

引入小麦秸秆抑制番茄根结线虫病

曹志平*, 周乐昕, 韩雪梅

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 为了研究引入秸秆碳源对土壤根结线虫 (*Meloidogyne* spp.) 病害的抑制效果, 以番茄为供试作物, 设置 3 个梯度的小麦秸秆添加量进行了为期 6 个月的室内盆栽试验。结果表明: 引入小麦秸秆能够抑制根结线虫病害的发生, 但添加秸秆量过多会对番茄的生长产生负面作用。以华北农田小麦秸秆还田模式平均输入量为基本单位 N, 秸秆添加量为 1N (2.08 g/kg)、2N (4.16 g/kg)、4N (8.32 g/kg) 时对根结线虫病的抑制率分别是: 51.4%, 94.0%, 39.5%; 当秸秆添加量为 1N、2N 时, 番茄的株高、茎粗、开花率等指标没有明显下降, 但当秸秆添加量升高至 4N 时, 这些指标均明显下降。引入小麦秸秆后, 土壤线虫群落结构发生了变化, 植食性线虫的比例均有所下降, 而食细菌、食真菌和杂食捕食性线虫的比例均有所上升。1N、2N、4N 3 个处理植食性线虫的比例分别下降了 17.6%, 97.3% 和 2.0%, 而食细菌线虫的比例分别上升了 100.5%, 189.7% 和 117.8%, 其中 2N 处理的线虫群落结构变化幅度最大; 食真菌线虫的比例在 4N 处理中显著上升, 增长率为 350%, 而杂食捕食性线虫则在 1N 处理中明显上升, 增长率为 66.7%。综合番茄生长指标、对根结线虫抑制率及土壤线虫群落结构变化 3 方面的结果, 添加秸秆量为 2N 时对番茄根结线虫病的抑制效果最好。

关键词: 根结线虫; 小麦秸秆; 园艺作物; 土壤生态防治; 土壤线虫群落

Controlling tomato root-knot nematode disease by incorporating winter wheat straw to soil

CAO Zhiping*, ZHOU Lexing, HAN Xuemei

College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: In order to understand the controlling effect of winter wheat straw incorporated into soil on root-knot nematode disease (RKN, *Meloidogyne* spp.), an in-door pot experiment was conducted in greenhouse for six months, with three treatments of different addition of wheat straw into the soil and tomato was taken as the experimental crop. The results indicated that RKN could be suppressed by adding wheat straw into the soil, and the suppression rate of RKN in the three treatments of 1N (straw 2.08 g/kg soil), 2N (straw 4.16 g/kg soil) and 4N (straw 8.32 g/kg soil) were 51.4%, 94.0%, 39.5% respectively. However, over dose of straw input would cause negative effect on tomato growth. The plant height, stalk diameter and flowering rate significantly decreased at the straw addition of 8.32 g/kg soil (4N), but decreased much less at the straw addition of 1N (straw 2.08 g/kg soil) and 2N (straw 4.16 g/kg soil). The results also showed that the soil nematode community changed after the introduction of wheat straw carbon resources, with herbivores nematodes decreasing and bacterivores, fungivores and omnivores-predator nematodes increasing in all treatments. In 1N, 2N and 4N treatments, the herbivores nematodes decreased 17.6%, 97.3% and 2.0%, respectively; and the bacterivores nematodes increased 100.5%, 189.7% and 117.8%, respectively. For these two dominant functional groups, the 2N treatment caused the biggest change of soil nematode community structure. In 4N treatment, fungivores nematodes increased 350%, showing a remarkable increment direction; while omnivores-predator nematodes increased the most obviously in 1N treatment, which was 66.7%. Considering tomato growth situation, suppression rate on RKN and changes of soil nematode community structure, the controlling effect of addition winter wheat straw into soil on RKN was the best at the straw addition

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970536); 北京市生态学重点学科资助项目(XK10019440)

收稿日期: 2009-07-02; **修订日期:** 2009-11-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhiping@cau.edu.cn

of 2N (straw 4.16 g/kg soil).

Key Words: *Meloidogyne* spp.; wheat straw; horticulture crop; soil ecological control; soil nematode community

根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是一种为害严重的土传病原体,是分布最广、危害最重的植物寄生线虫^[1],其寄生范围广,环境适应性强,几乎每种作物都受到该类线虫的侵害^[2]。此外,根结线虫还能与其它病原菌,形成复合侵染^[3],从而对作物造成更严重的损害。

根结线虫的防治方法很多,大致可分为物理方法、化学方法、生物方法以及将这些方法联合起来的综合防治策略^[4-12]。但在所有这些防治方法中,都是利用外部的输入,如化学品、物理能量及引入的天敌来控制根结线虫,却没有发挥土壤生态系统本身对根结线虫的抑病功能。

土壤生物可以通过生物之间的拮抗、竞争、捕食关系在一定程度上控制土传病害。土壤食物网间接作用于根系,通过构建良好的土壤和养分条件来帮助有益生物与病原生物进行养分竞争、捕食病原生物、占据病原生物侵染位点、改变土壤条件等来抑制病原生物^[13]。曹志平等^[14]列举了土壤食物网中一些生物如菌根真菌、共生固氮细菌、蚯蚓、节肢动物等对土传病害的控制。但全面考虑整个土壤食物网系统对土传病害尤其是对根结线虫病的控制尚未见报道。

自然状态下的草原和森林土壤中,土壤碎屑食物网其食细菌途径和食真菌途径上的土壤生物是同时存在的,这两条途径上的土壤生物种类和数量比较平衡,接近 1:1^[15-17]。在根结线虫病爆发的温室土壤中,食细菌的线虫会占线虫总数的 90% 以上,食真菌线虫基本可以忽略不计^[8-9,14,18-19],食物网结构简单,食真菌途径上的营养位基本缺失^[20-21]。这种结构简单的食物网对包括根结线虫在内的病原生物的抑制作用会相应地减弱。

因此可以假定:如果在土壤中增加秸秆等需要真菌分解的纤维素碳源,可以提高食真菌途径上土壤生物的丰富度,修复食物网中缺失的营养位,从而改善整个土壤食物网的结构,提高捕食者的种类、数量及其比例,使土壤食物网结构趋于平衡与稳定,恢复其抑制根结线虫等病原生物的生态功能。

本研究以温室番茄根结线虫病为研究对象,就土壤食物网对根结线虫的抑病作用及其土壤生态学过程进行探索,力求最大限度地发挥土壤生态系统的自我调节功能,减少外部投入,以调节碳源的简单方法修复园艺病土,充分发挥土壤生态系统自身的作用,从源头上有效控制根结线虫的爆发。

1 材料与方法

1.1 土样采集点基本情况

病土采集地点位于北京市大兴区魏善庄镇张家场村农业标准化生产示范基地,该基地主要种植作物为番茄。由于长年单一性连作,根结线虫危害严重,番茄产量连年下降。2008 年 7 月,在根结线虫发病严重的日光温室内采集耕层 0—20 cm 深的根际土样。土样过 5 mm 筛网,滤去植物残体等杂质后充分混匀,作为盆栽试验所用病土。过筛后的一部分土样风干用于土壤理化性质分析,方法参见鲍士旦^[22]《土壤农化分析》:测得土壤 pH 值为 6.62,有机质含量 16.76g/kg,全氮 1.9g/kg,碱解氮 197.81mg/kg,全磷 2.23g/kg,有效磷 49.51mg/kg,速效钾 134.76mg/kg,土壤粒径:砂粒 68.34%,粉粒 23.07%,粘粒:8.59%。

1.2 盆栽试验设计

室内盆栽试验供试作物为番茄,试验地点设在中国农业大学科学园内 25℃ 温室,番茄品种为北京地区常用品种——金棚一号。

小麦秸秆粉碎后,高压蒸汽消毒。参考华北地区农田小麦秸秆还田模式平均输入量(7.5t/hm²)^[23],计算出添加小麦秸秆标准输入量 N = 2.08(g/kg 土)。该试验共设置 3 个处理,1 个对照:

对照 不添加秸秆碳源的病土;

处理 1 1N,添加 1 倍秸秆碳源的病土(2.08g/kg);

处理2 2N,添加2倍秸秆碳源的病土(4.16g/kg);

处理3 4N,添加4倍秸秆碳源的病土(8.32g/kg)。

将病土、秸秆充分混匀,装入口径21cm×高度26cm的大号陶盆,各处理以及对照所用的病土均为每盆10kg。按测土配方施肥标准添加缓释复合肥以促进番茄生长。每盆种植番茄1株,每个处理(包括对照)设12个重复,另设3个不同的种植时间段(2个月、4个月、6个月),共计有:4×12×3=144盆。将所有陶盆置于科学园25℃温室中,保证土壤湿度,常规水肥管理。

番茄定植1个月(苗期)和2个月(成株期)后,分别测定其株高、茎粗和开花率。番茄定植2个月(A组)、4个月(B组)和6个月(C组)后分别对所有重复(12株番茄)进行破坏性采样,测定根系生物量和根结线虫病情指数^[24]。

1.3 土壤线虫群落调查与数据分析

对盆栽试验2个月和4个月的土壤进行线虫密度调查。对试验开始前的根结线虫病土和盆栽试验6个月后的土壤进行了线虫群落结构和密度调查。土壤线虫分离采用淘洗-过筛-蔗糖离心法^[25],并依据《中国土壤动物检索图鉴》将线虫鉴定到属^[26],同时根据其食性不同,将线虫属划分为不同的营养类群^[27]。

在SPSS11.5中利用最小显著差异(LSD)法比较处理间各个指标的差异。不满足齐次性假设的数据,统计之前进行对数或平方根转换。转换后仍不满足齐次性假设的数据,采用非参数Mann-Whitney检验进行两两比较。

2 结果与分析

2.1 引入秸秆碳源后番茄植株的表现

总的来说,1N和2N处理对番茄的生长没有明显的负面影响(表1)。1N处理的所有指标,无论是苗期还是成株期,与对照均没有显著性差异。2N处理在苗期,株高明显显著下降;在成株期,茎粗明显小于对照。4N处理无论是苗期还是成株期,均对番茄植株生长造成负面影响,株高、茎粗和开花率3个生长指标均显著下降。

表1 不同秸秆添加量下番茄植株生长指标

Table 1 Growth indices of tomatoes in different addition dose of straw

处理 Treatments	株高/cm Plant height		茎粗/mm Stalk diameter		开花率/(朵/株) Flowering rate/(flower/plant)	
	苗期 Seedling period	成株期 Adult period	苗期 Seedling period	成株期 Adult period	苗期 Seedling period	成株期 Adult period
对照 CK	23.1 a	52.5 a	3.4 a	7.9 a	1.3 a	3.6 a
1N	22.6 a	51.7 a	3.5 a	7.8 ab	1.5 a	3.9 a
2N	20.5 b	51.6 a	3.3 a	7.4 b	0.9 ab	2.6 ab
4N	18.3 c	39.9 b	2.7 b	5.7 c	0.4 b	1.5 b

同一列内标注不同字母的值表示有显著性差异($P < 0.05$)

2.2 番茄根系生物量和根结线虫病情指数的动态变化

分析各取样时期的番茄根系生物量数据(表2),总体趋势均表现为对照处理的根系生物量高于添加小麦秸秆的处理,且随着秸秆添加量的增加,根系生物量表现出递减的趋势。番茄生长2个月和4个月时,添加秸秆处理的根系生物量均显著低于对照,且4N最低。这样的结果是由秸秆对番茄根系的负面影响造成的。但生长6个月后,由于根结线虫病的加重,各处理的根系生物量也有所增加,只有2N处理的根系生物量显著低于对照。

从3个生长阶段番茄的根结线虫病情指数来看,2N和4N2个处理在生长前期就对根结线虫病表现了明显的抑制作用。生长2个月和4个月时,2N和4N处理的根结线虫病情指数均明显低于对照。而生长6个月后,3个添加秸秆的处理均低于对照,其中以2N处理的根结线虫病情指数最低。以对照为基准值,1N,2N,4N3个处理对根结线虫病的抑制率分别是:51.4%,94.0%,39.5%。由此可见,2N处理对根结线虫病的抑

制效果最好。

表 2 番茄定植后根系生物量及根结线虫病情指数的动态变化

Table 2 Dynamics of tomato root biomass and root knot nematode disease index after transplanted

处理 Treatments	2 个月 Two months growth		4 个月 Four months growth		6 个月 Six months growth	
	生物量 Biomass/g	病情指数(5 级) Disease index/%	生物量 Biomass/g	病情指数(5 级) Disease index/%	生物量 Biomass/g	病情指数(5 级) Disease index/%
对照(CK)	1.6 a	16.7	8.5 a	47.3	12.2 a	55.0
1N	1.2 b	21.7	3.7 b	30.0	7.8 ab	26.7
2N	0.6 c	8.3	3.6 b	28.3	4.6 b	3.6
4N	0.2 d	8.3	1.6 c	16.7	9 ab	33.3

同一列内标注不同字母的值表示有显著性差异 ($P < 0.05$)

引入小麦秸秆碳源过多,会对番茄的生长造成不利影响。这可能是由于小麦秸秆自身含有大量化感物质,未经腐熟化处理直接添加入土壤中,对番茄的生长产生抑制作用^[28-29]。另外,小麦秸秆自身的 C/N 较高,秸秆在分解过程中,微生物与作物争氮,也可能是影响番茄苗期生长的原因之一^[30]。而适当比例的秸秆投入量可以将这种不利影响控制在一个较低的水平。在本项研究中,2N 的秸秆投入是一个比较合适的量。

番茄不同生长时期内根结线虫病情指数的动态变化反映了根结线虫侵染、发生到严重危害的过程。番茄定植 2 个月时,根系的生长发育状况是影响根系生物量的主导因素。虽然这时根结线虫正处于迁移、侵染阶段,没有大量发生,但处理之间根结线虫的病情指数已开始出现差异。番茄定植 4 个月时,根结线虫逐渐在番茄根系上定居并产生大量根结,此时,秸秆对根结线虫病的抑制作用也愈来愈明显。到番茄定植 6 个月进行收获时,可以看出添加 2 倍秸秆的土壤处理对根结线虫的抑制效果最佳。

2.3 引入秸秆碳源后根结线虫病土中线虫群落的变化

2.3.1 病土中土壤线虫群落的背景值

从番茄日光温室大棚取回的根结线虫病土基础样品中,共分离鉴定出线虫 16 个属(表 3),按食性不同划分为 3 个营养类群-植食性线虫、食细菌线虫和食真菌线虫,这 3 个营养类群的数量分别占线虫总数的 53.9%,45.8%,0.3%。植食性线虫共有 8 个属,以根结线虫属 *Meloidogyne* spp. 为绝对优势类群,占植食性线虫总数的 87.1%。食细菌线虫共有 7 个属,各属的数量分布比较均匀。其中板唇属 *Chiloplacus* spp. 和真头叶属 *Eucephalobus* spp. 为极优势类群,头叶属 *Cephalobus* spp. 和原杆属 *Protorhabditis* spp. 为优势类群,拟丽突属 *Acrobelloides* spp. 和小杆属 *Rhabditis* spp. 为次优势类群。食真菌线虫所占的比例极小,未见到捕食性线虫。植食性线虫、食细菌性线虫和食真菌线虫的平均密度分别为 402 条/100g 干土、341 条/100g 干土、2 条/100g 干土。

2.3.2 引入秸秆碳源对土壤线虫密度的影响

番茄定植 2 个月,添加小麦秸秆碳源的处理其土壤线虫密度均不同程度地低于对照处理,但仅有 2N 处理与对照处理有显著性差异($P < 0.05$)(图 1)。番茄定植 4 个月,添加小麦秸秆碳源的处理其土壤线虫密度均低于对照处理,其中 1N 和 2N 处理与对照有显著性差异。而在番茄定植 6 个月,情况则完全相反,添加小麦秸秆碳源的 3 个处理其土壤线虫密度均高于对照处理,且 2N 和 4N 的处理与对照处理的差异达到了显著性水平。

2.3.3 番茄定植 6 个月不同处理中土壤线虫群落结构的变化

盆栽试验中,番茄定植 6 个月从盆栽土壤中共分离出 14 个线虫属(表 3),归属 4 个营养群。其中对照中分离出 11 个属,1N 处理中分离出 8 个属,2N 处理中分离出 10 个属,4N 处理中分离出 11 个属。总的来看,番茄种植 6 个月以后,植食性线虫的类群数下降了一半,由原来的 8 个属下降为 4 个属,原来的稀有类群垫

表 3 番茄种植前和种植 6 个月以后土壤线虫群落的结构及丰度
Table 3 Soil nematode community structure and abundance before and after tomato plantation for 6 months

营养类群 Trophic group	c-p 值 ^[31] c-p value	基础土样 Initial soil sample		对照 CK (No straw)		1N Standard dose of straw		2N Two-fold dose of straw		4N Four-fold dose of straw			
		丰度 Abundance /(ind./100g dry soil)	相对丰度 Relative abundance /%	丰度 Abundance /(ind./100g dry soil)	相对丰度 Relative abundance /%	丰度 Abundance /(ind./100g dry soil)	相对丰度 Relative abundance /%	丰度 Abundance /(ind./100g dry soil)	相对丰度 Relative abundance /%	丰度 Abundance /(ind./100g dry soil)	相对丰度 Relative abundance /%		
植食性线虫 Herbivores													
组带属 <i>Hoplolaimus</i> spp.	3	5	0.7	2	0.6					28			4.8
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i> spp.	3	3	0.4	1	0.3								
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i> spp.	2	28	3.8					1	0.2	2			0.3
根结属 <i>Meloidogyne</i> spp.	3	350	47.0	145	39.9	122	22.6	2	0.4	115			19.6
垫刃属 <i>Tylenchus</i> spp.	2	5	0.7										
野外垫刃属 <i>Aglenchus</i> spp.	2	6	0.8										
头垫刃属 <i>Trylenchus</i> spp.	2	2	0.3										
短体属 <i>Pratylenchus</i> spp.	2	3	0.4										
小计: 8 个属 Subtotal: 8 genera		402	53.9	148	40.8	122	22.6	3	0.5	145			24.7
食细菌线虫 Bacterivores													
板唇属 <i>Chiloplacus</i> spp.	2	108	14.5	61	16.8	245	45.3	362	63.4	229			38.9
头叶属 <i>Cephalobus</i> spp.	2	44	5.9	5	1.4	8	1.5	1	0.2				
真头叶属 <i>Eucephalobus</i> spp.	2	90	12.1	43	11.8	62	11.5	110	19.3	110			18.7
拟丽突属 <i>Acrobelooides</i> spp.	2	35	4.7	37	10.2	35	6.5	58	10.2	52			8.8
原杆属 <i>Protorhabditis</i> spp.	1	38	5.1					1	0.2	9			1.5
小杆属 <i>Rhabditis</i> spp.	1	20	2.7	40	11.0	22	4.1	5	0.9	4			0.7
板环属 <i>Placodira</i> spp.	2	6	0.8										
小计: 7 个属 Subtotal: 7 genera		341	45.8	186	51.2	372	68.7	537	94.0	404			68.7
食真菌线虫 Fungivores													
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i> spp.	2			2	0.6	2	0.4			5			0.9
滑刃属 <i>Aphelenchooides</i> spp.	2	2	0.3					2	0.4	4			0.7
小计: 2 个属 Subtotal: 2 genera		2	0.3	2	0.6	2	0.4	2	0.4	9			1.5
杂食捕食性线虫 Omnivores-Predators													
中矛属 <i>Mesodorylaimus</i> spp.	4			23	6.3	45	8.3	29	5.1	30			5.1
剑属 <i>Xiphinema</i> spp.	5			4	1.1								
小计: 2 个属 Subtotal: 2 genera				27	7.4	45	8.3	29	5.1	30			5.1
合计 Total		745	100.0	363	100.0	541	100.0	571	100.0	588			100.0

刃属 *Tylenchus* spp.、野外垫刃属 *Aglenchus* spp.、头垫刃属 *Tetylenchus* spp.、短体属 *Pratylenchus* spp. 都没有发现。食细菌性线虫也减少了一个板环属 *Placodira* spp.,但食真菌线虫增加了一个真滑刃属 *Aphelenchus* spp.,同时还增加了一个营养类群——杂食捕食性线虫,包括中矛属 *Mesodorylaimus* spp. 和剑属 *Xiphinema* spp.,而且这类线虫的数量比例还比较高,尤其是中矛属 *Mesodorylaimus* spp.,相对丰度为 5.1%—8.3%,是优势类群。

经过 6 个月的番茄种植,各处理中土壤线虫属的相对丰度也发生了较大的变化(表 3)。以基础土样中各属线虫的相对丰度为基准值,把处理中各属线虫的相对丰度减去基准值,得出的百分比变化幅度见表 4。在

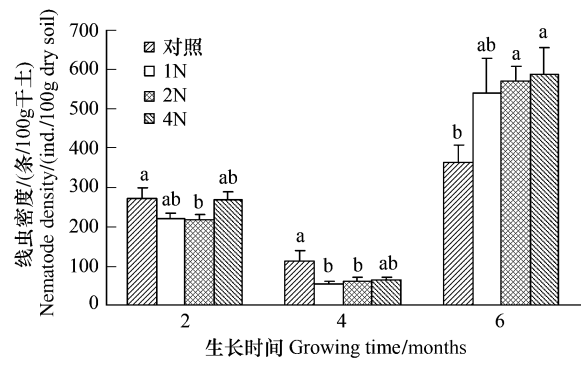


图 1 番茄定植后不同取样时期各处理的土壤线虫密度
Fig. 1 Density of soil nematodes in various tomato growth stages
同一时间内标注相同字母的值表示没有显著性差异 ($P < 0.05$)

表 4 番茄定植 6 个月后,土壤线虫群落中各属相对丰度的变化(以基础土样为基准值)/%
Table 4 Changes of relative abundance for soil nematode genus before and after tomato plantation for 6 months /%

营养类群 Trophic group	c-p 值 ^[31] c-p values	基础土样 Initial soil sample	对照 CK (No straw)	1N Standard dose of straw	2N Two-fold dose of straw	4N Four-fold dose of straw
植食性线虫 Herbivores						
纽带属 <i>Hoplolaimus</i> spp.	3	0	0	-1	-1	4 *
螺旋属 <i>Helicotylenchus</i> spp.	3	0	0	0	0	0
丝尾垫刃属 <i>Filenchus</i> spp.	2	0	-4	-4	-4	-3
根结属 <i>Meloidogyne</i> spp.	3	0	-7	-24	-47	-27
垫刃属 <i>Tylenchus</i> spp.	2	0	-1	-1	-1	-1
野外垫刃属 <i>Aglenchus</i> spp.	2	0	-1	-1	-1	-1
头垫刃属 <i>Tetylenchus</i> spp.	2	0	0	0	0	0
短体属 <i>Pratylenchus</i> spp.	2	0	0	0	0	0
小计:8 个属 Subtotal: 8 genera		0	-13	-31	-53	-29
食细菌线虫 Bacterivores						
板唇属 <i>Chiloplacus</i> spp.	2	0	2	31	49	24
头叶属 <i>Cephalobus</i> spp.	2	0	-5	-4	-6	-6
真头叶属 <i>Eucephalobus</i> spp.	2	0	0	-1	7	7
拟丽突属 <i>Acrobeloides</i> spp.	2	0	5	2	5	4
原杆属 <i>Protorhabditis</i> spp.	1	0	-5	-5	-5	-4
小杆属 <i>Rhabditis</i> spp.	1	0	8	1	-2	-2
板环属 <i>Placodira</i> spp.	2	0	-1	-1	-1	-1
小计:7 个属 Subtotal: 7 genera		0	5	23	48	23
食真菌线虫 Fungivores						
真滑刃属 <i>Aphelenchus</i> spp.	2	0	1	0	0	1
滑刃属 <i>Aphelenchoides</i> spp.	2	0	0	0	0	0
小计:2 个属 Subtotal: 2 genera		0	0	0	0	1
杂食捕食性线虫 Omnivores-Predators						
中矛属 <i>Mesodorylaimus</i> spp.	4	0	6	8	5	5
剑属 <i>Xiphinema</i> spp.	5	0	1	0	0	0
小计:2 个属 Subtotal: 2 genera		0	7	8	5	5
合计 Total		0	100	100	100	100

* :黑体数字表示为变化幅度较明显

植食性线虫中,相对丰度明显下降的是根结线虫属 *Meloidogyne* spp., 在 1N 和 4N 2 个处理中分别下降了 24 和 27 个百分点,而在 2N 处理中,下降了 47 个百分点。其次是丝尾垫刃属 *Filenchus* spp., 在每个处理中均下降了 3—4 个百分点。在食细菌线虫中,相对丰度增加最明显的是板唇属 *Chiloplacus* spp., 在 2N 处理中高达 49 个百分点,其次是拟丽突属 *Acrobeloides* spp., 增加了 2—5 个百分点。食细菌线虫相对丰度下降的是头叶属 *Cephalobus* spp. 和原杆属 *Protorhabditis* spp.。值得注意的是小杆属 *Rhabditis* spp., 其相对丰度在对照中是明显增加的,但在 2N 和 4N 2 个处理中,却有下降的趋势。食真菌线虫虽然增加了一个属,但相对丰度没有明显的增加。

针对土壤线虫 4 个营养类群的丰度进行方差分析,结果见图 2。添加秸秆的处理均显著提高了食细菌线虫的比例,其平均值均显著高于对照。其中,2N 处理显著减少了植食性线虫的比例;4N 处理显著提高了食真菌性线虫数量的比例,但绝对数量仍然很少。种植番茄后,土壤中增加了杂食捕食性线虫,但处理之间无差异。

番茄定植 6 个月后,与对照相比,各处理中营养类群所占比例的变化见图 3。各处理中植食性线虫的比例都有下降,而食细菌线虫、食真菌线虫、杂食捕食性线虫的比例均有所上升。1N, 2N, 4N 3 个处理植食性线虫的比例分别下降了 17.6%, 97.3% 和 2.0%, 而食细菌线虫的比例分别上升了 100.5%, 189.7% 和 117.8%, 从这 2 类数量占绝对优势的线虫来看,以 2N 处理的线虫群落结构变化幅度最大。

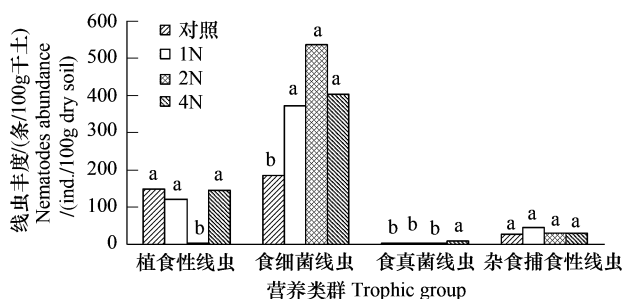


图2 番茄定植 6 个月后各处理土壤线虫营养类群组成

Fig. 2 Abundance of soil nematode trophic groups in various treatments after 6 months plantation of tomatoes

同一营养群内标注相同字母的值表示没有显著性差异 ($P < 0.05$)

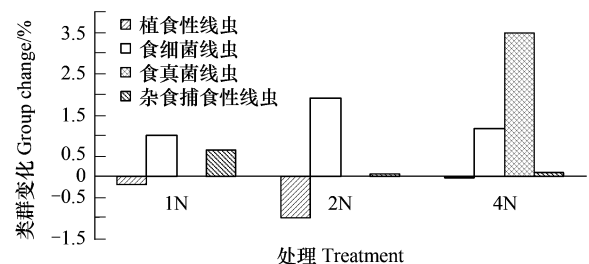


图3 番茄定植 6 个月后,各处理土壤线虫营养类群的变化幅度

Fig. 3 Change of soil nematode trophic groups' proportion after tomato plantation for 6 months, compared with CK

以对照为基准值

对于食真菌线虫来说,原有的背景值很低(2 条/100g 干土),引入秸秆碳源后,1N, 2N 2 个处理的食真菌线虫没有变化,但 4N 处理的食真菌线虫增长到 9 条/100g 干土,尽管数量的绝对值还是很低,但增长率达到了 350%,代表了这一类线虫的变化方向,也反映了土壤中真菌数量迅速增加的趋势。引入秸秆碳源后,杂食捕食性线虫的数量也有大幅增长。其中以 1N 处理的增加量最大,为 66.7%, 2N, 4N 2 个处理的增加量分别为 7.4%, 11.1%。

从番茄收获(6 个月)后土壤中线虫群落的变化来看,添加秸秆使土壤中的植食性线虫,主要是根结线虫减少(这一点与上述的根结线虫病情指数的变化相一致),食细菌线虫的比例相应地升高,这与秸秆腐烂过程的前期以细菌分解为主有关。由于试验时间较短,秸秆的分解尚未进入以真菌分解为主的阶段,加上土壤中真菌的繁殖速度比细菌要慢很多,所以土壤中的食真菌线虫并没有像在研究假设中所期望的那样大量增加。

3 结论与讨论

在华北温室根结线虫病土中以 4.16g/kg 的比例加入小麦秸秆(本地区小麦秸秆还田模式平均输入量的 2 倍),表现出对根结线虫病很好的抑制效果,抑病率达 94.0%。而且,番茄的生长状况没有受到明显的负面影响。与此同时,土壤线虫群落结构发生变化,植食性线虫下降了 97.3%,食细菌线虫的比例上升了 189.7%

结果表明:对物理、化学和生物等方法都难以防治的蔬菜根结线虫病,其实可以通过简单的土壤改良的方

法来控制。太阳能消毒的物理方法通常不能有效地杀灭根结线虫;而蒸气消毒和微波辐射等物理方法又耗能太高,且不利于中国农村小型日光温室的田间操作。化学农药倒是能够有效地控制根结线虫病,但又常常带来环境污染。抗性品种和抗性砧木的应用,是有效的生物防治方法,但成本很高,难以大面积推广,而且有根结线虫病原的土壤没有得到根本性的改变。

相比之下,在病土中掺入小麦秸秆是一种非常简便、成本低廉、又便于操作的方法。既环保安全,简单易行,又有较好的抑病效果。通过小麦秸秆对碳源的调整,改善土壤食物链结构,发挥土壤本身对根结线虫的抑制作用,是一种持久有效的、能从根本上恢复园艺病土的方法。

由于盆栽实验,番茄的生长和产量都受到了明显的制约,没有真实反映田间的生产状况。因此,后续研究应该从两方面展开:第一,继续进行室内盆栽实验,重点研究小麦秸秆加入后土壤食物网结构的变化过程,阐明这一方法抑制根结线虫病的土壤生态学机制,以及恢复一个细菌途径与真菌途径平衡的土壤食物网所需的时间。第二,是进行田间实验,可以考虑将秸秆熟化处理后再施入土壤,以减少秸秆对作物生长的负面影响。根据田间实验结果,特别是作物生长指标和经济产量数据,应对加入碳源的种类和数量进行合理调整,并制定出符合各地生产实际的操作规程。

References:

- [1] Karssen G, Moens M. Root-knot nematodes // Perry R N, Moens M eds. Plant Nematology. London: CAB International, 2006: 60-90.
- [2] Oka Y, Koltai H, Bar-Eyal M, Mor M, Sharon E, Chet L, Spiegel Y. New strategies for the control of plant parasitic nematodes. Pest Management Science, 2000, 56(11): 983-988.
- [3] Yu S F, Hu X Q, Wang Y. Plant disease complexes involving pathogenic nematodes. Acta Phytopathologica Sinica, 1999, 29(1): 1-7.
- [4] Yu Q J, Li J F, Xu X Y, Wang F, Wang A X. Identification of root-knot nematode (*M. spp*) on tomato in Heilongjiang Province and the screening of resistant materials. China Vegetables, 1999, (3): 7-10.
- [5] Sikora R A, Schuster R P, Kiewnick S. Indexing biodiversity and antagonistic potential in agricultural soil of Madagascar. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent., 1994, 59(2b): 781-790.
- [6] Williamson V M. Plant nematode resistance genes. Current Opinion in Plant Biology, 1999, 2(4): 327-331.
- [7] Minuto A, Pomè A, Gullino M L. Alternative technologies to the use of methyl bromide // Gullino M. L., Pomè A eds. Alternatives to Methyl Bromide: Results of Researches and Soil Disinfestations. Bologna (Italy): EDAGRICOLE SpA, 1999: 27-47.
- [8] Cao Z P, Yu Y L, Chen G K, Dawson R. Impact of soil fumigation practices on soil nematodes and microbial biomass. Pedosphere, 2004, 14(3): 387-393.
- [9] Cao Z P, Chen G K, Chen Y F, Yang H, Han L F, Dawson R. Comparative performance of nematode resistant rootstock and non-resistant tomato cultivars on soil biota. Allelopathy Journal, 2005, 15(1): 85-94.
- [10] Cao Z P, Chen G K, Zheng C Y, Chen Y F, Yang H. Comparative study on five alternative technologies of using methyl bromide in soil fumigation. Transactions of the CSAE, 2004, 20(5): 250-253.
- [11] Han L F, Cao Z P, Dong D F, Wang X H. Resistance Evaluation of Tomato Rootstocks and Cultivars (*Lycopersicon esculentum*) to Southern Root-knot Nematodes (*Meloidogyne incognita*). Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(5): 1099-1102.
- [12] Dong D F, Cao Z P, Wang X H, Hu J. Effect of Nematode Resistant Rootstocks on Growth Characteristics and Yields of Tomato. Acta Horticulturae Sinica, 2007, 34(5): 1305-1308.
- [13] Wardle D A, Bardgett R D, Klironomos J N, Setälä H, van der Putten W H, Wall D H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. Science, 2004, 304(5677): 1629-1633.
- [14] Cao Z P. Soil Ecology. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 96-97.
- [15] Hunt H W, Coleman D C, Ingham E R, Ingham R E, Elliott E T, Moore J C, Rose S L., Reid C P P, Morley C R. The detrital food web in a shortgrass prairie. Biology and Fertility of Soils, 1987, 3(1-2): 57-68.
- [16] Schloter M, Bach H J, Metz S, Sehy U, Munch J C. Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 98(1-3): 295-304.
- [17] Irvine L, Kleczkowski A, Lane A M J, Pitchford J W, Caffrey D, Chamberlain P M. An integrated data resource for modelling the soil ecosystem. Applied Soil Ecology, 2006, 33(2): 208-219.
- [18] Chen Y F, Steinberger Y, Cao Z P. Effect of methyl bromide and alternatives on soil free-living nematode community dynamics in a greenhouse

- study. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2008, 31(4): 95-113.
- [19] Wang X H, Cao Z P, Dong D F, Han L F, Kang L G. Inhibition Efficiency of Azadirachtin Agents on Soil Borne Pathogens of Tomato. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3): 1071-1075.
- [20] Chen G K. Research on Characteristics of Soil Biota Community and Food Web below Ground in Greenhouse with Alternative Technologies of Methyl Bromide. Doctor's Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [21] Chen Y F. Research on the Soil Food Web of Greenhouse in North China. Doctor's Thesis. Beijing: China Agricultural University, 2008.
- [22] Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis (third edition). Beijing: China Agriculture Press, 2000: 22-187.
- [23] Zeng M X, Wang R F, Peng S Q, Zhang Y J, Cui Y, Shan X Z, Tian Y G. Summary of returning straw into field of main agricultural areas in china. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(5): 336-339.
- [24] Taylor A L, Sasser J N. Biology Identification and Control of Root-knot Nematodes (*Meloidogyne* species). Raleigh: North Carolina State University, 1978.
- [25] Barker K R, Carter C C, Sasser J N. An Advanced Treatise on Meloidogyne, v. 2: Methodology. Raleigh: North Carolina State University, 1985: 223.
- [26] Ying W Y. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Beijing: Science Press, 1998.
- [27] Yeates G W, Bongers T, De Goede R G M, Freckman D W, Georgieva S S. Feeding habits in soil nematode families and genera-an outline for ecologists. *Journal of Nematology*, 1993, 25(3): 315-331.
- [28] Yang S C, Huo L, Wang J C. Allelopathic effect of straw returning. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(1): 52-56.
- [29] Ma Y Q, Mao R Z, Liu M Y, Liu X J, Zhang Y M. Allelopathic effects of wheat straw. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, 12(5): 36-38.
- [30] Yang W Y, Wang L Y. Present situation and prospects of returning application of crop straw. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17(2): 211-216.

参考文献:

- [3] 喻盛甫, 胡先奇, 王扬. 包含病原线虫的植物复合侵染病害. *植物病理学报*, 1999, 29(1): 1-7.
- [4] 于秋菊, 李景富, 许向阳, 王富, 王傲雪. 黑龙江省番茄根结线虫病病原鉴定及抗病种质资源筛选. *中国蔬菜*, 1999, (3): 7-10.
- [10] 曹志平, 陈国康, 郑长英, 陈云峰, 杨杭. 五种甲基溴土壤消毒替代技术比较研究. *农业工程学报*, 2004, 20(5): 250-253.
- [11] 韩利芳, 曹志平, 董道峰, 王秀徽. 番茄砧木及品种对南方根结线虫的抗性鉴定. *园艺学报*, 2006, 33(5): 1099-1102.
- [12] 董道峰, 曹志平, 王秀徽, 胡菊. 抗根结线虫砧木对番茄生长及产量的影响. *园艺学报*, 2007, 34(5): 1305-1308.
- [14] 曹志平主编. 土壤生态学. 北京: 化学工业出版社, 2007: 96-97.
- [19] 王秀徽, 曹志平, 董道峰, 韩利芳, 康立功. 印楝素对番茄土传病原真菌的抑菌作用. *农业环境科学学报*, 2007, 26(3): 1071-1075.
- [20] 陈国康. 甲基溴替代技术条件下温室土壤生物群落特征及地下食物网研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [21] 陈云峰. 北方蔬菜温室土壤食物网研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2000: 22-187.
- [23] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 张玉洁, 崔勇, 单秀枝, 廖超子, 田有国. 我国主要农区秸秆还田试验总结. *土壤通报*, 2002, 33(5): 336-339.
- [26] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [28] 杨思存, 霍琳, 王建成. 秸秆还田的生化他感效应研究初报. *西北农业学报*, 2005, 14(1): 52-56.
- [29] 马永清, 毛仁钊, 刘孟雨, 刘小京, 张玉铭. 小麦秸秆的生化他感效应. *生态学杂志*, 1993, 12(5): 36-38.
- [30] 杨文钰, 王兰英. 作物秸秆还田的现状与展望. *四川农业大学学报*, 1999, 17(2): 211-216.