

秸秆还田对黑土区农田中小型土壤节肢动物群落的影响

徐演鹏^{①②} 谭飞^③ 胡彦鹏^④ 卢萍^{②⑤} 吴建平^① 林英华^{②*}

① 东北林业大学野生动物资源学院 哈尔滨 154000; ② 中国林业科学研究院湿地研究所 北京 100091; ③ 广西九万山国家级自然保护区管理局 柳州 545300; ④ 河北省隆化县国营林场管理局 隆化 068150; ⑤ 国家林业局森林保护学重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 北京 100091

摘要: 2011年9月与2012年9月, 采用改良干漏斗方法, 对吉林黑土区5种秸秆还田方式, 即0倍、0.5倍、1.0倍、1.5倍、2.0倍, 对农田小型土壤节肢动物群落影响进行研究。研究时段, 共获得中小型土壤节肢动物7238只, 隶属3纲4目3亚目11科, 其中2011年2795只, 隶属3纲4目3亚目6科, 2012年4443只, 隶属3纲4目3亚目8科。分析结果表明, 土壤中小型节肢动物群落受秸秆还田量的影响显著 ($P < 0.01$); 土壤小型节肢动物个体总数、类群总数、多样性和生物量随秸秆还田量增加呈递增趋势, 不同年份之间土壤小型节肢动物群落组成存在显著性差异 ($P < 0.001$)。冗余分析 (RDA) 显示, 土壤湿度对土壤中小型节肢动物的影响最大; 土壤温度、土壤湿度、土壤 pH 对中气门亚目、短角蜱科、球角蜱科种群均具有抑制性作用。

关键词: 土壤理化性质; 群落结构; 相关性; 冗余分析

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 02-262-10

Effect of Straw Returning on Cropland Soil Meso- and Micro-Arthropods Community in the Black Soil Area

XU Yan-Peng^{①②} TAN Fei^③ HU Yan-Peng^④ LU Ping^{②⑤} WU Jian-Ping^① LIN Ying-Hua^{②*}

① *College of Wildlife Resource, Northeast University, Harbin 154000*; ② *Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091*; ③ *The Administration Bureau of Jiuwan Mountain National Natural Reserve, Liuzhou 545300*; ④ *Longhua Forestry Administration in Hebei, Longhua 068150*; ⑤ *Key Laboratory of Forest Protection State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*

Abstract: This study investigated the influence of corn straw returning to soil on the meso- and micro-Arthropods Community in black soil area of Gongzuling, Jilin Province geographically located in 40°52' - 46°18'N, 121°38' - 131°19'E with elevation 150 - 222 m). The product of corn straw there was

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31071904);

* 通讯作者, E-mail: linyinghua@263.net;

第一作者介绍 徐演鹏, 男, 硕士; 研究方向: 动物学; E-mail: 317335529@qq.com.

收稿日期: 2014-03-28, 修回日期: 2014-10-09 DOI: 10.13859/j.cjz.201502012

7 500 kg/hm² on average. Five treatments of shattered corn straw residue with a gradient 0%, 50%, 100%, 150% and 200% of the production were returned to the soil in April 2011. We sampled the soil of each treatment at September 2011 and September 2012 to identified the meso- and micro-Arthropods into families. A total of 7 238 individuals animals of meso- and micro-Arthropods, belonged to 3 classes, 4 orders, 3 suborders and 11 super-families, were collected, 2 795 individuals in 2011, belonged to 3 classes, 4 orders, 3 suborders and 6 super-families, and 4 443 individuals in 2012, belonged to 3 classes, 4 orders, 3 suborders and 8 super-families (Table 2). Our data indicated that soil meso- and micro-Arthropods Community was significantly effected by the application of corn straw return to black soil ($P < 0.01$) (Table 3), four indices, total individuals, total groups, diversity index and biomass had increased with the amount increase of corn straw returned to soil increase. A significantly differences were also found in the four indices between the 2011 and 2012 ($P < 0.001$) (Table 3) with the time duration increase. The redundancy analysis (RDA) showed that the largest effect on soil meso- and micro-Arthropods was soil moisture (Fig. 3). Soil temperature, soil moisture and soil pH had a negatively effect on animals belonging to Mesostigmata, Neelidae and Hypogastruridae.

Key words: Soil physical and chemical properties; Community diversity; Correlation; Redundancy analysis

农作物秸秆是农业生产中的多用途生物资源, 其含有丰富的氮、磷、钾和微量元素等多种成分, 是农业生产中的重要肥料来源和潜在的碳库能源 (潘剑玲等 2013)。研究表明, 秸秆还田后能有效提高土壤有机碳、全氮含量, 改善土壤物理性状, 并对土壤生态系统结构及其功能具有重要影响 (刘继明等 2013)。

中小型土壤动物是土壤动物群落的主要组成部分, 其在土壤生态系统土壤有机质分解, 尤其是植物残体的分解 (Förster et al. 2004, 宋博 2008)、土壤养分矿化等物质循环过程中起着重要的调节作用 (Birkhofer et al. 2011)。农业生产活动在削弱土壤生态功能的同时, 也影响了与其相关联的生态系统功能 (Halaj et al. 2002, Kautz et al. 2006)。农作物秸秆还田作为补充土壤养分、提高土壤生产力的一种重要方式 (马强等 2004), 其在改善土壤质量的同时, 也对土壤动物群落产生一定的影响 (Spedding et al. 2004)。近年来, 随着对农作物秸秆在农田生态系统的重要性认知的不断提高, 农作物秸秆还田对土壤动物群落的影响和土壤动物对秸秆分解与矿化中的作用日益受到关注。

虽有研究表明, 相对于大型土壤动物群落, 秸秆还田更有益于促进中小型土壤动物组成丰富性与分布均匀性 (徐演鹏等 2013), 但这些研究周期较短, 多集中在次年分解 (卢萍等 2013)。而土埋秸秆一般年分解率是 60% 左右 (匡恩俊等 2012), 为进一步研究土壤层残余秸秆分解对土壤动物与土壤性质的影响, 在上一年研究的基础上, 继续对同一研究区域中小型土壤动物群落, 尤其是中小型土壤节肢动物群落进一步研究。通过对比分析秸秆分解还田两年间中小型农田土壤节肢动物群落特征, 探讨秸秆持续分解过程中土壤中小型土壤节肢动物群落变化, 及其对土壤主要性质变化的响应, 为改善农田土壤生态系统健康提供依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省公主岭市范家屯 (40°52' ~ 46°18'N, 121°38' ~ 131°19'E, 海拔 150 ~ 222 m)。年气温 5 ~ 6℃, 年降水量 500 ~ 650 mm, 降水多集中在 7 ~ 9 月份, 约占全年 60% ~ 70%。无霜期 120 ~ 140 d, 有效积温

2 600~3 000℃, 土壤为第四纪黄土状沉积物, 分类上属于黑土土类, 黑土亚类, 肥黑土土种。

1.2 实验设计

根据研究区域年玉米秸秆平均产量 7 500 kg/hm² 计算, 设置玉米秸秆量的 0.5 倍 (简称 C0.5)、1.0 倍 (简称 C1.0)、1.5 倍 (简称 C1.5) 和 2.0 倍 (简称 C2.0) 4 个水平为还田量, 即秸秆还田量分别为 3 750 kg/hm²、7 500 kg/hm²、11 250 kg/hm²、15 000 kg/hm², 选取未施用秸秆还田, 即 0 倍 (CK) 作为对照。将玉米秸秆完全粉碎, 机械翻地时, 将秸秆一次深埋入后旋耕、耙平。秸秆于 2011 年 4 月一次性施入, 2012 年不施加。每个小区面积为 25 m²。每个处理重复 3 次, 随机排列。种植作物为玉米。

1.3 土壤动物采集与鉴定

2011 年 9 月下旬与 2012 年 9 月下旬, 作物收获前, 分别取 0~20 cm 耕层土壤, 采集土壤动物。每个小区随机选取 3 个点, 取样面积为 10 cm × 10 cm。改良干漏斗法分离中小型土壤动物。同时采集 0~20 cm 耕层土壤混合样, 带回室内进行土壤理化性质分析。

受土壤动物分类的限制, 中小型土壤动物鉴定除了蝉蝼目外, 均鉴定到科 (尹文英 1998); 营养功能群依据其在食物分解过程中的作用进行划分 (Swift et al. 1998)。

1.4 土壤主要理化性质分析

采用 T-300 土壤温湿度记录仪 (Aquaterr Instruments & Automation, LLC, UAS) 现场测定土壤温度和湿度; 土壤 pH 采用奥豪斯仪器 (上海) 有限公司的酸度计 (STARTER 3C) 测定, 土与水的比例为 1:2.5 (W/V, 即重量与体积之比); 重铬酸钾氧化外加热法测定土壤有机碳, 半微量凯氏法测定土壤全氮 (董鸣 1996)。

1.5 数据分析

类群数量等级: 个体数量占全部捕获量 10% 以上为优势类群, 介于 1%~10% 之间为常见类群, 介于 0.1%~1% 为稀有类群, 0.1% 以

下的为极稀有类群, 本文将优势类群和常见类群统归为主要类群, 稀有类群和极稀有类群统归为其他类群。

群落多样性指数采用香农-威纳多样性指数 (Shannon-Weaner index, H')、Pielou 均匀性指数 (J_s) 和辛普森指数 (D) 计算,

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i, J_s = H' / \ln S, D = \sum_{i=1}^s P_i^2$$

式中, P_i 为第 i 个种的个体数占群落总个体数的比率, S 为类群数。

在动物标本镜检计数的同时测量湿生中小型土壤动物的体长, 并根据北沢右三 (1977) 提出的经验模型: $\lg \omega = 2.78 \times \lg L + 0.71$ 计算其生物量干质量, 式中, ω 为动物干质量 (mg/m²), L 为动物体长 (cm)。

为降低每个变量之间异质性, 将各变量进行 Log ($x + 1$) 转化后进行方差分析, 最小显著差异检验法 (least-significant difference, LSD) 判断秸秆施量以及年间土壤动物群落的差异; 主成分分析 (principal components analysis, PCA)、冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 方法分析土壤中小型节肢动物群落与土壤主要理化性质间的关系。以上通过 SPSS 18.0 和 Canoco 4.5 软件完成。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田后土壤主要性质

与对照 (CK) 相比, 秸秆还田后土壤湿度、土壤全氮与土壤有机碳含量呈现显著增加 ($P < 0.001$), 并且随着秸秆还田量的增加呈现增长趋势; 土壤碳氮比虽有增加, 但其随秸秆还田量的增加而增加的趋势不显著 ($P > 0.05$); 土壤 pH 在秸秆还田后, 没有明显变化 ($P > 0.05$) (表 1)。2011 年与 2012 年相比, 仅土壤碳氮差异不显著 ($P < 0.05$), 其他各处理土壤主要性质年际间差异显著 ($P < 0.05$) (表 1), 尤其是土壤温度与土壤湿度受时间和不同还田量影响极显著 ($P < 0.01$)。

2.2 中小型土壤节肢动物群落组成与分布

表 1 秸秆还田条件下土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of soil under straw returning

处理 Treatment	pH (土水比为 1:2.5)	土壤湿度 (%) Soil moisture (SM)	土壤温度 (°C) Soil temperature (ST)	土壤全氮 (g/kg) Soil total nitrogen (TN)	土壤有机碳 (g/kg) Soil organic carbon (SOC)	碳氮比 Carbon/ Nitrogen (C/N)	
CK	6.70 ± 0.26 ^a	65.01 ± 21.93 ^a	17.04 ± 2.22 ^a	1.53 ± 0.08 ^a	15.79 ± 0.93 ^a	10.32 ± 0.47 ^a	
C0.5	6.75 ± 0.21 ^a	68.23 ± 18.52 ^{ab}	21.07 ± 4.62 ^b	1.51 ± 0.07 ^a	15.82 ± 0.97 ^a	10.48 ± 0.43 ^{ab}	
C1.0	6.74 ± 0.23 ^a	70.50 ± 18.06 ^b	21.21 ± 4.33 ^b	1.58 ± 0.16 ^a	17.28 ± 1.54 ^b	10.98 ± 0.34 ^b	
C1.5	6.70 ± 0.24 ^a	71.47 ± 17.80 ^{bc}	20.79 ± 4.33 ^b	1.59 ± 0.07 ^a	16.51 ± 1.04 ^{ab}	10.36 ± 0.39 ^a	
C2.0	6.72 ± 0.25 ^a	71.57 ± 16.79 ^{bc}	20.61 ± 3.74 ^b	1.80 ± 0.20 ^b	19.42 ± 1.99 ^c	10.83 ± 0.42 ^{ab}	
差异性 检验	处理 Treatments	$F = 0.932$ $P = 0.466$	$F = 8.449$ $P = 0.000$	$F = 23.751$ $P = 0.000$	$F = 8.808$ $P = 0.000$	$F = 8.702$ $P = 0.000$	$F = 2.511$ $P = 0.070$
Significantly test	年际 Interannual	$F = 423.297$ $P = 0.000$	$F = 1143.820$ $P = 0.000$	$F = 569.855$ $P = 0.000$	$F = 23.789$ $P = 0.000$	$F = 7.271$ $P = 0.014$	$F = 3.915$ $P = 0.062$

数据后相同字母代表差异不显著 ($P > 0.05$)。Same letters represent no significant difference ($P > 0.05$)。

研究时段共采集中小型土壤节肢动物 7 238 只, 隶属 3 纲 4 目 3 亚目 11 科 (表 2)。其中优势种群包括甲螨亚目、中气门亚目、前气门亚目、等节蛭科、棘蛭科, 分别占采集到土壤动物个体数的 17.64%、27.37%、16.95%、12.03%、17.06%; 常见种群包括短角蛭科和球角蛭科, 分别占采集到的土壤动物个体数的 6.56%、1.41%; 其他为稀有和极其稀有类, 占中小型土壤节肢动物总数的 0.97%。甲螨亚目、中气门亚目、前气门亚目、等节蛭科、棘蛭科这 5 类种群在两年均为优势常见种群, 可认为其为黑土区最为主要的中小型土壤节肢动物。

营养功能群主要包括腐食性、植食性、菌食性与杂食性 4 类, 其中腐食性所占比例最大 (62.05%), 其次是植食性 (23.75%), 杂食性比例最少 (0.41%)。

秸秆分解过程中, 中小型土壤节肢动物个体数是 C2.0 > C1.0 > C1.5 > C0.5 > CK, 类群数是 C1.5 > C2.0 > C1.0 > CK > C0.5, 与对照相比, 土壤节肢动物个体数与类群数基本随着秸秆还田量的增加而呈现出明显的增加趋势, 但随着秸秆的分解, 土壤节肢动物类群数出现递减, 而土壤节肢动物个体数随不同秸秆还田

量仍呈增加趋势 (表 3), 受秸秆还田量以及研究时段影响显著 ($P < 0.05$), 并且除中气门动物外, 其他优势类群与常见类群个体数变化明显 ($P < 0.05$)。此外, 中小型土壤动物生物量也基本随秸秆施加量增加而呈现增加趋势, 其明显与秸秆还田分解释放出的养分量有关 ($P < 0.05$) (表 3)。

中小型土壤节肢动物个体数与类群数随土壤剖面分布不一致, 其中个体数分布主要有两种形式 (图 1), 即一种类型是表层 (0~5 cm) 的个体数量最少, 但随着土层的加深而增加, 如 2011 年的 C2.0, 2012 年的 CK 和 C1.5; 另一类型是次表层 (5~10 cm) 个体数量最多, 表层 (0~5 cm) 和第 3 层 (10~20 cm) 较少, 如 2011 年的 CK、C0.5、C1.0、C1.5, 2012 年的 C0.5 和 C2.0。中小型土壤节肢动物类群数随土壤剖面分布差异较大, 其中 2011 年中小型土壤节肢动物主要表现为次表层 (5~10 cm) 类群数量最多, 表层 (0~5 cm) 和第 3 层 (10~20 cm) 较少, 如 CK、C1.0、C1.5; 2012 年中小型土壤节肢动物主要表现为表层 (0~5 cm) 与第 3 层 (10~20 cm) 较多, 如 C1.5 和 C2.0, 类群数量没有变化, 如 CK 和 C1.0。但

表 2 研究区土壤中小型节肢动物群落组成

Table 2 Composition of soil meso- and micro-arthropods in the study area

类群 Group	2011		2012		丰度 (%) Percent	优势度 Degree of dominance	功能群 Guild
	对照组 Control	秸秆还田组 Straw returning	对照组 Control	秸秆还田组 Straw returning			
甲螨亚目 Oribatida	88	339	165	685	17.64	++	S
蜱螨目 Acarina	131	920	194	736	27.37	++	S
前气门亚目 Prostigmata	0	388	90	749	16.95	++	S
综合目 Symphyla	0	2	1	0	0.04		S
综合目 Symphyla	0	0	0	3	0.04		S
长角长蚱科 Orchesellidae	0	0	0	3	0.04		F
长角蚱科 Entomobryidae	0	0	0	22	0.30		F
圆蚱科 Sminthuridae	0	0	3	6	0.12		Ph
弹尾目 Collembola	0	3	113	755	12.03	++	F
短角蚱科 Neelidae	80	395	0	0	6.56	+	Ph
棘蚱科 Onychiuridae	26	315	121	773	17.06	++	Ph
球角蚱科 Hypogastruridae	27	75	0	0	1.41	+	F
双尾目 Diplura	0	6	0	0	0.08		O
双尾目 Diplura	0	0	17	7	0.33		O
总计 Total	352	2 443	704	3 739			
类群数 Groups	5	9	8	9			

++. 优势类群; +. 常见类群; Ph. 植食性; F. 菌食性; S. 腐食性; O. 杂食性。

++. Dominant group; +. Common group; Ph. Phytophage; F. Fungivorous forms; S. Saprozoic; O. Omnivores.

表 3 秸秆还田干扰下中小型土壤节肢动物多样性与均匀性

Table 3 Community characters of soil meso- and micro-arthropods as affected by straw returning

年度 Year	处理 Treatment	个体数 (只) Individual (ind)	类群数 Group	多样性指数 Diversity index (H')	均匀度指数 Evenness index (J_s)	辛普森指数 Simpson index (D)	生物量 (mg/m^2) Biomass
2011	CK	117.33 ± 60.93 ^a	4.00 ± 1.00 ^{ab}	1.28 ± 0.22 ^{ab}	0.94 ± 0.02 ^a	0.30 ± 0.06 ^{ab}	214.87 ± 68.66 ^a
	C0.5	144.67 ± 68.92 ^a	4.00 ± 1.00 ^{ab}	1.03 ± 0.29 ^{ab}	0.75 ± 0.10 ^a	0.43 ± 0.12 ^{ab}	200.35 ± 60.52 ^a
	C1.0	200.00 ± 22.34 ^{ab}	5.33 ± 0.58 ^{ab}	1.38 ± 0.28 ^{ab}	0.82 ± 0.12 ^a	0.29 ± 0.09 ^{ab}	298.02 ± 49.01 ^{ab}
	C1.5	212.67 ± 129.55 ^{ab}	5.00 ± 0.00 ^a	1.38 ± 0.22 ^a	0.86 ± 0.14 ^a	0.20 ± 0.09 ^a	277.52 ± 143.28 ^{ab}
	C2.0	257.00 ± 67.95 ^b	5.67 ± 0.58 ^a	1.49 ± 0.14 ^a	0.87 ± 0.10 ^a	0.25 ± 0.05 ^a	300.68 ± 49.38 ^b
2012	CK	234.67 ± 53.26 ^a	7.00 ± 0.00 ^{ab}	1.62 ± 0.03 ^{ab}	0.83 ± 0.02 ^a	0.22 ± 0.02 ^{ab}	484.47 ± 53.48 ^a
	C0.5	230.00 ± 154.54 ^a	5.67 ± 0.58 ^{ab}	1.58 ± 0.06 ^{ab}	0.91 ± 0.03 ^a	0.22 ± 0.02 ^{ab}	436.43 ± 192.64 ^a
	C1.0	319.00 ± 65.14 ^{ab}	5.67 ± 1.15 ^{ab}	1.61 ± 0.08 ^{ab}	0.94 ± 0.06 ^a	0.21 ± 0.02 ^{ab}	574.42 ± 23.06 ^{ab}
	C1.5	292.33 ± 70.60 ^{ab}	8.00 ± 2.00 ^a	1.68 ± 0.06 ^a	0.82 ± 0.08 ^a	0.20 ± 0.01 ^a	607.83 ± 99.59 ^{ab}
	C2.0	405.00 ± 42.33 ^b	7.00 ± 1.73 ^a	1.64 ± 0.02 ^a	0.86 ± 0.09 ^a	0.20 ± 0.00 ^a	655.49 ± 37.83 ^b
差异性检验 Significantly	处理 Treatment	$F = 3.453$ $P = 0.027$	$F = 2.471$ $P = 0.078$	$F = 2.172$ $P = 0.109$	$F = 0.504$ $P = 0.733$	$F = 3.595$ $P = 0.023$	$F = 3.206$ $P = 0.035$
	年际间 Interannual	$F = 13.397$ $P = 0.002$	$F = 23.059$ $P = 0.000$	$F = 25.416$ $P = 0.000$	$F = 0.728$ $P = 0.404$	$F = 15.037$ $P = 0.001$	$F = 75.439$ $P = 0.000$

数据后相同字母代表差异不显著 ($P > 0.05$)。Same letters represent no significant difference ($P > 0.05$)。)

总体而言, 中小型土壤节肢动物个体数与类群数随土壤剖面变化差异不显著 ($P > 0.05$), 反映了秸秆还田对中小型土壤节肢动物个体数与类群数影响的不均匀性。

2.3 中小型土壤节肢动物的群落多样性与均匀性

中小型土壤节肢动物的群落多样性指数与均匀性变化趋势不一致, 其中香农-威纳多样性指数 (H') 随秸秆还田量的增加而上升, 即 $C2.0 > C1.5 > C1.0 > CK > C0.5$, 辛普森指数 (D) 随秸秆还田量的增加而下降, 即 $C0.5 > CK > C1.0 > C2.0 > C1.5$; 均匀性指数 (J_s) 则表现为 $C0.5 > C2.0 > CK > C1.0 > C1.5$ 。年际间, 群落多样性指数与均匀性指数变化不一致, 其中, 2011 年 9 月香农-威纳多样性指数 $C2.0 > C1.0 > C1.5 > CK > C0.5$, 辛普森指数 $C0.5 > CK > C1.0 > C2.0 > C1.5$, 均匀性指数 $CK >$

$C2.0 > C1.5 > C1.0 > C0.5$; 2012 年香农-威纳多样性指数 $C1.5 > C2.0 > CK > C1.0 > C0.5$, 辛普森指数 $C0.5 \geq CK > C1.0 > C2.0 \geq C1.5$, 均匀性指数 $C1.0 > C0.5 > C2.0 > CK > C0.5$ (表 3), 群落多样性指数年际间存在差异性 ($P < 0.001$)。

Jaccard 指数显示 (表 4), 2011 年 9 月不同处理间中小型土壤节肢动物的群落相似性指数略高于 2012 年 9 月, 但不同处理间群落相似性不一致, 其中 2011 年 9 月 C0.5 与 C1.0、C1.5 与 C2.0 之间相对较大; 2012 年 9 月 C1.5 与 C1.0、C1.5 与 C2.0 之间较大, 反映了随着秸秆的分解过程中小型土壤节肢动物群落的变化。

2.4 秸秆还田对中小型主要土壤节肢动物群落的影响

采用主成分分析 (PCA) 方法分析秸秆还田对中小型土壤节肢动物主要类群与多样性的

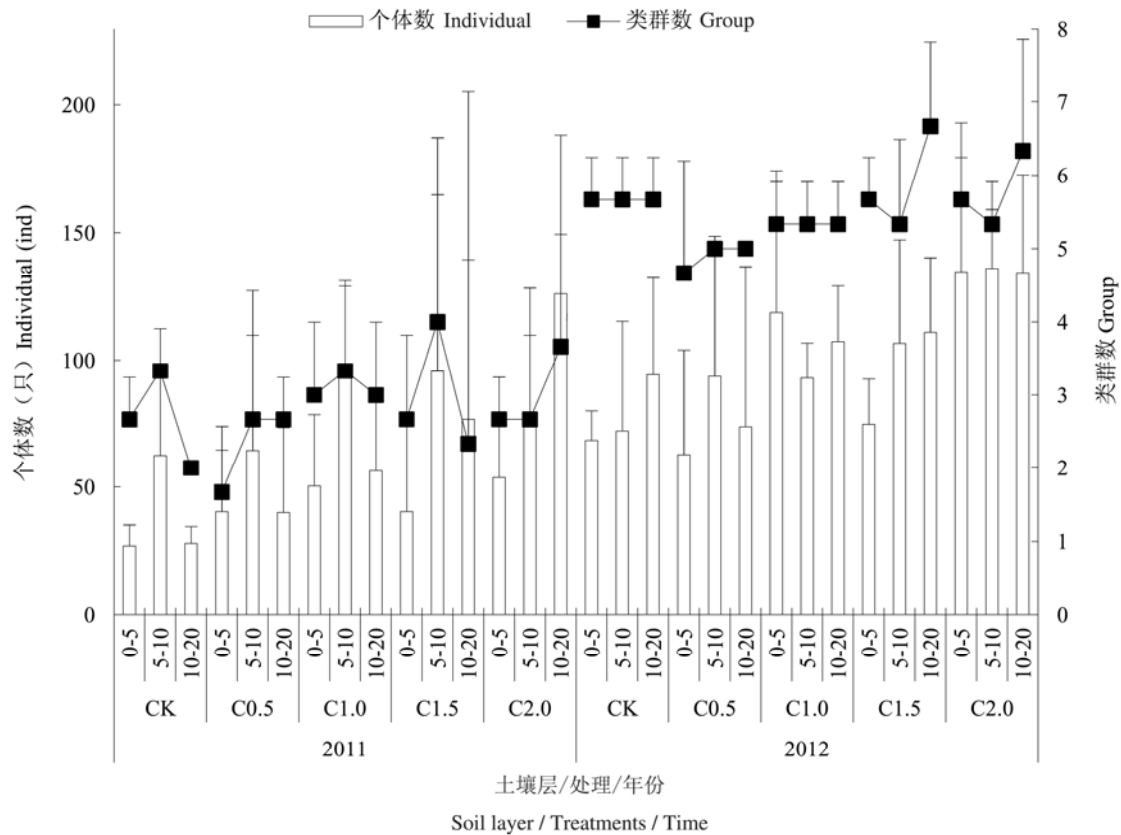


图 1 秸秆还田干扰下中小型土壤节肢动物的垂直分布

Fig. 1 The vertical distribution of soil meso-and micro-arthropods by straw returning

影响，即对甲螨亚目、中气门亚目、前气门亚目、等节蛭科和棘蛭科进行分析。第一、第二

表 4 秸秆还田干扰下中小型土壤节肢动物群落相似性

Table 4 Similarity of soil meso-and micro-arthropods communities as affected by straw returning

	CK	C0.5	C1.0	C1.5	C2.0
CK		0.666 7	0.625 0	0.714 3	0.625 0
C0.5	0.750 0		0.625 0	0.714 3	0.625 0
C1.0	0.666 7	0.857 1		0.875 0	0.777 8
C1.5	0.636 4	0.600 0	0.700 0		0.875 0
C2.0	0.700 0	0.666 7	0.777 8	0.900 0	

右上为 2012 年，左下为 2011 年。

Similarity at table top right and bottom left means 2012 and 2011, respectively.

主成分分别解释了中小型土壤节肢动物变化的 60.69%和 19.25% (图 2)。第一轴与不同时段、不同处理之间土壤中小型节肢动物群落组成相对应，反映了不同时段、不同处理对中小型节肢动物群落组成的影响，其中年际间中小型土壤节肢动物群落组成的差异 ($P = 0.000$) 比不同处理间土壤中小型节肢动物群落组成的差异 ($P = 0.041$) 更显著，并且第一轴中将 CK 与秸秆还田干扰明显分开，反映了 CK 与秸秆还田干扰小区中小型土壤节肢动物群落组成差别，尤其是 CK 与 C1.0、C2.0 处理小区之间中小型土壤节肢动物群落组成的差别 ($P < 0.05$)。第二轴与不同处理之间土壤中小型节肢动物群落组成相对应，但两者相关关系不显著 ($P > 0.05$)；第二轴将 CK 与 C2.0 明显分开，反映了 CK 与 C2.0 处理之间中小型土壤节肢动物主要

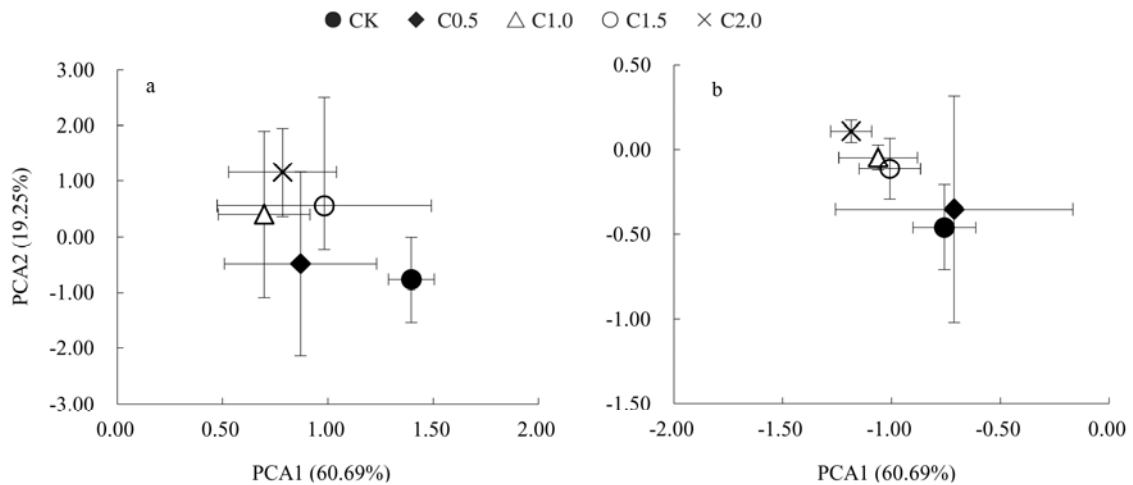


图 2 中小型土壤节肢动物主要类群的主成分分析 (PCA) 二维图

Fig. 2 Results of principle components analysis (PCA) for main groups of soil meso- and micro-arthropods

a. 2011 年 9 月; b. 2012 年 9 月。a. Sept. 2011; b. Sept. 2012.

类群与多样性间的区别。

利用冗余分析 (RDA) 方法分析土壤中小型节肢动物与土壤主要性质相关关系 (图 3)。蒙特卡罗置换检验显示, 土壤主要性质与第一排序轴 ($F = 30.06$, $P = 0.002$) 和全部排序轴 ($F = 8.59$, $P = 0.002$) 都有极显著相关性 ($P < 0.01$)。第一排序轴解释了中小型土壤节肢动物群落变化的 56.65%, 反映了中小型节肢动物群落主要受土壤温度 (ST) ($F = 27.03$, $P = 0.002$)、土壤湿度 (SW) ($F = 35.15$, $P = 0.002$)、土壤 pH ($F = 32.44$, $P = 0.002$)、土壤全氮 (TN) ($F = 5.06$, $P = 0.006$) 的影响, 以及土壤碳氮比 (C/N) ($F = 3.10$, $P = 0.044$) 与土壤有机碳 (SOC) ($F = 2.51$, $P = 0.06$) 对中小型节肢动物群落的影响。在这些指标中, 对中小型土壤节肢动物群落解释度依次为土壤湿度 (0.557)、土壤 pH (0.537)、土壤温度 (0.491)、土壤全氮 (0.157)、土壤碳氮比 (0.100) 与土壤有机碳 (0.082), 即土壤湿度对土壤中小型节肢动物的影响最大。第二排序轴解释了土壤中小型节肢动物群落变化的 8.21%, 主要反映了土壤全氮、土壤有机质对土壤中小型节肢动物群落的影响。

图 3 显示, 中气门亚目 Mesostigmata、球

角螨科 Hypogastruridae、短角螨科 Neelidae 与土壤全氮 (TN) 存在显著正相关 ($P < 0.05$), 而与土壤温度 (ST)、土壤湿度 (SM)、土壤 pH 存在显著负相关 ($P < 0.05$), 显示出土壤温度、土壤湿度、土壤 pH 对中气门亚目、短角螨科、球角螨科种群增加具有抑制性作用, 但有利于等节螨科、棘螨科和甲螨亚目数量增加。虽然土壤有机碳 (SOC) 与中小型节肢动物间的相关关系不显著, 但从图 3 仍可以看出, 土壤有机碳对中气门亚目、球角螨科、短角螨科等的影响。

3 讨论

秸秆是农业生产中的重要肥料来源, 秸秆还田不仅有利于增加土壤有机质含量、土壤氮素含量, 也有利于增加土壤湿度 (孙海国等 1996), 进而提高土壤保水性 (潘剑玲等 2013)。本研究也显示, 秸秆还田后, 土壤湿度增加较为明显, 土壤全氮与土壤有机碳、碳氮比虽也随着秸秆还田量的增加而增加, 但未呈直线递增趋势。其原因是由于 2011 年与 2012 年土壤有机碳、土壤全氮的变化趋势不一致, 其中 2011 年 C1.5 实验小区土壤有机碳、土壤全氮含量低于 C1.0 实验小区, 而高于 C0.5 实验小

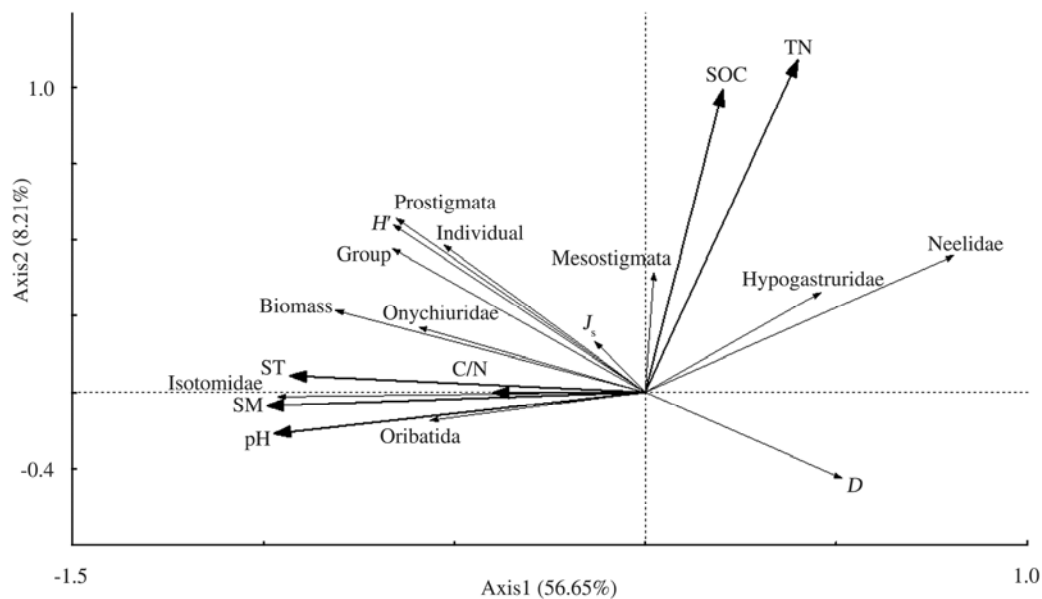


图 3 中小型土壤节肢动物群落影响的冗余分析

Fig. 3 Effects of soil meso- and micro-arthropods with redundancy analysis

区；而 2012 年实验小区土壤有机碳含量则高于 C1.0 实验小区、低于 C2.0 小区土壤有机碳、土壤全氮。本研究还发现，土壤 pH 未随秸秆还田量的增加而呈现出明显的递增或明显递减趋势，这与朱根强等（2010）免耕与秸秆还田导致土壤 pH 下降的结果不一致，其机理有待于进一步研究。

土壤动物群落结构主要受土壤各种特性影响，如土壤有机质含量、土壤含水量等（林英华等 2010）。秸秆还田明显增加了土壤中小型节肢动物，尤其是蜱螨类、等蜱科、棘蜱科等土壤中小型节肢动物（徐演鹏等 2013），并且秸秆施加量的增加，中小型土壤节肢动物的多样性指数与均匀度指数均呈增长趋势。通过协变量方法，对秸秆还田量、时间和土壤理化性质三者对土壤中小型节肢动物群落影响进一步分析显示，秸秆还田量、时间因素分别解释土壤中小型节肢动物群落结构变异的 15.1%和 11.4%，而秸秆还田量与时间两个因素则共同解释了其群落结构变异 32.4%，这表明随着时间推移，秸秆分解率增加，改善了适于中小型节肢动物栖息条件，增加了土壤有机质的质量与

数量，进而提供了更多适于土壤中小型节肢动物可利用的食物源，从而增加了土壤中小型节肢动物群落的多样性（张东秋等 2005, Carrillo et al. 2011）。

研究时段，土壤中小型节肢动物群落变化与土壤有机碳、土壤全氮变化不一致，其中 2011 年土壤中小型节肢动物个体数与类群随着秸秆量的增加而呈递增趋势，2012 年仅土壤中小型节肢动物生物量呈现出递增趋势，但辛普森指数呈递减趋势。匡恩俊等（2012）研究显示，土埋秸秆一般年分解率是 60%左右。按照此计算，本研究中的 0.5 倍、1.0 倍秸秆还田量小区在第二年已经基本分解，1.5 倍与 2.0 倍秸秆还田小区秸秆的继续分解为这两个小区土壤动物提供了相对丰富的食物源，但受 2012 年 8 月末“布拉万”台风的影响，研究区域气温相对偏高，台风使部分玉米植株出现倒伏，在一定程度上降低了土壤地表水分的蒸发，增加实验小区地表土壤湿度，使得湿生性土壤动物个体数、类群数及多样性指数与生物量明显增加 ($P < 0.01$)，即土壤湿度增加，改变了土壤中小型节肢动物多样性，这与冗余分析结果

相吻合。在本研究中, 土壤中小型节肢动物个体数以及生物量仅与土壤碳氮比间存在明显的相关性 ($P < 0.05$), 而与土壤有机碳、土壤全氮不存在显著相关关系, 这与相关研究结果不一致 (林英华等 2006), 其原因有待进一步研究。

参 考 文 献

- Birkhofer K, Diekötter T, Boch S, et al. 2011. Soil fauna feeding activity in temperate grassland soils increases with legume and grass species richness. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10): 2200–2207.
- Carrillo Y, Ball B A, Bradford M A, et al. 2011. Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen cycling in a mineral soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(7): 1440–1449.
- Förster B, van Gestel C A M, Koolhaas J E, et al. 2004. Ring-testing and field-validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME): an instrument for testing potentially harmful substances: Effects of carbendazim on organic matter breakdown and soil fauna feeding activity. *Ecotoxicology*, 13(1/2): 129–141.
- Halaj J, Wise D H. 2002. Impact of a detrital subsidy on trophic cascades in a terrestrial grazing food web. *Ecology*, 83(11): 3141–3151.
- Kautz T, López-Fando C, Ellmer F. 2006. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology*, 33(3): 278–285.
- Spedding T A, Hamel C, Mehuys G R, et al. 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(3): 499–512.
- Swift M J, Andren O, Brussaard L, et al. 1998. Global change, soil biodiversity, and nitrogen cycling in terrestrial ecosystems: Three case studies. *Global Change Biology*, 4(7): 729–743.
- 北沢右三. 1977. 土壤动物生态研究法. 北京: 科学出版社.
- 董鸣. 1996. 陆地生物群落调查观测与分析. 北京: 中国标准出版社.
- 匡恩俊, 迟凤琴, 宿庆瑞, 等. 2012. 不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究. *玉米科学*, 20(2): 99–101, 106.
- 林英华, 黄庆海, 刘骅, 等. 2010. 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. *中国农业科学*, 43(11): 2261–2269.
- 林英华, 朱平, 张夫道, 等. 2006. 吉林黑土区不同施肥处理对农田土壤昆虫的影响. *生态学报*, 26(4): 1122–1130.
- 刘继明, 卢萍, 徐演鹏, 等. 2013. 秸秆还田对吉林黑土区土壤有机碳、氮的影响. *中国土壤与肥料*, (3): 96–99.
- 卢萍, 徐演鹏, 谭飞, 等. 2013. 黑土区农田土壤节肢动物群落与土壤理化性质的关系. *中国农业科学*, 46(9): 1848–1856.
- 马强, 宇万太, 赵少华, 等. 2004. 黑土农田土壤肥力质量综合评价. *应用生态学报*, 15(10): 1916–1920.
- 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 2013. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展. *中国生态农业学报*, 21(5): 526–535.
- 宋博. 2008. 松嫩平原羊草草甸凋落物分解中土壤动物群落特征及其作用研究. 长春: 东北师范大学博士学位论文.
- 孙海国, 任图生, Lindwall C W, 等. 1996. 直立作物残茬和整株秸秆覆盖对麦田土壤湿度及温度的影响. *干旱地区农业研究*, 14(2): 1–4.
- 徐演鹏, 卢萍, 谭飞, 等. 2013. 外源 C、N 干扰下吉林黑土区农田土壤节肢动物组成与结构. *土壤学报*, 50(4): 93–102.
- 尹文英. 1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社.
- 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 2005. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展. *地球科学进展*, 20(7): 778–785.
- 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.