

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

朱强根^{1,2}, 朱安宁², 张佳宝², 张焕朝¹, 张丛志²

(1.南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2.封丘农业生态实验站、土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要:强度的耕作管理使土壤生物多样性下降,也使农业可持续发展面临困难,而实行保护性耕作可以缓解这一问题。通过调查小麦季保护性耕作下土壤动物群落结构,分析了耕作方式和秸秆覆盖对土壤动物群落的影响,采用冗余分析(RDA)并设置协变量的方法对土壤动物数量变异进行了研究。结果表明,弹尾目和蜱螨目是土壤动物优势类群,两者数量之和占总数比例约为80%,土壤动物在表层(0~10 cm)分布较大,约占总数的75%。土壤动物类群数免耕高于翻耕,覆盖量越大,个体数量越多。免耕在小麦拔节期有更高的多样性指数,但在成熟期土壤动物优势类群明显,多样性指数下降。相似性指数表现为土壤动物类群对环境具有选择性,翻耕和免耕之间类群差异较大。耕作方式、覆盖数量、土壤层次和时间共解释了土壤动物数量变异量的28.7%,其中时间占最大的变异量,为12.2%,其次是秸秆覆盖处理(8.7%)和土壤层次(6.4%)。耕作方式直接解释的变异量较小,但耕作方式显著影响了秸秆覆盖的作用形式,进一步影响了土壤动物的垂直分布状况。

关键词:保护性耕作;土壤动物;耕作方式;秸秆覆盖;冗余分析

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)08-1766-07

Effect of Conservation Tillage on Soil Fauna in Wheat Field of Huang-huai-hai Plain

ZHU Qiang-gen^{1,2}, ZHU An-ning², ZHANG Jia-bao², ZHANG Huan-chao¹, ZHANG Cong-zhi²

(1.College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2.State Experimental Station for Agro-Ecology, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Reduced biodiversity in soils is associated with the intensive tillage management which goes against agricultural sustainable development but conservation tillage has been considered one of the effective managements to the problem. No-tillage and straw cover were generally applied under conservation tillage systems. Therefore, a completely randomized 2×3 factorial experiment was set up to investigate the effects of tillage and straw cover on soil fauna in wheat field. Each plot was designed to 4 m×100 m rectangle and each treatment was replicated six times in the experiment. Treatments consisted of: till+total field straw removed (TC0); till+50% of total field straw removed (TC50); till+total field straw applied (TC100); no-till+total field straw removed (NTC0); no-till+50% of total field straw removed (NTC50); no-till + total field straw applied (NTC100). We investigated abundance and diversity of soil fauna at the jointing stage (March) and the maturity stage (May) under wheat growth season. The results showed that the dominant groups of soil fauna in all treatments were collembola and acari which nearly accounted for 80%. The abundance of soil fauna distributed at 0~10 cm soil depth was as much as 75% of total soil fauna. The numbers of groups of soil fauna was higher under no-tillage than tillage treatment plots, and the individuals of soil fauna were increased with the increase of straw cover. The diversity of soil fauna was higher under the no-tillage plots than that under the tillage plots at the jointing stage, but the result was opposite at the maturity stage. As to similarity index, there was a great difference between tillage and no-till plots, which indicated

收稿日期:2008-12-11

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-YW-09-05);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-406);国家重点基础研究发展计划项目(2005CB121103);中国科学院知识创新工程领域前沿项目

作者简介:朱强根(1975—),男,江西人,在读博士研究生,主要从事土壤与环境方面的研究。

通讯作者:朱安宁 E-mail:anzhu@issas.ac.cn

that many soil animals had their own adaptability to habit in tillage or no-till plots. Redundancy analysis indicated that the factors of tillage method, straw cover, soil layer and time totally explained 28.7% of soil fauna variation, of which, the time was the highest, occupied 12.2%, the straw cover was 8.7% and the soil layer was 6.4%. Tillage method explained the least variation of soil fauna, however, tillage affected the vertical distribution pattern of soil fauna through significantly changed the effects of the straw cover.

Keywords: conservation tillage; soil fauna; tillage type; straw cover; redundancy analysis

土壤动物特别是节肢动物群落易受土壤机械操作、残茬数量和位置以及杂草群落的影响^[1],耕作的强度和重复次数对其也有影响。免耕和秸秆覆盖是保护性耕作常用的耕作种植形式,免耕、残茬覆盖地表可形成更为复杂的生境系统,创造了更稳定的水分和温度等微气候环境,这也有利于土壤动物群的居住,与传统耕作相比,通常有更高的土壤动物数量和生物多样性^[2]。已有报道指出,免耕能增加甲螨的数量和多样性^[3],免耕情况下一般有更多的小节肢动物^[4-5],小节肢动物的优势类群丰度是和土壤有机质数量相关的。随着免耕时间增长,微生物生物量也增加,小节肢动物也表现为非免耕处理数量最小。秸秆覆盖为土壤提供丰富的有机质,是生物可利用的重要资源,耕作改变了秸秆的位置,使其与土壤充分混合,从而改善了有机质的分布状况^[6],结果导致了土壤生物在不同耕作方式下垂直分布的差异^[7-9]。

在我国,目前对保护性耕作下土壤动物的研究开展还较少,特别是具体因素(如耕作,覆盖等)对土壤动物群落变异的影响还不能确切的回答。作为我国主要产粮区的黄淮海平原,开展保护性耕作对提高土壤质量、保护农田生物多样性和促进土壤动物的增长均具有重要意义。据此,本文调查了小麦保护性耕作下土壤动物的群落结构及其影响因素,旨在为黄淮海平原保护性耕作研究与示范推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点位于河南省封丘县的中国科学院封丘农业生态国家实验站(北纬 35°01', 东经 114°32'),属半干旱半湿润的暖温带季风气候,年平均降水量 605 mm,平均气温为 13.9℃。试验地块为冬小麦与夏玉米轮作,试验初始平均基本肥力指标为:土壤有机质 11.13 g·kg⁻¹、全 N 1.39 g·kg⁻¹、全 P 0.72 g P₂O₅·kg⁻¹、全 K 14.53 g K₂O·kg⁻¹、速效 N 68.38 mg·kg⁻¹、速效 P 22.64 mg P₂O₅·kg⁻¹、速效 K 63.86 mg K₂O·kg⁻¹、pH 8.24,土壤容重 1.53 g·cm⁻³。

1.2 试验设计

试验始于 2007 年冬小麦。采用裂区设计,主区两种耕作方式分别为翻耕(T)和免耕(NT);副区 3 种秸秆覆盖处理分别为秸秆全部移出(C0)、秸秆 50%还田(C50),秸秆全部还田(C100),小麦季 100%秸秆还田量平均为 7.51 t·hm⁻²,玉米季为 8.12 t·hm⁻²。试验共有 6 次处理:翻耕+0%覆盖(TC0),翻耕+50%覆盖(TC50),翻耕+100%覆盖(TC100),免耕+0%覆盖(NTC0),免耕+50%覆盖(NTC50),免耕+100%覆盖(NTC100)。每处理设 6 个重复,共有 36 个小区,每个小区为 4 m×100 m 长方形平面,以便于播种和收获作业。

1.3 研究方法

在 2008 年 3 月 26 日小麦拔节期和 5 月 25 日小麦成熟期,采用 35 mm 直径的土钻,在每个小区随机选取采样点,分别取表层 0~10 cm(ULayer)和下层 10~20 cm(DLayer)土壤混合样,采用 Tullgarn 干漏斗方法收集土壤动物。土壤动物分类鉴定参照尹文英等编著的《中国土壤动物检索图鉴》^[10]和《中国亚热带土壤动物》^[11],本研究中,土壤动物只鉴定到纲或目。

1.4 数据分析

土壤动物群落多样指数包括 Simpson 优势度指数(D),Shannon-Weiner 多样性指数(H'),Pielou 均匀度指数(J)和 Jaccard 相似性指数(q):

$$D = \sum (P_i)^2$$

$$H' = - \sum_i P_i \log_2 P_i$$

$$J = H' / \log_2 S$$

$$q = c / (a + b - c)$$

式中: P_i 为类群 i 的个体数占总数的比例, S 为类群数量, a, b 分别为群落 A、群落 B 的类群数, c 为两类群的共有类群数。

在研究对土壤动物群落变异及其影响因素的主成分分析(principal component analysis PCA)和冗余分析(redundence analysis RDA)采用 CANOCO 4.5 软件^[12]完成。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落组成时间变化

在小麦季共收集到土壤动物 12 类群,4 283 只个体,为了看出幼虫的数量和变化,在表 1 中幼虫列为一个类群。在收集的土壤动物中,弹尾目和蛴螬目占有绝对优势,2 个类群数量之和占土壤动物总数比例约为 80%(表 1)。在小麦拔节期,蛴螬目数量高于弹尾目,而在成熟期则相反,表现了两种优势类群在时间变化上的差异。从拔节期到成熟期,鞘翅目、蜘蛛目、蛴螬目、小蚓类和膜翅目数量均有下降,幼虫数量下降更为明显,而弹尾目却增加到总数的 66%。表明随着气温的上升,土壤动物优势类群更为显著,同时与拔节期相比,上一季作物秸秆在成熟期得到进一步分解,也可能是杂食性土壤动物弹尾目增加的一个重要原因。

2.2 保护性耕作对土壤动物类群与多样性的影响

耕作处理对土壤动物类群和个体数量的影响表现不一致,同时也存在时间上的差异(表 2)。土壤动物类群数在拔节期为 NTC50、NTC0>NTC100、TC0>TC50、TC100,在成熟期为 NTC50>NTC100>NTC0、TC0>TC50>TC100,总体上呈现出免耕类群数高于翻

耕的趋势。从这个角度上看,免耕有利于提高土壤动物类群的多样性。个体数量在拔节期为 NTC100>NTC50>TC100>NTC0>TC50>TC0,在成熟期为 TC100>NTC100>NTC50>NTC0>TC0>TC50,总体上呈现出秸秆覆盖有利于土壤动物个体数量的增加。从时间上看,对于 100%秸秆覆盖处理,在拔节期免耕土壤动物相对较多,而在成熟期翻耕处理使土壤动物数量得到很大提高,这可能是因为拔节期免耕降低了对土壤的干扰,而到了成熟期翻耕处理下秸秆得到更充分的分解,土壤也较疏松,为土壤动物提供了更好的生存环境,导致了免耕和翻耕对土壤动物影响上的时间动态差异。

从土壤动物多样性 H' 与均匀性 J 来分析(表 2),拔节期多样性指数为 NTC50>NTC100>NTC0>TC0>TC100、TC50,说明免耕条件下提高了土壤动物多样性。由于成熟期土壤动物优势度指数 D 在整体上均较拔节期大,所以多样性指数与拔节期表现不一致,成熟期多样性指数为 TC0>TC50>NTC0>NTC100>NTC50>TC100。成熟期 TC0 处理有最大的多样性指数。从计算方法上看,是该处理在成熟期中有最小的优势度指数和较大的均匀度指数所导致。而 TC100 处理则相反,最高的优势度指数和最小的均匀度指数

表 1 小麦季土壤动物群落组成时间变化
Table 1 Change in composition of soil fauna communities during wheat season

类群 Taxa	小麦拔节期 Jointing Stage				小麦成熟期 Maturity			
	数量/只 inds	密度/只·m ⁻² Density	频度/% Frenquence	多度 Degree	数量/只 inds	密度/只·m ⁻² Density	频度/% Frenquence	多度 Degree
弹尾目 Collembola	607A	2 927.80A	33.57	++	1 632B	11 360.35B	65.94	+++
双尾目 Diplura	5a	25.11a	0.28	+	11b	80.86b	0.44	+
啮虫目 Psocoptera	1a	4.79a	0.06	+	3a	20.77a	0.12	+
同翅目 Homoptera	-a	-a	-	-	1a	8.25a	0.04	+
鞘翅目 Coleoptera	95a	466.80a	5.25	++	80a	553.45a	3.23	++
双翅目 Diptera	1a	4.86a	0.06	+	6b	45.85b	0.24	+
蜘蛛目 Araneae	20a	95.95a	1.11	++	8b	56.81b	0.32	+
蛴螬目 Acari	815a	3 928.17a	45.08	+++	597b	4 177.62b	24.12	+++
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	-a	-a	-	-	3a	20.72a	0.12	+
大蚓类 OIme ^A	9a	43.36a	0.50	+	8a	53.98a	0.32	+
小蚓类 OIMi	122a	581.92a	6.75	++	58b	400.14b	2.34	++
膜翅目 Hymenoptera	17a	80.14a	0.94	+	11a	81.45a	0.44	+
幼虫 larvae	116A	558.32A	6.42	++	57B	400.26B	2.30	++

注:*6 个处理 36 个小区土壤动物总数量(0~20 cm);+++、++、+分别表示优势类群(占总数比例>10%),常见类群(占总数比例 1%~10%) and 稀有类群(占总数比例<1%);表中不同字母表示不同时期土壤动物在 0.05 水平(小写)或 0.01 水平(大写)差异显著(t 检验),下同。

*Data was summarized with 36 plots at 0~20 cm; +++, ++, + indicate dominant group (individuals caught accounting for more than 10% of the total), frequent group (1%~10% of the total) and rare group (less than 1% of the total), respectively; Different letter indicate significant differences between sampling date at the 0.05 level (small letter) and 0.01 level (capital letter) (T -test); OIme^A: Megadrile oligochaetes, OIMi: Microdrile oligochaetes, the same below。

表 2 不同耕作方式下土壤动物的多样性指数和相似性指数(0~20 cm)

Table 2 The diversity and similarity index of soil fauna (0~20 cm) to different cultivations

阶段 Stage	处理 Treatment	类群 No.of groups	数量 7只 inds	多样性指数 Diversity index			相似性指数 q Similarity index					
				D	H'	J	TR0	NTR0	TR50	NTR50	TR100	NTR100
拔节期 Jointing stage	TC0	8	174a	0.354b±0.037	1.810cd±0.079	0.603cd±0.027	1.000	0.700	0.750	0.700	0.750	0.600
	NTC0	9	219a	0.348ab±0.031	1.928cd±0.105	0.608cd±0.022		1.000	0.667	0.800	0.667	0.889
	TC50	6	207a	0.379b±0.042	1.728bc±0.068	0.668d±0.025			1.000	0.667	0.714	0.556
	NTC50	9	376b	0.321ab±0.032	2.037d±0.135	0.643d±0.031				1.000	0.667	0.889
	TC100	6	350b	0.372b±0.029	1.728bc±0.054	0.669d±0.024					1.000	0.750
	NTC100	8	482c	0.298a±0.025	2.017d±0.113	0.672d±0.030						1.000
成熟期 Maturity	TC0	8	199a	0.369b±0.051	1.742bc±0.072	0.581bc±0.039	1.000	0.778	0.500	0.636	0.400	0.545
	NTC0	8	319b	0.459c±0.058	1.520b±0.067	0.507b±0.028		1.000	0.667	0.800	0.400	0.700
	TC50	7	177a	0.398bc±0.046	1.682b±0.077	0.599cd±0.046			1.000	0.700	0.625	0.778
	NTC50	10	396bc	0.505de±0.062	1.416b±0.035	0.426a±0.036				1.000	0.600	0.900
	TC100	6	786e	0.587e±0.071	1.054a±0.089	0.408a±0.030					1.000	0.667
	NTC100	9	598de	0.481cd±0.053	1.488b±0.082	0.469ab±0.041						1.000

导致了该处理的多样性指数最低。

为进一步了解耕作方式和秸秆覆盖处理对土壤动物的影响,计算了各处理的群落相似性指数(表2)。其中,免耕处理 NTC100, NTC50 和 NTC0 彼此之间有最高的相似性指数,其次是翻耕处理 TC0 与 TC50 和 TC100 之间的相似性指数,免耕和翻耕处理之间的相似性指数相对较小,以 TC50 和 NTC100 之间的相似性指数最小。这表明免耕条件下的处理之间类群相似,翻耕条件下的处理之间类群相似,而在免耕处理与翻耕处理之间,类群存在一定的差异。

2.3 土壤动物变异的影响因素分析

耕作、覆盖、时间和土层对土壤动物密度与多样性指数影响的方差分析见表3。从土壤动物总数来看,秸秆覆盖、时间和土壤层次对土壤动物均有显著影响,且耕作方式与覆盖和土层交互效应显著。耕作方式对弹尾目有显著影响,而对蜱螨目影响不显著,秸秆覆盖则刚好相反,显著影响了蜱螨目,而对弹尾目影响不显著。弹尾目数量对时间非常敏感,而蜱螨

目在不同土壤层次间差异极其显著。土壤动物群落多样性的时间变化显著,土壤动物均匀度主要受土壤层次的显著影响。耕作方式和秸秆覆盖对土壤动物多样性的影响在统计学 0.05 水平上均没有达到显著程度。

多元统计分析方法在复杂问题的分析中有着广泛的应用,生态学研究常常由于类群多、样本量大和影响因素繁多而借助该方法。CANOCO 软件能完成对生态学研究中的大样本量、多类群,影响因素复杂的数据多元分析,并能把大量数据中包含的信息以直观的图例表示出来。本研究采用主成分分析(principal component analysis PCA)和冗余分析(redundancy analysis RDA)分别对土壤动物类群的个体数量的变异及其影响因素进行了分析。主成分分析能通过少数几个主成分变量来反映调查数据中的大部分信息,即最大程度地提取数据中的变异。通过分析得到,第一主成分解释了土壤动物变异的 61.3%,前三个主成分累计贡献率为 87.3%。第一主成分主要反映了土壤动

表 3 耕作、覆盖、时间和土层对土壤动物密度与多样性指数影响的方差分析(F 值)

Table 3 F value of ANOVA on the effect of treatment type, time of sampling, soil layer and interactions between them on density and diversity index of soil fauna

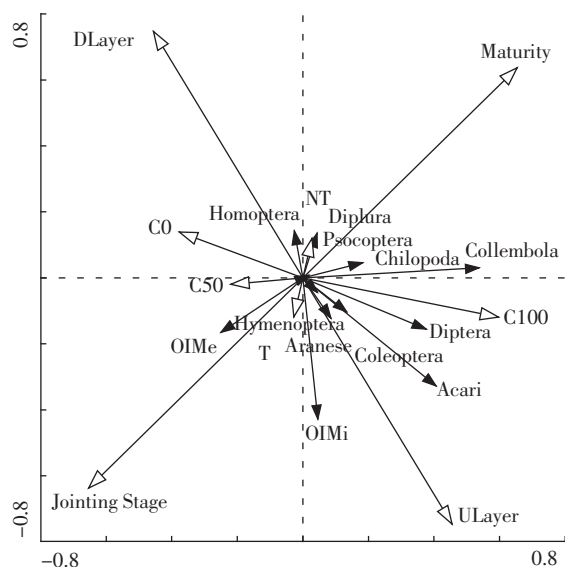
因素 Factor	耕作方式	秸秆覆盖	时间	土层	耕作×覆盖	耕作×土层	覆盖×土层	耕作×覆盖×土层
弹尾目 Collembola	9.312**	0.059	9.721***	4.123*	0.860	0.483	3.557	25.861***
蜱螨目 Acari	0.039	4.842*	0.388	22.013***	2.160	0.735	1.151	0.128
动物总数 Total fauna	0.067	12.599***	19.412***	23.002***	4.631*	5.277*	1.644	0.420
H'	3.640	1.028	10.847**	0.004	2.677	0.045	0.157	1.449
J	0.004	2.988	13.251**	6.550*	2.841	0.048	0.037	1.453

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

物优势类群弹尾目的变化,表现了优势类群与稀有类群之间的差异。第二主成分反映小蚓类、蜘蛛目与同翅目之间的差异,蜚蠊目和第一、二主成分均有较大的相关性,表现了蜚蠊目对环境的适应性范围相对更广。

主成分分析的目的是通过少数变量来反映数据中的大部分变异,而那些少数变量(即主成分)实际上是我们假定存在的变量,而在实际的研究中,通常希望得到既定的环境因素在多大程度上反映了土壤动物群落结构上的变异。通过冗余分析可以得到耕作、覆盖、时间和土层 4 个因素与土壤动物类群之间的关系,并得到它们在多大程度上反映了土壤动物群落结构上的变异(图 1)。图中第一排序轴明显地把秸秆覆盖量区分成两类,反映了秸秆覆盖量引起的土壤动物群落结构的变化,它解释了土壤动物群落变异的 27.3%;第二排序轴主要代表的是耕作方式,它解释了群落结构变异的 1.3%。由图可见,大多类群的个体数量在成熟期和 100% 的秸秆覆盖下有增加的趋势(如弹尾目、双翅目和蜚蠊目),蜚蠊目、小蚓类 and 鞘翅目适宜 0~10 cm 土层,而同翅目倾向于 10~20 cm 下生存。免耕条件下适于弹尾目和双尾目个体数量上的增加,而翻耕增加了小蚓类的数量。

通过冗余分析,并建立协变量,可以把耕作、覆



(Collembola 弹尾目, Acari 蜚蠊目, Coleoptera 鞘翅目, Diptera 双翅目, Diplura 双尾目, Chilopoda 唇足纲, Homoptera 同翅目, Psocoptera 啮虫目, Hymenoptera 膜翅目, Araneae 蜘蛛目, OI Me 小蚓类, OI Mi 大蚓类。)

图 1 耕作、覆盖、时间和土层对土壤动物群落影响的冗余分析(RDA)

Figure 1 Redundancy analysis (RDA) of soil fauna with tillage, straw cover, time and soil layer as factors

盖、时间和土层 4 个因素对土壤动物群落结构变异的解释量进行分解(图 2)。耕作、覆盖、时间和土层对土壤动物群落结构变异的解释量总和为 28.7%,其中时间反映了最大的变异量,为 12.2%,其次是秸秆覆盖处理,为 8.7%,土壤层次排第三,为 6.4%,耕作方式解释的变异量最小,不足 1%,中间的 1.3%是 4 个因素的混合解释部分,不能明确判断是属于哪个因素的贡献。由于时间因素包含了温度、气候等诸多因素的综合,从而获得了最大的土壤动物变异量解释,秸秆覆盖和土壤层次对土壤动物均有显著的影响。耕作方式直接对土壤动物的影响不明显,但对秸秆覆盖的作用形式具有显著影响,并进一步影响了土壤动物的垂直分布状况($P < 0.05$)(表 3)。

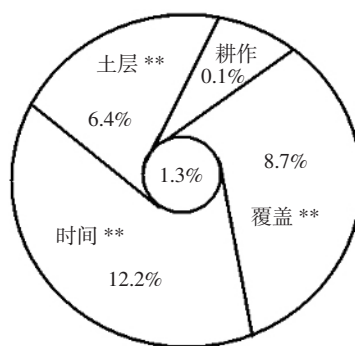


图 2 耕作、覆盖、时间和土层对土壤动物群落变异解释量的分解(** $P < 0.01$)

Figure 2 Partitioning of variance of species composition, explained by the tillage, residual cover, time and soil layer factors

3 讨论与结论

土壤温度和降雨量是土壤动物生存的重要环境要素,在通常情况下,也是造成土壤动物数量变化的主要原因^[13-14]。在本次调查中,小麦成熟期土壤动物数量较拔节期有了显著的增加($P < 0.001$),特别是弹尾目数量增加最大(表 3)。原因是从小麦拔节期到成熟期,平均气温变化为 10~26℃,累计降水量为 150 mm,而在这一温度范围内,土壤动物数量将随着温度升高而增加^[15]。保护性耕作主要是以免耕播种技术和秸秆覆盖为手段,免耕通常有复杂而稳定的生境系统^[2],有利于提高土壤动物类群多样性(表 2),而秸秆覆盖为土壤动物提供丰富的可利用资源,提高了土壤动物数量增长的空间。从多样性指数 D' 、 H' 和 J 来看,在成熟期,土壤动物优势度明显高于拔节期,原因是温度和水分适合条件下,弹尾目和蜚蠊目能得到迅速的增

加,这从另一个角度反映了优势类群明显对常见或稀有类群生长具有限制作用,而对于弹尾目和蛴螬目的掠食者的增加在本次调查中未表现。免耕条件下由于土壤有更高的含水量^[16],在拔节期土壤动物多样性也高于翻耕处理,而在成熟期,TC0处理有最大的多样性指数,原因是翻耕增加土壤大空隙,有利于土壤小型节肢动物的生长^[17]。另一方面,无秸秆覆盖条件下,优势类群增长相对不明显,类群分布均匀度较高,从而导致土壤动物多样性增加。覆盖作用及其适合的空隙条件,使TC100处理下弹尾目和蛴螬目优势度非常明显,同时也限制了其他类群的生长,导致其多样性指数最小。

免耕增加土壤表面植物残体并改善了土壤的层化现象,而耕作使有机质与土壤混合,改变了有机质的分布状况^[6],结果导致了在不同耕作方式下土壤生物的垂直分布差异(表3)。从图1可见,多数土壤动物趋于表层分布(0~10 cm),在拔节期和成熟期,表层土壤动物数量分别占总数的74.12%和73.21%,这和多数研究者得到的结果类似^[18]。耕作方式直接对土壤动物变异的解释能力较小(图2),但其显著影响了秸秆覆盖的作用形式,并改变了土壤动物的层次分布状况(表3),从而间接地对土壤动物起着重要的影响作用。耕作或对土壤的干扰及其土壤有机质的位置改变一般均对弹尾目的群体结构和活动行为有显著的影响,减少耕作有利于弹尾目数量的增长(图1)^[18-20],因为免耕或少耕有利于土壤真菌的生存,虽然弹尾目的食性是杂食性,但其主要食物是真菌,并具有一定的真菌种类选择性^[21]。秸秆覆盖显著提高土壤动物数量,特别是弹尾目、双翅目和蛴螬目增长显著(图1),林英华等^[23]也认为,增施秸秆或有机肥有利于土壤动物数量上的增加。

总之,在小麦成熟期,相对更合适的温度和水分条件增长了土壤动物数量^[15]。免耕对土壤动物多样性的提高主要表现在小麦拔节期,而成熟期,秸秆覆盖作用表现明显,土壤动物特别是弹尾目、双翅目和蛴螬目数量增长显著。耕作一方面在短期内对土壤动物有一定的干扰作用,但同时增加的土壤空隙条件对土壤动物的移动和取食是有利的,另一方面,由于耕作改变秸秆的位置,对土壤动物垂直分布有着重要的影响。秸秆覆盖为土壤动物提供丰富的资源,其分解过程常常表现与土壤动物有密切的相关性^[24],同时,覆盖作用对土壤物理和化学特性的改善,也是间接影响土壤动物变异的重要因素。

参考文献:

- [1] Stinner B R, House G J. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture[J]. *Annual Review of Entomology*, 1990, 35: 299-318.
- [2] 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: 641-654.
- [3] Adl S M, Coleman D C, Read F. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management agriculture[J]. *Ecosystems and Environment*, 2006, 114: 323-334.
- [4] 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: 34-42.
- [5] Coleman D C, Fu S, Hendrix P F, et al. Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38: 21-28.
- [6] Wander M M, Bidart M G, Aref S. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three illinois soils[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 162: 1704-1711.
- [7] Frey S D, Elliott E T, Paustian K. Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31: 573-585.
- [8] Fu S, Coleman D C, Hendrix P F, et al. Responses of trophic groups of soil nematodes to residue application under conventional tillage and no-till regimes[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000a, 32: 1731-1741.
- [9] Fu S, Cabrera M L, Coleman D C, et al. Soil carbon dynamics of conventional tillage and no-till agroecosystems at Georgia Piedmont—HSB-C models[J]. *Ecological Modelling*, 2000b, 131: 229-248.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Lapš J, Šmilauer P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO[M]. United Kingdom: Cambridge University Press, 2003.
- [13] 王宗英,朱永恒,路有成. 九华山土壤跳虫的生态分布[J]. *生态学报*, 2001, 21(7): 1142-1147. WANG Zong-ying, ZHU Yong-Heng, LU You-cheng, et al. The ecological distribution of soil Collembola in Jiuhua Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1142-1147.
- [14] Killham K. Soil ecology[M]. London: Cambridge University Press, 1994: 242.
- [15] 勾影波,苏永春. 土壤温度和含水量对螨类和弹尾类动物数量的影响[J]. *常熟理工学院学报(自然科学版)*, 2007, 21(2): 57-62. GOU Ying-bo, SU Yong-chun. Effects of temperature and water content in soil on the quantity of Acari and Collembola[J]. *Journal of Changshu Institute of Technology(Natural Sciences)*, 2007, 21(2): 57-62.
- [16] Spedding T A, Hamel C, Mehuijs G R, et al. Soil microbial dynamics in

maize-growing soil under different tillage and residue management systems[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36:499-512.

[17] Larsen T, Schjnnning P, Axelsen J. The impact of soil compaction on euedaphic Collembola[J]. *Appl Soil Ecol*, 2004, 26:273-281.

[18] Miura F, Nakamotou 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.

[19] Brennana A, Fortuneb T, Bolgera T. Collembola abundances and assemblage structures in conventionally tilled and conservation tillage arable systems[J]. *Pedobiologia*, 2006, 50:135-145.

[20] Alvarez T, Frampton G K, Goulson D. Epigeic Collembola in winter wheat under organic, integrated and conventional farm management regimes agriculture[J]. *Ecosystems & Environment*, 2001, 83:95-110.

[21] Fox C A, Fonseca E J A, Miller J, et al. The influence of row position and selected soil attributes on Acarina and Collembola in no-till and conventional continuous corn on a clay loam soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13:1-8.

[22] Coleman D C, Crossley Jr, D A. Fundamentals of soil ecology[M]. San Diego, USA: Academic Press, 1996.

[23] 林英华, 杨学云, 张夫道, 等. 长期施肥对黄土区农田土壤动物群落的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6):1213-1218.

LIN Ying-hua, YANG Xue-yun, ZHANG Fu-dao, et al. Effect of long-term fertilization on cropland soil fauna community in loess soil, Shanxi, China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6):1213-1218.

[24] Cookson W R, Beare M H, Wilson P E. Effects of prior crop residue management on microbial properties and crop residue decomposition[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 7:179-188.

.....

更正

本刊 2009 年第 6 期《干旱荒漠区污水灌溉山地园林土壤养分的空间变异特征》一文中第 1167 页,表 3 数值单位有误,正确如下。

表 3 土壤养分的理论模型和相应参数
Table 3 The theoretical models of soil nutrients and corresponding parameters

土壤养分	理论模型	块金值 C_0	基台值 $sill$	变程 a/m	(块金值/基台值)/%	RSS	R^2
全 N	S	0.000 1	0.148 2	99.4	0.07	4.86E-3	0.861
全 P	S	0.000 28	0.002 42	116.7	11.5	5.76E-7	0.873
全 K	G	0.100	2.609	115.7	3.83	1.71	0.835
速效 N	S	73.0	455.0	110.8	16.04	22 717	0.654
速效 P	E	0.231	0.174 2	78.6	13.26	8.81E-4	0.883
速效 K	G	0.001	0.060 5	19.1	1.65	1.12E-3	0.561

注:G-高斯模型,E-指数模型,S-球状模型。

特此更正。

《农业环境科学学报》编辑部