

DOI: 10.5846/stxb201509011809

牟文雅, 贾艺凡, 陈小云, 刘满强, 周可新, 李俊生, 陈法军. 玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响. 生态学报, 2017, 37(3):

Mou W Y, Jia Y F, Chen X Y, Liu M Q, Zhou K X, Li J S, Chen F J. Effects of corn stover cultivation on the population dynamics and genus composition of soil nematode community. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3):

玉米秸秆还田对土壤线虫数量动态与群落结构的影响

牟文雅¹, 贾艺凡¹, 陈小云², 刘满强², 周可新³, 李俊生⁴, 陈法军^{1,*}

1 南京农业大学植物保护学院昆虫系, 南京 210095

2 南京农业大学资源与环境学院土壤生态实验室, 南京 210095

3 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

4 中国环境科学研究院, 北京 100012

摘要:通过大田玉米秸秆还田试验研究了其对农田土壤线虫数量动态、属的种类及群落结构等的影响。结果表明:2013—2014 连续 2 a 试验期间, 鑫玉 35 玉米秸秆还田 (CR) 与不还田对照处理 (CK) 共鉴定到土壤线虫 36 个属 (CR 36 个属; CK 30 个属); 其中, 植食性线虫 12 个属 (CR 12 属; CK 10 属), 食细菌线虫 15 个属 (CR 15 属; CK 14 属), 食真菌线虫 5 个属 (CR 5 属; CK 4 属), 捕/杂食性线虫 4 个属 (CR 4 属; CK 2 属)。秸秆还田处理与不还田处理相比, 植食线虫和食真菌线虫的相对丰度降低, 而食细菌线虫和杂/捕食线虫的相对丰度提高, 且食细菌线虫的相对丰度显著提高高达 42.95%。此外, 秸秆还田处理土壤线虫总数高于不还田对照处理, 但差异不显著; 而秸秆还田处理可显著增加食细菌线虫数量, 增幅高达 16.3%—125.6%。与不还田处理对照相比, 秸秆还田处理可显著提高土壤线虫群落多样性指数 (H')、属类丰富度 (S) 和线虫通路指数 (NCR), 但对群落均匀度 (J)、瓦斯乐斯卡指数 (WI) 和总成熟指数 (ΣMI) 的影响不显著。可见, 玉米秸秆还田具有重要的生态学意义, 可在一定程度上增加土壤线虫数量和种类多样性, 进而使土壤生态系统向稳定健康的方向发展。

关键词:秸秆还田; 土壤线虫; 营养类群; 数量动态; 群落结构

Effects of corn stover cultivation on the population dynamics and genus composition of soil nematode community

MOU Wenya¹, JIA Yifan¹, CHEN Xiaoyun², LIU Manqing², ZHOU Kexin³, LI Junsheng⁴, CHEN Fajun^{1,*}

1 Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Soil Ecology Lab, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

3 Nanjing Institute of Environmental Sciences, State Environmental Protection Administration, Nanjing 210042, China

4 Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Abstract: In this study, the impact of corn stover cultivation, (i.e., CR) in contrast with not cultivating core stover (i.e., CK), on the population dynamics, genera, and structure of the soil nematodes community was examined in the field. The results indicated that a total of 36 genera of nematodes were found and identified for the two treatments of corn-straw-return/non-return cultivation (CR: 36; CK: 30) during the eight sampling dates between 2013—2014, including 12 genera of plant-parasites (CR: 12; CK: 10), 15 genera of bacterivores (CR: 15; CK: 14), 5 genera of fungivores (CR: 5; CK: 4), and 4 genera of omnivores-predators (CR: 4; CK: 2). Compared with not cultivating core stover, corn stover cultivation decreased the percentage of plant-parasites and fungivores, while noticeably enhanced the percentage of

基金项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项 (2014ZX08012-005, 2013ZX08012-005)

收稿日期: 2015-09-01; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

bacterivores and omnivores/predators. A significant increase in the percentage of bacterivores (about 42.95%) was recorded for the corn stover cultivation, than that with not cultivating core stover. Moreover, the total number of nematodes was higher in the corn stover cultivation field than that in the not cultivating core stover field, while no significant difference was found between the two treatments. Additionally, significant increases in bacterivore abundance (16.3%—125.6%) was found for the corn stover cultivation treatment relative to that in the corn stover cultivation. Furthermore, the corn-straw-return cultivation demonstrated significantly enhanced Shannon-Wiener index (H'), Richness index (S), and Nematode Channel Ratio (NCR), but did not markedly affect the Evenness index (J), the Wasilewska index (WI), and the Total Maturity index (ΣMI), when compared to those of not cultivating core stover. In conclusion, corn stover cultivation has important ecological impacts on the agroecosystem, and it can enhance the abundance and genera diversity of soil nematodes, thereby creating a stable and healthy soil ecosystem.

Key Words: corn stover cultivation; soil nematode; trophic groups; abundance dynamics; community structure

秸秆中含有大量有机质和植物生长所必需的氮、磷、钾及其他微量元素,是一种生物质资源。大量试验表明,秸秆还田会对土壤产生多种作用:能改善土壤物理性状,降低土壤容重,增加孔隙,促进土壤呼吸,特别是在温度水分较高的时段表现更为明显^[1];能增加土壤微生物数量,增强生物和多数酶的活性;增加土壤有机质积累和养分含量;能改变土壤腐殖质组成及特性;影响作物生长发育,促进作物产量提高;其中,秸秆覆盖还田还具有蓄水保墒,调节地温和保持水土,抑制田间杂草等功能,总之,有效的秸秆还田对维持农田肥力,减少化肥使用,提高陆地土壤碳汇能力,促进土壤氮循环^[2-4],减少或避免因燃烧等造成的环境污染,进行农业良性循环生产,具有重要的生态学意义^[5-6]。

土壤线虫是地球上数量丰富的后生动物之一,广泛存在于各种生境中,在维持土壤生态系统稳定、促进物质循环和能量流动等方面发挥着重要作用^[7]。同时,线虫具有生存及适应能力强、营养类群多样、对环境变化敏感,生活周期较短,提取与鉴定简单等优点,因此,线虫常被作为监测农业管理措施干扰和评价土壤环境质量的重要指示生物^[8-10]。前人的试验表明,秸秆等有机肥的施用能够增加土壤有益线虫的数量,降低土壤植食性线虫的数量^[10-13]。

不同地域的土壤生态环境不一,进而使得秸秆还田试验对土壤线虫群落的影响存在差异。为进一步明确大田自然条件下玉米秸秆还田与土壤线虫数量与属类多样性等之间的关系,本研究以华北地区玉米主栽品种蠡玉 35 为试验材料,在大田自然条件下于 2013 和 2014 连续 2 a 开展了玉米秸秆还田与不还田试验。本研究的开展有助于明确秸秆还田等农事操作对土壤生物群落多样性等的影响,及其对土壤生态系统稳定性的作用。最终,为科学评价玉米秸秆还田的生态效应和农业良性循环型生产提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 大田试验地概况

试验在山东省德州市宁津县气候变化与生物多样性和控害减排(联合)创新实验基地(37°64' N, 116°8' E; <http://www.ccbpm.org>)进行。该区域海拔 16.5 m,年均温 12.9 °C,年均降水量 500—800 mm,属于温带大陆性气候。年平均日照时数 2724.8 h,年平均日照百分率 61%,年辐射总量 126.5 kJ/cm²。土壤类型为蒙淤砂白土,属于潮砂土,耕作层(0—20 cm)土壤 pH 8.32。

供试玉米为华北地区主栽品种之一的蠡玉 35,该品种为中熟品系,夏播生育期 100 d 左右。试验自 2012 年玉米收获后开始,试验小区规格为 8 m×10 m,各小区之间间隔 3 m,试验设置 2 个处理,每个处理 3 次重复,田间试验采用随机区组设计。还田处理中,分别于 2012 和 2013 年收获后连续 2 a 玉米秸秆全量粉碎还田;而对照不还田处理中玉米秸秆于收获后全部清理出大田。结合整地将玉米秸秆粉碎后全部覆盖地表,浅耕翻埋入土,直到下一次种植夏玉米时灌溉整地,期间不种植任何作物。在 2012 和 2013 年每年的 6 月 24 日采用机

械直播,10月7日收获,期间进行常规田间水肥管理。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品的采集

分别于2013和2014年的6月23日(玉米播种前)、7月24日(拔节期)、8月24日(吐雄扬花期)和9月24日(乳熟期)每年进行4次土壤样品采集。在每个试验小区内,采用S形采样法,每个小区随机选取3—6个取样点,用200 cm³标准土钻在玉米植株间靠近植株5 cm处钻取0—20 cm耕土层,土样混合放入自封袋,一部分土样带回室内掰碎大的土块剔除土壤根系及有机残体后用以分离和鉴定土壤线虫;另一部分土壤样品置于室外,自然风干,然后过20目和100目筛,用于土壤理化指标的测定(土壤理化性质的测定参照文献^[14])。

1.2.2 线虫的分离与鉴定

土壤线虫分离采用Baermann浅盘法^[15],置于室温条件下分离;48 h后用500目(孔径25 μm)的筛网收集线虫,并用4%的甲醛保存,分离所得的线虫在体视显微镜下计数。并且根据土壤的含水量,将土壤线虫数量换算成每100 g干土中线虫的数量,然后每个样本随机取100条线虫,参考《中国土壤动物图鉴》^[16]进行科属种的鉴定。根据形态特征将线虫划分为植食线虫(*Plant-parasites*)、食细菌线虫(*Bacterivores*)、食真菌(*Fungivores*)和捕/杂食线虫(*Omnivores-predators*)等4个营养类群,并根据线虫的食性和生活策略(r-策略和k-策略)对线虫划分为1—5的c-p值^[17]。

1.3 线虫生态指标

线虫总数以每100 g干土中线虫总数表示。线虫数量多度划分标准为:个体数占线虫总数的百分比>10%为优势属,1%—10%为常见属,<1%为稀有属^[18]。营养类群的“相对丰度”分别为植食者(*Plant-parasites*)、食细菌者(*Bacterivores*)、食真菌者(*Fungivores*)、捕/杂食者(*Omnivores-predators*)占线虫总数的百分比。

其他测定的群落指标和生态功能指标如下:

(1) Shannon-Wiener多样性指数(H')计算式: $H' = -\sum P_i \ln P_i$;式中, P_i 为第*i*个分类单元中个体占线虫总数比例。

(2) 丰富度为*S*,土壤线虫属的丰富度指土壤线虫的属数。

(3) 均匀度指数(Evenness)为 $J = H' / \ln S$;其中, H' 为Shannon-Wiener多样性指数, S 为线虫分类单元数。

(4) 线虫通道指数(Nematode Channel Ratio, *NCR*)为食细菌线虫与食细菌线虫和食真菌线虫数量之比,即 $NCR = B / (B + F)$;其中, B 和 F 分别代表食细菌和食真菌的线虫数量。线虫通路指数(*NCR*)^[19]是根据线虫营养类群划分和提出的,以此评价土壤食物网和土壤生态系统能流途径的指数。

(5) 总成熟度指数($\sum MI$)的计算式为 $\sum MI = \sum v_i f_i$;式中, v_i 为依据自由生活和植物寄生类型线虫在生态演替中不同生活史对策分别赋予的c-p值, f_i 为某一科/属(*i*)在线虫总数中所占比重^[20]。

(6) 瓦斯乐斯卡指数(*WI*)为 $WI = (B + F) / PP$;其中, PP 代表指食线虫数量。

1.4 数据分析

试验数据的统计分析采用SPSS 20.0进行。2013和2014年的6月23日、7月24日、8月24日和9月24日共计2 a的8次调查取样的动态数据采用重复测量方差分析(Repeated-measured ANOVA)来检验连续2 a玉米生长季节秸秆还田处理对土壤线虫数量和群落科属组成等的影响。此外,秸秆还田处理对2013—2014连续2 a的8次取样累计所得的土壤线虫属类的百分比组成的影响采用单因子方差分析(One-way ANOVA)。玉米秸秆还田与不还田处理测定的土壤线虫指标间的差异显著性采用LSD法检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

从表1可以看出,与对照不还田处理相比,玉米秸秆还田土壤的全磷($F = 11.692$, $P = 0.027$)和速效钾

($F=964.659$, $P<0.01$)含量升高,差异显著,而碱解氮、速效磷和有机质含量有增加的趋势,但差异不显著;此外,土壤总氮含量无明显差异。

表 1 不同处理的土壤理化性质

Table 1 Physicochemical properties of the soils in different treatments

处理 Treatments	有机质 Organic matter/ (g/kg)	全磷 Total P/ (mg/kg)	全氮 Total N/ (g/kg)	速效磷 Available P/ (mg/kg)	碱解氮 Available N/ (mg/kg)	速效钾 Available K/ (mg/kg)
CK	11.99±0.25a	92.14±1.75a	0.76±0.04a	11.95±1.89a	129.39±5.7a	89.82±0.34a
CR	13.15±0.79a	100.19±1.57b	0.72±0.05a	17.03±1.91a	135.39±6.1a	118.3±0.41b

CR: 蠡玉 35 玉米秸秆还田 corn stover cultivation; CK: 不还田对照处理 not cultivating core stover

2.2 土壤线虫群落组成

2013—2014 连续 2 a 的 8 次调查共鉴定到 37 属线虫(表 2)。其中,秸秆还田处理和还不还田对照处理分别鉴定到植食性线虫 13 和 10 属,食细菌线虫 15 和 14 属,食真菌线虫 5 和 4 属,捕/杂食性线虫 4 和 2 属;短体属 *Pratylenchus* 和头叶属 *Cephalobus* 是秸秆还田处理和还不还田对照处理的优势属,比例分别高达 25.98% 和 19.47%。秸秆还田处理田中:稀有属有潜根属 *Helicotylenchus*、针属 *Paratylenchus*、裸矛属 *Psilenchus*、丽突属 *Acrobeles*、无咽属 *Alaimus*、哈利头叶属 *Halicephalobus*、盆咽属 *Panagrolaimus*、棱咽属 *Prismatolaimus*、绕线属 *Plectus*、垫咽属 *Tylencholaimus*、原杆属 *Protorhabditis*、细齿属 *Leptonchus*、垫咽属 *Tylencholaimus*、真矛线属 *Eudorylaimus*、三等齿属 *Pelodera*、前矛线属 *Prodorylaimus* 等。不还田对照处理田中:稀有属有螺旋属 *Helicotylenchus*、伪垫刃属 *Nothotylenchus*、垫刃属 *Tylenchus*、短体长针属 *Longidorella*、裸矛属 *Psilenchus*、拟丽突属 *Acrobeloides*、钩唇属 *Diploscapter*、丽突属 *Acrobeles*、无咽属 *Alaimus*、盆咽属 *Panagrolaimus*、棱咽属 *Prismatolaimus*、绕线属 *Plectus*、垫咽属 *Tylencholaimus*、原杆属 *Protorhabditis*、小杆属 *Rhabditis*、中杆属 *Mesorhabditis*、真矛线属 *Eudorylaimus* 等。此外,秸秆还田处理的畸头叶属 *Mesorhabditis*、小杆属 *Rhabditis*、钩唇属 *Diploscapter*、垫刃属 *Tylenchus*、畸头叶属 *Mesorhabditis*、中杆属 *Mesorhabditis*、拟丽突属 *Acrobeloides*、螺旋属 *Helicotylenchus*、伪垫刃 *Nothotylenchus* 数量比不还田处理的高;潜根属 *Helicotylenchus*、哈利头叶属 *Halicephalobus*、细齿属 *Leptonchus*、三等齿属 *Pelodera*、前矛线属 *Prodorylaimus* 等只出现在秸秆还田处理田中,说明秸秆还田有利于增加土壤线虫属的丰度。

表 2 玉米秸秆还田与不还田处理处理大田土壤线虫属类组成(%)

Table 2 Genus composition of soil nematodes in the crop fields of corn-straw return and nonreturn cultivation

类群(属类) Group (Genus)	c-p 值 c-p value	不还田处理 Corn-straw-nonreturn cultivation	秸秆还田处理 Corn-straw-return cultivation
植食线虫(Plant-parasites)		56.47±0.39	39.68±1.52
散香属 <i>Beleodorus</i>	2	*** 11.91±0.69	** 8.89±0.23
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	2	** 5.83±0.26	** 6.75±0.35
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	3	** 1.27±0.26	** 1.19±0.13
潜根属 <i>Hieschmanniella</i>	3	/	* 0.04±0.04
短体长针属 <i>Longidorella</i>	5	* 0.04±0.04	/
剑尾垫刃 <i>Malenchus</i>	2	/	0.01±0.01
伪垫刃属 <i>Nothotylenchus</i>	2	* 0.46±0.37	* 0.78±0.46
针属 <i>Paratylenchus</i>	2	/	* 0.27±0.09
短体属 <i>Pratylenchus</i>	3	*** 23.26±1.17	*** 12.41±1.69
裸矛属 <i>Psilenchus</i>	2	* 0.41±0.02	* 0.14±0.07
盘旋属 <i>Rotylenchus</i>	3	** 7.70±1.32	** 3.67±0.56
矮化属 <i>Tylenchorhynchus</i>	2	** 4.74±0.40	** 4.14±0.59
垫刃属 <i>Tylenchus</i>	2	* 0.85±0.10	** 1.09±0.12

续表

类群(属类) Group (Genus)	c-p 值 c-p value	不还田处理 Corn-straw-nonreturn cultivation	秸秆还田处理 Corn-straw-return cultivation
食细菌线虫(Bacterivores)		23.79±0.58 b	41.70±1.19 a
丽突属 <i>Acrobeles</i>	2	* 0.30±0.10	* 0.94±0.10
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	2	* 0.86±0.17	** 1.53±0.13
无咽属 <i>Alaimus</i>	4	* 0.48±0.13	** 1.51±0.75
头叶属 <i>Cephalobus</i>	2	*** 12.84±0.44	*** 20.13±1.01
板唇属 <i>Chiloplacus</i>	2	** 3.93±0.25	** 4.82±0.19
钩唇属 <i>Diploscapter</i>	1	* 0.30±0.11	** 2.28±0.42
真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	2	** 2.62±0.27	** 4.32±0.39
哈利头叶属 <i>Halicephalobus</i>	2	/	* 0.01±0.01
中杆属 <i>Mesorhabditis</i>	1	* 0.51±0.09	** 1.08±0.26
畸头叶属 <i>Metateratocephalus</i>	3	* 0.13±0.09	** 1.36±0.23
盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	1	* 0.14±0.06	* 0.59±0.23
绕线属 <i>Plectus</i>	2	* 0.03±0.03	* 0.04±0.03
棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	3	* 0.79±0.36	* 0.20±0.11
原杆属 <i>Protorhabditis</i>	1	* 0.43±0.22	* 0.65±0.11
小杆属 <i>Rhabditis</i>	1	* 0.44±0.25	** 2.03±0.25
食真菌线虫(Fungivores)		17.07±0.69	14.83±0.84
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	2	** 6.05±0.36	** 7.00±0.73
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	2	** 8.42±0.83	** 6.13±0.20
细齿属 <i>Leptonchus</i>	4	/	* 0.04±0.03
长尾滑刃 <i>Seinura</i>	2	** 1.73±0.39	** 1.71±0.58
垫咽属 <i>Tylencholaimus</i>	4	* 0.86±0.19	* 0.32±0.03
捕杂食线虫(Omnivores-predators)		2.67±0.18	3.79±0.45
孔咽属 <i>Aporcelaimus</i>	5	** 2.24±0.22	** 3.55±0.38
真矛线属 <i>Eudorylaimus</i>	4	* 0.43±0.09	* 0.27±0.09
三等齿属 <i>Pelodera</i>	3	/	* 0.03±0.02
前矛线 <i>Prodorylaimus</i>	4	/	* 0.07±0.04

*** 表示丰度>10%, 为优势属;** 表示丰度为 1%和 - 10%之间, 为常见属;* 表示丰度<1%, 为稀有属; 不同小写字母表示秸秆还田处理与不还田处理食细菌线虫百分比组成差异显著(LSD 检验: $P<0.05$)

2.3 土壤线虫各营养类群数量与相对丰度动态

通过 2013—2014 年连续 2a 的 8 次调查结果表明, 秸秆还田处理对土壤线虫数量动态的影响不显著(图 1)。其中, 玉米秸秆还田处理土壤植食线虫数量低于对照不还田处理($F=0.432$, $P=0.547$; 图 1A), 而食细菌线虫($F=5.996$, $P=0.071$; 图 1B) 和土壤线虫总数(图 1E) 高于不还田处理, 但差异均未达到显著水平(LSD 检验: $P>0.05$)。此外, 玉米秸秆还田处理与对照不还田处理之间, 食真菌线虫($F=0.019$, $P=0.0897$; 图 1C) 和捕/杂食线虫($F=0.621$, $P=0.475$; 图 1D) 的数量差异不明显。

由图 2 可得, 秸秆还田处理可显著影响土壤食细菌线虫的相对丰度($F=13.553$, $P=0.021$; 图 2B), 但对其他三类营养类群的相对丰度影响不显著(图 2A, C 和 D)。与对照不还田处理相比, 秸秆还田处理土壤植食类线虫的相对丰度低达 0.78%—45.74%($F=4.634$, $P=0.098$; 图 2A), 而食细菌线虫的相对丰度显著升高达 16.33%—125.58%($F=13.553$, $P=0.021$; 图 2B)。此外, 秸秆还田处理和对照处理间, 食真菌线虫(图 2C) 和捕/杂食线虫(图 2D) 的相对丰度差异不明显(LSD 检验: $P>0.05$)。

2.4 土壤线虫群落结构评价

与对照不还田处理相比, 秸秆还田可显著提高土壤线虫属的丰富度(S; 26.53%—87.5%; $F=40.835$, $P=0.003$; 图 3A) 和群落多样性(H' ; 5.21%—37.68%; $F=11.184$, $P=0.029$; 图 3B) 和线虫通道指数达(NCR;

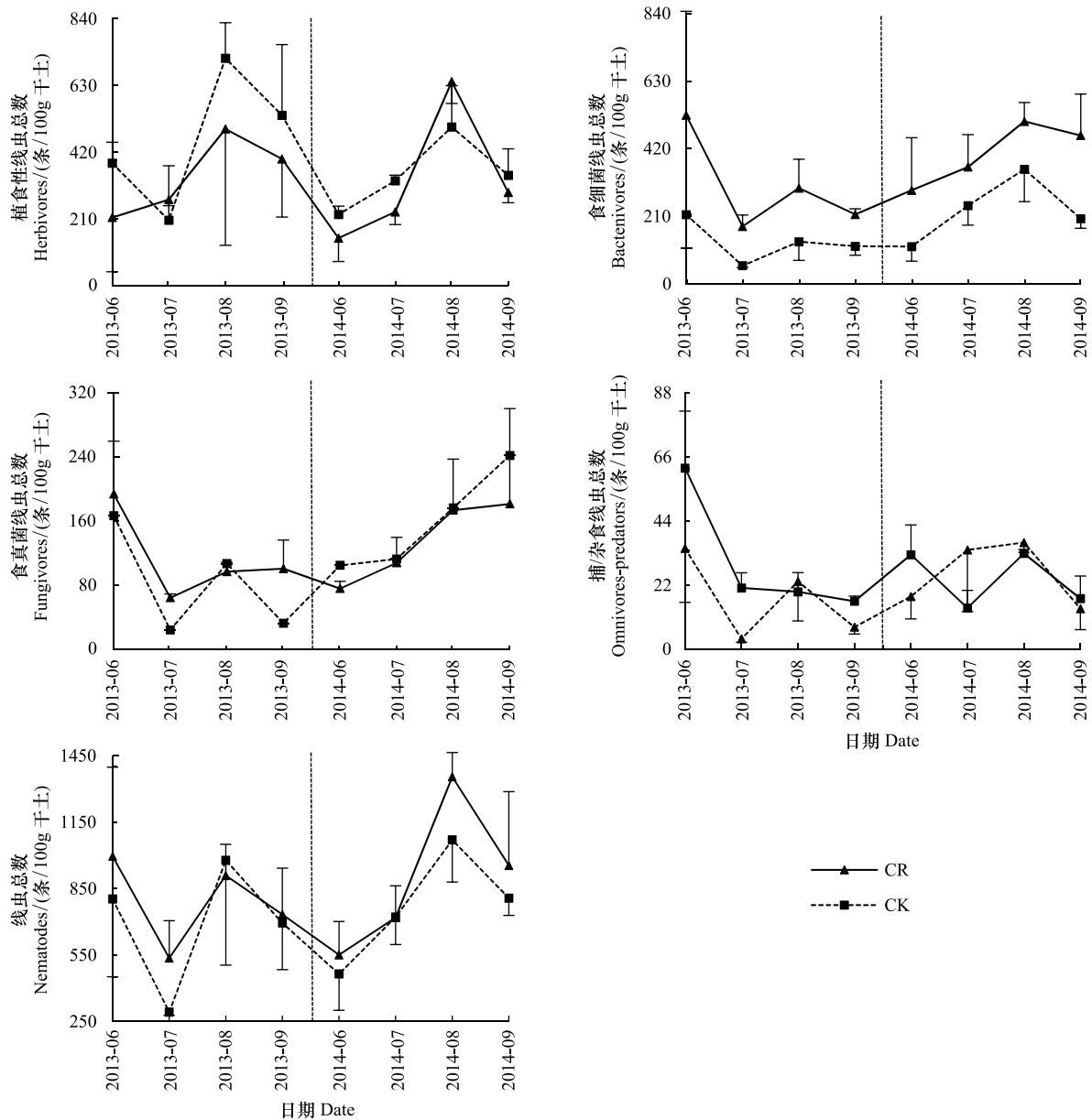


图 1 玉米秸秆还田处理和不还田对照处理大田土壤植食性线虫 (A)、食细菌线虫 (B)、食真菌线虫 (C)、捕/杂食线虫 (D) 和土壤总线虫 (E) 数量动态

Fig.1 The abundance dynamics of plant-parasites (A), bacterivores (B), fungivores (C), omnivores-predators (D) and total nematodes (E) in field soil cropped with and without corn-straw-return cultivations

不同小写字母表示经 LSD 检验处理间土壤线虫数量动态差异显著, $P < 0.05$

0%—68.25%; $F = 16.787$, $P = 0.015$; 图 3C)。此外,与对照不还田处理相比,秸秆还田对群落均匀度 (J ; $F = 0.818$, $P = 0.417$; 图 3D)、总成熟指数 ($\sum MI$; $F = 6.358$, $P = 0.065$; 图 3E) 和瓦斯乐斯卡指数 (WI ; $F = 5.027$, $P = 0.088$; 图 3F) 有影响但不显著。随着秸秆还田时间的延长土壤线虫的群落均匀度 (J) 变化不大,总成熟指数 ($\sum MI$) 在秸秆还田中总体低于不还田对照处理,瓦斯乐斯卡指数 (WI) 普遍高于不还田对照处理 (图 3D, E, F)。

3 讨论

在本次实验 2 个处理中共鉴定出线虫 37 个属,在两年 8 次取土中,土壤线虫的数量均在 292 条 100g^{-1} 干

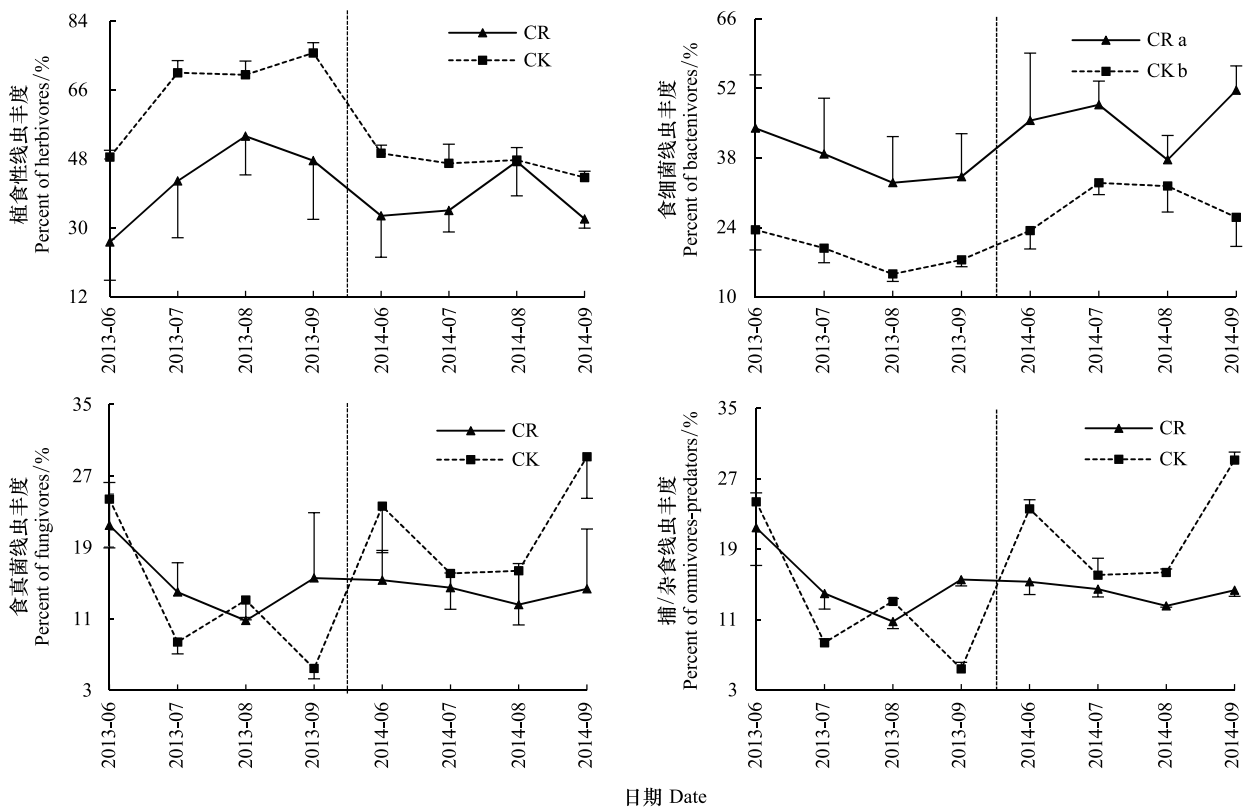


图2 玉米秸秆还田和不还田对照处理大田土壤植食性线虫(A)、食细菌线虫(B)、食真菌线虫(C)、捕/杂食线虫(D)四个营养类群的相对丰度变化动态

Fig.2 Percentage-composition dynamics of the four trophic groups of soil nematodes, plant-parasites (A), bacterivores (B), fungivores (C), omnivores-predators (D) in the fields cropped with and without corn-straw-return cultivations

土以上,最高达到 $1354 \text{ 条 } 100\text{g}^{-1}$ 干土,且在2个处理中均已常见线虫占主体,其次是稀有线虫属,优势线虫属最少。

试验的各处理间线虫的数量没有明显差异,但秸秆还田的数量高于不还田的数量,原因可能是秸秆的施入,使土壤中有更丰富的营养物质和食物来源,刺激 r-策略者的大量繁殖^[21-24],这与前人的研究结果相一致^[12,25]。

线虫营养类群方面,两年的数据表明在线虫的营养类群组成中植食性线虫和食细菌线虫占主体,但秸秆还田后食细菌线虫的数量明显增加,植食性线虫数量减少,说明秸秆还田能够增加食细菌线虫的数量,降低植食类线虫数量。此研究结果与 Nahar 等^[12]、刘艳军等^[26]和叶成龙等^[27]的研究结果相一致。这可能是由于秸秆还田改善了土壤中的养分状况,增加了土壤微生物的数量,从而使食细菌线虫的数量增加^[27], DuPont 等^[28]的研究结果也表明有机农业系统的优势线虫类群为食细菌线虫,土壤线虫群落的营养类群分析可以有效反映土壤食物网营养级关系及能流途径^[9]。本研究发现,与不还田对照处理相比,秸秆还田中的食细菌线虫的比例的提高,在一定程度上降低了植食线虫比例,说明有效的秸秆还田能为土壤中的微生物提供丰富的碳源,刺激微生物活性,改善农田生产环境。

研究表明,有机肥能增加土壤食真菌性线虫的数量和捕/杂食线虫的数量^[8],本实验中两年数据显示,秸秆还田处理的食真菌线虫的丰度变化不明显,这与前人结论不同,这可能是由于施用秸秆后其分解途径主要是细菌途径,植物在不同生长阶对微生物及其食微动物提供数量不同的基质,从而影响了食微动物的数量结构^[29-30],增加细菌数量和比例^[31],细菌能够快速利用活性有机质,促进食细菌线虫和原生动物的数量增殖^[32],而真菌者生长缓慢,需要分配更多的能量来利用有机质,与之相关的食真菌土壤动物对其生物量和活

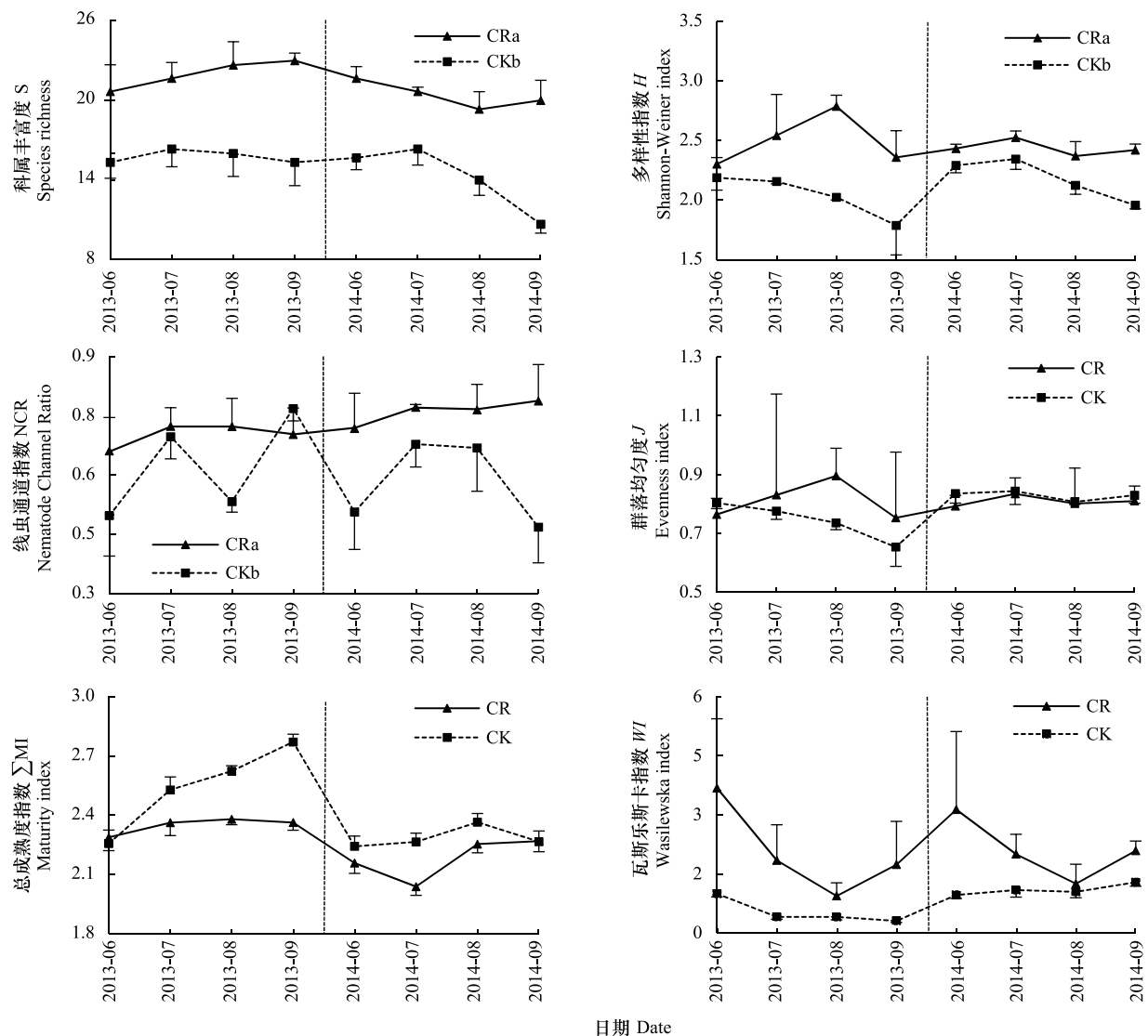


图3 玉米秸秆还田和不还田对照处理大田土壤线虫群落生态指数动态

Fig.3 Ecological- index dynamics of the soil nematode communities in fields cropped with and without corn-straw-return cultivations

A: 属类丰富度 S; B: 群落多样性 H' ; C: 线虫通道指数 NCR; D: 群落均匀性 R; E: 总成熟度指数 ΣMI ; F: 瓦斯乐斯卡指数 WI

性影响相对较小,所以食细菌类线虫的丰度变化比较明显,而食真菌类线虫的丰度变化不明显;秸秆还田能够提高捕/杂食线虫的丰度,这主要原因是秸秆的施用增加了其食物来源^[33]。

从土壤理化性质结果来看,玉米秸秆还田对土壤磷、钾含量的影响较为显著。与其它大量营养元素相比,土壤磷的含量相对较低,赵秀兰等^[34]在潮棕壤和草甸土上进行的定位试验发现玉米根茬还田后,潮棕壤各施肥处理有效磷提高 135.7 至 178.6,提高幅度之大为诸项养分物质之首,土壤磷的吸附与解吸、沉淀与溶解是土壤磷转化的重要化学过程,施用有机肥料能提高磷有效性的机理,多数学者认为是有机肥影响土壤磷的吸附和解吸特性而起作用的。

农作物秸秆中一般含有数量较多的钾素,而且这些钾素都是水溶性的,因此,当其施入土壤后能明显提高土壤交换性钾(有效钾)的水平,陈兰详等^[35]报道,每 666.7 覆盖 200 g 稻草所带入的钾相当于 7.5 kg kcl 的肥效,另据有关研究指出,利用玉米秸秆还田所增加的土壤交换性钾的数量,相当于作物生长季节从土壤中吸收的交换性钾的总量。

玉米秸秆还田种植不会显著影响土壤速效磷、碱解氮、全氮和有机质含量,但线虫种类多样性是否与土壤

全磷和速效钾的升高有关还需要进一步长期的野外试验的验证。

利用线虫的生态指数可以很好地反映不同处理间土壤线虫多样性和群落结构的差异程度。本文主要选取了 6 种生态指数,其中 H' 、 S 和 J 可以用来表征土壤线虫的多样性特征^[36]。 H' 越大,表明土壤线虫种类越丰富; J 越大,表明土壤线虫属的丰度分布比较均匀,土壤线虫群落结构比较稳定。研究表明 H' 和 S 在秸秆还田与不还田对照处理下存在显著差异,说明秸秆还田后能显著提高土壤种类丰富度;总成熟指数($\sum MI$)^[37]是根据线虫的群落结构特征评价人类的活动对线虫群落结构的影响,进而可以表明土壤环境所受的干扰程度,总成熟指数越低,表明土壤环境受到干扰程度越大;瓦斯乐斯卡指数(WI)用于反映土壤线虫群落组成和土壤的健康程度,其值越大,表明土壤食微线虫丰度越高,土壤健康程度越高。从本试验结果分析可知,在线虫总成熟度指数($\sum MI$)、优势度指数(J)和瓦斯乐斯卡指数(WI)等方面均没有显著的差异,这可能与试验实施的时间较短有关,随试验时间的推移,这些指标可能会发生分异和相应的抵消作用。在线虫营养结构方面,玉米秸秆还田与不还田对照处理相比, NCR 明显增加。由于线虫的营养类群结构与土壤碎屑食物网密切相关,取食细菌和取食真菌的土壤线虫的数量常被用于探测土壤有机质的分解途径, NCR 值为 0,代表土壤有机质分解是依靠完全的真菌分解途径;若 NCR 值为 1,则表示完全的细菌分解途径。本实验各处理 NCR 均值都在 0.5 以上,且重复度量方差分析表明:线虫通道指数(NCR) 在秸秆还田条件下显著高于不还田对照处理($F = 16.787, P = 0.015$)。表明各处理主要依靠细菌途径分解土壤有机物质,而且在秸秆还田条件下有显著性差异,这表明有机施肥措施明显促进食细菌线虫并抑制植食线虫的繁殖;由 H' 和 WI 得出,秸秆还田可以明显降低土壤环境受到干扰的程度,说明秸秆还田不仅可以使土壤食物网健康运行,而且可以保持土壤环境的稳定性。综合线虫生态指数得出,玉米秸秆还田的土壤环境状况更加稳定健康,因此,秸秆还田有益于土壤生态环境,有利于实现农业的可持续发展。

综上所述,秸秆还田的施用可以显著增加土壤线虫数量,并且对食细菌线虫的繁殖起到促进作用,对植食线虫起到一定的抑制作用,同时结合线虫群落结构及生态指数分析可知,秸秆的施用,可以优化原土线虫的群落结构,降低土壤环境受干扰的程度,改善土壤的环境状况,使土壤生态系统向稳定健康的方向发展。

参考文献 (References):

- [1] 李英臣, 侯翠翠, 李小宇, 王奇博, 张芳, 李勇. 不同秸秆还田方式对黄土高原坡耕地土壤呼吸的影响. 水土保持研究, 2015, 22(5): 122-126, 132-132.
- [2] Arcand M M, Knight J D, Farrell R E. Differentiating between the supply of N to wheat from above and belowground residues of preceding crops of pea and canola. *Biology and Fertility of Soils*, 2014, 50(4): 563-570.
- [3] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 郭瑞英. 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, 2013, 21(5): 526-535.
- [4] Gale W J, Cambardella C A. Carbon dynamics of surface residue-and root-derived organic matter under simulated no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(1): 190-195.
- [5] 韩冰, 王效科, 逯非, 段晓男, 欧阳志云. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力. 生态学报, 2008, 28(2): 612-619.
- [6] Ibrahim M, Cao C G, Zhan M, Li C F, Iqbal J. Changes of CO_2 emission and labile organic carbon as influenced by rice straw and different water regimes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2015, 12(1): 263-274.
- [7] Neher D A. Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 2001, 33(4): 161-168.
- [8] Hu C, Qi Y C. Effect of compost and chemical fertilizer on soil nematode community in a Chinese maize field. *European Journal of Soil Biology*, 2010, 46(3/4): 230-236.
- [9] Yeates G W, Bongers T, De Goede R G, Freckman D W, Georgieva S S. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 1993, 25(3): 315-331.
- [10] Bulluck L, Brosius M, Evanylo G K, Ristaino J B. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology*, 2002, 19(2): 147-160.
- [11] Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2010, 30(2): 401-422.

- [12] Nahar M S, Grewal P S, Miller S A, Stinner D, Stinner B R, Kleinhenz M D, Wszelaki A, Doohan D. Differential effects of raw and composted manure on nematode community, and its indicative value for soil microbial, physical and chemical properties. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34(2/3): 140-151.
- [13] Tabarant P, Villenave C, Risede J M, Estrade J R, Thuries L, Dorel M. Effects of four organic amendments on banana parasitic nematodes and soil nematode communities. *Applied Soil Ecology*, 2011, 49: 59-67.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-109.
- [15] 李修强, 陈法军, 刘满强, 陈小云, 胡锋. 转基因水稻 *Bt* 汕优 63 种植两年对土壤线虫群落的影响. *应用生态学报*, 2012, 23(11): 3065-3071.
- [16] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998: 51-89.
- [17] Bongers T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 1990, 83(1): 14-19.
- [18] 梁文举, 张万民, 李维光, 段玉玺. 施用化肥对黑土地地区线虫群落组成及多样性产生的影响. *生物多样性*, 2001, 9(3): 237-240.
- [19] Wu J H, Fu C Z, Chen S S, Chen J K. Soil faunal response to land use: effect of estuarine tideland reclamation on nematode communities. *Applied Soil Ecology*, 2002, 21(2): 131-147.
- [20] 刘满强, 黄菁华, 陈小云, 王峰, 葛成, 苏昱, 邵波, 汤英, 李辉信, 胡锋. 地上部植食者褐飞虱对不同水稻品种土壤线虫群落的影响. *生物多样性*, 2009, 17(5): 431-439.
- [21] 陈小云, 刘满强, 胡锋, 毛小芳, 李辉信. 根际微型土壤动物——原生动物和线虫的生态功能. *生态学报*, 2007, 27(8): 3132-3143.
- [22] Liang W J, Lou Y L, Li Q, Zhong S, Zhang X K, Wang J K. Nematode faunal response to long-term application of nitrogen fertilizer and organic manure in Northeast China. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 883-890.
- [23] Villenave C, Bongers T, Ekschmitt K, Fernandes P, Oliver R. Changes in nematode communities after manuring in millet fields in Senegal. *Nematology*, 2003, 5(3): 331-358.
- [24] Wasilewska L. Direction of changes in communities of soil nematodes in mandisturbed ecosystems. *Acta Zoologica Fennica*, 1995, 196: 271-274.
- [25] McSorley R, Frederick J J. Nematode population fluctuations during decomposition of specific organic amendments. *Journal of Nematology*, 1999, 31(1): 37-44.
- [26] 刘艳军, 张喜林, 高中超, 刘颖, 马星竹, 周宝库. 长期施肥对土壤线虫群落结构的影响. *中国农学通报*, 2011, 27(21): 287-291.
- [27] 叶成龙, 刘婷, 张运龙, 张俊伶, 沈其荣, 李辉信. 麦地土壤线虫群落结构对有机肥和秸秆还田的响应. *土壤学报*, 2013, 50(5): 997-1005.
- [28] DuPont S T, Ferris H, van Horn M. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology*, 2009, 41(2): 157-167.
- [29] de Ruiter P C, Neutel A M, Moore J C. Biodiversity in soil ecosystems: the role of energy flow and community stability. *Applied Soil Ecology*, 1988, 10(31): 217-228.
- [30] Schröter D, Brussaard L, De Deyn G, Poveda K, Brown V K, Berg M P, Wardle D A, Moore J, Wall D H. Trophic interactions in a changing world: modelling above ground-belowground interactions. *Basic and Applied Ecology*, 2004, 5(6): 515-528.
- [31] 张进良. 玉米秸秆还田对土壤中微生物群落的影响. *湖北农业科学*, 2013, 52(12): 2744-2746.
- [32] Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition?. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(6): 837-843.
- [33] Ferris H, Bongers T, de Goede R G M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 2001, 18(1): 13-29.
- [34] 李凤博, 牛永志, 高文玲, 刘金根, 卞新民. 耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤理化性质及其产量的影响. *土壤通报*, 2008, 39(3): 549-552.
- [35] 陈兰祥, 夏淑芬, 许松林. 小麦-玉米轮作覆盖稻草对土壤肥力及产量的影响. *土壤*, 1996, (3): 156-159.
- [36] 江春, 黄菁华, 李修强, 李辉信, 孙波. 长期施用有机肥对红壤旱地土壤线虫群落的影响. *土壤学报*, 2011, 48(6): 1235-1241.
- [37] 李玉娟, 吴纪华, 陈慧丽, 陈家宽. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1541-1546.