

黑土区轮作系统大豆田土壤线虫种群结构研究

韩新华^{1,2}, 许艳丽¹, 潘凤娟^{1,2}, 李春杰¹

(¹中国科学院东北地理与农业生态研究所, 黑龙江哈尔滨 150081; ²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:线虫是土壤动物中最丰富的组成成分,可以通过取食植物组织和微生物进行养分再循环和促进矿物质分解,为植物根系更好的吸收提供养分。本文主要针对中国科学院海伦农业生态实验站长期定位实验区不同轮作系统大豆田土壤线虫进行研究,以期了解轮作系统大豆田线虫分布特征及种群结构动态变化,为进一步从生态角度揭示轮作系统下土地利用状况提供材料。取样茬口分别为大豆连作(CS,15a)、麦豆麦豆迎茬(WSWS,15a)和麦米豆轮作(WMS,15a)。大豆田共鉴定出8目19科43属线虫。线虫种类分布茬口间存在差异,有29属线虫是各茬口所共有的,其余的14种线虫各茬口分布不同,这与取样茬口和土壤环境等因素有关。在取样时期内,随着生育期的推进,大豆连作田土壤线虫总数呈现先高后低的趋势,轮作和迎茬田都呈逐渐升高的趋势。茎属 *Ditylenchus*、拟丽突属 *Acrobeloides*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis*、盆咽属 *Panagrolaimus*、丝尾垫刃属 *Filenchus* 和具脊垫刃属 *Coslenchus* 线虫分布受到茬口影响,达到显著差异水平。

关键词:土壤线虫;大豆;轮作系统;种群结构

Community Structure of Soil Nematodes in Soybean Fields under Different Rotation Systems

HAN Xin-hua^{1,2}, XU Yan-li^{1,2}, PAN Feng-juan^{1,2}, and LI Chun-jie¹

(¹Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, Heilongjiang; ²Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil nematodes are numerous, species-rich and widely distribute, which play essential roles in soil organic matter decomposition, plant nutrient mineralization and nutrient circulation. More and more scholars pay attention to the important function of soil nematodes in agroecosystem. The study was conducted in the soybean field under continuous cropping (CS, 15a), wheat-soybean-wheat-soybean (WSWS, 15a) and wheat-maize-soybean (WMS, 15a) rotation systems in Hailun Agricultural Ecology Experimental Station so as to elucidate the character of nematode distribution and dynamic change of nematode community. Totally 8 order, 19 family and 43 genera nematodes were identified in soybean field and 29 genera nematodes were shared by each treatments, other 14 genera were different among samples in that their distribution were affected by the crops stubbles and soil environment. Total number of soil nematodes was exhibited low to high to low trend in CS and continuous higher in WSWS and WMS at the sample stages. The number of *Ditylenchus*, *Acrobeloides*, *Mesorhabditis*, *Protorhabditis*, *Panagrolaimus*, *Filenchus* and *Coslenchus* was different among soybean rotation systems.

Key words: Soil nematode; Soybean; Rotation system; Community structure

线虫是农田微动物中数量最多的组成成分。有的会对作物和动物产生危害,有的可以作为控制真菌和昆虫潜在的生物因子。线虫在土壤生态系统中的作用是通过取食植物组织和微生物进行养分再循环和促进矿物质分解为植物根系更好的吸收提供养分。许多研究表明,线虫可以通过调控土壤细菌、真

菌等多种土壤生物种群,参与调节土壤中主要的营养循环、降解和能量流动,促进有机氮的矿化,从而成为土壤有机质分解和养分循环的重要调节者,在土壤食物网中占主要位置(Yeates and Bird, 1994; 陈小云等, 2004)。

线虫是一种无脊椎动物,在土壤中分布广泛,可

收稿日期(Received): 2007-10-11; 接受日期(Accepted): 2007-11-05

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-408)

作者简介: 韩新华(1976-), 女, 博士研究生, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: hxhgmb@163.com

通讯作者(Corresponding author): 许艳丽, 研究员, 博士。E-mail: xuyi2002@yahoo.com

以生活在多种小生境中。不同的线虫有不同的生活史、繁殖和存活能力,并且它们的生命进程对环境变化很敏感,因此,它们的种群可以受到生境异质性和连续性变化的影响(Gilmar et al., 2003),线虫种群已经被用来作为一种生态学的生物指示因子来反映环境变化(Freckman, 1982; Samoiloff, 1987; Bongers, 1990)

线虫种群中的每个种的丰富度可以被转变为生态指数和参数来评估多样性和营养结构的种群变化,进一步评价土壤扰动水平、分解途径和土壤健康状况。最近,一些线虫学家集中研究线虫种群结构在不同的植被系统等自然的和强化的农业系统下的变化(Niblack, 1989; Hyvonen and Persson, 1990; Coleman et al., 1991; Wasilewska, 1991; Freckman and Ettema, 1993; Neher and Campbell, 1994)。关于农田生态系统土壤线虫的研究在我国尚不多见(梁文举等, 2001b; 陈立杰等, 2003)

大豆是我国重要的经济作物之一,近年来重迎茬种植面积逐渐增加,在我国东北地区,尤其是黑龙江省非常普遍(王光华等, 2004)。重迎茬种植会引起大豆产生连作障碍,导致病虫害发生严重(许艳丽等, 1995),降低大豆产量,危害大豆品质,因此,生产中常采用轮作来控制大豆连作障碍。关于大豆轮作系统下病虫害发生情况、微生物数量变化及大豆养分吸收特点等有很多报道(许艳丽等, 1995; 台连梅等, 2003; 马春梅等, 2005; 阮维斌等, 2003),但是关于大豆轮作系统土壤线虫分布及变化未见研究报道。

因此,本文以不同轮作系统下大豆田土壤线虫为研究对象,比较大豆不同轮作系统中土壤线虫种群结构变化,为以后采用土壤线虫来评价轮作系统中的土壤健康状况提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2006年在中国科学院海伦生态农业实验站(北纬 $47^{\circ}26'$,东经 $126^{\circ}38'$)长期定位试验区进行,该区设置在黑土腹地,为固定场圃。每试验小区7m长,11m宽,面积 77m^2 ,试验3次重复。于1991年开始设计茬口,每年有各种豆茬出现,每个处理在一定年限循环自成轮作系统。本试验所取土样茬口为:大豆连作(CS, 15a)、麦米豆轮作(WMS, 15a)、麦豆麦豆迎茬(WSWS, 15a)。大豆品种黑农

35,播种日期5月7日,收获日期10月7日。大豆施肥量:磷酸二铵 150kg hm^{-2} ,田间管理采用常规方法。

1.2 取样时期和取样方法

在大豆生长期于上述定位试验区内取样4次,取样日期分别为5月30日(V3)、7月15日(R2)、8月28日(R5)和10月3日(R7)。取连作、迎茬、和轮作区大豆根围土,3次重复,共取样45个。取样方法:去掉表土,拔出大豆植株,取其根围0~20cm深土,每个小区棋盘式取9个点,9点混合成为一个样品,将混好的土样放入干净的塑料袋中封好,做好标签,以保湿运回实验室,及时分离土样中的线虫。

1.3 线虫分离、杀死与固定法

线虫分离采用淘洗-蔗糖梯度离心方法(刘维志, 1995; 梁文举等, 2001b)。将分离到的线虫收集到小烧杯中饥饿48h, 60°C 水浴10min杀死,用三乙醇胺-福尔马林固定液保存在青霉素小瓶中备用。

1.4 线虫鉴定

将保存的固定液定容后,取1/4线虫溶液于带有计数格的塑料小培养皿中,进行鉴定和数量统计。首先在Motic体视解剖镜下计数每个样中土壤线虫总数,然后将其内线虫逐一挑出,在Motic相差显微镜下进行科和属水平的形态学鉴定(尹文英, 2000; 梁文举等, 2001a),同时对每一营养类群线虫数量(个数)进行统计,根据土壤含水量换算成每100g干土含有的线虫数。

根据线虫头部形态及食性特点,参考Yeates等(1993)将线虫分为4大类群:食真菌类群(Fungivores)、食细菌类群(Bacterivores)、捕食/杂食类群(Predators-Omnivores)和植物寄生性类群(Plant parasites)。

2 结果与分析

2.1 大豆田土壤线虫种类分布

大豆田共鉴定出8目19科43属土壤线虫(表1)。从线虫营养类群角度分析,食细菌类线虫营养类群和植物寄生线虫营养类群种类丰富,前者包括4目7科19属线虫,后者包括3目7科14属线虫,构成了大豆田土壤线虫的主体。捕食/杂食类群种类丰富,包括2目3科7属线虫,但是线虫个体数量出现较少,均为稀有属。食真菌类群包括2目3科3属线虫,该类群线虫食性多样,滑刃目线虫同时也具有弱植物寄生性。垫刃目线虫多为植物寄生线

表 1 大豆田线虫群落组成、平均相对丰度与优势度

Table 1 The composition, mean relative abundance (MRA) and dominance of nematode community in soybean fields

营养类群 Trophic group	目 Order	科 Family	属 Genus	平均相对丰度 ^d MRA	优势度 ^e Dominance			
食真菌类群 Fungivores	滑刃目 Aphelenchida	真滑刃科 Aphelenchidae	真滑刃属 <i>Aphelenchus</i>	5.45 d	++			
		滑刃科 Aphelenchoidea	滑刃属 <i>Aphelenchoides</i>	1.89 jk	++			
食细菌类群 Bacterivores	垫刃目 Tylenchida	粒科 Anguinidae	茎属 <i>Ditylenchus</i>	4.04 efg	++			
			小杆目 Rhabditida	头叶科 Cephalobidae	拟丽突属 <i>Acrobeloides</i>	16.22 a	+++	
	窄咽目 Araeolaimida	单子宫目 Monhysterida	单子宫科 Monhysteridae	真头叶属 <i>Eucephalobus</i>	12.10 b	+++		
				头叶属 ^{ac} <i>Cephalobus</i>	0.04 l	+		
				板唇属 <i>Chiloplacus</i>	0.10 l	+		
				鹿角唇属 <i>Cervidellus</i>	0.78 kl	+		
				丽突属 <i>Acrobeles</i>	3.42 fgh	++		
				小杆科 Rhabditidae	原杆属 <i>Protorhabditis</i>	4.73 de	++	
				广杆属 <i>Caenorhabditis</i>	1.80 jk	++		
				中杆属 <i>Mesorhabditis</i>	7.09 c	++		
				盆咽科 Panagrolaimidae	盆咽属 <i>Panagrolaimus</i>	11.45 b	+++	
				绕线科 Plectidae	似饶线属 <i>Anaplectus</i>	2.51 hij	++	
饶线属 <i>Plectus</i>	3.28 ghi	++						
威尔斯属 ^c <i>Wilsonema</i>	0.01 l	+						
单子宫目 Monhysterida	单子宫科 Monhysteridae	单子宫属 ^a <i>Monhystera</i>	棱咽属 <i>Prismatolaimus</i>	0.86 kl	+			
			单子宫属 ^b <i>Eumonhystera</i>	0.01 l	+			
			无咽科 Alaimidae	无咽属 <i>Alaimus</i>	0.42 l	+		
			瘤咽科 Tylencholaimellidae	瘤咽属 <i>Tylencholaimellus</i>	0.39 l	+		
				短矛属 <i>Doryllium</i>	0.08 l	+		
			捕食/杂食类群 Predators/Omnivores	单齿目 Monochida	拟矛线科 Dorylaimoididae	桑尼属 ^c <i>Thornia</i>	0.02 l	+
拟桑尼属 ^{bc} <i>Thorneella</i>	0.04 l	+						
中矛线属 ^c <i>Mesodorylaimus</i>	0.02 l	+						
真矛线属 ^c <i>Eudorylaimus</i>	0.76 kl	+						
前矛线属 ^c <i>Prodorylaimus</i>	0.01 l	+						
拟矛线属 ^{ac} <i>Dorylaimoides</i>	0.05 l	+						
锯齿属 ^{bc} <i>Prionchulus</i>	0.10 l	+						
植物寄生类群 Plant parasites	垫刃目 Tylenchida	垫刃科 Tylenchidae				具脊垫刃属 ^{bc} <i>Coslenchus</i>	2.71 hij	++
						丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	3.64 efg	++
植物寄生类群 Plant parasites	三矛目 Triplonchida	毛刺科 Trichodoridae				垫刃属 <i>Tylenchus</i>	0.03 l	+
			纽带科 Hoplolaimidae	螺旋属 <i>Helicotylenchus</i>	2.96 ghij	++		
			拟盘旋属 <i>Pararotylenchus</i>	3.35 fgh	++			
			盘旋属 ^c <i>Rotylenchus</i>	0.02 l	+			
			叉针属 <i>Boleodorus</i>	0.21 l	+			
			异皮科 Heteroderidae	胞囊属 <i>Heterodera</i>	4.53 def	++		
			针科 Paratylenchidae	针属 <i>Paratylenchus</i>	2.09 ij	++		
			环科 Cricomenatidae	小环线虫属 ^{bc} <i>Criconemella</i>	0.23 l	+		
			三矛目 Triplonchida	毛刺科 Trichodoridae	拟毛刺属 <i>Paratrichodorus</i>	0.09 l	+	
			三矛目 Triplonchida	长针科 Longidoridae	拟长针属 ^{ab} <i>Paralongidorus</i>	0.03 l	+	
剑针属 <i>Xiphidorus</i>	2.12 ij	++						
三矛目 Triplonchida	长针科 Longidoridae	剑属 <i>Xiphinema</i>	0.32 l	+				

^a 只在连作大豆田分离到; ^b 只在轮作大豆田分离到; ^c 只在迎茬大豆田分离到; ^d 平均相对丰度为该属线虫在线虫总数中所占的比例, 不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著; ^e + + +, MRA > 10 优势属, + +, 1 < MRA ≤ 10 常见属, +, MRA < 1 稀有属

^a only isolated in continuous maize (CS) field; ^b only isolated in wheat-maize-soybean (WMS) field; ^c only isolated in wheat-soybean-wheat-soybean (WSWS) field; ^d...MRA was the proportion of the genus to total nematodes, the lowercase letters were the difference at 5% level; ^e + + +, MRA > 10 Dominant genus, + +, 1 < MRA ≤ 10 Ordinary genus, +, MRA ≤ 1 Rare genus.

虫,其中茎属线虫为弱植物寄生性,被线虫学家划到食真菌类群中,本研究参考多位学者的观点(Yeates et al., 1993; 梁文举等, 2001b; 陈立杰等, 2003),将其划分到食真菌类营养类群。矛线目线虫食性复杂,线虫出现数量较少,除了长针科多为植物寄生线虫外,其它种类多为捕食性的,少数为杂食性和食细菌的。

线虫种类分布茬口间存在差异,有 29 属线虫是各茬口所共有的,其余的 14 种线虫各茬口分布不同。在迎茬大豆田分离得到的线虫最多,为 40 属;其次是轮作田,为 35 属;轮作田最少,为 33 属。稀有属线虫分布虽然存在茬口间差异,但是方差分析结果并未达到显著水平,可能产生差异的原因并不是茬口所至,而与取样均匀度或线虫分离效率等有关。

2.2 大豆田土壤线虫总数动态变化

整个生育时期,除了大豆连作田土壤线虫呈现先高后低的趋势,轮作和迎茬田都是呈逐渐升高的趋势(图 1)。线虫总数茬口间存在差异。迎茬田线虫总数最高,其次是轮作田,连作田线虫总数最少。经新复极差分析,生育后期,迎茬田线虫与连作和轮作田线虫总数存在显著性差异($P < 0.05$)。线虫总数在生育期之间也存在差异,除连作田外,轮作和迎茬田线虫生育前期显著低于生育后期。

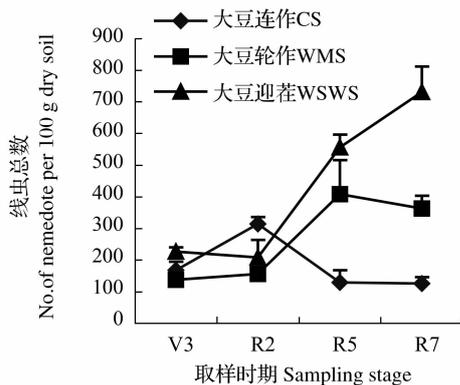


图 1 不同生育时期大豆轮作系统土壤线虫总数

Fig. 1 Total number of soil nematodes in soybean field at different growth stage

从大豆田线虫总数动态变化(图 1)结果可知,连作由于作物单一,导致线虫分布受到影响,但是整个生育时期过后,线虫总数与种植大豆前差异不大,在大豆开花期(R2),由于受到大豆根系生长的刺激,线虫营养物质增加导致种群生长繁殖加大,所以该时期线虫数量最高。迎茬和轮作田都是生育前期线虫数量低后期高,且前期与连作田差异不大,而后

期显著高于连作田,迎茬田高于轮作田。

2.3 大豆田各属线虫分布特征

经多重比较,大豆轮作系统线虫各属分布及数量变化达到 5% 显著水平差异(表 1)。拟丽突属 *Acrobeloides*、真头叶属 *Eucephalobus*、盆咽属 *Panagrolaimus* 线虫、真滑刃属 *Aphelenchus*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis* 和胞囊属 *Heterodera* 线虫数量合计占到线虫总数的 62% 左右,因此这几种优势属和常见属的变化决定了线虫总数的变化,它们的分布受到了大豆茬口和生育时期及土壤环境变化的影响。

对各属线虫进行茬口比较,其中茎属 *Ditylenchus*、拟丽突属 *Acrobeloides*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis*、盆咽属 *Panagrolaimus*、丝尾垫刃属 *Filenchus* 和具脊垫刃属 *Coslenchus* 线虫数量分布茬口间存在差异(表 2),同时茎属 *Ditylenchus*、拟丽突属 *Acrobeloides*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis* 和盆咽属 *Panagrolaimus* 线虫还受到大豆生育时期的影响。其余各线虫分布茬口间没有差异,可能它们的分布多受到作物生育时期和土壤环境等因素的影响较大。

表 2 线虫数量均值多重比较

Table 2 Mean value of nematode number in soybean rotation systems

线虫属 Genus	大豆连作 CS	大豆轮作 WMS	大豆迎茬 WSWS
茎属 ^a <i>Ditylenchus</i>	3.4b	17.2a	15.1ab
拟丽突属 ^a <i>Acrobeloides</i>	27.6c	50.8 b	64.8a
中杆属 ^a <i>Mesorhabditis</i>	12.3b	18.7b	31.6a
原杆属 ^a <i>Protorhabditis</i>	15ab	3.8b	23a
盆咽属 ^a <i>Panagrolaimus</i>	3.2b	10.5b	87a
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i>	2.8b	15.4a	13.8ab
具脊垫刃属 <i>Coslenchus</i>	0b	10.2ab	13.8a

^a表示同时受到生育时期的影响;不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。

^aThe genus was affected by crop growth at the same time; the lowercase letters were the difference at 5% level.

3 讨论

本试验在北方黑土区大豆田共鉴定出 19 科 43 属土壤线虫。这只是初步的结果,受到取样点及均匀度的影响,可能存在少数稀有属线虫不能被有效地分离,对线虫的种类产生一定影响,但同时本研究侧重长期栽培作物且茬口不同对土壤线虫种类组成及分布的影响,各茬口间取样是比较一致的,能够

通过线虫种类分布得出大豆轮作系统的差异,为今后从土壤线虫种群方向探讨长期定位试验区大豆轮作系统差异提供了基础材料。

线虫由于具有多种取食习性,可以划分为不同的营养类群。不同营养类群线虫具有不同的功能,在农田生态系统中具有各自的作用。食细菌线虫和食真菌线虫可通过取食细菌、真菌等微小生物,影响微生物的生长和新陈代谢活动,改变微生物群落,从而调节有机物的分解速度与养分的周转速率,提高植物对土壤养分的利用率。而植物寄生线虫以植物落叶、根系或根系分泌物为食,可直接或间接地影响根瘤、菌根的形成和固氮等作用。这些与植物及其根形成寄生关系的线虫对农业造成损害为人所熟知,如它们可以导致植物减产,干扰植物营养和水分吸收。捕食/杂食类线虫主要以原生动、线虫、线虫卵等为食,对调控土壤中小动物的数量和植物寄生线虫的危害均有一定积极作用(张薇等,2004)。从大豆田各种类线虫分布结果可以得出,数量变化差异最大的线虫:拟丽突属 *Acrobeloides*、真头叶属 *Eucephalobus*、盆咽属 *Panagrolaimus*、真滑刃属 *Aphelenchus*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis* 和胞囊属 *Heterodera* 线虫分别归属食细菌和植物寄生类群及食真菌类群,捕食杂食线虫在大豆田出现的数量很少,这与梁文举等(2001b)的研究结果相一致,在长期耕种的土壤中该类群线虫少。

线虫种类分布各茬口间虽有个别不同,如有的属在某茬口并未分离得到,但是经方差分析并未存在显著性差异,可见这些属线虫种类差异的产生并不是茬口的不同,可能与线虫本身的存活机制及取样均匀度有关。虽然种类分布差异不大,但是各属线虫数量受茬口和生育期的影响较大。丝尾垫刃属 *Filenchus* 和具脊垫刃属 *Coslenchus* 线虫数量变化仅受到茬口的影响且以迎茬对它们的影响较大。这两种线虫都是植物寄生类群线虫,对作物生长具有潜在性或直接性的影响,但是具体的影响程度还要进一步研究。线虫数量在茬口间表现因线虫不同而不同,不能简单的以某种或某些线虫数量的多少来评价轮作系统的差异,今后还应深入研究各线虫类群总体及线虫多样性对轮作系统的响应。

4 结论

大豆田共鉴定出 8 目 19 科 43 属线虫。线虫种类分布茬口间存在差异,有 29 属线虫是各茬口所共

有的,其余的 14 种线虫各茬口分布不同。在取样时期内,随着生育期的推进,大豆连作田土壤线虫总数呈现先高后低的趋势,轮作和迎茬田都随生育期呈逐渐升高的趋势。茎属 *Ditylenchus*、拟丽突属 *Acrobeloides*、中杆属 *Mesorhabditis*、原杆属 *Protorhabditis*、盆咽属 *Panagrolaimus*、丝尾垫刃属 *Filenchus* 和具脊垫刃属 *Coslenchus* 线虫分布受到茬口和生育时期等的影响,达到显著差异水平,其中丝尾垫刃属 *Filenchus* 和具脊垫刃属 *Coslenchus* 线虫数量变化仅受到茬口的影响。

References

- Bongers T. 1990. The maturity index; an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83: 14-19
- Chen L J, Liang W J, Duan Y X, Luan J B, and Li Q. 2003. Effects of bio-nematicide on community structure and bio-diversity of soil nematodes in soybean field. *Soybean Science*, 22(4): 251-256 (陈立杰, 梁文举, 段玉玺, 栾军波, 李琪. 2003. 施用生防颗粒剂对大豆田土壤线虫群落结构和生物多样性的影响. *大豆科学*, 22(4): 251-256)
- Chen X Y, Li H X, Hu F, and Liu M Q. 2004. Effect of bacterivorous nematode on soil microbial biomass and microbiocoenosis. *Acta Ecologica Sinica*, 24(12): 2825-2831 (陈小云, 李辉信, 胡锋, 刘满强. 2004. 食细菌线虫对土壤微生物量和微生物群落结构的影响. *生态学报*, 24(12): 2825-2831)
- Coleman D C, Edwards A L, Belsky A J, and Mwonga S. 1991. The distribution and abundance of soil nematodes in East African savannas. *Biology and Fertility of Soils*, 12: 67-72
- Freckman D W. 1982. Parameters of the nematode contribution to ecosystems. In: Freckman, D W (Ed.) *Nematodes in soil ecosystems*. University of Texas Press, Austin, pp. 81-97
- Freckman D W, and Ettema C H. 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 45: 239-261
- Gilmar S G, Shiou P H, and Juvenil E C. 2003. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. *Fitopatologia Brasileira*, 28(3): 258-266
- Hyvonen R, and Persson T. 1990. Effects of acidification and liming on feeding groups of nematodes in coniferous forest soils. *Biology Fertility Soils*, 9: 205-210
- Liang W J, Ge T K, and Duan Y X. 2001a. Biodiagnosis of soil fauna to soil health. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 32(1): 70-72. (梁文举, 葛亭魁, 段玉玺. 2001a. 土壤健康及土壤动物生物指示的研究与应用. *沈阳农业大学学报*, 32(1): 70-72)
- Liang W J, Zhang W M, Li W G, and Duan Y X. 2001b. Effect of chemical fertilizer on nematode community composition and diversity in the Black Soil Region. *Biodiversity of Science*, 9: 237-240 (梁文举, 张万民, 李维光, 段玉玺. 2001b. 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, 9(3):237-240)
- Liu W Z, ed. 1995. Research technology of plant nematology. Liaoning Science and Technology Press, China, Shenyang, pp. 36-42 (刘维志, 著. 1995. 植物线虫学研究技术. 辽宁科学技术出版社, 中国, 沈阳, pp. 36-42)
- Ma C M, Liu K, Tang Y Z, and Ji S N. 2005. Long-term crop rotation research (III)- Effect of crop rotation and continuous cropping on the quantity of microbe in soil. Journal of Northeast Agricultural University, 36(2):147-152 (马春梅, 刘侃, 唐远征, 季尚宁. 2005. 作物定位轮作体系长期试验研究(III)- 轮作与连作对土壤微生物数量的影响. 东北农业大学学报, 36(2):147-152)
- Neher D A, and Campbell C L. 1994. Nematode communities and microbial biomass in soils with annual and perennial crops. Applied Soil Ecology, 1:17-28.
- Niblack T L. 1989. Application of nematode community structure research to agricultural production and habitat disturbance. Journal of Nematology, 21:437-443
- Ruan W B, Wang J G, and Zhang F S. 2003. The effect of continuous cropping factors on soybean seedling growth and nitrogen fixation. Acta Ecologica Sinica, 23(1):22-29 (阮维斌, 王敬国, 张福锁. 2003. 连作障碍因素对大豆养分吸收和固氮作用的影响. 生态学报, 23(1):22-29)
- Samoiloff M R. 1987. Nematodes as indicator of toxic environmental contaminants. In: Veech J A and Dickson D W (Eds). Vistas on Nematology. Society of Nematologists, Inc. E. O. Painter Printing Co, DeLeon Springs, Florida, pp. 433-439
- Tai L M, Zhang H M, Yan F Y, and Xin H P. 2003. Effect of the amount of soil microbe in soybean rhizosphere under the condition of soybean continuous or companion cropping. Soil fertilizer, (6):41-43 (台莲梅, 张红梅, 闫风云, 辛惠普. 2003. 重迎茬对大豆根际土壤微生物数量的影响. 土壤肥料, (6):41-43)
- Wang G H, Jin J, Pan X W, Zhou K Q, and Liu X B. 2004. Effect of different rotation systems on soil pH and N nutrition distribution across soybean rhizosphere. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 26(1):55-59 (王光华, 金剑, 潘相文, 周克琴, 刘晓冰. 2004. 不同茬口大豆根圈土壤 pH 值和氮营养分布的变化. 中国油料作物学报, 26(1):55-59)
- Wasilewska L. 1991. Long-term changes in communities of soil nematodes on fen peat meadows due to the time since their drainage. Ekologia Polska, 39:59-104
- Xu Y L, Wang G H, and Han X Z. 1995. Research on the relationship between distribution of soil microorganism and root diseases and pests in continuous and rotation soybean field. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 11(4):311-314 (许艳丽, 王光华, 韩晓增. 1995. 连、轮作大豆土壤微生物生态分布特征与大豆根部病虫害关系的研究. 农业系统科学与综合研究, 11(4):311-314)
- Yeates G W, and Bird A F. 1994. Some observations on the influence of agricultural practices on the nematode faunae of some South Australian soils. Fundamental and Applied Nematology, 17:133-145
- Yeates G W, Bongers T, de Goede R G M, Freckman D W, and Georgieva S S. 1993. Feeding habitats in soil nematode families and genera-an outline for soil ecologists. Journal of Nematology, 25:315-331
- Yin W Y, ed. 2000. Soil animals of China. Science Press, China, Beijing, pp. 149-182 (尹文英主编. 2000. 中国土壤动物. 科学出版社, 中国, 北京, pp. 149-182)
- Zhang W, Song Y F, Sun T H, Song X Y, and Zhou Q X. 2004. Soil nematode as a bioindicator of environment pollution. Chinese Journal of Applied Ecology. 15(10):1973-1978 (张薇, 宋玉芳, 孙铁珩, 宋雪英, 周启星. 2004. 土壤线虫对环境污染的指示作用. 应用生态学报, 15(10):1973-1978)