	Scutacaridae	—	6	4	2	4	2	+
肉食螨科	Cheylritidae	—	—	1	1	2	—	+
滑珠甲螨科	Damaeolidae	10	12	5	15	8	6	++
叶螨科	Tetranychidae	16	4	27	4	8	4	++
上罗甲螨科	Epilohmanniidae	23	32	19	59	101	1	++
盖头甲螨科	Tectocephidae	6	4	2	5	3	—	+
高壳甲螨科	Liodidae	11	15	2	16	11	—	++
无爪螨科	Alicorhagiidae	8	1	0	18	2	3	++
大翼甲螨科	Galumnidae	4	—	2	5	—	—	+
异小黑螨科	Xenocaligonellidae	—	1	—	—	—	—	+
无领甲螨科	Ameridae	14	11	11	23	7	10	++
跳甲螨科	Zetorchestidae	—	2	—	—	—	4	+
大赤螨科	Anystidae	4	—	3	—	—	—	+
绒螨科	Trombididae	—	—	—	2	1	2	+
步甲螨科	Carabodidae	—	4	—	—	—	4	+
小甲螨科	Oribatellidae	—	—	—	2	3	4	+
吸螨科	Bdellidae	5	2	—	4	3	—	+
鲜甲螨科	Cepheidae	—	3	—	—	—	—	+
弹尾目	Collembola	153	212	224	260	278	300	+++
等节跳科	Isotomidae	79	66	89	136	134	106	+++
棘跳科	Onychiuridae	45	87	75	68	112	120	+++
跳虫科	Poduridae	21	46	46	42	16	50	++
驼跳科	Cyphoderidae	3	9	6	10	10	6	++
圆跳科	Sminthuridae	5	4	8	4	6	12	++
球角跳科	Hypogastruidae	—	—	—	—	—	6	+
双翅目	Diptera	—	8	14	4	25	11	++
鞘翅目	Coleoptera	2	2	4	6	9	6	+
虫齿目	Psocoptera	—	2	2	2	—	7	+
蛭目	Acerentomata	—	—	—	—	—	4	+
等翅目	Isoptera	—	—	2	2	—	—	+
双尾目	Diplura	3	2	—	7	2	8	+
鳞翅目	Lepidoptera	—	—	2	3	2	—	+
综合纲	Symphyta	—	4	4	2	—	—	+
寡毛纲	Oligochaeta	—	—	10	2	—	—	+

注:+++为RA>10% 优势属;++为1%≤RA≤10% 常见属;+为RA<1%稀有属。

Note: +++, RA>10% dominant genera; ++, 1%≤RA≤10% common genera; +, RA<1% rare genera.

(Onychiuridae), 常见类群 17 个, 稀有类群 16 个。各处理土壤动物类群(科)数为 A3(34 个) > A2(33 个) > A4(32 个) > A1(31 个) > A5(30 个) > A0(25 个)。不同处理获得的土壤动物总量也不同, A3(633 个) > A4(580 个) > A2(504 个) > A5(494 个) > A1(476 个) > A0(453 个)。与对照相比, 施肥处理增加了土壤中小型节肢动物类群和物种总量, 对土壤节肢动物有一定的促进作用。配施过程中随着化肥量的增加, 土壤动物类群数和总量呈先增后降的趋势, 表明在配施过程中化肥的使用增加了土壤动物类群和总量, 但过多的配施化肥则对某些土壤动物产生抑制作用, 降低了土壤动物种类。大翼甲螨科(Galumnidae)、等翅目

(Isoptera)、虫齿目(Psocoptera)仅在 A2 和 A3 处理中发现, 在 A4 处理中则未被发现。异小黑螨科(Xenocaligonellidae)、鲜甲螨科(Cepheidae)、球角跳科(Hypogastridae)、蛭目(Acerentomata)仅少量出现在某一处理中, 异小黑螨科(Xenocaligonellidae)、鲜甲螨科(Cepheidae)、镰螯甲螨科(Tydeidae)、肉食螨科(Cheylrtidae)、等翅目(Isoptera)、鳞翅目(Lepidoptera)综合纲(Symphyla)寡毛纲(Oligochaeta)仅出现在含有有机肥的处理中, 表明有机肥的施用可能增加了这些类群的生存能力, 促进其生存繁殖。

2.2 不同施肥处理对不同土层土壤中小型节肢动物数量的影响

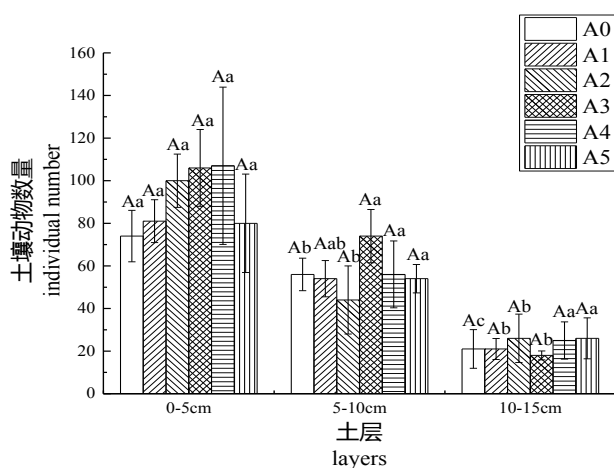


图1 不同土层土壤动物个体数

Fig.1 Individuals number of soil fauna in different layers

中小型节肢动物在各处理的不同土壤剖面中个体数分布如图1所示。由于表层土壤通气性好、疏松, 因此大多数土壤动物都栖息于表层土壤中。由图1可知, 所有处理中80%以上的土壤动物均集中在0~10 cm土层, 其中0~5 cm土层土壤动物数量最多, 6~10 cm土层土壤动物数量次之, 11~15 cm土层数量最少, 表明土壤动物有明显的表聚性。施肥促进了表层土壤动物数量(0~5 cm), 但未达到显著水平($P>0.05$); A0、A1、A2、A3处理中土壤动物在不同土层均有显著性差异(A0: $F=19.025$, $P=0.003$; A1: $F=9.805$, $P=0.013$; A2: $F=6.071$, $P=0.036$; A3: $F=811.214$, $P=0.009$)。有机无机配施处理中, 土壤动物在A3处理的0~5 cm土层和6~10 cm土层均高于其他处理, 说明在A3处理下更有利于土壤动物的生存繁殖。

2.3 不同施肥处理对土壤中小型节肢动物群落多样性的影响

多样性指数 H 、均匀性指数 J 、丰富度指数 D 用

来表明土壤动物群落结构。如表2所示, 不同施肥处理的不同土层之间土壤动物群落结构有明显差别。0~5 cm土层, 不同处理的土壤动物多样性指数 H 、均匀性指数 J 差异达显著水平(H : $F=3.777$, $P=0.028$; J : $F=2.339$, $P=0.106$)。在0~5 cm土层中, 有机肥、化肥配施处理的多样性指数 H 随施用化肥量的增加呈下降趋势, A2、A3处理显著高于A4处理, 说明在配施处理中随配施化肥量的增多对土壤动物的物种数产生抑制作用; A4处理的均匀性指数 J 显著低于A0、A1和A2处理, 表明配施大量化肥显著减少了土壤动物的均匀性。不同处理的6~10 cm、11~15 cm土层中土壤动物群落结构均未达到显著水平。相同处理不同土层的土壤动物群落结构有明显差别。A2、A3处理的0~5 cm土层中土壤动物多样性指数 H 显著高于11~15 cm土层, 表明配施处理可显著增加表层土壤动物多样性。A0、A3处理的11~15 cm土层中均匀性指数 J 显著高于0~5 cm、6~10 cm土层。

表2 不同土层土壤动物群落特征
Table 2 Soil fauna communities in different layers

处 理 Treatment	生态指数 Ecological index	0 ~ 5 cm	6 ~ 10 cm	11 ~ 15 cm
A0	<i>H</i>	2.53±0.16 A a	2.30±0.36 A a	1.78±0.48 A a
	<i>J</i>	0.88±0.01 A b	0.92±0.02 A b	0.97±0.02 A a
	<i>D</i>	4.15±0.68 A a	3.38±1.19 A a	2.61±0.56 A a
A1	<i>H</i>	2.34±0.22 AB a	2.23±0.13 A a	1.60±0.44 A a
	<i>J</i>	0.88±0.02 A a	0.93±0.01 A a	0.93±0.04 A a
	<i>D</i>	3.57±0.54 A a	3.03±0.26 A a	2.14±0.91 A a
A2	<i>H</i>	2.47±0.21 A a	1.91±0.25 A ab	1.61±0.28 A b
	<i>J</i>	0.87±0.04 A a	0.90±0.07 A a	0.92±0.04 A a
	<i>D</i>	4.26±0.73 A a	2.81±0.44 A b	2.18±0.41 A b
A3	<i>H</i>	2.32±0.15 AB a	2.02±0.22 A a	1.92±0.12 A a
	<i>J</i>	0.84±0.02 AB b	0.82±0.07 A b	0.97±0.01 A a
	<i>D</i>	3.66±0.56 A a	2.99±0.38 A a	2.84±0.20 A a
A4	<i>H</i>	1.74±0.13 C a	1.71±0.17 A a	1.57±0.55 A a
	<i>J</i>	0.75±0.09 B a	0.86±0.08 A a	0.91±0.06 A a
	<i>D</i>	2.69±0.49 A a	1.99±0.30 A a	2.11±0.97 A a
A5	<i>H</i>	1.94±0.39 BC a	1.95±0.33 A a	1.91±0.43 A a
	<i>J</i>	0.82±0.02 AB a	0.83±0.08 A a	0.95±0.01 A a
	<i>D</i>	2.89±1.04 A a	2.87±0.57 A a	2.72±0.66 A a

注:不同大写字母表示不同处理之间差异达到显著水平($P<0.05$);不同小写字母表示不同土层之间差异达到显著水平($P<0.05$)。
Note: Different uppercase letters indicated significant differences at different treatments($P<0.05$). Different lowercase letters indicated significant differences at different layers($P<0.05$).

2.4 土壤中小型节肢动物数量变异特征

对土壤动物数量进行变异主成分分析结果表明(图2),第一主成分(横轴)和第二主成分(纵轴)共同解释了土壤中小型节肢动物数量变异的99.9%,其中第一主成分为96.2%。弹尾目、真螨目对施肥有明显相关性,其中弹尾目在A2、A4、A5处理中丰度较

高,表明有机肥与化肥配施、单施化肥有助于增加弹尾目数量,对其有积极作用。真螨目在A0、A1、A3处理中丰度较高,表明有机肥对土壤螨类有明显的促进作用。另外,其他种群之间相关性较高,但与施肥等处理无相关性,可能由于处理中其种群数量较少的缘故。

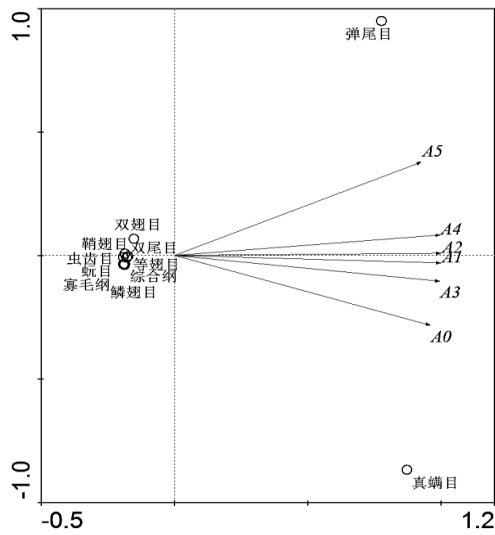


图2 不同处理对土壤动物的主成分分析
Fig.2 Principal component analysis(PCA) of soil fauna with the different treatments

3 结论与讨论

本调查发现,真螨目、弹尾目为华北潮土区广适性土壤类群,可以作为本地区土壤变化指示生物。战丽莉等^[19]研究表明,施肥能显著增加土壤动物数量。本研究发现,施肥处理增加了土壤中小型节肢动物数量,对土壤节肢动物有一定促进作用,但未达到显著性水平($P>0.05$),这可能是由于采样地区和采样时间的不同所致^[20]。徐演鹏等^[21]发现,中小型土壤动物个体数随外源N浓度升高而递增。宋敏等^[22]研究发现,氮素添加对土壤螨类及跳虫的种群密度均无影响。本研究中有有机肥、化肥配施处理中弹尾目个体数随化肥量的增多而递增,真螨目数量则先上升后降低。有机肥与化肥配施对土壤动物种类有明显积极作用,配施过程中无机肥的使用增加了土壤动物种类,但配施大量的无机肥则导致对某些土壤动物产生抑制作用,降低了土壤动物的种类,这可能是因为有有机肥的使用提高了土壤肥力,增加了土壤生物多样性,促使生态系统能更好应对环境压力^[23],过量的配施化肥改变了土壤理化性质,不利于有些土壤动物的生存^[24]。施肥处理明显增加了弹尾目的数量,表明肥料的使用为弹尾目生长繁殖提供了有利条件^[25]。朱强根等^[26]研究发现,有机肥与化肥配施能增加蜱螨目类数量,本研究的A3处理中蜱螨类数量明显增加,其他处理特别是单施化肥处理的蜱螨类数量明显降低,这可能是由于化肥的使用改变了土壤微生物群落^[27],从而对某些螨类产生抑制作用。

各处理的0~5 cm土层土壤动物数量最多,随着土层深度增加,土壤动物数量减少,且80%以上土壤动物集中于0~10 cm土层中,表明土壤动物有其表聚性且施肥处理对土壤动物表聚性无显著性影响。研究发现,不同处理的0~5 cm土层土壤动物多样性指数 H' 、均匀性指数 J' 差异达显著水平,表明施肥处理对表层土壤动物群落结构的影响最大。Cao等^[28]研究发现,有机肥和化肥处理降低了土壤螨类的丰富度和多样性。本研究中施肥对6~10 cm土壤动物丰富度及多样性无显著影响。与单施化肥相比,配施处理能增加土壤动物物种多样性,但随着配施化肥量的增多显著降低了土壤动物多样性指数,这可能是由于高投入管理干扰了特定的非生命土壤状况^[29],从而对这些生物造成不利影响。另外,在0~5 cm土层中均匀性指数随配施化肥量的增多而显著降低,这可能由于土壤动物与碳氮比显著正相关^[30],从而减少土壤动物均匀性。施肥能明显增

加表层土壤动物生态指数,这可能由于施肥为土壤动物生存提供营养物质,使土壤动物群落多样性增多,促进群落稳定^[31]。

参考文献:

- [1] Gruzdeva L I, Matveeva E M, Kovalenko T E. Changes in soil nematode communities under the impact of fertilizers[J]. Eurasian Soil Science, 2007, 40(6): 681–693.
- [2] Porazinska D L, Duncan L W, Mcsorley R, et al. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13(1): 69–86.
- [3] Sarkar S, Singh S R, Singh R P. The effect of organic and inorganic fertilizers on soil physical condition and the productivity of a rice–lentil cropping sequence in India[J]. The Journal of Agricultural Science, 2003, 140(4): 419–425.
- [4] 邵元虎, 张卫信, 刘胜杰, 等. 土壤动物多样性及其生态功能[J]. 生态学报, 2015, 35(20): 6614–6625.
Shao Y H, Zhang W X, Liu S J, et al. Diversity and function of soil fauna[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(20): 6614–6625. (in Chinese)
- [5] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems[J]. Quarterly Review of Biology, 1979, 83(14): 2771–2774.
- [6] Hunt H W, Coleman D C, Ingham E R, et al. The detrital food web in a short-grass prairie[J]. Biology and Fertility of Soils, 1987, 3(1–2): 57–68.
- [7] Freckman D W, Ettema C H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1993, 45(3–4): 239–261.
- [8] Fu S L, Ferris H, Brown D, et al. Does the positive feedback effect of nematodes on the biomass and activity of their bacteria prey vary with nematode species and population size[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(11): 1979–1987.
- [9] Baker G H. Recognizing and responding to the influences of agriculture and other land-use practices on soil fauna in Australia[J]. Applied Soil Ecology, 1998, 10(9): 303–310.
- [10] Kautz T, López-fando C, Ellmer F. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long term field experiment in central Spain[J]. Applied Soil Ecology, 2006, 33(3): 278–285.
- [11] 李淑梅, 樊淑华. 施用不同肥料对农田土壤动物群落结构的影响[J]. 河南农业科学, 2008, 37(2): 57–59.
Li S M, Fan S H. Effects of applying different fertilizers on soil animal community structure [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2008, 37(2): 57–59. (in Chinese)
- [12] 朱新玉, 朱波. 不同施肥方式对紫色土农田土壤动物主要类群的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 5: 911–920.
Zhu X Y, Zhu B. Effect of different fertilization regimes on the main groups of soil fauna in cropland of purple soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 5: 911–920. (in Chinese)
- [13] 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 华北潮土长期施肥对土壤跳虫群落的影响[J]. 土壤学报, 2010, 5: 946–952.

- Zhu Q G, Zhu A N, Zhang J B, et al. Effect of long-term fertilization on soil collembola community in fluvo-aquic soil in north China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 5: 946-952. (in Chinese)
- [14] 刘树堂, 刘培利, 韩晓日, 等. 长期定位施肥对无石灰性潮土生物环境影响研究[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(1): 26-29.
- Liu S T, Liu P L, Han X R, et al. Effects of long-term located fertilization on biological environment of non-calcareous fluvo-aquic soil[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, 26(1): 26-29. (in Chinese)
- [15] 战丽莉, 许艳丽, 韩晓增, 等. 施肥方式对土壤甲螨群落结构影响[J]. *华北农学报*, 2013, 28(2): 214-218.
- Zhan L L, Xu Y L, Han X Z, et al. Effect of fertilization on oribatid mite community in farmland[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(2): 214-218. (in Chinese)
- [16] 张 瑞, 张贵龙, 姬艳艳, 等. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 277-282.
- Zhang R, Zhang G L, Ji Y Y, et al. Effects of different fertilizer application on soil active organic carbon[J]. *Environment Science*, 2013, 34(1): 277-282. (in Chinese)
- [17] 殷秀琴, 马祝阳. Tullgren法对土壤动物的分离效率[J]. *东北师大学报自然科学版*, 2002, 34(2): 84-91.
- Yin X Q, Ma Z Y. Segregate efficiency of Tullgren method to middle-small-sized soil animal[J]. *Journal of Northeast Normal University*, 2002, 34(2): 84-91. (in Chinese)
- [18] 尹文英, 胡圣豪, 沈韞芬, 等. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 战丽莉, 许艳丽, 韩晓增. 长期施肥对东北黑土玉米田土壤动物影响[J]. *土壤与作物*, 2012, 1(2): 94-99.
- Zhan L L, Xu Y L, Han X Z. Effect of long-term fertilization on soil fauna diversity in the farmland of black soil in Northeast China[J]. *Soil and Crop*, 2012, 1(2): 94-99. (in Chinese)
- [20] 卢 萍, 徐演鹏, 谭 飞, 等. 黑土区农田土壤节肢动物群落与土壤理化性质的关系[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(9): 1848-1856.
- Lu P, Xu Y P, Tan F, et al. Relationship between cropland soil arthropods community and soil properties in black soil area[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(9): 1848-1856. (in Chinese)
- [21] 徐演鹏, 卢 萍, 谭 飞, 等. 外源C、N干扰下吉林黑土区农田土壤动物组成与结构[J]. *土壤学报*, 2013, 50(4): 800-809.
- Xu Y P, Lu P, Tan F, et al. Composition and structure of cropland soil fauna in black soil area of Jilin as affected by exogenous carbon and nitrogen[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(4): 800-809. (in Chinese)
- [22] 宋 敏. 增加降水及施氮对弃耕草地土壤线虫和小型节肢动物的影响[J]. *生态学报*, 2017, 36(3): 631-639.
- Song M. Effects of water and nitrogen addition on soil nematodes and small arthropods in an old-field grassland of north China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(3): 631-639. (in Chinese)
- [23] Liu T, Chen X Y, Hu F, et al. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016, 232(16): 199-207.
- [24] 张 迪, 韩晓增, 侯雪莹. 长期不同施肥管理对黑土活性有机碳及碳库管理指数的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(3): 654-658.
- Zhang D, Han X Z, Hou X Y. The effects of long-term fertilization on the labile organic carbon and carbon management index in black soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(3): 654-658. (in Chinese)
- [25] 林英华, 朱 平, 张夫道, 等. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1122-1130.
- Lin Y H, Zhu P, Zhang F D, et al. Effect of different fertilizer treatments on crop soil insect community at Black soil district in Jilin province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1122-1130. (in Chinese)
- [26] 朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 等. 长期施肥对黄淮海平原农田中小型土壤节肢动物的影响[J]. *生态学报*, 2010, 29(1): 69-74.
- Zhu Q G, Zhu A N, Zhang J B, et al. Effects of long-term fertilization on cropland soil meso-micro arthropods in Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(1): 69-74. (in Chinese)
- [27] Chen D M, Lan Z C, Bai X, et al. Evidence that acidification-induced declines in plant diversity and productivity are mediated by changes in below-ground communities and soil properties in a semi-arid steppe[J]. *Journal of Ecology*, 2013, 101: 1322-1334.
- [28] Cao Z P, Han X M, Hu C, et al. Changes in the abundance and structure of a soil mite(Acari) community under long-term organic and chemical fertilizer treatments[J]. *Applied Soil Ecology*, 2011, 49: 131-138.
- [29] Van d W D, Cohen B J, Anver M R. Soil springtails(Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods(Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa(Argentina)[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2006, 42(2): 107-119.
- [30] 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.
- Yang X, Lin L, Zhang X P, et al. Spatio-temporal distribution characteristics of meso-micro soil fauna in typical cultivated black soil in the Songnen plain area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(11): 3253-3260. (in Chinese)
- [31] Carrillo Y, Ball B A, Bradford M A, et al. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(7): 1440-1449.

(责任编辑: 栾天宇)